

刘云龙 主编

# 焊工技师手册

机械工业出版社

● ISBN 7-111-06181-0/TG-1198

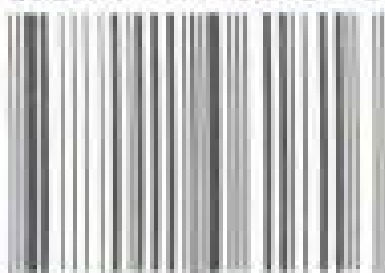
职业技能鉴定教材  
职业资格培训教材  
职业技能鉴定教材  
职业资格培训教材  
职业技能鉴定教材  
职业资格培训教材

## 首批出版技师手册书目

- 车工技师手册
- 钳工技师手册
- 机修钳工技师手册
- 汽车修理技师手册
- 焊工技师手册

定价: 60.00 元

ISBN 7-111-06181-0



9 787111 061816 >

# 焊工技师手册

刘云龙 主编  
杜则裕 参编  
刘余然



机械工业出版社

# 前 言

机械、汽车工业是技术密集型的加工制造业，工人的操作技能水平对于保证产品质量，降低物质消耗，提高经济效益，增强市场竞争能力，无疑是一决定性的因素。因此，振兴和发展机械、汽车工业，离不开一支以高级工为骨干，中级工为主体，技艺精湛、结构合理的技术工人队伍。

技师是高级工人中的优秀技术人才，是技术工人队伍中的佼佼者，是企业中的能工巧匠，是千千万万青年工人学习技术的良师，走岗位成才之路的榜样。

技师具有技术全面、一专多能、技艺高超、生产实践经验丰富的优良的技术素质。他们担负着组织和指导生产人员解决本工种生产过程中出现的关键或疑难技术问题；开展技术革新、技术改造；推广、应用新技术、新工艺、新设备、新材料以及组织、指导工人技术培训、考核、评定等工作任务。

为了帮助技师做好工作，为他们提供一本实用的工具书，我们组织编写了这套技师手册。

技师手册是参照劳动部、机械部共同颁发的《工人技术等级标准·机械工业（通用部分）》中有关工种高级工“知识要求”“技能要求”，参考国家技术监督局制定的《技术监督行业技师技术考核标准》，紧密结合企业生产和技师工作实际编写的。手册内容起点较高，包括技师应熟练掌握的基础理论、专业理论和其他有关知识；以主要篇幅从较高层次上介绍了设备应用、操作技能、工艺规程、生产技术组织管理和国内、外新技术的发展和应用等内容，并列举了大量的工



程实例。

本套手册内容力求选材注重实用，编排全面系统，叙述简明扼要，图表数据可靠。全书采用了最新国家标准。本手册也适合高级工人使用。

我们是第一次为高级工人和技师组织编写工具书，由于缺乏经验，不足之处和错误在所难免，恳切希望读者多提宝贵意见。

机械工业部技术工人教育研究中心

## 编者的话

据有关部门不完全统计，我国目前有焊工140万人，其中已获得技师资格的有近3万人。根据1994年2月劳动部、人事部联合下发的“职业资格证书规定”和1994年7月5日全国人大常委会通过并颁布的《中华人民共和国劳动法》，我国还将有更多的高级焊工被聘为技师、高级技师。能为这些技术人员提供一本既有一定理论深度，又有丰富的实践经验；既通俗、实用，又能展示当代焊接技术新发展的工具书是我们多年来共同的想法。如今，几易其稿的《焊工技师手册》终于与广大读者见面了，但是限于编者水平，它还会有很多的缺点和不足，殷切期望广大读者不吝指正，以便再版时改正。

本书第一章、第三章、第十一章、第十二章、附录由刘云龙高级工程师编写；第四章、第五章、第六章、第七章、第八章、第十章由杜则裕教授编写；第二章、第九章、第十三章、第十四章由刘余然高级工程师编写。全书由刘云龙主编，唐山钢厂韩正其高级工程师、中华人民共和国船检局李伟森高级工程师主审。

《焊工技师手册》在编写过程中，承蒙交通部秦皇岛港务局离休干部刘秀山、李宝茹二位专家多方指教，在此深表感谢！

主编 刘云龙

# 目 录

前言

编者的话

<b>第一章 焊条电弧焊</b> .....	1
<b>第一节 概述</b> .....	1
一、焊条电弧焊的定义 .....	1
二、焊条电弧焊的特点 .....	1
<b>第二节 焊条电弧焊的基础知识</b> .....	1
一、电弧特性 .....	1
二、冶金特点 .....	6
<b>第三节 焊条电弧焊的基本操作技术</b> .....	7
一、引弧 .....	7
二、运条 .....	8
三、接头 .....	11
四、收弧 .....	12
五、各种位置的焊接技术 .....	12
六、单面焊双面成形技术 .....	12
<b>第四节 焊条</b> .....	48
一、焊条的分类 .....	48
二、焊条的型号 .....	48
三、焊条的选用原则 .....	59
<b>第五节 焊条电弧焊设备</b> .....	61
一、焊条电弧焊对焊机的要求 .....	61
二、焊机的种类 .....	61
三、逆变弧焊机 .....	70

四、焊条电弧焊设备的选择 .....	75
五、焊条电弧焊辅助设备及工具 .....	80
六、焊条电弧焊设备常见故障及解决方法 .....	94
<b>第六节 常用金属材料的焊接 .....</b>	<b>99</b>
一、碳素钢的焊接 .....	99
二、低合金结构钢的焊接 .....	109
三、耐热钢的焊接 .....	126
四、低温钢的焊接 .....	136
五、不锈钢的焊接 .....	136
六、异种钢的焊接 .....	155
七、铜及铜合金的焊接 .....	172
八、铝及铝合金的焊接 .....	180
九、耐磨合金的堆焊 .....	186
十、铸铁的焊接 .....	198
<b>第七节 锅炉、压力容器焊工考试典型实例 .....</b>	<b>210</b>
一、板对接平焊焊接工艺 .....	210
二、板对接立焊焊接工艺 .....	212
三、板对接横焊焊接工艺 .....	213
四、板对接仰焊焊接工艺 .....	215
五、小管对接垂直固定焊焊接工艺 .....	217
六、小管对接水平固定焊焊接工艺 .....	219
七、小直径管板（插入式）垂直固定俯位焊焊接工艺 .....	220
八、小直径管板（插入式）水平固定焊焊接工艺 .....	222
<b>第八节 焊条电弧焊新工艺 .....</b>	<b>223</b>
一、连续涂层焊条及连续焊条焊接器具 .....	223
二、薄板焊孔及各种小规格焊条 .....	224
<b>第二章 埋弧焊 .....</b>	<b>226</b>
<b>第一节 概述 .....</b>	<b>226</b>
一、埋弧焊的特点 .....	226

二、埋弧焊的应用范围·····	227
<b>第二节 埋弧焊设备</b> ·····	228
一、埋弧焊电源·····	228
二、埋弧焊机·····	229
三、埋弧焊辅助设备·····	230
四、埋弧焊机常见故障及排除方法·····	235
<b>第三节 埋弧焊接头坡口的基本形式</b> ·····	239
<b>第四节 埋弧焊用焊接材料</b> ·····	242
一、焊丝·····	242
二、焊剂的分类与用途·····	242
三、焊剂的化学成分·····	248
四、常用焊剂与焊丝的匹配·····	250
<b>第五节 常用金属材料的埋弧焊</b> ·····	251
一、焊接工艺及焊接参数的选择·····	251
二、碳素钢埋弧焊·····	259
三、低合金钢埋弧焊·····	263
四、不锈钢埋弧焊·····	276
五、镍基耐蚀合金埋弧焊·····	279
六、铜及铜合金埋弧焊·····	282
<b>第六节 埋弧焊焊接缺陷的产生原因及防止方法</b> ·····	285
<b>第三章 气体保护焊</b> ·····	287
<b>第一节 概述</b> ·····	287
一、气体保护焊的定义·····	287
二、气体保护焊的特点·····	287
三、气体保护焊常用的保护气体·····	288
四、气体保护焊的分类及应用范围·····	288
<b>第二节 钨极惰性气体保护焊 (TIG 焊)</b> ·····	292
一、TIG 焊的定义·····	292
二、TIG 焊的电流种类及特点·····	292

三、TIG 焊焊接设备.....	293
四、气体保护焊设备的选用.....	309
五、常用金属材料的焊接.....	310
六、TIG 焊坡口设计的一般原则.....	389
<b>第三节 熔化极气体保护焊 .....</b>	<b>391</b>
一、熔化极气体保护焊的定义.....	391
二、熔化极气体保护焊的特点.....	392
三、熔化极气体保护焊的设备.....	396
四、MIG 焊 .....	398
五、CO <sub>2</sub> 气体保护焊.....	425
六、药芯焊丝 CO <sub>2</sub> 气体保护焊 .....	465
七、CO <sub>2</sub> 电弧点焊.....	486
<b>第四节 气体保护焊的操作技术 .....</b>	<b>490</b>
一、手工钨极氩弧焊的基本操作技术.....	490
二、小管对接水平固定 TIG 焊的操作技术 .....	493
三、管对接水平固定障碍焊.....	504
四、管对接垂直固定障碍焊.....	510
五、CO <sub>2</sub> 气体保护焊的操作技术.....	516
<b>第四章 等离子弧焊接与切割 .....</b>	<b>524</b>
<b>第一节 概述 .....</b>	<b>524</b>
一、等离子弧的特点.....	524
二、等离子弧的形成.....	525
三、等离子弧的类型.....	525
四、等离子弧的应用.....	526
<b>第二节 焊接与切割设备 .....</b>	<b>527</b>
一、等离子弧焊接设备.....	527
二、等离子弧切割设备.....	536
<b>第三节 等离子弧焊焊接工艺 .....</b>	<b>539</b>
一、等离子弧焊的基本方法.....	539

二、等离子弧焊的接头形式	540
三、等离子弧焊的焊件装配与夹紧	541
四、双弧现象	542
五、等离子弧焊气体的选择	543
六、常用金属的等离子弧焊焊接参数	543
<b>第四节 等离子弧切割工艺</b>	<b>552</b>
一、等离子弧切割的分类	552
二、等离子弧切割气体的选择	552
三、常用金属的等离子弧切割工艺参数	553
<b>第五节 等离子弧焊接与切割的质量分析</b>	<b>556</b>
一、焊接缺陷及防止措施	556
二、切割缺陷及防止措施	557
<b>第六节 等离子弧焊接与切割的工程实例</b>	<b>558</b>
一、不锈钢筒体的等离子弧焊	558
二、双金属锯条的等离子弧焊	560
三、波纹管部件的微束等离子弧焊	564
四、螺旋焊管的水再压缩式空气等离子弧在线切割	565
<b>第五章 电渣焊</b>	<b>567</b>
<b>第一节 概述</b>	<b>567</b>
一、电渣焊的特点	567
二、电渣焊的分类及应用	569
<b>第二节 电渣焊设备</b>	<b>572</b>
一、电渣焊设备的组成	572
二、电渣焊焊接过程控制	574
三、电渣焊机的技术数据	576
<b>第三节 电渣焊用焊接材料</b>	<b>578</b>
一、电极材料	578
二、焊剂	580
三、管极涂料	581

---

第四节 常用金属材料的电渣焊 .....	582
一、电渣焊焊接参数 .....	582
二、碳素钢、低合金钢的电渣焊 .....	582
三、铝、钛合金的电渣焊 .....	583
四、电渣焊接头的焊接缺陷及预防措施 .....	583
第五节 电渣焊工程实例 .....	598
一、立辊轧机机架的熔嘴电渣焊 .....	598
二、 $\phi 250\text{mm}$ 轧机中辊支架的板板电渣焊 .....	600
<b>第六章 热喷涂 .....</b>	<b>603</b>
<b>第一节 概述 .....</b>	<b>603</b>
一、热喷涂的特点 .....	603
二、热喷涂工艺的分类及特性 .....	603
三、喷涂层的结合形式 .....	606
<b>第二节 热喷涂设备 .....</b>	<b>606</b>
一、气体火焰喷涂设备 .....	606
二、电弧喷涂设备 .....	611
三、等离子弧喷涂设备 .....	611
<b>第三节 热喷涂工艺 .....</b>	<b>615</b>
一、工件表面的制备 .....	615
二、工件的预热 .....	617
三、喷涂工作层 .....	617
四、喷后处理 .....	624
五、喷涂层缺陷及防止 .....	625
<b>第四节 热喷涂材料 .....</b>	<b>626</b>
一、热喷涂材料的分类 .....	626
二、热喷涂材料的选用原则 .....	627
三、热喷涂常用材料的牌号、成分及性能 .....	627
<b>第五节 喷熔 .....</b>	<b>637</b>
一、喷熔的特点 .....	637



二、喷熔设备	637
三、喷熔工艺	642
第六节 热喷涂工程实例	644
一、水闸门火焰线材喷涂防腐涂层	644
二、200m <sup>3</sup> 球罐的火焰粉末喷涂修复	645
三、大制动鼓密封盖的等离子弧喷涂修复	646
<b>第七章 钎焊</b>	648
第一节 概述	648
一、钎焊的特点	648
二、钎焊的分类	648
第二节 钎料	651
一、对钎料的基本要求	651
二、钎料的分类	651
三、钎料的型号及牌号	652
四、软钎料	654
五、硬钎料	661
六、钎料的选择	675
第三节 钎剂	680
一、对钎剂的基本要求	680
二、软钎剂	680
三、硬钎剂	685
四、铝合金用钎剂	684
五、气体钎剂	685
第四节 钎焊工艺	687
一、钎焊接头设计	687
二、钎焊前焊件的表面处理	690
三、焊件装配及钎料放置	695
四、钎焊方法	697
五、钎焊焊接参数	704

六、钎焊后的清洗·····	704
七、钎焊接头的缺陷·····	705
<b>第五节 常用金属材料的钎焊</b> ·····	706
一、碳素钢及低合金钢的钎焊·····	706
二、不锈钢的钎焊·····	707
三、铜及铜合金的钎焊·····	708
四、铝及铝合金的钎焊·····	711
<b>第六节 钎焊工程实例</b> ·····	714
一、铜管翅式散热器的软钎焊·····	714
二、大型铝板换热器的盐浴浸渍钎焊·····	715
三、钎波导零件的真空钎焊·····	717
四、钛-钢零件氩气炉中钎焊 ·····	718
<b>第八章 电阻焊</b> ·····	721
<b>第一节 概述</b> ·····	721
一、电阻焊的特点·····	721
二、电阻焊的分类·····	722
<b>第二节 点焊</b> ·····	725
一、点焊过程·····	725
二、点焊工艺·····	727
三、常用金属材料的点焊·····	731
四、点焊接头的质量·····	740
五、点焊设备·····	747
<b>第三节 缝焊</b> ·····	756
一、缝焊的基本形式·····	756
二、缝焊工艺·····	758
三、常用金属材料的缝焊·····	759
四、缝焊接头的质量·····	764
五、缝焊设备·····	764
<b>第四节 凸焊</b> ·····	767

一、凸焊过程	767
二、凸焊接头的准备	767
三、凸焊焊接参数	767
四、凸焊机	770
<b>第五节 对焊</b>	<b>773</b>
一、电阻对焊	773
二、闪光对焊	773
三、对焊设备	778
<b>第六节 电阻焊工程实例</b>	<b>783</b>
一、铝合金轿车门的点焊	783
二、钛框构件的闪光对焊	784
<b>第九章 气焊与切割</b>	<b>787</b>
<b>第一节 概述</b>	<b>787</b>
一、常用金属及其氧化物熔点	787
二、金属氧化生成热	787
三、气焊应用范围及特点	788
四、气割应用范围及特点	788
<b>第二节 气体火焰</b>	<b>789</b>
一、可燃气体的发热量及火焰温度	789
二、氧乙炔焰种类与应用	789
<b>第三节 气焊、气割工具及设备</b>	<b>792</b>
一、气焊炬、割炬的分类及特点	792
二、气焊炬性能及规格	794
三、气割炬性能及规格	797
四、焊割两用炬性能及规格	801
五、割嘴的种类与性能	802
六、乙炔发生器的种类及技术性能	808
七、常用回火保险器的种类及特点	810
八、减压器型号及特点	812

九、气瓶	816
十、切割机	818
第四节 其它切割方法	827
一、等离子弧切割	827
二、氮氧源切割	827
三、激光切割	829
四、水射流切割	830
五、碳弧气割	831
六、电弧刨割条	832
七、氧熔剂切割	833
八、氧矛切割	833
九、火焰气刨	834
十、水下切割	835
十一、钢板下料最优化技术	836
十二、切割新气源	837
第五节 气焊工艺及实例	840
一、合金结构钢的气焊	840
二、不锈钢的气焊	842
三、铸铁的补焊	843
四、铜及铜合金的气焊	846
五、铝及铝合金的气焊	853
六、常用金属材料气焊的焊接参数	862
第六节 气割工艺	864
一、低碳钢气割工艺	864
二、叠板气割工艺要点	865
三、大厚度钢板气割工艺要点	867
四、不锈钢的振动气割工艺要点	868
五、铸铁的振动气割工艺要点	869
第七节 气割缺陷及防止方法	869

一、火焰切割质量要求·····	869
二、气割质量的检验·····	870
三、气割缺陷及防止方法·····	872
<b>第八节 气焊、气割中常见故障及排除方法</b> ·····	875
一、火焰不正常·····	875
二、割嘴漏气·····	877
三、割炬“不冲”及排除方法·····	877
<b>第十章 焊接应力与变形</b> ·····	879
<b>第一节 概述</b> ·····	879
一、焊接应力与变形的危害性·····	879
二、焊接应力与变形的产生原因·····	880
三、焊接应力与变形的影响因素·····	883
<b>第二节 焊接应力</b> ·····	884
一、内应力及焊接应力·····	884
二、焊接残余应力的调节·····	885
三、焊后消除内应力的方法·····	888
<b>第三节 焊接变形</b> ·····	893
一、焊接变形的种类·····	893
二、焊接变形的估算方法·····	895
三、焊接变形的经验数据·····	895
四、焊接变形的控制与矫正·····	896
<b>第四节 控制焊接应力与变形的工程实例</b> ·····	906
一、大型水轮机转子的工地拼焊·····	906
二、大型管板盒状结构的焊接·····	907
<b>第十一章 焊接检验</b> ·····	910
<b>第一节 概述</b> ·····	910
一、焊接接头质量·····	910
二、焊接检验方法简介·····	911
<b>第二节 焊接缺陷</b> ·····	911

一、焊接缺陷的分类	911
二、焊接缺陷的产生原因、危害及防止方法	911
第三节 焊接检验内容	930
一、焊前检验	930
二、焊接过程中检验	930
三、焊后质量检验	931
第四节 工业无损探伤设备	952
一、常用超声波探伤仪的主要性能指标	952
二、常用 X 射线探伤机的性能及参数	954
第十二章 焊接的有关计算	958
第一节 基本概念的有关计算	958
一、焊条药皮质量系数	958
二、焊条药皮厚度分类	958
三、熔敷系数	958
四、熔化系数	959
五、熔化速度	959
六、熔敷速度	959
七、热输入	960
八、熔合比	961
九、碳当量	962
十、损失系数	962
十一、负载持续率	963
第二节 焊接基础的有关计算	965
一、熔池长度	965
二、熔池在液态存在的最长时间 $t_{n, \max}$	966
三、熔池平均存在时间 $t_n$	967
四、传热及冷却	967
五、合金元素在焊缝中含量的计算	972
六、氧气与乙炔的有关计算	975

<b>第三节 焊接材料、电力消耗定额的制定与计算</b> .....	977
一、焊条消耗定额的制定 .....	977
二、焊丝消耗定额的制定 .....	986
三、焊剂消耗定额的制定 .....	987
四、保护气体消耗量的计算 .....	988
五、电弧焊时电能消耗的计算 .....	989
<b>第四节 焊缝强度的计算</b> .....	990
一、对接接头的静载强度计算 .....	993
二、搭接接头静载强度的计算 .....	1000
三、T形接头静载强度的计算 .....	1008
<b>第五节 焊接变形的计算</b> .....	1011
一、纵向收缩量的估算 .....	1011
二、横向收缩量的估算 .....	1012
三、角变形的估算 .....	1013
<b>第十三章 焊接质量与管理</b> .....	1016
<b>第一节 概述</b> .....	1016
一、术语和定义 .....	1016
二、全面质量管理 .....	1018
<b>第二节 质量保证体系</b> .....	1019
一、基本概念 .....	1019
二、典型产品的质量保证体系 .....	1020
<b>第三节 焊工培训与考核</b> .....	1022
一、基本要求 .....	1022
二、典型专业焊工考试要求 .....	1023
<b>第四节 焊接工艺评定</b> .....	1043
一、焊接工艺评定过程 .....	1043
二、焊接工艺因素 .....	1043
三、焊接工艺评定试件 .....	1048
四、试件与试样的检验 .....	1048



五、焊接工艺评定格式表 .....	1048
第五节 焊接工艺规程的编制 .....	1057
一、焊接工艺规程的内容与要求 .....	1057
二、焊接工艺卡片 .....	1059
第六节 影响焊接质量的技术因素 .....	1061
<b>第十四章 焊接与切割安全技术</b> .....	<b>1063</b>
第一节 概述 .....	1063
第二节 危害因素与卫生标准 .....	1063
一、触电 .....	1063
二、电弧辐射 .....	1065
三、焊接烟尘 .....	1066
四、有害气体 .....	1067
五、放射性物质 .....	1069
六、噪声 .....	1069
七、高频电磁场 .....	1070
八、燃烧与爆炸 .....	1071
第三节 安全与防护 .....	1075
一、焊条电弧焊安全技术 .....	1075
二、埋弧焊安全技术 .....	1081
三、气体保护焊安全技术 .....	1082
四、等离子弧焊接与切割安全技术 .....	1083
五、电阻焊安全技术 .....	1084
六、碳弧气刨安全技术 .....	1084
七、气焊与气割安全技术 .....	1085
八、容器焊接作业安全技术 .....	1091
九、高处焊割作业安全技术 .....	1092
十、触电急救 .....	1093
第四节 事故案例 .....	1096
一、焊条电弧焊操作触电 .....	1096



二、气焊回火爆炸 .....	1097
<b>附录</b> .....	1099
<b>附录 A 部分国家钢号近似对照</b> .....	1099
A1 碳素结构钢 .....	1099
A2 优质碳素结构钢 .....	1100
A3 合金结构钢 .....	1102
A4 不锈钢 .....	1106
A5 耐热钢 .....	1113
A6 锅炉、压力容器用钢 .....	1117
A7 桥梁用结构钢 .....	1120
A8 船体用结构钢 .....	1120
<b>附录 B 部分国家高温合金牌号近似对照</b> .....	1121
<b>附录 C 部分国家铸钢牌号近似对照</b> .....	1130
C1 碳素铸钢、合金铸钢、高锰铸钢 .....	1130
C2 不锈钢耐酸铸钢和耐热铸钢 .....	1132
<b>附录 D 部分国家铸铁与国际标准近似对照</b> .....	1134
<b>附录 E 部分国家有色金属及其合金牌号近似对照</b> .....	1136
E1 铝及铝合金 .....	1136
E2 铜及铜合金 .....	1144
E3 钛及钛合金 .....	1155
E4 镍及镍合金 .....	1157
<b>附录 F 部分国家焊条、焊丝型号近似对照</b> .....	1159
F1 碳钢、低合金钢焊条 .....	1159
F2 低合金耐热钢焊条 .....	1162
F3 不锈钢焊条 .....	1163
F4 不锈钢实芯焊丝 .....	1165
F5 堆焊焊条 .....	1168
F6 铸铁焊条 .....	1169
F7 低温钢焊条 .....	1170

---

F8 镍及镍合金焊条 .....	1170
F9 铜及铜合金焊条 .....	1170
F10 铝及铝合金焊条 .....	1171
<b>参考文献</b> .....	<b>1171</b>

# 第一章 焊条电弧焊

## 第一节 概 述

### 一、焊条电弧焊的定义

焊条电弧焊是用手工操纵焊条进行焊接的电弧焊方法。

### 二、焊条电弧焊的特点

焊条电弧焊利用电弧放电产生的热量,熔化焊条和焊件,从而获得牢固的焊接接头。其主要特点如下:

- 1) 工艺灵活、适应性强。适用于各种金属材料、各种厚度、各种结构形状及位置的焊接。
- 2) 对待焊接头的装配要求较低。由于焊接过程中用手工操作控制电弧长度、焊条角度、焊接速度等,因此,对焊接接头的装配尺寸要求可相对降低。
- 3) 易于通过改变工艺操作来控制焊接变形和改善接头应力状况。
- 4) 焊条电弧焊设备简单,操作与维修方便。
- 5) 与气体保护焊、埋弧焊等焊接方法比较,生产成本较低。
- 6) 生产效率较低,焊工劳动强度较大。
- 7) 对焊工的操作技术水平要求较高。

## 第二节 焊条电弧焊的基础知识

### 一、电弧特性

#### 1. 焊接电弧的产生

焊接电弧是由焊接电源供给的,具有一定电压的两电极间或电极与母材间,在气体介质中产生的强烈而持久的放电现象。它是电弧焊的热源。

焊接电弧的产生,必须同时具备下列三个条件:

(1) 空载电压 空载电压越高,越有利于引燃电弧和使电弧稳定燃烧,但从经济观点和安全角度考虑,又希望空载电压低些。我国通常规定的空载电压  $U_0$  为:

IGBT 逆变焊机  $U_0 = 70 \sim 80V$

弧焊整流器  $U_0 \leq 90V$

弧焊变压器  $U_0 \leq 80V$

带防电击开关的焊条电弧焊焊机,其空载电压可以适当提高一些,见表 1-1。

表 1-1 带防电击开关的焊条电弧焊机的空载电压

额定电流 $I_e/A$	空载电压 $U_0/V$	
	弧焊整流器	弧焊变压器
$< 500$	$\leq 85$	$\leq 85$
$\geq 500$	$\leq 95$	$\leq 95$

(2) 导电粒子 无论采用哪种方法引弧,都是为了在电极空间介质中,能产生足够多的导电粒子用以传送电荷。为此,在焊条药皮中常加入易于电离的碱金属、碱土金属及其化合物,如  $K_2O$ 、 $Na_2O$ 、 $SiO_2$  和  $K_2CO_3$  等。

(3) 短路 短路接触式引弧是焊条电弧焊常用的引弧方法,主要有划擦法、直击法两种。

焊条与焊件表面并非理想的平面接触,而是靠某些凸起点接触。在瞬时短路过程中,焊条与焊件表面接触的凸起点处,电流密度极大,电阻热把焊条端部接触处加热到接近熔化状态,以便提起焊条后,产生强烈的电子热发射和金属蒸气。在合适的空载电压下,保证电弧能够顺利地引燃并维持正常的燃烧。

所以,空载电压、导电粒子、短路是焊接电弧产生的三个必备条件。

## 2. 电弧静特性

焊接电弧燃烧时,电弧两端的电压降与通过电弧的电流并不是成固定比例的,而是随焊接电流的变化而变化。在电极材料、气体介质和弧长一定的情况下,电弧稳定燃烧时,焊接电流与电弧电压变化的关系

称为电弧静特性，一般也称伏-安特性。电弧静特性曲线如图 1-1 所示。其弧长不同，静特性曲线的位置也不同，当弧长增加时，电弧静特性曲线向上平移。

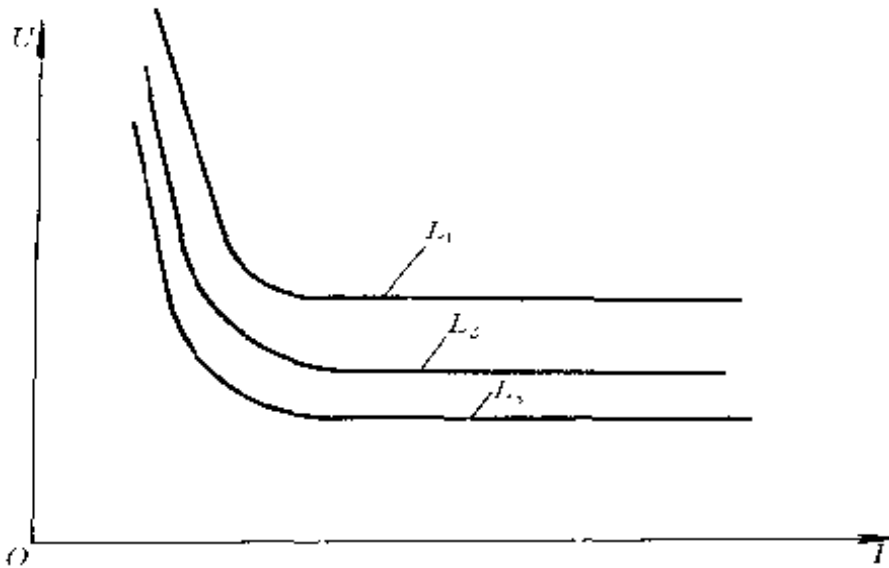


图 1-1 电弧静特性曲线

$L$ —电弧长度  $L_1 > L_2 > L_3$

### 3. 焊接电源外特性

在规定范围内，弧焊电源稳态输出电流和输出电压的关系称为焊接电源外特性。焊接电源外特性曲线如图 1-2 所示。

电源外特性具有三种形式：即下降特性（陡降、缓降）、平特性和上升特性。由于熔滴过渡和热惯性以及操作等原因，焊接时电弧长度总是在不断地变化，因而电弧电压和焊接电流也在不断地变化。为保证焊接质量稳定，总是希望焊接过程中焊接电流变动越小越好。从图 1-3 可以看出：具有陡降外特性的电源和缓降外特性的电源，当焊接电流发生相应的变化值  $\Delta I$  时，陡降外特性曲线引起的电压变化值  $\Delta U_2$  大于缓降外特性曲线引起的电压变化值  $\Delta U_1$ 。换句话说，对于相同的弧长变化，陡降外特性电源所引起的电流变化要比缓降外特性电源所引起的焊接电流变化小得多。焊条电弧焊过程中，弧长变化是经常发生的，为了保证焊接电流稳定，显然要求焊接电源具有陡降的外特性。

### 4. 电弧动特性

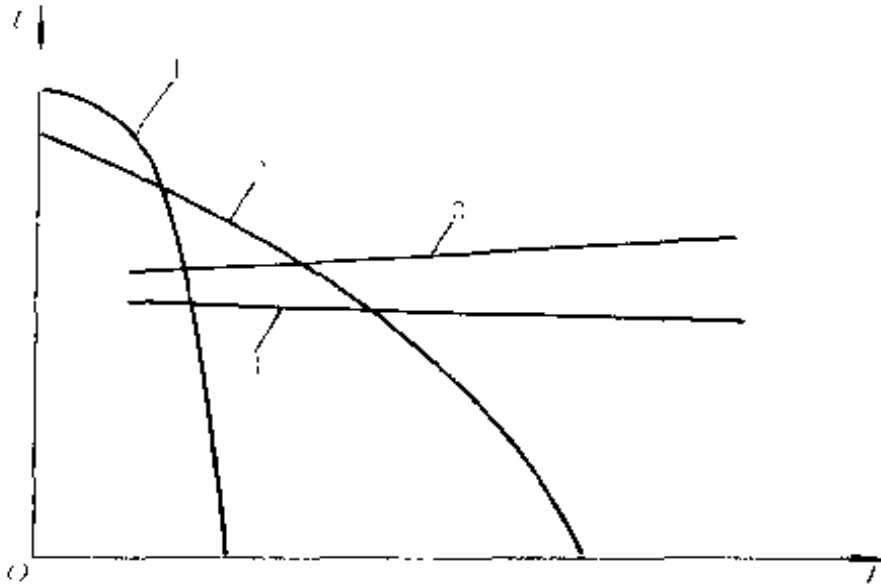


图 1-2 焊接电源外特性曲线

- 1- 陡降外特性曲线 2- 缓降外特性曲线  
3- 上升特性曲线 4- 平特性曲线

由于熔滴过渡的影响,弧长在不断地变化,因而电弧就是一个变动的负载。在焊接过程中,焊接回路中会产生感抗,使焊机输出的焊接电流和电弧电压不能迅速沿着外特性曲线变化,而是要经过一个过渡过

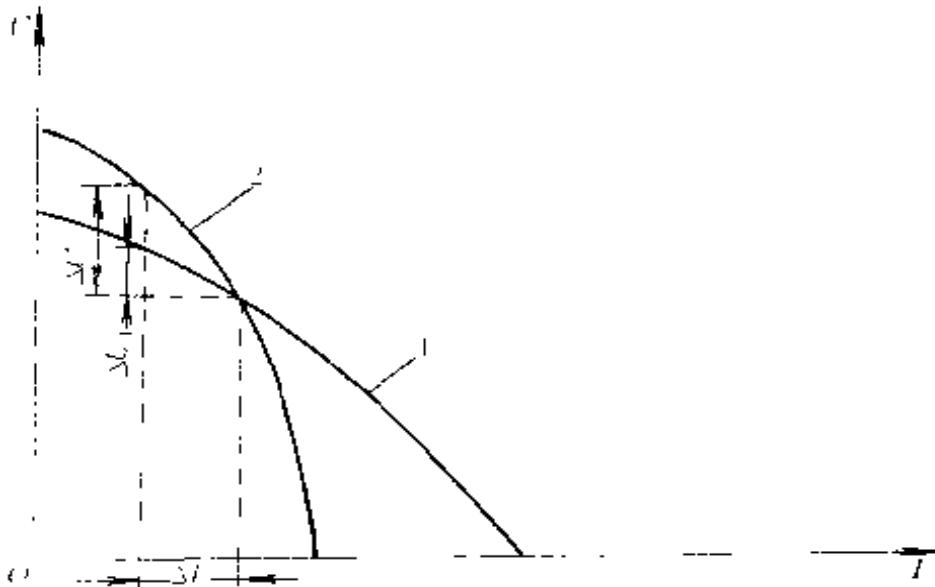


图 1-3 两种不同下降程度的外特性曲线

- 1- 缓降外特性曲线 2- 陡降外特性曲线

程才能稳定下来。这和对于一定弧长的电弧，当电弧电流发生连续地快速变化时，电弧电压与焊接电流瞬时值之间的关系称为电弧动特性。

动特性表示电源对负载突变的反应能力，它对电弧稳定、飞溅和焊缝成形有很大的影响。

焊条电弧焊焊机的过渡过程时间较短，一般都小于 0.05s。

### 5. 焊接极性

电弧焊时，直流弧焊机正极部分放出的热量较负极部分高，所以，如果焊件需要的热量高，就选用直流正接法。反之，就选用反接法。

所谓直流正接法，是将焊件接电源正极，电极（焊条、焊丝等）接电源负极的接线法；反接法是将焊件接电源负极，电极（焊条、焊丝等）接电源正极的接线法。如图 1-4 所示。交流电弧焊时，没有正、反接之说。

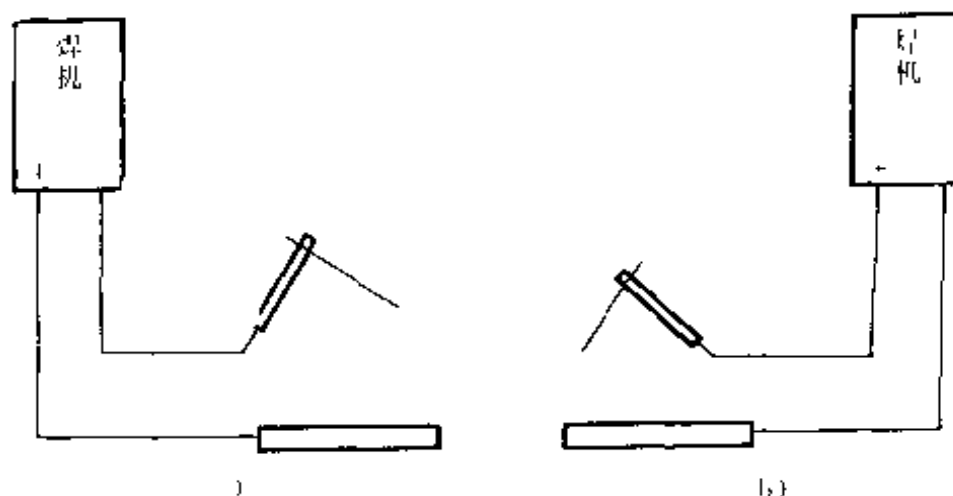


图 1-4 直流焊机的正、反接

a) 正接 b) 反接

选择焊机极性时，还要考虑焊条的性质。因为，有的焊条是规定使用极性的，如 E4315 (J427)、E5015 (J507) 等焊条必须用直流反接法焊接。

如果焊机较陈旧，标注的焊机极性看不清或对焊机极性有怀疑时，可用下述方法鉴别焊机极性。

- 1) 使用直流电压表确定极性。
- 2) 使用 E4315 (J427)、E5015 (J507) 等焊条进行试焊，如果在

焊接过程中电弧稳定、燃烧正常、飞溅小，则与焊条相接端为正极。

3) 把直流焊机的两个输出端放在食盐水中，如果其中一端有大量气泡析出，则该端为负极。

## 二、冶金特点

焊接冶金反应，实质上是焊接填充金属和母材金属的再冶炼过程，在金属熔化过程中，将在金属—熔渣—气体之间发生复杂的化学反应和物理反应。

焊接冶金过程与普通化学冶金不同，是分区域连续进行的。焊条电弧焊过程中有三个反应区，即：熔滴反应区、药皮反应区和熔池反应区。

### 1. 熔滴反应区

在这个反应区内，从熔滴的形成、长大，直至过渡到熔池中去，具有以下特点：

(1) 温度高，温度变化大 电弧的弧柱区温度在  $4500\sim 7800^{\circ}\text{C}$ ，焊接黑色金属时，熔滴上的活性斑点温度接近于焊芯材料的沸点（约为  $2800^{\circ}\text{C}$ ）；由于焊接参数不同，熔滴的平均温度在  $1800\sim 2400^{\circ}\text{C}$ 。在这样高的温度下，金属将强烈蒸发。

(2) 反应时间短 熔滴在焊条末端的停留时间大约为  $0.01\sim 0.1\text{s}$ 。熔滴向熔池过渡的速度高达  $7.5\sim 10\text{m/s}$ ，通过弧柱区的时间只有  $0.0001\sim 0.001\text{s}$ 。在这个区内各相接触的平均时间仅为  $0.01\sim 1\text{s}$ 。

(3) 熔滴金属与气体、熔渣的反应接触面积大 由于熔滴的尺寸很小，所以熔滴的比表面积（单位质量熔滴所占有的表面积）极大，可达  $1000\sim 10000\text{cm}^2/\text{kg}$ ，比炼钢时约大 1000 倍，与气体、熔渣极易发生冶金反应。

总之，在这个反应区内主要进行的物理化学反应是：金属的蒸发、气体的分解和溶解、金属的氧化还原以及合金化等。

### 2. 药皮反应区

在这个反应区内，焊条约皮被加热，在固态下它的各种组成物之间也会发生物理化学反应，主要是水分的蒸发，某些物质的分解和铁合金的氧化，对整个焊接化学冶金过程（焊接质量）有一定的影响。

### 3. 熔池反应区



在这个反应区内，熔池的平均温度比较低，约在 1600~1900 C；熔池的体积小，质量一般在 5g 以下，冷却速度大，平均冷却速度为 4~100 C/s。因此，熔池的冶金反应时间非常短，冶金反应不充分。

由于散热和导热的作用，金属熔池的温度分布极不均匀，同一熔池的前后部分往往发生相反的反应。如熔池前部的高温区，发生金属的熔化和气体的吸收，以及硅、锰的还原反应，在熔池的后半部则发生金属的凝固和气体的析出过程，以及硅、锰的氧化反应。

在焊接电弧的热作用下，上述三个反应区内除了发生金属熔化以外，还要进行一系列的冶金反应，主要有：氧化还原反应、脱氮反应、脱硫反应、脱磷反应、合金化等。

### 第三节 焊条电弧焊的基本操作技术

#### 一、引弧

引弧是焊接过程中频繁进行的动作，引弧技术的好坏，直接影响焊接质量，所以，必须予以重视。通常的引弧方法有两种（图 1-5）：一种是直击法；另一种是划擦法。

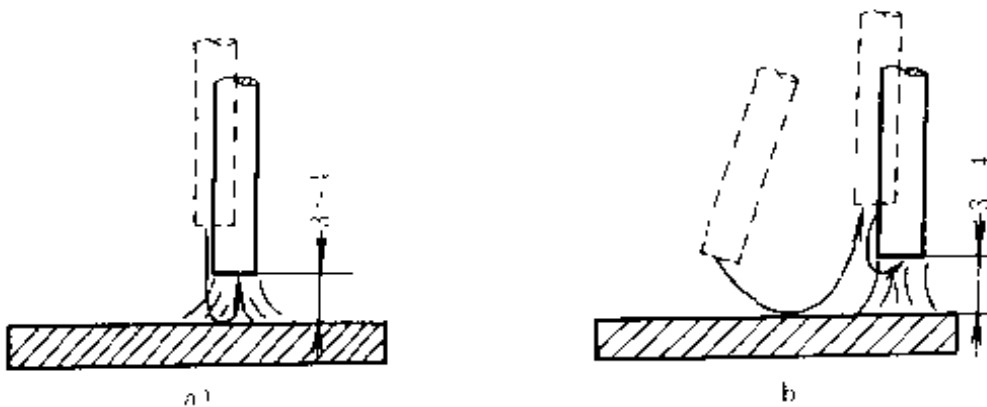


图 1-5 引弧方法

a) 直击法 b) 划擦法

#### 1. 直击法

直击法即将焊条与焊件表面垂直地接触，当焊条末端与焊件表面轻微一碰时，迅速提起焊条并使之与焊件保持一定的距离，随即便引燃了电弧。

引弧时，要将焊条末端对准待焊处，焊条在焊件上轻轻敲击，然后

将焊条提起，使弧长为0.5~1倍的焊条直径，然后开始正常焊接。直击法的特点是：引弧点即为焊缝的起点，避免了母材表面被电弧划伤。其主要用于薄板的定位焊及焊接；不锈钢的焊接；铸铁的焊接及狭小工作表面上的焊接。直击法对于初学者较难掌握。

## 2. 划擦法

这种引弧方法与划火柴动作有些相似。将焊条在焊件上划动一下，划动长度一般为20~25mm，电弧即可引燃。当电弧引燃后，趁金属还没有开始大量熔化的一瞬间，立即使焊条末端与焊件表面距离维持在0.5~1倍的焊条直径，这样就能保持电弧的稳定燃烧。

划擦法引弧时，焊条末端应对准待焊处，然后手腕扭转一下，使焊条在焊件上轻微划动，随后将焊条立即提起0.5~1倍焊条直径，并迅速移至待焊处，稍作适当横向摆动即可焊接。对初学者来说，划擦法容易掌握，但如果掌握不当，容易损坏焊件表面，造成焊件表面电弧划伤。在狭小的工作面上引弧不如采用直击法好。其主要用于碳钢焊接、厚板焊接、多层焊焊缝接头的引弧。

## 二、运条

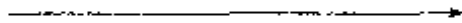
### 1. 运条方法

焊接过程中，运条的方法是多种多样的，选用时应根据接头的形式和间隙、焊缝的空间位置、焊条直径与性能、焊接电流及焊工的技术水平等方面来确定。焊条电弧焊常用的运条方法见表1-2。

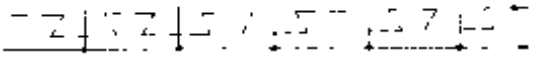


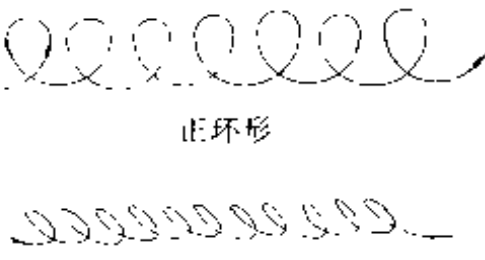
### 2. 焊接运条时，焊条角度和动作的作用

焊条电弧焊时，焊缝表面成形的好坏，焊接生产效率的高低，各

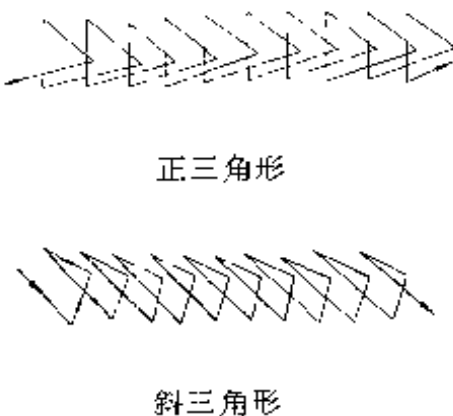
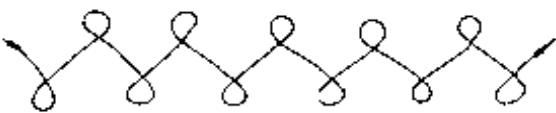
表 1-2 焊条电弧焊常用的运条方法

运条方法	轨 迹	特 点	适用范围
直线形		焊条以直线移动，不做摆动。焊缝宽度较窄，熔深大	适用于薄板I形坡口对接平焊、多层焊打底及多层多道焊

(续)

运条方法	轨 迹	特 点	适用范围
往复直线形		<p>焊条末端沿着焊接方向做来回直线形摆动。焊接速度快, 焊缝窄, 散热快</p>	<p>适用于接头间隙较大的多层焊的第一层焊缝或薄板焊接</p>
月牙形		<p>焊条末端沿着焊接方向做月牙形的左右摆动, 使焊缝宽度及余高增加</p>	<p>适用于中厚板材对接平焊、立焊和仰焊等位置的层间焊接</p>
锯齿形		<p>焊条末端沿着焊接方向做锯齿形连续摆动, 控制熔化金属的流动性, 使焊缝增宽</p>	<p>适用于中厚钢板对接平焊、立焊、仰焊, 以及角焊</p>
环 形	 <p style="text-align: center;">正环形</p> <p style="text-align: center;">斜环形</p>	<p>焊接过程中, 焊条末端做圆环形运动, 同时不断向前移动</p>	<p>适用于厚板平焊, 斜环形适用于平焊、仰焊位置的角焊缝和开坡口横焊</p>

(续)

运条方法	轨 迹	特 点	适用范围
三角形	 <p>正三角形</p> <p>斜三角形</p>	<p>焊接过程中, 焊条末端做三角形摆动。能控制熔化金属, 使焊缝成形良好。正三角形一次能焊出较厚的焊缝断面, 不易产生夹渣等缺陷</p>	<p>适用于厚板的对接立焊和填角焊。斜三角形适用于平焊、仰焊位置的角焊缝和开坡口横焊</p>
8字形		<p>焊条末端做8字形运动, 使焊缝增宽, 波纹美观</p>	<p>适用于厚板平焊的盖面层焊接以及平面堆焊</p>

种焊接缺陷的产生等, 都与焊接运条的手法、焊条的角度和动作有着密切的关系, 表 1-3 是焊条电弧焊运条时焊条角度和动作的作用。

表 1-3 焊条电弧焊运条时焊条角度和动作的作用

焊条角度和动作	作 用
焊条角度	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 防止立焊、横焊和仰焊时熔化金属下坠</li> <li>2. 能很好地控制熔化金属与熔渣分离</li> <li>3. 控制焊缝熔池深度</li> <li>4. 防止熔渣向熔池前部流淌</li> <li>5. 防止咬边等焊接缺陷</li> </ol>
沿焊接方向移动	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 保证焊缝直线施焊</li> <li>2. 控制每道焊缝的横截面积</li> </ol>
横向摆动	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 保证坡口两侧及焊道之间相互很好地熔合</li> <li>2. 控制焊缝获得预定的熔深与熔宽</li> </ol>
焊条送进	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 控制弧长, 使熔池有良好的保护</li> <li>2. 促进焊缝形成</li> <li>3. 使焊接连续不断地进行</li> <li>4. 与焊条角度的作用相似</li> </ol>

### 三、接头

由于受焊条长度的限制,焊条电弧焊时,焊接工作是断续进行的,故为了保证焊缝的连续性,减小焊接变形,焊缝接头方法常采用以下几种:

#### 1. 分段退焊法

分段退焊法见图 1-6a。

#### 2. 从中间向两端分段退焊法

从中间向两端分段退焊法见图 1-6b。

上述两种焊缝接头的特点是:第二根焊条焊接的焊缝收尾与第一根焊条焊接的焊缝始端相接,即后焊的焊缝在前一焊缝的始端收尾。这样,焊缝全长受温度应力较小,引起焊接变形也相应减小。这两种接头方法适用于中长焊缝(300~1000mm)的焊接。

#### 3. 由中间向两端对称焊法

由中间向两端对称焊见图 1-6c。两个焊工采用同样的焊接参数,由中间向两端同时焊接,则每条焊缝所引起的变形可以相互抵消,焊后变形可大为减少。这种焊接方法适用于长焊缝(>1000mm)的焊接。

#### 4. 直通焊法

直通焊法见图 1-6d。焊接引弧点在前一焊缝收弧前 10~15mm 处,引燃电弧后拉长电弧回到前一焊缝的收弧处预热弧坑片刻,然后调

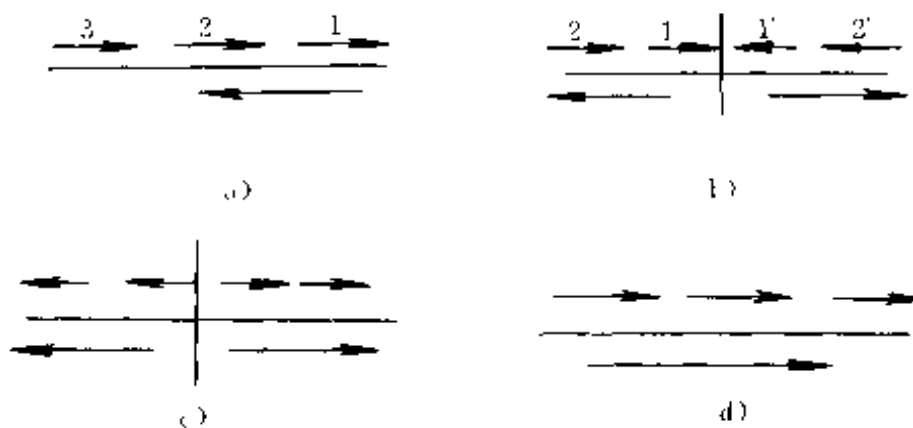


图 1 6 焊缝接头方法

a) 分段退焊法 b) 由中间向两端退焊法

c) 由中间向两端对称焊法 d) 直通焊法

整焊条位置、角度，将电弧缩短到适当的长度继续焊接。这种焊缝的接头方法，适用于短焊缝（<300mm）的焊接，长焊缝用此种接头方法焊接，焊后变形较大。

#### 四、收弧

焊缝的收弧，是指一条焊缝结束时采用的收弧方法。如果焊缝收尾时采用立即拉断电弧收弧，则会形成低于焊件表面的弧坑，容易产生应力集中和减弱接头强度，从而导致产生弧坑裂纹，焊条电弧焊常用的收弧方法见表 1-4。

表 1-4 焊条电弧焊常用的收弧方法

收弧方法	操作要点	适用范围
划圈收弧法	焊接电弧移至焊缝终端时，焊条端部作圆圈运动，直至弧坑被填满后再断弧	适用于厚板焊接
回焊收弧法	焊接电弧移至焊缝收尾处稍停，然后改变焊条角度回焊一小段后断弧	适用于碱性焊条焊接
反复熄弧-引弧法	在焊缝终端多次熄弧和引弧，直到弧坑填满为止	适用于大电流或薄板焊接

#### 五、各种位置的焊接技术

焊接位置的变化，对操作技术提出了不同的要求，这主要是由于熔化金属的重力作用造成焊缝成形困难。所以，在焊接操作中，只要仔细观察并控制熔池的形状和大小，及时调整焊条角度和运条动作，就能控制焊缝成形并确保焊接质量。各种焊接位置的焊接特点及操作要点见表 1-5~表 1-8。

#### 六、单面焊双面成形技术

单面焊双面成形技术，是锅炉、压力容器焊工应熟练掌握的操作技能，也是在某些重要焊接结构制造过程中，既要求焊透而又无法在背面进行清根和重新焊接所必须采用的焊接技术。在单面焊双面成形操作过程中，不需要采取任何辅助措施，只是坡口根部在进行组装定位焊时，应按焊接时不同操作手法留出不同的间隙，当在坡口的正面用普通

表 1 5 焊条电弧焊平焊位置的焊接特点及操作要点

焊条角度图示	<p style="text-align: center;">对接平焊                      搭接接头平角焊</p> <p style="text-align: center;">T形接头平角焊                      船形焊</p> <p style="text-align: center;">角接头平焊</p>
	<p>焊</p> <p>接</p> <p>特</p> <p>点</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 熔滴主要依靠重力向熔池过渡</li> <li>2. 熔池形状和熔池金属容易保持</li> <li>3. 焊接同样板厚金属，平焊位置焊接电流比其它焊接位置大，生产效率高</li> <li>4. 液态金属和熔渣容易混在一起，特别是焊接角焊缝时，熔渣容易往熔池前部流动造成夹渣</li> <li>5. 焊接参数和操作不正确时，可能产生未焊透、咬边或焊瘤等缺陷</li> <li>6. 平板对接焊接时，若焊接参数或焊接顺序选择不当，容易产生焊接变形</li> </ol>



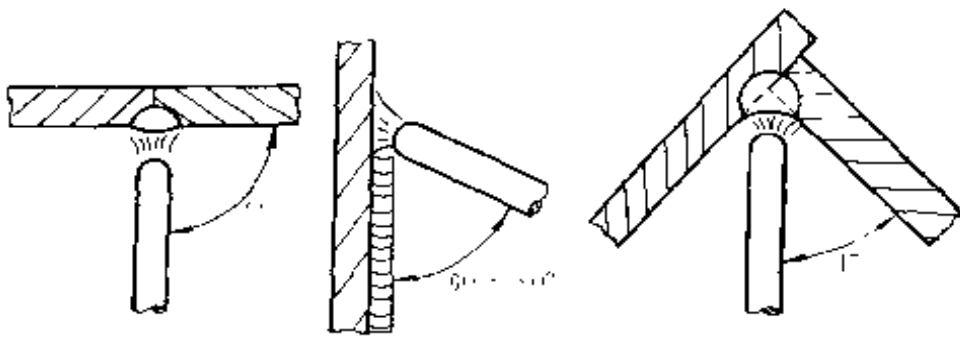
(续)

操 作 要 点	<p>1. 由于焊缝处于水平位置, 熔滴主要靠重力过渡, 所以, 根据板厚可以选用直径较粗的焊条和较大的焊接电流焊接</p> <p>2. 最好采用短弧焊接</p> <p>3. 焊接时焊条与焊件成 <math>40^{\circ} \sim 90^{\circ}</math> 夹角, 控制好电弧长度和运条速度, 使熔渣与液态金属分离, 防止熔渣向前流动</p> <p>4. 板厚在 5mm 以下, 焊接时一般开 I 形坡口, 可用 <math>\phi 3\text{mm}</math> 或 <math>\phi 4\text{mm}</math> 焊条, 采用短弧法焊接。背面封底焊前, 可以不铲除焊根 (重要构件除外)</p> <p>5. 焊接水平倾斜焊缝时, 应采用上坡焊, 防止熔渣向熔池前方流动, 避免焊缝产生夹渣缺陷</p> <p>6. 采用多层多道焊时, 应注意选好焊道数及焊道顺序</p> <p>7. T 形、角接、搭接的平角接头, 若两板厚度不同, 应调整焊条角度, 将电弧偏向厚板, 使两板受热均匀</p> <p>8. 正确选用运条方法</p> <p>1) 板厚在 5mm 以下, I 形坡口对接平焊, 采用双面焊时, 正面焊缝采用直线形运条方法, 熔深应大于 <math>2/3\delta</math>; 背面焊缝也采用直线形运条, 焊接电流应比焊正面焊缝时稍大些, 运条速度要快</p> <p>2) 板厚在 5mm 以上, 开其它形坡口<sup>①</sup>对接平焊, 可采用多层焊或多层多道焊, 打底焊宜用小直径焊条、小焊接电流、直线形运条焊接。多层焊缝的填充层及盖面层焊缝, 根据具体情况分别选用直线形、月牙形、锯齿形运条。多层多道焊时, 宜采用直线形运条</p> <p>3) T 形接头焊脚尺寸较小时, 可选用单层焊, 用直线形、斜环形或锯齿形运条方法; 焊脚尺寸较大时, 宜采用多层焊或多层多道焊, 打底焊都采用直线形运条方法, 其后各层的焊接可选用斜锯齿形、斜环形运条。多层多道焊宜选用直线形运条方法焊接</p> <p>4) 搭接、角接平角焊时, 运条操作与 T 形接头平角焊运条相似</p> <p>5) 船形焊的运条操作与开坡口对接平焊相似</p>
------------------	---

①. 开其它形坡口指除 I 形坡口以外的其它形坡口, 如 V 形、X 形、Y 形等, 余同。



表 1-6 焊条电弧焊立焊位置的焊接特点及操作要点

<p>焊条角度示意图</p>	
<p>焊接特点</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 熔化金属在重力作用下易向下淌, 形成焊瘤、咬边、夹渣等缺陷。焊缝成形不良</li> <li>2. 熔池金属与熔渣容易分离</li> <li>3. T形接头焊缝根部容易产生未焊透</li> <li>4. 焊接过程、熔透程度容易控制</li> <li>5. 焊接生产效率较平焊低</li> <li>6. 采用短弧焊接</li> </ol>
<p>操作要点</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 保持正确的焊条角度</li> <li>2. 选用较小的焊条直径 (<math>&lt; \phi 4\text{mm}</math>) 和较小的焊接电流 (<math>80\% \sim 85\% I_{\text{平}}</math>), 采用短弧施焊</li> <li>3. 采用正确的运条方法             <ol style="list-style-type: none"> <li>1) I形坡口对接向上立焊时, 可选用直线形、锯齿形、月牙形运条和挑弧法焊接</li> <li>2) 开其它形坡口对接立焊时, 第一层焊缝常选用挑弧法或摆幅不大的月牙形、三角形运条焊接, 其后可采用月牙形或锯齿形运条方法</li> <li>3) T形接头立焊时, 运条操作与开其它形坡口对接立焊相似。为防止焊缝两侧产生咬边、根部未焊透, 电弧应在焊缝两侧及顶角有适当的停留时间</li> <li>4) 焊接盖面层时, 应根据对焊缝表面的要求选用运条方法。焊缝表面要求稍高的可采用月牙形运条; 如只要求焊缝表面平整的可采用锯齿形运条方法</li> </ol> </li> </ol>

(1)  $I_{\text{平}}$  表示平坦位置的焊接电流。

表 1-7 焊条电弧焊横焊位置的焊接特点及操作要点

焊条角度图示	
焊接特点	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 熔化金属受重力作用易向下淌，造成坡口上侧产生咬边缺陷，下侧形成泪滴形焊瘤或未焊透</li> <li>2. 其它形式坡口对接横焊，常选用多层多道施焊法防止熔化金属下淌</li> <li>3. 焊接电流较平焊焊接电流小些</li> </ol>
操作要点	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 选用小直径焊条、小焊接电流、短弧操作，能较好地控制熔化金属流淌</li> <li>2. 厚板横焊时，打底焊缝以外的焊缝，宜采用多层多道焊法施焊</li> <li>3. 多层多道焊时，要特别注意控制焊道间的重叠距离。每道叠焊，应在前一道焊缝的 1/3 处开始焊接，以防止焊缝产生凹凸不平</li> <li>4. 根据具体情况，保持适当的焊条角度</li> <li>5. 采用正确的运条方法             <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 开 I 形坡口对接横焊时，正面焊缝采用往复直线运条方法较好。稍厚件宜选用直线形或小斜环形运条。背面焊缝选用直线形运条，焊接电流可适当加大</li> <li>2) 开其它形式坡口对接多层横焊，间隙较小时，可采用直线形运条；间隙较大时，打底层可采用往复直线形运条，其后各层多层焊时，可采用斜环形运条，多层多道焊时，宜采用直线形运条</li> </ol> </li> </ol>

表 1-8 焊条电弧焊仰焊位置的焊接特点及操作要点

焊条角度图示	<p>I 形坡口对接仰焊</p> <p>其它形式坡口对接仰焊</p> <p>I 形接头仰焊</p>
--------	---

(续)

<p>焊接特点</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 熔化金属因重力作用易下坠，熔滴过渡、焊缝成形较困难</li> <li>2. 熔池金属温度高、熔池尺寸大</li> <li>3. 焊缝正面容易形成焊瘤、背面则会出现内凹缺陷</li> <li>4. 流淌的熔化金属以飞溅扩散，若防护不当，容易造成烫伤事故</li> <li>5. 仰焊比其它空间位置焊接效率低</li> </ol>
<p>操作要点</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 为便于熔滴过渡，焊接过程中应采用最短的弧长施焊</li> <li>2. 打底层焊缝应采用小直径焊条和小焊接电流施焊，以免焊缝两侧产生凹陷和夹渣</li> <li>3. 根据具体情况，选用正确的运条方法             <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 开 I 形坡口对接仰焊时，直线形运条方法适用于小间隙焊接，往复直线形运条方法适用于大间隙焊接</li> <li>2) 开其它形坡口对接多层仰焊时，打底层焊接的运条方法，应根据坡口间隙的大小，决定选用直线形或往复直线形运条方法。其后各层可选用锯齿形或月牙形运条方法。多层多道焊宜采用直线形运条。无论采用哪种运条方法，每一次向熔池过渡的熔化金属质量均不宜过多</li> <li>3) T 形接头仰焊时，焊脚尺寸如果较小，可采用直线形或往复直线形运条方法，由单层焊接完成。焊脚尺寸若较大时，可用多层焊或多层多道焊施焊，第一层宜采用直线形运条，其后各层可选用斜三角形或斜环形的运条方法</li> </ol> </li> </ol>

焊条进行焊接时，就会在坡口的正、背两面都能得到均匀整齐、成形良好，符合质量要求的焊缝，这种特殊的焊接操作被称为单面焊双面成形。

作为焊工，在单面焊双面成形过程中应牢记“眼精、手稳、心静、气匀”八个字。所谓“眼精”，就是在焊接过程中，焊工的眼睛要时刻注意观察焊接熔池的变化，注意“熔孔”尺寸，每个焊点与前一个焊点重合面积的大小，熔池中液态金属与熔渣的分离等。所谓“手稳”，是指眼睛看到哪儿，焊条就应该按选用的运条方法、合适的弧长、准确无误地送到哪儿。保证正、背两面焊缝表面成形良好。所谓“心静”，是要求焊工在焊接过程中，专心焊接，别无他想。任何与焊接无关的私心杂念，都会使焊工分心，在运条、断弧频率、焊接速度等方面出现差错，从而导致焊缝产生各种焊接缺陷。所谓“气匀”，是指焊工在焊接过程

中,无论是站位焊接、蹲位焊接还是躺位焊接,都要求焊工能保持呼吸平稳均匀。既不要大憋气,以免焊工因缺氧而烦躁,影响发挥焊接技能,也不要大喘气,焊接过程中,这种呼吸方法会使焊工身体上下浮动而影响手稳。总之,这八个字是焊工经多年实践总结而得到的,指导焊工进行单面焊双面成形操作时收效很大。“心静、气匀”是前提,是对焊工思想素质上的要求,在焊接岗位上,每个焊工都要专心从事焊接工作,“一心不可二用”,否则,不仅焊接质量不高,也容易出现安全事故。只有做到“心静、气匀”,焊工的“眼精、手稳”才能发挥作用,所以这八个字,既有各自独立的特性,又有相互依托的共性,需要焊工在焊接实践中仔细体会其中的奥秘。

### 1. 板对接单面焊双面成形技法

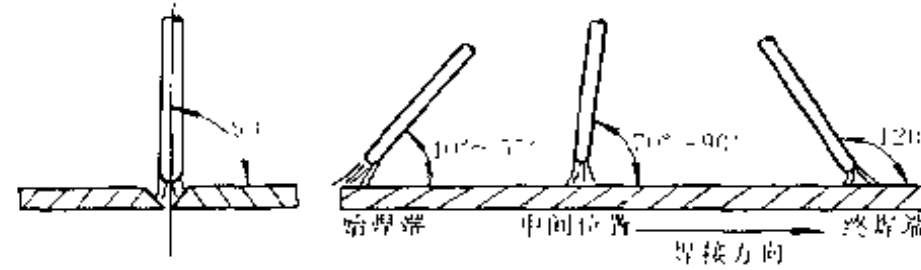
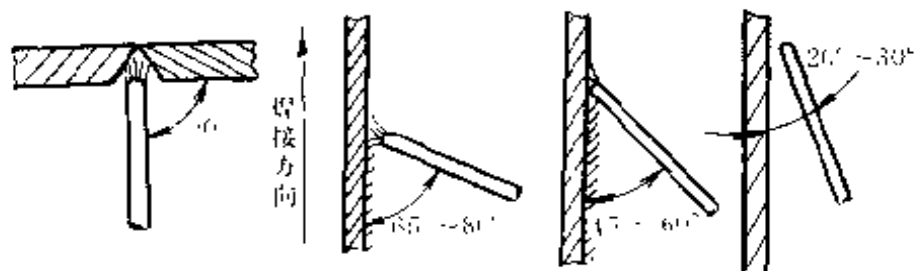
(1) 打底层单面焊双面成形技法 单面焊双面成形按其操作手法大体上可分为连弧焊法和断弧焊法两大类。而断弧焊法又可分为一点焊法、二点焊法和三点焊法等三种。单面焊双面成形技术的关键是第一层打底层焊缝的熔孔成形操作,其它各填充层操作要点与各种位置普通焊接操作技术相同。

连弧焊法打底层焊接时,电弧引燃后,中间不允许人为地熄弧,一直是短弧连续运条直至应换另一根焊条时才熄弧。由于在连弧保护焊接时,熔池始终处在电弧连续燃烧的保护下,液态金属和熔渣易于分离,气孔也容易从熔池中溢出,保护效果较好,所以焊缝不容易产生缺陷,力学性能也较好。用碱性焊条焊接时,多采用连弧焊操作方法焊接。

断弧焊法打底层焊接时,利用电弧周期性的燃弧-断弧(灭弧)过程,使母材坡口钝边金属有规律地熔化成一定尺寸的熔孔,在电弧作用正面熔池的同时,使 $1/3 \sim 2/3$ 的电弧穿过熔孔而形成背面焊道。具体连弧焊与断弧焊单面焊双面成形技法见表1-9和表1-10。

(2) 填充层的单面焊双面成形技法 焊接单面焊双面成形填充层时,焊条除了向前移动外,还要有横向摆动。在摆动过程中,焊道中央移弧要快,即滑弧过程,电弧在两侧时要稍作停留,使熔池左、右侧温度均衡,两侧圆滑过渡。在焊接第一层填充层时(打底层焊后的第一层),应注意焊接电流的选择,过大的焊接电流会使第一层金属组织过

表 1-9 连弧焊打底层单面焊双面成形技法

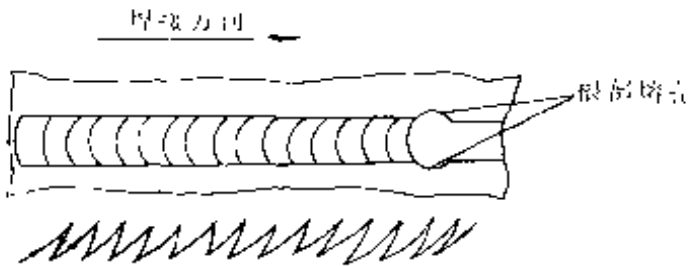
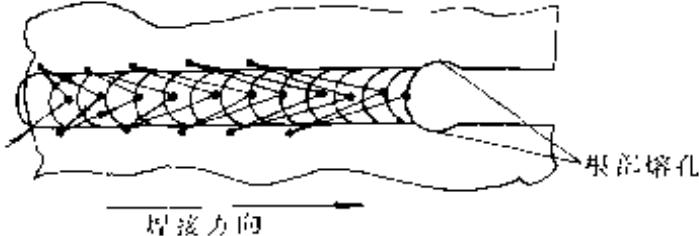
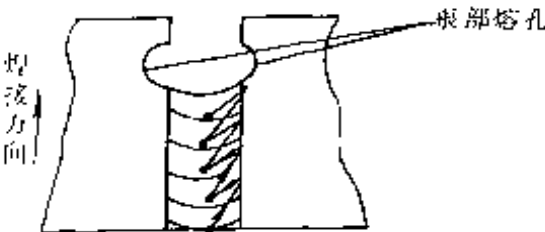
项目	内 容
引弧	<p>在定位焊缝上划擦引弧，焊至定位焊缝尾部时，以稍长的电弧（弧长约为 3.5mm）在该处摆动 2~3 个来回进行预热。当看到定位焊缝与坡口根部金属有“出汗”现象时，表明预热温度已合适，此时应立即压低电弧（弧长约为 2mm），待 1s 之后听到电弧穿透坡口而发出扑扑声，同时看到定位焊缝以及坡口根部两侧金属开始熔化并形成熔池，说明引弧工作结束，可以进行连弧焊接</p>
焊条角度	<p style="text-align: center;">板 平 焊</p>  <p>在焊接过程中，要始终让焊接电弧对准坡口间隙中间，并随着熔池温度变化而不断地变化焊条角度</p> <p style="text-align: center;">板 立 焊</p>  <p style="text-align: center;">自下而上焊接 始焊端 中间位置 终焊端</p> <p>在焊接过程中，焊条与两侧板成 90°，自下而上焊接，焊条与焊接方向始焊端成 65°~80°角，中间位置成 45°~60°角，终端焊缝处的温度已很高，为防止背面余高过大，可使角度变小为 20°~30°</p>

(续)

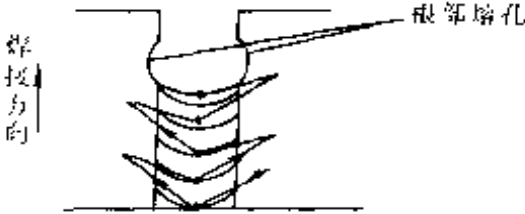
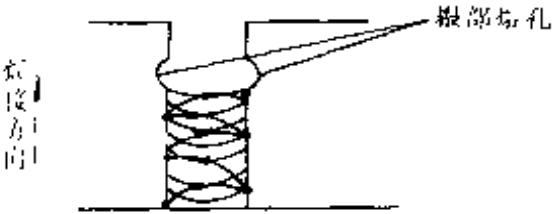
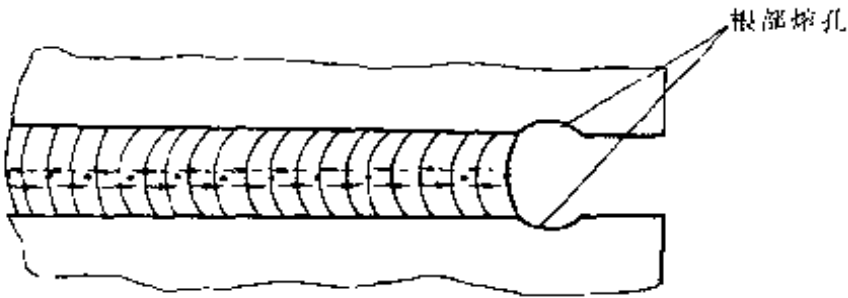
项目	内 容
焊	板 横 焊
条	<p>为防止背面焊缝产生咬边、未焊透缺陷,焊条与板下方角度为 <math>80^{\circ} \sim 85^{\circ}</math>。在横焊过程中还应注意电弧应指向横板对接坡口下侧根部,每次运条时,电弧在此处应停留 <math>1 \sim 1.5s</math>,让熔化的液态金属铺向上侧坡口,形成良好的根部成形</p>
角	板 仰 焊
度	<p>焊条引弧后采用短弧,并让电弧始终在对接板的间隙中间燃烧。焊条与焊接方向成 <math>70^{\circ} \sim 80^{\circ}</math> 角,焊接时尽量控制熔池温度应低些,以减少背面焊缝下凹</p>
运 条 方 法	板 平 焊
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 采用直线小摆动运条方法 焊条摆动应始终保持在钝边口两侧之间进行,每边熔化缺口控制在 <math>0.5mm</math> 为宜</li> <li>2. 进退清根法 焊接过程中运条采用前后进退操作,焊条向前进时为焊接,时间较长,向后退时为降低熔池金属温度,看清熔孔大小,为下个焊点的焊接做准备,这个过程时间较短</li> </ol>



(续)

项目	内 容
运 条 方 法	<p style="text-align: center;">板 平 焊</p> <div style="text-align: center;">  <p>3. 左右清根法 主要应用在焊接坡口间隙大的焊缝上。焊接过程中，电弧在坡口两侧交替进退清根</p>  </div>
	<p style="text-align: center;">板 立 焊</p> <p>1. 上下运弧法 电弧向上运弧时，用以降低熔池温度，不拉断电弧，是为了观察熔孔的大小，为电弧向下运弧焊接做准备。电弧向下运弧到根部熔孔时开始焊接。适用于焊接坡口间隙较小的焊缝</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p>2. 左右挑弧法 在焊接过程中将电弧左右挑起，用以分散热量，降低熔池温度，左右挑弧时，并不熄灭电弧，而是观察此时焊缝熔孔的大小，为电弧向下运弧焊接做准备。电弧向下运弧到根部熔孔时开始焊接。适用于焊接坡口间隙较小的焊缝</p>

(续)

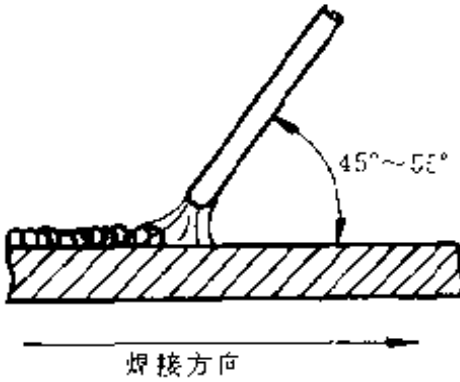
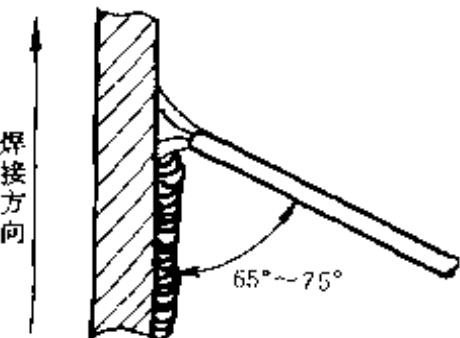
项目	内 容
	<p style="text-align: center;">板 立 焊</p> <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; margin-right: 10px;">焊接方向</div>  </div> <p>3. 左右凸摆法 在焊接过程中,焊接电弧在坡口间隙中左右交替焊接,以分散焊接电弧热量,使熔池温度不过热,防止液态金属因温度过高而外溢流淌。电弧左右摆动时,中间为凸形圆弧。此法在左右摆动过程中不熄弧,多用于间隙偏大的焊缝</p> <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; margin-right: 10px;">运条方向</div>  </div> <p style="text-align: center;">板 横 焊</p>
方法	<p>1. 直线进退清根法 在焊接过程中,焊条不做横向摆动,而是按一定的频率做直线进退运弧,电弧前进到根部熔孔时开始焊接,退弧运条是为了分散电弧热量,使熔池温度不过热,防止熔化金属因温度过高而外溢流淌形成焊瘤。此法在运弧过程中不熄弧,退弧运条一瞬间观察熔孔大小及位置,为进弧焊接做准备,多用于焊接间隙偏小的焊缝</p> <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;">  </div> <p>2. 直线运条法 在焊接过程中,焊条不做横向摆动,由始焊端起弧,以短弧直线运条,将焊条焊完为止,多用于焊接小间隙焊缝</p>



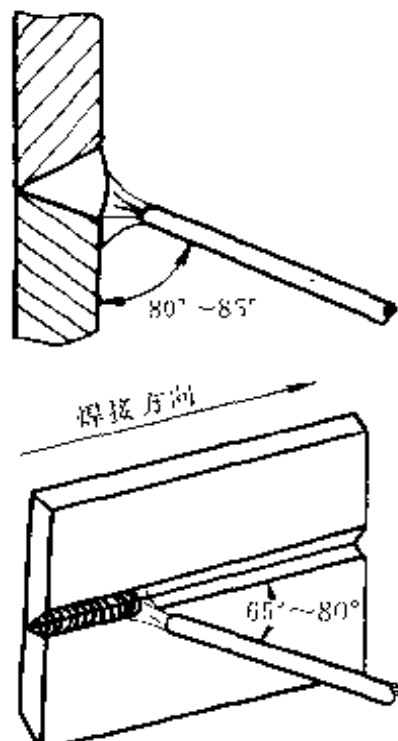
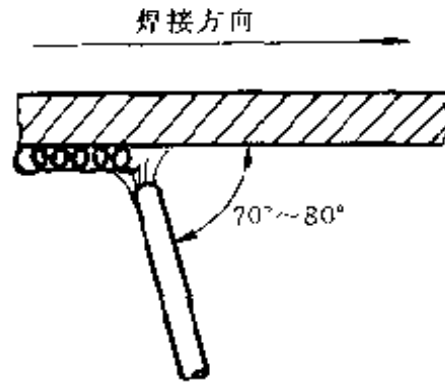
(续)

项目	内 容
运条方法	板 仰 焊
	<p>采用直线运弧左右略有小摆动法。在焊接过程中，为克服熔池液态金属下坠而造成凹陷，焊条应伸入坡口间隙，尽量向焊缝背面送电弧，把熔化的液态金属向上顶。为使坡口两侧钝边熔化，焊条应略有左右小摆动，主要作用有二：其一是分散电弧热量，防止熔池温度过高，液态金属流淌，造成背面焊缝内凹过大；其二：左右略有小摆动，使坡口左右钝边熔化均匀</p>
焊接要领	一看、二听、三准
	<p>看：要认真观察熔池的形状和熔孔的大小。在焊接过程中注意将熔渣与液态金属分开，熔池是明亮而清晰的，熔渣在熔池内是黑色的。熔孔的大小以电弧能将两侧钝边完全熔化并深入每侧母材 0.5~1mm 为好。熔孔过大，背面焊缝余高大，甚至形成焊瘤或烧穿。熔孔过小时，坡口两侧根部容易造成未焊透</p> <p>听：焊接过程中，电弧击穿试件坡口根部时会发出“噗噗”的声音，表明焊缝熔透良好。如果没有这种声音出现时，表明坡口根部没有被电弧击穿，继续向前焊接，会造成未焊透缺陷。所以，在焊接时，应认真听电弧击穿试件坡口根部发出的“噗噗”声音</p> <p>准：焊接过程中，要准确地掌握好熔孔形成的尺寸，即每一个新焊点应与前一个焊点搭接 2/3，保持电弧的 1/3 部分在试件背面燃烧，用于加热和击穿坡口根部钝边，形成新的焊点。与此同时，在控制熔孔形成的尺寸过程中，电弧应将坡口两侧钝边完全熔化，并准确地深入每侧母材 0.5~1mm</p>
收弧	<p>在需要更换焊条而熄弧之前，应将焊条下压，使熔孔稍微扩大后往回焊接 15~20mm，形成斜坡形再熄弧，为下根焊条引弧打下良好的接头基础</p>
接头方法	<p>接头方法有两种：冷接和热接</p> <p>冷接：更换焊条时，要把距弧坑 15~20mm 长斜坡上的焊渣敲掉并清理干净，这时弧坑已经冷却，起弧点应该在距弧坑 15~20mm 的斜坡上。电弧引燃后，将其引至弧坑处预热，当有“出汗”现象时，将电弧下压直至听到“噗噗”声后，提起焊条再向前继续施焊</p> <p>热接：当弧坑还处在红热状态时迅速更换焊条，在距弧坑 15~20mm 焊缝斜坡上起弧并焊至收弧处，这时，弧坑处的温度升高很快，当有“出汗”现象时，迅速将焊条向熔孔压下，听到“噗噗”声后，提起焊条继续向前施焊</p>

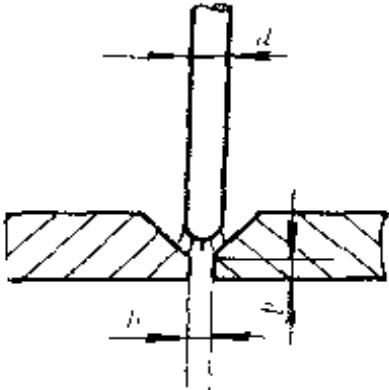
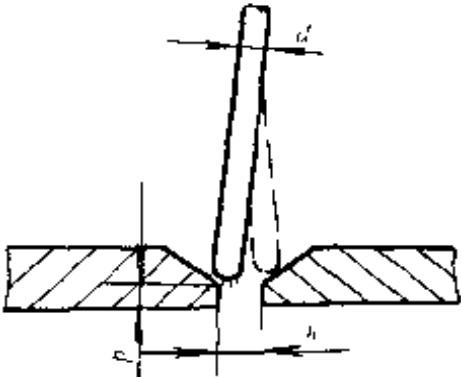
表 1-10 断弧焊打底层单面焊双面成形技法

项目	内 容
引弧	<p>在定位焊缝上划擦引弧，然后沿直线运条至定位焊缝与坡口根部相接处，以稍长的电弧（弧长约为 3.5mm）在该处摆动 2~3 个来回进行预热，当呈现“出汗”现象时，立即压低电弧（弧长约 2mm），听到“噗噗”的电弧穿透坡口发出的声音，同时还看到坡口两侧、定位焊缝与坡口根部相接金属开始熔化，形成熔池并有熔孔，说明引弧工作结束，可以进行断弧打底层焊接</p>
焊条角度	<p style="text-align: center;">板 平 焊</p> <div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 20px;"> <p>焊条与焊接方向夹角为 <math>45^{\circ}\sim 55^{\circ}</math>。坡口根部钝边大，夹角要大些；反之，夹角可选小些</p> </div> </div>
度	<p style="text-align: center;">板 立 焊</p> <div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 20px;"> <p>焊条与焊接方向夹角为 <math>65^{\circ}\sim 75^{\circ}</math>。始焊端温度较低，夹角应大些；终焊端温度较高，夹角可以小些</p> </div> </div>

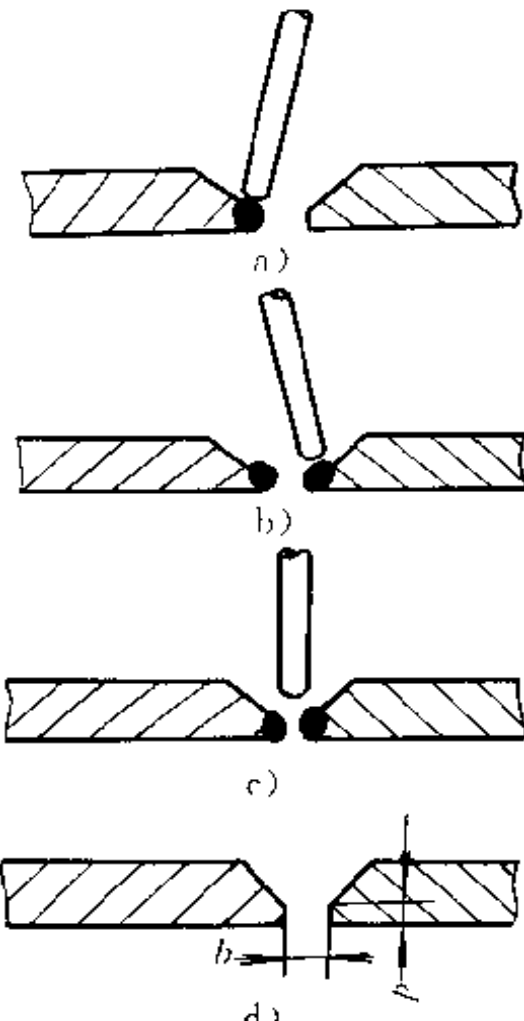
(续)

项目	内 容
焊条角度	<p style="text-align: center;">板 横 焊</p>  <p>焊条与焊接方向夹角为 <math>65^{\circ}\sim 80^{\circ}</math>，与焊件下板夹角为 <math>80^{\circ}\sim 85^{\circ}</math>。电弧应指向对接缝下侧板根部并停留 <math>1\sim 1.5s</math>，以防止根部未焊透</p>
	<p style="text-align: center;">板 仰 焊</p>  <p>焊条始终压紧在板间隙中间，与焊接方向成 <math>70^{\circ}\sim 80^{\circ}</math> 角，控制熔池温度低些，以减少背面焊缝下凹</p>

(续)

项目	内 容
运 条 方 法 及 特 点	<p style="text-align: center;">一点击穿法</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">  <div style="margin-left: 20px;"> <p>适用条件：  <math>d &gt; b</math>  <math>p = 0 \sim 0.5 \text{mm}</math></p> </div> </div> <p>电弧同时在坡口两侧燃烧，两侧钝边同时熔化，然后迅速熄弧，在熔池将要凝固时，又在灭弧处引燃电弧、击穿、停顿，周而复始重复进行</p> <p>优点：熔池始终是一个、一个叠加的集合。熔池在液态存在时间较长，冶金反应较充分，不易出现夹渣、气孔等缺陷</p> <p>缺点：熔池温度不易控制。温度低，容易出现未焊透；温度高，背面余高过大，甚至出现焊瘤</p>
	<p style="text-align: center;">二点击穿法</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">  <div style="margin-left: 20px;"> <p>适用条件：  <math>d \leq b</math>  <math>p = 0 \sim 1 \text{mm}</math></p> </div> </div> <p>电弧分别在坡口两侧交替引燃，左侧钝边给一滴熔化金属，右侧钝边也给一滴熔化金属，依次循环</p> <p>这种方法比较容易掌握，熔池温度也容易控制，钝边熔合良好，但是，由于焊道是两个熔池叠加形成，熔池反应时间不太充分，使气泡及熔渣上浮受到一定限制，容易出现夹渣、气孔等缺陷，如果熔池的温度控制在前一个熔池尚未凝固，对称侧的熔池就已形成，两个熔池能充分叠加在一起共同结晶，就能避免产生气孔和夹渣</p>

(续)

项目	内 容
运条方法及特点	<p style="text-align: center;">三点击穿法</p>  <p>适用条件：  <math>b &gt; d</math>  <math>p = 0.5 \sim 1.5 \text{mm}</math></p> <p>电弧引燃后，左侧钝边给一滴熔化金属（图 a），右侧钝边给一滴熔化金属（图 b），中间间隙给一滴熔化金属（图 c）。依次循环</p> <p>这种方法比较适合根部间隙较大的情况，因为两焊点中间熔化金属较少，第三滴熔化金属补在中央是非常必要的。否则，在熔池凝固前析出气泡时，由于没有较多的熔化金属愈合孔穴，在背面容易出现冷缩孔缺陷</p>
	<p style="text-align: center;">一看、二听、三准、四短</p> <p>焊 接 要 领</p> <p>看：要认真观察熔池的形状和熔孔的大小，在焊接过程中注意分离熔渣与液态金属，熔池中液态金属明亮、清晰，而熔渣是黑色的。熔孔的大小以电弧能将坡口两侧钝边完全熔化，并深入每侧母材 0.5~1mm 为好，熔孔过大，背面焊缝余高过高，甚至形成焊瘤或烧穿，熔孔过小时，坡口两侧根部容易造成未焊透</p> <p>听：焊接过程中，电弧击穿试件坡口根部时，会发出“噗噗”的声音，这表明焊缝熔透良好。没有这种声音，表明坡口根部没被电弧击穿，继续往前焊接，则会造成未焊透缺陷。所以，焊接过程中，应认真听电弧击穿试件坡口根部发出的“噗噗”声音</p>

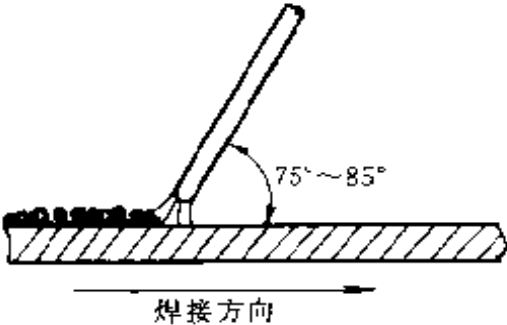
(续)

项目	内 容
	一看、二听、三准、四短
焊接要领	<p>准：焊接过程中，要准确掌握好熔孔形成的尺寸，每一个新焊点应与前一个焊点搭接<math>2/3</math>，保持电弧的<math>1/3</math>部分在试件的背面燃烧，以加热和击穿坡口根部钝边。当听到电弧击穿坡口根部发出的“噗噗”声时，迅速向熔池后方灭弧，灭弧的瞬间熔池金属凝固，形成一个熔透坡口的焊点</p> <p>短：灭弧与重新引燃电弧之间的时间间隔要短。间隔时间过长，熔池温度过低，熔池存在的时间较短，冶金反应不充分，容易造成气孔、夹渣等缺陷。间隔时间如果过短，熔池温度过高，会使背面焊缝余高过大，甚至出现焊瘤或烧穿</p>
收弧	在更换焊条之前，应将焊条下压，使熔池前方的熔孔稍微扩大些，然后往回焊 $15\sim 20\text{mm}$ ，形成斜坡状后再熄弧，为下根焊条引弧打下良好的接头基础
接头方法	<p>接头方法有冷接和热接两种方法</p> <p>冷接：换完新焊条，将距弧坑<math>15\sim 20\text{mm}</math>斜坡上的焊渣敲掉并清理干净。这时弧坑已经冷却，在距弧坑<math>15\sim 20\text{mm}</math>斜坡上起弧，电弧引燃后将其引至弧坑处预热，当坡口根部有“出汗”现象时，将电弧迅速下压直至听到“噗噗”声后，提起焊条继续向前施焊</p> <p>热接：当弧坑还处在红热状态时，在距弧坑<math>15\sim 20\text{mm}</math>的焊缝斜坡上起弧并焊至收弧处，这时弧坑温度已很高，当有“出汗”现象时，迅速将焊条向熔孔压下，听到“噗噗”声后，提起焊条正常向前焊接</p>

烧、使焊缝根部的塑性、韧性降低，因而在弯曲试验时，背弯不合格者居多。除了焊缝熔合不良、有气孔、夹渣、裂纹、未焊透等缺陷外，大部分是由于第一层填充层焊接电流过大，造成金属组织过烧、晶粒粗大、塑性、韧性降低所致。所以，填充层焊接也要限制焊接电流。各种位置板材对接填充层焊接要点见表 1-11。

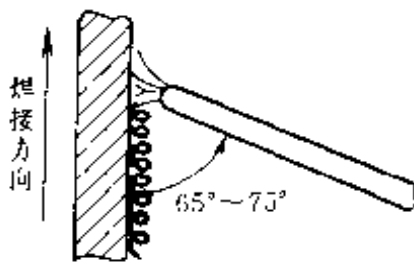
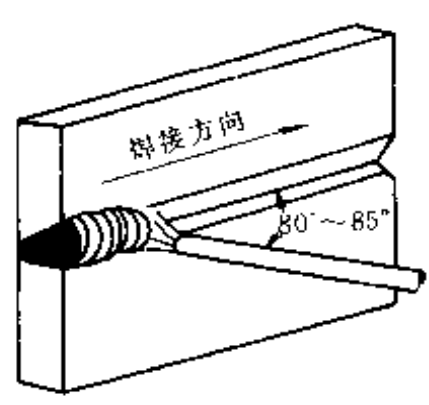
(3) 盖面层单面焊接双面成形技法 盖面层焊接和中间填充层相似，在焊接过程中，焊条角度应尽可能与焊缝垂直，以便在焊接电弧的直吹作用下，使盖面层焊缝的熔深尽可能大些，与最后一层填充层焊缝能够熔合良好。由于盖面层焊缝是金属结构上最外表的一层焊缝，除了要求足够的强度、气密性外，还要求焊缝成形美观、鱼鳞纹整齐，让人看了不仅有安全感，还要有恰似艺术品美感的享受。各种位置板材对接盖面层的焊接要点见表 1-12。

表 1 11 各种位置板材对接填充层的焊接要点

项目	内 容
	板 平 焊
清渣	对前一层焊缝要仔细清渣，特别是死角处的焊渣更要清理干净，防止焊缝产生火渣
引弧	在距焊缝起始端 10~15mm 处引弧，然后将电弧拉回到起始端施焊
运条方法	<p>月牙形或横向锯齿形运条</p> <p>焊条摆动到坡口两侧处要稍做停顿，使熔池和坡口两侧的温度均衡，防止填充金属与母材交界处形成死角，因清渣不彻底而造成焊缝夹渣</p> <p>最后一层填充层应比母材表面低 0.5~1.5mm，并且焊缝中心要凹而两边与母材交界处要高，使盖面层焊接时，能看清坡口，保证盖面焊缝边缘平直</p>
焊条角度	<p>焊条与焊接前进方向成 75°~85° 夹角</p>  <p style="text-align: center;">焊接方向</p>
	板 立 焊
清渣	对前一层焊缝仔细清渣，特别是焊点叠加处，焊缝与母材交界死角位置更要认真清理
引弧	在距焊缝起始端 10~15mm 处引弧后，将电弧拉回到始焊端施焊，每次接头或其它填充层也都按此方法操作，防止产生焊接缺陷
运条方法	<p>采用月牙形或横向锯齿形运条</p> <p>焊接过程中，焊条摆动到坡口两侧要稍做停顿，使熔池和坡口两侧的温度均衡，以利于良好的熔合及排渣，防止立焊缝两边产生死角</p> <p>最后一层填充层应比母材表面低 1~1.5mm，而且中间凹，两边与母材交界处要高，以便在盖面层焊接时，能看清坡口，保证盖面焊缝边缘平直</p>



(续)

项目	内 容	
	板 立 焊	
焊条角度	<p>焊条与试板下倾角为 <math>65^{\circ}\sim 75^{\circ}</math></p> 	
	板 横 焊	
清渣	应仔细清理前一层焊道之间、焊道与坡口两侧之间的焊渣，避免焊缝夹渣	
引弧	在距焊缝始焊端 $10\sim 15\text{mm}$ 处引弧，然后将电弧拉至始焊端开始焊接	
运条方法	采用直线运条法，焊接过程中不做任何摆动，直至每根焊条焊完焊道之间搭接要适量，以不产生深沟为准，为避免在焊道之间的深沟内产生夹渣缺陷，通常两焊道之间搭接 $1/3\sim 1/2$ ，最后一层填充高度距母材表面 $1.5\sim 2\text{mm}$ 为宜	
焊条角度	<p>为防止横焊填充层焊接操作不正确，使盖面层焊缝产生下坠现象，在焊接填充层时，焊条与上、下试板夹角要有区别</p>  <p>焊条与焊接方向夹角为 <math>80^{\circ}\sim 85^{\circ}</math></p>	



(续)

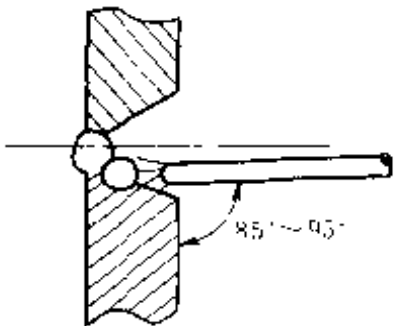
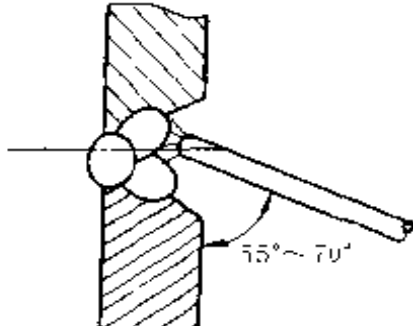
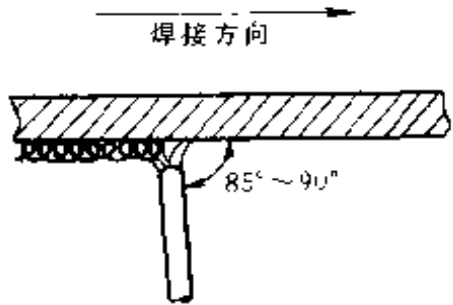
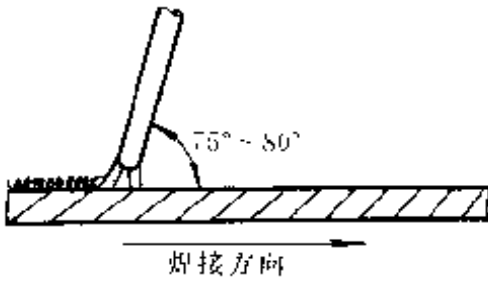
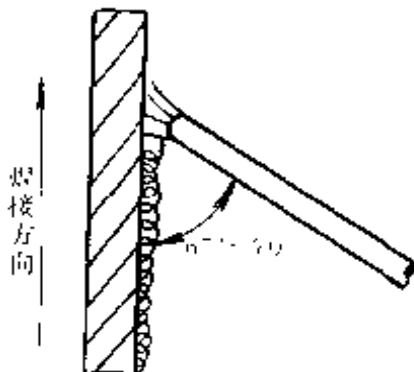
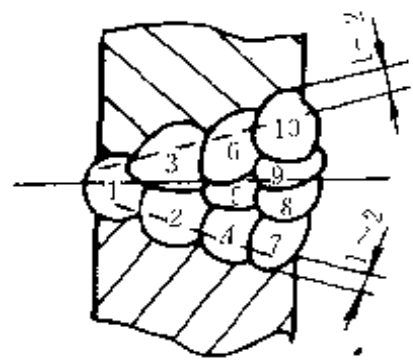
项目	内 容	
焊条角度	<p style="text-align: center;">板 横 焊</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>下侧焊道 焊条与下试板夹角为 <math>85^{\circ}\sim 95^{\circ}</math></p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>上侧焊道 焊条与下试板夹角为 <math>55^{\circ}\sim 70^{\circ}</math></p> </div> </div>	
清 渣	<p style="text-align: center;">板 仰 焊</p> <p>注意清除打底层焊缝与坡口两侧之间夹角处的焊渣，此外，填充层之间的焊渣、各填充层与坡口两侧间夹角处焊渣也要仔细清除，因为仰焊时，焊接电流偏小，电弧吹力很难将熔渣清除，所以，焊前的清渣效果对保证焊缝质量有很重要的作用</p>	
引 弧	<p>在距焊缝始焊端 <math>10\sim 15\text{mm}</math> 处引弧，然后将电弧拉回始焊处施焊。填充层的每次接头引弧也应如此</p>	
运 条 方 法	<p>采用短弧月牙形或锯齿形运条</p> <p>焊条在运条摆动时，在坡口两侧要稍作停顿，在坡口中间处运条动作稍快，以滑弧手法运条，这样焊接处温度较均衡，能够形成较薄的焊道，焊接飞溅及熔化金属流淌较少</p> <p>焊接速度要快些，使熔池形状始终呈椭圆形并保持其大小一致，这样焊缝成形美观。同时，均匀的鱼鳞纹也使清渣容易</p>	
焊 条 角 度	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="text-align: center; margin-right: 20px;">  </div> <div> <p>焊条与焊接方向 夹角为 <math>85^{\circ}\sim 90^{\circ}</math></p> </div> </div>	

表 1 12 各种位置板材对接盖面层的焊接要点

项目	内 容
	板 平 焊
清理	焊前仔细清除最后一层填充层与坡口两侧母材夹角处及填充层焊道间的焊渣以及焊道表面的油、污、锈、垢
引弧	在距焊缝始端 10~15mm 处引弧,然后将电弧拉回到始焊端施焊
运条方法	<p>采用月牙形运条或横向锯齿形运条</p> <p>焊接电流要适当小些,焊条摆动到坡口边缘时,要稳住电弧并稍做停留,注意控制坡口边缘,使之熔化 1~2mm 即可</p> <p>控制弧长及摆动幅度,防止焊缝发生咬边缺陷</p> <p>焊接速度要均匀一致,做到焊缝表面高低差符合技术文件要求</p>
焊条角度	 <p style="text-align: right;">焊条与焊接方向夹角为 75°~80°</p>
接头技术	<p>采用热接法</p> <p>更换焊条前,应向熔池稍填些液态金属,然后迅速更换焊条,在弧坑前 10~15mm 处引弧并将其引到弧坑处划一个小圆圈预热弧坑,待弧坑重新熔化,形成的熔池延伸进坡口两侧边缘各 1~2mm 时,即可进行正常焊接</p> <p>接头的位置很重要,如果接头部位离弧坑较远偏后,盖面层接头的焊缝就偏高;如果接头部位离弧坑较近偏前时,在盖面层焊缝接头部位会造成焊缝脱节</p>
	板 立 焊
清理	焊前仔细清除最后一层填充层与坡口两侧母材夹角处焊渣、填充层焊道间的焊渣以及焊道表面的油、污、锈、垢
引弧	在距焊缝始焊端 10~15mm 处引弧,然后将电弧拉回到始焊端施焊,更换焊条引弧时,也按此方法操作

(续)

项目	内 容
	板 立 焊
运条方法	<p>采用月牙形或横向锯齿形摆动                      焊条摆动到坡口边缘时, 要稍做停留, 并注意控制坡口边缘的母材熔化 1~2mm                      认真控制弧长及摆动幅度, 防止出现咬边缺陷                      焊条摆动的频率应比板对接平焊稍快, 焊接速度要均匀, 每个新熔池应覆盖前一个熔池 2/3~3/4</p>
焊条角度	 <p style="text-align: right;">焊条与试板下倾角为 65° ~70°</p>
接头技术	<p>采用热接法                      更换焊条前, 应对熔池稍填些液态金属, 然后迅速更换焊条, 在弧坑前 10~15mm 处引弧, 并将其引到弧坑处稍做预热处理, 当弧坑重新熔化, 形成的熔池延伸进坡口两侧边缘母材内各 1~2mm 时, 即可进行正常焊接</p>
	板 横 焊
清理	<p>焊前仔细清理填充层焊道与坡口两侧母材夹角处的焊渣、填充层焊道与焊道之间的焊渣以及焊道表面的油、污、锈、垢</p>
引弧	<p>在距焊缝始焊端 10~15mm 处引弧, 然后将电弧回拉到始焊端开始施焊</p>
运条方法	 <p>采用直线运条法, 不做任何摆动                      每层焊缝, 均由下板坡口始焊, 直线焊到终点。每层若干条焊道也是采取由下板焊起, 一道道焊缝叠加, 直至熔进上板母材 1~2mm                      焊接过程中, 采用短弧施焊, 控制熔池金属的流动, 防止产生“泪滴”现象</p>

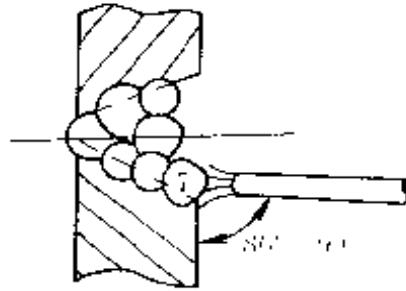
(续)

项目

内 容

板 横 焊

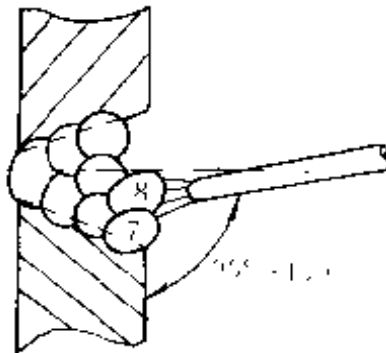
焊接各道焊缝时，应合理选择焊条与下板的夹角：



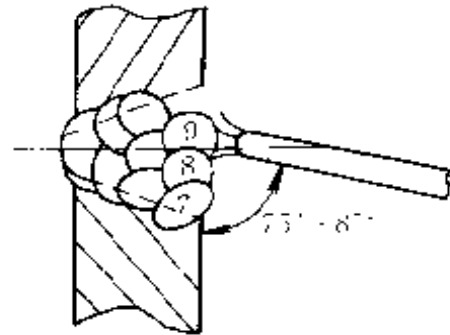
第 7 道焊缝

焊接第 7 道焊缝时，焊条与下板夹角为  $80^{\circ}\sim 90^{\circ}$ ，焊道  $1/3$  在母材上，约熔进母材  $1\sim 2\text{mm}$ ，其余  $2/3$  落在填充层上

焊  
条  
角  
度

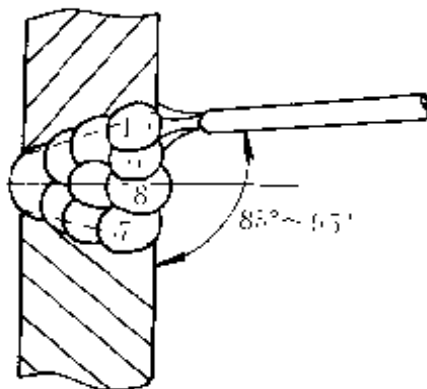


第 8 道焊缝



第 9 道焊缝

施焊焊缝中心线左右的焊缝时，焊条与下板夹角分别是： $95^{\circ}\sim 100^{\circ}$ （第 8 道焊缝）； $75^{\circ}\sim 85^{\circ}$ （第 9 道焊缝）。各与前一道焊缝搭接  $1/2$

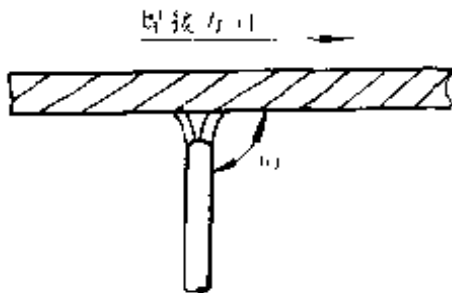


第 10 道焊缝

焊接与上板相接的盖面层焊道时（第 10 道焊缝），焊条与下板夹角为  $85^{\circ}\sim 95^{\circ}$ ，与前一道焊缝搭接  $1/2$ ，与母材搭接  $1/2$ ，熔进母材约  $1\sim 2\text{mm}$

盖面层的各条焊道应平直、搭接平整，与母材相交应圆滑过渡，无咬边

(续)

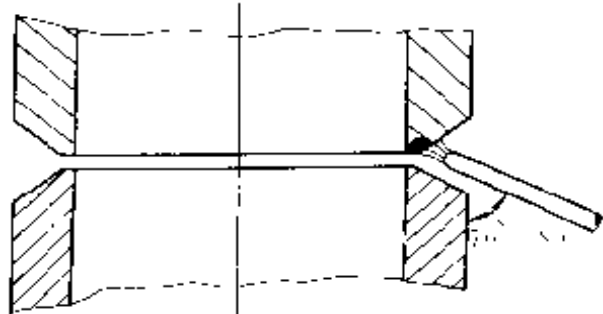
项目	内 容
	板 横 焊
接头技术	<p>采用热接法</p> <p>更换焊条前往熔池中稍填些液态金属，然后迅速更换焊条，在弧坑前 10~15mm 处引弧，并将电弧引到弧坑处稍做预热处理，当弧坑重新熔化并形成熔池后，即可以进行正常焊接</p>
	板 仰 焊
清理	<p>焊前仔细清理填充层焊缝与坡口两侧母材夹角处的焊渣及焊道与焊道叠加处的焊渣</p>
运条方法	<p>采用短弧月牙形或锯齿形运条</p> <p>合理选择焊接电流 焊条摆动到坡口边缘时，要稳住电弧并稍做停留，将坡口两侧边缘熔化并深入每侧母材 1~2mm</p> <p>控制弧长及摆动幅度，防止焊缝发生咬边及背面焊缝下凹过大等缺陷</p> <p>焊接速度要均匀一致，焊点与焊点搭接要均匀，焊缝余高差符合技术要求</p> <p>采用多道焊时，在焊接过程中，也可以用直线运条法，由起点焊至终点，其后各道焊缝也是由起点焊至终点，但是，后一道焊缝要熔合 1/3 的前一道焊缝，长焊缝可以采用分段焊法或退步焊法。两道焊缝相搭接 1/3，每道焊缝焊接前，应仔细清除焊道上的焊渣</p>
焊条角度	<div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: right;">焊条与焊接方向的夹角为 <math>90^\circ</math></p>
接头技术	<p>采用热接法</p> <p>更换焊条前，往熔池中稍填些液态金属，然后迅速更换焊条，在弧坑前 10~15mm 处引弧，并将其引至弧坑处划一个小圆圈预热，当弧坑重新熔化，形成的熔池延伸进坡口两侧边缘内各 1~2mm 时，即可进行正常焊接</p>

## 2. 小直径管对接单面焊双面成形技法

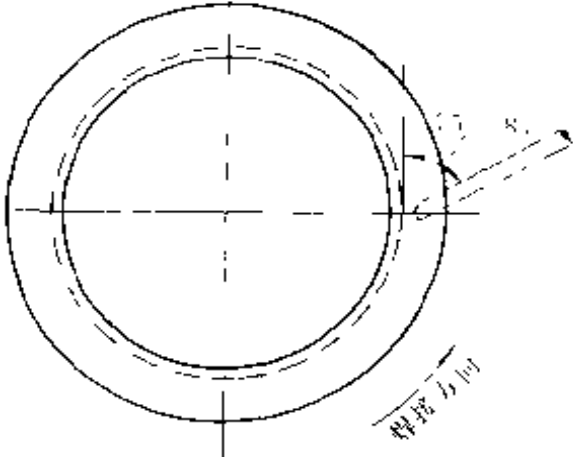
在锅炉、压力容器制造或安装过程中,有大量的 $\phi 25 \sim \phi 60 \text{mm}$ 水冷壁管、烟管、对流管等需要进行全位置对接焊。根据锅炉工作时蒸发量的大小,压力容器工况及压力等级的区别,这些小直径管在工作中都承受一定的温度和压力,所以,管壁厚度大多在 $2.5 \sim 9 \text{mm}$ 。焊接位置有管轴中心线水平固定、垂直固定、 $45^\circ$ 倾斜固定及管子转动平焊等。为了使管焊缝在工作中安全可靠,要求焊接时,焊缝能达到单面焊双面成形。采用的焊接方法,可以是焊条电弧焊打底,然后再用焊条电弧焊盖面焊接,也可以用于工钨极氩弧焊打底,然后再用焊条电弧焊盖面焊接。具体焊接技法,简介如下:

(1) 小直径管对接垂直固定焊焊接技法 中心线垂直固定管的焊接,是一条处于水平位置的环缝,类似于平板对接横焊,所不同的是管子的横焊缝是有弧度的,焊条在焊接过程中是随弧度运条焊接的,小直径管垂直固定焊打底层与盖面层的焊接操作技法分别见表 1-13 和表 1-14。

表 1-13 小直径管对接垂直固定焊条电弧焊打底的焊接操作技法

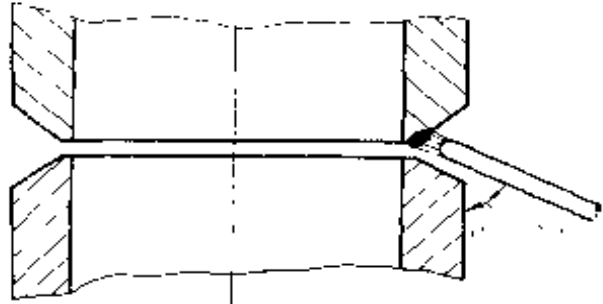
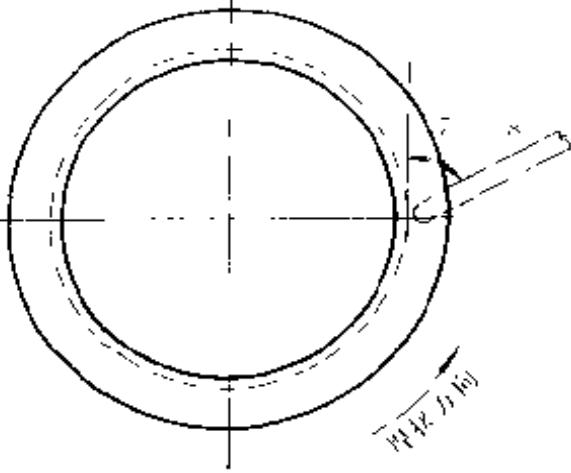
项目	内 容
引弧	<p style="text-align: center;">连 弧 焊</p> <p>起弧位置应在坡口的上侧,当上侧钝边熔化后,再把电弧引至钝边的间隙处,这时焊条应往下压,焊条与下管壁夹角可适当增大,当听到电弧击穿坡口根部,发出“噗噗”的声音后并且钝边每侧熔化<math>0.5 \sim 1 \text{mm}</math>,形成了第一个熔孔时,引弧工作完成</p>
焊条角度	 <p style="text-align: right;">焊条与下管壁夹角为<math>70^\circ \sim 80^\circ</math></p>

(续)

项目	内 容
焊条角度	 <p>焊条与焊点处管切线焊接方向夹角为 <math>75^{\circ}\sim 85^{\circ}</math></p>
运条方法	<p>焊接方向为从左向右, 采用斜椭圆形运条, 始终保持短弧施焊</p> <p>焊接过程中, 为防止熔池金属产生泪滴形下坠, 电弧在上坡口侧停留的时间应略长些, 同时要有 <math>1/3</math> 电弧通过坡口间隙在管内燃烧。电弧在下坡口侧只是稍加停留并有 <math>2/3</math> 的电弧通过坡口间隙在管内燃烧</p> <p>打底层焊道应在坡口正中偏下, 焊缝上部不要有尖角、下部不允许熔合不良等缺陷出现</p>
与定位焊缝接头	<p>施焊到定位焊缝根部时, 焊条要向根部间隙位置顶一下, 当听到“噗噗”声后, 将焊条快速运条到定位焊缝的另一端根部预热, 看到端部定位焊缝有“出汗”现象时, 焊条要往下压, 听到“噗噗”声后, 稍做停顿预热处理, 即可以仍用椭圆形运条继续焊接</p>
收弧	<p>当焊条接近始焊端起弧点时, 焊条在始焊端收口处稍做停顿预热, 看到有“出汗”现象时, 将焊条向坡口根部间隙处下压, 让电弧击穿坡口根部, 听到“噗噗”声后稍做停顿, 然后继续向前施焊 <math>10\sim 15\text{mm}</math>, 填满弧坑即可</p>
断 弧 焊	
引弧	<p>起弧位置在坡口的上侧, 电弧引燃后, 对起弧点处坡口上侧钝边进行预热, 上侧钝边熔化后, 再把电弧引至钝边的间隙处, 使熔化金属充满根部间隙。这时, 焊条向坡口根部间隙处下压, 同时焊条与下管壁夹角适当增大, 当听到电弧击穿根部发出“噗噗”的声音后, 钝边每侧熔化 <math>0.5\sim 1\text{mm}</math> 并形成第一个熔孔时, 引弧工作完成</p>



(续)

项目	内 容	
焊条角度		焊条与下管壁夹角为 $70^{\circ} \sim 80^{\circ}$
		焊条与焊接处的管切线夹角（沿焊接方向）为 $75^{\circ} \sim 85^{\circ}$
运各方法	<p>断弧焊单面焊双面成形有三种焊接手法：即一点焊法、二点焊法、三点焊法。当管壁厚为 <math>2.5 \sim 3.5\text{mm}</math>，根部间隙小于 <math>2.5\text{mm}</math> 时，由于管壁较薄，焊接多采用一点焊法；根部间隙大于 <math>2.5\text{mm}</math> 时，采用二点焊法。当管壁厚大于 <math>3.5\text{mm}</math>，根部间隙小于 <math>2.5\text{mm}</math> 时，采用一点焊法；根部间隙大于 <math>2.5\text{mm}</math> 时，可采用二点焊法；根部间隙大于 <math>4\text{mm}</math> 时，采用三点焊法。</p> <p>焊接方向是从左向右焊，逐点将熔化金属送到坡口根部，然后迅速向侧后方灭弧，灭弧动作要干净利落，不拉长弧，防止产生咬边缺陷。灭弧与重新引弧的时间间隔要短，灭弧频率以 <math>70 \sim 80</math> 次/min 为宜。灭弧后重新引弧的位置要准确，新焊点应与前一个焊点搭接 <math>2/3</math> 左右。</p> <p>焊接时注意保持焊缝熔池形状与大小基本一致，熔池中液态金属与熔渣要分离并保持清晰明亮，焊接速度保持均匀。</p>	



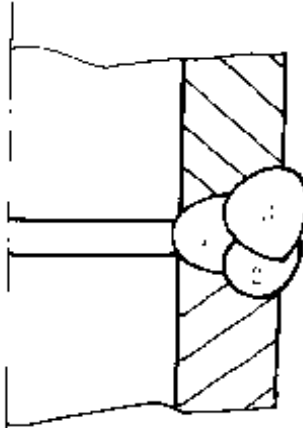
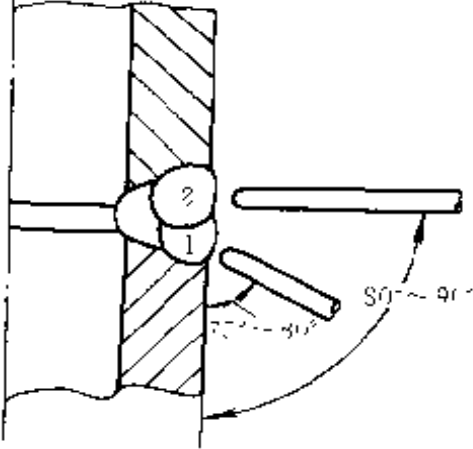
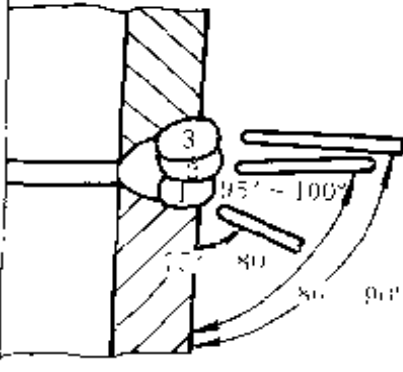
(续)

项目	内 容
与定位焊缝接头	<p>焊接过程中运条到定位焊缝根部时，焊条要向根部间隙位置顶送一下，当听到“噗噗”声音后，将焊条快速运条到定位焊缝的另一端根部预热，当端部定位焊缝有“出汗”现象时，焊条要在坡口根部间隙处向下压，听到“噗噗”声后，稍做停顿使用断弧焊手法继续焊接</p>
收弧	<p>当焊条接近始焊端时，焊条在始焊端收口处稍做停顿预热，看到有“出汗”现象时，将焊条向坡口根部间隙处下压，让电弧击穿坡口根部，听到“噗噗”声后稍做停顿，然后继续向前施焊 10~15mm，填满弧坑即可</p>
连弧焊、断弧焊	
更换焊条时的接头方法	<p>更换焊条时的接头方法有热接法和冷接法两种。打底层焊缝更换焊条时多用热接法，这样可以避免背面焊缝出现冷缩孔和未焊透、未熔合等缺陷。两种接头方法简介如下：</p> <p>热接法：在焊缝收弧处熔池尚保持红热状态时，迅速更换完焊条并在收弧斜坡前 10~15mm 处引弧，然后将电弧拉到斜坡上运条预热，在斜坡终端最低点处压低电弧，击穿坡口根部后，稍停一下，使钝边每侧熔化 0.5~1mm 并形成熔孔，即可以恢复原来的操作手法继续焊接。热接法换焊条动作应越快越好</p> <p>冷接法：焊缝熔池已经凝固冷却。焊接引弧前，在收弧处用角向砂轮或锉刀、锯条等修磨出斜坡，然后在斜坡前 10~15mm 处引弧并运条预热斜坡，在斜坡终端最低点处有“出汗”现象时，压低电弧击穿坡口根部，同时稍做停顿，使钝边每侧熔化 0.5~1mm 并形成熔孔，这时可恢复原来操作手法继续焊接</p>

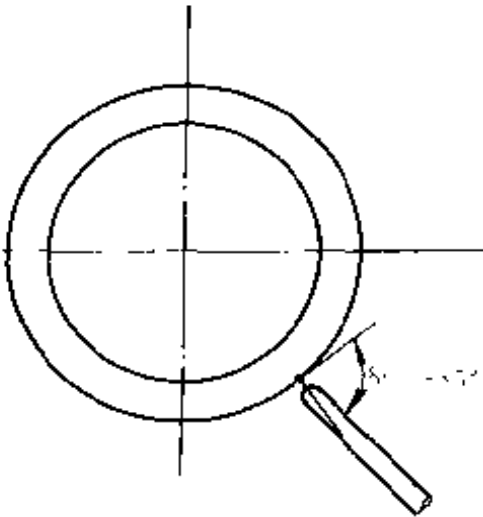
表 1-14 小直径管对接垂直固定焊条电弧焊  
盖面层焊接的操作要点

项目	内 容
清查	<p>仔细清理打底层焊缝与管子坡口两侧母材夹角处及焊点与焊点叠加处的焊渣</p>

(续)

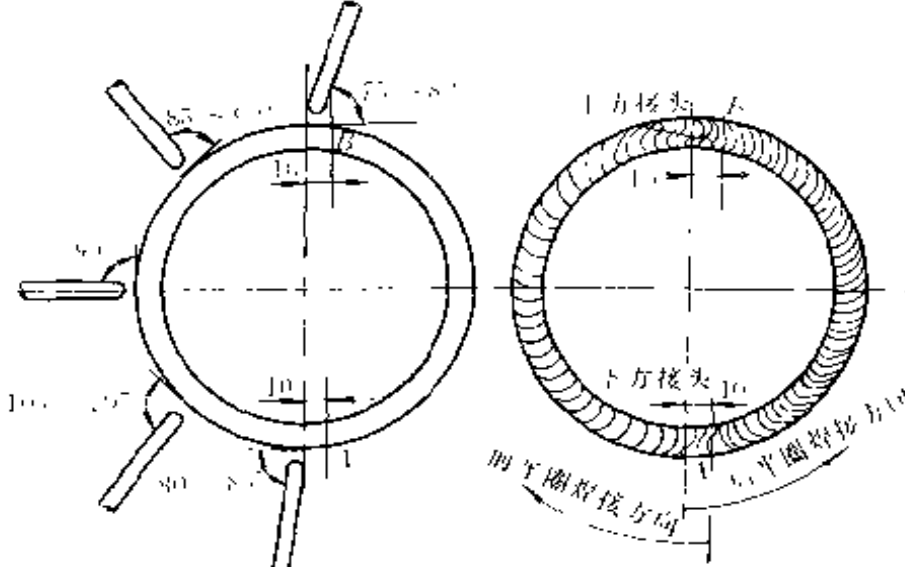
项目	内 容	
运 条 方 法 及 焊 条 角 度		<p>采用直线形运条，不做横向摆动，自左向右，根据管壁厚度确定的盖面层焊道数，一道道地从最下层焊缝开始焊接，直至最上层盖面层焊缝焊完并熔进上侧坡口边缘1~2mm为止</p> <p>每道焊缝与前一道焊缝搭接1/3左右，盖面层焊缝与管应有2~3道焊缝</p>
		<p>盖面层为两道焊缝时，焊条与管壁夹角：第1道焊缝，焊条与下管壁夹角为75°~80°；第2道焊缝，焊条与下管壁夹角为80°~90°</p>
		<p>盖面层有三道焊缝时，焊条与管壁夹角：第1道焊缝，焊条与下管壁夹角为75°~80°；第2道焊缝，焊条与下管壁夹角为95°~100°；第3道焊缝，焊条与下管壁夹角为80°~90°</p>

(续)

项目	内 容
运条方法及焊条角度	<p>所有盖面层焊道，焊条与焊点处管切线焊接方向夹角均为 <math>80^{\circ} \sim 85^{\circ}</math></p> <p>盖面层为三道焊缝时，每道焊缝应与前一道焊缝搭接 <math>1/2</math> 左右，与管件下坡口相接的第 1 道焊缝应熔化坡口边缘 <math>1 \sim 2\text{mm}</math> 为宜。第 2 道焊缝要比第 1 道焊缝速度稍慢些，使焊缝中部熔池凝固后形成凸起。第 3 道焊缝焊接速度应比第 2 道焊缝稍快，便于形成与上坡口边缘相接的圆滑过渡焊缝，并熔入上坡口边缘 <math>1 \sim 2\text{mm}</math></p> 
接头方法	<p>多采用热接法。在熔池前 <math>10\text{mm}</math> 处引弧后，将电弧引至收弧处预热，当预热处有“出汗”现象时，压低电弧按原来操作手法焊接</p>

(2) 小直径管对接水平固定焊焊接技法 水平固定管的焊接，是空间全位置焊接。为方便叙述施焊顺序，将水平固定管的横断面看做钟表表盘，划分成 3、6、9、12 等时钟位置。通常定位焊缝在时钟的 2 点、10 点位置，定位焊缝长度为  $10 \sim 15\text{mm}$ ，厚度为  $2 \sim 3\text{mm}$ ，焊接开始时，在时钟的 6 点钟位置起弧，把环焊缝分为两个半圈，即时钟 6-3-12 点位置和时钟 6-9-12 点位置。焊接过程中，焊条与焊接方向管切线夹角在不断地变化。小直径管对接水平固定打底层焊缝与盖面层焊缝焊接操作技法分别见表 1-15 和表 1-16。

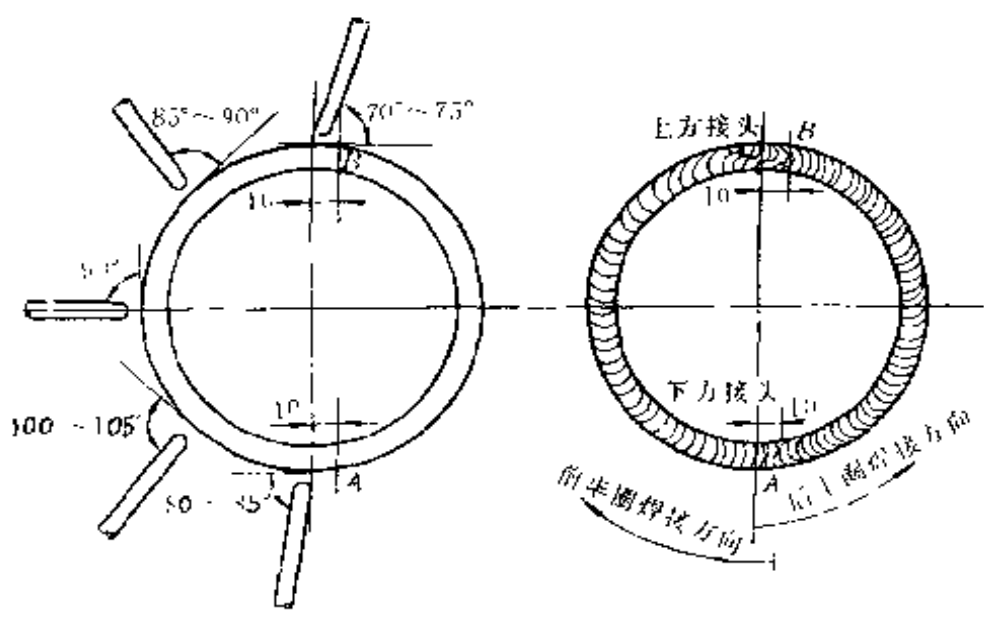
表 1-15 小直径管对接水平固定焊条电弧焊  
打底层焊接的操作技法

项目	内 容
连 弧 焊	
引 弧	<p>用碱性焊条焊接时，在起弧过程中，由于熔渣少、电弧中保护气体少等原因，使熔池保护效果不好，焊缝极容易出现密集气孔（多为<math>N_2</math>气孔）。为了防止这类现象出现，碱性焊条的引弧多采用划擦法</p> <p>在始焊处时钟 6 点位置的前方 10mm 处引弧后，把电弧拉至始焊处（时钟 6 点位置）进行电弧预热，当发现坡口根部有“出汗”现象时，将焊条向坡口间隙内顶送，听到“噗啾”声后，稍停一下，使钝边每侧熔化 1~2mm 并形成第一个熔孔，这时引弧工作完成</p> <p>碱性焊条许用电流比同直径的酸性焊条要小 10% 左右，所以引弧过程容易出现粘焊条现象。为此，引弧过程要求焊工手稳、技术高，引弧及回弧动作要快、准</p>
焊 条 角 度	<div style="text-align: center;">  </div> <p>起弧点（时钟 5~6 点位），焊条与焊接方向管切线夹角为 <math>80^\circ \sim 85^\circ</math></p> <p>在时钟 7~8 点位置，为仰焊爬坡焊，焊条与焊接方向管切线夹角为 <math>100^\circ \sim 105^\circ</math></p> <p>在时钟 9 点位置立焊时，焊条与焊接方向管切线夹角为 <math>90^\circ</math></p> <p>在立位爬坡焊（时钟 10~11 点位置）施焊过程中，焊条与焊接方向管切线夹角为 <math>85^\circ \sim 90^\circ</math></p> <p>在时钟 12 点位置焊接时（平焊），焊条与焊接方向管切线夹角为 <math>70^\circ \sim 75^\circ</math></p> <p>前半圈与后半圈相对应的焊接位置，焊条角度相同</p>

(续)

项目	内 容
运条方法	<p>电弧在时钟 6~5 点位置 A 处引燃后, 以稍长的电弧加热该处 2~3s, 待引弧处坡口两侧金属有“出汗”现象时, 迅速压低电弧至坡口根部间隙, 通过护目镜看到有熔滴过渡并出现熔孔时, 焊条稍微左右摆动并向后上方稍推, 观察到熔滴金属已与钝边金属连成金属小桥后, 焊条稍拉斥, 恢复正常焊接。焊接过程中必须采用短弧把熔滴送到坡口根部</p> <p>爬坡仰焊位置焊接时, 电弧以月牙形运动并在两侧钝边处稍做停顿, 看到熔化的金属已挂在坡口根部间隙并熔入坡口两侧各 1~2mm 时再移弧</p> <p>时钟 9~12 点位置, 3~12 点位置 (水平管立焊爬坡) 焊接手法与时钟 6~9, 6~3 点位置大体相同, 所不同的是管子温度开始升高, 加上焊接熔滴、熔池的重力和电弧吹力等作用, 在爬坡焊时容易出现焊瘤, 所以, 要保持短弧快速运条</p> <p>在管平焊位置 (时钟 12 点) 焊接时, 前半圈焊缝收弧点在 5 点</p>
与定位焊缝接头	<p>焊接过程中, 焊缝要与定位焊缝相接时, 焊条要向根部间隙位置顶一下, 当听到“噗噗”声后, 将焊条快速运条到定位焊缝的另一端根部预热, 看到根部定位焊缝有“出汗”现象时, 焊条要往根部间隙处压弧, 听到“噗噗”声后, 稍做停顿, 仍用原先焊接手法继续施焊</p>
收弧	<p>当焊接接近收弧处时, 焊条应该在收弧处稍停一下预热, 然后将焊条向坡口根部间隙处压弧, 让电弧击穿坡口根部, 听到“噗噗”声后稍做停顿, 然后继续向前施焊 10~15mm, 填满弧坑即可</p>
断 弧 焊	
引弧	<p>在时钟 6~5 点位置 (仰焊位) 引弧, 用长弧进行预热, 当焊条端部出现熔化状态时, 用腕力将焊条端部的第一、二滴熔滴甩掉。与此同时, 观察预热处有“出汗”现象时, 迅速而准确地将焊条熔滴送入始焊端 (时钟 5~6 点位置) 间隙, 稍做一下左右摆动的同时, 焊条向后上方稍微推一下, 然后向斜下方带弧、灭弧, 第一个熔池就这样形成了, 引弧工作结束</p>

(续)

项目	内 容
焊条角度	<p>起弧点(时钟5~6点位置)焊条与焊接方向管切线夹角为<math>80^{\circ}\sim 85^{\circ}</math></p> <p>仰位爬坡焊(时钟7~8点位置),焊条与焊接方向管切线夹角为<math>100^{\circ}\sim 105^{\circ}</math></p> <p>在时钟9点位置立焊时,焊条与焊接方向管切线夹角为<math>90^{\circ}</math></p> <p>在立位爬坡焊(时钟10~11点位置)施焊过程中,焊条与焊接方向管切线夹角为<math>85^{\circ}\sim 90^{\circ}</math></p> <p>在时钟12点钟位置焊接时(平焊),焊条与焊接方向管切线夹角为<math>70^{\circ}\sim 75^{\circ}</math></p> <p>前半圈与后半圈相对应的焊接位置,焊条角度相同</p> 
运条方法	<p>电弧在时钟6~5点位置A处引燃后,先以稍长的电弧加热该处2~3s,待引弧处坡口两侧金属有“出汗”现象时,迅速压低电弧至坡口根部间隙,通过护目镜看到有熔滴过渡并出现熔孔时,焊条稍微左右摆动并向后上方稍推一下,观察到熔滴金属已与钝边金属连成金属小桥后,焊条迅速向斜下方带弧、灭弧。这样,第一个熔池便形成了</p> <p>断弧焊每次接弧时,焊条要对准熔池前部的1/3左右处,接触位置要准确,使每个熔池覆盖前一个熔池2/3左右</p>



(续)

项目	内 容
运条方法	<p>灭弧动作要干净利落，不要拖泥带水，更不要拉长电弧，灭弧与接弧的时间间隔要适当，其中燃弧时间约 1s/次，断弧时间约 0.8s/次，灭弧频率大约为：仰焊和平焊区段 35~40 次/min、立焊区段 40~45 次/min</p> <p>焊接过程中采用短弧焊接，使电弧具有较强的穿透力，同时还要控制熔滴的过渡应尽量细小均匀，每一焊点填充金属不宜过多，防止熔池金属外溢和下坠</p> <p>焊接过程中，熔池的形状和大小要基本保持一致，熔池液态金属清晰明亮，熔孔始终深入每侧母材 1~2mm</p>
与定位焊缝接头	<p>焊接过程中，焊缝与定位焊缝相接时，焊条要向根部间隙位置顶送一下，当听到“噗噗”声后，将焊条快速运条到定位焊缝的另一端根部预热，看到端部定位焊缝有“出汗”现象时，焊条要往根部间隙处压弧，听到“噗噗”声后，稍做停顿，仍用原先焊接手法继续施焊</p>
收弧	<p>后半圈焊缝将要与前半圈的收弧处相接时，焊接电弧应在收弧处稍停一下预热，然后将焊条向坡口根部间隙处压弧，让电弧击穿坡口根部，听到“噗噗”声后稍做停顿，再继续沿斜坡向前焊 10~15mm，填满弧坑</p> <p>收尾处焊接时，由于此时接头处管壁温度已升高，灭弧时间应稍长一些，焊条熔滴送入要少一些、薄一些，严格控制熔池的温度，防止根部出现焊瘤或焊漏</p>
连弧焊、断弧焊	
更换焊条时的接头方法	<p>更换焊条时的接头方法有热接法和冷接法两种。打底层焊缝在更换焊条时多用热接法，这样可以防止背面焊缝出现冷缩孔和未焊透、未熔合等缺陷。两种接头方法简介如下：</p> <p>热接法：在焊缝收弧处熔池尚保持红热状态时，立即在收弧斜坡前 10~15mm 处引弧，将电弧拉至收弧斜坡上运条预热，并在斜坡的终端最低点处压低电弧击穿坡口根部，与此同时，使电弧稍停一下，视钝</p>

(续)

项目	内 容
更换焊条时的接头方法	<p>边每侧熔化 0.5~1mm 并形成熔孔时,再恢复原来操作手法继续焊接。</p> <p>热接法更换焊条的动作越快越好</p> <p>冷接:焊缝熔池已经冷却凝固,首先应在收弧处用角磨砂轮或锉刀、锯条等工具修磨出斜坡,然后在斜坡前 10~15mm 处引弧并运条预热斜坡,当运条到斜坡终端最低点,压低电弧击穿坡口根部,稍停一下,使钝边每侧熔化 0.5~1mm 并形成熔孔时,可按原先操作手法进行焊接</p>

表 1-16 小直径管对接水平固定焊条电弧焊  
盖面层焊接的操作要点

项目	内 容
清渣	仔细清理打底层焊缝与坡口两侧母材夹角处的焊渣、焊点与焊点叠加处的焊渣
运条方法	<p>在时钟 5~6 点位置(仰焊)引弧后,长弧预热仰焊部位,将熔化的第一、二滴熔滴甩掉(温度低,熔滴流动性不好),以短弧的方式向上送熔滴,采用月牙形运条或横向锯齿形运条法施焊。焊接过程中始终保持短弧,焊条摆至两侧时要稍做停顿,将坡口两侧边缘熔化 1~2mm,使焊缝金属与母材圆滑过渡,防止咬边缺陷</p> <p>焊接过程中,熔池始终保持椭球形状且大小一致,熔池明亮清晰。前半圈收弧时,要对弧坑稍填些熔化金属,使弧坑成斜坡状,为后半圈焊缝收尾创造条件</p> <p>用碱性焊条焊接盖面层时,始终用短弧预热、焊接,引弧技法采用划擦法</p>
焊条角度	由于根部打底层焊缝已焊完,盖面层焊缝与根部焊透否无关,主要技术问题是盖面层焊缝应成形良好,余高应符合技术规定,焊缝与母材圆滑过渡,无咬边。为此,焊条与管子焊接方向切线夹角应比打底层焊接稍大 5°左右。具体各焊接位置的焊条角度如下:



(续)

项目	内 容
焊条角度	<p>                         低焊位(时钟6~7点位置)焊条与焊接方向管切线夹角为<math>85^{\circ}\sim 90^{\circ}</math>                          仰位爬坡焊(时钟7~8点位置),焊条与焊接方向管切线夹角为<math>105^{\circ}\sim 110^{\circ}</math>                          立焊位置焊条与焊接方向管切线夹角为<math>95^{\circ}</math>                          立位爬坡焊(时钟10~11点位置)焊条与焊接方向管切线夹角为<math>90^{\circ}\sim 95^{\circ}</math>                          平焊位置焊条与焊接方向管切线夹角为<math>75^{\circ}\sim 80^{\circ}</math>                          前半圈焊接收弧时,对弧坑稍填些熔化金属,使弧坑形成斜坡状,为后半圈焊缝收尾创造条件。焊接后半圈之前,应把前半圈起头部位焊缝焊渣敲掉<math>10\sim 15\text{mm}</math>,焊缝收尾时注意填满弧坑                     </p>
接头方法	<p>                             盖面层焊接多采用热接法                              在熔池前<math>10\text{mm}</math>处引弧,将电弧引至熄弧处预热,当预热处开始熔化时,焊条以月牙形运条或横向锯齿形运条法施焊,始终保持短弧焊接                              焊接时,坡口两侧边缘应熔化<math>1\sim 2\text{mm}</math>,焊缝金属与母材应达到圆滑过渡,避免产生咬边缺陷                         </p>

## 第四节 焊 条

### 一、焊条的分类

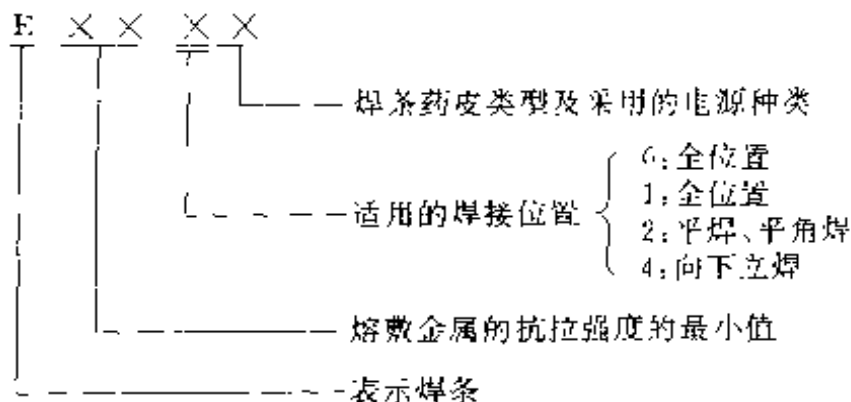
焊条是由焊芯(金属芯)和药皮组成的。在焊条电弧焊过程中,焊条一方面起传导电流和引燃电弧的作用;另一方面又作为填充金属,与熔化的母材形成焊缝。焊条按用途可以分为以下几类:碳钢焊条、低合金钢焊条、钼和铬钼耐热钢焊条、不锈钢焊条、堆焊焊条、低温钢焊条、铸铁焊条、镍及镍合金焊条、铜及铜合金焊条、铝及铝合金焊条、特殊用途焊条等。

### 二、焊条的型号

近年来,许多焊条标准已等效采纳国际先进标准,目前已推行的有碳钢焊条、低合金钢焊条、不锈钢焊条、铜及铜合金焊条等新标准。

#### 1. 碳钢焊条 (GB/T 5117 - 1995)

##### (1) 焊条型号表示方法



(2) 碳钢焊条型号划分 根据 GB/T 5117—1995《碳钢焊条》标准规定,碳钢焊条型号按熔敷金属的抗拉强度、药皮类型、焊接位置和焊接电流种类划分,见表 1-17。碳钢焊条型号编制方法如下:字母“E”表示焊;前两位数字表示熔敷金属抗拉强度的最小值,单位为  $\text{kgf}/\text{mm}^2$  ( $1\text{kgf}/\text{mm}^2 = 9.81\text{MPa}$ );第三位数字表示焊条的焊接位置,“0”及“1”表示焊条适用于全位置焊接,“2”表示适用于平焊及平角焊,“4”表示焊条适用于向下立焊;第三位和第四位数字组合时表示焊接电流种类及药皮类型,在第四位数字后面附加“R”表示耐吸潮焊条,附

加“M”表示对吸潮和力学性能有特殊规定的焊条，附加“-1”表示冲击性能有特殊规定的焊条。

表 1-17 碳钢焊条型号划分

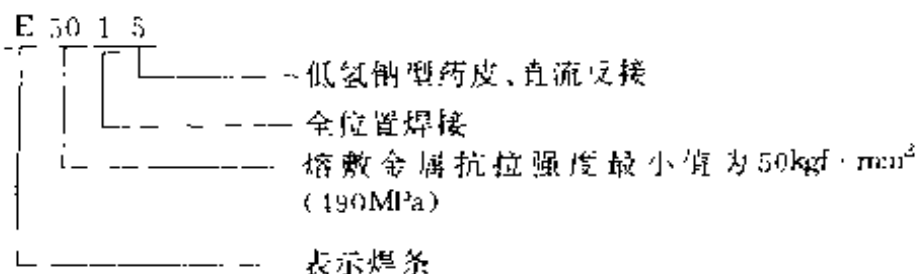
焊条 型号	药皮类型	焊接 位置	电流种类	力学性能			
				$\sigma_b$ /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	$\delta$ /%	
E43 系列 — 熔敷金属抗拉强度 $\geq 420\text{MPa}$ ( $43\text{kgf}/\text{mm}^2$ )							
E4300	特殊型	平、立、 仰、横	交流或直流正、反接	$\geq 420$	$\geq 330$	$\geq 22$	
E4301	钛铁矿型						
E4303	钛钙型						
E4310	高纤维钠型						
E4311	高纤维钾型						
E4312	高钛钠型						
E4313	高钛钾型						
E4315	低氢钠型						
E4316	低氢钾型						
E4320	氧化铁型	平角焊	交流或直流正接	$\geq 420$	不要求		
E4322		平	交流或直流正、反接				
E4323	铁粉钛钙型	平、平 角焊	交流或直流正、反接	$\geq 420$	$\geq 330$	$\geq 22$	
E4324	铁粉钛型					$\geq 17$	
E4327	铁粉氧化铁型					交流或直流正接	$\geq 22$
E4328	铁粉低氢型					交流或直流反接	
E50 系列 — 熔敷金属抗拉强度 $\geq 490\text{MPa}$ ( $50\text{kgf}/\text{mm}^2$ )							
E5001	钛铁矿型	平、立、 仰、横	交流或直流正、反接	$\geq 490$	$\geq 400$	$\geq 20$	
E5003	铁钙型						
E5007	高纤维钾型						
E5014	铁粉钛型					交流或直流正、反接	$\geq 17$

(续)

焊条 型号	药皮类型	焊接 位置	电流种类	力学性能		
				$\sigma_b$ /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	$\delta$ /%
E50 系列——熔敷金属抗拉强度 $\geq 490\text{MPa}$ (50kgf/cm <sup>2</sup> )						
E5015	低氢钠型	平、立、 仰、横	直流反接	$\geq 490$	$\geq 400$	$\geq 22$
E5016	低氢钾型		交流或直流反接			$\geq 22$
E5018	铁粉低氢型		直流反接			365 ~500
E5018M						
E5023	铁粉钛钙型	平、平 角焊	交流或直流正、反接	$\geq 490$	$\geq 400$	$\geq 17$
E5024	铁粉钛型		交流或直流正接			$\geq 22$
E5027	铁粉氧化铁型		交流或直流反接			
E5028	铁粉低氢型	平、立、仰、 立向下	交流或直流反接			
E5048						

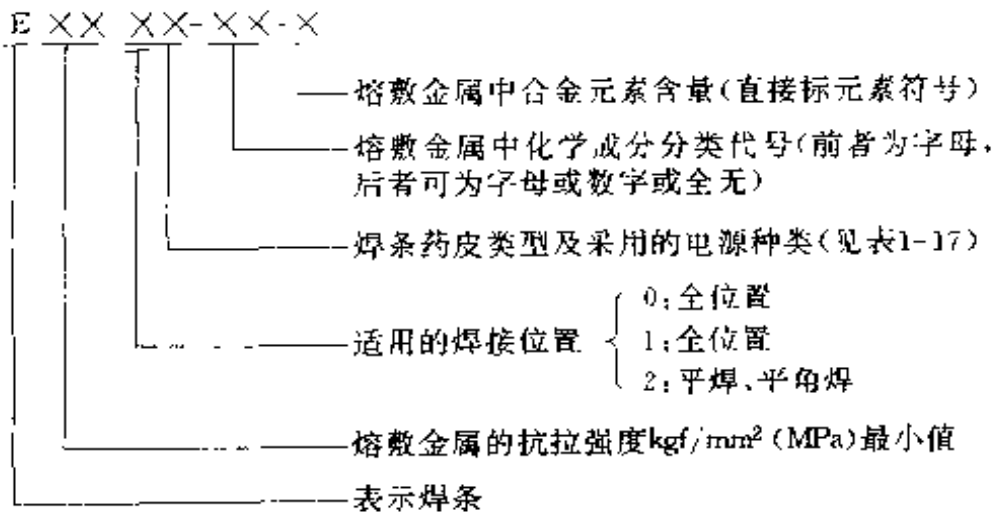
- 注:1. 焊接位置栏中文字含义:平——平焊,立——立焊,仰——仰焊,横——横焊,平角焊——水平角焊,立向下——立向下焊。
2. 直径不大于3.0mm的E5014、E5015、E5016和E5018焊条及直径不大于5.0mm的其它型号的焊条可适用于立焊和仰焊。
3. E4322型焊条适宜单道焊。

### (3) 碳钢焊条型号举例



### 2. 低合金钢焊条 (GB/T5118-1995)

(1) 焊条型号表示方法



(2) 低合金钢焊条型号划分 根据GB/T5118-1995《低合金钢焊条》标准规定,低合金钢焊条型号按熔敷金属的力学性能、化学成分、药皮类型、焊接位置和焊接电流种类划分,见表1-18。

表 1-18 低合金钢焊条型号划分

焊条 型号	药皮类型	焊接 位置	电流种类	力学性能		
				$\sigma_b$ /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	$\delta$ /%
E50 系列 — 熔敷金属抗拉强度 $\geq 490\text{MPa}$ ( $50\text{kgf}/\text{mm}^2$ )						
E5003-X	钛钙型	平、立、 仰、横	交流或直流正反接	$\geq 490$	$\geq 390$	$\geq 20$
E5010-X	高纤维素钠型		直流反接			
E5011-X	高纤维素钾型		交流或直流反接			
E5015-X	低氢钠型		直流反接			
E5016-X	低氢钾型		交流或直流反接			
E5018-X	铁粉低氢型					$\geq 22$
E5020 X	高氧化铁型	平角焊	交流或直流正接			
		平	交流或直流正、反接			
E5027-X	铁粉氧化铁型	平角焊	交流或直流正接			
		平	交流或直流正、反接			

(续)

焊条 型号	药皮类型	焊接 位置	电流种类	力学性能			
				$\sigma_b$ /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	$\delta$ /%	
E55 系列——熔敷金属抗拉强度 $\geq 540$ MPa(55kgf/mm <sup>2</sup> )							
E5500-X	特殊型	平、立、 仰、横	交流或直流正、反接	$\geq 540$	$\geq 440$	$\geq 16$	
E5503-X	钛钙型						
E5510-X	高纤维素钠型		直流反接				$\geq 17$
E5511-X	高纤维素钾型		交流或直流反接				
E5513-X	高钛钾型		交流或直流正、反接				$\geq 15$
E5515-X	低氢钠型		直流反接				
E5516-X	低氢钾型		交流或直流反接				$\geq 22$
E5518-X	铁粉低氢型						
E60 系列——熔敷金属抗拉强度 $\geq 590$ MPa(60kgf/mm <sup>2</sup> )							
E6000-X	特殊型	平、立、 仰、横	交流或直流正、反接	$\geq 590$	$\geq 490$	$\geq 14$	
E6010-X	高纤维素钠型		直流反接				$\geq 15$
E6011-X	高纤维素钾型		交流或直流反接				
E6013-X	高钛钾型		交流或直流正、反接				$\geq 14$
E6015-X	低氢钠型		直流反接				
E6016-X	低氢钾型		交流或直流反接				$\geq 15$
E6018-X	铁粉低氢型						
E6018-M		直流反接		$\geq 22$			
E70 系列——熔敷金属抗拉强度 $\geq 690$ MPa(70kgf/mm <sup>2</sup> )							
E7010-X	高纤维素钠型	平、立、 仰、横	直流反接	$\geq 690$	$\geq 590$	$\geq 15$	
E7011-X	高纤维素钾型		交流或直流反接				
E7013-X	高钛钾型		交流或直流正、反接				$\geq 13$
E7015-X	低氢钠型		直流反接				$\geq 15$

(续)

焊条 型号	药皮类型	焊接 位置	电流种类	力学性能		
				$\sigma_b$ /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	$\delta$ /%
E70 系列——熔敷金属抗拉强度 $\geq 690\text{MPa}$ (70kgf/mm <sup>2</sup> )						
E7016 X	低氢钾型	平、立、 仰、横	交流或直流反接	$\geq 690$	$\geq 590$	$\geq 15$
E7018-X	铁粉低氢型					
E7018-M			直流反接			$\geq 16$
E75 系列——熔敷金属抗拉强度 $\geq 740\text{MPa}$ (75kgf/mm <sup>2</sup> )						
E7515 X	低氢钠型	平、立、 仰、横	直流反接	$\geq 740$	$\geq 640$	$\geq 13$
E7516 X	低氢钾型		交流或直流反接			
E7518-X	铁粉低氢型					
E7518-M			直流反接			
E80 系列——熔敷金属抗拉强度 $\geq 780\text{MPa}$ (80kgf/mm <sup>2</sup> )						
E8015-X	低氢钠型	平、立、 仰、横	直流反接	$\geq 780$	$\geq 690$	$\geq 13$
E8016-X	低氢钾型		交流或直流反接			
E8018-X	铁粉低氢型					
E85 系列——熔敷金属抗拉强度 $\geq 830\text{MPa}$ (85kgf/mm <sup>2</sup> )						
E8515-X	低氢钠型	平、立、 仰、横	直流反接	$\geq 830$	$\geq 740$	$\geq 12$
E8516-X	低氢钾型		交流或直流反接			
E8518-X	铁粉低氢型					
E8518 M			直流反接			
E90 系列——熔敷金属抗拉强度 $\geq 880\text{MPa}$ (90kgf/mm <sup>2</sup> )						
E9015-X	低氢钠型	平、立、 仰、横	直流反接	$\geq 880$	$\geq 780$	$\geq 12$
E9016-X	低氢钾型		交流或直流反接			
E9018 X	铁粉低氢型					



(续)

焊条 型号	药皮类型	焊接 位置	电流种类	力学性能		
				$\sigma_b$ /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	$\delta$ %
E100 系列——熔敷金属抗拉强度 $\geq 980\text{MPa}$ (100kgf/mm <sup>2</sup> )						
E10015-X	低氢钠型	平、立、 仰、横	直流反接	$\geq 980$	$\geq 880$	$\geq 12$
E10016-X	低氢钾型		交流或直流反接			
E10018 X	铁粉低氢型					

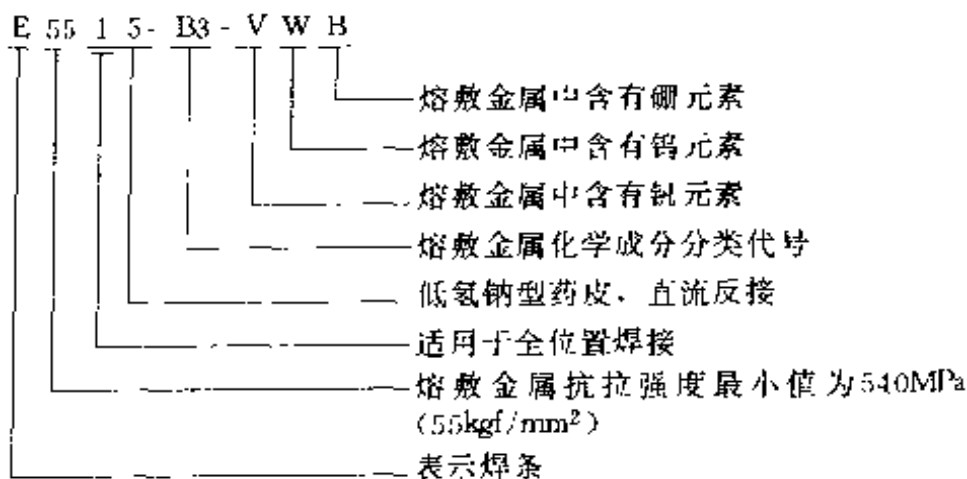
注：1. 后缀字母 X 代表熔敷金属化学成分分类代号 A1、B<sub>1</sub>、B<sub>2</sub> 等，详见标准。

2. 焊接位置栏中文字含义：平——平焊，立——立焊，仰——仰焊，横——横焊，平角焊——水平角焊。

3. 直径不大于 4.0mm 的 EXX15 X、EXX16 X 及 EXX18-X 型焊条及直径不大于 5.0mm 的其它型号焊条可适用于立焊和仰焊。

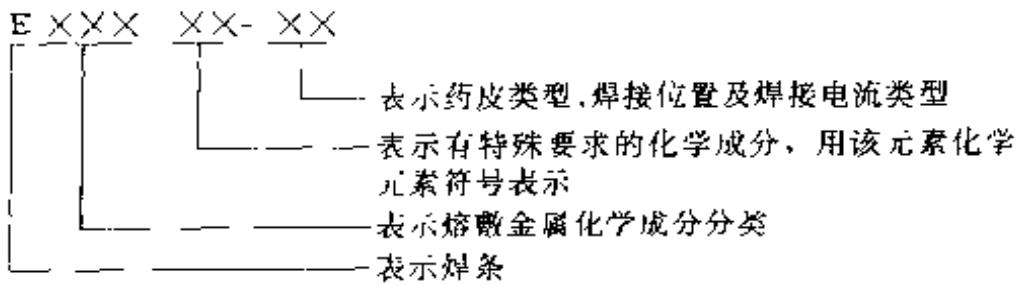
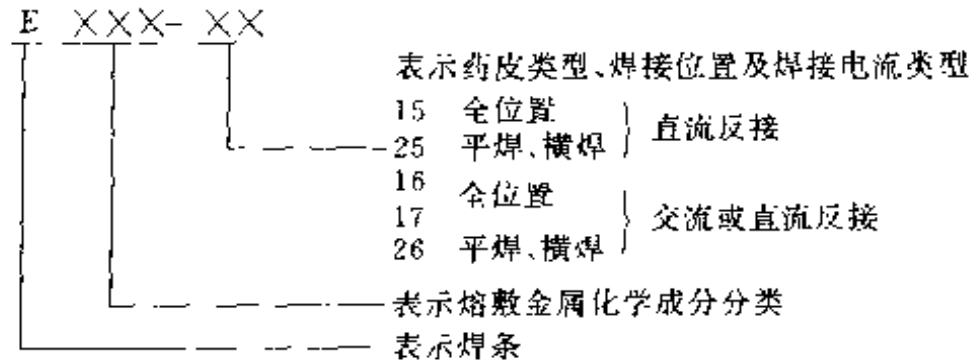
4. 力学性能栏中符号含义： $\sigma_b$ ——抗拉强度， $\sigma_{0.2}$ ——屈服强度， $\delta$ ——伸长率。

### (3) 低合金钢焊条型号举例



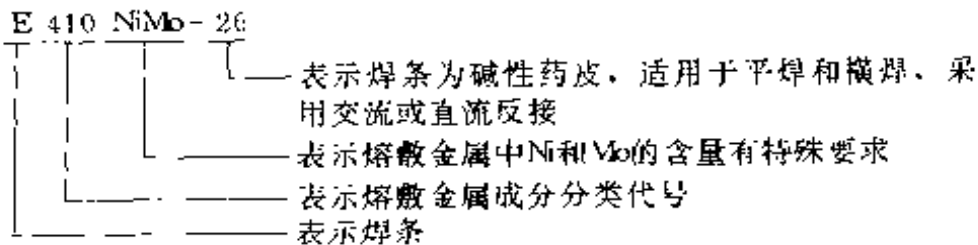
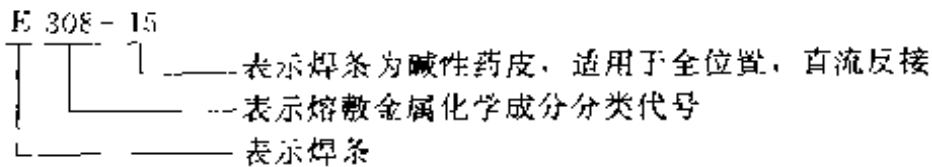
## 3. 不锈钢焊条 (GB/T983—1995)

### (1) 焊条型号表示方法



与 GB983- 85 焊条表示方法相比，原来型号直接以熔敷金属中碳、铬、镍平均含量表示。而现在则以代号表示，该代号与美国、日本等工业发达国家的钢材的牌号相同，世界上大多数工业国家都将不锈钢焊条型号与不锈钢材代号相一致，这样有利于焊条的选择和使用，也便于进行国际交往。

(2) 不锈钢焊条型号举例



4. 堆焊焊条 (GB984-85)

(1) 焊条型号及表示方法

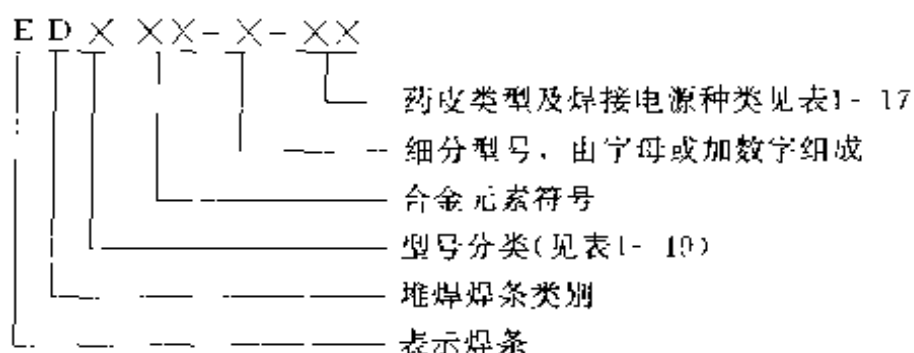
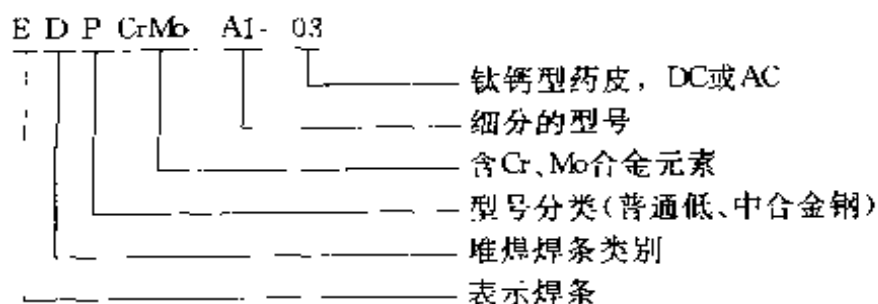


表 1-19 堆焊焊条型号与堆焊成分类型

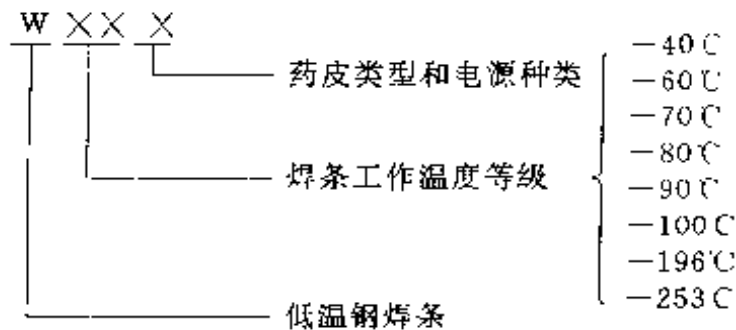
型号分类	熔化金属化学成分组成类型	对应焊条牌号
EDPXX-XX	普通低、中合金钢	D10X~24X
EDRXX-XX	热强合金钢	D30X~49X
EDCrXX-XX	高铬钢	D50X~59X
EDMnXX-XX	高锰钢	D25X~29X
EDCrMnXX-XX	高铬锰钢	D50X~59X
EDCrNiXX-XX	高铬镍钢	D50X~59X
EDDXX-XX	高速钢	D30X~49X
EDZXX-XX	合金铸铁	} D60X~69X
EDZCrXX-XX	高铬铸铁	
EDCoCrXX-XX	钴基合金	D80X~89X
EDWXX-XX	碳化钨	D70X~79X
EDTXX-XX	特殊型	D00X~09X

(2)堆焊焊条型号举例:

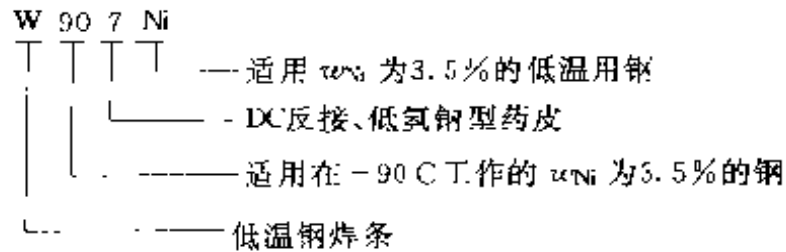


5. 低温钢焊条

(1) 焊条牌号表示方法

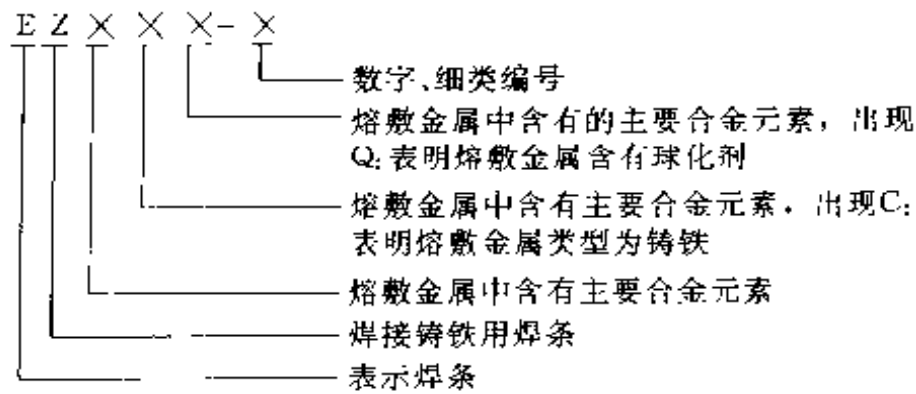


(2) 低温钢焊条牌号举例

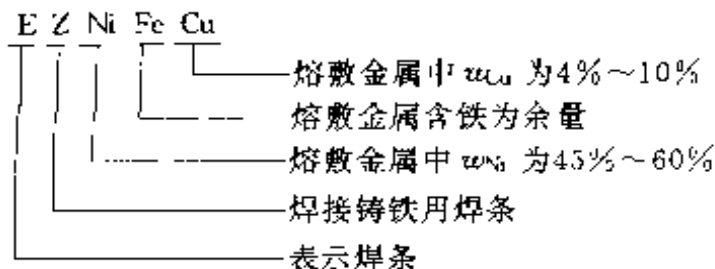


6. 铸铁焊条 (GB10044-88)

(1) 焊条型号表示方法

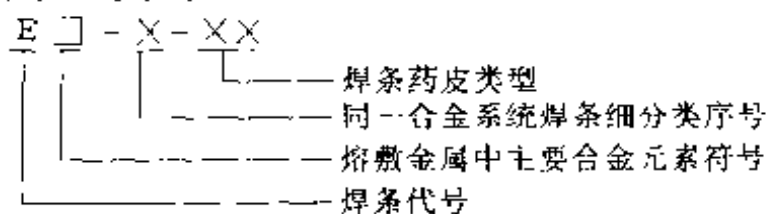


(2) 焊条型号举例

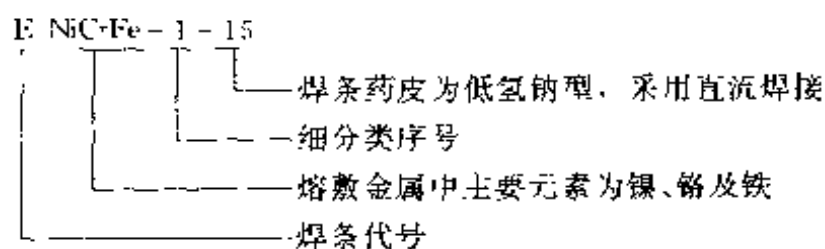


## 7. 镍及镍合金焊条(GB/T13814-92)

## (1) 焊条型号表示方法

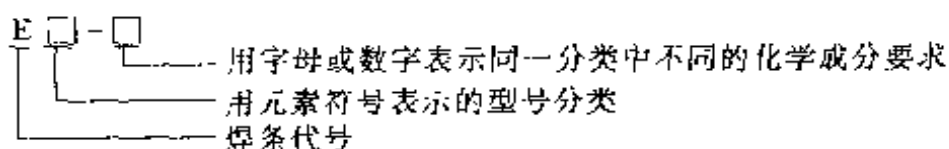


## (2) 焊条型号举例



## 8. 铜及铜合金焊条(GB/T3670-1995)

## (1) 焊条型号表示方法

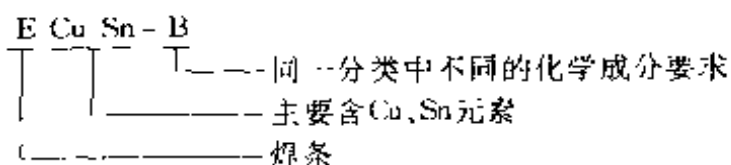


铜及铜合金焊条型号、牌号对照详见表 1-20。

表 1-20 铜及铜合金焊条型号、牌号对照

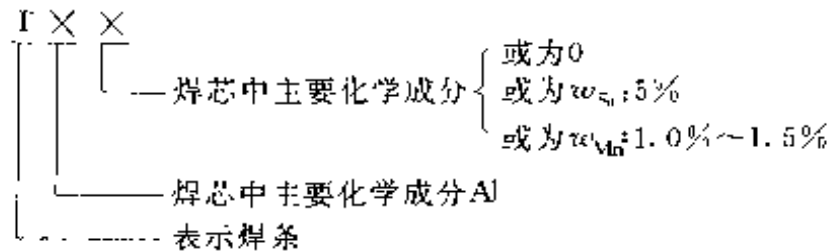
型 号	牌 号
ECu	T107
ECuSi-B	T207
ECuSn-B	T227
ECuAl-C	T237
ECuNi-B	T307

## (2) 焊条型号举例

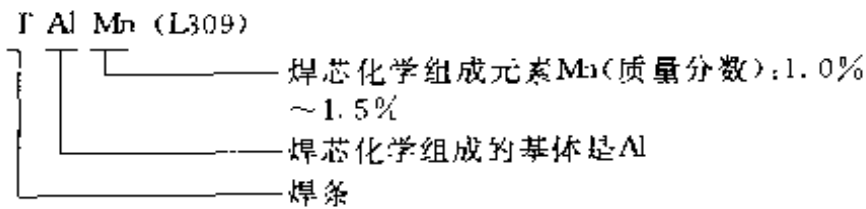


9. 铝及铝合金焊条 (GB3669 83)

(1) 焊条型号表示方法



(2) 焊条型号举例



10. 特殊用途焊条

该焊条现有 6 个品种, 详见表 1-21。

表 1-21 特殊用途焊条

牌 号	焊条名称	药皮类型	焊接电流	主要用途
TS202	水下电焊条	钛钙型	直 流	一般结构钢的水下焊接
TS203	水下电焊条	钛钙型	直 流	一般结构钢的水下焊接
TS304	水下割条	氧化铁型	直 流	用于水下切割
TS404	开槽割条	氧化铁型	交直流	铸铁件焊补前开坡口用
TS500	管状焊条	锰 型	交直流	适合中厚板电渣焊
TS607	铁锰铝焊条	低氢型	直 流	高温抗硫腐蚀含铝钢焊接
TSJ421	碳钢焊条	钛钙型	交直流	碳钢薄板
TSJ422	碳钢焊条	钛钙型	交直流	碳钢薄板
TSA102	不锈钢焊条	钛钙型	交直流	不锈钢薄板

三、焊条的选用原则

选用焊条是焊接准备工作中很重要的一个环节。选用焊条时应遵

循以下基本原则：

(1) 焊缝金属的使用性能要求 对于结构钢焊件，在同种钢焊接时，按与钢材抗拉强度等强的原则选用焊条；异种钢焊接时，按强度较低一侧的钢材选用；耐热钢焊接时，不仅要考虑焊缝金属室温性能，更主要的是根据高温性能进行选择；不锈钢焊接时，要保证焊缝成分与母材成分相适应，进而保证焊接接头的特殊性能；对于承受动载荷的焊缝，则要选用熔敷金属具有较高冲击韧度的焊条；对于承受静载荷的焊缝，只要选用抗拉强度与母材相当的焊条就可以了。

(2) 考虑焊件的形状、刚度和焊接位置等因素选用焊条 结构复杂、刚度大的焊件，由于焊缝金属收缩时，产生的应力大，则应选用塑性较好的焊条；同一种焊条，在选用时不仅要考虑力学性能，还要考虑焊接接头形状的影响，因为，当焊接对接焊缝时，强度和塑性适中的话，焊接角焊缝时，强度就会偏高而塑性就会偏低；对于焊接部位难以清理干净焊件，选用氧化性强的，对铁锈、油污等不敏感的酸性焊条，更能保证焊缝的质量。

(3) 考虑焊缝金属的抗裂性 焊件刚度较大，母材中碳、硫、磷含量偏高或外界温度偏低时，焊件容易出现裂纹，焊接时最好选用抗裂性较高的碱性焊条。

(4) 考虑焊条操作工艺性 焊接过程中，电弧应当稳定，飞溅少，焊缝成形美观，脱渣容易，而且适用于全位置焊接。为此，尽量选用酸性焊条，但是首先得保证焊缝的使用性能和抗裂性要求。

(5) 考虑设备及施工条件 在没有直流电焊机的情况下，不能选用没有特别加稳弧剂的低氢型焊条；当焊件不能翻转而必须进行全位置焊接时，则应选用能适合各种条件下空间位置焊接的焊条；在密闭的容器内进行焊接时，除考虑加强通风外，还要尽可能地避免使用碱性低氢型焊条，因为这种焊条在焊接过程中会放出大量有害气体和粉尘。

(6) 考虑经济合理 在同样能保证焊缝性能要求的条件下，应当选用成本较低的焊条，如钛铁矿型焊条的成本比钛钙型焊条低得多，在保证性能前提下，应选用钛铁矿型焊条。



## 第五节 焊条电弧焊设备

### 一、焊条电弧焊对焊机的要求

为使焊条电弧焊过程电弧燃烧稳定,不发生断弧,对焊条电弧焊用焊机提出下列基本要求:

1) 为满足引燃焊接电弧要求,空载电压一般在 80~90V (旋转式直流焊机空载电压最大不超过 100V,该产品现以淘汰)。

2) 能承受焊接回路短时间的持续短路,要求焊机能限制短路电流值,使之不超过焊接电流的 50%,防止焊机因短路过热而烧坏。

3) 具有良好的动特性。短路时,电弧、电压等于零,要求恢复到工作电压的时间不超过 0.05s,与此同时,要求短路电流的上升速度应在 15~180kA/s。

4) 具有足够的电流调节范围和功率,以适应不同的焊接需要。

5) 使用和维修方便。

### 二、焊机的种类

焊条电弧焊用焊机按电源的种类可分为交流弧焊机和直流弧焊机两大类。其中直流弧焊机按变流的方式不同又分为:弧焊整流器、逆变弧焊机和旋转式直流弧焊发电机(现已淘汰)等。各类焊机的型号及技术数据见表 1-22、表 1-23 和表 1-26。

表 1-22 常用交流弧焊变压器的型号及技术数据

主要技术数据	同体式	动 铁 心 式		
	BX-500 (BA-500)	BX1-160	BX1-250	BX1-400
额定焊接电流/A	500	160	250	400
电流调节范围/A	150~500	32~160	50~250	80~400
一次电压/V	380	380	380	380
额定空载电压/V	80	80	78	77
工作电压/V	30	21.6~27.8	22.5~32	24~39.2
额定一次电流/A	15	—	—	—

(续)

主要技术数据	同体式	动 铁 心 式		
	BX-50C (3A-50C)	BX1 160	BX1 250	BX1-400
额定输入容量/kVA	40.5	13.5	20.5	31.1
额定负载持续率/%	60	60	60	60
额定焊接电流时电流衰减时间/s	5~15	—	—	—
外形尺寸 $\frac{A}{\text{mm}} \times \frac{B}{\text{mm}} \times \frac{C}{\text{mm}}$	570×810 ×1100	587×325 ×680	600×380 ×750	640×390 ×780
质 量/kg	—	93	116	144
用 途	焊条电弧 焊、电弧切割 电源	焊条电弧 焊电源,适用 于1~8mm 厚低碳钢板 的焊接	焊条电弧 焊电源,适用 于中等厚度 低碳钢板的 焊接	焊条电弧 焊电源,适用 于中等厚度 低碳钢板的 焊接

主要技术数据	动铁分 磁 式	动 圈 式			
	BX1 500	BX3-250	BX3-300	BX3-400	BX3-500
额定焊接电流/A	500	250	300	400	500
电流调节范围/A	80~690	36~360	40~400	50~500	60~612
次电压/V	380	380	380	380	380
额定空载电压/V	80	78/70	75/60	75/70	73/66
额定工作电压/V	40	30	22~36	36	40
额定一次电流/A	110	48.5	72	78	101.4
额定输入容量/kVA	42	18.4	20.5	29.1	38.6
额定负载持续率/%	60	60	60	60	60
额定焊接电流时电流衰减时间/s	—	—	—	—	—

(续)

主要技术数据	动 圈 式				
	动铁分磁式 BX1-500	BX3-250	BX3-300	BX3-400	BX3-500
外形尺寸 $\frac{A}{\text{mm}} \times \frac{B}{\text{mm}} \times \frac{C}{\text{mm}}$	740×520 ×860	630×180 ×810	580×600 ×800	695×530 ×905	610×566 ×970
质 量/kg	300	150	190	200	225
用 途	焊条电 弧焊电 源, 适用 于 3mm 厚以上低 碳钢板的 焊接	焊条电 弧焊电 源, 适用 于 3mm 厚以下低 碳钢板的 焊接	焊条电 弧焊电 源, 电弧 切割电源	焊条电 弧焊电源	手 I. 氩 弧焊、焊 条电弧焊 及电弧切 割用电源

主要技术数据	抽 头 式		多站式
	BX6-120	BX6-200	BP-3X500
额定焊接电流/A	120	200	3×500 ×(12×155)
电流调节范围/A	50~160	65~200	35~210
一次电压/V	220/380	380	220/380
额定空载电压/V	35~60(六档)	48~70	70
额定工作电压/V	22~26	22~28	25
额定一次电流/A	28/16	40	320, 185
额定输入容量/kVA	6.24	15	122
额定负载持续率/%	20	20	100
额定焊接电流时电 流衰减时间/s		--	95
外形尺寸 $\frac{A}{\text{mm}} \times \frac{B}{\text{mm}} \times \frac{C}{\text{mm}}$	315×246×188	480×282×398	--

(续)

主要技术数据	抽 头 式		多站式
	BX6-120	BX6 200	BP 3X500
质 量/kg	22	40	700
用 途	手提式焊条 电弧焊电源	手提式焊条 电弧焊电源	可同时供 12 个焊工工作的 焊条电弧焊电 源

表 1-23 常用弧焊整流器的型号及技术数据

主要技术数据		动 铁 心 式		
		交 直 流 两 用		
		ZXE1-150	ZXE1-300	ZXE1 500
输 出	额定焊接电流/A	160	300	500
	电流调节范围/A	交流:8~180 直流:7~150	50~300	交流:100~500 直流:90~450
	额定工作电压/V	27	32	交流:24~40 直流:24~38
	空载电压/V	80	60~70	80(交流)
	额定负载持续率/%	35	35	60
	额定输出功率/kW	—	—	—
输 入	电 压/V	380	380	380
	额定输入电流/A	40	59	—
	相 数	1	1	1
	频 率/Hz	50	50	50
额定输入容量/kVA		15.2	22.4	41
功率因数		—	—	—
效率/%		—	—	—
质量/kg		150	200	250
用 途		焊条电弧焊、交 直流钨极氩弧焊 电源	焊条电弧焊、 交直流钨极氩 弧焊电源	焊条电弧焊、交 直流钨极氩弧焊 电源

(续)

主要技术数据		动 圈 式			
		下 降 特 性			
		ZX3-160	ZX3-250	ZX3-400	ZX3-500
输 出	额定焊接电流/A	160	250	400	500
	电流调节范围/A	32~192	50~300	80~480	100~600
	额定工作电压/V	22~28	22~32	23~39	24~44
	空载电压/V	72	72	71.5	72
	额定负载持续率/%	60	60	60	60
	额定输出功率/kW		—	—	—
输 入	电 压/V	380	380	380	380
	额定初级相电流/A	16.8	26.3	42	54
	相 数		—	—	—
	频 率/Hz	50	50	50	50
	额定容量/kVA	11	17.3	27.8	35.5
功 率 因 数		—	—	—	—
效 率/%		—	—	—	—
质 量/kg		138	182	270	238
用 途		焊条电弧焊电源		中厚板焊条电弧焊电 源	
主要技术数据		磁 放 大 器 式			
		下 降 特 性			
		ZX-160	ZX-250	ZX-400	ZX-1000
输 出	额定焊接电流/A	160	250	400	1000
	电流调节范围/A	20~200	30~300	40~480	100~1000
	额定工作电压/V	21~28	21~32	21.6~40	24~44
	空载电压/V	70	70	70	90/80

(续)

主要技术数据		磁放大器式			
		下降特性			
		ZX 160	ZX-250	ZX-400	ZX 1000
输出	额定负载持续率/%	60	60	60	60
	额定输出功率/kW	—	—	—	—
输入	电 压/V	380	380	380	380
	额定输入电流/A	18	28	53	152
	相 数	3	3	3	3
	频 率/Hz	50	50	50	50
	额定输入容量/kVA	12	19	34.9	100
功率因数		—	—	—	—
效 率/%		—	—	—	—
质 量/kg		170	200	330	820
用 途		焊条电弧焊、钨极氩弧焊电源	焊条电弧焊、钨极氩弧焊电源,等离子喷镀、碳弧气刨电源	可作为埋弧焊、粗丝CO <sub>2</sub> 气体保护焊和碳弧切割电源	

主要技术数据		磁放大器式			
		下降特性	下降特性	具有平直及陡降外特性	
		ZX 1500	ZX 1600	ZDG-500-1	ZDG-1000R
输出	额定焊接电流/A	1500	1600	500	1000
	电流调节范围/A	200~1500	400~1600	50~500	100~1000
	额定工作电压/V	34~45	36~44	15~40 (平特性)	24~44
	空载电压/V	95	90/80	95	90/80

(续)

主要技术数据		磁 放 大 器 式			
		下降特性	下降特性	具有平直及陡降外特性	
		ZX 1500	ZX 1600	ZDXG 500 L	ZDXG 1000R
输出	额定负载持续率 %	100	80	60	80
	额定输出功率 kW			20	--
输入	电 压 V	380	380	380	380
	额定输入电流 A	320	243	--	152
	相 数	3	3	3	3
	频 率 Hz	50	50	50	50
	额定输入容量 kVA	210	160	37	100
	功 率 因 数	--	--	--	--
效 率 %	--	--	--	--	
质 量 kg		1300	1200	55	820
用 途		主要用作埋弧焊电源	主要用作埋弧焊、粗丝 CO <sub>2</sub> 气体保护焊及碳弧切割电源	用作 CO <sub>2</sub> 气或 Ar 气保护下, 进行熔化极或不熔化极电弧焊接电源	用作埋弧焊和碳弧切割电源, 也可用作粗丝气体保护焊电源
主要技术数据		晶 闸 管 式			
		ZX5-800	ZX5-250	ZX5-100	
输出	额定焊接电流 A	800	250	100	
	电流调节范围 A	100~800	50~250	40~400	
	额定工作电压 V	--	30	36	
	空载电压 V	73	55	60	



(续)

主要技术数据		晶 闸 管 式		
		ZX5-800	ZX5-250	ZX5-400
输出	额定负载持续率/%	60	60	60
	额定输出功率/kW	—	—	—
输入	电 压/V	380	380	380
	额定输入电流/A	—	23	37
	相 数	3	3	3
	频 率/Hz	50	50	50
	额定输入容量/kVA	—	15	24
	功 率 因 数	0.75	0.7	0.75
效 率/%	75	70	75	
质 量/kg	300	160	200	
用 途	焊条电弧焊或 钨极氩弧焊,以及 碳弧切割的电源	焊条电弧焊 电源	焊条电弧焊电 源特别适于碱性 低氢焊条焊接低 碳钢、中碳钢以及 低合金结构钢	

主要技术数据		晶 闸 管 式			
		ZX5-160B	ZX5-250B	ZX5-400B	ZX5-630B
输出	额定焊接电流/A	160	250	400	630
	电流调节范围/A	30~160	40~250	40~400	63~630
	额定工作电压/V	—	—	36	40
	空载电压/V	60	65	67	67
	额定负载持续率/%	60	60	60	60
	额定输出功率/kW	—	—	—	—

(续)

主要技术数据	晶 间 管 式			
	ZX5-160B	ZX5-250B	ZX5-100B	ZX5-630B
电 压 V	360	380	380	380
输 入 额 定 电 流 A		—	18	80
相 数	3	3	3	3
入 网 电 压 Hz	50	50	50	50
额 定 输 入 容 量 kVA	11	10	32	53
功 率 因 数	—	—	0.6	0.6
效 率 %			75	78
质 量 kg			—	—
用 途	焊条电弧 焊, TIG 焊、 埋弧焊、碳 弧气刨电源	焊条电弧 焊、TIG 焊、 埋弧焊、碳 弧气刨电源	焊条电弧焊、TIG 焊、埋 弧焊、碳弧气刨电源、控制 线路稍加改动可用于各种 气体保护焊电源	

目前市场上还出现一批小型焊机,从焊机的质量和性能上都能满足焊接要求,并且售价低廉,维修简易,焊接生产中搬运轻便、灵活,是晶间管焊机研究中的重大突破。焊机型号及主要技术数据见表 1-24。

表 1-24 小型直流弧焊机的型号及技术数据

技 术 数 据	型 号	
	ZX5-63	ZX5-100
电源电压/V	220	220
空载电压/V	76	76
额定焊接电流/A	63	100
电流调节范围/A	8~63	8~100
额定负载持续率 %	35	35

(续)

技术数据	型 号	ZX7-63	ZX7-160
额定输入容量/kVA		2.6	1.2
频 率/Hz		50	50
质 量/kg		8	13

### 三、逆变弧焊机

逆变弧焊机是一种新型、高效、节能直流焊接电源,这种焊机具有极高的综合指标。它的出现,作为直流焊接电源的更新、换代产品,已普遍受到各个国家的重视。

回顾直流电焊机的发展历史,到现在大体经历了 6 代,详见表 1-25。我国市场上逆变弧焊机目前以晶闸管逆变弧焊机居多,这种直流电焊机比直流弧焊发电机、硅整流弧焊机、晶闸管整流弧焊机有很大进步,具有效率高,空载损耗小,输出电流稳定,节能、节材,焊机体积小,质量轻等优点,详见表 1-26。但由于晶闸管本身固有的缺点,使焊机还没达到理想的境地。

IGBT 逆变弧焊机集中了场效应管开关频率高,晶体管通过电流能力强的优点,使焊接设备真正体现了当代最新科技水平。这种焊机主要用 IGBT(绝缘门极双极性晶体管)作开关器件,其特点详见表 1-27。

表 1-25 直流电焊机发展历史和特点

发 展 过 程	名 称	主 要 特 点
第一代	旋转直流弧焊机	体积大,质量大,噪声大,能耗高,特性差
第二代	硅整流弧焊机	在噪声、体积、能耗上比第一代焊机有所改进
第三代	晶闸管整流弧焊机	在控制线路上比第二代焊机有所改善

(续)

发展过程	名称	主要特点
第四代	晶闸管逆变弧焊机	比前几代焊机虽有较大改善,但晶闸管的固有缺点:开通容易,关断难,距理想焊机仍有距离
第五代	晶体管逆变弧焊机和场效应管逆变弧焊机	在国外得到了广泛应用,但由于晶体管开关频率还较低,场效应管功率还不够大,内阻损耗大,在国内基本上还没进入实用阶段
第六代	IGBT 逆变弧焊机	集中了晶体管通过电流能力强,场效应管开关频率高的优点,是理想的焊接电源

表 1-26 ZX7 系列逆变弧焊机的主要参数

数据名称	型号		
	ZX7-200S-ST	ZX7-315S-ST	ZX7-400S-ST
电 源	三相 380V 50Hz		
额定输入功率 kVA	8.75	16	21
额定输入电流 A	13.3	24.3	32
额定焊接电流 A	200	315	400
额定负载持续率 %	60	60	60
最高空载电压 V	70~80	70~80	70~80
焊接电流调节范围 A	20~200	30~315	40~400
效 率, %	83	83	83
外形尺寸 $\frac{A}{\text{mm}} \times \frac{B}{\text{mm}} \times \frac{C}{\text{mm}}$	600×355×510	600×355×510	640×355×470
质 量/kg	59	66	66

(续)

型号 名称	ZX7-200S·ST	ZX7-315S·S1	ZX7-400S·ST
用途	用于 $\phi 2.5\text{mm}$ 以下各种焊条进行焊条电弧焊,也可以进行手工钨极氩弧焊	焊条电弧焊和手工钨极氩弧焊两用焊机。氩弧焊时,采取划擦法引弧。焊条电弧焊时,适用于直径 $6\text{mm}$ 以下各种焊条的焊接	
型号 名称	ZX7-300S·ST (晶闸管式)	ZX7-500S/S1 (晶闸管式)	ZX7-630S·S1 (晶闸管式)
电 源	三相 380V 50Hz		
额定输入功率/kVA	--	--	--
额定输入电流/A	--	--	--
额定焊接电流/A	300	500	630
额定负载持续率/%	60	60	60
最高空载电压/V	70~80	70~80	70~80
焊接电流调节范围/A	I档:30~100 II档:90~300	I档:50~167 II档:150~500	I档:60~210 II档:180~630
效 率/%	83	83	83
外形尺寸 $\frac{A}{\text{mm}} \times \frac{B}{\text{mm}} \times \frac{C}{\text{mm}}$	640×353×470	690×375×400	720×400×560
质 量/kg	58	84	98
用 途	“S”:为焊条电弧焊电源 “ST”:为焊条电弧焊、氩弧焊两用电源		

(续)

数 据 名 称	型号	ZX7-125	ZX7-200	ZX7-250	ZX7-315	ZX7-400
	(场效应管式)					
电 源	一相 220V,50Hz	三相,380V,50Hz				
额定输入功率/kVA	3.5	6.6	8.3	11.1	16	
额定输入电流/A	15	11	13	17	22	
额定焊接电流/A	125	200	250	315	400	
额定负载持续率/%	60	60	60	60	60	
最高空载电压/V	50	<80	60	65	65	
焊接电流调节 范围/A	20~125	8~200	40~250	50~315	60~400	
效 率/%	90	>85	90	90	90	
外形尺寸 $\frac{A}{\text{mm}} \times \frac{B}{\text{mm}} \times \frac{C}{\text{mm}}$	350×150 ×200	413×193 ×318	400×160 ×250	450×200 ×300	560×210 ×355	
质 量/kg	10	23	15	25	30	
用 途	具有电流响应速度快,静、动特性好,功率因数高、空载电流小,效率高等特点,适用于各种低碳钢、低合金钢及不同类型结构钢的焊接					

数 据 名 称	型号	ZX7-160	ZX7-200	ZX7-250	ZX7-315	ZX7-400	ZX7-500	ZX7-630
	晶 闸 管 式							
电 源	三相,380V,50Hz							
额定输入功率/kVA	1.9	6.5	8.8	12	16.8	23.4	32.4	
额定输入电流/A	7.5	10	13.3	18.2	25.6	35.5	49.2	
额定焊接电流/A	160	200	250	315	400	500	630	
额定负载持续率/%	60	60	60	60	60	60	60	

(续)

数据	型号	ZX7-160	ZX7-200	ZX7-250	ZX7-315	ZX7-400	ZX7-500	ZX7-630
名称		晶 间 管 式						
最高空载电压/V		75	75	75	75	75	75	75
焊接电流调节范围/A		16~160	20~200	25~250	30~315	40~400	50~500	60~630
效率/%		≥90	≥90	≥90	≥90	≥90	≥90	≥90
外形尺寸 $\frac{A}{\text{mm}} \times \frac{B}{\text{mm}} \times \frac{C}{\text{mm}}$		300 × 290 × 390				350 × 320 × 390		
质 量/kg		25	30	35	35	40	40	45
用 途		采用脉冲宽度调制(PWM)、20kHz绝缘门极双极型晶体管(IGBT)模块逆变技术。具有引弧迅速可靠、电弧稳定、飞溅小、体积小、重量轻、高效节能、焊缝成形好,并可“防粘”等特点。用于焊条电弧焊、碳弧气刨电源						

表 1-27 IGBT 逆变弧焊机特点

项 目	特 点
电压驱动,输入阻抗高	不像晶闸管那样需要专门触发电路,输入阻抗比同规格场效应管高几倍,简化了驱动电路
开关速度快	IGBT 关断时间只有晶体管的 1/10,最佳工作频率范围是 60~2000Hz,比晶闸管大 10 倍左右
开关和通态功耗小,饱和压降低	开关和通态功率损耗只有同规格晶体管和场效应管的 1/10,大大减小了电能消耗和发热量,提高了可靠性
电流密度高,载流容量大	电流密度是同规格场效应管和晶体管的几倍,载流容量是同规格场效应管的 5~10 倍
安全工作区宽	无二次击穿现象,高压安全工作区比晶体管宽



#### 四、焊条电弧焊设备的选择

##### 1. 根据焊条类型、母材材质、焊接结构来选用弧焊设备

如果用酸性焊条焊接，应当首先考虑选用 BX3-300、BX3-500、BX1-300、BX1-500 等交流弧焊机。如果用碱性焊条焊接，或焊接较重要的焊接结构时，应首先选用 ZX3-250、ZX3-400、ZX5-250、ZX5-400、ZX5-400B、ZX7-315、ZX7-400 等。如果资金较紧张，焊接材料类型又较多，可以考虑选用通用性较强的交、直流两用焊机或多用途的焊接设备。如 ZXF1-160、ZXE1-300、ZXE1-500，以及 WSE1-315 等。

##### 2. 根据焊接结构所选用材料的厚度、所需焊机容量等选用相应的焊接设备

选用焊接设备时，应注意观察该设备铭牌上所标注的额定焊接电流值，该值是在额定负载持续率条件下允许使用的最大焊接电流。焊接过程中使用的焊接电流值如果超过额定焊接电流值，就要考虑更换额定电流值大些的焊机或者降低焊机的负载持续率，否则，焊机长期在过热状态下使用，容易使焊机损坏。

负载持续率是表示焊接电源工作状态的参数。我国标准规定 500A 以下的焊机选定工作时间周期为 5min，在 5min 的时间内，焊条电弧焊总有一段时间用来更换焊条、清理焊渣、移动焊接位置等。所以，电弧燃烧的时间总是小于 5min，因此，负载持续率也就小于 100%。通常额定负载持续率为 60%，即每 5min 之内通过额定焊接电流的时间不得超过 3min（5min×60%），其它 2min 时间为“休息”时间，只有这样，焊机才能正常工作，不致于因过载升温而损坏。不同负载持续率时焊机所允许的焊接电流值见表 1-28。

##### 3. 根据综合情况选择焊接设备

表 1-28 不同负载持续率下的焊接电流对照表

负载持续率/%	100	80	60	40	20
焊接电流 /A	116	130	150	183	260
	230	257	300	363	516
	387	434	500	611	868

(1) 根据焊接现场情况选择 焊接现场在野外, 并且移动性大, 这时要考虑选用质量较轻的交流弧焊机 BX1-120、BX-120、BX-200、BX5-120、BX6 120 或直流弧焊机 ZX-160、ZX7 200S/ST、ZX7-315S/ST、ZX7-500S/ST 等。

(2) 根据自有资金多少选购焊接设备 企业自有资金雄厚, 可选购焊机综合性能好的设备, 如直流弧焊机 ZX5-400、ZX5 400B 和 IGBT 逆变弧焊机等。

企业自有资金较紧张, 可以选用 BX 系列、BX3 系列或 ZX 系列焊机。

(3) 根据设备综合功能选择焊接设备 目前市场上的焊接设备品种很多, 同一类焊接设备在功能上也各有所长。所以, 在选用焊接设备时, 要注意焊机的功能及特点。国内四种晶闸管焊条电弧焊机的功能见表 1-29。ZX5 400 型国产五种晶闸管弧焊电源性能优劣见表 1-30。国产 IGBT 逆变焊机与前几代焊机技术指标比较见表 1-31。国产 ZX7-400 逆变弧焊机与国外同类焊机性能比较见表 1-32。

表 1-29 国内四种晶闸管焊条电弧焊机的功能

项 目 \ 机 种	ZX5-100 (消化吸收日本大阪技术)	LHF-400 (引进瑞典 ESAB 技术)	GS-400SS (引进美国 MILLFR 技术)	ZX5-400B (吉林工业大学技术)
类 型	带平衡电抗器双反星形式	带高压引弧三相桥半控式	三相桥全控式	三相桥全控式
主电路结构特点	主变压器形式	盘式	筒式	筒式
	输出电抗器	有	有	有
	平衡电抗器	有	无	无
	控制变压器	有	无	无
	晶闸管及二极管数	6 只晶闸管	3 只晶闸管 4 只二极管	6 只晶闸管

(续)

项 目 \ 机 种		ZX5-400 (消化吸收日本大阪技术)	LHF-400 (引进瑞典ESAB技术)	GS 400SS (引进美国MIL-LFR技术)	ZX5 400B (吉林工业大学技术)
控制 电路 特点	组 成	集成元件与分离元件混合使用			全集成化
	触发电路特点	二路触六路	三路触三路	六路触六路	三路触六路
	取电流反馈信号方式	分流器	分流器	霍尔元件	分流器
功 能	电弧推力	有	无	有	有
	电弧吹力	无	无	无	有
	引弧电流	有	无	无	有
	焊条短路时电流减至基值电流	无	有	无	无
	连弧焊与断弧焊选择	无	无	无	有
	飞溅控制	无	无	无	有
焊接电流调节范围/A		80~400	8~400	20~520	40~400
60%负载持续率时焊接电流/A		400	315	400	400
质 量/kg		210~215	165	215	200
额定输入电流/A		37~38	36	50	47
效 率/%		74	69		76

表 1-30 ZX5-400 型国产五种晶闸管弧焊电源性能比较

大项	小项	项目名称	GS-400SS	LHF-400	ZX5-400-1	ZX5-400	ZX5 400B
中、大电流	1	电流稳定性好	(1) 3	(3) 1	-	-	(2) 2
	2	电弧电压稳定性好	-	-	(3) 1	(2) 2	(1) 3
	3	飞溅少	(3) 1	-	(2) 2	-	(1) 3

(续)

大项	小项	项目名称	GS-400SS	LHF-100	ZX5-400 1	ZX5-400	ZX5-400B
中、大电流	1	焊缝成形好	--	(2) 2	—	(1) 3	(3) 1
	5	焊接过程规范参数稳定性好	—	(1) 3	(2) 2	—	(3) 1
小电流	1	最小引弧和稳弧电流	—	(1) 3	—	(2) 2	(3) 1
	2	电弧易操作性好	—	(1) 3	—	(3) 1	(2) 2
	3	电弧性能好	—	(3) 1	—	(2) 2	(1) 3
	4	焊缝成形好	(2) 2	(3) 1	—	—	(1) 3
其它	1	网路电压波动补偿性能	(1) 3	—	—	(3) 1	(2) 2
	2	故障率低	(3) 1	—	—	(2) 2	(1) 3
合计		总顺序分	10	14	5	13	24

注：(1)、(2)、(3)为性能优劣顺序：3、2、1为顺序得分即3分、2分、1分。

表 1-31 国产 IGBT 逆变弧焊机与前几代焊机技术指标比较

型号规格	AX7-400 直流弧焊 发电机	ZXG1 -400 硅整流 弧焊机	ZX5-400 晶闸管整 流弧焊机	ZX7- 400-2 逆 变 弧焊机	CPVP -350 晶体管逆 变弧焊机	ZX7-400 IGBT 逆 变 弧焊机
技术数据						
额定焊接电流/ A	400	400	400	400	350	400
额定负载持续 率/%	60	60	60	60	60	60
输出空载电压 /V	60~90	71.5	63	70~80	—	75

(续)

型号规格	AX7-400 直流弧焊 发电机	ZXG1 400 硅整流 弧焊机	ZX7-400 晶闸管整 流弧焊机	ZX7 400 2 逆 变 弧焊机	CPVP 350 晶体管逆 变弧焊机	ZX7 400 IGBT 逆 变 弧焊机	
技术数据							
电 源	三相 380V						
效 率/%	53	76.5	74	83	—	≥90	
功率因数	0.9	0.68	0.75	≥0.95	—	≥0.95	
质 量/kg	370	238	220	66	82	33	
外形尺寸	长/mm	950	685	594	540	380	550
	宽/mm	590	370	495	310	640	320
	高/mm	890	1075	1000	430	615	390

表 1-32 国产 ZX7-400 逆变弧焊机与国外同类焊机性能比较

厂 家	瑞典 ESAB LHH 400	奥地利 FRONIUS TRANSPROTE 100	芬兰 KEMPP PS5000	美国 POWCON 500SMP	日本 晶体管 逆 变 CPVP -350	中国 IGBT ZX7 -400
参 数						
电源电压/V	380	380	380	380	380	380
电源频率/Hz	50/60	50/60	50/60	50/60	50/60	50/60
额定容量/kVA	19.8	22.3	27.5	36.3	22	16.8
额定焊接电流 /A	400	400	500	550	350	400
额定负载持续 率/%	35	35	50	60	60	60
空载电压/V	65~75	50	80	80	—	75
效 率/%	80	—	—	75	—	≥90
功率因数	0.91	—	—	0.848	—	≥0.95

(续)

参 数	家	瑞典	奥地利	芬兰	美国	日本	中国
	数 据	ESAB LHH -400	FRONIUS TRANSPROTE 100	KEMPP1 PS5000	POWCON 500SMP	晶体管 逆变 CPVP -350	IGBT ZX7 400
质 量/kg		48	78	93	71.6	82	33
外 形 尺 寸	长/mm	520	500	710	860	380	550
	宽/mm	295	500	360	460	640	320
	高/mm	420	450	580	610	615	390

### 五、焊条电弧焊辅助设备及工具

#### 1. 焊钳

用以夹持焊条并传导电流以进行焊接的工具即焊钳。俗称焊把，主要有 300A 和 500A 两种规格，详见表 1-33。

表 1-33 常用焊钳的型号及规格

型 号	160A 型		300A 型		500A 型	
	额定焊接电流/A	160		300		500
负载持续率/%	60	35	60	35	60	30
焊接电流/A	160	220	300	400	500	360
适用焊条直径/mm	1.6~4		2~5		3.2~8	
连接电缆截面积/mm <sup>2</sup> ①	25~35		35~50		70~95	
手柄温度/℃②	≤40		≤40		≤40	
外形尺寸 $\frac{A}{\text{mm}} \times \frac{B}{\text{mm}} \times \frac{C}{\text{mm}}$	220×70×30		235×80×36		258×86×38	
质 量/kg	0.24		0.34		0.40	
参考价格(元)	6.10		7.40		8.40	

① 小于最小截面积时，必须用导电良好的材料填充到最小截面积内。

② 按 IEC25、29 号文规定的标准要求作试验。

目前市场上出现一种不烫手焊钳，该产品先后荣获中国专利新技术新产品、全国“七·五”星火计划成果博览会两项银奖，是集新型、高效于一体，不改变传统操作习惯，节能、节材 60%，与国内外轻型焊钳相比，在质量上下降 30%。焊接过程中，手柄温升高（ $\leq 11^{\circ}\text{C}$ ），主要性能远低于国际标准。新型焊钳主要型号及特点见表 1-34。

表 1-34 不烫手焊钳的型号及主要特点

型 号	专 利 号	主 要 特 点
QY-91 (超轻)型	发明专利号： 891072055	焊接电缆线可以从手柄腔内引出，也可以从手柄前的旁通腔引出，使手柄内无高温电缆线，减少热源 90%，从而达到不烫手的目的，不影响传统使用习惯
QY-93 (加长)型	实用新型 专利号： 9112299363	焊接电缆线紧固接头延伸在手柄尾端后的护套内，采用特殊结构使手柄内热辐射减少 80%，从而达到不烫手的目的，安装电缆线极为省事
QY95- 三叉型	申请专利号： 93212600X	焊钳为二根圆棒形式，没有防电弧辐射热护罩。维修方便，焊钳头部细长，适合各种环境焊接，手柄升温低而不烫手

上述产品能安全通过的最大电流有 300A、500A 两种规格。

## 2. 面罩和滤光玻璃

面罩是为防止焊接时的飞溅、弧光及其它辐射对焊工面部及颈部损伤的一种遮盖工具，有两种形式：头盔式（戴在头顶上工作）和手持式。滤光玻璃是用以遮蔽焊接有害光线的黑色玻璃。其常用规格见表 1-35。

表 1-35 滤光玻璃常用规格

颜 色 号	7~8	9~10	11~12
颜色深度	较 浅	中 等	较 深
适用焊接电流范围/A	<100	100~350	$\geq 350$
玻璃尺寸 $\frac{\text{厚}}{\text{mm}} \times \frac{\text{宽}}{\text{mm}} \times \frac{\text{长}}{\text{mm}}$	2×50×107	2×50×107	2×50×107



最近,以现代微电子技术和现代光控技术两大高科技体系为主体研制而成的GSZ光控电焊面罩,已经走向市场,它以全新面貌受到焊工欢迎并逐渐取代老式面罩。该面罩的主要功能是:有效防止电光性眼炎;瞬时自动调光、遮光;防红外线、防紫外线;彻底解决盲焊,省时省力,节能高效。

该面罩在焊接过程中的特点是:焊接未起弧时,光电控制系统处于待控制状态,光阀滤光玻璃(护目镜)呈亮态,能清晰地看清焊接表面,具有最大透光度。起弧时,光敏件接受光强的变化,触发控制光阀由亮态在瞬间自动完成调光遮光,光阀滤光玻璃(护目镜)呈暗态,保证最佳视觉条件。当焊接结束后,光阀滤光玻璃又自动返回待控状态,光阀滤光玻璃呈亮态,可以清晰地观察焊接效果,从而能有效地控制电光性眼炎的发病率,彻底解决了盲焊,大大提高了焊接质量和工作效率,减少焊机空载耗电时间,节电30%左右。主要技术指标见表1-36。

表 1-36 GSZ 光控电焊面罩主要技术指标

项 目	技 术 指 标	
观察窗口尺寸	90mm×40mm	
滤光玻璃(护目镜片)安装尺寸	96mm×48mm	
自动调光遮光	0.01s	
亮态遮光号	4(可见光透过率8%)	
紫外线透过尺寸 210~365nm	<0.0002%	
红外线透过尺寸	780~1300nm	<0.002%
	1300~2000nm	<0.002%
暗态遮光号	6号、11号、14号	
自动变态响应时间	<0.03s	
电源电压	3V	
面罩壳燃烧速度	<50mm/min	
工作温度	-5~50℃	
相对湿度	≤90%	



(续)

项 目	技 术 指 标
面罩质量	500g
规格尺寸	符合 GB3609.1 83 标准

该面罩有三大系列：

GSZ-A 手持式光控全塑电焊面罩

GSZ-B 头盔式光控全塑电焊面罩

GSZ-C 安全帽式光控全塑电焊面罩

光控全塑电焊面罩系列产品见表 1-37。

表 1 37 光控全塑电焊面罩系列产品

型 号	名 称	主要技术指标	质量
GSZ-A11	光控手持式电焊面罩	适用 200A 以下焊接电流 遮光号 11 响应时间 < 30ms	460g
GSZ-A14	光控手持式电焊面罩	适用 200~400A 焊接电流 遮光号 14 响应时间 < 30ms	490g
GSZ-B11	光控头盔式电焊面罩	适用逆变弧焊机、氩弧焊机 遮光号 7~11 响应时间 < 15ms	570g
GSZ-B14	光控头盔式电焊面罩	适用 400A 以下焊接电流 遮光号 11~14 响应时间 < 15ms	600g
GSZ-D11	光控头盔式防护面罩	适用等离子弧切割用 遮光号 7~11 响应时间 < 15ms	570g

(续)

型 号	名 称	主要技术指标	质 量
BHP A	特种外保护片	108mm × 50mm 配 SZ A、GSZ-A 及其它面罩, 耐磨不粘焊渣。使用寿命 500h, 比普通外保护片延长使用寿命 10~20 倍	
BHP-B	特种外保护片	118mm × 65mm 配 SZ-B 或 GSZ-B 面罩。不粘焊渣, 使用寿命 500h, 比普通外保护片可延长使用寿命 10~20 倍	

### 3. 焊条保温筒

即在施工现场供焊工携带的可储存少量焊条的一种保温容器, 它与电焊机的二次电压相连, 使其保持一定的温度。重要焊接结构用低氢型焊条焊接时, 焊前焊条必须在 250~400℃ 烘干, 并且保温 1~2h。焊条从烘箱中取出后应放在焊条保温筒内送到施工现场。在现场施工时, 焊条随用随逐根由焊条保温筒内取出使用。常用焊条保温筒型号及技术数据见表 1-38。

表 1-38 常用焊条保温筒型号及技术数据

功 能	型 号			
	PR 1	PR 2	PR-3	PR-4
电压范围/V	25~90	25~90	25~90	25~90
加热功率/W	100	100	100	100
工作温度/℃	300	200	200	200
绝缘性能/mΩ	>3	>3	>3	>3
可装焊条质量/kg	5	2.5	5	5
可装焊条长度/mm	110/450	110/450	410/450	410/450
质 量/kg	3.5	2.8	3	3.5
外形尺寸 $\begin{matrix} \text{直径} \\ \text{mm} \end{matrix} > \begin{matrix} \text{高} \\ \text{mm} \end{matrix}$	φ115 × 550	φ116 × 570	φ155 × 690	φ195 × 700

4. 焊缝检验尺

用以测量焊接接头坡口角度、间隙、错边以及焊缝宽度、余高、角焊缝厚度等尺寸的工具,焊缝检验尺由测角尺、主尺和活动尺等组成,见图 1-7。焊缝检验尺的测量范围见表 1-39。

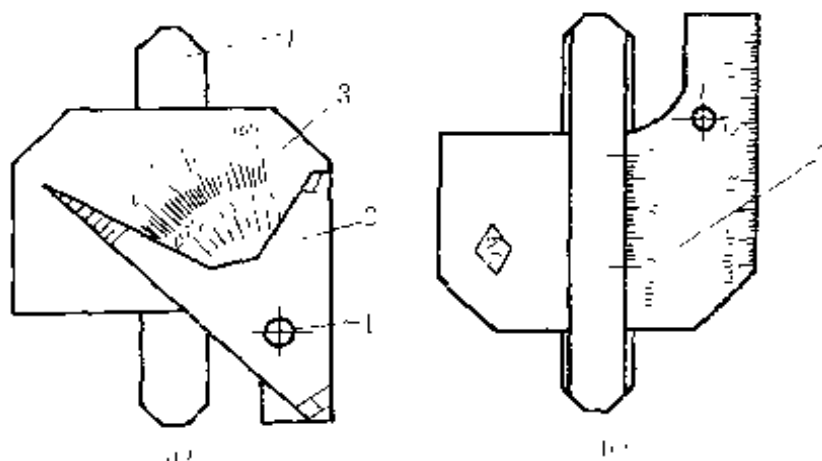


图 1-7 焊缝检验尺

a) 正面 b) 反面

1- 铆钉 2- 测角尺 3- 主尺 4- 活动尺

表 1-39 焊缝检验尺的测量范围

测角尺的角度 (°)	坡口角度 (°)	钢直尺规格 /mm	间隙 /mm	错边 /mm	焊缝宽度 /mm	焊缝余高 /mm	角焊缝厚度 /mm	角焊缝余高 /mm
15								
30								
45	≤150	40	1~5	1~20	≤40	≤20	1~20	≤20
60								
90								

5. 气动清渣工具及高速角向砂轮机

其主要用于焊后清渣、焊缝修整及焊接接头坡口准备与修整等,各工具名称及型号见表 1-40。

表 1-40 焊接用气动、电动工具名称及型号

名 称	型 号	主 要 用 途
气动刮铲	CZ2	焊后清理焊渣、毛边、飞溅残存物等,还可用来开坡口
长柄气动打渣机	CZ3	
气动针束打渣机	XCD2	
轻便气动钢刷机	-	
气动角向砂轮机	MJ1 180	修整焊缝,准备坡口
高速气动角向砂轮机	φ100 砂轮	
高速电动角向砂轮机	S5MJ 180	
砂 轮 机	S40	

## 6. 气动管子坡口机

管子对接焊接时,为了满足对接焊缝的熔透要求,焊前需要将管子待焊处开坡口。气动管子坡口机就是以压缩空气为动力,在管子装夹上采用内涨定位就能自定中心,在管子待焊处加工各种形式的坡口,加工时,根据图样技术要求,选择不同形状的刀具,在任意空间位置上,可对 $\phi 8 \sim \phi 630$ mm的碳钢、不锈钢、铜等金属材料的管子进行V形、U形坡口以及倒棱、倒角、削边的加工。具有加工质量好、效率高、携带方便、操作简单等优点。气动管子坡口机型号及主要技术参数见表1-41。

表 1-41 气动管子坡口机型号及主要技术参数

型 号	GPJ 30	GPJ-80	GPJ 150	GPJ-350
	空气压力/MPa	0.6	0.6	0.6
最大输出功率/kW	0.23	0.47	0.49	0.74
最大耗气量/(L/min)	310	630	960	1000
额定转数/(r/min)	110	75	17	6
空载转数/(r/min)	220	150	34	9
额定扭矩/N·m	10	15	98	180

(续)

型 号	型 号			
	GPJ-30	GPJ-80	GPJ-150	GPJ-350
胀紧管内径/mm	10~29	28~78	70~115	150~300
加工管子直径/mm	8~30	28~80	65~150	125~350
最大进给行程/mm	10	35	50	55
质 量/kg	约 2.7	约 7	约 12.5	约 12

## 7. 焊条烘干、保温设备

其主要用于焊前焊条的烘干和保温,减少或防止因焊条药皮吸湿在焊接过程中,造成焊缝中出现气孔、裂纹等缺陷。常用的焊条烘干、保温设备见表 1-42。

表 1 42 常用的焊条烘干、保温设备

名 称	型号规格	容量/kg	主 要 功 能
自动远红外电焊条烘干箱	RDL4-30	30	采用远红外辐射加热、手动控温、不锈钢材料的炉膛、分层抽屜结构,最高烘干温度可达 500℃。100kg 容量以下的烘干箱设有保温贮藏箱 RDL4 系列电焊条烘干箱代替 YHX、ZYH、ZYHC、JH 系列,使用性能不变
	RDL4-40	40	
	RDL4-60	60	
	RDL4-100	100	
	RDL4-150	150	
	RDL4-200	200	
	RDL4-300	300	
	RDL4-500	500	
	RDL4-1000	1000	
记录式数控远红外电焊条烘干箱	ZYJ-500	500	采用三数控带 P. I. D 超高精度仪表,配置自动平衡记录仪,使焊条烘焙温度、温升时间曲线有实质记录供焊接参考。最高温度达 500℃
	ZYJ-150	150	
	ZYJ-100	100	
	ZYJ-60	60	

(续)

名称	型号规格	容量/kg	主要功能
节能型自控远红外电焊条烘干箱	BHY-500	500	有自动控温、自动保温、烘干定时、报警技术,具有多种功能,最高温度达500℃
	BHY-100	100	
	BHY-60	60	
	BHY-30	30	

### 8. 电缆快速接头、快速连接器

其主要用在电缆与电缆连接上、电缆与电焊机连接上。能快速、简便、省时省力、安全可靠地承担焊接工作。常用的快速接头、快速连接器见表 1-43。

表 1-43 电缆快速接头、快速连接器

名称	型号规格	额定电流/A	用途
电焊机 电缆 快速 接头	DKJ-16	100~160	由插头、插座两部件组成,能随意将电缆连接在弧焊机上,螺旋槽端面接触,符合国际标准和 GB7925—87 标准
	DKJ-35	160~250	
	DKJ-50	250~310	
	DKJ 70	310~400	
	DKJ 95	400~630	
	DKJ-120	630~800	
焊接 电缆快 速连接 器	DKL 16	100~160	能随意连接两根电缆的器件,拆连方便,螺旋槽端面接触,符合国际标准,系国家专利产品,专利号为 85201436.8
	DKL-35	160~250	
	DKL 50	250~315	
	DKL 70	315~400	
	DKL 95	400~630	
	DKL 120	630~800	

### 9. TEMPILSTIK<sup>®</sup>温度测试蜡笔

TEMPILSTIK<sup>®</sup>温度测试蜡笔,在焊接过程中用途非常广泛。例如:确定焊接时需要的温度、焊件焊前预热温度显示、显示焊后热处理

温度、显示焊接过程中层间温度等。温度测试蜡笔共有 87 个温度级别，由 40℃ 开始，在 400℃ 以下每增加 5℃ 为一个级别，400℃ 以上每增加 10℃ 或 25℃ 为一个级别，最高测试温度为 1200℃。TEMPILSTIK® 温度测试蜡笔的笔杆采用铝合金制造，并在白色为底色的笔杆上清楚地以大字注明该测试笔的测试温度，以小字注明华氏的度数，笔身配有袋夹，携带方便。温度显示蜡笔的蜡笔记号能在要求的温度下 ( $\pm 1\%$ ) 熔化。

#### 10. QZPJ-2 轻便自吸式循环喷砂机

QZPJ 2 型轻便自吸式循环喷砂机工作时，以压缩空气为动力喷射砂料进行表面清理，用负压回收砂料，并将回收的砂料过滤后再参加喷射循环使用。该机特点如下：

1) 工作时砂料自动回收、过滤、循环使用，提高了砂料利用率。无粉尘溢出到大气中，根除了粉尘对环境污染和对操作人员的危害。

2) 移动、使用灵活方便，单人即可操作。

3) 气体消耗量小、压力低，一般的移动式压缩空气机就可以驱动工作。

4) 适用于钢板及构件表面、汽车修理行业除锈、除漆；高强螺栓节点摩擦面制造（摩擦系数达 0.45）；对于热喷涂、衬胶行业，一次喷砂可同时完成除锈和表面粗糙均匀化要求，并使涂层和基体结合强度提高。对塑料、玻璃进行喷砂加工，可得到不透光面或不反光面。适用于焊缝坡口及焊缝表面的处理。该喷砂机的技术参数见表 1-44。

**表 1-44 QZPJ-2 轻便自吸式循环喷砂机的技术参数**

专利产品（专利号：89217436.6）

电源电压/V	220	电源功率/kW	1
气源压力/MPa	0.4~0.6	气体耗量/(m <sup>3</sup> /min)	0.9~1
使用砂料	直径 0.45~0.9mm 的刚玉砂或石英砂	喷砂效率/(m <sup>2</sup> /h)	4~6

#### 11. 全位置焊接变位机

全位置焊接变位机，可配合各种机械化焊、半机械化焊和手工焊焊

接。通过工作台的旋转和翻转,使焊件的焊缝位置,处在最理想的焊接位置,有利于提高焊缝质量,减轻焊工的劳动强度,提高生产率。全位置焊接变位机采用晶闸管直流调速器,使变位机实现稳定的恒转矩、无级调速,适用范围广,精度高。焊接过程中常采用 HBZ 型、ZHB 型全位置焊接变位机,见表 1-45 和表 1-46。

表 1-45 HBZ 型全位置焊接变位机

型号 参 数	HBZ -3 (管轴)	HBZ 6	HBZ 12	HBZ 12 I	HBZ 30	HBZ 50	HBZ -50 II	HBZ -150
承载质量/kg	300	600	1200	1200	300	5000	6000	15000
工作台尺寸/ mm	φ100	φ600	φ1500	φ1200	1200 ×1200	φ2000	φ2000	2000 ×2000
转 速/(r/ min)	0~4	0~2	0~2	0~2	0~1.5	0~1.5	0~1.5	0~0.4
工作台翻转 角度/(°)	90	90	90	135	135	90	90	90

表 1-46 ZHB 型自动变位机

型号 参 数	ZHB 3	ZHB-6	ZHB-12	ZHB 30	ZHB-50	ZHB 100	
最大承载质量/kg	300	600	1200	3000	5000	10000	
工作台回转速度/(r/ min)	0.25~6	0.05~2	0.04 ~0.7	0.05 ~0.5	0.05 ~0.5	0.01 ~0.1	
工作台尺寸/mm	φ600	φ1000	φ1200	φ1400	φ1500	φ2000	
工作台翻转角度/(°)	0~90	0~90	0~90	0~120	0~120	0~120	
电动机功率 /kW	可转	0.2	0.6	1.1	1.5	2.2	3
	翻转		0.75	2.2	3	4	5
调速方式	晶闸管无级调速			电磁调速电动机			
最大重心距/mm	200	200	250	300	300	400	



(续)

参 数	型 号					
	ZHB-3	ZHB-6	ZHB-12	ZHB-30	ZHB 50	ZHB 100
最大偏心距/mm	150	150	200	200	200	200
90°时工作最大回转直径/mm	φ800	φ1200	φ1500	φ2000	φ2500	φ3000
外形尺寸	340	1220	1900	2100	2600	2800
$\frac{A}{\text{mm}} \times \frac{B}{\text{mm}} \times \frac{C}{\text{mm}}$	$\times 640$ $\times 730$	$< 1000$ $< 900$	$\times 1290$ $\times 1300$	$\times 1400$ $\times 1200$	$\times 1400$ $\times 1700$	$\times 1800$ $\times 1700$
机器质量/kg	400	700	2000	3500	5000	8000
电源电压/V	220/380					

## 12. 坡口加工机

该设备是一种高效节能的焊接专用辅助设备, 可用于加工 Q235、Q345 (16Mn、16MnR)、不锈钢、铜、铝等金属材料坡口。坡口加工后质量好、尺寸准确、表面光洁、操作简便、能耗极低, 倍受用户欢迎。常用的 HP 系列坡口加工机型号及技术参数见表 1-47。

表 1-47 HP 系列坡口加工机型号及技术参数

参 数	型 号				
	HP-10	HP-11	HP-18	HP-20	HP-26
被加工钢板抗拉强度/MPa	390~750	390~750	390~750	390~750	390~750
坡口最大宽度 B/mm	12~7	20~12	24~15	27~17	35~20
工件最大厚度 δ/mm	30	40	45	50	70
坡口角度调整范围/(°)	30~45	20~50	20~50	20~50	20~50
最小钝边高度 p/mm	1	1.5	1.5	1.5	1.5
加工坡口速度 v/(m·min)	2.6~3.4	2.6~3.4	1.8~2.8	1.3~3.4	0.8~3.4
主电机功率/kW	2.2	3	4	4/3	5.5/2.2

(续)

参 数 \ 型 号	HP-10	HP-14	HP-18	HP-20	HP-26
整机质量/kg	65	1000	1250	1450	4500
外形尺寸 $\frac{A}{\text{mm}} \times \frac{B}{\text{mm}} \times \frac{C}{\text{mm}}$	600 $\times 470$ $\times 700$	1280 $\times 950$ $\times 1356$	1280 $\times 1000$ $\times 1356$	1280 $\times 1018$ $\times 1480$	1700 $\times 1200$ $\times 1830$
工作噪声/dB	$\leq 65$	$\leq 65$	$\leq 65$	$\leq 65$	$\leq 70$
配备刀具	小	普	普	普、粗	普、粗、 特粗

坡口加工机的综合性能比气割、刨边机好得多, 详见表 1-48, 加工坡口各部尺寸名称见图 1-8

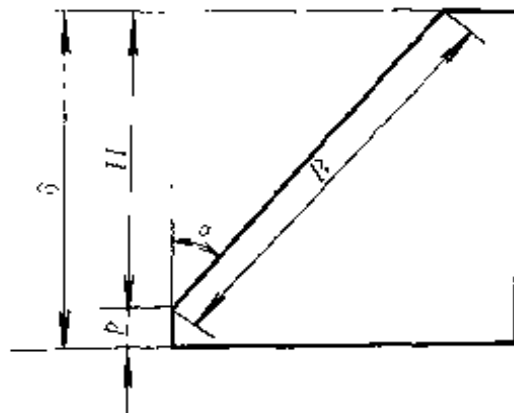


图 1-8 加工坡口各部尺寸名称

$\alpha$ —坡口角度  $B$ —坡口宽度  $H$ —坡口深度

$p$ —钝边高度  $\delta$ —板料厚度

表 1-48 坡口加工机与气割、刨边机的综合性能对比

项 目	HP 坡口加工机	气割机	刨边机
加工坡口质量	好	差	好
使用方便性	好	好	差
生产占地	小	小	大

(续)

项 目	HP 坡口加工机	气割机	刨边机
加工坡口速度/(m/h)	150	20	10
设备投资	较小	小	大
千米坡口加工成本/元	130	2000	2500
单位坡口标准能耗比	1	6	12

### 13. CXJ-1 直角磁性吸具

该直角磁性吸具。具有双面强吸力永磁工作面和直角，是国内首创，工业应用前景广阔，尤其是在焊工作业及装配作业上应用，不需要辅助工便可进行箱体装配及焊接，不仅提高工作效率和质量，还可以大幅度减轻工人劳动强度。直角磁性吸具还能应用于起重、定位、吊挂等工作中。直角磁性吸具工作完毕后，侧拉即可卸下。直角磁性吸具的工作状态见图 1-9。

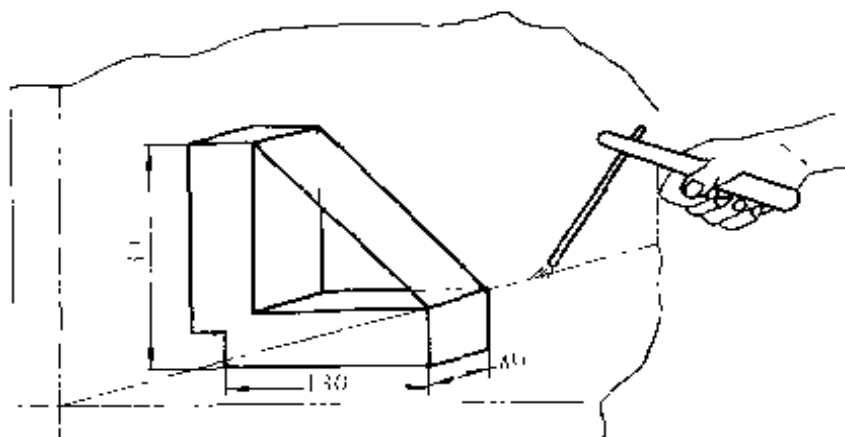


图 1-9 CXJ-1 直角磁性吸具的工作状态

### 14. 焊工培训仪

这是一种电子模拟式初、中级焊工训练器，它是以先进的计算机技术为主导，同时集光、电、磁为一体设计而成的，是焊工培训中有效和必不可少的设备。

“焊工培训仪”具有较好的焊接模拟性能，可使训练者在逼真的操作环境中模拟实际焊接过程，训练者可以通过培训仪所提供的图像和

音响信息, 体会和把握焊接操作要领, 提高焊接操作的水平。

使用“焊工培训仪”培训焊工实际操作技能, 可大大降低能源消耗, 节省钢材及焊接材料, 可以省去笨重的电焊机及辅助设备, 可以改善焊接训练的操作环境, 减少训练者的劳动强度, 保护焊工身体健康。它不仅是电焊工培训仪器, 还是电焊工技术水平定期检验仪器。

#### (1) 主要功能

- 1) 能够模拟焊接过程, 并通过图像及音响提示训练者。
- 2) 能够显示、打印训练成绩。
- 3) 能够针对不同焊接技术水平的训练者, 选择焊接难度等级。
- 4) 能够进行平焊、立焊、横焊、仰焊等各种焊接位置的训练。
- 5) 能够选择不同焊枪分别进行训练。

#### (2) 基本参数

1) 主要配置: 主机、显示器、氩弧焊枪、熔化极气体保护焊枪、焊条电弧焊焊钳、面罩、打印机等。

2) 焊接方法: 钨极惰性气体保护焊、熔化极气体保护焊、焊条电弧焊。

- 3) 模拟焊缝: 对接、搭接、角接。
- 4) 练习时间: 1~5min。
- 5) 电弧长度: 3~6mm。
- 6) 弧长允许偏差: 1~3mm。
- 7) 焊枪移动速度: 100~350mm/min。
- 8) 焊缝宽度: 3~12mm。
- 9) 焊条熔化速率: 200~300mm/min。
- 10) 运条方式: 直线形、直线往复形、月牙形。
- 11) 工作电压: 220V, 50Hz。
- 12) 主机箱尺寸: 400mm×400mm×90mm。
- 13) 显示器尺寸: 345mm×310mm×324mm。
- 14) 工作温度: 0~40℃。

### 六、焊条电弧焊设备常见故障及解决方法

## 1. 弧焊变压器常见的故障及解决方法

弧焊变压器在焊接领域用途最广泛,但是,由于使用、维护不当,也会使焊机出现各种故障。弧焊变压器常见的故障特征、产生原因及解决方法见表 1-19。

表 1-19 弧焊变压器常见的故障及解决方法

故障特征	产生原因	解决方法
变压器外壳带电	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 电源线漏电并碰在外壳上</li> <li>2. 一次或二次线圈碰外壳</li> <li>3. 弧焊变压器未接接地线或地线接触不良</li> <li>4. 焊机电缆线碰焊机外壳</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 消除电源线漏电或解决碰外壳问题</li> <li>2. 检查线圈的绝缘电阻值,并解决线圈碰外壳现象</li> <li>3. 检查地线接地情况并使之接触良好</li> <li>4. 解决焊接电缆碰外壳现象</li> </ol>
变压器过热	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 变压器线圈短路</li> <li>2. 铁心螺栓绝缘损坏</li> <li>3. 变压器过载</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 检查并消除短路现象</li> <li>2. 恢复铁心螺栓损坏的绝缘</li> <li>3. 减小焊接电流</li> </ol>
导线接触处过热	导线电阻过大或连接螺钉太松动	认真清理导线接触面并拧紧连接处螺钉,使导线保持良好接触
焊接电流不稳定	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 焊接电缆与焊件接触不良</li> <li>2. 动铁心随变压器的振动而滑动</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 使焊件与焊接电缆接触良好</li> <li>2. 将动铁心或其调节手柄固定</li> </ol>
焊接电流过小	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 电缆线接头之间或与焊件接触不良</li> <li>2. 焊接电缆线过长,电阻大</li> <li>3. 焊接电缆线盘成盘形,电感大</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 使接头之间,包括与焊件之间的接触良好</li> <li>2. 缩短电缆线长度或加大电缆线直径</li> <li>3. 将焊接电缆线散开,不形成盘形</li> </ol>

(续)

故障特征	产生原因	解决方法
焊接过程中变压器产生强烈的“嗡嗡”声	1. 可动铁心的制动螺钉或弹簧太松 2. 铁心活动部分的移动机构损坏 3. 一次、二次线圈短路 4. 部分电抗线圈短路	1. 旋紧制动螺钉,调整弹簧拉力 2. 检查、修理移动机构 3. 消除一次、二次线圈短路 4. 拉紧弹簧并拧紧螺母
电弧不易引燃或经常断弧	1. 电源电压不足 2. 焊接回路中各接头处接触不良 3. 二次侧或电抗部分线圈短路 4. 可动铁心严重振动	1. 调整电压 2. 检查焊接回路,使接头接触良好 3. 消除短路 4. 解决可动铁心在焊接过程中的松动
焊接过程中,变压器输出电流反常	1. 铁心磁回路中,由于绝缘损坏而产生涡流,使焊接电流变小 2. 电路中起感抗作用的线圈绝缘损坏,使焊接电流过大	检查电路或磁路中的绝缘状况,排除故障

## 2. 弧焊整流器常见故障及解决方法

弧焊整流器是替代耗电高、噪声大、设备笨重的旋转直流弧焊机的新型直流弧焊电源。目前广泛应用于焊接生产中,由于存在对网路电压波动较敏感及整流元件易损坏等缺点,容易出现各种故障,常见的弧焊整流器故障特征、产生原因及解决方法见表 1-50。

表 1 50 直流弧焊整流器常见故障及解决方法

故障特征	产生原因	解决方法
焊接电流不稳定	1. 风压开关抖动 2. 控制线圈接触不良	1. 消除风压开关抖动 2. 恢复良好的接触

(续)

故障特征	产生原因	解决方法
焊接电流不稳定	3. 主回路交流接触器抖动	3. 寻找原因,解决抖动现象
焊机壳漏电	1. 电源接线误碰机壳 2. 焊机接地线不正确或接触不良 3. 变压器、电抗器、电风扇及控制线路元件等碰外壳	1. 解决与焊机壳体接触的电源线 2. 检查地线接法或清理接触点 3. 逐一检查并解决碰外壳的问题
弧焊整流器空载电压过低	1. 网路电压过低 2. 磁力起动器接触不良 3. 变压器绕组短路	1. 调整电压 2. 恢复磁力起动器的良好接触状态 3. 消除短路
电风扇电动机不转	1. 电风扇电动机线圈断线 2. 按钮开关的触头接触不良 3. 熔丝熔断	1. 修复电动机线圈断线处 2. 恢复按钮开关功能 3. 更换熔丝
焊接电流调节失灵	1. 焊接电流控制器接触不良 2. 整流器控制回路中元件被击穿 3. 控制线圈匝间短路	1. 恢复接触器功能 2. 更换损坏元件 3. 消除控制线圈中的短路,恢复控制线圈功能
焊接时电弧电压突然降低	1. 整流元件被击穿 2. 控制回路断路 3. 主回路全部或局部发生短路	1. 更换损坏元件 2. 检修控制回路 3. 检修主回路线路
电表无指示	1. 主回路出现故障 2. 饱和电抗器和交流绕组断线 3. 电表或相应的接线短路	1. 修复主回路故障 2. 消除断线故障 3. 检修电表

## 3. ZX7 系列晶闸管逆变弧焊整流器常见故障及解决方法

逆变电源的出现,是焊接电源发展历史上的一场深刻革命,由于它的焊接工艺性能、各项技术指标均优于其它焊条电弧焊电源,所以得到了迅速的发展和应用。然而,由于操作者使用不当或维护不正确,也会出现各种故障。常见的 ZX7 系列晶闸管逆变弧焊整流器故障特征,产生原因及解决方法见表 1-51。

表 1-51 ZX7 系列晶闸管逆变弧焊整流器常见故障及解决方法

故障特征	产生原因	解决方法
开机后指示灯不亮,风机不转	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 电源缺相</li> <li>2. 自动空气开关 S1 损坏</li> <li>3. 指示灯接触不良或损坏</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 解决电源缺相</li> <li>2. 更换自动空气开关 S1</li> <li>3. 清理指示灯接触面或更换指示灯</li> </ol>
开机后电源指示灯不亮,电压表指示 70~80V,风机和焊机工作正常	电源指示灯接触不良或损坏	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 清理指示灯接触面</li> <li>2. 更换损坏的指示灯</li> </ol>
开机后焊机无空载电压输出	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 电压表损坏</li> <li>2. 快速晶闸管损坏</li> <li>3. 控制电路板损坏</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 更换电压表</li> <li>2. 更换损坏的晶闸管</li> <li>3. 更换损坏的控制电路板</li> </ol>
开机后焊机能工作,但焊接电流偏小,电压表指示不在 70~80V 之间	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 三相电源缺相</li> <li>2. 换向电容可能有个别的损坏</li> <li>3. 控制电路板损坏</li> <li>4. 三相整流桥损坏</li> <li>5. 焊钳电缆截面太小</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 恢复缺相电源</li> <li>2. 更换损坏的换向电容</li> <li>3. 更换损坏的控制电路板</li> <li>4. 更换损坏的三相整流桥</li> <li>5. 更换大截面电缆线</li> </ol>



(续)

故障特征	产生原因	解决方法
焊机电源接通, 自动空气开关就立即断电	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 快速晶闸管有损坏</li> <li>2. 快速整流管有损坏</li> <li>3. 控制电路板有损坏</li> <li>4. 电解电容个别的有损坏</li> <li>5. 过压保护板损坏</li> <li>6. 压敏电阻有损坏</li> <li>7. 三相整流桥有损坏</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 更换快速晶闸管</li> <li>2. 更换损坏的快速整流管</li> <li>3. 更换损坏的控制电路板</li> <li>4. 更换损坏的电解电容</li> <li>5. 更换过压保护板</li> <li>6. 更换损坏的压敏电阻</li> <li>7. 更换损坏的二相整流桥</li> </ol>
控制失灵	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 遥控插头座接触不良</li> <li>2. 遥控电线内部断线或调节电位器损坏</li> <li>3. 遥控开关没放在遥控位置上</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 插座过行清洁处理, 使之接触良好</li> <li>2. 更换导线或更换电位器</li> <li>3. 将遥控选择开关置于遥控位置上</li> </ol>
焊接过程中出现连续断弧现象	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 输出电流偏小</li> <li>2. 输出极性接反</li> <li>3. 焊条牌号选择不对</li> <li>4. 电抗器有匝间短路或绝缘不良的现象</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 增大输出电流</li> <li>2. 改换焊机输出极性</li> <li>3. 更换焊条</li> <li>4. 检查及维修电抗器匝间短路或绝缘不良的现象</li> </ol>

## 第六节 常用金属材料的焊接

### 一、碳素钢的焊接

碳素钢按含碳量的多少可分为: 低碳钢 ( $w_c < 0.25\%$ )、中碳钢 ( $w_c = 0.25\% \sim 0.6\%$ )、高碳钢 ( $w_c > 0.6\%$ ) 三类。

按照钢中有害元素硫和磷的含量, 可将碳素钢分为: 普通碳素钢 (硫含量  $w_s \leq 0.055\%$ , 磷含量  $w_p \leq 0.045\%$ )、优质碳素钢 (硫含量

①  $w_c$  表示碳的质量分数, 余同。

$w_S \leq 0.045\%$ , 磷含量  $w_P \leq 0.01\%$ ), 高级优质碳素钢含硫、磷及夹杂物最少 (硫、磷质量分数均  $\leq 0.035\%$ )。

### 1. 低碳钢的焊接

(1) 焊前预热 低碳钢焊接性能良好, 一般不需要采用焊前预热特殊工艺措施, 只有母材成分不合格 (硫、磷含量过高), 焊件刚度过大, 焊接时环境温度过低等, 才需要采取预热措施, 常用的低碳钢容器类产品, 采用碱性焊条焊接时的预热温度见表 1-52。

表 1-52 常用低碳钢典型产品的焊前预热温度

焊接场地环境温度, C (小于)	焊 件 厚 度/mm		预热温度/ C
	导管, 容器类	柱、桁架、梁类	
0	41~50	51~70	100~150
-10	31~40	31~50	
20	17~30	—	
30	16 以下	30 以下	

(2) 焊条的选择 按照焊接接头与母材等强度的原则选择焊条。常用低碳钢的化学成分及力学性能见表 1-53。几种常用低碳钢焊接时选用的焊条见表 1-54。

表 1-53 常用低碳钢的化学成分及力学性能

牌 号	化 学 成 分(质量分数)/%					力 学 性 能			
	C	Mn	Si	S $\leq$	P $\leq$	$\sigma_s$ /MPa	$\sigma_b$ /MPa	$\delta$ /%	$\psi$ /%
Q195	0.06 ~0.12	0.25 ~0.50	$\leq 0.3$	0.05	0.045	185 ~195	315 ~390	32~33	
Q235	0.09 ~0.15	0.25 ~0.55	$\leq 0.3$	0.05	0.045	$\geq 195$	335 ~410	$\geq 30$	—
Q235	0.14 ~0.22	0.03 ~0.65	$\leq 0.3$	0.05	0.045	$\geq 215$	375 ~460	$\geq 25$	
08	0.05 ~0.12	0.35 ~0.65	0.17 ~0.37	0.035	0.035	200	330	33	60

(续)

牌号	化 学 成 分(质量分数)/%					力 学 性 能			
	C	Mn	Si	S $\leq$	P $\leq$	$\sigma_s$ /MPa	$\sigma_b$ /MPa	$\delta$ /%	$\phi$ /%
10F	0.07 ~0.14	0.25 ~0.50	$\leq$ 0.07	0.04	0.035	190	320	33	55
10	0.07 ~0.14	0.55 ~0.65	0.17 ~0.37	0.04	0.035	210	340	31	55
15F	0.12 ~0.19	0.25 ~0.50	$\leq$ 0.07	0.035	0.035	210	360	29	55
15	0.12 ~0.19	0.35 ~0.65	0.17 ~0.37	0.035	0.035	230	380	27	55
20	0.17 ~0.24	0.35 ~0.65	0.17 ~0.37	0.035	0.035	250	420	25	55
25	0.22 ~0.30	0.50 ~0.80	0.17 ~0.37	0.035	0.035	280	460	23	50
15g	0.10 ~0.20	0.35 ~0.65	0.15 ~0.30	0.035	0.035	210 ~230	360 ~460	25 ~28	—
20g	0.16 ~0.24	0.35 ~0.65	0.15 ~0.30	0.035	0.035	230 ~250	410 ~500	23 ~26	—
22g	0.19 ~0.26	0.70 ~0.90	0.17 ~0.37	0.035	0.035	270	430 ~530	24	—

表 1 54 几种常用低碳钢焊接时选用的焊条

牌 号	焊 条 型 号	
	普通结构件	重要结构件
Q195、Q215、Q235、 08、10、15、20	E4313、E4303、E4301、 E4320、E4311	E4316、E4315、 E5016、E5015
20R、25、20g、22g	E4316、E4315	E5016、E5015

(3) 层间温度及回火温度 焊件刚度较大, 焊缝很长时, 为避免在焊接过程中焊接裂纹倾向加大, 要采取控制层间温度和焊后消除应

表 1-55 焊接低碳钢时的层间温度及回火温度

牌 号	材料厚度, mm	层间温度 / °C	回火温度 / °C
Q235, 08, 10, 15, 20	50 左右	<350	600 ~ 650
	>50~100	>100	
25, 20g, 22g	25 左右	>50	600 ~ 650
	>50	>100	600 ~ 650

力热处理等措施。焊接低碳钢时的层间温度及回火温度见表 1-55。

#### (4) 焊接工艺要点

1) 焊前焊条要按规定进行烘干。为防止产生气孔、裂纹等缺陷, 焊前要清除焊件待焊处的油、污、锈、垢。

2) 避免采用深而窄的坡口形式, 以免出现夹渣、未焊透等缺陷。

3) 控制热影响区的温度, 不能太高, 其在高温停留的时间不能太长, 防止造成晶粒粗大。

4) 尽量采用短弧施焊。

5) 多层焊时, 每层焊缝金属厚度不应大于 5mm, 最后一层盖面焊缝要连续焊完。

(5) 低碳钢、低合金钢焊条电弧焊的焊接参数 低碳钢、低合金钢焊条电弧焊的焊接参数见表 1-56。

表 1-56 低碳钢、低合金钢焊条电弧焊的焊接参数

焊缝 空间 位置	焊件厚度 或焊脚尺 寸 / mm	第一层焊缝		以后各层焊缝		打底焊缝	
		焊条直 径/mm	焊接电流 /A	焊条直 径/mm	焊接电流 /A	焊条直 径/mm	焊接电流 /A
平 对 接 焊 缝	2	2	55~60	—	—	2	55~60
	2.5~3.5	3.2	90~120			3.2	90~120
		3.2	100~130			3.2	100~130
	4~5	4	160~200			4	160~210
		5	200~250			5	220~250
	5~6	4	160~210			3.2	100~130
						4	180~210

(续)

焊缝空间位置	焊件厚度或焊脚尺寸/mm	第一层焊缝		以后各层焊缝		打底焊缝	
		焊条直径/mm	焊接电流/A	焊条直径/mm	焊接电流/A	焊条直径/mm	焊接电流/A
平对接焊缝	6	4	160~210	4	160~210	4	180~210
				5	220~280	5	220~260
	≥12			4	160~210	—	—
				5	220~280	—	—
V对接焊缝	2	2	50~55	—	—	2	50~55
	2.5~4	3.2	80~110	—	—	3.2	80~110
	5~6		90~120	—	—		90~120
对接焊缝	7~10	3.2	90~120	4	120~160	3.2	90~120
		4	120~160				
	≥11	3.2	90~120	5	160~200		
		4	120~160				
对接焊缝	12~18	3.2	90~120	4	120~160	—	—
		4	120~160				
	≥19	3.2	90~120	5	160~200		
		4	120~160				
横对接焊缝	2	2	50~55	—	—	2	50~55
	2.5	3.2	80~110			3.2	80~110
			90~120				90~120
	3~4	4	120~160			4	120~160
		5~8	3.2				90~120
	≥9					4	
3.2		90~120					
4	120~160						

(续)

焊缝 空间 位置	焊件厚度 或焊脚尺 寸/mm	第一层焊缝		以后各层焊缝		打底焊缝			
		焊条直 径/mm	焊接电 流/A	焊条直 径/mm	焊接电 流/A	焊条直 径/mm	焊接电 流/A		
横 对 接 焊 缝	12~18	3.2	90~120	4	140~160	—	—		
		4	140~160						
	≥19	4	140~160						
仰 角 接 焊 缝	2					2	50~55		
	3~5					3.2	90~110		
							4	120~160	
斜 接 焊 缝	5~8	3.2	90~120	3.2	90~120	—	—		
	≥9		4	140~160	4			140~160	
	12~18	3.2	90~120						
		4	140~160						
	≥19	4	140~160						
平 角 焊 缝	2	2	55~65	—	—	—	—		
	3	3.2	100~120						
	4		4					160~200	
	5~6	4	160~200						
		5	220~280						
	≥7	4	160~200					5	220~280
		5	220~280						

(续)

焊缝空间位置	焊件厚度或焊脚尺寸/mm	第一层焊缝		以后各层焊缝		打底焊缝		
		焊条直径/mm	焊接电流/A	焊条直径/mm	焊接电流/A	焊条直径/mm	焊接电流/A	
船形焊缝	2	2	50~60					
	3~4	3.2	90~120					
	5~8	3.2	90~120					
		4	120~160					
	9~12	3.2	90~120	4	120~160			
		4	120~160					
	I形坡口	3.2	90~120	4	120~160	3.2	90~120	
		4	120~160					
	仰角焊缝	2	2	50~60				
		3~4	3.2	90~120				
5~6		4	120~160					
≥7				4	140~160			
I形坡口		3.2	90~120	4	140~160	3.2	90~120	
		4	140~160			4	140~160	

## 2. 中碳钢的焊接

中碳钢的含碳量较高，其化学成分及力学性能见表 1-57，中碳钢焊接及焊补过程中容易产生的焊接缺陷是：

- 1) 焊接接头脆化。
- 2) 焊接接头易产生裂纹：热裂纹、冷裂纹、热应力裂纹。
- 3) 焊缝中易产生气孔。

为保证中碳钢焊后获得满意的焊缝成形、力学性能，通常采取如下措施：

(1) 焊前预热 预热是焊接和焊补中碳钢的主要工艺措施。预热方法有整体预热和局部预热两种。整体预热除了有利于防止裂纹和淬硬

组织外，还能有效地减小焊件的残余应力。

预热温度的选择与含碳量、焊件尺寸、刚度和材料厚度有关。一般预热温度为150~300℃，含碳量高，焊件厚度和结构刚度大时，预热温度可达到400℃。如 $\delta \geq 100\text{mm}$ 的45钢，预热温度为200℃ ( $< t_{\text{面积}} < 400\text{℃}$ )。

表 1 57 中碳钢的化学成分及力学性能

牌 号	化 学 成 分(质量分数)/%							力 学 性 能		
	C	Mn	Si	P ≤	S ≤	Cr ≤	Ni ≤	$\sigma_s$ /MPa	$\sigma_b$ /MPa	$\delta_5$ /%
20	0.27 ~0.35	0.5 ~0.8	0.17 ~0.37	0.035	0.035	0.25	0.25	295	490	21
35	0.32 ~0.4	0.5 ~0.8	0.17 ~0.37	0.035	0.035	0.25	0.25	315	530	20
40	0.37 ~0.45	0.5 ~0.8	0.17 ~0.37	0.035	0.035	0.25	0.25	335	570	19
45	0.42 ~0.5	0.5 ~0.8	0.17 ~0.37	0.035	0.035	0.25	0.25	355	600	16
50	0.47 ~0.55	0.5 ~0.8	0.17 ~0.37	0.035	0.035	0.25	0.25	375	630	14
55	0.52 ~0.6	0.5 ~0.8	0.17 ~0.37	0.035	0.035	0.25	0.25	380	645	13
ZG270 -500	≤0.4	≤0.9	≤0.5	0.04	0.04	0.3	0.3	270	500	18
ZG310 -570	≤0.5	≤0.9	≤0.6	0.04	0.04	0.3	0.3	310	570	15
ZG340 640	≤0.6	≤0.9	≤0.6	0.04	0.04	0.3	0.3	340	640	12

(2) 焊条的选择 按照焊接接头与母材等强度的原则选择焊条。焊接中碳钢选用的焊条见表 1-58。



表 1-58 焊接中碳钢选用的焊条

牌 号	焊 条 型 号(牌号)		
	要求等强构件	不要求等强构件	塑性好的焊条
30、35 ZG270 500	E5013 E5516-G (J506) (J556) (J556RH) E5015 E5515 G (J507) (J557)	E4303 E4301 (J422) (J423) E4316 E4315 (J426) (J427)	E308 16 (A101)、(A102) E309-15 (A307)
40、45 ZG310 570	E5516 G (J556)、(J556RH) E5515 G (J557)、(J557Mo) E6016-D1 (J606) E6015-D1 (J607)	E4303(J422) E4316(J426) E4315(J427) E4301(J423) E5015(J507) E5016(J506)	E310-16 (A402) E310 15 (A407)
50、55 ZG340 640	E6016-D1(J606) E6015-D1(J607)		

(3) 层间温度及回火温度 焊件在焊接过程中的层间温度及焊后回火处理温度与焊件含碳量多少、焊件厚度、焊件刚度及焊条类型有关，常用的中碳钢焊接层间温度及回火温度见表 1-59。

表 1 59 常用的中碳钢焊接时层间温度及回火温度

牌号	板厚 /mm	操 作 工 艺		
		预热及层间温度/℃	消除应力回火温度/℃	锤击
25	~25	>50	—	不要
		>50	600~650	不要
30	>25	>100	600~650	要
	~50	>150	600~650	要
35	>50	>150	600~650	要
	~100			
45	~100	>200	600~650	要

## (1) 焊接工艺要点

- 1) 选用直径较小的焊条，通常为  $\phi 3.2 \sim \phi 4\text{mm}$ 。
- 2) 焊接坡口尽量开成 U 形，以减少母材的熔入量。
- 3) 焊后尽可能缓冷。
- 4) 焊接过程中，宜采用锤击焊缝金属的方法减少焊接残余应力。
- 5) 采用局部预热时，坡口两侧加热范围为  $150 \sim 200\text{mm}$ 。
- 6) 焊接过程中宜采取逐步退焊法和短段多层焊法。
- 7) 采用直流反接电源。
- 8) 在焊条直径相同时，焊接电流比焊接低碳钢时小  $10\% \sim 15\%$ 。

## 3. 高碳钢的焊接

高碳钢含碳量较高 ( $w_C > 0.6\%$ )，淬硬倾向和裂纹敏感性很大，属于焊接性差的钢种。高碳钢焊接及焊补过程中容易产生的缺陷是：

- 1) 焊接接头脆化。
- 2) 焊接接头易产生裂纹。
- 3) 焊缝中易产生气孔。
- 4) 使焊缝与母材金属力学性能完全相同比较困难。

为保证高碳钢焊后获得较满意的力学性能及焊缝成形，通常采取如下措施。

(1) 焊前预热 高碳钢焊前预热温度较高，一般在  $250 \sim 400^\circ\text{C}$  范围，个别结构复杂、刚度较大、焊缝较长、板厚较厚的焊件，预热温度高于  $400^\circ\text{C}$ 。常用高碳钢的化学成分及焊前预热温度见表 1-60。

(2) 焊条的选择 焊接接头力学性能要求比较高时，应选用焊条 E7015-D2 (J707) 或 E5015-D1 (J607)；力学性能要求较低时，可选用 E5016 或 E5015 等焊条施焊，焊前焊件要预热，焊后要配合热处理。也可以使用不锈钢焊条：E310-15 (A407)；E1-23-13-15；E2-26-21-16。这时，焊前可不必预热。

(3) 层间温度及回火温度 高碳钢多层焊接时，各焊层的层间温度，应控制与预热温度等同。施焊结束后，应立即将焊件送入加热炉中，加热至  $600 \sim 650^\circ\text{C}$ ，然后缓冷。

表 1-60 常用高碳钢的化学成分及焊前预热温度

牌号	化 学 成 分(质量分数)/%						预热温 度/°C	备注	
	C	Si	Mn	P≤	S≤	Cr			Ni
65	0.62 ~0.70	0.17 ~0.37	0.50 ~0.80	0.035	0.035	≤0.25	≤0.25	250 ~400	视焊 件具 体情 况而 定
70	0.67 ~0.75	0.17 ~0.37	0.50 ~0.80	0.035	0.035	≤0.25	≤0.25	>400	
85	0.82 ~0.90	0.17 ~0.37	0.50 ~0.80	0.035	0.035	≤0.25	≤0.25	>400	

#### (1) 焊接工艺要点

- 1) 仔细清除焊件待焊处油、污、锈、垢。
- 2) 采用小电流施焊，焊缝熔深要浅。
- 3) 焊接过程中要采用引弧板和引出板。

4) 为防止产生裂纹，可采用隔离焊缝焊接法。即先在焊接坡口上用低碳钢焊条堆焊一层，然后再在堆焊层上进行焊接。

5) 为减少焊接应力，焊接过程中，可采用锤击焊缝金属的方法减少焊件的残余应力。

#### 二、低合金结构钢的焊接

低合金结构钢含有少量的合金元素(总量的质量分数 $<5\%$ )，一般是按屈服点进行分级的，常用低合金结构钢的屈服点在 $300\sim 600\text{MPa}$ 范围内。低合金结构钢的特点是综合性能好，强度高，焊接性和加工性都很好。采用低合金结构钢制作焊接构件，不仅可以减少构件断面尺寸，降低构件自重，节约钢材和焊材，还可以提高构件的使用寿命，节约制造工时。屈服点为 $300\sim 450\text{MPa}$ 的低合金结构钢，在热轧或正火状态下使用，大于 $450\text{MPa}$ 的低合金高强度结构钢，在调质状态下使用。

##### (一) 低合金结构钢的焊接性

低合金结构钢之所以具有较高的强度和其它特殊性能，是由于在钢中加入了一定数量的合金元素，通过合金元素对钢的组织产生作用，

使钢达到了一定性能要求,同时也在影响着钢的焊接性。低合金结构钢的焊接性及影响因素见表 1-61、常用低合金结构钢的化学成分及力学性能见表 1-62。

表 1-61 低合金结构钢的焊接性及影响因素

焊 接 性	影 响 因 素
热影响区淬硬倾向	1. 化学成分 碳当量越大,淬硬倾向也越大 2. 冷却速度 冷却速度越大,则淬硬倾向越大
氢白点	1. 焊条烘干温度 2. 焊丝及待焊处油、污 3. 焊前预热温度,焊后热处理温度 4. 大直径焊条、大电流连续施焊
冷裂纹	1. 焊缝金属内的氢 2. 热影响区或焊缝金属的淬硬组织 3. 焊接接头的拉应力
焊缝金属内的热裂纹	1. 焊缝金属的化学成分(如碳、硫、铜等元素的含量) 2. 焊接接头的刚度 3. 焊接熔池的形状系数 4. Mn/S 的比值

### (二) 焊接低合金结构钢焊条的选择

焊接低合金结构钢时,通常要根据所焊钢材的化学成分、力学性能、裂纹倾向、焊接结构的工作条件、受力情况、焊接结构形状及焊接施工条件等诸因素综合考虑选用焊条。焊条的选用原则主要是:

#### 1. 按等强度原则

1) 要求焊缝的强度等于或略高于母材金属的强度,不要使焊缝的强度超出母材强度太高。

2) 当强度等级不同的低合金结构钢或者低合金结构钢与低碳钢相焊接时,要选用与强度等级较低的钢材相匹配的焊条焊接。

表 1-62 常用低合金结构钢的化学成分及力学性能

牌 号	质量等级	化 学 成 分 (质量分数) %										力 学 性 能					
		C	Mn	Si	P	S	V	Nb	Ti	Al	Cr	Ni	$\sigma_s$ /MPa	$\sigma_b$ /MPa	$\delta$ /%	A <sub>K1</sub> /J	
Q295 (09MnV, 09MnNb, 09Mn2, 12Mn)	A	0.16	0.80	0.35	0.045	0.045	0.02	0.015	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-
	B	0.16	0.80	0.55	0.040	0.040	0.02	0.015	0.02	-	-	-	295	390	23	-	
Q345 (16Mn, 16MnRE, 18Nb, 12MnV, 13MnNb)	A	0.20	1.00	0.55	0.045	0.045	0.02	0.015	0.02	-	-	-	-	-	-	-	≥34 为 120
	B	0.20	1.00	0.55	0.040	0.040	0.02	0.015	0.02	-	-	-	-	-	21	-	~ -20℃ 测得的 数值
	C	0.20	1.00	0.55	0.035	0.035	0.02	0.015	0.02	-	-	-	345	470	-	-	≥27 是在 -40℃ 测得的
	D	0.18	1.00	0.55	0.030	0.030	0.02	0.015	0.02	0.015	-	-	630	-	22	-	-
	E	0.18	1.00	0.55	0.025	0.025	0.02	0.015	0.02	0.015	-	-	-	-	-	-	-

牌 号	质量等级	化 学 成 分(质量分数):%										力 学 性 能				
		C	Mn	Sr	P	S	V	Nb	Ti	Al	Cr	Ni	$\sigma_s$ MPa	$\sigma_b$ MPa	$\delta$ %	$A_{kv}$ J
Q390 (15MnV, 15MnTi, 16MnNb)	A	0.20	1.00	0.55	0.045	0.045	0.02	0.015	0.02	—	0.30	0.70	190	—	18	—
		~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~				
	B	0.20	1.00	0.55	0.040	0.040	0.02	0.015	0.02	—	0.30	0.70	—	—	—	—
		~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~				
	C	0.20	1.00	0.55	0.035	0.035	0.02	0.015	0.02	0.015	0.30	0.70	390	—	—	—
~		~	~	~	~	~	~	~	~	~	~					
D	0.20	1.00	0.55	0.030	0.030	0.02	0.015	0.02	0.015	0.30	0.70	—	—	20	—	
	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~					
E	0.20	1.00	0.55	0.025	0.025	0.02	0.015	0.02	0.015	0.30	0.70	—	—	—	—	
	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~					
Q420 (14MnV- TiRE,15- MnVN)	A	0.20	1.00	0.55	0.045	0.045	0.02	0.015	0.02	—	0.40	0.70	420	—	18	—
		~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~				
	B	0.20	1.00	0.55	0.040	0.040	0.02	0.015	0.02	—	0.40	0.70	—	—	—	—
		~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~				

—31为  
+20  
~  
-20℃  
测得的  
数值

—27  
是在  
-10℃  
测得的

(续)

牌号	质量等级	化学成分(质量分数)/%										力学性能				
		C	Mn	Si	P	S	V	Nb	Ti	Al	Cr	Ni	$\sigma$ /MPa	$\sigma_b$ /MPa	$\delta$ /%	$A_{K1}$ /J
Q420 (14MnV TiRE、15- MnVN)	C	0.20	1.00 ~ 1.70	0.55	0.035	0.035	0.02 ~ 0.20	0.015 ~ 0.060	0.02	0.015 ~ 0.20	0.10 0.40	0.70	120	520 ~ 680	19	$\geq 34$ 为 +20 ~ -20℃ 测得的 数值
	D	0.20	1.00 ~ 1.70	0.55	0.030	0.030	0.02 ~ 0.20	0.015 ~ 0.060	0.02	0.015 ~ 0.20	0.10 0.40	0.70	460	550 ~ 720	17	$\geq 27$ 是在 -10℃ 测得的
	E	0.20	1.00 ~ 1.70	0.55	0.025	0.025	0.02 ~ 0.20	0.015 ~ 0.060	0.02	0.015 ~ 0.20	0.10 0.40	0.70	460	550 ~ 720	17	$\geq 27$ 是在 -10℃ 测得的
Q460	C	0.20	1.00 ~ 1.70	0.55	0.035	0.035	0.02 ~ 0.20	0.015 ~ 0.060	0.02	0.015 ~ 0.20	0.10 0.40	0.70	460	550 ~ 720	17	$\geq 27$ 是在 -10℃ 测得的
	D	0.20	1.00 ~ 1.70	0.55	0.030	0.030	0.02 ~ 0.20	0.015 ~ 0.060	0.02	0.015 ~ 0.20	0.10 0.40	0.70	460	550 ~ 720	17	$\geq 27$ 是在 -10℃ 测得的
	E	0.20	1.00 ~ 1.70	0.55	0.025	0.025	0.02 ~ 0.20	0.015 ~ 0.060	0.02	0.015 ~ 0.20	0.10 0.40	0.70	460	550 ~ 720	17	$\geq 27$ 是在 -10℃ 测得的

牌 号	化 学 成 分 (质量分数)/%										力学性能不小于			钢材厚度 或直径 mm
	C	Si	Mn	Mo	V	其 它	P	S	$\sigma_s$ MPa	$\sigma_b$ MPa	$\delta_5$ %			
Q345 (16Mn)	$\leq 0.12$ $\sim 0.20$	0.20 $\sim 0.55$	1.20 $\sim 1.60$	—	—	—	0.045 0.045	不大于	310 $\sim$ 680	345	22	$\leq 16$		
Q345 (16MnRE)	0.12 $\sim 0.20$	0.20 $\sim 0.55$	1.20 $\sim 1.60$	—	—	RE: 加入 量 0.02 $\sim 0.20$	0.045 0.045		510 $\sim$ 560	345	22	$\leq 16$		
(10MnPNbRE)	$\leq 0.14$	0.20 $\sim 0.55$	0.80 $\sim 1.20$	—	—	Nb: 0.015 $\sim 0.050$ RE 加入量 0.02 $\sim 0.2$	0.06 $\sim$ 0.12		510 $\sim$ 660	390	20	$\leq 10$		
Q390 (15MnV)	0.12 $\sim 0.18$	0.20 $\sim 0.55$	1.20 $\sim 1.60$	—	0.04 $\sim 0.12$	—	0.045 0.045		530 $\sim$ 680	390	18	$\leq 16$ 4 $\sim 16$		

(续)



(续)

牌 号	化 学 成 分(质量分数)/%										力学性能不小于			钢材厚度 或直径 (mm)
	C	Si	Mn	Mo	V	其 它	P 不大于	S	$\sigma_b$ /MPa	$\sigma_s$ /MPa	$\delta_5$ /%			
												共 它		
Q390 (15MnTi)	0.12 ~0.18	0.20 ~0.55	1.20 ~1.60	—	—	Ti:0.12 ~0.20	0.045	0.045	530 ~680	390	20	$\leq 25$		
Q390 (16MnNb)	0.12 ~0.2	0.20 ~0.55	1.00 ~1.40	—	—	Nb:0.015 ~0.050	0.045	0.045	530 ~680	390	20	$\leq 16$		
Q420 (14MnVTiRE)	$\leq 0.18$	0.20 ~0.55	1.30 ~1.60	—	0.04 ~0.10	Ti:0.09 ~0.16 RE加入量 0.02~0.20	0.045	0.045	550 ~700	440	19	$\leq 12$		
Q420 (15MnVN)	0.12 ~0.20	0.20 ~0.55	1.30 ~1.70	—	0.10 ~0.20	N:0.010 ~0.020	0.045	0.045	550 ~740	440	19	$\leq 10$		

注:1.表中的Al为全铝含量。如化验酸溶铝时,其质量分数应不小于0.010%。

2.表中 $\sigma_s$ 值为厚度 $\leq 16\text{mm}$ 的材料。

3.括号内为GB1591-88对应牌号,括号外为GB/T1591-94新标准牌号,表中化学成分为新标准牌号成分。

4.低合金钢已由括号外GB/T1591-94代替括号内GB1591-88。

3) 焊条是按抗拉强度分类的, 钢材是按屈服点分类的, 两者分类方法不同, 焊前选用焊条时, 必须考虑所焊钢种的抗拉强度。

### 2. 按焊接结构重要程度选用酸、碱性焊条

选用酸、碱性焊条的原则, 主要取决于钢材的抗裂性能、焊接结构工作条件、施工条件、焊接结构的形状复杂程度、焊接结构刚度等因素。对于重要的焊接结构, 要求塑性好、冲击韧度好、抗裂性好、低温性能好的焊接结构, 可选用碱性焊条。对于非重要的焊接结构, 或坡口表面有油、污、锈、垢、氧化皮等脏物而又难于清理时, 在焊接结构性能允许的前提下, 也可以选用酸性焊条。

### 3. 从降低生产成本和提高生产率方面考虑选用焊条

大批量生产时, 尽量选用高效专用焊条, 如: 立向下焊条、铁粉焊条、重力焊条等, 这样可以缩短焊接周期和提高生产率。在满足结构性能要求的前提下, 尽量选用酸性焊条, 因为酸性焊条施焊过程中放出的有害气体少, 操作工艺性能较好, 又可以使用交流弧焊机(交流弧焊机比直流弧焊机的价格低廉)。

低合金结构钢焊接用的焊条见表 1-63。

### (二) 低合金结构钢的焊前预热、层间温度及焊后热处理

预热有防止冷裂纹、降低焊缝和热影响区冷却速度、减小内应力等重要作用。低合金结构钢焊前是否需要预热, 要慎重考虑。常用下列方法来确定低合金结构钢焊前是否需要预热。

表 1-63 低合金结构钢焊接用的焊条

钢 材 牌 号		适用焊条型号
GB/T1591—94	GB1591—88	
Q295	09MnV; 09Mn2 09MnNb; 12Mn	E4303(J422)
		E4301(J423)
		E4316(J426)
		E4315(J427)
		E5016(J506)
		E5015(J507)

(续)

钢 材 牌 号		适用焊条型号
GB/T1591—91	GB1591—88	
Q345	18Nb;12MnV 14MnNb 16Mn;16MnRE	E5003(J502) E5001(J503) E5016(J506) E5015(J507) E5018(J506Fe) E5028(J506Fe16)
Q390	15MnV;16MnNb 15MnTi	E5016(J506) E5015(J507) E5515-G(J557) E5516-G(J556) E5001(J503) E5003(J502) E5015-G(J507R) E5013-G(J506R)
Q420	15MnVN 14MnVTiRE	E5516-G(J556RH) E5515-G(J557MoV) E6016-DI(J606) E6015-DI(J607)

(1) 从施焊环境温度考虑 板材施焊时的温度低于 0℃ 时, 焊前要将引弧点四周 80mm 范围内预热至 150℃ 左右。当板材金属温度低于 -30℃ 时, 应停止焊接施工。

(2) 从待焊件的板厚考虑 强度等级在 500~550MPa 的低合金钢, 当板厚大于 25mm 时, 一般要考虑进行 100℃ 以上温度的预热。强度等级越高, 预热温度也要相应提高。

(3) 从化学成分考虑 钢的焊接性与化学成分、杂质含量、热处理

状态、焊接结构刚度、所用的焊接工艺及焊接材料有关,但起决定作用的是钢的化学成分。通常把各种合金元素对焊接性的影响折算成相当于碳的影响,即碳当量。低合金结构钢碳当量  $w_{CE} > 0.35$  时,要考虑预热,当碳当量  $w_{CE} > 0.45$  时,要在焊前进行预热。部分低合金结构钢的碳当量见表 1-64。

焊后热处理的目的都是为了改善焊缝接头组织及力学性能,消除焊接内应力,提高构件尺寸的稳定性,增强抗应力腐蚀性能、提高结构长期使用的质量稳定性和工作安全性等。常用低合金结构钢焊接时的焊前预热温度、焊接过程中的层间温度及焊后的热处理温度见表 1-65。

#### (四) 低合金钢的焊接工艺要点

表 1 64 部分低合金结构钢的碳当量

钢 材 牌 号		热处理状态	碳当量 $w_{CE} / \%$
GB/T1591-88	GB/T1591-94		
09MnV	Q295	热轧或热处理	0.28
09MnNb			0.26
09Mn2			0.39
12Mn			0.34
18Nb	Q345	热 轧	0.28
16MnRE		热轧或热处理	0.37
12MnV		热轧或正火	0.37
14MnNb		热 轧	0.31
16Mn	Q390	热轧或热处理	0.39
15MnV			0.40
15MnTi			0.38
16MnNb			0.35
14MnVTiRE	Q420	热轧或热处理	0.44
15MnVN			0.44

低合金结构钢的碳当量与钢材强度有关,碳当量低的,强度也低,焊接性较好。如屈服点 300~400MPa 的钢种,焊接性较好,焊接工艺也较简单。碳当量越大的钢种,其强度级别也越高,焊接性也越差,焊接工艺也就越复杂。常用的低合金结构钢焊接工艺要点见表 1-66。

**表 1 65 常用低合金结构钢焊接时的焊前预热温度、焊接过程中的层间温度及焊后热处理温度**

钢 材 牌 号		预热温度 /℃	层间温度 /℃	焊后热处理
GB/T1591-84	GB1591-88			
Q295	09MnV 09MnNb 09Mn2 12Mn	一般厚度 不预热	不限	不处理
Q345	18Nb 12MnV 14MnNb 16Mn 16MnRE	$\delta \leq 40\text{mm}$ 不预热 $\delta > 40\text{mm}$ 预热温度 $\geq 100$		600~650℃ 回火
Q390	15MnV 15MnTi 16MnNb	$\delta \leq 32\text{mm}$ 不预热 $\delta > 32\text{mm}$ 预热温度 $\geq 100$		560~590℃ 或 630~650℃ 回火
Q420	14MnVTiRE 15MnVN	$\delta > 32\text{mm}$ 预热温度 $\geq 100$		100 ~150

表 1-66 常用的低合金结构钢焊接工艺要点

牌 号	供货状态	屈服点 $\sigma_s$ /MPa 及 碳当量 $w_{CE}/\%$	焊接特点	工艺措施
Q295 (09MnNb 09Mn2 09MnV 12Mn)	热	$\sigma_s$ : 295  $w_{CE}$ : 0.28~0.34	碳当量较低,强度也不高,塑性、韧性、焊接性良好。钢材淬硬倾向小,一般情况下不出现淬硬组织,热影响区最高硬度 HV 在 350 以下,稍大于低碳钢 当焊接环境较低,焊件板材较厚,焊接接头刚度较大时,焊缝容易产生冷裂纹	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 需要焊缝与母材等强度的焊件,应选用相应强度级别的焊条</li> <li>2. 不需要焊缝与母材等强度的焊件,为提高韧性、塑性,可选用强度略低于母材的焊条</li> <li>3. 在施焊场地环境温度 <math>&lt; 0^\circ\text{C}</math> 时焊接,焊件应预热 <math>100\sim 150^\circ\text{C}</math></li> <li>4. 焊件板厚增加,其刚度也变大,则预热温度应提高</li> <li>5. 尽量选用低氢型焊条,非动载荷的构件、板材强度也较低时,也可以用酸性焊条</li> </ol>
Q345 (12MnV 14MnNb 16Mn 16MnRE 18Nb)		$\sigma_s$ : 345  $w_{CE}$ : 0.28~0.39		
Q390 (15MnV 15MnTi 16MnNb)		$\sigma_s$ : 390  $w_{CE}$ : 0.31~0.35		
Q420 (14MnVTiRE 15MnVN)	正   火	$\sigma_s$ : 440      $w_{CE}$ : 0.44	碳当量较高,焊接性变差,热影响区产生硬脆组织和焊接接头产生冷裂纹的可能性增大。焊后在 $800\sim 500^\circ\text{C}$ 冷却时,冷却速度越大,淬硬也越严重,产生冷裂纹的倾向亦加大 焊接热输入过小,热影响区产生淬硬组织,易产生裂纹。热输入过大,焊接接头塑性降低	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 根据设计要求,可选用焊缝与母材等强度的焊条,也可以用强度略低于母材的焊条施焊</li> <li>2. 适当控制焊接热输入和焊后冷却速度</li> <li>3. 尽量用低氢型焊条。焊件、焊条应保持在低氢状态</li> <li>4. 定位焊时,也应进行焊前预热</li> <li>5. 焊件板厚较大或强度级别较高时,焊后应及时进行热处理。或在 <math>200\sim 350^\circ\text{C}</math> 保温 <math>2\sim 6\text{h}</math></li> <li>6. 严禁在非焊接部分引弧</li> </ol>

表 1 67 常用耐热钢的化学成分(质量分数)

类别	牌 号	C	Mn	Si	Cr	Mo	Ni	Ti	V	W	B	S P		
												不大于		
珠 光 体 耐 热 钢	10Cr2Mo1		0.1 ~0.6	0.15 ~0.50	2.0 ~2.5	0.9 ~1.1								
	12CrMo		0.4 ~0.7	0.2 ~0.4	0.4 ~0.7	0.40 ~0.55								
	12Cr5Mo	≤0.15	≤0.6	≤0.5	4~6	0.5 ~0.6							0.30	0.35
	12Cr9Mo1		0.3 ~0.6	0.5 ~1.0	8~10	0.9 ~1.1								
	12Cr1MoV	0.08 ~	0.4 ~0.7	0.17 ~0.37	0.9 ~1.2	0.25 ~0.35			0.15 ~0.30					
	12Cr2MoWVB	0.15	0.45 ~0.65	0.45 ~0.75	1.6 ~2.1	0.50 ~0.65			0.08 ~0.18	0.28 ~0.42	0.3 ~0.55	≤0.008		
	12Cr3MoVSrTiB	0.09 ~0.15	0.5 ~0.8	0.6 ~0.9	2.5 ~3.0	1.0 ~1.2			0.22 ~0.38	0.25 ~0.35		0.005 ~0.011	0.030	0.035

类别	牌 号	C	Mn	Si	Cr	Mo	Ni	Ti	V	W	R	S		P
												其它	不大于	
珠 光 体 耐 热 钢	15CrMo	0.12 ~ 0.18	0.4	0.17	0.8 ~ 1.1	0.40 ~ 0.55								
	15Cr1Mo1V	0.08 ~ 0.15	0.7	0.37	0.9 ~ 1.2	1.0 ~ 1.2			0.15 ~ 0.25					
	17CrMo1V	0.12 ~ 0.20	0.6 ~ 1.0	0.3 ~ 0.5	0.30 ~ 0.45	0.7 ~ 0.9			0.3 ~ 0.4					
	20Cr3MoWV	0.17 ~ 0.24	0.3 ~ 0.6	0.2 ~ 0.4	2.6 ~ 3.0	0.35 ~ 0.50			0.7 ~ 0.9	0.3 ~ 0.6			0.030	0.035
	0Cr18Ni13Si4	≤		3~5	15 ~ 20		11.5 ~ 15							
奥 氏 体 耐 热 钢	0Cr23Ni13	0.08	≤2	≤1	22 ~ 24		12 ~ 15							
	1Cr16Ni35	≤		≤1.5	14 ~ 17		33 ~ 37							
	1Cr20Ni14Si2	≤ 0.20	≤1.5	1.5 ~ 2.5	19 ~ 22		12 ~ 15							



(续)

类别	牌 号	C	Mn	Si	Cr	Mo	Ni	Ti	V	W	B	其它			
												S	P		
奥 氏 体 耐 热 钢	1Cr22Ni20Co20Mo3W3NbN	0.08 ~ 0.16	1~2	≤1	20~ 22.5	2.5 ~3.5	19 ~21	Co: 18.5 ~21	Nb: 6.75 ~1.25	2~3			N: 0.1 ~ 0.2	不大于	
	1Cr25Ni20Si2	≤ 0.2	≤ 1.5	1.5 ~2.5	24 ~27		18 ~21								
	2Cr20Mn9Ni2Si2N	0.17 ~ 0.26	8.5 ~11	1.8 ~2.7	13 ~21		2~3						N: 0.2 ~ 0.3		
	2Cr23Ni13	≤ 0.2		≤1	22 ~24		12 ~15							0.030	0.035
	2Cr25Ni20	≤ 0.25	≤2		24 ~26		19 ~22								
	3Cr18Mn12Si2N	0.22 ~ 0.30	10.5 ~ 12.5	1.4 ~2.2	17 ~19									N: 0.22 ~ 0.33	

(续)

类别	牌号	C	Mn	Si	Cr	Mo	Ni	Ti	V	W	B	其他				
												S	P			
铁素体耐热钢	00Cr12	≤0.03			11~13			-					不大于	0.04		
	0Cr11Ti	≤		≤1	10.50~11.75			5×C%~0.75							0.035	
		0.08	≤1	11.5~14.5					Al: 0.1~0.3							
	1Cr17	≤0.12		≤0.75	16~18									0.03	0.04	
	1Cr19Al3	≤0.1		≤1.5	17~21											0.035
		2Cr25N	≤0.2	≤1.5	≤1	23~27								N: ≤0.25		0.04

(续)

类别	牌 号	C	Mn	Si	Cr	Mo	Ni	Ti	V	W	B	其 它	
												S	P
马氏体耐热钢	1Cr15Mo	≤ 0.15	≤ 0.6	≤ 0.3	4~6	0.45 ~0.60	≤ 0.6						不大于
		0.11 ~0.18			10~ 11.5	0.5 ~0.7			0.25 ~0.4				
	1Cr11Ni2W2MoV	0.10 ~0.16	≤ 0.6	≤ 0.6	10.5 ~12	0.35 ~0.50	1.4 ~1.8			0.18 ~0.3	1.5 ~2		
		≤ 0.15	≤ 1	≤ 0.5	11.5 ~13	—	—	—	—	—	—	—	0.03 0.035
	1Cr12WMoV	0.12 ~0.18	0.5 ~0.9		11 ~13	0.5 ~0.7	0.4 ~0.8			0.18 ~0.3	0.7 ~1.1		
		≤ 0.15	≤ 1	≤ 1	11.5 ~13.5	—	—	—	—	—	—	—	—
	1Cr13Mo	0.08 ~0.18		≤ 0.6	11.5 ~14	0.3 ~0.6	—			—	—		
		0.11 ~0.17	0.8 ~0.8	≤ 0.8	16 ~18	—	1.5 ~2.5			—	—		

### 三、耐热钢的焊接

具有热稳定性和热强性的钢,称为耐热钢,耐热钢与普通碳素钢相比较,有两个特殊的性能:高温强度和高温抗氧化性。耐热钢按组织状态分类,有:珠光体耐热钢、奥氏体耐热钢、马氏体耐热钢和铁素体耐热钢四种。以珠光体耐热钢使用最广泛,常用的耐热钢化学成分见表1-67。

#### (一) 耐热钢的力学性能

常用耐热钢的力学性能见表1-68。

#### (二) 常用耐热钢的焊接性及工艺措施

耐热钢中含有不同的合金元素,碳与合金元素共同作用的结果,导致焊接过程中形成淬硬组织,焊缝的塑性、韧性降低,焊接性较差,所以需要一定的工艺措施。常用的耐热钢焊接性及工艺措施见表1-69。

表 1-68 常用耐热钢的力学性能

类别	牌 号	产品交货状态	$\sigma_b$	$\sigma_{0.2}$	$\delta_5$	$\psi$	交货状 态硬度 (HBS)
			/MPa	/MPa	/%	/%	
珠 光 体 耐 热 钢	10Cr2Mo1	940~960 C 正火 730~750 C 回火	440 ~590		$\geq 20$	76	169
	12CrMo	900~930 C 正火; 680~730 C 回火 (缓冷 300 C 空冷)	$\geq 410$	$\geq 265$	$\geq 24$		
	12Cr5Mo	930 C 正火 540~570 C 回火	$\geq 480$		$\geq 10$	—	—
	12Cr9Mo1	900~1000 C 空冷 或油冷淬火;730 ~780 C 空冷回火	590 ~735	$\geq 392$	$\geq 20$		
	12Cr1MoV	1000~1020 C 正火 710 C 回火	$\geq 470$	$\geq 255$	$\geq 21$	79	177

(续)

类别	牌 号	产品交货状态	$\sigma_b$	$\sigma_{1.2}$	$\delta_5$	$\psi$	交货状态硬度 (HBS)
			/MPa	/MPa	%	%	
珠	12Cr2MoWB	1000~1035℃正火	≥540	≥342	≥18	—	—
		760~780℃回火					
光	12Cr3MoVSiTiB	1040~1090℃正火	≥625	≥140	—	—	—
		720~770℃回火					
体	17CrMo	900℃正火	≥440	≥294	≥22	75	1.54
		650℃回火					
耐	13Cr1Mo1V	1020~1050℃正火	540 ~685	≥345	≥18	—	—
		730~760℃回火					
热	17CrMo1V	980~1000℃正火	≥735	—	≥16	—	—
		或油淬					
钢	20Cr3MoWV	710~730℃回火	—	≥640	—	49	—
		1040~1060℃ 油淬或正火					
奥	9Cr18Ni13Si4	热(冷)轧固溶处理 并酸洗或类似处理	520	205	40	—	≤207
							—
氏	0Cr23Ni13	热(冷)轧固溶处理 并酸洗或类似处理	—	—	—	—	≤187
							—
耐	1Cr16Ni35	热(冷)轧固溶处理 并酸洗或类似处理	560	205	35	—	≤201
							—
热	1Cr20Ni14Si2	热(冷)轧固溶处理 并酸洗或类似处理	590	—	40	—	—
							—
钢	1Cr22Ni20Co20 Mo3W3NbN	热(冷)轧固溶处理 并酸洗或类似处理	685	315	35	—	≤243
							—
奥	1Cr25Ni20Si2	热(冷)轧固溶处理 并酸洗或类似处理	540	—	35	—	—
							—

(续)

类别	牌 号	产品交货状态	$\sigma_r$	$\sigma_{0.2}$	$\delta_5$	$\psi$	交货状态 硬度 (HBS)
			/MPa	/MPa	/%	/%	
奥氏体耐热钢	2Cr20Mn9Ni2-Si2N	热轧(锻)固溶处理, 酸洗或其它方法 除掉氧化铁皮	635	390	35	45	$\leq 248$
	2Cr23Ni13		560	205	40	—	$\leq 201$
	2Cr25Ni20		590	205	40	50	$\leq 201$
	3Cr18Mn12Si2N		685	390	35	45	$\leq 248$
铁素体耐热钢	00Cr12	热(冷)轧退火并酸洗, 或类似处理	365	195	22	—	$\leq 183$
	0Cr11Ti		175	$\leq 162$			
	0Cr13Al		410	175	20		$\leq 188$
	1Cr-17		450	205	22		$\leq 183$
	1Cr19Al3		440	245	15		$\leq 210$
	2Cr25N		510	275	20		$\leq 201$
马氏体耐热钢	1Cr5Mo	热轧(锻)、淬、回火并酸洗, 或其它方法 除掉氧化膜	590	390	18	55	$\leq 200$
	1Cr11MoV		685	490	16		$\leq 269$
	1Cr11Ni2W2-MoV		885	735	15		$\leq 200$
	1Cr12	热(冷)轧退火并酸洗或类似处理	440	205	20	—	$\leq 200$
	1Cr12WMoV	热轧(锻)、淬、回火并酸洗, 或其它方法 除掉氧化膜	735	585	15	45	—
	1Cr13	热轧(锻)退火并酸洗, 或其它方法 除掉氧化膜	540	345	25	55	$\leq 200$
1Cr13Mo	热轧、(锻)淬、回火并酸洗, 或其它方法 除掉氧化膜	685	490	20	60	$\leq 285$	
1Cr17Ni2		1080	—	10	—		

表 1-69 常用耐热钢的焊接性及工艺措施

类别	牌 号	焊 接 性	工 艺 措 施
珠 光 体 耐 热 钢	10Cr2Mo1 12CrMo 12Cr5Mo 12Cr9Mo1 12Cr1MoV 12Cr2MoWVB 12Cr3MoVS <sub>1</sub> Ti3 15CrMo 15Cr1Mo1V 17CrMo1V 20Cr3MoWV	珠光体耐热钢由于含碳及合金元素较多,焊缝及热影响区容易出现淬硬组织,使塑性韧性降低焊接性变差。当焊件刚度及接头应力较大时,容易产生冷裂纹。焊后热处理过程中,易产生再热裂纹	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 按焊缝与母材化学成分及性能相近的原则选用低氢型焊条</li> <li>2. 焊前仔细清除焊件待焊处油、污、锈</li> <li>3. 焊件焊前要预热,包括装配定位焊前的预热</li> <li>4. 焊接过程中层间温度应不低于预热温度</li> <li>5. 焊接过程应避免中断,尽量一次连续焊完</li> <li>6. 焊后应缓冷,为了消除应力,焊后需要进行高温回火</li> <li>7. 焊件、焊条应严格保持低氢状态</li> </ol>
马 氏 体 耐 热 钢	1Cr5Mo 1Cr11MoV 1Cr11Ni2W2MoV 1Cr12 1Cr12WMoV 1Cr13 1Cr13Mo 1Cr17Ni2	马氏体耐热钢淬硬倾向大,焊缝及热影响区极易产生硬度很高的马氏体和奥氏体组织,使接头脆性增加,残余应力增大,容易产生冷裂纹,含碳量越高、淬硬和裂纹倾向也越大	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 仔细清除焊件待焊处油、污、锈、垢</li> <li>2. 按与母材化学成分及性能相近的原则,选用低氢型焊条。为防止冷裂纹,可选用奥氏体焊条</li> <li>3. 焊接时宜用大电流,减慢焊缝冷却速度</li> <li>4. 焊前应预热(包括装配定位焊),层间温度应保持在预热温度之上</li> <li>5. 焊后应缓慢冷却到 150~200℃再进行高温回火处理</li> <li>6. 焊件、焊条应严格保持在低氢状态</li> </ol>

(续)

类别	牌 号	焊 接 性	工 艺 措 施
铁 素 体 耐 热 钢	00Cr12 0Cr11Ti 0Cr13Al 1Cr17 1Cr19Al3 2Cr25N	在高温作用下,近缝区晶粒急剧长大而引起475℃脆化,还会析出 $\sigma$ 脆化相。接头室温冲击韧度低,容易产生裂纹	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 仔细清除焊件待焊处油、污、锈、垢</li> <li>2. 采用低温预热并严格控制层间温度</li> <li>3. 采用小热输入、窄焊道、高速焊接,减少焊接接头高温停留时间</li> <li>4. 多层焊时,不宜采取连续施焊,应待前层焊缝冷却后,再焊下一道焊缝</li> <li>5. 采取冷却措施,提高焊缝冷却速度</li> <li>6. 为确保焊缝塑性、韧性,选用奥氏体不锈钢焊条</li> </ol>
奥 氏 体 耐 热 钢	0Cr18Ni13Si4 0Cr23Ni13 1Cr16Ni35 1Cr20Ni14Si2 1Cr22Ni20Co20 Mo3W3NbN 1Cr25Ni20Si2 2Cr20Mn9Ni2Si2N 2Cr23Ni13	焊缝金属及热影响区容易产生热裂纹。在600~850℃长时间停留会出现 $\sigma$ 脆化相和475℃脆化倾向	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 仔细清除焊件待焊处的油、污、锈、垢</li> <li>2. 限制S、P等杂质含量</li> <li>3. 为防止热裂纹产生,应采用短弧、窄焊道操作方法,还要用小电流、高速焊减少过热</li> <li>4. 焊接过程中可采用强制冷却措施减少过热</li> <li>5. 焊后可不进行热处理,但对刚度较大的焊件,必要时可进行800~900℃稳定化处理</li> <li>6. 对固溶加时效处理的耐热钢焊件,焊后应作固溶+时效热处理</li> </ol>

## (三) 耐热钢焊条的选用及焊前预热、焊后热处理



耐热钢的组织不同,焊条的选用及焊前预热,焊后热处理也有所不同。耐热钢的焊条选用原则及焊前预热、焊后热处理的目的见表 1-70;常用珠光体耐热钢的焊条选用、焊前预热及焊后热处理见表 1-71;常用马氏体耐热钢的焊条选用、焊前预热及焊后热处理见表 1-72;常用铁素体耐热钢的焊条选用、焊前预热及焊后热处理见表 1-73;常用奥氏体耐热钢的焊条选用、焊前预热及焊后热处理见表 1-74。

表 1-70 耐热钢的焊条选用原则、焊前预热及焊后热处理目的

分类	焊条选用原则	焊前预热目的	焊后热处理目的
低合金耐热钢	<p>焊缝金属的合金成分、力学性能应基本上与母材的相应指标一致或应达到产品技术条件的最低性能指标。</p> <p>如果焊缝焊后需要进行热处理或热加工,则应选择合金成分或强度级别较高的焊条,为提高焊缝金属的抗裂能力,焊条中碳的总含量应控制在略低于母材</p>	<p>防止低合金耐热钢焊接冷裂纹和消除应力裂纹</p> <p>为防止氢致裂纹的产生,规定预热温度最高不应高于马氏体转变结束点 <math>M_s</math> 点的温度</p>	<p>不仅消除焊接残余应力,而且更重要的是改善组织、提高接头的综合力学性能,包括提高接头的高温蠕变强度和组织稳定性,降低焊缝及热影响区硬度等</p>
中合金耐热钢	<p>焊条应是超低碳型的,在保证焊接接头与母材相同的高温蠕变强度和抗氧化性前提下,提高其抗裂性</p> <p>为防止铌在中铬钢内会急剧提高焊缝金属的热裂倾向,所以,中铬钢焊条的含铌质量分数一般控制在 0.2% 以下</p> <p>钒是对碳亲和力最大的活性元素,也能作为脱氧剂和细化晶粒的元素起到有利作用,降低空淬倾向,焊条中钒含量控制在碳含量的 2~3 倍为宜</p> <p>碳含量应控制在能保证焊接接头具有足够蠕变强度的最低水平</p>	<p>是防止裂纹、降低焊接接头各区的硬度和应力峰值以及提高韧性的有效措施</p>	<p>改善焊缝金属及其热影响区的组织、降低焊接接头各区的硬度、提高焊接接头的韧性、变形能力和高温持久强度以及消除焊接内应力</p>

(续)

分类	焊条选用原则	焊前预热目的	焊后热处理目的
高	马氏体耐热钢 由于这种钢具有相当高的冷裂倾向,所以要选用超低氢型焊条,要具有防止产生冷裂纹的措施。通常采用铬含量和母材基本相同的焊条,如 E410-16 (G202)、E410-15 (G207) 等二种,此时,焊缝与母材热膨胀系数相差不大	防止产生焊接裂纹,预热温度的高低对焊缝及热影响区硬度影响很小,但过高的预热温度(马氏体转变点以上)将导致焊接接头韧性丧失	首先是降低焊缝和热影响区的硬度和改善韧性或提高强度,其次是降低焊接残余应力
合金	铁素体耐热钢 焊接这种耐热钢有二种焊条:1)奥氏体铬镍高合金焊条,对长时间处于高温运行的焊接接头,不推荐使用这类焊条。2)镍基合金焊条,由于其价格较高,只在极特殊场合下使用。3)成分基本与母材匹配的高铬钢焊条,我国标准中的铁素体耐热钢焊条有两种:E430-16 (G302)和 E430-15 (G307)。适用于含铬质量分数在 17% 以下的各种铁素体耐热钢的焊接	对厚度小于 6~8mm 的焊件,焊前可不必预热,应采用尽可能低的热输入量进行焊接 慎重选择预热和层间温度,防止焊接接头热影响区晶粒过热而急剧长大,并在缓慢冷却时丧失韧性	通常在亚临界温度范围内进行,防止晶粒更加粗大 对于厚度在 10mm 以下的高纯度铁素体钢焊件,焊后一般不作焊后热处理
耐热钢	奥氏体耐热钢 焊接这类钢的焊条,焊后在无裂纹的前提下,保证焊缝金属的热强性与母材基本等强,这就要求其合金成分大致与母材成分匹配,同时,还要控制焊缝金属内的铁素体含量,使长期处在高温运行的奥氏体焊缝金属内含铁素体质量分数小于 5%。为方便焊后清渣,焊道表面光滑,最好选用工艺性能良好的钛钙型药皮焊条	可不进行预热	1. 消除焊接残余应力,提高焊接结构尺寸稳定性 2. 消除 $\sigma$ 相 3. 提高焊接接头的蠕变强度

表 1-71 珠光体耐热钢的焊条选用、焊前预热及焊后热处理

牌 号	焊条型号(牌号)	预热及层间温度 / °C	焊后热处理温度 / °C
10Cr2Mo1	E6050-B3(R400)	250~300	730~750
	E6015-B(R407)		
12CrMo	E5503-B1(R202)	200~250	650~700
	E5515-B1(R207)		
12Cr5Mo	E502-15(R507)	300~400	740~760
12Cr9Mo1	E505-15(R707)	300~400	730~780
12Cr1MoV	E5500-B2-V(R310)	250~350	710~750
	E5515-B2-V(R317)		
12Cr2MoWVB	E5515-B3-VWB(R347)	250~300	760~780
12Cr3MoVS1B	E6015-B3-VNb(R417)	300~350	710~760
15CrMo	E5515-B2(R307)	200~250	650~700
15Cr1MoV	E5515-B2-VW(R327)	300~400	710~730
	E5515-B2-VNb(R337)		
17CrMo1V	E5515-B2-VW(R327)	300~400	720~750
	E5515-B2-VNb(R337)		

表 1-72 常用马氏体耐热钢的焊条选用、焊前预热及焊后热处理

牌 号	焊条型号(牌号)	预热及层间温度 / °C	焊后热处理温度 / °C	备 注
1Cr5Mo	E502-15(R507)	300~400	740~760 回火	也可以选用 不锈钢焊条: E308 16 (A102)
1Cr11MoV	E2-11MoVNi-15(R807)	300~400	680~720 回火	
1Cr12MoWV	E2-11MoVNiW 15(R817)	300~400	740 回火	

(续)

牌 号	焊条型号(牌号)	预热及层间温度/℃	焊后热处理温度/℃	备 注
1Cr13	E410-16(G2J2) E410-15(G207) E309-16(A302) E309-15(A307)	300~350	700~750 空冷	也可以选用 不锈钢焊条: E308-16 (A102) E308-15 (107) E309-16 (A307) E310-16 (A402) E310-15 (A407)
		200~300	—	
1Cr17Ni2	E430-16(G302) E430-15(G307)	300~350	700~750 空冷	
	E309-16(A302) E309-15(A307)	200~300	—	
	E310-16(A402) E310-15(A407)	200~300	—	
	E308-16(A102) E308-15(A107)	200~300	—	

表 1-73 常用铁素体耐热钢的焊条选用、焊前预热及焊后热处理

牌 号	焊条型号(牌号)	预热及层间温度/℃	焊后热处理温度/℃
00Cr12	E430-15(G307)	70~150	700~750 高温 回火,然后空冷
	E430-16(G302)		
	E309-15(A307)		
	E309-16(A302)		
00Cr11Ti	E308-15(A107)	70~150	
	E316-15(A207)		
	E309-15(A307)		
00Cr13Al	E308-16(A102)	200~250	750~800 回火
	E308-15(A107)		
	E309-16(A302)		

(续)

牌 号	焊条型号(牌号)	预热及层间温度/℃	焊后热处理温度/℃
0Cr13Al	E309-15(A307)	200~250	750~800 回火
	E310-16(A402)		
	E310-15(A407)		
1Cr17	E430-16(G302)	70~150	700~750 空冷
	E430-15(G307)		
	E308-16(A102)	70~150	
	E308-15(A107)		

表 1-74 常用奥氏体耐热钢的焊条选用、焊前  
预热及焊后热处理

钢 号	焊条型号(牌号)	预热及 层间温 度/℃	焊后热 处理温 度/℃
0Cr18Ni13Si4	E316-16(A202)	可以不 进行预热	通常不 进行焊后 热处理,但 对刚度大 的焊件,视 具体情况 进行800~ 900℃稳定 化处理
	E318V-16(A252)		
0Cr23Ni13	E309-16(A302)		
1Cr16Ni35	E330MoMnWNb-15(A607)		
1Cr20Ni14Si2	E309Mo-16(A312)		
1Cr25Ni20Si2	(A422)		
2Cr20Mn9Ni2Si2N	E316-16(A402)		
	E316-15(A407)		
2Cr25Ni20	E316-16(A402)		
	E316-15(A407)		
3Cr18Mn12Si12N	E316-16(A402)		
	E316-15(A407)		

#### 四、低温钢的焊接

##### (一) 低温钢的化学成分及力学性能

低温钢焊接接头近缝区淬硬倾向小,不易出现硬化组织和冷裂纹,焊接性较好。按照合金元素的含量和组织特点,国产低温钢分为两大类:第一类是用于 $-40\sim-120\text{C}$ 的低温钢,含碳量低,合金元素含量也不多,组织呈铁素体和少量珠光体,属于低碳低合金结构钢;第二类是用于 $-196\sim-253\text{C}$ 的低温钢,它是铁-锰-铝系统的单相奥氏体钢,以热轧或固溶处理的状态供应。低温钢的化学成分及力学性能见表 1-75。

##### (二) 低温钢的焊接性及工艺措施

低温钢实质上属于屈服点为 $350\sim 400\text{MPa}$ 级的低碳低合金钢,关键是保证焊缝和粗晶区的低温韧性。为避免焊缝金属及近缝区形成粗晶组织而降低低温韧性,要求采用小的焊接热输入。焊接电流不宜过大,宜用快速多道焊以减小焊道过热,并通过多层焊的重热作用细化晶粒,多层焊时要控制层间温度。因此,掌握低温钢的焊接特点,制定严密的焊接工艺措施是获得低温钢优质焊缝的关键。常用低温钢的焊接性及工艺措施见表 1-76。

##### (三) 低温钢焊条的选择

低温钢焊条电弧焊时,正确选用焊条是保证焊接接头具有合格低温使用性能的重要因素。而合金系统的选择和化学成分确定主要应以满足低温性能为依据。所以要选用能够得到良好低温韧性、特定合金系统和成分的焊条。焊接低温钢焊条的选用及焊缝化学成分、力学性能见表 1-77。

#### 五、不锈钢的焊接

##### (一) 不锈钢的分类、牌号、化学成分和力学性能

不锈钢中的主要合金元素是铬。当含铬量 $w_{\text{Cr}}$ 大于 $12\%$ 时,铬比铁优先与氧化合并在钢的表面形成一层致密的氧化膜,可提高钢的抗氧化性和耐腐蚀性能。根据室温金相组织的不同,不锈钢可分为奥氏体型、马氏体型及铁素体型不锈钢、奥氏体-铁素体型、沉淀硬化型不锈钢。常用不锈钢的牌号、化学成分见表 1-78,力学性能见表 1-79。

## (二) 不锈钢的焊接性及工艺措施

不锈钢按其成分可分为以铬为主和以铬、镍为主两大类,由这两种基本类型还可以发展出一系列耐热耐蚀钢,常用不锈钢的焊接性及工艺措施见表 1-80。

表 1-75 低温钢的化学成分及力学性能

温度级别/℃		-40	-70	-70	-90	
牌 号		Q345(16Mn)	09Mn2V	09MnTiCuRE	06MnNb	
供货状态		热轧	正火	正火	正火	
化学成分(质量分数), %	C	≤0.2	≤0.12	≤0.12	≤0.07	
	Si	0.2~0.6	0.2~0.5	0.2~0.4	0.17~0.37	
	Mn	1.2~1.6	1.4~1.8	1.3~1.7	1.2~1.6	
	P	≤0.035	≤0.035	≤0.035	≤0.03	
	S	≤0.035	≤0.035	≤0.035	≤0.03	
	其它	—	—	Cu:0.2~0.5 Ti:≤0.3 RE:(加入量) 0.15	Nb: 0.02~0.04	
力学性能	$\sigma_b$ /MPa	≥520	≥500	≥500	≥440	
	$\sigma_s$ /MPa	≥350	≥350	≥350	≥300	
	$\delta$ /%	≥21	≥20	≥20	≥21	
	冲击试验	冲击吸收功/J	≥34.5	≥47	≥47	≥47
		试验温度/℃	-40	-70	-70	-90
	缺口形式	U形				

		(续)				
温度级别/℃		-120	-196		-253	
牌 号		06AlNbCuN	20Mn23Al	9Ni	15Mn26Al4	
供货状态		正火	热轧	淬火+回火	固溶	
化学成分(质量分数)/%	C	≤0.08	0.15~0.25	≤0.13	0.13~0.19	
	Si	0.17~0.37	≤0.5	0.15~0.3	≤0.6	
	Mn	0.8~1.2	21~26	≤0.9	24.5~27	
	P	≤0.02	≤0.03	≤0.03	≤0.035	
	S	≤0.035	≤0.03	≤0.04	≤0.035	
	其它	Al: 0.04~0.11 Cu: 0.3~0.4 Nb: 0.02~0.04 N: 0.013~0.02	Al: 0.7~1.2 V: 0.06~0.12 Cu: 0.1~0.2 N: 0.03~0.08 B: 0.001~0.005	Ni:8.5~9.5	Al:3.8~4.7	
力学性能	$\sigma_b$ /MPa	≥392	≈700	690~828	520~550	
	$\sigma_s$ /MPa	≥294	≈400	≥585	220~240	
	$\delta$ /%	≥20	≈45	≥20	≥55	
	冲击试验	冲击吸收功/J	≥20.5	-	34.5	-
		试验温度/℃	-120	-196	-196	-253
		缺口形式	V形	U形	V	U形



表 1-76 常用低温钢的焊接性及工艺措施

温度级别 /℃	牌 号	焊接性	工 艺 措 施			预热温度 /℃	层间温度 /℃
				环境 温度 /℃	板厚 /mm		
- 40	Q345 (16Mn)	焊接板厚16mm以下的钢材时,一般不需预热和焊后热处理。厚板、大刚度结构,在低温环境下焊接时,才适当预热和焊后消除应力回火 由于含碳量低,淬硬倾向小,具有较好的韧性、塑性、焊接性。焊接时注意确保接头低温韧性。含镍量 $w_{Ni} > 4\%$ 的奥氏体低温钢在焊接时,易产生回火脆性和热裂纹	1. 仔细清除焊件待焊处油、污、锈、垢	低于-10	<16	100~150	100~150
			2. 焊件、焊条应保持在低氢状态	低于-5	16~24	100~150	100~150
			3. 正确选用焊条	低于0	25~40	100~150	100~150
			4. 按钢材的温度级别、使用条件、结构刚度,合理制定焊接工艺	任意温度	>40	100~150	100~150
- 70	09Mn2V		5. 严格控制母材 P、S、O、N 杂质含量,尤其是含镍量 $w_{Ni} > 4\%$ 的低温钢,接头脆性大,要严格控制杂质含量			—	200
	09MnTiCuRE		6. 为细化晶粒,提高韧性,采用小热输入、小电流、快速多层多道焊。多层多道焊不宜连续焊,层间温度应在 200~300℃			—	200
- 90	06MnNb		7. 合理设计焊接接头,尽量避免和减小应力集中			—	200
- 120	06AlNbCuN		8. 避免和消除焊接缺陷,在焊接大刚度件时,注意填满弧坑			—	200
	06AlCu		9. 严格执行工艺规程,控制焊接热输入,减小焊接区高温停留时间			100~150	200
- 196	20Mn23Al					—	200
	9Ni					—	200
- 253	15Mn26Al4					—	200

表 1-77 焊接低温钢焊条的选用及焊缝化学成分、力学性能

温度 级别 /C	牌 号	焊 条	焊缝化学成分(质量分数)/%							焊缝力学性能			
			C	Si	Mn	P	S	其它	$\sigma_b$ / MPa	$\sigma_s$ / MPa	$\delta$ /%	$a_K$ / (J/cm <sup>2</sup> )	
-40	Q345 (16Mn)	E5003	≤0.12	≤0.3	0.5~1	≤0.05	≤0.035		≥500	≥350	≥16	≥60 (室温)	
		E5003 (Al)	0.08~ 0.1	~0.2	~0.8	≤0.05	≤0.04	—	≥550	≥350	≥21	≥30 (-40C)	
		F5003(Mo)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
-70	09Mn2V 09MnTi- CuRE	E5016	≤0.12	≤0.7	0.8~ 1.4	≤0.04	≤0.035	—	≥500	≥350	≥20	≥130 (室温)	
		E5015	≤0.12	≤0.7	0.8~ 1.4	≤0.04	≤0.035	—	≥500	≥350	≥20	≥130 (室温)	
		W707	≤0.1	~0.2	~2	≤0.04	≤0.035	Mo: 0.7	≥600 ≥550	≥350	≥21	≥60 (-70C)	
-90	06MnNb	W807	≤0.12	~0.5	~1.5	≤0.04	≤0.035	—	≥550	≥350	≥21	≥60 (-70C)	
		W107Ni	≤0.08	≤0.3	~1.5	≤0.03	≤0.03	Nb: 0.03~0.05	≥440	≥350	—	≥60 (-90C)	
-120	06AlNbCuN	W107	≤0.1	≥0.35	~0.5	≤0.025	≤0.025	W: 2.1~2.4 Cu: 0.5~0.7	≥850	—	≥16	≥60 (110C)	

(续)

温度 级别 /°C	牌 号	焊 条	焊缝化学成分(质量分数)/%							焊缝力学性能			
			C	Si	Mn	P	S	其它	$\sigma_b$ / MPa	$\sigma_s$ / MPa	$\delta$ /%	$\alpha_K$ / (J/cm <sup>2</sup> )	
-120	06AlNbCuN	W107Ni	≤0.1	≤0.3	~0.5	≤0.025	≤0.025	Ni: 4.5~4.7 Mo:0.3 Cu:0.5	≥800	—	≥16	≥60 (-110°C)	
-196	20Mn23Al	Fe-Mn-Al 1号焊条	≤0.2	≤1.8	27.5~ 31.5	≤0.03	≤0.03	Al: 3~4.5 V: 0.2~0.35 Cu: 0.2~0.35	≥650	≥350	≥30	≥80 (-196°C)	
	Ni9	E310-15											
-253	15Mn26Al4	E310-15 (A407)	~0.2	~0.5	26~ 29	≤0.03	≈0.03	Al:3~4 Mo:1~1.5	≥500	≥250	≥21	≥80 (-196°C)	

表 1-78 常用不锈钢的牌号及化学成分(质量分数)

(%)

类别	牌 号	C	Cr	Ni	Ti	Si	Mn	S	P	其它
奥 氏 体 不 锈 钢	1Cr18Ni9	≤0.15		8~10	—					
	1Cr18Ni9Ti			8~11	~0.80		≤2			
	1Cr18Ni12	≤0.12	17~19	10.5~13						
	1Cr18Mn8Ni5N	≤0.15		4~6	—		7.5~10			N≤0.25
	1Cr18Ni11Nb	≤0.10	17~20	9~13						Nb~1.50
	1Cr18Ni12Mo2Ti					≤1				Mo: 1.8~2.5
	1Cr18Ni12Mo3Ti	≤0.12	16~19	11~14	0.80			≤0.03	≤0.035	Mo: 2.5~3.5
	0Cr25Ni20		24~26	19~22						—
	0Cr13Al	≤0.08	11.5~14.5	—	—					Al: 0.1~0.3
	1Cr15	≤0.12	14~16	—	—			≤1		—
铁素体不锈钢										

(续)

类别	牌号	C	Cr	Ni	Ti	Si	Mn	S	P	其它
铁素体不锈钢	1Cr17					≤0.75				-
	1Cr17Mo	≤0.12	16~18				≤1	≤0.03	≤0.035	Mo: 0.75~1.25
	1Cr25Ti		24~27		≤0.8	≤1	≤0.8			-
	00Cr18Mo2	≤0.025	17~20				≤1			Mo: 1.75~2.50
马氏体不锈钢	1Cr13	≤0.15	11.5~ 13.5			≤1	≤1			
	2Cr13	0.16~ 0.25	12~14					≤0.03	≤0.035	-
	1Cr17Ni2	0.11~ 0.17	16~18	1.5~2.5		≤0.8	≤0.8			

表 1-79 常用不锈钢的力学性能

类别	牌 号	$\sigma_s$ /MPa	$\sigma_b$ /MPa	$\delta$ /%	$\psi$ /%	$\alpha_K$ /(J/cm <sup>2</sup> )	材料 状态
奥氏体 不锈钢	1Cr18Ni12	175	480	40	—	—	淬火
	1Cr18Ni9	205	520		—		
	1Cr18Ni9Ti		540		—		
	1Cr18Ni12Mo2Ti		530	—			
	1Cr18Ni12Mo3Ti			35	—		
	1Cr18Ni11Nb	400	520		—		
	1Cr18Mn8Ni5N			40	—		
	0Cr25Ni20				205		
铁素体 不锈钢	0Cr13Al	175	410	20	—	—	淬火+回火
	1Cr17	205	450	22	—		回火
	1Cr17Mo	205			—		
	1Cr15				—		
	1Cr25Ti	295	510	18	—		回火 退火+回火
	00Cr18Mo2	245	410	20	—		
马氏体 不锈钢	1Cr13	205	440	20	—	—	淬火+回火
	2Cr13	225	520	18	—		
	1Cr17Ni2	—	1100	10	—		

表 1-80 常用不锈钢的焊接性及工艺措施

类别	牌 号	焊 接 性	工 艺 措 施
奥 氏 体 不 锈 钢	1Cr18Ni12 1Cr18Ni9 1Cr18Ni9Ti 1Cr18Ni12Mo2Ti 1Cr18Ni12Mo3Ti 1Cr18Ni11Nb 1Cr18Mn8Ni5N 0Cr25Ni20	<p>1. Cr、Ti 等合金元素在焊接时极易氧化烧损</p> <p>2. 晶间腐蚀是 18-8 型钢极危险的一种破坏形式</p> <p>3. Cr-Ni 不锈钢的应力腐蚀占湿态腐蚀事例的 50%，在化工工程中用量最大的 18-8 型和 18-12Mo 型不锈钢设备应力腐蚀可占不锈钢应力腐蚀事例 80% 之多</p> <p>4. 焊接时容易出现热裂纹</p> <p>5. 焊缝中容易产生气孔</p> <p>6. 在熔合线附近被加热到 1300℃ 以上部位受到敏化温度重复加热，在腐蚀液中工作会发生刀状腐蚀</p> <p>7. 18-8 钢在 500~875℃ 经一定时间加热后，会在焊缝中析出一种特殊性 <math>\sigma</math> 相</p> <p>8. 焊接过程中、焊接变形大</p> <p>9. 焊条中焊芯电阻率大，焊条容易发红</p>	<p>1. 用短弧施焊，选用氧化性低的焊条，以稳定化元素 Nb 代替 Ti 渗合金</p> <p>2. 使焊缝金属呈奥氏体 + 质量分数为 5% 铁素体的双相组织，可减少和防止热裂纹</p> <p>3. 焊前仔细清除待焊处油、污、锈、垢</p> <p>4. 采用直流反接电源、短弧、高速焊，尽量减少焊缝截面积，焊条不做横向摆动</p> <p>5. 焊接过程中，焊接处应采取强冷措施，减小焊接区在 450~850℃ 停留时间</p> <p>6. 焊后进行固溶化热处理（加热至 1050~1100℃，然后迅速冷却，稳定奥氏体组织）防止产生晶间腐蚀</p> <p>7. 多层焊时，层间温度 <math>&lt; 60^\circ\text{C}</math>，每焊完一层焊缝，应仔细清除焊渣，与腐蚀介质接触的焊缝应最后施焊</p> <p>8. 严禁在焊接点以外处引弧，引弧时要用引弧板，收弧时必须填满弧坑</p> <p>9. 含有 Nb、Ti 等稳定化元素的不锈钢，焊后进行稳定化处理（850~950℃ 保温 2h）</p> <p>10. 选用合适的焊接材料，可以减少热裂纹（如减少 C、S、P，增加 Cr、Mo、Mn、Si 等元素）</p> <p>11. 母材、焊材应严格保持低氢状态</p> <p>12. 合理选择焊接电流，焊接顺序及夹具刚性固定等措施，防止产生焊接变形</p>

(续)

类别	牌 号	焊 接 性	工 艺 措 施
铁 素 体 不 锈 钢	00Cr12	<p>1. 热影响区 900℃ 以上的部分由于晶粒长大,使焊接接头塑性、韧性急剧下降,焊后热处理不能使晶粒细化</p> <p>2. 在 600~800℃ 温度长时间停留,会析出 <math>\sigma</math> 脆性相</p> <p>3. 高铬铁素体不锈钢 (<math>w_{Cr} &gt; 16\%</math>) 常温下韧性较低,当焊接接头刚度较大时,焊后容易产生裂纹</p> <p>4. 长时间在 400~600℃ 温度停留,会发生“475℃”脆化</p> <p>5. 焊接过程中,应选用小的焊接热输入、大焊速,窄焊道焊接,焊条不做横向摆动</p>	<p>1. 焊前仔细清除待焊处油、污、锈、垢</p> <p>2. 视焊件具体情况(如:结构刚度、使用情况、焊缝数量等),合理选用焊条</p> <p>3. 选用小的焊接热输入,缩短高温停留时间,不要连续施焊</p> <p>4. 高铬不锈钢焊前要预热到 70~150℃,防止产生裂纹</p> <p>5. 焊件出现 475℃ 脆化倾向,焊后应进行 700~760℃ 回火处理,然后空冷</p> <p>6. 焊接厚度较大的焊件时,每焊完一道焊缝,用铁锤轻轻敲击焊缝表面,改善接头性能</p> <p>7. 多层多道焊缝,后道焊缝应等前道焊缝冷至预热温度时,再进行焊接</p> <p>8. 为消除焊件中已析出的 <math>\sigma</math> 脆性相,可以在 930~980℃ 加热,然后于水中急冷,得到均匀的铁素体组织</p>
	0Cr11Ti		
	0Cr13Al		
	1Cr17		



(续)

类别	牌 号	焊 接 性	工 艺 措 施
马 氏 体 不 锈 钢	1Cr13 2Cr13 1Cr17Ni2	<p>1. 这类钢焊接时主要的问题是淬火裂纹和延迟裂纹。热影响区具有强裂的淬硬倾向并形成很硬的马氏体组织</p> <p>当焊接接头刚度大或含氢量高时,在焊接应力作用下,由高温直接冷至 120~100℃以下时,很容易产生冷裂纹。含碳量越高,裂纹倾向越大</p> <p>2. 使用与母材同成分的焊条焊接时,焊前应预热,预热温度一般为 200~320℃,最好不要高于马氏体开始转变温度</p> <p>3. 焊件焊后不应从焊接高温直接升温进行回火处理,应先将焊件冷却,让焊缝和热影响区的奥氏体基本分解完了。对于刚度较小的构件,可冷至室温后再回火</p> <p>4. 马氏体不锈钢导热性低,易过热,在热影响区产生粗大的组织</p>	<p>1. 焊前仔细清洗待焊处油、污、锈、垢</p> <p>2. 正确选择焊接顺序</p> <p>3. 采用与母材同成分焊条焊接时,需预热及焊后热处理。用奥氏体焊条焊接的接头,一般在焊后状态使用,视焊件厚度焊前可不预热或低温预热</p> <p>4. 为提高塑性、减少应力,焊前应进行 200~320℃预热,焊接过程中要控制层间温度</p> <p>5. 可以采用小电流焊接,以减缓冷却速度</p> <p>6. 对大厚度的焊件,焊后冷至 100~150℃,保温 0.5~1h,然后再加热至回火温度,进行焊后回火处理</p> <p>7. 必须填满弧坑,防止产生弧坑裂纹</p> <p>8. 多层焊时,要严格进行每道焊缝的清渣,保证焊透</p> <p>9. 焊后不能进行热处理的焊件,可选用高塑性、韧性的奥氏体不锈钢焊条或镍基合金焊条</p>

### (三) 不锈钢的焊接工艺

不锈钢焊接过程中,焊条选择的是否正确,焊前预热和焊后热处理是否得当,都直接影响焊接接头的质量。所以,焊条的选择主要根据焊件金属的化学成分、金属组织类别、焊件的工作条件及要求、焊件刚度大小等因素决定。根据上述因素再决定焊前预热、层间温度及焊后热处理温度。常用不锈钢的焊前预热、焊条选用及焊后热处理见表 1-81。

### (四) 不锈钢复合钢板的焊接工艺

不锈钢复合钢板是用较薄的不锈钢板(如 1Cr18Ni9Ti, 1Cr18Ni12Mo2Ti、1Cr13 等)作复层,通常是布置在容器或管道的内部,使其承受腐蚀介质的侵蚀,再用较厚的结构钢板(如:20、20g、Q235 (C9Mn2)、Q345(16Mn)、12CrMo 等)作基层,以满足结构强度和塑性的要求。两种异种金属经轧制后就成为双金属的不锈钢复合钢板。

不锈钢复合钢板的焊接过程是:先焊基层一侧,然后从复层一侧铲除焊根,并用砂轮片打磨干净,经检验合格后,再焊过渡层及复层。

由于复合板中两种金属成分的物理性能和力学性能有很大差别,所以基层的焊接以保证接头的力学性能为原则,一般可参照碳素钢或低合金钢的焊接工艺。复层的焊接既要保证接头的耐腐蚀性能,又要获得满意的力学性能,焊接过程要遵守不锈钢的焊接工艺。

基层焊接时要避免熔化至不锈钢复层,复层焊接时要防止基层金属熔入焊缝而降低铬、镍含量,从而降低复层焊缝的耐腐蚀性和塑性。常用不锈钢复合钢板焊接的焊条选用见表 1-82。不锈钢复合钢板焊条电弧焊的焊接参数见表 1-83。

表 1-81 常用不锈钢的焊条选用、焊前预热及焊后热处理

类别	牌 号	工作条件 及要求	焊条型号 及牌号	热规范/℃		备注
				预热、 层温	焊后 热处理	
奥氏体 不锈钢	0Cr19Ni9	工作温度 低于 300℃, 要求良好的 耐腐蚀性	E308-16 (A102) E308-15 (A107)	原则 上不进 行预热	原则 上不进 行	—

(续)

类别	牌 号	工作条件 及要求	焊条型号 及牌号	热规范/℃		备注
				预热、 层温	焊后 热处理	
奥 氏 体 不 锈 钢	1Cr18Ni9	抗裂、抗 腐蚀性较高	(A122)	原则上不 进行预热	原则 上不 进 行	—
	1Cr18Ni9Ti	工作温度 低于 300℃, 要求有优良 的耐腐蚀性 能	E347 16 (A132) E347 15 (A137)			
	00Cr19Ni11	耐腐蚀要 求极高	E308L-16 (A002)			
	0Cr17Ni12Mo2	抗无机 酸、有机酸、 碱及盐腐蚀	E316-16 (A202) E316-15 (A207)			
		要求良好 的抗晶间腐 蚀性能	E318-16 (A212)			
	0Cr19Ni13Mo3	抗非氧化 性酸及有机 酸性能较好	E308L-16 (A002) E317-16 (A242)			
	0Cr18Ni11Ti 1Cr18Ni9Ti 0Cr18Ni12Mo2Ti	要求一般 耐热及耐腐 蚀性能	E318V-16 (A232) E318V 15 (A237)			

(续)

类别	牌 号	工作条件 及要求	焊条型号 及牌号	热规范/℃		备注
				预热、 层温	焊后 热处理	
奥 氏 体 不 锈 钢	0Cr18Ni12Mo2Cu2	在硫酸介 质中要求更 好的耐腐蚀 性能	E317MoCu- 16 (A032) E317MoCu- 16 (A222)	原则 上不进 行预热	原则 上不进 行	—
	0Cr18Ni14Mo2Cu2	抗有机、 无机酸、异 种钢焊接	E317MoCu- 16 (A032) E317MoCu- 16 (A222)			
	0Cr23Ni13	耐热、耐 氧化,异种 钢焊接	E309-16 (A302) E309-15 (A307)			
	0Cr25N.20	高温,异 种钢焊接	E310-16 (A402) E310-15 (A407)			
铁 素 体 不 锈 钢	1Cr17 Y1Cr17	耐热及耐 硝酸	E430-16 (G302)	120~ 200	750~ 800	—
	1Cr17 Y1Cr17	耐热及耐 有机酸	E430-15 (G307)			
	0Cr13Al	提高焊缝 塑性	E308-15 (A107) E309-15 (A307)	不进行	不进行	

(续)

类别	牌 号	工作条件 及要求	焊条型号 及牌号	热规范/℃		备注
				预热、 层温	焊后 热处理	
铁素体 不锈钢	1Cr25Ti	抗氧化性	E509-15 (A307)	不进行	760~ 780 回火	
	1Cr17Mo	提高焊缝 塑性	E308-16 (A102) E308-15 (A107) E309-16 (A302) E309-15 (A307)		不进行	
马氏体 不锈钢	1Cr13 2Cr13	耐大气腐 蚀及气蚀	E410-16 (G202) E410-15 (G207)	250~ 350	700~ 730 回火	
		耐热及有 机酸腐蚀	E1-13-1-15 (G217)			
		要求焊缝 有良好的塑 性	E308-16 (A102) E308-15 (A107) E316-16 (A202) E316-15 (A207) E310-16 (A402) E310-15 (A407)	不进行 (厚大件 可预热 至 200)	不进行	

(续)

类别	牌 号	工作条件 及要求	焊条型号 及牌号	热规范/℃		备注
				预热、 层温	焊后 热处理	
马氏体 不锈钢	1Cr17Ni2	耐腐蚀、 耐高温	E430-16 (G302) E430-15 (G307)	200	750~ 800 回火	
		焊缝的塑 性、韧性好	E309-16 (A302) E309-15 (A307)			
		焊缝的塑 性、韧性好	E310-16 (A402) E310-15 (A407)			
	1Cr12	在一定温 度下能承受 高应力,在 淡水、蒸汽 中耐腐蚀	E410-16 (G202) E410-15 (G207)	250~ 350	700~ 730 回火	

表 1-82 常用不锈钢复合钢板焊接的焊条选用

不锈钢复 合钢板种类	焊 条		
	基 层	过 渡 层	复 层
0Cr13+Q235	E4303	E309-16(A302)	E308-16(A102)
	E4315	E309-15(A307)	E308-15(A107)
0Cr13+16Mn	E5003	E309-16(A302)	E308-16(A102)
	E5015	E309-15(A307)	E308-15(A107)

(续)

不锈钢复 合钢板种类	焊 条		
	基 层	过 渡 层	复 层
0Cr13·12CrMo	E5515-B1 (R207)	E309-16 (A302)	E308-16 (A102)
		E309-15 (A307)	E308-15 (A107)
1Cr18Ni9Ti + Q235	E4303	E309-16 (A302)	E347-16 (A132)
	E4315	E309-15 (A307)	E347-15 (A137)
1Cr18Ni9Ti +Q345(16Mn)	E5003	E309-16 (A302)	E347-16 (A132)
	E5015	E309-15 (A307)	E347-15 (A137)
Cr18Ni12Mo2Ti <sup>①</sup> + Q235	E4303	E309Mo-16	E318-16
	E4315	(A312)	(A212)
Cr18Ni12Mo2Ti +Q345(16Mn)	E5003	E309Mo-16	E318-16
	E5015	(A312)	(A212)
0Cr13+Q390(15MnV)	E5003	E309-16(A302)	E308-16(A102) E308-15(A107)
1Cr18Ni9Ti -Q390(15MnV)	E5015	E309-15(A307)	E347-16(A132) E347-15(A137)
Cr18Ni12Mo2Ti + Q390(15MnTi)	E5515-G	E309Mo-16(A312)	E318-16(A212)
	E6015-D1	E309-15(A307)	E316-16(A202)
		E309-16(A302)	E316-15(A207)

① Cr18Ni12Mo2Ti 包括 1Cr18Ni12Mo2Ti 和 0Cr18Ni12Mo2Ti。

表 1-83 不锈钢复合钢板焊条电弧焊的焊接参数

复合板总厚度/mm	基层焊缝									复层焊缝				
	总层数	焊条直径/mm					焊接电流/A				总层数	焊条直径/mm	焊接电流/A	
		第一层	第二层	第三层	第四层	第五层	第一层	第二层	第三层	第四、五层			第一层	第二层
8~10	3	3	4	4			120~140	150~170	150~170		1~2	1	130~140	130~150
12~14							150~170	200~250	200~250					
16~18	4	4	5	5						2	4			
20	5			5	5	150~170	200~250	200~250	200~250					150~160

不锈钢复合钢板焊前的坡口加工见表 1-84, 焊接顺序见图 1-10。

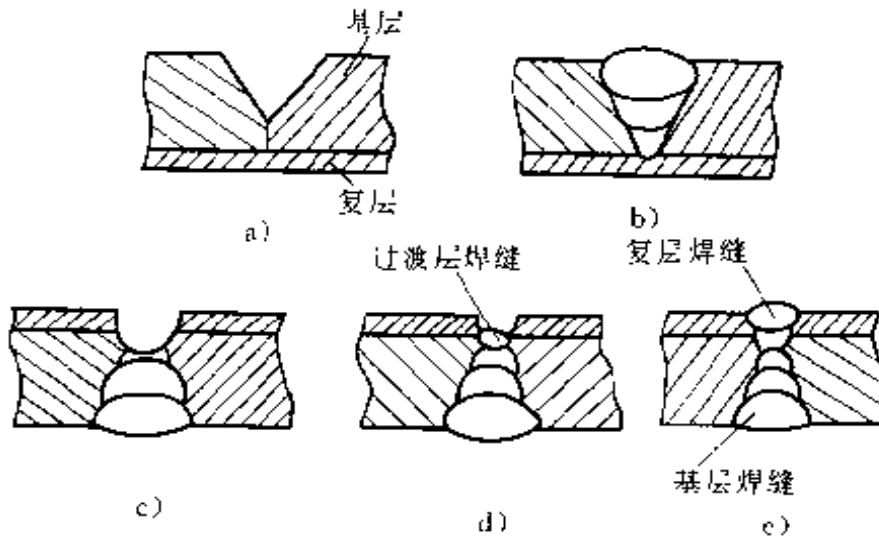


图 1-10 不锈钢复合钢板的焊接顺序

a) 焊前坡口 b) 从基层一侧焊起 c) 从复层一侧

铲除焊根 d) 焊接过渡层 e) 焊接复层



表 1-84 不锈钢复合钢板焊前的坡口加工

板厚 /mm	从基体侧焊起	从复层侧焊起
15 以下		
16~ 22		
23~ 28		
38 以上		

### 六、异种钢的焊接

由化学成分、物理性能和金相组织不同的钢材焊接而成的焊接结构，称为异种钢焊接结构。

异种钢焊接主要有：

- 1) 碳素钢、低合金结构钢与珠光体耐热钢的焊接。
- 2) 碳素钢、珠光体耐热钢与奥氏体不锈钢、奥氏体-铁素体不锈钢的焊接。

- 3) 珠光体耐热钢与高铬马氏体钢和高铬铁素体不锈钢的焊接。
- 4) 奥氏体不锈钢与奥氏体-铁素体不锈钢焊接。
- 5) 高铬马氏体钢、高铬铁素体不锈钢与奥氏体-铁素体不锈钢的焊接。

#### (一) 异种钢焊条电弧焊的焊接性及工艺措施

1) 异种钢焊接的主要问题是熔合线附近的金属冲击韧度下降, 受到热应力作用容易产生裂纹。

2) 接头形式、预热温度、焊接参数、操作技术等直接决定焊缝的稀释率。

3) 焊接接头设计应有助于焊缝稀释率的减少和避免焊缝中产生应力集中。

4) 为减少焊缝金属的稀释率, 采用小电流、细直径焊条及高焊速进行焊接。

5) 被焊的两种钢材之一是淬硬钢时, 必须按焊接性差的钢材选择预热温度。采用奥氏体不锈钢焊条焊接异种钢接头时, 可适当降低预热温度或不预热。

6) 装配定位焊截面不能太小。复杂结构按部件组装焊比整体组装焊有助于减小焊接应力及刚度。

7) 奥氏体不锈钢与其它钢材焊接时, 可在非不锈钢一侧的坡口边缘预先堆焊一层高铬高镍的金属, 然后再用相应的奥氏体不锈钢焊条焊接。

8) 焊接过程中断或收尾时, 必须仔细填满弧坑, 还要防止焊缝冷作硬化。

9) 异种钢热处理规范一般按淬硬钢的要求选择。用奥氏体不锈钢焊条焊成的异种钢接头, 焊后一般不进行热处理。

10) 不锈钢复合板焊接时, 一般是先焊基层, 当焊到基层与复层交界处时, 开始用高铬镍奥氏体不锈钢过渡层焊条, 也可以用超低碳的纯铁焊条, 然后再改用盖面焊条。

#### (二) 异种钢焊接工艺

钢材的品种繁多, 根据不同的设计、工艺、使用要求, 在焊接结构中

可以构成数百种异种钢接头。异种钢的焊条电弧焊焊接质量的好坏,除与焊工技术水平有关外,还与焊条的选用、焊前预热温度、焊后热处理温度有很大关系。常用异种钢焊接的焊条选用原则见表 1-85;常用异种钢焊接的焊条选用、焊前预热及焊后热处理见表 1-86。

表 1-85 常用异种钢焊接的焊条选用原则

异 种 钢	焊条选用原则
碳钢与低合金结构钢焊接或异种低合金结构钢焊接	一般要求焊缝及接头的强度高于较低母材的强度,选用的焊条应能保证焊缝及接头强度高于强度较低一侧的钢材,而焊缝的塑性及冲击韧度不低于强度较高而塑性、韧性较低一侧的钢材
异种低合金结构钢的焊接	低合金结构钢的化学成分和物理性能都较接近,焊接性较好。焊接时只要采用相应的低合金结构钢焊条及合理的焊接工艺,就能获得满意的焊接接头
异种珠光体钢的焊接	原则上应满足强度较低一侧钢材的要求,选用与强度较低钢材成分接近的焊条,但焊缝的热强性应等于或高于母材金属。在某种情况下,为防止焊后热处理或在使用过程中出现碳的迁移,应选用合金成分介于两种母材金属之间的焊条 如果产品不允许进行预热和焊后热处理时,可以采用奥氏体钢焊缝,奥氏体钢焊缝的塑性、韧性都很好,即满足了焊缝金属的力学性能,又可以有效地防止产生冷裂纹
珠光体钢与铁素体钢的焊接	通常既可以选用珠光体钢焊条,又可以选用铁素体钢焊条。这类钢焊接时不仅需要预热,而且需要焊后缓冷或及时回火处理
异种奥氏体钢的焊接	选用奥氏体钢焊条。对于在低温下工作和承受冲击载荷的异种奥氏体钢接头,要选用含镍量较高的焊条,以减少熔合线附近脆性马氏体层的宽度和冲击韧度下降的幅度

(续)

异种钢	焊条选用原则
不锈钢与低碳钢的焊接	<p>由于两种钢热导率、线膨胀系数和化学成分等较大的差异,所以焊接接头的成分和性能的变化很复杂。焊接时的主要问题是:焊缝容易产生裂纹,熔合区容易产生脆性层</p> <p>焊缝容易产生裂纹,主要与被称为母材对焊缝的稀释作用的稀释率有关。克服母材对焊缝稀释作用的措施是严格控制母材的熔合比,使熔合比控制在30%以下。这样可以获得奥氏体+铁素体双相组织,使焊缝抗裂性能显著提高。其二是焊接时采用过渡层,即在低碳钢坡口表面,用含铬、镍量高的焊条堆焊一层奥氏体过渡层,厚度为5~6mm,然后焊接不锈钢与过渡层的焊缝</p> <p>防止熔合区脆性层的主要措施是:其一,在满足工艺要求的前提下,选用大的焊接电流,增加熔池搅拌作用和熔池边缘金属的流动性,改善结晶条件,使熔合区脆性层的宽度变小。其二,选用含镍量高的填充材料,如选用奥氏体化能力较强的焊条焊接,脆性层宽度将显著减小。若选用镍基焊条焊接时,脆性层宽度会完全消失</p> <p>另外,由于低碳钢与不锈钢的线膨胀系数不同,会产生很大的热应力而导致焊缝剥离,所以,焊接时最好选用线膨胀系数接近低碳钢的镍基焊条</p> <p>选用 E309-16(A302)、E309-15(A307)焊条焊接,接头熔合线附近的马氏体组织宽度比用 E347-15(A137)焊条小</p>
珠光体钢与铬镍奥氏体钢的焊接	<p>选用镍含量较高的铬镍奥氏体钢焊条,为防止焊缝产生热裂纹,焊条中应含有质量分数为5%~10%的一次铁素体。常用的奥氏体焊条有:E309-16(A302),E309-15(A307)等</p>
含镍量 $w_{Ni}$ 为2.5%~3.5%的低温钢与奥氏体不锈钢的焊接	<p>选择焊条的原则是要确保焊接区的低温韧性</p>

注:用在坡口表面预先堆焊过渡层的焊条,其合金成分应高于焊缝金属。

表 1-86 常用异种钢焊接的焊条选用、焊前预热及焊后热处理

类别	钢材牌号	焊条型号(牌号)	预热温度(°C)	焊后热处理温度(°C)	备注
碳素钢、低合金结构钢与珠光体钢的焊接	Q195	Q275	不预热、或 预热 100~200	不处理或 600~610	板厚 $\geq$ 35mm 或要求机加工精度时必须回火
	Q215-A	Q345(旧牌号 16Mn, 14MnNb)	$w_C \leq 0.3\%$ 可 不预热	回火	
	Q235-A	Q390 (旧牌号 15MnV)			
	Q255-A	Q390 (旧牌号 15MnV)	E4315(J427)		
	08	15Cr	E5015(J507)		
	10	20Cr			
	15	30Cr			
	20	20CrV			
	25				
	Q195	35, 40, 45, 50			
	Q215-A	40Cr, 45Cr, 50Cr	E4316(J426)	焊后立即 进行热处理	
	Q235-A	35Mn2, 40Mn2	E4315(J427)	300~400	
	Q255-A	45Mn2, 50Mn2	E5015(J507)	600~650	
	08	30CrMnTi			
	10	40CrMn			
	15	40CrV			
	20	25CrMnSi	E310-15(A407)	200~300 $C \leq 0.3\%$ 不预热	
	25	30CrMnSi 35CrMnSiA			

(续)

类别	钢材牌号	焊条型号(牌号)	预热温度/℃	焊后热处理温度/℃	备注
碳素钢、低合金结构钢与珠光体钢的焊接	Q195	E4316(J426) E4315(J427) E5015(J507)	150~250 $w_c \leq 0.3\%$ 不预热(工作在450℃以下温度)	640~670	—
	Q215-A				
	Q235 A				
	Q255-A				
	08				
	10				
	15				
	20				
	25				
	Q195				
Q215 A					
Q235 A					
Q255-A					
08					
10					
15					
20					
25					

(续)

类别	钢材牌号	焊条型号(牌号)	预热温度(°C)	焊后热处理温度(°C)	备注
珠光体钢与低合金钢	12CrMo				
	15CrMo				
	20CrMo				
	30CrMo	E5915-A1(R107)	250~350	700~720	工作温度≤500℃,焊后立即回火
	35CrMo	E5515-B1(R207)			
	38CrMoAl	E5315-B2(R307)			
低合金钢	12CrMo	35, 40, 45, 50			
	15CrMo	40Cr, 45Cr, 50Cr	300~100	640~670	工作温度≤460℃,焊后立即回火
	20CrMo	35Mn2, 40Mn2			
	30CrMo	45Mn2, 50Mn2			
	35CrMo	30CrMnTi			
	38CrMoAl	40CrMo 10CrV			
低合金钢		E16-25MoN-15 (A507)	200~300	不回火	工作温度≤350℃,无法热处理时采用

(续)

类别	钢材牌号	焊条型号(牌号)	预热温度/°C	焊后热处理温度/°C	备注
珠光体钢与珠光体钢焊接	12CrMo	E5015-A1(R107)	150~250	660~700	$w_C \leq 0.3\%$ 、 1、作温度 $\leq 530^\circ\text{C}$ 可不预热
	15CrMo	E6015-B3(R407)			
	20CrMo	E5515-B1(R207)			
	30CrMo	E5515-B2(R307)			
	35CrMo				
	38CrMo				
	35、40、45、50	E6015-G(J607)	300~400	600~650	焊后立即回火
	40Cr、45Cr、50Cr	E7015-G(J707)			
	35Mn2、40Mn2	E310-15(A407)	200--300	不回火	
	45Mn2、50Mn2				
	30CrMnTi				
	40CrMn				
	40CrV				
	25CrMnSi				
30CrMnSi					
35CrMnSiA					



(续)						
类别	钢材牌号		焊条型号(牌号)	预热温度/℃	焊后热处理温度/℃	备注
珠光体钢与珠光体钢焊接	12Cr1MoV	12Cr1MoV	E5515-B2-V(R317)	250~350	720~750	1. 作温度≤550℃, 焊后立时回火
	20Cr3MoWVA	20Cr3MoWVA	E5515-B1(R207) E5515-B2(R307)			
	Q345 (16Mn)	Q390 (15MnV, 15MnTi)	E5016(J306) E5015(J507) E5003(J502)	不预热		
		40Cr	E5001(J503) E5015(J507)	200		
异种高铬不锈钢焊接		20CrMo	E5515-G(J557)	300~100	550~650 回火	
	0Cr13	0Cr13				
	1Cr13	1Cr13	E410-15(G207)	200~300		
	2Cr13	2Cr13				
	3Cr13	3Cr13				
	0Cr13	1Cr17				
	1Cr13	1Cr17Ni2	E410-15(G207)	200~300		
	2Cr13					
	3Cr13		E309 15(A307)	不预热或预热 150~200		

(续)

类别	钢材牌号	焊条型号(牌号)	预热温度/℃	焊后热处理温度/℃	备注
异种高合金不锈钢焊接	1Cr17 1Cr17Ni2	E309-15(A307)	150~200	不回火	焊缝不耐晶间腐蚀,用于干燥浸蚀性介质中
	1Cr17Ni2 1Cr17				
珠光体钢与铁素体不锈钢的焊接	Q195 Q215-A Q235-A Q255-A 08、10、15、20、25	E5515-B1(R207) E5515-B2(R307)	不预热	不回火	焊缝不耐晶间腐蚀,不能承受冲击载荷,不能用于浸蚀性液体
	Q275 09Mn2 Q345(16Mn、 14MnNb) Q390(15MnV) 15Cr	1Cr17 1Cr17Mo E309-16(A302) E309-15(A307)	不预热	不回火	

(续)

类别	钢材牌号	焊条型号(牌号)	预热温度/℃	焊后热处理温度/℃	备注
珠光体钢与铁素体不锈钢的焊接	20Cr 30Cr 20CrV	1Cr17 1Cr17Mo	不预热	不回火	焊缝不耐晶间腐蚀,不能承受冲击载荷,不能用于侵蚀性液体
	35, 40, 45, 50 40Cr, 45Cr, 50Cr 35Mn2, 40Mn2 45Mn2, 50Mn2 30CrMnTi 40CrMn 40CrV 25CrMnSi 30CrMnSi 35CrMnSiA	1Cr17 1Cr17Mo	250~350	不回火	焊缝不耐晶间腐蚀,工作温度<350℃,不能用在侵蚀性液体中
	12CrMo 15CrMo 20CrMo 30CrMo 35CrMo 38CrMoAl	1Cr17 1Cr17Mo	不预热或预热 150~200	不回火	焊缝不耐晶间腐蚀,不能承受冲击载荷,不能用在侵蚀性液体中

(续)						
类别	钢材牌号		焊条型号(牌号)	预热温度/°C	焊后热处理温度/°C	备注
珠光体钢与铁素体不锈钢的焊接	12Cr1MoV	1Cr17 1Cr17Mo	E309 16(A302)	150~200	不回火	焊缝不耐晶间腐蚀,不能承受冲击载荷,不能用在浸蚀液体中
	20Cr3MoWVA		E309-15(A307)			
碳素钢与奥氏体不锈钢的焊接	Q195	00Cr19Ni11	E310-16(A402)	不预热	不回火	工作温度<350°C,不耐晶间腐蚀 工作温度<450°C,不耐晶间腐蚀 用于覆盖A507焊缝,可耐晶间腐蚀
	Q215-A	0Cr19Ni9	E310-15(A407)			
	Q235-A	1Cr18Ni9	E16-25MoN-16(A502)			
	Q255-A	0Cr18Ni11Ti	E16-25MoN-15(A507)			
	08	1Cr18Ni9Ti	E316 16(A202)			
	10	1Cr18Ni11Nb				
	15	0Cr18Ni12Mo2Ti				
20	1Cr18Ni12Mo3Ti					
25						

(续)

类别	钢材牌号	焊条型号(牌号)	预热温度/℃	焊后热处理温度/℃	备注			
珠光体钢与奥氏体不锈钢的焊接	00Cr19Ni11	Q275	不预热	不回火	工作温度<350℃、焊缝不耐腐蚀			
	6Cr19Ni9	E310-16(A402) E310-15(A407)						
	1Cr18Ni9	E16-25MoN-16(A502) E16-25MoN 15(A507)						
	0Cr18Ni11Ti	E16-25MoN-16(A502) E16-25MoN 15(A507)						
	1Cr18Ni9Ti							
	1Cr18Ni11Nb							
	9Cr18Ni12Mo2Ti							
	1Cr18Ni12Mo3Ti							
		35、40、45、50 40Cr、45Cr、50Cr 35Mn2、40Mn2 45Mn2、50Mn2 30CrMnTi 40CrMn 40CrV 25CrMnSi 30CrMnSi 35CrMnSiA					200~300	工作温度<150℃、焊缝不耐腐蚀

(续)

类别	钢材牌号	焊条型号(牌号)	预热温度/°C	焊后热处理温度/°C	备注
珠光体钢与奥氏体不锈钢的焊接	00Cr19Ni11	E309-16(A302)	200 ~ 300 含碳量 $w_c < 0.3\%$ , 焊前可不预热	不回火	工作温度 < 400°C
	0Cr19Ni9	E309-15(A307)			
	1Cr18Ni9	E16-25MoN-16(A502)	200 ~ 300 含碳量 $w_c < 0.3\%$ , 焊前可不预热		工作温度 < 450°C
	0Cr18Ni11Ti	E16-25MoN-15(A507)			
1Cr18Ni9Ti	E309-16(A302)	200 ~ 300 含碳量 $w_c < 0.3\%$ , 焊前可不预热	不回火	焊缝不耐晶间腐蚀, 工作温度 < 520°C	
1Cr18Ni11Nb	E309-15(A307)				
0Cr18Ni12Mo2Ti	E16-25MoN-16(A502)	200 ~ 300 含碳量 $w_c < 0.3\%$ , 焊前可不预热		焊缝不耐晶间腐蚀, 工作温度 < 550°C	
1Cr18Ni12Mo3Ti	E16-25MoN-15(A507)				
	12Cr1MoV 20Cr3MoWVA				

(续)

类别	钢 材 牌 号	焊条型号(牌号)	预热温度/℃	焊后热处理温度/℃	备 注					
奥氏体不锈钢与马氏体不锈钢的焊接	00Cr19Ni11	E309-16(A302) E309-15(A307)	不预热或150~250	720~760	焊缝不耐晶间腐蚀,在无硫气氛中工作温度≤650℃,工作中无液态浸蚀					
	0Cr19Ni9									
	1Cr18Ni9									
	0Cr18Ni11Ti									
	1Cr18Ni9Ti									
	1Cr18Ni11Nb									
	0Cr18Ni12Mo2Ti									
	1Cr18Ni12Mo3Ti									
	铁素体不锈钢与奥氏体不锈钢的焊接					00Cr19Ni11	1Cr17 1Cr17Mo	不预热	720~750	回火后快速冷却,焊缝耐晶间腐蚀,但不耐冲击载荷
						0Cr19Ni9				
1Cr18Ni9										
0Cr18Ni11Ti										
1Cr18Ni9Ti										
1Cr18Ni11Nb										
0Cr18Ni12Mo2Ti										
1Cr18Ni12Mo3Ti										
A122										

## (三) 异种钢焊接缺陷及防止措施

异种钢焊接缺陷有外部和内部缺陷两类。特别是金相组织不同的异种钢焊接时,存在着物理性能差异、结晶化学性差异、力学性能差异、表面状态差异等,这些都会导致金相组织变化或产生新的组织,使焊接接头性能变坏。这时焊缝金属若存在不同的焊接缺陷及应力时,将会造成焊缝金属的耐蚀性下降、焊接接头的力学性能降低,因而降低了异种钢焊接结构的使用寿命。所以,在异种钢的焊接过程中,要特别注意防止焊接缺陷的产生。常见异种钢的焊接缺陷产生原因及防止措施见表1-87。

表 1-87 常见异种钢的焊接缺陷产生原因及防止措施

异 种 钢	焊接方法	焊接缺陷	产生原因	防止措施
00Cr18Ni10 + 碳素钢	焊条电 弧堆焊	熔合区塑 性下降,出 现淬硬组织	马氏体组 织的生成	1. 严格控制马 氏体组织数量 2. 控制焊后热 处理温度
9Cr18Ni9+ 2¼CrMo	焊条电 弧焊	熔合区裂 纹	马氏体组 织的生成	1. 控制母材熔 合比 2. 采用过渡层、 过渡段焊接
2Cr23Ni13+ Cr15Mo	焊条电 弧堆焊	焊缝高温 裂纹,熔合 区塑性下降	碳的迁 移,脆性层 的产生,母 材稀释率低	1. 控制母材熔 合比 2. 采用过渡层、 过渡段焊接 3. 选用含镍高 的填充材料
奥氏体不锈钢 + 碳素钢	焊条电 弧堆焊	熔合区塑 性下降,出 现淬硬组织	熔合区脆 性层的产生	1. 采用过渡层、 过渡段焊接 2. 选用含镍量 高的填充材料
09Cr17Ni14Mo3 + 碳素钢	焊条电 弧堆焊	焊缝晶间 裂纹	低熔点共 晶体的产生	1. 控制焊缝熔 合比 2. 焊前预热 3. 焊后热处理



(续)

异、种 钢	焊接方法	焊接缺陷	产生原因	防止措施
0Cr18Ni9 +00Cr18Ni10	焊条电弧 焊对接	复层侧塑 性下降,高 温裂纹	马氏体组 织的生成, 焊接应力, 低熔点共晶 体的液态薄 膜	1. 控制铁素体 含量 2. 采用“隔离焊 缝” 3. 控制焊后热 处理温度
1Cr28 + 碳素钢	焊条电 弧堆焊	焊缝延迟 裂纹	低熔点共 晶体产生	1. 合理制定焊 接工艺 2. 焊前预热 3. 焊后进行热 处理
15Cr + 碳素钢	焊条电弧 焊角接	焊接裂 纹,热影响 区硬化	碳的迁移	1. 采用中间过 渡段焊接 2. 采用过渡层 焊接
1Cr25Ti +Q235	焊条电弧 焊对接	焊缝根部 产生裂纹	因母材稀 释生成 $\gamma$ 相,母材生 成马氏体组 织	1. 焊前要有预 热措施 2. 焊接时温度 不能过高 3. 焊后缓冷
耐热铸钢 + 碳素钢	焊条电弧 焊对接	碳素钢侧 热影响区强 度下降	热影响区 出现脱碳层	1. 在铸钢上预 先堆焊过渡层 2. 选择塑性好 的填充材料
Cr-Mo 钢 + 碳素钢	焊条电弧 焊对接	熔合区回 火后产生裂 纹	回火温度 不合适	1. 选择塑性好 的填充材料 2. 焊前预热,焊 后热处理温度要 合适
钢+铸铁	焊条电弧 焊对接	产生白口 组织,焊缝 出现裂纹、 气孔	焊缝含碳 高,冷却速 度快,填充 材料不干 净、潮湿,气 体侵入熔池	选择合适的焊 接方法;严格控制 化学成分,冷却速 度;选择镍基或高 钒焊条;填充材料 要烘干;焊前接头 及填充材料要清 理干净

(续)

异种钢	焊接方法	焊接缺陷	产生原因	防止措施
09Mn2 + 14MnMoV	焊条电弧 焊对接	产生冷裂 纹、热裂纹	焊缝中氢 的作用,热 影响区产生 淬硬组织, 接头产生应 力	1. 选择合适 的填充材料 2. 焊前要进行 预热 3. 焊后进行热 处理

## 七、铜及铜合金的焊接

### (一)铜及铜合金的分类

纯铜呈紫红色,俗称紫铜。在纯铜的基础上加入不同的合金元素,可以成为不同性能的铜合金,常用的铜及铜合金分类见表 1-88。

### (二)铜及铜合金的化学成分、力学性能

常用加工纯铜的化学成分及力学性能见表 1-89;常用黄铜的化学成分及力学性能见表 1-90。常用青铜的化学成分及力学性能见表 1-91。

表 1-88 常用铜及铜合金的分类

类别	主要元素	合金元素	合金元素的含量(w%)与颜色的关系					
			0~3	10	15	20	30~35	55
纯铜	Cu	—	紫红色					
黄铜	Cu	Zn	0~3	10	15	20	30~35	55
			红色	黄红色	淡黄色	绿黄色	金黄色	淡黄色
锡青铜	Cu	Sn	11	15	20	50		
			红黄色	橙黄色	苍白黄色	待黄色 苍白色		
铝青铜	Cu	Al	—					
硅青铜	Cu	Si	—					
锰青铜	Cu	Mn	—					
白铜	Cu	Ni	—					

表 1-89 常用纯铜的化学成分(质量分数)及力学性能

牌 号	代 号	主要化学成分 / %										杂质含量 / % 不大于				
		Cu 不小于	P	Bi	Sb	As	Fe	Ni	Pb	Sn	S	Zn	Q	总和		
一号铜	T1	99.95	0.001	0.001	0.002	0.002	0.005	0.002	0.003	0.002	0.005	0.005	0.02	0.05		
二号铜	T2	99.9	—	0.001	0.002	0.002	0.005	0.005	0.005	0.002	0.005	0.06	0.1			
三号铜	T3	99.7	—	0.002	0.005	0.01	0.05	0.01	—	0.01	—	0.1	0.3			
一号无氧铜	TU1	99.97	0.002	0.001	0.002	0.002	0.004	0.002	0.003	0.002	0.004	0.002	0.03			
二号无氧铜	TU2	99.95	0.002	0.001	0.002	0.002	0.004	0.002	0.004	0.002	0.004	0.003	0.05			
磷脱氧铜	TP2	99.85	—	0.002	0.002	0.005	0.05	0.01	0.005	0.01	0.005	0.01	0.15			
T2、T3力学性能	$\sigma_b$ / MPa												$\sigma_{0.2}$ / MPa	$\sigma_{0.1}$ / MPa	$E$ / MPa	
材料状态	$\delta$ / %	HBS											$\psi$ / %	$a_K$ / (J/cm <sup>2</sup> )		
软状态 (轧制并退火)	200--240	40~50	35~45	60~80	65~75	160~180	60~70	11 × 10 <sup>3</sup>								
硬状态 (冷加工变形后)	400~500	4~6	110~130	300~380	35~45	—	110~120	12 × 10 <sup>3</sup>								

① 循环次数为 10<sup>3</sup> 次。

表 1-90 常用黄铜的化学成分(质量分数)及力学性能

牌 号	代 号	化学成分 / %, 余量为 Zn							力学性能		
		Cu	Sn	Al	Ni	Pb	其它	杂质 不大于	$\sigma_s$ (MPa)	$\delta$ (%)	HB
62 黄铜	H62	60.5~	—	—	—	0~	Fe	0.5	330 500	19.3	56 164
		63.5	—	—	—	0.08	0~0.15	—	—	—	—
68 黄铜	H68	67~70	—	—	—	—	—	0.3	320 550	55.3	150
62-1 锡黄铜	HSn62-1	61~63	0.7~ 1.1	—	—	—	—	0.3	400 700	40.4	—
58-2 锰黄铜	HMn58 2	57~61	—	—	1~2	—	—	1.2	400 700	40.10	85 175
59-1-1 铁黄铜	HFe59-1-1	57~60	0.3~ 0.7	0.1~ 0.4	0.5~ 0.8	—	Fe 0.5~1.2	0.25	450 700	50.10	88 160
80-3 硅黄铜	HSi80-3	79~81	—	—	—	—	Si 2.5~4	1.5	300 600	58.4	—
80-3 铸硅黄铜	ZHSi80 3	79~81	—	—	—	—	Si 2.5~4	2.8	300 250	15.10	110 160
58-2-2 铸锰黄铜	ZHMn58 -2-2	57~60	—	—	1.5~ 2.5	1.5~ 2.5	—	2.5	350 250	8.13	80 70
66-6-3-2 铸铝黄铜	ZHAl66 -6-3-2	64~68	—	6~7	1.5~ 2.5	—	Fe 2~4	2.1	650 600	7.7	160 160
55-3-1 铸锰黄铜	ZHMn55-3-1	53~58	—	—	3~4	—	Fe 0.5~1.5	2	500 450	10.15	100 90

表 1-91 常用青铜的化学成分(质量分数)及力学性能

牌 号	代 号	Sn	主要化学成分/% ,余量为铜										力学性能	
			Al	Zn	Mn	Fe	Sh	Pb	Bi	Si	P	杂质 总量 w	$\sigma_b$ MPa	$\delta$ %
4-3 锡青铜	QSn4-3	3.5~ 4.5	0.002	2.7~ 3.3	—	0.05	0.002	0.02	0.002	0.002	0.03	0.2	350 (550)	40 (1)
4-4 锡青铜	QSn4-4	3.0~ 5.0	0.002	3.0~ 5.0	—	0.05	0.002	3.5~ 4.5	0.002	—	0.03	0.2	500~ 350 (500~ 850)	16 (2~1)
4-0.3 锡青铜	QSn4-0.3	3.5~ 4.5	0.002	—	—	0.02	0.002	0.02	0.002	0.002	0.2~ 0.4	0.1	340 (600)	32 (8)
5 铝青铜	QA15	0.1	1.0~ 6.0	0.5	0.5	0.5	—	0.03	—	0.1	0.01	1.6	380 (80)	65 (5)
7 铝青铜	QA17	0.1	6.0~ 8.0	0.5	0.5	0.5	—	0.03	—	0.1	0.01	1.6	420 (100)	70 (4~5)
9-2 铝青铜	QA19-2	0.1	8.0~ 10.0	1.0 2.5	0.5	0.5	—	0.03	—	0.1	0.01	1.7	450 (600~ 800)	20~10 (1~7)

牌 号	代 号	主要化学成分 / %, 余量为铜											力学性能 <sup>2</sup>	
		Sn	Al	Zn	Mn	Fe	Sb	Pb	Bi	Si	P	杂质 总量 /%	$\sigma_b$ /MPa	$\delta$ /%
10-4-4 铝青铜	QA110-4-4	0.1	9.5~ 11.0	0.5	0.3	3.5~ 5.5	Ni 3.5~ 5.5	0.02	-	0.1	0.01	1.0	600~ 700 (900~ 1000)	35~55
10-5-5 铝青铜	QA110-5-5	0.2	8.0~ 11.0	0.5	0.5~ 2.5	4.0~ 6.0	Ni 4.0~ 6.0	0.05	Mg 0.1	0.25		1.2		-
2 铍青铜	QBe2	-	0.15	-	Be 1.8~ 2.1	0.15	0.2~ 0.5	0.005	-	0.15		0.5	150~ 500 (950)	40 (3)
3-1 硅青铜	QSi3-1	0.25		0.5	1.0~ 1.5	0.3	Ni 0.2	0.03		2.7~ 3.5	-	1.1	350~ 400 (650~ 700)	50~60 (1~5)

(续)

(续)

牌 号	代 号	号	主要化学成分:%,余量为铜											力学性能 <sup>①</sup>	
			Sn	Al	Zn	Mn	Fe	Sb	Pb	Bi	Si	P	杂质 总量 /%	$\sigma_b$ /MPa	$\delta$ /%
1-3 硅青铜	QSi1-3		0.1	0.02	0.2	0.1~ 0.4	0.1	Ni 2.4~ 3.4	0.15	—	0.6~ 1.1	—	0.5	— (600)	— (8)
1.5 锰青铜	QMn1.5		0.05	0.07	0.1 Cr 0.1	1.2~ 1.8	0.1	0.005; 0.6;	0.002	0.1	S 0.01	0.3	≥210 (—)	≥30 ( )	
2 锰青铜	QMn2		0.05	0.07	As 0.01	1.5~ 2.5	0.1	0.05	0.01	0.002	0.1	0.5	—	—	
5 锰青铜	QMn5		0.1	—	0.4	4.5~ 5.5	0.35	0.002	0.03	—	0.1	0.9	300 (500~ 600)	40 (2)	
0.2 铅青铜	QZn0.2		0.05	—	Ni 0.2	—	0.05	0.005	0.01	0.002	Zr 0.15~ 0.30	0.5	—	—	

① 化学成分含量中有一个数值的均为最大值,最小值无。  
② 力学性能中括号外数值为软态,括号内数值为硬态。

表 1-92 常用铜及铜合金焊条电弧焊的工艺要点

类别	预热、层温及热处理	焊条型号(牌号)	主要特点	工艺措施	备注
纯铜	预热 400~500℃	ECu(T107) ECuSi-B(T207) ECuSn-B(T227) ECuAl-C(T237)	1. 铜的导热性很好, 焊接热输入不足, 容易造成焊接接头未熔合或未焊透	1. 采用较大的焊接电流和较高的预热温度及层间温度 2. 严格控制母材金属及焊缝中的氧、铅、铋、硫、磷等含量。采用预热和热量集中的方法; 合理选用装配、焊接顺序及焊接参数。尽量降低接头刚度	1. 大批量生产不推荐用焊条电弧焊工艺方法, 只有小批量, 用其它方法又难于进行焊接时, 才推荐用焊条电弧焊
黄铜	预热 200~300℃	ECuSn-B(T227) ECuAl-C(T237)	2. 容易在焊缝中, 熔合线附近及热影响区出现裂纹, 裂纹呈晶间断裂, 可见到明显氧化色	3. 严格控制氧、氢来源。焊前仔细清除待焊处油、污、锈、垢。采用焊前预热或加入脱氧、氢的元素 4. 尽可能采用高焊速; 减少熔池高温停留时间, 焊件焊后进行再结晶退火 5. 采用直流反接电源和短弧焊	2. 黄铜焊接性差, 一般不宜采用焊条电弧焊工艺
锡青铜	预热 150~200℃, 焊后 480℃后快冷	ECuSn-B(T227)	3. 焊接过程中易产生气孔	6. 焊后用平头锤锤击焊缝 7. 铜液流动性好, 尽量采用平焊位置焊接 8. 焊接接头须有较大的间隙和坡口角度, 较多的定位焊缝	3. 青铜、白铜焊接性较好
铝青铜	含铝量 $w_{Al} < 7\%$ 预热温度 $< 200℃$ , 含铝量 $w_{Al} > 7\%$ 预热 620℃, $\delta < 3mm$ 时, 不预热, 焊后视焊件结构大小可进行 620℃退火消除应力	ECuAl-C(T237)	4. 焊后接头力学性能降低		
硅青铜	不预热, 层温 $< 100℃$ , 焊后锤击焊缝, 消除应力	ECuSi-B(T207)			
白铜	不预热, 层温 $< 70℃$	ECuAl-C(T237)			



## (三) 铜及铜合金的焊接

铜及铜合金的焊接较钢的焊接困难,容易产生金属氧化、金属元素蒸发、气孔、裂纹以及变形等缺陷,所以,在焊接时要特别予以注意。常用铜及铜合金焊条电弧焊的工艺要点见表 1-92。

## (四) 异种铜及铜合金的焊接

表 1 93 异种铜及铜合金焊接时焊条的选用

异种铜及铜合金	纯 铜	黄 铜	硅 青 铜	锡 青 铜	铝 青 铜
镍青铜	T307 T107	T307 T237	T207 T307	T227 T307	T207 T307
铝青铜	T207 T227	T207 T227 T237	T207 T237	T237 T227	T237
锡青铜	T107 T227	T227 T237	T207 T227	T227	
硅青铜	T107 T207	T207 T227	T207		
黄 铜	T207 T227	T207 T237 T227			
纯 铜	T107 T307				

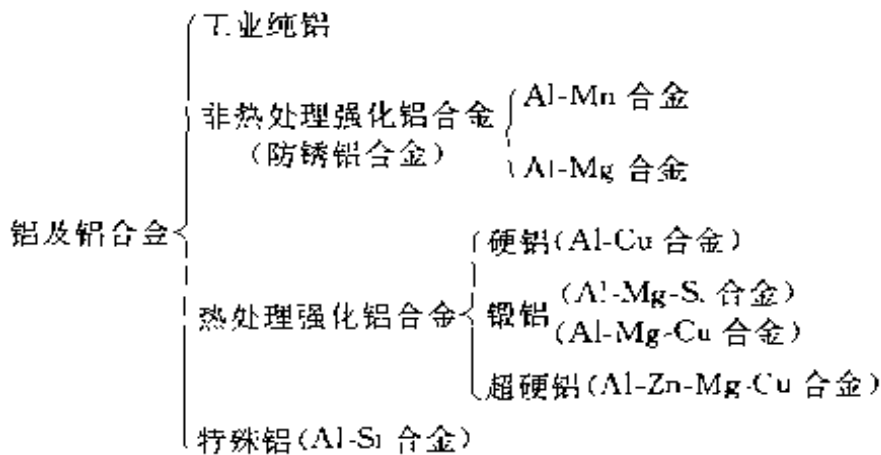
注:表中只给出焊条牌号,其相应的焊条型号为:T107—ECu;T207—ECuSi-B;T227—ECuSn-B;T237—ECuAl-C;T307—ECuNi-B。

异种铜及铜合金焊接焊条的选用原则;主要考虑结构的使用条件,如用在导电结构上,焊缝导电率要比母材大或等于母材;要综合考虑焊缝力学性能不低于母材;要考虑施工工艺的难易程度、耐磨性、耐腐蚀性等;还要考虑焊条的成本高低。异种铜及铜合金焊接时焊条的选用见表 1-93。

### 八、铝及铝合金的焊接

铝的密度为  $2.7\text{g/cm}^3$ ,比铜轻  $2/3$ ,铝为银白色轻金属,熔点为  $958\text{C}$ ,导电率仅次于金、银、铜,而居第四位。铝有较高的热容量和熔化潜热,良好的耐腐蚀性,在低温下亦能保持良好的力学性能。铝及铝合金的分类见表 1-94。

表 1-94 铝及铝合金的分类



#### (一) 铝及铝合金的牌号、化学成分及力学性能

常用铝合金的牌号及化学成分见表 1-95。常用铝及铝合金的常温力学性能(退火状态)见表 1-96。

#### (二) 铝及铝合金的焊接特点及工艺措施

常用铝及铝合金的焊接特点及工艺措施见表 1-97。

#### (三) 铝及铝合金焊件焊前、焊后的清理

为确保铝及铝合金的焊接质量,焊前要对其待焊处进行清理或清洗。焊后,为了防止焊渣对接头的腐蚀,还要将残留在焊缝表面及其两侧的焊渣在规定时间内(3~6h)内必须清理掉。铝及铝合金常用的焊前清理及清洗方法见表 1-98;常用的焊后清洗方法见表 1-99。

表 1-95 常用铝合金的牌号及化学成分(质量分数)

类	别	牌号	Al	Cu	Mg	Mn	Fe	Zn
非热处理强化	防锈铝合金	LF2	余量	0.1	2.0~2.8	或 Cr0.1~0.4	0.4	Si0.4;Ti0.15
		LF3	余量	0.1	3.2~3.8	0.3~0.6	0.5	Si0.5~0.8;Zn0.3;Ti0.15
		LF5	余量	0.1	1.8~5.5	0.3~0.6	0.5	Si0.5;Zn0.2
	LF6	余量	0.1	5.8~6.8	0.5~0.8	0.4	Si0.4;Zn0.2;Ti0.02~0.1;Be0.0001~0.005	
	LF11	余量	0.1	4.8~5.5	0.3~0.6	0.5	Si0.5;Zn0.2;Ti或V0.02~0.15	
	LF21	余量	0.2	0.05	1.6~1.6	0.7	Si0.6;Zn0.1;Ti0.15	
热处理强化铝合金	硬铝合金	LY4	余量	3.2~3.7	2.1~2.6	0.5~0.8	0.3	Ti0.05~0.4;Si0.3;Be0.003~0.01;Zn0.1
		LY11	余量	3.8~4.8	0.4~0.8	0.4~0.8	0.7	Ni0.1;Ti0.15;Si0.7;Zn0.3
		LY12	余量	3.8~4.9	1.2~1.8	0.3~0.9	0.5	Si0.5;Zn0.3;Ti0.15;Ni0.1
	LY16	余量	6.0~7.0	0.05	0.4~0.8	0.3	Si0.3;Ti0.1~0.2;Zr0.2;Zn0.1	
	LC4	余量	1.4~2.0	1.8~2.8	0.2~0.6	0.5	Zn5.0~7.0;Si0.5;Cr0.10~0.25	
	LC9	余量	1.2~2.0	2.0~3.0	0.15	0.5	Zn5.1~6.1;Si0.5;Cr0.16~0.30	
锻造铝合金	LD2	余量	0.2~0.6	0.15~0.90	或 Cr:0.15~0.35	0.5	Si0.5~1.2;Zn0.2;Ti0.15	
	LD3	余量	1.8~2.6	0.1~0.8	0.4~0.8	0.7	Si0.7~1.2;Zn0.3;Ni0.1;Ti0.15	
	LD6	余量	1.8~2.6	0.4~0.8	0.1~0.8	0.7	Cr0.01~0.2;Si0.7~1.2;Ti0.02~0.1;Zn0.3;Ni0.1	
	LD10	余量	3.9~4.8	0.1~0.8	0.1~1.0	0.7	Si0.6~1.2;Zn0.3;Ni0.1;Ti0.15	

表 1-96 常用铝及铝合金的常温力学性能(退火状态)

	高纯铝	工业纯铝		LF2	LF3	LF21	LY11	LY12	LC4	LD2	LD10
		L4	L6								
$\sigma_b$ MPa	45	80	90	190	260	130	210	180	260	180	—
$\delta_5$ %	49	12	30	23	22	23	18	18	13	30	—
HBS	17	32	25	45	65	30	45	42	—	30	—

表 1-97 常用铝及铝合金的焊接特点及工艺措施

焊 接 特 点	工 艺 措 施
<p>1. 铝极易氧化成难熔氧化膜(<math>Al_2O_3</math>),其熔点高达 2050℃,而纯铝的熔点是 658℃,故极易造成焊缝金属夹杂</p> <p>2. 吸氧严重,容易在焊缝中形成气孔</p> <p>3. 铝的线膨胀系数和结晶收缩率比钢大两倍,易产生较大的焊接变形和内应力,对刚度较大的结构会导致裂纹的产生</p> <p>4. 焊接过程中,合金元素将蒸发和烧损</p> <p>5. 铝合金有较高的导热性</p> <p>6. 高温强度和塑性低,容易造成焊缝金属塌落和烧穿现象</p> <p>7. 固-液态转变无颜色变化,容易使焊条运行偏离焊缝或使焊缝烧穿</p> <p>8. 焊接接头容易腐蚀</p>	<p>1. 加强待焊处焊前清理,可以用机械或化学方法清理。清理完的待焊处必须在 8h 内焊完,否则焊前仍需重复清理待焊处</p> <p>2. 焊条焊前需经 150~160℃ 烘焙 2h。采用大电流焊接,对焊件进行预热,能改善气体逸出条件</p> <p>3. 装配、焊接时,不使焊缝经受很大的刚性拘束,采用分段焊法及预热等措施</p> <p>4. 采用直流反接电源,焊速约是钢焊速的 2~3 倍,并要短弧操作</p> <p>5. 焊前对待焊处预热达 100~300℃</p> <p>6. 在焊缝背面增加衬垫或合理选择坡口、钝边大小,合理选择焊接热输入及焊接工艺和设备</p> <p>7. 合理选择焊接热输入及焊接手法</p> <p>8. 焊后仍要对焊接接头进行清洗,因为焊条药皮大都是盐基型的,对铝有腐蚀性</p>

表 1-98 铝及铝合金常用的焊前清理及清洗方法

目的	清 理 内 容 及 工 艺 措 施									
去油污	1. 去氧化膜之前,将待焊处坡口及两侧各 30mm 内的油、污、脏物清洗掉,可以用汽油、丙酮、醋酸乙酯或四氯化碳等溶剂进行清洗 2. 用工业磷酸三钠 10~50g 碳酸钠 40~50g 水玻璃 20~30g 水 1L → 加热 60~70℃ → 对坡口除油 (5~8min) → 50℃ 热水中洗 2min → 在冷水中冲洗 2min									
机械清理	用丝径 ≤ 0.3mm 的不锈钢丝轮或刮刀将待焊处表面清理干净。用于对清洗要求不高,尺寸较大,不易用化学清洗的焊件,以及化学清洗后又被局部沾污的焊件									
去除氧化膜	被清洗材料	碱 洗			冷水冲洗时间 /min	中 和 清 洗			冷水冲洗时间 /min	烘干温度 /℃
		NaOH 溶液 φ <sub>NaOH</sub> /%	温 度 /℃	时 间 /min		HNO <sub>3</sub> 溶液 φ <sub>HNO<sub>3</sub></sub> /%	温 度 /℃	时 间 /min		
	纯 铝	6~10	40~50	10~20	2	30	室 温	2~3	2	风干 或 100~150
	铝 合 金	6~10	50~60	5~7	2	30	室 温	2~3	2	风干 或 100~150

表 1-99 铝及铝合金常用的焊后清洗方法

清洗方案编号	清洗内容及工艺过程
1	在 60~80℃ 热水中 → 用硬毛刷将焊缝正背两面仔细刷洗
2	重要焊接结构： 在 60~80℃ 热水中 → 用硬毛刷仔细刷洗焊缝正背两面 → 体积分数为 2%~3% 的稀铬酸水溶液 → 浸洗 5~10min → 热水冲洗 → 干燥 60~80℃
3	60~80℃ 热水刷洗 → 硝酸体积分数 50%、重铬酸体积分数 2% 的混合液 → 清洗 5min 热水冲洗 → 干燥
4	体积分数为 20% 的硝酸溶液浸洗 10~20min 15~20℃ 体积分数为 10% 的硝酸溶液浸洗 5~15min 60~65℃ 冷水冲洗 → 干燥

#### (四) 铝及铝合金的焊接工艺

铝及铝合金焊条电弧焊操作较困难,对焊工的熟练程度要求较高,主要用在纯铝、铝锰、铸铝及部分铝镁合金结构的焊接和补焊。焊条选用原则主要根据焊件工作条件和对力学性能的要求而定。纯铝焊条主要用来焊接对接头性能要求不高的铝合金,铝硅焊条的焊缝有较高的抗热裂性能,铝锰焊条有较好的耐蚀性。根据以上原则,铝及铝合金焊条电弧焊的焊条选用见表 1-100。

由于铝及铝合金焊条极易受潮,不便保管,各个使用单位可以焊前自制铝及铝合金焊条,其药皮配方见表 1-101,焊芯成分应与母材金属相同,一般都采用标准牌号焊丝,常用的标准牌号焊丝见表 1-102。焊条药皮配方中第 2、3 号配方制成的铝焊条飞溅小、引弧性能良好,熔渣覆盖性能好,焊缝表面无压坑,波纹细,焊缝表面间呈平滑过渡。

表 1-100 铝及铝合金焊条电弧焊用焊条

牌号	型号	焊芯成分/%			焊接接头 抗拉强度 /MPa	用途
		wAl	wSi	wMn		
L109	TA1	约 99.5	≤0.5	≤0.05	≥64	焊接纯铝及接头强度要求不高的铝合金
L209	TA1Si	余量	4.5~6	≤0.05	≥118	焊接纯铝及铝合金,不适用铝镁合金的焊接
L309	TA1Mn	余量	≤0.5	1~1.5	≥118	焊接纯铝及铝合金

焊条涂层厚度为 1~1.5mm,手工涂 2~3 次即可达到上述厚度。涂好的焊条在 50~60℃ 烘焙 12h,然后再在 100~150℃ 温度下烘焙 3~4h,烘干的焊条用塑料袋封存。

焊条药皮各成分配料时,各种成分需经孔径为 0.28mm(60 目)的筛网分别过筛,再按比例混合,放入球磨机中碾磨 8h。然后按每千克干混合料加入 250~300L 水或食盐饱和溶液调成糊状。

涂料涂敷前,焊芯应进行清洗。清洗过程为:焊芯浸入 NaOH 体积分数为 30% 的溶液中清洗 5~10min,再用热水冲洗,然后在 HNO<sub>3</sub> 体积分数为 10% 的溶液中光化处理,并用冷水漂洗干净即可。

表 1-101 自制铝及铝合金焊条的药皮配方

配方号	药皮成分(质量分数)/%								备注
	氯化钠	氯化钾	冰晶粉	氯化锂	碳酸钾	氟化钠	硼砂	其它	
1	6.5	63.5	—	30	—	—	—	—	—
2	18.2	32.5	35	9.1	—	5.2	—	—	—
3	18	39	24	9	3	5	—	—	—
4	30	30	20	—	—	—	—	—	无锂涂料

(续)

配方号	药皮成分(质量分数)/%								
	氯化钠	氯化钾	冰晶粉	氯化锂	碳酸钾	氟化钠	硼砂	其它	备注
5	27.2	—	45.5	18.2	—	—	—	硫酸钠 9.1	—
6	40	40	—	—	—	—	12	氟化钾 8	无钾 涂料

表 1-102 自制铝及铝合金焊条常用标准牌号焊丝

焊丝名称	型号	化学成分(质量分数)/%				
		Mg	Cu	Mn	Fe	Si
二号纯铝焊丝	SAI-2	0.03	0.40	0.03	0.25	0.2
三号纯铝焊丝	SAI-3	—	—	—	0.30	0.3
铝镁焊丝	SAIMg-5	4.7~5.7	—	0.2~0.6	0.4	0.4
铝锰焊丝	SAIMn	—	—	1.0~1.6	0.7	0.6
铝硅焊丝	SAISi-1	0.05	0.3	0.05	0.8	4.5~6.0

焊丝名称	型号	化学成分(质量分数)/%				相当 牌号
		Zn	Ti	Al	杂质总和 不大于	
二号纯铝焊丝	SAI-2	0.04	0.03	≥99.7	0.15	—
三号纯铝焊丝	SAI-3	—	—	≥99.5		HS301
铝镁焊丝	SAIMg-5	—	0.05~0.20	余量		HS331
铝锰焊丝	SAIMn	—	—	余量		HS321
铝硅焊丝	SAISi-1	0.10	0.20	余量		HS311

### 九、耐磨合金的堆焊

堆焊技术实质上是焊接技术的特殊应用,是制造、修复耐磨零件和工、模具的重要工艺手段之一。由于各种机械设备中的零部件以及工、



模具的工作条件各不相同,其表面磨损、破坏的机理也各有所异,所以,堆焊合金的使用性主要包括合金的耐磨性、耐冲击性、耐腐蚀性、耐气蚀性和满足在高温下的使用性能等。在进行修复堆焊时,必须弄清楚被修复零件的原始条件,据此确定合适的堆焊材料、堆焊方法和堆焊工艺。堆焊修复方案的合理标志大致有两点:其一,修复成本为新件成本的(1/3~1/2);其二,修复后工件寿命等于或大于新件寿命。常见堆焊金属表面磨损的类型见表 1-103。

表 1-103 堆焊金属表面常见的磨损类型

磨损类型	造成磨损的原因
磨粒磨损	金属零部件受到土、砂、岩石碎粒、金属碎屑冲刷、刮擦造成的磨损
冲击磨损	金属零件与坚硬物体撞击后,使金属表面碎裂或变形造成的磨损
腐蚀磨损	在腐蚀性酸、碱、盐的溶液或雾汽中,或在高温条件下结合机械摩擦作用使金属表面腐蚀、氧化而造成的磨损
金属间磨损	金属与金属表面因摩擦粘合剥离而造成的磨损。如轴、衬套、阀座及各种锻模具、刀具的磨损等
浸蚀或气蚀磨损	快速流动的液体、蒸汽对金属撞击发生疲劳损坏而造成的磨损。如水轮机叶片、泵的磨损等

#### (一) 耐磨合金堆焊的特点

各种类型的耐磨合金焊条电弧堆焊时,为确保堆焊质量,必须共同遵守以下两个要点:

(1)减少熔深 从提高合金化效率来说,堆焊层内母材金属所占的比例要小,这样母材金属的冲淡作用就小,有利于保障堆焊质量。

(2)防止堆焊层产生裂纹或剥落 大多数堆焊金属含碳及合金较高,焊缝组织中存有一定量碳化物甚至莱氏体碳化物。在堆焊后冷却过程中很容易产生裂纹或在应力作用下发生堆焊层剥落。各类耐磨合金堆焊的焊接性见表 1-104。

表 1 104 各类耐磨合金堆焊的焊接性

堆焊类别	堆 焊 焊 接 性
碳化钨的堆焊	碳化钨熔点高达 3000℃, 在电弧的高温作用下部分熔化, 并熔入母材金属中, 使表层堆焊层的母材组织多是马氏体钢或马氏体合金铸铁, 产生裂纹倾向大
合金铸铁的堆焊	<p>母材组织有马氏体、奥氏体两类</p> <p>马氏体合金铸铁裂纹倾向很大, 堆焊前需要预热, 堆焊后需要缓冷, 焊后不能进行热处理, 不能进行机加工, 磨削加工也较困难, 仅适用焊后不需要加工零件的堆焊</p> <p>奥氏体合金铸铁硬度比马氏体合金铸铁低, 焊后容易产生冷裂纹, 焊前需预热, 焊后需在预热的温度下随炉缓冷, 仅适用焊后不需加工零件的堆焊</p>
受气蚀和泥沙磨损合金的堆焊	大多数采用低碳铬锰奥氏体、钢焊条堆焊, 堆焊层为奥氏体加铁素体的双相组织, 堆焊前不需预热, 堆焊层抗裂性好, 原始硬度不高, 受到冲击后能迅速强化, 抗气蚀性能也很好
耐冲击磨损合金的堆焊	<p>高锰钢表面受到冲击压力后引起表层塑性变形, 使原先高韧性的奥氏体组织转变成高硬度的马氏体和析出碳化物, 变得内层韧性好耐冲击、表面硬而耐磨</p> <p>焊件不能预热, 堆焊时焊层温度不能高, 要短道焊、分散焊。要控制层间温度, 必要时用冷却水浇在焊件上或将焊件部分浸入水中强制冷却</p> <p>堆焊时尽量减小热输入, 采用小电流、大焊速, 使堆焊层有足够快的冷却速度</p> <p>每层堆焊后立即锤击, 堆焊后焊件进行水韧处理</p>

(续)

堆焊类别	堆 焊 焊 接 性
耐高温 腐蚀和 磨损合 金的堆焊	<p>工作温度低于 450℃ 的铬不锈钢堆焊金属能耐蒸汽、弱酸的腐蚀,抗裂性好,可不预热堆焊。工作温度在 450~580℃ 的奥氏体不锈钢堆焊金属用于中、高压阀门密封面的堆焊。由于堆焊层是奥氏体加一定数量的铁素体双相组织,抗裂性较好,一般可不预热。工作温度为 500~650℃ 的高铬合金铸铁堆焊金属,由于含碳量高,碳化物和其它化合物使堆焊层具有较高的硬度 <math>HRC \geq 40 \sim 48</math>,需要充分预热才能避免裂纹。多层短段往返堆焊 ZG-200-400 料钟材料时,后道焊缝必须在前道焊缝金属尚处在亮红色时就堆敷上去,否则易出现裂纹</p>
常温下 金属与 金属间 摩擦磨 损的堆焊	<p>主要用于修理磨损后的零件,一般只要求恢复尺寸,并不要求得到更高的硬度和耐磨性。这类堆焊金属合金元素总质量分数不超过 5%。低碳低合金钢堆焊金属抗裂性较好,可进行切削加工。中碳低合金钢堆焊金属组织主要是马氏体,还有少量珠光体或残余奥氏体。堆焊层硬度为 350~550HBS,含碳量和合金量偏高时可达 50HRC,退火后可以机械加工,堆焊金属裂纹倾向较大</p>
冷变形 模具磨 损的堆焊	<p>在冷变形模具的堆焊金属中,一类是高碳铬 12 型,堆焊金属耐磨性很好,但抗裂性较差,焊前需预热 550℃,焊后需立即放入 700℃ 炉中随炉冷却;另一类是低铬型,堆焊前预热温度为 300~400℃</p>
热加工 模具的 堆焊	<p>热锻模、热轧辊和热剪切刀具堆焊金属易淬硬而产生裂纹,焊前应预热,焊接时控制并保持一定层间温度,焊后应缓冷。每道堆焊层的层间停顿时间约 25~35s。多层堆焊时,后道焊缝应在前道焊缝的弧坑处引弧,并将弧坑堆满。要在引弧板上引弧和在堆高层上收弧。堆焊结束后,立即将焊件送入 200℃ 的炉(或烘箱)中保温 2h,再随炉冷却</p>

(续)

堆焊类别	堆 焊 焊 接 性
高速钢 刀具的 堆焊	高速钢刀具材料堆焊时,预热、冷却速度要适当,堆焊层内的莱氏体共晶和网状碳化物就会减少,高速钢刀具的使用寿命就会提高。堆焊后的高速钢刀具应立即入炉退火或在热的石棉灰中缓冷。堆焊后的高速钢需经热处理后才能使用。

## (二) 耐磨合金焊前预热,焊条选用及焊后热处理

各类耐磨合金的焊前预热、焊条选用及焊后热处理见表 1-105。

表 1-105 各类耐磨合金的焊前预热、焊条选用及焊后热处理

堆焊合金类别	焊条型号 (牌号)	焊前预热 及层温 /℃	焊后热 处理	堆焊层 硬度 (HRC)	堆焊层 组织
碳化钨的 堆焊	EDW-A-15(D707) EDW-B-15(D717)	300~500	焊后立即 在 700℃退 火,然后缓 冷	60	马氏 体或马 氏体合 金铸铁
合 金 铸 铁 的 堆 焊	马氏体合金铸铁 EDZ A1-08(D608)	400~600	不进行热 处理,焊后 缓冷	55	马氏体
	EDZ B1-08(D678)			50	
	EDZ-B2-08(D698)			60	
	奥氏体合金铸铁 高铬( $w_{Cr}$ 达 30%) EDZCr-C-15(D667)	600~800	焊后立即 送入 600~ 800℃炉子 中保温 2h 后随炉冷却	48	—
	EDZCr-D-15(D687)			58	
	中铬( $w_{Cr}$ 达 10%) 斯大利尼特 ( $w_{Cr}$ 3.5%; $w_{Mn}$ 7%; $w_{Ni}$ 7%)				

(续)

堆焊合金类别	焊条型号 (牌号)	焊前预热 及层温 /℃	焊后热 处理	堆焊层 硬度 (HRC)	堆焊层 组织
受气 蚀和 尼沙 磨损 零件 的堆 焊	(D217) (D272) EDCrMn-B-16(D276) EDCrMn-B-15(D277) EDZCr-B-03(D642)	视具体情 况进行焊 前预热		$\geq 50$ $\geq 20$ $\geq 20$ $\geq 20$ $\geq 50$	马氏体 奥氏体 奥氏体 奥氏体 高铬铸 铁
耐冲 击磨 损合 金的 堆焊	EDMn-A- 16(D256) EDMn-B- 16(D266)	不预热, 层温不能 高,必要时 用水浇急冷	—	$\geq 180$ HBS $\geq 180$ HBS	—
耐高 温腐 蚀和 磨损 合金 的堆 焊	铬不锈钢使用温度 $\leq$ 450℃ EDCr-A1-03(D502) EDCr-A1-15(D507) EDCr-B-03(D512) EDCr-B-15(D517)	小件不预 热 大件预 热: 200 ~ 300	750 ~ 800℃退火 软化,可进 行机加工, 再经 950 ~ 1000℃空淬 或油淬可重 新硬化	$\geq 40$ $\geq 40$ $\geq 45$ $\geq 45$	马氏体 + 铁素体
	铬镍奥氏体不锈钢使 用温度 450~580℃ E316-16(A202)	300~400 小件焊前可 不预热	焊后缓冷		奥氏体 + 铁素体
	E316-15 (A207) (D532) (D537) EDCr-Ni-A-15 (D547)	大件预热 500~600		270~ 320HBS	

(续)

堆焊合金类别	焊条型号 (牌号)	焊前预热 及层温 /°C	焊后热 处理	堆焊层 硬度 (HRC)	堆焊层 组织
耐高 温腐 蚀和 磨损 合金 的堆 焊	高铬合金铸铁使用温 度 500~580°C EDCrMn-D-15(D567) EDZCr B 03(D642) EDZCr C 15(D667)	大件预热 500~600	焊后立即 进行 600~ 700°C 回火 1h, 然后缓 冷	40~18	奥氏体 + 碳化物
	使用温度 ≤ 600°C 的 铁基硬质合金 EDCrNi C-15(D557)	300~450	焊后缓冷	≥37	
常温 金属 间磨 损合 金的 堆焊	使用温度 ≤ 650°C 的 钴基硬质合金 (D807) EDCoCr-A-03 (D802) (D817) EDCoCr-B-03(D812)	300~600	焊后立即 600~700°C 回火 1h, 然 后缓冷	≥40  ≥44	奥氏体 + 碳化物
	EDPMn2-15(D107)	200	—	≥22	—
	EDPcrMo A1-03 (D112)	200		≥22	
	EDPMn3-15(D127)	300		≥30	
	EDPcrMo A2-03 (D132)	300		≥30	
	FDPcrMo A3-03 (D172)	300		≥40	
	EDPMn6-15(D167)	250~350		≥40	

(续)

堆焊合金类别	焊条型号 (牌号)	焊前预热 及层温 , C	焊后热 处理	堆焊层 硬度 (HRC)	堆焊层 组织
冷变形模具的堆焊	EDRCrMoWV-A3-15 (D317) EDRCrMoWV A1 C3 (D322) (D357) (D377) (D387)	高碳铬 12% 550 低铬型 300~400	焊后立即 700 C随炉 冷却	≥55	
热加工模具的堆焊	EDRCrW-15 (D337) (D342) (D346) EDRCrMnMo 15 (D397) EDCoCr B-03 (D812) (D817)	300~400  250以上  300~600	缓冷 300 C回火 500 C回 火,炉冷 600 ~ 700 C回火, 1h后再缓 冷	≥48  ≥40  ≥44	-
高速钢刀具的堆焊	EDD-D-15(D307)	350~450	焊后 500 C经 2~3h,升温 至 920 ~ 930 C保温 3~4h,经 2h后降至 720~740 C, 保温 2~4h, 再经 3~5h 降温至 500 C出炉 空冷 淬火后必 须经三次 560 C回火, 保温 1h	退火 后: 26~29 淬火、 回火后: 52~65	

## (一)常用堆焊合金和堆焊焊条的主要用途

不同性质的磨损对堆焊金属的性能有不同的要求。一种堆焊金属对某种性质的磨损有较高的耐磨性,但对其它性质的磨损就未必能够适应,选用堆焊焊条、堆焊金属,使之达到既节省合金材料,又具有较好的使用性能和较长的使用寿命,是非常必要的。常用的堆焊合金和堆焊焊条的用途见表 1-106。

表 1-106 常用堆焊合金和堆焊焊条的用途

堆焊金属类型	堆焊金属牌号	焊条型号(牌号)	预热温度	堆焊层硬度(HRC)	堆焊层工件	主要用途
低碳低合金钢	1 锰 3 硅	EDPMn2-15(D107)	大件堆焊 预热 200℃ 以上	≥22	常温 下金属 间磨损	低、中碳和低合金钢的轴类、车轮、齿轮、搅拌机叶片及农机的零件的堆焊等
	2 铬 1.5 铜	EDPCrMo-A1-03(D112)		≥22		
	3 锰 4 硅	EDPMn3-15(D127)		≥30		
中碳低合金钢	4Cr2Mo	EDPCrMo A2 03(D132)	大件 预热 300℃	≥30	常温 金属 间磨损	低碳钢、中碳低合金钢的齿轮、挖泥斗、拖拉机及轴、车轮、冲模、冷剪等的堆焊
	4Mn4Si	EDPCrMo-A3-03(D172)		≥40		
		EDPMn6-15(D167)		≥40		



(续)

堆焊金属类型	堆焊金属牌号	焊条型号 (牌号)	预热温度	堆焊层硬度 (HRC)	堆焊层工作条件	主要用途
高碳低合金钢	7Cr3Mn2Si	EDPCrMnSi 15(D207)	—	≈60	常温金属间磨损	挖泥斗、螺旋送料器等常温高硬度堆焊
铈上具钢	5Cr5W9Mo2V 7Cr4 10Cr12 10Cr1C	EDRCrMoWV-Al-03(D322) EDRCrMoWV Al-15(D327) (D357) (D377) (D387)	300 C 以上	≥55		各种冷变形模具、冲模、冷模、刀具及耐磨性高的零件
铬锰钨铈钢	3Cr2W8	EDRCrW-15(D337)	300~460 C	≥48	热态金属间磨损	堆焊各种热锻模、压铸模、热轧辊、热切刀等堆焊
	5CrMnMo 4Cr4W2Mo	EDRCrMnMo-15(D397) (D342) (D346)	—	≥40		
高速钢	W18Cr4V	EDD-D 15(D307)	小件: 300 C 大件: 600 C	60~65 (三次回火)	热态金属间磨损	堆焊高速钢刀具

(续)

堆焊金属类型	堆焊合金牌号	焊条型号 (牌号)	预热温度	堆焊层硬度 (HRC)	堆焊层工作条件	主要用途
碳化钨合金	W45MnSi4 W60	EDW-A-15(D707) EDW-B-15(D717)	300~ 500℃	≥60	磨粒磨损	石油及探矿和钻头和各种岩石、矿石加工零件等的堆焊
高锰钢	Mn13	EDMn-A-16(D256) EDMn-B-16(D266)	不进行	≥180 HBS	冲击磨损	各种破碎机、高锰钢道岔、推土机斗及推土机等零件的堆焊
铬锰钢	2Mn12Cr13	EDCrMn-B-16(D276) EDCrMn-B-15(D277)	-	≥20	磨粒磨损及气蚀	堆土机刀片、搅拌机叶片、抓水斗、水轮机叶片、水轮等

(续)

堆焊金属类型	堆焊金属牌号	焊条型号 (牌号)	预热温度	堆焊层硬度 (HRC)	堆焊层工作条件	主要用途
铬不锈钢	1Cr13	EDCr A1 03(D502) EDCr-B-15(D517)	≥300 C	≥40	高温 腐蚀和 金属间 磨损、 气蚀 磨损使 用温度 ≤450 C	堆焊 中压 阀门、 各种 碳钢、 合金 钢、 搅拌 机、 螺旋 输送机 叶片、 水轮 机叶片 等
	2Cr13	EDCr B-03(D512) EDCr-B 15(D517)		≥40 ≥45 ≥45		
合金铸铁	3Cr4Mo4	EDZ A1 08(D608)	400~ 500 C	≥55	磨粒 磨损耐 500~ 600 C 高温	农业 机械、 矿山机 械、高 炉料钟 、柴油 机汽门 盖、中 压阀门 破碎机 、煤 炭挖掘 机、牙 轮钻等 的堆焊
	3Cr30Ni4S:4Mn	EDZCr C-15(D667)	400~ 600 C	49~ 54		
	3Cr30Co5B	EDZCr-D 15(D687)	500~ 700 C	58~ 64		

(续)

堆焊金属类型	堆焊金属牌号	焊条型号(牌号)	预热温度	焊层硬度(HRC)	堆焊层工作条件	主要用途
奥氏体不锈钢	Cr18Ni12Mo2 1Cr18Ni8Mo3V 1Cr18Ni8Si5 1Cr18Ni12Si4Mo4 1Cr18Ni8Si7	E316-16(A202) E316-15(A207) (D532) (D537) EDCrNi-A-15(D547) (D547Mo) EDCrNi-C-15(D557)	不进行	用于 ≤540 ( 用于 ≤580 ( 用于 ≤570 ( 用于 ≤600 (	高温 腐蚀和 金属间 磨损、 气蚀 磨损	堆焊 中压 阀门 及水 轮机 叶片 堆焊 高压 阀门
钴基硬质合金	钴基 Cr30W5 钴基 Cr30W3 钴基 Cr30W8Ni8 钴基 Cr30W17	EDCoCr-A-03(D802) EDCoCr-B-03(D812) (D817) EDCoCr-C-03(D822)	150~ 350 C 200~ 400 C 300~ 500 C	700 C 245HV 700 C 305HV 700 C 395HV	高温 腐蚀和 金属间 磨损	高压 阀门、 排气 阀、各 种热 模具、 热切 刀具等 的堆 焊

### 十、铸铁的焊接

铸铁是含碳质量分数  $w_c > 2\%$  的铁碳合金,按碳在铸铁中存在的形态不同,可分为白口铸铁、灰铸铁、可锻铸铁和球墨铸铁等。常用铸

铁的种类、用途及碳的存在形式见表 1-107。

表 1-107 常用铸铁的种类、用途及碳的存在形式

	白口铸铁	灰铸铁	可锻铸铁	球墨铸铁
碳的存在形式	以渗碳体 (Fe <sub>3</sub> C) 形式存在	以片状石墨形式存在	以团絮状石墨形式存在	以球状石墨形式存在
主要用途	性质硬而脆, 切削加工困难, 很少用于铸件, 可制成可锻铸铁	有良好的铸造性能、切削加工性能及一定的力学性能。应用较广泛	由白口铸铁长期退火而成。适宜铸成形状复杂受冲击的薄型零件	可用来代替铸钢, 被广泛用来制造耐磨损受冲击的重要零件

(-) 铸铁的牌号及力学性能

常用铸铁的牌号及力学性能见表 1-108、表 1-109 和表 1-110。

表 1-108 灰铸铁的牌号及力学性能

牌 号	铸件壁厚/mm		最小抗拉强度 $\sigma_b$ /MPa ( $\geq$ )	硬 度 (HBS)
	>	$\leq$		
HT100	2.5	10	150	140~230
	10	20	100	
	20	30	90	
	30	50	80	
HT150	2.5	10	175	170~240
	10	20	145	
	20	30	130	160~230
	30	50	120	

(续)

牌 号	铸件壁厚/mm		最小抗拉强度 $\sigma_b$ /MPa ( $\geq$ )	硬 度 (HBS)
	$>$	$\leq$		
HT200	2.5	10	220	190~250
	10	20	195	
	20	30	170	
	30	50	160	
HT250	4.0	10	270	190~250
	10	20	240	
	20	30	220	
	30	50	200	
HT300	10	20	290	190~250
	20	30	250	
	30	50	230	170~240
HT350	10	20	240	197~269
	20	30	290	
	30	50	260	187~255

表 1-109 可锻铸铁的牌号及力学性能

类别	牌 号		试样直 径 $d$ / mm	抗拉强 度 $\sigma_b$ /MPa ( $\geq$ )	伸 长 率 $\delta$ /%	硬 度 (HBS)
	A	B				
黑心可 锻铸铁 (铁素 体可锻 铸铁)	KTH300-06	—	12 或 15	300	6	$\leq 150$
	—	KTH330-08		330	8	
	KTH350-10	—		350	10	
	—	KTH370-12		370	12	

(续)

类别	牌 号		试样直 径 $d$ mm	抗拉强 度 $\sigma_t$ /MPa ( $\geq$ )	伸长 率 $\delta$ %	硬度 (HBS)
	A	B				
珠光体 可锻铸 铁	KTZ450-06		12 或 15	450	6	150~200
	KTZ550-04			550	4	180~230
	KTZ650-02			650	2	210~260
	KTZ700-02			700	2	210~290
白心 可锻铸 铁	KTB350-04		9	340	5	230
			12	350	4	
			15	360	3	
	KTB380-12		9	320	15	200
			12	380	12	
			15	400	8	
	KTB400-05		9	360	8	220
			12	400	5	
			15	420	4	
	KTB450-07		9	400	10	220
			12	450	7	
			15	480	4	

表 1-110 球墨铸铁的牌号及力学性能

牌 号	$\sigma_s$ /MPa	$\delta$ /%	硬 度 (HBS)
	最小值		
QT400-18	400	18	130~180
QT450-10	450	10	160~210
QT500-7	500	7	170~230

(续)

牌 号	$\sigma_b/\text{MPa}$	$\delta, \%$	硬 度 (HBS)
	最小值		
QT600-3	600	3	190~270
QT700-2	700	2	225~305
QT800-2	800	2	245~335
QT900-2	900	2	280~360

## (二) 铸铁焊条电弧焊的工艺要点

铸铁的焊补主要有四种焊接方法,这四种焊接方法的工艺要点见表 1-111。

表 1-111 铸铁焊条电弧焊的工艺要点

焊接方法	工 艺 要 点
冷 焊	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 较小的焊接电流,较高的焊接速度,焊条不做横向摆动,直流正接,短弧焊</li> <li>2. 每次只焊 10~15mm 长的焊缝,层间温度<math>&lt;60^{\circ}\text{C}</math></li> <li>3. 焊后及时锤击焊缝</li> <li>4. 形状较复杂的薄型铸件,焊前最好将待焊处局部预热到 150~200<math>^{\circ}\text{C}</math></li> </ol>
焊	<ol style="list-style-type: none"> <li>5. 铸件冷焊后,需进行后热处理,后热处理温度薄形铸件为 100~150<math>^{\circ}\text{C}</math>,厚壁铸件为 200~300<math>^{\circ}\text{C}</math>。后热加温后,需用干燥石棉布覆盖铸件缓冷</li> <li>6. 焊前在裂纹两端钻止裂孔</li> </ol>
铸铁芯 焊条不 预热电 弧焊	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 小而浅的缺陷要开坡口予以扩大,面积须大于 8<math>\text{cm}^2</math>,深度要大于 7mm,坡口角度为 20<math>^{\circ}</math>~30<math>^{\circ}</math>,铲挖出的待补焊的型槽形状应当圆滑。为防止焊接时液态金属流散,在坡口周围边缘应用黄泥条或耐火泥围筑(高 6~8mm)</li> <li>2. 用较大的焊接电流,长电弧连续焊接,熔池温度过高时可稍停一下再焊(薄壁可用小电流)</li> </ol>



(续)

焊接方法	工 艺 要 点
铸铁芯焊条不预热电弧焊	3. 为达到焊后熔合区缓冷的目的,补焊处缺陷焊缝与母材齐平后,还应继续焊接,使余高加大,达到 $t \sim 8\text{mm}$ 高的内台为止 4. 焊前在裂纹两端钻止裂孔 5. 每焊完一小段后,立即进行锤击处理 6. 焊前应仔细清除待焊处油、污、锈、垢
半热焊	1. 焊前铸件待焊处应预热至 $400\text{C}$ 左右 2. 为使焊缝缓慢冷却,应选用大电流、连续焊,电弧应适当拉长并且一次焊成 3. 焊后,加热被焊部位( $600 \sim 700\text{C}$ ),使之缓冷 4. 焊补裂纹时,注意在裂纹两端钻止裂孔,焊前仔细清理待焊处油、污、锈、垢
热焊	1. 将焊件局部或整体预热至 $550 \sim 650\text{C}$ ,并保持焊件待焊处温度在焊接过程中不低于 $400\text{C}$ 2. 焊后再进行 $600 \sim 650\text{C}$ 的消除应力退火 3. 用较大的焊接电流连续施焊(每毫米焊芯直径按 $50 \sim 60\text{A}$ 选用焊接电流)在焊边角处或穿透缺陷底部时,焊接电流要小些 4. 焊补裂纹时,应先在裂纹两端钻止裂孔

### (三) 铸铁冷焊用非铸铁焊条

铸铁冷焊时,为了降低热应力,减少焊接裂纹,要选择塑性好的焊条及采用短焊道操作手法。焊条选择的原则,主要是保证在焊接过程中防止裂纹产生,使焊缝达到技术规程要求的力学性能,在保障焊缝质量的前提下价格低廉等。常用的冷焊非铸铁焊条见表 1-112。这些非铸铁焊条焊缝强度和颜色都与母材不同,除镍基焊条外,其余焊条的铸铁焊缝,焊后加工性都较差。

表 1-112 铸铁冷焊用非铸铁焊条

焊条牌号 (型号)	焊芯 组成	药皮 类型	焊缝 金属	电源 种类	焊缝 硬度 (HBS)	熔合区白 口宽/mm		用 途
						单层	二层	
Z100 (EZFe)	碳素 钢	氧化 型	碳素 钢	AC/DC	400	0.8		普通灰铸 铁, 抗裂及 加工性都较 差
Z116 (EZV)	高钒钢 或碳素 钢(高钒 药皮)	低氢 型	高钒 钢	DC 反 接或 AC	200~ 250	0.3	0.5~ 0.2	强度较高 的灰铸铁、 球墨铸铁、 可锻铸铁的 焊接
Z117 (EZV)							0.15 ~0.2	
Z308 (EZNi 1)	纯镍	石 墨 型	镍	DC (正接) /AC	--	--	--	机床导轨 面和气缸加 工面等重要 灰铸铁的焊 接, 焊后可 加工
Z408 (EZNiFe- 1)	镍 铁 合 金	石 墨 型	镍 铁 合 金	DC (正接) /AC	200~ 230	0.2	--	用于球墨 铸铁和重要 灰铸铁的焊 接。焊后可 以加工, 但 焊缝较用 Z308、Z508 焊接的焊缝 硬

(续)

焊条牌号 (型号)	焊芯 组成	药皮 类型	焊缝 金属	电源 种类	焊缝 硬度 (HBS)	熔合区白 口宽/mm		用 途
						单层	一层	
Z508 (EZNiCu- 1)	镍铜 合金	石墨 型	镍铜 合金	DC (正接) /AC	130~ 150	0~ 0.2	—	用于灰铸 铁的焊接, 焊后可以加 工,但抗裂 性较差
Z607	铜芯铁 皮或铜 包铁芯	低氢 型	铜铁混 合物	DC 反接	—	0.8	—	常用于灰 铸铁件气 缸、非加工 表面的补 焊,抗裂性 好,加工性 差,强度较 低
Z612		钛钙 型		DC (正接) /AC	—	—	—	—

#### (四) 铸铁热焊预热温度对铸件的影响

铸铁热焊时,预热温度的高低,对铸铁焊件变形、内应力及强度和硬度都有影响,详见表 1-113。

#### (五) 球墨铸铁焊条电弧焊的工艺要点及接头的力学性能

球墨铸铁常用镁作球化剂,淬硬倾向远比灰铸铁大,焊接时易形成白口,焊接性较差。球墨铸铁焊接用焊条主要有 Z116、Z117、Z238 及含镁铸铁焊条等,焊接工艺要点及接头的力学性能见表 1-114。

表 1-113 热焊时预热温度对铸件的影响

预热温度/℃	铸件状态	铸件强度和硬度	铸件内部内应力
<100	塑性变形 状态	没有影响	内应力随着预热温度的升高而增加
100~500		影响不大	
600~650		稍有下降	
>800		显著下降	

表 1-114 球墨铸铁的焊接工艺要点及接头的力学性能

焊条型号 (牌号)	工艺要点	接头力学性能			
		$\sigma_b$ / MPa	$\delta$ /%	$a_k$ / (J/ cm <sup>2</sup> )	HBS
EZV (Z116、Z117)	当环境温度较低或补焊厚大件时,焊前预热温度为100~200℃,采用小焊接电流、多层焊,直流反接电源	—	—	—	—
EZCQ (Z238、Z238SnCu)	交直流电源均可,焊前预热到500℃,焊后用石棉布保温缓冷,并经正火处理:900~920℃,保温2.5h,随炉冷到730~750℃,保温2h,出炉冷却。焊补工艺同灰铸铁	400	≥3	5	149~ 229
	交直流电源均可。焊前预热500℃,焊后用石棉布保温缓冷并经退火处理:加热至900~920℃,保温2.5h,随炉冷却到100℃以下出炉。焊补工艺同灰铸铁	400	3	5	147~ 207

(续)

焊条型号 (牌号)	工 艺 要 点	接头力学性能			
		$\sigma_b$ MPa	$\delta$ /%	$a_k$ (J' cm <sup>2</sup> )	HBS
含钒球墨铸铁焊条	焊前预热至 600~700℃, 焊接过程中, 层温应大于 350℃ 而小于 700℃, 焊后缓冷, 并经正火处理; 加热到 900~920℃, 保温 2.5h, 随炉冷到 730~750℃, 保温 2h, 出炉冷却。其它工艺操作措施同灰铸铁	787~ 827	≥1	25~ 30	218~ 227

## (六) 铸铁焊条的选用原则

铸铁焊接时, 焊条选择正确与否, 对保障焊缝质量有很重大的影响, 具体选用原则见表 1-115。

表 1-115 铸铁焊条的选用原则

	铸铁材料分类及焊后要求	焊条型号(牌号)
按铸铁材料类别选用	一般灰铸铁	EZFe(Z100)、EZV(Z116) EZV(Z117)、EZC(Z208) EZNi-1(Z308)、EZNiFe-1(Z408) EZNiCu 1(Z508)、(Z607、Z612)
	高强铸铁 焊后进行锤击	EZV(Z116)、EZV(Z117)、EZNiFe-1(Z408)
	球墨铸铁 焊前要预热 500~700℃, 焊后有正火或退火处理要求	EZCQ(Z238)、(Z238SnCu)

(续)

	铸铁材料分类及焊后要求	焊条型号(牌号)
按焊后焊缝切削加工性能要求选用	焊后不能进行切削加工	EZFe(Z100)、(Z607)
	焊前预热,焊后有可能进行切削加工	EZC(Z208)
	焊前预热,焊后经热处理后可以切削加工	EZCQ(Z238)、(Z238SaCu)
	冷焊后可以切削加工	EZV(Z116)、EZNi-1(Z308) EZNiFe 1 (Z408)、EZNiCu-1 (Z508)、(Z612)

## (七)设备修理中铸铁件的焊补方法及应用范围

机械设备中有些零部件是铸铁材料,当出现缺陷需要进行焊补时,其补焊方法及应用范围见表 1-116。

表 1-116 铸铁件补焊方法及应用范围

补焊铸铁件类别	材质	补 焊 要 求	基本补焊方法	也可以采用的方法
机床导轨面研伤	灰铸铁	1. 硬度较均匀,可以切削加工 2. 基本上无变形	采用冷焊法,焊条为EZNiCu-1(Z508)、EZNi-1(Z308)。或预热温度小于 200℃的热焊	—

(续)

补焊铸铁件类别	材质	补焊要求	基本补焊方法	也可以采用的方法
100t 冲床床身裂纹	灰铸铁	1. 保证补焊处强度 2. 消除焊接内应力	焊前用气焊炬局部预热 100~150 C、用 EZNiFe-1 (Z408) 和 ENi-1 (Z308) 焊条交替焊接 每焊好一个焊段, 立即进行锤击处理 焊后进行 100~150 C 的后热处理, 然后覆盖石棉布缓冷	为增加焊补区域强度, 焊缝两侧用 20mm 厚板用螺钉与床身相连接, 板的四周用 EZNiFe-1 (Z408) 焊条与冲床身焊接
压缩机缸或其它受压力较大的壳体、缸体或容器	灰铸铁、球墨铸铁或合金铸铁	1. 要求承受较大压力的水压试验 2. 可能有切削加工要求	用 EZNi-1 (Z308) 焊条或 EZNiFe-1 (Z408) 焊条冷焊 EZV (Z116、Z117) 焊条冷焊	奥氏体、铜铁焊条冷焊
受压不大的缸体或容器	灰铸铁	要求承受较小压力的水压试验或煤油渗漏试验	用铜铁铸铁焊条或奥氏体铜铁焊条冷焊 要求切削加工的补焊处用镍基铸铁焊条补焊	-
大型正午卡盘裂纹	灰铸铁	焊后局部需切削加工	用 EZNiFe-1 (Z408) 焊条进行冷焊	在受力大的焊缝加补强板

(续)

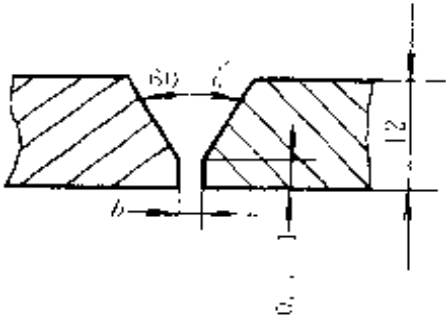
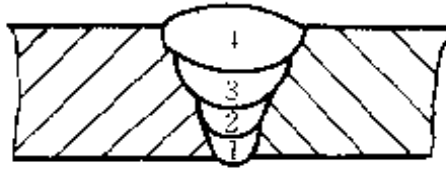
补焊铸铁件类别	材质	补焊要求	基本补焊方法	也可以采用的方法
1250 轧辊辊 磨磨损	球墨 铸铁	焊后切削加工	用球墨铸铁焊芯焊 条或用 EZCQ 型焊 条	也可用 EZNiFe-1(Z408) 和 EZV(Z116、 Z117)焊条冷焊
镗床 立面导 轨研伤	灰铸 铁	变形小并能切 削加工	用 EZNi-1(Z308) 焊条冷焊	—
龙门 刨导轨 研伤	灰铸 铁	变形小并能切 削加工	用 EZNiCu-1(Z508) 焊条冷焊	
汽车 缸体和 缸盖裂 纹、穿孔 及外形 磨损	灰铸 铁	焊后不加工	铜铁焊条冷焊	EZNi-1(Z308) 和 EZV(Z116、 Z117)焊条冷焊
		焊后焊缝要求 切削加工	EZNi-1(Z308)或 EZNiFe-1(Z408)冷 焊	用 EZC(Z208) 焊条热焊也可以

## 第七节 锅炉、压力容器焊工考试典型实例

### 一、板对接平焊焊接工艺(D1-5)(表 1-117)



表 1 117 板对接平焊焊接工艺

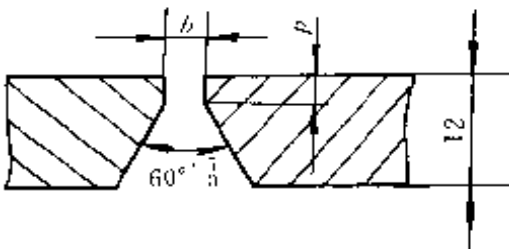

坡口形式及尺寸简图	焊缝层次分布简图		
			
焊接方法:焊条电弧焊	焊机型号:BX3 500 电流种类:交流		
母材牌号:20g 规格:12mm 尺寸:300mm×200mm×12mm	焊条型号(牌号):E4303(J422) 焊条直径:φ3.2mm、φ4mm 焊条烘干温度:150~200℃ 保温时间:1~2h		
组对间隙 <i>b</i> : 始焊端 3.2mm;终焊端 4mm	反变形角度:3°~4° 焊接手法(打底层焊缝):两点击穿法, 灭弧频率为 45~55 次/min		
焊 接 参 数			
层次(道数)	焊条直径/mm	焊接电流/A	电弧电压/V
打底层(1)	3.2	105~115	22~26
填充层(2)	3.2	115~125	22~26
填充层(3)	4	175~185	22~26
盖面层(4)	4	170~180	22~26
焊条与 焊接方 向夹角	焊打底层,焊条与焊接方向夹角:40°~55° 采用月牙形或横向锯齿形运条 焊填充层,焊条与焊接方向夹角:80°~85° 焊盖面层,焊条与焊接方向夹角:75°~80°		

(续)

焊缝尺寸要求/mm			
	焊缝宽度	余高	余高差
正面	比坡口每侧增宽 0.5~2	0~3	<2
背面	—	<3	<2

## 二、板对接立焊焊接工艺(D1-6)(表 1-118)

表 1-118 板对接立焊焊接工艺

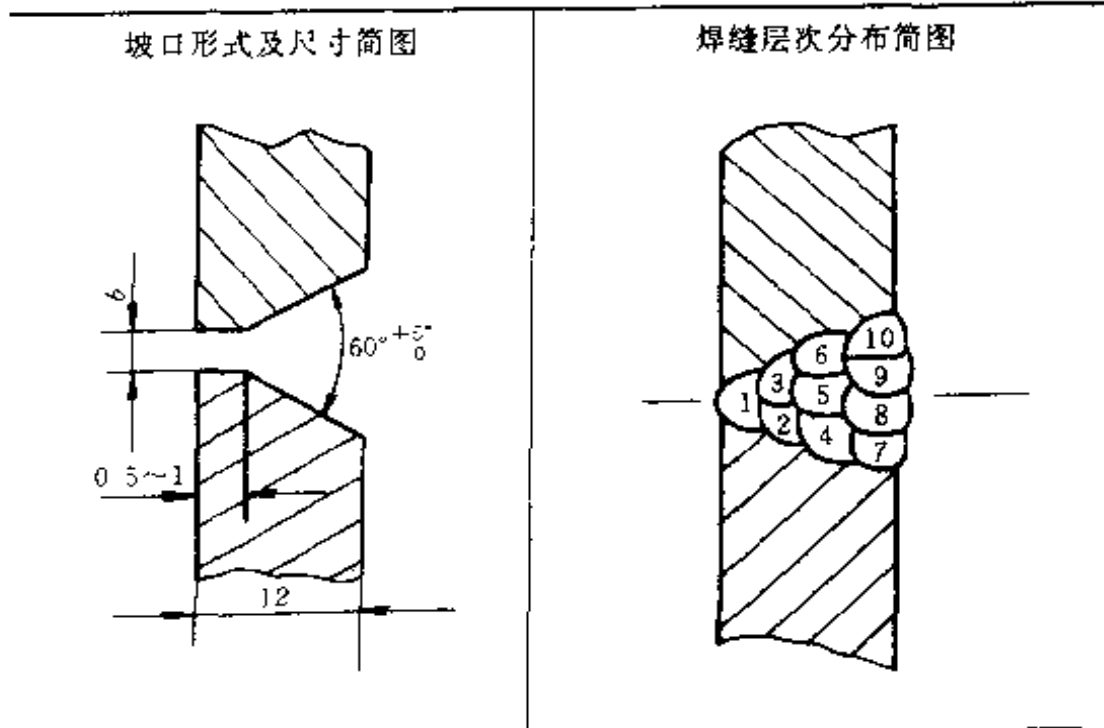
坡口形式及尺寸简图	焊缝层次分布简图
	
焊接方法:焊条电弧焊	焊机型号:BX3-500 电流种类:交流
母材牌号:20g 规格:12mm 尺寸:300mm×200mm×12mm	焊条型号(牌号):E4303(J422) 焊条直径:φ3.2mm 焊条烘干温度:150~200℃ 保温时间:1~2h
组对间隙 $b$ 始焊端:3.2mm 终焊端:4mm 钝边 $p$ :0.5~1mm	反变形角度:3°~4° 打底层焊接手法: 两点击穿法,灭弧频率为 30~40 次/min

(续)

焊 接 参 数				
层次(道数)	焊条直径/mm	焊接电流/A	电弧电压/V	
打底层(1)	3.2	100~105	22~26	
填充层(2)		105~115		
填充层(3)				
盖面层(4)		95~105		
焊条与 焊接方 向夹角	焊打底层,焊条与立板下倾角为 $70^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 采用月牙形或横向锯齿形运条 焊填充层,焊条与立板下倾角为 $70^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 焊盖面层焊条与立板下倾角为 $70^{\circ}\sim 75^{\circ}$			
焊 缝 尺 寸 要 求/mm				
	焊 缝 宽 度	余 高	余 高 差	焊缝宽度差
正面	比坡口每侧增宽 0.5~2	0~4	<3	<2
背面	--	<4	<3	$\leq 2$

## 三、板对接横焊焊接工艺(D1-7)(表 1-119)

表 1-119 板对接横焊焊接工艺



(续)

焊接方法: 手工电弧焊	焊机型号: BX3-500 电流种类: 交流
母材牌号: 20g 规格: 12mm 尺寸: 300mm × 200mm × 12mm	焊条型号(牌号): E303(J422) 焊条直径: $\phi 3.2$ mm 焊条烘干温度: 150~200℃ 保温时间: 1~2h
组对间隙 $b$ 始焊端: 3.2mm; 终焊端: 4mm	反变形角度: $5^{\circ} \sim 6^{\circ}$ 打底层焊缝焊接手法: 两点击穿法, 灭弧频率 35~45 次/ mm

## 焊接参数

层次(道数)	焊条直径, mm	焊接电流/A	电弧电压/V
打底层(1)	3.2	105~115	22~26
填充层(2~6)	3.2	120~130	22~26
盖面层(7~10)	3.2	95~105	22~26

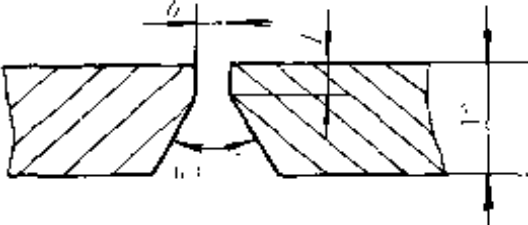
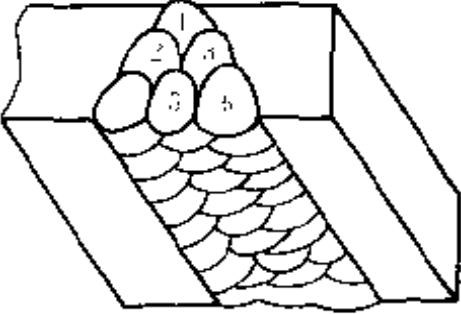
焊 条 角 度	打底层	焊条与下试板夹角为 $85^{\circ} \sim 90^{\circ}$ , 与焊接方向夹角为 $70^{\circ}$ 左右	两点击穿法焊接
	填充层	焊接下侧焊道, 焊条与下试板夹角为 $85^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 焊接上侧焊道, 焊条与下试板夹角为 $65^{\circ} \sim 75^{\circ}$ 焊条与焊接方向夹角为 $80^{\circ} \sim 85^{\circ}$	采用直线运条法, 不做任何摆动
	盖面层	焊接焊道 7, 焊条与下试板夹角为 $75^{\circ} \sim 85^{\circ}$ , 焊道 1/3 在母材上, 约 1~2mm, 其余 2/3 在填充层上 焊接焊道 8, 焊条与下试板夹角为 $30^{\circ} \sim 100^{\circ}$ , 与焊道 7 搭接 1/2 焊接焊道 9, 焊条与下试板夹角为 $80^{\circ} \sim 90^{\circ}$ , 与焊道 8 搭接 1/2 焊接焊道 10, 焊条与下试板夹角为 $90^{\circ} \sim 100^{\circ}$ , 与焊道 9 搭接 1/2, 与母材相交 1/2	采用直线运条, 不做任何摆动

(续)

焊缝尺寸要求/mm				
	焊缝宽度	余高	余高差	焊缝宽度差
正面	比坡口每侧增宽 0.5~2	0~3	<2	<2
背面		<3	<2	≤2

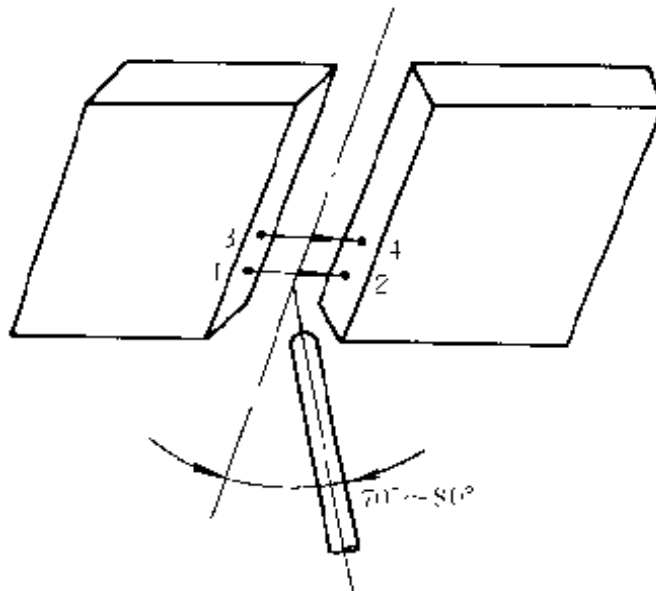
## 四、板对接仰焊焊接工艺(D1-8)(表 1-120)

表 1-120 板对接仰焊焊接工艺

坡口形式及尺寸简图	焊缝层次分布简图
	
焊接方法:焊条电弧焊	焊机型号:BX3-500 电流种类:交流
母材牌号:20g 规格:12mm 尺寸:300mm×200mm×12mm	焊条型号(牌号):E1303(J422) 焊条直径:φ3.2mm 焊条烘干温度:150~200℃ 保温时间:1~2h
组对间隙 <i>b</i> 始焊端:3.2mm 终焊端:4mm 钝边 <i>p</i> :0.5~1mm	反变形角度:3°~4° 打底层焊缝焊接手法: 单点半拉焊法 灭弧频率:30~35次/min

(续)

仰焊单点平拉焊法示意图



焊 接 参 数

层次(道数)	焊条直径/mm	焊接电流/A	电弧电压/V
打底层(1)	3.2	95~105	22~26
填充层(2~3)	3.2	105~115	22~26
盖面层(4~6)	3.2	95~105	22~26

焊条角度	打底层	焊条与焊接方向夹角为 $70^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 单点平拉焊法,短弧月牙形或锯齿形运条
	填充层	焊条与焊接方向夹角为 $85^{\circ}\sim 90^{\circ}$
	盖面层	焊条与焊接方向夹角为 $90^{\circ}$

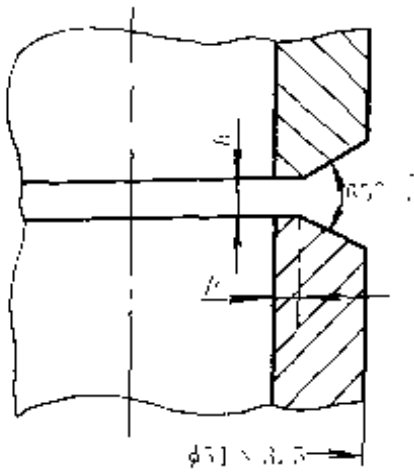
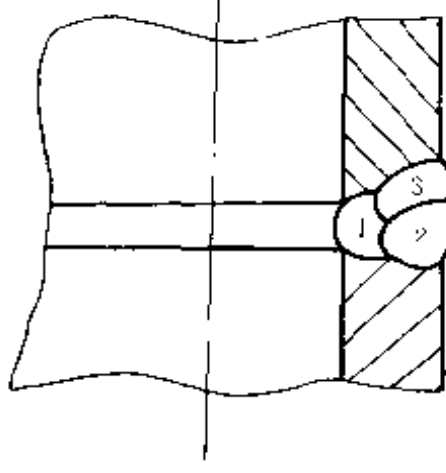
焊 缝 尺 寸 要 求/mm

焊 缝 宽 度		余 高	余 高 差	焊缝宽度差
正面	比坡口每侧增宽 0.5~2	0~3	<2	<2
背面		<3	<2	$\leq 2$

背面凹坑:深度 $\leq 20\% \delta$ (板厚),且 $\leq 2\text{mm}$

## 五、小管对接垂直固定焊焊接工艺(DI 11)(表 1-121)

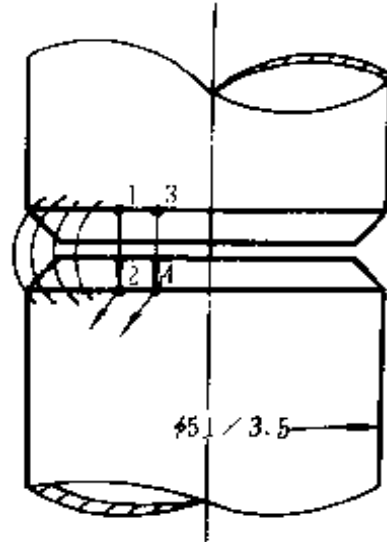
表 1-121 小管对接垂直固定焊焊接工艺

坡口形式及尺寸简图	焊缝层次分布简图
	
<p>焊接方法:焊条电弧焊</p>	<p>焊机型号:BX3-500 电流种类:交流</p>
<p>母材牌号:10 规格:φ51mm×3.5mm 尺寸:φ51mm×3.5mm×200mm</p>	<p>焊条型号(牌号):E4303(J422) 焊条直径:φ2.5mm 焊条烘干温度:150~200℃ 保温时间:1~2h</p>
<p>组对间隙:<math>b=2.5\text{mm}</math> 钝边 <math>p:0.5\sim 1\text{mm}</math></p>	<p>定位焊缝为两条,两条定位焊缝间距为 <math>120^\circ</math>,且与起始焊位置各距 <math>120^\circ</math>,定位焊缝长度为 <math>8\sim 12\text{mm}</math></p>

(续)

焊接手法(打底层):一点点击穿轴向拉开焊法

灭弧频率:70~80次/min



焊接参数

层次(道数)	焊条直径/mm	焊接电流/A	电弧电压/V
打底层(1)	2.5	70~80	22~26
盖面层(2,3)	2.5	75~85	22~26

焊条角度	打底层	焊条与管切线焊接方向呈 $70^{\circ}\sim 75^{\circ}$ 角 焊条与管下侧夹角为 $70^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 采用单点击穿轴向拉开法焊接
	盖面层	焊条与管切线焊接方向夹角为 $70^{\circ}\sim 75^{\circ}$ 焊接焊道 2, 焊条与管下侧夹角为 $75^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 焊接焊道 3, 焊条与管下侧夹角为 $80^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 采用直线不摆动运条, 自左向右、自下而上焊接

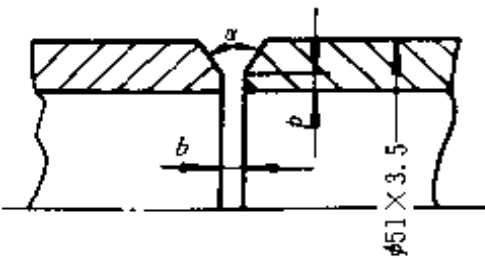
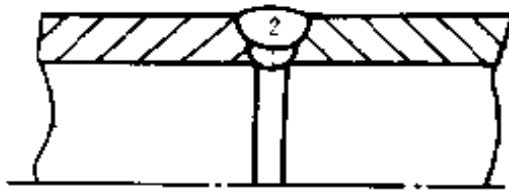
焊缝尺寸要求/mm

焊缝宽度		余高	余高差	焊缝宽度差
正面	比坡口每侧宽 0.5~2	0~4	<3	<2
背面	—	通球检验 $0.85D_{内}$	<2	<2



## 六、小管对接水平固定焊焊接工艺(D1-12)(表 1-122)

表 1-122 小管对接水平固定焊焊接工艺

坡口形式及尺寸简图	焊缝层次分布简图		
			
焊接方法:焊条电弧焊  母材牌号:10 规格: $\phi 51\text{mm} \times 3.5\text{mm}$ 尺寸: $\phi 51\text{mm} \times 3.5\text{mm} \times 200\text{mm}$	焊机型号:BX3-500 电流种类:交流  焊条型号(牌号):E4303(J422) 焊条直径: $\phi 2.5\text{mm}$ 焊条烘干温度: $150 \sim 200\text{C}$ 保温时间: $1 \sim 2\text{h}$		
组对间隙: $b = 2.5\text{mm}$ 钝边 $p: 0.5 \sim 1\text{mm}$ 角度 $\alpha: 65^\circ + 5^\circ$	定位焊缝为两条,即在时钟 2 点、10 点位置,定位焊缝长 $8 \sim 12\text{mm}$ ,时钟 6 点仰焊位为始焊点		
焊接手法(打底层):单点击穿法 灭弧频率:在仰焊、平焊区段: $35 \sim 40\text{次}/\text{min}$ 在立焊区段: $40 \sim 45\text{次}/\text{min}$			
焊 接 参 数			
层次(道数)	焊条直径/mm	焊接电流/A	电弧电压/V
打底层(1)	2.5	75~85	22~26
盖面层(2)		70~80	

(续)

在仰焊位置,焊条与焊接方向管切线夹角为  $80^{\circ} \sim 85^{\circ}$

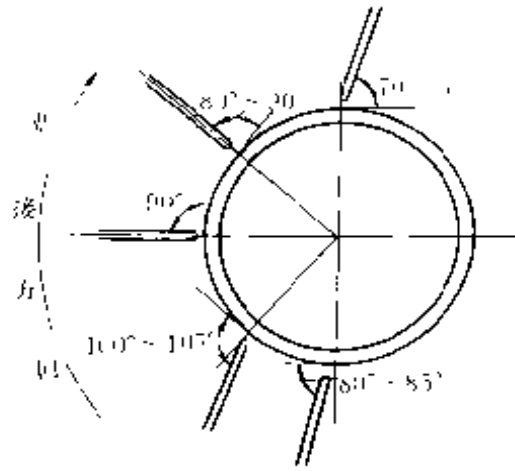
在仰焊爬坡位置,焊条与焊接方向管切线夹角为  $100^{\circ} \sim 105^{\circ}$

在立焊位置,焊条与焊接方向管切线夹角为  $90^{\circ}$

在立焊爬坡位置,焊条与焊接方向管切线夹角为  $85^{\circ} \sim 90^{\circ}$

在平焊位置,焊条与焊接方向管切线夹角呈  $70^{\circ} \sim 75^{\circ}$

盖面层焊接采用月牙形或横向锯齿形运条

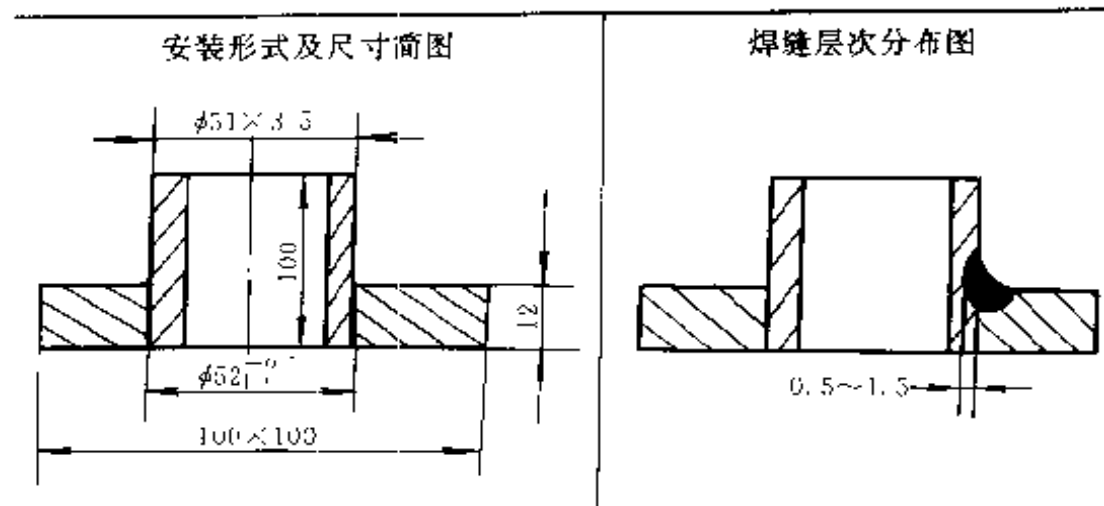


焊缝尺寸要求/mm

	焊缝宽度	余高	余高差	焊缝宽度差
正面	比坡口每侧增宽 0.5~2	0~4	<3	<2
背面	—	通球检验 $0.85D_{\text{焊}}$	<2	<2

七、小直径管板(插入式)垂直固定俯位焊焊接工艺(D1-21)(表 1-123)

表 1-123 小直径管板垂直固定俯位焊焊接工艺



(续)

焊接方法:焊条电弧焊	焊机型号:BX3 500 电流种类:交流
母材牌号:20g、10 规格:20g:100mm×100mm×12mm 10:φ51mm×3.3mm	焊条型号(牌号):E4303(J422) 焊条直径:φ3.2mm 焊条烘干温度:150~200℃ 保温时间:1~2h

组对间隙:0.36~1.13mm,定位焊缝长8~12mm,定位点,起焊点与定位点相距180°

焊接手法:连弧焊,直线运条不摆动

## 焊 接 参 数

层次(道数)	焊条直径/mm	焊接电流/A	电弧电压/V
打底、盖面 只焊一层	3.2	105~115	22~26

焊条角度

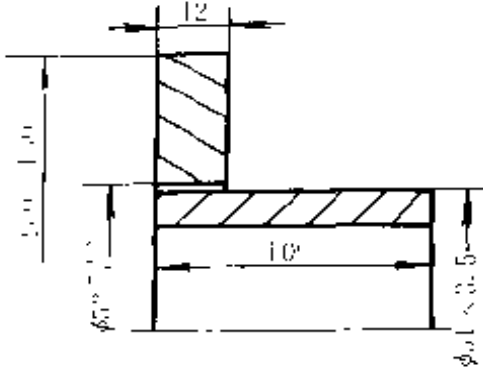
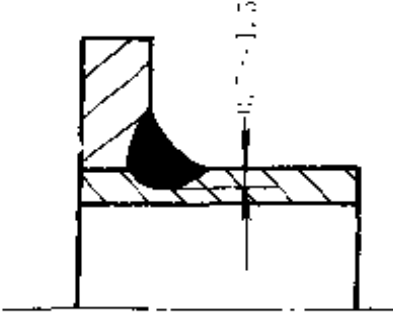
焊条与平板间夹角为40°左右  
焊条与焊接方向夹角为45°左右

## 焊 缝 尺 寸 要 求/mm

焊缝	焊脚尺寸	焊脚尺寸差	焊脚熔入管壁深度
正面	6~8	<2	0.5<熔入管壁深度<1.5

## 八、小直径管板(插入式)水平固定焊焊接工艺(D1-23)(表 1-124)

表 1-124 小直径管板水平固定焊焊接工艺

安装形式及尺寸简图	焊缝层次分布简图
	
<p>焊接方法:焊条电弧焊</p>	<p>焊机型号:BX3 500 电流种类:交流</p>
<p>母材牌号:20g、10 规格:20g:100mm×100mm×12mm 10:φ51mm×3.5mm</p>	<p>焊条型号(牌号):E4303(J422) 焊条烘干温度:150~200℃ 保温时间:1~2h</p>
<p>组对间隙:0.36~1.13mm 定位一点,定位焊缝长8~12mm,起焊点与定位焊缝相距180°</p>	
<p>焊接手法:单点断弧焊(打底层) 断弧频率:在仰焊、平焊区段35~40次/min;在立焊区段40~45次/min</p>	

(续)

焊接参数			
层次(道数)	焊条直径/mm	焊接电流/A	电弧电压/V
打底层(1)	2.5	65~75	22~26
盖面层(2)	2.5	65~80	22~26

焊条角度	焊条与平板夹角为 $40^{\circ} \sim 45^{\circ}$	
	焊条与焊接方向管切线的夹角随着焊接位置不同而改变	
	仰焊区段,焊条与焊接方向管切线夹角为 $80^{\circ} \sim 85^{\circ}$	
	仰焊爬坡区段,焊条与焊接前进方向管切线夹角为 $100^{\circ} \sim 110^{\circ}$	
	立焊区段,焊条与焊接方向管切线夹角为 $90^{\circ}$	
	立焊爬坡区段,焊条与焊接方向管切线夹角 $85^{\circ} \sim 90^{\circ}$	
平焊区段,焊条与焊接方向管切线夹角是 $70^{\circ} \sim 75^{\circ}$		

焊缝尺寸要求/mm

焊缝	焊脚尺寸	焊脚尺寸差	焊脚熔入管壁深度
正面	6~8	<2	$0.5 < \text{熔入管壁深度} < 1.5$

## 第八节 焊条电弧焊新工艺

### 一、连续涂层焊条及连续焊条焊接器具

连续涂层焊条(以下简称CCE)是一种长度大于500mm,甚至长达百米以上的药皮焊条。其表面等距离地开制有平行的或环形的电接点,采用连续多点动态输电法,以实现机械化焊接。

CCE 既完整地保留了药皮焊条在合金调变和焊接冶金方面的优良特性,又克服了现行涂层焊条在焊条电弧焊焊接过程中的间断、低效率的致命弱点,同时还充分吸取和发展了各种连续焊丝焊接材料在机械化焊接、高熔敷效率焊接等方面的一系列优点,成为各种焊接材料最完美的统一,从而使它的每一项可比的焊接指标都占绝对优势。诸如:焊缝质量、熔敷金属效率、焊接生产率、全位置操作特性和野外作业特性、焊接材料多样性、各种焊接电源兼容适应性、焊接电流的调节幅度和焊接工艺调变范围、机械化焊接适应性、焊工操作的灵活性和习惯适应性、劳动强度、生产成本等等,都处于领先地位。

连续焊条目前有三大类产品:

- (1) 机械化焊接连续焊条 长度 $>100\text{m}$ ;规格为 $\phi 3.2\sim\phi 6\text{mm}$ 。
- (2) 半机械化焊接连续焊条 长度 $>10\text{m}$ ;规格为 $\phi 1\sim\phi 1.6\text{mm}$ 。
- (3) 直线长型连续焊条 长度为 $0.7\sim 1.5\text{m}$ ;规格为 $\phi 2\sim\phi 5\text{mm}$ 。

连续焊条焊接器具是采用多点动态输电方式实现连续焊接的一种器具,担负“导电”和“焊条送进”的双重功能。

连续焊条焊接器具针对连续焊条的种类,目前有二大类别:

- 1) 连续机械化焊接设备。
- 2) 连续半机械化焊接焊具。
- 3) 直线长焊条大电流输电枪。

## 二、薄板焊机及各种小规格焊条

薄板焊机和特细焊条的出现,向人们展示出了一种全新的小电流焊条电弧焊工艺。薄板焊机用特细电焊条在焊接过程中,能得到小的焊接热输入,热影响区窄,飞溅极小,脱渣好,焊缝成形美观,并具有极好的全位置焊接性。目前已批量向焊接界提供优质低碳钢和不锈钢特细焊条,焊条偏心度在3%以内。

(1) 薄板电焊机主要技术数据 JBX-60 薄板电焊机

质量:27kg

输出电流:5~85A

负载持续率:60%

(2) 特细电焊条

1) 牌号 AC02、A102、A132

直径  $\phi 1 \sim \phi 2\text{mm}$

熔敷效率  $> 130\%$ , 适宜焊接  $\delta = 0.5 \sim 2\text{mm}$  的板

2) 牌号 J421Fe 碳素钢焊条

直径:  $\phi 1 \sim \phi 2\text{mm}$

熔敷效率  $> 130\%$ , 适宜焊接  $\delta = 0.5 \sim 2\text{mm}$  的板

## 第二章 埋 弧 焊

### 第一节 概 述

埋弧焊是电弧在焊剂层下燃烧进行焊接的方法。埋弧焊时电弧热将焊丝端部及电弧附近的母材和熔剂熔化,熔化的金属形成熔池,凝固后成为焊缝,熔融的焊剂形成熔渣,凝固成为渣壳覆盖于焊缝表面,如图 2-1 所示。

#### 一、埋弧焊的特点

##### 1. 埋弧焊的优点

(1) 生产率高 埋弧焊时焊接电流大,则电流密度高,见表 2-1,由于熔渣隔热作用,热效率高,这样熔深大。单丝埋弧焊在焊件开 V 形坡口情况下,熔深可达 20mm。同时埋弧焊焊接速度高,厚 8~10mm 钢板对接,单丝埋弧焊焊接速度可达 50~80cm/min,而手工焊仅 10~13cm/min。为提高生产率,还可应用多丝埋弧焊,如双丝焊、三丝焊。

(2) 焊接接头质量好 由于焊剂的存在,保护了电弧及熔池,避免了环境的影响,而且熔池凝固缓慢,熔池中冶金反应充分,对防止气孔、夹渣、裂纹的产生很有利。同时通过焊剂可向熔池渗合金,提高焊缝金属的力学性能。可以说,在通用的各种焊接方法中,埋弧焊的质量最好。

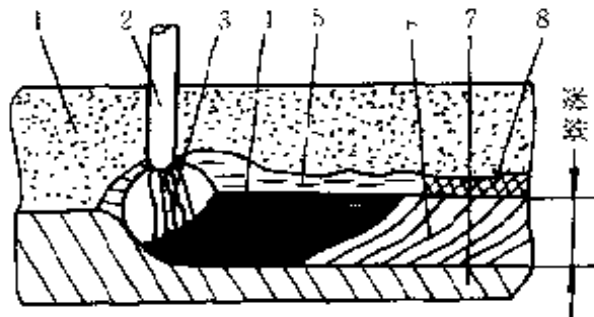


图 2-1 埋弧焊过程

- 1—焊剂 2—焊丝 3—电弧  
4—熔池金属 5—熔渣 6—焊缝  
7—焊件 8—渣壳



表 2 1 焊接电流、电流密度对比

焊条、焊丝 直径/mm	埋 弧 焊		焊条电弧焊	
	焊接电流 /A	电流密度/ (A/mm <sup>2</sup> )	焊接电流 /A	电流密度/ (A/mm <sup>2</sup> )
2	200~400	63~125	50~65	16~25
3	350~600	50~85	80~130	11~18
4	500~800	40~63	125~200	10~16
5	700~1000	30~50	190~250	10~18

(3) 自动调节 埋弧焊时,焊接参数可自动调节、保持稳定,这样既保证了焊缝质量,又减轻了焊工的劳动强度。

(4) 劳动条件好 由于埋弧,没有电弧光辐射,焊工的劳动条件较好。

## 2. 埋弧焊的缺点

埋弧焊不足的是:由于埋弧,电弧与坡口的相对位置不易控制。必要时应采用焊缝自动跟踪装置,防止焊偏;由于使用颗粒状焊剂,非平焊位置不易采用埋弧焊,若采用埋弧焊则应有特殊的工艺措施,如使用磁性焊剂等;不适于厚度小于1mm的薄板焊接。

## 二、埋弧焊的应用范围

由于埋弧焊具有上述的优点,它广泛地应用于工业生产的各个部门和领域,如:金属结构,桥梁、造船、铁路车辆、工程机械、化工设备、锅炉与压力容器、冶金机械、武器装备等,是国内外焊接生产中最普遍的焊接方法。

埋弧焊还可以在基体金属表面上堆焊,提高金属的耐磨、耐腐蚀等性能。

埋弧焊除广泛应用于碳素钢、低合金结构钢、不锈钢、耐热钢等的焊接外,还可以焊接镍基合金、铜合金,使用无氧焊剂还可以焊接钛合金。

## 第二节 埋弧焊设备

埋弧焊设备由焊接电源、埋弧焊机和辅助设备构成。

### 一、埋弧焊电源

埋弧焊时,电弧静特性工作段为平或略上升曲线,为了获得稳定的工作点,电源的外特性应采用缓降特性或平特性曲线,如图 2-2 所示。对于等速送丝焊机的细丝焊(焊丝  $\phi 1.6 \sim \phi 3\text{mm}$ ),采用平特性曲线的焊接电源,它比缓降特性曲线的焊接电源电弧自身调节作用强,弧长能较快地恢复而稳定工作;但粗丝焊时(焊丝  $\phi \geq 4\text{mm}$ ),即使采用恒压特性的焊接电源,其电弧自身调节作用也不够强,此时采用缓降特性焊接电源配以电压反馈的变速送丝焊机较好。

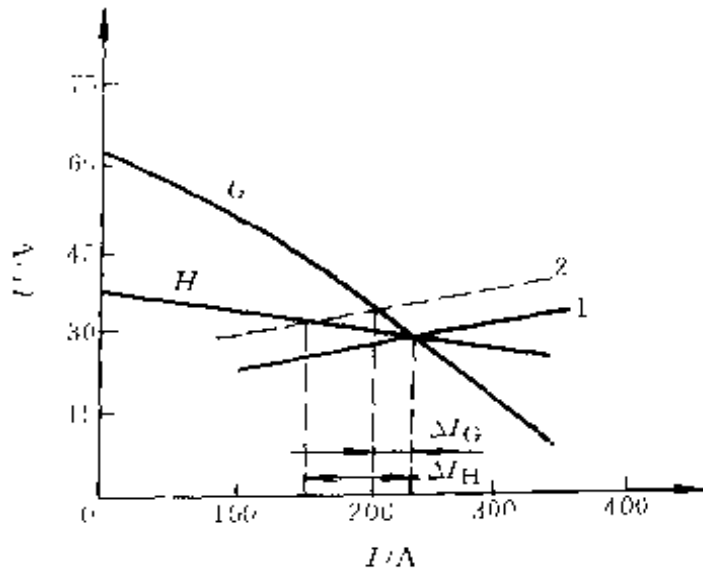


图 2-2 弧焊电源外特性和电弧静特性曲线

H—平特性电源 G—缓降特性电源

1—变化前电弧静特性 2—变化后电弧静特性

埋弧焊电源可以用交流、直流或交直流并用,见表 2-2。对于单丝、小电流(300~500A),可用直流电源,如弧焊整流器(ZX-500)、弧焊发电机、晶闸管弧焊整流器(ZD5-500),也可以采用矩形波交流弧焊电源(日本 300AAD-GP);对于单丝、中大电流(600~1000A),可用

交流或直流电源,如弧焊变压器(BX2-700、BX2-1000)、硅弧焊整流器(ZP 1000)、晶体管弧焊整流器(日本TR-800);对于单丝、大电流(1200~2500A),宜用交流电源(BX1-1600、BX2-2000);对于双丝和二丝埋弧焊,焊接电源可采用直流或交流,也可以交直流联用,多种组合(ZX-1600、BX1 1600、BX2 2000);使用稳弧性差的焊剂时(如中氟和高氟焊剂),宜采用直流电源;弧焊逆变器作为弧焊电源的新发展很有前途,其特点是高效节能,体积小,质量轻,具有多种外特性,具有良好的动特性和弧焊工艺性能,调节速度快而且焊接参数可无级调节,可用微机或单旋钮控制调节(ZX7-400)。

表 2-2 单丝埋弧焊电源的选用

焊接电流/A	焊接速度 /(cm/min)	电源类型
300~500	>100	直流
600~1000	3.8~75	交流、直流
≥1200	12.5~38	交流

## 二、埋弧焊机

埋弧焊机分为半机械化(自动)<sup>①</sup>焊机和机械化(自动)焊机两大类。

### 1. 半机械化焊机

它主要由控制箱、送丝机构、带软管的焊接手把组成。典型焊机技术数据见表 2-3。

### 2. 机械化焊机

常用的机械化埋弧焊机有等速送丝和变速送丝两种,一般由机头、控制箱、导轨(或支架)组成。

等速送进式焊机的焊丝送进速度与电弧电压无关,焊丝送进速度

① GB/T3375—94《焊接术语》按自动化程度把焊接分为手工焊、机械化焊接和自动焊,原意义上的自动焊改为“机械化焊接”,赋予“自动焊”更新的含义。

表 2-3 MB-400A 型半机械化埋弧焊机的技术数据

电源电压/V	220
工作电压/V	25~40
额定焊接电流/A	400
额定负载持续率/%	100
焊丝直径/mm	1.6~2
焊丝盘容量/kg	18
焊剂漏斗容量/L	0.4
焊丝送进速度调节方法	晶闸管调速
焊丝送进方式	等速
配用电源	ZX 400

与熔化速度之间的平衡只依靠电弧自身调节作用就能保证弧长及电弧燃烧的稳定性。

变速送进式焊机又称为等压送进式焊机，其焊丝送进速度由电弧电压反馈控制，依靠电弧电压对送丝速度的反馈调节和电弧自身调节的综合作用，保证弧长及电弧燃烧的稳定性。

常用机械化埋弧焊机的主要技术数据见表 2-4。

### 三、埋弧焊辅助设备

在焊接生产过程中，为了保证焊接质量和实施焊接工艺，提高生产率及减轻工人的劳动强度，必须采用各种焊接辅助设备。

#### 1. 焊接操作架

其基本形式有平台式、悬臂式、龙门式、伸缩式等。其功能为将焊接机头准确地送到待焊位置，焊接时以一定的速度沿规定的轨迹移动焊接机头进行焊接。典型伸缩臂式焊接操作架的主要技术参数见表 2-5。

表 2-4 常用机械化埋弧焊机的主要技术数据

型 号	MZ 1000	MZ1-1000	MZ2-1500	MZ-2×1600	MZ91000	MU 2×300	MU1-1000-1
焊机特点	焊车	焊车	悬挂机头	双焊丝	悬臂单头	双头堆焊	带极堆焊
送丝方式	变速	等速	等速	直流等速 交流变速	变速 等速	等速	变速
焊丝直径 /mm	3~6	1.6~5	3~6	3~6	3~6	1.6~2	厚 0.4~0.8 宽 30~80
焊接电流 /A	400~1000	200~1000	400~1500	DC 1000 AC	100~1000	160~300	400~1000
送丝速度 / (cm/min)	50~200	87~672	47.5~375	50~417	50~200	160~540	25~100
焊接速度 / (cm/min)	25~117	26.7~210	22.5~187	16.7~133	10~80	32.5~58.3	12.5~58.3
焊接电流种类	交、直	交、直	交、直	直、交	直	直	直
配用电源	ZX-1000	BX2-1000 ZX-1000	BX2-2000 或 ZX-1600	BX2-2000 ZX 1600	ZX 1000	AXD-300-1	ZX-1000

表 2-5 SHJ 型焊接操作架的技术参数

技 术 参 数	型 号					
	SHJ-1	SHJ-2	SHJ-3	SHJ-4	SHJ-5	SHJ-6
适用筒体直径/mm	1000~ 4500	1000~ 3500	600~ 3500	600~ 3000	600~ 3000	500~ 1200
水平伸缩行程/mm	8000 (二节)	7000 (二节)	7000 (二节)	6000 (二节)	4000	3500
垂直升降行程/mm	4500	3500	3500	3000	3000	1400
横梁升降速度/(cm/ min)	100	100	100	100	100	30
横梁进给速度/(cm/ min)	12~120	12~120	12~120	12~120	12~120	12~120
机座回转角度/(°)	±180	±180	±180	±180	固定	手动 ±360
台车进退速度/(cm/ min)	300	300	300	300	300	手动
台车轨距/mm	2000	2000	1700	1600	1500	1000

## 2. 焊件变位机

常用的焊件变位机有滚轮架、翻转机。主要用于容器、梁、柱、框架等焊件的焊接。表 2-6 为典型滚轮架的技术参数。

## 3. 焊缝成形装置

钢板对接时，为防止烧穿和熔化金属的流失，促使焊缝背面的成形，则在焊缝背面加衬垫。焊剂铜槽垫板也是一种衬垫，但应用更广泛的是焊剂衬垫，如图 2-3、图 2-4 所示。生产中还常采用热固化焊剂垫，如图 2-5 所示。

表 2-6 滚轮架的主要技术参数

技术参 数	型 号	GJ-5	GJ-10	GJ-20	GJ-50	GJ-100
额定载荷/t		5	10	20	50	100
筒体直径/mm		600~2500	800~3900	800~4000	800~3500	800~4000
滚轮线速度/(cm/min)		16.7~167	16~160	17~100	16~160	13.3~133
滚轮规格/mm		φ106×120	φ400×180	φ406×230	φ500×300	φ560×320
摆轮中心距/mm		1350	1450	1700	1600	1700
电机功率/kW		0.75	1.1	2.2	4.0	7.5
质量/t		2.6	2.8	4.1	7.9	12.5
外形尺寸(主动) A × B × C mm × mm × mm		2160 × 800 × 333	2450 × 930 × 1111	2700 × 990 × 1610	2780 × 2210 × 1160	2350 × 1500 × 1160

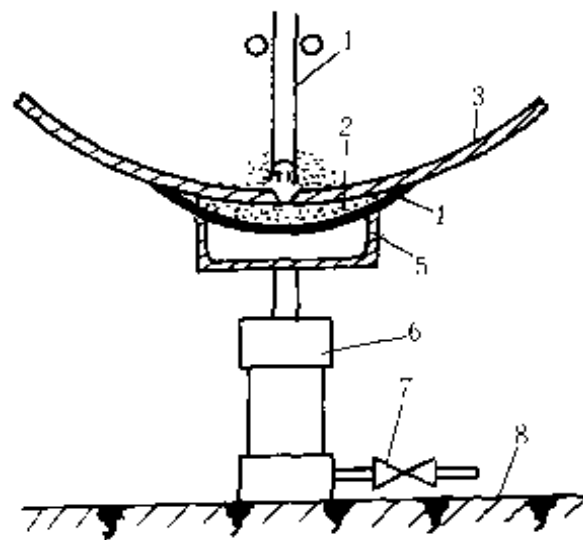


图 2-3 气缸式纵缝焊剂垫

- 1—焊丝 2—焊剂 3—焊件 4—橡胶托垫 5—槽钢  
6—气缸 7—气阀 8—底座

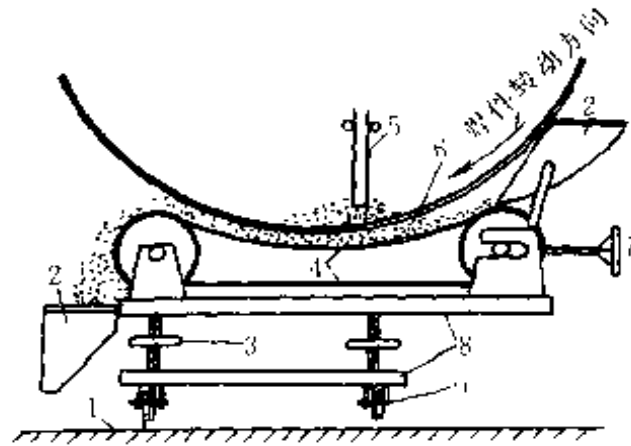


图 2-4 带式环缝焊剂垫

- 1—轨道 2—焊剂漏斗 3—升降调节手轮 4—焊剂输送带  
5—焊丝 6—焊剂 7—输送带调节手轮 8—槽钢架 9—行走轮

热固化焊剂垫长约 600mm，利用磁铁夹具固定于焊件底部。这种衬垫柔性大，贴合性好，安全方便，便于保管，其组成部分的作用为：

**双面粘接带：**使衬垫紧紧地与焊件贴合。

**热收缩薄膜：**保持衬垫形状，防止衬垫内部组成物移动和受潮。

**玻璃纤维布：**使衬垫表面柔软，以保证衬垫与钢板的贴合。

**热固化焊剂：**热固化后起铜垫作用，一般不熔化，能控制焊缝背面高度。

**石棉布：**作为耐火材料，保护衬垫材料和防止熔化金属及熔渣滴落。

**弹性垫：**在固定衬垫时，使压力均匀。

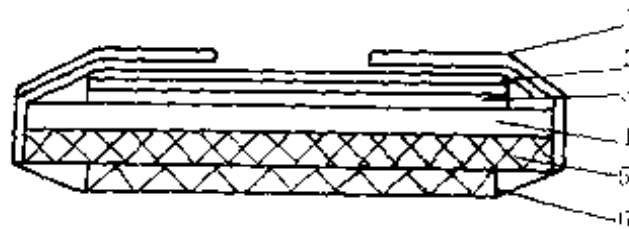


图 2-5 热固化焊剂衬垫

- 1—双面粘接带 2—热收缩薄膜  
3—玻璃纤维布 4—热固化焊剂  
5—石棉布 6—弹性垫



## t. 焊剂回收装置

它用来在焊接过程中自动回收焊剂。图 2-6 为 XF-50 焊剂回收机，该机利用真空负压原理自动回收焊剂，在回收过程中微粒粉尘能自动与焊剂分离。其主要技术参数见表 2-7。

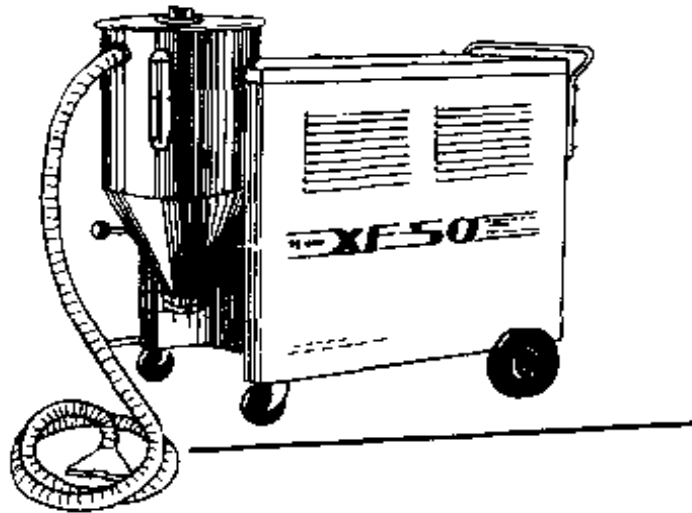


图 2-6 XF-50 焊剂回收机

表 2-7 XF-50 焊剂回收机的技术参数

输入电源/V	三相、380
额定容量/kW	1.5
回收容量/kg	50
回收管长度/m	7
质量/kg	110
外形尺寸 $\begin{matrix} A \\ \text{mm} \end{matrix} \times \begin{matrix} B \\ \text{mm} \end{matrix} \times \begin{matrix} C \\ \text{mm} \end{matrix}$	900 × 400 × 1250

## 四、埋弧焊机常见故障及排除方法

埋弧焊机常见故障、产生原因及排除方法见表 2-8、表 2-9。

表 2 8 机械化埋弧焊机的故障与排除

故障现象	产生的原因	排除方法
按下启动按钮, 线路工作正常, 但引不起弧	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 焊接电源未接通</li> <li>2. 电源接触器接触不良</li> <li>3. 焊丝与焊件接触不良</li> <li>4. 焊接电路无电压</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 接通焊接电源</li> <li>2. 检查、修复接触器</li> <li>3. 清理焊丝与焊件接触点</li> <li>4. 检查电路, 恢复电压</li> </ol>
按下焊丝向上、向下按钮, 焊丝动作不对或不动作	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 控制线路有故障, 辅助变压器, 整流器损坏, 按钮接触不良</li> <li>2. 感应电动机方向相反</li> <li>3. 发电机或电动机电刷接触不好</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 检查上述部件并修复</li> <li>2. 改变三相感应电动机的输入接线</li> <li>3. 调整电刷</li> </ol>
启动后焊丝一直向上反抽	电弧反馈接线未接或断开	将线接好
按下启动按钮后, 继电器工作, 接触器不能正常工作	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 中间继电器失常</li> <li>2. 接触器线圈有问题</li> <li>3. 接触器磁铁接触面生锈或污垢太多</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 检修中间继电器</li> <li>2. 检修接触器</li> <li>3. 清除锈或污垢</li> </ol>
焊机启动后, 焊丝周期地与焊件粘住, 或常常断弧	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 粘住是因电弧电压太低, 焊接电流太小, 或网路电压太低</li> <li>2. 常常断弧是因电弧电压太高, 焊接电流太大, 或网路电压太高</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 增加电弧电压或焊接电流</li> <li>2. 减小电弧电压或焊接电流, 改善网路负荷状态</li> </ol>
线路工作正常, 焊接参数正确, 而送丝不均匀, 电弧不稳定	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 送丝压紧轮太松或已磨损</li> <li>2. 焊丝被卡住</li> <li>3. 送丝机构有故障</li> <li>4. 网路电压波动太大</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 调整或更换压紧轮</li> <li>2. 清理焊丝</li> <li>3. 检查送丝机构</li> <li>4. 焊机可以使用专用线路</li> </ol>

(续)

故障现象	产生的原因	排除方法
焊接过程中, 焊车突然停止行走	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 焊车离合器脱开</li> <li>2. 焊车轮被电缆等物阻挡</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 关紧离合器</li> <li>2. 排除车轮的阻挡物</li> </ol>
焊接过程中, 焊剂停止输送, 或罐小	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 焊剂用完</li> <li>2. 焊剂斗阀门处被堵</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 添加焊剂</li> <li>2. 清理并疏通焊剂斗</li> </ol>
焊接过程中, 机头或导电嘴的位置不时改变	焊车有关部件有游隙	检查清除游隙或更换磨损零件
焊丝未与焊件接触, 焊接回路有电	焊车与焊件绝缘损坏	检查焊车车轮绝缘, 检查焊车下面是否有金属物与焊件短路
焊丝在导电嘴中摆动, 导电嘴以下的焊丝不时变红	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 导电嘴磨损</li> <li>2. 导电不良</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 更换新导电嘴</li> <li>2. 清理导电嘴</li> </ol>
导电嘴末端随焊丝一起熔化	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 电弧太长, 焊丝伸出太短</li> <li>2. 焊丝送给和焊车皆已停止, 电弧仍在燃烧</li> <li>3. 焊接电流太大</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 增加焊丝送给速度和焊丝伸出长度</li> <li>2. 检查焊丝、焊车停止原因</li> <li>3. 减小焊接电流</li> </ol>
焊接电路接通时, 电弧未引燃, 而焊丝粘结在焊件上	焊丝与焊件接触太紧	使焊丝与焊件轻微接触
焊接停止后, 焊丝与焊件粘住	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 停止按钮按下速度太快</li> <li>2. 不经停止1, 而直接按下停止2</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 慢慢按下停止按钮</li> <li>2. 先按停止1, 待电弧自然熄灭, 再按停止2</li> </ol>



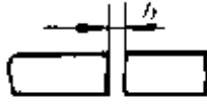


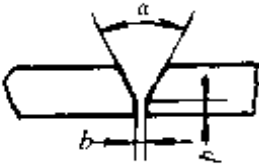

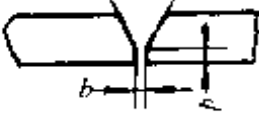

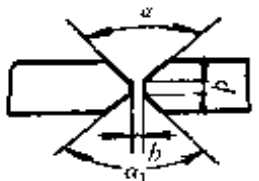
表 2 9 半机械化埋弧焊机的故障与排除

故障现象	产生的原因	排除方法
按下启动开关, 电源接触器不接通	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 熔断器有故障</li> <li>2. 继电器损坏或断线</li> <li>3. 降压变压器有故障</li> <li>4. 启动开关损坏</li> </ol>	检查、修复或更新
启动后, 线路工作正常, 但不起弧	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 焊接回路未接通</li> <li>2. 焊丝与焊件接触不良</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 接通焊接回路</li> <li>2. 清理焊件</li> </ol>
送丝机构工作正常, 焊接参数正确, 但焊丝送给不均匀或经常断弧	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 焊丝压紧轮松</li> <li>2. 焊丝给送轮磨损</li> <li>3. 焊丝被卡住</li> <li>4. 软管弯曲太大或内部太脏</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 调节压紧轮</li> <li>2. 更换焊丝给送轮</li> <li>3. 整理被卡焊丝</li> <li>4. 软管不要太弯, 用酒精清洗内弹簧管</li> </ol>
焊机工作正常, 但焊接过程中电弧常被拉断或粘住焊件	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 前者为网路电压突然升高</li> <li>2. 后者是网路电压突然降低</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 减小焊接电流</li> <li>2. 增大焊接电流</li> </ol>
焊接过程中, 焊剂突然停止漏下	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 焊剂用光</li> <li>2. 焊剂漏斗堵塞</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 添加焊剂</li> <li>2. 疏通焊剂漏斗</li> </ol>
焊剂漏斗带电	漏斗与导电部件短路	排除短路
导电嘴被电弧烧坏	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 电弧太长</li> <li>2. 焊接电流太大</li> <li>3. 导电嘴伸出太长</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 减小电弧电压</li> <li>2. 减小焊接电流</li> <li>3. 缩短导电嘴伸出长度</li> </ol>
焊丝在给送轮和软管口之间常被卷成小圈	软管的焊丝进口离给送轮间距离太远	缩短此间距离
焊丝送给机构正常, 但焊丝送不出	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 焊丝在软管中塞住</li> <li>2. 焊丝与导电嘴熔接住</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 用酒精洗净软管</li> <li>2. 更换导电嘴</li> </ol>
焊接停止时, 焊丝与焊件粘住	停止时焊把未及时移开	停止时及时移开焊把


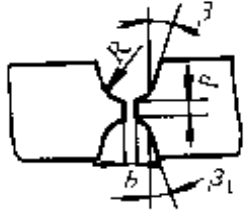

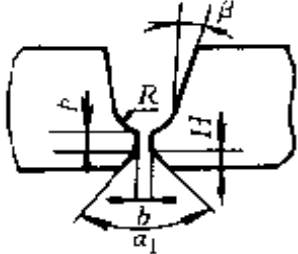

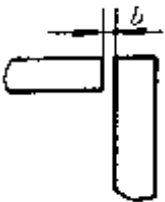

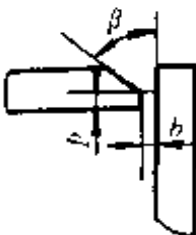
### 第三节 埋弧焊接头坡口的基本形式

焊接接头的坡口形式和尺寸是满足工艺要求、保证焊接质量的必备条件。对于碳素钢和低合金钢埋弧焊焊接接头，按 GB986—88《埋弧焊焊缝坡口的基本形式和尺寸》，其坡口形式有数十种，常用的坡口形式及尺寸见表 2-10。

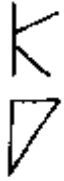
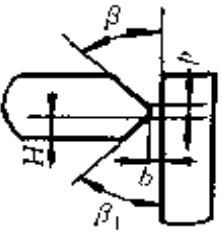



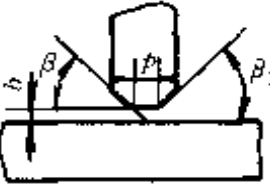
表 2-10 埋弧焊焊缝常用的坡口形式及尺寸

序号	板厚/mm	符号	坡口形式	坡口尺寸/mm
1	6~20 <sup>1</sup>			
2	6~12 <sup>2</sup>			$b=0\sim 2.5$ $b=0\sim 4$ $b=0\sim 4$
3	6~24 <sup>3</sup>			
4	10~24 <sup>4</sup>			$\alpha=50^\circ\sim 80^\circ$ $b=0\sim 2.5$ $p=5\sim 8$
5	10~30 <sup>1</sup>			$\alpha=40^\circ\sim 80^\circ$ $b=0\sim 2.5$ $p=6\sim 10$
6	24~60			$\alpha=50^\circ\sim 80^\circ$ $\alpha_1=50^\circ\sim 80^\circ$ $b=0\sim 2.5$ $p=5\sim 10$

(续)

序号	板厚/mm	符号	坡口形式	坡口尺寸/mm
7	50~160			$\beta = 5^\circ \sim 12^\circ$ $b = 0 \sim 2.5$ $p = 6 \sim 10$ $R = 6 \sim 10$ $\beta_1 = 5^\circ \sim 12^\circ$
8	60~250			$\alpha = 70^\circ \sim 80^\circ$ $\beta = 1^\circ \sim 3^\circ$ $b = 0 \sim 2$ $p = 1.5 \sim 2.5$ $H = 9 \sim 11$ $R = 8 \sim 11$
9	6~14			$b = 0 \sim 2.5$
10	10~20			$\beta = 35^\circ \sim 45^\circ$ $b = 0 \sim 2.5$ $p = 0 \sim 3$

(续)

序号	板厚/mm	符号	坡口形式	坡口尺寸/mm
11	20~40			$\beta = 35^\circ \sim 45^\circ$ $\beta_1 = 40^\circ \sim 50^\circ$ $b = 0 \sim 2.5$ $p = 1 \sim 3$ $H = 6 \sim 10$
12	10~24			$\beta_1 = 35^\circ \sim 45^\circ$ $b = 0 \sim 2.5$ $p = 3 \sim 7$
13	10~40			$\beta = 10^\circ \sim 50^\circ$ $\beta_1 = 10^\circ \sim 50^\circ$ $b = 0 \sim 2.5$ $p = 3 \sim 5$

- ① 允许后焊侧采用碳弧气刨清根。
- ② 需采用焊剂垫和铜垫保护熔池。
- ③ 需采用铜垫保护熔池，并允许后焊侧用碳弧气刨清根。

### 第四节 埋弧焊用焊接材料

埋弧焊用焊接材料包括焊丝和焊剂。埋弧焊时焊丝与焊剂在焊接熔池与母材一起进行冶金反应,从而对焊接工艺性能、焊缝金属化学成分、组织性能均产生影响。所以,正确地选择焊丝与焊剂很重要。

#### 一、焊丝

埋弧焊所用焊丝有实心焊丝与药芯焊丝两种。普遍使用的是实心焊丝,有特殊要求时使用药芯焊丝。

根据所焊金属材料的不同,埋弧焊用焊丝有碳素结构钢焊丝、合金结构钢焊丝、高合金钢焊丝、各种有色金属焊丝和堆焊焊丝。按焊接工艺的需要,除不锈钢焊丝和有色金属焊丝外,焊丝表面均镀铜。镀铜层有利于防锈并改善导电性能。

#### 二、焊剂的分类与用途

##### 1. 焊剂的分类

埋弧焊焊剂按用途分为钢用焊剂和有色金属用焊剂。按制造方法分为熔炼焊剂、烧结焊剂和陶质焊剂,见表 2-11。

表 2-11 焊剂的制造类别

分 类	制 造 工 艺
熔炼焊剂	按配方比例配料—干混均匀—熔化—注入冷水或在激冷板上粒化—干燥—捣碎—过筛、制成玻璃状、结晶状、浮石状焊剂
烧结焊剂	按配方比例配料—混拌均匀—加水玻璃调成湿料—在 750~1000℃下烧结—破碎—过筛
陶质焊剂	按配方比例配料—混拌均匀—加水玻璃调成湿料—制成一定尺寸颗粒—350~500℃烘干

① 熔焊用钢丝标准为 GB/T14957-94, 气体保护焊用焊丝标准为 GB/T14958-94。



埋弧焊用焊剂按化学成分,以碱度为指标可分为碱性焊剂、酸性焊剂和中性焊剂,见表 2-12; 以主要成分含量分类见表 2-13; 按焊剂化学性质分类见表 2-14。

表 2-12 埋弧焊焊剂按碱度 BI 分类

分 类	碱 性	中 性	酸 性
BI 值	>1.5	1.0~1.5	<1.0

$$BI = \frac{w_{CaO} + w_{CaF_2} + w_{MgO} + w_{K_2O} + w_{Na_2O} + w_{Li_2O} - \frac{1}{2}(w_{MnO} + w_{FeO})}{w_{SiO_2} + \frac{1}{2}(w_{Al_2O_3} + w_{TiO_2} + w_{ZnO})}$$

表 2-13 焊剂按主要成分 (质量分数) 分类 (%)

按 SiO <sub>2</sub> 含量		按 MnO 含量		按 CaF <sub>2</sub> 含量	
高硅	>30	高锰	>30	高氟	>30
中硅	10~30	中锰	15~30	中氟	10~30
低硅	<10	低锰	2~15	低氟	<10
—	—	无锰	<2	—	—

表 2-14 焊剂按化学性质分类

分类	化 学 成 分
氧化性焊剂	SiO <sub>2</sub> 、MnO、FeO 均大量
弱氧化性焊剂	SiO <sub>2</sub> 、MnO、FeO 较少
惰性焊剂	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、CaO、MgO、CaF <sub>2</sub> (基本不含 SiO <sub>2</sub> 、MnO、FeO)

2. 焊剂的型号、牌号

(1) 焊剂的型号 钢用埋弧焊焊剂按照 GB5293-85《碳素钢埋弧焊用焊剂》规定,焊剂型号表示方法如下:

HJX-X<sub>1</sub>X<sub>2</sub>-H×××

HJ— 表示埋弧焊用焊剂。

- $X_1$  表示焊缝金属的拉伸力学性能, 见表 2-15。  
 $X_2$  表示拉伸试样和冲击试样的状态, 见表 2-16。  
 $X_3$  表示焊缝金属冲击韧度值不小于  $34.3\text{J}/\text{cm}^2$  时的最低试验温度, 见表 2-17。

H×××- 焊丝牌号

表 2-15  $X_1$  数字含义

焊剂型号	$\sigma_s/\text{MPa}$	$\sigma_b/\text{MPa}$	$\delta/\%$
HJ3X <sub>2</sub> X <sub>3</sub> -H×××	411.9~549.2	$\geq 304.0$	$\geq 22.0$
HJ4X <sub>2</sub> X <sub>3</sub> -H×××	411.9~549.2	$\geq 329.5$	
HJ5X <sub>2</sub> X <sub>3</sub> -H×××	480.5~647.2	$\geq 398.1$	

表 2-16  $X_2$  数字的含义

焊剂型号	试样状态
HJX <sub>1</sub> 0X <sub>3</sub> -H×××	焊态
HJX <sub>1</sub> 1X <sub>3</sub> -H×××	焊后热处理状态 <sup>①</sup>

- ① 试板或试样焊后热处理规范: 装炉时炉温 $\leq 300\text{C}$ ; 升温速度 $\leq 220\text{C}/\text{h}$ ;  $620\text{C} \pm 15\text{C}$  保温 1h; 炉冷至  $300\text{C}$ , 炉冷速度 $\leq 175\text{C}/\text{h}$ ,  $300\text{C}$  以下时, 炉冷或空冷均可。

表 2-17  $X_3$  数字含义

焊剂型号	试验温度/ $\text{C}$	冲击韧度/ $(\text{J}/\text{cm}^2)$
HJX <sub>1</sub> X <sub>2</sub> 0-H×××	—	无要求
HJX <sub>1</sub> X <sub>2</sub> 1-H×××	0	$\geq 34.3$
HJX <sub>1</sub> X <sub>2</sub> 2-H×××	-20	
HJX <sub>1</sub> X <sub>2</sub> 3-H×××	-30	
HJX <sub>1</sub> X <sub>2</sub> 4-H×××	-10	
HJX <sub>1</sub> X <sub>2</sub> 5-H×××	-50	
HJX <sub>1</sub> X <sub>2</sub> 6-H×××	-60	

(2) 焊剂的牌号 焊剂牌号的编制方法

1) 熔炼焊剂 HJ 表示熔炼焊剂；牌号第一位数字表示焊剂中 MnO 的含量，见表 2-18；牌号第二位数字表示焊剂中 SiO<sub>2</sub>、CaF<sub>2</sub> 的含量，见表 2-19；牌号第三位数字表示同一类型焊剂的不同牌号，按 0~9 顺序排列；当生产两种颗粒度焊剂时，对细颗粒焊剂在其后面加 X 字。

表 2-18 熔炼焊剂牌号第一位数字系列

牌 号	焊剂类型	w(MnO) / %
HJ1××	无锰	< 2
HJ2××	低锰	2~.5
HJ3××	中锰	15~30
HJ4××	高锰	> 30

表 2-19 熔炼焊剂第二位数字系列

牌 号	焊剂类型	w(SiO <sub>2</sub> ) / %	w(CaF <sub>2</sub> ) / %
HJ×1×	低硅低氟	< 10	< 10
HJ×2×	中硅低氟	10~30	< 10
HJ×3×	高硅低氟	> 30	< 10
HJ×4×	低硅中氟	< 10	10~30
HJ×5×	中硅中氟	10~30	10~30
HJ×6×	高硅中氟	> 30	10~30
HJ×7×	低硅高氟	< 10	> 30
HJ×8×	中硅高氟	10~30	> 30
HJ×9×	其它	—	—

2) 烧结焊剂 SJ 表示烧结焊剂；牌号第一位数字表示渣系，见表 2-20；牌号第二、三位数字表示同一渣系类型不同牌号的焊剂，按 01~09 顺序编排。

表 2-20 烧结焊剂第一位数字熔渣系列

焊剂牌号	渣系类型	主要化学成分 (质量分数) /%
SJ1××	氟碱型	$\text{CaF}_2 \geq 15$ $\text{SiO}_2 \leq 20$ $\text{CaO} + \text{MgO} + \text{MnO} + \text{CaF}_2 > 50$
SJ2××	高铝型	$\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 20$ , $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} > 45$
SJ3××	硅钙型	$\text{CaO} - \text{MgO} + \text{SiO}_2 > 60$
SJ4××	硅锰型	$\text{MnO} + \text{SiO}_2 > 50$
SJ5××	铝钛型	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2 > 45$
SJ6××	其它型	-

### 3. 焊剂的焊接工艺性能及其它质量要求

(1) 焊接工艺性能 电弧燃烧稳定;渣壳脱离容易;焊道表面成形良好,焊接时焊道与焊道间及焊道与母材间均熔合良好,平滑过渡;没有明显咬边,

(2) 焊剂颗粒度 普通颗粒度的焊剂,颗粒直径为 0.45~2.50mm (10~8 目),直径 0.45mm (10 目) 以下的细颗粒不得大于 5%,直径 2.50mm (8 目) 以上的粗颗粒不得大于 2%;细颗粒度的焊剂,颗粒直径为 0.28~1.42mm (60~14 目),直径 0.28mm (60 目) 以下的细颗粒不大于 5%,直径 1.42mm (14 目) 以上的粗颗粒不得大于 2%。

(3) 焊剂含水量 出厂焊剂的含水质量分数不得大于 0.01%。

(4) 焊接机械夹杂物 机械夹杂物(碳粒、生料、铁合金凝珠及其它杂物)的质量分数不得大于 0.30%。

(5) 焊剂的 S、P 含量  $w_s$  不得大于 0.060%,  $w_p$  不得大于 0.030%。

1. 焊剂牌号、型号举例说明

1) 牌号 HJ431X; 符合 GB5293-85 的型号标记为: HJ401-H08A。

① HJ431X。

HJ 熔炼焊剂;

1-- 高锰;

3 高硅低氟;

1 -- 序号为 1;

X - 颗粒直径为 0.28~1.42mm (60~14 目)。

② HJ101-H08A;

HJ - 焊剂;

4 力学性能  $\sigma_b = 411.9 \sim 519.2\text{MPa}$ ,  $\sigma_s \geq 329.5\text{MPa}$ ,  $\delta \geq 22.0\%$ ;

0- 焊态试样;

1 - 在 0℃ 时的冲击韧度值  $\geq 34.3\text{J/cm}^2$ ;

H08A 配用焊丝为 H08A。

2) 牌号 SJ401; 型号标记为: GB5293-85, HJ101-H08A。

① SJ401;

SJ - 烧结焊剂;

4 - 硅锰型 ( $w_{\text{MnO}} + w_{\text{SiO}_2} > 50\%$ );

01 顺序号。

颗粒直径为 0.45~2.5mm (10~8 目)。

② HJ101-H08A;

HJ --- 焊剂;

4 - 力学性能  $\sigma_b = 411.9 \sim 519.2\text{MPa}$ ,  $\sigma_s \geq 329.5\text{MPa}$ ,  $\delta \geq 22.0\%$ ;

0 焊态试样;

1 -- 在 0℃ 时的冲击韧度值  $\geq 34.3\text{J/cm}^2$ ;

H08A - 配用焊丝为 H08A。

5. 焊剂的主要用途 (见表 2-21)

表 2-21 焊剂的主要用途

焊剂类型	主 要 用 途
高硅型 熔炼 焊剂	根据含 MnO 量不同, 有高锰高硅、中锰高硅、低锰高硅、无锰高硅四种焊剂, 可向焊缝中过渡硅, 锰的过渡量与 SiO <sub>2</sub> 含量有关, 也与焊丝中的含 Mn 量有关。应根据焊剂中 MnO 含量来选择焊丝。用于焊接低碳钢和某些低合金结构钢
中硅型 熔炼 焊剂	碱度较高, 大多数属于弱氧化性焊剂, 焊缝金属含氮量低, 韧性较高, 配合适当焊丝焊接合金结构钢, 加入一定量的 FeO 成为中硅氧化性焊剂, 可焊接高强度钢
低硅型熔 炼焊剂	对焊缝金属没有氧化作用, 配合相应焊丝可焊接高合金钢, 如不锈钢, 热强钢等
氟碱型 烧结 焊剂	碱性焊剂, 焊缝金属有较高的低温冲击韧度, 配合适当焊丝焊接各种低合金结构钢, 用于重要的焊接产品。可用于多丝埋弧焊, 特别适用于大直径容器的双面单道焊
硅钙型 烧结 焊剂	中性焊剂, 配合适当焊丝可焊接普通结构钢、锅炉用钢、管线用钢, 用于多丝快速焊, 特别适于双面单道焊, 由于是短渣, 可焊接小直径管线
硅锰型 烧结 焊剂	酸性焊剂, 配合适当焊丝可焊接低碳钢及某些低合金钢, 用于机车车辆、矿山机械等金属结构的焊接
钎钛型 烧结 焊剂	酸性焊剂, 有较强的抗气孔能力, 对少量铁锈及高温氧化膜不敏感, 配合适当焊丝可焊接低碳钢及某些低合金结构钢, 如锅炉、船舶、压力容器, 可用于多丝快速焊, 特别适于双面单道焊
高铝型 烧结 焊剂	中等碱度, 为短渣熔剂, 工艺性能好, 特别是脱渣性能优良, 配合适当焊丝, 可用于焊接小直径环缝、深坡口、窄间隙等低合金结构钢, 如锅炉、船舶, 化工设备等

### 三、焊剂的化学成分

焊钢用熔炼焊剂的标准化学成分见表 2-22, 烧结焊剂的标准化学成分见表 2-23。

表 2-22 钢用熔炼焊剂的标准化学成分 (质量分数)

(%)

牌号	类型	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	CaO	MgO	CaF <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	NaF	ZrO <sub>2</sub>	FeO	S	P	K <sub>2</sub> O
HJ130	无锰高硅低氟	35~40	12~16	—	10~18	14~19	4~7	7~11	—	—	约 2.0	0.05	0.05	—
HJ131	无锰高硅低氟	34~38	6~9	—	48~55	—	2~5	—	—	—	≤1.0	0.05	0.08	≤3.0
HJ150	无锰中硅中氟	21~23	28~32	—	3~7	9~13	25~33	—	—	—	—	0.08	0.08	—
HJ151	无锰中硅中氟	24~30	22~30	—	≤6	13~20	18~24	—	—	—	≤1.0	0.07	0.08	—
HJ172	无锰低硅高氟	3~6	28~35	1~2	2~5	—	44~55	—	2~3	2~4	≤0.8	0.05	0.05	≤3.0
HJ230	低锰高硅低氟	40~46	10~17	5~10	8~14	10~14	7~11	—	—	—	≤1.5	0.05	0.05	—
HJ250	低锰中硅中氟	18~22	18~23	5~8	4~8	12~16	23~30	—	—	—	≤1.5	0.05	0.05	≤3.0
HJ251	低锰中硅中氟	18~22	18~23	7~10	3~6	14~17	23~30	—	—	—	≤1.0	0.08	0.03	—
HJ252	低锰中硅中氟	18~22	22~28	2~5	2~7	17~23	18~24	—	—	—	≤1.0	0.07	0.08	—
HJ260	低锰高硅中氟	29~34	19~24	2~4	4~7	15~18	20~25	—	—	—	≤1.0	0.07	0.07	—
HJ330	中锰高硅低氟	44~48	≤4.0	22~26	≤3.0	16~20	3~6	—	—	—	≤1.5	0.06	0.08	≤1.0
HJ350	中锰中硅中氟	30~35	13~18	14~19	10~18	—	14~20	—	—	—	≤1.0	0.06	0.07	—
HJ351	中锰中硅中氟	30~35	13~18	14~19	10~18	—	14~20	2~4	—	—	≤1.0	0.04	0.05	—
HJ430	高锰高硅低氟	38~45	≤5	38~47	≤6	—	5~9	—	—	—	≤1.8	0.06	0.08	—
HJ431	高锰高硅低氟	40~44	≤1	34~38	≤6	5~8	3~7	—	—	—	≤1.8	0.06	0.08	—
HJ433	高锰高硅低氟	42~45	≤3	44~47	≤4	—	2~4	—	—	—	≤1.8	0.06	0.08	≤0.5
HJ434	高锰高硅低氟	40~45	≤6	35~40	3~9	≤5	4~8	1~8	—	—	≤1.5	0.05	0.05	—

表 2-23 钢用烧结焊剂的标准化学成分 (质量分数)

牌 号	类 型	组成成分 (质量分数) %
SJ101	氟碱型	$(\text{SiO}_2 + \text{TiO}_2)$ 20~30; $(\text{CaO} + \text{MgO})$ 25~35; $(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{MnO})$ 15~30; $\text{CaF}_2$ 15~25
SJ201	高铝型	$\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 20$ ; $(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO}) > 45$ ; $\text{Mn Fe/Si Fe}$ 4~12
SJ301	硅钙型	$(\text{SiO}_2 + \text{TiO}_2)$ 35~45; $(\text{CaO} + \text{MgO})$ 20~30; $(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{MnO})$ 20~30; $\text{CaF}_2$ 5~15
SJ401	硅锰型	$(\text{SiO}_2 + \text{TiO}_2)$ 45; $(\text{CaO} + \text{MgO})$ 10; $(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{MnO})$ 40
SJ501	铝钛型	$(\text{SiO}_2 + \text{TiO}_2)$ 25~35; $(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{MnO})$ 50~60; $\text{CaF}_2$ 3~10
SJ502	铝钛型	$(\text{MnO} + \text{Al}_2\text{O}_3)$ 30; $(\text{TiO}_2 + \text{SiO}_2)$ 45; $(\text{CaO} + \text{MgO})$ 10; $\text{CaF}_2$ 5

#### 四、常用焊剂与焊丝的匹配

常用焊剂与配用焊丝见表 2-24。

表 2-24 常用焊剂与配用焊丝

牌 号	用 途	配 用 焊 丝	电 流
HJ130	低碳钢、普低钢	H10Mn2	交、直
HJ137	Ni 基合金	Ni 基焊丝	交、直
HJ150	轧辊堆焊	2Cr13、3Cr2W8	直
HJ172	高铬铁素体钢	相应钢种焊丝	直
HJ230	低碳钢、普通低合金钢	H08MnA、H10Mn2	交、直
HJ250	低合金高强度钢	相应钢种焊丝	直
HJ251	珠光体耐热钢	Cr-Mo 钢焊丝	直
HJ260	不锈钢、轧辊堆焊	不锈钢焊丝	直
HJ330	低碳钢及低合金结构钢重要结构	H08MnA、H10Mn2	交、直



(续)

牌 号	用 途	配 用 焊 丝	电 流
HJ350	低合金高强度钢重要结构	Mn Mo、Mn Si 及含 Ni 高强度钢焊丝	交、直
HJ430	低碳钢及低合金结构钢重要结构	H08A、H08MnA	交、直
HJ131	低碳钢及低合金结构钢重要结构	H08A、H08MnA	交、直
HJ433	低碳钢	H08A	交、直
SJ101	低合金结构钢	H08MnA H08MnMoA、 H08Mn2MoA H10Mn2	交、直
SJ201	低碳钢及低合金结构钢重要结构	H08A、H08MnA	交、直
SJ301	普通结构钢	H08MnA H08MnMoA H10Mn2	交、直

## 第五节 常用金属材料的埋弧焊

### 一、焊接工艺及焊接参数的选择

#### 1. 焊件准备

焊前的准备工作包括坡口加工、待焊部位的清理以及焊件的装配等

坡口加工要求按 GB986—88 执行,以保证焊缝根部不出现未焊透或夹渣,又可减少填充金属量。坡口的加工可使用刨边机、机械化、半机械化气割机、碳弧气刨等。

焊件清理主要指去除锈蚀、油污及水分,防止气孔的产生。可用喷砂、喷丸方法或手工清除,必要时用火焰烘烤待焊部位。

装配焊件应保证间隙均匀、高低平整,定位焊缝长度一般应大于 30mm,且定位焊缝质量应与主焊缝质量要求一致。必要时应采用专用

工装、卡具。

## 2. 焊接参数

根据焊接工艺的不同要求,可以有单面焊或双面焊;又可以有坡口或无坡口;有间隙或无间隙;有衬垫或悬空焊;单道焊或多道焊等。

(1) 焊剂垫上单面焊双面成形。埋弧焊时焊缝成形的质量主要与焊剂垫托力及根部间隙有关。所用的焊剂垫尽可能选用细颗粒焊剂,焊接参数见表 2-25。

表 2-25 焊剂垫上单面对接焊焊接参数

板厚 mm	根部间隙 /mm	焊丝 直径 /mm	焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊接速度 (cm/mm)	电流 种类	焊剂垫 压力 /kPa
3	0~1.5	1.6	275~300	28~30	56.7	交	81
3	0~1.5	2	275~300	28~30	56.7	交	81
3	0~1.5	3	400~425	25~28	117	交	81
4	0~1.5	2	375~400	28~30	66.7	交	101~152
4	0~1.5	4	525~550	28~30	83.3	交	101
5	0~2.5	2	425~450	32~34	58.3	交	101~152
5	0~2.5	4	575~625	28~30	76.7	交	101
6	0~3.0	2	475	32~34	50	交	101~152
6	0~3.0	4	600~650	28~32	67.5	交	101~152
7	0~3.0	4	650~700	30~34	61.7	交	101~152
8	0~3.5	4	725~775	30~36	56.7	交	-
10	3~4	5	700~750	34~36	50	交	-
12	4~5	5	750~800	36~40	45	交	-
14	4~5	5	850~900	36~40	42	交	-
16	5~6	5	900~950	38~42	33	交	-
18	5~6	5	950~1000	40~44	28	交	-
20	5~6	5	950~1000	40~44	25	交	-

注:坡口为 I 形。

(2) 铜衬垫上单面焊双面成形 铜衬垫的尺寸如图 2-7 所示, 见表 2-26, 焊接参数见表 2-27。

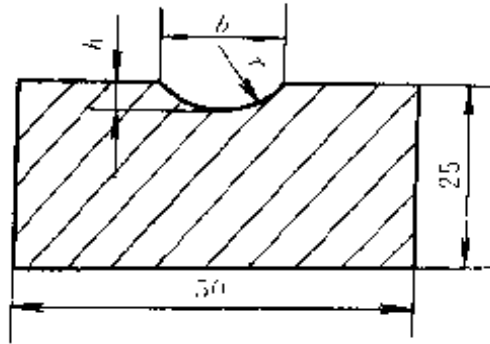


图 2-7 铜衬垫的截面

表 2-26 铜垫板的截面尺寸 (mm)

焊件厚度	槽宽 $b$	槽深 $h$	曲率半径 $r$
4~6	10	2.5	7.0
6~8	12	3.0	7.5
8~10	14	3.5	9.5
12~14	18	4.0	12

表 2-27 铜衬垫上单面对接焊焊接参数

板厚 /mm	根部间隙 /mm	焊丝直径 /mm	焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊接速度 /(cm·min)
3	2	3	380~420	27~29	78.3
4	2~3	4	450~500	29~31	68
5	2~3	4	520~560	31~33	63
6	3	4	550~600	33~35	63
7	3	4	610~680	35~37	58
8	3~4	4	680~720	35~37	53.3
9	3~4	4	720~780	36~38	46

(续)

板厚 /mm	根部间隙 /mm	焊丝直径 /mm	焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊接速度 /(cm/min)
13	4	1	780~820	38~40	16
17	5	1	850~900	39~41	38
14	5	1	880~920	39~41	36

注:坡口为I形。

(3) 热固化焊剂垫上单面焊双面成形 为提高生产率,坡口内可堆放铁合金粉粒,其焊接参数见表 2-28。

表 2-28 热固化焊剂垫上单面对接焊焊接参数

板厚 mm	V形坡口		焊道 顺序	焊接电流 /A	电弧电压 /V	金属粉粒度 /mm	焊接速度 /(cm/min)
	角度 (°)	根部 间隙 mm					
9	50	0~1	1	720	31	7	50
12	50	0~4	1	800	34	12	30
19	50	0~4	1	850	34	15	25
			2	810	36	0	
25	50	0~1	1	1200	45	15	20
32	15	0~1	1	1600	53	25	20
22 <sup>①</sup>	40	2~1	1	960	35	12	30
			2	810	36	0	
25 <sup>①</sup>	40	2~4	1	990	35	15	25
			2	810	38	0	
28 <sup>①</sup>	40	2~4	1	990	35	15	25
			2	930	40	0	

① 为双丝埋弧焊。

(1) 焊剂垫上双面焊 焊剂垫上双面焊的焊接参数见表 2-29、表 2-30、表 2-31。

表 2-29 焊剂垫上双面焊的焊接参数(一)

板厚/mm	根部间隙/mm	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度 /(cm/min)
14	3~4	700~750	34~36	50
16	3~4	700~750	34~36	45
18	4~5	750~800	36~40	45
20	4~5	850~900	36~40	45
24	4~5	900~950	38~42	42

注:1. 焊丝直径 5mm。

2. 坡口为 I 形。

表 2-30 焊剂垫上双面焊的焊接参数(二)

板厚/mm	根部间隙 /mm	焊丝直径 /mm	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度 /(cm/min)
6	0~1	3	380~400	30~32	57~60
		4	400~550	28~32	53~73
8	0~1	3	190~420	30~32	53~57
		4	500~600	30~32	63~67
10	2±1	4	500~600	36~40	50~60
		5	600~700	34~38	58~67
12	2±1	4	550~580	38~40	50~57
		5	600~700	34~38	58~67
14	3±0.5	4	550~720	38~42	50~53
		5	650~750	36~40	50~57
≤16	3±0.5	5	650~850	36~40	50~57

注:坡口为 I 形。

表 2-31 焊剂垫上双面焊的焊接参数(三)

板厚 /mm	焊丝 直径 /mm	坡口尺寸			焊接 顺序	焊接电流 /A	电弧电压 V	焊接速度 /(cm/min)
		角度 /(°)	钝边 /mm	根部 间隙 /mm				
14	5	70	3	3	1	830~850	36~38	12
					2	600~620	36~38	75
16	5	70	3	3	1	830~850	36~38	33
					2	600~620	36~38	75
18	5	70	3	3	1	830~860	36~38	33
					2	600~620	36~38	75
22	6	70	3	3	1	1050~1150	38~40	30
	5				2	600~620	36~38	75
24	6	70	3	3	1	1100	38~40	40
	5				2	800	36~38	47
30	6	70	3	3	1	1000	36~40	30
					2	900~1000	36~38	33

注：板厚 24mm、30mm 开 X 形坡口，其余为 V 形坡口。

(5) 悬空双面焊 悬空双面焊的焊接参数见表 2-32。

表 2-32 悬空双面焊的焊接参数

板厚/mm	焊丝直径 /mm	焊接顺序	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度 /(cm/min)
6	4	1	380~420	30	58
		2	430~470	30	55
8	4	1	410~480	30	56
		2	480~530	31	50

(续)

板厚/mm	焊丝直径 mm	焊接顺序	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度 (cm/min)
20	4	1	530~570	31	46
		2	590~610	33	46
12	4	1	620~660	35	12
		2	680~720	35	41
14	4	1	680~720	37	41
		2	730~770	40	38
15	5	1	800~850	34~36	63
		2	850~900	36~38	43
17	5	1	850~900	35~37	50
		2	900~950	37~39	43
18	5	1	850~900	36~38	60
		2	900~950	38~40	40
20	5	1	850~900	36~38	42
		2	900~1000	38~40	40
22	5	1	900~950	37~39	53
		2	1000~1050	38~40	40

注:坡口为I形,根部间隙为0~1mm。

(6) 多丝单面焊 多丝单面焊的焊接参数见表 2-33。

表 2-33 双丝、三丝单面焊的焊接参数

板厚 /mm	坡口尺寸		焊丝位置	焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊接速度 /(cm/min)
	角度/(°)	钝边/mm				
20	90	12	前	1400	32	60
			后	900	45	

(续)

板厚 /mm	坡口尺寸		焊丝位置	焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊接速度 /(cm/min)
	角度 / (°)	钝边 /mm				
25	90	15	前	1600	32	60
			后	1000	45	
32	75	16	前	1800	33	50
			后	1100	45	
35	75	18	前	1800	33	43
			后	1100	45	
20	90	9	前	2200	30	110
			中	1300	40	
			后	1000	45	
25	90	13	前	2200	30	95
			中	1300	40	
			后	1000	45	
32	70	15	前	2200	33	70
			中	1400	40	
			后	1100	45	
50	60	20	前	2200	33	40
			中	1400	40	
			后	1100	45	

注:1. 采用 V 形坡口, 无间隙。

2. 双丝时前后距离为 70mm, 三丝时前中距离为 50mm, 中后距离为 110mm。

(7) 角焊缝 埋弧焊角焊缝的焊接参数见表 2-34。



表 2 34 角焊缝的焊接参数

焊接位置	焊脚尺寸 mm	焊丝直径 mm	焊接电流 A	电弧电压 V	焊接速度 (cm/min)
船形焊	6	2	450~475	34~36	67
	8	3	550~600	34~36	50
	8	1	575~625	34~36	50
	10	3	600~650	31~36	38
	10	4	650~700	34~36	38
	12	3	600~650	34~36	25
	12	4	725~775	36~38	33
	12	5	775~825	36~38	50
平角焊	3	2	200~230	25~28	100
	4	2	280~300	28~30	52
	1	3	350	28~30	52
	5	2	375~400	30~32	52
	5	3	450	28~30	92
	5	4	450	28~30	100
	7	2	375~400	30~32	47
	7	3	500	30~32	80
	7	4	675	32~35	83

## 二、碳素钢埋弧焊

### 1. 焊丝与焊剂的选择

低碳钢埋弧焊时,为有利于熔池的氧化还原反应,保证焊缝的力学性能,则应合理地选用匹配焊丝与焊剂。若选用 H08A、H08E 焊丝,焊剂则应用高锰高硅型;若焊剂为无锰、低锰或中锰型,则焊丝应选用 H08MnA 或其它合金焊丝。低碳钢埋弧焊常用焊丝见表 2-35。焊丝与焊剂的匹配见表 2-36。

表 2-35 低碳钢埋弧焊常用焊丝的化学成分 (质量分数) (%)

牌 号	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	S	P
H08A	≤0.10	≤0.030	0.30~0.55	≤0.20	≤0.30	≤0.20	≤0.030	≤0.030
H08E	≤0.10	≤0.030	0.30~0.55	≤0.20	≤0.30	≤0.20	≤0.020	≤0.020
H08MnA	≤0.10	≤0.07	0.80~1.10	≤0.20	≤0.30	≤0.20	≤0.030	≤0.030
H15A	0.11~0.18	≤0.03	0.35~0.65	≤0.20	≤0.30	≤0.20	≤0.030	≤0.030
H15Mn	0.11~0.18	≤0.03	0.80~1.10	≤0.20	≤0.30	≤0.20	≤0.040	≤0.040
H10Mn2	≤0.12	≤0.07	1.50~1.90	≤0.20	≤0.30	≤0.20	≤0.035	≤0.035
H10MnSi	≤0.14	0.60~0.90	0.80~1.10	≤0.20	≤0.30	≤0.20	≤0.035	≤0.035

表 2-36 低碳钢埋弧焊焊丝与焊剂的匹配

钢材牌号	焊 丝	焊 剂
Q235	H08A	HJ430
Q255	H08A	HJ431
Q275	H08MnA	
15、20	H08A, H08MnA	
20g	H08MnA, H10MnSi, H10Mn2	HJ430
20R	H08MnA	HJ431
25、30	H08MnA, H10Mn2	HJ330

2. 生产工艺举例

电站锅炉主焊缝的双面埋弧焊

(1) 技术要求

锅筒材料:20g,  $\delta = 42\text{mm}$ ;

工作压力:3.82MPa;

焊缝表面:外形尺寸符合图样和工艺文件的规定;焊缝及热影响区表面无裂纹、未熔合、夹渣、弧坑、气孔和咬边;

焊缝 X 射线探伤:按 JB4730—94 I 级;

焊接接头力学性能:  $\sigma_s = 400 \sim 540\text{MPa}$ ,  $\sigma_b = 225\text{MPa}$ ,  $\delta_5 = 23\%$ 、冷弯  $\alpha = 180^\circ$ 、 $AK_v = 27\text{J}$ ;

焊接接头宏观金相:没有裂纹、疏松、未熔合、未焊透。

(2) 焊接工艺

1) 坡口形状及尺寸如图 2-8 所示。

2) 选用的焊接材料为  $\phi 5\text{mmH08MnA}$  焊丝和 HJ131。

3) 焊接参数见表 2-37,采用多层搭接焊,焊层分布如图 2-9 所示,层间温度为  $100 \sim 250^\circ\text{C}$ ,焊丝偏移量见表 2-38。

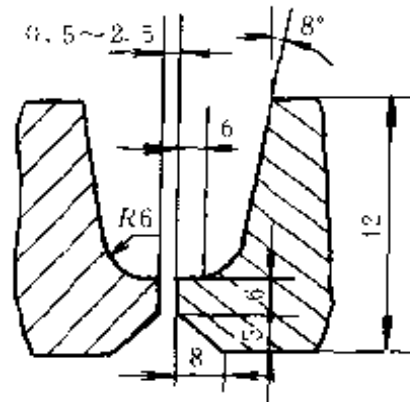


图 2-8 电站锅炉主焊缝对接坡口的形状及尺寸

表 2-37 电站锅炉主焊缝埋弧焊的焊接参数

焊接层次	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度/(cm/min)
1'	680~730	34~35	40~41.7
2'	750~770	34~35	40~41.7
背面气刨	碳精棒 $\phi 7\text{mm}$ , 槽宽 6~8mm, 槽深 4~5mm		
1	730~750	34~35	40~41.7
2~9	750~770	34~35	40~41.7
10	750~770	34~35	40~41.7
11	750~780	34~35	40~41.7

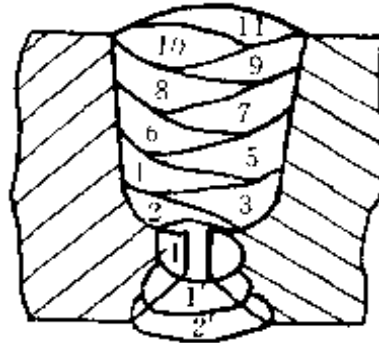


图 2-9 电站锅炉主焊缝的焊层分布图

表 2-38 电站锅炉主焊缝埋弧焊的焊丝偏移量

(mm)

焊 接 层 次	焊 丝 位 置
1'、2'、1	焊缝坡口中心
2、3	4~5 <sup>①</sup>
4、5、6、7	5~6 <sup>①</sup>
8、9	5~7 <sup>①</sup>
10、11	8~10 <sup>①</sup>

① 为焊丝距坡口侧壁的距离。

### (3) 焊接检验

1) 焊缝成形美观，过渡均匀，焊缝余高为 1.5~3mm，焊缝宽 35~38mm，焊缝表面无裂纹、咬边、未熔合、气孔等。

2) 按 JB4730-94 100%探伤 II 级合格。

3) 力学性能数据（见表 2-39），均合格。

表 2 39 电站锅炉主焊缝埋弧焊焊接接头的力学性能

检验项目	$\sigma_s$ /MPa	$\sigma_b$ /MPa	$\delta_5$ /%	弯曲	冲击功/J	
					焊缝	热影响区
焊缝拉伸	326~350	451~463	31~38.7	D-2S	-	-
接头拉伸	-	447~461	-	$\alpha=180^\circ$	-	-
侧弯	-	-	-	合格	-	-
冲击	-	-	-	-	35~88	30~50

4) 宏观金相检查时, 无任何肉眼可见缺陷。

### 三、低合金钢埋弧焊

#### 1. 焊丝与焊剂的选择

低合金钢埋弧焊用焊剂 (GB12470- 90) 对焊剂型号的划分有专门的规定, 其表示方法如下:

$FX_1X_2X_3X_4-H\times\times\times$

$F$  - 低合金钢埋弧焊用焊剂;

$X_1$  - 熔敷金属拉伸性能, 见表 2-40;

$X_2$  - 试样状态, 见表 2-11;

$X_3$  - 熔敷金属冲击吸收功分级, 见表 2-42;

$X_4$  - 焊剂渣系, 见表 2-43;

$H\times\times\times$  - 焊丝牌号。

表 2-40  $X_1$  数字的含义

$X_1$	$\sigma_b$ /MPa	$\sigma_s$ /MPa	$\delta_5$ /%
5	480~650	$\geq 380$	$\geq 22.0$
6	550~690	$\geq 460$	$\geq 20.0$
7	620~760	$\geq 540$	$\geq 17.0$
8	690~820	$\geq 610$	$\geq 16.0$
9	760~900	$\geq 680$	$\geq 15.0$
10	820~970	$\geq 750$	$\geq 14.0$

表 2-41 X<sub>2</sub> 数字的含义

X <sub>2</sub>	试样状态
0	焊态
1	焊后热处理状态

表 2-42 X<sub>3</sub> 数字的含义

X <sub>3</sub>	试验温度/℃	吸收功/J
0		无要求
1	0	≥27
2	20	
3	30	
4	40	
5	50	
6	-60	
8	-80	
10	-100	

表 2-43 X<sub>4</sub> 数字的含义

X <sub>4</sub>	渣 系	主要成分的质量分数/%
1	氟碱型	$\text{CaO} + \text{MgO} + \text{MnO} + \text{CaF}_2 > 50$ $\text{SiO}_2 \leq 20, \text{CaF}_2 \geq 15$
2	高铝型	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} > 45$ $\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 20$
3	硅钙型	$\text{CaO} + \text{MgO} + \text{SiO}_2 > 60$
4	硅锰型	$\text{MnO} + \text{SiO}_2 > 50$
5	铝钛型	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2 > 45$
6	其它型	不作规定

低合金钢埋弧焊常用焊丝见表 2-44，低合金结构钢焊剂与焊丝的组合见表 2-45、表 2-46。

表 2-44 低合金钢埋弧焊常用焊丝的化学成分 (质量分数) (%)

牌 号	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	Ti	S	P	Cu
H08A	≤0.10	≤0.03	0.30~0.55	≤0.20	≤0.30	-	-	-	0.020	0.020	0.20
H10Mn2	≤0.12	≤0.07	1.50~1.90	≤0.20	≤0.30	-	-	-	0.035	0.035	0.20
H08MnMoA	≤0.10	≤0.25	1.20~1.60	≤0.20	≤0.30	0.30~ 0.50	-	0.15	0.030	0.030	0.20
H08Mn2MoA	0.06~0.11	≤0.25	1.60~1.90	≤0.20	≤0.30	0.50~ 0.70	-	0.15	0.030	0.030	0.20
H08Mn2MoVA	0.06~0.11	≤0.25	1.60~1.90	≤0.20	≤0.30	0.30~ 0.70	0.06~ 0.12	0.15	0.030	0.030	0.20
H10Mn2MoVA	0.08~0.13	≤0.40	1.70~2.00	≤0.20	≤0.30	0.60~ 0.80	0.06~ 0.12	0.15	0.050	0.030	0.20
H10MnSi	≤0.11	0.60~0.90	0.80~1.10	≤0.20	≤0.30	-	-	-	0.035	0.035	0.20
H08Mn2Si	≤0.11	0.65~0.95	1.70~2.10	≤0.20	≤0.30	-	-	-	0.030	0.030	0.20

表 2-45 低合金结构钢埋弧焊剂与焊丝的组合(一)

钢 种	HJ431	HJ430	HJ350	HJ360	HJ250	HJ252	HJ130
Q315(16Mn)	H08A	H08A		H08MnMoA			
	H08MnA	H08MnA	H10Mn2	H10MnSi			H10Mn2
	H08Mn2	H10Mn2					
Q390(15MnV)	H08MnA	H08MnA	H08MnMoA	H08Mn2MoVA	H10Mn2	H10Mn2	
	H10Mn2	H10Mn2			H08MnMoA	H08MnMoA	
Q420 (15MnVN)	H10Mn2		H08MnMoA				
	H08MnMoA			H10Mn2MoVA	H08Mn2MoA	H08Mn2MoA	
14MnMoV			H08Mn2MoA		H08Mn2MoA	H08Mn2MoA	
			H08MnMoVA		H08Mn2MoVA	H08Mn2MoVA	
			H08Mn2NiMo		H08Mn2NiMo	H08Mn2NiMo	
18MnMoNb				H10Mn2MoVA	H08Mn2MoVA	H06Mn2NiNbA	

(1) 低合金结构钢已由 GB/T1591—94(括号外)代替 GB1591—88(括号内)。



表 2-46 低合金结构钢埋弧焊焊剂与焊丝的组合 (二)

钢 种	SJ101	SJ301	SJ401	SJ501	SJ502
Q345 (15Mn)	—	H08A	H08A	H08A	H08A
		H08MnA	H08MnA	H08MnA	H08MnA
Q390 (15MnV)	H10Mn2	—	—	—	—
	H08MnMoA	—	—	—	—
Q420 (15MnVN)	H08MnMoA	—	—	—	—
	H08Mn2MoA	—	—	—	—
14MnMoV	H08Mn2MoA	—	—	—	—
	H08Mn2NiMo	—	—	—	—

## 2. 低合金钢的焊接性

焊接用的低合金钢品种繁多,一般可分为高强度钢、低温用钢、耐蚀钢和珠光体耐热钢四类。

(1) 高强度钢 按钢材的屈服强度级别及热处理状态又可分为热轧、正火钢、低碳调质钢和中碳调质钢。热轧、正火钢属于非热处理强化钢,应用最为广泛,这里仅对此钢作一介绍。

1) 焊接工艺要点 热轧、正火钢多用于压力容器、锅炉、焊接气瓶和桥梁。焊接时热影响区被加热到 1100℃ 以上的粗晶区,是焊接接头的薄弱区。在 C-Mn 系钢中,焊接接头熔化区及最高加热温度低于  $A_c$  的亚临界热影响区,发现有热应变脆化现象。热轧钢冷裂纹倾向大,正火钢随碳当量和板厚的增加,冷裂纹倾向加大。此类钢热裂纹倾向小。

因此,对焊接热输入应有所控制。焊接含碳量低的热轧钢 Q295 (09Mn2、09MnNb) 及含碳量在下限的 Q345 (16Mn) 钢时,焊接热输入不必严格控制,但焊接含碳量高的 Q345 (16Mn) 钢,焊接热输入应大些。对于含 V、Nb、Ti 的钢,为降低粗晶区脆化的不利影响,应选择较小的热输入。对于碳及合金元素含量较高,强度高的正火钢 (18MnMoNb) 等,应选择较大的热输入,但应防止过热倾向,若已采

取了预热措施，则不必采用大的热输入。

预热温度的确定取决于钢材的碳当量、板厚、焊件结构形状和拘束度以及环境温度，见表 2-47、表 2-48。

表 2-47 热轧正火钢预热和焊后热处理参数

钢 材 牌 号	$\sigma_s$ 级别 /MPa	预热温度/°C	热处理温度/°C
Q295(09Mn2、09MnV)	295	不预热 (一般供货， 板厚 $\leq 16\text{mm}$ )	不热处理
Q345(16Mn、14MnNb)	345	100~150 ( $\delta \geq 30\text{mm}$ )	600~650 回火
Q390(15MnV、15MnTi、16MnNb)	390	100~150 ( $\delta \geq 28\text{mm}$ )	550 或 650 回火
Q420(15MnVN、14MnVTiRE)	420	100~150 ( $\delta \geq 25\text{mm}$ )	—
14MnMoV 18MnMoNb	490	150~200	600~650 回火

表 2-48 不同环境下焊接 Q345 (16Mn) 钢时的预热温度

板厚/mm	预 热 温 度
< 16	$> -10\text{°C}$ 不预热， $\leq -10\text{°C}$ 预热 100~150°C
16~24	$> -5\text{°C}$ 不预热， $\leq -5\text{°C}$ 预热 100~150°C
25~40	$> 0\text{°C}$ 不预热， $\leq 0\text{°C}$ 预热 100~150°C
> 40	均预热 100~150°C

后热 (150~250°C) 及消氢处理 (300~400°C) 有利于防止冷裂纹，并可降低预热温度。焊后热处理一般可不进行，有要求时按表 2-47 执行。消除应力处理可消除内应力，改善接头组织性能。对于低温使用的结构、抗应力腐蚀的容器、厚壁高压容器、要求尺寸稳定性的结构等均

应进行消除应力处理,以保证使用安全性。

热轧、正火钢埋弧焊所用焊丝和焊剂见表 2-49。

表 2-49 热轧正火钢埋弧焊用焊丝和焊剂

钢材牌号	$\sigma_s$ MPa	焊丝牌号	焊剂牌号
Q295(09Mn2,09MnV)	295	H08A H08MnA	HJ430 HJ431 SJ301
Q345 (.6Mn,16MnCu, 14MnNb)	345	薄板:H08A、 H08MnA	SJ501
		无坡口:H08A 开坡口:H08MnA、 H10Mn2	HJ130、 HJ431、 SJ301
		厚板:H10Mn2、 H08MnMoA	HJ350
Q390 (15MnV,15MnVCu, 16MnNb)	390	无坡口:H08MnA 开坡口:H10Mn2、 H16MnSi	HJ430、HJ431
		厚板:H08MnMoA	HJ250、 HJ350、 SJ101
Q420 (15MnVN,14MnVTiRE、 15MnVNCu)	420	H10Mn2 H08MnMoA、 H08Mn2MoA	HJ431 HJ350、 HJ250、 SJ101
18MnMoNb 14MnMoV 14MnMoVCu	490	H08Mn2MoA、 H08Mn2MoVA、 H08Mn2NiMo	HJ250、 HJ350、 SJ101

2) 焊接实例 H型钢厚板对接埋弧焊。

板材: Q345 (15Mn),  $\delta=40\text{mm}$

焊接材料: 焊丝为 H08MnA,  $\phi 4\text{mm}$ , 焊剂为 SJ101, 使用前烘焙  $300\sim 350\text{C}$ , 保温 2h。

坡口形式如图 2-10 所示, 坡口加工采用刨边机。若采用火焰切割, 则将坡口处 0.5mm 的硬化层磨去。坡口及侧面 ( $2\delta=30\text{mm}$ ) 应做超声波检查, 确定焊修或报废。坡口及附近 30mm 范围表面上, 应无水分、油污、锈迹和毛刺。

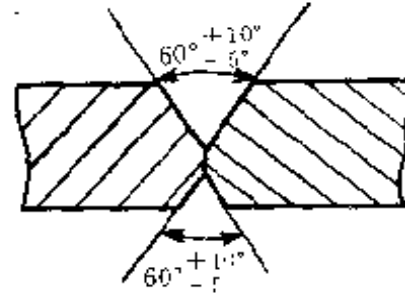


图 2-10 H型钢厚板对接埋弧焊的坡口尺寸

定位焊缝长 60~70mm, 间距 400mm。焊前母材的清理、预热、焊条选用和烘焙与正式施焊时相同。

引弧板和引出板为  $100\text{mm}\times 75\text{mm}$ , 其上的坡口与焊件一致。

预热温度  $t=107\text{C}$ , 预热宽度为坡口每侧 76mm。层间温度为  $150\sim 180\text{C}$ , 焊接参数见表 2-50。

表 2-50 H型钢对接埋弧焊的焊接参数

焊道		焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊接速度 / (cm/min)	热输入 / (kJ/cm)	电源
正面	1	450~500	33	50	19.8	直流反接
	其余	550~600	33.5~38	43	31.8	
背面	1	450~550	34.5	50	20.7	
	其余	550~600	35~38	43	31.8	

焊缝外观检查: 余高  $< 3.3\text{mm}$ ; 保证焊缝有效尺寸, 焊缝低于母材  $< 0.8\text{mm}$ ; 焊缝宽度为坡口宽加 4~6mm; 咬边深度  $< 0.5\text{mm}$ , 当焊缝长度  $\geq 305\text{mm}$  时, 咬边累计长度  $< 51\text{mm}$ 。

无损检测：100%探伤，并在焊后 48h 后检测，不允许有裂纹、未熔合、气孔、未焊透，不允许存在与拉应力方向垂直的横向气孔、未焊透，在每 25.4mm 内所有气孔直径的总和 $<9.5\text{mm}$ ，在 305mm 内所有气孔直径总和 $<19\text{mm}$ 。每个夹渣的最大尺寸 $<2.4\text{mm}$ ，在 6 倍焊缝有效尺寸长度内，单个夹渣尺寸的总和小于焊缝有效尺寸，单个夹渣间距应大于该组夹渣中最大尺寸的 3 倍。

宏观金相检查，不允许有裂纹或超标气孔、夹渣、未焊透存在。

焊缝化学成分与力学性能及焊接接头力学性能均应符合标准要求。

(2) 低温用钢 主要用于低温下工作的容器、管道和结构。低温用钢可分成为无镍及含镍两大类，保证在使用温度下有足够的韧性及抗脆性破坏的能力。低温用钢一般是通过合金元素的固溶强化、细化晶粒，并通过正火、回火处理细化晶粒、均匀化组织，来获得良好的低温韧性。

1) 焊接工艺要点 低温用钢含碳量低，淬硬倾向小，不易产生冷裂纹，有良好的焊接性。为避免焊接过程中产生粗晶组织而降低韧性，焊接时要采用小的热输入，一般控制在  $28\sim 45\text{kJ/cm}$ 。焊接电流不宜过大，采用快速多道焊，并控制层间温度 $\leq 200\sim 300^\circ\text{C}$ ，防止焊道过热。同时通过多层焊的重热作用来细化晶粒。

焊接低温钢时应避免产生焊接缺陷（弧坑、未焊透、焊缝成形不良等），一旦出现缺陷，应及时修补，防止低温时钢材对缺陷及应力集中的敏感性而产生低温脆性破坏。

焊前除  $w_{\text{Ni}}$  为 3.5% 的钢要求  $150^\circ\text{C}$ ， $w_{\text{Ni}}$  为 9% 的钢要求  $100\sim 150^\circ\text{C}$  预热外，其余钢种不需预热。

焊后消除应力热处理可以降低低温用钢产品的脆断倾向。 $w_{\text{Ni}}$  为 3.5% 的钢及其它铁素体-珠光体类低温钢，当板厚或其它因素造成不利的焊接残余应力状态时，考虑采用消除应力热处理。 $w_{\text{Ni}}$  为 9% 的钢及其余奥氏体类低温钢，一般不进行消除应力热处理。

无镍低温用钢埋弧焊焊丝与焊剂的选择见表 2-51；焊接参数见表 2-52。

表 2-51 无镍低温用钢埋弧焊用焊丝与焊剂

钢种牌号	板厚/mm	工作温度/ /C	焊丝牌号	焊剂牌号
Q345DR (16MnDR)	5~20	-40	H08A、	HJ431、
	21~38	-30	H08MnNiMoA	SJ603
09MnTiCuREDR	5~20	60	H08Mn2MoVA	HJ250
	21~30	50		
	32~40	-40		
09Mn2VDR	6~20	-70	H08Mn2MoVA	HJ250
20Mn23Al		-196	Fe-Mn Al1 <sup>#</sup>	HJ173
15Mn26Al4		-253	Fe-Mn-Al2 <sup>#</sup>	HJ173

表 2-52 无镍低温用钢埋弧焊的焊接参数

工作温度/C	焊丝直径/mm	焊接电流/A	电弧电压/V
-40	2	260~400	36~42
-40	5	750~820	35~43
-70	3	320~450	32~38
-196~-253	1	400~420	32~34

2) 焊接实例 乙烯蒸馏塔纵缝的埋弧焊。

工作温度：-70℃；

工作压力：0.6MPa；

板材：0.9Mn2V（正火） S=16mm；

焊接材料：焊丝为 H08Mn2MoVA，焊剂为 HJ250，使用前烘干 300~350℃，保温 2h；

坡口形式为 I 形，根部间隙为 4mm；

采用直流电源反接。

焊前将坡口两侧各 50mm 范围内的水分、油及污物清除干净，并除锈及氧化皮，直至露出金属光泽。

焊接定位焊缝时采用 W707 焊条, 焊前烘干 350℃, 保温 1h。焊接电流:  $\phi 4\text{mm}$  焊条为 140~180A。

焊接第一层里面焊缝时采用焊剂垫, 并使焊剂垫与筒体紧密贴合, 不得有间隙。乙烯蒸馏塔筒体纵缝埋弧焊焊接参数见表 2-53。

表 2-53 乙烯蒸馏塔筒体纵缝埋弧焊的焊接参数

焊 层	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度/(cm/min)
1 (里面)	400	34	50
2 (外面)	420	32	45

(3) 耐热钢 焊接低合金耐热钢时的主要问题是淬硬性, 消除应力处理裂纹倾向和回火脆性。

1) 焊接工艺要点 焊接坡口加工一般采用火焰切割法, 为防止切割边缘裂纹, 应采取相应的工艺措施: 对于  $\delta < 15\text{mm}$  的 0.5Mo 钢, 切割前不预热, 切割边缘应经机械加工; 1.25Cr-0.5Mo 钢及  $\delta > 15\text{mm}$  的 0.5Mo 钢, 切割前应预热 100℃ 以上, 切割边缘应机械加工并用磁粉探伤检查裂纹; 2.25Cr-Mo~3Cr-Mo 钢和  $\delta > 15\text{mm}$  的 1.25Cr-Mo 钢, 切割边缘预热 150℃ 以上, 切割边缘经机械加工并用磁粉探伤检查有无裂纹。

低合金耐热钢埋弧焊使用碱性焊剂, 为防止焊剂吸潮带入焊缝水分形成氢裂纹, 应严格执行焊剂的存放、烘干、保管制度, 表 2-54 为焊剂的烘干规范。

表 2-54 耐热钢用焊剂的烘干规范

焊剂类型	烘干温度/℃	烘干时间/h	保存温度/℃
熔炼焊剂	100~450	2~3	120~150
烧结焊剂	300~350	2~3	120~150

为防止冷裂纹和消除应力裂纹, 构件焊前应预热, 预热温度见表 2-55。大型构件仅能做局部预热, 但必须保证预热宽度大于构件厚度的 1 倍, 且不小于 150mm, 拘束度较高的构件预热温度可以比表 2-55 中的温度值高 50℃。



表 2-55 低合金耐热钢的最低预热温度

钢 种	厚度/mm	温度/℃
0.5Mo	≥20	80
1Cr 0.5Mo	≥20	120
1.25Cr-0.5Mo	≥20	120
2.25Cr-1Mo	≥10	150
1Cr-Mo-V	≥10	150
2CrMoWVTiB	所有厚度	150
Mn Mo	≥30	150
Mn-Ni Mo	≥30	150

焊后热处理有利于消除残余应力,改善焊缝组织,提高焊接接头的综合力学性能。但应避开回火脆性温度范围。表 2-56 给出了最低焊后热处理温度。

低合金耐热钢埋弧焊用焊丝和焊剂见表 2-57。

表 2-56 低合金耐热钢的最低焊后热处理温度

钢 种	热处理温度/℃
0.5Mo	500~620
0.5Cr-0.5Mo	620~610
1Cr 0.5Mo	640~680
1.25Cr-0.5Mo	640~680
2.25Cr 1Mo	680~700
1Cr-Mo-V	720~740
2Cr-MoWVTiB	760~780



表 2-57 低合金耐热钢用焊丝和焊剂

钢 种	钢 号	焊丝牌号	焊剂牌号
0.5Cr-0.5Mo	12CrMo	HJ0MoCrA	HJ350
1Cr-0.5Mo 1.25Cr-0.5Mo	15CrMo	H08CrMoA	HJ350
1Cr-0.5Mo-V	12Cr1MoV	H08CrMoVA	HJ350
2.25Cr-1Mo	Cr2Mo	H08Cr3MoMnA	HJ350、SJ101
2Cr-MoWVTiB	12Cr2MoWVTiB	H08Cr2MoWVNbB	HJ250
Mn-Mo	14MnMoV	H08MnMoA	HJ350
	18MnMoNb	H08Mn2MoA	SJ101
Mn-Ni-Mo	13MnNiMoNb	H08Mn2NiMo	HJ350、SJ101

2) 2.25Cr-Mo 埋弧焊 工艺规程

坡口形式如图 2-11 所示；焊条选用 R407，直径  $\phi 4\text{mm}$ 、 $\phi 5\text{mm}$ ；焊丝选用 H08Cr3MoMnA，直径  $\phi 4\text{mm}$ ，清油除锈；焊剂选用 SJ101，烘干  $300\sim 350^\circ\text{C}$ ，保温 2h；焊前清理坡口及两侧直至露出金属光泽；焊接参数见表 2-58。

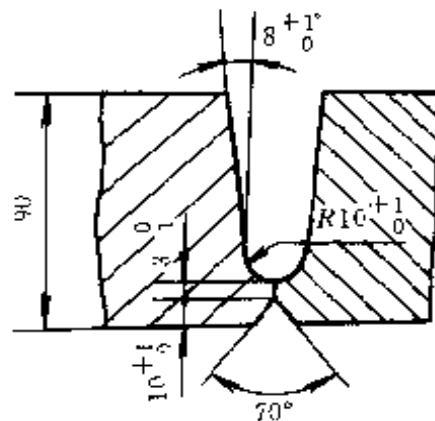


图 2-11 低合金耐热钢埋弧焊的坡口形式

表 2-58 2.25Cr-1Mo 钢埋弧焊的焊接参数

项 目	数 据
预热温度 / °C	150 ~ 200
层间温度 / °C	≥ 150
焊接电流 / A	600 ~ 650
电弧电压 / V	35 ~ 36
焊接速度 / (cm/min)	42 ~ 47
电源	直流反接
后热温度 / °C	> 250, 1h
焊后消除应力处理	730°C ± 10°C, 4h
焊后检查	100% 超声波探伤, 25% 射线探伤 热处理前后 100% 磁粉探伤

#### 四、不锈钢埋弧焊

埋弧焊焊接的不锈钢主要指奥氏体型不锈钢。

##### 1. 焊丝与焊剂的选择

焊接奥氏体不锈钢用埋弧焊焊丝的化学成分见表 2-59, 焊剂见表 2-60。

表 2-59 奥氏体不锈钢埋弧焊用焊丝的化学成分  
(质量分数) (%)

牌 号	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	其它
H0Cr21Ni10	≤ 0.06					9.00	19.50	—
						~	~	
H00Cr21Ni10	≤ 0.03					9.00	19.50	—
						~	~	
H0Cr20Ni10Ti	≤ 0.06	≤ 0.60	1.00 ~ 2.50	≤ 0.030	≤ 0.020	9.00	18.50	Ti 9 × C% ~ 1.00
						~	~	
H0Cr20Ni10Nb	≤ 0.08					9.00	19.00	Nb 10 × C% ~ 1.00
						~	~	
						11.00	21.50	

表 2-60 奥氏体不锈钢埋弧焊用焊剂

焊 丝	焊 剂
H0Cr21Ni10	HJ151、HJ260、SJ601、SJ641
H00Cr21Ni10	HJ151、HJ260、SJ601、SJ641
H0Cr20Ni10Ti	HJ172、HJ151、HJ260、SJ601、SJ641
H0Cr20Ni10Nb	HJ172、HJ151、HJ260、SJ601、SJ641

## 2. 奥氏体不锈钢的焊接特点

焊接奥氏体不锈钢的主要问题是热裂纹、脆化、晶间腐蚀和应力腐蚀。

### (1) 防止热裂纹的措施

1) 对 18-8 型不锈钢,使焊缝金属组织为奥氏体-铁素体双相组织,铁素体含量以质量分数为 4%~12%为宜。

2) 减少 S、P 等杂质的含量。

3) 对 18-8 型不锈钢,在保证铁素体含量前提下,适当提高 Mn、Mo 含量,减少 C、Cu 含量。

4) 采用小的焊接热输入,低的层间温度。

5) 采用无氧焊剂。

### (2) 防止 475℃脆化和 $\sigma$ 相析出脆化的措施

1) 选择合适的焊接参数,使焊接接头在 100~600℃和 650~850℃两个温度区内有较快的冷却或加热速度。

2) 当发生脆化时,可以用热处理方法消除。600℃以上短时加热后空冷,可消除 475℃脆化,加热到 930~980℃急冷,可消除  $\sigma$  相脆化。

### (3) 防止晶间腐蚀的措施

1) 采用小的焊接热输入,多焊道,以及焊接过程中采用强迫焊接接头快冷的工艺措施,缩短焊接区在 450~850℃的停留时间。

2) 采用奥氏体-铁素体双相组织焊缝或含有 Ti、Nb 稳定元素及超低碳的焊丝。

3) 对焊后不再经受 450~850℃加热的结构,进行固溶处理,对含稳定元素 Ti、Nb 的不锈钢采用稳定化处理,见表 2-61。

表 2 61 奥氏体不锈钢埋弧焊的焊后热处理规范

热处理内容	工 艺 参 数
完全退火	加热到 1065~1120℃, 缓冷
退火	加热到 850~900℃, 缓冷
固溶处理	加热到 1065~1120℃, 水冷或急冷
消除应力处理	加热到 850~900℃, 空冷或急冷
稳定化处理	加热到 850~900℃, 空冷

## (4) 防止应力腐蚀的措施

- 1) 采用焊后热处理消除或减少残余应力。
- 2) 合理制定工艺, 安排焊接顺序, 减少残余应力。
- 3) 采用奥氏体-铁素体双相组织焊缝。
- 4) 有必要时采用高镍 ( $\alpha_{Ni}$  为 40%) 的焊缝金属。
- (5) 奥氏体不锈钢埋弧焊焊接参数见表 2-62。

表 2 62 奥氏体不锈钢埋弧焊的焊接参数

板厚 mm	坡口 形式	焊丝 直径 /mm	正面焊缝			背面焊缝		
			焊接 电流 /A	电弧 电压 /V	焊接速度 (cm/min)	焊接 电流 /A	电弧 电压 /V	焊接速度 (cm/min)
6	I	4	100	28	80	450	30	70
9	I	4	350	29	70	600	30	60
12	V	4	450~ 500	34~ 36	50~53	600	34~36	47~53
16	X	4	500	32	50	650	32	40
20	X	4	600	32	50	800	32	40
65	U	4	480~ 520	36~ 38	43~50	550~ 600	36~38	42~43

### 3. 焊接实例

30m<sup>3</sup> 不锈钢发酵罐的焊接。

(1) 技术条件 板材为 0Cr19Ni9, 板厚  $\delta=10\text{mm}$ ; 筒体直径为 2400mm, 长为  $L=9896\text{mm}$ ; 工作压力为 0.25MPa; 工作介质为发酵液蒸汽; 工作温度为 115℃。

(2) 焊接工艺规范 采用 J 形坡口, 根部间隙为 4mm, 坡口及两侧 50mm 以内应清理干净, 不得有油污及杂质; 焊丝为 H0Cr21Ni10, 并清理干净, 直径为  $\phi 4\text{mm}$ ; 焊剂为 HJ260, 烘干规范为 250℃ 保温 2h; 电源为直流反接; 焊接参数见表 2-63。

表 2-63 30m<sup>3</sup> 不锈钢发酵罐的焊接参数

正 面 焊 缝			背 面 焊 缝		
焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊接速度 (cm/min)	焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊接速度 / (cm/min)
550	29	70	600	30	60

为防止 475℃ 脆化及  $\sigma$  脆性相析出, 焊接过程中, 采用反面吹风及正面及时水冷的措施, 快速冷却焊缝。

焊后进行焊缝外观检验, 外观合格则进行 20% 的 X 射线探伤, 且符合 JB4730-91 标准 II 级要求, 同时对工艺纪律检查试板进行 X 射线探伤和力学性能试验。合格后进行整体水压试验, 试验压力为 0.31MPa。

## 五、镍基耐蚀合金埋弧焊

埋弧焊适用于固溶强化镍基耐蚀合金的焊接

### 1. 焊丝与焊剂的选择

镍基耐蚀合金埋弧焊用焊丝见表 2-64。

### 2. 埋弧焊工艺特点

镍基耐蚀合金埋弧焊时的主要问题是热裂纹、气孔。

1) 为防止热裂纹的产生, 在工艺上采用合理的装配与焊接顺序, 选用较小的热输入是有益的, 关键是选用合适的焊接材料。

表 2-64 镍基耐蚀合金埋弧焊用焊丝化学成分的质量分数<sup>①</sup> (%)

型号	牌号	C	Mn	Fe	P	S	Si	Cu	Ni	Al	Ti	Cr	Nb <sup>②</sup> + Ta	Mn	W
ERNI-1	HS501 (镍 61)	0.15	1.0	1.0	0.03	0.015	0.75	0.25	≥93	1.5	2.0~ 3.5	—	—	—	—
ERNiCu-7	蒙镍尔 60	0.15	4.0	2.5	0.02	0.015	1.25	其余	62~ 69	1.25	1.5~ 3.0	—	—	—	—
ERNiCr-3	因康镍 82	0.10	2.5~ 3.5	3.0	0.03	0.015	0.5	0.5	≥67	—	0.75	18.0~ 22.0	2.0~ 3.0	—	—
ERNiCrFe-5	因康镍 62	0.08	1.0	6.0 ~ 10.0	0.03	0.015	0.35	0.5	≥70	—	—	14.0~ 17.0	1.5~ 3.0	—	—
ERNiCrFe-7	因康镍 69	0.08	1.0	5.0 ~ 9.0	0.03	0.015	0.5	0.5	≥70	0.4~ 1.0	2.0~ 2.75	14.0~ 17.0	0.7~ 1.2	—	—
ERNiCrMo-3	因康镍 625	0.10	0.5	5.0	0.02	0.015	0.5	0.5	≥58	0.4	0.4	20.0~ 23.0	3.15~ 4.15	8.0 ~ 10.0	—

① 表中所列单个值, 除其它规定, 均为最大值。

② 钒有要求时质量分数最大为 2.5。

2) 当母材温度低于 15℃ 时, 为防止空气中的湿气吸附在母材表面导致气孔的产生, 应将坡口两侧 250~300mm 范围内加热到 15~20℃。

3) 焊件的清理是防止裂纹特别是气孔产生的极重要的措施, 必须严格执行。污物、油脂可用蒸汽脱脂或用丙酮清洗, 油漆可用碱、专用洗涤剂清洗, 标记墨水可用甲醇清除。

4) 接头形式如图 2-12 所示, 应尽量减少熔化金属, 减少焊接变形与残余应力。V 形坡口适用于 25mm 以下的板材, U 形坡口适用于 20mm 以上的板材, 并尽可能用双 U 形。

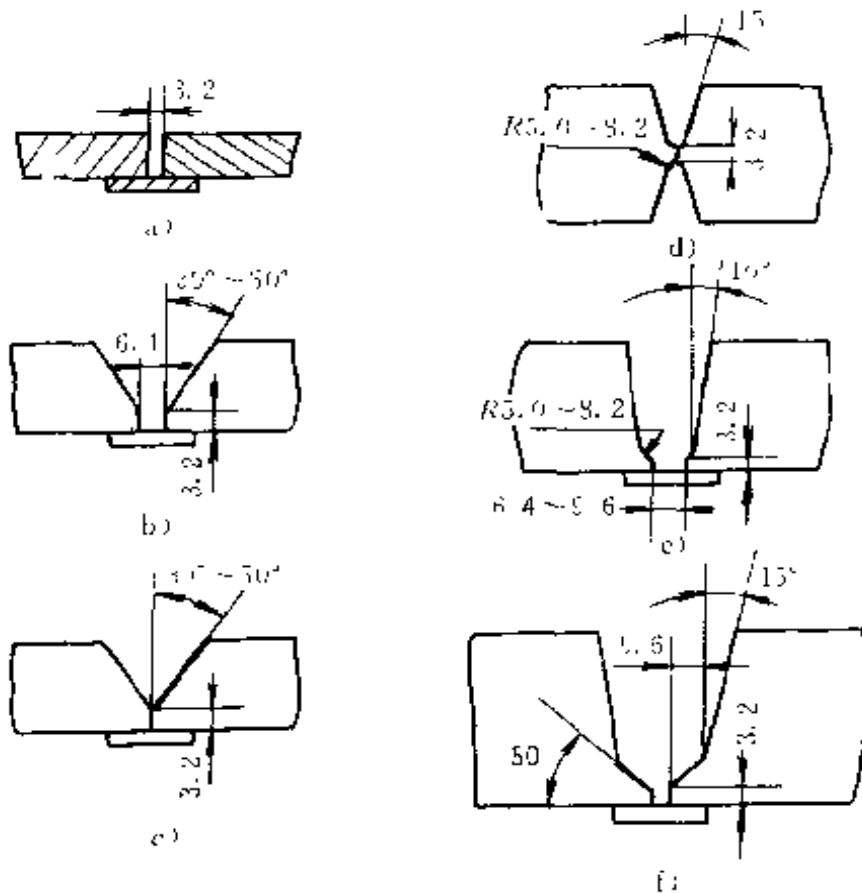


图 2-12 镍基耐蚀合金埋弧焊的典型接头形式

### 六、铜及铜合金埋弧焊

埋弧焊电弧热量集中,焊接接头力学性能较高,对于纯铜、青铜焊接性较好,对于黄铜焊接性尚可。一般多在中等厚度纯铜件的焊接时采用,30mm以下的纯铜板可以实现不预热埋弧焊。

#### 1. 焊丝与焊剂的选择

铜及铜合金埋弧焊用焊丝的化学成分见表 2-65,焊剂见表 2-66。

表 2-65 铜及铜合金埋弧焊用焊丝的化学成分 (质量分数)

(%)

焊丝牌号	焊丝型号	Cu	Sn	Si	Mn	P	Pb	Al	Zn	杂质
HS201	HSCu	≥98.0	≤1.0	≤0.5	≤0.5	≤0.15	≤0.02	≤0.01	—	总和 ≤0.50
HS202	HSCu	99.8~ 99.6	—	—	—	0.20~ 0.40	—	—	—	—
HS220	HSCuZn-1	57~ 61	0.5~ 1.5	—	—	—	≤0.05	—	余量	总和 ≤0.5
HS221	HSCuZn-3	56.0~ 62.0	0.5~ 1.5	0.1~ 0.5	—	—	≤0.05	≤0.01	—	总和 ≤0.50
—	HSCu	≥98.0	≤1.0	≤0.5	≤0.5	—	—	—	—	—

表 2-66 铜及铜合金埋弧焊用焊剂

类 型	牌 号
中硅中氟	HJ150
低锰中硅中氟	HJ250
低锰高硅中氟	HJ250
中锰高硅中氟	HJ350
高锰高硅低氟	HJ431

#### 2. 铜及铜合金埋弧焊的特点

(1) 坡口形式 埋弧焊的坡口形式见表 2-67。



表 2 67 铜及铜合金埋弧焊用坡口形式

板厚/mm	坡口形式	根部间隙/mm	钝边/mm	角度/ (°)
3~4	I	1	-	—
5~6	I	2.5	-	—
8~10	V	2~3	3~4	50~70
12~16	V	2.5~3.0	3~4	70~80
21~25	V	1~3	4	80
≥20	X	1~2	2	60~65
35~40	U	1.5	1.5~3.0	5~15

(2) 焊前预热 根据经验纯铜埋弧焊时可不预热, 但为保证焊接质量, 对于厚度大于 20mm 的焊件最好采取局部预热(200~400℃), 过高的预热温度会引起热影响区晶粒长大倾向, 并产生剧烈氧化, 以致形成气孔、夹渣, 降低焊接接头力学性能。

(3) 焊接用垫板 埋弧焊时采用焊剂垫, 可采用纯铜或碳素钢槽支承焊剂垫。焊接双面焊的背面焊缝时, 也适合在焊剂垫上进行。

(4) 焊接参数 铜及铜合金埋弧焊的焊接参数见表 2-68。

焊接极性为反接法, 焊丝伸出长度为 35~40mm。焊丝垂直或前倾 10°, 焊件水平或倾斜 5'~10°, 采用上坡焊。

### 3. 焊接实例

#### 精馏塔纵缝的埋弧焊

板材为 TU1,  $\delta=10\text{mm}$ ; 焊丝为 HS201, 直径为  $\phi 2.5\text{mm}$ ; 焊剂为 HJ431; 坡口形式为 V 形, 坡口角度为 60°, 钝边为 4mm, 根部间隙为 1~3mm。

采用双面焊, 焊正面时背部采用焊剂垫, 焊背面时也采用焊剂垫, 焊剂垫与焊件压紧, 不得有间隙。

采用直流反接电源, 焊接参数见表 2-69。

焊接接头检验:  $\sigma_b > 200\text{MPa}$ ,  $\delta > 25\%$ , 冷弯 180°合格。耐腐蚀性能高于母材。

表 2-68 铜及铜合金埋弧焊的焊接参数

材料	板厚 /mm	坡口形式	焊接材料		焊丝 直径 /mm	焊接电流 (直流反接) /A	电弧电压 /V	焊接速度 /(m/h)	备注
			焊丝	焊剂					
纯铜	5~6				4	500~550	35~40	25~20	单面单层加垫板
	10~12	对接	HS201	HJ431	5	700~800	40~45	20~15	
	16~20		HS202	HJ260	6	900~1000	45~50	12~8	
	25~40	U形		HJ150	4~5	1000~1400	50~55	15~10	
黄铜	4				1.5	180~200	24~26	20	单面单层加垫板
	8	对接无坡口	HS220	HJ431	1.5	300~380	26~28	20	
	12		HS221		2.0	450~470	30~32	25	
	18	V形			3.0	650~700	32~34	30	
铝青铜	10	对接			2	450	35~36	25	单面双层加垫板
	15	V形	HSCuAl	HJ431 HJ150	3	550~650	35~36	25	
	26	X形			4	750~800	36~38	25	

表 2-69 精馏塔纵缝的埋弧焊焊接参数

焊接顺序	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度/(cm/min)
正面	410	35	58
铲除焊根			
背面	410	35	58

## 第六节 埋弧焊焊接缺陷的产生原因及防止方法

埋弧焊同其它各种熔焊一样,由于材料、设备、工艺等诸方面因素的影响,也会产生焊接缺陷。按 GB6117—86《金属熔化焊焊缝缺陷分类及说明》,金属熔化焊焊缝缺陷可分为六类,见表 11-2。

这里着重介绍一下裂纹、夹渣和气孔

### 1. 裂纹

一般情况下,埋弧焊产生两种裂纹:热裂纹——结晶裂纹;冷裂纹——氢致裂纹。

(1) 结晶裂纹 其发生在焊缝金属。由于焊缝中的杂质在焊缝结晶过程中形成低熔点共晶,结晶时被推挤在晶界,形成液态薄膜,凝固收缩时焊缝金属受拉应力作用,液态薄膜承受不了拉应力而形成裂纹。

所以,要控制焊缝金属杂质的含量,减少低熔点共晶物的生成。同时焊缝形状对结晶裂纹的形成有明显的影晌,熔宽与熔深比小易形成裂纹,熔宽与熔深比大抗结晶裂纹性较高。

(2) 氢致裂纹 其常发生于焊缝金属或热影响区,特别是低合金钢、中合金钢和高强度钢的热影响区易产生氢致裂纹。

防止氢致裂纹的措施:

1) 减少氢的来源,采用低氢焊剂,并注意焊剂的防潮,使用前严格烘干。焊丝和焊件坡口附近的锈、油污、水份等要清除干净。

2) 选择合理的焊接参数,降低钢材的淬硬程度,改善应力状态,使之有利于氢的逸出,必要时采取预热措施。

3) 采用后热或焊后热处理,使之有利于氢的逸出,并消除应力,改善组织,提高焊接接头的延性。

4) 改善焊接接头设计,防止应力集中,降低接头拘束度。选择合适的坡口形式,降低裂纹敏感性。

### 2. 夹渣

埋弧焊时夹渣与焊剂的脱渣性有关,与坡口形式、焊件的装配情况及焊接工艺有关。

SJ101比HJ431的脱渣性好,特别是窄间隙埋弧焊和小角度坡口焊接时,SJ101对防止夹渣的产生极为有利。

焊缝成形对脱渣情况有明显影响,平面凸的焊缝比深凹或咬边的焊缝更易脱渣。多层焊时前道焊缝与坡口边缘熔合充分,则易脱渣。深坡口焊时,多道焊夹渣可能性小。

### 3. 气孔

1) 焊接坡口及附近存在油污、锈等,在焊接时产生大量气体,促使气孔生成,故焊前必须将其清除干净。

2) 焊剂中的水分、污物和氧化铁屑都促使气孔的产生。焊剂的保管要防潮,焊剂使用前要按规范严格烘干。回收使用的焊剂应筛选。

3) 焊剂的熔渣粘度过大不利于气体释放,含在焊缝表面产生气孔。SJ402焊剂抗气孔能力优于HJ431,这是由于SJ402熔渣碱度偏低,熔渣有较高的氧化性,有助于防止氢气孔的产生;焊剂中氟化钙含量较高,高温下熔渣粘度低,有利于熔池中气体逸出;焊剂中加入有效的脱氧剂,能镇静熔池,防止一氧化碳气孔。

4) 电弧磁偏吹及焊剂覆盖不良等工艺都促使气孔的产生,施焊时应注意防止。

5) 环境因素及板材的初始状态与气孔的产生有关。相对湿度高的环境易产生气孔,5℃以下时,空气中的水分冷凝成水附在板材表面,焊接时进入熔池形成气孔,为防止气孔的产生应用气焊火焰对焊件坡口处进行烘干,使水分蒸发。

# 第三章 气体保护焊

## 第一节 概 述

### 一、气体保护焊的定义

用外加气体作为电弧介质并保护电弧和焊接区的电弧焊称为气体保护电弧焊,简称气体保护焊。

### 二、气体保护焊的特点

气体保护焊与其它焊接方法相比,具有以下特点:

- 1) 电弧和熔池的可见性好,焊接过程中可根据熔池情况调节焊接参数。
- 2) 焊接过程操作方便,没有熔渣或很少有熔渣,焊后基本上不需清渣。
- 3) 电弧在保护气流的压缩下热量集中,焊接速度较快,熔池较小,热影响区窄,焊件焊后变形小。
- 4) 有利于焊接过程的机械化和自动化,特别是空间位置的机械化焊接。
- 5) 焊接过程无飞溅或飞溅很小。
- 6) 可以焊接化学活泼性强和易形成高熔点氧化膜的镁、铝、钛及其合金。
- 7) 适宜薄板焊接
- 8) 能进行脉冲焊接,以减少热输入。
- 9) 在室外作业时,需设挡风装置,否则气体保护效果不好,甚至很差。
- 10) 电弧的光辐射很强。
- 11) 焊接设备比较复杂,比焊条电弧焊设备价格高。

### 三、气体保护焊常用的保护气体

气体保护焊常用的保护气体有氩气、氦气、氮气、氢气、二氧化碳气、水蒸气以及混合气体等。气体保护焊常用保护气体的特点及应用见表 3-1。

### 四、气体保护焊的分类及应用范围

气体保护焊的分类方法有多种,有以保护气体不同分类的;有以电极是否熔化分类的等等,常用的气体保护焊分类方法及应用见表 3-2。

表 3-1 气体保护焊常用保护气体的特点及应用

气体名称	化学性质	主要特点	应用
氩气	惰性气体	<p>氩气电离势比氦气低,在同样的弧长下,电弧电压较低,所以,用同样的焊接电流,氩弧焊比氦弧焊产生热量小,因此,手工钨极氩弧焊最适宜焊接厚 1mm 以下的金属</p> <p>氩气比空气重,大约比氦气重 10 倍,因此,在平焊和平角焊时,只需要少量的氩气就能使焊接区受到良好的保护</p> <p>电弧稳定性比氦气保护效果更好</p> <p>氩弧焊引弧容易,这对减小薄板焊接起弧点金属组织过热倾向很有好处</p> <p>具有良好的清理作用,最适用于焊接易形成难熔氧化皮的金属</p> <p>能较好地控制仰焊和立焊熔池,所以,往往推荐用于仰焊和立焊。由于氩气重于空气,所以,在焊接过程中,保护效果比氦气差</p> <p>自动焊接速度大于 635mm/min 时,会产生气孔和咬边</p> <p>价格比氦气便宜</p>	<p>用于焊接化学性质较活泼的金属:</p> <p>铝及铝合金;含铝量较高的铁基合金;</p> <p>钛及钛合金;不锈钢</p> <p>手工氩弧焊:黄铜、铝青铜表面堆焊;镍基合金;硅青铜;硅钢;钴基合金;镁及镁合金;马氏体时效钢;重要的低碳钢板、管打底焊缝等</p>

(续)

气体名称	化学性质	主要特点	应用
氩气	惰性气体	<p>氩气的电离势较高,用同样的电流焊接,氩弧焊产生的热量会更多,因此,更适用于焊接厚度较大和导热性好的金属</p> <p>氩气的质量只有空气的14%,焊接过程中气体流量大,更适用于仰焊和爬坡立焊</p> <p>热影响区小,采用大的热输入和高焊接速度,能保证热影响区小,从而使焊接变形也减小,焊缝金属具有较高的力学性能</p> <p>自动焊时,焊接速度大于635mm/min,用氩弧焊,焊缝中的气孔和咬边都比较少</p> <p>氩气成本高,来源也不足,这就限制了它的使用</p>	<p>经化学清洗过的铝合金用直流正接焊接,会产生稳定的电弧并且有较高的焊接速度</p> <p>用于焊接无氧铜,还能用高速自动焊焊接镍基合金、不锈钢、钛及钛合金等</p>
		<p>氩弧焊的电弧柔软,便于控制。氩弧焊的电弧具有较大的熔深,而用按体积计算的氦气<math>\varphi_{He}80\%</math>+氩气<math>\varphi_{Ar}20\%</math>的氦-氩混合气体保护焊时,兼有上述两个优点。是典型的氦-氩混合气体</p> <p>氦气在低流量时,保护作用较大,而氩气在高流量时保护作用最大。试验结果表明:<math>\varphi_{He}80\% + \varphi_{Ar}20\%</math>的混合气体保护作用介于上述两种情况之间</p>	<p>广泛用于自动焊中</p> <p>用于铝合金厚板的焊接</p>
氦-氩混合气体	惰性气体	<p>氩弧焊的电弧柔软,便于控制。氩弧焊的电弧具有较大的熔深,而用按体积计算的氦气<math>\varphi_{He}80\%</math>+氩气<math>\varphi_{Ar}20\%</math>的氦-氩混合气体保护焊时,兼有上述两个优点。是典型的氦-氩混合气体</p> <p>氦气在低流量时,保护作用较大,而氩气在高流量时保护作用最大。试验结果表明:<math>\varphi_{He}80\% + \varphi_{Ar}20\%</math>的混合气体保护作用介于上述两种情况之间</p>	<p>广泛用于自动焊中</p> <p>用于铝合金厚板的焊接</p>
		<p>氩弧焊的电弧柔软,便于控制。氩弧焊的电弧具有较大的熔深,而用按体积计算的氦气<math>\varphi_{He}80\%</math>+氩气<math>\varphi_{Ar}20\%</math>的氦-氩混合气体保护焊时,兼有上述两个优点。是典型的氦-氩混合气体</p> <p>氦气在低流量时,保护作用较大,而氩气在高流量时保护作用最大。试验结果表明:<math>\varphi_{He}80\% + \varphi_{Ar}20\%</math>的混合气体保护作用介于上述两种情况之间</p>	<p>广泛用于自动焊中</p> <p>用于铝合金厚板的焊接</p>



(续)

气体名称	化学性质	主要特点	应用
氩—氧混合气体	氧化性	<p>采用氧化性气体保护焊接,可以细化过渡熔滴、克服电弧阴极斑点飘移及焊道边缘咬边等缺陷</p> <p>降低了保护气体成本</p> <p>可以增加母材输入热量,提高焊接速度</p> <p>只能用于熔化极气体保护焊中,在钨极气体保护焊中,混合气体将加速钨电极的氧化</p> <p>有助于稳定电弧,减少焊接飞溅</p>	用于喷射过渡及对焊缝要求较高的场合
二氧化碳气体	氧化性	<p>适用于熔滴短路过渡</p> <p>电弧穿透力强,熔深较大。熔池体积较小,热影响区窄,焊件焊后的变形小</p> <p>抗锈能力强,抗裂性能好</p> <p>大电流焊接时,焊缝表面成形不如埋弧焊和氩弧焊焊缝平滑,飞溅较多</p>	用于焊接碳钢和低合金钢
氩—氧—二氧化碳混合气体	氧化性	<p>有较佳的熔深,可以在不同的气体比例下焊接不锈钢或高强度钢,气体比例为 <math>Ar : O_2 : CO_2 = 93 : 2 : 5</math>。焊接碳钢及低合金钢时,各气体的比例为 <math>Ar : O_2 : CO_2 = 80 : 15 : 5</math></p>	焊接不锈钢时用于脉冲喷射过渡、短路过渡和喷射过渡
氮气	还原性	<p>氮气能显著增加电弧电压,产生很大的热量,氮气的热传导效率要比采用氩气或氦气时高得多,在提高焊接速度,降低成本上能获得很好的经济效果</p> <p>热输入量增大,可以降低或取消预热措施</p> <p>焊接过程有烟雾或飞溅</p>	只能用于铜及铜合金的气体保护焊



(续)

气体名称	化学性质	主要特点	应 用
氦—氩混合气体	还原性	电弧较强,比氩弧焊容易操作和控制,输入热量比纯氩气大,用 $\varphi_{Ar}80\% + \varphi_{He}20\%$ 的混合气体焊接,有一定的飞溅	只能用于铜及铜合金的气体保护焊

①  $\varphi_{Ar}80\%$ 表示 He 气的体积分数为 80%,余同。

表 3-2 常用的气体保护焊分类方法及应用

分类方法	名 称	应 用	备 注
钨极氩弧焊	手工钨极氩弧焊 机械化钨极氩弧焊 脉冲钨极氩弧焊	薄板焊接、卷边焊接、小管对接根部焊道的焊接、根部焊道有单面焊双面成形要求的焊接	加焊丝或不加焊丝
	半机械化熔化极氩弧焊	小批量、不能进行全自动焊接的铝及铝合金、不锈钢等材料的中、厚板焊接、30mm 厚板平焊,可一次焊成	
熔化极气体保护焊	机械化熔化极氩弧焊	适用于中厚度铝及铝合金板的焊接,还可以焊接铜及铜合金、不锈钢;更换焊炬后可以进行低碳钢、合金钢、不锈钢的埋弧焊,还可以对上述金属材料进行熔化极混合气体保护焊	加焊丝
	半机械化熔化极氩弧焊	铝及铝合金、不锈钢等材料的全位置焊接	
	机械化熔化极氩弧焊	适用于不锈钢、耐高温合金及其它化学性质活泼的金属全位置焊接	
	CO <sub>2</sub> 气体保护焊	低碳钢、低合金钢的焊接	

① GB/T3375—94 将原来的“自动焊”改为“机械化焊接”。

## 第二节 钨极惰性气体保护焊(TIG 焊)

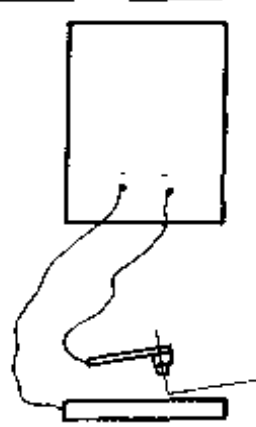
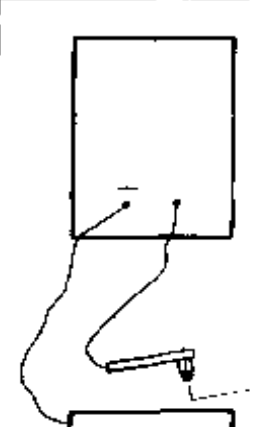
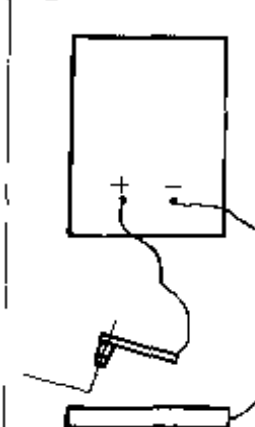
### 一、TIG 焊的定义

使用纯钨或活化钨(钍钨、铈钨)电极的惰性气体保护焊,称为钨极惰性气体保护焊,简称 TIG 焊。用氩气保护的称为钨极氩弧焊。

### 二、TIG 焊的电流种类及特点

TIG 焊使用的电流种类有直流反接(DC 反接)、直流正接(DC 正接)及交流三种。为减小或排除因弧长变化而引起的电流波动,TIG 焊要求采用具有陡降或恒流外特性的电源。TIG 焊各种电流的种类及特点见表 3-3。

表 3 3 TIG 焊电流的种类及特点

	交 流 (AC)	直 流(DC)	
		正 接	反 接
示意图	 (无正、反接)	 正接	 反接
两极热量近似分配	焊件:50% 钨极:50%	焊件:70% 钨极:30%	焊件:30% 钨极:70%
钨极许用电流	较 大 例如:φ3.2mm 铈钨极 $I=250A$	最 大 例如:φ3.2mm 铈钨极 $I=330A$	小 例如:φ3.2mm 铈钨极 $I=35A$

(续)

	交 流 (AC)	直 流(DC)	
		正 接	反 接
熔深	中 等	深而窄	浅而宽
阴极清 理作用	有(焊件在负半周 时)	无	有
适 用 材 料	铝、铝青铜、镁合 金等	氩弧焊: 除铝、铝青铜、 镁合金以外其余 金属 氦弧焊: 几乎所有金属	通常不采用 (因为钨极烧损严 重)

### 三、TIG 焊焊接设备

#### 1. 交流手工钨极氩弧焊机

交流手工钨极氩弧焊机有较好的热效率,能提高钨极的载流能力,适用于焊接厚度较大的铝及铝合金、镁及镁合金。可以用高压脉冲发生器进行引弧和稳弧,利用电容器组清除直流分量。常用的交流手工钨极氩弧焊机型号及技术数据见表 3-4。

表 3-4 交流手工钨极氩弧焊机型号及技术数据

技术数据	型 号		
	WSJ-150	WSJ 400	WSJ-500
电源电压/V	380	220 或 380	220/380
空载电压/V	80	80~88	80~88
工作电压/V	—	20	30
额定焊接电流/A	150	400	500
电流调节范围/A	30~150	60~500	50~500
额定负载持续率/%	35	60	60
钨极直径/mm	φ1~φ2.5	φ1~φ7	φ1~φ7

(续)

技术数据	型 号		
	WSJ 150	WSJ 400	WSJ 500
引弧方式	脉冲	脉冲	脉冲
稳弧方式	脉冲	脉冲	脉冲
冷却水流量/(L/min)	—	1	1
氩气流量/(L/min)	—	25	25
用 途	焊接 0.3~3mm 的铝及铝合金、镁及其合金	焊接铝和镁及其合金	焊接铝和镁及其合金
配用焊枪	PQ 150	PQ1 150 PQ1-350	PQ1 150 PQ1-350 PQ1-500
配用电源	—	BX3-400-1	BX3 500-2

## 2. 直流手工钨极氩弧焊机

直流手工钨极氩弧焊机主要采用直流正接法(焊件接焊机正极),常用于不锈钢、耐热钢、钛及钛合金、铜及铜合金等金属的焊接。常用的直流手工钨极氩弧焊机型号及技术数据见表 3-5。

表 3-5 直流手工钨极氩弧焊机型号及技术数据

技术数据	型 号		
	WS-250	WS 300-2	WS-400
电源电压/V	380	380(三相四线)	380
额定输入容量/kVA	18		30
工作电压/V	11~22	12~20	13~28
额定焊接电流/A	250	300	400
电流调节范围/A	25~250	30~300	60~450
额定负载持续率/%	50	60	60

(续)

技术数据	型 号		
	WS-250	WS-300-2	WS 400
电流衰减时间/s	3~10	3~10	3~10
冷却水流量/(L/min)	1	1	>1
氩气流量/(L/min)	25		
用 途	焊接 $\delta = 1 \sim 10\text{mm}$ 不锈钢、高合金钢、铜等	焊接 $\delta = 1 \sim 10\text{mm}$ 不锈钢、高合金钢、铜等	焊接不锈钢、铜及铝、镁以外的有色金属及合金
配用焊枪	Q-4、Q-5 Q-6、Q-7	PQ1-350 PQ1-150	Q-4、Q-5 Q-6、Q-7

技术数据	型 号			
	WS-63	WS-100	WS-160	WS-315
电源电压/V	~220 ( $\pm 10\%$ )	~220 ( $\pm 10\%$ )	~220 ( $\pm 10\%$ )	三相,380
额定输入容量/kVA	2.0	3.0	4.8	9
工作电压/V	--	--	--	--
额定焊接电流/A	63	100	160	315
电流调节范围/A	4~63	4~100	4~160	8~315
额定负载持续率/%	60	60	60	60
电流衰减时间/s	0~10	0~10	0~10	0~10
冷却水流量/(L/min)	--	--	--	--
氩气流量/(L/min)	--	--	--	--
用 途	该机适用于不锈钢、铜、钛等金属及合金的焊接 采用场效应管(EFT)脉冲宽度调制(PWM)逆变技术,可进行焊条电弧焊,又可进行氩弧焊,该机在 TIG 焊时,引弧特别容易			
配用焊枪	--	--	--	--
备 注	设有提前送气、滞后关气和自动线性衰减装置			

## 3. 交流方波/直流两用手工钨极氩弧焊机

交流方波/直流两用手工钨极氩弧焊机,主要由 ZXE5 交直流弧焊整流器、WSE5 氩弧焊机控制箱、JSW 系列水冷焊枪和遥控盒等组成。功能性强,可以一机四用(交流方波氩弧焊、直流氩弧焊、交流方波焊条电弧焊、直流焊条电弧焊)。该机的主要特点是:

- 1) 交流方波自稳弧性能好,并且电弧弹性好,穿透力强。
- 2) 交流焊时,一旦高频引弧后,焊接电弧稳定,不需要高频稳弧。
- 3) 交流方波正负半周宽度可调(即  $SP\%$  值),可以获得铝及铝合金的最佳焊接参数。
- 4) 控制电路设有固定电流上升时间和可调的电流衰减自动装置。
- 5) 可对电网电压波动自动补偿,以确保焊接质量。
- 6) 功能强,可一机四用(交流方波氩弧焊、直流氩弧焊、交流方波焊条电弧焊、直流焊条电弧焊)。

最适宜焊接铝及铝合金、镁及镁合金、钛及钛合金、铜及铜合金、各种不锈钢及高、低合金钢等金属。交流方波/直流钨极氩弧焊机型号及技术数据见表 3-6。

表 3-6 交流方波/直流钨极氩弧焊机型号及技术数据

型 号	WSE5-160	WSE5-315	WSE5-500
输入电压/频率	单相 330V/50Hz	单相 380V/50Hz	单相 380V/50Hz
额定输入容量/kVA	12.8	25	40
额定焊接电流/A	160	315	500
空载电压/V	80		
电流调节范围/A	16~160	30~315	50~500
额定负载持续率/%	60	35	60
$SP/\%$ 调节范围	35~70	35~70	—
绝缘等级	B 级		
电流上升时间/s	固定 1~2		
电流衰减时间/s	可调 0.5~8		

## 4. 自动钨极氩弧焊机

自动钨极氩弧焊机分为悬臂式、小车式和专用式三类,其型号和技术数据见表 3-7。

表 3-7 自动钨极氩弧焊机常用型号及技术数据

结构形式	悬臂式		小车式	
型 号	WZE2-500	WZE 500	WZE 300	
电源电压/V	380(三相四线)	380	380	
额定焊接电流/A	500	500	300	
电极直径/mm	2~7	2~7	2~6	
填充焊丝直径/mm	(不锈钢)0.8~2.5 (铝)2~2.5	(不锈钢)0.8~2.5 (铝)2~2.5	0.8~2	
额定负载持续率/%	60	60	60	
焊接速度/(m/h)	5~80	5~80	6.6~120	
送丝速度/(m/h)	20~1000	20~1000	13.2~240	
保护气体导前时间/s	—	3	—	
保护气体滞后时间/s	—	25	—	
电流衰减时间/s	—	5~15 (额定电流时)	—	
氩气流量/(L/min)	—	~50	—	
冷却水消耗量 (L/min)	—	—	—	
用 途	可焊接不锈 钢、铝及铝合金 等化学性质活 泼和耐高温合 金,交、直流两 用	可焊接不锈 钢、铝及铝合 金、化学活泼和 耐高温金属材 料,交直流两用	可焊接不锈 钢、铝、铜、镁、 钛、锆金属及其 合金,交、直流 两用	

## 5. 特种钨极氩弧焊机

(1) WSM 系列直流钨极脉冲氩弧焊机 该焊机是一种手工焊接设备,若配以合适的其它设备,可作为自动焊接设备。焊机采用直径为 $\phi 1.6 \sim \phi 5 \text{mm}$ 的钨极,可以焊接高、低碳钢及合金钢、不锈钢、钛及钛合金、铜及铜合金等薄板和中厚板。该机特点是:

- 1) 具有直流和脉冲两种工作方式,尤其适用薄板和全位置焊接。
- 2) 具有高频或接触式两种引弧方式。可满足不同焊工的焊接起弧要求。

3) 具有电流缓升和电流衰减自动功能。采用小电流,具有引弧后电流缓升(软起动)和焊接结束时电流缓降(衰减熄弧)控制功能。所以引弧时,可以避免大电流冲击,收尾时可填补弧坑。

4) 能自动补偿电网电压波动,保持电流稳定。

5) 主回路与控制回路采用光电隔离,使焊机更加安全、可靠。

6) 具有点焊功能,点焊时能无级调节,可满足某些特殊需要。

脉冲直流钨极氩弧焊机常用型号及技术数据见表 3-8 和表 3-9。

表 3-8 WSM 系列钨极脉冲氩弧焊机型号及技术数据

型 号	TIG-120	TIG 200	ZXM4-160
电 源 /V	380	380	380
空载电压/V	60	60	—
钨极直径/mm	$\leq 2$	$\leq 3$	—
额定焊接电流/A	120	200	160
负载持续率/%	60	60	60
衰减时间/s	1~15	1~15	—
输入功率/kW	2.5	4	—
脉冲频率/Hz	0.5~20	~20	—
脉冲峰值电流 调节范围/A	2~120	2~200	50~270
基值电流/A	2~120	2~200	—



(续)			
型 号	TIG-120	TIG-200	ZXM4 160
焊接板厚/mm	0.2~4	0.2~5	0.3~1
脉冲波形	方波	方波	
冷却水流量 (L/min)		—	3
用 途	具有良好的动特性,起弧容易、电弧稳定、电流调节范围宽、功率因数高、节能等特点,用于不锈钢、铜、钛等金属的焊接,尤其是超薄制品的焊接		用于宽度不大于 1m 的低碳钢、低合金钢、不锈钢及钛钢片等薄板对接焊,具有单面焊双面成形、焊缝质量高、变形小等特点

表 3-9 WSM 系列逆变钨极脉冲氩弧焊机型号及主要技术数据

型 号	WSM-160	WSM-200	WSM-250	WSM-315	WSM-400	WSM-500
输入电源	三相 380V					
额定焊接电流 /A	160	200	250	315	400	500
电流调节范围 /A	8~160	10~200	12~250	15~315	20~400	25~500
额定负载持续率 /%	60					
钨极直径/mm	1~3	1~3	1~4	1~5	1~6	1~6
气体流量 (L/min)	5~15	5~18	5~22	5~25	5~26	5~26
脉冲周期/s	0.02~3					
效率/%	>86					

(2)全位置管子对接专用直流钨极氩弧焊机 该焊机能在任何空间对固定的管子进行焊接,焊接时机头绕管子旋转,机头可以从管子侧面装上卸下,对任意长度的管子均能焊接,适用于管道现场安装焊接工作。焊机型号及主要技术数据见表 3-10。

表 3-10 全位置管子对接专用直流钨极氩弧焊机型号及技术数据

类别	脉冲自动 TIG 全位置焊管机	脉冲自动 TIG 焊机
型号	WZM1-250	WZM3-250
电网电压/V	380	380
电流调节范围/A	20~250	20~250
负载持续率/%	60	60
焊丝直径/mm	0.8	—
脉冲周期调节范围/s	0.2~2.6	0.2~2.6
机头电机电压调节范围/V	0~27 或 9~95	0~27 或 0~110
焊接管子直径/mm	30~45	—
焊接管子壁厚/mm	1~5	—
送丝速度/(mm/min)	400~1500	—
配用电源	ZXG-250-1 型 脉冲弧焊整流器	ZXG-250-1 型 脉冲弧焊整流器
预热时间调节范围/s	>12	>12
电流衰减时间/s	>19	>19
保护气体导前时间/s	>2	2
保护气体滞后时间/s	>5	5
用途	用于不锈钢、合金钢、 碳素钢管子进行全位置 焊接	用于各种不锈钢、高强 度钢、耐热合金圆管或圆 罐进行自动焊接

(3)管-管板专用脉冲钨极氩弧焊机 该焊机专门用于管-管板端接,焊炬转动,可进行全位置焊接,常用焊机型号及技术数据见表 3-11。

表 3-11 管-管板自动脉冲钨极氩弧旋转焊机型号及技术数据

型 号	WZM-250		
电网电压/V	380	额定焊接电流/A	250
额定输入容量/kVA	15	焊接速度范围/(r/min)	0.75~2
额定工作电压/V	20	钨丝直径/mm	2;2.5
空载电压/V	73	基本电流/A	8~250
焊丝直径/mm	0.8~1	脉冲电流/A	8~250
送丝速度/(mm/min)	250~1200	脉冲频率/Hz	0.5~5
氩气流量/(L/min)	4~12	焊 炬	横向端面焊炬
用 途	用于制造换热器和热交换器的管子与管板端面的全位置焊接		

6. 焊枪

手工钨极氩弧焊焊枪有轻、重两种类型。轻型焊枪是气冷式,结构简单轻巧,最大允许焊接电流为200A。重型焊枪为水冷式,其导电部分与焊接电缆采用循环水冷,焊接电流可超过200A。特殊设计的水冷焊枪额定焊接电流可达500~600A。常用国产焊枪型号及规格见表3-12。

表 3-12 常用国产焊枪型号及规格

型 号	冷却方式	额定焊接电流/A	出气角度/(°)	开关形式	质量/kg	适用钨极尺寸/mm	
						长度	直径
QQ-0/10	气冷式(自冷)	10	0(笔式)	微动开关	0.08	100	1;1.6
QQ 65/75		75	65	微动开关	0.09	40	1;1.6
QQ-0~90/75		75	0~90 (可变角)	按钮	0.15	70	1.2; 1.6;2
QQ-85/100		100	85 (近直角)	船形开关	0.2	160	1.6;2
QQ 0~90/150		150	0~90	按钮	0.2	70	1.6;2 3

(续)

型号	冷却方式	额定焊接电流/A	出气角度/(°)	开关形式	质量/kg	适用钨极尺寸/mm	
						长度	直径
QQ 85/150-1	气冷式(自冷)	150	85	按钮	0.15	110	1.6; 2;3
QQ 85/150		150	85	按钮	0.2	110	1.6; 2;3
QQ 85/200		200	85 (近直角)	船形开关	0.26	150	1.6; 2;3
PQ <sub>1</sub> 150	循环水冷却	150	65	推键	0.15	110	1.6; 2;3
PQ <sub>1</sub> -350		350	75	推键	0.3	150	3; 4;5
PQ <sub>1</sub> 500		500	75	推键	0.45	180	4; 5;6
QS-0/150		150	0(笔式)	按钮	0.14	90	1.6; 2;2.5
QS-65/200		200	65	按钮	0.11	90	1.6; 2;2.5
QS-85/250		250	85 (近直角)	船形开关	0.26	160	2; 3;4
QS-65/300		300	65	按钮	0.26	160	3; 4;5
QS-75/400		400	75	推键	0.40	150	3; 4;5

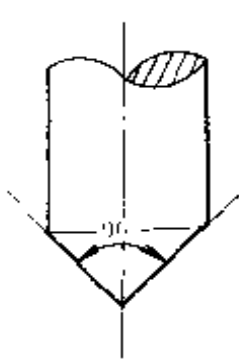
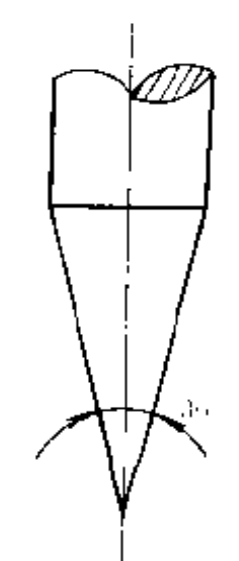
### 7. 钨极

钨的熔点为 3400℃, 是熔点最高的金属。由于钨在高温时有强烈的电子发射能力, 是迄今为止最好的一种非熔化极材料。在钨电极中加入微量稀土元素钍、铈、铈等氧化物后, 逸出功显著降低, 载流能力将会明显提高。

当钨极材料相同时, 不同的电极形状对焊缝的成形也会有影响。总的原则是: 钨极端头的形状要根据焊件的熔透程度和焊缝成形的要求

来选定,钨极端头直径越小,电弧呈伞形倾向越大,端头烧损也越严重,焊缝成形越不均匀。随着钨极端头直径的增大,则电弧柱状倾向变大,电弧集中而稳定。但是,当钨电极端头直径增大到一定的数值之后,电弧反而会发生飘动不稳的现象,这时焊缝成形也不均匀。常用的钨极端头形状与电弧稳定性关系见表 3-13。钨极种类及化学成分见表 3-14。钨极电流承载能力见表 3-15。

表 3-13 常用钨极端头形状与电弧稳定性关系

钨极端头形状	钨极种类	电流极性	适用范围	燃弧情况
	钍钨或钽钨	直流正接	大电流	稳定
	钍钨或钽钨	直流正接	小电流 用于空间隙及薄板的焊接	稳定

(续)

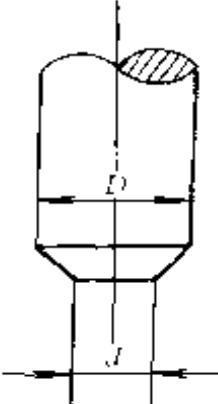
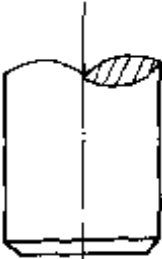
钨极端头形状	钨极种类	电流极性	适用范围	燃弧情况
	纯钨极	交流	铝、镁及其合金的焊接	稳定
	钍钨或钽钨	直流正接	直径小于 1mm 的细钨丝电极连续焊	良好

表 3-14 钨极种类及化学成分(质量分数)

钨极牌号		化学成分(质量分数)/%				特点
		钨	氧化钍	氧化钽	其它	
纯钨极	W1	>99.92			<0.08	熔点和沸点都很高,空载电压要求较高,承载电流能力较小
	W2	>99.85			<0.15	
钽钨极	WT2-7	余量	0.1~0.9		<0.5	比纯钨极降低了空载电压,改善了引弧、稳弧性能。增大了电流承载能力,有微量放射性
	WTh-10		1~1.49			
	WTh-15		1.5~2			
	WTh-30		3~3.5			

(续)

钨极牌号		化学成分(质量分数)/%				特 点
		钨	氧化钍	氧化铈	其它	
铈钨极	WCe-5	余量	—	0.5	≤0.5	比钍钨极更容易引弧,电极损耗更小、放射剂量也低得多,目前应用广泛
	WCe-13			1.3		
	WCe-20			2		

表 3-15 钨电极电流承载能力

电极直径/mm	直流电流/A				交流电流/A	
	正接(电极-)		反接(电极+)		纯钨	钍钨、铈钨
	纯钨	钍钨、铈钨	纯钨	钍钨、铈钨		
0.5	2~20	2~20	—	—	2~15	2~15
1	10~75	10~75	—	—	15~55	15~70
1.6	40~130	60~150	10~20	10~30	45~90	60~125
2	75~180	100~200	15~25	15~25	65~125	85~160
2.5	130~230	160~250	17~30	17~30	80~140	120~210
3	140~280	200~300	20~40	20~40	100~160	140~230
3.2	160~310	225~330	20~35	20~35	130~190	150~250
4	275~450	350~480	35~50	35~50	180~260	240~350
5	400~625	500~645	50~70	50~70	240~350	330~460
6	500~625	620~650	60~80	60~80	260~390	430~560
6.3	550~675	650~850	65~100	65~100	300~420	430~575
8	—	—	—	—	—	650~830

3. 手工钨极氩弧焊机故障及排除方法

(1) 手工钨极氩弧焊机常见的故障及排除方法 手工钨极氩弧焊机在使用过程中常见的故障及其产生原因、排除方法见表 3-16。

(2) WSE5 系列交、直流手工钨极氩弧焊机故障及排除方法 WSE5 系列交、直流手工钨极氩弧焊机,在使用过程中常见的故障及其

产生原因、排除方法见表 3-17。

表 3-16 手工钨极氩弧焊机故障及排除方法

故障现象	产生原因	排除方法
电源开关接通后指示灯不亮,电风扇不转	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 开关损坏</li> <li>2. 控制变压器损坏</li> <li>3. 指示灯损坏</li> <li>4. 熔断丝烧断</li> <li>5. 指示灯接触不良</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 修复或更换开关</li> <li>2. 修复或更换变压器</li> <li>3. 更换指示灯</li> <li>4. 更换熔断丝</li> <li>5. 调整指示灯接触</li> </ol>
控制线路有电,焊机不起动	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 脚踏开关接触不良</li> <li>2. 焊枪上开关接触不良</li> <li>3. 启动继电器或热继电器出现故障</li> <li>4. 控制变压器损坏</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 检修开关</li> <li>2. 检修开关</li> <li>3. 检修继电器</li> <li>1. 更换或修复变压器</li> </ol>
焊机启动后振荡器不振荡或振荡微弱	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 高频振荡器有故障</li> <li>2. 脉冲引弧器有故障</li> <li>3. 火花放电间隙不合适</li> <li>4. 放电盘电极烧坏</li> <li>5. 放电盘云母烧坏</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 检修引弧器</li> <li>2. 检修脉冲引弧器</li> <li>3. 调整放电盘间隙</li> <li>4. 清理、调整放电板</li> <li>5. 更换云母</li> </ol>
焊机启动后,有振荡放电,但不起弧	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 焊接回路接触器有故障</li> <li>2. 焊件接触不良</li> <li>3. 控制线路有故障</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 检修接触器</li> <li>2. 清理焊件接触表面</li> <li>3. 检修控制线路</li> </ol>
焊机启动后无氩气输出	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 气路堵塞</li> <li>2. 电磁气阀有故障</li> <li>3. 控制线路有故障</li> <li>4. 气体延迟线路有故障</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 清理气路</li> <li>2. 检修电磁气阀</li> <li>3. 检查故障并修复</li> <li>4. 检修线路</li> </ol>



(续)

故障现象	产生原因	排除方法
焊接过程电弧不稳定	1. 稳弧器有故障 2. 消除直流分量的元件有故障 3. 焊接电源有故障 4. 焊机输出线路与焊件接触不良	1. 检修稳弧器 2. 更换或修复元件 3. 检修焊接电源 4. 清理焊件与焊机输出线路接触表面

表 3-17 WSE5 系列交、直流两用手工钨极氩弧焊机故障及排除方法

ZXE5 系列弧焊整流器的故障

故障现象	产生原因	排除方法
焊机供电后,打开电源开关,指示灯不亮,电风扇不转	1. 熔断器断 2. 指示灯损坏 3. 电风扇电容失效 4. 接触不良	1. 更换熔断器 2. 更换指示灯 3. 更换电风扇电容 4. 清理指示灯及电风扇线路接触点
焊机无交、直流输出(无空载电压)	1. 控制板上三端稳压管或管脚霉断或损坏 2. 控制板上运算放大器管脚霉断或损坏 3. 脉冲变压器引线霉断	1. 更换损坏的稳压管 2. 更换损坏部件 3. 修复霉断引线
焊接电流调节失控	1. “近控—远控”开关是否放在所选择的位置上 2. 运算放大器管脚霉断或损坏	1. 根据施工需要使用近控或远控开关 2. 更换损坏部件
焊接电流调不小或过大	控制板上运算放大器管脚霉断或损坏	更换损坏部件

(续)

WSL5 系列氩弧焊控制箱故障		
故障现象	产生原因	排除方法
电源开关指示灯不亮	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. “焊条电弧焊—氩弧焊”开关是否放在“氩弧焊”位置</li> <li>2. 熔断器(面板上标有 3A 即是)断或接触不良</li> <li>3. 指示灯损坏</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 检查,更正开关位置</li> <li>2. 清理熔断器接触不良或检修熔断器断线处</li> <li>3. 更换损坏的指示灯</li> </ol>
按下焊枪上开关“焊接后停”,指示灯不亮	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 指示灯损坏</li> <li>2. 开关接线是否断开</li> <li>3. 水冷焊枪上是否接水路</li> <li>4. 程序控制板上的晶体管不通</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 更换损坏指示灯</li> <li>2. 检查、修复开关</li> <li>3. 检查、修复水源开关</li> <li>1. 在程序控制板上的继电器,如没有 12V 直流电压时,则更换晶体管</li> </ol>
按下“通气检测”,气阀不通	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 气源是否打开</li> <li>2. 气阀有卡死现象或气路有堵塞</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 检查并接通气源</li> <li>2. 查气阀进线两端有无 36V 交流电后,排除堵塞</li> </ol>
在“自动”位置上按下焊枪上的开关,气阀不通	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 气源是否打开</li> <li>2. 气阀有卡死现象或气路有堵塞</li> <li>3. 水冷焊枪上是否接水路</li> <li>4. 程序控制板上的晶体管不通</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 检查并接通气源</li> <li>2. 查气阀进线两端有无 36V 交流电后排除堵塞</li> <li>3. 检查、修复水源开关</li> <li>4. 查程序控制板上继电器,如没有 12V 直流电压,更换晶体管</li> </ol>
按下焊枪上的开关,无高频起弧火花	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 熔断器断(控制箱前板标有 5A 的即是)</li> <li>2. 焊枪上的开关有无断线</li> <li>3. K8 没接通</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 更换熔断器</li> <li>2. 检查、修复焊枪上的开关</li> <li>3. 检查 K8 随交、直转换开关是否转换到位</li> </ol>

(续)

WSE5 系列氩弧焊控制箱故障		
故障现象	产生原因	排除方法
直流焊时,按下焊枪上的开关起弧后,松开开关高频仍存在	继电器通断不正常	检查并修复继电器是否通断正常
小电流起弧困难	1. 钨极直径大小是否选择合适 2. 继电器接触不好 3. 电阻开路	1. 建议将钨极端头磨尖 2. 查继电器,如没有 12V 直流电压,应清理其接触不良 3. 检查、修复电阻线路
电弧不稳定或焊缝成形差	1. 焊件脏或油污严重 2. 钨极直径大小是否与焊接电流相符 3. 电网电压波动较大	1. 消除待焊处油、污、锈、垢 2. 按工艺规程选择钨极直径与焊接电流 3. 检查电网电压波动是否在允许范围内

#### 四、气体保护焊设备的选用

##### 1. 根据焊机自身特点选用

钨极惰性气体保护焊机主要用于薄板焊接;熔化极气体保护焊机常用于厚度大于 2mm 的薄板和中厚板的焊接;大、中型焊接结构(中、厚板)采用熔化极氩弧焊机或窄间隙气体保护焊机;若对焊件金相组织、焊接变形程度有较高的要求时,应采用小电流脉冲钨极氩弧焊机(脉冲频率小于 10Hz)。

##### 2. 根据焊缝存在的位置是否容易施焊选用

半机械化焊机焊炬轻便,构造简单,便于焊工灵活操作,劳动强度小。机械化焊机焊接程序可自动进行,操作方便,环焊、点焊及补焊均有电流衰减,收尾过渡平滑,可以获得良好的成形和气密性可靠的焊缝。但是,机械化焊机生产准备过程时间长,适宜大批量、直线焊缝或环焊

缝的焊接。对于既不直,又不是环形焊缝的曲线焊缝,半机械化焊机就显出优越性。不仅能焊平直焊缝、环形焊缝,而且还能焊接不规则的曲线焊缝。

### 3. 根据焊件材料选用

焊接低碳钢、低合金钢时,宜选用  $\text{CO}_2$  气体保护焊机。焊件属于薄板结构,宜选用细丝  $\text{CO}_2$  气体保护焊机;焊件属于厚板结构,宜选用粗丝  $\text{CO}_2$  气体保护焊机。直流手工钨极氩弧焊机,可以焊接不锈钢、耐热钢、钛及其合金、铜及其合金。若采用直流反接还可以焊接铝、镁及其合金的薄板结构。铝、镁及其合金则适宜选用钨极交流氩弧焊机(较便宜);或交流脉冲氩弧焊机(价钱稍高于钨极氩弧焊机);或选用熔化极直流脉冲氩弧焊机(焊接质量好、价钱高)。机械化熔化极氩弧焊机适用于焊接中厚度铝及铝合金。

### 4. 根据自有资金多少选用

企业自有资金雄厚,可以选用 MIG 焊机;自有资金紧张,可以选用 TIG 焊机。选用气体保护焊机的参考价格见表 3-18。

表 3-18 气体保护焊机的参考价格比

焊机名称	交流焊条电弧焊机	TIG 焊机	$\text{CO}_2$ 气体保护焊机	MIG 焊机
价格比	1	4~6	5~7	8~10

### 5. 根据对气体保护焊机综合指标的考核选用

为选用合乎焊接质量要求的气体保护焊机,需要对待选用的气体保护焊机进行综合指标考核,择优选用。各气体保护焊机综合指标考核见表 3-19。

## 五、常用金属材料的焊接

### (一) 不锈钢钨极氩弧焊

#### 1. 不锈钢焊件的清理

不锈钢焊件在装配定位焊之前,要仔细在待焊处两侧 20~50mm 范围内进行油、污、锈、垢的清理,以免影响焊接质量。焊后还要清除不锈钢表面的微小铁屑、氧化皮、锈斑、污物,使焊缝获得清洁光亮的表

表 3-19 各气体保护焊机的综合指标考核

项目		焊接方法		TIG 焊		MIG 焊		CO <sub>2</sub> 气体保护焊		
		电源		无脉冲	有脉冲	无脉冲	有脉冲	无脉冲	无脉冲	有脉冲
		焊丝		实心焊丝		实心焊丝	实心焊丝	实心焊丝	药芯焊丝	实心焊丝
		保护气体		Ar		Ar(Ar+CO <sub>2</sub> , Ar+O <sub>2</sub> )		CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> +Ar	
适用材料	碳钢	佳		佳	佳	最佳	最佳	厚板:佳 薄板:最佳		
	高强度钢	佳		最佳	最佳	较差	较差	较差		
	不锈钢	最佳		佳	佳	差	差	差		
	有色金属	最佳		佳	佳	差	差	差		
工艺性能	全位置焊	最佳		稍差	佳	差	佳	佳		
	单面焊	佳		佳	佳	稍差	较佳	较佳		
	电弧稳定性	佳		良	良	稍差	良	良		
	飞溅量	无		粒小且少	几乎没有	粒大、较多	粒小、较少	粒小、较少		
	脱渣性	(无渣)		良	良	差	良	较差		
	焊丝送给	良		良	良	良	较差	良		
	电弧声音	非常柔和		柔和	柔和	较大	稍柔和	稍柔和		
	烟尘量	很少		少	少	较多	多	较多		
	焊接质量	外观	焊波	细而匀		细	细而匀	粗	较粗	较粗
			余高	平		平	平	凸	稍凸	稍凸
内部		熔深	浅		稍浅	稍浅	深	稍深	稍深	
		抗气孔性	良		稍差	稍差	良	良	良	
		抗裂性	良		良	良	良	稍差	良	

(续)

项目		焊接方法	TIG 焊		MIG 焊		CO <sub>2</sub> 气体保护焊		
		电源	无脉冲	有脉冲	无脉冲	有脉冲	无脉冲	无脉冲	有脉冲
		焊丝	实心焊丝		实心焊丝	实心焊丝	实心焊丝	药芯焊丝	实心焊丝
		保护气体	Ar		Ar(Ar + CO <sub>2</sub> , Ar + O <sub>2</sub> )		CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> + Ar	
效率	焊接电流范围/A	150 ~300		200 ~350	200 ~300	200 ~350	200 ~350	200 ~300	
	熔敷速度/(g/min)	—		60 ~140	60 ~110	60 ~140	60 ~140	60 ~110	
	熔敷效率/%	100		96~99	96~99	90~95	85~90	90~95	
	焊渣去除	(无焊渣)		易	易	稍难	较易	较易	
评价	高精度自动化	最佳		佳	最佳	较差	差	佳	
	质量	最佳		佳	最佳	稍差	稍差	稍差	
价	效率	厚板	低		最高	高	最高	最高	高
		薄板	低		高	最高	高	较低	高

面,从而有利于钝化膜的形成,以提高其耐腐蚀性能。不锈钢焊件常用的清理方法见表 3-20。

表 3-20 不锈钢焊件的清理方法

	脱脂处理	机械清理	化学清理	备注
焊前清理	可用酒精、汽油、四氯化碳、三氯乙烯等擦洗或在脱脂液中进行。脱脂液成分为 NaOH: 90g/L Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> : 20g/L	通常使用刮刀、锉刀、砂布、金属丝刷(轮)、砂轮或喷砂等工具来清除待焊处的锈层和氧化膜。一般在局部清理时才使用此方法	在化学溶液中浸泡。化学清理液为 HCl: 100~150mL/L H <sub>2</sub> O: 余量	选用焊前清理方法要视焊件大小、质量、清理量大小等具体情况而定

(续)

	配方号	酸洗液配方 φ <sup>v</sup> /%				效果	
		硝酸	盐酸	硫酸	氢氟酸		
	1	5	25	5	—	65	焊缝去黑皮较慢, HCl 有强烈刺激气味
	2	20	—	—	30	50	黑皮去除快, 焊缝发白, 但 HF 有毒
	3	5	40	10	—	45	黑皮去除快, 但 HCl 有强烈刺激气味
焊后酸洗	配方号	酸洗液配方 φ <sup>v</sup> /%				效果	备注
	硝酸	盐酸	硫酸	氢氟酸			
	4	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 40 + 水 60, 抹在焊缝处, 浸蚀 15min 左右, 然后用水冲洗				去除焊缝黑皮稍快	酸洗工序: 去油、清洗干净 → 酸洗 → 冲洗 → 中和 → 冲洗 → 干燥 酸洗时, 小件可浸入酸溶液中, 大件可以沾液擦洗 酸洗后中和液配方: 体积分数为 7% 的碳酸钠水溶液
	5	HNO <sub>3</sub> 15~20 + 水余量溶在一起, 抹在焊缝处, 浸蚀 15~20min, 抹两次, 用水冲洗				去除焊缝黑皮稍快	
6	1 份硝酸 + 3 份盐酸 + 0.5 份硫酸配成的三酸混合液, 取三份酸与四份的酸性白土调成糊状酸洗膏, 涂在焊缝上, 15min 后水洗即可				焊缝黑皮去除较慢, HCl 有刺激气味		

① φ 代表酸洗液成分的体积分数。

### 2. 焊接不锈钢配用的焊丝

钨极氩弧焊不锈钢时, 一般采用直流正接电源, 对于含铝较多的不锈钢, 因为有 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 氧化膜生成, 类似焊铝, 所以采用交流焊接电源为宜。钨极氩弧焊适用于板厚小于 3mm 的薄板或直径在 60mm 以下的管



接头以及打底焊道等。焊接不锈钢时,要根据所采用的焊接方法、焊接工艺、母材的成分、对焊接接头性能的要求等方面选用焊丝。常用不锈钢材料焊接时配用焊丝及焊前预热、焊后热处理等参数见表 3-21。

表 3-21 常用不锈钢材料焊接配用焊丝及焊前预热、焊后热处理参数

钢种	钢号	焊丝	预热及层间温度/°C	焊后热处理	选用原则
奥氏体不锈钢、奥氏体-铁素体不锈钢	00Cr18Ni10	H00Cr18Ni9	—	—	工作温度低于 300°C,良好的耐腐蚀性
	1Cr18Ni9	H0Cr18Ni9	—	—	抗裂、抗腐蚀性要求较高
	0Cr18Ni9Ti 1Cr18Ni9Ti	H0Cr19Ni9Ti	—	—	工作温度低于 300°C,耐腐蚀性要求较高
	0Cr18Ni12 Mo2Ti 1Cr18Ni12 Mo2Ti	H0Cr19Ni- 10Mo3Ti HCr18Ni11	—	—	
	00Cr18Ni10	H00Cr22- Ni10	—	—	耐腐蚀性要求极高
	0Cr18Ni12- Mo3Ti 1Cr18Ni12- Mo3Ti	H0Cr19- Ni10Mo3Ti HCr18Ni- 11Mo	—	—	—
	00Cr17Ni- 14Mo2 00Cr17Ni- 14Mo3	H00Cr19Ni- 12Mo2	—	—	—
	0Cr18Ni11- Nb 1Cr18Ni11Nb	H1Cr18Ni 9Nb	—	—	—



(续)

钢种	钢号	焊丝	预热及层间温度(°C)	焊后热处理	选用原则
铁素体不锈钢	0Cr13	H0Cr11	-	700~760°C 空冷	耐热、耐蚀
		H1Cr25Ni13	-	-	韧性、塑性高
		H1Cr25Ni20	-	-	
	H0Cr19Ni9	-	-	-	
1Cr17 0Cr17Ti 1Cr17Ti	H1Cr25Ni13	-	-	韧性、塑性高	
	H1Cr19Ni9	-	-		
1Cr17Mo2Ti	H1Cr25Ni13	-	-	韧性、塑性高	
	H1Cr19Ni9	-	-		
马氏体不锈钢	1Cr13 2Cr13 1Cr17Ni2	H0Cr14	300~350	700~750°C 空冷	耐热、耐蚀
		H1Cr25Ni13	200~300	700~750°C 空冷	-
		H1Cr25Ni20			
	H0Cr19Ni9	200~300	700~750°C 空冷	韧性、塑性高	

### 3. 不锈钢钨极氩弧焊的焊接参数

不锈钢手工钨极氩弧焊对接焊接参数见表 3-22。不锈钢手工钨极氩弧焊角接焊接参数见表 3-23。不锈钢机械化钨极氩弧焊焊接参数见表 3-24。不锈钢脉冲钨极氩弧焊焊接参数见表 3-25。

表 3-22 不锈钢手工钨极氩弧焊对接焊接参数

板厚 /mm	焊接层数	焊接位置	钨极直径 /mm	焊丝直径 /mm	焊接电流 /A	焊接速度 / (mm/min)	坡口尺寸及角度			喷嘴		备注
							间隙 /mm	钝边 /mm	角度 / (°)	气体流量 / (L/min)	直径 /mm	
1	1	平	1.6	1	40~70	100~120	0	—	—	1~6	8~10	单面焊、直流 正接
1	1	全位置	1.6	1	30~60	80~100	0	—	—	4~6	8~10	单面焊、直流 正接
1.2	1	平	2	1.6	50	200~250	—	—	—	3~4	8~10	直流正接
1.5	1	平	2	1.6	45~85	130~400	—	—	—	3~4	8~10	交流
					40~75	120~300	—	—	—	—	—	—
2	2	平	1.6	1.6	60~100	100~120	0~1	—	—	6~8	8~10	双面焊 直流正接
					50~80	80~100	0~1	—	—	—	—	—
2.5	2	平	1.6	1.6	100~120	80~100	0~1	—	—	4~6	8~10	双面焊 直流正接
					70~90	80~100	0~1	—	—	—	—	—
3	2	平	2.4	2	80~120	100~120	0~1	0.5~1	60	8~10	8~10	双面焊 直流正接
					70~110	80~100	0~1	—	—	—	—	—

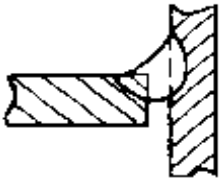
(续)

板厚 /mm	坡口尺寸及角度		焊接位置	焊接层数	钨极直径 /mm	喷嘴		焊接电流 /A	焊丝直径 /mm	焊接速度 / (mm/min)	备 注
	间隙 /mm	钝边 /mm				角度 / (°)	气体流量 (L/min)				
3.2	0~1	0.5~1	60	平	2.4	3~10	8~10	100~120	2	80~110	
				全位置				90~110			
4	0~1	0.5~1	60	平	2.4			100~150	2	100~150	双面焊
				全位置				80~120			
4.5	0~1			平				110~180		110~180	直流正接
				全位置				100~170			
6	0~1	0.5~1	60	平				120~200		100~150	
				全位置				100~150			
6	0.5~1			平	2.4			150~200	3	100~150	
				全位置				120~180			
6	3	0	40	平		8~10	9~11	150~200		90~140	有衬垫单面焊 直流正接
				全位置				120~180			

(续)

板厚 /mm	坡口尺寸及角度		焊接位置	焊接层数	钨极直径 /mm	喷嘴		焊接电流 /A	焊丝直径 /mm	焊接速度 /(mm/min)	备注
	间隙 /mm	钝边 /mm				角度 /(°)	气体流量 /(L/min)				
	0.5~1	0.5~1	平	6				150~200		150~200	双面焊 直流正接
	0.5~1		全位置					140~180		140~180	
12	1~1.5	0.5~1	平	6	3.2	10 ~12	10~12	200~250	3~4	150~200	有衬垫单面焊 直流正接
			全位置	8				140~180		140~180	
			平	6				180~230		80~150	
			全位置	8				150~200		70~140	
22	0.5~1	0~0.5	平	10	3.2	10~12	180~250	3~4	120~180	有衬垫单面焊 直流正接	
			全位置	12			160~230		100~160		
38	0~2	2~3	平	18	2.4	10~15	250~300	4~5	100~200	反面要挑焊根	
			全位置	22			3.2		11 13		

表 3-23 不锈钢手工钨极氩弧焊角接焊接参数

板厚 /mm	焊接形式	焊脚尺寸 /mm	焊接位置	焊接层数	坡 口			电极直径 /mm	焊丝直径 /mm	焊接速度 /mm/min	焊接电流 /A	喷 嘴		备 注
					间隙 /mm	钝边 /mm	角度 /°					气体流量 /L/min	直径 /mm	
1	 I形焊缝	1	平	1	—	—	—	—	100	30~50	4~6	8~10		
		全位置	~130											
1.5		平	1	—	—	—	—	—	130	40~80	4~6	8~10		
		全位置	~250											
2.5		平	1.6	—	—	—	—	—	70	30~70	4~6	8~10		
		全位置	~100											
4.5		平	1.6	—	—	—	—	—	50	90~110	4~6	8~10		
		全位置	~100											
		平	1.6	—	—	—	—	—	80	80~100	4~6	8~10		
		全位置	~180											
6		平	0~1	—	—	—	—	—	70	130~160	4~6	8~10		
		全位置	~170											
	平	0~2	—	—	—	—	—	—	80~220	4~6	8~10			
	全位置	—												
10	平	0~2	—	—	—	—	—	—	170~210	4~6	8~10			
	全位置	—												
12	平	0~2	—	—	—	—	—	—	50	180~220	4~6	8~10		
	全位置	~100												
	平	0~2	—	—	—	—	—	—	6~10	11	4~6	8~10		
	全位置	—												

(续)

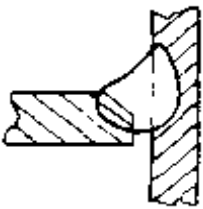
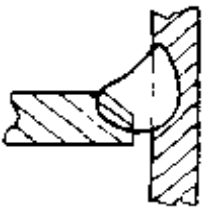
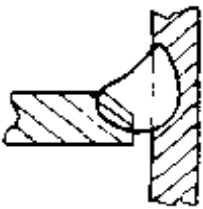
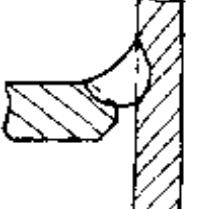
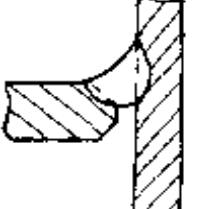
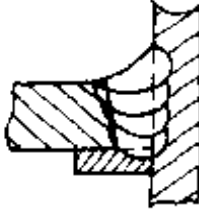
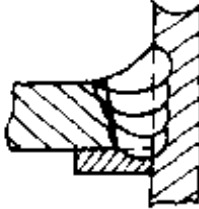
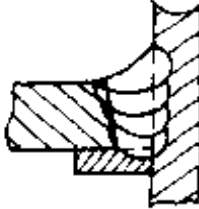
板厚 /mm	焊缝形式	焊脚尺寸 /mm	焊接位置	焊接层数	坡口			电极直径 /mm	焊丝直径 /mm	焊接速度 / (mm/min)	焊接电流 /A	喷嘴		备注
					间隙 /mm	钝边 /mm	角度 / (°)					气体流量 / (L/min)	直径 /mm	
6		2	平	3	0~2	0~3	60	2.4	3.2	80	180~220	6~10	11	
			全位置								170~210			
12		3	平	6	0~2	0~3	60	2.4	3.2	80~200	200~250	8~12	13	
			全位置								190~240			
22		5	平	18	0~2	0~3	60	2.4	3.2	80	200~250	8~12	13	
			全位置								190~240			
12		3	平	3	0~2	2~4	60	2.4	3.2	80	200~250	8~12	13	
			全位置								190~240			
22		5	平	6	0~2	2~4	60	2.4	3.2	80~200	200~250	8~12	13	
			全位置								190~240			
6		3	平	2	3~6	—	60	2.4	3.2	80	180~220	6~10	13	有垫板
			全位置								170~210			
12		4	平	6	3~6	—	60	2.4	3.2	80	200~250	8~12	13	
			全位置								190~240			
22		6	平	25	3~6	—	60	2.1	3.2	80~200	200~250	8~12	13	
			全位置								190~240			

表 3-24 不锈钢机械化钨极氩弧焊焊接参数

电源极性	板厚 /mm	钨极直径 /mm	焊接电流 /A	氩气流量 (L/min)	焊接速度 (mm/min)	焊丝直径 /mm	备注
对接不加填充焊丝	0.3	1	12~20	3~4	500~800	--	
	0.4	1	20~30	3~4	500~800		
	0.5	1.6	30~40	1~5			
	0.7	1.6	50~65				
	0.8	1.6	70~90				
	1	1.6	70~90				
	1.2	1.6	73				
	1.5	1.6	80~110	5~6	300~580		
	2	1.6	120~130	7~8			
对接加填充焊丝	0.3	1	30~45	5~6	580~750	0.6	电弧电压： 11~15V
	0.5	1.6					
	0.8						
	1		80~100	6~8	580~750		
	1.5		100~130	8~10	400~600	0.8	
	2		120~140	10~12	300~580		
	3		125~135	14~16	300~400	1.5	

表 3-25 不锈钢对接脉冲钨极氩弧焊焊接参数

电流极性	板厚 mm	焊接电流/A		持续时间/s		脉冲 频率 Hz	焊接 速度 /(m/h)	弧长 /mm
		脉冲	维持	脉冲	维持			
直 流 正 接	0.3	20~22	5~8	0.06 ~0.08	0.06	8	30~36	0.6~0.8
	0.5	55~60	10	0.08	0.06	7	33~36	0.8~1
	0.8	85	10	0.12	0.08	5	48~60	0.8~1
	0.95	60	5~7	0.3	1	5	40~44	0.8~1

不锈钢脉冲钨极氩弧焊可以精确地控制对焊件的热输入和熔池尺寸,特别适用于薄板(薄至 0.1mm)全位置焊接和单面焊双面成形。

## (二)高温合金钨极氩弧焊

### 1. 高温合金的焊接特点

高温合金是在高温下具有较高的力学性能、抗腐蚀性和抗氧化性的合金,其钨极氩弧焊的工艺特点见表 3-26。

表 3-26 高温合金钨极氩弧焊的工艺特点

工 艺 要 求	
焊 丝	焊接镍基和铁基固溶强化合金以及铝、钛含量较低的时效强化合金时,一般可选用与母材化学成分相同或相近牌号的焊丝,以获得与母材性能接近的焊接接头
	焊接铝、钛含量较高的时效强化合金或拘束度大的焊件时,为防止焊接裂纹。推荐选用抗裂性高的 Ni-Cr-Mo 系合金焊丝。焊后焊缝金属强度低于母材
	不同牌号高温合金组合焊时,焊丝选用原则是:在满足接头性能要求的情况下,首先选用组合焊合金中焊接性好,成本低的焊丝,若不能满足性能要求时,再选择其它适宜的焊丝



(续)

工 艺 要 求	
保护气体	<p>可以采用氩气、氦气或氩氦混合气做保护气体。氩气成本低,密度大,保护效果好,是最常用的保护气体,氩气的纯度应符合 GB4842《氩气》中规定的一级氩气要求</p> <p>氩气中加入质量分数为5%的氢气,在焊接过程中有还原作用,只能用于单道焊或多层焊缝的第一层焊缝。否则焊缝可能出现气孔缺陷</p>
钨极	<p>常用钍钨极(WTh15)和铈钨极(WCe20)。铈钨极发射电子能力强,引弧电压低,电弧稳定性好,许用焊接电流大,耐烧损,所以焊接高温合金时,推荐用铈钨极</p>
接头形式	<p>推荐采用对接接头形式。为便于焊接操作和有利于熔敷金属与母材充分熔合,坡口角度可适当大些</p>
焊接操作	<p>采用直流正接极性,高频引弧。在保证焊透情况下用小的焊接热输入。多层焊时要控制层间温度。焊接时弧长要短,不加填充焊丝时弧长要小于1.5mm。加填充焊丝时弧长与焊丝直径相近</p> <p>薄板高温合金焊前不预热,推荐在固溶或退火状态下焊接。厚度大于4mm的高温合金制件,焊前适当预热,焊后及时进行消除应力处理,防止裂纹产生</p>
接头组织	<p>在固态和焊态下的组织为单相奥氏体和少量碳、氯化钛质点。焊缝金属为铸造组织,边缘为联生结晶,然后是枝状晶,中心是等轴晶</p> <p>时效强化合金焊后经固溶和时效处理后,接头组织为奥氏体、<math>\gamma</math> [Ni,AlTi(Nb)]及少量碳化物相,焊缝金属枝状晶体部分消失</p> <p>高温合金主要问题是易产生热裂纹、凝固裂纹。时效强化合金还可能产生液化裂纹和应变时效裂纹</p>

### 2. 高温合金焊件的清理

焊接高温合金时,由于焊前清理不当,焊接参数选择不正确等原因,会使焊缝出现气孔、未焊透、未熔合、裂纹等缺陷。特别是当热量输

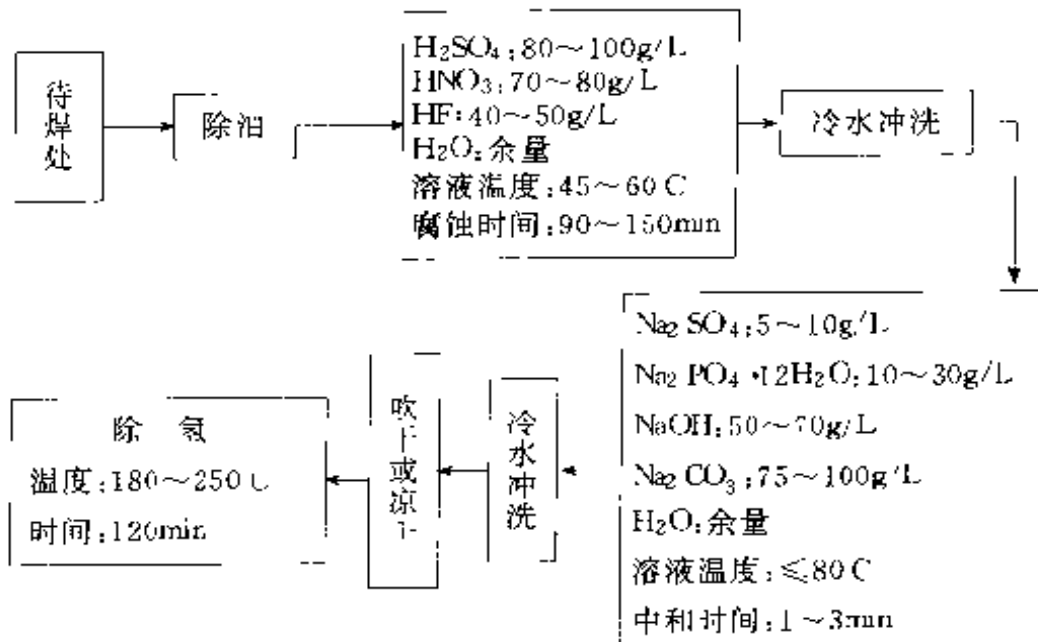
入过大,焊缝截面尺寸过大、焊缝相互交错及存在氧化物,焊接材料含碳量较高( $w_c$  超过 0.1%时),B、Zr 的质量分数大于 0.005%时,焊缝都会出现裂纹。

为了避免高温合金焊接裂纹的产生,除了焊接接头设计要合理,焊接方法选择正确、焊接参数和焊接材料选择正确外,还要在焊前认真清理待焊处表面,采取焊前预热和焊后热处理的措施。高温合金焊前状态对焊接裂纹的敏感性见表 3-27。高温合金焊后热处理见表 3-28。高温合金化学脱脂溶液配方及脱脂工艺参数见表 3-29。

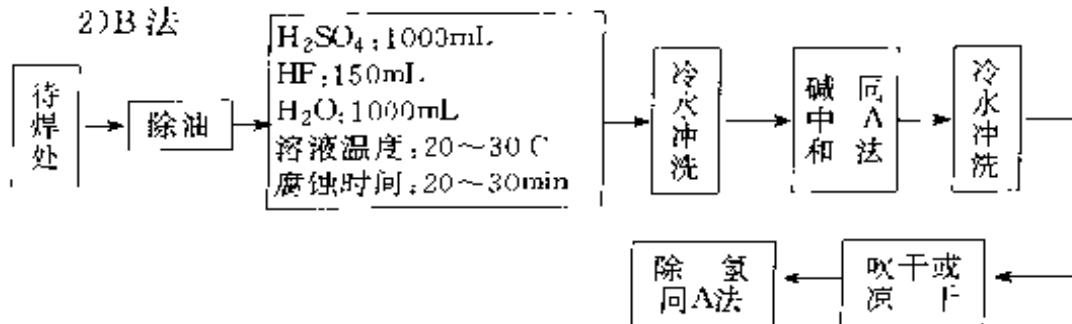
高温合金焊前表面清理很重要,主要有两种清理方法:酸洗法和碱洗加酸洗法,具体操作程序如下:

(1)酸洗法 酸洗时注意控制时间和温度,防止零部件过腐蚀。

1)A 法



2)B 法



(2)碱洗加酸洗法 这种方法主要用于氧化皮较厚的焊件。方法如下:

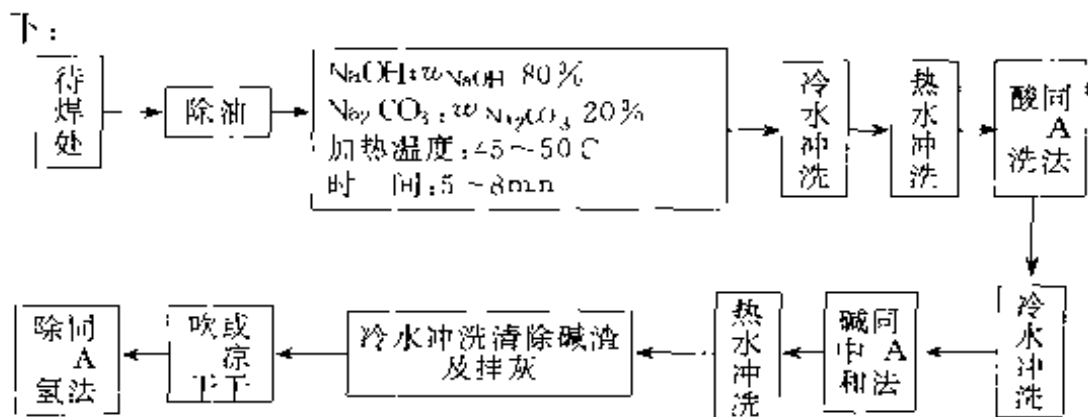


表 3-27 高温合金焊前状态对焊接裂纹的敏感性

焊前状态	对焊接裂纹的敏感性
固溶处理	裂纹敏感性较小
退火状态	裂纹敏感性较小
冷轧、平整	裂纹敏感性明显增大
时效处理	裂纹敏感性明显增大

表 3-28 高温合金焊后热处理

焊件状态	焊后热处理
结构较简单的薄壁固溶强化合金焊件	可以在焊态使用
结构重要的焊件	消除应力处理
时效硬化合金焊件	固溶和时效处理,也可以只进行时效处理

表 3-29 高温合金化学脱脂溶液配方及脱脂工艺参数

溶液配方/%	温度/℃	时间/min
$w_{NaOH}: 10; w_{H_2O}: 90$	80~90	8~10
$w_{Na_2CO_3}: 10; w_{H_2O}: 90$	100	8~10

### 3. 高温合金的牌号、性能及用途

高温合金是在高温下具有较高的力学性能、抗氧化性能和抗腐蚀

性能的合金。主要应用在航空、航天发动机、电厂发电机以及在石油化学工业高温环境中工作的材料等。大多数构件是以板材采用焊接工艺制造,也有的构件是以高温合金锻件或铸件与板材焊接而成。为了提高高温合金的焊接质量,采用全新焊接工艺及焊接方法,研制焊接性好、抗裂性高的高温合金及其焊接材料是高温合金焊接的主要工作。常用的高温合金分类见表 3-30。常用高温合金的特性及用途见表 3-31。常用高温合金的化学成分见表 3-32。常用高温合金的物理性能见表 3-33。常用高温合金的热处理见表 3-34。常用高温合金的力学性能见表 3-35。

表 3-30 常用的高温合金分类

分类方法	各 类 组 成			
按基体成分	镍 基		铁 基	
按强化方式	固溶强化合金		时效硬化合金	
按生产工艺	变 形	铸 造	粉末冶金	机械合金化

表 3-31 常用高温合金的特性及用途

类型	特 性 及 用 途
铁基 变形 合金	GH1131:固溶强化型合金,有良好的塑性和焊接性,热强性能较好,在长期使用中有时效倾向性,常用于 900℃ 以下的抗氧化零件,以及在 700~1000℃ 短时工作的零件
	GH1140:固溶强化型合金,有良好的热疲劳性和抗氧化性,足够的热强性,较高的塑性,良好的冲击韧度和焊接性,常用于 900℃ 以下的抗氧化零件,以及 900℃ 以下承受载荷的板材零件等
	GH2036:时效强化型合金,在 650℃ 以下有较高的热强性,切削加工和热加工塑性良好,合金膨胀系数大。用于 650℃ 以下的零件
	GH2132:时效强化型合金,有良好的切削加工性和热加工塑性,综合性能好,屈服点高,用于 650℃ 以下的紧固件等

(续)

类型	特 性 及 用 途
铁基 变形合金	GH2135:时效强化型合金,有良好的热加工塑性和较好的热强性,切削加工性较差,疲劳性能低。表面渗铝后可提高抗氧化性,用于680℃以下工作的零件
	GH2136:时效强化型合金,有较好的热强性,电渣重熔后工艺性能良好,用于650℃以下工作的零件
镍基 变形合金	GH3014:固溶强化型合金,强度与塑性较好,并有优良的抗氧化性和良好的冲压及焊接性能。用于950~1100℃抗氧化的零件
	GH3128:固溶强化型合金,综合性能好,持久寿命高,焊接性良好。用于950℃以下抗氧化的零件,也用于850~900℃高温长期使用的零件
	GH4033:时效强化型合金,有良好的抗氧化性,热强性及冷热加工性能,用于700℃以下工作的零件
	GH4037:时效强化型合金,热强性高,塑性好,冷热加工性能尚好,疲劳强度高,有缺口敏感性。用于800℃以下工作的零件
	GH1049:时效强化型合金,热强性高,但加工塑性差,有良好的疲劳强度,缺口敏感性小,经电渣重熔或真空电弧炉重熔可改善其加工塑性。用于800~850℃工作的零件
铁基 铸造合金	K213:时效强化型合金,在700~750℃以下组织稳定,用于该温度下工作的零件
	K214:时效强化型合金,表面渗铝可提高抗氧化性。用于700~850℃工作的零件
镍基 铸造合金	K417:时效强化型合金,强度高,热强性高,塑性好,组织稳定,缺口敏感性小。用于900℃以下工作的零件
	K418:时效强化型合金,有很好的抗氧化性及良好的蠕变断裂强度,工艺性能尚好,抗腐蚀性稍差,热强性高。用于850~950℃工作的零件
钴基 基金	GH188 <sup>①</sup> :使用温度700~900℃
	GH1605 <sup>①</sup> :使用温度700~900℃

① 此牌号为旧的,但为便于旧设备修理,此处保留。

表 3-32 常用高温合金的化学成分(质量分数)

新牌号	原牌号	C	Cr	Ni	Co	W	Mo	Al	固溶强化型铁基合金														
									Fe	Nb	V	B	Zr	Ce	Mn	Si	P	S	其它				
GH1015	GH15	≤ 0.08	19.0	34.0	-	4.80	2.50	-	-	-	-	-	-	-	≤	≤	≤	≤	≤	≤	≤	≤	
		~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
GH1016	GH16	≤ 0.08	19.0	32.0	-	5.00	2.60	-	-	-	-	-	-	-	≤	≤	≤	≤	≤	≤	≤	≤	≤
		~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
GH1035	GH35	0.06	20.0	35.0	-	2.50	-	≤ 0.50	0.70	余	1.20	-	-	-	≤	≤	≤	≤	≤	≤	≤	≤	≤
		~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
GH1040	GH40	0.12	23.0	40.0	-	3.50	-	-	1.20	余	1.70	-	-	-	0.050	0.70	0.80	0.0300	0.020	~	~	~	~
		~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
GH1131	GH31	≤ 0.10	19.0	25.0	-	4.80	2.80	-	-	-	-	-	-	-	≤	≤	≤	≤	≤	≤	≤	≤	≤
		~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
GH1140	GH40	0.06	20.0	35.0	-	1.40	2.00	0.20	0.70	余	-	-	-	-	≤	≤	≤	≤	≤	≤	≤	≤	≤
		~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
		0.12	23.0	40.0	-	1.80	2.50	0.60	1.20	余	-	-	-	0.050	0.70	0.80	0.0250	0.015	~	~	~	~	~

(续)

新牌号	原牌号	C	Cr	Ni	Co	W	Mo	Al	Ti	Fe	Nb	V	B	Zr	Ce	Mn	Si	P	S	其它		
时效硬化型钛合金																						
GH2018	GH18	≤ 18.0	40.0	—	1.80	3.70	0.35	1.80	余	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		0.06	~	~	2.20	4.30	0.75	2.20	~	~	0.0150, 0.0500, 0.0200	0.50	0.60	0.0200, 0.015	—	—	—	—	—	—	—	—
GH2036	GH36	11.5	7.0	—	—	1.10	—	—	≤ 0.12	余	0.25	1.25	—	—	—	7.50	0.30	—	—	—	—	
		~	~	—	~	~	—	—	—	0.50	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
		0.40	13.5	9.0	—	1.40	—	—	—	0.50	0.50	1.55	—	—	—	—	9.50	0.80	—	—	—	—
GH2038	GH38	≤ 10.0	18.0	—	—	—	—	—	2.30	余	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		0.10	~	~	0.50	~	—	—	—	2.80	A	0.008	—	—	—	—	1.00	1.00	0.0300, 0.020	—	—	—
GH2130	GH130	≤ 12.0	35.0	—	5.00	—	—	1.40	2.40	余	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		0.08	~	~	~	~	—	—	~	~	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		16.0	40.0	—	6.50	—	—	2.20	3.20	—	—	—	—	0.020	—	—	0.50	0.60	0.0150, 0.015	—	—	—
GH2132	GH132	≤ 13.5	24.0	—	—	1.00	—	≤ 1.75	余	余	—	0.10	0.001	—	—	—	—	—	—	—	—	
		0.08	~	~	0.40	~	—	—	—	—	—	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
GH2135	GH135	14.0	33.0	—	1.70	1.70	2.00	2.10	余	余	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		0.08	~	~	~	~	—	—	~	~	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		16.0	36.0	—	2.20	2.20	2.80	2.50	—	—	—	—	—	0.015	—	—	—	—	—	—	—	

(续)

新牌号	原牌号	C	Cr	Ni	Co	W	Mo	Al	Ti	Fe	Nb	V	B	Zr	Ce	Mn	Si	P	S	其它	
时效硬化型铁基合金																					
GH2136	GH136	≤	13.0	24.5	—	—	1.00	≤	2.40	余	—	0.01	0.005	—	—	≤	≤	≤	≤	—	
		0.06	~	~	~	~	~	0.35	~	~	~	~	~	~	~	~	0.35	0.75	0.0250	0.025	—
GH2302	GH302	≤	12.0	38.0	3.50	1.50	1.80	2.30	余	—	—	—	—	—	—	≤	≤	≤	≤	—	
		0.09	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
						4.50	2.50	2.30	2.80	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
固溶强化型镍基合金																					
GH3030	GH130	≤	19.0	余	—	—	—	≤	0.15	≤	—	—	—	—	—	≤	≤	≤	≤	—	
		0.12	~	~	~	~	~	0.15	~	1.5	~	~	~	~	~	~	0.70	0.80	0.0300	0.020	—
GH3039	GH39	≤	19.0	余	—	—	1.80	0.35	0.35	≤	0.90	—	—	—	—	≤	≤	≤	≤	—	
		0.08	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
						2.30	0.75	0.75	1.30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
GH3044	GH44	≤	23.5	余	—	13.0	≤	≤	0.30	≤	—	—	—	—	—	≤	≤	≤	≤	—	
		0.10	~	~	~	~	~	1.50	0.50	~	4.0	—	—	—	—	~	~	~	~	~	
GH3128	GH128	≤	19.0	余	—	—	7.50	0.40	0.40	≤	—	—	—	—	—	≤	≤	≤	≤	—	
		0.05	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	
		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
						9.0	0.80	0.80	2.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
						—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	



(续)

新牌号	原牌号	时效硬化型镍基合金										其它							
		C	Cr	Ni	Co	W	Mo	Al	Ti	Fe	Nb	V	B	Zr	Ce	Mn	Si	P	S
GH4033	GH33	0.03	19.0	余	-	-	0.60	2.10	≤	-	-	-	-	-	≤	≤	≤	≤	≤
		~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
		0.08	22.0				1.00	2.80							0.010	0.014	0.35	0.65	0.0150, 0.007
GH4037	GH37	0.03	13.0	余	5.00	2.00	1.70	1.80	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
		~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
		0.10	16.0		7.00	4.00	2.30	2.30	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
GH4043	GH13	≤	15.0	余	2.00	4.00	1.00	1.90	≤	0.30	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		0.12	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
		19.0	~	~	3.50	6.00	1.70	2.80	~	1.30	~	~	~	~	~	~	~	~	~
GH4049	GH49	≤	0.5	余	14.0	5.00	4.50	3.70	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
		0.10	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
		11.0	~	~	16.0	6.00	5.50	4.40	1.90	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
GH4133	GH33 A	≤	19.0	余	-	-	0.70	2.50	≤	1.15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		0.07	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
		22.0	~	~	-	-	1.20	3.00	~	1.65	~	~	~	~	~	~	~	~	~
GH4169	GH169	≤	17.0	30.0	-	-	0.20	0.65	余	4.75	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		0.08	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
		21.0	~	~	3.30	0.60	1.15	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~

注: 1. GH1035 合金中的 Ti 和 Nb 为任选其一, 不是同时加入的。

2. GH3039 合金中允许有铋(Bi)存在。

3. 表中 B, Zr, Ce 的含量为计算加入量, 可不分析测定(除非产品标准或协议、合同中另有规定)。

表 3-33 常用高温合金的物理性能

项目	热导率/(W/m·°C)				线胀系数/ $10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$				电阻率/ $10^{-6} \Omega\text{m}$			弹性模量 <sup>①</sup> ED/CPa		熔化 温度 / °C	密度 /(g/ $\text{cm}^3$ )			
	100	400	600	800	900	20~100	20~400	20~600	20~800	20~1000	20	600	800			1000		
合金 牌号																		
GH3030	15.1	19.3	22.2	25.1	26.4	12.8	15.0	16.1	17.5	—	1.10	—	—	—	—	1374~ 1420	8.4	
GH3039	13.8	18.8	21.8	25.1	26.8	11.5	13.5	14.3	15.3	16.4	1.18	—	211	169	155	—	8.3	
GH3044	11.7	15.9	18.4	21.8	24.7	12.2	13.1	13.5	14.3	16.2	—	—	—	—	—	1352~ 1375	8.89	
GH3128	11.3	15.5	18.6	21.4	23.0	11.2	12.8	13.7	15.2	16.3	1.37	—	1.39	208	187	144	1340~ 1390	8.81
GH22	8.7	14.0	17.4	21.4	24.1	12.7	15.5	17.4	19.1	—	—	—	206	174	158	1288~ 1374	8.23	
GH625	11.4	15.2	18.4	21.5	24.6	12.8	13.6	14.5	15.4	—	1.28	1.38	1.36	195	166	158	1290~ 1350	8.44
GH170	13.4	16.3	18.0	20.5	—	11.7	12.9	13.8	15.4	16.5	1.19	1.27	1.27	253	214	198	1395~ 1425	9.34

(续)

项目	热导率/(W/m·℃)				线胀系数/10 <sup>-6</sup> ℃ <sup>-1</sup>				电阻率/10 <sup>-6</sup> Ωm				弹性模量 <sup>μ</sup> ED/GPa			熔化 温度 /℃	密度 /(g' mm <sup>3</sup> )			
	温度 合金 牌号	100	400	600	800	900	20~ 100	20~ 400	20~ 600	20~ 800	20~ 1000	20	500	800	900			20	600	800
GH163	12.6	19.3	23.4	27.7	30.1	11.6	13.4	14.6	16.2	18.0	1.21	1.41	1.41	1.38	248	196	150	143	1320~ 1375	8.35
GH4169	14.6	18.8	21.8	24.3	—	13.2	14.0	15.0	17.0	18.7	—	—	—	—	205	169	—	—	1260~ 1320	8.24
GH99	10.5	15.9	19.9	23.5	27.2	12.0	13.0	14.2	15.1	17.4	1.37	1.46	1.12	1.39	194	178	146	146	1345~ 1390	8.47
GH141	8.4	15.1	19.5	23.4	—	10.5	12.8	13.5	15.0	—	—	—	—	—	221	188	175	—	1316~ 1371	8.27
GH1015	11.7	17.2	20.8	25.0	26.8	14.4	15.4	16.1	16.7	17.2	—	—	—	—	200	160	148	129	—	8.32
GH1016	12.2	15.9	18.6	21.9	23.3	14.3	15.4	15.9	16.6	16.8	—	—	—	—	203	164	147	128	—	8.31
GH1035	12.5	17.6	20.1	24.7	27.2	13.7	16.6	18.3	20.0	—	—	—	—	—	109	—	150	—	—	8.17

(续)

项目	热导率/(W/m·C)			线胀系数/ $10^{-6}C^{-1}$				电阻率/ $10^{-6}\Omega m$			弹性模量 <sup>①</sup> ED/GPa			熔化 温度 '(	密度 '(g/ cm <sup>3</sup> )					
	100	400	600	800	900	20~ 100	20~ 400	20~ 600	20~ 800	20~ 1000	20	600	800			900	20	500	800	1000
GH1139	15.2	19.3	22.1	25.0	25.3	12.7	14.6	15.4	16.3	17.5	1.07	-	-	192	159	143	-	8.09		
GH11310	16.16	16.32	19.3	22.6	21.7	14.7	14.8	16.2	17.3	18.1	-	-	220	174	176	166	-	8.33		
GH2132	14.2	18.8	22.2	25.5	27.6	15.4	16.8	18.1	19.6	-	0.91	1.16	1.21	198	157	139	-	7.93		
GH2302	10.5	14.6	17.6	22.2	24.7	15.8	15.2	15.6	16.3	-	-	-	-	195	162	119	-	8.09		
GH2018	10.5	16.3	19.7	23.0	25.1	14.6	15.0	15.6	16.2	-	-	-	-	186	147	136	-	8.16		
GH188	11.7	18.9	23.1	26.2	-	11.4	14.2	17.0	16.8	-	-	-	-	227	187	166	158	9.13		
GH605																		1360		
																			1329~ 1410	

① ED 为动态弹性模量

表 3 34 常用高温合金的热处理

	合金牌号	固溶处理	时效处理	技术标准	
镍	GH3030	980~1020℃、空冷	-	GB180-82	
	GH3039	1050~1090℃、空冷	-	GBn180-82	
	GH3044	1120~1160℃、空冷	-	GBn180-82	
	GH3128	1140~1180℃、空冷	-	GBn180-82	
	GH22	1140~1180℃、空冷 或水冷	-	上 海 技 342-85	
	GH625	1090~1200℃、空冷	-	Z90104-86	
	GH163	1150±10℃、水冷	800℃±10℃、8h、 空冷	WS9-7036-78	
	GH4169	950~980℃、1h、水 冷或空冷	720℃±5℃、8h、 以 50℃/h 炉冷到 650℃±5℃、8h、 空冷	GBn175-82	
	基	GH99	1120~1160℃、空冷	-	HB5332-85
		GH141	1180℃、30min、空 冷	900℃、4h、空冷	抚新高 84-13
GH4033		1080℃±10℃、8h、 空冷	700℃±10℃、 16h、空冷	GBn176-82	
GH1037		一次固溶 1180℃ ±10℃、2h、空冷 + 二次固溶 1050℃ ± 10℃、1h、空冷	800℃±10℃、 16h、空冷	GBn176-82	

(续)

	合金牌号	固溶处理	时效处理	技术标准
铁	GH1015	1140~1170℃、空冷	-	HB5199-82
	GH1016	1160(±20)℃、空冷	-	HB5199-82
	GH1035	1100~1140℃、空冷	-	GBn180-82
	GH1140	1050~1090℃、空冷	-	GBn180-82
	GH1131	1130~1170℃、空冷	-	GBn180-82
	GH2132	980~1000℃、空冷	700~720℃、 12~16h 空冷	GBn180-82
基	GH2302	1100~1130℃、空冷	800℃±10℃、16h、 空冷	GBn180-82
	GH2018	1110~1150℃、空冷	800℃±10℃、16h、 空冷	GBn180-82
	GH188	1180℃±10℃、空冷 或水冷	-	Z9-0103-86
基	GH605	1120℃±10℃、空冷 或水冷	-	Z9-0103-86

表 3-35 常用高温合金的力学性能

合金成分类型	合金牌号	热处理状态	试验温度 /℃	拉伸性能			持久性能		
				$\sigma_b$ /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	$\delta_5$ /%	$\sigma$ /MPa	断裂时间 /h	$\delta_5$ /%
镍基板材	GH3030	供货状态	20	686	-	30	-	-	-
			700	294	-	-	103 86	100 200	-
	GH3039	供货状态	20	735	-	40	-	-	-
			800	245	-	40	78	100	-

(续)

合金成分类型	合金牌号	热处理状态	试验温度 / °C	拉伸性能			持久性能		
				$\sigma_r$ / MPa	$\sigma_{0.2}$ / MPa	$\delta_5$ / %	$\sigma$ / MPa	断裂时间 / h	$\delta_t$ / %
镍基板材	GH4169	960°C、1h、水冷   720°C、8h、冷至 620°C、8h、空冷	20	1270	1030	12	—	—	—
			650	1005	865	12	690	25	4
	GH3128	供货状态	20	735	—	40	—	—	—
			950	176	—	40	42	100	—
	GH22	供货状态	20	725	304	35	—	—	—
			815	342	—	62	110	24	8
	GH625	930~1040°C、空冷	20	700	320	35	—	—	—
			815	—	—	—	114	23	15
	GH163	1150°C ±10°C、水冷	20	540	—	9	—	—	—
			780	465	—	5	—	—	—
	GH3044	供货状态	20	735	—	40	—	—	—
			900	196	—	40	51 42	100 200	—
镍基	GH99	1140°C、空冷	20	1128	—	30	—	—	—
			900	374	—	15	118	23	6
	GH141	1065°C、4h、空冷 + 760°C、16h、空冷	20	1175	880	12	—	—	—
800			735	635	15	—	—	—	

(续)

合金成分类型	合金牌号	热处理状态	试样温度 / °C	拉伸性能			持久性能		
				$\sigma_b$ / MPa	$\sigma_{0.2}$ / MPa	$\delta_5$ / %	$\sigma$ / MPa	断裂时间 / h	$\delta_5$ / %
铁基 板 材	GH1015	1150°C、空冷	20	686	—	40	—	—	—
			900	176	—	40	68	20	—
	GH1016	1160°C ± 10°C、 空冷	20	735	—	35	—	—	—
			900	186	—	40	68	20	—
	GH1035	1100~ 1140°C、空冷	20	588	—	35	—	—	—
			700	343	—	35	—	—	—
	GH1140	1080°C、空冷	20	637	—	40	—	—	—
			800	225	—	40	—	—	—
	GH1131	1130~1170°C、 空冷	20	735	—	34	—	—	—
			900	177	—	40	—	—	—
	GH2132	980~ 1000°C、空冷 + 700~ 720°C、12~ 16h、空冷、时 效	20	882	—	20	—	—	—
			500	784	—	16	584	100	—
			650	686	—	15	392	100	—
	GH2302	供货状态+800 °C ± 10°C、 16h、空冷	26	686	—	50	—	—	—
800			539	—	6	216	100	—	
GH2018	1110~1150°C、 空冷 +800°C、16h、 空冷	20	932	—	15	—	—	—	
		800	432	—	15	—	—	—	
钴 基	GH188	1180°C、水或 空冷	20	86	38	45	—	—	—
			815	—	—	—	165	23	—
GH605	供货状态	20	890	370	35	—	—	—	
		815	—	—	—	165	23	—	

### 1. 高温合金焊丝的选择

焊接高温合金时,填充金属多与母材相同,可以采用从母材上剪材或与母材成分相同的焊丝。常用高温合金焊丝的化学成分见表 3-36。常用的相同牌号或不相同牌号高温合金钨极氩弧焊配用焊丝见表 3-37。



表 3-36 常用高温合金焊丝的化学成分(质量分数)

焊丝 牌号	C	Ni	Cr	Fe	Mo	W	Mn	Nb	Ti	Sr	Al	备注
HGH3013	≤0.08	余量	14.5~16.5	4~7	15~17	3~4.5	≤1	—	—	≤1	—	—
HGH3128	≤0.05	余量	19~22	≤2	7.5~9	7.5~9	≤0.5	—	0.4 ~0.8	≤0.8	0.4 ~0.8	—
HGH3030	≤0.12	余量	19~22	≤1	—	—	≤0.7	—	0.15 ~0.35	≤0.8	≤0.15	—
HGH3039	≤0.08	余量	19~22	≤3	1.8~2.3	—	≤0.4	—	0.35 ~0.75	≤0.8	0.35 ~0.75	—
HGH3044	≤0.1	余量	23.5~26.5	≤4	—	13~16	≤0.5	—	0.3 ~0.7	≤0.8	≤0.5	—
HGH3041	≤0.25	72~78	20~23	≤1.7	—	—	0.2 ~1.5	—	—	≤0.6	≤0.06	—
HGH1035	0.06 ~0.12	35~40	20~23	余量	—	2.5 ~3.5	≤0.7	—	0.7 ~1.2	≤0.8	≤0.5	—
HGH1040	≤0.1	24~27	15~17.5	余量	5.5~7	—	1~2	—	—	0.5~1	—	—

(续)

焊丝 牌号	C	Ni	Cr	Fe	Mo	W	Mn	Nb	Ti	Si	Al	备注
HGH1068	≤0.1	21~23	14~16	余量	2~3	7~8	5~6	—	—	≤0.2	—	—
HGH1131	≤0.1	25~30	19~22	余量	2.8 ~3.5	4.8~6	≤1.2	0.7 ~1.3	—	≤0.8	—	—
HGH1139	≤0.12	14~18	23~26	余量	—	—	5~7	—	—	≤1	—	—
HGH1140	0.06 ~0.12	35~40	20~23	余量	2~2.5	1.4 ~1.8	≤0.7	—	0.7 ~1.2	≤0.8	0.2 ~0.6	—
HGH2036	0.34 ~0.4	7~9	11.5 ~13.5	余量	1.1 ~1.4	—	7.5 ~9.5	0.25 ~0.5	≤0.12	0.3 ~0.8	—	V — 1.25~ 1.56
HGH2038	≤0.1	18~21	10~12	余量	—	—	≤1	—	2.3 ~2.8	≤1	≤0.5	B: 0.008 (u) 0.2
HGH2042	≤0.05	34.5 ~36.5	11.5 ~13	余量	—	—	0.8 ~1.3	—	2.7 ~3.2	≤0.6	0.0 ~1.2	Cu ≤ 0.2

(续)

焊丝 牌号	C	Ni	Cr	Fe	Mo	W	Mn	Nb	Ti	Si	Al	备注
HGH2132	≤0.06	24~27	13.5 ~16	余量	1~1.5		1~2	—	1.75 ~2.35	0.4~1	≤0.35	V— 0.1~ 0.5 B=— 0.001 ~0.01
HGH2135	≤0.06	33~36	14~16	余量	1.7 ~2.2	1.7 ~2.2	≤0.4	—	2.1 ~2.5	≤0.5	2.4 ~2.8	—
HGH1033	≤0.06	余量	19~22	≤1	—	—	≤0.35	—	2.4 ~2.8	≤0.65	0.6~1	—
HGH4145	≤0.08	余量	14~17	3~9	—	—	≤	0.7 ~1.2	2.25 ~2.75	≤0.5	0.4~1	Cu≤ 0.2
HGH1169	≤0.08	50~55	17~21	余量	2.8 ~3.3	—	≤0.35	4.75 ~5.5	0.65 ~1.15	≤0.3	0.2 ~0.6	—
HSG1	≤0.12	余量	3~6	4~7	23~26	—	≤1	—	—	≤1	—	—
HSG5	0.05 ~0.15	余量	20.5 ~23	17~20	8~10	0.2~1	≤1	—	—	≤1	—	—

表 3-37 常用的相同牌号或不相同牌号高温合金钨极氩弧焊配用焊丝

序号	合金牌号	GH 2132	GH 1035	GH 1140	GH 1016	GH 1015	GH 99	GH 4169	GH 163	GH 22	GH 625	GH 3128	GH 3044	GH 3039	GH 3030
1	GH2132	14	-	12, 11, 20	-	-	-	8, 11, 21	7, 10, 20	6, 11	5, 11, 20	-	3, 11	2, 14	1, 11
2	GH1035	-	13	15, 23	-	-	-	-	-	-	-	-	3, 13	2, 13	1, 13
3	GH1140	-	-	14	11, 12	10, 12	6, 9, 12	-	-	6, 12	-	4, 12	3, 12	2, 12	1, 12
4	GH1016	-	-	-	11	11, 11	9, 11, 23	-	-	6, 11	-	-	3, 11	2, 11	1, 11
5	GH1015	-	-	-	-	10	9, 10, 23	-	-	6, 10	-	-	3, 10	2, 10	1, 10
6	GH99	-	-	-	-	-	9, 23	-	-	-	-	-	3, 9	2, 9	1, 9
7	GH4169	-	-	-	-	-	-	8	7, 8, 20	9, 8	5, 8, 20	-	-	-	1, 8
8	GH163	-	-	-	-	-	-	-	7	6, 7	5, 7	-	-	-	1, 7

(续)

序号	合金牌号	GH 2132	GH 1035	GH 1140	GH 1016	GH 1013	GH 99	GH 4169	GH 163	GH 22	GR 625	GH 3128	GH 3041	GH 3039	GH 3030
9	GH22	-	-	-	-	-	-	-	-	⑥	③ ⑥	⑥	② ⑥	① ⑥	
10	GH625	-	-	-	-	-	-	-	-	-	③	① ②	② ⑤	① ②	
11	GH3128	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	③ ④	② ④	① ①	
12	GH3044	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	③	② ③	① ③	
13	GH3039	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	②	① ②	
14	GH3030	-	-	-	-	-	GH 2302	GH 2018	GH 150	-	-	-	-	①	
15	GH2302	-	-	-	-	-	⑬	-	-	④ ⑬	-	③ ④	② ⑬	① ⑬	
16	GH2018	-	-	-	-	-	-	⑩	-	-	⑤ ⑬	③ ⑬	-	① ⑬	②

(续)

序号	合金牌号	GH 2132	GH 1035	GH 1140	GH 1016	GH 1015	GH 99	GH 4169	GH 163	GH 22	GH 3128	GH 3044	GH 3039	GH 3030
17	GH150		⑬⑰ ⑱				⑤⑯ ⑳		⑴ ⑵			③⑴ ⑵	②⑴ ⑵	①⑴ ⑵
18	1Cr18Ni9Ti	⑥ ⑳	⑥⑬ ⑳	⑥⑫ ⑳	⑥⑪ ⑳	⑥⑩ ⑳	⑥⑨ ⑳			⑴ ⑵	④⑥ ⑳	①③ ⑵	①② ⑶	① ⑵
19	1Cr13(2Cr13)											⑤ ⑹	② ⑶	① ⑵
20	1Cr17Ni2											③ ⑶	② ⑶	① ⑵

注:①~⑳不同牌号的焊丝代号:

① HGH3030; ② HGH3039; ③ HGH3044; ④ HGH3128; ⑤ GH1625; ⑥ GH22; ⑦ GH163; ⑧ HGH4169; ⑨ GH99; ⑩ GH1015;  
 ⑪ GH1016; ⑫ HGH1140; ⑬ HGH1035; ⑭ HGH2132; ⑮ GH2302; ⑯ GH2018; ⑰ GH150; ⑱ GH188; ⑲ GH605; ⑳  
 HGH3113; ㉑ HSG-1; ㉒ HSG-5; ㉓ H1533; ㉔ H1Cr18Ni9Ti

其中: ㉑ HGH3113; Ni-15Cr-3W-15Mn

㉒ HSG-1; Ni-5Cr-24Mo

㉓ HSG-5; Ni-20Cr-8Mo

㉔ H1533; Ni-20Cr-8W-8Mo-3Ti-Al

5. 高温合金钨极氩弧焊焊接参数

手工钨极氩弧焊对接焊缝的焊接参数见表 3-38 手工钨极氩弧焊焊角焊缝的焊接参数见表 3-39。机械化钨极氩弧焊对接焊缝的焊接参数见表 3-10。

表 3-38 手工钨极氩弧焊对接焊缝的焊接参数

母材	板厚 /mm	钨极直径 /mm	焊接电流 /A	焊丝直径 /mm	喷嘴直径 /mm	氩气流量 (L/min)	备注
纯镍	0.8	2	35~60	1	10~12	正面:10 背面:2~3	—
	1	2	40~70	1.6	10~12	正面:10~12 背面:2~3	
	1.5	2	60~90	1.6	10~12	正面:10~12 背面:2~3	
	2	2	80~130	2	12~14	正面:12~14 背面:3~4	
	3	3	90~160	2	12~14	正面:12~16 背面:3~4	
	4	3~4	120~170	3	14~16	12~16	
GH3030	1	1.6	40~70	1~1.6	10~12	4~6	焊丝 HGH 3030
	1.5	2	60~90	1.6~2	10~12	5~7	
	1.8	2	70~110	1.6~2	10~12	6~8	
GH3039	0.8	1.2	45~50	0.8~1	10~12	4~6	焊丝 HGH 3039
	1	1.6~2	50~55	1~1.2	10~12	4~6	
	1.2	1.6~2	60~65	1.2~1.6	10~12	6~8	
	1.5	2	70~85	1.6~2.4	10~12	6~8	
	2	2	90~100	2~2.5	10~12	8~12	

(续)

母材	板厚 /mm	钨极 直径 /mm	焊接 电流 /A	焊丝 直径 /mm	喷嘴 直径 /mm	氩气 流量 /(L/min)	备注
GH3044	1.2	1.6~2	65~75	1.2~2	10~12	5~6	焊丝 HGH 3044
	1.5	2	75~85	1.5~2	10~12	5~6	
	2	2	80~100	1.5~2	12~14	6~10	
GH1140	0.8	1~1.6	35~45	0.8~1	10~12	3~5	HGH 1140
	1	1.6	45~60	1~1.2	10~12	3~5	
	1.2	1.6	50~70	1.2~1.6	10~12	4~6	
	1.5	1.6~2	70~85	1.6~2.4	10~12	5~8	
	2	2	85~100	2~2.5	12~14	8~10	
	2.5	2	90~110	2~2.5	12~14	8~10	
	3	2.5	110~135	2~2.5	12~14	8~10	

表 3-39 手工钨极氩弧焊角焊缝的焊接参数

母材	板厚 /mm	钨极 直径 /mm	焊接 电流 /A	焊丝 直径 /mm	喷嘴 直径 /mm	氩气 流量 /(L/min)	备注
纯镍	4	3~4	140~180	3	14~16	12~16	
GH3030 电弧电压 10~15V	3	2	80~110	2	18~20	12~14	角接
	3	2	70~110	1.6~2	18~20	6~8	T形接
	1.2 ~1.5	2	50~70	1.6~2	10~12	5~7	搭接



表 3-40 机械化钨极氩弧焊对接焊缝的焊接参数

母材 材质	板厚 /mm	钨极 直径 /mm	焊接 电流 /A	焊丝 直径 /mm	喷嘴 直径 /mm	氩气流量(L/min)		焊接 速度 /(m/min)	送丝 速度 /(m/min)	备 注	
						正面	背面				
GH3030	0.8	3	100~120	—	18~20	10~12	2~3	0.7		电弧电压 10~12V	
	1.5		12~14			3~4					
	1.8		12~14			3~4					
GH3039	1	3	150~160	—	18	14~16	4~5	0.66~0.69		电弧电压 12V	
	1.2		8~12			4~6	0.4				
GH3044	1.2	2~3	100~115	—	18~20	8~12	4~6	0.4		电弧电压 10~12V	
	2		10~15			4~6	0.42~0.52				
GH1140	0.8	3	50~60	—	18	5~6	2~3	0.45~0.55 0.5~0.6		电弧电压 11V	
	1		5~8			2~4					
	1.2		5~8			2~4					
	1.5		6~10			3~5					
GH3039	0.8	3	85~90	—	18	8~10	4~5	0.32	0.38	HGH3030、HGH3039 电弧电压 12V	
	1.2		5~8			2~4					
GH3044	0.8	2~3	60~75	—	18	6~10	3~5	0.4~0.6	0.25~0.45	HGH3011	
	1		5~6			2~3	0.45~0.55				0.45~0.55
GH1140	1.2	3	115~125	—	18	5~8	2~4	0.45~0.65	0.5~0.6	HGH3030 HGH3039 HGH3044 HGH1140 电弧电压 11V	
	1.5		6~10			3~5	0.5~0.6				0.45~0.55
	2		6~10			3~5	0.4~0.45				0.35~0.4

## (二) 铝及铝合金钨极氩弧焊

## 1. 铝及铝合金焊件的清理

铝及铝合金焊接时,焊件表面油污及氧化膜的清理质量直接影响焊接质量。铝及铝合金的焊前清理、清洗见表 3-41。

表 3-41 铝及铝合金的焊前清理

方法	操作内容
除油	可采用汽油或丙酮、醋酸乙酯、四氯化碳等溶剂进行除油处理。详见表 1-86
机械法去除氧化膜	用不锈钢钢丝刷或用刮刀把坡口两侧 50mm 范围内的氧化铝膜刷除或用刮刀刮除
化学法清除氧化膜	<pre> graph LR     A[待清理焊丝] --&gt; B[溶液温度 40~60 C 浓度 c(NaOH) 8%~10% 浸蚀 10~15min]     B --&gt; C[冷水冲洗 2min]     C --&gt; D[用体积分数为 30% 的 稀硝酸溶液中和处理]     D --&gt; E[冷水冲洗 2~3min 表面不允许 黄斑·黑斑]     E --&gt; F[100~150 C 烘干 30min]     F --&gt; G[可以使用]           </pre> <p>因焊件太大,无法进行整体化学清理,可以采用局部除膜处理</p>
	<pre> graph LR     A[待清理焊件] --&gt; B[氧乙炔火焰加热坡口 两侧 30~50mm, 达 80~100 C]     B --&gt; C[用 c(NaOH) 10%~15% 溶液 淋擦坡口两侧 30mm 视坡口两侧 开始发白]     C --&gt; D[用 c(HNO3) 为 30% 的溶液擦 抹进行中和]     D --&gt; E[冷水冲洗干净]     E --&gt; F[风干]     F --&gt; G[可以焊接]           </pre>

- (1) 加热温度与溶液浓度不能过高,否则化学反应过分激烈,会形成一层白色薄膜,影响焊接质量。化学清理后,坡口两侧残留溶液必须用水冲洗干净,否则会造成局部点状腐蚀,降低焊件的使用寿命。

表 3-42 常用国产铝及铝合金焊丝的化学成分(GB10858--89)

类别	型号	牌号	化学成分(质量分数)/%										其它元素总量		
			Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al				
纯铝	SAI-1		Fe+Si	1.0	0.05	0.05	—	—	—	—	—	0.10	0.05	≥99.0	0.15
	SAI-2		0.20	0.25	0.40	0.03	0.03	—	—	—	0.04	0.03	≥99.7		
	SAI-3	HS301	0.30	0.30	—	—	—	—	—	—	—	—	≥99.5		
铝镁	SAIMg-1		0.25	0.40	0.10	0.50 ~1.0	2.40 ~3.0	0.05 ~0.20	—	—	—	—	0.05 ~0.20	—	0.15
	SAIMg-2	—	Fe+Si	0.45	0.05	0.01	3.10 ~3.90	0.15 ~0.35	—	—	0.20	0.05 ~0.15	—		
	SAIMg-3		0.40	0.40	0.10	0.50 ~1.0	4.30 ~5.20	0.05 ~0.25	—	—	0.25	0.15	—		
铝铜	SAIMg-5	HS331	0.40	0.40	—	0.20 ~0.60	4.70 ~5.70	—	—	—	—	0.05 ~0.20	—	余量	
	SAICu	—	0.20	0.30	5.8 ~6.8	0.20 ~0.40	0.02	V;0.05~0.15 Zr;0.10~0.25	—	—	0.10 ~0.205	—	—		
铝硅	SAIMn	HS321	0.60	0.70	—	1.0 ~1.6	—	—	—	—	—	—	—	—	
	SAISi-1	HS311	4.0 ~6.0	0.80	0.30	0.05	0.05	—	—	—	0.10	0.20	—		
铝硅	SAISi-2	—	11.0 ~13.0	0.80	0.30	0.15	0.10	—	—	—	0.20	—	—	—	

注:除规定外,单个数值表示最大值。

## 2. 铝及铝合金焊丝的化学成分

铝及铝合金焊接时,焊缝的力学性能与合理选择焊丝及填充材料是十分重要的,在钨极氩弧焊时,常用的焊丝基本上都是和待焊的母材成分相同或相近,如实在难以解决成分相近的焊丝时,可以由待焊母材上切下窄条代替焊丝使用。常用国产铝及铝合金焊丝的化学成分见表 3-42。常用铝及铝合金焊接的配用焊丝见表 3-43。异种铝及铝合金焊接配用的焊丝见表 3-44。

表 3-43 常用铝及铝合金焊接配用焊丝

母 材		焊丝或填充金属
组别	代号	
工业 纯铝	L1	L1
	L2	L2 或 L1、HS301
	L3	L2、HS301 或 L3
	L4	HS301 或 L3、L4
	L5	HS301 或 L3、L4、L5
	L6	HS301 或 L3、L4、L5
防锈铝	LF2	LF2、LF3、或 LT1(特殊铝合金)
	LF3	LF3、LF5、HS331
	LF5	LF5、LF6、HS331
	LF6	LF6
	LF 10	LF 10
	LF 11	LF 11
	LF 16	试用焊丝成分: $w_{Cu} = 6\% \sim 7\%$ ; $w_{Ni} = 2\% \sim 2.5\%$ ; $w_{Mg} =$
	LF 17	$1.6\% \sim 1.7\%$ ; $w_{Mn} = 0.4\% \sim 0.6\%$ ; $w_{Ti} = 0.25\% \sim 0.3\%$ ; $w_{Al}$ : 余量
硬铝	LY 11	LT1、HS311
	LY 12	
锻铝	LD2	LT1、HS311
特殊铝	LT1	LT1、HS311
	LT13	LT1、LT13、HS311

表 3-44 异种铝及铝合金焊接配用焊丝及填充金属

母材	焊丝及填充金属								
	ZL101	ZL104	LF21	LF6	LF5 LF11	LF3	LF2	L6	L3 L5
L2	ZL101	ZL104	LF21	LF6	LF5	LF5	LF3 LF2	L2	L2
L3~L5	ZL101	ZL104	LF21	LF6	LF5	LF5	LF3 LF2	L2	L2、L3 L4、L5
L6								L3、L6 L4、L5	
LF2								—	—
LF3								—	—
LF5 LF11	—	—	—	LF6	LF11	—	—	—	—
LF21	ZL101	ZL104	LF21	—	LF5	LF5	LF3 LF2	—	—
ZL101	ZL101	—	ZL101	—	—	—	—	—	—
ZL104	—	ZL104	ZL104	—	—	—	—	—	—

3. 铝及铝合金钨极氩弧焊工艺

目前,在铝及铝合金的焊接结构中,应用最广泛的铝及铝合金是工业纯铝及防锈铝,焊接过程中易出现的主要问题是:

- 1) 焊缝中容易产生气孔。
- 2) 焊缝容易产生热裂纹。
- 3) 焊接过程中熔池表面极易氧化形成熔点高达 2050℃ 的氧化物,阻碍熔池金属间的熔合。
- 4) 氧化物以夹渣存在焊缝中,给焊接带来困难。
- 5) 铝在 370℃ 时,其强度仅有 9.8MPa,容易出现焊漏缺陷。

6) 铝及铝合金熔化时,没有明显的颜色变化,极易造成熔池温度过高而使焊缝突然出现焊漏。

鉴于铝及铝合金在焊接中所存在的主要问题,在钨极氩弧焊过程中,应采取如下工艺措施:

1) 选用交流弧焊电源焊接,因为交流弧焊电源 50 次/s 周期性改变极性,使钨极不致于过热和过快烧损,同时,还能产生阴极破碎作用,使坡口附近表面的高熔点氧化膜破碎,以利于熔合。

2) 室外作业加强氩气对熔池的保护,室内作业,注意通风。因为室内作业,通风不良,臭氧浓度显著超过卫生标准,对人体健康有明显地影响。

3) 手工钨极氩弧焊时,电极采用钍钨极。因为钍钨极与钽钨极相比,不仅发射电子能力大,而且工艺性能好,电极烧损少,更重要的是放射性危害也比钽钨极小得多。

4) 灭弧时,先断电,迟几秒后再关闭氩气,使钨极及熔池金属都在氩气保护下冷却。

5) 钨极表面呈褐色、黄绿色或蓝色,表明端头氧化严重,应当重新打磨后再使用。

6) 氩气纯度  $\varphi_{Ar}$  应在 99.9% 以上,含水量  $\varphi_{H_2O} \leq 0.02\%$  含氧量  $\varphi_{O_2} \leq 0.05\%$ ,含氮量  $\varphi_{N_2} \leq 0.03\%$ ,否则会使焊缝发黑,出现气孔、电弧不稳、飞溅严重。

7) 焊接铝及铝合金板材时,钨极伸出喷嘴端面的长度一般为 3~5mm。

8) 焊接铝及铝合金板材时,采用左焊法,焊丝、焊枪及焊件角度见图 3-1。

熔透焊道始焊时,弧长保持在 4~7mm,采用较长电弧的目的是使坡口得到充分预热,厚度超过 10mm 的铝焊件及重要构件的定位焊,都要采取预热措施。一般预热温度为 100~250℃。预热时可用轻微碳化氧乙炔火焰进行加热,由表面温度计或测温笔确定预热温度。

9) 铝板对接平焊坡口大小与焊接质量关系重大。坡口角度较小(小于 60°),电弧送不到根部,易造成未焊透。坡口角度过大(大于 80°),填

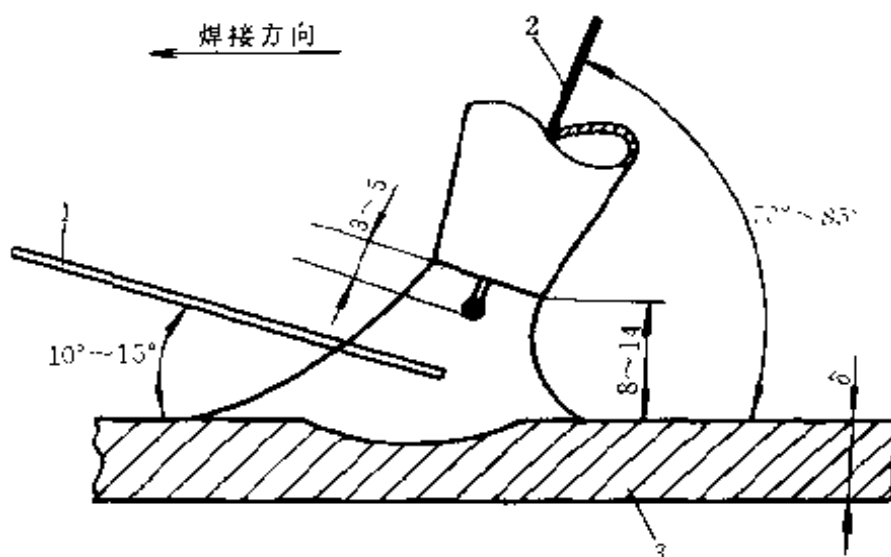


图 3-1 采用左焊法、焊丝、焊枪与焊件的角度

1—焊丝 2 焊枪 3—焊件

充金属过多,生产效率低,焊接变形大。钝边较小,容易焊漏;钝边过大,容易造成未焊透。间隙较小,电弧、焊丝送不到坡口根部,容易产生未焊透缺陷;间隙过大,容易焊漏。

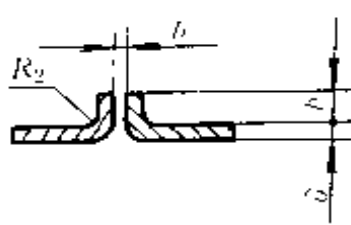
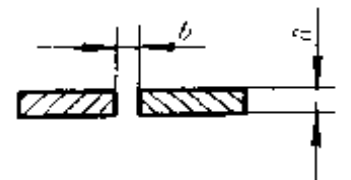
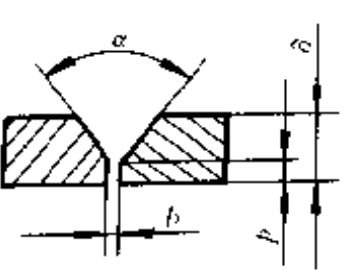
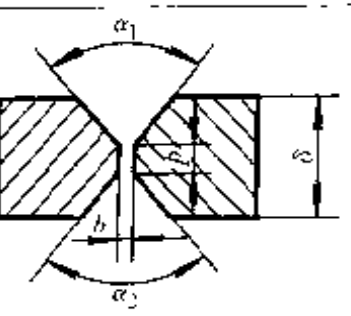
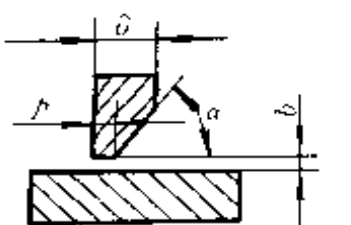
10) 铝及铝合金焊前的定位焊很重要,如果在定位焊过程中,出现定位间距过大,定位焊缝长度较小,焊接全缝时定位焊缝易开裂,使定位尺寸发生变化,影响焊接结构尺寸。定位间距过小,定位焊缝过长,生产率降低,焊缝接头多,焊缝成形不美观。铝板对接平焊定位焊的尺寸推荐值见表 3-45。

表 3-45 铝板对接平焊定位焊缝尺寸 (mm)

铝板厚度	定位焊间距	定位焊缝长度	定位焊缝高度
5~7	80~100	20~30	3~5
7~10	100~120	30~40	3~5
10~15	120~180	40~50	5~7

11) 铝及铝合金在熔融状态下流动性好,所以薄板对接接头的间隙可以小些,钝边要大,坡口角度可稍小,这样可以避免焊漏,常用的坡口尺寸见表 3-46。

表 3-46 铝及铝合金 TIG 焊的坡口尺寸

焊件 厚度 /mm	坡口形式	坡口尺寸			备注
		角度 $\alpha$ /(")	间隙 $b$ /mm	钝边 $p$ /mm	
1~2		-	<1	2~3	不加填充 焊丝
1~3		-	0 ~0.5	---	双面焊、背 面清根
3~5		-	1~2	-	
4~6		70±5	0~1	1 ~1.5	双面焊、背 面清根
6~10		70±5	1~3	1 ~2.5	
12~20		70±5	1.5 ~3	2~3	
14~25		$\alpha_1 =$ 80±5 $\alpha_2 =$ 70±5	1.5~3	2~3	双面焊、背 面清根,每面 焊两层以上
1~12		50±5	1~2	1~2	焊1~3层 焊缝



(续)

焊件 厚度 mm	坡口形式	坡口尺寸			备注
		角度 $\alpha$ (°)	间隙 $b$ mm	钝边 $p$ mm	
$\delta \sim 25$		$50 \pm 5$	1~2	1~2	每面焊两层以上焊缝
管子壁 厚 $\delta \leq 3.5$		-	0.5 ~2.5	-	管子水平 转动焊接
管外径 ( $\phi 30 \sim \phi 300$ ) $\delta = 3 \sim 10$		$75 \pm 5$	$< 4$	$< 2$	管子内壁 可用固定垫板

(1) 手工钨极氩弧焊 铝及铝合金手工钨极氩弧焊常用交流弧焊电源。氩气纯度  $\varphi_{Ar}$  不低于 99.9%。焊接开始时在引弧板上用高频引弧装置引弧,焊接结束时在引出板上熄弧。焊接过程中,焊枪、焊丝和焊件之间的相互位置既要便于操作,又要能良好地保护焊接熔池。通常焊丝的倾角为  $10^\circ \sim 15^\circ$ (见图 3-1)。过大的倾角会扰乱保护气流及电弧的稳定性。铝及铝合金手工钨极氩弧焊的焊接参数见表 3-47。铝及铝合金薄板直流反接钨极氩弧焊的焊接参数见表 3-48。

表 3-47 铝及铝合金手工钨极氩弧焊的焊接参数

板厚 /mm	钨极 直径 /mm	焊接 电流 /A	焊丝 直径 /mm	氩气 流量 /(L/ min)	喷嘴 孔径 /mm	焊接 层数 (正面/ 背面)	预热 温度 /C	备 注
1	2	40~60	1.6	7~9	8	正 1		卷边焊
1.5		50~80	1.6~ 2					卷边焊或单 面对接焊
2	2~3	90 ~120	2~2.5	8~12	8~12			对接焊
3	3	150 ~180	2~3					
4	4	180 ~200	3	10~15	10~12	1~2/1		
5		180 ~240	3~4					
6	5	240 ~280	4	16~20	14~16	1~2/1	-	
8		260 ~320	4~5					
10	280 ~340	100 ~150		20~24	16~20	4~5 /1~2	150 ~200	
12	5~6	300 ~360	25~30				20~22	2~3 /2~3
14	6	340 ~380		30~35	20~22	3~4 /3~4		
16		360 ~400	200 ~240					
18	6~7	360 ~400				200 ~260		
20		340 ~380						16~22
16~20	6~7	360 ~400						
22~25		360 ~400						20~22

V形  
坡口对接

表 3-48 薄板铝及铝合金手工钨极氩弧焊直流反接的焊接参数

板厚 /mm	钨极直径 /mm	焊接电流 A	焊丝直径 /mm	氩气流量 /(L/min)	备注
0.5	3~4	40~55	0.5	7~9	
0.75	5	50~65	0.5~1	7~9	-
1	5	60~80	1	12~14	-
1.2	5	70~80	1~1.5	12~14	-
1.5	5	80~95	1~1.5	12~14	-

(2)铝及铝合金机械化钨极氩弧焊 铝及铝合金的机械化钨极氩弧焊焊接参数比手工钨极氩弧焊大,所用的焊接材料基本与手工钨极氩弧焊相同。常用铝及铝合金机械化钨极氩弧焊的焊接参数见表 3-49。

表 3-49 常用铝及铝合金机械化钨极氩弧焊的焊接参数

板厚 /mm	钨极直径 /mm	焊接电流 /A	焊丝直径 /mm	焊接速度 /(m/h)	氩气流量 /(L/min)	送丝速度 /(m/h)
2	3~4	170~180	2	19	16~18	--
3	4~5	200~220		15	18~20	20~24
4		210~235		11		
6		230~260		8		
5~8	5~6	280~320	3	8~7	18~24	22~28
8~12	6	300~340	3~4	8~5		24~32
1.8	3~3.5	155~160	2.5	26.6	10	32~49

(3)铝及铝合金交流脉冲 TIG 焊 为了提高小焊接电流的稳定性,更准确地控制焊缝成形及对母材精确地输入热量,常采用钨极交流脉冲氩弧焊。焊接过程中脉冲频率不大于 10Hz,实际采用的脉冲频率都可以低于 5Hz。脉冲 TIG 焊常采用的脉冲频率见表 3-50。交流脉

表 3-50 脉冲 TIG 焊常采用的脉冲频率

焊接方法	手工焊	机械化焊接的焊接速度 $v$ (mm/min)			
		200	283	366	500
脉冲频率/Hz	1~3	3	4	5	6

表 3-51 铝及铝合金交流脉冲 TIG 焊的焊接参数

母材材质	板厚/mm	钨极直径/mm	焊丝直径/mm	电弧电压/V	脉冲电流/A	基值电流/A	脉宽比/%	气体流量/(L/min)	频率/Hz
LF3	1.5	3	2.5	14	80	45	33	5	1.7
LF3	2.5			15	95	50			2
LF6	2		2	10	83	14			2.5
LY12	2.5			13	140	52			36

脉冲 TIG 焊铝合金的焊接参数见表 3-51。

(4) 铝及铝合金 TIG 焊常见缺陷 铝及其合金 TIG 焊的焊接质量与保护气体的纯度、焊接材料的质量、焊接参数的正确性、电极材料的质量、操作技术的熟练状况、焊接拘束度的大小、焊接电源质量等因素有关。铝及铝合金 TIG 焊常见缺陷产生原因及防止措施见表 3-52。

表 3-52 铝及铝合金 TIG 焊常见缺陷产生原因及防止措施

缺陷	产生原因	防止措施
气孔	1. 氢污染	1. 加强焊件、焊丝、喷嘴等焊前清理
	2. 焊接参数选择不当	2. 加大气体流量、焊接电流, 减小焊接速度和钨极伸出长度等
	3. 保护气体纯度低	3. 使用合格的保护气体
	4. 焊接过程熔池没保护好	1. 查找原因: 如焊接现场是室内还是室外? 室外焊接是否有挡风装置? 保护气体是否流量、流速过大

(续)

缺陷	产生原因	防止措施
未焊透	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 焊接电流太小、弧长过大、焊接速度过快</li> <li>2. 间隙过小,钝边过大,坡口角度过小</li> <li>3. 表面和层间存在氧化物没清除</li> <li>4. 焊炬与焊丝倾角不正确</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 正确选择焊接参数</li> <li>2. 正确进行焊接接头和坡口的准备</li> <li>3. 加强焊前清理与层间的清理</li> <li>4. 改进操作技术</li> </ol>
裂纹	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 拘束度过大</li> <li>2. 熔池过大,过热</li> <li>3. 弧坑没填满</li> <li>4. 焊接材料选择不当</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 合理选择焊接顺序</li> <li>2. 减小焊接电流或适当增加焊接速度</li> <li>3. 加入引弧板或采用电流衰减装置填满弧坑</li> <li>4. 正确选择焊接材料</li> </ol>
焊缝成形差	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 钨极污染</li> <li>2. 焊接电流过大或过小</li> <li>3. 电弧不稳</li> <li>4. 气体保护不充分</li> <li>5. 操作技术不熟练</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 注意打磨电极端部</li> <li>2. 正确选择电极材料和尺寸,以及焊接参数</li> <li>3. 保证电弧长度,防止穿堂风影响。减少直流分量</li> <li>4. 合理选择气体流量,焊前认真检查焊嘴</li> <li>5. 加强焊工的全位置焊接培训</li> </ol>

(四)铜及铜合金钨极氩弧焊

1. 铜及铜合金焊件的清理

铜及铜合金表面都有各种油污及氧化物,在焊接过程中氧化亚铜聚集于晶界。会降低焊缝的力学性能,所以,焊前仔细清除焊丝及焊件表面的油、污、垢及氧化物是非常重要的。清理方法可以用钢丝刷、刮刀或钢丝轮打磨,也可以采用化学清洗。铜及铜合金焊前常用的化学清洗方法见表 3-53。

表 3-53 铜及铜合金焊前常用的化学清洗方法

方法	操作内容	
脱脂	把 $w_{\text{NaOH}}$ 为 10% 的 NaOH 水溶液, 加温至 30~40℃, 擦洗焊件后用清水冲干净	
消除氧化膜	$\varphi_{\text{HNO}_3}$ 为 30%~35% 的 $\text{HNO}_3$ 水溶液 $\varphi_{\text{H}_2\text{SO}_4}$ 为 10%~15% 的 $\text{H}_2\text{SO}_4$ 水溶液	浸蚀 2~3min

### 2. 铜及铜合金焊丝的化学成分

为防止铜及铜合金焊缝中产生热裂纹、气孔等焊接缺陷, 应严格控制焊丝中的杂质含量和提高其脱氧能力。

我国常用的铜及铜合金焊丝见表 3-54。铜及铜合金 TIG 焊时配用的焊丝见表 3-55。

表 3-54 常用的铜及铜合金焊丝

牌号	名称	国标型号	主要化学成分的质量分数/%	熔点/℃	用途
HS201	特制紫铜焊丝	符合 GB HS Cu 相当 AWS:ERCu	Sn:1.1; Si:0.4 Mn:0.4; Cu:余	1050	纯铜氩弧焊
HS220	锡黄铜焊丝	相当: GB HS CuZn 1 JIS ZYCuznSn	Cu:59 Sn:1 Zn:余	886	黄铜惰性气体保护焊
HSCuAl	铝青铜焊丝	—	Al:7~9; Mn≤ 2; Cu:余	—	铝青铜 TIG 焊、MIG 焊
HS211	硅青铜焊丝	相当 AWS ERCuSi-A	Si:2.75~3.5; Mn:1~1.5; Cu:余	910~ 1025	硅青铜及黄铜 TIG 焊 MIG 焊

(续)

牌号	名称	国标型号	主要化学成分的质量分数/%	熔点/℃	用途
HSCuSn	锡青铜焊丝	—	Sn: 7 ~ 9; P: 0.15 ~ 0.35 Cu: 余	—	锡青铜 TIG 焊
HSCuNi	白铜焊丝	—	Ni: 3 ~ 3.5; Ti: 0.1 ~ 0.3; Si: 0.2 ~ 0.3; Mn: 0.2 ~ 0.3; Fe: < 0.5; Cu: 余	—	白铜 TIG 焊; MIG 焊
HS202	低磷铜焊丝	—	P: 0.3; Cu: 余	1060	纯铜气焊; 碳弧焊
HS221	锡黄铜焊丝	符合 GB HSCuSn-3 相当 JIS ZY CuZn	Cu: 58; Sn: 1; Si: 0.3; Zn: 余	890	黄铜气焊, 碳弧焊、钎焊铜、白铜、铜、灰铸铁等
HS222	铁黄铜焊丝	符合 GB HSCuZn 2	Cu: 58; Sn: 0.9; Si: 0.1; Fe: 0.8; Zn: 余	860	黄铜气焊、碳弧焊、钎焊铜、白铜、铜、灰铸铁等
HS224	硅黄铜焊丝	符合 GB HSCuZn-4	Cu: 62; Si: 0.5 Zn: 余	905	

表 3-55 铜及铜合金 TIG 焊时配用的焊丝

	母 材					
	纯 铜	黄 铜	铝青铜	硅青铜	锡青铜	白铜
焊丝型号	HSCu	HSCuZn-1 HSCuZn-2 HSCuZn-3 HSCuZn-4	HSCuAl	HSCuSi	HSCuSn	HSCuNi

## 3. 铜及铜合金钨极氩弧焊(TIG 焊)的工艺特点

由于铜及铜合金的热导率很高,约为碳钢的 3~8 倍,焊接时有大量的热量被传导散失,因此容易产生未焊透及未熔合等焊接缺陷,焊件厚度大于 4mm 都要采取预热措施,预热温度见表 3-56。铜及铜合金 TIG 焊电源种类的选择见表 3-57。铜及铜合金 TIG 焊保护气体的种类见表 3-58。

表 3-56 铜及铜合金 TIG 焊预热温度的选择

	铜及铜合金	纯铜	青铜、白铜	硅青铜、磷青铜	黄铜、青铜铸件	备 注
	4mm 以下	厚 4 ~ 12mm				
预热温度	可以不预热	200 ~ 150 C	150 ~ 200 C	可不预热、严格控制层间温度 < 100 C	补焊大尺寸 200 ~ 300 C	采用 Ar + He 混合气体保护焊接时可不预热

表 3-57 铜及铜合金 TIG 焊电源种类的选择

母材材质	大多数铜及铜合金	铍青铜、铝青铜
电源种类	直流正极性	交流电源
焊接效果	可获得较高热量和较大熔深	有利于破除表面氧化膜,使焊接稳定

表 3-58 铜及铜合金 TIG 焊保护气体的种类

	氩弧	氦弧	氩弧	$\varphi_{Ar} 70\% + \varphi_{He} 30\%$
在相同焊接电流下的功率	1	1.5	3	—
电弧穿透能力	1	3~5		
适用范围及特点	大多数情况下焊接各种黄铜、青铜	穿透能力大,焊接成本高	熔池金属流动性降低,易生成气孔	用于不允许预热或要求较大熔深的纯铜或高导热铜合金的焊接



4. 铜及铜合金 TIG 焊

纯铜手工 TIG 焊焊接参数见表 3-59, 青铜手工 TIG 焊焊接参数见表 3-60, 白铜手工 TIG 焊焊接参数见表 3-61。铜合金机械化 TIG 焊焊接参数见表 3-62。黄铜手工 TIG 焊焊接参数见表 3-63。

表 3-59 纯铜手工 TIG 焊焊接参数

板厚 /mm	坡口形式	钨极直径 /mm	焊丝直径 /mm	焊接电流 /A	氩气流量 /(L/min)	预热温度 /C	备注
<0.5	卷边接头	1.5	—	30~50	8~10	—	—
1	I 形对接	2	1.6~2	120~160	10~12	—	—
1.5		2~3		140~180			
2		2~3	160~200				
3	I 形对接	3~4	2	200~240	14~16	—	单面焊双面成形
4		V 形对接	4	3	220~260		
5	V 形对接		4~5	3~4	240~320	350~400 双面焊	
6		V 形对接			5~6	4~5	280~360
10	340~400		450~500				
12	360~420		20~24	—			

表 3-60 青铜手工 TIG 焊焊接参数

母材材质	板厚 /mm	钨极直径 /mm	焊丝直径 /mm	焊接电流 /A	氩气流量 /(L/min)	预热温度 /C	备注
锡青铜	<0.5	3	—	90~150	12~16	—	卷边焊
	1.5~3	3	1.5~2.5	100~180	12~16	—	I 形坡口对接
	5	4	4	160~200	14~16		V 形坡口对接
	7			210~250	16~20		V 形坡口对接
	12	5	5	260~300	20~24		V 形坡口对接

(续)

母材 材质	板厚 /mm	钨极直径 /mm	焊丝直径 /mm	焊接电流 /A	氩气流量 /(L/min)	预热温度 /C	备注	
铝 青铜	≤1.5	1.6	1.6	25~80	9~13	不预热	I形坡口 对接交流 电源	
	1.6~3	2.5	1.6~3	100~190	10~16			
	3	4	4	190~210	16	150	V形坡口 对接交流 电源	
	5			150~225				
	6	1~5	4~5	150~300				
	9			210~330				
	9.5			210~340				
12	4~5	4~5	250~325					
硅 青铜	1.6	1.6	1.6	100~120				7
	3.2			130~150	I形坡口 对接直流 正接			
	4.5	3~4	2~3	150~220	12~16	V形坡口 对接直流 正接		
	6	4	3	180~250	16~20			
	9		3~4	250~300	18~22			
	12		4	270~330	20~24			

表 3-61 白铜手工 TIG 焊焊接参数

母材 材质	板厚 /mm	钨极直径 /mm	焊丝直径 /mm	焊接电流 /A	氩气流量 /(L/min)	预热温度 /C	备注
白铜	<3	4~5	3	270~290	10~14	—	I形坡口 对接
	3~9	4~5	5	300~310	12~16	--	V形坡口 对接

表 3-62 铜合金机械化 TIG 焊焊接参数

母材 材质	板厚 /mm	电源种类 及极性	焊接电流 /A	焊接速度 /(m/h)	氩气流量 /(L/min)	备注
砷 青 铜	0.3~1.2	直流正接	80~140	54~72	6~17	—
	1.5~3		90~210	42~54		
	3		250	45~50	6~17	
白铜	3	直流正接	310~320	37~45	12~17	加填充 焊丝

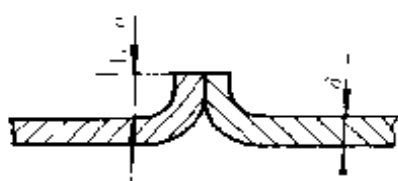
表 3-63 黄铜手工 TIG 焊焊接参数

母材 材质	板厚 /mm	坡口	钨极直径 /mm	电源种类 及极性	焊接电流 /A	氩气流量 /(L/min)	备注
普通 黄铜	1.2	I形端接	3.2	直流正接	185	7~8	不预热 不加焊丝
锡黄 铜	2	V形	3.2	直流正接	190~210	7~8	不预热 焊丝 φ2~φ3

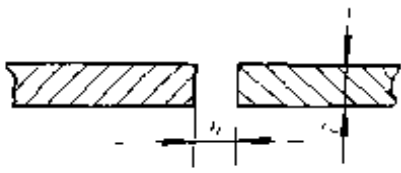
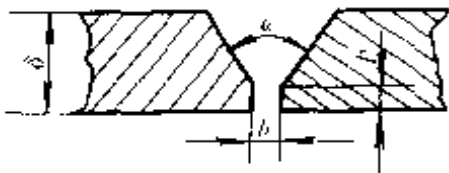
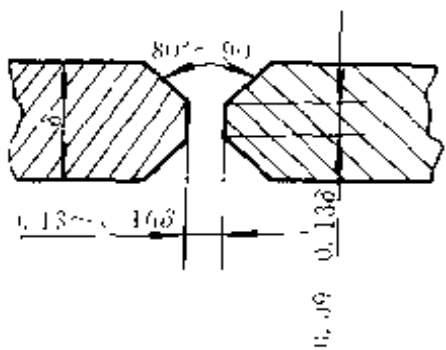
5. 铜及铜合金 TIG 焊坡口形状及尺寸

铜及铜合金 TIG 焊坡口形状及尺寸见表 3-64。

表 3-64 铜及铜合金 TIG 焊坡口形状及尺寸

坡口形状	板厚 $\delta$ /mm	间隙 $b$ /mm	钝边 $p$ /mm	坡口角度 $\alpha$ /( $^{\circ}$ )
	$\delta < 2$	—	—	—

(续)

坡口形状	板厚 $\delta/\text{mm}$	间隙 $b/\text{mm}$	钝边 $p/\text{mm}$	坡口角度 $\alpha/(\text{°})$
	2~3	0~2		—
	2.5~5	2~4	—	—
	5~10	4~8	—	—
	$\geq 5$	0~2	1~3	60~80
	$\geq 5$	2~4	2~4	
	$\leq 25$	0~2	1.5~2	80~50

## (五) 钛及钛合金钨极氩弧焊

## 1. 钛及钛合金的焊接特点

钛合金最大的优点是比强度大,比钢和铝合金的都大,因此被广泛地应用在航天、航空工业中。然而,钛及钛合金在高温下对氧、氮、氢、碳的亲合力极大,给焊接带来很大困难。钛及钛合金焊接的特点如下:

1) 化学活性很大,焊接过程中应对 400℃ 以上的区域都进行惰性气体保护。

2) 熔点高,热容量大,导热性差,焊接接头易过热,晶粒粗大,焊接接头塑性下降最为明显。

3) 在氢和残余应力作用下,可导致产生冷裂纹。

4) 焊接变形大, 矫正变形较困难。

5) 焊枪喷嘴要扩大, 焊前清理要严格。

6) 手工焊时, 焊枪移动要均匀, 焊枪与焊件表面夹角为  $70^{\circ} \sim 80^{\circ}$ , 不做横向摆动。

7) 焊接过程的气体保护措施有局部保护和充气箱保护两种, 视零件大小选择保护措施。焊接热影响区及焊缝在焊接过程中应增强冷却措施, 增强保护效果。

8) 焊接区颜色变化与焊接质量关系极大。

9) 焊后热处理比钢件要复杂。

### 2. 钛和钛合金牌号及主要化学成分

在工业纯钛中加入不同的合金元素可以提高合金的强度和耐热性。钛合金按其使用状态下的组织结构可分为:  $\alpha$  型钛合金、 $\beta$  型钛合金以及  $\alpha + \beta$  型钛合金等三种类型。合金牌号分别用汉语拼音字母“T”加表示金属或合金组织类型的字母 A、B、C 与顺序号结合起来表示。常用的钛和钛合金牌号及主要化学成分见表 3-65。

### 3. 钛及钛合金钨极氩弧焊工艺

(1) 钛及钛合金焊接工艺的制定原则 钛及钛合金钨极氩弧焊时, 为了保证得到优良的焊接质量, 必须遵守以下原则:

1) 加强保护措施 钛及钛合金在焊接过程中, 绝对不能让温度超过  $400^{\circ}\text{C}$  的区域暴露在空气之中, 防止和空气中的氧、氮、氢及碳等元素发生化学反应, 生成的化合物使焊接接头力学性能变坏。

2) 焊前认真清理焊件和焊丝 钛及钛合金焊前先用酒精、丙酮或四氯化碳等溶剂去除焊件或焊丝表面的油污, 然后酸洗。

酸洗 A 配方:  $\text{HCl}$  350mL/L;  $\text{HNO}_3$  60mL/L  
 $\text{NaF}$  50mL/L;  $\text{H}_2\text{O}$  余量

酸洗 B 配方:  $\varphi_{\text{HF}} 10\%$ ;  $\varphi_{\text{HNO}_3} 30\%$ ;  $\varphi_{\text{H}_2\text{O}} 60\%$

待清理的焊件或焊丝在室温下的 A 配方中浸洗 3min, 或在室温下的 B 配方中浸洗 1min。经过清理完的焊丝在使用前还应进行真空脱氢处理。焊接过程中使用的工装、夹具也应认真清洁, 做到无油、污、锈、垢。

表 3-65 常用钛及钛合金牌号和主要化学成分(质量分数)(GB3620—83)

合金 牌号	化学成 分组	化 学 成 分 / %														杂质, 不大于				
		主 要 成 分											碳	氮	氢	氧				
	钛	铝	钎	铬	钼	锡	锰	钒	铁	铜	硅	硼	铅	钎	铁	硅	碳	氮	氢	氧
TA0	工业纯钛	基	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.03	0.03	0.01	0.015	0.05
TA1	工业纯钛	基	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.15	0.10	0.05	0.03	0.15
TA2	工业纯钛	基	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.30	0.15	0.10	0.05	0.015
TA3	工业纯钛	基	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.40	0.15	0.10	0.05	0.015
TA4	Ti3Al	基	2.0 ~ 3.3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.30	0.15	0.10	0.05	0.015
TA5	Ti4Al, 0.005B	基	3.3 ~ 4.7	—	—	—	—	—	—	—	—	0.005	—	—	—	0.30	0.15	0.10	0.04	0.015
TA6	Ti5Al	基	4.0 ~ 5.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.30	0.15	0.10	0.05	0.015
TA7	Ti5Al 2.5 Sn	基	4.0 ~ 6.0	—	2.0 ~ 3.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.30	0.15	0.10	0.05	0.015
TA8	Ti5Al 2.5 Sn3Cu 1.5 Zr	基	4.5 ~ 5.5	—	2.0 ~ 3.0	—	—	—	—	—	2.5 ~ 3.2	—	1.0 ~ 1.5	—	—	0.30	0.15	0.10	0.05	0.015

(续)

合金牌号	化学成分	化学成分/%																
		主要成分										杂质,不大于						
		钛	铝	铬	钼	钨	铁	铜	硅	硼	钴	铁	硅	碳	氮	氢	氧	
TB2	Ti5Mo5V3 Cr3Al	基	2.5 ~ 3.5	7.5 ~ 8.5	4.7 ~ 5.7	-	-	4.7 ~ 5.7	-	-	-	-	0.30	0.05	0.04	0.015	0.15	
		基	1.0 ~ 2.5	-	-	-	0.7 ~ 2.0	-	-	-	-	-	0.30	0.15	0.10	0.05	0.012	0.15
TC2	Ti3Al Mn	基	3.5 ~ 5.0	-	-	-	0.8 ~ 2.0	-	-	-	-	-	0.30	0.15	0.10	0.05	0.012	0.15
		基	4.5 ~ 6.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.30	0.15	0.10	0.05	0.015	0.15
TC4	Ti6Al4V	基	5.5 ~ 6.8	-	-	-	3.5 ~ 4.5	-	-	-	-	-	0.30	0.15	0.10	0.05	0.015	0.20
		基	5.5 ~ 6.8	-	-	-	3.5 ~ 4.5	-	-	-	-	-	0.30	0.15	0.10	0.05	0.015	0.20

(续)

合金 牌号	化学成分 分组	化 学 成 分 / %																
		主 要 成 分										杂 质, 不 大 于						
		钛	铝	铜	钨	钼	钒	铁	铜	硅	硼	钴	铁	硅	碳	氮	氢	氧
TC6	Ti6Al 1.5 Cr 2.5Mo 0.5Fe 0.3 Si	3.5	0.8	2.0	—	—	—	0.2	—	0.15	—	—	—	—	0.10	0.05	0.015	0.18
		~ 7.0	~ 2.3	~ 3.0	—	—	—	~ 0.7	—	~ 0.40	—	—	—	—	—	—	—	—
TC7	Ti6Al0.6 Cr0.4Fe- 0.4Si 0.01B	3.0	0.4	—	—	—	—	0.25	—	0.25	0.01	—	—	—	0.10	0.05	0.025	0.30
		~ 6.5	~ 0.9	—	—	—	—	~ 0.60	—	~ 0.60	—	—	—	—	—	—	—	—
TC9	Ti6.5Al 3.5Mo2.5 Sn 0.3Si	5.8	—	2.8	1.8	—	—	—	—	0.2	—	—	0.40	—	0.10	0.05	0.015	0.15
		~ 6.8	—	~ 3.8	~ 2.8	—	—	—	—	~ 0.4	—	—	—	—	—	—	—	—
TC10	Ti6Al6V 2Sn0.5 Cu0.5Fe	3.5	—	—	1.5	—	5.5	0.35	0.35	—	—	—	—	0.15	0.10	0.04	0.015	0.20
		~ 6.5	—	—	~ 2.5	—	~ 6.5	~ 1.0	~ 1.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注:硼按名义量加入,并报实测数据,供参考。



焊件或焊丝若不能进行酸洗时,可用硬质合金刮刀刮削待焊处周围 12~18mm 范围,去除厚度约为 0.025mm。

3) 正确选择焊丝 钛及钛合金焊接用焊丝中的有害杂质要尽量低,还要满足焊缝高塑性和高强度要求

焊接高强度钛合金时,不宜选用纯钛焊丝。以铝为基础的钛合金,其焊缝金属的塑性比较好,在 Ti-Al 合金中,同时加入几种为数不多的  $\beta$  稳定化元素效果比单加入一种数量较多的  $\beta$  稳定化元素效果好。

4) 严格控制焊接材料的纯度 首先要严格控制母材和焊丝的纯度,其杂质控制在:氢  $w_H \leq 0.01\% \sim 0.015\%$ ;氮  $w_N \leq 0.04\% \sim 0.05\%$ ;氧  $w_O \leq 0.15\%$ ;碳  $w_C \leq 0.05\% \sim 0.1\%$ 。

焊接保护用的氩气纯度:氩气  $\varphi_{Ar} > 99.99\%$ ;氧气  $\varphi_{O_2} < 0.002\%$ ;氮气  $\varphi_{N_2} < 0.005\%$ ;氢气  $\varphi_{H_2} < 0.002\%$ ;水分  $\leq 0.001\text{mL/L}$ ;相对湿度小于 5%。

5) 要合理选择焊接参数,尽量用小电流、高速焊接。为防止过热造成晶粒粗大,必要时可采用多层焊。焊接接头如果产生脆性亚稳定组织时,可在焊后进行热处理来消除。

6) 为保证某些高强度钛合金的焊后力学性能,焊后应进行必要的热处理工艺 某些高强度钛合金焊后,必须用热处理或用其它办法来调整焊缝及热影响区的组织和力学性能。

对于复杂的焊接结构,为防止产生延迟裂纹,需要进行消除应力处理。钛合金焊接结构的焊后热处理,可以根据合金成分、原始状态、焊接结构的使用要求等分别进行退火、时效或淬火-时效处理。

① 退火 适用于各类钛及钛合金,是  $\alpha$  钛和  $\beta$  钛合金唯一的热处理方式。

退火方式有两种:完全退火和不完全退火。完全退火的温度较高,需要在真空或氩气保护下进行,否则表面空气沾污严重。不完全退火是在较低温度下进行的。

$\alpha$  钛和  $\beta$  钛对退火后的冷却速度不敏感,而  $\alpha + \beta$  钛合金对冷却速度很敏感,在操作过程中,先以规定的速度冷到一定温度,然后空冷或分阶段退火。钛及钛合金退火温度见表 3-66,钛及钛合金退火时间由

表 3-66 钛及钛合金的退火温度

材 料	TA1	TA6	TC1	TC3	TB2
	TA2	TA7	TC2	TC4	
完全退火温度/℃	550~680	720~820	620~700	720~800	790~810
不完全退火温度/℃	450~490	550~600	570~610	550~650	—

表 3-67 钛及钛合金退火时间与焊件厚度的关系

材料厚度 /mm	<1.5	1.6~2	2.1~6	6~20	20~50
退火时间 /min	15	20	25	60	120

焊件厚度决定,具体退火时间与焊件厚度的关系见表 3-67。

② 淬火-时效处理 这是一种强化热处理,这种热处理的困难是大型构件淬火困难,在固溶温度下无保护气体保护保温时钛及钛合金氧化严重,淬火后变形难以矫正,一般很少应用。

③ 时效处理 焊接过程中的热循环能够使某些钛合金起到局部淬火作用,为保证结构基体金属强度,常采用焊前淬火、焊后时效处理。虽然有的钛合金焊前没有淬火,但经焊接热循环作用也相当于淬火,所以,焊后要进行时效热处理。

7) 焊后酸洗 钛及钛合金由于活性很强,在高于 540℃ 的大气介质中进行焊后热处理时,在钛合金焊件表面将生成较厚的氧化膜,使硬度增加,塑性降低,采用酸洗工艺可以解决这个问题。酸洗液为  $\varphi_{\text{HF}} 3\% + \varphi_{\text{HNO}_3} 35\%$  的水溶液。为了防止在酸洗时发生增氢,酸洗温度一般控制在 40℃ 以下。

8) 合理选择切割加工 钛及钛合金厚板或锻件切割后,切口表面硬化层必须用机械加工方法清除。

9) 采取措施减少气孔 为减少焊缝中的气孔,应采取以下措施:

- ① 对接坡口留 0.2~0.5mm 间隙可明显减少气孔。
- ② TIG 焊时,采用焊丝距熔池一定高度导入,使焊丝熔化后不直

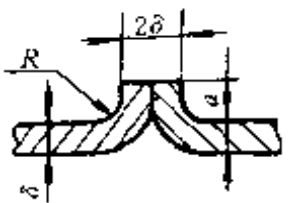
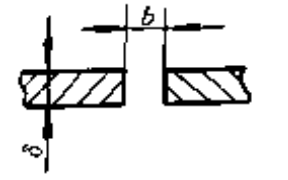
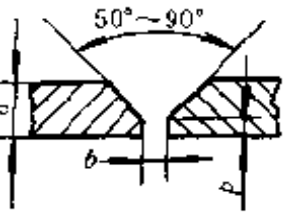
接进入熔池而是在电弧区下落,起到熔滴净化去气作用。常用的钛及钛合金丝见表 3-68。

表 3 68 常用的钛及钛合金丝

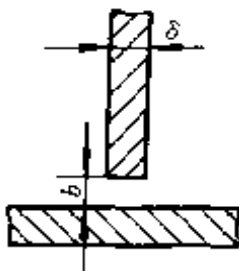
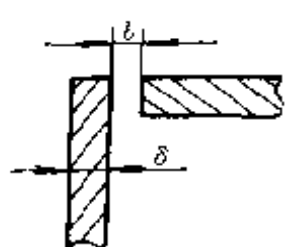
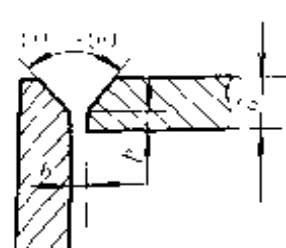
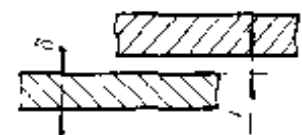
牌 号	状 态	直径/mm	化学成分
TA1;TA2;TA3; TA4;TA5;TA7; TC3	软(M)、硬(Y)	0.1~6	符合 GB3620 83 《钛及钛合金牌号和 化学成分》
TC4		2~6	见表 3 65

(2)钛及钛合金焊接接头的坡口形式及尺寸 钛及钛合金焊接时,板厚  $\delta=0.5\sim 2.5\text{mm}$  时,开 I 形坡口,采用不加填充焊丝的双面焊或单面焊。 $\delta\geq 3\text{mm}$  的钛板,一般采用 V 形坡口。 $\delta\geq 10\text{mm}$  的钛板,采用对称 X 形坡口,具体坡口形式及尺寸见表 3-69。

表 3-69 钛及钛合金接头的坡口形式及尺寸

名称	坡口形式	母材厚度 $\delta/\text{mm}$	间 隙 $b/\text{mm}$	
			手工焊	机械化焊
卷边对接		$< 1.2$	$b = (1.0\sim 2.5)\delta$ R 按图样	
I 形坡口对接		$\leq 1.5$ $1.6\sim 2.0$	$b = 0\sim 30\%\delta$ $b = 0\sim 0.5$	$b = 0\sim 30\%\delta$
单面 V 形坡口对接		$2.0\sim 3.0$	$b = 0\sim 0.5$ $p = 0.5\sim 1.0$	I 形坡口 $b = 0$

(续)

名称	坡口形式	母材厚度 $\delta/\text{mm}$	间隙 $b/\text{mm}$	
			手工焊	机械化焊
I形坡 口对接 T形焊		$\leq 0.5$	$b$ : 贴合良好 局部允许 $1\delta$	—
I形坡 口角接		$\leq 1.5$ $1.3 \sim 2.0$	$b - 0 \sim 30\% \delta$ $b - 0 \sim 0.5$	—
V形坡 口角接		$2.0 \sim 3.0$	$b = 0 \sim 0.5$ $b - 0.5 \sim 1.0$	—
搭 接		$0.5 \sim 1.5$ $1.6 \sim 3.0$	$b = 0 \sim 0.3$ $b - 0 \sim 0.5$	—

(3) 焊接区颜色与焊接质量的关系 钛及钛合金焊接时, 保护效果的好坏, 可以用焊接接头颜色来鉴别, 不同纯度氩气 TIG 焊时接头表面的颜色及对接头冷弯角的影响见表 3-70。焊缝和热影响区的表面颜色分级见表 3-71。

表 3-70 不同纯度氩气 TIG 焊时接头表面的颜色及对接头冷弯角的影响

氩气纯度 $\varphi_{Ar}/\%$	99.99	98.7	97.8	97.5	97	96.5	96	94
接头表面颜色	银白	浅黄	深黄	金紫	深蓝	灰蓝	灰红	灰白
接头冷弯角 $\alpha/(\circ)$	158	145	115	111	93	44	39	0
质 量	良好	合格	合格	合格	不合格			

表 3-71 焊缝和热影响区的表面颜色分级

焊缝 级别	焊 缝				热 影 响 区			
	银白、 浅黄	深黄	金紫	深蓝	银白、 浅黄	深黄	金紫	深蓝
一级	允许	不允许	不允许	不允许	允许	不允许	不允许	不允许
二级		允许				允许		
三级		允许				允许		

4. 钛及钛合金钨极氩弧焊的焊接参数

钛及钛合金焊接参数的选择,主要应考虑防止晶粒长大,在保障焊透的前提下,通常采用较小的焊接热输入施焊,手工钨极氩弧焊供参考的焊接参数见表 3-72、机械化钨极氩弧焊供参考的焊接参数见表 3-73。钨极脉冲氩弧焊供参考的焊接参数见表 3-74。

(六)异种金属材料的焊接

异种金属材料焊接能否获得满意的焊接接头,主要取决于被焊金属的物理-化学性能和所采用的焊接方法及工艺。

被焊金属的金相组织类型可能是相同的,也可能是不同的。与同种金属 TIG 焊接相比,异种金属焊接,特别是金相组织类型不同的异种金属焊接冶金过程更为复杂,研究得比较少,下面是应用较广泛的异种金属材料焊接。

1. 异种金属材料焊接的工艺要点

(1)低碳钢与奥氏体不锈钢焊接的工艺要点

1)为了减少母材对焊缝的稀释作用,要采用小电流、高电压和快速焊的工艺。

表 3-72 钛及钛合金手工钨极氩弧焊的焊接参数

板厚 /mm	坡口 形式	钨极直径 /mm	焊丝直径 /mm	焊接电流 /A	焊接层数	喷嘴孔径 /mm	氩气流量/(L/min)			备注
							主喷嘴	拖罩	背面	
0.5	I形坡口	1.5	1	30~50	1	10	14~16	6~8	间隙 $b$ 0.5mm 可不加钎丝	
1			40~60	8~10						
1.5		1~2	60~80	10~12		8~10				
2			80~110	12~14						
2.5		2~3	110~120	12~14		10~12				
3		3	120~140	12~14						
3.5			130~150	18~20		20~25	12~14	间隙 $b=2\sim 3$ mm, 钝边 $\phi=0.6$ mm		
4		2~3	200							
4	Y形坡口	3~4	3	130~150	2~3	20~22	14~16	25~28	焊缝背面有铜垫板 坡口角度 $60^\circ\sim 65^\circ$	
5				200						
6		3~4	140~180	3~4	140~180					
7			140~180							
8		4	140~180	3~4	140~180					

(续)

板厚 /mm	坡口形式	钨极直径 /mm	焊丝直径 /mm	焊接电流 /A	焊接层数	喷嘴孔径 /mm	氩气流量/(L/min)			备注	
							主喷嘴	拖罩	背面		
10	对称 Y 形坡口	3~4	160~200	4~6	20~22	14~16	25~28	12~14	--		
13										6~8	
20		4	200~240	12	18	12~14	20	10~12	坡口角度 60°; 钝边 1mm		
22		4	4~5	230~250	13	20	15~18	18~20	18~20	--	
25											15~16
30											17~18

表 3-73 钛及钛合金机械钨极氩弧焊的焊接参数

板厚 /mm	坡口形式	成形槽垫板尺寸		钨极直径 /mm	焊丝直径 /mm	焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊接速度 / (m/h)	焊接层数	氩气流量/(L/min)		
		深度 /mm	宽度 /mm							主喷嘴	拖罩	背面
1	I 形坡口	0.5	5	1.6	1.2	70~100	12~15	18~22	1	8~10	12~14	6~8
1.2	对接	0.7										
1.5	2mm 间隙				2	1.2~1.6	120~140	14~16	22~24		10~12	14~16

(续)

板厚/mm	坡口形式	成形槽垫板尺寸		钨极直径/mm	焊丝直径/mm	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度/(m/h)	焊接层数	氩气流量/(L/min)	
		深度/mm	宽度/mm							主喷嘴	拖罩背面
2	I形坡口	1	6	2.5	1.6~2	140~160	14~16	20~22	1	12~14	14~16
											10~12
3	对接间隙	1.1	7	3	2~3	200~240	14~16	19~21	2	14~16	15~18
											12~14
4	2mm	1.3	8	3	200~260	14~16	14~16	19~20	2	14~16	18~20
											12~14
6	60°V	—	—	—	—	240~280	14~18	18~22	3	14~16	20~24
10	形坡口对接	—	—	4	3	200~250	14~18	19~22	2	14~16	18~20
											14~18
13	—	—	—	—	—	220~260	14~18	20~25	2	14~16	18~20

表 3-74 钛及钛合金钨极脉冲氩弧焊的焊接参数

板厚/mm	钨极直径/mm	焊接电流/A		持续时间/s		电弧电压/V	弧长/mm	焊接速度/(cm/min)	氩气流量/(L/min)
		脉冲	基值	脉冲电流	基值电流				
0.8	2	55~80	4~5	0.1~0.2	0.2~0.3	10~11	1.2	30~40	6~8
1.5	3	120~170	4~6	0.16~0.24	0.2~0.36	11~12	1.2	27~40	8~10
2	—	—	—	—	—	—	1.2~1.5	23~37	10~12



2)由于碳钢和低合金钢填充材料能使整个焊缝成为马氏体组织,故不采用。所以,焊接这类材料时,要采用含 Ni、Cr 较高的 25-13 型或 25-20 型焊丝,详见表 3-75。

3)为了防止产生裂纹,焊前应对母材进行预热,预热温度比单独焊接同类碳钢低。

4)选择焊接参数时,应设法降低母材的熔合比。

表 3-75 低碳钢与奥氏体不锈钢 TIG 焊的填充焊丝

母材材质	1Cr18Ni9	Cr23Ni18	Cr25Ni13Ti	0Cr25Ni20
Q235-A	H1Cr20Ni10 Mn6	HCr20Ni17Mn 6Si2	HCr20Ni17Mn	H0Cr26Ni21

(2)低碳钢与纯铜的焊接工艺要点 钢与纯铜焊接性尚好,但是焊缝容易出现裂纹,焊缝金属随着铁含量的增加而塑性降低,所以铁的含量  $w_{Fe}$  应小于 20%。低碳钢与纯铜的焊接要点如下:

1)焊前对钢焊件要进行脱脂,对铜焊件要进行酸洗,视铜焊件板厚准备焊前预热工具。

2)电源采用直流反接。

3)电弧引燃后,要利用电弧热对待焊处进行预热,焊接过程中电弧不做大的摆动。

4)焊接过程中,电弧应偏向铜件一侧,确保两种母材受热均匀。随着电弧加热使焊件温度升高,焊接速度也应加快。采用手工 TIG 焊焊接纯铜与低碳钢时选用 HS202(HSCu)。



图 3 2 低碳钢与钛的焊接接头

(3)低碳钢与钛的焊接工艺要点 焊前要将钛制零件用细钢丝刷刷净,并用丙酮擦洗。要仔细清除钢制零件待焊处的油、污、锈、垢。凡是

温度处于 400℃ 以上的区域都应进行氩气保护。焊接过程中焊枪不做摆动。焊接接头形式见图 3-2。低碳钢与钛焊接的填充焊丝见表 3-76，焊接参数见表 3-77。

表 3-76 低碳钢与钛焊接的填充焊丝

焊道	焊丝	化 学 成 分(质量分数)/%				
		Cu	Ag	Mn	Si	Sn
1	纯铜丝	余量	-	0.5	0.5	1.2
2	银丝		>99	-	—	—
3	银铜丝	50	50	—	—	-

表 3-77 低碳钢与钛的焊接参数

焊道	钨 极		焊丝 直径 /mm	电源 极性	焊接 电流 /A	电弧 电压 /V	氩气流量 /(L/min)	
	材料	直径 /mm					喷嘴	拖罩
1	钽钨	3~1	3	直 流 反 接	165	15~20	15	—
2		3			60~75			
3		3~4			150~165			

(4) 低碳钢与铝的焊接工艺要点 铝的表面极易氧化生成难熔的  $Al_2O_3$ ，所以，碳钢的熔点与  $Al_2O_3$  的熔点相差较大，用熔焊工艺焊接钢铝材料困难很大。此外，钢与铝的热传导性能、线膨胀系数相差很大，也给钢铝材料的熔焊带来一定的困难。采用在钢、铝材料中间加过渡层的焊接（实质是钎焊-熔焊：在钢材一侧是钎焊，在铝材一侧熔焊）可以获得牢固的低碳钢与铝的焊接接头。

低碳钢与铝焊接前，应仔细清除铝材的氧化膜，清除碳钢表面的油、污、锈、垢。然后在碳钢一侧待焊边缘 30mm 范围内的表面，镀一层 30~40 $\mu$ m 厚的锌层或铜锌、镍铜锌合金作为过渡层。在过渡层上按表 3-78 的焊接参数焊接低碳钢与铝的焊缝。

表 3-78 低碳钢与铝的 TIG 焊焊接参数

母 材		纯钨 极直径 /mm	焊接 电流 /A	电弧 电压 /V	焊接 速度 /(m /h)	焊丝 直径 /mm	焊丝成分(%)			
牌号	厚度 /mm						wAl	wZn	wSi	wNi
Q235-A + LF6	3	3	160 ~180	16	6.5 ~8	3	余量	7	4~5	3.5

(5)不同珠光体钢的焊接工艺要点 焊接过程中,尽量选用合金成分接近于合金成分较少钢材的焊丝。因为珠光体焊缝工艺稳定性是随合金成分的增加而降低的。

预热温度的选择,以合金成分较高的钢材为主。对较大的焊件进行热处理有困难时,为了保证焊接质量,可采取过渡层的办法解决,即在合金成分较高的钢材待焊处,堆焊一层适当的衬层,用来降低预热层或者不预热。

(6)高铬马氏体、铁素体、奥氏体铁素体钢的焊接工艺特点 这类钢种之间焊接时,焊缝易出现裂纹和脆性成分。

含铬量  $w_{Cr}$  为 12%左右的马氏体钢与高铬铁素体或奥氏体铁素体钢焊接时,焊前预热温度应按含铬  $w_{Cr}$  为 12%的钢选取。为了获得细小的焊缝金属晶粒和焊后状态下较高的塑性,应选用奥氏体铁素体组织焊丝。焊后要进行 700~750℃回火处理。

含铬量  $w_{Cr}$  为 12%左右的马氏体钢与奥氏体铁素体钢焊接时,可以选用与被焊钢材化学成分相同的焊丝焊接,也可以选用奥氏体组织的焊丝焊接。焊前预热温度按含碳量较高的钢材选取,通常为 200~400℃。焊后回火温度为 700~750℃。当母材厚度大于 30mm 时,焊件焊后冷到 100~150℃前就应进行焊后回火处理。

高铬铁素体钢与奥氏体铁素体钢焊接时,最好选用奥氏体铁素体焊丝焊接。预热温度通常为 130~180℃,对抗晶间腐蚀和力学性能要求较高时,要进行 800~850℃的焊后回火处理。

(7)奥氏体钢与奥氏体铁素体钢的焊接工艺要点 焊接这类钢种时,要采取防止焊缝出现裂纹的措施。

当奥氏体钢铬含量高于或接近于镍时,可选用工艺性能最好的奥氏体铁素体焊丝进行焊接。

当奥氏体钢镍含量超过铬含量时,不应选用奥氏体铁素体焊丝焊接,借助铬镍当量组织图进行具体分析,可以选用单相奥氏体焊丝或奥氏体碳化物组织的焊丝,但在焊丝内必须含有防止产生裂纹的附加元素。

异种奥氏体钢焊接接头不需要消除焊接应力和在中等温度以下工作时,可以不进行热处理。如果需要消除焊接应力时,应该在 $800\sim 850\text{C}$ 温度下进行稳定化处理。焊件在高温环境中工作时,焊后应在 $1100\sim 1150\text{C}$ 温度下进行奥氏体化处理。

(8)珠光体钢与奥氏体钢的焊接工艺要点 金相组织不同的异种钢焊接,存在的主要问题是:

1)焊缝化学成分稀释 异种钢焊接过程中,由于母材金属的熔化而使焊缝金属受到稀释。过渡稀释的后果是因为焊缝中有马氏体组织,而使焊缝有出现裂纹的危险。

为确保异种钢焊接时焊缝成分合理,必须做到:①正确选择高合金化的焊丝;②适当控制熔合比或稀释率。

2)形成凝固过渡层 异种钢焊接时,在熔池靠近焊缝边界的很窄范围内存在一个“不完全混合区”。填充焊丝与母材在化学成分上差异越大,不完全混合区越明显,浓度梯度越显著,这个成分上的过渡区就称为凝固过渡层。凝固过渡层中不同宽度的马氏体脆化层,严重降低焊接接头的冲击韧度。为此,对在低温条件下工作和承受冲击载荷的异种钢接头,应选用高镍合金焊丝,以减少熔合区脆性马氏体层的宽度和熔合线附近冲击韧度降低的幅度。

3)形成碳迁移过渡层 异种钢焊后或焊后回火处理以后,往往会出现在低合金一侧的母材上形成脱碳层,在高合金焊缝一侧形成增碳层。这种脱碳层与增碳层的总称为碳迁移过渡层。在增碳层会发生硬度突变现象,这对接头的工作性能是有害的,容易在此部分发生破坏。

为减小碳迁移现象,应选择含有一定量Ni的焊丝焊接,这样可以显著地减小增碳层及脱碳层宽度。同时还要控制焊后热处理。

4)残余应力的形成 异种钢接头中的残余应力,即使通过焊后热处理也难以消除。这种残余应力的存在,在循环温度下工作时,由于形成热应力或热疲劳而可能产生裂纹,使焊接结构破坏。

为减小热应力的影响,设计时应将这种接头安排在没有剧烈温度变化的位置,或者选用与珠光体钢线膨胀系数相近且塑性好的焊丝作焊缝金属,使残余应力集中于焊缝与奥氏体钢一侧,因为奥氏体钢塑性变形能力强,能够承受较大的应变。

焊接过程中,为减少焊缝金属的稀释程度,应当采用小电流、高电压、快速焊的焊接工艺。如果被焊材料中有一种是淬硬钢,那么就要适当地进行预热,钢种不同、焊接方法不同,其预热的温度也不同。

这一类焊接接头必须选用奥氏体组织的焊丝,为了提高其抗裂性,焊丝含镍、铬量应该比较高,如 25-13 型等。选用焊丝时还要考虑奥氏体母材熔化的因素,当珠光体钢与含铬量大于含镍量的奥氏体钢焊接时,应选用奥氏体铁素体组织的焊丝。当珠光体钢与含镍量超过含铬量的奥氏体钢焊接时,就必须选用纯奥氏体或奥氏体碳化物组织的焊丝。奥氏体和奥氏体铁素体钢 TIG 焊用焊丝见表 3-79;珠光体钢与奥氏体钢 TIG 焊用焊丝见表 3-80;珠光体钢与高铬马氏体铁素体钢 TIG 焊用焊丝见表 3-81。

表 3-79 常用奥氏体钢和奥氏体铁素体钢 TIG 焊用焊丝

母 材	母 材	焊 丝
1Cr18Ni9Ti	00Cr17Ni14Mo3	H00Cr19Ni9
	0Cr18Ni12Mo3Ti	H0Cr19Ni10Mo3Ti

表 3-80 珠光体钢与奥氏体钢 TIG 焊用焊丝

珠光体钢	奥氏体钢	焊 丝
Cr5Mo Cr5MoV	1Cr18Ni9Ti 0Cr18Ni9Ti	H1Cr25Ni13
	1Cr18Ni11Nb 1Cr18Ni12Mo2Ti	H1Cr20Ni10Mn6
25Cr3WMoV 15Cr2Mo2VNbS	0Cr23Ni13 0Cr25Ni20	H1Cr20Ni7Mn6Si2

表 3-81 常用珠光体钢与高铬马氏体铁素体钢 TIG 焊用焊丝

珠光体钢	高铬马氏体铁素体钢	焊 丝
	6Cr13	H08CrMoVA (焊后 680~700℃回火)
15CrMo	1Cr13	
12CrMo	2Cr13	
30CrMo	1Cr12Mo	
	1Cr13Mo	

## 2. 异种金属材料的焊接工艺

异种金属材料焊接时,可以归纳为金相组织相同仅合金化程度不同的异种钢焊接和金相组织不相同的异种钢焊接两种情况。在选用焊接材料时,一般只要求焊缝金属力学性能、耐热性、耐蚀性不低于异种钢中力学性能或耐热性、耐蚀性较低的一种即可。否则,应选择那些在焊接过程中所产生的过渡层小而韧性好的材料。不同珠光体钢 TIG 焊时配用的焊丝及预热和回火温度见表 3-82。不同马氏体钢与铁素体钢 TIG 焊用焊丝见表 3-83。异种奥氏体钢 TIG 焊用焊丝见表 3-84。不锈钢与变形高温合金手工 TIG 焊焊接参数、机械化 TIG 焊焊接参数分别见表 3-85 和表 3-86。

表 3-82 常用不同珠光体钢 TIG 焊时配用的焊丝及预热和回火温度

异种金属焊接组合	焊 丝	预热温 度/℃	回火温 度/℃	备注
Q195、Q215、Q235、Q255、08、10、15、 20、25、20g、22g+15Mn、20Mn、30Mn、 09Mn2、Q390(15MnV)、15Cr、20Cr、 20CrMnTi、20CrV	H08A H08MnA	100 ~200	600 ~650	
Q195、Q215、Q235、Q255、08、10、15、 20、25、20g、22g 35、40、45、50、55、 35Mn、40Mn、50Mn、40Cr、50Cr、 35Mn2、45Mn2、50Mn2、30CrMnTi、 40CrMn、40CrV、25CrMnSi、 35CrMnSiA	H08A H1Cr21 Ni10Mn6	200 ~250 不预热	600 ~650 不回火	焊后立 即热处 理 用于焊 后不进 行热处 理



(续)

异种金属焊接组合	焊丝	预热温度/℃	回火温度/℃	备注
15Mn, 20Mn, 30Mn, 09Mn2, 15Cr, 20Cr, 18CrMnTi, 10CrV, 20CrV + 35, 40, 45, 50, 55, 35Mn, 40Mn, 50Mn, 40Cr, 50Cr, 35Mn2, 45Mn2, 50Mn2, 30CrMnTi, 40CrMn, 40CrV, 25CrMnSi, 35CrMnSiA	H08Mn2SiA	200 ~250	600 ~650	—
	H1Cr21Ni10Mn6	不预热	不回火	—
15Mn, 20Mn, 30Mn, 09Mn2, 15Cr, 20Cr, 20CrV, 20CrV, + 15CrMo, 30CrMo, 35CrMo, 38CrMoAl, 12CrMo, 20CrMo	H08Mn2SiA	200~250	640~670	—

表 3-83 不同马氏体钢与铁素体钢 TIG 焊用焊丝

异种金属焊接组合	焊 丝
0Cr13, 1Cr13, 2Cr13, 3Cr13 + 1Cr17, 1Cr17Ni2	H1Cr25Ni13

表 3-84 异种奥氏体钢 TIG 焊用焊丝

异种金属焊接组合	焊 丝
1Cr18Ni9, 0Cr18Ni9Ti, 1Cr18Ni9Ti + 0Cr18Ni12Mo2Ti, 1Cr18Ni12Mo2Ti	HCr18Ni11Mo, H00Cr18Ni9, H00Cr17Ni13Mo2
1Cr18Ni9, 0Cr18Ni9Ti, 1Cr18Ni9Ti + 1Cr18Ni12Mo3Ti, 0Cr18Ni16Mo5	HCr18Ni9Si2, H0Cr19Ni10Mo3Ti

表 3-85 不锈钢与变形高温合金手工 TIG 焊焊接参数

材 料	厚度 /mm	焊前状态	接头 形式	焊 丝		钨丝直径 /mm	焊接电流 /A	电弧电压 /V	氩气流量 /(L/min)
				牌 号	直 径 /mm				
1Cr18Ni9Ti +GH3030	2+1.5	1Cr18Ni9 Ti 水淬	搭 接	HGH3030 或 H1Cr18Ni9Ti	2	2	60~90	11~15	5~8
	2.5+2	GH3030 固溶化、 机 械 抛 光					70~100		
	2+1.2						50~80		
1Cr18Ni9Ti +GH1035	1.5	1Cr18Ni9 Ti 水淬	搭 接	H1Cr18Ni9Ti	1.6	2	50~75	11~15	5~8
	-1.5	GH1035 固溶化、 机 械 抛 光							
GH2132+Cr17Ni2	1.2	990℃空 冷	对 接	HGH3044 或 HGH1131 或 HGH2132	1.6	1.6	55~65	11~12	6~8
	+1.3								
GH2132+1Cr18Ni9Ti					1.5		65~85	8~10	4~5



表 3-86 钢与镍基合金机械化 TIG 焊接参数

材 料	厚度 /mm	焊前状态	焊 丝		钨丝直径 /mm	焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊接速度 /mm/min	送丝速度 /mm/min	气体流量 (L/min)	附加氩气流量 (L/min)
			牌 号	直径 /mm							
GH2132+GH1140	1.2 +1.2	固溶	HGH1131	1.2	3	90	9~10	0.46	0.47	6~8	2~3
	140					0.32		0.6			
GH1140+ ICr18Ni9Ti	1+1.5	固溶	HGH1140	1.6	2.5	100 ~110	11	0.5 ~0.6	0.5 ~0.6	5~8	2 ~4

### 3. 异种金属材料的焊接缺陷及防止措施

异种金属材料焊接主要有三种情况：异种钢焊接（如珠光体钢与铁素体钢焊接、奥氏体钢与珠光体钢的焊接等）；异种有色金属焊接（如铜与铝、铝与钛等）；钢与有色金属焊接（如钢与铜、钢与铝等）。

从现代的焊接技术来说，大多数两种不同的金属或合金之间，都具有优良的焊接性，可以进行焊接。但是，有些金属或合金之间，焊接性较差，主要是因为异种金属之间性能上差别较大，所以在焊接过程中比同种金属焊接时要困难得多。如：两种被焊金属的线膨胀系数相差很大时，在焊接过程中会产生很大的、无法消除的热应力；两种被焊金属的熔化温度相差很大时，在焊接过程中，一种金属已熔化并处于过热状态，而另一种金属还处于固态下；当被焊金属的导热性能和比热容不同时，会改变焊接时的温度场分布，从而改变焊缝的结晶条件。当被焊金属的电磁性能相差很大时，焊接过程中焊缝成形则不良。常见异种金属材料 TIG 焊焊接缺陷及防止措施见表 3-87。

表 3-87 常见异种金属材料 TIG 焊焊接缺陷及防止措施

异种金属组合	焊接缺陷	产生原因	防止措施
奥氏体不锈钢 + 碳钢	熔合区塑性下降； 出现淬硬组织	熔合区产生脆性层	1. 采用过渡层或过渡段 2. 选用含镍量最高的焊丝
高铬不锈钢 + 低碳不锈钢	焊接热裂纹	碳迁移，形成低熔点共晶	1. 采用隔离焊缝 2. 选用合适焊丝 3. 焊前预热
镍合金 + 碳钢	焊缝内部有气孔、 裂纹	焊缝含镍量高，晶粒粗大。低熔点共晶体集聚，冷却速度快，熔池内气体来不及析出	1. 通过焊丝向焊缝中加入变质剂，如 Mn、Cr 2. 控制冷却速度 3. 焊接接头处要仔细清理干净 4. 保证气体纯度

(续)

异种金属组合	焊接缺陷	产生原因	防止措施
铝 或 铜 与 碳钢	碳钢侧热影响区 裂纹、渗透裂纹	铜向奥氏体晶界 侵入,低熔点共晶体 生成	1. 正确选择填充 焊丝 2. 合理控制焊接 热循环 3. 严格控制 Mn/S 比 4. 选用双金属作 过渡层

### 六、TIG 焊坡口设计的一般原则

在设计焊接接头坡口时,首先要考虑到接头处的间隙,既要保证电弧、保护气体与填充金属能到达接头底部,使第一层焊缝能充分焊透,还要保证背面焊缝不烧穿或产生焊瘤,以及提高焊接生产率、减小焊接变形。此外,还要结合母材的化学成分、特性、厚度以及焊缝的熔深等进行综合考虑。TIG 焊坡口设计的一般原则见表 3-88,TIG 焊坡口尺寸的设计见表 3-89

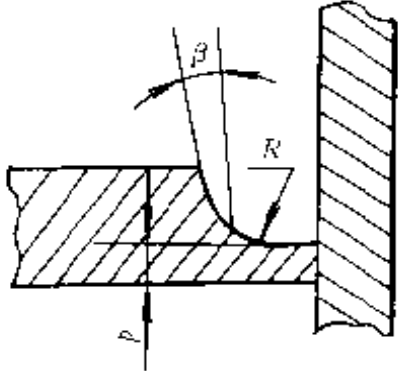
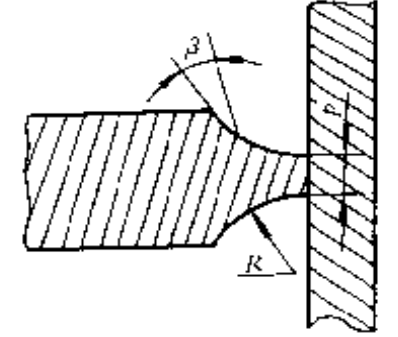
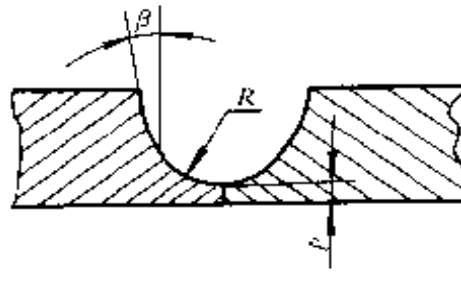
表 3-88 TIG 焊坡口设计的一般原则

母材厚度/mm	母材材质	坡口形式
$\leq 3$	碳钢、低合金钢、不锈钢、 铝的对接接头	I 形坡口
$\leq 2.5$	高镍合金	
3~12	碳钢、低合金钢、不锈钢、 铝、高镍合金	U 形、V 形或 K 形、T 形
$> 12$	碳钢、低合金钢、不锈钢、 铝、高镍合金	双 U 形或 X 形坡口更好

表 3-89 TIG 焊坡口尺寸的设计

坡口名称	坡口尺寸	坡口简图
Y形	$\delta = 5 \sim 12\text{mm}$ $b \leq 3\text{mm}$ $p \leq 2\text{mm}$ 碳钢、低合金钢、 不锈钢: $\alpha = 60^\circ$ 高镍合金: $\alpha = 80^\circ$ 铝: $\alpha = 90^\circ$	
双Y形	$\delta > 12\text{mm}$ $b \leq 3\text{mm}$ $p \leq 1.5\text{mm}$ $\alpha = 60^\circ \sim 90^\circ$	
双U形带钝边	碳钢、低合金钢、 不锈钢: $\beta = 7^\circ \sim 9^\circ$ 高镍合金: $\beta = 15^\circ$ 铝合金: $\beta = 20^\circ \sim 30^\circ$ $R = 4.5 \sim 8\text{mm}$ $p \leq 2\text{mm}$ $b \leq 3\text{mm}$	
单边V形	黑色金属: $\beta = 45^\circ$ 铝合金: $\beta = 60^\circ$ $p \leq 3\text{mm}$ $b \leq 2\text{mm}$	<p data-bbox="719 1827 887 1895">带钝边单边 V 形坡口</p> <p data-bbox="1082 1827 1281 1895">带钝边双单边 V 形坡口</p>

(续)

坡口名称	坡口尺寸	坡口简图
J形  带钝边J形坡口	$\beta = 7^\circ \sim 15^\circ$ $p \leq 3\text{mm}$ $R = 12.5\text{mm}$	
		
带钝边U形	$\beta = 7^\circ \sim 9^\circ$ $R = 4.5 \sim 8\text{mm}$ $p \leq 2.5\text{mm}$	

### 第三节 熔化极气体保护焊

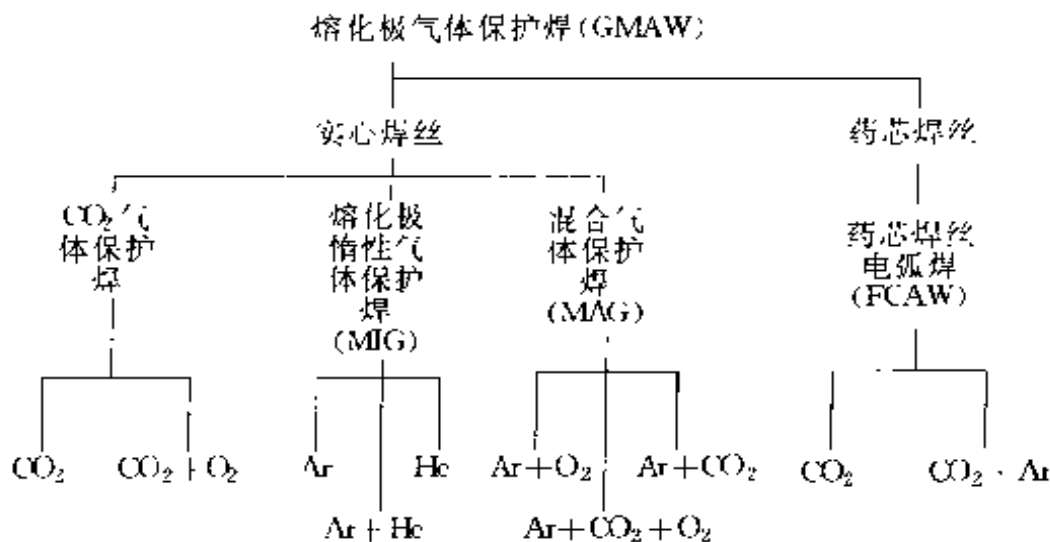
#### 一、熔化极气体保护焊的定义

使用熔化电极的气体保护焊即熔化极气体保护焊。

使用熔化电极的惰性气体保护焊称为熔化极惰性气体保护焊。

熔化极气体保护焊的分类,通常根据保护气体种类和焊丝的形式不同按表 3-90 分类。

表3-90 熔化极气体保护焊分类

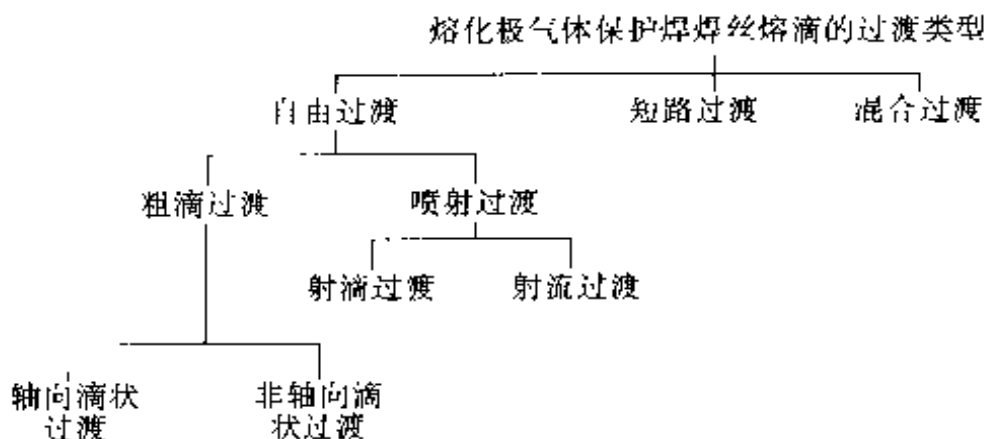


## 二、熔化极气体保护焊的特点

### 1. 熔化极气体保护焊焊丝熔滴的过渡类型

熔化极气体保护焊焊丝熔滴的过渡类型见表 3-91。

表3-91 熔化极气体保护焊焊丝熔滴的过渡类型



### 2. 熔化极气体保护焊焊丝熔滴过渡的影响因素

熔化极气体保护焊焊丝熔滴过渡类型受多种因素的影响,详见表 3-92。

### 3. 常用金属材料熔化极气体保护焊的典型电弧电压

熔化极气体保护焊的电弧电压是指焊丝端头和焊件之间的电压降。平特性电源主要通过调节空载电压来实现电弧电压的调节;缓降或

陡降特性电源主要通过调节外特性斜率来实现电弧电压的调节。常用金属材料熔化极气体保护焊的典型电弧电压见表 3-93。

**表 3-92 熔化极气体保护焊焊丝熔滴过渡的影响因素**

影响因素	因影响因素而产生的变化
焊接电流	采用纯氩或富氩混合气体保护焊时,熔滴的过渡形式因焊接电流的提高而变化,当焊接电流较小时,为滴状过渡,当焊接电流较大时,为射流过渡
电流极性	为了获得稳定而熔滴尺寸细小的熔滴过渡,通常采用直流反接(焊丝接正极)。直流正接时,熔滴尺寸较大,熔滴过渡不太稳定
气体成分	在富氩气体保护下容易产生喷射过渡。在 Ar+He 混合气体中,获得稳定喷射过渡的临界电流比纯氩高。在多原子气体中焊接时,只能得到非轴向滴状过渡
焊丝伸出长度	焊丝伸出长度大,可以获得稳定的喷射过渡,并可降低临界电流。过大的焊丝伸出长度,会引起伸出的焊丝软化,使电弧不稳定
焊丝直径与导热性	焊丝直径越小,临界电流越低,越容易得到稳定的射滴过渡或射流过渡 焊丝导热性较强时,就不可能得到射流过渡

**4. 常用金属材料焊接用保护气体**

金属在单一气体保护下进行焊接,有时不能得到令人满意的效果。如:焊接时飞溅大、焊缝成形不良、不利于冶金作用、影响熔滴过渡和焊丝熔化速度以及气体的成本较高等。为此,近年来又发展了混合气体保护焊,并已在生产实践中逐步推广应用。常用金属材料焊接用保护气体及主要特点见表 3-94。

表 3-93 常用金属材料熔化极气体保护焊的典型电弧电压

母材材质	自由过渡( $\phi 1.6\text{mm}$ 焊丝)					短路过渡( $\phi 0.9\text{mm}$ 焊丝)			
	CO <sub>2</sub>	Ar+O <sub>2</sub> 1%~ 5% <sup>①</sup>	Ar25% + He75%	氩气	氦气	CO <sub>2</sub>	Ar75% +CO <sub>2</sub> 25%	Ar+O <sub>2</sub> 1% ~5%	氩气
碳钢	30	28	-	—	—	20	19	18	17
低合金钢									
不锈钢	—	26		24			21	19	18
镍									
镍-铜合金			28	26	30				22
镍-铬-铁合金									
硅青铜		28							
铝青铜		—	30	28	32				23
磷青铜		23							
铜			33	30	36				24
铜-镍合金			30	28	32			22	23
锡			29	25	30				19
钛			28	26	—				16

① 表中气体所占比值为体积分数。

表 3-94 常用金属材料焊接用保护气体及主要特点

母材材质	保护气体 <sup>①</sup>	化学性质	主要特点
碳钢	Ar+O <sub>2</sub> 1%~5%	氧化性	稳弧,熔池流动性好,飞溅小,改善焊缝成形。用于射流电弧,对焊缝要求较高的场合
	Ar+CO <sub>2</sub> 10%~20%		
	Ar+CO <sub>2</sub> 25%		适用于 $\delta^{\text{②}} < 3\text{mm}$ 不焊透的高速焊,变形小,飞溅小,采用短路电弧
	Ar+CO <sub>2</sub> 50%		适用于 $\delta > 3\text{mm}$ 板材的焊接,飞溅小,在立焊及仰焊时控制熔池较好



(续)

母材 材质	保护气体 <sup>1</sup>	化学性质	主要特点
低合 金钢	Ar+O <sub>2</sub> 1%~2%	氧化性	可消除咬边,韧性好
	Ar75% + CO <sub>2</sub> 25%		韧性、塑性较好,电弧稳定,焊缝成形良好,飞溅小
	Ar80% + CO 15% + O <sub>2</sub> 5%		熔深较佳,可用于脉冲、射流及短路电弧。采用脱氧焊丝
	CO <sub>2</sub>		用于短路电弧,有一定的飞溅
高合 金钢	CO <sub>2</sub> 20%~25%,O <sub>2</sub>		用于射流及短路电弧
	Ar+O <sub>2</sub> 1%~2% Ar+CO <sub>2</sub> 1%~5%		稳弧、成形良好、飞溅小
不 锈 钢	Ar + O <sub>2</sub> 1%~2% Ar + CO <sub>2</sub> 1%~5%	氧化性	稳弧、成形良好、咬边小
	Ar+O <sub>2</sub> 2% + CO <sub>2</sub> 5%		用于喷射电弧、脉冲电弧及短路电弧
	Ar+He30%~40%		惰性
铜及 铜合 金	Ar	惰性	有稳定的喷射过渡电弧,板厚大于3~6mm时要预热
	Ar50%+He50% Ar30% + He70%		输入热量比纯 Ar 大,可以减少预热温度
	N <sub>2</sub>	还原性	增大了输入热量,可降低或取消预热温度,有飞溅及烟雾
Ar + N <sub>2</sub> 20%	电弧热输入明显比纯 Ar 大,但有一定的飞溅		
铝及 铝合 金	Ar	惰性	用直流反接有阴极破碎作用,焊缝表面光洁
	Ar+He26%~90% Ar + He50%~80%		电弧温度高,适用于焊接厚铝板,可增加熔深、减少气孔,随着 He 量增加,飞溅将增加

(续)

母材 材质	保护气体 <sup>①</sup>	化学性质	主要特点
镍基 合金	Ar+He90%	惰性	适用于喷射、脉冲、短路过渡电弧
	Ar		增加热输入
Ar+He15%~20%			
钛、锆 及其 合金	Ar		
	Ar+He25%	适用喷射、短路、脉冲电弧,可增加热输入	

① 表中保护气体所占比值为体积分数。

②  $\delta$  为板厚。

### 三、熔化极气体保护焊的设备

#### 1. 焊接电源外特性

熔化极气体保护焊通常采用直流焊接电源,所用的焊接电流值一般都在 10~500A 之间,特殊焊机的焊接电流能达到 1500A。电源的空载电压为 55~85V,电源负载持续率在 60%~100% 范围。熔化极气体保护焊焊接电源的外特性类型及特点见表 3-95。

表 3-95 熔化极气体保护焊焊接电源的外特性类型及特点

类型	特 点
平特性 (恒压)	用于惰性气体或富氩和氧化性气体(如 CO <sub>2</sub> )保护焊,焊丝直径小于 $\phi$ 1.6mm 的焊接中。平特性配合等速送丝,可通过改变电源空载电压,调节电弧电压;通过改变送丝速度来调节焊接电源。短路电流较大,引弧容易
缓降特性 (下降率 $\leq 5V/100A$ )	
陡降特性 (恒流)	焊丝直径较粗(大于 $\phi 2mm$ )时在生产中常采用陡降特性电源,配有变速送丝系统,当电弧弧压(弧长)发生变化时,可及时反馈送到送丝控制电路,调节送丝速度,使弧长能及时得到恢复

2. 电源输出参数的调节

电源输出参数的调节,主要是指通过对电弧电压或焊接电流的调节,达到焊接过程稳定进行的目的。电源输出参数的调节方法见表 3-96。

表 3-96 电源输出参数的调节

类型	电弧电压	焊接电流
平特性电源	通过调节空载电压来实现电弧电压的调节	通过调节送丝速度来实现焊接电流的调节 有时也通过调节空载电压来进行焊接电流的少量调节
缓降或陡降特性电源	通过调节电源外特性斜率来实现电弧电压的调节	通过调节电源外特性斜率来实现焊接电流的调节

3. 送丝系统

熔化极气体保护焊送丝系统通常由送丝机、送丝软管、焊丝盘等组成。送丝方式及特点见表 3-97。

表 3-97 熔化极气体保护焊的送丝方式及特点

	推丝式	拉丝式	推拉式	行星式(线式)
特点	应用最广泛的送丝方式之一。焊枪结构简单、轻便、操作、维护方便,送丝阻力大,随软管的加长,送丝稳定性变差,一般送丝软管长 3~5m	有三种形式: 1. 焊丝盘和焊枪分开,两者通过送丝软管连接 2. 焊丝盘安在焊枪上,以上两种都适用于细丝半机械化熔化极气体保护焊 3. 焊丝盘与焊枪分开,送丝电动机也与焊枪分开,适用于机械化熔化极气体保护焊	焊丝前进既靠后面推力,又靠前面拉力,利用两个力的合力来克服焊丝在软管中的阻力。这种送丝以拉为主,推、拉尽量做到同步。送丝软管可加长到 15m 左右,用于半机械化熔化极气体保护焊	根据“轴向固定的旋转螺母能轴向送进螺杆”的原理设计而成。这种送丝机构可一级一级串联起来成为所谓线式送丝系统,使送丝距离可达到 60m。若只采用一级传送,可传送 7~8m

#### 四、MIG 焊

##### (一) MIG 焊的定义

使用熔化电极的惰性气体保护焊，简称 MIG 焊。

##### (二) MIG 焊的特点

MIG 焊的实质是，在焊接过程中，光焊丝被连续地送进焊接区熔化变成填充金属，焊丝、熔池、电弧和母材在焊接过程中受到惰性气体保护的焊接方法。MIG 焊的特点见表 3-98。

表 3-98 MIG 焊的特点

优 点	缺 点
1. 可以焊接绝大多数金属，冶金过程比较简单 2. 焊丝既作为电极，又作为焊缝的填充金属，较大地提高了焊接生产率 3. 可以采用短路过渡和脉冲焊法进行全位置焊接 4. 焊接铝、镁金属时，可以用直流反接的阴极破碎作用去除坡口表面的氧化膜，不必采用具有强腐蚀性的溶剂清理坡口 5. 采用喷射过渡可以焊接不同厚度的板材	1. 氩气价格较高 2. 熔深没 CO <sub>2</sub> 焊大 3. 抗风能力弱，不宜在室外焊接 4. 对母材及焊丝上的油、污、垢敏感，易产生气孔

##### (三) MIG 焊与 TIG 焊的焊接性能比较

MIG 焊与 TIG 焊都是气体保护焊，其焊接性能比较见表 3-99。

##### (四) MIG 焊焊接设备

MIG 焊焊接设备分自动和半自动、加脉冲或不加脉冲的熔化极气体保护焊机，分述如下：

##### 1. 半机械化熔化极氩弧焊机

半机械化熔化极氩弧焊机型号及技术数据见表 3-100。

##### 2. 机械化熔化极氩弧焊机

机械化熔化极氩弧焊机型号及技术数据见表 3-101。

表 3-99 MIG 焊与 TIG 焊的焊接性比较

焊接方法		MIG 焊				TIG 焊				
		大电流焊接	短路过渡焊接	脉冲焊 高频	脉冲焊 低频	大电流焊接	脉冲焊 高频	脉冲焊 低频		
焊接材料	焊丝	实心焊丝								
	保护气体	Ar-O <sub>2</sub> , Ar-CO <sub>2</sub>								
	焊接位置	平焊、横焊、 横角焊	全位置焊				平焊、立焊	全位置焊		
焊接金属性能		良好								
X 射线检测性能		良好	单层良好、 多层差	良好		良好		良好		
焊道形状		焊波细, 焊道平	焊波细成凸状	焊波细, 焊道平		焊波细而匀				
焊深		稍深呈指状	浅	可控		可控				
电弧稳定性		良好								

(续)

焊接方法	MIG 焊			TIG 焊	
	大电流焊接	短路过渡焊接	脉冲焊 高频   低频	大电流焊接	脉冲焊 高频   低频
焊接性能	飞溅	少且粒小	基本没有	基本没有	基本没有
	熔滴过渡	喷射过渡	脉冲喷射过渡	喷射过渡	搭桥过渡
	接头精度	要求高	要求低	要求较高	要求高
焊接设备	电源特性	平特性	平特性 陡降特性	平特性	陡降特性
	脉冲频率	—	50Hz、100Hz	—	10~25kHz   0.5~10Hz
	送丝方式	—	等速送进	等速送进	等速或变速送进
特点	工艺性好，熔深大，焊接接头性能良好	可控焊接热输入，可焊薄板及全位置焊接	可控焊接热输入，可进行中厚板全位置焊	工艺性好，焊道外观好，接头性能良好	可控焊接热输入，可焊薄板及进行全位置焊接

表 3 100 国产半机械化熔化极氩弧焊机型号及技术数据

项 目		单位	NB-250	NB-400	NB 630	
电源电压、频率		V/Hz	380/50			
相数		相	3			
输入容量		kVA	13.2	24	36	
绝缘等级 冷却方式			F级 强迫风冷			
空载电压调节范围		V	18~12(30档)	17~18(24档)	24~70(36档)	
额定负载持续率		%	60			
焊接电流范围		A	35~250	50~400	100~630	
工作电压		V	16~25	16.5~34	19~14	
各 负 载 持 续 率 时	焊接 电流	60% 100%	A A	250 200	100 315	630 500
	工作 电压	60%	V	25.5	31	44
		100%	V	24	30	39
	输入 电流	60%	A	15.7	29	66
		100%	A	10.5	19	50
	适用焊丝直径		mm	0.8; 1; 1.2	0.8; 1; 1.2; 1.6	1; 1.2; 1.6; 1.8; 2
功率因数				0.95	>0.95	
外形尺寸 (长×宽×高)		mm	530×430 ×710	1060×460 ×780	1090×560 ×835	
配用控制箱型号			E5	E6/1	E6/1	

### 3. 半机械化脉冲氩弧焊

半机械化脉冲氩弧焊机见表 3-102。该机采用熔化电极、直流弧焊电源，具有飞溅小、能利用脉冲电流搅拌熔池、焊接质量可靠等优点。

表 3-101 机械化熔化极氩弧焊机型号及技术数据

项 目	单 位	NZ3-350 型 自动氩弧焊机	NZ2 300 型 车轮合成自动焊机
额定焊接电流	A	350	500
电流调节范围	A	50~350	—
焊接速度		0~4r/min	0.5~1.5m/min
焊接电压	V	15~36	20~40
空载电压	V	57	—
送丝速度	m/min	1.5~15	—
额定负载持续率	%	50	—
输入电压	V	380±10%	380
相数		3	3
额定功率	kVA	18.6	34
氩气流量	L/min	0~30	—
适用范围	mm	φ200×1000	—
适用焊丝直径	mm	0.8; 1; 1.2; 1.6	1.2~1.6
外形尺寸 (长×宽×高)	主机	mm	800×400×600
	电源	mm	150×700×870

表 3-102 半机械化脉冲氩弧焊机

型号:NBA2-200	额定负载持续率 /%	60	电动机功率/W	100	
电源电压/V	380	送丝速度 /(m/min)	1~14	焊机重/kg	385
相数/频率/Hz	3/50	焊丝直径/mm	φ1.4~ φ2(A1)	送丝机构重/kg	20



(续)

空载电压/V	75	额定工作电压/V	30	焊枪重/kg	1.2
焊接电流范围/A	10~200	焊丝盘容量/kg	5	额定输入容量/kVA	15
焊机长/mm	715	焊机宽/mm	555	焊机高/mm	1130
送丝机构长/mm	570	送丝机构宽/mm	170	送丝机构高/mm	435
基本电流/A	0~80	脉冲电流/A	10~200	—	—

4. 机械化脉冲氩弧焊机

机械化脉冲氩弧焊机的技术数据见表 3-103。全功能 CO<sub>2</sub> 气体保护焊机见表 3-104。

表 3-103 机械化脉冲氩弧焊机的技术数据及型号

型 号		NZA20-200	NZA21-200
电源电压/V		380	
控制箱电源电压/V			220
额定焊接 电流/A	脉冲电流	200	200
	维弧电流		200
额定负载持续率/%		60	100
脉冲频率/Hz		50;100	25;50;100
脉冲调宽比/%			20~80
脉冲电源工作电压/V		20~40	15~40
空载电压/V		75	70
工作电压/V		30	
焊丝直径/mm	不锈钢	φ1~φ2	φ1.2~φ1.6
	铝	φ1.5~φ2.5	
焊接速度/m/h		6~60	5~80
送丝速度/m/h		60~340	100~1000
电动机功率/W		35+20	

(续)

型 号		NZA20 200	NZA24 200
冷却水流量/(L/min)			3
机 头 位 移	与焊缝平行转角/(°)		15
	与焊缝垂直转角/(°)		向内 20 向外 45
	焊枪升降距离/mm		60
	焊枪与焊缝垂直调节距离/mm		60
焊丝盘容量/kg			8
质量/kg	弧焊电源	385	
	控制箱	85	
	小车	26	
外形尺寸 $\frac{\text{长}}{\text{mm}} \times \frac{\text{宽}}{\text{mm}} \times \frac{\text{高}}{\text{mm}}$	弧焊电源	715×555×1130	
	控制箱	454×745×1185	
	小车	660×410×800	
用 途		焊接铝及铝合金、 不锈钢等	焊接不锈钢、耐高 温合金及化学性质活 泼金属

表 3-104 NZC2- II 型多功能 CO<sub>2</sub> 气体保护焊机

项 目	硅整流电源 ZPL1000A	硅整流电源 ZPL1250A	CO <sub>2</sub> 气体保护电源 NEC 350K
焊接电压/V	28~44	28~44	17~37
焊接电流/A	250~1000	200~1250	70~350
输入功率/kVA	95	118	24
负载持续率/%	60		
输入电源	(三相四线) 380V ± 10% 50Hz		

(续)

项 目	LS 伸缩臂式操作架	
有效行程/m	垂直:2~5.5 水平:3~9 (12种规格)	
横臂焊接速度/(cm/min)	12~100(直流无级调速)	
横臂升降速度/(cm/min)	110(交流恒速)	
最小焊接直径/mm	标准机头 <650	特小机头 <300
项 目	调节式滚轮架	自调式滚轮架
载重量/t	10~150(8种规格)	
工件直径/mm	300~5500	
滚动速度/(mm/min)	100~1200	交流变频调速
用 途	该设备由移动台车、360°转动立柱伸缩臂式焊接操作架, 微机控制交流变频调速滚轮架(分自调式和调节式二种), 焊接电源及机头组成(有12种不同规格成套系列)。它可作圆形焊件、方型长距离焊件作内外、纵、环缝自动焊接, 是管道、容器、油罐、锅炉自动埋弧焊接、气刨及各种2~5mm厚度有色金属结构件的CO <sub>2</sub> 气体保护自动焊专用设备	

### (五) 金属材料的 MIG 焊

#### 1. 不锈钢 MIG 焊

用 MIG 焊焊接不锈钢时, 有两种熔滴过渡方式, 详见表 3-105。短路过渡 MIG 焊焊接参数见表 3-106。喷射过渡 MIG 焊焊接参数见表 3-107。熔化极脉冲氩弧焊的焊接参数见表 3-108。

表 3-105 不锈钢 MIG 焊熔滴过渡方式

	焊丝直径/mm	保护气体 <sup>(1)</sup>
短路过渡	0.8~2	Ar+O <sub>2</sub> 1%~5%
		Ar+CO <sub>2</sub> 5%~25%
喷射过渡	≤1	Ar+O <sub>2</sub> 1%~2%
		Ar+CO <sub>2</sub> 5%~10%

(1) 保护气体含量为体积分数

表 3-106 不锈钢短路过渡 MIG 焊的焊接参数


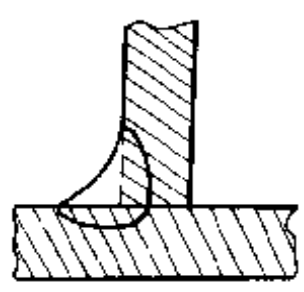
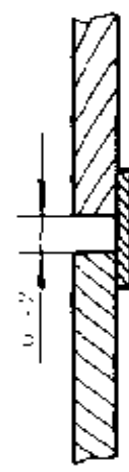
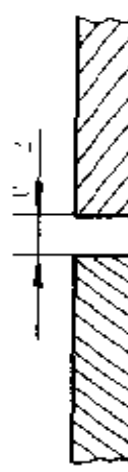


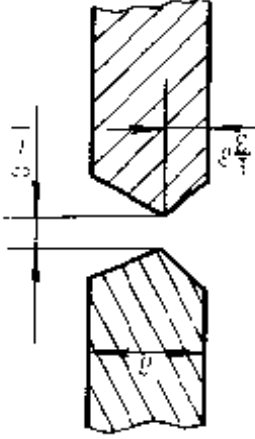
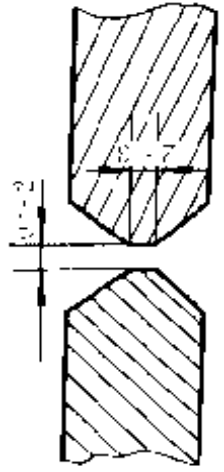
板厚 mm	接头简图	焊丝直径 mm	焊接电流 /A	电弧电压 V
1.6		0.8	85	15
2			90	
1.6		0.8	85	15
2			90	
板厚 /mm	送丝速度 /(m/min)	焊接速度 /(mm/min)	气体流量 /(L/min)	
1.6	4.6	375~525	15	
2	4.8	285~315		
1.6	4.6	425~475	15	
2	4.8	325~375		

表 3-107 不锈钢喷射过渡 MIG 焊的焊接参数

板厚 /mm	坡口简图	焊接位置	焊层数	焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊接速度 / (mm/min)	焊丝直径 /mm	送丝速度 / (m/min)	氩气流量 / (L/min)	备注
3		水平	1	220 ~240	22 ~25	400 ~550	1.6	3.7 ~4.5	14~18	永久垫板
		立		180 ~220		350 ~500		3~4		
2.5		水平	1	160 ~240	20 ~25	330 ~600		2.5 ~3.5		
		水平	2	200 ~260	23 ~26	300 ~500		4~5		
6		立	(1+1)	200 ~240	22 ~25	200 ~450		3.5 ~4.5		
		水平	5(4+1)	240 ~280	24 ~27	200 ~330		4.5 ~6.5		
12		立	6(5+1)	220 ~260	23 ~26	200 ~400		4~5		

(续)

板厚 /mm	坡口简图	焊接 位置	焊层数	焊接 电流 /A	电弧 电压 /V	焊接速度 /(mm/min)	焊丝 直径 /mm	送丝速度 /(m/min)	氩气流量 /(L/min)	备注
22		水平	11(7:4)	240 ~280	24 ~27	200 ~350	1.6	4.5 ~6.5	14~18	
		立	14(10:4)	200 ~240	22 ~25	200 ~400		3.5 ~4.5		
38		水平	18(9:9)	280 ~340	26 ~30	150 ~300	1.6	4.5 ~6.5	18~22	
		立	22 (11:11)	240 ~300	24 ~28	150 ~300		3.5 ~4.5		

注:括号内数字说明双面焊时每面的焊层数。

表 3 108 不锈钢熔化极脉冲氩弧焊的焊接参数


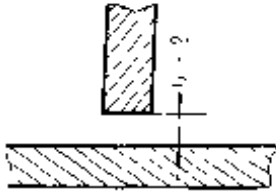
板厚 (mm)	焊接 位置	坡口 形式	焊丝 直径 (mm)	焊接 电流 (A)	脉冲电 流平均 值/A	电弧 电压 (V)	焊接速度 (mm /min)	气体流量 (L·min)	保护气体 体积分数 /%		
									Ar	O <sub>2</sub>	
1.6	平	I形	φ1.2	120	65	22		20	99	1	
	立	90° V形	φ0.8	80	30	20	600				
	横 仰	I形	φ1.2	120	65	22	700				
3	平	I形	1.2	200	20	25	600				
	立	90° V形	1.2	120	50	21	600				
	横	I形									
	仰	I形	1.6	200	70	24	650				
6	平		1.6				360				
	立		1.2	180			23				60
			1.2	90	50	19	15				
	横	60° V形	1.6	200			23	450			
			1.6	180	70	21					
	仰		1.2	180			23	60			
			1.2	120	60	20	20				

2. 铝及铝合金 MIG 焊

铝及铝合金 MIG 焊时熔滴有两种过渡形式,即短路过渡和喷射过渡。短路过渡 MIG 焊适用于  $\delta=1\sim 2\text{mm}$  的薄板对接、搭接、角接和全位置焊接。铝及铝合金短路过渡 MIG 焊的焊接参数见表 3-109。喷射过渡 MIG 焊时,焊接电流必须大于临界电流,否则熔滴过渡就不会从

滴状过渡转变为喷射过渡。影响喷射过渡临界电流值的,除焊丝直径外,还有保护气体成分、焊丝材料及焊丝伸出长度等因素。铝及铝合金喷射过渡 MIG 焊的焊接参数见表 3-110。铝及铝合金大电流 MIG 焊的焊接参数见表 3-111。铝及铝合金脉冲 MIG 焊的焊接参数见表 3-112。

表 3-109 铝及铝合金短路过渡 MIG 焊的焊接参数

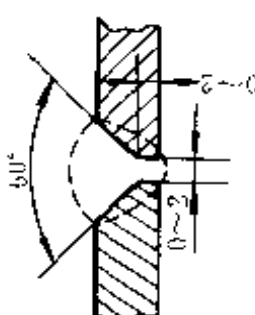
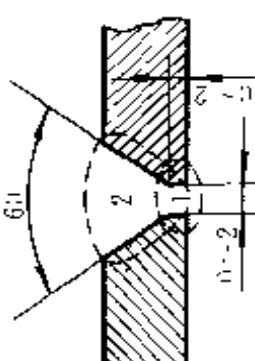
板厚 /mm	坡 口 形 式	焊接 位置	焊层数	焊接电流 /A	电弧电压 /V
2		全	1	70~85	14~15
		平		110~120	17~18
1		全		40	14~15
2		全		70	
				80~90	17~18
板厚 /mm	焊接速度 /(mm/min)	焊丝直径 /mm	送丝速度 /(m/min)	氩气流量 /(L/min)	
2	400~600	0.8	—	15	
	1200~1400	1.2	5.9~6.2	15~18	
1	500	0.8	—	14	
2	300~400		—	10	
	800~900		9.5~10.5	14	

### 3. 铜及铜合金 MIG 焊

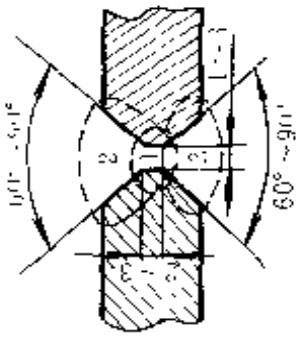
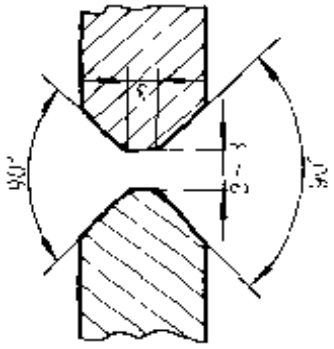
厚度大于 12mm 的铜及铜合金,都采用熔化极氩弧焊焊接,为防止焊漏焊件背面都加垫板。为防止黄铜中锌元素的蒸发,引起焊工中毒,



表 3-110 铝及铝合金喷射过渡 MIG 焊的焊接参数

板厚 /mm	坡口形式及尺寸 /mm	焊接位置	焊道顺序	焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊接速度 /mm/min	焊丝直径 /mm	送丝速度 /m/min	氩气流量 /L·min	备注	
6		平	1	200 ~250	24 ~27	400~500		5.9~7.7			
		横									
		立						1.6		20~24	使用 垫板
		仰	1~2 (背)	170 ~190	23 ~26	600~700		5~3.6			
8		平	1 2	240 ~290	25 ~28	450~600		7.3~8.9			
		横	1 2								
		立		190 ~210	24 ~28	600~700		5.6~6.3		20~24	用垫 板, 仰 焊时增 加焊道 数
		仰	3~4								

(续)

板厚 (mm)	坡口形式及尺寸 (mm)	焊接 位置	焊道 顺序	焊接 电流 (A)	电弧 电压 (V)	焊接速度 (mm/min)	焊丝 直径 (mm)	送丝速度 (m/min)	氩气流量 (L/min)	备注
12		平	1 2 3	230 ~300	25 ~28	400~700	1.6 或2.4	7~9.3 3.1~4.1	20~28	仰焊 时增加 焊道数
		横、 立、 仰	1 2 3~4	190 ~230	24 ~28	300~450	1.6	5.6~7	20~24	
16		平	4道	310 ~350	26 ~30	300~400	2.4	4.3~4.8	24~30	正背 两面交 替焊， 减小 小焊接 变形， 焊道数 可适当 增减
		横、立、 仰	4道	220 ~250	25 ~28	150~300	1.6	6.6~7.7	24~30	
		仰	10~ 12道	230 ~250	25 ~28	400~500	1.6	7~7.7	24~30	

(续)

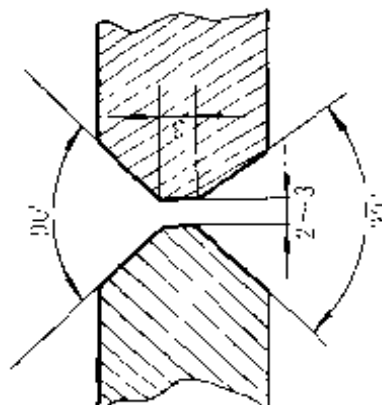
板厚 /mm	坡口形式及尺寸 /mm	焊接位置	焊道顺序	焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊接速度 /mm/min	焊丝直径 /mm	送丝速度 /m/min	氩气流量 /L/min	备注
		平	6~7道	310~350	26~30	400~500	2.4	4.3~4.8	24~30	止背 两面交 替焊 接,减 小焊接 变形, 焊道数 可适当 增、减
		横、立	6道	200~250	25~28	150~300	1.6	6.6~7.7	24~30	
25		仰	约15道	240~270	25~28	400~500	1.6	7.3~8.3	24~30	

表 3-111 铝及铝合金大电流 MIG 焊的焊接参数

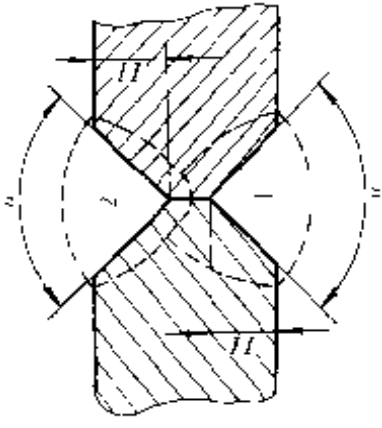
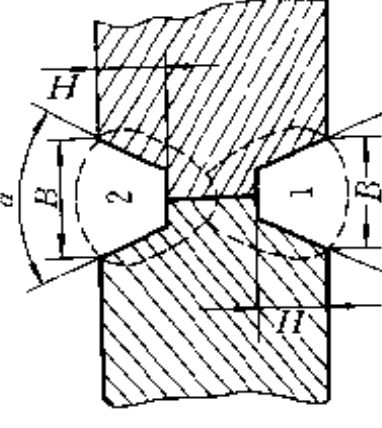
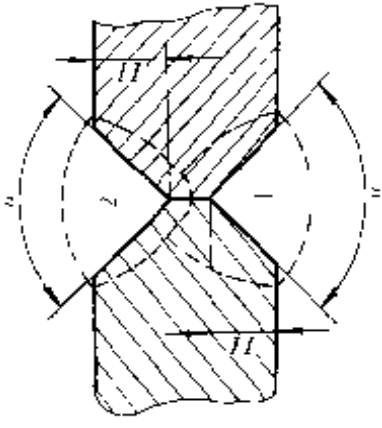
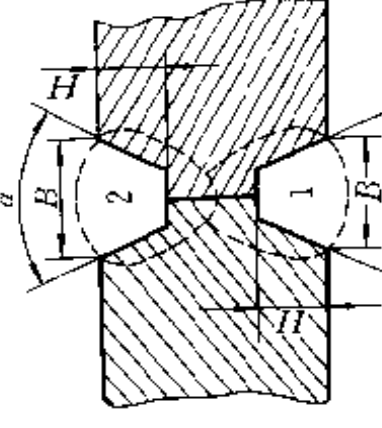

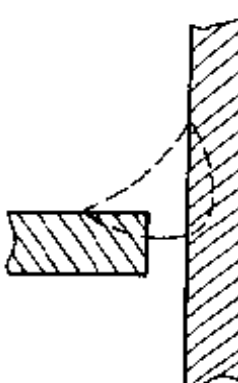
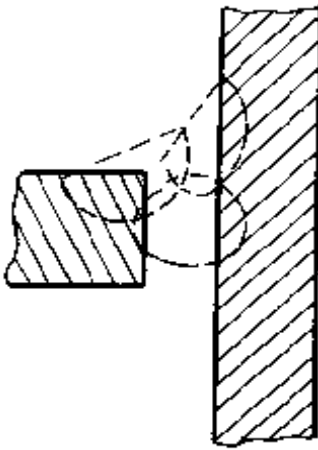
板厚 /mm	坡口形式及尺寸 /mm	坡口尺寸			焊丝 直径 /mm	气体	焊 层 数	焊接 电流 /A	电弧 电压 /V	焊接速度 /(cm./min)	气体流量 /(L./min)
		$\alpha$ /°	$B$ /mm	$H$ /mm							
25 38 45 50 60		90	—	5	3.2	Ar	480~530	29~30	30	100	
					4	Ar+He	560~610	35~36			
					4	Ar	630~660	30~31			
					4.8	Ar+He	780~800	37~38			
					4	Ar	700~730	32~33			
50 60		60	—	19	4.8	Ar+He	820~850	38~40	20	150	
					4.8	Ar+He	940~960	41~42			
50 60		60	30	9	4.8	Ar+He	760~780	37~38	20	150	
					4.8	Ar+He	940~960	41~42			
50 60		80	40	12	5~6	Ar+He	940~960	41~42	18	180	
					5~6	Ar+He	940~960	41~42			

表 3-112 铝及铝合金脉冲 MIG 焊的焊接参数


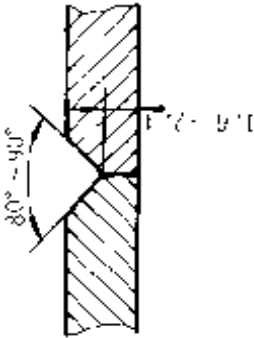
板厚 /mm	坡口形式	焊接位置	焊丝直径 /mm	焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊接速度 / (mm./min)	气体流量 / (L./min)
3		平	1.4~1.6	70~100	18~20	210~240	8~9
		横		60~80	17~18		13~15
		立(向下)	1.2~1.6	180~200	29~33	110~200	8~9
		仰					8~10
4~6		平	1.6~2	150~180	21~22	170~180	10~12
		立(向上)		120~180	20~22		
		仰	2~2.5	220~230	21~24	60~150	12~25
		立(向上)					
14~25		仰					

焊接过程中多采用低电压和小电流。在焊接过程中,还要注意防止焊件的焊接变形。对于铝青铜、镍白铜、硅青铜等流动性较差的铜合金,可以采用细丝熔化极氩弧焊,并使焊缝处于立焊或仰焊位置。为了防止散热速度过快,影响焊接质量,铜及铜合金焊接时尽量不用或少用搭接、角接和T形接头,多用对接接头形式。焊接铜及铜合金时,可以采用喷射过渡的MIG焊,在MIG焊过程中,熔滴过渡形式与电流密度有很大的关系。在氩气保护焊过程中,当焊接电流增加时,熔滴会由短路过渡形式转为喷射过渡。只有达到喷射过渡才会获得最稳定的电弧和最良好的焊缝成形,不同成分的焊丝进入喷射过渡的条件见表3-113。铜及铜合金MIG焊喷射过渡的焊接参数见表3-114。铜及铜合金大电流MIG焊的焊接参数见表3-115。纯铜MIG焊的焊接参数见表3-116。铜合金MIG焊的焊接参数见表3-117。异种铜合金MIG焊焊接用焊丝及预热、层间温度见表3-118。

表 3-113 不同铜及铜合金焊丝进入喷射过渡的近似条件

焊丝材料	焊丝直径 /mm	送丝速度 /(m/min)	电弧电压 /V	最小焊接电流 /A	最小电流密度 /(A/mm <sup>2</sup> )
锡青铜 HSCuSr	1.6	4.18	27	270	134
铝青铜 HSCuAl	0.8	7.5	25	160	260
	1.2	6.6		210	203
	1.6	4.7	26	280	139
硅青铜 HSCuSi	0.8	10.7	24	165	268
	1.2	7.5	26~27	205	199
	1.6	4.82	27~28	270	134
白铜 HSCuNi	1.6	1.45	26	280	139

表 3-114 铜及铜合金 MIG 焊喷射过渡的焊接参数

板厚 (mm)	坡 口 尺 寸 (mm)	焊丝 直径 (mm)	焊层数	预热 温度 (°C)	焊接 电流 (A)	送丝速度 (cm/min)	焊接速度 (cm/min)	保护 气体	气体流量 (L·min)
1.6		1.2		38~93	180~250	450~787	35~50	Ar	15
6.4		1.6	1~2	93	250~325	375~525	24~45	Ar:He 1:3	23

(续)

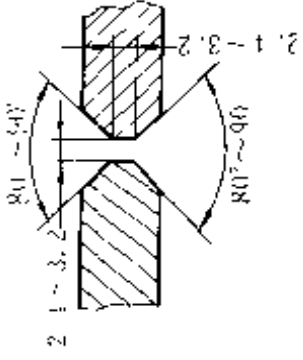
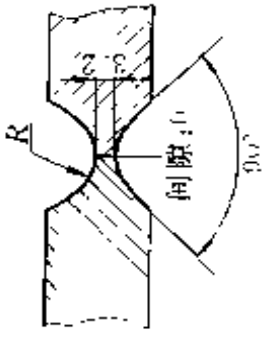
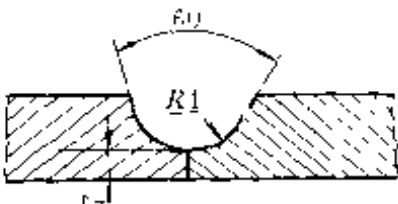
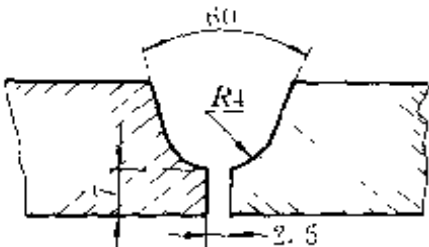
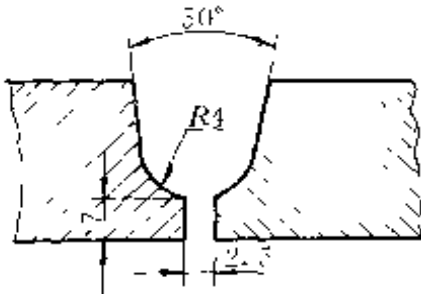
板厚 /mm	坡口尺寸 /mm	焊丝 直径 /mm	焊层数	预热 温度 /(°)	焊接 电流 /A	送丝速度 /(cm/min)	焊接速度 /(cm/min)	保护 气体	气体流量 /(L/min)
12.5		1.6	2~4	316	330~400	525~675	20~35	Ar:He 1:3	23
≥16		1.6	—	172	330~400	525~675	15~30	Ar:He 1:3	23
		2.4	—		500~600	375~475	20~35	Ar:He 1:3	30



表 3-115 铜及铜合金大电流 MIG 焊的焊接参数

板厚 mm	坡 口 尺 寸 /mm	焊 层 数	焊 接 电 流 A	电 弧 电 压 V	焊 接 速 度 /(cm, mm)	焊 丝 直 径 /mm
15		1	850	36	24	4
19		1	900	33	30	4.8
		2		37		
25		1	1000	33	27	4.8
		2		37	20	

4. 钛及钛合金 MIG 焊

氩弧焊是钛及钛合金在焊接生产过程中应用最广泛的焊接方法。通常  $\delta \leq 3\text{mm}$  的薄板,用钨极氩弧焊焊接;而  $\delta > 3\text{mm}$  的板材焊接,多用熔化极氩弧焊。钛及钛合金焊接时,可以在惰性气体保护箱中进行,也可以采用局部保护罩在空气中施焊。在惰性气体保护箱中焊接时,先将保护箱抽成真空( $1.33 \times 10^{-4} \sim 1.33 \times 10^{-2}\text{Pa}$ ),然后再充氩气到

表 3-116 纯铜 MIG 焊的焊接参数

板厚 /mm	坡口形式及尺寸			焊丝 直径 /mm	预热温度 /°C	焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊接速度 (m/h)	氩气流量 (L/min)	焊层数
	形式	角度 (°)	间隙 /mm							
3	I形	—	0	1.6	100	300~350	25~30	40~15	16~20	1
5			0~1							
6	V形	70~90	0	3	250	100~125	32~34	30	1~2	2
6	I形	—	0~2	—	100	450~480	25~30	25	20~25	1
8			70~90		1~3	250~300	460~480			
9	V形	—	—	2~3	250	500	25~30	21	—	2
10					80~90	0	400~400			
12	双V形	80~90	—	3	450~500	550~650	28~32	18	25~30	—
12					0~2	2~3	2.5~3			
1b	双U形	30	0	3	350~400	500~600	28~30	23~25	—	2~4
20	V形	70~80	1~2	2~3	600	700	28~30	20	30~40	2~3
22~30		80~90				2~4	700~750			

表 3-117 铜合金 MIG 焊的焊接参数

材料	板厚 /mm	坡口形式	焊丝直径 /mm	焊接电流 /A	电弧电压 /V	Ar(He) 流量 / (L/min)	送丝速度 / (m/min)	备注
黄铜	3	I形	1.6	275 ~ 285	25~28	16		
	9	V形						
	12	V形						
铝青铜	3	I形	1.6~2	260 ~309	26~28	20		
	6	V形						
	9							
	10	双V形	1	450 ~550	32~34	50~55		
	12	V形	1.6	320 ~380	26~28	30~32		
	16	双V形	2.5	400 ~440		30~35		
18	V形	1.6	320 ~350					
24	双V形	2.5	450 ~500	28~30	40~45			
硅青铜	3	I形	1.6	260 ~270	27~30	16		
	6	I形	1.6	300 ~320	26	16	5.5	
	9	V形		360	27~30		5.5	
	12			310	27		6.5~7.5	

(续)

材料	板厚 /mm	坡口 形式	焊丝 直径 /mm	焊接 电流 /A	电弧 电压 /V	Ar(He) 流量 /(L/min)	送丝速度 /(m/min)	备 注		
钛 青铜	20	双 V 形	2~2.5	350 ~380	27~30	16~20				
锡 青 铜	1.5	I 形	0.8	130 ~140	25~26	16	—			
	3		1	140 ~160	26~27					
	6		1	165 ~185	27~28					
	9	V 形	1.6	275 ~285	28~29	He18			预热 100 ~150℃	
	12			315 ~335	29~30				预热 200 ~250℃	
	18			365 ~385	31~32					
	25			440 ~460	33~34					
白 铜	3	I 形	1.5	280	22~28	16	—			
	6			270 ~330						
	9	V 形	1.5	300 ~330	22~28	16				
	10			300 ~360						
	12			—				—	350 ~400	24~28
	18								—	
	≥25	—	—	—	—	—				
	>25	—	—	—	26~28	—				

表 3-118 异种铜合金 MIG 焊焊接用焊丝及预热、层间温度

铜及铜合金	铜	低锌黄铜	高锌黄铜、铀黄铜、特殊黄铜	磷青铜	铝青铜	硅青铜
铜及铜合金						
铜镍合金	HSCuAl HSCuNi 或 HS201 (540 C)	HSCuAl (最大 65 C)	HS220 (最大 65 C)	HS220 (最大 65 C)	HS211 (最大 65 C)	HSCuAl HS211 (最大 65 C)
硅青铜	HSCuSn 或 HS201 (540 C)	HSCuAl HS201 (最大 65 C)	HSCuAl (最大 65 C)	HS202 HS211 (最大 65 C)	HS211 (最大 65 C)	
铝青铜	HSCuAl (540 C)	HSCuAl (315 C)	HSCuAl HS222 (315 C)	HSCuAl HSCuSn HS202 (205 C)		
磷青铜	HSCuSn (540 C)	HS221 (260 C)	HS221 (315 C)			
高锌黄铜、锡黄铜、特殊黄铜	HSCuSi HSCuSn HS201 (540 C)	HS221 (260 C)				
低锌黄铜	HSCuSn HS201 (540 C)					

个大气压,即可焊接。钛及钛合金 MIG 焊焊接参数见表 3-119 和表 3-120。

表 3-119 钛及钛合金 MIG 焊的焊接参数

板厚/mm	3	6	12	15
焊丝直径/mm	1.6			
焊接电流/A	250~260	300~320	340~360	350~390
电弧电压/V	20	24~26	40	45
送丝速度/(mm/min)	550~650	750~800	950~1000	1000~1100
焊接速度/(mm/min)	380	380	380	380
喷嘴内径/mm	20~25			
焊枪氩气流量/(L/min)	40~45			
拖斗氩气流量/(L/min)	23	28		
衬垫氩气流量/(L/min)	15	23	28	28
衬垫材料	铜			
衬槽尺寸 $\frac{\text{宽}}{\text{mm}} \times \frac{\text{深}}{\text{mm}}$	10×1.5	13×2	15×3	15×3
电源极性	直流反接			

表 3-120 钛及钛合金机械化 MIG 焊的焊接参数

母材 厚度/5mm	坡口形式	根部间隙 /mm	焊丝	焊接电流 /A	电弧电压 /V		
			直径 6mm		纯钛	钛合金	背面
纯钛	V形 70°	1	纯钛	280~300	30~31		
钛合金			钛合金		31~32		
母材 厚度/5mm	焊接速度 /(cm/min)	送丝速度 /(mm/s)	焊枪至焊件距离 /mm	氩气流量/(L/min)			
纯钛	60	144	27	20	20~30	30~40	
钛合金	50		25				

熔化极气体保护焊过程中,影响焊缝质量的因素很多,焊接飞溅也常常降低焊缝质量,电弧不稳定也是污染焊缝和形成焊接缺陷的潜在因素。所以在熔化极气体保护焊过程中,任何可能影响焊缝质量的因素,都要在焊前加以解决。钛及钛合金接头坡口形式及尺寸见表 3-68、钛及钛合金焊接区颜色与质量关系见表 3-69 和表 3-70。钛及钛合金的最佳焊接冷却速度范围表 3-121。

表 3-121 钛及钛合金的最佳焊接冷却速度范围

名 称	工业纯钛	TC1	TC4	TA7
冷却速度/(C/s)	10~200	12~150	2~40	10~200

### 五、CO<sub>2</sub> 气体保护焊

利用 CO<sub>2</sub> 作为保护气体的气体保护焊称为 CO<sub>2</sub> 气体保护焊,简称 CO<sub>2</sub> 焊。

#### 1. CO<sub>2</sub> 焊的特点

在 CO<sub>2</sub> 气体保护焊过程中,CO<sub>2</sub> 是保护气体。CO<sub>2</sub> 气具有氧化性,特别是在高温,CO<sub>2</sub> 气要分解,具有强烈的氧化作用,使合金元素烧损。氧化性是 CO<sub>2</sub> 焊产生气孔和飞溅的一个重要原因。可见,虽然 CO<sub>2</sub> 气体在焊接过程中排除了氮气的有害作用,但是也给 CO<sub>2</sub> 焊在焊接冶金方面带来了主要问题——氧化作用。

#### (1) CO<sub>2</sub> 气体保护焊的优点

- 1) 生产率高,电弧穿透力强,对厚 10mm 左右的钢板可以开 I 形坡口一次焊透。
- 2) 焊接变形小,电流密度高,电弧热量集中,受热面积小,焊件焊后变形小。
- 3) 对油、锈敏感性较低,可以减少焊件及焊丝的清理工作。
- 4) 焊缝中含氢量少,在焊接低合金高强度钢时冷裂纹倾向小。
- 5) 短路过渡技术可用于全位置及其它空间焊缝的焊接。
- 6) 操作简单,容易掌握。
- 7) CO<sub>2</sub> 气体和焊丝成本低,供应容易。
- 8) 电弧可见性良好,易于对准焊缝和掌握熔池熔化和焊缝成形。

(2) CO<sub>2</sub> 气体保护焊的缺点

- 1) 焊接过程中,合金元素烧损。
- 2) CO<sub>2</sub> 焊机价格比焊条电弧焊高。
- 3) 焊接过程中飞溅较大。
- 4) 室外作业时,抗风能力比焊条电弧焊弱。
- 5) 开工前准备时间较焊条电弧焊长,在经常流动的焊接现场,不如焊条电弧焊机动性好。
- 6) 拉丝式焊枪比焊条电弧焊焊钳重,焊工在焊接过程中劳动强度大,易疲劳。

CO<sub>2</sub> 气体保护焊的熔滴过渡有三种形式,其过渡特点及应用范围见表 3-122。

表 3-122 CO<sub>2</sub> 气体保护焊熔滴过渡的形式及应用范围

	滴状过渡	短路过渡	潜弧射流过渡
特点	焊接电弧长,熔滴过渡轴向性差,飞溅大,工艺过程不稳定	电弧燃烧、熄灭和熔滴过渡过程稳定,飞溅小,焊缝质量较高	焊接过程较稳定,母材熔深大
应用范围	生产中很少采用	在薄板焊接中广泛应用	中厚板平焊位置焊接

2. CO<sub>2</sub> 气体保护焊的焊接材料

(1) 焊丝 焊丝表面的清洁程度不高,直接增加焊缝金属中的氢含量,这样将会使焊缝的冷裂倾向加大,所以,重要金属结构在焊接前,要注意采用机械、化学或加热等方法来除掉焊丝表面的油、污、锈、垢。

为克服 CO<sub>2</sub> 气体保护焊过程中,强烈的氧化性会产生气孔、飞溅、合金元素烧损等缺陷,常在焊丝中加入锰、硅等脱氧元素。常用 CO<sub>2</sub> 气体保护焊焊丝的化学成分及用途见表 3-123。

(2) CO<sub>2</sub> 保护气体 CO<sub>2</sub> 气体易溶于水,其水溶液无色而稍有酸味,密度随着温度的变化而变化。当温度低于 -11℃ 时,其密度比水



表 3-123 常用 CO<sub>2</sub> 气体保护焊焊丝的化学成分及用途

焊丝牌号	化学成分(质量分数)/%										用途	相当 GB
	C	Mn	Si	Cr	Mo	Ti	Al	S	P			
MG49-Ni	≤0.1	1.3~1.6	0.5~0.8	0.2	Ni:0.3~0.6			0.03	0.03	不大于	焊接耐候钢、某些低合金钢	—
MG50-4	≤0.15	1~1.5	0.65~0.85	—	—	—	—	0.035	0.025	—	FR50-4	
MG49 1	≤0.11	1.8~2.1	0.65~0.95	—	—	—	—	0.03	0.03	—	ER49 1	
MG50-3	≤0.15	0.9~1.4	0.45~0.75	—	—	—	—	0.035	0.025	—	ER50-3	
MG49-G	≤0.16	1.4~1.9	0.55~1.1	—	—	—	—	0.03	0.03	—	ER49-G	
MG50-6	0.06~0.15	1.4~1.85	0.8~1.15	—	Cu:≤0.5	—	—	0.035	0.025	—	ER50-6	
MG50-G	≤0.15	0.85~1.6	0.4~1	—	—	—	—	0.03	0.03	—	ER50-G	
MG59-G	0.04~0.07	1.3~1.6	0.6~0.3	—	0.3~0.6	Ti:0.1~0.14	—	0.03	0.03	—	用于 500MPa 低合金高强度钢焊接	

大,当温度高于 $-11^{\circ}\text{C}$ 时,其密度比水小,在 $0^{\circ}\text{C}$ 和 $0.1\text{MPa}$ 下, $1\text{kg}$ 的 $\text{CO}_2$ 液体可蒸发为 $509\text{LCO}_2$ 气体。通常 $40\text{L}$ 容量的标准气瓶可装入 $25\text{kg}$ 的液态 $\text{CO}_2$ , $25\text{kg}$ 液态 $\text{CO}_2$ 约占钢瓶容积的 $80\%$ ,其余 $20\%$ 左右的空是充满了气的 $\text{CO}_2$ 气体,气瓶上压力表所指的压力就是这部分气体的饱和压力,此压力大小与周围环境温度高低有关,当环境温度升高时,饱和压力就高,当环境温度降低时,则饱和气压降低, $\text{CO}_2$ 饱和气体压力与环境温度的关系见表3-124。一瓶液态 $\text{CO}_2$ ( $25\text{kg}$ 重)可以气化成 $12725\text{L}$ 的 $\text{CO}_2$ 气体,若按焊接过程中气体消耗量 $20\text{L}/\text{min}$ 计算,则一瓶液态 $\text{CO}_2$ 可连续使用 $10\text{h}$ 左右。当 $\text{CO}_2$ 气体含水量较高时,可按照如下的措施减少 $\text{CO}_2$ 气体中的水分:

1) 将新灌气的气瓶倒立静置 $1\sim 2\text{h}$ ,然后开启阀门,把沉积在下部自由状态的水排出,每隔 $30\text{min}$ 左右放水一次,根据瓶中含水量的不同可放水 $2\sim 3$ 次,放水结束后仍将 $\text{CO}_2$ 气瓶转正放置。

2) 已经放过水分的 $\text{CO}_2$ 气瓶,在焊接使用前仍要放掉一部分潮湿的 $\text{CO}_2$ 气体。

表 3-124  $\text{CO}_2$  饱和气体压力与环境温度的关系

温度/ $^{\circ}\text{C}$	压力/ $\text{MPa}$	比体积/ $(\text{L}/\text{kg})$		比热容/ $(4.18\text{J}/\text{kg}\cdot\text{K})$	
		液 体	蒸 汽	液 体	气 体
-50	0.67	0.867	55.4	75.01	155.57
-40	1.0	0.897	38.2	79.59	156.17
-30	1.42	0.931	27	84.19	156.56
-20	1.96	0.971	19.5	88.93	156.72
-10	2.58	1.02	14.2	94.09	156.6
0	3.48	1.08	10.4	100	156.13
10	4.4	1.17	7.52	106.5	154.59
20	5.72	1.3	5.29	114	151.1
30	0.72	1.63	3	125.9	140.95
40	0.73	2.16	2.16	133.5	133.5

3) 在气路上设置高压干燥器和低压干燥器,进一步减少CO<sub>2</sub>气体中的水分。

1) 瓶中的气压降至980kPa时,不要继续使用,因为这时的CO<sub>2</sub>气体中所含的水分将增加到3倍左右,继续用这些气体焊接时,将会增加焊缝中的气孔。

### 3. CO<sub>2</sub>气体保护焊设备

CO<sub>2</sub>气体保护焊机有半机械化和机械化两大类。半机械化CO<sub>2</sub>气体保护焊机型号和技术数据见表3-125。半机械化CO<sub>2</sub>气体保护焊机(额定容量大于10kVA)型号及技术数据见表3-126。机械化CO<sub>2</sub>气体保护焊机型号和技术数据见表3-127。CO<sub>2</sub>气体保护焊机的常见故障及排除方法见表3-128。

表 3 125 半机械化 CO<sub>2</sub> 气体保护焊机型号和技术数据

型号	NBC-160	NBC-200	NBC-250
技术数据			
电源电压/V	380	380	380
空载电压/V	30	33	45
电压调节范围/V	16~22	17~24	17~27
额定容量/kVA	5	8	12
额定负载持续率/%	60	60	60
焊接电流调节范围/A	40~160	50~200	60~250
额定电流/A	160	200	250
送丝速度/(m/h)	120~540	90~540	120~720
焊丝直径/mm	φ0.6;0.8;1	φ0.6;0.8;1	φ0.6;0.8;1
用途	焊接1mm以下的低碳钢及低合金钢	焊接0.6~4mm厚低碳钢及低合金钢	焊接0.6~8mm厚低碳钢及低合金钢

表 3-126 半机械化 CO<sub>2</sub> 气体保护焊机  
(额定容量大于 10kVA) 型号及技术数据

型 号	NBC-300	NBC1-300	NBC-400	NBC-400A
电源电压/V	380	380	380	380
空载电压/V	16~36	17~30	—	80
工作电压/V	--	-	18~42	19~45
额定容量/kVA	11	11	32	32
额定负载持续率/%	60	70	60	60
焊接电流调节范围/A	40~300	50~300	100~400	100~500
额定电流/A	300	300	400	500
送丝速度/(m/h)	960	120~480	120~720	80~1200
焊丝直径/mm	0.8;1; 1.2;1.4	1;1.2; 1.4	0.8~2	0.8~2
焊丝盘容量/kg	2.5	—	12	—
CO <sub>2</sub> 气流量/(L/min)	20	20	—	—
弧焊电源	175	260	320	350
送丝机构 质量/kg	-	14	-	16
焊 枪	-	0.8;0.7	-	-
弧焊电源	长/mm	460	485	1020
	宽/mm	560	585	650
	高/mm	920	1020	1060
用 途	焊接 1~ 10mm 低碳 钢及低合金 钢	焊接 1~ 8mm 低碳钢 及低合金钢	焊接 2mm 以上低碳钢 及低合金钢	焊接低碳 钢及低合金 钢

(续)

型 号	NBC1-400	NBC-500	NBC1-500-1
电源电压/V	380	380	380
空载电压/V	22~66	75	75
工作电压/V	15~42	15~40	20~40
额定容量/kVA	-	-	37
额定负载持续率/%	60	60	60
焊接电流调节范围/A	80~400	50~500	100~500
额定电流/A	400	500	500
送丝速度/(m/h)	80~800	480	120~480
焊丝直径/mm	1.2~1.6	1.2~2	1.2~2
焊丝盘容量/kg	18	-	--
CO <sub>2</sub> 气流量/(L/min)	25	-	25
弧焊电源		500	490
送丝机构	质量/kg	12	14
焊 枪		0.5	-
弧焊电源	长/mm	-	830
	宽/mm	-	760
	高/mm	-	980
用 途	焊接低碳钢、 低合金钢及低合 金高强度钢	焊接低碳钢及 低合金钢	焊接低碳钢及 低合金钢

表 3 127 机械化 CO<sub>2</sub> 气体保护焊机型号及技术数据

型 号		NZC-500-1	NZC-1000	NZC-400	NZC-630
电源电压/V		380	380	380	380
空载电压/V		70~90	70~90	20~64	<80
工作电压/V		—	30~50	18~38	20.5~44
额定容量/kVA		34	100	—	51
额定负载持续率/%		60	60	60	60
焊接电流调节范围/A		—	200~1000	80~400	125~630
额定电流/A		500	1000	400	630
送丝速度/(m/h)		56~960	60~228	60~360	60~720
焊丝直径/mm		1~2	3~5	1.2~2.8	1.2~2
冷却水消耗量/(L/min)		—	—	—	1
CO <sub>2</sub> 气流量/(L/min)		10~20	—	—	30
焊接速度/(m/h)		18~120	10~180	—	24~102
焊 枪 位 移	横向/mm	±25	±30	—	—
	垂直/mm	>70	90	—	—
	前后倾斜角/(°)	>120, 10	45	—	—
	侧面倾斜角/(°)	>190	±90	—	—
焊枪绕垂直轴转角/(°)		>300	350	—	—
质量 /kg	弧焊电源	—	800	—	—
	小 车	25	50	—	—
	控制箱	110	—	—	—
外形尺寸 长 × 宽 mm × mm × 高 mm	弧焊电源	—	950 × 650 × 1300	—	—
	小 车	625 × 310 × 800	900 × 370 × 880	—	—
	机 头	—	—	—	—
	控制箱	950 × 610 × 800	—	—	—

(续)

型 号	NZC-500-I	NZC-1000	NZC-400	NZC 630
用 途	低碳钢、 低合金钢对 接缝及角缝	低碳钢、 低合金钢对 接缝及角缝	耐高温、 高压厚壁管 道及容器	厚 4 ~ 10mm 低碳 钢、低合金 钢对接、角 接、搭接
备 注	—	配用电源 ZPG7-1000 型焊机	配用电源 NBC-400焊 机	—

表 3-128 CO<sub>2</sub> 气体保护焊机的常见故障及排除方法

故障特征	产 生 原 因	排 除 方 法
焊丝送给不 均匀	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 送丝滚轮压力调整不当</li> <li>2. 送丝滚轮 V 形槽口磨损</li> <li>3. 减速箱故障</li> <li>4. 送丝电动机电源插头插的不紧</li> <li>5. 焊枪开关或控制线路接触不良</li> <li>6. 送丝软管接头处或内层弹簧管松动或堵塞</li> <li>7. 焊丝绕制不好,时松时紧或弯曲</li> <li>8. 焊枪导电部分接触不良,导电嘴孔径不合适</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 调整送丝轮压力</li> <li>2. 更换新滚轮</li> <li>3. 检修</li> <li>4. 检修、插紧</li> <li>5. 检修、拧紧</li> <li>6. 清洗、修理</li> <li>7. 更换一盘或重绕、调直焊丝</li> <li>8. 更换</li> </ol>
送丝电动机 停止运行或电 动机运转而焊 丝停止送给	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 电动机本身故障(如碳刷磨损)</li> <li>2. 电动机电源变压器损坏</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 检修或更换</li> <li>2. 更换</li> </ol>

(续)

故障特征	产生原因	排除方法
送丝电动机停止运行或电动机运转而焊丝停止送给	3. 熔丝烧断 4. 送丝轮打滑 5. 继电器的触点烧损或其线圈烧损 6. 焊丝与导电嘴熔合在一起 7. 焊枪开关接触不良或控制线路断路 8. 控制按钮损坏 9. 焊丝卷曲卡在焊丝进口管处 10. 调速电路故障 (1) 硅元件击穿 (2) 控制变压器损坏 (3) 接触不良或断线 (4) 可控硅调速线路故障 1) 电位器接触不良或烧坏 2) 三极管击穿 3) 晶闸管击穿	3. 换新熔丝 4. 调整送丝轮压紧力 5. 检修、更换 6. 更换导电嘴 7. 更换开关, 检修控制线路 8. 更换 9. 将焊丝退出剪掉一段 10. (1) 更换 (2) 更换 (3) 拧紧或接通 (4) 1) 检修、更换 2) 更换 3) 更换
气体保护不良	1. 气路阻塞或接头漏气 2. 气瓶内气体不足甚至没气 3. 电磁气阀或电磁气阀电源故障 4. 喷嘴内被飞溅物阻塞 5. 预热器断电造成减压阀冻结 6. 气体流量不足 7. 焊件上有油污 8. 工作场地空气对流过大	1. 检查气路, 紧固接头 2. 更换新瓶 3. 检修 4. 清理喷嘴 5. 检修预热器, 接通电路 6. 加大流量 7. 清理焊件表面 8. 设置挡风屏障



(续)

故障特征	产生原因	排除方法
<p>焊接过程中发生熄弧现象和焊接参数不稳</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 焊接参数选的不合适</li> <li>2. 送丝滚轮磨损</li> <li>3. 送丝不均匀,导电嘴磨损严重</li> <li>4. 焊丝弯曲太大</li> <li>5. 焊件和焊丝不清洁,接触不良</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 调整焊接参数</li> <li>2. 更换</li> <li>3. 检修调整送丝,更换导电嘴</li> <li>4. 调直焊丝</li> <li>5. 清理焊件和焊丝</li> </ol>
<p>焊丝在送丝滚轮和软管进口处发生卷曲或打结</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 送丝滚轮、软管接头和导丝接头不在一条直线上</li> <li>2. 导电嘴与焊丝粘住</li> <li>3. 导电嘴内孔太小</li> <li>4. 送丝软管内径小或堵塞</li> <li>5. 送丝滚轮压力太大,焊丝变形</li> <li>6. 送丝滚轮离软管接头进口处太远</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 调直</li> <li>2. 更换导电嘴</li> <li>3. 更换导电嘴</li> <li>4. 清洗或更换软管</li> <li>5. 调整压力</li> <li>6. 缩短两者之间距离</li> </ol>
<p>焊接电压低</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 网络电压低</li> <li>2. 三相变压器单相断电或短路</li> <li>3. 三相电源单相断路</li> </ol> <p>(1)硅元件单相击穿 (2)单相熔丝烧断</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 调大档</li> <li>2. 分开元件与变压器的连接线,用摇表测量,找出损坏的线包且更换之</li> <li>3. 用万用表测量各元件正反向电阻,找出原因</li> </ol> <p>(1)更换损坏元件 (2)更换熔丝</p>
<p>电压失调</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 二相多线开关损坏</li> <li>2. 继电器触点或线包烧损</li> <li>3. 线路接触不良或断线</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 检修或更换</li> <li>2. 检修或更换</li> <li>3. 用万用表逐级检查</li> </ol>

(续)

故障特征	产生原因	排除方法
电压失调	4. 变压器烧损或抽头接触不良 5. 移相和触发电路故障 6. 大功率晶体管击穿 7. 自饱和磁放大器故障	4. 检修 5. 检修更换新元件 6. 用万用表检查更换 7. 检修
焊接电流小	1. 电缆接头松 2. 焊枪导电嘴间隙大 3. 焊接电缆与焊件接触不良 4. 焊枪导电嘴与导电杆接触不良 5. 送丝电动机转速低	1. 拧紧 2. 更换合适导电嘴 3. 拧紧连接处 4. 拧紧螺母 5. 检查电动机及供电系统
焊接电流失调	1. 送丝电动机或其线路故障 2. 焊接回路故障 3. 晶闸管调速线路故障	用万用表逐级检查且排除

### 1. CO<sub>2</sub> 气体保护焊工艺

(1) CO<sub>2</sub> 气体保护焊的工艺要点 CO<sub>2</sub> 气体保护焊过程中, 为了获得稳定的焊接过程, 熔滴的过渡形式一般采用短路过渡或潜弧射流过渡。这两种熔滴过渡形式的焊接工艺要点见表 3-129。

(2) CO<sub>2</sub> 气体保护焊的焊接参数 为了保证 CO<sub>2</sub> 气体保护焊的焊接质量, 除注意焊前焊件的焊前清理、坡口尺寸的加工、焊接材料的选择、焊前预热及焊后热处理等工序的加工质量外, 还要合理选择 CO<sub>2</sub> 气体保护焊的焊接参数, 如焊丝直径的选用见表 3-130, 焊接速度的选择应以能满足不同种类钢材对焊接热输入的要求为前提。通常半机械化焊接时的焊接速度一般不超过 30m/h, 机械化焊接时, 焊接速度不超过 90m/h。

焊接区域的风速应限制在 1m/s 以下, 否则应采用挡风装置。

表 3-129 CO<sub>2</sub> 气体保护焊的工艺要点

熔滴过渡形式	焊接参数	工 艺 要 点												
短路过渡焊接	电弧电压及焊接电流	<p>对于一定的焊丝直径及焊接电流,必须与合适的电弧电压匹配才能获得稳定的短路焊接过程,其匹配如下:</p> <table border="1"> <tr> <td>焊丝直径/mm</td> <td>0.8</td> <td>1.2</td> <td>1.6</td> </tr> <tr> <td>电弧电压/V</td> <td>18</td> <td>19</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>焊接电流/A</td> <td>100~110</td> <td>120~135</td> <td>140~180</td> </tr> </table>	焊丝直径/mm	0.8	1.2	1.6	电弧电压/V	18	19	20	焊接电流/A	100~110	120~135	140~180
	焊丝直径/mm	0.8	1.2	1.6										
	电弧电压/V	18	19	20										
	焊接电流/A	100~110	120~135	140~180										
	焊接回路电感	<p>焊接回路电感值的主要作用是:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 调节短路电流增长速度 <math>di/dt</math>, <math>di/dt</math> 过大,将产生大量小颗粒飞溅,电感值越大, <math>di/dt</math> 越小,反之则越大</li> <li>2. 调节电弧燃烧时间,控制母材熔深。若增大电感,过渡频率将降低,电弧燃烧时间加长,则熔深增大</li> </ol>												
焊接速度	焊接速度过快,会引起焊缝两侧咬边;焊接速度过慢,容易产生焊缝组织粗大及烧穿													
焊丝伸出长度	<p>焊丝伸出长度与焊丝直径、焊接电流以及电弧电压有关。在焊接过程中,导电嘴到母材间的距离一般为焊丝直径的 10~15 倍,约 10~20mm</p> <p>焊接过程中,焊丝伸出长度增加,焊接电流下降,母材熔深减小。反之则熔深加大</p>													
气体流量选择	<p>焊接过程中 CO<sub>2</sub> 气体流量与焊丝直径、焊接电流、焊接速度、焊接周围环境以及焊接位置有关。焊接电流越大,焊接速度越快,故在室外焊接以及仰焊时,都应采用较大的气体流量。焊丝直径与气体流量的配用表如下:</p> <table border="1"> <tr> <td>焊丝直径/mm</td> <td>≤1.2</td> <td>&gt;1.2</td> </tr> <tr> <td>气体流量/(L/min)</td> <td>6~15</td> <td>15~25</td> </tr> </table>	焊丝直径/mm	≤1.2	>1.2	气体流量/(L/min)	6~15	15~25							
焊丝直径/mm	≤1.2	>1.2												
气体流量/(L/min)	6~15	15~25												

(续)

熔滴过渡形式	焊接参数	工艺要点
短路过渡焊接	电源极性选择	<p>CO<sub>2</sub> 气体保护焊时,采用直流反接,因为反接时飞溅小,电弧稳定,母材熔深大,焊缝成形好,焊缝金属含氢量低</p> <p>CO<sub>2</sub> 气体保护焊用于堆焊时采用直流正接法,这时焊丝的熔化系数约为反极性的 1.6 倍,金属熔敷率高,熔深浅</p>
潜弧射流过渡焊接	大电流并配以较高电弧电压	电弧穿透力强,母材熔深大,适合中等厚度及大厚度焊件的焊接。电源极性为直流反接。熔滴过渡是非轴向的,伴有大量的金属飞溅

表 3-130 CO<sub>2</sub> 气体保护焊焊丝直径的选用 (mm)

母材厚度	<4	>4
焊丝直径	0.5~1.2	1~1.6

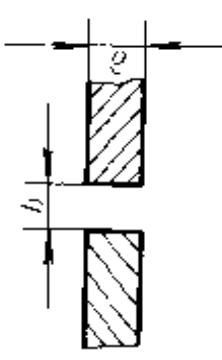
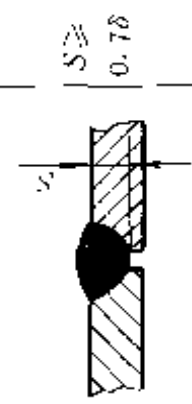
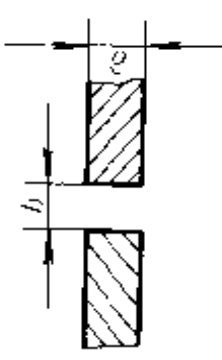

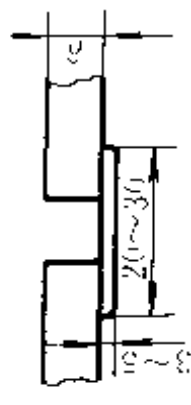
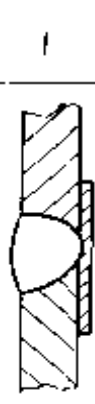
表 3-131 CO<sub>2</sub> 气体保护焊定位焊缝长度和间距 (mm)

板厚	定位焊缝长度	定位焊缝间距
<2	8~12	50~70
2~5	12~20	70~200
>6	20~50	200~500

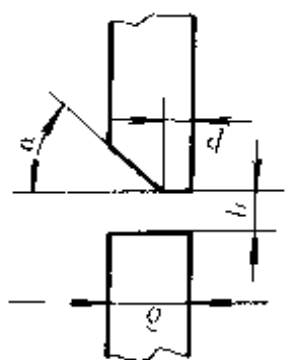
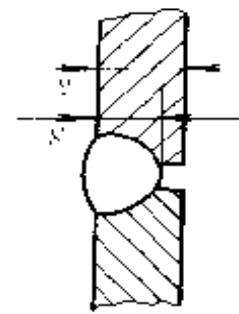
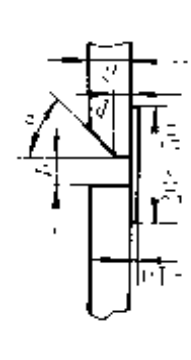

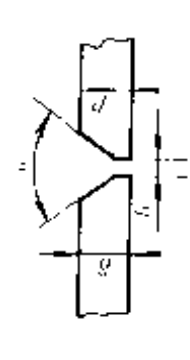

定位焊缝应有足够的强度,一般定位焊缝的长度和间距见表 3-131,如发现定位焊缝有夹渣、气孔和裂纹等缺陷,应将缺陷清除后再补焊。

CO<sub>2</sub> 气体保护焊推荐使用的坡口形式及尺寸见表 3-132;CO<sub>2</sub> 气体保护焊对接平焊的焊接参数见表 3-133;CO<sub>2</sub> 气体保护焊角焊缝的焊接参数见表 3-134;CO<sub>2</sub> 气体保护机械化焊推荐焊接参数见表 3-135。

表 3 132 CO<sub>2</sub> 气体保护焊推荐使用的坡口形式及尺寸 (JB/Z280--87)

序号	适用板厚 mm	接头形式	坡口形式	坡 口 尺 寸								焊缝 尺寸 mm		
				$\delta$ mm	$b$ mm	$t$ mm	$d$ mm	$l$ mm	$p$ mm	$R$ mm	$\alpha$ (°)		$\beta$ (°)	
1	1~9	x)		1~2	0 ~0.5									
				2 ~4.5	0~2									
				1.5 ~9	1~2									
2	3 ~12	接头		1.5 ~9	0 ~1.5									
				4.5 ~9	0 ~1.5									
				9~12	0~2									
3	1~9	接头		1~2	0~1									
				2 ~4.5	0 ~2.5									
				4.5 ~9	1~3									

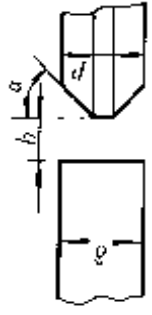
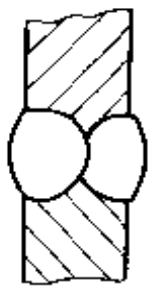


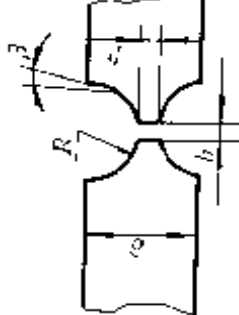

(续)

序号	适用板厚 $\delta$ / mm	接头形式	坡口形式	坡口尺寸								焊缝形式	焊缝尺寸 / mm		
				$\delta$ / mm	$b$ / mm	$c$ / mm	$d$ / mm	$l$ / mm	$p$ / mm	$R$ / mm	$\alpha$ / (°)			$\beta$ / (°)	
4	5 ~ 40	对接		5 ~ 10	0 ~ 2			0 ~ 3		40 ~ 15			$S < 0.7\delta$		
				10 ~ 20	0 ~ 2					0 ~ 5		40 ~ 60			
				20 ~ 10	0 ~ 2							50 ~ 60			
5	5 ~ 40	对接		5 ~ 10	2 ~ 4			0 ~ 2		30 ~ 40			—		
				10 ~ 20	1 ~ 6					0 ~ 3		30 ~ 50			
				20 ~ 40	6 ~ 7							45 ~ 50			
6	5 ~ 50	对接		5 ~ 10	0 ~ 2			0 ~ 3		15 ~ 60			$S > 0.7\delta$		
				10 ~ 20	0 ~ 2					0 ~ 5		50 ~ 60			
				20 ~ 50	—										

(续)

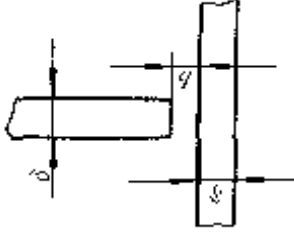
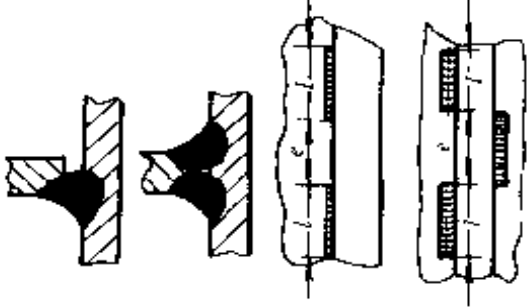
序号	适用板厚 mm	接头形式	坡口形式	坡口尺寸										焊缝形式	焊缝尺寸 mm			
				$\delta$ mm	$b$ mm	$c$ mm	$d$ mm	$l$ mm	$p$ mm	$R$ mm	$\alpha$ (°)	$\beta$ (°)						
7	5 ~ 50	对接接头		5~10	2~4						0~2		35 ~ 45			-		
				10 ~ 20	4~5								0~3				35 ~ 50	
				20 ~ 50	3~6												50 ~ 60	
8	30 ~ 60	对接接头		30	0~2											-		
				~60														60 ~ 70
9	≥20			20	0~2											-		
				~60													10 ~ 12	

(续)

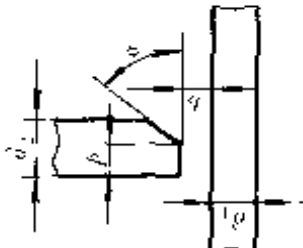
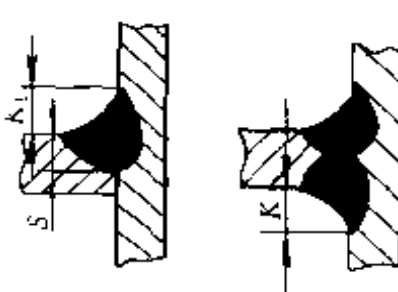
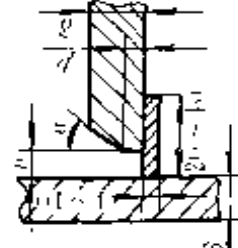
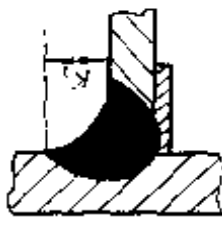
序号	适用板厚 mm	接头形式	坡口形式	坡口尺寸								焊缝形式	焊缝尺寸 mm		
				$\delta$ mm	$b$ mm	$c$ mm	$d$ mm	$l$ mm	$p$ mm	$R$ mm	$\alpha$ (°)			$\beta$ (°)	
10	10 ~80	对接接头		10 ~20	>0 ~3				0~5		40 ~45			-	
				20 ~40					0~7		40 ~60				
				40 ~80					0~5		50 ~60				
11	10 ~100	对接接头		10 ~20	0~2				0~5		45 ~50			-	
				20 ~40					0~7		45 ~60				
				40 ~80							50 ~60				
12	≥40	对接接头		40 ~100	0~2				2~7 ~12	8 ~12		10 ~12			-



(续)

序号	适用板厚 mm	接头形式	坡口形式	坡口尺寸								焊缝形式	焊缝尺寸 mm		
				$\delta$ mm	$b$ mm	$c$ mm	$d$ mm	$l$ mm	$p$ mm	$R$ mm	$u$ (°)			$\beta$ (°)	
13	1 ~60	T形接头		1~2	0 ~0.5										K、 L、 e、由 设计 决定
				2 ~4.5	0~1										
				>4.5	0~1										

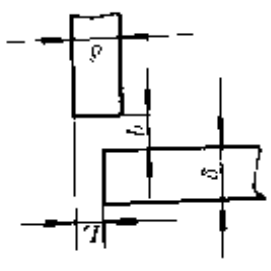
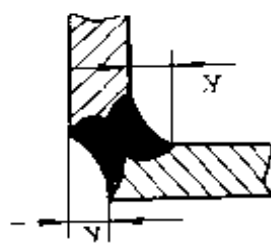
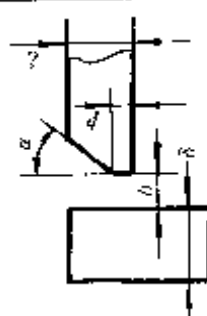
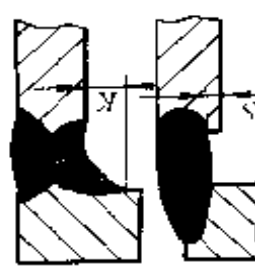
(续)

序号	适用板厚 mm	接头形式	坡口形式	坡口尺寸								焊缝形式	焊缝尺寸 mm
				$\delta$ mm	$b$ mm	$c$ mm	$d$ mm	$l$ mm	$p$ mm	$R$ mm	$\alpha$ (°)		
14	5 ~40	T形接头		5 ~10		$\delta$		0~3		40 ~45			$S \cong 0.7\delta$ $1/4\delta$ $< K_1$ $< 10$
				10 ~20	5 ~12	3				45 ~60			
				20 ~40	$>12$ ~25	4			0~5		50 ~60		
15	5 ~40	T形接头		5 ~10	2~4	—			0~2	30 ~40			$1/4\delta$ $< K_1$ $\cong 10$
				10 ~20	4~6					30 ~50			
				20 ~60	6~7				0~3		45 ~50		

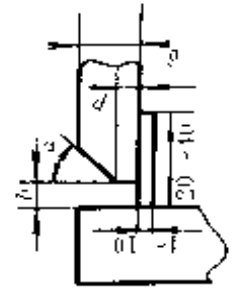
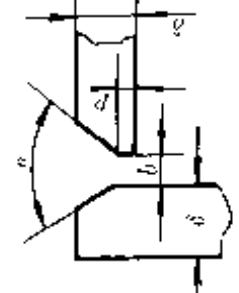
(续)

序 号	接 头 形 式	坡 口 形 式	坡 口 尺 寸								焊 缝 形 式	焊 缝 尺 寸 mm
			$\delta$ mm	$b$ mm	$c$ mm	$d$ mm	$l$ mm	$p$ mm	$R$ mm	$\alpha$ (°)		
16	T 形 接 头		10 ~20	0~2				0~5	45 ~50			1.4 $\delta$ $\leq K_1$ $\leq 10$
			20 ~40	0~3				0~7	45 ~60			0.7 $\delta$
			40 ~80	0~3						50 ~60		
17	角 接 接 头		1~2	0 ~0.5								
			2 ~4.5	0 ~1.5								
			4.5 ~9	0~2								
18	接 头		3 ~4.5	0~1								
			4.5 ~9	0 ~1.5								
			9 ~12	0~2								

(续)

序号	适用板厚 mm	接头形式	坡口形式	坡口尺寸								焊缝形式	焊缝尺寸 mm	
				$\delta$ mm	$b$ mm	$c$ mm	$d$ mm	$l$ mm	$p$ mm	$R$ mm	$\alpha$ (°)			$\beta$ (°)
19	5 ~ 30	角接		由设计定									$\delta$ $K_{\text{min}}$	
													5 ~ 12	3
													>12 ~ 25	4
													>25 ~ 30	6
20	5 ~ 40	接头		—									$\delta$ $K_{\text{min}}$	
													5 ~ 10	3
													10 ~ 20	4
													20 ~ 40	6
													$S > 0.7\delta$	

(续)

序号	适用板厚 mm	接头形式	坡口形式	坡口尺寸										焊缝尺寸 mm					
				$\delta$ mm	$b$ mm	$c$ mm	$d$ mm	$l$ mm	$p$ mm	$R$ mm	$\alpha$ (°)	$\beta$ (°)	$K_{min}$						
21	5 ~40	角接		5 ~10	2~4			0~2	30 ~10										
				10 ~20	4~6			0~3	30 ~50										
				20 ~40	6~7			0~3	15 ~50										
22	5 ~50	接头		5 ~10	0~2			0~3											
				10 ~20	0~2			0~5	45 ~50										
				20 ~50				0~5	35 ~60										

(续)

序号	适用板厚 mm	接头形式	坡口形式	坡口尺寸								焊接形式	焊缝尺寸 mm		
				$\delta$ mm	$b$ mm	$c$ mm	$d$ mm	$l$ mm	$p$ mm	$R$ mm	$\alpha$ (°)			$\beta$ (°)	
23	5 ~50	角接接头		5 ~10	2~4				0~2		35 ~15				
				10 ~20	4~5				0~3		35 ~50				
				20 ~50	5~6						50 ~50				
24	10 ~80	角接接头		10 ~20	0~2				0~5		40 ~45			$1 \sim 4\phi$ $\sim \Delta$ $\sim 10$	
				20 ~40	0~3						40 ~60				
				40 ~80	0~3				0~7		50 ~60				
25	1 ~30	搭接接头		1 ~2	0									$\delta_1$ $b_1$ $K >$ $\delta + b$	
				2 ~4.5	0~1										
				4.5 ~30	0~2										

(续)

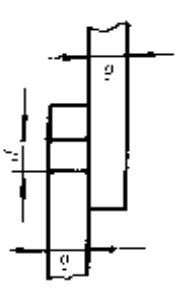

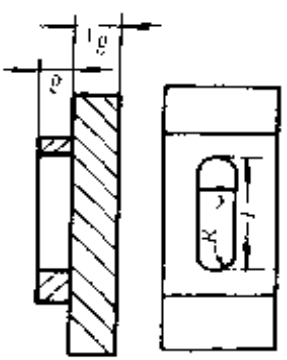






序号	适用板厚 mm	接头形式	坡口形式	坡口尺寸								焊缝形式	焊缝尺寸 mm	
				$\delta$ mm	$b$ mm	$c$ mm	$d$ mm	$l$ mm	$p$ mm	$R$ mm	$\alpha$ (°)			$\beta$ (°)
26	$\geq 3$	塞焊接头	 $\delta_1 \geq \delta$	$3 \sim 12$	—	$\geq 2\delta$	—	—	—	—	—	—		—
				$> 12$	—	设计定	—	—	—	—	—	—		
27	$\geq 3$	塞焊接头	 $\delta_1 \geq \delta$	$3 \sim 12$	—	$\geq 2\delta$	—	—	—	—	—		—	
				$> 12$	—	设计定	$\leq 10\delta$	—	$\frac{1-C}{2}$	—	—			—

表 3-133 CO<sub>2</sub> 气体保护焊对接平焊的焊接参数


板厚 /mm	焊丝直径 /mm	接头形式简图	根部间隙 /mm	焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊接速度 /(m/h)	焊丝伸出长度 /mm	气体流量 /(L/h)	备注
1	0.8		0~0.5	60~65	20~21	30	8~10	400	垫板厚度 $\delta=1.5\text{mm}$
			0~0.3	35~40	18~18.5	25	6~8		单面焊 双面成形
1.5	1		0.5~0.8	110~120	22~23	27	10~12	500	单面垫板 厚 $\delta=2\text{mm}$
			0~0.5	60~70 65~70	20~21 19.5~20.5	30	8~10		单面焊 双面成形
	0.8		0~0.3	45~50	18.5~19.5	31	8~10	400	—
				55~60	19~20				



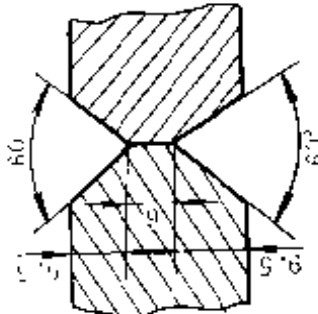
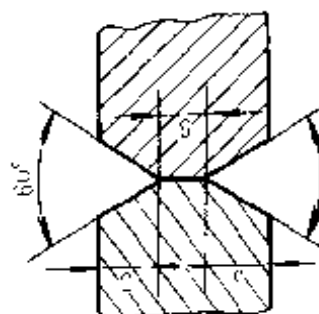
(续)

板厚 /mm	焊丝直径 /mm	接头形式简图	根部间隙 /mm	焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊接速度 / (m/h)	焊丝伸出长度 /mm	气体流量 / (L/h)	备注
2	1.2		0.5~1	120~140	21~23	30			—
			0~0.8	130~150	22~24	27	12~14	500	垫板厚 δ=2mm
	1		0~0.5	85~95	21~22	30			单面焊双面成形、反面放钢垫板
			0~0.5	85~95	20~21	27	10~12		
	0.8		0~0.5	75~85	20~21	25	8~10	400	
			0~0.5	50~60	19~20	30	10~12	500	
	0.8		0~0.5	60~70	19~20	30	8~10	400	
			0~0.5	55~60	19~20	30	8~10	400	
	0.8	0.8		65~70	19~20	30	8~10	400	

(续)

板厚 /mm	焊丝 直径 /mm	接头形式简图	根部间隙 /mm	焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊接速度 /(m.h)	焊丝伸 出长度 /mm	气体 流量 /(L.h)	备 注	
3	1.2		0~0.8	95~105	21~22	30	12~14			
	110~130									
	1			0~0.8	95~105	22~24	25	10~12	300	
	160~110									
4	1.2			0~0.8	110~130	22~24	30	12~14		
6			140~150							
9	1.6			0~1	180	19	15	15	900	
			210		20					
12	1.6			0~1.5	340	33.5	27		1200	
			360		31					
12	1.6		0~1.5	360	36	30	20	1200		
		490		39						

(续)

板厚 /mm	焊丝 直径 /mm	接头形式简图	根部间隙 /mm	焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊接速度 (m/h)	焊丝伸 出长度 /mm	气体 流量 (L/h)	备 注
12	1.2			310	32	30	15	1200	
				330	33				
16	1.6			410	31.5	27	20	1200	
				430	36				

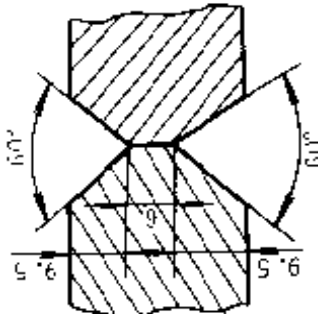
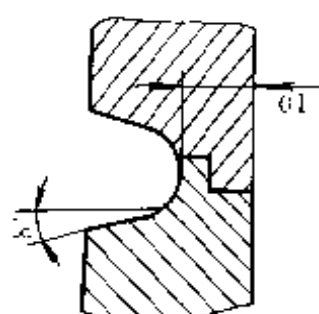
(续)									
板厚 /mm	焊丝 直径 /mm	接头形式简图	根部间隙 /mm	焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊接速度 /(m/h)	焊丝伸 出长度 /mm	气体 流量 /(L/h)	注
25	1.6			480	38	18	20	1500	
				500	39				
80	2			400~500	40	20	—	1100	

表 3-134 CO<sub>2</sub> 气 体 保 护 焊 角 焊 缝 的 焊 接 参 数

板 厚 /mm	焊 脚 尺 寸 /mm	焊 丝 直 径 /mm	焊 接 电 流 /A	电 弧 电 压 /V	焊 丝 干 伸 长 /mm	焊 接 速 度 /(m/h)	气 体 流 量 /(L/min)	焊 接 位 置
0.8~1	1.2~1.5	φ0.7~φ0.8	70~110	17~19.5	8~10	30~50	6	平、立、仰焊
1.2~2	1.5~2	φ0.8~φ1.2	110~140	18.5~20.5	8~12	30~50	6~7	
>2~3	2~3	φ1~φ1.4	150~210	19.5~23	8~15	25~45	6~8	平、立焊
4~6	2.5~4		170~350	21~32	10~15	23~45	7~10	
≥5	5~6	φ1.6	260~280	27~29	18~20	20~26	16~18	平焊
	9~11(二层)	φ2	300~350	30~32	20~24	25~28	17~19	
	13~14(四~五层)					24~26	18~20	
	27~30(十二层)							

注：采用直流反接、I形坡口、H08Mn2Si焊丝。

表 3-135 机 械 化 CO<sub>2</sub> 气 体 保 护 焊 推 荐 焊 接 参 数

接 头 形 式	母 材 厚 度 /mm	坡 口 形 式	焊 接 位 置	垫 板	焊 丝 直 径 /mm	焊 接 电 流 /A	电 弧 电 压 /V	气 体 流 量 /(L/min)	机 械 化 焊 接 速 度 /(m/h)	电 源 极 性
对 接 接 头	1~2	I 形	平 焊	无	0.5~1.2	35~120	17~21	6~12	18~35	直 流 反 接
				有		40~150	18~23			
			立 焊	无	0.5~0.8	35~100	16~19	8~15	—	

(续)

接头形式	母材厚度/mm	坡口形式	焊接位置	垫板	焊丝直径/mm	焊接电流/A	电弧电压/V	气体流量(L/min)	机械化焊接速度/(m/h)	电源极性
对接接头	2~4.5	I形	平焊	无	0.8~1.2	100~230	20~26		20~30	直流反接
			立焊	有	0.8~1.6	120~260	21~27	10~15		
	5~9	I形	平焊	无	0.8~1	70~120	17~20			
			立焊	有	1.2~1.6	200~400	23~40	15~20	20~42	
	10~12	I形	平焊	无	1.6	250~420	26~41	15~25	18~35	
			立焊	有	1.2~1.6	350~450	32~43	20~25		
	5~10	单边V形	立焊	有	1.2~1.6	200~450	23~43	15~25	20~42	
			横焊	无	0.8~1.2	250~450	26~43	20~25	18~35	
	5~50	V形	平焊	有	1.2~1.6	100~150	17~21	10~15		
			立焊	无	1.2~1.6	200~400	23~40	15~25	20~47	
	18~80	双单边V形	平焊	有	0.8~1.2	200~450	23~43	15~25	20~42	
			立焊	无	1.2~1.6	100~150	17~21	10~15		
			横焊	有	1.2~1.6	200~400	23~40	18~35		

(续)

接头形式	母材厚度 mm	坡口形式	焊接位置	垫板	焊丝直径 mm	焊接电流 A	电弧电压 V	气体流量 (L/min)	机械化焊接速度 (m/h)	电源极性
对接接头	10~100	双V形	平焊	无	1.2~1.6	200~450	23~43	15~25	20~42	直流反接
	20~50	U形	立焊		1~1.2	100~150	19~21	16~15	—	
			平焊		1.2~1.6	200~450	23~43	20~25	20~42	
T形接头	1~2	I形	平焊		0.5~1.2	40~120	18~21	—	18~30	
			立焊		0.5~0.8	35~100	16~19	6~12	—	
			横焊		0.5~1.2	40~120	18~21	—	—	
	2~4.5	I形	平焊		0.8~1.6	100~230	20~26	—	20~30	
			立焊		0.8~1	70~120	17~20	10~15	—	
			横焊		0.8~1.6	100~230	20~26	—	—	
	5~60	I形	平焊		1.2~1.6	200~450	23~13	15~25	20~12	
			立焊		0.8~1.2	100~150	17~21	10~15	—	
			横焊		—	—	—	—	—	
	5~40	单边V形	平焊	有	1.2~1.6	200~450	23~13	15~25	20~42	
					—	250~450	26~43	20~25	18~35	

(续)

接头形式	母材厚度/mm	坡口形式	焊接位置	垫板	焊丝直径/mm	焊接电流/A	电弧电压/V	气体流量/(L/min)	机械化焊接速度/(m/h)	电源极性	
T形接头	5~40	单边V形	立焊	无	0.8~1.2	100~150	17~21	10~15	—	直流反接	
			横焊		1.2~1.6	200~400	23~40	15~25			
	5~80	双单边V形	平焊		1.2~1.6	200~450	23~43	15~25			20~42
			立焊		0.8~1.2	100~150	17~21	10~15			
			横焊		1.2~1.6	200~400	23~40	15~20			
			平焊		0.5~1.2	40~120	18~21	20~35			
角接接头	1~2		立焊	0.5~0.8	35~80	16~18	6~12	—			
			横焊	0.5~1.2	40~120	18~21					
	2~4.5	I形	平焊	0.8~1.6	100~230	20~26	20~30				
			立焊	0.8~1	70~120	17~20	10~15				
	5~30		横焊	0.8~1.6	100~230	20~26	—				
			平焊	1.2~1.6	200~450	23~43	20~25				
			立焊	0.8~1.2	100~150	17~21	10~15				
			横焊	1.2~1.6	200~400	23~40	15~25				



(续)

接头形式	母材厚度/mm	坡口形式	焊接位置	垫板	焊丝直径/mm	焊接电流/A	电弧电压/V	气体流量/(L/min)	机械化焊接速度/(m/h)	电源极性	
角 接 接 头	5~40	单边 V 形	平焊	无	1.2~1.6	200~450	23~43	15~25	20~42	直 流 反 接	
			立焊	有	0.8~1.2	250~450	26~43	20~25	18~35		
	5~50	V 形	横焊	无	1.2~1.6	100~150	17~21	10~15	—		
			平焊	无	1.2~1.6	200~400	23~40	15~25	—		
	10~80	双单边 V 形	立焊	无	0.8~1.2	200~450	23~43	15~25	20~42		
			平焊	有	1.2~1.6	250~450	26~43	20~25	18~35		
			横焊	无	0.8~1.2	100~150	17~21	10~15	—		
	搭 接 接 头	1~1.5	—	横焊	—	0.5~1.2	40~230	17~26	8~15		—
		5~30	—	横焊	—	1.2~1.6	200~400	23~40	15~25		—

(3)  $\text{CO}_2$  气体保护堆焊 堆焊是一种异质材料的熔化焊,采用堆焊时,需要考虑的冶金问题是稀释率。稀释率的大小直接影响着堆焊层的化学成分和金相组织以及堆焊层的力学性能。堆焊方法很多,常用的堆焊方法特点比较见表 3-136。

表 3-136 常用的堆焊方法特点比较

堆焊方法	应用形式	稀释率 /%	单层堆焊最小 厚度/mm	熔敷速度 /(kg/h)
氧乙炔焰气焊	手工送丝	1~10	0.8	0.5~1.8
焊条电弧焊	手工	15~25	3.2	0.45~2.7
熔化极气体保护焊	半机械化或机械化	15~25	3.2	2.3~11.3
钨极氩弧焊	手工或机械化	10~20	2.4	0.45~3.6
埋弧焊 (机械化)	单丝	30~60	3.2	4.5~11.3
	多丝	15~25	4.8	11.3~27.2
等离子弧焊	手工送丝	5~15	2.4	0.5~3.6
	双热丝机械化	5	2.4	13~27
电渣焊	丝极	10~14	15	15~75

$\text{CO}_2$  气体保护电弧堆焊成本较低,但堆焊层的焊接质量较差,只适合堆焊性能要求不高的焊件。在 25 钢上用  $\text{CO}_2$  气体保护焊机械化堆焊的焊接参数见表 3-137。

(4) 推荐使用  $\text{CO}_2$  气体保护焊的母材

1) 普通碳素钢 Q195、Q215A、Q215B、Q235A、Q235B、Q235C、Q235D、Q255A、Q255B。

2) 优质碳素结构钢 08F、08、10F、10、15F、15、20F、20、25、15Mn、20Mn、25Mn。

3) 低合金结构钢 Q295(09MnV、09MnNb、09Mn2、12Mn)<sup>①</sup>、Q345(18Nb、12MnV、14MnNb、16Mn)、Q390(15MnV、15MnTi、16MnNb)。

① 括号内为 GB1591-88 旧标准的低合金结构钢牌号,括号外为新标准 GB/T1591-94 新标准牌号。

表 3-137 机械化 CO<sub>2</sub> 气体保护焊堆焊的焊接参数

母材 材质	焊丝 牌号	母材 厚度 /mm	焊丝 直径 /mm	焊接 电流 /A	电弧 电压 /V	焊丝 伸出 长度 /mm	送丝 速度 /(m/h)	堆焊 速度 /(m.h)	堆焊 节距 /mm	气体 流量 /(L/h)	堆焊 厚度 /mm
25 钢	MG59 G	10	0.8	75	17	8	175	20~25	1.5 ~1.6	360 ~420	0.8
		15		80			190				0.8
		20		85	200		~1				
		25		90	235		~1				
		30	1	95	18	200	1.7 ~1.8	1.2			
		35				10	160		1.8		
		40	1.2	105	19 ~20		190	25~30		1.2	
						200					
						185					

焊接碳素钢、热轧正火钢配用焊丝见表 3-138。

### 5. 异种金属材料的 CO<sub>2</sub> 焊

用 CO<sub>2</sub> 气体保护焊工艺焊接的异种金属材料，目前还只是碳钢、部分低合金结构钢以及部分碳钢与部分低合金结构钢之间的焊接。就目前的焊接技术、焊接工艺配合适用的焊丝，焊缝的焊接质量还是能够保证的。常用的部分异种钢焊接配用焊丝及预热和焊后热处理温度见表 3-139。

### 6. CO<sub>2</sub> 气体保护焊焊接质量分级

CO<sub>2</sub> 气体保护焊焊缝质量的影响因素很多，如 CO<sub>2</sub> 气体的纯度；焊件、焊丝焊前的清理质量；装配应力大小；焊丝伸出长度的影响；焊丝送丝不均匀；焊枪摆幅过大，破坏了 CO<sub>2</sub> 气体的保护；焊工操作水平低等。CO<sub>2</sub> 气体保护焊常见焊缝缺陷产生原因及防止方法见表 3-140。焊缝表面缺陷可以采用外观检查、渗透探伤和磁粉探伤等方法进

行检查，焊缝表面的质量分级见表 3-141。

表 3-138 焊接碳素钢、热轧正火钢配用焊丝

类别	钢种牌号	CO <sub>2</sub> 气体保护焊 焊丝牌号	相应焊接用 钢丝牌号
碳素钢	Q195、Q215A、Q215B、Q235A、 Q235B、Q235C、Q235D	MG49-1 MG50-3	
	船体结构钢：A、B、D、E 级 Q255A、Q255B、Q275 08、10、15、20、25、 30、35、ZG230-450 ZG270-500	MG49-G MG50-6 MG50-3	
热轧正火钢	Q295	MG49-1 MG50-3	
	Q345	MG49-1 MG49-G MG49-Ni	
	Q390	MG49-G MG50-3 MG50-6	
	Q420	MG59-G	
	18MnMoNb、14MnMoV	MG50-4	

表 3-139 常用的部分异种钢焊接配用焊丝  
及预热和焊后热处理温度

母材材质	焊丝	焊前预热温度/℃	焊后热处理温度/℃
15CrMo+20CrMo	MG49-1	150~300	厚壁容器及管道 700~750 高温回火 也可以 840~910 退火处理
15CrMo+12CrMoV 20CrMo+12CrMoV	MG49-1 MG50-G	150~300	

(续)

母材材质	焊 丝	焊前预热温度 / C	焊后热处理温度 / C
Q390+15CrMo	MG50-G	$\delta > 32\text{mm}$ , 0 C 以下	510~650 回火
	MG49-1	焊接, 100~150	
12CrMoV—12Cr1MoV	MG49-1	150~300	700~750 高温回火, 或 840~910 退火
	MG50-G		
Q295—Q345	MG49-1	$\delta \leq 40$ 不预热	600~650 回火
	MG49-Ni	$\delta > 40$	
	MG49-G	预热温度 $\geq 100$	
Q345+Q390	MG49-G	$\delta \leq 32$ 不预热	560~590 或 630~650 回火
	MG50-3	$\delta > 32$ 预热温度 $\geq 100$	
Q295+Q390	MG50-3	$\delta \leq 32$ 不预热	560~590 或 630~650 回火
	MG50-4	$\delta > 32$	
	MG50-6	预热温度 $\geq 100$	
12CrMo 15CrMo 低碳钢+30CrMoA 低合金结构钢 中碳钢	MG50-G MG49-1	不预热或 180~200	不回火或 630~650
铬钼钢 12Cr1MoV 20Cr3MoWVA	MG50-4	150~350	670~690
	MG50-6		
	MG59-G		

表 3-140 CO<sub>2</sub> 气体保护焊常见焊缝缺陷产生原因及防止方法

缺陷	产生原因	防止方法
气孔	1. 焊丝表面有油、锈和水	1. 焊前认真进行焊件和焊丝的清理 2. 加大 CO <sub>2</sub> 气体流量, 清理喷嘴堵塞物, 焊接处注意挡风 3. 焊接用 CO <sub>2</sub> 气体纯度 $\alpha_{\text{O}_2} > 99.5\%$
	2. CO <sub>2</sub> 气体保护效果差	
	3. 气体纯度不高	

(续)

缺陷	产生原因	防止方法
气孔	<ol style="list-style-type: none"> <li>焊丝内硅、锰含量不足</li> <li>焊枪摆动幅度过大,破坏了CO<sub>2</sub>气体的保护作用</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>选用合格焊丝焊接</li> <li>培训焊工操作技术;尽量采用平焊,焊工周围空间不要太小</li> </ol>
夹渣	<ol style="list-style-type: none"> <li>前层焊缝焊渣去除不干净</li> <li>小电流低速焊时熔敷过多</li> <li>采用左焊法焊接时,熔渣流到熔池前面</li> <li>焊枪摆动过大,使熔渣卷入熔池内部</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>认真清理每一层焊渣</li> <li>调整焊接电流与焊接速度</li> <li>改进操作方法使焊缝稍有上升坡度,使熔渣流向后方</li> <li>调整焊枪摆动量,使熔渣浮到熔池表面</li> </ol>
烧穿	<ol style="list-style-type: none"> <li>对于给定的坡口,焊接电流过大</li> <li>坡口根部间隙过大</li> <li>钝边过小</li> <li>焊接速度小,焊接电流大</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>按工艺规程调整焊接电流</li> <li>合理选择坡口根部间隙</li> <li>按钝边、根部间隙情况选择焊接电流</li> <li>合理选择焊接参数</li> </ol>
裂纹	<ol style="list-style-type: none"> <li>焊丝与焊件均有油、锈及水分</li> <li>熔深过大</li> <li>多层焊时第一层焊缝过小</li> <li>焊后焊件内有很大内应力</li> <li>CO<sub>2</sub>气体含水量过大</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>焊前仔细清除焊丝及焊件表面的油、锈及水分</li> <li>合理选择焊接电流与电弧电压</li> <li>加强打底层焊缝质量</li> <li>合理选择焊接顺序及消除内应力热处理</li> <li>焊前对储气钢瓶应进行除水,焊接过程中对CO<sub>2</sub>气体应进行干燥</li> </ol>

(续)

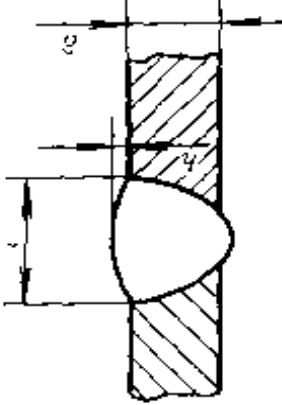
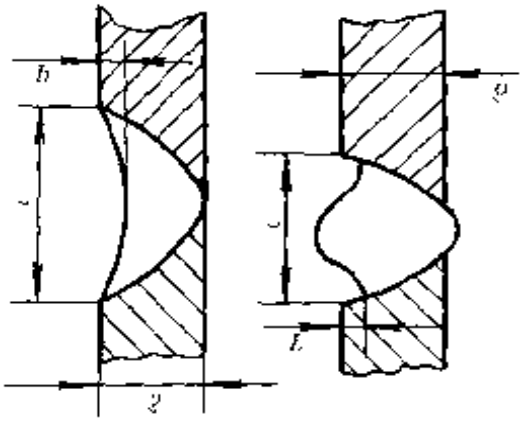
缺陷	产生原因	防止方法
熔深不够	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 焊接电流太小</li> <li>2. 焊丝伸出长度太长</li> <li>3. 焊接速度过快</li> <li>4. 坡口角度及根部间隙过小,钝边过大</li> <li>5. 送丝不均匀</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 加大焊接电流</li> <li>2. 调整焊丝的伸出长度</li> <li>3. 调整焊接速度</li> <li>4. 调整坡口尺寸</li> <li>5. 检查送丝机构</li> </ol>
飞溅大	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 短路过渡焊时,电感量过大或过小</li> <li>2. 电弧在焊接中摆动</li> <li>3. 焊丝和焊件清理不彻底</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 调整电感量</li> <li>2. 更换导电嘴</li> <li>3. 加强焊丝和焊件的焊前清理</li> </ol>
焊缝形状不规则	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 焊丝未经校直或校直不好</li> <li>2. 导电嘴磨损而引起电弧摆动</li> <li>3. 焊丝伸出长度过长</li> <li>4. 焊接速度过低</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 检修焊丝校正机构</li> <li>2. 更换导电嘴</li> <li>3. 调整焊丝伸出长度</li> <li>4. 调整焊接速度</li> </ol>

### 六、药芯焊丝 CO<sub>2</sub> 气体保护焊

实心焊丝 CO<sub>2</sub> 气体保护焊虽有很多优点,但在解决焊接飞溅大、焊缝成形、焊缝金属塑性不足等方面还不太理想。药芯焊丝 CO<sub>2</sub> 气体保护焊工艺便可以消除这些缺点。

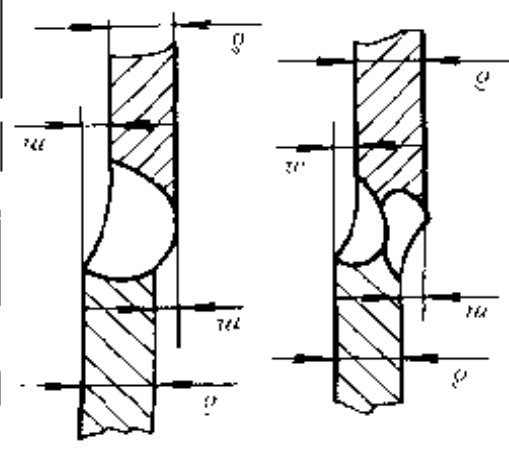
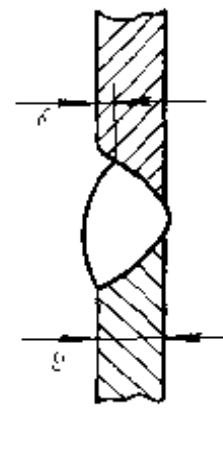
药芯焊丝是由薄钢带卷成圆形钢管或异形钢管的同时,填入一定成分的药粉料,经拉制而成的一种焊丝。药芯焊丝根据制造方法的不同可分为无缝药芯焊丝和有缝药芯焊丝,也就是通常所称的管状药芯焊丝和折叠焊丝两种。根据焊丝截面不同,又可以分为 O 形、T 形、E 形、中间填丝形和梅花形等,如图 3-3 所示。

表 3-141 CO<sub>2</sub> 气体保护焊表面质量分级 (JB/Z 286 - 87)

序号	评定项目	评 定 等 级			
		I	II	III	IV
单面或双面对接缝外表状态					
1		$a \leq 1 + 0.05c$	$a \leq 1 + 0.1c$	$a \leq 1 + 0.15c$	$a \leq 1 + 0.25c$
2		不允许	$q \leq 0.2 + 0.02\delta$ 最大不超过 0.5mm, 总长度不 超过焊缝全长 10%	$q \leq 0.2 + 0.04\delta$ 最大不超过 1mm, 总长度不超 过焊缝全长的 20%	$q \leq 0.4 + 0.06\delta$ 最大不超过 1.5mm



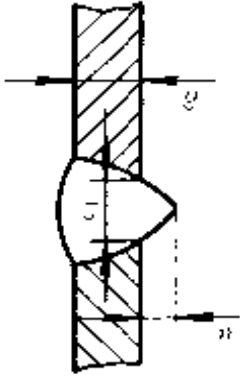
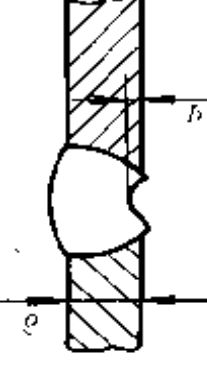
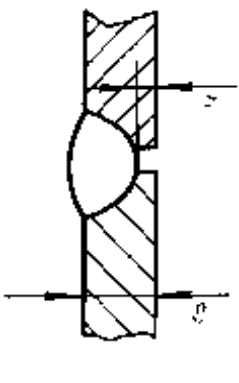
(续)

序号	评定项目	评定等级			
		I	II	III	IV
单面或双面对接缝外表状态					
3		$m \leq 0.15\delta$ 最大为 3mm	$m \leq 0.2\delta$ 最大为 5mm	$m \leq 0.25\delta$ 最大为 5mm	
		$m < 0.1\delta$ 最大为 2mm	$m \leq 0.15\delta$ 最大为 3mm	$m \leq 0.25\delta$ 最大为 4mm	
4		$y \leq 0.05\delta$ 最大为 0.5mm, 总长度不超过焊缝 全长的 5%	$y \leq 0.05\delta$ 最大为 0.5mm, 总长度不超过焊缝 全长的 10%	$y \leq 0.1\delta$ 最大为 1.5mm, 总长度不超过焊缝 全长的 10%	
		不允许	$y \leq 0.05\delta$ 最大为 0.5mm, 总长度不超过焊缝 全长的 5%	$y \leq 0.1\delta$ 最大为 1mm, 总 长度不超过焊缝全 长的 5%	$y \leq 0.1\delta$ 最大为 1.5mm, 总长度不超过焊缝 全长的 10%

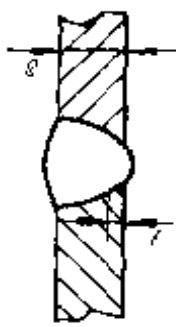
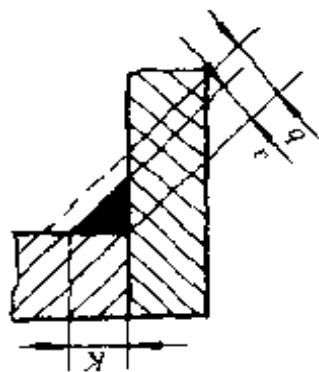
(续)

序号	评定项目	评定等级			
		I	II	III	IV
单面或双面对接缝外表状态					
5	气孔(包括点状夹渣)	不允许	在50mm焊缝长度上,单个气孔不大于1/3板厚,最大不超过2mm。气孔总尺寸不超过4mm	在50mm焊缝长度上,单个气孔不大于1/2板厚,最大不超过3mm,气孔总尺寸不超过6mm	在50mm焊缝长度上,单个气孔不大于2/3板厚,最大不超过4mm,气孔总尺寸不超过8mm
6	条状夹渣(夹渣长、宽比超过3称为条状夹渣)	不允许	不允许	在50mm长焊缝上允许有一个1/3板厚的条状夹渣,最大不超过6mm	在50mm长焊缝上允许有一个1/3板厚的条状夹渣,最大不超过8mm
7	飞溅	将飞溅物清除	如对焊件有不利影响,应将飞溅物清除	如对工作有不利影响,应将飞溅物清除	无要求

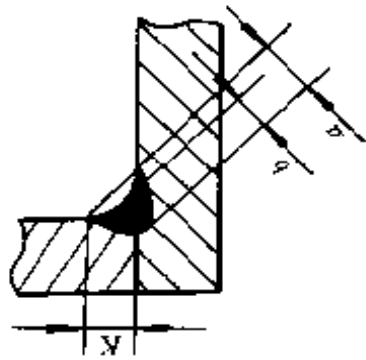
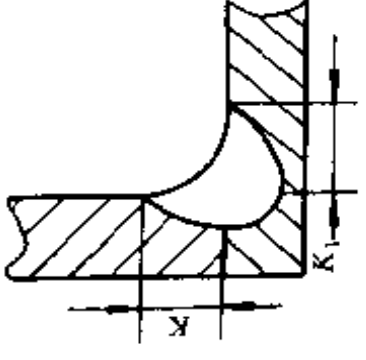
(续)

序号	评定项目	评 定 等 级			
		I	II	III	IV
单面或双面对接缝外表状态					
8		$w \leq 1 + 0.1c_1$	$w \leq 1 + 0.3c_1$ 总长度不超过焊 缝全长的 10%	$w \leq 1 + 0.6c_1$ 总长度不超过焊 缝全长的 20%	$w \leq 1 + 1.2c_1$ 总长度不超过焊 缝全长的 20%
9		不允许	$q \leq 0.2 + 0.2\delta$ 最大不超过 0.5mm, 总长度不 超过焊缝全长的 10%	$q \leq 0.2 + 0.04\delta$ 最大不超过 1mm, 总长度不超 过焊缝全长的 20%	$q \leq 0.4 + 0.06\delta$ 最大不超过 1.5mm
10		不允许	不允许	$z \leq 0.2\delta$ 最大为 2mm, 在 任何 6 $\delta$ 焊缝长度 内未焊透长度不超 过 $\delta$	$z \leq 0.3\delta$ z 也可由供需双 方协商确定

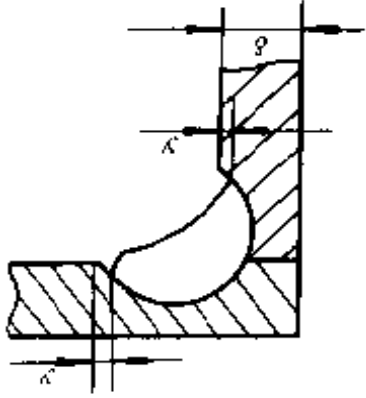
(续)

序号	评定项目	评定等级			
		I	II	III	IV
单面或双面对接缝外表状态					
11		不允许	$y \leq 0.05\delta$ 最大不超过 0.5mm, 总长度不 超过焊缝全长的 5%	$y \leq 0.05\delta$ 最大不超过 0.5. 总长度不超 过全长的 10% $y \leq 0.1\delta$ 最大不超过 1. 总长度不超过焊 缝全长的 5%	$y \leq 0.1\delta$ 最大为 1.5mm, 总长度不超过焊 缝全长的 10%
12	裂纹及烧穿	不允许	不允许	不允许	不允许
T形接头、搭接接头角焊缝					
13		$(b-a) \leq 1$ 0.07K 最大为 3mm	$(b-a) \leq 1 +$ 0.1K 最大不超过 4mm	$(b-a) \leq 1 +$ 0.14K 最大不超过 5mm	---

(续)

序号	评定项目	评定等级			
		I	II	III	IV
T形接头、搭接接头角焊缝					
14		不允许	$(a-b) = 0.3 + 0.035K$ 最大不超过 1mm, 总长度不超过焊缝全长的 20%	$(a-b) = 0.3 + 0.035K$ 最大不超过 2mm, 总长度不超过焊缝全长的 20%	—
15		$K_1 - K = 0 \sim 0.5 + 0.1K$	$K_1 - K = 0 \sim 1 + 0.1K$	$K_1 - K = 0 \sim 2 + 0.11K$	

(续)

序号	评定项目	评定等级			
		I	II	III	IV
T形接头、搭接接头角焊缝					
16		不允许	$y \leq 0.5\delta$ 最大不超过 0.5mm, 总长度不 超过焊缝全长的 10% $y \leq 0.1\delta$ 最大不超过 1mm, 总长度不超 过焊缝全长的 5%	$y \leq 0.1\delta$ 最大不超过 1.5mm, 总长度不 超过焊缝全长的 10%	—
17	气孔(包括点状夹渣)	不允许	在 50mm 长焊缝 长度上, 单个气孔 不大于 1/3 板厚, 最大不超过 3mm。 气孔总尺寸不超过 6mm	在 50mm 长的焊 缝上, 单个气孔不大 于 2/3 板厚, 最大 不超过 4mm, 气孔 总尺寸不超过 8mm	—

(续)

序号	评定项目	评 定 等 级			
		I	II	III	IV
T形接头、搭接接头角焊缝					
18	条状夹渣(夹渣长、宽比超过3为条状夹渣)	不允许	在50mm长的焊缝上,允许有一个1/3板厚的条状夹渣,最大不超过6mm	在50mm长的焊缝上,允许有一个2/3板厚的条状夹渣,最大不超过8mm	—
19	飞溅	将飞溅物清除	如对工作有不利影响,应将飞溅物清除	如对工作有不利影响,应将飞溅物清除	—
20	裂纹及烧穿	不允许	不允许	不允许	—

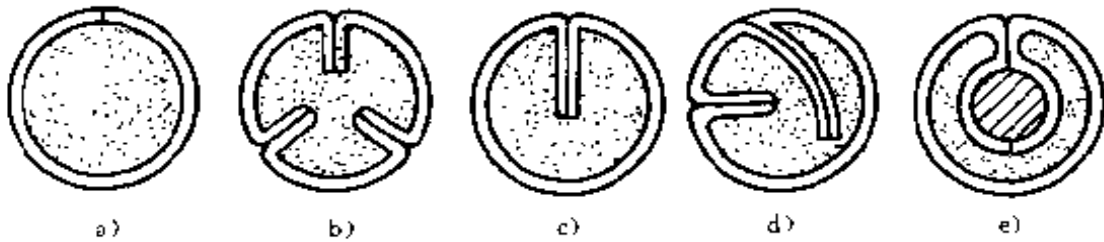


图 3-3 药芯焊丝截面形状

a) O形 b) 梅花形 c) T形 d) E形 e) 中间填充形

O形焊丝直径一般小于 $\phi 2.4\text{mm}$ ，折叠焊丝直径一般都大于 $\phi 2.4\text{mm}$ 。

#### 1. 药芯焊丝 $\text{CO}_2$ 气体保护焊工艺特点

1) 焊接过程飞溅比实心 $\text{CO}_2$ 气体保护焊少，焊缝成形美观。

2) 熔敷效率高，与焊条电弧焊相比，生产率可达3~5倍。药芯焊丝用于角接焊时，熔深将比焊条电弧焊大50%左右。

3) 调整合金成分方便，根据冶金反应的需要和焊缝力学性能的要求，可以通过改变装药量和药粉配方来调整合金成分。

4) 抗气孔能力比实心焊丝 $\text{CO}_2$ 气体保护焊强。因为焊接熔池受 $\text{CO}_2$ 气体和熔渣两方面的保护。

5) 对焊接电源无特殊要求。交流和直流焊机都可以使用，采用直流电源焊接时，要用反接法焊接。选用电源时，也不受平特性或陡降特性的限制。

在焊丝成分一定的条件下，混合气体成分对焊缝的成分和力学性能有直接影响。表3-142是强度为600MPa级含镍 $w_{\text{Ni}}$ 为1%的全位置药芯焊丝在不同保护气体中，焊后主要合金元素的比较。表3-143是不同保护气体对药芯焊丝焊缝力学性能的影响（焊接热输入为2.17kJ/mm）。

可见，不同成分的保护气体对药芯焊丝焊缝不仅在焊缝成分上有影响，而且对焊缝的力学性能也有影响，在选择保护气体时，要注意焊件使用性能要求以及设计图样的技术要求。除此之外，不同的焊接参数对焊缝成形也有影响，而且这个影响比保护气体的影响还要明显，会严重减弱焊缝的力学性能。药芯焊丝 $\text{CO}_2$ 焊时不同焊接参数对焊缝成形



的影响见表 3-144。

表 3-142 不同保护气体对药芯焊丝焊缝成分的影响

焊缝成分 $w/\%$	保护气体 $\varphi/\%$			
	CO <sub>2</sub> 100	CO <sub>2</sub> 50+Ar50	CO <sub>2</sub> 25+Ar75	CO <sub>2</sub> 5+Ar95
C	0.041	0.042	0.055	0.059
Si	0.31	0.39	0.44	0.44
Mn	1.16	1.24	1.29	1.29

注： $\varphi$ 代表气体的体积分数， $w$ 代表合金元素的质量分数。

表 3-143 不同保护气体对药芯焊丝焊缝力学性能的影响

力学性能		保护气体 $\varphi/\%$			
		CO <sub>2</sub> 100	CO <sub>2</sub> 50+Ar50	CO <sub>2</sub> 25+Ar75	CO <sub>2</sub> 5+Ar95
$\sigma_b/\text{MPa}$		576	579	598	514
$\sigma_s/\text{MPa}$		466	510	540	550
卸贝 V 形缺口 能量/J	0 C	106	111	128	125
	40 C	41	49	85	93

表 3-144 药芯焊丝 CO<sub>2</sub> 焊时不同焊接参数对焊缝成形的影响

焊接参数	影响情况
电弧电压	升高：焊缝宽度增大，焊缝较平坦
	过高：造成严重飞溅、气孔和咬边
	降低：会形成凸形焊道
	过低：发生焊丝与焊件粘连
焊接电流	过大：会形成凸形焊道
	过小：熔滴成大滴状过渡，焊缝成形不均匀
焊接速度	过高：会形成凸形焊缝并且边缘不整齐，焊缝熔深浅
	过低：焊缝成形粗糙不平，容易产生夹渣等缺陷

(续)

焊接参数	影响情况
焊丝伸出长度	过大:电弧不稳、飞溅严重
	缩短:焊缝熔深增加
	过小:焊接飞溅易堵塞保护气体喷嘴及导电嘴
焊丝送给速度	在一定范围里,往往以调节焊丝送给速度来达到改变焊接电流大小的目的
	增大:焊接电流相应增大
	减小:焊接电流也减小
	过大:电弧短路频率增加,电弧燃烧时间缩短,电弧电压下降,焊丝易折断 过小:电弧短路频率减小,电弧燃烧时间增长,焊丝熔化速度大于焊丝送给速度,焊丝容易反烧,粘在导电嘴上
焊丝直径	加粗:短路频率、熔滴下落速度相应减小
	减细:短路频率、熔滴下落速度相应加大
气体流量	流量大:对熔池吹力增大,形成紊流破坏气体保护作用 流量小:气体层流挺度不够,对熔池保护作用减弱
空载电压	过大:使电弧电压、焊接电流以及短路电流增长速度相应增大,焊缝宽而平,熔深加大,飞溅也大,易产生焊穿和气孔等缺陷 过小:使电弧电压、焊接电流以及短路电流增长速度相应减小,焊缝余高大,而熔深较浅,焊接过程中电弧易断弧,焊缝成形不良
电感值	过大:焊缝熔透深度相应增加,会产生大颗粒金属飞溅及熄弧现象,并使重新引弧发生困难,容易发生焊丝成段爆断现象 过小:焊缝熔透深度相应减小,会产生很细小的颗粒飞溅,焊缝边缘不齐,成形不良 当焊丝直径为 $\phi 0.6 \sim \phi 1.2\text{mm}$ 时, $L=0.05 \sim 0.4\text{mH}$ 当焊丝直径为 $\phi 1.2 \sim \phi 2\text{mm}$ 时, $L=0.3 \sim 0.7\text{mH}$

(续)

焊接参数	影响情况
导电嘴孔径	过大:在焊接过程中,焊丝及导电嘴接触不良,焊接电弧不稳定,造成焊缝成形不良 过小:焊丝送丝阻力过大,容易发生焊丝卷区或打结,给焊工增加麻烦 细焊丝导电嘴与焊丝间隙 $\leq 0.1 \sim 0.25\text{mm}$ 粗焊丝导电嘴与焊丝间隙 $\leq 0.2 \sim 0.4\text{mm}$
电源极性	直流反接:焊接过程稳定,焊缝熔透深度比正接要大,飞溅小。目前熔化极气体保护焊普遍采用直流反接 直流正接:焊缝熔深较浅,焊缝余高较大,焊接生产率高

综上所述,药芯焊丝  $\text{CO}_2$  气体保护焊焊接过程中,较大的焊接电流应配较高的电弧电压,保持适当的焊接速度,这样才能获得较好的焊缝成形。与此同时,还要注意焊丝伸出长度的选择(约在  $10 \sim 30\text{mm}$  之间,全位置焊接时取小值,平焊、横焊时取较大值)。

### 2. 药芯焊丝 $\text{CO}_2$ 气体保护焊工艺

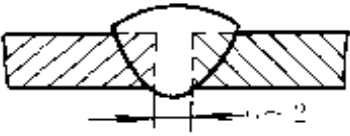
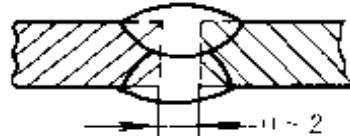
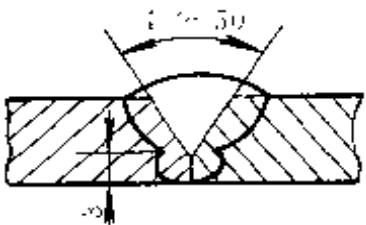
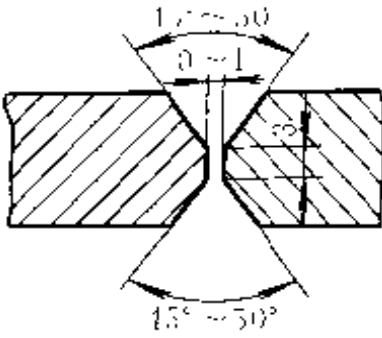
药芯焊丝  $\text{CO}_2$  气体保护焊,除用  $\text{CO}_2$  气体作辅助保护气体外,还可以用  $\text{Ar} + \text{O}_2 2\%$  或  $\text{Ar} + \text{CO}_2 25\%$  等混合气体作辅助保护气体进行焊接。此时焊丝金属熔滴的过渡形式接近喷射过渡。焊缝金属的力学性能比用纯  $\text{CO}_2$  气体保护焊的好。 $\phi 3.2\text{mm}$  药芯焊丝半机械化  $\text{CO}_2$  气体保护焊焊接参数见表 3-145。 $\phi 2.4\text{mm}$  药芯焊丝机械化  $\text{CO}_2$  气体保护焊横焊焊接参数见表 3-146。 $\phi 1.6\text{mm}$  药芯焊丝半机械化平角焊、船形焊焊接参数见表 3-147。

### 3. 药芯焊丝

药芯焊丝是一种新型的焊接材料,由于它的焊接工艺性能好、焊缝质量好、熔敷速度高、对钢材适应性强等优点,在焊接生产中应用范围越来越广泛,是一种很有发展前途的焊接材料。药芯焊丝的应用分类见

① 气体的百分比为体积分数。

表 3-145  $\phi 3.2\text{mm}$  药芯焊丝半机械化  $\text{CO}_2$  气体保护焊焊接参数

板厚 /mm	接头简图	焊层数	焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊接速度 /(m/h)
6		1	300~330	22~24	18~20
9		1	400~450	24~26	17~18
		2	450~500	24~27	15~17
12		1	150~500	24~28	13~15
		2		24~28	17~18
25		1	480~530	25~28	14~15
		2	500~550	26~29	14~16

(续)

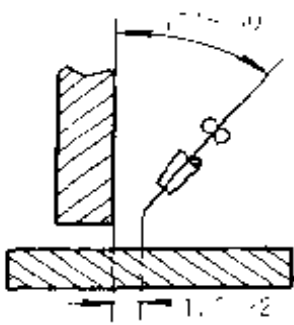
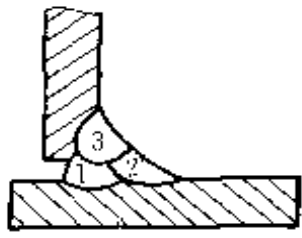
板厚 mm	接头简图	焊层数	焊接电流 /A	电弧 电压 /V	焊接 速度 /(m/h)	
焊脚 尺寸 6.4		1	330~370	23~25	21~24	
焊脚 尺寸 8.5		1	360~400	21~26	20~22	
焊脚 尺寸 12.7		1	370~400	24~26	18~21	
		3	2	370~400	24~26	18~21
		3	330~370	23~25	21~24	

表 3-148。药芯焊丝与实心焊丝的比较见表 3-149。各种药芯焊丝的焊接特性比较见表 3-150。药芯焊丝型号由焊丝类型代号和焊缝金属的力学性能标注两部分组成。药芯焊丝型号表示方法见表 3-151；碳钢药芯焊丝分类见表 3-152；药芯焊丝焊缝金属的强度系列见表 3-153，药芯焊丝焊缝金属夏比（V 形缺口）冲击吸收功见表 3-154；药芯焊丝熔敷金属化学成分见表 3-155；不同类型药芯焊丝所要求的焊缝力学性能、射线探伤和焊丝工艺性试验项目见表 3-156；药芯焊丝直径与偏差见表 3-157；常用药芯焊丝牌号及力学性能见表 3-158。药芯焊丝牌号的表示方法如下：

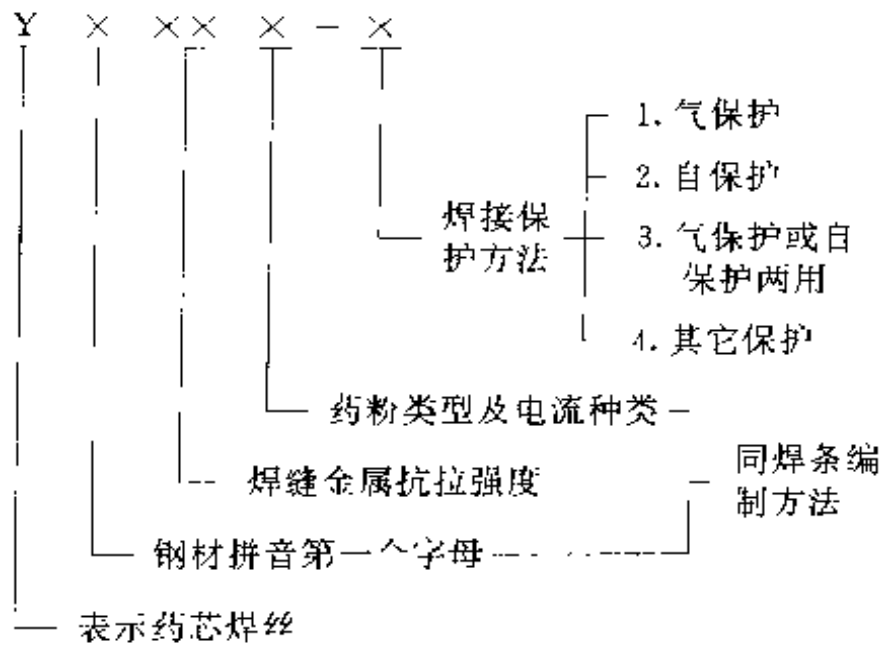


表 3-146  $\phi 2.4\text{mm}$  药芯焊丝机械化  $\text{CO}_2$  气体保护焊  
横焊位置焊接参数

接头简图	焊接顺序	焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊接速度 /(m/h)	焊丝倾角 /( $^{\circ}$ )
	1	280	25	30	25
	2	350	29	22	20
	3	390	29	22	20
	4	340	28	14	20
	5	380	29	22	20
	6	350	27	22	20
	7	340	25	20	20
	8	300	26	22	20
	9	300	27	22	20
	10	300	27	22	20
	11	300	27	22	20
	12	280	25	25	10

表 3-147  $\phi 1.6\text{mm}$  药芯焊丝  $\text{CO}_2$  气体保护  
半机械化平角焊、船形焊焊接参数

简 图		焊接位置	操作方法	焊接电流 /A
		平角焊	打底层 右焊法	300~340
		船形焊	盖面层 左焊法	280~300
		船形焊和 平角焊	填充层 左焊法	250~280
电弧电压 /V	焊接速度 / (cm/min)	气体流量 / (L/min)	焊丝伸出长度 /mm	
32~34	30~40	20~25	30	
31~32	40~50	15~20	15~20	
30~31	40~50	20~25	20~25	

表 3-148 药芯焊丝的应用分类

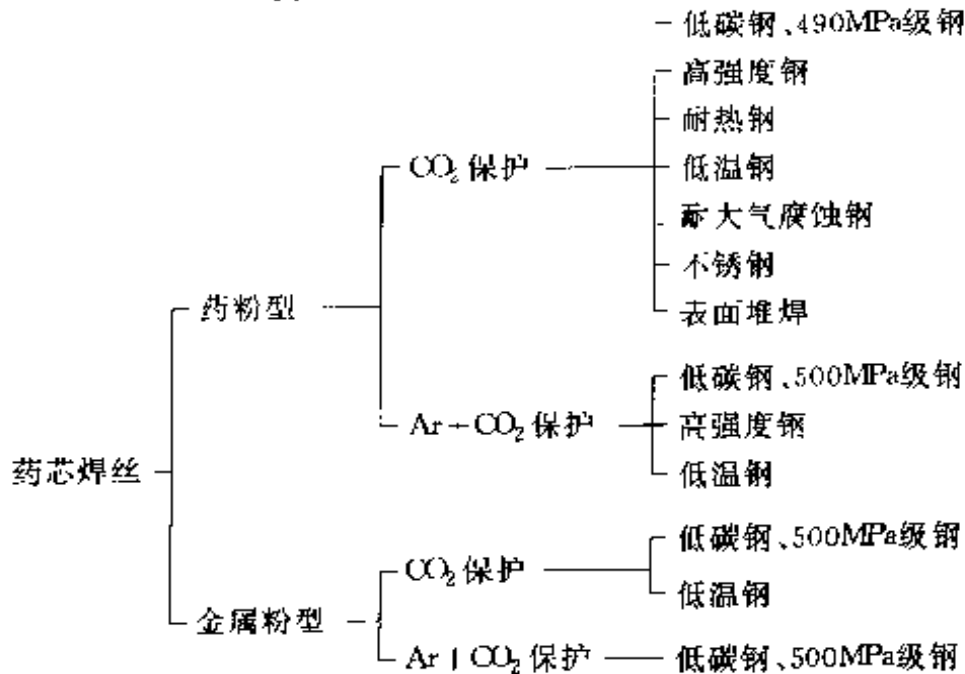


表 3-149 药芯焊丝与实心焊丝比较

项 目		焊丝种类	
		实心焊丝	药芯焊丝
焊 接 工 艺 性	焊缝外观	稍呈凸状	平滑美观
	电 弧	硬 弧	软 弧
	电弧稳定性	较 好	很 好
	飞 溅 量	粒大且多	粒小且少
	熔滴过渡	颗粒状过渡	微细粒过渡
	熔渣熔敷性	覆盖不均匀	覆盖均匀
	脱 渣 性	稍 差	良 好
	熔 深	深	较 深
	送丝性能	稍 差	良 好
	全位置焊接	稍 差	良 好
	焊接烟尘量	一 般	稍 多
焊 缝 性 能	抗拉强度/MPa	560~580	550~580
	扩散氢量/(mL/100g)	极低(0.5~1)	低(2~4)
	抗 裂 性	良 好	一 般
	冲击韧度	良 好	一 般
	X 射线探伤	良 好	优 秀
效 率 及 经 济 性	熔渣、飞溅去除	困 难	容 易
	熔敷速度(焊接电流相同)	快	极 快
	熔敷效率/%	良好(94~96)	一般(83~87)
	适用电流范围	一 般	大
	焊丝价格	一 般	高



表 3 150 各种药芯焊丝的焊接特性比较

项 目	填 充 粉 类 型			
	钛 型	钙钛型	钙 型	“金属粉”型
焊道外观	美观	一般	稍差	一般
焊道形状	平滑	稍凸	稍凸	稍凸
熔滴过渡	细小滴过渡	滴状过渡	滴状过渡	滴状过渡
电弧稳定性	良好	良好	良好	良好
熔渣覆盖性	良好	稍差	差	渣极少
飞溅量	粒小、极少	粒小、少	较大、多	粒小、极少
脱渣性	良好	稍差	稍差	稍差
烟尘量	一般	稍多	多	少
抗气孔性	稍差	良好	良好	良好
抗裂性	一般	良好	优秀	优秀
扩散氢/(mL/100g)	2~10	2~6	1~4	1~3
缺口韧性	一般	良好	优秀	良好
含氧量·10 <sup>-6</sup>	600~900	500~700	450~650	600~700
X射线探伤	良好	良好	良好	良好
熔敷效率	70%~85%	70%~85%	70%~85%	90%~95%
备 注	-	-	-	低电流时 短路过渡

表 3-151 碳钢药芯焊丝型号表示方法

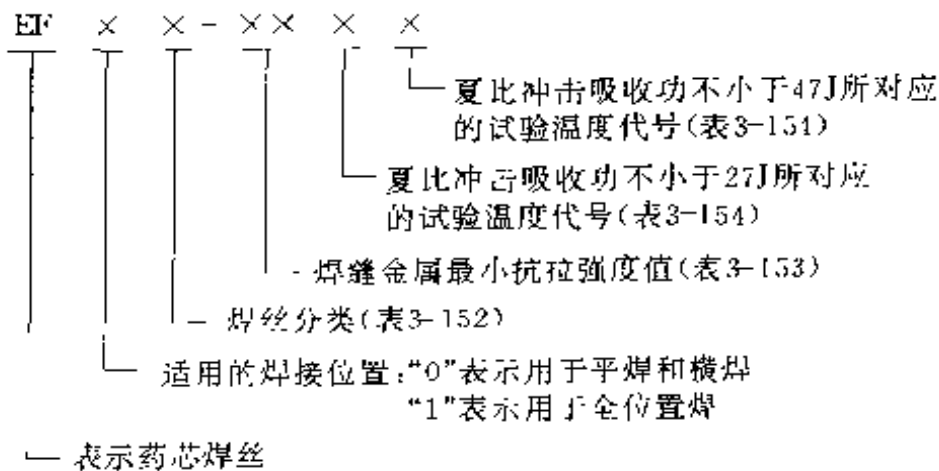


表 3-152 碳钢药芯焊丝分类

焊丝类型	药芯类型	保护气体	电流种类	适用性
EF×1	氧化铁型	CO <sub>2</sub>	直流,焊丝接正	单道焊和多道焊
EF×2	氧化钛型	CO <sub>2</sub>	直流,焊丝接正	单道焊
EF×3	氧化钙 氟化物型	CO <sub>2</sub>	直流,焊丝接正	单道焊和多道焊
EF×4	—	自保护	直流,焊丝接正	单道焊和多道焊
EF×5	—	自保护	直流,焊丝接负	单道焊和多道焊
EF×G	—	—	—	单道焊和多道焊
EF×GS	—	—	—	单道焊

表 3 153 药芯焊丝焊缝金属的强度系列

强度系列	抗拉强度 $\sigma_b$ /MPa	屈服强度 $\sigma_{0.2}$ /MPa	伸长率 $\delta_5$ /%
43	430	340	22
50	500	410	22

表 3-154 药芯焊丝焊缝金属夏比  
(V形缺口)冲击吸收功

第一位数	冲击吸收功		第二位数	冲击吸收功	
	温度 /℃	冲击吸收功(不小于) /J		温度 /℃	冲击吸收功(不小于) /J
0	没有规定		0	没有规定	
1	+20	27	1	+20	47
2	0		2	0	
3	-20		3	-20	
4	-30		4	-30	
5	-40		5	-40	

表 3-155 药芯焊丝熔敷金属化学成分(质量分数)(%)

焊丝类型	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Al
EF×1	—	1.75	0.90	0.04	0.03	0.50	0.20	0.30	0.08	(1.8)
EF×3										
EF×4										
EF×5										
EF×G										

注:表内的值均为最大值。

表 3-156 不同类型药芯焊丝所要求的试验项目

焊丝类型	冲击试验	射线探伤试验	熔敷金属拉伸试验	角焊缝试验	横向拉伸试验	纵向导向弯曲试验
EF01	要求	要求	要求	—	—	—
EF03						
EF04	*	*	—	—	—	—
EF05						
EF0G						
EF11	要求	要求	要求	要求	—	—
EF13						
EF14	*	*	要求	要求	—	—
EF15						
EF1G						
EF×2	—	—	—	—	要求	要求
EF×GS						

注:“\*”表示根据供需双方协议决定是否做试验。

表 3-157 药芯焊丝直径与偏差 (mm)

焊丝直径	基本尺寸	1.2	1.4	1.6	2.0	2.4	2.8	3.2	4.0
	极限偏差	±0.05			±0.08				

表 3-158 常用药芯焊丝牌号及力学性能

牌 号	熔敷金属化学成分(质量分数)/%						
	C	S	Mn	Mo	Ni	Cr	Cu
YJ501-1	≤0.1	0.9	≤1.75	-	-	-	-
YJ502-1	≤0.1	≤0.9	≤1.75	-	-	-	-
YJ507-2	≤0.1	0.9	≤1.75	Al≤1.8	≤0.5	-	-
YJ502R-2	≤0.1	≤0.3	≤0.9	Ti≤0.3	-	-	-
YJ707-1	≤0.15	≤0.6	1.2~1.7	0.1~0.5	1~1.2	-	-
YJ502R-1	≤0.1	≤0.9	≤1.75	-	-	-	-
YJ507Ni-1	≤0.12	≤0.9	≤1.75	-	≤0.5	-	-
YJ507R-2	≤0.1	≤0.9	≤1.75	Al≤1.8	-	-	-
牌 号	力 学 性 能			符合 GB			
	$\sigma_f$ /MPa	$\sigma_b$ /MPa	$\delta_5$ /%				
YJ501-1	≥500	≥410	≥22	-			
YJ502-1	≥500	≥410	≥22	EF01-5020			
YJ507-2	≥500	≥410	≥22	EF04-5020			
YJ502R-2	≥500	≥410	≥22	EF01-5005			
YJ707-1	≥680	≥590	≥15	-			
YJ502R-1	≥500	≥400	≥22	EF01-5005			
YJ507Ni-1	≥500	≥410	≥22	EF03-5004			
YJ507R-2	≥497	≥414	≥22	-			

## 七、CO<sub>2</sub> 电弧点焊

### 1. CO<sub>2</sub> 电弧点焊的特点

CO<sub>2</sub> 电弧点焊,是在搭接接头上,利用 CO<sub>2</sub> 气体中燃烧的电弧来熔化上、下金属构件,焊枪及焊件在焊接过程中都不动,由于焊丝的熔化,在上板表面形成一个铆钉的形状,如图 3-4 所示。CO<sub>2</sub> 电弧点焊主要用于薄板框架结构以及薄板与框架的连接。与电阻点焊相比的特点

见表 3-159。

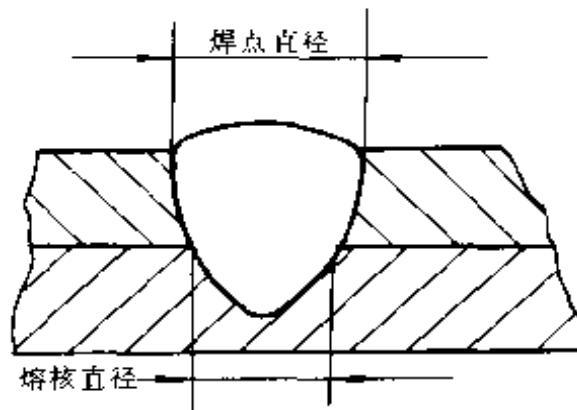


图 3-4 CO<sub>2</sub> 电弧点焊焊点形状示意图

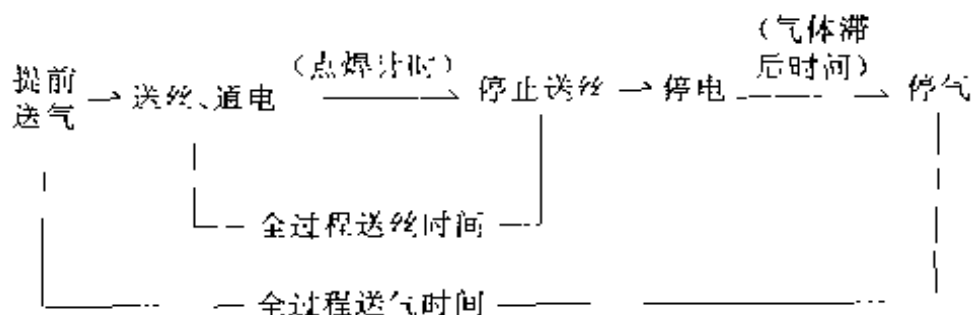
表 3-159 CO<sub>2</sub> 电弧点焊与电阻点焊相比的特点

CO <sub>2</sub> 电弧点焊	电阻点焊
不需要特殊加压设备，电源功率较小，焊接设备较简单	有特殊加压装置，电源功率较大，焊接设备较复杂
抗锈能力强，对焊件表面清理要求不高	抗锈能力弱，有锈垢时焊接易产生飞溅，表面清理要求高
焊点强度比电阻焊强度高	电阻焊焊点强度没有 CO <sub>2</sub> 电弧点焊高
上、下板装配精度要求不高	上、下板装配精度要求高
不受焊点距离和板厚的影响	焊点距离过近，焊接时易产生分流，影响焊点强度
生产成本比电阻点焊低	生产成本比 CO <sub>2</sub> 电弧点焊高

### 2. CO<sub>2</sub> 电弧点焊设备

CO<sub>2</sub> 电弧点焊送丝机构，焊接电源与普通的 CO<sub>2</sub> 气体保护焊机相同，只是电源的空载电压应选择高一些，约 70V 左右，以保证在焊接过程中，频繁的引弧能够稳定可靠地进行。

CO<sub>2</sub> 电弧点焊的过程中，要求焊接设备能准确控制电弧的点焊时间及一定的焊丝回烧时间，全部过程都是自动进行的。其程序如下：



### 3. CO<sub>2</sub> 电弧点焊的焊接接头形式

CO<sub>2</sub> 电弧点焊常用的接头形式如图 3-5 所示。

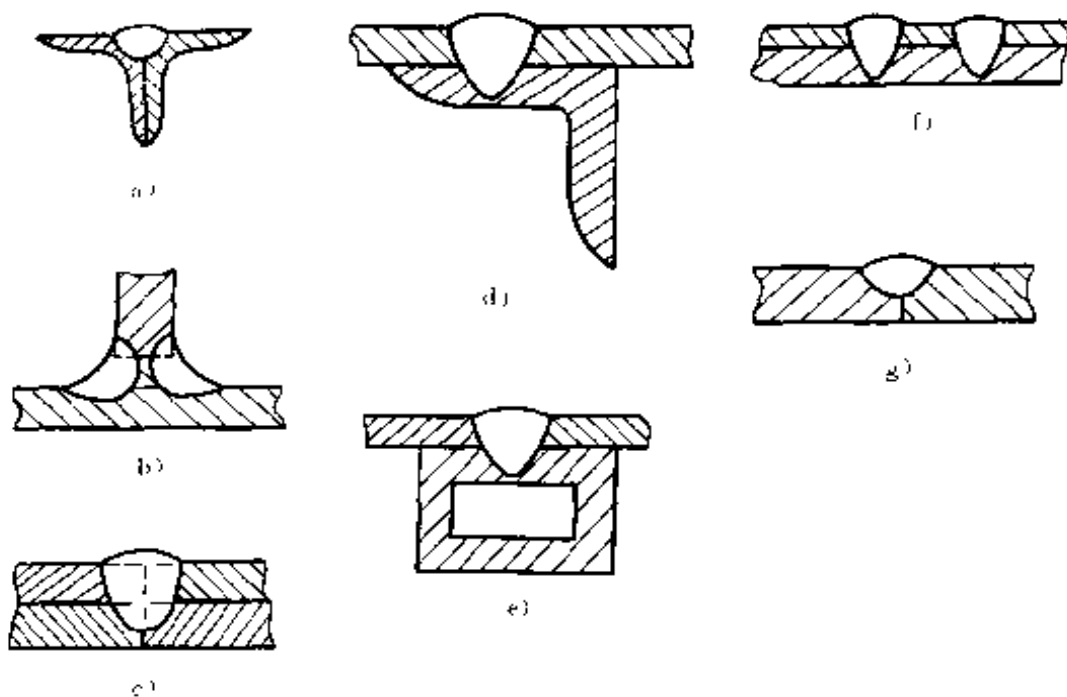
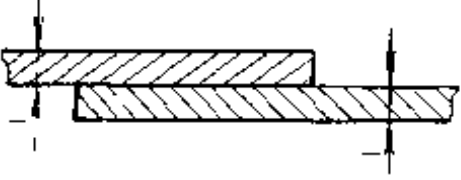

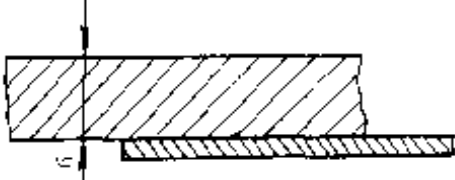



图 3-5 CO<sub>2</sub> 电弧点焊常用的接头形式

### 4. CO<sub>2</sub> 电弧点焊的焊接参数

选择 CO<sub>2</sub> 电弧点焊的焊接参数时，要考虑焊件所在的空间位置，上、下板的厚度，焊接位置等因素。具体的焊接工艺要点见表 3-160。

表 3-160 CO<sub>2</sub> 电弧点焊的焊接工艺要点

焊前状态	焊接过程的工艺措施
 <p>二、下板厚都在 1mm 以下，平焊位置点焊</p>	 <p>为防止烧穿应加垫板</p>
 <p>在平焊位置点焊时，上板板厚大于 6mm 时，熔透电流不足</p>	 <p>在上板开一个锥形孔，然后以塞焊的形式焊接</p>
<p>仰焊时，熔池金属易下落</p>	<p>选用大电流、低电压、短时以及大的气体流量</p>
<p>立焊位置 CO<sub>2</sub> 电弧点焊</p>	<p>焊接时间比仰焊时间更短</p>

CO<sub>2</sub> 电弧点焊的焊点直径及熔深，主要靠焊接电流和焊接时间保证。碳钢平焊位置 CO<sub>2</sub> 电弧点焊的焊接参数见表 3-161。

表 3-161 低碳钢 CO<sub>2</sub> 电弧点焊的焊接参数

板厚/mm		焊丝直径/mm	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接时间/s	焊丝伸出长度/mm	保护气体流量/(L/min)
上板	下板						
0.5	≥3	1	280	27	0.5	9	10
1	≥3	0.8	300	31	0.7		

(续)

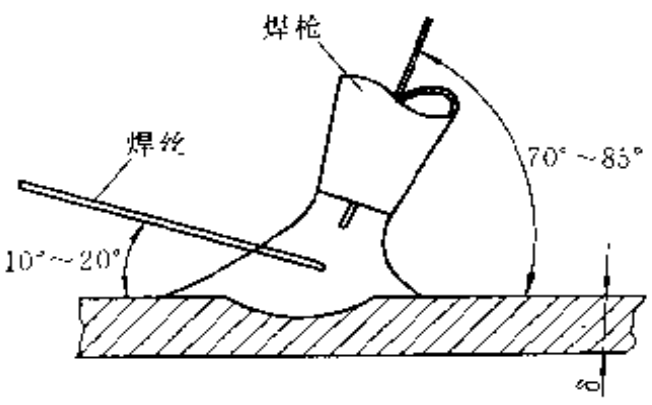
板厚/mm		焊丝直径 /mm	焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊接时间 /s	焊丝伸出长度 /mm	保护气体流量 /(L/min)
上板	下板						
1.5	4	1.2	325	34	1.5	10	12
2	3		300	33			
	5		365	35			
2.5	4		350	35			
2.5	5		375	36			
3	3		335	35			
	5		380	37			

#### 第四节 气体保护焊的操作技术

##### 一、手工钨极氩弧焊的基本操作技术

手工钨极氩弧焊在焊接领域应用很广泛，焊件焊接质量除了和设备状况、焊接参数正确与否、待焊处清理情况、焊接材料等有关外，还与焊工的基本操作技术有关，基本操作技术的主要内容见表 3-162。

表 3-162 手工钨极氩弧焊的基本操作技术

名称	内 容
握焊枪、焊丝的方法	<p>通常是由左手握焊丝，右手握焊枪。由于受焊接位置的限制，焊工也应具备右手握焊丝、左手握焊枪的操作技能</p> <p>在焊接过程中，焊枪与焊件角度为 <math>70^{\circ} \sim 85^{\circ}</math>，焊丝与焊件角度为 <math>10^{\circ} \sim 20^{\circ}</math></p> 



(续)

名称	内 容
引弧方法	<p>1. 短路引弧 依靠引弧板或炭棒与钨极接触引弧</p> <p>2. 高频引弧 利用高频振荡器产生的高频电压击穿钨极与焊件之间的间隙而引燃电弧</p> <p>3. 高压脉冲引弧 在钨极与焊件之间加一高压脉冲使两极间气体介质电离, 从而引燃电弧</p>
焊接操作	<p>引弧后, 将电弧移至始焊处, 对焊件加热, 待母材出现“出汗”现象时, 添加焊丝。初始焊接时, 焊接速度应慢些, 多添加焊丝, 使焊缝增厚, 防止产生“起弧裂纹”</p> <p>焊接时用左手拇指、食指和中指捏焊丝, 让焊丝的末端始终处于氩气保护区内, 随着焊接过程的进行, 可通过拇指、食指和中指按一定的频率往前均匀串丝, 使焊接过程平稳进行, 不扰动熔池和保护气流罩</p>
焊丝长度与接头质量	<p>焊接接头质量是整个焊缝的关键环节, 为了保证焊接质量, 应尽量减少接头数量, 所以焊丝要用长的。但实践表明, 焊丝长度较长时, 焊接过程向电弧区串丝容易发生因焊丝“抖动”而送不到“位”, 还有可能因电磁场作用而出现“粘丝”现象。所以, 焊丝的长短要适量</p> <p>停弧后需在熄弧点重新引燃电弧时, 电弧要在熄弧处直接加热, 直至收弧处开始熔化形成熔池或熔孔后再向熔池添加焊丝, 继续焊接</p>
填丝方法	<p>焊接打底层时, 有不填丝法和填丝法两种。不填丝法又称为自熔法, 由于焊件坡口根部没有间隙或间隙很小, 同时又没有钝边或钝边很小, 故可通过电弧熔化母材金属而形成打底层</p> <p>填丝法是在焊接过程中由焊工自己均匀送入焊丝形成焊缝的方法。在焊接小直径管子固定位置的打底层时, 视焊道根部间隙大小, 可采用内填丝法或外填丝法。当焊道根部间隙小于焊丝直径, 电弧在试件外壁燃烧, 焊丝由外壁填入的方法称为外填丝法。当焊道根部间隙大于焊丝直径, 电弧在试件外壁燃烧, 而焊丝由内壁通过间隙送至熔池上方的方法称为内填丝法</p> <p>在实际焊接工程中, 很难保证坡口间隙均匀一致, 所以焊工应熟练掌握内、外填丝技术。在焊接过程中采取内、外结合填丝方法和左、右手都能握焊枪的焊接技术, 才能获得良好的焊缝</p>

(续)

名称	内 容
焊接方向	手工钨极氩弧焊电弧束细、热量集中,焊接过程中无熔渣,熔池容易控制,所以焊接方向没有限制,要求焊工根据焊缝的位置,在焊接过程中能左、右手都能握焊枪焊接

手工钨极氩弧焊在焊接过程中的送丝方法有很多,各种送丝方法都有其特点,主要送丝方法及适用场合见表 3-163。

手工钨极氩弧焊的收弧工作也很重要,收弧操作不正确,会产生弧坑裂纹、缩孔等缺陷,降低焊缝强度。当需熄弧时,不要立即抬起焊枪,还应维持 3~5s 的送气(或观察焊缝颜色,看是否变暗淡),待钨极与焊缝稍微冷却后,再抬起焊枪,防止焊缝和钨丝在高温状态下氧化。手工钨极氩弧焊常用的收弧方法及适用场合见表 3-164。

表 3-163 手工钨极氩弧焊焊丝的送丝方法及适用场合

送丝方法	操 作 要 领	适用场合
连续送焊丝法	焊丝端部紧靠熔池前沿,均匀地连续送丝,送丝速度应与熔化速度相适应	焊工操作技术高,适用于细焊丝
间断送焊丝法	焊丝送入电弧区后,进行端部预热,待端部熔化后再行送入	操作简单、容易,应用普遍
横向摆动法	焊丝随焊枪的横向摆动而摆动,两者摆动幅度应一致,摆动过程要平稳,以免氩气保护区被破坏	用于较宽的焊缝
紧贴坡口法	焊丝紧贴坡口填入,焊接电弧在熔化焊件金属的同时也熔化焊丝	适用于小直径管子的焊接
反面填丝法	焊丝在焊件的背面送入,焊接电弧在焊件的另一面,这对坡口根部间隙、焊丝直径和操作技术要求较高	适用于仰焊,而且坡口根部间隙大于焊丝直径

表 3-164 手工钨极氩弧焊常用的收弧方法及适用场合

收弧方法	操作要领	适用场合
焊接速度增加法	焊接将要终止时，焊枪前移的速度逐渐加快而焊丝送入量逐渐减少，直至焊件不熔化，焊缝由宽变窄逐渐终止	对焊工的操作技术要求较高，适用于管子焊接
焊缝增高法	在焊接将要终止时，焊枪向后倾斜度增大，移动速度减慢，此时，送丝量增加，当熔池饱满时再熄弧	一般结构都能适用，应用很普遍
采用熄弧板法	在焊件收尾处接一块电弧熄弧板，当焊件焊缝焊完后，将电弧引至熄弧板上熄弧。然后清除熄弧板	操作简单，适用于平板及纵缝焊接
电流衰减法	在焊接将要终止时，首先要切断电源，这时发电机的旋转速度逐渐减慢，因此焊接电流也随之减弱，从而达到电流衰减熄弧	适用于弧焊发电机，用硅整流弧焊机时需另加一套电流衰减器

## 二、小管对接水平固定 TIG 焊的操作技术

### (一) 填丝法操作技术

TIG 焊填丝技术有两种：内填丝法和外填丝法，外填丝法用途较广，是 TIG 焊的基本填丝方法。内填丝法主要用于小管径对接焊，坡口根部间隙大于焊丝直径的填丝方法。

#### 1. 内填丝法打底焊

应用内填丝法焊接时，焊丝直径通常在  $\phi 2.5 \sim \phi 3.5\text{mm}$ ，钝边为  $1 \sim 1.5\text{mm}$ ，焊接电流为  $70 \sim 75\text{A}$ ，焊接电弧呈锯齿形摆动。

为方便焊接，通常把管焊缝按时钟位置分为四个部位。即时钟的 12 点位置至 3 点位置、时钟 3 点位置至 6 点位置、时钟 6 点位置至 9 点位置以及时钟 9 点位置至 12 点位置焊缝。焊缝按时钟位置分布图见图 3-6。

(1) 时钟 3 点钟位置至 6 点钟位置焊缝的焊接 由 3 点钟位置引弧，右手握焊枪，左手握焊丝。焊丝由 B 区域伸进管内向 3 点位置的

电弧区送入，焊枪与管切线成  $75^{\circ}\sim 85^{\circ}$  夹角，与焊丝成  $90^{\circ}$  角。引弧前先按选定的氩气流量对准引弧点放气  $5\sim 10\text{s}$ ，以排除焊接处有害气体及检查供气是否稳定，然后开始引弧。引弧后，观察电弧下面的坡口根部，有“出汗”现象时，立即添加焊丝，形成熔池后，由此顺时针向下焊接，焊丝总是由  $B$  区域送至焊接电弧下面，直至接近时钟 5 点位置熄弧（过时钟 4 点位置  $8\sim 10\text{mm}$ ），详见图 3-7。

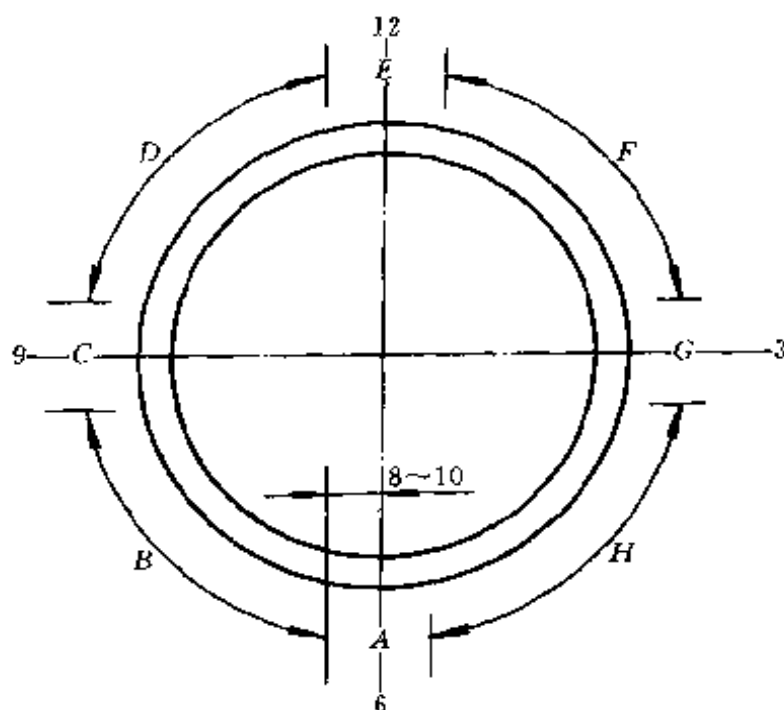


图 3-6 小管水平固定对接焊缝的时钟位置图

$A$  区—仰焊焊缝  $B$ 、 $H$  区—仰位爬坡焊缝  $C$ 、 $G$  区—立焊焊缝

$D$ 、 $F$  区—立向上爬坡焊缝  $E$  区—平焊焊缝

(2) 时钟 6 点钟位置至 9 点钟位置焊缝的焊接 焊枪在 9 点钟位置引弧，焊丝由  $F$  区域送进管内到时钟 9 点位置电弧下。焊工左手握焊枪，右手握焊丝。焊枪与管切线成  $75^{\circ}\sim 85^{\circ}$  角，与焊丝成  $120^{\circ}$  角下向焊接。其它操作同 3 点位置至 6 点位置区域焊缝的焊接。当焊接接近收口时（接近时钟 5 点位置），由于间隙变小，不利于焊工观察熔池和送丝，这时可以由内填丝改为外填丝法焊接。焊枪、焊丝、管子之间角度及填丝见图 3-8。

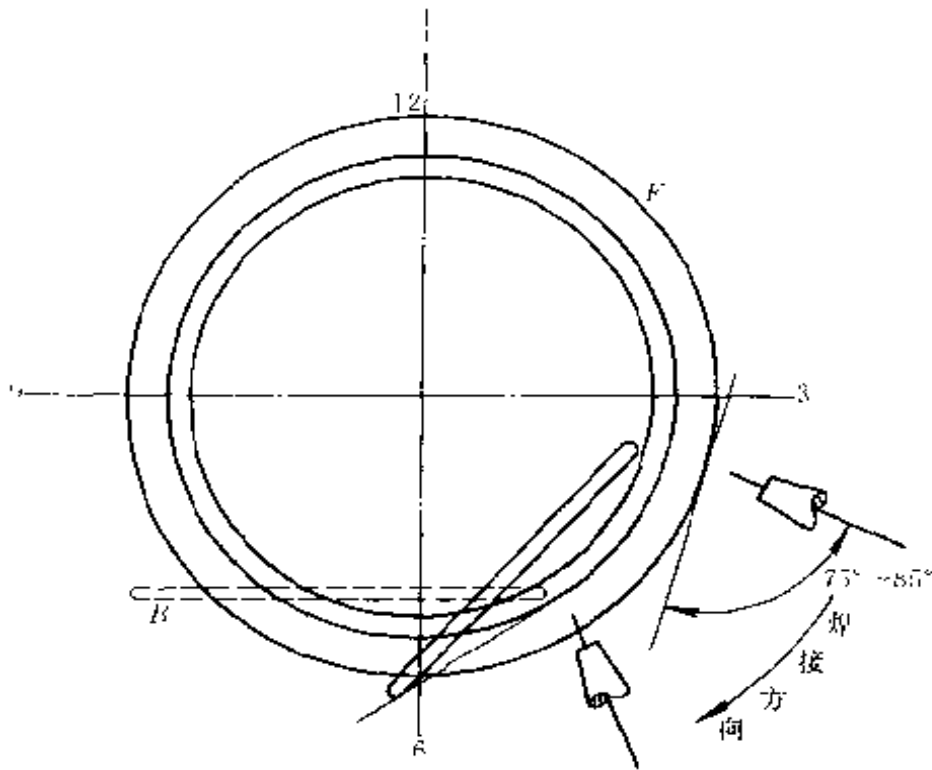


图 3-7 小管水平固定对接时钟 3 点位置至 6 点位置焊缝的手工 TIG 焊

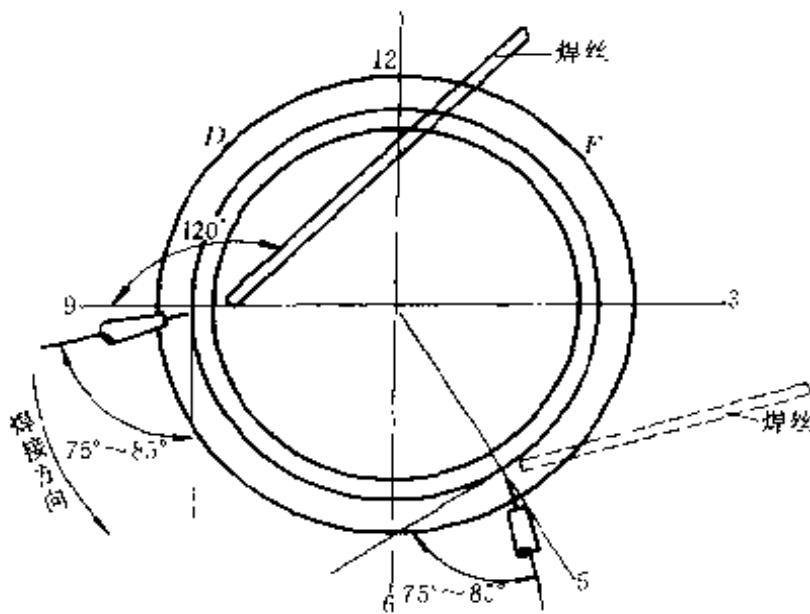


图 3-8 小管水平固定对接时钟 9 点位置至 6 点位置焊缝的手工 TIG 焊

(3) 时钟 3 点钟逆时针方向至 12 点位置焊缝的焊接 这是  $F$  区, 为立向上爬坡焊缝, 采用外填丝法要比内填丝法方便焊接。

内填丝法为焊工右手握焊枪, 左手握焊丝, 焊丝由  $D$  区域送进管内, 向时钟 3 点位置电弧区域送入, 焊接方向是由时钟 3 点位置向 12 点位置逆时针焊接, 见图 3-9。当焊至 12 点位置时收弧, 收弧时注意填满弧坑, 灭弧后视熔池颜色完全变暗, 约 3~5s 后再关保护气阀, 停止送气。

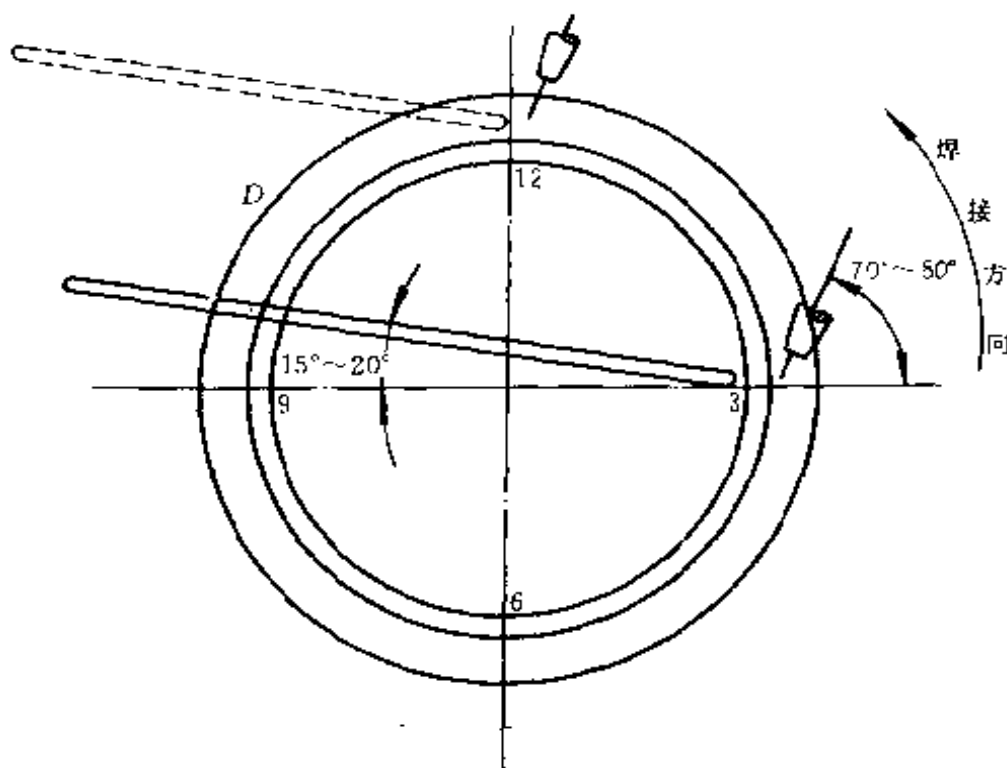


图 3-9 小管水平固定对接时钟 3 点位置逆时针至 12 点位置焊缝的 TIG 焊

(4) 时钟 9 点位置至 12 点位置焊缝的焊接 焊工右手握焊枪, 左手握焊丝, 焊丝由  $D$  区域紧贴着 12 点位置将焊丝送入 9 点位置电弧区。焊接方向是从时钟 9 点焊至 12 点收弧。此段焊缝是立焊爬坡。焊枪与焊丝、管件角度见图 3-10。

焊丝虽然由  $D$  区域紧贴着 12 点位置用内填丝法送丝, 但随着焊接过程逐渐接近时钟 12 点位置, 焊缝越来越短, 焊丝由内填丝法也逐渐过渡为外填丝法。收口时要注意填满弧坑。电弧熄弧后, 待焊缝颜色

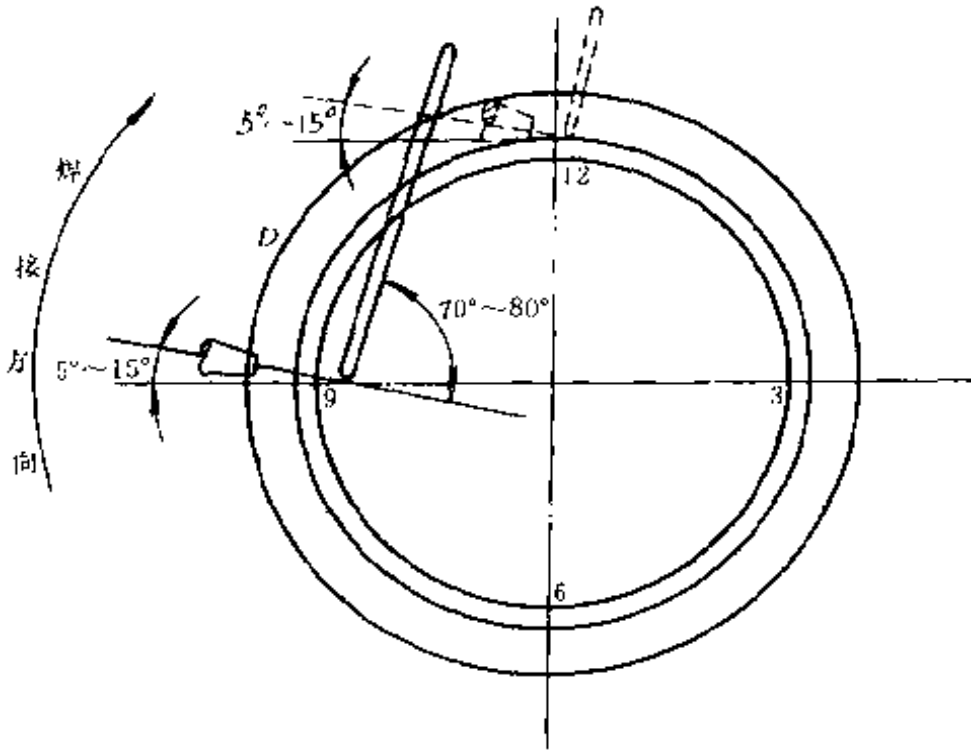


图 3-10 小管水平固定对接时钟 9 点位置至 12 点位置焊缝的 TIG 焊

变暗再关闭气阀，停止氩气送入。

内填丝法在焊接过程中最关键的技术首先是握焊丝的手在送丝过程中要稳、准。所谓稳：就是手握焊丝往焊接电弧中送入时，焊丝要平稳，不发生抖动现象。焊接过程中使用的焊丝长短要适中，太长会引起焊丝抖动甚至粘连。太短会使焊缝接头过多，使产生焊接缺陷的几率增大。所谓准：即在送丝过程中，一定要把焊丝送到眼睛看到的预定位置上。即每个焊点都与前一个焊点重叠  $2/3$ 。要做到这点，需要焊工在焊接时找好焊接位置，焊接时，焊工左、右手臂都要有一定的活动空间。施焊姿势：采用站位，即双腿叉开站立焊接；采用蹲位，即全蹲下，如高度不合适时，可采用垫辅助物的办法，以保证站位或蹲位的施焊高度。切忌以半站立半蹲位的姿势焊接，因为时间一长，焊工容易疲劳，焊接质量也不稳定。其次是气匀，焊工在施焊时，要有效地控制自己的呼吸，既不要深呼吸，造成身体的浮动，影响握焊丝和焊枪的手，使焊缝成形不好，甚至因焊点与焊点之间搭接不均而出现缺陷。也不要大憋



气，使焊工因缺氧而心率加快，心情烦躁，同样也会影响焊缝质量。

## 2. 外填丝法打底焊

外填丝法焊接，顾名思义，焊接时，焊丝是在管外送丝。外填丝法焊接时，将水平固定管分为左、右两个部分。可以由仰焊处分左和右两路焊至平焊位置，也可以由平焊位置分左、右两路焊至仰焊位置。焊工可以根据操作是否方便而选定焊枪、焊丝握在哪只手中。在施焊时，焊丝始终是沿管子外壁送入电弧中，因此，焊缝根部间隙小于焊丝直径，一般在 $1.5\sim 2\text{mm}$ ，钝边为 $0.5\sim 1\text{mm}$ ，焊接电流为 $65\sim 70\text{A}$ 。运弧时，电弧呈月牙形摆动。小管水平固定外填丝法焊接路线见图 3-11。

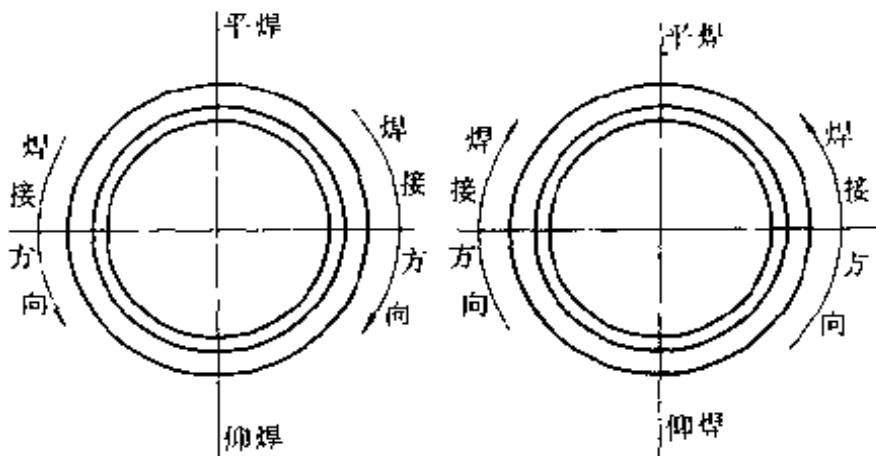


图 3-11 小管水平固定外填丝 TIG 焊焊接路线

(1) 立向上焊接 焊工位于焊管下方，仰视管接头，左手握焊枪，右手握焊丝，自管子仰焊位置（时钟 6 点钟位置）引弧，逆时针焊至时钟 3 点钟位置收弧。然后改用右手握焊枪，左手握焊丝自仰焊位的 A 处焊缝上引弧，在电弧燃烧稳定后，将电弧向左移至 B 处开始送丝焊接，顺时针由时钟 6 点位置仰爬坡焊至时钟 9 点位置变立焊，立焊爬坡焊至时钟 12 点位置收弧，收弧时注意填满弧坑。在左半部焊接过程中，焊枪与焊丝、管子之间的夹角见图 3-12。

焊接右半部时，焊工右手握焊枪，左手握焊丝，在时钟 3 点钟位置焊缝 A 处引弧，当电弧燃烧稳定后，迅速将电弧移至 B 处开始送丝焊接，逆时针由时钟 3 点位置向上立焊爬坡焊至 12 点位置平焊，在收口处熄



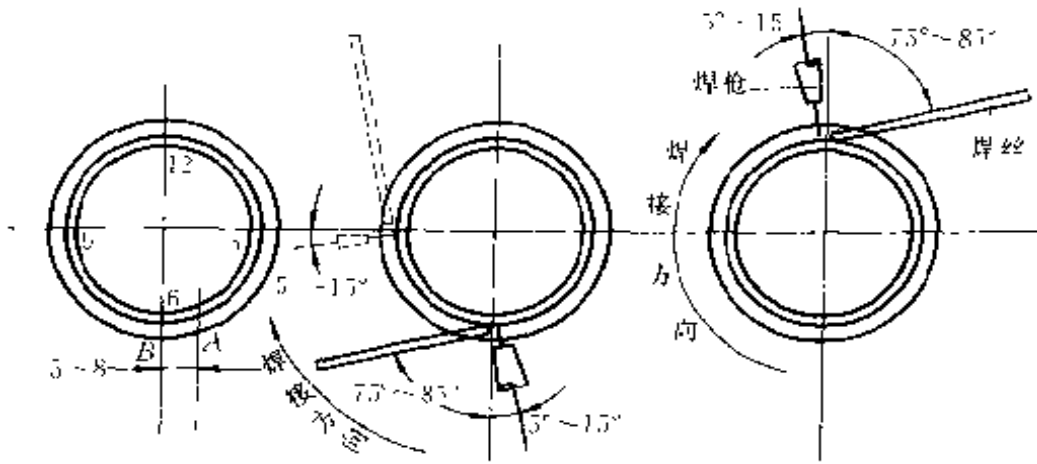


图 3 12 水平固定左半部立向上外填丝 TIG 焊

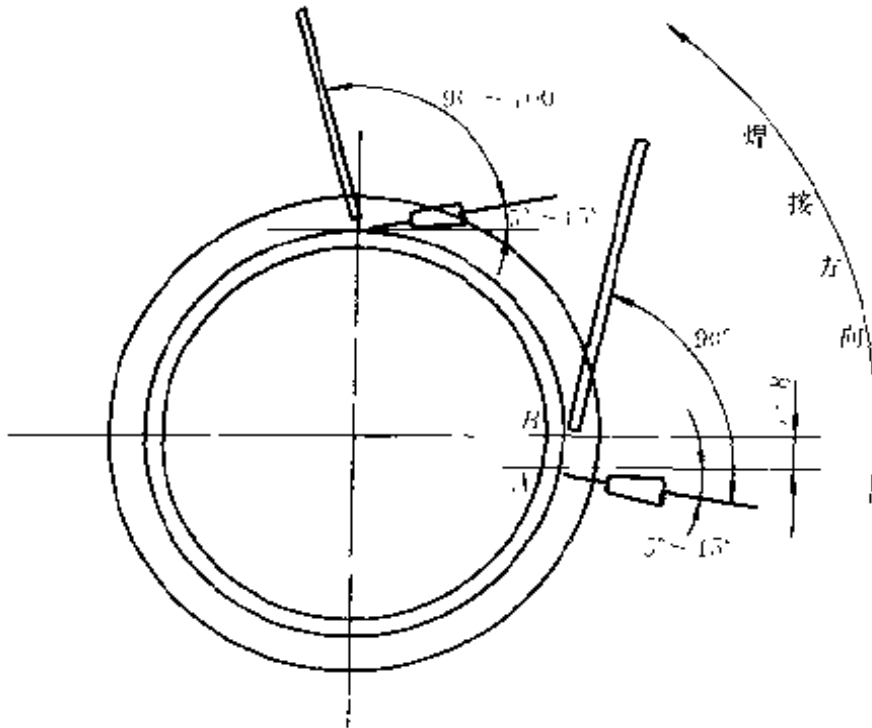


图 3 13 小管水平固定右半部 3 点位置至 12 点位置的外填丝 TIG 焊

弧。熄弧时注意填满弧坑。焊枪、焊丝和管子之间的角度见图 3-13。

(2) 立向下焊接 焊前在时钟的 12 点位置、6 点位置进行定位焊接。定位焊点要饱满，先在时钟的 3 点位置引弧焊接。这时焊工右手握焊枪，左手握焊丝，焊丝沿焊管的切线位置送入电弧下面气体保护区，

当焊接坡口根部有“出汗”现象时，即送入焊丝熔化。送丝动作要稳，熔化一滴后立即将焊丝退出电弧区，但要停在气体保护范围内。等待第

二次送入焊丝，如此周而复始，焊缝由时钟的3点位置焊起，至6点位置A处熄弧。熄弧时应注意填满弧坑。焊枪、焊丝和管件之间的角度见图3-14。

焊工右手握焊枪，左手握焊丝，在时钟9点位置处引弧，沿逆时针方向焊接，焊至仰焊位置（时钟6点位置）熄弧。焊枪、焊丝、管件之间的角度见图3-15。

焊工左手握焊枪，右手握焊丝，自时钟12点A位置引弧顺时针方向焊接。焊枪、焊丝、管子之间的角度见图3-16。

在时钟3点位置收口熄弧，熄弧时注意填满弧坑。

焊工右手握焊枪、左手握焊丝，自时钟12点位置引弧，逆时针方向焊接，焊至9点位置收口熄弧。焊枪、焊丝、管件之间的角度见图3-17。

外填丝立向下焊接时，要求焊工能左、右手都能握焊枪，左、右手

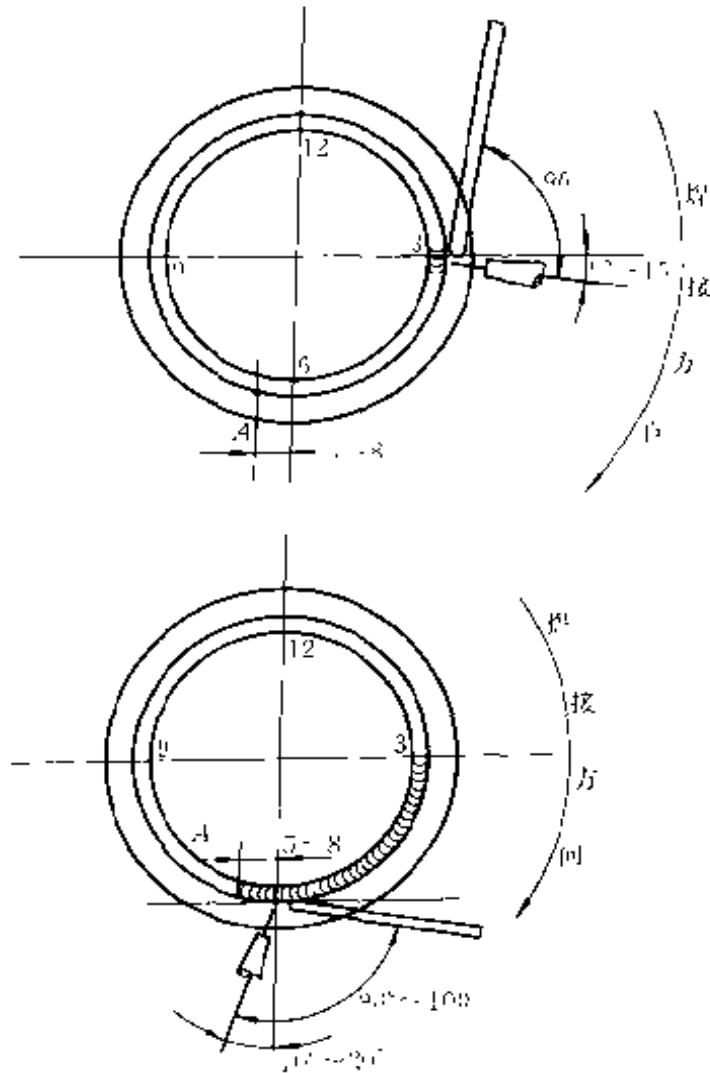


图 3-14 小管水平固定右半部立向下外填丝3点位置至6点位置TIG焊

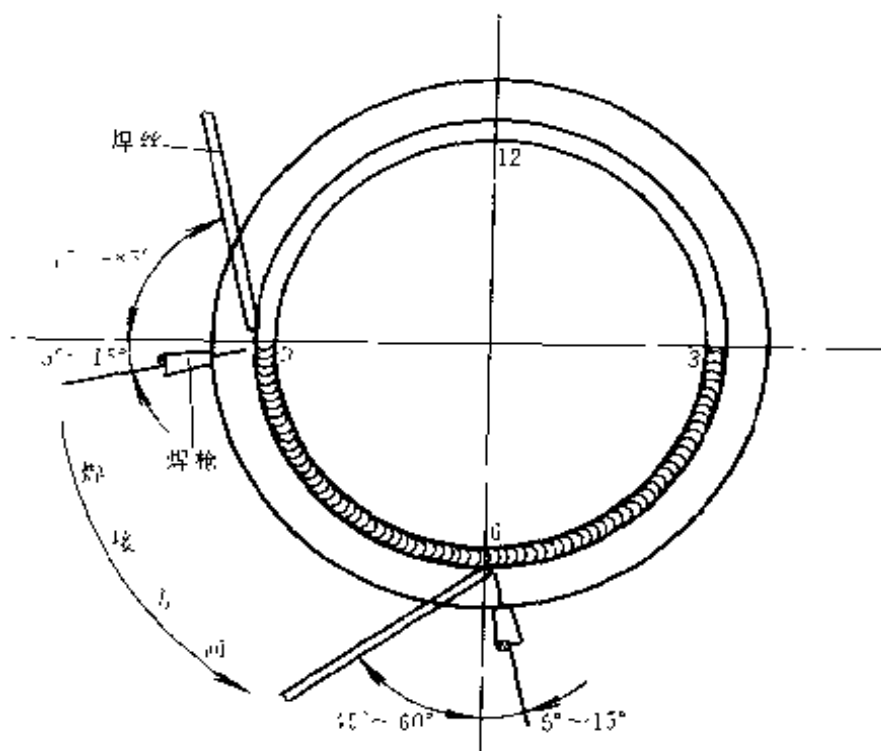


图 3-15 小管水平固定左半部立向下 9 点位置至 6 点位置外填丝 TIG 焊

都能稳定而准确地进行焊丝的填丝动作,在进行填丝动作时,注意焊丝不要与钨极相碰,以免焊缝出现夹钨。

综上所述,外填丝法适用于焊接各类管径和各种空间位置的焊件。坡口根部间隙可以小于焊丝直径。内填丝法焊接,适用于各种小直径管仰焊位置的焊接,工艺简单,容易焊透,但要求焊缝的间隙大于焊丝直径。在实际焊接生产过程中,受各种因素的影响,需要焊工按焊件的实际情况,选择填丝方法。

### (二) 自熔法打底焊操作技术

这种方法适用于小直径管的焊接,焊接过程中不需要填充焊丝,能焊各类钢材。在组装管子定位焊接时,接头无间隙。V形坡口或双V形坡口的管子对接焊时,钝边为 0.5~1mm, U形坡口的管子对接焊时,其钝边应为 1.8~2mm。焊接过程中钨极始终与熔池相垂直,这样,在氩气层流的保护下,钝边将被很好地熔化。由于某种原因造成管子接头

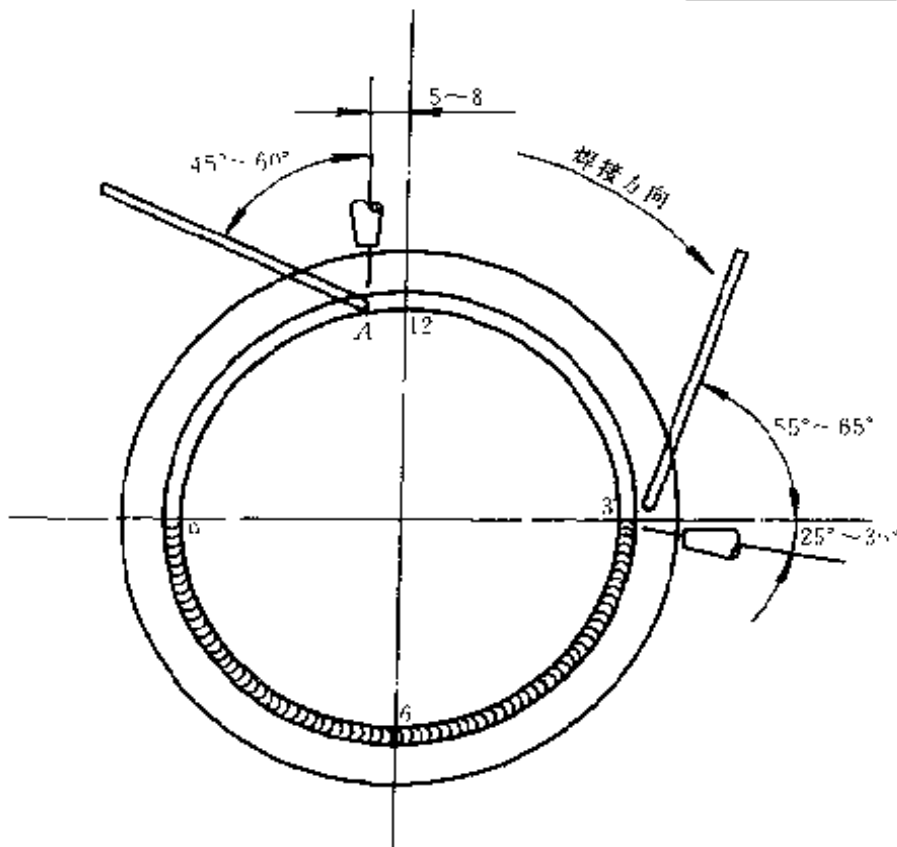


图 3-16 小管水平固定右半部立向下 12 点位置至  
3 点位置外填丝 TIG 焊

的内壁个别处有错口时，钨极应对准内壁较突出的一侧，以确保熔透。焊接速度不宜过慢，焊接电流也不宜过大，以防止焊缝发生过烧缺陷。

过烧缺陷是指打底层焊缝的背面烧坏，呈颗粒状，十分坚硬。在实际焊接过程中，打底焊和电弧盖面焊都有可能发生过烧，所以，在焊接过程中要特别注意防止过烧。常用的过烧防止方法是：

(1) 控制焊接热量 焊接速度过慢或焊接电流太大，都有可能因为焊接热输入过大而使焊缝过烧。这时焊缝的外表面呈蓝色，背面出现颗粒状，过烧轻微的，焊缝背面十分粗糙。

(2) 充氩保护 合金成分比较复杂的管子，特别是含铬量较高时，在焊接过程中极易过烧。这时的焊缝背面成形不良、粗糙并有颗粒出现。所以，焊接这类管子时，必须采用管内充氩的办法，防止铬元素氧化，以免产生过烧缺陷。氩气保护效果的鉴定有两种方法：试验法与颜色鉴别法见表 3-165。

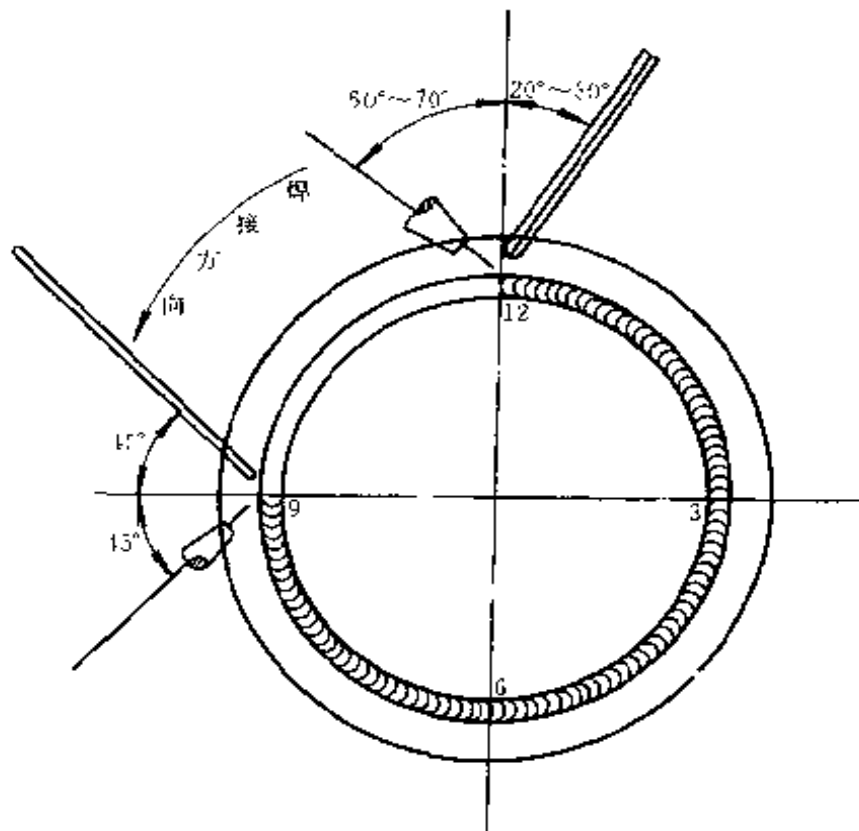


图 3-17 小管水平固定左半部立向下 12 点位置至 9 点位置外填丝 TIG 焊

表 3-165 氩气保护效果的鉴定方法

鉴定方法	操作内容	备注
试验法	按选定的焊接工艺在试板上引弧焊接，保持焊枪不动，电弧燃烧 5~10s 后熄弧。检查熔化焊点及其周围有无明显的白色圆圈	白色圆圈越大，保护效果越好
颜色鉴别法	在试板上焊接，焊后观察焊缝表面的氧化颜色： 不锈钢：表面呈银白色和黄色最好，蓝色次之，灰色不良，黑色最差 钛及钛合金：银白，淡黄色最好，深黄色次之，深蓝色最差 铝及铝合金：焊缝两侧出现一条亮白色条纹，则保护效果最好	母材不同，焊接氧化后的颜色也不同

### 三、管对接水平固定障碍焊

管对接水平固定障碍焊试件示意图如图 3-18 所示。

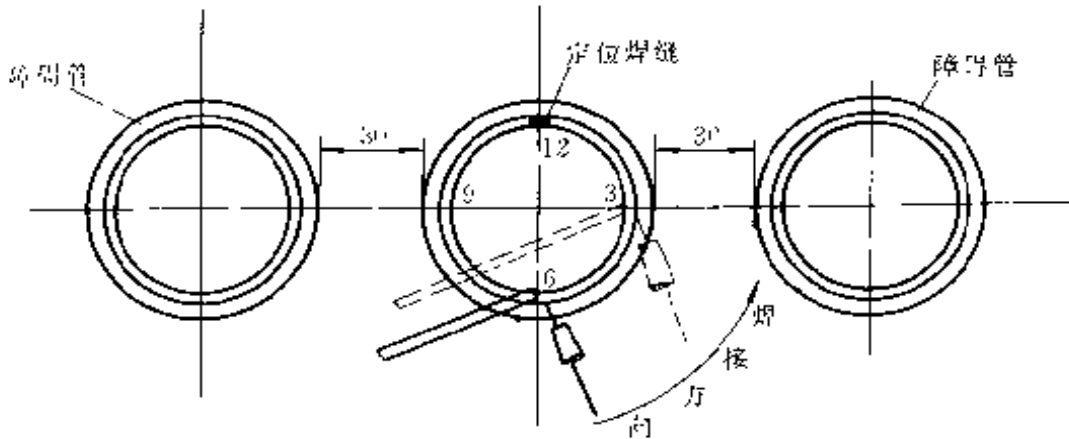


图 3-18 管对接水平固定障碍焊试件示意图

#### (一) 技术条件

(1) 焊接方法 手工钨极氩弧焊打底，焊条电弧焊盖面。

(2) 焊接电源 WS-300 和 BX3-500。

电流种类 手工钨极氩弧焊为直流正接；焊条电弧焊为交流。

(3) 母材 10 钢，规格为  $\phi 51\text{mm} \times 3.5\text{mm}$ 。

(4) 焊接材料 氩弧焊为氩气和  $\phi 2.5\text{mm}$  的 TG50 (H08) 焊丝；焊条电弧焊为  $\phi 2.5\text{mm}$  的 E4303 焊条，焊条烘干温度为  $150 \sim 200\text{C}$ ，保温 2h。

(5) 焊接接头坡口形式及尺寸 管对接水平固定障碍焊的坡口形式及尺寸见图 3-19。

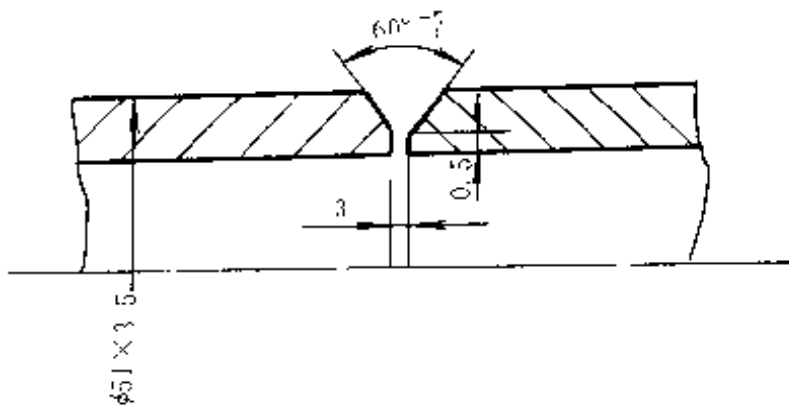


图 3-19 管对接水平固定障碍焊的坡口形式及尺寸

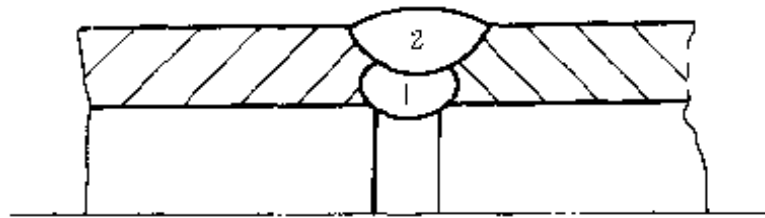


图 3-20 管对接水平固定障碍焊的焊层分布

1 层 (打底层) 氩弧焊 2 层 (盖面焊) 焊条电弧焊

(6) 焊层分布 管对接水平固定障碍焊的焊层分布见图 3-20。

(7) 焊接参数 管对接水平固定障碍焊采用氩弧焊、焊条电弧焊的焊接参数见表 3-166；焊缝尺寸见表 3-167。

(一) 手工钨极氩弧焊焊打底层

表 3-166 管对接水平固定障碍焊采用氩弧焊、焊条电弧焊的焊接参数

焊层	钨极直径 /mm	焊丝直径 (条) /mm	焊接电流 /A	电弧电压 /V	钨极伸出长度 /mm	喷嘴直径 /mm	氩气流量 (L/min)
1 (TIG 焊)	3	2.5	90~100	15~17	6~8	φ10~φ14	7~10
2 (焊条电弧焊)		2.5	65~70	22~26	—	—	—

表 3-167 管对接水平固定障碍焊的焊缝尺寸 (mm)

焊缝尺寸	焊缝宽度	宽度差	余高	余高差	
正面	比坡口每侧宽 0.5~2.5	<3	0~4	<3	焊缝整齐、 平滑、均匀
背面	—	—	通球检验球直径 为 $0.85D_{内}^{(1)}$	—	

①  $D_{内}$  为管内径。

### 1. 焊前准备

1) 焊前清理 在坡口及坡口边缘各 10~15mm 范围内采用机械清理法, 将油、污、锈、垢、氧化皮清除, 直至呈现金属光泽, 焊丝也要进行同样的清理。

2) 定位焊 清理完的焊件, 焊前要用手工钨极氩弧焊进行定位焊, 定位焊三处, 定位焊缝的位置在时钟的 3 点、9 点和 12 点位置, 定位焊缝长 5~8mm, 定位焊缝厚度为 3~4mm, 且焊接质量合格, 无夹渣、裂纹、气孔等缺陷。定位焊缝位置见图 3-21。

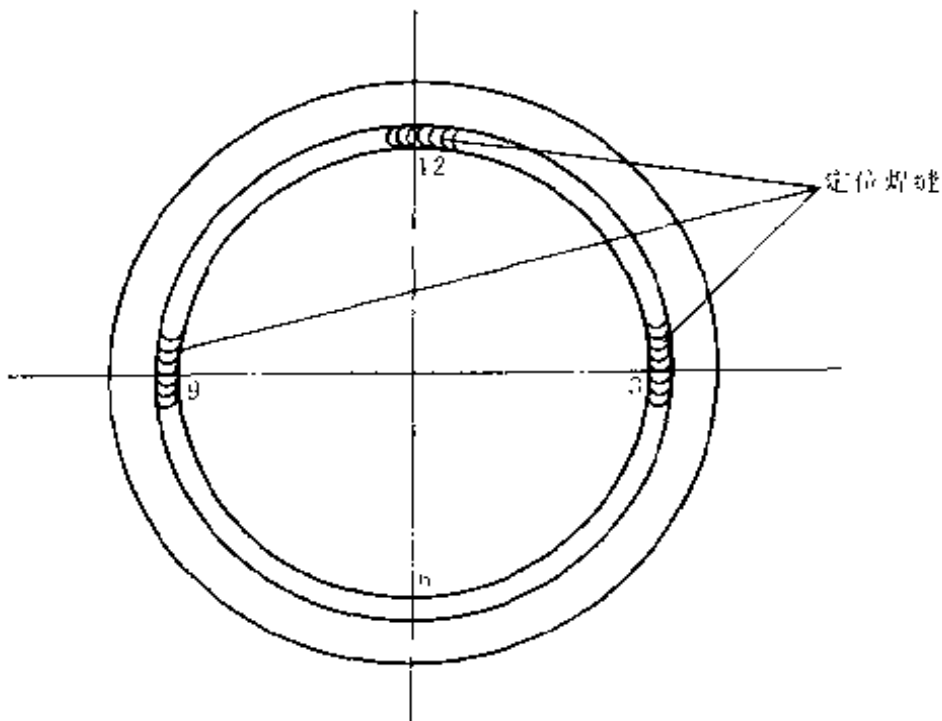


图 3-21 管对接水平固定障碍焊定位焊缝的位置

定位焊缝焊完后, 应进行定位焊缝两端斜坡的修磨, 目的是为了便于焊全缝时接头方便, 接头修磨尺寸见图 3-22。

### 2. 焊接操作

水平固定管在有障碍的情况下焊接时, 焊接过程应分成左、右两半圈进行。

1) 引弧前, 提前 5~10s 供气, 排除待焊处的空气及检查保护气流流量是否稳定。



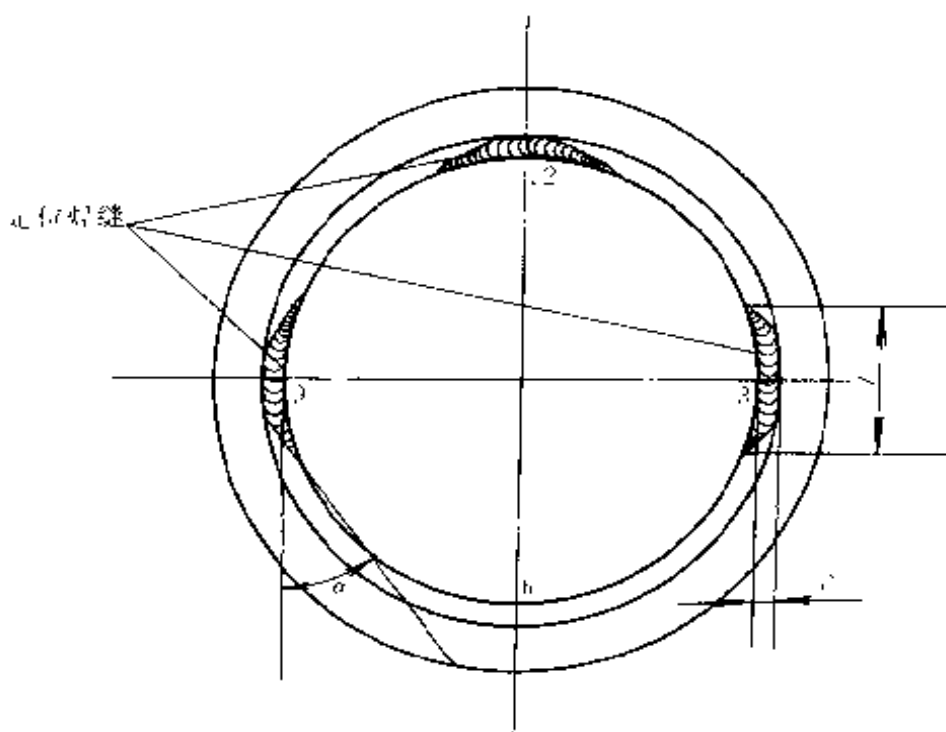


图 3-22 管对接水平固定障碍焊定位焊缝接头的修磨尺寸

$$\alpha = 25^\circ \sim 30^\circ \quad l = 5 \sim 8\text{mm} \quad \delta = 3 \sim 4\text{mm}$$

2) 引弧：先焊时钟 6 点至 3 点位置的焊缝或 6 点至 9 点位置的焊缝，引弧点都是在仰焊位置前 8~10mm 的 A (A') 点。引弧时，采用接触法用高频引弧。引弧位置及熄弧位置见图 3-23。

3) 引弧后开始控制弧长，使弧长为 2~3mm，同时，还要使弧长对准坡口两侧加热，钝边熔化并形成熔池时，立即填充焊丝进行焊接。

4) 填丝方法：采用内填丝法进行仰焊部位及仰焊爬坡部位焊缝的焊接。时钟 3 点位置逆时针至 12 点位置、时钟 9 点位置顺时针至 12 点位置爬坡焊缝用外填丝法焊接。填丝方法见图 3-24。

5) 焊接角度：由于水平位置有障碍管，影响焊接操作，所以，在不受障碍管制约的情况下，尽量向上焊至 5 点或 9 点位置以上，为时钟 3 点至 12 点位、9 点至 12 点爬坡焊缝接头创造良好条件。

6) 熄弧：当前半圈焊接焊至时钟 12 点位置时，熄弧点应在 12 点位置前 8~10mm 的 B<sub>1</sub> 处，为防止出现冷缩孔，在熄弧前应填满弧坑。在熔池颜色完全变暗后停止送气。

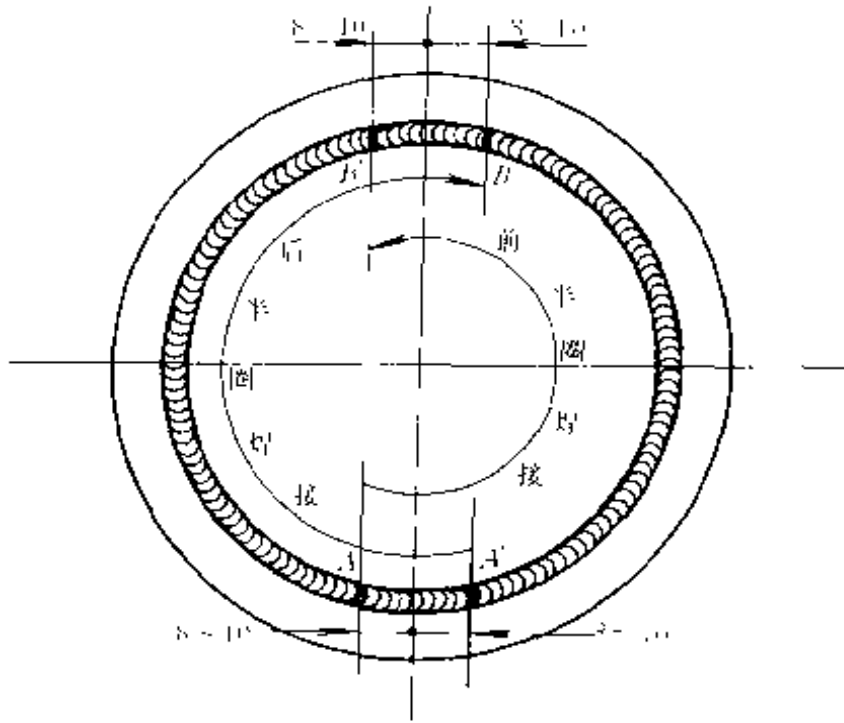


图 3-23 管对接水平固定障碍焊电弧引燃及熄弧位置

A、A'—引弧点 B、B'—熄弧点

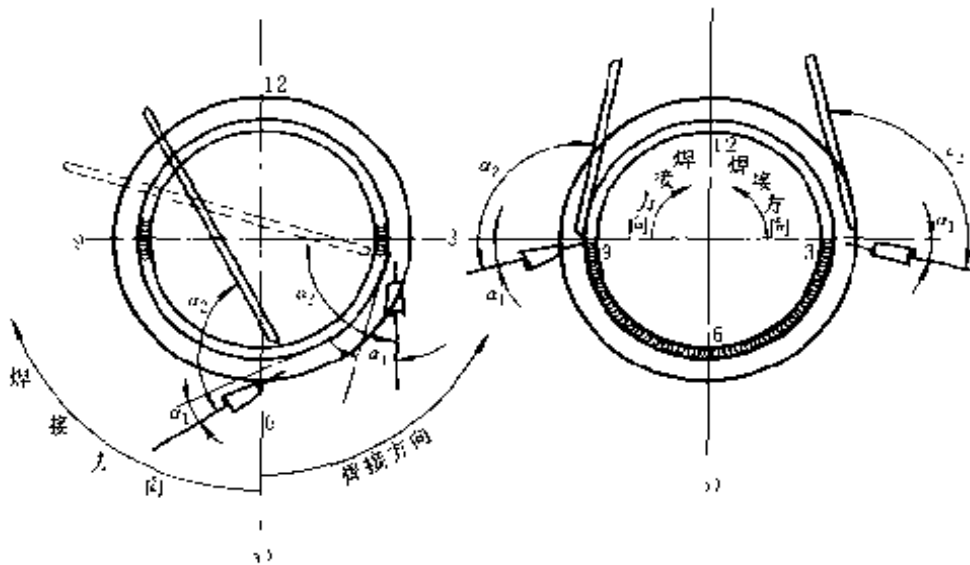


图 3-24 管对接水平固定障碍焊手工钨极氩弧焊打底的内、外填丝方法

a) 内填丝 b) 外填丝

$\alpha_1 = 5^\circ \sim 15^\circ$   $\alpha_2 = 120^\circ$

7) 焊接过程中的注意事项

① 焊接过程中焊丝终端应始终处在氩气保护范围内。

② 钨丝端部严禁与焊丝、焊件相接触，防止造成钨夹杂。

③ 焊接打底层时，每半圈应一气呵成，遇到障碍管影响中途停焊时，要进行重新引弧处与原熄弧处接头的修磨，修磨尺寸见图 3-23。停焊后重新引弧焊接时，注意引弧后焊缝应与原焊缝重叠 5~10mm。

(三) 焊条电弧焊盖面层

手工钨极氩弧焊打底层焊接完后，经过认真清理焊道，用焊条电弧焊进行盖面层焊接。

盖面层焊接时，运条方法可以采用月牙形或横向锯齿形，运条的角度如图 3-25 所示。焊接起始点是在时钟 6 点钟位置，仰焊爬坡焊至时钟 3 点位置或时钟 9 点位置，然后躲过障碍管由时钟 3 点位置或 9 点位置，爬坡焊焊至时钟 12 点位置，熄弧点在时钟 12 点位置，熄弧点焊缝应互相重叠 5~10mm。

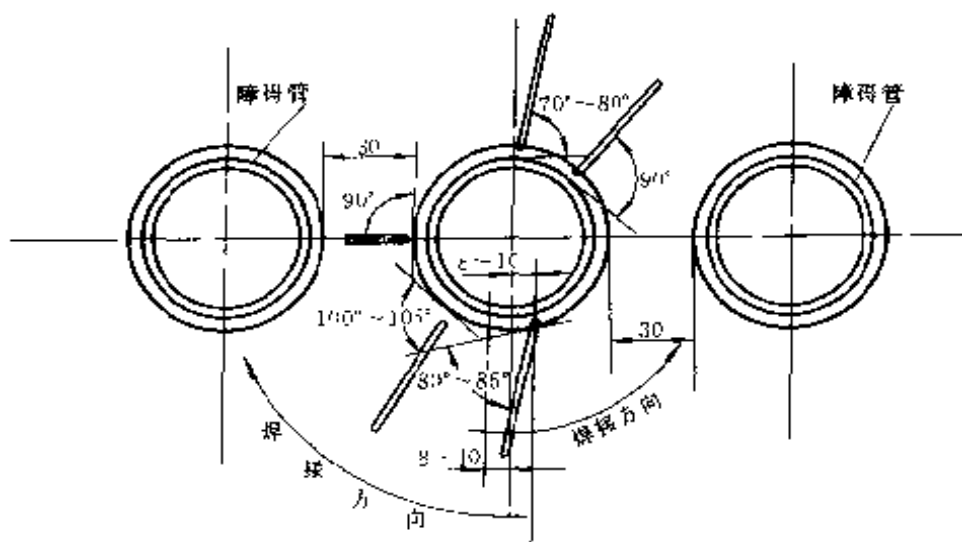


图 3-25 管对接水平固定障碍焊焊条电弧焊盖面层焊接的焊条角度

焊接时，焊条在坡口两侧稍作停留，并熔化两边缘各 1~2mm。换焊条或断弧后再引弧，应该在弧坑上方 10mm 处引弧。其余详见第一章第三节基本操作技术。

#### 四、管对接垂直固定障碍焊

管对接垂直固定障碍焊试件示意图如图 3-26 所示。

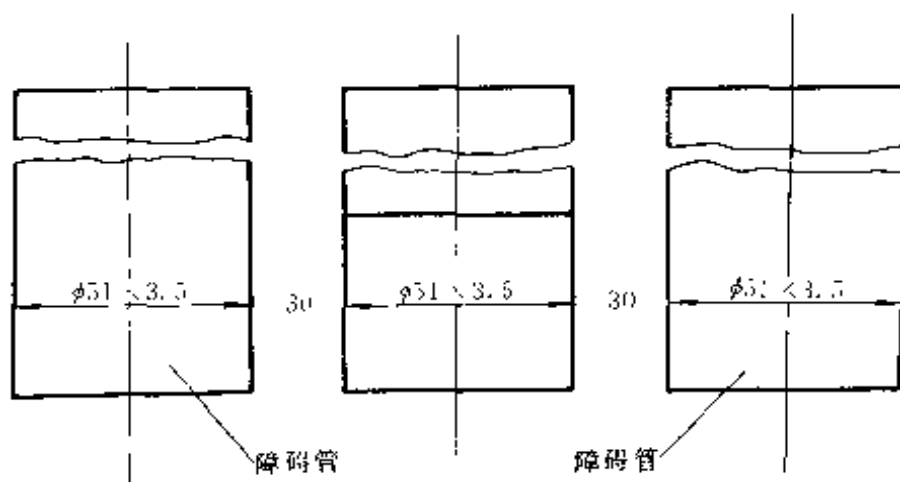


图 3-26 管对接垂直固定障碍焊试件的示意图

##### (一) 技术条件

(1) 焊接方法 手工钨极氩弧焊打底，焊条电弧焊盖面。

(2) 焊接电源 WS-300 和 BX3-500。

电流种类 手工钨极氩弧焊为直流正接；焊条电弧焊为交流。

(3) 母材 10 钢，规格为

$\phi 51\text{mm} \times 3.5\text{mm}$ 。

(4) 焊接材料 氩弧焊为 Ar 和  $\phi 2.5\text{mm}$  的 H08 焊丝；焊条电弧焊为  $\phi 2.5\text{mm}$  的 E1303 焊条，焊条烘干温度为  $150 \sim 200^\circ\text{C}$ ，保温 2h。

(5) 焊接接头坡口形式及尺寸 管对接垂直固定障碍焊焊接接头的坡口形式及尺寸见图 3-27。

(6) 焊层分布 管对接垂直固定障碍焊的焊层分布

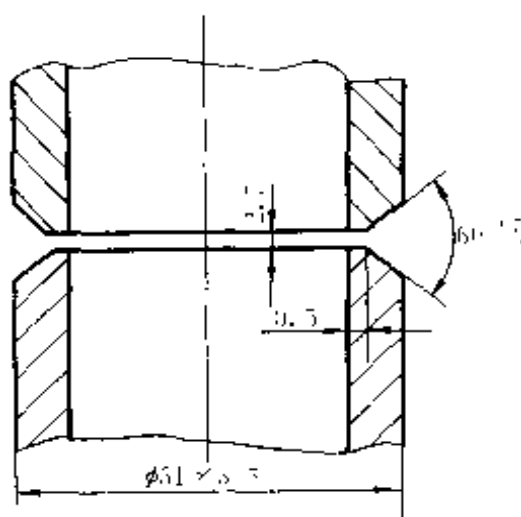


图 3-27 管对接垂直固定障碍焊焊接接头的坡口形式及尺寸

见图 3-28。焊缝 1 (打底层) 用手工钨极氩弧焊焊接, 焊缝 2~3 (盖面层) 用焊条电弧焊焊接。

(7) 焊接参数 管对接垂直固定障碍焊手工钨极氩弧焊和焊条电弧焊的焊接参数见表 3-168, 焊缝尺寸见表 3-169。

(二) 手工钨极氩弧焊打底层

1. 焊前准备

1) 焊前清理 在坡口及坡口边缘各 10~15mm 范围内采用机械清理法, 将油、污、锈、垢、氧化皮清除, 直至呈现金属光泽, 焊丝也要进行同样的清理。

2) 定位焊 清理完的焊件, 焊前要进行定位焊, 定位焊缝为两条, 两条相隔 180°, 定位焊缝长 5~8mm, 定位焊缝厚度为 3~4mm, 定位焊缝的焊接质量应合格,

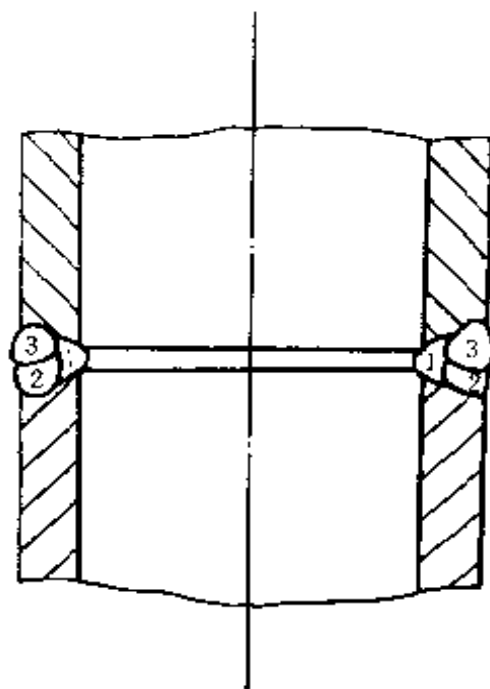


图 3 28 管对接垂直固定障碍焊的焊层分布

表 3-168 管对接垂直固定障碍焊手工钨极氩弧焊和焊条电弧焊的焊接参数

焊层	钨极直径 /mm	焊丝直径 (条) /mm	焊接电流 /A	电弧电压 /V	钨极伸出长度 /mm	喷嘴直径 /mm	氩气流量 / (L/min)
1 (TIG 焊)	3	2.5	90~100	15~17	6~8	10~14	7~10
2、3 (焊条电弧焊)	—	2.5	65~70	22~26	—	—	—

表 3 169 管对接垂直固定障碍焊焊缝的尺寸 (mm)

焊缝尺寸	焊缝宽度	宽度差	余高	余高差	要求
正面	比坡口每侧宽 0.5~2.5	<3	0~4	<3	焊缝整齐、 平滑、均匀
背面			通球检验通球 直径 $0.85D_{内}$	--	

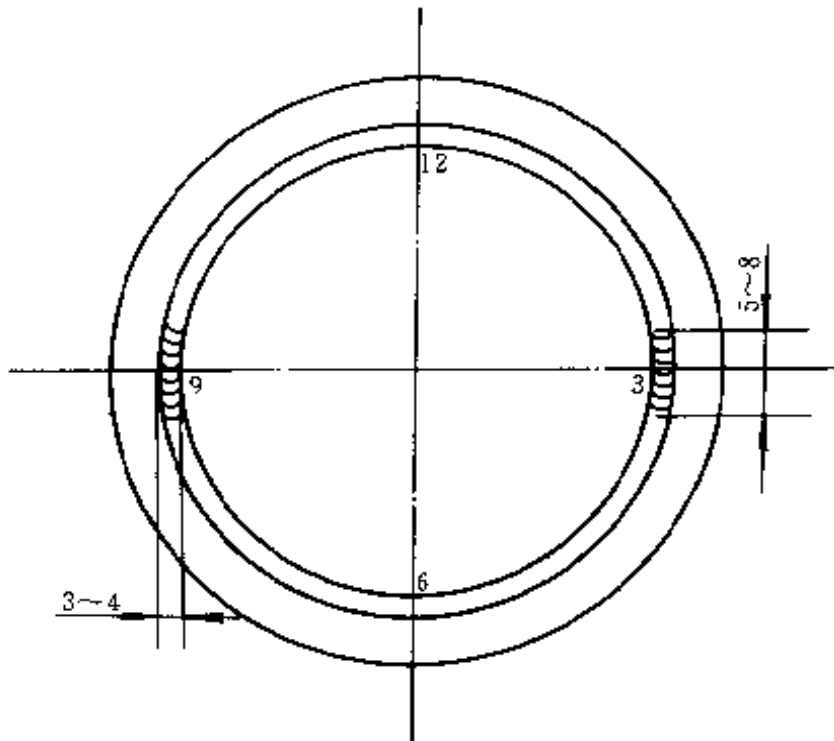


图 3 29 管对接垂直固定障碍焊定位焊缝的位置

无夹渣、裂纹、气孔等缺陷，用 TIG 焊定位。定位焊缝位置见图 3-29。

定位焊缝焊完后，应进行定位焊缝两端斜坡的修磨，以便焊全缝时接头处焊接顺利，接头处定位焊缝的修磨尺寸见图 3-30， $\alpha=25^\circ\sim 30^\circ$ ， $\delta=3\sim 4\text{mm}$ 。

## 2. 焊接操作

在时钟 3 点和 9 点位置上进行定位焊，起焊点在时钟 6 点位置。把全部焊缝分为（按时钟位置）6 点至 3 点、3 点至 12 点、6 点至 9 点、9 点至 12 点四部分。

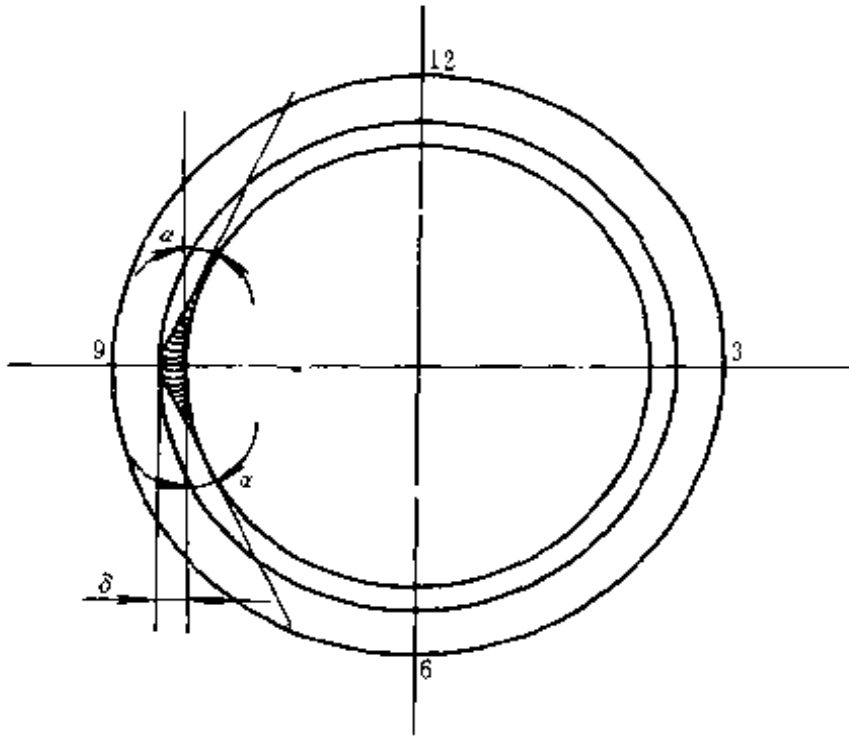


图 3-30 管对接垂直固定障碍焊定位焊缝的修磨尺寸

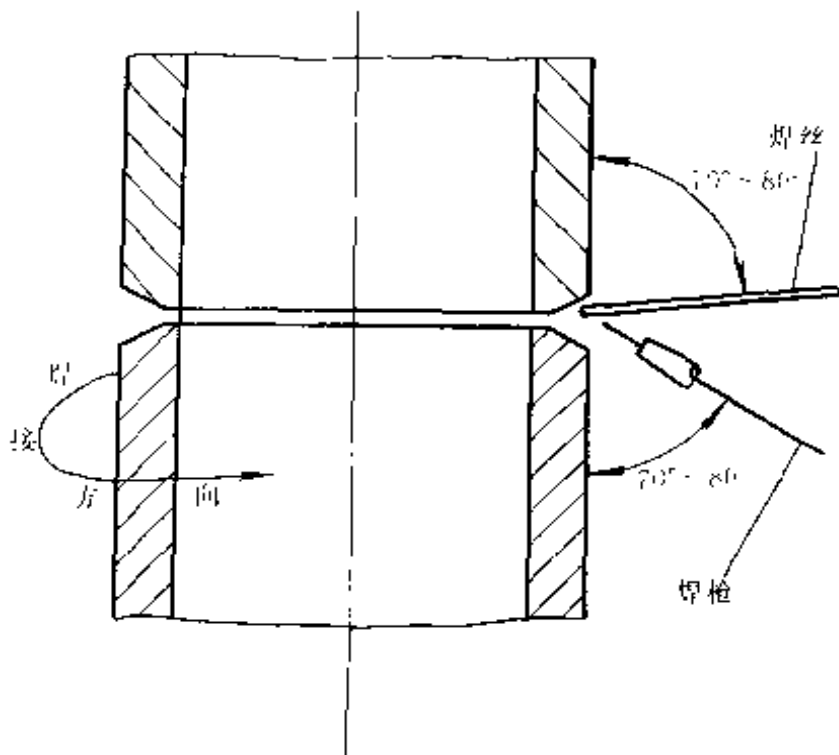


图 3-31 管对接垂直固定障碍焊焊丝、焊枪与管子轴线的夹角

1) 引弧前, 提前 5~10s 供气, 排除管内空气及检查保护气体流量是否稳定。

2) 引弧: 先焊时钟 6 点位置至 3 点位置焊缝或 6 点至 9 点位置焊缝。引弧时采用高频引弧。

电弧引燃后, 控制弧长为 2~3mm 为宜。将电弧对准坡口及坡口两侧加热, 使钝边逐渐熔化并形成熔孔后, 填丝进行焊接。

3) 采用外填丝法进行焊接。

4) 焊接过程中, 焊丝和焊枪、焊枪与管子都有角度要求, 夹角大小见图 3-31 和图 3-32。

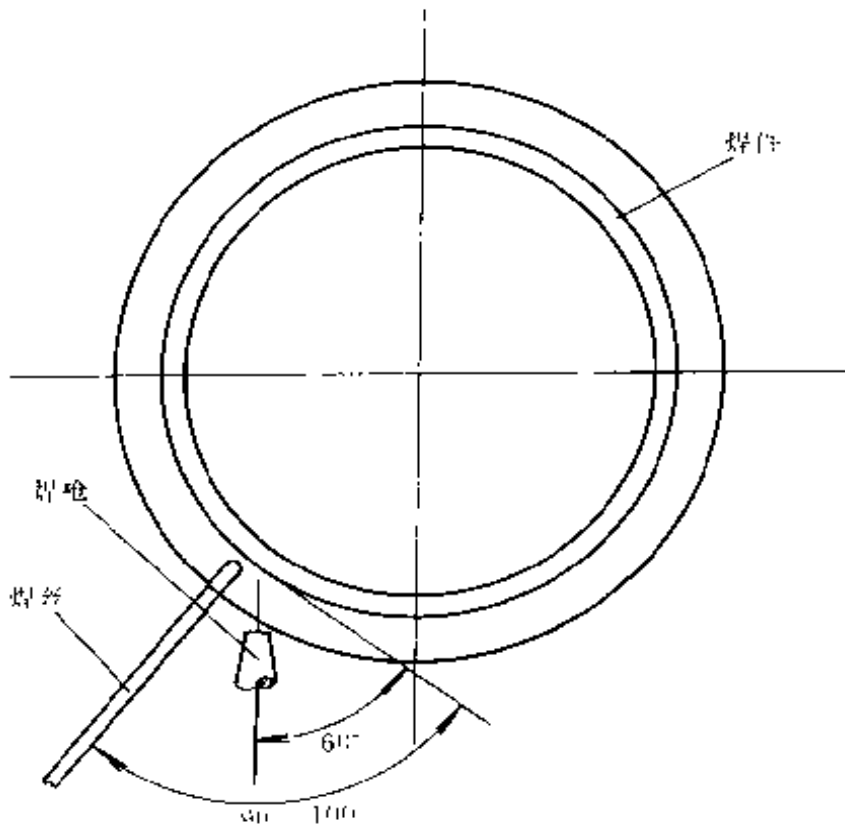


图 3-32 管对接垂直固定障碍焊焊丝、焊枪与管子切线的夹角

5) 当焊至障碍管位不能再继续焊接(障碍管分别在时钟 3 点位置和 9 点位置)或焊丝不够长时, 需要停止焊接, 这时熄弧操作要注意填满弧坑。熄弧后, 待焊缝颜色变暗后再停止送气。

6) 焊接过程中的注意事项



- ① 焊丝在焊接过程中，端部始终要处在氩气保护范围内。
- ② 钨极端部要严禁与焊丝、焊件相接触，防止造成钨夹杂。
- ③ 打底层焊接中途停止时，为了保证再引弧时背面能溶透，停弧时要进行接头处焊缝的修磨，修磨尺寸见图 3-33。停焊后重新焊接时，后焊的焊缝应与先焊的焊缝重叠 5~10mm。

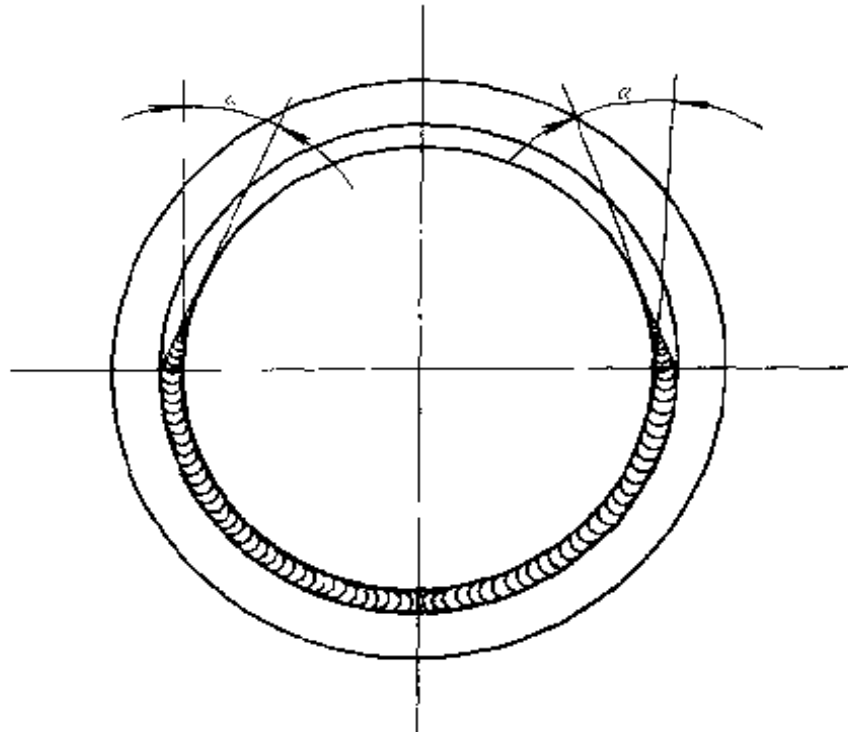


图 3-33 管对接垂直固定障碍焊焊缝接头处的修磨尺寸

$$\alpha = 25^{\circ} \sim 30^{\circ}$$

### (三) 焊条电弧焊盖面层

用手工钨极氩弧焊焊完打底层焊缝后，仔细清理焊道，用焊条电弧焊进行盖面层焊接。盖面层焊缝为两道。先焊焊道 2，焊条与管子下侧夹角为  $80^{\circ}$  左右，使  $1/3$  电弧落在母材上，并使立管下坡口边缘熔化约  $1 \sim 2\text{mm}$ ，采用连弧焊法，焊接方向从左向右，呈椭圆运条，并始终保持短弧施焊，遇障碍管停止焊接时，要注意在熄弧前尽量往前焊，以方便躲过障碍管后重新引弧。焊缝接头方法可采用热接法或冷接法，焊缝到收口位置时，与始焊端搭接  $5 \sim 10\text{mm}$ ，将电弧向斜上方带，然后熄

弧。

焊接第三道焊缝时,焊条与管件下侧夹角为 $90^\circ$ 左右,焊接电弧 $1/3$ 落在第二道焊缝上, $2/3$ 落在母材上,使上坡口边缘熔化约 $1\sim 2\text{mm}$ ,

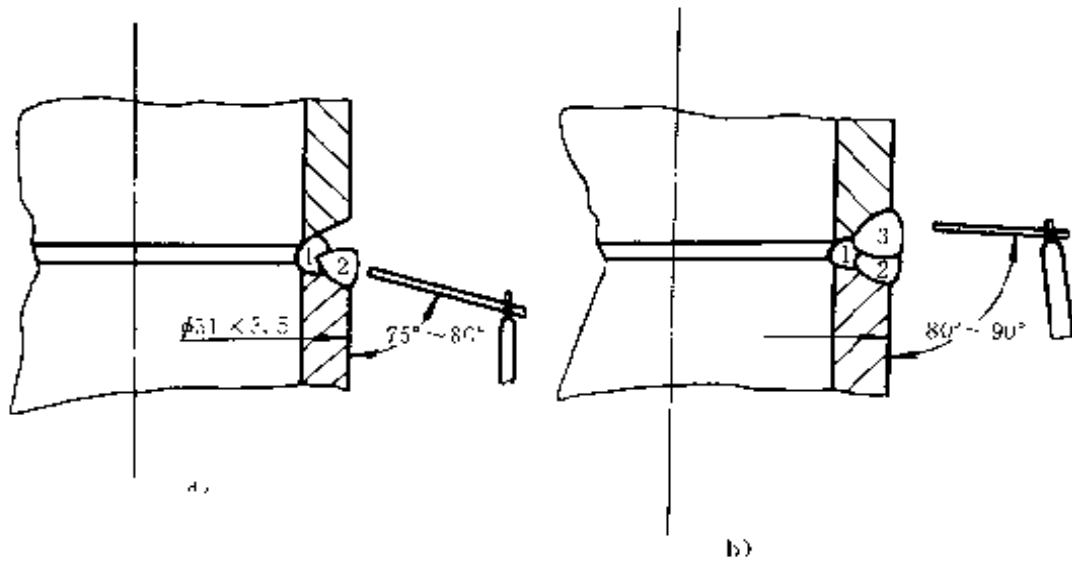


图 3-34 管对接垂直固定障碍焊焊接  
第二、三道焊缝时管子与焊条的夹角  
a) 第 2 道焊缝 b) 第 3 道焊缝

焊缝收口时,注意填满弧坑再熄弧。  
焊接第二、三道焊缝时,焊条与管子的  
夹角见图 3-31。

### 五、 $\text{CO}_2$ 气体保护焊的操作技术

#### (一) 半机械化 $\text{CO}_2$ 气体保护焊 操作技术

##### 1. 引弧

半机械化  $\text{CO}_2$  焊引弧,常采用短路引弧法。引弧前,首先将焊丝端头剪去,因为焊丝端头往往有很大的球形直径,容易产生飞溅,造成引弧处焊缝缺陷。经剪断后的焊丝端部应为锐角,见图 3-35。

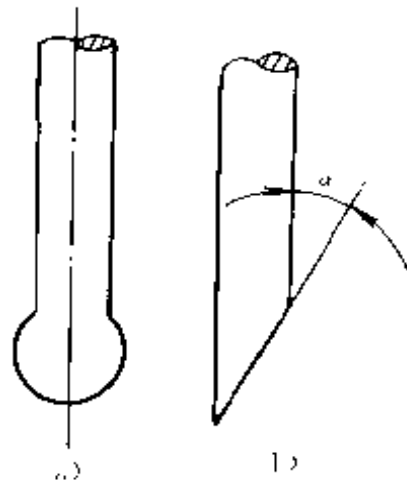


图 3-35 半机械化  $\text{CO}_2$  焊  
引弧前焊丝端部

a) 端头剪断前 b) 端头剪断后  
( $\alpha < 90^\circ$ )

焊丝伸出长度：细焊丝的伸出长度为 8~14mm，粗焊丝的伸出长度约为 10~20mm，引弧前焊丝端部应与焊件保持 2~3mm 的距离，引弧时焊丝与焊件接触不良或接触太紧，都会造成焊丝成段爆断。

在平焊位置进行对接焊接时，为消除在引弧端部产生的飞溅、烧穿、气孔及未焊透等缺陷，要求在引弧板上引弧。

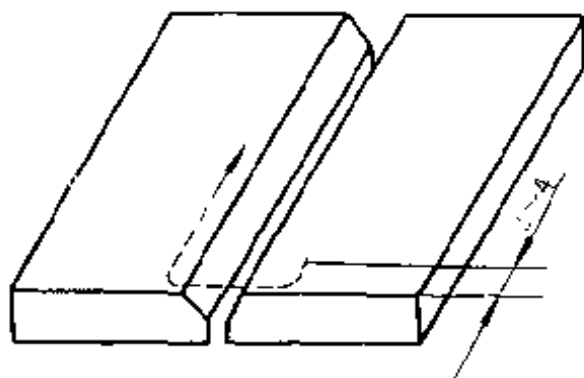


图 3-36 半机械化 CO<sub>2</sub> 焊的引弧示意图

不采用引弧板引弧技术而直接在焊件端部引弧时，可先在离焊缝端部 2~4mm 处引弧，然后再慢慢地将电弧移向焊缝端头，在电弧的作用下，待金属熔池形成后，再以正常的焊接速度由焊缝端头向前焊接，见图 3-36。

### 2. 定位焊

半机械化 CO<sub>2</sub> 气体保护焊定位焊时，要采用大电流、短时间以及快速送丝的焊接参数。

### 3. 各种位置的焊接操作要点

半机械化 CO<sub>2</sub> 焊各种位置的焊接操作要点见表 3-170。

## (二) 机械化 CO<sub>2</sub> 气体保护焊操作技术

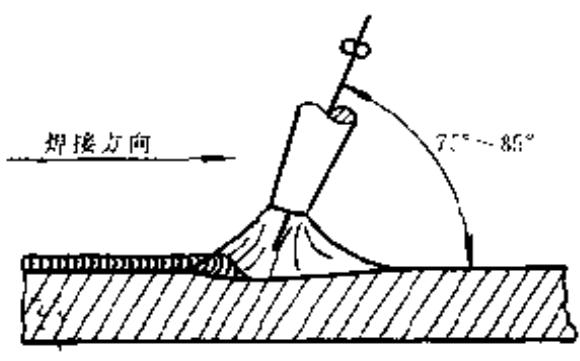
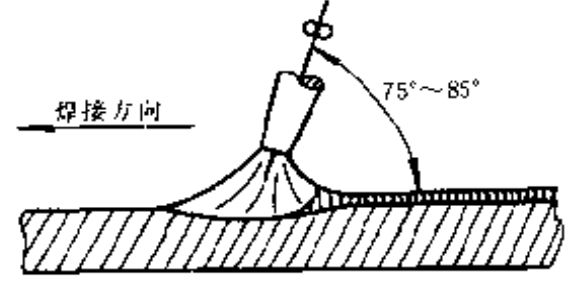
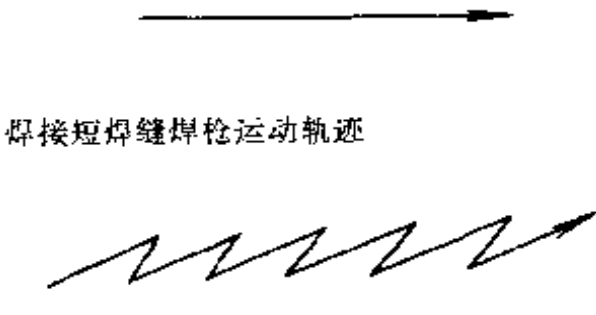
机械化 CO<sub>2</sub> 气体保护焊工艺，不仅能保障焊缝的质量，还可以大大提高劳动生产率和减轻焊工劳动强度，所以，平焊位置的长焊缝或环形焊缝的焊接，多采用机械化 CO<sub>2</sub> 气体保护焊。值得注意的是，机械化 CO<sub>2</sub> 焊时，对焊接参数的选择及焊件的装配精度都要求较为严格。

### 1. 平焊


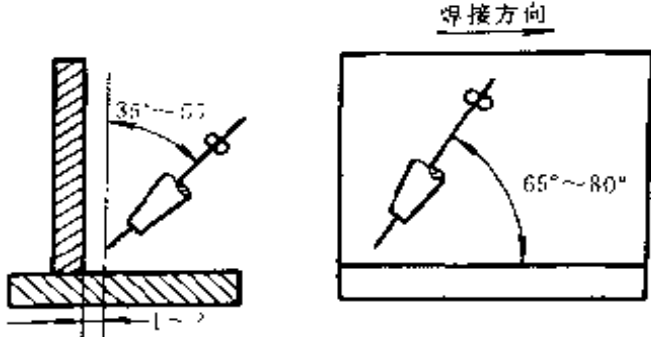
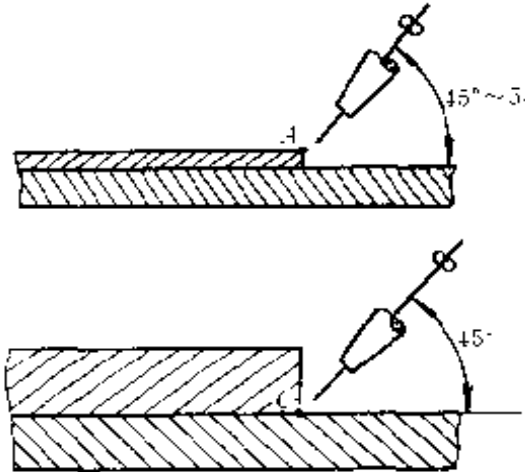
焊接板材长焊缝时，为了提高焊接生产率和保证焊缝能均匀焊透，可以采用表 3-171 方式焊接。

### 2. 环焊缝的焊接

表 3-170 半机械化 CO<sub>2</sub> 焊各种位置的焊接操作要点

焊接位置	图 示	操作要点
板对接平焊	 <p>右焊法</p>	<p>采用右焊法，焊道较窄；焊缝熔深较大，容易形成凸形焊道；在深坡口焊件焊接过程中，熔渣较多时效果好；焊接电弧指向焊缝，有焊缝缓冷作用</p>
	 <p>左焊法</p>	<p>左焊法焊接时，电弧指向未焊金属，有预热的作用；焊道宽而熔深小；焊接过程中，熔融金属容易向前流动；左焊法焊接时，便于观察焊接轴线和焊缝成形</p>
	 <p>焊接短焊缝焊枪运动轨迹</p> <p>焊接长焊缝焊枪运动轨迹</p>	<p>焊接薄板短焊缝时，焊枪走直线。焊接长焊缝时，焊枪应做直线往复和微量摆动的运动，摆动幅度不能太大，以免产生气孔</p>

(续)

焊接位置	图 示	操作要点
板对接平焊		<p>焊接厚板时，焊枪可以做适当的摆动或做螺旋形运动</p>
T形接头平角焊		<p>平角焊采用长弧焊，焊枪与垂直立板成 <math>35^{\circ} \sim 50^{\circ}</math> 角，与焊接方向成 <math>65^{\circ} \sim 80^{\circ}</math> 角，焊丝轴线对准水平板处距垂直立板根部为 <math>1 \sim 2\text{mm}</math></p> <p>平角焊短弧焊时，焊枪与垂直立板成 <math>45^{\circ}</math> 角，焊丝轴线直接对准垂直立板根部</p>
搭接平角焊		<p>上板为薄板的搭接接头，焊接时焊枪应对准 A 点。上板为厚板的搭接接头，焊接时喷嘴内焊丝应对准 C 点位置</p>

(续)

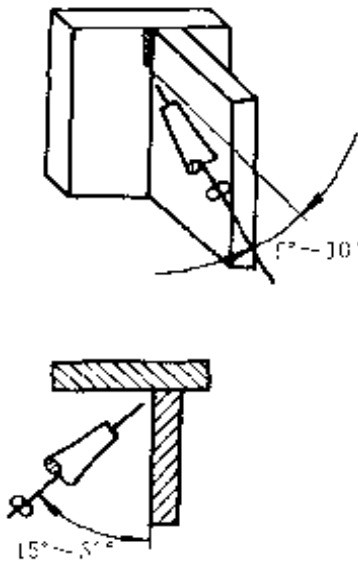
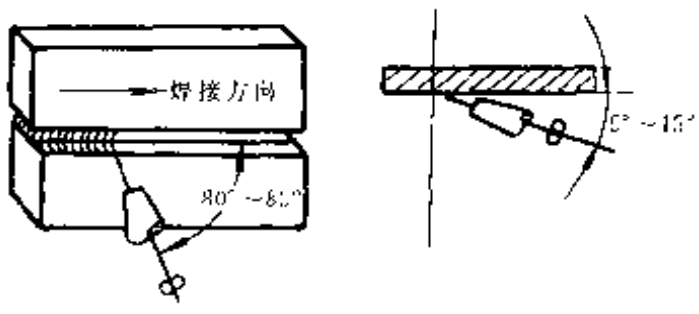
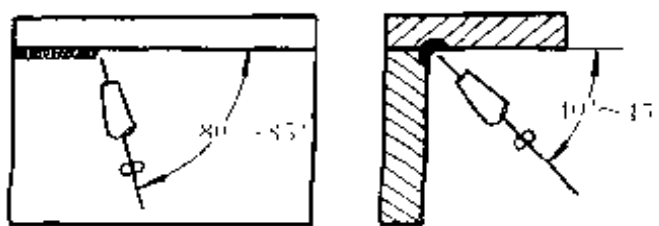
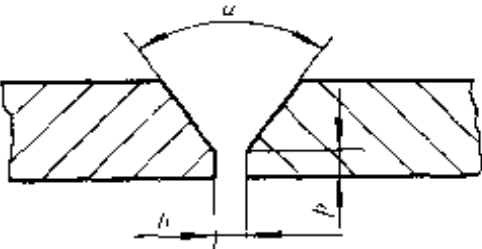
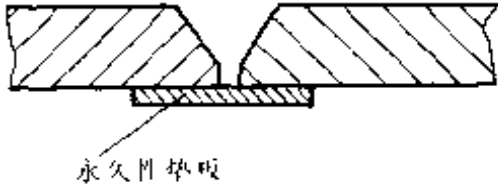
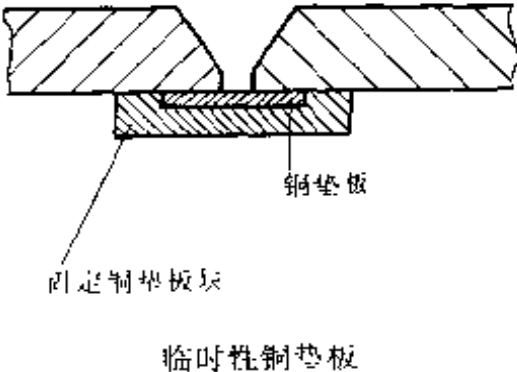
焊接位置	图 示	操作要点
板对接立角焊		<p>采用自下而上的焊接方法，焊接熔池的熔深大，焊缝余高较高，用三角形摆动焊枪操作，可以改善焊缝成形，适用于中、厚板的焊接</p> <p>自上而下的焊接方法，焊缝熔池金属不易下坠，焊缝成形美观，适用于薄板焊接</p>
板对接横焊		<p>多采用右焊法，焊接参数与立焊相同。焊枪可以作小幅度的前后往返摆动，防止熔池温度过高，使熔池金属下坠，形如泪滴状，摆动时动作要缓慢平稳，防止保护气层被破坏</p>
丁形接头仰角焊		<p>多采用细丝 <math>\text{CO}_2</math> 气体保护焊，采用较小的焊接电流，焊枪可做较小的前后往复摆动，防止熔化金属下淌。<math>\text{CO}_2</math> 气体的流量应稍大一些</p>

表 3-171 板对接平焊机械化 CO<sub>2</sub> 焊的工艺措施

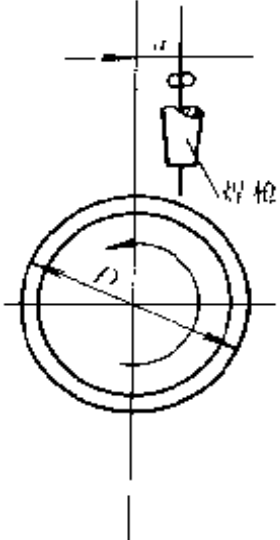
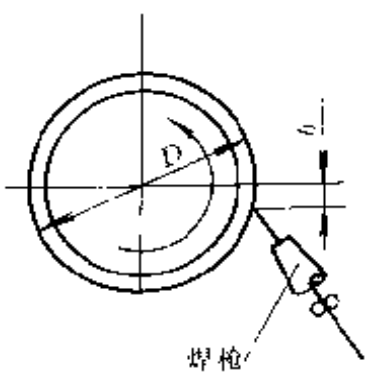
方法	图 示	工艺措施
单面焊双面成形		<p><math>a, b, p</math> 见表 3-132 焊接参数见表 3-133</p>
用垫板保证焊缝均匀焊透		<p>接头坡口尺寸、垫板尺寸见表 3-132 焊接参数见表 3-133</p>
用垫板保证焊缝均匀焊透		<p>接头坡口尺寸见表 3-132 焊接参数见表 3-133</p>

环焊缝机械化 CO<sub>2</sub> 气体保护焊有两种方法，即焊枪固定不动而焊件旋转和焊件固定不动而焊枪旋转，两种焊接形式的特点及工艺措施见表 3-172。

焊前应该先试运转焊件旋转机构或焊枪旋转机构是否运转正常、保护气体流量是否稳定、焊件对接缝间隙与错边是否符合技术要求、焊

丝准备情况等。没有影响焊缝焊接质量问题存在时，即可开机焊接。

表 3-172 环焊缝机械化 CO<sub>2</sub> 焊焊接方法及特点

焊接方法	图 示	工艺措施	特 点
焊枪固定不动	<p>焊枪固定在焊件中心垂直位置</p>  <p>当焊件 <math>D</math> 为 <math>\phi 50 \sim \phi 200\text{mm}</math> 时： <math>a = 4 \sim 8\text{mm}</math></p>	<p>采用细焊丝，为防止在引弧处产生未焊透，在引弧处先用手工钨极氩弧焊不填焊丝焊接 <math>15 \sim 30\text{mm}</math>，要保证熔透，然后在这段焊缝上进行机械化 CO<sub>2</sub> 焊的引弧焊接</p>	<p>对于有要求焊透的焊件，采用单面焊双面成形工艺，焊缝表面成形较好，余高较小</p>
	<p>焊枪固定在焊件中心水平位置</p> 	<p>为了减少熔池液体金属流动，焊枪必须对准焊接熔池，当焊件为 <math>\phi 50 \sim \phi 200\text{mm}</math> 时，<math>b = 6 \sim 10\text{mm}</math></p>	<p>焊缝质量高，能保证接头根部焊透，余高略高</p>



(续)

焊接方法	图 示	工艺措施	特 点
焊件固定焊机旋转	<p>在 A、B、C、D 四处定位焊</p> <p>在 45° 的 E 处引弧、逆时针焊接</p>	<p>焊件不动，焊枪沿导轨在大环形焊件上连续回转进行全位置焊接。按技术规程进行装配定位焊。固定链条导轨要安装准确，焊接参数应随焊枪瞬时所处的空间位置进行调整。焊件周围要留有焊机回转空间</p>	<p>只有在大型焊件无法回转的情况下选用。焊件装配尺寸及导轨安装精度要求较高，生产效率高</p>

## 第四章 等离子弧焊接与切割

### 第一节 概 述

等离子弧是具有高能量密度的压缩电弧,它是 60 年代出现的焊接及切割工艺的新型热源。随着科学技术的发展,等离子弧焊接与切割已经成为合金钢及有色金属的一项重要加工工艺。目前,这项技术已经在机械、化工、电力、石油及国防等工业部门中得到了广泛应用。

#### 一、等离子弧的特点

##### 1. 温度高、能量集中

由于等离子弧的弧柱被压缩,使气体达到高度的电离,而产生很高的温度。弧柱中心温度为  $18000\sim 24000\text{K}$ 。等离子弧的能量集中,其能量密度可达  $10^7\sim 10^8\text{W}/\text{cm}^2$ 。而自由状态的钨极氩弧弧柱中心为  $14000\sim 18000\text{K}$ ,能量密度小于  $10^5\text{W}/\text{cm}^2$ 。因此,它作为高温热源用于焊接,具有焊接速度快、生产率高、热影响区小、焊接质量好。等离子弧若用于切割,可切割任何金属,如导热性好的铜、铝等,以及熔点较高的铜、钨、各种合金钢、铸铁、低碳钢及不锈钢等。

##### 2. 导电及导热性能好

等离子弧的弧柱内,带电粒子经常处于加速的电场中,具有高导电及导热性能。所以在较小的断面内能够通过较大的电流,传导较多的热量。与一般电弧相比,等离子弧具有焊缝形状狭窄、熔深较大的特点。

##### 3. 电弧挺直度好,稳定性强

与一般电弧相比,弧柱发散角度仅为  $5^\circ$ ,而自由状态的钨极氩弧为  $45^\circ$ 。因而等离子弧具有较好的稳定性、弧长变化敏感性小。并且等离子弧的挺直度好。

##### 4. 冲击力大

等离子弧在机械压缩、热收缩及磁收缩等三种收缩效应的作用下,

断面缩小、电流密度大、温升高、内部具有很大的膨胀力，迫使带电粒子从喷嘴高速喷出，焰流速度可达 300m/s 以上。因此，可以产生很大的冲击力。用于焊接，可以增加熔深；用于切割，可以吹掉熔渣；用于喷涂，可以喷出粉末等。

#### 5. 焊接参数调节性好

等离子弧的温度、电流、弧长、弧柱直径、冲击力等参数，均可根据需要进行调节。例如，用于焊接可减少气流，调节成柔性弧，以减少冲击力。用于切割，则可调成刚性弧，以产生较大的冲击力。

### 二、等离子弧的形成

借助水冷喷嘴的外部拘束条件使弧柱受到压缩的电弧就是等离子弧。它所受到的压缩作用有以下三种：

#### 1. 机械压缩

利用水冷喷嘴的孔道限制弧柱直径，以提高弧柱的能量密度及温度。

#### 2. 热收缩

因为水冷喷嘴的温度比较低，所以在喷嘴内壁建立起一层冷气膜，迫使弧柱的导电断面进一步缩小、电流密度进一步增大。

#### 3. 磁收缩

由弧柱电流本身产生的磁场，对于弧柱有压缩作用，又称为磁收缩效应。试验表明：电流密度越大，磁收缩作用越强。

### 三、等离子弧的类型

按照电源的供电方式，等离子弧可分为以下三种形式：

#### 1. 非转移型等离子弧

电源负极端接钨极，正极端接喷嘴，等离子弧产生在钨极与喷嘴之间。水冷喷嘴既是电弧的电极，又起冷壁拘束作用，而工件却不接电源。在离子气流的作用下，弧焰从喷嘴中喷出，形成等离子焰，这种等离子弧焊接、切割和热喷涂时，在电极与喷嘴之间建立的等离子弧即非转移弧，也称等离子焰。如图 4-1a 所示。

#### 2. 转移型等离子弧

电源负极端接钨极，正极端接工件，等离子弧产生在钨极与焊件之

间这种等离子弧焊时,在电极与焊件之间建立的等离子弧即转移弧,如图 4-1b 所示。水冷喷嘴不接电源,仅起冷却拘束作用。转移弧难以直接形成,必须先引燃非转移弧,然后才能过渡到转移弧。因为转移弧能把较多的热量传递给工件,所以焊接及切割几乎都采用转移弧。

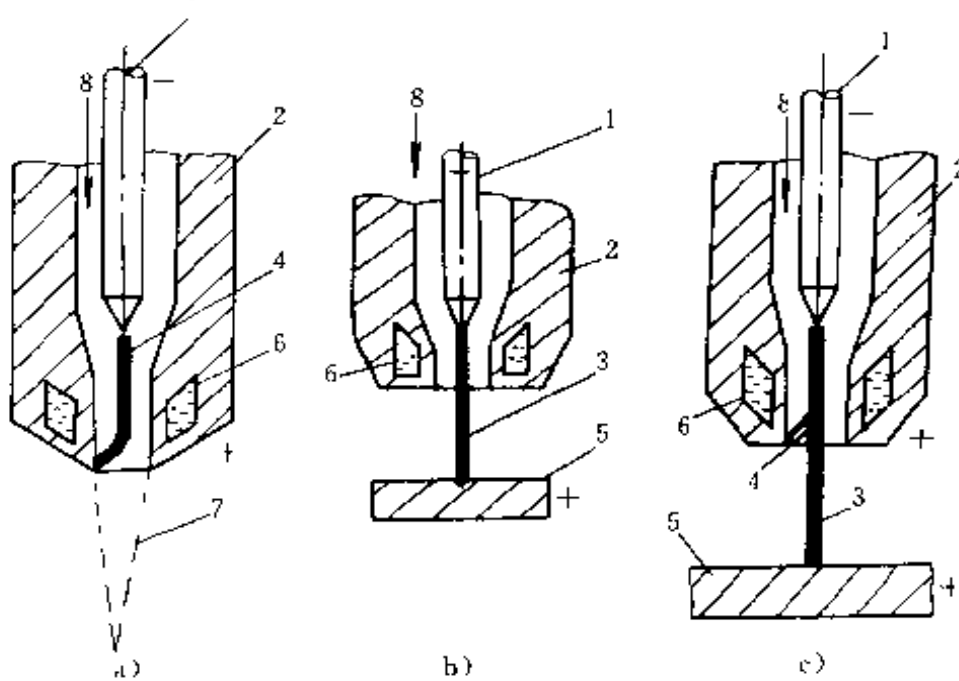


图 4-1 等离子弧的类型

a) 非转移型 b) 转移型 c) 联合型

1—钨极 2—喷嘴 3—转移弧 4—非转移弧  
5—工件 6—冷却水 7—弧焰 8—离子气

### 3. 联合型等离子弧

当非转移弧及转移弧同时存在时,则称联合型等离子弧,如图 4-1c 所示。这种形式的等离子弧主要应用于微束等离子弧焊接和粉末堆焊等。

## 四、等离子弧的应用

### 1. 等离子弧焊接

等离子弧可以焊接高熔点的合金钢、不锈钢、镍及镍合金、钛及钛合金、铝及铝合金等。充氩箱内的等离子弧焊还可以焊接钨、钼、铌、

钽、锆及其合金。

### 2. 等离子弧切割

等离子弧可以切割不锈钢、铸铁、钛、铝、钨、铜及铜合金、铝及铝合金等难于切割的材料。采用非转移型等离子弧，还可以切割花岗石、碳化硅等非金属材料。

### 3. 等离子弧堆焊

等离子弧堆焊可分为粉末等离子弧堆焊和填丝等离子弧堆焊。它是用等离子弧作主热源，用非转移弧作二次热源。其特点是堆焊的熔敷速度较高、堆焊层熔深浅、稀释率低，并且稀释率及表面形状易于控制。

### 4. 等离子喷涂

等离子喷涂是利用等离子焰流（即非转移型等离子弧）为热源，将粉末喷涂材料加热及加速，喷射到工件表面上形成喷涂层的工艺方法。

### 5. 其它方面

由于等离子弧的特点，在冶金、化工以及空间技术领域中都许多重要的应用。等离子弧的温度高、能量集中、气流速度快、可使用各种工作介质，并且它的功率及各种特性均有很大的调节范围。具有这些特点，使等离子弧的实际应用有着非常广阔的前景。

## 第二节 焊接与切割设备

### 一、等离子弧焊接设备

等离子弧焊接设备可分为手工焊和机械化（自动焊）设备两类。手工焊设备包括焊接电源、控制电路、焊枪、气路及水路等部分。机械化（自动焊）设备包括焊接电源、控制电路、焊枪、气路及水路、焊接小车或转动夹具等部分。

按照焊接电流的大小，等离子弧焊接设备可以分为大电流等离子弧焊接设备和微束等离子弧焊接设备两类。

#### 1. 焊接电源

等离子弧焊接电源具有下降或垂降外特性。采用纯 Ar 或  $\varphi_{Ar} 93\% + \varphi_{H_2} 7\%$  的混合气体作离子气时，电源空载电压为 65~80V。如果采用纯 He 或  $\varphi_{He} 93\% + \varphi_{H_2} 7\%$  的混合气体时，为了可靠地引弧，

则需要采用较高空载电压的焊接电源。

大电流等离子弧大都采用转移型。首先在钨极与喷嘴之间引燃非转移弧,然后再在钨极与工件之间引燃转移弧。转移弧产生之后随即切除非转移弧。因此,转移弧和非转移弧可以合用一个电源。

电流低于 30A 的微束等离子弧焊接,都是采用联合型弧。因为焊接过程中需要同时保持非转移弧与转移弧,所以需要采用两个独立的电源。

## 2. 控制电路

控制电路的设计,就是使焊接设备按照焊件的焊接程序控制图的要求完成一系列的规定动作。图 1-2 为焊接程序控制图。控制电路应当保证焊接程序的实施,如调节离子气预通时间、保护气预通时间、焊件预热时间、电流衰减时间、离子气流衰减时间以及保护气滞后时间等。脉冲等离子弧焊接的控制电路,还应当能够调节基值电流、脉冲电流、占空比或脉冲频率等。对于微束等离子弧焊接设备的控制电路,还要能够分别调节非转移弧和转移弧的电流。总之,控制电路应当保证全部焊接过程自动按规定的程序进行。此外,在焊接过程中发生故障时,可以紧急停车;若冷却水中断或堵塞时,焊接过程立即自动停止。

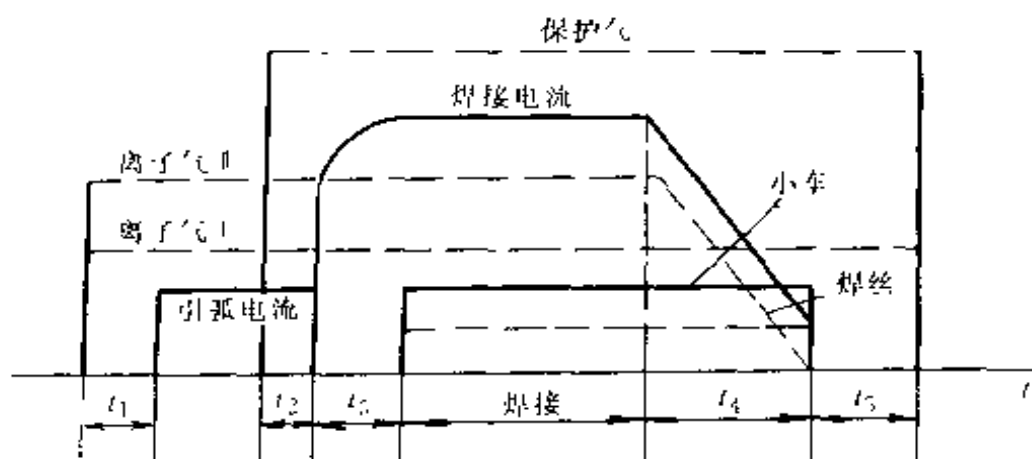


图 4-2 焊接程序控制图

$t_1$ —预通离子气时间  $t_2$ —预通保护气时间  $t_3$ —预热时间

$t_4$ —电流衰减时间  $t_5$ —滞后关气时间

### 3. 等离子弧引燃装置

对于大电流等离子弧焊接系统,可在焊接回路中叠加高频振荡器或小功率高压脉冲装置。依靠产生的高频火花或高压脉冲,在钨极与喷嘴之间引燃非转移弧。

微束等离子弧焊接系统引燃非转移弧的方法有两种。一种是利用焊枪上的电极移动机构(弹簧机构或螺钉调节)向前推进电极,当电极尖端与压缩喷嘴接触后,回抽电极即可引燃非转移弧,另一种方法是采用高频振荡器引燃非转移弧。

### 4. 焊枪

焊枪是等离子弧焊接时,产生等离子弧并且进行焊接的装置。等离子弧焊枪主要由上枪体、下枪体和喷嘴三部分组成。上枪体的作用是固定电极、冷却电极、导电、调节钨极内缩长度等。下枪体的作用是固定喷嘴和保护罩,对下枪体及喷嘴进行冷却、输送离子气与保护气,以及使喷嘴导电等。上、下枪体之间要求绝缘可靠,气密性好,并有较高的同轴度。

图 4-3 为电流容量 300A,喷嘴采用直接水冷的大电流等离子弧焊枪。图 4-4 是电流容量为 16A,喷嘴采用间接水冷的微束等离子弧焊枪。

#### (1) 喷嘴

喷嘴是等离子弧焊枪的关键零件,它的基本结构如图 4-5 所示。喷嘴的结构类型及尺寸对等离子弧的性能起决定性作用,它的主要尺寸是喷嘴孔径  $d$ 、孔道长度  $l$ 、压缩角  $\alpha$ 。

1) 喷嘴结构 图 4-5a、b 两种喷嘴为圆柱形压缩孔道,是等离子弧焊中应用广泛的类型。图 4-5c 为收敛扩散单孔型喷嘴,它减弱了对等离子弧的压缩作用,但是这种喷嘴适用于大电流、厚板的焊接。图 4-5b 所示喷嘴为圆柱三孔型。三孔型喷嘴除了中心主孔外,其左右各有一个小孔,相互对称。从这两个小孔喷出的等离子气流可将等离子弧产生的圆形温度场改变成椭圆形。当椭圆形温度场的长轴平行于焊接方向时,可以提高焊接速度和减小焊缝热影响区宽度。例如,圆柱三孔型喷嘴比单孔型可提高焊接速度 30%~50%。



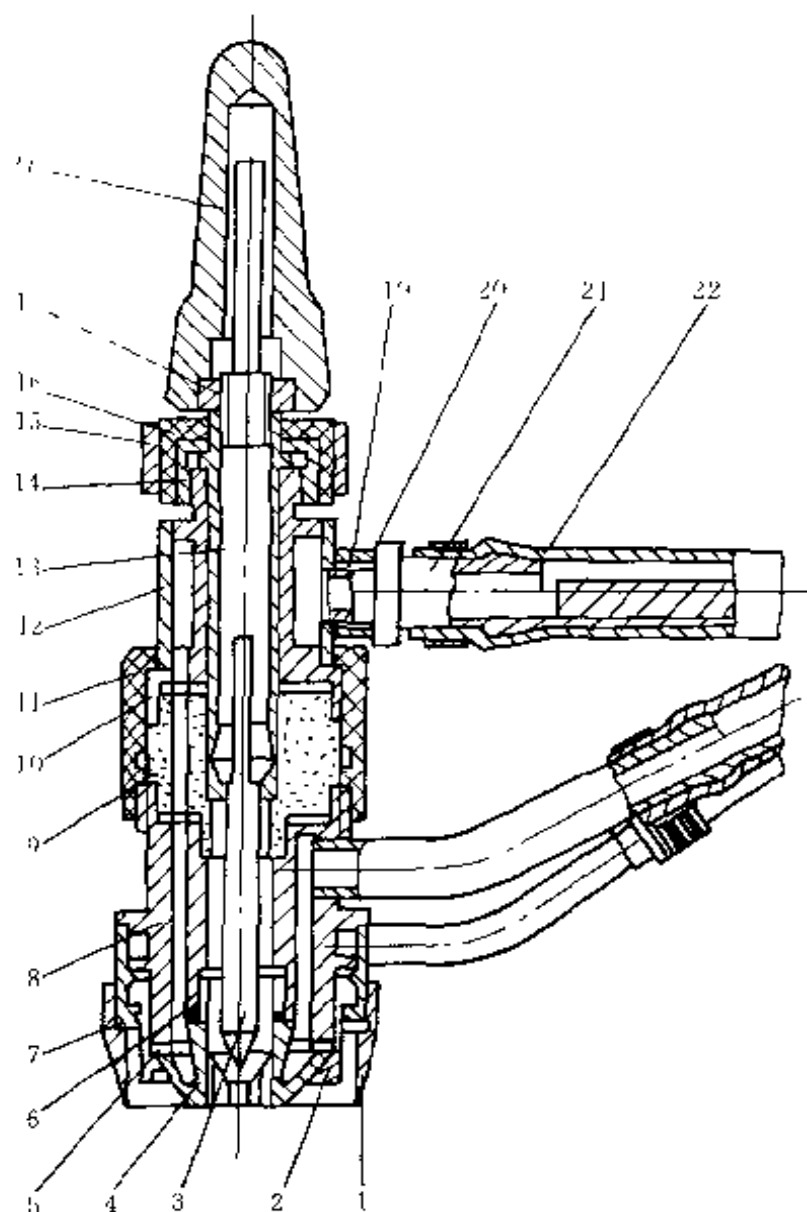


图 4 3 大电流等离子弧焊枪

1—保护罩 2—喷嘴压盖 3—钨极 4—喷嘴 5, 6—密封垫圈 7—气筛  
 8—下枪体 9—绝缘柱 10—密封垫圈 11—绝缘套 12—上枪体 13—钨  
 极夹 14—套筒 15—压紧螺母 16—绝缘帽 17—调节螺母 18—绝缘罩  
 19—密封垫圈 20—黄铜垫片 21—水电接头 22—绝缘手把



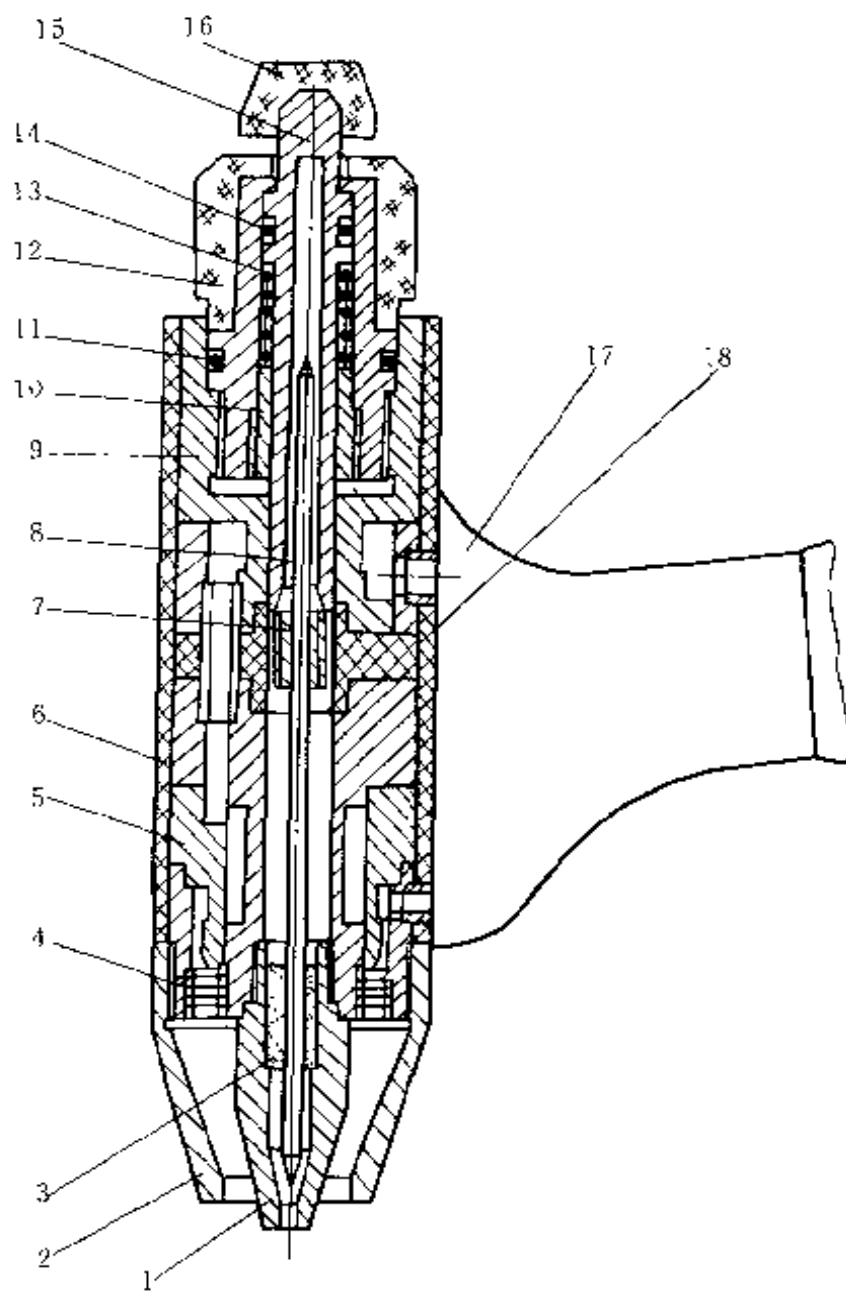


图 4-4 微束等离子弧焊枪

- 1—喷嘴 2—保护罩 3—对中环 4—气帘 5—下枪体 6—绝缘套  
 7—钨极夹 8—钨极 9—上枪体 10—调节螺母 11—密封垫圈  
 12—绝缘罩 13—压缩弹簧 14—密封垫圈 15—钨极套筒  
 16—绝缘帽 17—焊枪手把 18—绝缘柱

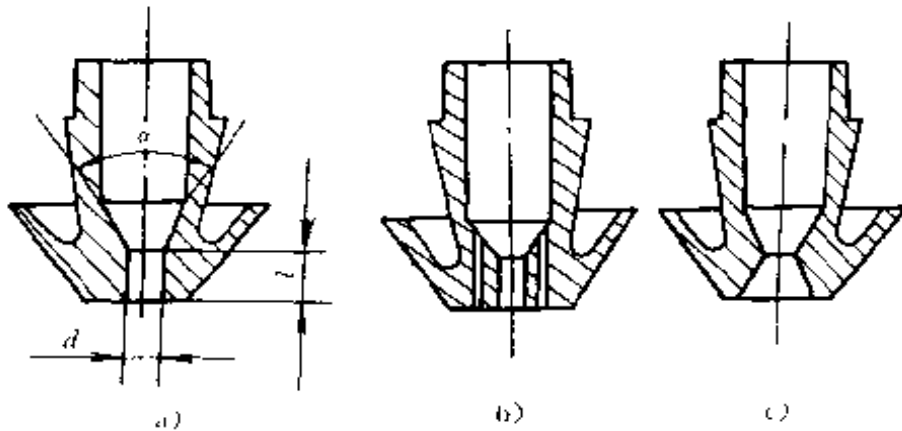


图 4-5 喷嘴的基本结构

a) 圆柱单孔型 b) 锥柱三孔型 c) 收敛扩散单孔型

2) 喷嘴孔径  $d$  孔径  $d$  将决定等离子弧的直径和能量密度。 $d$  的大小是由电流及离子气流量来决定的。表 4-1 列出了等离子弧电流与喷嘴孔径间的关系。对于一定的电流值和离子气流量, 孔径越大, 其压缩作用越小。如果孔径过大, 失去压缩作用; 孔径过小, 则会引起双弧现象, 破坏等离子弧的稳定性。

表 4-1 等离子弧电流与喷嘴孔径间的关系

喷嘴孔径 $d/\text{mm}$	0.8	1.6	2.1	2.5	3.2	4.8
等离子弧电流/A	1~25	20~75	10~100	100~200	150~300	200~500
离子气流量 (Ar) (L/min)	0.21	0.47	0.94	1.89	2.36	2.83

3) 喷嘴孔道长度  $l$  当孔道直径  $d$  为定值时, 孔道长度  $l$  增大则对等离子弧的压缩作用也增强。通常以  $l/d$  表示喷嘴孔道的压缩特征, 称为孔道比。常用的孔道比见表 4-2。当孔道比超过一定值时, 也会造成双弧现象。

4) 压缩角  $\alpha$  压缩角对于等离子弧的压缩影响不大。考虑到与钨极端部形状的配合, 通常选取  $\alpha$  角为  $60^\circ \sim 90^\circ$ , 其中应用较多的是  $60^\circ$ 。

5) 喷嘴材料及冷却方式 一般选用纯铜为喷嘴材料。对于大功率

喷嘴必须采用直接水冷方式。为提高冷却效果，喷嘴壁厚应不大于2~2.5mm。

表 4-2 喷嘴孔道比

喷嘴孔径 $d'$ /mm	孔道比 $l/d$	压缩角 $\alpha'$ (°)	等离子弧类型
0.6~1.2	2.0~6.0	25~45	联合型弧
1.6~3.5	1.0~1.2	60~90	转移型弧

(2) 电极

1) 电极材料 等离子弧焊枪采用钍钨或铈钨电极。国外也有采用钨质量分数为0.15%~0.40%的铈钨电极。表4-3列出了钍钨电极的许用电流范围。

2) 电极端部形状 常用的电极端部形状如图4-6所示。为了便于

表 4-3 钍钨电极直径与许用电流范围

电极直径/mm	0.25	0.50	1.0	1.6	2.4	3.2	4.0	5.0~ 9.6
电流范围/A	$\leq 15$	5~ 20	15~ 80	70~ 150	150~ 250	250~ 400	400~ 500	500~ 1000

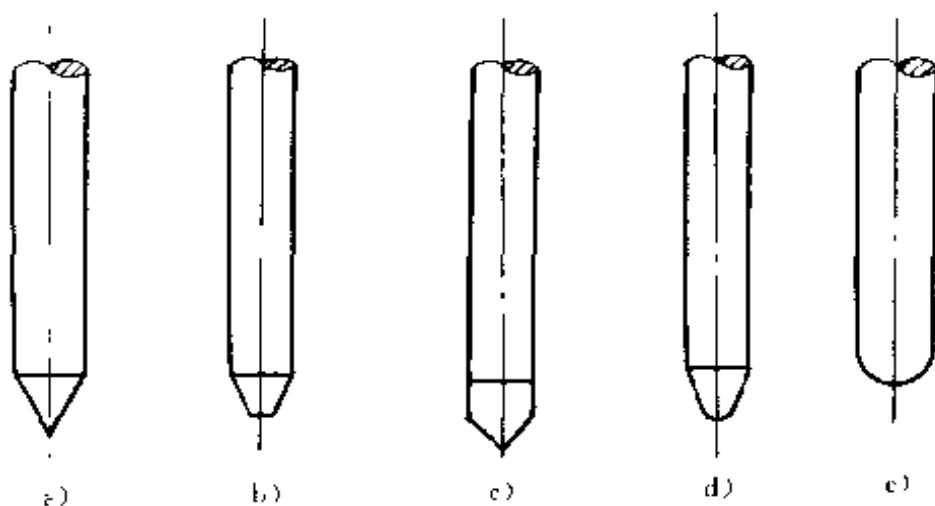


图 4-6 电极的端部形状

- a) 尖锥形 b) 圆台形 c) 圆台尖锥形
- d) 锥球形 e) 球形

引弧及保证等离子弧的稳定性,电极端部一般磨成 $30^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 的尖锥角,顶端或者稍为磨平。当电极直径大、电流大时,电极端部也可磨成其它形状,以减慢烧损。

3) 电极内缩长度 $l_g$  图4-7a表示了电极内缩长度。它对于等离子弧的压缩与稳定性有很大的影响。一般选取 $l_g = l \pm 0.2\text{mm}$ , $l_g$ 增大,则压缩程度提高; $l_g$ 过大,则易产生双弧现象。

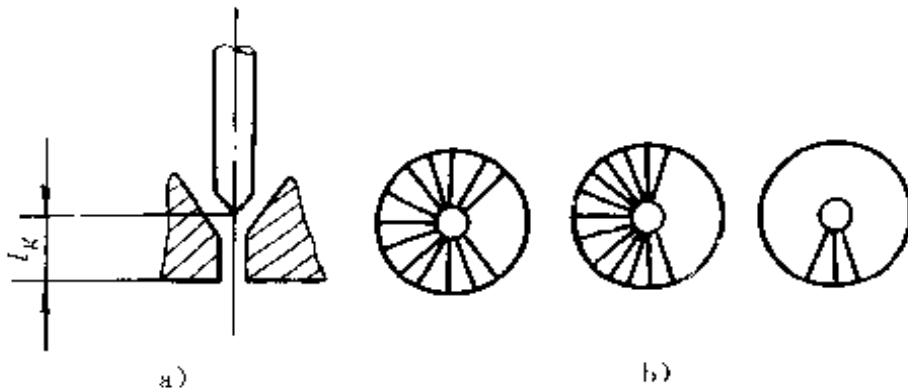


图4-7 电极的内缩长度和同轴度

a) 电极的内缩 b) 电极同轴度与高频火花的分布

4) 电极与喷嘴的同轴度 同轴度对于等离子弧的稳定性及焊缝成形有重要的影响。电极偏心会造成等离子弧偏斜、焊缝成形不良以及容易形成双弧。电极的同轴度可根据电极与喷嘴之间的高频火花分布情况进行检测(图4-7b),焊接时一般要求高频火花布满圆周的75%~80%以上。

#### 5. 等离子弧焊机的型号及技术数据

大电流等离子弧焊机的型号及技术数据见表4-4。

微束等离子弧焊机的型号及技术数据见表4-5。

表4-4 大电流等离子弧焊机的型号及技术数据

焊机名称	自动等离子弧焊机	手工交流等离子弧焊机	自动等离子弧焊接切割机
型号	LH3-100	LHJ8-160	LII-315

(续)

焊机名称	自动等离子弧焊机	手工交流等离子弧焊机	自动等离子弧焊接切割机
电源电压/V	380	380	380
相数	3	1	3
电源频率/Hz	50	50	50
电源型号	—	BX1-160	ZX-315
额定负载持续率/%	—	60	60
空载电压/V	100	150, 110, 80	70
额定焊接电流/A	100	160	315
电流调节范围/A	10~110	15~200	40~360
维弧空载电压/V	140	—	—
维弧电流/A	3	—	—
提前送气时间/s	35	0.2~10	—
滞后停气时间/s	5	2~15	—
冷却水耗量/(L/h)	60	180	240
离子气(Ar)耗量/(L/h)	60~160	100~800	—
保护气(Ar)耗量/(L/h)	100~1000	100~800	—
控制器外形尺寸/ $\frac{A}{\text{mm}} \times \frac{B}{\text{mm}} \times \frac{C}{\text{mm}}$	720×510×1160	500×700×900	700×480×1610
控制器质量/kg	250	75	—

表 4-5 微束等离子弧焊机的型号及技术数据

型号	LH-16	LH3-16	LH8-16
电源电压/V	220	220	220

(续)

型号	LH 16	LH3-16	LH8-16
频率/Hz	-	50	50~60
空载电压/V	60	120	80(主弧)
额定焊接电流/A	16	16	16
工作电压/V	10~40	—	—
额定负载持续率	60%	—	60%
焊接电流调节范围/A	0.4~16	0.1~20	0.4~16
维弧空载电压/V	≥80	100	—
维弧电流/A	—	3	-
冷却水流量/(L/min)	≥1	0.5	—
离子气耗量/(L/h)	—	60	—
保护气耗量/(L/h)	—	600	—
脉冲频率调节范围/Hz	—	—	1~20
脉冲占空比调节	—	—	0.25~0.75
外形尺寸/ $\frac{A}{\text{mm}} \times \frac{B}{\text{mm}} \times \frac{C}{\text{mm}}$	670×450×560	580×330×1020	570×280×440
质量/kg	85	—	33

## 二、等离子弧切割设备

等离子弧切割设备包括切割电源、控制电路、割枪、气路及水路系统、自动切割小车等部分。

### 1. 切割电源

一般都采用陡降外特性的直流电源。切割电源输出的空载电压一般大于150V,水再压缩空气等离子弧切割电源的空载电压可达600V。选用电流等级越大,所选用电源的空载电压越高。以双原子气体及空气作为工作气体、高压喷射水作为工作介质时,切割电源的空载电压要高一些。这样才能使引弧可靠及切割电弧稳定。

### 2. 控制电路

等离子弧切割程序图如图 4-8 所示。根据切割程序要求,控制电路要执行提前送气、引弧、接通切割电流及送切割气,对于厚板进行预热后,即可进入正常切割程序。切割结束时,控制电路能保证切割小车停止、滞后送气、停止全部程序。此外,当电源短路、电流过大、工作中途断水等故障发生时,控制电路可自动停止切割工作,保证安全。

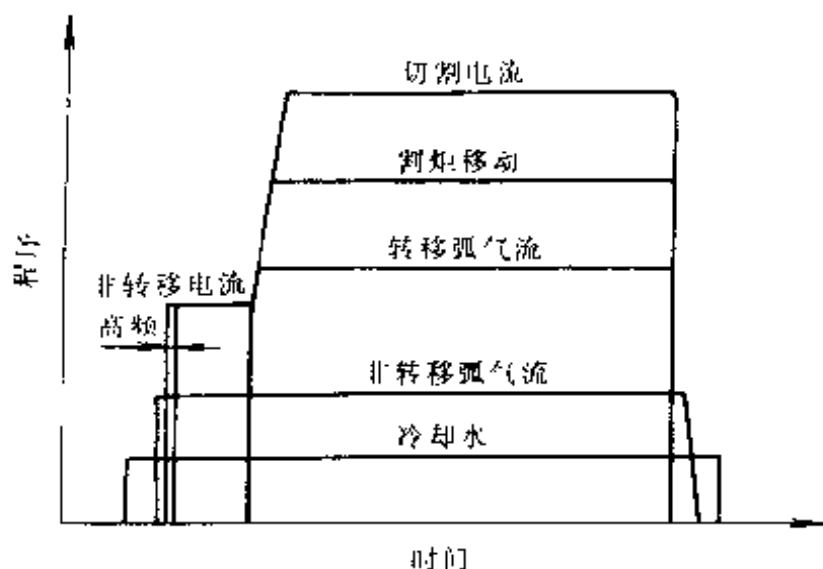


图 4-8 等离子弧切割程序图

### 3. 割枪

等离子弧切割割枪与等离子弧焊接焊枪基本上相同。它是由电极、电极夹头、喷嘴、冷却水套、中间绝缘体、气室、水路、气路及馈电体等部分组成。割枪中的工作气体常采用切线旋转吹入式送气,因为这种方式送气对于等离子弧的压缩效果较好。其它的送气方式还有轴向吹入、轴向与切线旋转组合吹入等。在割枪的结构上应保证充分的水冷却作用,以及容易更换电极。割枪中电极要与喷嘴同心。喷嘴的结构及尺寸对于等离子弧的压缩及稳定有重要的影响,同时也关系到切割能力、喷嘴寿命及切口的质量。等离子弧切割用喷嘴的主要形状参数见表 4-6。与等离子弧焊接用喷嘴相比,孔道比及压缩角均有差别。切割材料厚度与喷嘴孔径的关系如图 4-9 所示。电极内缩量对于切割效率、电极烧损等都有很大影响。

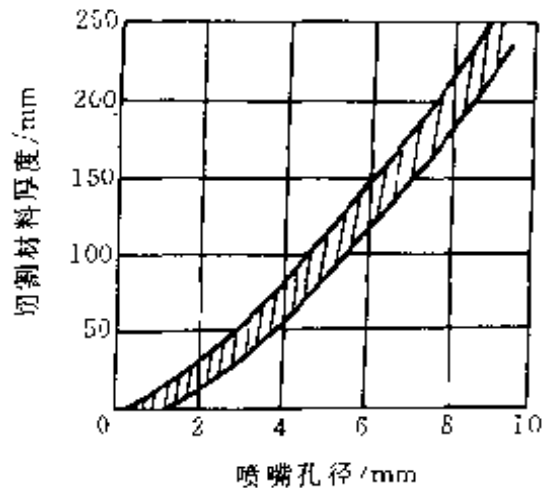


图 4-9 切割材料厚度与喷嘴孔径的关系

表 4-6 等离子弧切割用喷嘴主要形状参数

喷嘴孔径 $d$ /mm	孔道比 $l/d$	压缩角 $\alpha$ / (°)
0.8~2.0	2.0~2.5	30°~45°
2.5~5.0	1.5~1.8	30°~45°

割枪中的电极材料以钨钨为好。进行空气等离子弧切割时,宜采用镶嵌式钨或钨电极。此外,纯钨、钍钨棒也可作为割枪中的电极。

#### 4. 等离子弧切割机的型号及技术数据

等离子弧切割机的技术数据见表 4-7。

表 4-7 等离子弧切割机的技术数据

型 号	LG-400-2	LG8-400-1	LGK8-250A	LGK8-120
电源电压/V	380	380	380	380
相数	3	3	3	3
频率/Hz	-	50	50	50
切割电源空载电压/V	380 (DC)	—	—	<260 (DC)
额定切割电流/A	400	400	—	120



(续)

型 号	LG 400 2	LG8-400-1	LGK8-250A	LGK8-120
电流调节范围/A	100~500	140~400	—	—
额定负载持续率/%	60	60	60	60
工作电压/V	100~150	70~150	—	120~140
自动切割速度/(m/h)	6~150	—	—	—
最大切割厚度/mm	80	60	80	—
气体流量/(L/h)	—	4000	—	—
冷却水流量/(L/min)	—	4	—	—
空气压力/MPa	—	—	0.4~0.6	0.2~0.3
外形尺寸/ $\frac{A}{\text{mm}} \times \frac{B}{\text{mm}} \times \frac{C}{\text{mm}}$	440×640 ×980	600×910 ×1220	750×800 ×1200	600×500 ×600

### 第三节 等离子弧焊焊接工艺

#### 一、等离子弧焊的基本方法

##### 1. 穿透(小孔)型<sup>①</sup>等离子弧焊

电弧在熔池前穿透工件形成小孔,随着热源移动在小孔后形成焊道的焊接方法称为穿透(小孔)型等离子弧焊。由于等离子弧的能量密度大、等离子流力大的特点,将焊件熔透并产生一个贯穿焊件的小孔(图4-10)。被熔化的金属在电弧吹力、表面张力及金属重力相互作用下保持平衡。焊枪前进时,小孔在电弧后方锁闭,形成完全熔透的焊缝。

小孔效应只有在足够的能量密度条件下才能形成。当板厚增大时所需的能量密度也要增加,然而等离子弧能量密度的提高受到一定限制,所以穿透型等离子弧焊只能在一定板厚范围内实现。表4-8列出了各种材料一次焊透的厚度。

① GB/T3375-94《焊接术语》称为穿透型等离子弧焊。

表 4-8 各种材料一次焊透的厚度 (mm)

材 料	不锈钢	钛及钛合金	镍及镍合金	低合金钢	低碳钢
焊接厚度范围	≤8	≤12	≤6	≤7	≤8

### 2. 熔透型等离子弧焊

熔透型等离子弧焊即在焊接过程中熔透焊件的焊接方法，简称熔透法。这种焊接方法在焊接过程中只熔透焊件而不产生小孔效应。当离子气流量较小，弧柱压缩程度较弱时，等离子弧的穿透能力也较低。这种方法多用于板厚小于 3mm 的薄板单面焊双面成形以及厚板的多层焊。

### 3. 微束等离子弧焊

利用小电流（通常在 30A 以下）进行焊接的等离子弧焊，通常称为微束等离子弧焊。它是采用  $\phi 0.6 \sim \phi 1.2\text{mm}$  的小孔径压缩喷嘴及联合型弧。微束等离子弧又称为针状等离子弧，当焊接电流小于 1A 时，仍有较好的稳定性，其特点是能够焊接细丝及箔材。焊件变形量及热影响区的范围都比较小。

### 二、等离子弧焊的接头形式

等离子弧焊的通用接头形式有：I 形、单面 V 形及 U 形坡口，以及双面 V 形和 U 形坡口。除对接接头外，等离子弧焊也适用于焊接角

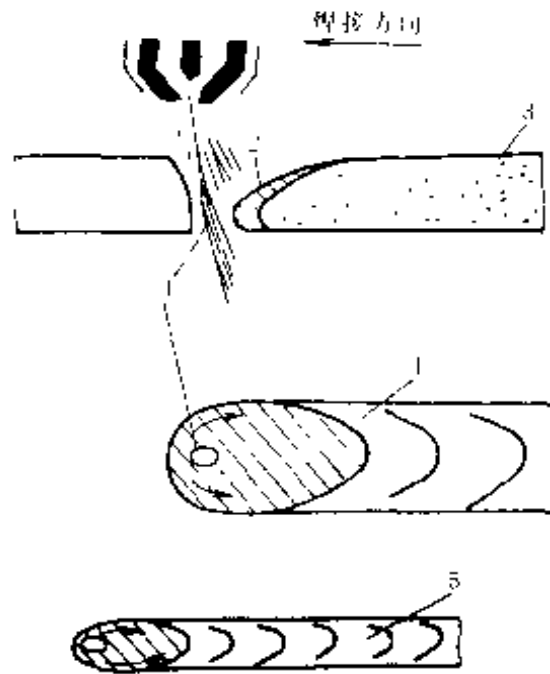


图 4-10 穿透（小孔）型等离子弧焊

1—小孔 2—熔池 3—焊缝

4—焊缝正面 5—焊缝背面

焊缝及T形接头。

厚度大于1.6mm,但小于表4-8所示的厚度值的焊件,可采用I形坡口,使用小孔法单面一次焊成。对于厚度较大的焊件,可采用大钝边、小角度坡口的对接形式。第一道焊缝采用穿透型法焊接,填充焊道采用熔透法完成。

当焊件厚度在0.05~1.6mm之间时,通常采用熔透法焊接,其接头形式如图4-11所示

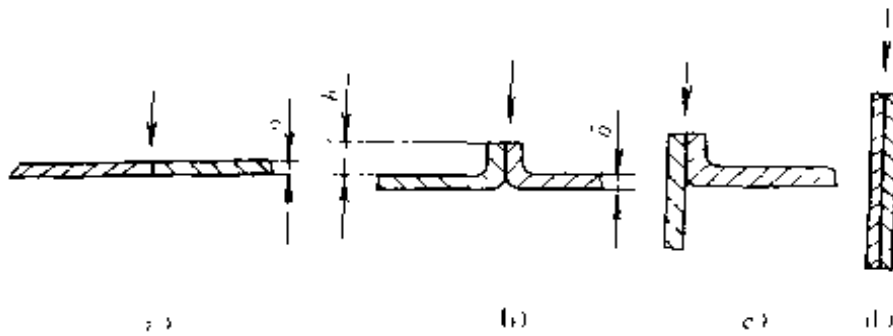


图 4-11 等离子弧焊的薄板接头形式

- a) I型对接接头 b) 卷边对接接头 c) 卷边角接接头  
d) 端接接头  $\delta$ -板厚  $h$ -卷边高度  $h=(2\sim5)\delta$

### 三、等离子弧焊的焊件装配与夹紧

小电流等离子弧焊的引弧处坡口边缘必须紧密接触,间隙不应超过金属厚度的10%,难以达到此项要求时,必须添加填充金属。

对于厚度小于0.8mm的金属,焊接接头的装配、夹紧要求见表4-9、图4-12、图4-13。

表 4-9 厚度小于0.8mm的薄板对接接头装配要求 (图4-12)

焊缝形式	间隙	错边	压板间距		垫板凹槽宽 <sup>①</sup>	
	$b$ (最大)	$E$ (最大)	$C$ (最小)	$C$ (最大)	$B$ (最小)	$B$ (最大)
I形坡口焊缝	$0.2\delta$	$0.4\delta$	$10\delta$	$20\delta$	$4\delta$	$16\delta$
卷边焊缝 <sup>②</sup>	$0.6\delta$	$1\delta$	$15\delta$	$30\delta$	$4\delta$	$16\delta$

① 背面用Ar或He保护。

② 板厚小于0.25mm的对接接头推荐采用卷边焊缝。

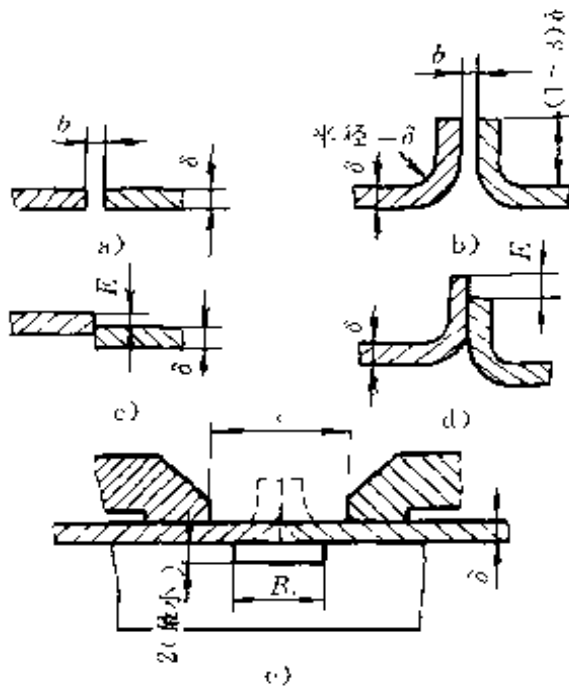


图 4-12 厚度小于  $0.8\text{mm}$  的薄板对接接头装配要求  
(数据见表 4-9)

#### 四、双弧现象

在采用转移弧焊接时，有时除了在钨极和焊件之间燃烧的等离子弧外，还会产生在钨极—喷嘴—焊件之间燃烧的串列电弧。这种现象称为双弧，如图 4-14 所示。双弧现象使主弧电流降低，正常的焊接或切割过程被破坏，严重时将会导致喷嘴烧毁。

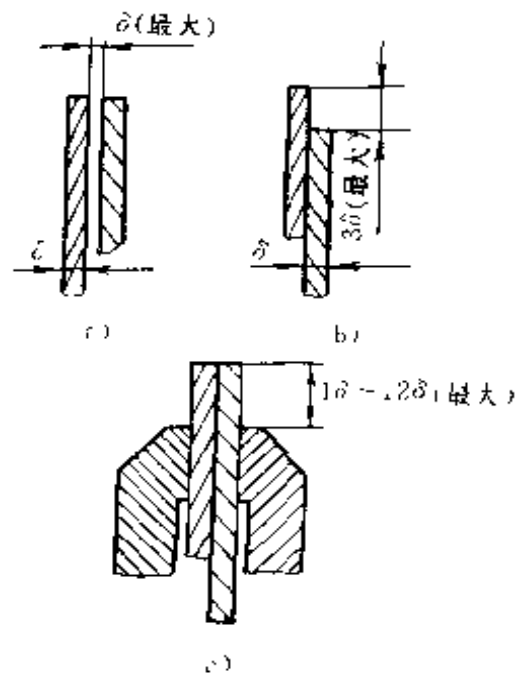


图 4-13 厚度小于  $0.8\text{mm}$  的薄板端面接头装配要求

a) 间隙 b) 错边 c) 夹紧距离

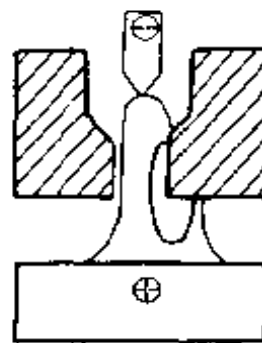


图 4-14 双弧现象

防止产生双弧的措施有：

- 1) 正确选择电流及离子气流量。
- 2) 减少转弧时的冲击电流。
- 3) 喷嘴孔道不要过长。
- 4) 电极和喷嘴应尽可能对中。
- 5) 喷嘴至焊件的距离不要太过近。
- 6) 电极内缩量不要太大。
- 7) 加强对喷嘴和电极的冷却。

### 五、等离子弧焊气体的选择

进行等离子弧焊时，必须向焊枪压缩喷嘴输送离子气，向焊枪保护气罩输送保护气体，以保护焊接熔池及近缝区金属。

焊接中通常选用 Ar 气作为离子气，它适于所有金属。为了增加输入给焊件的热量，提高焊接生产率及接头质量，可在 Ar 气中分别加入 H<sub>2</sub>、He 等气体。例如，焊接不锈钢或镍合金时，可在 Ar 中加入体积分数为 5%~7.5% 的 H<sub>2</sub>。焊接钛及钛合金时，在 Ar 中加入体积分数为 50%~75% 的 He。焊接铜可以采用体积分数为 100%He 或 100% N<sub>2</sub>。

大电流等离子弧焊用气体选择见表 4-10。其离子气和保护气体成分相同。如果不同，将影响等离子弧的稳定性。

小电流等离子弧焊用气体选择见表 4-11。这种工艺采用 Ar 气作为离子气，使非转移弧容易引燃及稳定燃烧。保护气的成分可以和离子气相同，也可以不同。

### 六、常用金属的等离子弧焊焊接参数

碳素钢和低合金钢、不锈钢、钛合金、铜和黄铜等常用金属材料穿透型等离子弧焊的焊接参数见表 4-12。

熔透型等离子弧焊的焊接参数见表 4-13 及表 4-14。中、小电流 (0.2~100A) 熔透型等离子弧焊通常采用联合型弧。由于维弧 (非转移弧) 的存在，使得主弧在很小电流下 (<1A) 也能稳定燃烧。维弧电流一般选用 2~5A，因为维弧的阳极斑点位于喷嘴孔壁上，如果维弧电流过大容易烧坏喷嘴。

表 4-10 大电流等离子弧焊用气体的选择

金属	厚度/mm	焊接方法	
		穿透法	熔透法
碳素钢 (钎镇静)	<3.2	Ar	Ar
	>3.2	Ar	He75% + Ar25%
低合金钢	<3.2	Ar	Ar
	>3.2	Ar	He55% + Ar25%
不锈钢	<3.2	Ar, Ar92.5% + H <sub>2</sub> 7.5%	Ar
	>3.2	Ar, Ar95% + H <sub>2</sub> 5%	He75% + Ar25%
铜	<2.4	Ar	He75% + Ar25%, He
	>2.4	不推荐	He
镍合金	<3.2	Ar, Ar92.5% + H <sub>2</sub> 7.5%	Ar
	>3.2	Ar, Ar95% + H <sub>2</sub> 5%	He75% + Ar25%
活性金属	<6.1	Ar	Ar
	>6.4	Ar + He(He50% ~ 75%)	He75% + Ar25%

注: 1. 气体选择是指等离子气体和保护气体两者。

2. 由于底部焊道成形不良, 这种技术只能用于铜锌合金焊接。

3. 表中气体成分所占百分比均为体积分数。

表 4-11 小电流等离子弧焊用保护气体的选择

金属	厚度/mm	焊接方法	
		穿透法	熔透法
铝	<1.6	不推荐	Ar, He
	>1.6	He	He
合金钢 (铝镇静)	<1.6	不推荐	Ar, He25% + Ar75%
	>1.6	Ar, He75% + Ar25%	Ar, He75% + Ar25%
低合金钢	<1.6	不推荐	Ar, He, Ar + H <sub>2</sub> (H <sub>2</sub> 1% ~ 5%)
	>1.6	He75% + Ar25%	Ar, He, Ar + H <sub>2</sub> (H <sub>2</sub> 1% ~ 5%)
不锈钢	所有厚度	Ar + H <sub>2</sub> (H <sub>2</sub> 1% ~ 5%)	Ar, He, Ar + H <sub>2</sub> (H <sub>2</sub> 1% ~ 5%)
		Ar, He75% + Ar25%	Ar, He, Ar + H <sub>2</sub> (H <sub>2</sub> 1% ~ 5%)
		Ar + H <sub>2</sub> (H <sub>2</sub> 1% ~ 5%)	Ar, He, Ar + H <sub>2</sub> (H <sub>2</sub> 1% ~ 5%)
铜	<1.6	不推荐	He25% + Ar75%
	>1.6	He75% + Ar25%, He	H <sub>2</sub> 75% + Ar25%, He
镍合金	所有厚度	He75% + Ar25%, He	He
		Ar, He75% + Ar25%	Ar, He, Ar + H <sub>2</sub> (H <sub>2</sub> 1% ~ 5%)
活性金属	<1.6	Ar + H <sub>2</sub> (H <sub>2</sub> 1% ~ 5%)	Ar
	>1.6	Ar, He75% + Ar25%, He	Ar, He75% + Ar25%

注: 1. 气体选择仅指保护气体, 在所有情况下等离子气均为氩气。

2. 表中气体成分所占百分比均指体积分数。

表 4-12 穿透型等离子弧焊接参数

材料	厚度 'mm	接头形式 及坡口形式	电流 (直流) /A	电弧 电压 /V	焊接速度 /(cm /min)	气体成分 (体积分数)	气体流量/ (L./min)		备 注 <sup>①</sup>	
							离子气	保护气体		
碳素钢和 低合金钢	3.2(1010)	I形对接	185	28	30	Ar	6.1	28	小孔技术	
	4.2(4130)	I形对接	200	29	25	Ar	5.7	28	小孔技术	
	6.4(D6ac)	I形对接	275	33	36	Ar	7.1	28	小孔技术 <sup>②</sup>	
不锈钢 <sup>③</sup>	2.4	I形对接	115	30	61	Ar95%+H <sub>2</sub> 5%	2.8	17	小孔技术	
	3.2	I形对接	145	32	76	Ar95%+H <sub>2</sub> 5%	4.7	17	小孔技术	
	4.8	I形对接	165	36	41	Ar95%+H <sub>2</sub> 5%	6.1	21	小孔技术	
	6.4	I形对接	240	38	36	Ar95%+H <sub>2</sub> 5%	8.5	24	小孔技术	
	9.5	根部焊道	V形坡口 <sup>④</sup>	230	36	23	Ar95%+H <sub>2</sub> 5%	5.7	21	小孔技术
		填充焊道		220	40	18	He	11.8	83	填充技术 <sup>⑤</sup>
钛合金 <sup>⑥</sup>	3.2	I形对接	185	21	51	Ar	3.8	28	小孔技术	
	4.8	I形对接	175	25	33	Ar	3.5	28	小孔技术	



(续)

材料	厚度/mm	接头形式及坡口形式	电流(直流正接)/A	电弧电压/V	焊接速度/(cm/min)	气体成分(体积分数)	气体流量/(L/min)		备注
							离子气	保护气体	
钛合金 <sup>①</sup>	9.9	I形对接	225	38	25	He75%+Ar25%	15.1	28	小孔技术
	12.7	I形对接	270	36	25	He50%+Ar50%	12.7	28	小孔技术
	15.1	V形坡口 <sup>②</sup>	250	39	18	He50%+Ar50%	11.2	28	小孔技术
铜和青铜	2.4	I形对接	180	28	25	Ar	4.7	28	小孔技术
	3.2	I形对接	300	33	25	He	3.8	5	一般熔化技术 <sup>③</sup>
	6.4	I形对接	670	46	51	He	2.4	28	一般熔化技术
	2.0(Cu70-Zn30) <sup>④</sup>	I形对接	140	25	51	Ar	3.8	28	小孔技术 <sup>⑤</sup>
	3.2(Cu70-Zn30)	I形对接	200	27	41	Ar	4.7	28	小孔技术 <sup>⑥</sup>

① 碳素钢和低合金钢焊接时喷嘴高度为1.2mm;焊接其它金属时为4.8mm;采用多孔喷嘴。

② 预热到316℃;焊后加热至399℃;保温1h。

③ 焊缝背面须用保护气体保护。

④ 60°V形坡口,钝边高度4.8mm。

⑤ 直径1.1mm的填充金属丝,送丝速度152cm/min。

⑥ 要求采用保护焊缝背面的气体保护装置和带后拖的气体保护装置。

⑦ 30°V形坡口,钝边高度9.5mm。

⑧ 采用一般常用的熔化技术和石墨支撑衬垫。

⑨ 此处Cu、Zn含量为质量分数(%)。

表 4-13 熔透型等离子弧焊接参数

材料	板厚 /mm	焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊接速度 /(cm/min)	离子气 $A_1$ / (L/min)	保护气(体积分数) 流量/(L/min)	喷嘴孔径 /mm	注
不 锈 钢	0.025	0.3	—	12.7	0.2	8(Ar+H <sub>2</sub> 1%)	0.75	
	0.075	1.6	—	15.2	0.2	8(Ar+H <sub>2</sub> 1%)	0.75	
	0.125	1.6	—	37.5	0.28	7(Ar+H <sub>2</sub> 0.5%)	0.75	卷边焊
	0.175	3.2	—	77.5	0.28	9.5(Ar+H <sub>2</sub> 4%)	0.75	
	0.25	5	30	32.0	0.3	7Ar	0.6	
	0.2	4.3	25	—	0.4	5Ar	0.8	
	0.2	4	26	—	0.4	6Ar	0.8	
	0.1	3.3	24	37.0	0.15	4Ar	0.6	
	0.25	6.5	24	27.0	0.6	6Ar	0.8	对接焊(背后有 铜垫)
	1.0	8.7	25	27.5	0.6	11Ar	1.2	
0.25	6	—	20.0	0.28	9.5(H <sub>2</sub> 1%+Ar)	0.75		
0.75	10	—	12.5	0.28	9.5(H <sub>2</sub> 1%+Ar)	0.75		
1.2	13	—	15.0	0.42	7(Ar+H <sub>2</sub> 8%)	0.8		

(续)

材料	板厚/mm	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度/(cm/min)	离子气Ar/(L/min)	保护气(体积分数)流量/(L/min)	喷嘴孔径/mm	注
不 锈 钢	1.6	46	—	25.4	0.47	12(Ar+H <sub>2</sub> 5%)	1.3	手 工 对 接
	2.4	90	—	20.0	0.7	12(Ar+H <sub>2</sub> 5%)	2.2	
	3.2	100	—	25.4	0.7	12(Ar+H <sub>2</sub> 5%)	2.2	
镍 合 金	0.15	5	22	30.0	0.4	5Ar	0.6	对 接 焊
	0.56	4~6	—	15.0~20.0	0.28	7(Ar+H <sub>2</sub> 8%)	0.8	
	0.71	5~7	—	15.0~20.0	0.28	7(Ar+H <sub>2</sub> 8%)	0.8	
	0.91	6~8	—	12.5~17.5	0.33	7(Ar+H <sub>2</sub> 8%)	0.8	
	1.2	10~12	—	12.5~15.0	0.38	7(Ar+H <sub>2</sub> 8%)	0.8	
	0.75	3	—	15.0	0.2	8Ar	0.75	
铁	0.3	5	—	15.0	0.2	9Ar	0.75	手 工 对 接
	0.37	8	—	12.5	0.2	8Ar	0.75	
	0.55	12	—	25.0	0.2	8(He+Ar25%)	0.75	

(续)

材料	板厚 /mm	焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊接速度 /(cm/min)	离子气 Ar/ (L/min)	保护气(体积分数) 流量/(L/min)	喷嘴孔径 /mm	注
依 斯 特 洛 合 金	0.125	4.8	—	25.0	0.28	8Ar	0.75	对接焊
	0.25	5.8	—	20.0	0.28	8Ar	0.75	
	0.5	10	—	25.0	0.28	8Ar	0.75	
	0.4	13	—	50.0	0.65	4.2Ar	0.9	
不 锈 钢 丝	φ0.75	1.7	—	—	0.28	7(Ar+H <sub>2</sub> 15%)	0.75	搭接时间 1s
	φ0.75	0.9	—	—	0.28	7(Ar+H <sub>2</sub> 15%)	0.75	搭接时间 0.6s
镍 丝	φ0.12	0.1	—	—	0.28	7Ar	0.75	搭接热电极
	φ0.37	1.1	—	—	0.28	7Ar	0.75	
	φ0.37	1.0	—	—	0.28	7(Ar+H <sub>2</sub> 2%)	0.75	
钼丝与镍丝 φ0.5	—	2.5	—	焊点为 0.2s	0.2	9.5Ar	0.75	点焊
	0.025	0.3	—	12.5	0.28	9.5(Ar+H <sub>2</sub> 0.5%)	0.75	卷边
铜	0.075	10	—	15.0	0.28	9.5(Ar+He75%)	0.75	对接

表 4-14 薄板端接头等离子弧焊焊接参数

金 属	板 厚 /mm	电 流 (直流正接) /A	焊接速度 /(cm/min)	保护气体(体积分数)
不 锈 钢	0.03	0.3	12	Ar99%+H <sub>2</sub> 1%
	0.13	1.6	35	Ar99%+H <sub>2</sub> 1%
	0.25	4.0	12	Ar99%+H <sub>2</sub> 1%
钛	0.08	1.6	12	Ar
	0.20	3.0	12	Ar
Ni-21%Cr-19%Fe <sup>①</sup>	0.13	1.5	24	Ar99%+H <sub>2</sub> 1%
	0.25	3.0	8	Ar
	0.51	6.5	18	Ar
Fe-28%Ni-18%Co	0.26	9.0	51	Ar95%+H <sub>2</sub> 1%

注:1. 离子气流量:0.24L/min,纯 Ar,喷嘴直径为 0.80mm。

2. 保护气体流量:10L/min。

① 元素含量为质量分数(%)。

## 第四节 等离子弧切割工艺

### 一、等离子弧切割的分类

#### 1. 一般等离子弧切割

等离子弧切割可采用转移弧或非转移弧。非转移弧适于切割非金属材料。由于非转移弧的挺度差,所能切割的金属材料厚度比较小,因此通常采用转移弧切割金属材料。切割薄板金属时,采用微束等离子弧工艺,可获得更窄的切口。

#### 2. 水再压缩等离子弧切割

这种切割工艺就是在喷嘴出口附近用水把等离子弧再进行一次压缩。它的优点是喷嘴不易烧损、切割速度快、切口窄而且切边比较垂直。切割时,由割枪中喷出的除工作气体外,还有高速喷出的水束,共同迅速地将熔化金属排开。这种工艺的水喷溅严重,一般在水槽中进行,工件位于水面下 200mm 左右,这样可以使切割噪声降低 15dB 左右,并能吸收弧光、烟尘、金属粒子等,改善了劳动条件。

#### 3. 空气等离子弧切割

空气等离子弧切割有两种形式:

(1) 单一式空气等离子弧切割 利用空气压缩机提供的压缩空气作为工作气体和排除熔化金属的气流。其切割成本低、气体来源方便、切割速度快。但是这种工艺的电极受到强烈的氧化腐蚀,一般采用镶嵌式纯钨或纯钨电极,不能采用纯钨或氧化钨电极。

(2) 复合式空气等离子弧切割 这种工艺方法采用内外两层喷嘴,内喷嘴通入常用的工作气体,外喷嘴通入压缩空气,这样既可以利用压缩空气在切割区的化学放热反应,提高切割速度;又可以避免了空气与电极的直接接触。所以这种形式的切割可以采用纯钨电极或氧化钨电极,并且简化了电极结构。

### 二、等离子弧切割气体的选择

等离子弧切割最常用的气体是氩、氮、氩加氢、氮加氢、氮加氩混合气体等,依据被切割材料的种类及厚度、切割工艺条件,选择合适的气体种类。表 4-15 为等离子弧切割常用气体的选择。

表 4-15 等离子弧切割常用气体的选择

工作厚度 /mm	气体成分 (体积分数)	空载电压 /V	切割电压 /V
≤120	N <sub>2</sub>	250~350	150~200
≤150	N <sub>2</sub> +Ar (N <sub>2</sub> 30%~30%)	200~350	120~200
≤200	N <sub>2</sub> +H <sub>2</sub> (N <sub>2</sub> 50%~30%)	300~500	180~300
≤200	Ar+H <sub>2</sub> (H <sub>2</sub> 约35%)	250~500	150~300

一般等离子弧切割不用保护气，工作气体和切割气体从同一喷嘴内喷出。引弧时喷出小气流离子气体作为电离介质，切割时喷出大气流气体用来排除熔化金属。水再压缩等离子弧切割采用上述常用气体为工作气体，而外喷射为高压水。空气等离子弧切割采用压缩空气或者离子气为常月气体，而外喷射为压缩空气。

氮气是双原子气体，热压缩效应好，而且动能大，但是它的引弧与稳弧性能较差。氢气也是双原子气体，具有热压缩效应好、动能大的特点，但是它的引弧与稳弧性能更差，常用于切割大厚度板材时的辅助气体。氩气是单原子气体，容易电离，具有良好的引弧性和稳弧性，但是它用于切割时气体流量大、不经济，并且纯氩也不适于切割大厚度板材。因此，一般情况下氮与双原子气体混合使用。其中效果最好的是氮加氢混合气，其次是氮加氩及氮加氦混合气。实际生产中，用纯氮作为工作气体切割不锈钢也取得了很好的效果。

### 三、常用金属的等离子弧切割工艺参数

不同材料的一般等离子弧切割工艺参数见表 4-16。

各种材料的水再压缩等离子弧切割工艺参数见表 4-17。

不锈钢、碳素钢的空气等离子弧切割工艺参数见表 4-18。

表 4-16 不同材料一般等离子弧切割工艺参数

材 料	厚 度 /mm	喷嘴孔径 /mm	空载电压 /V	切割电流 /A	切割电压 /V	N <sub>2</sub> 气流量 /(L/h)	切割速度 /(m/h)
不 锈 钢	8	3	160	185	120	2100~2300	45~50
	20	3	160	220	120~125	1900~2200	32~40
	30	3	230	280	135~140	2700	35~40
	45	3.5	240	340	145	2500	20~25
	12	2.8	215	250	125	4400	784
铝和铝合金	21	3.0	230	300	130	4400	75~80
	34	3.2	240	350	140	4400	35
	80	3.5	245	350	150	1400	10
	5			310	70	1420	94
	18	3.2	180	340	84	1660	30
纯 铜	38	3.2	252	304	106	1570	11.3
	50	10	252	300	110	1230	10
	85	7	252	300	110	1050	5
低 碳 钢	5			300	70	1450	60
	18			360	73	1510	25
铸 铁	35			370	100	1500	8.4



表 4-17 水再压缩等离子弧切割工艺参数

材料	工件厚度 /mm	喷嘴孔径 /mm	切割电压 /V	切割电流 /A	压缩水流量 / (L/min)	氮气流量 / (L/min)	切割速度 (cm/min)
低碳钢	3	φ3	145	260	2	52	500
	3	φ4	140	260	1.7	78	500
	6	φ3	160	300	2	52	380
	6	φ4	145	380	1.7	78	380
	12	φ4	155	400	1.7	78	250
	12	φ5	160	550	1.7	78	290
	51	φ5.5	190	700	2.2	123	60
不锈钢	3	φ4	140	300	1.7	78	500
	19	φ5	165	575	1.7	78	190
	51	φ5.5	190	700	2.2	123	60
铝	3	φ4	140	300	1.7	78	572
	25	φ5	165	500	1.7	78	203
	51	φ5.5	190	700	2	123	102

表 4-18 空气等离子弧切割工艺参数

材料	工件厚度 /mm	喷嘴孔径 /mm	空载电压 /V	切割电压 /V	切割电流 /A	压缩空气流量 / (L/min)	切割速度 / (cm/min)
不锈钢	8	φ1	210	120	30	8	20
	6	φ1	210	120	30	8	38
	5	φ1	210	120	30	8	43
碳素钢	8	φ1	210	120	30	8	24
	6	φ1	210	120	30	8	42
	5	φ1	210	120	30	8	56

铸铁、不锈钢等材料大厚度工件的切割工艺参数见表 4-19。

表 4-19 大厚度工件的切割工艺参数

材 料	厚 度 /mm	空载电压 /V	切割电流 /A	切割电压 /V	功 率 /kW	切割速度 / (m/h)
铸 铁	100	240	400	160	64	13.2
	120	320	500	170	85	10.9
	140	320	500	180	90	8.56
不 锈 钢	110	320	500	165	82.5	12.5
	130	320	550	175	87.5	9.75
	150	320	440~480	190	91	6.55

材 料	气体流量/ (L/h)		气体混合 比 $\varphi$ /%		喷嘴直径 /mm
	氮	氢	氮	氢	
铸 铁	3170	960	77	23	5
	3170	960	77	23	5.5
	3170	960	77	23	5.5
不 锈 钢	3170	960	77	23	5.5
	3170	960	77	23	5.5
	3170	960	77	23	5.5

## 第五节 等离子弧焊接与切割的质量分析

### 一、焊接缺陷及防止措施

等离子弧焊缝的缺陷可分为表面缺陷及内部缺陷两大类。焊缝的表面缺陷包括：余高过大、咬边、未焊透、未填满、表面裂纹等。焊缝的内部缺陷包括：气孔、未熔合、内部裂纹等。其中以气孔、裂纹、咬边等缺陷为最常见。等离子弧焊接的焊缝缺陷与被焊金属材质、焊前的

清理准备、焊接参数、气体保护条件等因素有关。

### 1. 气孔

当焊件的焊前清理不彻底、焊接电流过大、电弧电压过高、焊接速度过快、以及填充焊丝送进太快等,都会造成焊缝中产生气孔。其防止措施是注意调整焊接参数,使焊接电流、电弧电压、焊接速度、送丝速度等处于最佳参数状态;同时还应调整焊枪位置,使之适当后倾。

### 2. 裂纹

被焊金属的材质成分、物理性能及冶金性能、焊接过程中焊件受到的拘束力,以及气体保护情况等都会诱发焊接裂纹的出现。裂纹的防止措施是对焊件进行预热及保温、改善气体保护条件、调整焊接热输入、降低胎卡具对焊件所造成的拘束力。

### 3. 咬边

等离子弧焊时焊缝的咬边缺陷可分为单侧咬边与双侧咬边。产生咬边的原因是焊接电流过大、焊接速度过快、离子气流量过大、电极与喷嘴不同心、焊枪向一侧倾斜,以及装配错位、产生磁偏吹现象等。咬边缺陷的防止措施是将焊件装配错位处修整、调整电极与喷嘴的同心度、将电极对准焊缝位置的中心、正确连接电缆线,并且对焊接参数进行逐项检查并找出最佳值进行焊接。

## 二、切割缺陷及防止措施

常用金属材料进行等离子弧切割时的切口缺陷及产生原因见表4-20。切口质量评定包括:切口宽度、切口垂直度、切口表面粗糙度、割纹深度、切口底部熔瘤、切口热影响区的硬度及宽度等项。良好的切割质量应当是切口表面光洁、切口宽度要窄、切口横断面呈矩形、切口无熔渣或挂渣(熔瘤)、切口表面硬度以不妨害割后的机械加工为准。当利用等离子弧切割焊件的坡口时,要注意切口底部不得残留熔渣,否则将会造成焊接装配工作的困难。

切割缺陷的防止措施,可按照表4-20中列出的相应产生原因去分别制定出解决办法。但总起来说就是调整工艺参数至最佳状态、检查电极与喷嘴的同心度,以及喷嘴结构是否合适。因为喷嘴的烧损会严重影响切口质量。

表 4-20 常用材料的割口缺陷及产生原因

缺陷类型	产生原因		
	低碳钢	不锈钢	铝
上表面切口呈圆形	速度过快,喷嘴距离过大	速度过快,喷嘴距离过大	此缺陷不经常出现
上表面有割瘤	喷嘴距离过大	喷嘴距离过大,气流中氢气含量过高	喷嘴距离过大
上表面粗糙	此缺陷不经常出现	喷嘴距离过大,气流中氢气含量过高,速度太慢	气流中氢气含量过小
侧面呈过大正坡口	速度过快,喷嘴距离过大	速度过快,喷嘴距离过大	速度过快,气流中氢气含量太小
侧面呈凹形	此缺陷不经常出现	气流中氢气含量过大	气流中氢气比例过大,速度太慢
侧面呈凸形	速度太快	速度太快,气流中氢气含量太小	此缺陷不经常出现
背面边缘呈圆形	速度过快	此缺陷不经常出现	此缺陷不经常出现
背面有割瘤	气流中氢气含量过大,速度过慢,喷嘴距离过小	速度太慢,气流中氢气比例过大	速度过快
背面粗糙	喷嘴距离过小	此缺陷不经常出现	气流中氢气含量太小

## 第六节 等离子弧焊接与切割的工程实例

### 一、不锈钢筒体的等离子弧焊

化纤设备 S441 过滤器结构图见图 4-15。其材质为 1Cr18Ni12Mo2。

GR-201 高温高压染色机部件结构图见图 4-16。其材质为 1Cr18Ni9Ti。

### 1. 焊接设备

采用 LH-300 型等离子弧焊机。焊枪为图 4-3 所示的大电流等离子弧焊枪及对中可调式焊枪。使用的喷嘴为有压缩段的收敛扩散三孔型。

### 2. 焊接参数

等离子弧焊焊接参数见表 4-21。

### 3. 焊接工艺要点

1) 坡口形式为 I 形。板材经剪床下料, 使用丙酮清除油污后即可

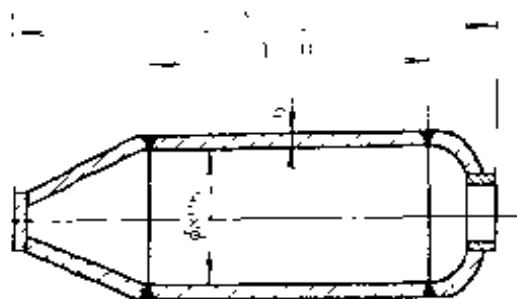


图 4-15 S441 过滤器结构图

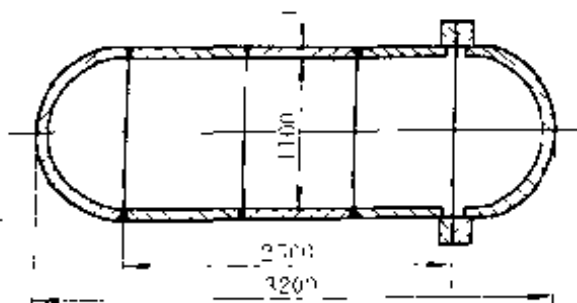


图 4-16 GR-201 高温高压  
染色机部件结构图

表 4-21 等离子弧焊焊接参数

焊接参数 板厚/mm	喷嘴直径/mm	氩气流量 / (L/min)			焊接速度 / (mm/min)	焊接电流 / A	电弧电压 / V	焊丝直径 / mm
		离子	保护	拖罩				
4	3	6~7	12	15	350~400	200~220	25~24	0.8~1.0
5	3.2	7~8	12	15	350	250	26~28	0.8~1.0
6	3.2	8~9	15	20	280~350	260~280	28~30	0.8~1.0
8	3.2	12~13	15	20	320~350	320	30	1.0
8 <sup>①</sup>	3.5	9~10	15	20	150~160	280	32.5	1.0
10	3.2	15	15	20	250~280	340	32	1.0
10 <sup>①</sup>	3.5	9~10	15	20	150	280~290	32~34	1.0

① 喷嘴后倾 10°~15°。

进行装配、焊接。

2) 接头装配时不留间隙,使切口方向一致(切口向上),进行装配定位,定位焊缝间距 $\approx 300\text{mm}$ 。

3) 直缝及筒体纵缝在焊接卡具中焊接,并装有引弧板及引出板。

4) 筒体环缝焊接接头处有 $30\text{mm}$ 左右的重叠量,熄弧时焊件停转,电流、气流同时衰减,并且电流衰减稍慢,焊丝继续送进以填满弧坑。

5) 为保证焊接质量及合理使用保护气体,焊缝的保护形式采用以下几种:焊缝背面为分段跟踪通气保护;焊缝正面附加拖罩保护。直形及弧形拖罩长度均为 $150\text{mm}$ ,分别用于直缝及环缝焊接,弧形拖罩的半径为焊件半径加 $5\sim 8\text{mm}$ 。

#### 4. 焊接质量分析

接头的抗拉强度为 $580\sim 590\text{MPa}$ ,冷弯角 $\alpha > 120^\circ$ 。接头经检测无裂纹。经腐蚀试验及金相分析,焊缝质量达到产品的技术要求。

### 二、双金属锯条的等离子弧焊

一般机用锯条是由高速钢制成的。实际上只是锯条的齿部需要选用高速钢材质,采用等离子弧焊焊接双金属的方法可以合理使用高速钢,节约贵重材料。焊接锯条外形如图4-17所示,齿部用高速钢,背部用低合金钢,这样不仅可以节约高速钢,合理使用材料,而且可能提高锯条的使用寿命,因为背部的低合金钢具有良好的韧性,不易折断。双金属锯条的材质化学成分及硬度值见表4-22。刃部材料为W18Cr4V,规格为 $490\text{mm} \times 9.5\text{mm} \times 1.8\text{mm}$ 冷轧带钢。背部材料为65Mn,规格为 $490\text{mm} \times 30\text{mm} \times 1.8\text{mm}$ 冷轧带钢。以上材料均为退火状态。

表 4-22 双金属锯条的材质化学成分及硬度 (%)

牌 号	$w_C$	$w_{Mn}$	$w_{Si}$	$w_S$	$w_P$
W18Cr4V	0.1~0.8	$\leq 0.4$	$\leq 0.4$	$< 0.03$	$< 0.03$
65Mn	0.62~0.7	0.9~1.2	0.17~0.57	$< 0.045$	$< 0.045$

牌 号	$w_W$	$w_{Cr}$	$w_V$	$w_{Mo}$	HRC	用途
W18Cr4V	17.5~19	3.5~4.4	1~1.4	$\leq 0.3$	24	刃部材料
65Mn	—	—	—	—	$\leq 29$	背部材料

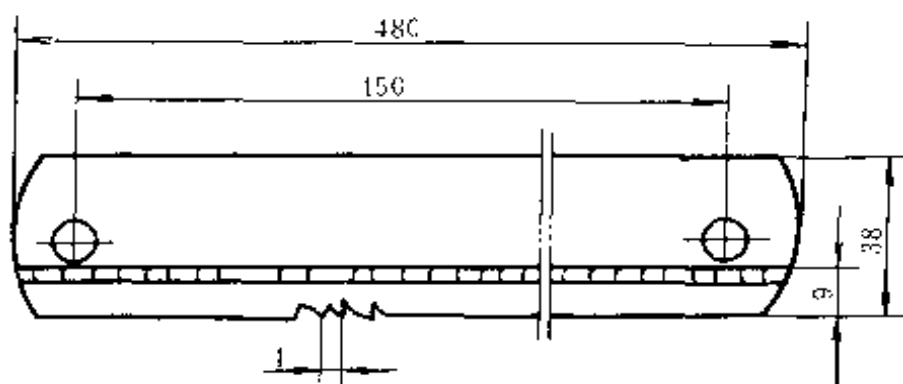


图 4-17 焊接锯条外形

## 1. 工艺装备

焊接锯条的简易工装如图 4-18 所示。焊枪固定不动，由动夹具使锯条移动，焊件背面通保护气。在施焊焊件的下部设有适应控制传感器，可以自动调节焊接参数（例如焊接速度），以保证焊接质量均匀稳定。

## 2. 焊接参数

采用三孔型喷嘴，孔径为 2mm，孔道长为 2.4mm，喷嘴孔两边的小孔孔径为 0.8mm，小孔间距为 6mm。保护气与离子气均为氩气。焊接参数见表 4-23。

表 4-23 焊接锯条的焊接参数

焊 接 方 式	焊 接 参 数	焊接	电弧	焊接速度	离子气流	保护气流	背面保护	电极内
		电流 /A	电压 /V	/(mm/ min)	量/ (L/h)	量/ (L/h)	气流量/ (L/h)	缩量 /mm
不加 适应控 制	穿孔法	105	35	600~ 690	240~ 250	600	160~ 200	2.7
		100	32	520	180~ 190	600	160~ 200	2.5~ 2.4
加适 应控制	穿孔法	108	35	750	275~ 340	600	160~ 200	2.6
		110	35	750	275~ 340	600	160~ 200	2.6
	熔入法	108	32	520~ 690	150~ 200	600	160~ 200	2.5~ 2.4
		110	32	520~ 690	150~ 200	600	160~ 200	2.5~ 2.4



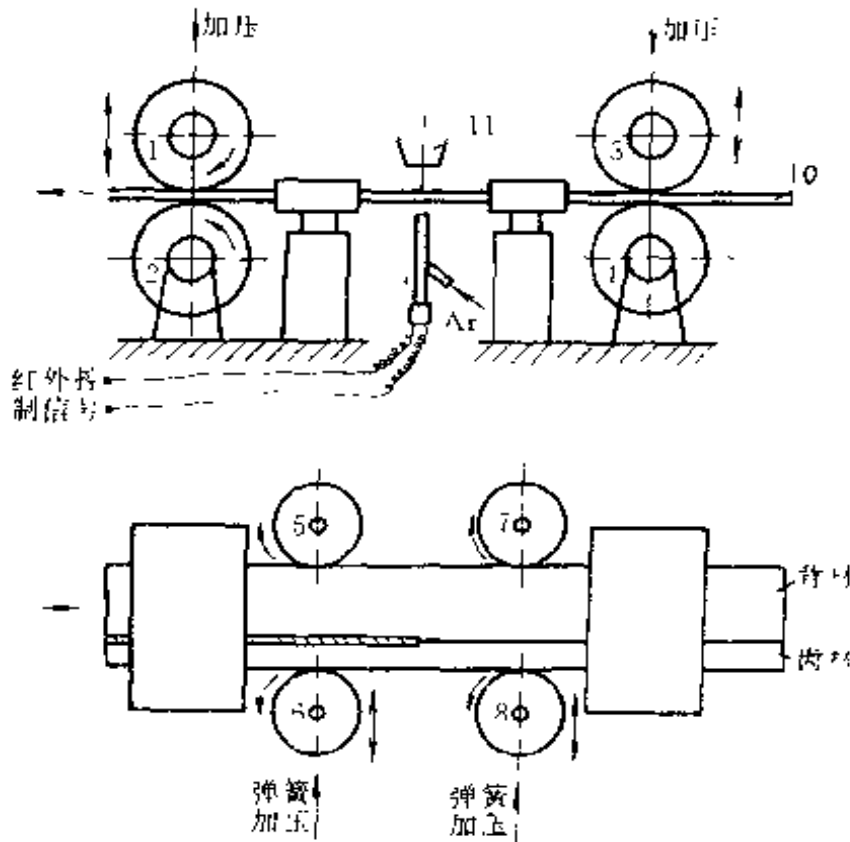


图 4-18 焊接锯条的简易工装夹具

### 3. 硬度测定结果

焊后焊缝的硬度很高,齿部母材及热影响区的硬度也显著增高,而背部母材的硬度较低。

### 4. 焊接接头组织分析

双金属焊接接头的焊缝及热影响区都出现了淬硬组织。焊缝中有较多的莱氏体,在靠近高速钢的热影响区中也有少量的莱氏体组织。靠背部的热影响区较宽(2.65mm),靠齿部的热影响区较窄(0.81mm)。焊缝宽度为2.50mm。从金相组织来看,焊缝及近缝区的金相组织性能很坏,特别是焊缝很硬很脆。这种不合格的组织经过焊后的热处理可以改善。

### 5. 焊后退火处理



在焊后 24h 内需要进行退火处理,退火工艺曲线如图 4-19 所示。退火后焊缝中莱氏体组织大量消除,齿部、焊缝及背部硬度均小于 21HRC,能满足加工要求。总之,退火后基本上达到技术要求,焊接接头退火后各区金相组织分布如图 4-20 所示。

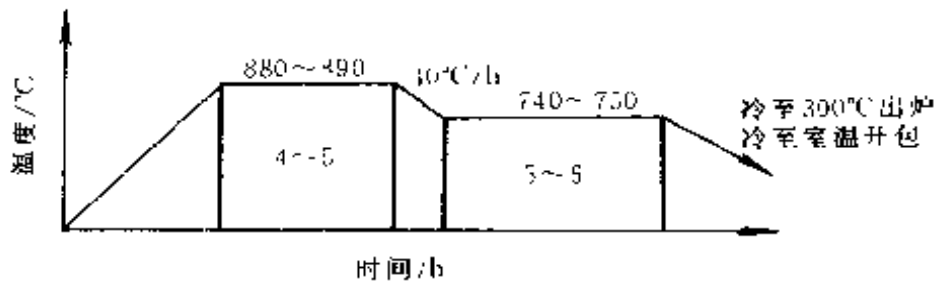


图 4-19 退火工艺曲线

#### 6. 淬火处理

按照高速钢锯条性能进行淬火处理,并兼顾背部材料的性能。淬火工艺曲线见图 4-21。淬火后齿部硬度为 67HRC,焊缝硬度为 65.1HRC,背部硬度为 32.4HRC。硬度值大大升高,焊缝及热影响区的莱氏体基本消失,但残余莱氏体较多。



图 4-20 退火后各区金相组织分布

- 1 索氏体+残余碳化物
- 2 索氏体+少量莱氏体
- 3 索氏体+细小莱氏体
- 4 铁素体全脱碳 (0.09mm)
- 5 铁素体+珠光体贫碳区 (0.25mm)
- 6 珠光体+铁素体

#### 7. 回火处理

淬火后要进行二次回火处理。回火工艺曲线如图 4-22 所示。淬火后必须及时回火,一般不得超过 24h。

#### 8. 回火后的金相组织

经过回火后的金相组织,齿部为回火马氏体+少量残余碳化物;焊缝为回火马氏体+残余碳化物细网;背部材料为针状索氏体+少量羽毛状贝氏体+屈氏体。

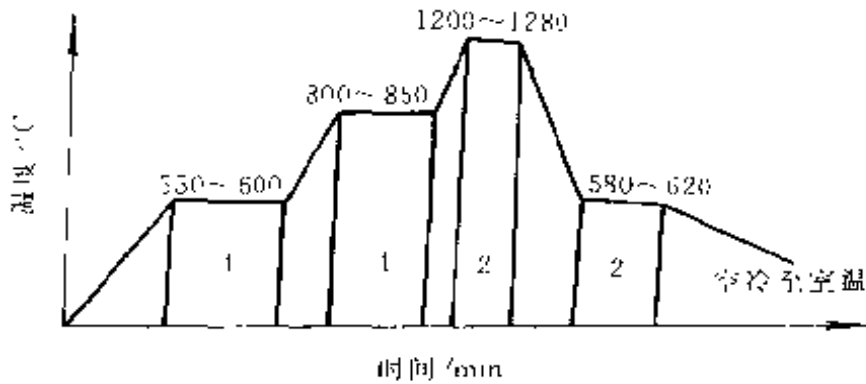


图 4-21 淬火工艺曲线

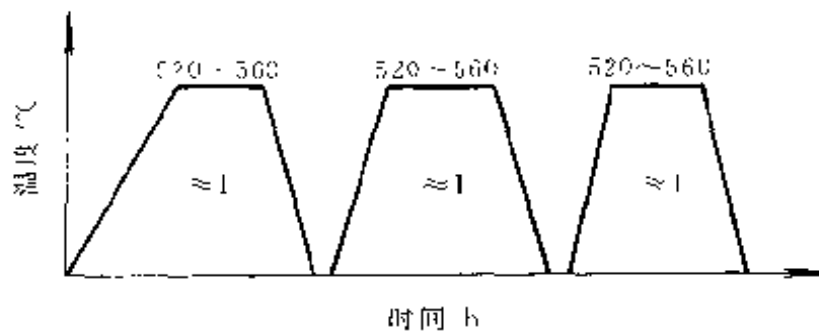


图 4-22 回火工艺曲线

### 9. 双金属锯条的使用性能

经过以上工序加工的锯条,经实用证明可锯 $\phi 40 \sim \phi 130\text{mm}$ 的圆钢或方钢(材质为45钢)。双金属锯条完全可以代替高速钢制成的锯条。

## 三、波纹管部件的微束等离子弧焊

### 1. 技术要求

波纹管与管接头的组合件如图4-23所示。要求焊接接头有可靠的致密性及真空密封性。并要保持波纹管的工作弹性及抗腐蚀性。因此,焊接过程中其工作部分的加热温度不得超过 $200^{\circ}\text{C}$ 。

### 2. 焊件材质、规格

材质为1Cr18Ni10Ti不锈钢,波纹管直径为 $\phi 18\text{mm}$ ,板厚为 $0.12\text{mm}$ ,管接头壁厚为 $2 \sim 4\text{mm}$ 。

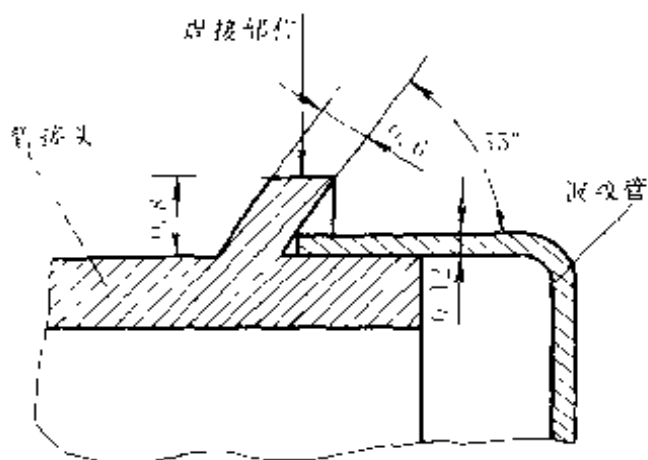


图 4-23 波纹管与管接头组合件

### 3. 接头形式

由于被焊零件厚度相差很大，散热条件不同，给焊接工作造成困难。为防止波纹管边缘烧穿，采用图 4-23 的接头形式，使用“挡板”结构消除波纹管边缘的烧穿。

### 4. 工艺装备

将波纹管组合件夹紧在专用胎具中，使波纹管全部工作段也处于胎具中，接缝由胎具中露出约 2mm。

### 5. 焊接工艺

焊接时焊件绕水平轴旋转或与水平轴倾斜 45°角，焊枪垂直于焊缝。

焊接参数： $I=14\sim 16\text{A}$ ； $U=18\sim 20\text{V}$ ；离子气：氩气，流量为 0.4L/min；保护气体：氩气或氩氢混合气体，流量为 3~4L/min；喷嘴至焊件距离为 2~4mm；焊接速度为 3m/h；这种参数的微束等离子弧焊可使挡板完全熔化，并与波纹管边缘熔在一起，形成良好的焊缝。

### 6. 焊接质量

实测表明，焊接过程中波纹管工作部分受热温度不高于 80℃，保证了波纹管的弹性。经气密性试验，焊接接头无泄漏现象，满足真空密封性要求。拉伸试验表明，试样破坏均发生在母材上，焊接接头具有良好的力学性能。

#### 四、螺旋焊管的水再压缩式空气等离子弧在线切割

高频焊接制造的螺旋钢管尺寸为 $\phi 219 \sim \phi 377 \text{mm}$ ，壁厚为 $7 \text{mm}$ 。螺旋焊管的生产过程如图 4-24 所示。焊接速度为 $5 \text{m/min}$ ，其圆周速度约等于 $3.5 \text{m/min}$ 。为了保证螺旋焊制钢管的连续生产，要求采用空气等离子弧快速切割，切割速度应 $\geq 3.5 \text{m/min}$ 。

##### 1. 切割方法

采用水再压缩式空气等离子弧切割，并且采用刀轮夹紧式切管随焊机及有关辅助装置。

##### 2. 切割工艺参数

通过试验找出最佳工艺参数为 $I = 260 \text{A}$ ， $U = 230 \text{V}$ ，喷嘴孔径 $d = 3.5 \text{mm}$ ，气体流量 $Q = 15 \text{L/min}$ ，压力 $p = 0.5 \text{MPa}$ 。

##### 3. 切割结果

切割速度可达 $3.9 \text{m/min}$ ，管端切斜小于 $1.5 \text{mm}/2\pi$ ，坡口等于 $30^\circ$ ，符合产品要求，并且验收合格。

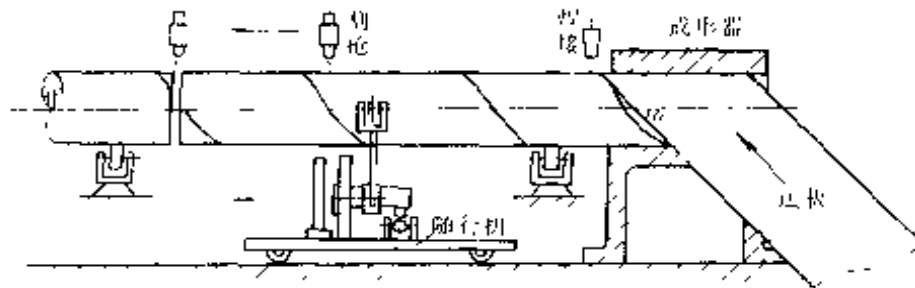


图 4-24 螺旋焊管生产线及在线切割

# 第五章 电 渣 焊

## 第一节 概 述

电渣焊是利用电流通过液体熔渣所产生的电阻热进行焊接的方法。根据使用的电极形状,可以分为丝极电渣焊、板极电渣焊、熔嘴电渣焊等。由于电渣焊是在垂直位置或接近垂直位置进行焊接,为了保证熔池形状、强制焊缝成形,在接头两侧采用铜滑块作为成形卡具(或在一侧采用固定垫板)。铜滑块内部应通有冷却水。

### 一、电渣焊的特点

(1) 适于大厚度焊件的焊接

焊件均为I形坡口,只留一定尺寸的装配间隙便可一次焊接成形。所以生产率高、焊接材料消耗较少,

(2) 适于焊缝处于垂直位置的焊接

垂直位置对于电渣焊形成熔池及焊缝的条件最好,也可用于倾斜焊缝(与地平面的垂直线夹角 $\leq 30^\circ$ )的焊接。所以焊缝金属中不易产生气孔及夹渣。

(3) 焊接热源是电流通过液体熔渣而产生的电阻热。电渣焊时电流主要由焊丝或板极末端经渣池流向金属熔池。电流场呈锥形,是电渣焊的主要产热区。锥形流场的作用是造成渣池的对流,把热量带到渣池底部两侧,使母材形成凹形熔化区。电渣焊渣池温度可达 $1600\sim 2000\text{C}$ 。

(4) 具有逐渐升温及缓慢冷却的焊接热循环曲线。由于电渣焊的热源特性,使得焊接速度缓慢、焊接热输入较大。电渣焊的热影响区宽度很大,而且高温停留时间比较长,因此热影响区晶粒长大严重。图5-1为100mm厚钢板电渣焊及多层埋弧焊的热循环曲线对比,表5-1为其焊接参数及热循环参数的对比。

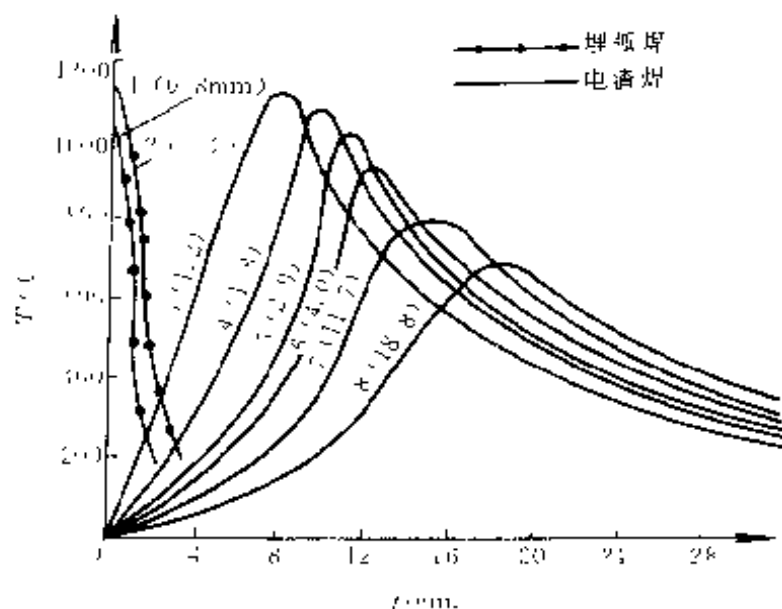


图 5-1 电渣焊与埋弧焊热循环曲线对比

曲线 1、2—埋弧焊，曲线 3~8—电渣焊

(括号内数字为离焊缝边缘距离 (mm))

表 5-1 电渣焊与埋弧焊热循环对比

项 目		电渣焊	埋 弧 焊	
			曲线 1	曲线 2
焊接参数	焊接电流/A	450	500	500
	焊接电压/V	38~40	32~34	32~34
	焊接速度/(m/h)	0.7~0.8	40	10
	热输入/(J/cm)	$81 \times 10^4$	$1.53 \times 10^4$	$6.12 \times 10^4$
热循环参数	加热至最高温时间/s	640	3	5
	1000℃以上停留时间/s	95	2.5	7
	700~350℃冷却时间/s	620	12	55
	350~200℃冷却时间/s	1620	20	220
	热影响区宽度/mm	16	2	5

(5) 液相冶金反应比较弱 由于渣池温度低,熔渣的更新率也很低,液相冶金反应比较弱,所以焊缝化学成分主要通过填充焊丝或板极合金成分来控制。此外,渣池表面与空气接触,熔池中活性元素容易被氧化烧损。

(6) 为了改善焊缝的组织及力学性能,必须进行焊后热处理 电渣焊焊缝的晶粒粗大,焊缝热影响区严重过热。在焊接低合金钢时,焊缝和热影响区会产生粗大的魏氏组织。进行焊后热处理可以改善焊缝组织及力学性能。电渣焊焊缝中产生气孔、夹渣的倾向较低,焊接易淬火钢时,产生裂纹的倾向较小。

## 二、电渣焊的分类及应用

根据电渣焊所使用电极的形状以及是否固定,电渣焊工艺可分为:丝极电渣焊、板极电渣焊、熔嘴电渣焊、管极电渣焊等几种方法。

### 1. 丝极电渣焊

丝极电渣焊如图 5-2 所示。使用的电极为焊丝,焊丝是通过导电嘴被送入熔池。焊机机头随熔池的上升而向上移动,并带动导电嘴上移。焊丝还可以在接头间隙中往复摆动,从而可以获得比较均匀的熔宽和熔深。对于比较厚的焊件可以采用 2 根、3 根或多根焊丝。丝极电渣焊由于焊丝位置

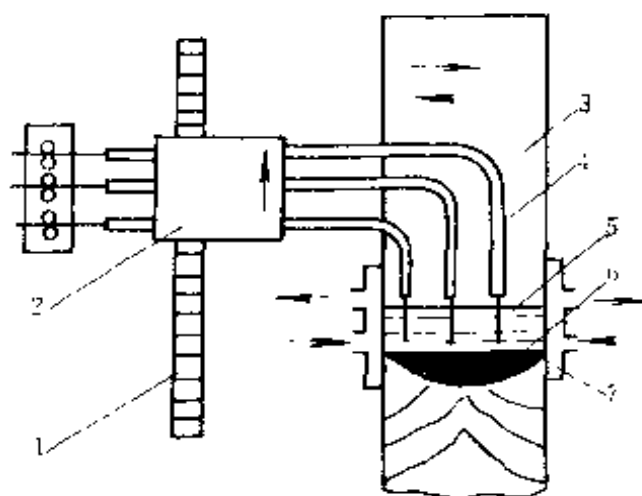


图 5-2 丝极电渣焊示意图

- 1--导轨 2--焊机机头 3--焊件 4--导电杆  
5--渣池 6--金属熔池 7--水冷成形滑块

及焊接参数都容易调节,所以适用于环焊缝焊接、高碳钢及合金钢的对接、T 形接头的焊接。缺点是这种方法的设备及操作比较复杂。在一般

的对接及T形接头中较少采用。

## 2. 板极电渣焊

板极电渣焊如图 5-3 所示。板极电渣焊所使用的电极为板状。板极由送进机构不断向熔池中送进。板极可以是铸件也可以是锻件。这种工艺适于不宜拉成焊丝的合金钢材料的焊接,所以多用于模具钢、轧辊等的堆焊与焊接工作。由于板极一般是焊缝长度的 4~5 倍,因此送进机构高大,焊接时如果板极晃动,易与焊件接触而短路。所以操作比较复杂,一般不用于普通材料的焊接。

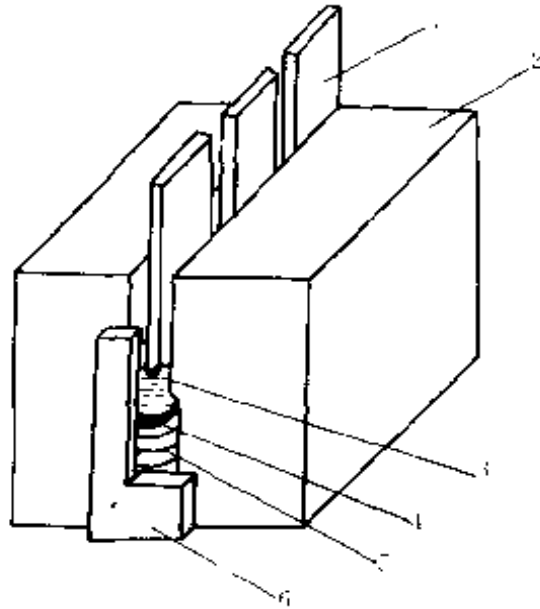


图 5-3 板极电渣焊示意图

1—板极 2—焊件 3—渣池 4—金属熔池  
5—焊缝 6—水冷成形块

## 3. 熔嘴电渣焊

熔嘴电渣焊如图

5-4 所示。熔嘴电渣焊的熔化电极为焊丝及固定于装配间隙中的熔嘴。熔嘴是根据焊接断面形状,由钢板和钢管点固焊接而成的。焊接时熔嘴不用送进,与焊丝同时熔化进入熔池,所以适于变断面焊件的焊接。随着焊件厚度的不同,熔嘴的数量可以是单个,也可以是多个。这种工艺方法的设备简单、操作方便。目前已成为对接、角接焊缝的主要焊接方法。但是熔嘴的制作及安装比较费时间。

## 4. 管极电渣焊

管极电渣焊如图 5-5 所示。它是熔嘴电渣焊的一个特例。当焊件很薄时,熔嘴即可简化为一根或两根涂有药皮的管子。所以,管极电渣焊的电极是固定在装配间隙中的带有涂料的钢管和管中不断向渣池中送



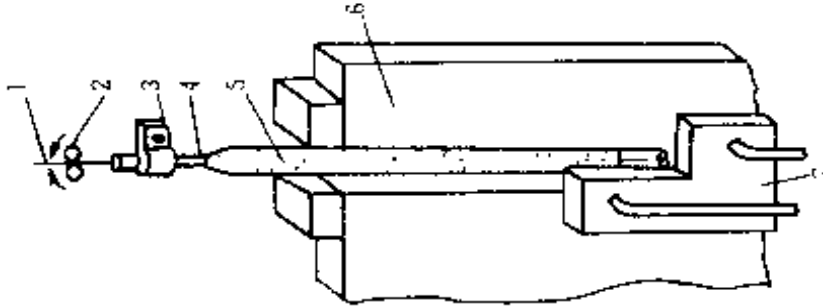


图 5-5 管极电渣焊示意图

- 1—焊丝 2—送丝滚轮 3—管极支持机构  
4—管极钢管 5—管极涂料 6—焊件  
7—水冷成形滑块

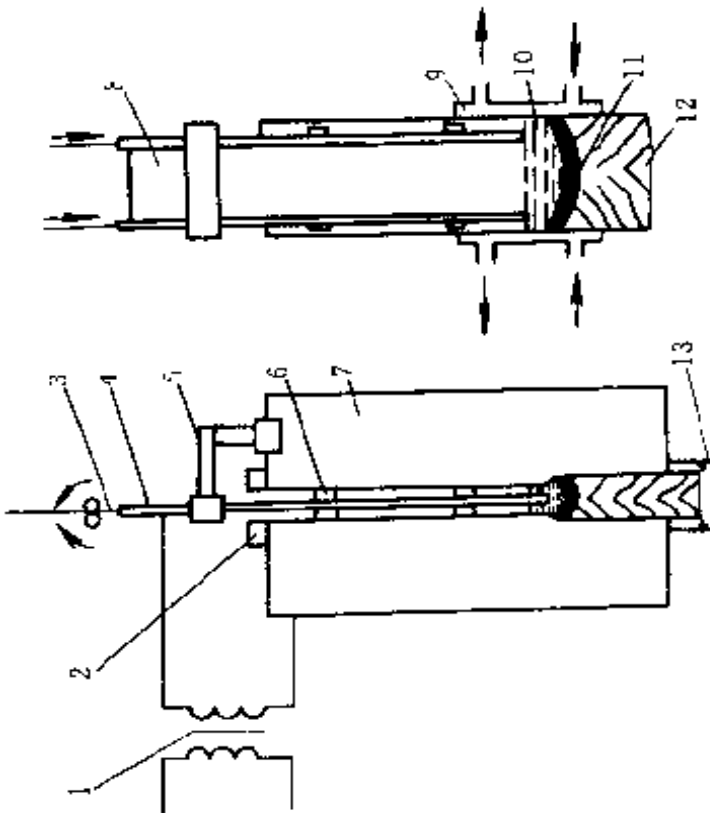


图 5-4 熔嘴电渣焊示意图

- 1—电源 2—引出板 3—焊丝 4—熔嘴钢管 5—熔嘴支架  
6—绝缘块 7—焊件 8—熔嘴钢板 9—水冷成形滑块  
10—液池 11—金属熔池 12—焊缝 13—起焊槽

进的焊丝。由于涂料的绝缘作用, 钨极不会与焊件短路, 所以焊件的装配间隙可以缩小。这样就可以节省焊接材料与提高焊接生产率。管极电渣焊多用于薄板及曲线焊缝的焊接。通过管极上的涂料, 还可以适当地向焊缝中渗合金以改善焊缝组织、细化晶粒。

总之, 电渣焊工艺适用于焊件厚度较大的焊缝; 难于采用其它工艺进行焊接的曲线或曲面焊缝; 受到现场施工或起重能力的限制, 必须在垂直位置进行焊接的焊缝; 高碳钢、铸铁等焊接性差的金属焊接; 以及大面积的堆焊等。

## 第二节 电渣焊设备

### 一、电渣焊设备的组成

各种电渣焊方法的设备组成及要求见表 5-2。

表 5-2 电渣焊设备组成及要求

方 法	组 成	基 本 要 求
丝极电渣焊	交流电源 送丝机构 焊丝摆动机构 水冷成形滑块 提升机构	电源: 平或缓峰特性 空载电压 35~55V 单极电流 600A 以上 送丝机构: 等速控制 调速范围: 60~450m/h
管状焊丝 电渣焊	直流电源 送丝机构 焊丝摆动机构 水冷成形滑块 提升机构	摆动机构: 行程 250mm 以下可调, 调速范围 20~70m/h 提升机构: 等速或变速控制, 调速范围 50~ 80m/h
管极电渣焊 熔嘴电渣焊	交流电源 送丝机构 固定成形块	
板极电渣焊	交流电源 板极送进机构 固定成形块	板极送进机构: 手动或电动, 调速范围 0.5 ~2m/h

电渣焊设备的交流电源可采用三相或单相变压器，直流电源可采用硅弧焊整流器或晶闸管弧焊整流器。电渣焊电源应保证避免出现电弧放电过程或电渣-电弧的混合过程，否则将破坏正常的电渣过程。因此，电源必须是空载电压低、感抗小（不带电抗器）的平特性电源。由于电渣焊的焊接时间长，中间不能停顿，所以焊接电源负载持续率应按100%考虑。常用的电渣焊电源有BP1-3×1000和BP1-3×3000电渣焊变压器，其主要技术数据见表5-3。

表5-3 电渣焊变压器的主要技术数据

型 号		BP1-3×1000	BP1-3×3000
一次额定电压/V		380	380
二次电压调节范围/V		38~53.4	7.9~63.3
额定负载持续率/%		80	100
不同负载持续率时的焊接电流/A	100%	900	3000
	80%	1000	—
额定容量/kVA		150	450
相 数		3	3
冷却方式		通风机，功率1kW	一次侧空冷，二次侧水冷

送丝机构与熔化极电弧焊使用的送丝机构类似。送丝速度可以均匀无级调节。摆动机构的作用是扩大单根焊丝所焊的焊件厚度。其摆动距离、摆动速度、在每一行程终端的停留时间均可控制及调整。由于摆动幅度较大，一般都采用电动机正反转驱动、限位开关换向式结构。

提升机构在焊接过程中可提升成形滑块，在丝极电渣焊时还要提升送丝及摆动机构。提升机构可以是齿条导轨式，也可以是弹簧夹持式。

送丝机构、摆动机构及提升机构组成了电渣焊机头。

送丝电动机的速度控制器、焊机头横向摆动距离及停留时间的控制器、提升机构垂直运动的控制器以及电流表、电压表等组成了电渣焊机的电控系统。

为了保持电渣焊过程所必需的渣池和金属熔池，必须在电渣焊焊缝两侧设置强迫成形装置。主要用于丝极电渣焊的成形滑块，分整体式及组合式两种，其材质为纯铜，滑块内部通以冷却水，又称水冷却成形滑块。对于熔嘴电渣焊及板极电渣焊多采用固定式成形块。其结构形式与成形滑块相同。通常在熔池一侧使用沿焊缝全长的固定成形块，另一侧使用两块较短的成形块倒换，以便装配和焊接时观测渣池深度。此外，有时采用密封侧板为强迫成形装置。即采用与母材相同材质的板材制成密封侧板，装配时将侧板点固焊在焊缝位置的焊件侧面。焊接时侧板部分地板熔化并与焊缝熔合在一起。焊后切除或保留在焊件上。这种方法适于熔嘴电渣焊、板极电渣焊的短焊缝以及环焊缝的收尾处。

## 二、电渣焊焊接过程控制

### 1. 电渣焊上升速度的控制

上升速度是电渣焊过程控制中最重要的控制量。常用的上升速度控制方法、原理及应用特点见表 5-4。

表 5-4 电渣焊上升速度的控制方法

方 法	原 理	应 用 特 点
等速控制	根据板厚及装配间隙选定上升速度，靠拖动电机恒速反馈保持等速提升成形滑块	板厚和间隙均匀性较好时焊缝成形质量尚可，必要时辅以人工调速
熔池液面自动控制	实时检测熔池液面高度或其相关量，据此自动调节上升速度	间隙波动时可保证熔池液面高度及焊缝成形质量的稳定性
微机自动控制	实时测算焊缝断面变化，据此调节送丝速度、摆动幅度及上升速度等	有效地控制变断面熔池液面高度及焊缝质量

### 2. 电渣焊熔池液面高度的自动检测

在电渣焊过程中熔池液面高度的检测是很重要的，将检测到的熔池液面高度信号经电动机放大机或晶闸管、晶体管放大电路的放大以

后可以控制上升速度,保证获得优质的电渣焊焊接接头。熔池液面自动检测方法见表 5-3。检测方法的示意图如图 5-6 所示。

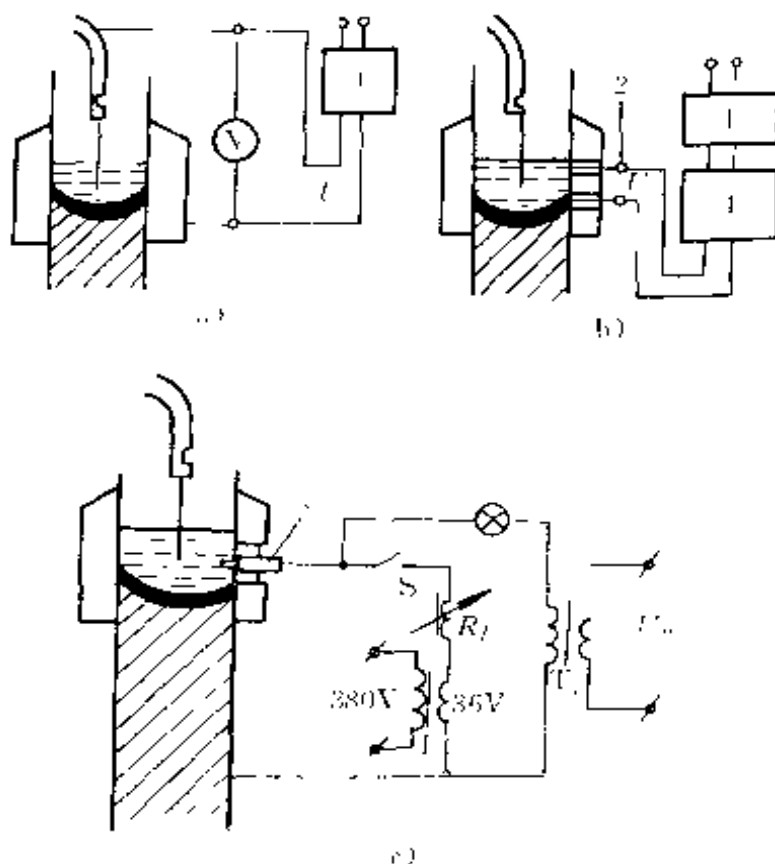


图 5-6 熔池液面高度自动检测方法

$U_n$ —液面检测控制信号

a) 电压法 b) 热电势法 c) 探针法

1—升降电动机拖动控制电路 2—热电偶 3—探针 4—放大器

表 5-5 电渣焊熔池液面高度自动检测方法

方 法	原 理	应 用 特 点
电压法	直接检测导电嘴与工件间电压	简单, 单值性, 受送丝速度影响, 精度不高
热电势法	在成形滑块接触熔池液面区间上下方各焊一个热电偶, 检测两者的热电势差值	信号弱, 需放大, 精度受冷却水流量影响

(续)

方 法	原 理	应 用 特 点
探针法	在成形滑块接触熔池液面二侧安装一个探针, 检测探针与工件间电压	精度较高, 但探针易损坏

### 三、电渣焊机的技术数据

#### 1. HS-1000 型万能电渣焊机

这种焊机是国产通用电渣焊机, 用于 1~3 根焊丝或板极电渣焊。HS-1000 型万能电渣焊机由导轨提升式自动焊接机头、焊丝盘、控制箱以及电渣焊变压器等部分组成。其主要技术数据见表 5-6。

表 5-6 HS-1000 型万能电渣焊机的主要技术数据

形 式		导 轨 式
焊接电流/A	连续 (负载持续率 100%)	900
	断续 (负载持续率 60%)	1000
焊接电流调节方式		远距离有级调节
焊接电压/V		38~53.4
电极尺寸/mm	焊丝	φ3
	板极	250 (最大宽度)
焊接厚度/mm	单程对接直焊缝	60~250
	对接焊缝	250~500
	T 形接头、角接焊缝	60~250
	环形焊缝	壁厚 450 (最大直径 3000)
	板极对接焊缝	800 以下
焊接速度/(m/h)		0.5~9.6
焊丝输送速度/(m/h)		60~450
升降速度/(m/h)		50~80
焊丝水平往复运动速度/(m/h)		21~75

(续)

形 式		导 轨 式
焊丝水平往复运动行程/mm		250
相邻焊丝间可调距离/mm		150
停留在焊丝临界点上持续时间/s		6
焊丝盘每只焊丝容量/kg		135
弧焊变压器	型号	BP1 3×1000
	电源电压/V	3相 380
	额定容量/kVA	160
升降电动机功率/kW		0.7 直流
滑 块	冷却方式	水 冷
	冷却水耗量/(L/min)	25~30
	滑块压力/N	400~600
外形尺寸 $\frac{\text{长}}{\text{mm}} \times \frac{\text{宽}}{\text{mm}} \times \frac{\text{高}}{\text{mm}}$	组成直缝焊	1360×800×1100
	组成角缝焊	1100×800×1100
	组成环缝焊	1130×800×1100
	组成板极焊	1505×800×1100
	控制箱	885×568×1400
	焊丝盘	700×400×730
	变压器	1400×846×1768
质量/kg	焊机	650 (直缝焊)
	控制箱	260
	变压器	1400

## 2. HR-1000 型管状焊条丝极电渣立焊机

管状焊条丝极电渣立焊工艺与熔嘴电渣焊工艺基本相同。该焊机采用一根或多根厚壁无缝钢管作为熔嘴，并在钢管的外表涂上一层药皮。焊接过程中，焊丝不断送入钢管内并引入渣池内，随着焊缝的形成，

钢管及涂层不断熔化。这种工艺可焊板厚为20~100mm。电源由单相降压变压器、晶闸管交流调压电路、调速电路、通风系统等部件组成。机头由减速箱、送丝机构、调整机构、焊丝夹紧装置、焊机固定装置等部件组成。HR 1000型管状焊条丝极电渣立焊机的主要技术数据见表5-7。

表 5-7 HR 1000 型管状焊条丝极电渣立焊机的主要技术数据

电源电压/V		单相 380
频率/Hz		50
额定输入电流/A		197
空载电压/V		78
额定负载持续率/%		60
额定焊接电流/A		单丝 1000
工作电压/V		38~55
管状焊条直径/mm		10、12
焊丝直径/mm		2.4~3.2
送丝速度/(m/min)		2~3
送丝盘最大焊丝容量/kg		15
机头质量/kg		17.5 (不计焊丝)
机头总高/mm		1200
外形尺寸 $\frac{\text{长}}{\text{mm}} \times \frac{\text{宽}}{\text{mm}} \times \frac{\text{高}}{\text{mm}}$	电源	970×660×1080
	操作盒	110×260×190
质量/kg	电源	330
	操作盒	3

### 第三节 电渣焊用焊接材料

#### 一、电极材料

##### 1. 焊丝



常用钢材电渣焊焊丝选用见表 5-8。采用丝极电渣焊工艺焊接碳的质量分数小于 0.18% 的低碳钢时, 可选用 H08A、H08MnA 焊丝。焊接碳的质量分数为 0.18%~0.45% 的碳素钢及低合金钢时, 可选用 H08MnMoA 或 H10Mn2A 焊丝。在丝极、熔嘴、管极电渣焊时, 焊丝直径通常为  $\phi 2.4\text{mm}$  或  $\phi 3.2\text{mm}$ 。

表 5-8 常用钢材电渣焊焊丝选用表

品 种	焊件牌号	焊丝牌号
钢板	Q235A、Q235B Q235C、Q235K	H08A、H08MnA
	20g、22g、27g Q345 (16Mn)、Q295 (09Mn2)	H08Mn2Si H10MnSi、H10Mn2 H08MnMoA
	Q390 (15MnV、15MnTi、 16MnNb)	H08Mn2MoVA
	Q420 (15MnVN、 14MnVTiRe)	H10Mn2MoVA
	14MnMoV 14MnMoVN 15MnMoVN 18MnMoNb	H10Mn2MoVA
	15、20、25、35	H10Mn2、H10MnSi
	20MnMoB、20MnVB 20MnSi	H10Mn2、H10MnSi H10MnSi

### 2. 板极

在焊接低碳钢、低合金钢时, 通常选用 Q295 (09Mn2) 钢板作为板极或熔嘴板。熔嘴板厚度一般为 10mm, 熔嘴管通常是 20 钢无缝钢管, 尺寸为  $\phi 10\text{mm} \times 2\text{mm}$ 。板极尺寸及熔嘴板宽度应按照焊接接头的形状及焊接工艺的要求确定。

### 3. 管极

管极电渣焊的电极是管状焊条。它由焊芯和药皮组成,焊芯通常是10钢、15钢或20钢冷拔无缝钢管。根据焊接接头的形状及尺寸,可选用 $\phi 12\text{mm} \times 3\text{mm}$ 、 $\phi 12\text{mm} \times 4\text{mm}$ 、 $\phi 14\text{mm} \times 2\text{mm}$ 、 $\phi 14\text{mm} \times 3\text{mm}$ 等型号的无缝钢管。

## 二、焊剂

常用的电渣焊焊剂的类型、化学成分和用途见表5-9。HJ360是最常用的电渣焊专用焊剂。它比HJ431适当提高了 $\text{CaF}_2$ ,降低了 $\text{SiO}_2$ 的含量,因此可以使熔渣的导电性、电渣过程的稳定性得到改善。HJ170也属于电渣焊专用焊剂,由于含有大量的 $\text{TiO}_2$ ,使得在固态下具有电子导电性,又称为导电焊剂。因此可以利用HJ170的电阻热使焊剂加热熔化而完成电渣焊的造渣过程,当渣池建立以后,可根据需要添加其它焊剂。此外,HJ431也广泛应用于电渣焊。

表5-9 常用电渣焊焊剂的类型、化学成分和用途

牌号	类型	化学成分(质量分数)/%	用 途
HJ170	无锰 低硅 高氟	$\text{SiO}_2$ 6~9 $\text{TiO}_2$ 35~41 $\text{CaO}$ 12~22 $\text{CaF}_2$ 27~40 $\text{NaF}$ 1.5~2.5	固态时有导电性 用于电渣焊开始时 形成渣池
HJ360	中锰 高硅 中氟	$\text{SiO}_2$ 33~37 $\text{CaO}$ 4~7 $\text{MnO}$ 20~26 $\text{MgO}$ 5~9 $\text{CaF}_2$ 10~19 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 11~15 $\text{FeO} \leq 1.0$ $\text{S} \leq 0.10$ $\text{P} \leq 0.16$	用于焊接低碳钢和 某些低碳合金钢
HJ431	高锰 高硅 低氟	$\text{SiO}_2$ 40~44 $\text{MnO}$ 34~38 $\text{MgO}$ 5~8 $\text{CaO} \leq 6$ $\text{CaF}_2$ 3~7 $\text{Al}_2\text{O}_3 \leq 4$ $\text{FeO} \leq 1.8$ $\text{S} \leq 0.06$ $\text{P} \leq 0.08$	用于焊接低碳钢和 某些低合金钢

三、管极涂料

管状焊条的外表是 2~3mm 厚的管极涂料。管极涂料的配方见表 5-10。管状焊条的制造方法可以用机器压涂，也可以采用手工沾制。要求管极涂料与钢管应具有良好的粘着力，焊接过程中钢管受热时药皮不应脱落。此外，为了细化晶粒、提高焊缝金属的力学性能，在管极涂料中可适当加入锰、硅、钼、钛、钒等合金元素。加入量可根据焊件的材质及采用的焊丝成分而定。管极涂料中铁合金材料的配比见表 5-11。

表 5-10 管极涂料配方

母材	焊丝	药皮成分 (质量分数) / %						
		锰矿粉	滑石粉	石英粉	萤石粉	金红石	钛白粉	白云石
Q345 (16Mn)	H08A	36	21	19	14	3	5	2
Q390 (15MnV)	H08MnA	36	21	14	19	3	5	2

表 5-11 管极涂料中铁合金材料的配比

铁合金 名称	每 1000g 配方中铁合金的加入量/g								铁合金的 主要用途
	H08A			H08MnA			H10Mn2		
	Q345 (16 Mn)	13Mn	Q235	Q345 (16 Mn)	Q390 (15 MnV)	Q235	Q345 (16 Mn)	Q390 (15 MnV)	
低碳 锰铁	300	400	-	100	200	-	-	-	提高强度、 脱氧、脱硫提 高低温冲击韧 度
中碳 锰铁	100	100	100	100	100	-	-	100	
硅铁	155	155	155	155	155	155	155	155	脱氧、提高 强度

(续)

铁合金 名 称	每 1000g 配方中铁合金的加入量/g								铁合金的 主要用途
	H08A			H08MnA			H10Mn2		
	Q345 (16 Mn)	15Mn	Q235	Q345 (16 Mn)	Q390 (15 MnV)	Q235	Q345 (16 Mn)	Q390 (15 MnV)	
钼铁	140	140	140	140	140	140	140	140	细化晶粒, 提高冲击韧度
钛铁	100	100	100	100	100	100	100	100	细化晶粒, 提高冲击韧度 脱氧、脱氮,减 少硫的偏析
钒铁	—	100	—	—	100	—	—	100	细化晶粒, 提高强度
合计	795	995	495	595	795	395	395	595	

#### 第四节 常用金属材料的电渣焊

##### 一、电渣焊焊接参数

各种电渣焊方法的主要焊接参数见表 5-12。其中焊接电流是因变参数,是由送丝速度、电弧电压、焊丝伸出长度等参数确定的。焊接速度是根据送丝速度、焊丝根数、焊件厚度及装配间隙等参数选定的。电渣焊焊接参数选择的主要依据是焊件厚度、熔池尺寸、熔合比。电渣焊熔池尺寸如图 5-7 所示。熔池宽度实际上表示出母材的熔深,而熔池深度则影响着焊缝凝固结晶时晶粒生长的方向。

##### 二、碳素钢、低合金钢的电渣焊

碳素钢及低合金钢直焊缝丝极电渣焊的焊接参数见表 5-13；环焊缝丝极电渣焊的焊接参数见表 5-14；熔嘴电渣焊的焊接参数见表 5-15；管极电渣焊的焊接参数见表 5-16。

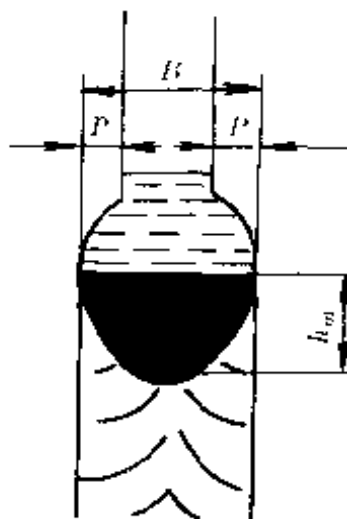


图 5-7 电渣焊熔池尺寸

$B$ —熔池宽度  $P$ —母材熔深  $h_m$ —熔池深度

### 三、铝、钛合金的电渣焊

铝材的电渣焊主要用于电力工业中的大断面铝母线的焊接。铝板的板极电渣焊焊接参数见表 5-17。铝板电渣焊时使用的焊剂配方见表 5-18。

钛合金 TC4 (Ti-6Al-4V) 采用熔嘴电渣焊，使用的焊剂为  $\text{CaF}_2$ ，其纯度  $w_{\text{CaF}_2}$  必须高达 99.9999%，辅以氩气保护。当焊接 25~50mm 厚的钛合金板时，可获得等强接头，并且能保证接头的塑性及韧性。

### 四、电渣焊接头的焊接缺陷及预防措施

电渣焊接头的缺陷及预防措施见表 5-19。

表 5-12 电渣焊接参数

焊接方法 焊接参数	丝极电渣焊	板极电渣焊	熔嘴电渣焊	管极电渣焊	备 注
装配间隙/mm	25~38	28~40	28~31	26~35	—
焊丝、板极、熔嘴、 管极数目 $n$	1~3	1~3 ( $\delta < 200\text{mm}$ 时 1)	—	—	通常每个熔嘴 1 根焊 丝,也可多根
焊丝、板极伸出长 度/mm	50~70	$\delta \frac{b(l+L_s)}{\pi \delta B} + 350$	$l + L_s + 350$	—	$\delta$ —板厚 $B$ —板极宽 $b$ —装配间隙 $\delta_1$ —板极厚 $l$ —焊缝长 $L_s$ —引弧板和引出板长
焊丝间距 $L_s$ /mm	$\delta + \frac{\omega - 2a}{n}$	8~13	$\delta - \frac{2a}{n}$	—	$a$ —焊丝最小间距,取 10~25mm $\omega$ —焊丝允焊件最小 边距,取 20~ 25mm

(续)

焊接方法 焊接参数	丝极电渣焊	板极电渣焊	熔嘴电渣焊	管极电渣焊	备注
摆动幅度 $a_1$ 或板宽 $B$ /mm	$a_1 = l_1 - a_2$	$B = \frac{\delta + 2a_1 - (n-1)a_2}{n}$	—	—	$a_1$ —板极最小间距, 取 $\delta \sim 13\text{mm}$ $a_2$ —板极交出焊件表面宽度
渣池深度/mm	40~70	30~35	40~50	35~55	—
电弧电压/V	43~56	30~40	35~45	35~38	—
送丝速度/(m/h)	140~500	1.5~2	$v_{送} = \frac{A - A_{焊}}{\Sigma A_{焊}}$	200~300	$A_{焊}$ —焊缝填充截面 $A_{焊}$ 、 $A_{丝}$ —熔嘴、焊丝截面
焊接电流/A	480~520	$A_{焊}(0.4 \sim 1.5)A/\text{mm}^2$	$340m + 4.5v_{送}\delta$	5~7 $A_{焊}$	$A_{板}$ 、 $A_{焊}$ —板极、管极截面积
焊接速度 $v_{焊}$ /(m/h)	0.5~9.6	0.5~2	—	1.5~3	—

表 5-13 直焊缝丝极电渣焊的焊接参数<sup>①</sup>

焊件材料	焊件厚度 /mm	焊丝数目 /根	装配间隙 /mm	焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊接速度 /(m/h)	送丝速度 /(m/h)	渣池深度 /mm
Q235 Q345(16Mn) 20	50	1	30	520~550	43~47	~1.5	270~290	60~65
	70	1	30	650~680	49~51	~1.5	360~380	60~70
	100	1	33	710~740	50~54	~1	400~420	60~70
	120	1	33	770~800	52~56	~1	440~460	60~70
20MnVB 20MnMoB 20MnSi 25	50	1	30	350~360	42~44	~0.8	150~160	45~55
	70	1	30	370~390	44~48	~0.8	170~180	45~55
	100	1	33	500~520	50~54	~0.7	260~270	60~65
	120	1	33	560~570	52~56	~0.7	300~310	60~70
35	370	3	36	560~570	50~56	~0.6	300~310	60~70
	400	3	36	600~620	52~58	~0.6	330~340	60~70
	430	3	38	650~660	52~58	~0.6	360~370	60~70
	450	3	38	680~700	52~58	~0.6	380~390	60~70
35	50	1	30	320~340	40~44	~0.7	130~140	40~45
	70	1	30	390~410	42~46	~0.7	180~190	45~55



(续)

焊件材料	焊件厚度 /mm	焊丝数/根	装配间隙 /mm	焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊接速度 /'(m/h)	送丝速度 /(m/h)	渣池深度 /mm
3b	100	1	33	460~470	50~54	~0.6	230~240	55~60
	120	1	33	520~530	52~56	~0.6	270~280	60~65
	370	3	36	470~490	50~54	~0.5	240~250	55~60
	400	3	36	520~530	50~55	~0.5	270~280	60~65
	430	3	38	560~570	50~55	~0.5	300~310	60~70
	460	3	38	590~600	50~55	~0.5	320~330	60~70
	50	1	30	240~280	38~42	~0.5	90~110	40~45
	70	1	30	320~340	42~46	~0.5	130~140	40~45
	100	1	33	360~380	48~52	~0.4	160~180	45~50
	120	1	33	410~430	50~54	~0.4	190~210	50~60
45	370	3	36	360~380	50~54	~0.3	160~180	45~55
	400	3	36	400~420	50~54	~0.3	190~210	55~60
	430	3	38	450~460	50~56	~0.3	220~240	50~60
	450	3	38	470~490	50~56	~0.3	240~260	60~65

① 焊丝直径为 3mm, 接头形式为对接接头。

表 5-14 环焊缝丝极电渣焊的焊接参数

焊件材料	焊件外圆直径/mm	焊件厚度/mm	焊丝数目/根	装配间隙/mm	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度/(m/h)	送丝速度/(m/h)	渣池深度/mm
25	600	80	1	33	400~420	42~46	~0.8	190~200	45~55
		120	1	33	470~490	50~54	~0.7	240~250	55~60
	1200	80	1	33	420~430	42~46	~0.8	200~210	55~60
		120	1	33	520~530	50~54	~0.7	270~280	60~65
		160	2	34	410~420	46~50	~0.7	190~200	45~55
		200	2	34	450~460	46~52	~0.7	220~230	55~60
		240	2	35	470~490	50~54	~0.7	240~250	55~60
		300	3	35	450~460	46~52	~0.7	220~230	55~60
	2000	340	3	36	490~500	50~54	~0.7	250~260	60~65
		380	3	36	520~530	52~56	~0.6	270~280	60~65
		420	3	36	550~560	52~56	~0.6	290~300	60~65
		50	1	30	300~320	38~42	~0.7	120~130	40~45
35	600	100	1	33	420~430	46~52	~0.6	200~210	55~60
		120	1	33	450~460	50~54	~0.6	220~230	55~60

(续)

焊件材料	焊件外圆直径/mm	焊件厚度/mm	焊丝数目/根	装配间隙/mm	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度/(m/h)	送丝速度/(m/h)	渣池深度/mm
35	1200	80	1	33	390~410	44~48	~0.6	180~190	45~55
		120	1	33	460~470	50~54	~0.6	230~240	55~60
		160	2	34	350~360	48~52	~0.6	150~160	45~55
		240	2	35	450~460	50~54	~0.6	220~230	55~60
		300	3	35	380~390	46~52	~0.6	170~180	45~55
		200	2	35	390~400	48~54	~0.6	180~190	45~55
	2000	240	2	35	420~430	50~54	~0.6	200~210	55~60
		280	3	35	380~390	46~52	~0.6	170~180	45~55
		380	3	36	450~460	52~56	~0.5	220~230	45~55
		400	3	36	460~470	52~56	~0.5	230~240	55~60
		450	3	38	520~530	52~56	~0.5	270~280	60~65
		60	1	30	260~280	38~40	~0.5	100~110	40~45
45	600	100	1	33	320~340	46~52	~0.4	135~145	40~45

(续)

焊件材料	焊件外径 直径/mm	焊件厚度 /mm	焊丝数目 /根	装配间隙 /mm	焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊接速度 /(m/h)	送丝速度 /(m/h)	渣池深度 /mm
45	1200	80	1	33	320~340	42~46	~0.5	130~140	40~45
		200	2	34	320~340	46~52	~0.4	135~145	40~45
		210	2	35	350~360	50~54	~0.4	155~165	45~55
	2000	340	3	35	350~360	52~56	~0.1	150~160	45~55
		380	3	36	360~380	52~56	~0.3	160~170	45~55
		420	3	36	390~400	52~56	~0.3	180~190	45~55
		450	3	38	410~420	52~56	~0.3	190~200	45~55

① 焊丝直径为 3mm。

表 5-15 熔嘴电渣焊的焊接参数<sup>①</sup>

结构形式	焊件材料	接头形式	焊件厚度 /mm	熔嘴数目 /个	装配间隙 /mm	电弧电压 /V	焊接速度 /(m/h)	送丝速度 /(m/h)	渣池深度 /mm
非刚性 固定结构	Q235A	对接接头	80	1	30	40~44	~1	110~120	40~45
	Q345 (16Mn)		100	1	32	40~44	~1	150~160	45~55
	20		120	1	32	42~46	~1	180~190	45~55

(续)

结构形式	焊件材料	接头形式	焊件厚度 /mm	熔嘴数目 /个	装配间隙 /mm	电弧电压 /V	焊接速度 /(m/h)	送丝速度 /(m/h)	渣池深度 /mm	
非刚性固定结构	Q235A Q345 (16Mn) 20	T形接头	80	1	32	44~48	~0.8	100~110	40~45	
			100	1	34	44~48	~0.8	130~140	40~45	
			120	1	34	46~52	~0.8	160~170	45~55	
	20Mn-MoB 20MnSi 25	对接接头	80	1	30	38~42	~0.6	70~80	30~40	
			100	1	32	38~42	~0.6	90~100	30~40	
			120	1	32	40~44	~0.6	100~110	40~45	
			180	1	32	46~52	~0.5	120~130	40~45	
			200	1	32	46~54	~0.5	150~160	45~55	
			80	1	32	42~46	~0.5	60~70	30~40	
	35	I形接头	100	1	34	44~50	~0.5	70~80	30~40	
			120	1	34	44~50	~0.5	80~90	30~40	
			80	1	30	38~42	~0.5	50~60	30~40	
			对接接头	100	1	32	40~44	~0.5	65~70	30~40

(续)

结构形式	焊件材料	接头形式	焊件厚度 /mm	熔嘴数目 /个	装配间隙 /mm	电弧电压 /V	焊接速度 /(m/h)	送丝速度 /(m/h)	渣池深度 /mm
非刚性 固定结构	35	对接接头	120	1	32	40~14	~0.5	75~80	30~40
			200	1	32	45~50	~0.5	110~120	40~15
		T形接头	80	1	32	44~48	~0.5	50~60	30~40
			100	1	34	46~50	~0.4	65~75	30~10
			120	1	34	46~52	~0.4	75~80	30~40
			80	1	30	38~42	~0.6	65~75	30~10
刚性固定结构	Q235A Q345A (16Mn) 20	对接接头	100	1	32	40~44	~0.6	75~80	30~40
			120	1	32	40~44	~0.5	90~95	30~10
		T形接头	150	1	32	44~50	~0.4	90~100	30~40
			80	1	32	42~46	~0.5	60~65	30~40
			100	1	34	44~50	~0.3	70~75	30~10
			120	1	34	44~50	~0.4	80~85	30~10
大断面结构	20MnMoB 20MnSi 25 35	对接接头	400	3	32	38~42	~0.4	65~70	30~40
			600	4	34	38~42	~0.3	70~75	30~40
		对接接头	800	6	34	38~42	~0.3	65~70	30~40
			1000	6	34	38~41	~0.3	75~80	30~40

① 焊丝直径为3mm,熔嘴板厚10mm,熔嘴管尺寸为 $\phi 10\text{mm} \times 2\text{mm}$ 。

表 5-16 管极电渣焊的焊接参数

结构形式	焊件材料	接头形式	焊件厚度 /mm	管极数 /根	装配间隙 /mm	电弧电压 /V	焊接速度 / (m'h)	送丝速度 / (m'h)	渣池深度 /mm
非刚性固定结构	Q235A Q345 (16Mn) 20	对接接头	40	1	28	42~46	~2	230~250	55~60
			60	2	28	42~46	~1.5	120~140	40~45
			80	2	28	42~46	~1.5	160~170	45~55
			100	2	30	44~48	~1.2	170~190	45~55
			120	2	30	46~50	~1.2	200~220	55~60
		T形接头	60	2	30	46~50	~1.5	80~100	30~40
			80	2	30	46~50	~1.2	130~150	40~45
			100	2	32	48~52	~1.0	150~170	45~55
			40	1	28	42~46	~0.6	60~70	30~40
			60	2	28	42~46	~0.6	60~70	30~40
刚性固定结构	Q235A Q345 (16Mn) 20	对接接头	80	2	28	42~46	~0.6	75~80	30~40
			100	2	30	44~48	~0.6	85~90	30~40
			120	2	30	46~50	~0.5	95~100	30~40

(续)

结构形式	焊件材料	接头形式	焊件厚度/mm	管板数目/根	装配间隙/mm	电弧电压/V	焊接速度/(m/h)	送丝速度/(m/h)	渣池深度/mm
刚性 固定 结构	Q235A	I形接头	60	2	30	46~50	~0.5	60~65	30~40
	Q345 (16Mn)		80	2	30	46~50	~0.5	70~75	30~40
	20		100	2	32	48~52	~0.5	80~85	30~40

① 管板采用无缝钢管,尺寸为 $\phi 12\text{mm} \times 3\text{mm}$ 或 $\phi 14\text{mm} \times 4\text{mm}$ 。表 5-17 铝极板电渣焊的焊接参数<sup>①</sup>

铝板厚度/mm	80	100	120	160	220
电弧电压/V	30~33	30~35	30~35	31~35	32~35
焊接电流/A	3200~3500	4500~5000	5500~6000	8000~8500	10000~11000
板极截面/ $\frac{A}{\text{mm}} \times \frac{B}{\text{mm}}$	30×60	30×70	30×90	29×110	29×190
装配间隙/mm	50~55	50~60	55~65	55~65	60~65
始焊时加入焊剂量/g	500	700	800	1250	1600
焊接速度/(m/h)	4.00	4.00	3.75	3.75	3.70

① 焊接过程中为补充焊剂损耗,保证渣池深度不变,应不断添加相应量的焊剂。



表 5-18 铝板电渣焊用焊剂配方(质量分数)

成分	NaCl	KCl	Na <sub>2</sub> AlF <sub>6</sub>	LiF	SiO <sub>2</sub>	NaF	MgCl <sub>2</sub>	MgF <sub>2</sub>	备注
国内	30	50	20	—	—	—	—	—	工业纯
	50	—	—	25	—	25	—	—	
国外	—	30	—	30	—	—	30	1C	化学纯
	50	—	—	42	8	—	—	—	
	15~35	35~60	15~30	1~10	—	—	—	—	

表 5-19 电渣焊接头的缺陷及预防措施

名称	特征	产生原因	预防措施
气孔	氢气孔在焊缝断面上呈圆形,在纵断面上沿焊缝中心线方向生长,多集于焊缝局部地区	主要是水分进入渣池 1. 水冷成形熔块漏水 2. 耐火泥进入渣池 3. 焊剂潮湿	1. 焊前仔细检查水冷成形熔块 2. 焊剂应烘干
	一氧化碳气孔在焊缝横截面上呈密集的形状,在纵截面上沿柱状晶方向生长,一般整条焊缝都有	1. 采用无硅焊丝焊接沸腾钢,或含硅量低的钢 2. 大量氧化铁进入渣池	1. 焊接沸腾钢时采用含硅焊丝 2. 焊件焊接前应仔细清除氧化皮,焊接材料应去锈

(续)

名称	特征	产生原因	预防措施
夹渣	常存在于电渣焊缝中或熔合线上,呈圆形	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 电渣过程不稳定</li> <li>2. 焊剂熔点过高</li> <li>3. 熔嘴电渣焊时,采用玻璃丝棉绝缘时,绝缘块进入渣池数量过多</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 保持稳定电渣过程</li> <li>2. 选择适当焊剂</li> <li>3. 采用玻璃丝棉的绝缘方式</li> </ol>
咬边	向两侧咬母材过多	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 热量过大</li> <li>2. 滑块冷却不良</li> <li>3. 滑块装配不准确</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 降低电压,提高焊接速度,缩短摆动焊丝在两侧的停留时间</li> <li>2. 增加水流量及滑块接触面积</li> <li>3. 改进滑块结构,用石棉泥密封</li> </ol>
未焊透	焊接过程中母材没有熔化,与焊缝之间造成一定缝隙,内部有焊渣,在焊缝表面即可发现	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 电弧电压过低</li> <li>2. 焊丝送进速度太小或太快</li> <li>3. 渣池太深</li> <li>4. 电渣过程不稳定</li> <li>5. 焊丝或熔嘴距水冷成形滑块太远,或在装配间隙中位置不正确</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 选择适当的焊接参数</li> <li>2. 保持稳定的电渣过程</li> <li>3. 调整焊丝或熔嘴,使其距水冷成形滑块距离及在焊缝中位置符合工艺要求</li> </ol>
未熔合	焊接过程中母材已熔化,但焊缝金属与母材没有熔合,中间有片状夹渣,未熔合一般在焊缝表面即可发现,但也有时不延伸至焊缝表面	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 焊接电压过高送丝速度过低</li> <li>2. 渣池过深</li> <li>3. 电渣过程不稳定</li> <li>4. 焊剂熔点过高</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 选择适当的焊接参数</li> <li>2. 保持电渣过程稳定</li> <li>3. 选择适当的焊剂</li> </ol>

(续)

名称	特征	产生原因	预防措施
热裂纹	1. 热裂纹一般不伸展到焊缝表面, 外观检查不能发现, 多数分布在焊缝中心, 呈直线状或放射状, 也有的分布在等轴晶区和柱晶区交界处 热裂纹表面多呈氧化色彩, 有的裂纹中有焊渣 2. 引出结束部分裂纹产生于焊接结束处或中间突然停止焊接处	1. 焊丝送进速度过大造成熔池过深, 是产生热裂纹的主要原因 2. 母材中的 S、P 等杂质元素含量过高 3. 焊丝选用不当 4. 引出结束部分裂纹主要是由于焊接结束时, 焊丝送进速度没有逐步降低	1. 降低焊丝送进速度 2. 降低母材中 S、P 等杂质元素含量 3. 选用抗热裂纹性能好的焊丝 4. 金属件冒口应远离高焊接面 5. 焊接结束前应逐步降低焊丝送进速度
冷裂纹	裂纹多存在于母材或热影响区, 也有的由热影响区或母材向焊缝中延伸, 冷裂纹在焊接结构表面即可发现, 开裂时有响声, 裂纹表面有金属光泽	冷裂纹是由于焊接应力过大, 金属较脆, 因而沿着焊接接头的应力集中处开裂(缺陷处) 1. 复杂结构, 焊缝很多, 没有进行中间热处理 2. 高碳钢、合金钢焊后未及时进炉热处理 3. 焊接结构设计不合理, 焊缝密集, 或焊缝在板的中间停焊 4. 焊缝有未焊透、未熔合缺陷, 应及时清理 5. 焊接过程中断, 咬口没及时补焊	1. 设计时, 结构上避免密集焊缝及在板中间停焊 2. 焊缝很多的复杂结构, 焊接部分焊缝后, 应进行中间消除应力热处理 3. 高碳钢、合金钢焊后应及时进炉, 有的要采取焊前预热, 焊后保温措施 4. 焊缝上缺陷要及时清理, 停焊处的咬口要趁热挖补 5. 室温低于 0℃ 时, 电渣焊后要尽快进炉, 并采取保温措施

## 第五节 电渣焊工程实例

## 一、立辊轧机机架的熔嘴电渣焊

## 1. 焊件结构形式

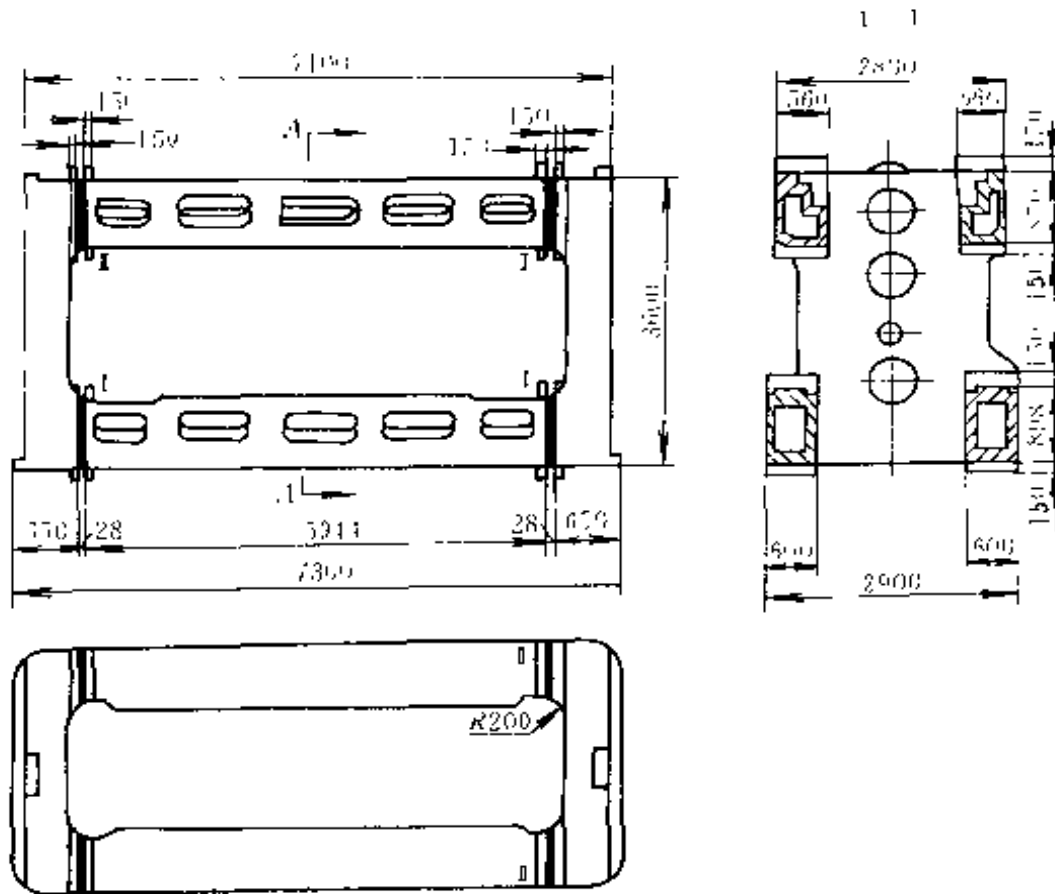


图 5-8 立辊轧机机架

立辊轧机机架的结构及尺寸如图 5-8 所示。机架材质为 ZG270-500 钢，质量为 90t。机架的结构比较复杂，它是由左、右牌坊及前面、后面的上、下横梁组成。机架的上、下横梁分段处为空心截面。在焊接接头部分将横梁的空心断面铸造成矩形截面，以适应电渣焊工艺的要求。

## 2. 焊接方案

机架的左、右牌坊与四个横梁之间有 8 个焊接接头。每个牌坊有 4 个焊接接头，如图 5-9 所示，可以分为两次进行焊接。首先焊接接头 II，然后翻身再焊接接头 I。焊接坡口的形式及尺寸如图 5-10 所示。

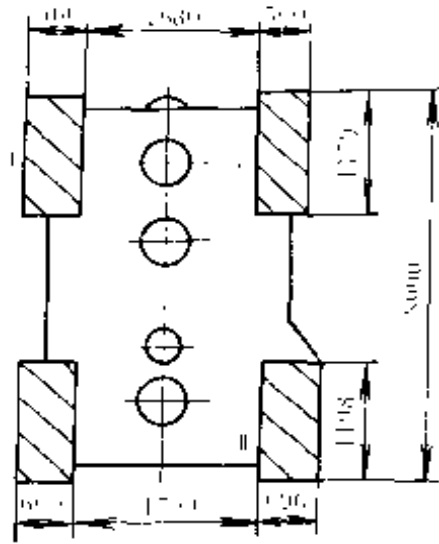


图 5-9 立辊轧机机架的焊接接头

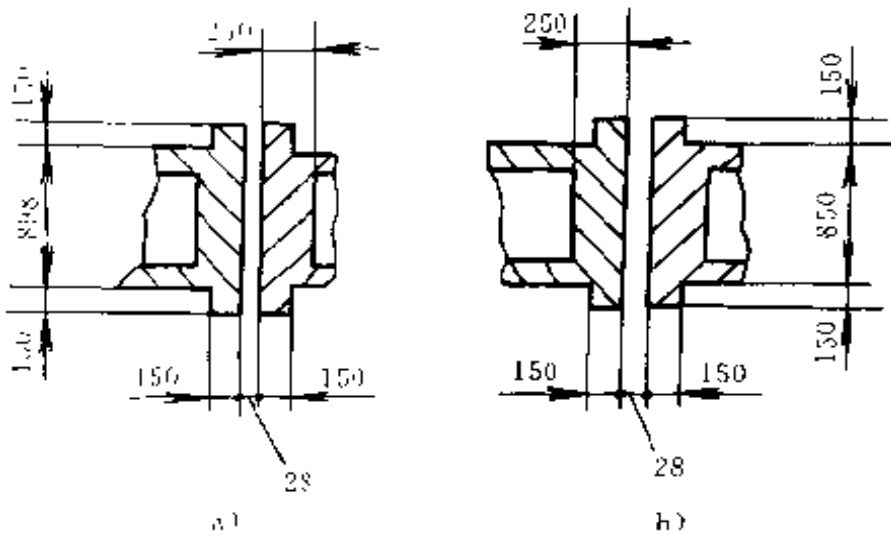


图 5-10 立辊轧机机架的焊接坡口形式及尺寸

a) 接头 I    b) 接头 II

焊接方法均采用多熔嘴电渣焊。熔嘴排列尺寸及引弧板尺寸见图 5-11。

### 3. 焊接参数

立辊轧机机架的电渣焊焊接参数见表 5-20。

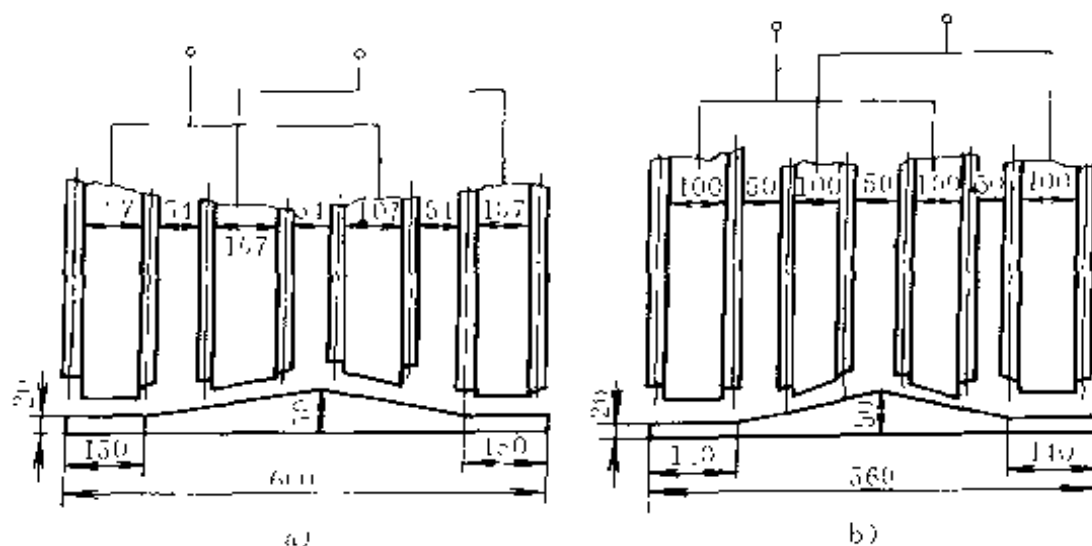


图 5-11 立辊轧机机架电渣焊熔嘴排列尺寸及引弧板尺寸

a) 焊接接头 I b) 焊接接头 II

表 5-20 立辊轧机机架的焊接参数

接头	焊缝位置	焊接断面尺寸 宽/mm × 高/mm	熔嘴数量/块	熔嘴尺寸 厚/mm × 宽/mm	丝距比 (a/b)	电弧电压/V	送丝速度/(m/h)	备注
II	上横梁与牌坊	360 × 1150	4	10 × 100	1.83	38~42	72~74	焊接材料: 焊丝 $\phi 3.2\text{mm}$ , H10Mn2
I	下横梁与牌坊	600 × 1198	4	10 × 107	1.83	38~42	74~76	焊剂: HJ431 熔嘴: 10Mn2

#### 4. 焊后热处理

为了改善焊接接头的组织及性能,立辊机架焊后进行正火及回火。其正火-回火热处理条件如图 5-12 所示。

### 二、 $\phi 250\text{mm}$ 轧机中辊支架的板极电渣焊

#### 1. 焊件结构形式

中辊支架毛坯件外形及尺寸如图 5-13 所示。它是锻压-焊接联合

结构。根据工艺的可能性及节约原材料的原则,将中辊支架分别锻制成5块。其中件1与件2受力不大,使用45钢制造。件3承受最大的弯矩,采用40Cr钢制造。

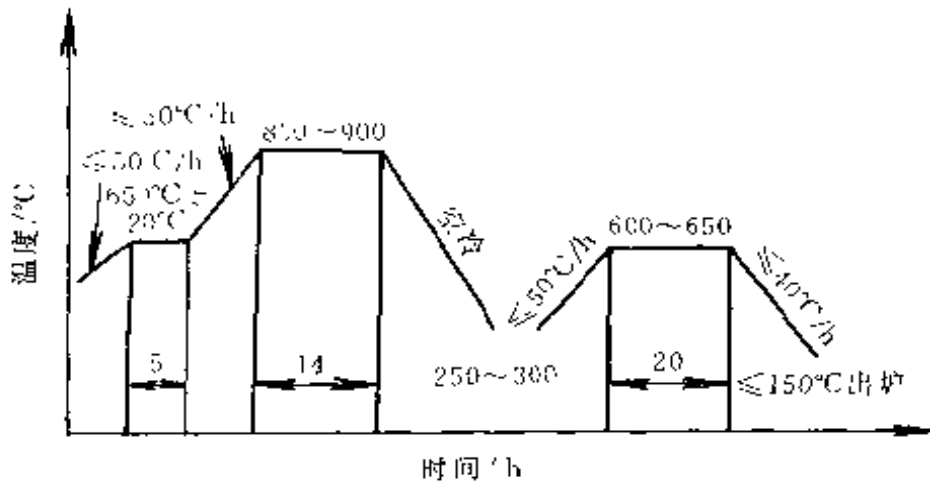


图 5-12 立辊机架正火 回火的热处理条件

中辊支架分为5块进行锻造加工,然后用4条焊缝焊接为一体。这种工艺方案既保证了原设计的要求,又节约近50%的40Cr钢。

2. 焊接方案

选用板极电渣焊工艺进行焊接。焊前焊件装配情况如图5-14所示。板极材料选用40Cr钢,经锻造加工制成10mm×50mm×1500mm的扁钢。焊剂为HJ431。

3. 焊接参数

电弧电压: 36~38V;  
 焊接电流: 800A; 焊接电  
 流密度: 1.6A/mm<sup>2</sup>; 渣池  
 深度: 35mm; 装配间隙:

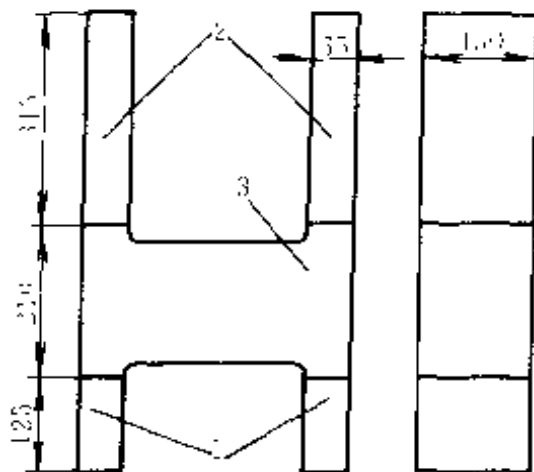


图 5-13 中辊支架毛坯件外形及尺寸

28~30mm。

#### 4. 焊后热处理

采用正火处理，焊件在加热炉中，经 2.5h 使焊件达到 800~820℃，保温时间为 3h。然后由炉中取出空冷。

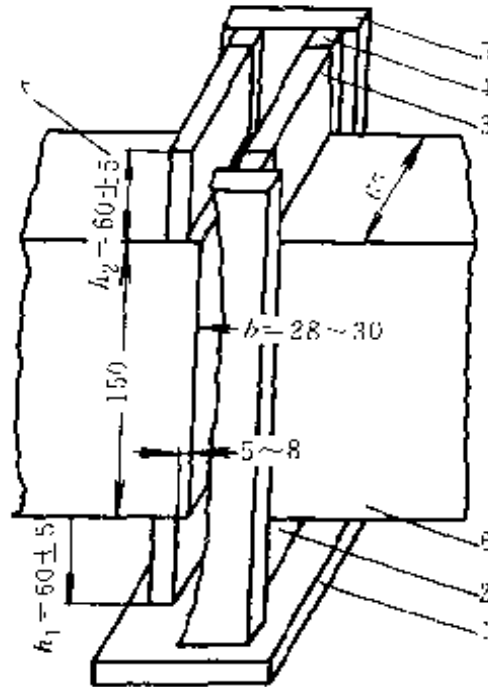


图 5-14 焊前装配图

- 1—引弧底板 2—引弧侧板 3—挡渣板  
4—垫板 5—侧挡渣板 6—焊件



# 第六章 热 喷 涂

## 第一节 概 述

热喷涂工艺是材料表面加工技术,它是将熔融状态的喷涂材料,通过高速气流使其雾化并喷射在工件表面上,形成喷涂层的一种金属表面加工方法。工件表面的喷涂层使工件具有耐磨、耐蚀、耐热、抗氧化等优良性能。

### 一、热喷涂的特点

(1) 热喷涂工艺的适用范围广 金属及其合金、陶瓷、塑料、复合材料等均可作为涂层。作为接受喷涂的工件材料可以是金属或非金属。采用复合粉末制成的特殊涂层,可以把金属或合金与陶瓷或塑料结合起来,以获得优良的综合性能。

(2) 热喷涂的涂层厚度可以根据需要在较大的范围内调整。

(3) 喷涂工艺灵活 接受喷涂的工件可以是大型结构,或小型的零件;既可以在整体表面上喷涂,也可以是局部区域喷涂;在真空或保护气氛中喷涂活性材料,或在野外、现场施工,均能获得理想的喷涂层。

(4) 生产率高 多数喷涂工艺的生产率 $\leq 10\text{kg/h}$ 。某些工艺可高达 $50\text{kg/h}$ 。

(5) 母材受热程度较低 热喷涂是一种冷工艺,母材受热较少,并且可以控制。因此,热喷涂过程不改变母材的金属组织,避免了由于受热而产生的工件变形及其它损伤。

(6) 技术经济性好 大多数的热喷涂工艺设备简单、操作灵活、成本低,具有良好的经济效益。

### 二、热喷涂工艺的分类及特性

根据热喷涂的热源及喷涂材料的种类和形式,热喷涂工艺可以分为:火焰线材喷涂(包括火焰棒材喷涂)、火焰粉末喷涂、火焰爆炸喷涂、

表 6-1 各种热喷涂方法及其技术特性

分 类	火 焰 式			爆炸喷涂	电弧喷涂	线爆喷涂	等离子 弧喷涂
	线材喷涂	棒材喷涂	粉末喷涂				
工作气体	氧气和燃料气体(如乙炔、氢气)			氧 气 和乙炔气	—	—	氧、氮、氩等
热 源	燃 烧 火 焰			爆 炸 燃烧火焰	电 弧	电 容 放 电 能 量	等 离 子 焰 流
喷涂颗粒 加速力源	压缩空气等	燃烧火焰		热压力波	压缩空气	放电爆炸波	焰 流
喷涂粒子 飞行速度 /(m/s)	50~100	30~90		700~800	50~100	400~600	300~350

(续)

分 类	火 焰 式				爆炸喷涂	电弧喷涂	线爆喷涂	等离子 弧喷涂
	线材喷涂	棒材喷涂	粉末喷涂	粉末喷熔				
喷 涂 材 料 种 类	线材	棒材	粉 末	粉 末	粉末	线材	线材	粉末
	Al、Zn、Cu、Mo、Ni、NiCr合金、碳素钢、不锈钢、黄铜和青铜等	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、ZrO <sub>2</sub> 、ZrSiO <sub>4</sub> 和磷酸镁等陶瓷棒材	Ni基、Co基和Fe基合金、Cu基合金、镍包铝、Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 等	自熔合金或在白熔合金中加入部分陶瓷材料	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 和Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 等陶瓷材料、Ni-Cr+Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub> 、Co-WC等复合材料	Al、Zn、碳素钢、不锈钢、铝青铜等	Mo、Ti、Ta、W、碳素钢、不锈钢、超硬质合金等	Ni、Mo、Ta、W、Al白熔合金、Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、ZrO <sub>2</sub> 等陶瓷材料、Ni-Al、Co-WC等复合材料、金属、塑料
喷涂量/(kg/h)	2.5~3.0 (金属)	0.5~1.0	1.5~2.5 (陶瓷) 3.5~10.0 (金属)	3.5~10.0	—	9~35	—	3.5~10.0 (金属) 6.0~7.5 (陶瓷)
母材受热温度/℃	250以下				约1050	250以下		
结合强度/MPa	>9.8	—	>6.9	—	16.7	>9.8	>19.6	>14.7
气孔率/%	5~20	—	5~20	0	<3	5~15	0.1~1.0	3~15

电弧喷涂、等离子弧喷涂、脉冲放电线材爆炸喷涂(简称线爆喷涂)等。此外,还有超音速火焰喷涂、低压等离子弧喷涂及火焰喷熔等。各种热喷涂方法及其技术特性见表 6-1。

喷熔工艺就是将喷涂层重新加热至熔融状态,在工作件不熔化的情况下,使喷涂层内部发生相互溶解与扩散,从而获得无孔隙、结合良好的熔敷层。

### 三、喷涂层的结合形式

喷涂过程中,被加热到熔融状态的喷涂材料粒子在喷射到工件表面上以后,因为与工件表面发生撞击而产生变形、互相镶嵌。这些粒子迅速冷却、凝固。这些大量的变形粒子依次互相堆叠,便形成了叠层状结构的喷涂层组织。喷涂材料粒子的撞击以及冷却时的收缩,便造成了喷涂层的内应力。喷涂材料与周围空气相互作用而被氧化或氮化,所以涂层中含有氧化物及氮化物。喷涂粒子的堆叠方式,便形成了涂层中各种封闭的、穿透的或表面的孔隙。

喷涂层与工件表面的结合方式主要是由于相互镶嵌而形成的机械结合,当高温高速的金属喷涂粒子与洁净的金属工件表面紧密接触,其距离达到晶格常数的范围以内时,便会产生金属键结合方式。喷涂放热型复合材料时,在喷涂层与工件表面之间的界面上,有可能在微观局部范围内形成“微焊接”结合方式。

## 第二节 热喷涂设备

### 一、气体火焰喷涂设备

#### 1. 气体火焰线材喷涂设备

喷涂设备包括氧乙炔供给系统、压缩空气机及过滤器,关键设备是喷涂枪。气体火焰线材喷涂全套设备示意图如图 6-1 所示。

SQP-1 型火焰线材喷枪的技术性能见表 6-2。

空气压缩机的形式不限,但必须保证喷涂工作的足够压力及输出量。要求压缩空气的压力为 400~600kPa,每个喷枪的压缩空气消耗量为 1~1.2m<sup>3</sup>/min,选择空气压缩机时应考虑至少同时使用两支喷枪和一些其它用途,则选用 3m<sup>3</sup>/min 的空气压缩机为宜。

表 6-2 SQP-1 型火焰线材喷枪的技术性能

参 数		技 术 性 能
操作方式		手持、固定两用
热 源		氧乙炔火焰
动 力 源		压缩空气
质量/kg		≤1.9
外形尺寸 $\frac{A}{\text{mm}} \times \frac{B}{\text{mm}} \times \frac{C}{\text{mm}}$		90×180×215
调速方式		离心力离合器
气体压力 /kPa	氧 气	400~500
	乙 炔	40~70
	压缩空气	490~600
气体消耗量	氧气/(m <sup>3</sup> /h)	1.8
	乙炔/(m <sup>3</sup> /h)	0.66
	压缩空气/(m <sup>3</sup> /min)	1~1.2
丝材直径/mm		2.3, 3.0
火花角角度/(°)		≤4
喷涂效率/(kg/h)		φ2.2mm, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , 0.4 φ2.3mm, Al, 0.9 φ3.0mm, Al, 2.65 φ3.0mm, 低碳钢, 2.0 φ2.3mm, 80 钢, 1.6 φ2.3mm, 不锈钢, 1.8 φ3.0mm, Cu, 4.3 φ3.0mm, Zn, 8.2

气体火焰喷涂以采用瓶装乙炔为好,乙炔是压缩在注满疏松物质并浸泡了丙酮的钢瓶里面的。满瓶压力是 1.47MPa,每瓶容量为 5m<sup>3</sup>、6m<sup>3</sup> 两种。瓶装乙炔的压力高而且可调。使用方便、安全。瓶装乙炔不

含水分，杂质含量少，一般纯度  $\rho_{C_2H_2}$  为 96%~98%。如果一个溶解乙炔瓶的供气量不足时，可将多个气瓶并联起来使用。

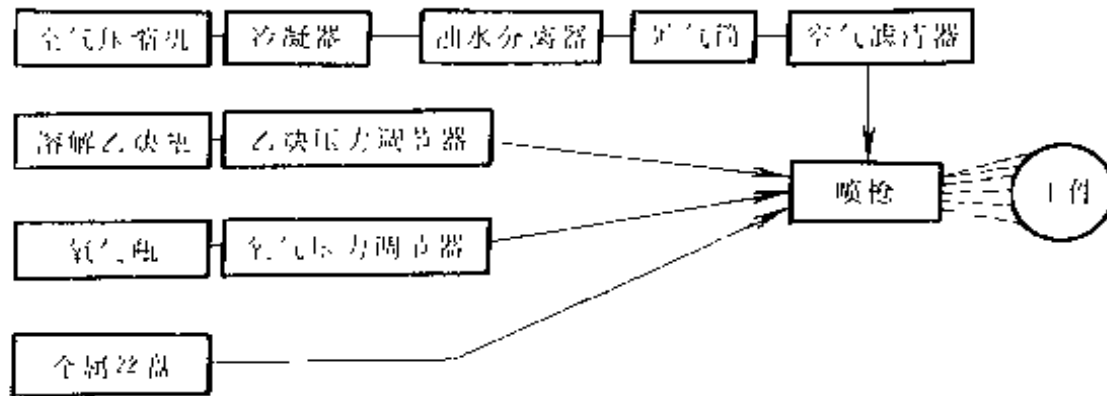


图 6 1 气体火焰线材喷涂设备示意图

## 2. 气体火焰粉末喷涂设备

喷涂设备包括喷枪、氧乙炔供给系统、电炉、干燥箱、转胎等辅助设备。

火焰粉末喷枪的型号及主要技术性能见表 6-3。根据功率的大小，喷枪可分为中、小型及大型两类。中、小型喷枪与气焊炬相似，其区别在于喷枪上装有送粉机构（见图 6-2），在粉斗与射吸室之间装有常闭阀门，阀杆受弹簧作用将橡胶阀门关闭着。当粉阀柄按下时（如图 6-2 所示位置），阀杆向右，弹簧被压缩。此时，橡胶阀门因无外力作用而恢复原位，使阀门张开。由于氧气经过射吸器形成负压区，粉末就被吸入射吸室，并以很高的速度通过混合室，经过喷嘴而喷入火焰区。火焰燃烧系统采用射吸式原理，氧气和乙炔混合后，由喷嘴上的孔喷出，点燃后成为火焰喷涂的加热源。大型喷枪有等压式及射吸式两种，常用的是射吸式。SPH-E 射吸式大型喷枪的外形结构如图 6-3 所示。大型喷枪的送粉系统与氧乙炔混合系统是分开的，所以调整火焰性质及功率与调节送粉气流是互不影响的。这类喷枪配备有适于喷涂一般粉末的通用喷嘴及喷涂特殊材料或用于喷熔的喷嘴。此外，大型喷枪都设计有辅助送粉气进口，可通入压缩空气或惰性气体等辅助气体，以提高易氧化材料或高熔点材料的喷涂质量。总之，中、小型喷枪操作简便、价格便宜，适于较小工件的局部修复。大型喷枪安全、可靠，对喷涂材料

适用范围广，适于较大或重要工件的强化及修复。

氧乙炔供给系统以及转胎等辅助设备根据喷涂工作的具体要求设置。

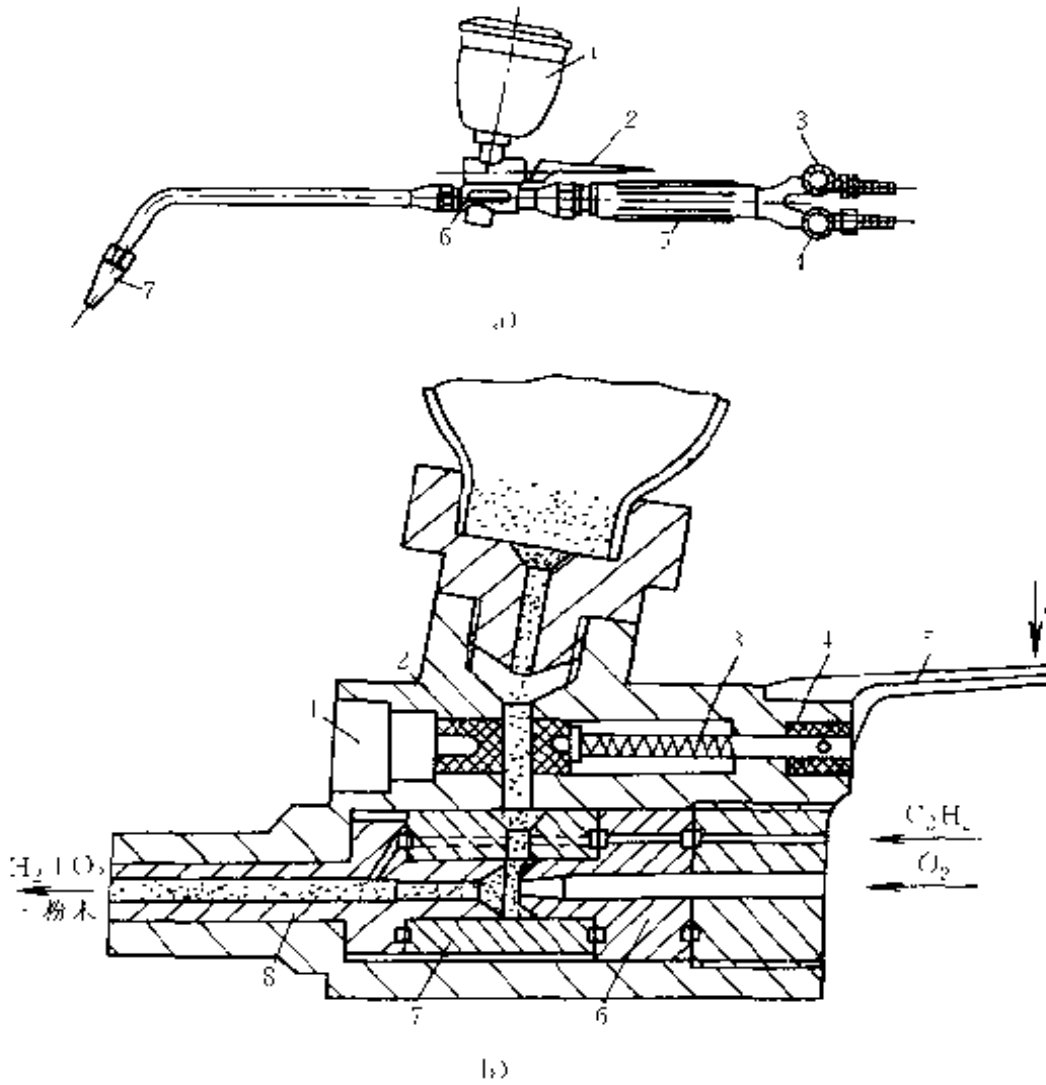


图 6-2 中、小型气体火焰粉末喷枪

a) 喷枪外形结构

1—粉斗 2—送粉手柄 3—乙炔阀 4—氧气阀

5—手柄 6—本体 7—喷嘴

b) 送粉系统结构

1—送粉定位螺钉 2—粉阀 3—弹簧 4—阀杆

5—粉阀柄 6—射吸器 7—射吸室 8—混合室

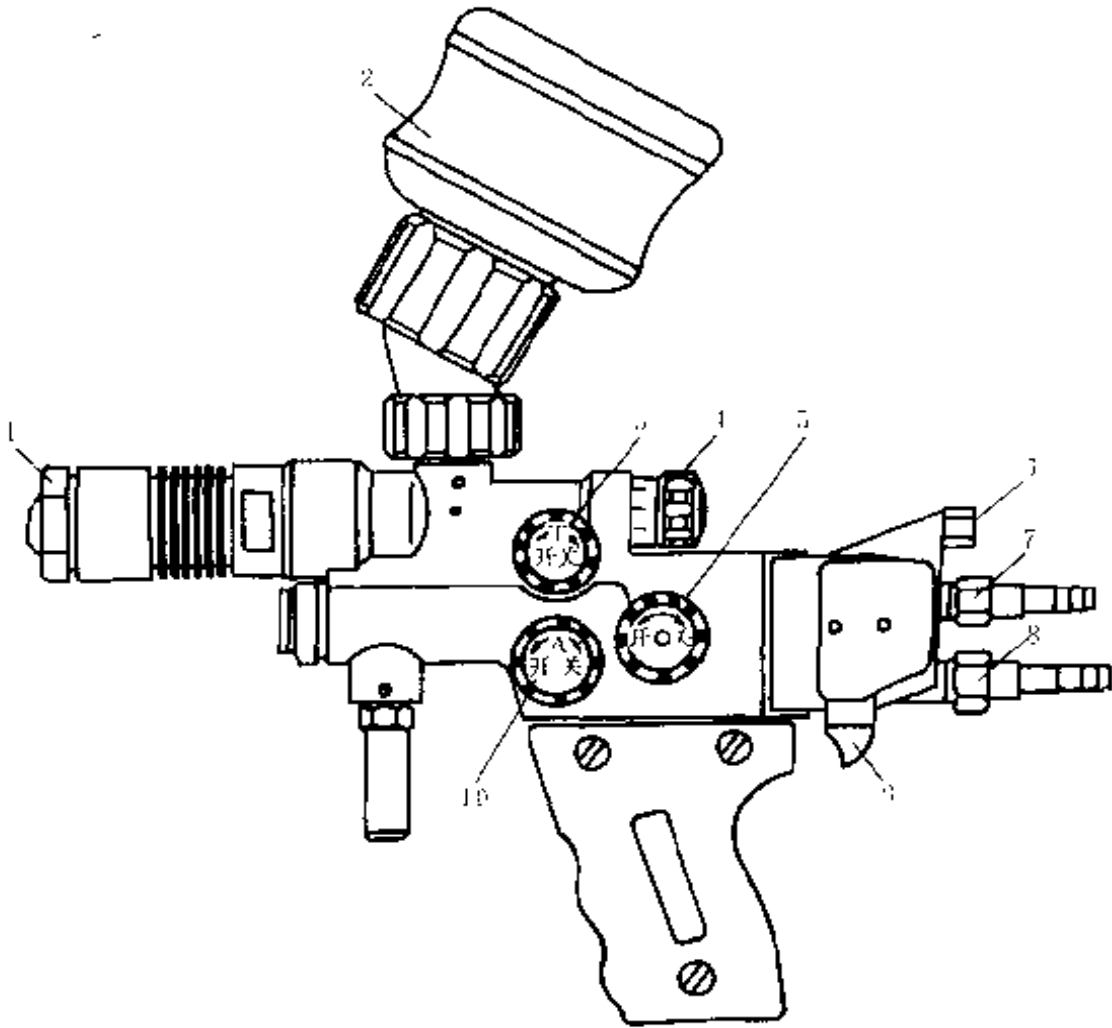


图 6-3 SPH-E 射吸式大型喷枪的外形结构

- 1—喷嘴 2—粉斗 3—送粉气开关 4—送粉开关 5—氧气开关  
 6—辅助送粉气进口 7—氧气进口 8—乙炔进口  
 9—气体快速关闭安全阀 10—乙炔开关

表 6-3 火焰粉末喷枪的型号及主要技术性能

型 号	气体压力/kPa		送粉量 /(kg/h)
	氧 气	乙 炔	
QSH 4	400~700	100~120	2.0~6.35
SPH-E	500~600	70~80	4.5~7.0



(续)

型 号	气体压力/kPa		送粉量 /(kg/h)
	氧 气	乙 炔	
FPD-J	600~800	80~100	5.0~8.0
SPHT-6/h	400~500	40~75	4.0~6.0
SPHT-8/h	400~500	60~80	4.0~10.0
BPT 1	180~210	70~100	9.0
SPH-F5	180~200	80~100	9.0

### 二、电弧喷涂设备

电弧喷涂设备主要包括直流电源、送丝机、喷涂枪、空气压缩机、空气滤清器等。电弧喷涂设备布置示意图如图 6-4 所示。

电弧喷枪的技术性能见表 6-4。

电弧喷涂使用的直流电源，是具有平特性或略带上升特性的外特性电源，与焊接略有不同。

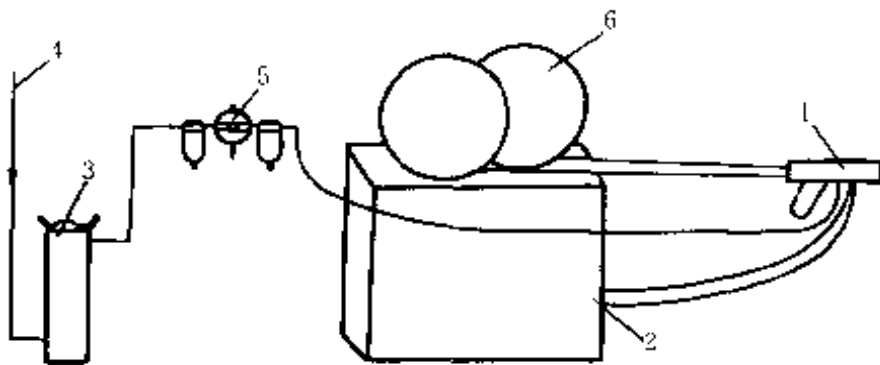


图 6-4 电弧喷涂设备布置示意图

- 1—喷枪 2—直流电源 3—空气滤清器 4—压缩空气管  
5—减压阀 6—送丝机

### 三、等离子弧喷涂设备

等离子弧喷涂设备主要包括喷枪、电源、送粉器、冷却水供给系统、气体系统、控制系统等。等离子弧喷涂设备布置示意图如图 6-5 所示。

表 6-4 电弧喷枪的技术性能

参数	型号	SCDP-3	XDP-1	DP 400A
	丝材直径/mm		φ1.6、1.8	3
额定电弧电流/A		300	300	400
电弧电压/V		30~50	27~40	20~32
压缩空气压力/kPa		500~600	500~600	500~600
压缩空气耗量/(m <sup>3</sup> /min)		0.8~1.4	1.6~2	—
送丝速度范围/(m/min)		—	0~4.8	1.5~10

喷枪是喷涂设备的核心装置,实质上是一个等离子发生器。由于喷涂过程中,粉末在等离子焰流中的加热时间只有  $2 \times 10^{-6}$  s,所以粉末进入焰流的位置只要发生微小的变化,便会明显地改变粉末的加热效率。粉末进入等离子焰流的方式有枪内送粉及枪外送粉两种。枪内送粉时,粉末的加热效率高,但是熔化后的粉末容易在喷嘴出口处堆积而堵塞枪口。枪外送粉可以避免堵枪,然而粉末的加热效率比较低。等离子弧喷枪的型号及技术性能见表 6 5。

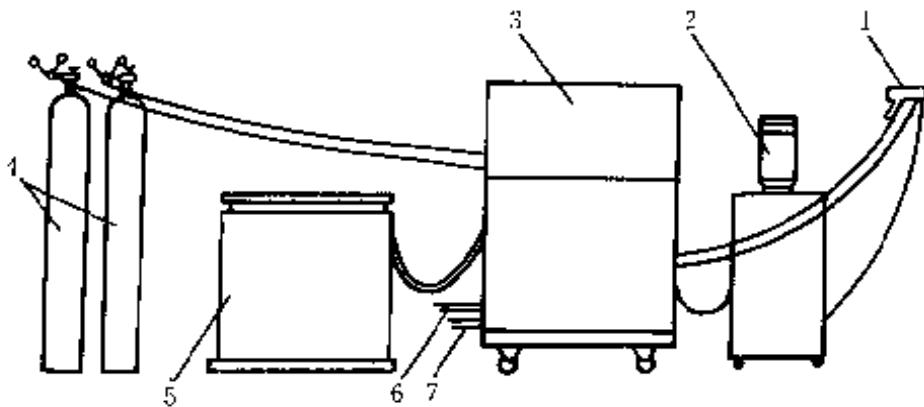


图 6 5 等离子弧喷涂设备布置示意图

- 1—喷枪 2—送粉器 3—控制柜 4—等离子气和送粉气瓶 5—直流电源 6—冷却水进口 7—冷却水出口

表 6 5 等离子弧喷枪的型号及技术性能

型 号	最大功率 /kW	最大工作电流 /A	工作电压/V	适 用 范 围
PQ-1SA PQ 1JA	80	1000	80	外表面
PQ 1NA	40	500	80	φ102mm 以上, 深 500~700mm 的内孔
PQ-2NA	37.5 (Ar) 38.5 (N <sub>2</sub> )	500	80	φ60mm 以上, 深 450~600mm 的内孔
PQ-3NA	30 (Ar) 40 (N <sub>2</sub> )	500	80	φ45mm 以上, 深 450mm 的内孔
GDP-35	35	150~450	60~100	--
GDP 50	50	500~900	55~100	--
GDP 80	80	80~100(Ar) 150~1000(N <sub>2</sub> )	80	--

等离子弧喷涂均采用直流电源, 额定功率主要有 40kW、50kW、80kW 等三种规格。对于等离子弧喷涂电源的性能要求与电弧焊电源基本相同。

等离子弧喷涂设备的型号及主要技术参数见表 6-6。

表 6-6 等离子弧喷涂成套设备的型号及技术性能

设备型号及控制方式	电源 (硅整流弧焊电源)					电源控制柜型号	送粉器类型
	型号	最大功率 /kW	最大电流 /A	工作电压 /V	空载电压 /V		
GP 部分程序控制	GDP-80	80	1000	80	165	GDP-K	鼓轮式

(续)

设备型号及控制方式	电源(硅整流弧焊电源)					电源控制柜型号	送粉器类型
	型号	最大功率 kW	最大电流 /A	工作电压 /V	空载电压 /V		
LP-60Z (GDP-4) 自动程序控制	ZXG 500GY	60	50~500 (Ar) 200~700 (N <sub>2</sub> )	40~120	240	LP-60Z	刮板式 电磁 振动式
LP-50B (GDP-3) 自动程序控制	GDP-2	5~50	150~500	50~100	170	LP-50B	电磁 振动式
GDP-2 手动	GDP-2	5~50	150~500	50~100	170	GDP-2	刮板式
GDP-1 手动	GDP-1	5~35	150~450 150~800	60~100	90~165	GDP-1	刮板式
GDP-35 手动	GDP-35	35	150~450 50~800	50~100	90~165	GDP-35	刮板式
GDP-50 手动	GDP-50	50	500, 1000	1000, 500,	165, 90	—	刮板式
GDP2K-50 自动程序控制	—	50	≤500, ≤900	50~100; 25~55	165, 90	—	刮板式
DDP-1 手动	DDP-1	50	1000 (Ar) 500(N <sub>2</sub> )	80~100, 50	—	DDP-1	振动式
DDT-2 手动	—	40	450~800	50~85	104~180	—	三筒刮 刀式

### 第三节 热喷涂工艺

热喷涂的基本工艺流程为：工件表面制备→工件预热→喷涂工作层→喷后处理。工件表面制备包括表面清洗、表面预加工、表面粗化、喷涂结合底层等工作。工件喷涂以后，还需进行喷后处理，即进行封孔处理及机械加工等。

#### 一、工件表面的制备

工件表面制备直接关系到喷涂层的质量及喷涂工艺的成败，其包括以下几方面内容。

##### 1. 表面清洗

喷涂前应去除工件表面的氧化皮及油污等。直到露出清洁、光亮的金属表面为止。常用的表面清洗方法有以下三种：

1) 用氢氧化钠、磷酸三钠和碳酸钠等热碱液冲洗，然后用清水冲净。也可以采用金属洗净剂进行清洗。此种方法清洗效果较好，费用较低。

2) 用汽油、丙酮、三氯乙烷、三氯乙烯等有机溶剂进行清洗。这种方法清洗效果好，费用较高。由于许多有机溶剂对人体有害或属于危险品，在使用时应保持通风、注意安全。

3) 对于铸铁工件，在进行以上除油处理后，还应将工件加热到 $300\text{C}$ ，保温 $3\sim 5\text{h}$ ，使油脂渗出表面，并擦净。加热温度及保温时间可根据具体情况而定，直到铸件在加热时不冒青烟为止。对于大型铸件，整体均匀加热困难时，也可在 $80\sim 100\text{C}$ 反复烘烤，然后擦去油脂。

对于清洗以后的工件，不应再沾染灰尘及油污、手印等。

##### 2. 表面预加工

表面预加工是利用车削或磨削除去工件表面的疲劳层及腐蚀层等各种损伤和表面硬化层等，同时还可以修正不均匀的磨损表面及预留喷涂层的厚度。其预加工量主要由设计的喷涂层厚度决定。维修旧件时建议加工至最大磨损量以下 $0.10\sim 0.20\text{mm}$ ，制造新品时加工量取 $0.10\sim 0.25\text{mm}$ 。

预加工时，应保证工件边角处的平滑过渡。防止在边角处由于较大

的内应力而使喷涂层剥落。图 6-6 是轴类零件预加工时的边角过渡。

### 3. 表面粗化

工件表面经过粗化处理以后,可以增大喷涂层的结合面积。最常用的表面粗化处理是喷砂,它还可以为工件表面提供压应力,因而有助于增强喷涂层的机械结合。

喷砂的材料有:多角冷硬铸铁砂、刚玉砂( $Al_2O_3$ )、硅砂( $SiO_2$ ),其分别适用于硬度为 50HRC、40HRC、30HRC 左右的工件表面。

喷砂后,工件的表面粗糙度应达到  $Rz. 2 \sim 12.5 \mu m$ 。对于薄壁工件,表面粗糙度可为  $Rz. 1.60 \mu m$ 。通常用肉眼观察判断喷砂结果,即在较强光线下,从各角度观察喷砂面均无反射亮斑时,认为合格。喷砂后,用压缩空气将粘附在工件表面的碎砂粒吹净。为防止污染及氧化,应尽快进行喷涂。

此外,机械加工粗化也是常用的表面粗化方法。例如车螺纹(图 6-7)、磨削及滚花等。这种表面粗化方法通常与喷砂或喷涂结合底层等方法结合使用。

### 4. 喷涂结合底层

这种方法可以提高工作层与工件之间的结合强度。当工件较薄,喷砂容易造成变形时,特别适用这种方法。结合层的厚度应  $\leq 0.10 \sim$

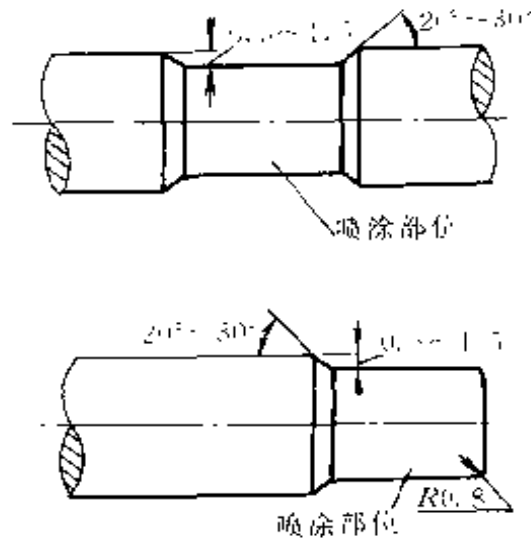


图 6-6 轴类零件预加工时的边角过渡

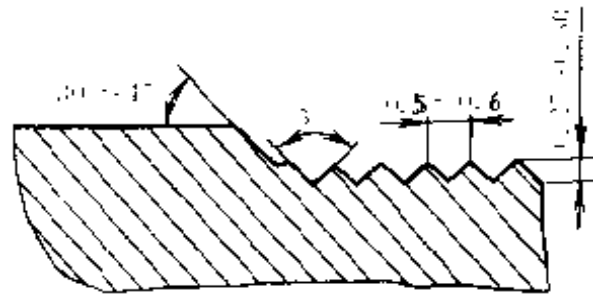


图 6-7 表面螺纹的形状

0.15mm,如果太厚,会使工作层的结合强度降低,而且经济性不好。

### 二、工件的预热

预热时加热应缓慢、均匀,防止局部过热。预热的作用,可以清除工件表面的吸附水分。预热可使工件膨胀,因而可降低喷涂层冷却时产生的拉应力。

工件预热的温度为80~120℃,预热可在电炉中进行。如果是氧乙炔火焰喷涂时,可以用喷枪进行预热。火焰应为中性焰或碳化焰。

### 三、喷涂工作层

工作层的厚度一般较大,应采取逐次加厚的方法进行喷涂。每次喷涂的厚度不应超过0.15mm。工作层的厚度一般不应超过1.0~1.5mm。

各种热喷涂方法的推荐喷涂距离见表6-7。喷涂操作时,喷涂射流的轴线与被喷涂工件表面的夹角应当大于45°。因为小角度喷涂时,喷涂粒子与工件表面结合不良,喷涂层结合强度低。在喷涂过程中,工件的温度应当低于150℃。如果高于此温度时,应当暂停工作,待降温后再继续喷涂。喷涂过程中也可以对喷涂区附近的不喷涂部位用冷却气流进行冷却降温处理。

表 6-7 各种喷涂方法的推荐喷涂距离

热喷涂方法	喷涂距离/mm
火焰线材喷涂	100~150
火焰粉末喷涂	150~200
电弧喷涂	100~200
等离子弧喷涂(金属)	70~130
等离子弧喷涂(陶瓷)	50~100

#### 1. 气体火焰线材喷涂

为了获得高硬度、并且不易碎裂的喷涂层,轴类零件喷钢以选用收缩率小的80、85高碳钢丝为宜。工件与喷枪的相对运动应配合适当。工件温度应不高于70~80℃。送丝速度应保证喷涂过程连续、稳定,喷涂火花浓密集中。工件直径为 $\phi 70 \sim \phi 100$ mm时的喷涂工艺参数见表6-8。



表 6-8 火焰线材喷涂工艺参数

压缩空气压力/MPa	0.55~0.60	
工件旋转线速度/(m/min)	5~12	
工件每转喷枪移动量/mm	3~10	
工件与喷枪距离 /mm	喷钢	100~150
	喷钨	70~80
	喷铝	100~200
	喷其它材料	100~150
喷枪中心线与工件中心线关系	略仰	

表 6-9 SQP-1 型火焰线材喷枪线材喷涂工艺参数

工艺参数	喷 涂 材 料	
	喷 锌	喷 铝
氧气压力/MPa	0.4~0.5	0.4~0.5
乙炔压力/MPa	0.06~0.08	0.06~0.08
压缩空气压力/MPa	0.5~0.6	0.5~0.6
送丝速度/(r/min)	35~40	25~30
喷涂距离/mm	120~150	120~150
喷层厚度/mm	0.2	0.3

SQP-1 型火焰线材喷枪线材喷涂工艺参数见表 6-9。

## 2. 气体火焰粉末喷涂

一般采用放热型铝包镍复合粉末喷涂打底层。用中性焰或微碳化焰预热工件至 100~120℃。用中性焰喷涂,喷涂距离为 150~200mm。由于打底层起结合作用,喷涂厚度一般为 0.10~0.15mm。此外,粉末价格昂贵,也不宜过厚。由于工作层粉末不是放热型的,所以粉末的热量全部由火焰提供。喷涂时采用中性焰或微碳化焰。当喷涂铜基合金粉末时,需使用氧化焰。喷涂距离一般为 180~200mm。喷涂工作层粉末时,所需的火焰功率要大,出粉量要适当,以粉末加热到白亮色为宜。可



以采用间断多次喷涂的方法,以防止小型工件的温度过高,影响喷涂质量。这种喷涂方法对于工艺参数的要求不十分严格。普通的火焰喷枪没有精确的送粉控制装置,因此喷涂时凭经验控制送粉参数,送粉量一般为20~30g/min。BPT-1型喷枪常用粉末喷涂工艺参数推荐值见表6-10。

表 6-10 BPT-1 型喷枪常用粉末喷涂工艺参数推荐值

粉 末	气体压力 /MPa		气体流量 /(m <sup>3</sup> /h)		喷 嘴	送 粉 阀 杆	送 粉 气 阀 位 置	喷距 /mm	备注
	氧气	乙炔气	氧气	乙炔气					
镍包铝 (Ni80, Al20)''	0.1862	0.1029	1.15	0.75	B	B	8~9	180~ 250	
铝包镍 (Ni95,Al5)	0.1715	0.1029	1.1	0.8	A	B	7~8	150~ 180	用振 动器
喷涂镍基 工作层粉	0.2058	0.1029	1.25	0.8	A	C	10~12	180~ 250	—
喷涂铁基 工作层粉	0.2058	0.1029	1.25	0.8	A	C	10~12	180~ 250	—
喷涂镍铬 铝工作层粉	0.1715	0.1029	1.1	0.8	A	B	7~8	150~ 180	—
步法自粘 结喷涂粉	0.1715	0.1029	1.1	0.8	C	A	7~8	150~ 180	用振 动器
一步法自粘 结喷涂粉	0.2058	0.1029	1.2	0.8	A	A	6~7	180~ 250	用振 动器
白色氧化铝	0.2058	0.1029	1.25	0.8	A	B	3.5~ 4.5	65	粉末粒 度为250 ~400目

(续)

粉 末	气体压力 /MPa		气体流量 /(m <sup>3</sup> /h)		喷 嘴	送 粉 阀 杆	送粉气 阀位置	喷距 /mm	备注
	氧气	乙炔气	氧气	乙炔气					
质量分数为 2.5%氧化钽 的氧化铝	0.2058	0.1029	1.25	0.8	A	B	3.5~ 4.5	65	用振动 器及旁 吹管
镍基自 熔合金	0.2058	0.1029	1.25	0.8	A	C	10~12	230~ 250	—

① 成分数据为质量分数。

② 法定计量单位筛孔公称尺寸为 mm, 目为筛号, 其有一定的换算关系。

### 3. 电弧喷涂

钢、锌线材的电弧喷涂工艺参数见表 6-11。电弧喷涂的原理如图 6-8 所示。电弧喷涂是将两根通电的金属分别送入喷枪, 利用在金属丝端部产生的电弧将金属丝本身熔化, 由压缩空气将熔化的金属雾化为微粒状, 并且喷射到工件表面而形成喷涂层的工艺方法。不同材料采用电弧喷涂及气体火焰喷涂的涂层性能比较见表 6-12。从表 6-12 中可以看出电弧喷涂的特点是: ① 涂层与母材的结合强度高; ② 涂层的抗剪剪强度高; ③ 电弧喷涂的熔敷能力强, 如喷 Zn 可达 34kg/h; ④ 采用两根不同成分的金属丝, 可以获得假合金涂层, 如铝青铜丝与 Cr13 钢丝的电弧喷涂; ⑤ 由于使用电能加热, 成本低, 安全方便, 热能利用率高。

表 6-11 钢、锌线材的电弧喷涂工艺参数

喷涂材料	线材直径 /mm	电弧电压 /V	电弧电流 /A	送丝速度 /(kg/h)
钢	1.6	35	185	8.5
锌	2.0	35	85	13

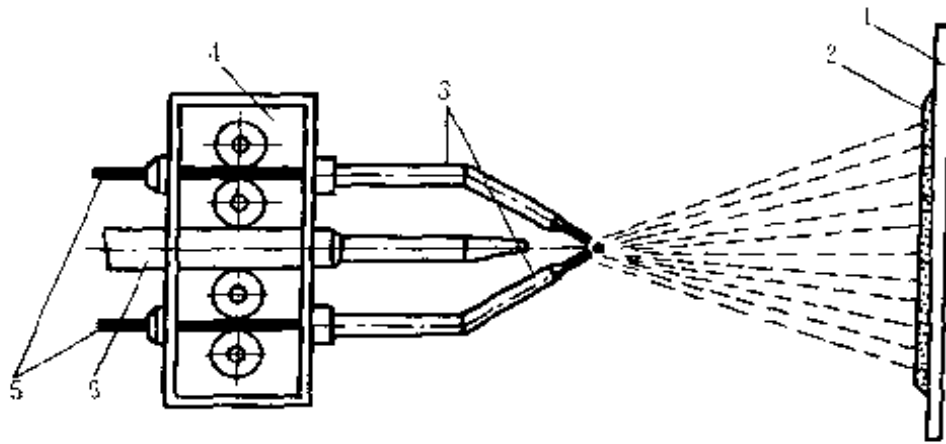


图 6-8 电弧喷涂原理

- 1—工件 2—喷涂层 3—金属丝导管 4—送丝机构  
5—金属丝 6—压缩空气导管

电弧喷涂广泛应用于轴类、导辊等负荷轴的修复,以及喷涂钢结构的防护涂层。

表 6-12 电弧喷涂与气体火焰喷涂的涂层性能比较 (母材为软钢)

喷涂材料	喷涂法	结合强度 /MPa	抗剪切强度 /MPa	喷涂能力 / (kg/h)	耐磨试验磨损量/ $\mu\text{m}$	
					摩擦副 ( $w_c 0.1\%$ )	摩擦副 (60HRC)
Cr13 钢	电弧法	31.36	225.4	15	25	76
	火焰法	20.97	196.0	5	44	24
碳钢 ( $w_c = 0.1\%$ )	电弧法	39.89		14	50	450
	火焰法	16.07		5	370	300
18-8 钢	电弧法	31.36	274.4	15	355	362
	火焰法	17.35	205.8	5	264	525
铝青铜	电弧法	25.48	156.8	16	840	500
	火焰法		147.0	7	645	778

(续)

喷涂材料	喷涂法	结合强度 /MPa	抗剪切强度 /MPa	喷涂能力 /(kg/h)	耐磨试验磨损量/ $\mu\text{m}$	
					摩擦副 ( $w_t$ 0.1%)	摩擦副 (50HR $^{\circ}$ )
铝青铜和 Cr13 合金	电弧法	24.70	176.4	15	—	—
Al	电弧法	18.52	—	8	—	—
	火焰法	9.31	—	5	—	—
Zn	电弧法	7.84	—	34	—	—
	火焰法	7.84	—	14	—	—

#### 4. 等离子弧喷涂

等离子弧喷涂是利用等离子焰流(非转移型等离子弧)为热源,将粉末喷涂材料加热和加速,喷射到工件表面,形成喷涂层的一种热喷涂方法。等离子弧喷涂原理如图 6-9 所示。接通电源在钨极端部与喷嘴之间产生高频电火花,并将等离子电弧引燃。连续送入的工作气体穿过电弧以后,成为由喷嘴喷出的高温等离子焰流。喷涂粉末悬浮于送粉气流内,被送入等离子焰流,迅速达到熔融状态,并以高速喷射到工件表面上形成喷涂层。

等离子弧喷涂工艺参数主要有电弧功率、工作气种类及流量、送粉气种类及流量、送粉量、喷涂距离、工件移动速度等。操作时一般采用固定电压,调节电流来控制电功率。大量应用的功率范围是 25~40kW,最大功率已达 80kW。氮气等离子弧的电流一般为 250~400A,电弧电压为 70~90V。氩气等离子弧的电流一般为 400~600A,电弧电压为 20~40V。常用的工作气体有氮、氩、氢等。一般推荐采用氮气或氮氢( $\varphi_{\text{H}_2}$  为 5%~10%)混合气,价格较低。对于容易氧化的粉末或涂层质量要求高时,可选用氩气或氦气。送粉气通常与工作气的种类相同,其流量与送粉器结构、送粉量、粉末的密度及流动性等方面有关,通常为工作气体流量的 1/3~1/5,一般为 15~18L/min。送粉量与电

弧功率、粉末特性、喷嘴结构有关，一般为 80~140g/min。对于金属粉末，喷涂距离为 100~150mm；对于陶瓷粉末，则为 50~100mm。喷嘴与工件的夹角，以 90°至 45°夹角进行喷涂对涂层致密性不产生影响。调节喷枪移动速度实质上是控制每次喷涂的厚度，一般每次不超过 0.25mm 厚。喷枪移动速度还对工件的温升有影响，因此希望移动速度快些为好。

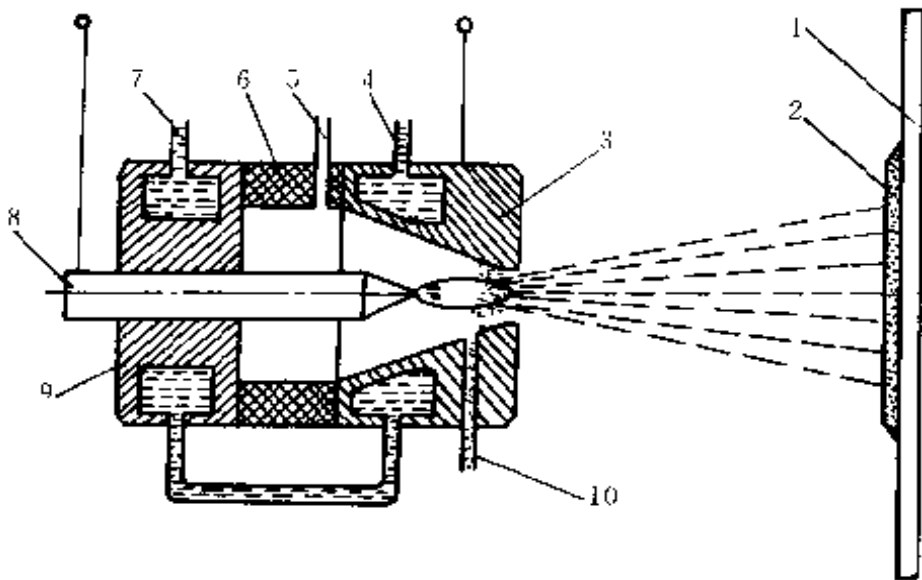


图 6-9 等离子喷涂原理

- 1—工件 2—喷涂层 3—前枪体 4—冷却水出口 5—等离子气进口  
6—绝缘套 7—冷却水进口 8—钨电极 9—后枪体 10—送粉口

实际上，在一定的喷涂设备条件下，根据涂层要求确定了粉末的种类、粒度、送粉量后，即可确定气体种类和流量，还应确定工作电压及工作电流。对于具体的设备，工作电压已经基本确定，只能对主气流量和加入氢气的不同流量进行小范围的调整。因此电参数实际上是确定工作电流。工作电流可通过测定沉积效率来确定（沉积效率即在某一时间内沉积在涂层上的质量与输送的粉末质量之比）。一定成分的粉末在送粉量一定时，电功率与粉末的沉积效率之间存在着一个最佳对应值。

在这个电功率下喷涂时,不但粉末的沉积效率较高,而且喷涂层的结合强度和耐磨性等各项指标也最好。几种合金粉末的电参数见表 6-13。

表 6-13 几种合金粉末的电参数

粉末牌号	在 70V 时的工作电流/A	喷涂功率/kW
LNi04	260~300	18~21
LFe04	280~320	19.5~22.5
LFe07	310~340	21.5~24
NT2	260~310	18~22
Ni/Al	400~500	28~31.5

#### 四、喷后处理

##### 1. 封孔处理

喷涂层具有孔隙,而且内部的孔隙有可能相互连接,这样就由喷涂层表面断续延伸到被喷涂工件的表面。因此对于要求密封或耐腐蚀的喷涂层,在喷涂之后还应进行封孔处理。

封孔处理之前,必须将喷涂层表面清理干净,最好是喷涂完毕马上进行封孔处理。如果喷涂层表面有油污时,应该用适当的溶剂洗净并蒸发后,方可进行封孔处理。

封孔剂主要是各种有机合成树脂、合成橡胶、石蜡、某些油漆及油脂等。酚醛树脂是广泛使用的封孔剂。固化后酚醛树脂具有良好的耐有机溶剂和弱酸的能力,使用温度为 150~260℃。为保证封孔剂的良好渗透,可选用丙烯酸脂类厌氧性胶粘剂。这类胶粘剂在空气中为液态,不会固化。当涂敷于喷涂层的孔隙中时,胶液与空气中的氧气隔绝,就会很快固化起到密封作用。厌氧性胶粘剂耐水及油的性能较好,可在 150℃ 以下长期工作。对于在较低温度下工作的喷涂层,石蜡是常用的封孔剂。应选用具有明显熔点的微结晶石蜡为封孔剂,其熔点为 90℃



左右。将喷涂层加热到微结晶石蜡的熔点以上的温度时，可直接涂上去。石蜡具有耐淡水、海水及大多数的酸和碱的性能，但是在有机溶剂和油中会发生溶解。此外，许多工业用的密封胶也可作为喷涂层的封孔剂。

2. 喷涂层机械加工

常用的机械加工方法是车削和磨削。对于铜、铝、纯铁等少数喷涂层可以采用高速钢刀具进行车削，其它大部分材料的喷涂层应使用添加碳化钨或碳化钨的超细晶粒硬质合金刀具或立方氮化硼刀具、陶瓷刀具、金刚石刀具才能进行加工。有些喷涂层只能采用磨削加工。磨削加工时，应选用绿色碳化硅、人造金刚石或立方氮化硼等高硬度砂轮。为防止加工中脱落的磨粒嵌入喷涂层孔隙影响磨削质量，可选用粒度稍粗的砂轮。在磨削内圆面时，可采用疏松组织（10号以上）的砂轮或大气孔（组织大约相当于10~14号）的砂轮。

五、喷涂层缺陷及防止

热喷涂涂层的常见缺陷有：涂层碎裂、涂层脱壳、涂层分层、涂层不耐磨等。表 6-14 为热喷涂涂层缺陷分析。针对每种缺陷的产生原因便可以相应地采取技术措施，加以防止。最终获得优质的热喷涂涂层。

表 6-14 热喷涂涂层缺陷分析

缺陷	原 因
涂层 脱壳	1. 表面粗糙程度不够或有灰土吸附，使喷涂层附着力减低
	2. 工件含有油脂，喷涂时油脂溢出，特别是球墨铸铁曲轴
	3. 压缩空气中有可见的油与水
	4. 喷枪离工件太远，当金属微粒到达工件前塑性降低，未能充分嵌合
	5. 车削与拉毛、拉毛与喷涂各道工序间相隔时间太久，致使表面氧化
	6. 磨削时采用氧化铝砂轮，致使涂层局部过热而膨胀
	7. 喷枪火花不集中，喷涂时火焰偏斜，致使金属微粒不能有力地粘附在工件表面
	8. 工件线速度和喷枪移动速度太慢，喷涂中的夹杂物飘附于表面，减低了附着强度

(续)

缺陷	原 因
涂层 分层	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 采用间歇喷涂时, 在即将达到标准尺寸的情况下没有一次喷完, 而是停喷太久, 这样的涂层在磨光时会产生分层剥落现象</li> <li>2. 喷涂中压缩空气带出的油和水溅在工作表面上</li> <li>3. 喷涂场所不洁, 每一层喷涂后有大量灰尘吸附到工作表面, 使层与层之间有外来物隔离或部分隔离</li> </ol>
涂层 碎裂	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 喷涂时喷枪移动太慢, 以致一次喷涂的涂层过厚, 造成涂层过热</li> <li>2. 喷枪距离太近, 促使涂层过热</li> <li>3. 喷涂材料收缩率太高或含有较多的导致热裂冷碎的元素, 如硫、磷等</li> <li>4. 电喷时, 电流过高; 气喷时, 使用了氧化焰, 涂层过分氧化</li> <li>5. 喷好后的工件过度激冷而碎裂</li> <li>6. 压缩空气中有水气和油雾, 降低了涂层结合强度</li> <li>7. 工件回转中心不准, 喷涂火花偏斜在一面, 使涂层有厚薄, 收缩率不均</li> </ol>
涂层 不耐 磨	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 喷涂时喷枪离工件太远, 金属颗粒提早冷却, 喷到工件上后成为疏松涂层, 涂层工作时, 颗粒部分脱落, 擦伤摩擦面</li> <li>2. 磨削时有大量的砂轮屑嵌入涂层, 擦伤表面</li> <li>3. 金属丝进给速度太快, 颗粒呈片状</li> <li>4. 金属丝材料不合适, 硬度不高, 不耐磨 (如钢丝的含碳量低, 涂层太软)</li> <li>5. 空气压力过低, 喷枪距离太远, 致使结合强度降低</li> </ol>

#### 第四节 热喷涂材料

##### 一、热喷涂材料的分类

1) 按照材料的形状可分为: 线材 (或称丝材) 和粉末两种 (棒材包括在线材范围之内)。

2) 按照材料的成分结构可分为: 金属及合金、自熔性合金、复合材料、陶瓷、塑料等五种。



3) 按照喷涂材料的性质, 以及喷涂层的工作环境和使用要求可以分为: 耐磨喷涂材料、耐腐蚀喷涂材料、结合底层材料等三种。

## 二、热喷涂材料的选用原则

1) 根据被喷涂工件的工作环境、使用性能的要求选择最适合要求的喷涂材料。

2) 热喷涂材料的热膨胀系数应该尽量与工件材料相接近, 以获得优质的喷涂层。

3) 选用的热喷涂材料应与喷涂工艺方法及设备相适应。

4) 考虑喷涂材料的成本及供货来源。

## 三、热喷涂常用材料的牌号、成分及性能

### 1. 热喷涂线材

包括纯金属丝、合金丝、复合线材等。热喷涂常用线材牌号、成分及其特性见表 6-15。

### 2. 热喷涂粉末材料

(1) 自熔性合金粉末 热喷涂常用自熔性合金粉末成分及主要性能列于表 6-16。主要包括镍基、钴基、铁基、铜基等。

(2) 喷涂复合粉末 热喷涂常用复合粉末成分及主要性能见表 6-17。主要包括镍包铝、镍包氧化铝、钴包碳化钨等几种类型。

(3) 金属合金粉末 金属及其合金粉末是获得热喷涂涂层的重要材料之一。对于难以加工成线材的、延展性较差的金属或合金, 多制成粉末使用。其成分及性能与线材完全一致。

### (4) 热喷涂金属陶瓷粉末材料

陶瓷属于高温无机材料, 是金属氧化物、碳化物、硼化物、硅化物、氮化物的总称。具有熔点高、硬度高、耐腐蚀、脆性大、强度低等特点。陶瓷材料经过适当加工及喷涂在工件上, 可以获得性能优良的喷涂层。表 6-18 列出了热喷涂常用陶瓷粉末成分及主要性能。

### 4. 热喷涂塑料粉末

塑料是指室温下处于玻璃态的高分子聚合物材料, 可分为热塑性及热固性两类。表 6-19、表 6-20 分别列出了这两类塑料粉末的特性及应用。

表 6-15 热喷涂常用线材牌号、成分及其特性

类别	牌 号	主要化学成分的质量分数/%	主要性能及其应用
镍及其合金	N6	C 0.1 Ni 99.5	非氧化性酸、碱气氛和各种化学药品耐腐蚀涂层
	Cr20Ni80	C 0.1 Ni 80 Cr 20	抗 980℃ 高温氧化涂层和陶瓷粘结底层
	Cr15Ni60	Ni 60 Cr 15 Fe 余	硫酸、硝酸、醋酸、氨、氢氧化钠耐腐蚀涂层
	蒙乃尔合金	Cu 30 Fe 1.7 Mn 1.1 Ni 余	非氧化性酸、氢氟酸、热浓碱、有机酸、海水耐蚀涂层
铁及其合金	Q215	C 0.09~0.22 Si 0.12~0.30	滑动磨损的轴承面超差修复涂层
	Q235	Mn 0.25~0.65 Fe 余	
	45 钢	C 0.45 Si 0.32 Mn 0.65 Fe 余	轴类修复、复合涂层的底层、表面耐磨涂层
	2Cr13	C 0.16~0.24 Cr 12~14 Fe 余	耐磨、耐蚀涂层
	T10	C 1.0 Si 0.35 Mn 0.4 Fe 余	高耐磨零件表面强化涂层
	1Cr18Ni9	C 0.12 Cr 18~20 Ni 9~13	耐酸、盐、碱溶液腐蚀涂层
	T2	Cu 99.9	导电、导热、装饰涂层
	HSn60-1	Cu 60 Sn 1~1.5 Zn 余	黄铜件修复、耐蚀涂层
	QA19-2	Al 9 Mn 2 Cu 余	耐磨、耐蚀、耐热涂层、Cr13 涂层粘结底层
	QSn4-4-2.5	Sn 4 P 0.03 Zn 4 Cu 余	青铜件、轴承的减磨、耐磨、耐蚀涂层

(续)

类别	牌 号	主要化学成分的质量分数/%	主要性能及其应用
锌、铝及其合金	Zn-2	Zn ≥ 99.9	耐大气、淡水、海水等环境长效防腐
	ZnAl15	Al 15 Zn 余	耐大气、淡水、海水等环境长效防腐, 铝涂层亦可作导电、耐热、装饰等涂层
	L1	Al ≥ 99.7	
	Al-Mg-RE	Mg 0.5 ~ 0.6 RE 微量 Al 余	
锡及其合金	Sn-2	Sn ≥ 99.8	耐食品及有机酸腐蚀涂层、木材、石膏、玻璃粘结底层
	CH Al10	Sb 7.5 Cu 3.5 Pb 0.25 Sn 余	耐磨、减磨涂层
铅	Pb1, Pb2	Pb ≥ 99.9	耐硫酸腐蚀、X射线防护涂层
	Mo1	Mo 99.9	自粘结底层、减磨、消滑、耐磨蚀涂层
	W1	W 99.95	抗高温、电触点抗熔蚀涂层
	Ta1	Ta 99.95	超高温打底涂层、特殊耐酸蚀涂层
	Cd-05	Cd 99.95	中子吸收和屏蔽涂层
其它金属			

表 6-16 常用自熔性合金粉末成分及主要性能

类别	牌 号	主要化学成分的质量分数/%											硬度 HRC	主要性能及应用		
		C	Cr	B	Si	Ni	Mo	Mn	V	Fe	W	Co			Cu	
镍基粉末	FZCr <sup>1</sup> -25 ~ FZCr-45	≤0.2 ~ 0.6	3.0 ~ 15	1.0 ~ 3.0	2.0 ~ 1.5	余	—	—	—	4.0 ~ 17	—	—	—	—	20 ~ 50	韧性好、耐冲击、耐蚀、耐热性好
	FZNCr-55 ~ FZNCr-60	0.4 ~ 1.1	14 ~ 20	2.5 ~ 1.5	3.5 ~ 5.5	余	0 ~ 4.0	—	—	5.0 ~ 17	—	—	0 ~ 4.0	50 ~ 65	耐磨、耐蚀、耐热性能好	
	FZN <sup>(Co)</sup> -15 ~ FZN-25	≤0.1	—	0.8 ~ 2.0	1.6 ~ 4.0	余	—	—	—	—	—	—	0 ~ 21	15 ~ 30	耐磨、耐冲击较好、用于铸件的修复	
	WF-111 ~ WF-113	0.5 ~ 0.8	13 ~ 16	2.0 ~ 3.0	3.0 ~ 4.0	余	—	—	—	5.0 ~ 8.0	—	—	—	40 ~ 53	适用于模具、内燃机气门、衬套、轴类、冷加工模具等	

(续)

类别	牌 号	主要化学成分的质量分数/%											硬度 HRC	主要性能及应用	
		C	Cr	B	Si	Ni	Mo	Mn	V	Fe	W	Co			Cu
钴基粉末	WF-211	0.8 ~ 1.0	27 ~ 30	1.0 ~ 1.8	0.6 ~ 1.0	—	—	—	—	—	3.5 ~ 4.5	余	—	43 ~ 48	红硬性很好,用于高温、高压阀门、模具、内燃机气门
	WF 215 ~ WF-218	0.8 ~ 1.0	18 ~ 30	1.0 ~ 2.6	0.5 ~ 3.5	10 ~ 13	0 ~ 2.0	—	—	3.0 ~ 5.0	3.5 ~ 8.0	余	—	40 ~ 55	红硬性很好,用于冲模、辊锻模具等
	WF-242	0.4 ~ 0.8	17 ~ 19	1.0 ~ 1.5	2.0 ~ 3.0	13 ~ 15	2.5 ~ 3.5	—	—	≤7.0	3.5 ~ 4.5	余	—	40 ~ 45	抗裂性很好,用于过热蒸汽阀门
铁基粉末	FZFeCr <sup>3</sup> -05-25H ~ FZFeCr10-50H	0.15 ~ 1.5	4.0 ~ 12	1.0 ~ 4.5	1.5 ~ 5.0	20 ~ 32	1.0 ~ 6.0	—	0 ~ 1.2	余	1.5 ~ 10	—	—	25 ~ 60	耐磨性和韧性优良

(续)

类别	牌 号	主要化学成分的质量分数/%											硬度 HRC	主要性能及应用
		C	Cr	B	Si	Ni	Mo	Mn	V	Fe	W	Co		
铁基粉末	FZFeCr13-20H	0.15	11	1.0	2.0	6	0	—	余	—	—	—	20	耐酸、耐腐蚀、 耐磨性能优良
	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	
	FZFeCr17-30H	1.8	18	4.0	4.0	31	6.0	—	余	—	—	—	60	
	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	
铜基粉末	FZFeCr19-30H	2.0	18	1.5	1.5	0	0	0	余	0	—	—	30	具有优良的耐 热、抗氧化、耐蚀 和耐磨性
	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	
	FZFeCr30-55H	3.5	32	3.5	5.0	15	4.5	1.5	1.2	3.0	—	—	65	
	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	
	WF-411	P0.2~0.4 Sn7~9 Zn2~4 Cu余											HBS 80~120	具有良好的耐 磨性,可用于低 压密封面、配 油盘、轴瓦等
	WF-412	Si2.5~3.5 Mn1~2 Cu余											HBS 80~140	

注:喷涂用合金粉末粒度通常为-140~+320目,等离子喷焊用合金粉末,粒度一般为-80~+200目。

① FZCr××系列摘自 GB5316—85。

② FZN-××系列摘自 GB5315 86。

③ FZFeCr××-××系列摘自 GB8547—87。

表 6-17 热喷涂常用复合粉末成分及主要性能

类别	牌 号	主要化学成分的质量分数/%	主 要 性 能 及 应 用
镍包铝 复合粉	FF01.01	Al 9.0~11 Ni 余	粘底层和中间涂层,但在酸、碱、中性盐电解质溶液中不耐蚀,用于抗高温氧化,粘着磨损、密封涂层
	FF01.03	Al 17~20 Ni 余	
镍包氧化铝 粉	FF03.01	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 20~25 Ni 余	高温热障涂层的中间过渡层,耐高温磨损腐蚀涂层
	FF03.02	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 40~45 Ni 余	
	FF03.04	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 60~65 Ni 余	
	FF03.05	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 80~85 Ni 余	
	FF02.01	Co 8.5~9.5 C 5.3~5.6W 余	
钴包碳化钨 粉	FF02.02	Co 11.5~13.5 C 5.3~5.6W 余	适用于碳钢、镁、铝、铜及其合金基体上喷涂,耐低应力磨粒磨损、冲蚀磨损、微动磨损及硬面涂层
	FF02.04	Co 16~18 C 4.85~5.15W 余	
	FF02.07	Co 20~22 C 4.6~5.1W 余	
镍包 铜粉	FF04.01	Cu 30~33 Ni 余	耐海水、有机酸、盐溶液腐蚀涂层,抗粘着磨损涂层
	FF04.03	Cu 68~72 Ni 余	
镍包 铬粉	FF05.01	Cr 18~22 Ni 余	900 C 左右耐高温、抗氧化、耐腐蚀涂层
	FF05.03	Cr 58~62 Ni 余	

注:各复合粉末成分分别摘自 GB3990—83、GB3991—83、GB3993—83、GB3992—83,粉末粒度范围在—140~+400 目。

表 6-18 热喷涂常用陶瓷粉末成分及主要性能

类别	牌 号	主要化学成分的质量分数/%	主要性能及应用
氧化铝及复合粉末	AF-251	$Al_2O_3 \geq 98.4$	耐磨粒磨损、冲蚀、纤维磨损。840~1650℃耐冲击、热障、磨耗、绝缘、高温反射涂层
	P7111	$Al_2O_3$ 97 $TiO_2$ 3.0	
	P7112	$Al_2O_3$ 余 $TiO_2$ 13	
	P7113	$Al_2O_3$ 余 $TiO_2$ 20	
	P7114	$Al_2O_3$ 余 $TiO_2$ 40	
	P7115	$Al_2O_3$ 余 $TiO_2$ 50	
氧化锆粉末	CSZ	$ZrO_2$ 93.9 $CaO$ 4~6	845℃以上耐高温、绝热、抗热震、高温抗了冲蚀、耐熔融金属及碱性炉渣侵蚀涂层
	MSZ	$(ZrO_2 + MgO) \geq 98.45$	
	YSZ	$(ZrO_2 + Y_2O_3) \geq 98.25$	
氧化锆粉	氧化锆	$Cr_2O_3$ 91 $SiO_2$ 8 $Al_2O_3$ 0.61	540℃以下耐磨粒磨损、冲蚀、250℃抗腐蚀、纤维磨损、辐射涂层
	P7420	$TiO_2 \geq 98$	540℃以下耐粘着、腐蚀磨损、光电转换、红外辐射、抗静电涂层
氧化钛粉末	$TiO_2 \cdot Cr_2O_3$	$TiO_2$ 55 $Cr_2O_3$ 45	540℃以下抗腐蚀磨损、抗静电涂层
	TZN	$TiO_2$ 5~20 $ZrO_2$ 80~90 $Nb_2O_5$ 1	红外及远红外波辐射涂层
	TZN-2	$TiO_2$ 77 $ZrO_2$ 20 $Nb_2O_5$ 3	



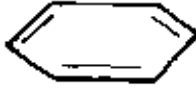
(续)

类别	牌号	主要化学成分的质量分数/%	主要性能及应用
其它粉末	OS-1	Y 13.3 Ba 41.2 Cu 28.9 O 余	超导涂层
	TiN	TiN	1000 C 以下耐热、抗氧化、耐磨蚀、抗擦伤及彩色表面装饰保护涂层
<b>表 6-19 热塑性塑料粉末材料的特性及应用</b>			
种类牌号	化学结构式及分子量		火焰喷涂涂层性能及应用
聚乙烯(PE)粉末	$[\text{CH}_2-\text{CH}_2]_n$ 分子量: 5~50 万		喷涂温度 200~250 C, 厚度 0.3~2.5mm, 硬度 70~85HS, 安全使用温度 -70~+110 C。 低密度聚乙烯用于装饰涂层; 高密度聚乙烯无光泽用作槽罐衬里涂层
聚氯乙烯(PVC)粉末	$[\text{CH}_2-\text{CHCl}]_n$ 分子量: 5~12 万		喷涂温度 170 C, 厚度 0.38~2.5mm, 硬度 60~95HS, 使用温度 -35~+70 C 应用于 60 C 以下使用的耐蚀涂层, 非热的绝缘涂层, 钢板、大型钢管、钢结构保护涂层
聚酰胺粉末(尼龙)	$[\text{NH}(\text{CH}_2)_6\text{NHCO}(\text{CH}_2)_4\text{CO}]_n$ 分子量: 13100 万		喷涂温度低于 300 C, 厚度 0.5~0.7mm, 使用温度 -60~+80 C, 应用于 100 C 以下使用的耐蚀涂层。电绝缘涂层、耐磨、减摩涂层。例如, 贮槽、贮罐、衬里, 水泵叶轮、叶片

(续)

种类牌号	化学结构式及分子量	火焰喷涂涂层性能及应用
氯化聚酯粉末	$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{Cl} \\   \\ \text{HO}-\text{CH}_2-\text{C}-\text{CH}_2-\text{O}-\text{CH}_2-\text{H} \\   \\ \text{CH}_2\text{Cl} \end{array}$ 分子量: 25~35 万	喷涂温度 350℃, 厚度 0.2~1.2mm, 使用温度 -60~+120℃。应用于 120℃ 以下的耐腐蚀涂层, 减摩涂层, 密封件耐腐蚀层。例如, 化工厂的贮槽衬里、泵和阀门及管道等
聚四氟乙烯(F4)粉末	$-\text{CF}_2-\text{CF}_2-\text{CF}_2-\text{CF}_2-$ 分子量: 3800~89000 万	喷涂温度低于 400℃, 厚度 0.013~0.13mm, 硬度 75HS。使用温度 -80~+260℃, 应用于 250℃ 左右的高耐腐蚀层, 减摩自润滑涂层, 绝缘涂层。例如, 化工泵, 叶轮, 密封环, 高耐腐蚀层, 耐磨, 减摩, 轴承, 活塞环, 高频电缆及电容器的绝缘涂层
聚全氟代7.炳烯(F45)粉末	$-\text{CF}_2-\text{CF}_2-\text{CF}_2-\text{CF}_2-\text{CF}_2-\text{CF}_2-\text{CF}_2-\text{CF}_2-$	喷涂温度 385℃ 以下, 厚度 0.01~0.13mm, 硬度 85HS。使用温度 -70~+225℃, 应用于 200℃ 使用的高耐腐蚀和高绝缘涂层。例如, 化工用塔、槽、罐的内衬防蚀涂层, 雷达, 印刷线路板用耐热绝缘涂层, 食品机械用防粘涂层

表 6-20 热固性塑料粉末材料的特性及应用

种类牌号	化学结构式及分子量	火焰喷涂层性能及应用
环氧树脂 (EP) 粉末		应用于 250℃ 以下使用的耐蚀、耐磨绝缘涂层, 也用于金属、混凝土、木材等基体上。例如, 化工设备用的耐蚀、耐磨衬里, 高压电器的耐热、耐蚀绝缘涂层
聚苯脂 (聚对羟基苯甲酸脂) 粉末		等离子弧喷涂 (枪外送粉) 应用于 315℃ 以下使用的耐热、减摩自润滑涂层, 耐有机溶剂和高温蒸气的防蚀涂层, 也用于高速轴承、轴套、活塞环、导轨等减摩自润滑涂层

## 第五节 喷 熔

喷熔是以氧乙炔焰为热源, 将自熔合金粉末喷涂在工件表面后, 再对喷涂层加热至熔化, 使其与工件表面形成冶金结合的加工方法。

### 一、喷熔的特点

火焰粉末喷熔是介于喷涂与堆焊之间的一种工艺。粉末喷涂的涂层与被喷工件表面之间是机械结合, 其结合强度低, 涂层有许多孔隙, 结构不致密。经过喷熔处理的涂层, 稀释率极低, 熔敷层与工件金属呈冶金结合, 并且涂层致密, 无气孔和氧化物夹杂, 结合强度高。然而由于重熔需要对工件加热, 使喷涂层重新熔化 (即达到粉末的熔点温度), 工件因受热容易产生变形等缺陷。火焰喷涂与喷熔的参数与性能的比较见表 6-21。

### 二、喷熔设备

火焰喷熔设备包括喷枪及重熔枪、氧乙炔供给系统、喷涂用转胎、保温炉、干燥箱等。火焰粉末喷熔枪的型号及主要技术性能见表 6-22。火焰重熔枪的型号及主要技术性能见表 6-23。火焰喷涂喷熔两用枪的型号及主要技术性能见表 6-24。

表 6-21 火焰喷涂与喷熔的参数与性能的比较

项 目	丝材喷涂	棒材喷涂	粉末喷涂	粉末喷熔	爆炸喷涂
喷涂材料	熔点低于 2900℃ 的金属或复合材料	熔点低于 2900℃ 的陶瓷材料	熔点低于 2900℃ 的合金和陶瓷材料	自熔性合金粉末	金属、合金、陶瓷等粉末
基体材料	金属、非金属、陶瓷	金属、非金属	金属、非金属、陶瓷	金属	金属、陶瓷
火焰温度/℃	2700~3200	2700~3200	2700~3200	2700~3200	4000
基体表面温度/℃	260~320	260~340	260~320	1010~1180	200
微粒速度/(m/s)	65~140	170	50~130	50~130	700~800
喷涂效率/(kg/h)	2.5~3.0	0.5~0.1	陶瓷 1.5~2.5 金属 3.5~10	3.5~10	
喷涂厚度/mm	0.05~5.0	0.025~0.05	0.10~5.0	0.12~5.0	0.03~0.30
结合形态	机械、物理、化学	机械	机械、物理、化学	冶金结合	显微冶金结合
结合强度/MPa	0.1~0.30	0.05~0.1	0.3~0.5	3.5~4.0	0.78~1.5
孔隙率/%	<6.0	1~20	<8.0	无孔隙	<1.0
基体组织有无变化	无	无	无	有	无
基体有无变形	无	无	无	有	无

表 6-22 火焰粉末喷熔枪的型号及主要技术性能

型 号	喷嘴孔径 /mm	气体压力/kPa		气体消耗量:(m <sup>3</sup> /h)		送粉量 /(kg/h)
		氧气	乙炔	氧气	乙炔	
SPH-1/h	φ0.9	200	50~100	0.16~0.18	0.14~0.15	0.4~0.6
	φ1.1	250	50~100	0.26~0.28	0.22~0.24	0.6~0.8
	φ1.3	300	50~100	0.41~0.43	0.35~0.37	0.8~1.0
SPH-2/h	φ1.6	300	50~100	0.65~0.78	0.55~0.65	1.0~1.4
	φ1.9	350	50~100	0.80~1.00	0.70~0.80	1.4~1.7
	φ2.2	400	50~100	1.00~1.20	0.90~1.10	1.7~2.0
SPH-4/h	φ2.6	400	50~100	1.60~1.70	1.45~1.55	2.0~3.0
	φ2.8	450	50~100	1.80~2.00	1.65~1.75	3.0~3.5
	φ3.0	500	50~100	2.10~2.30	1.85~2.20	3.5~4.0
SPH-C	φ1.5×5	500~600	50~100	3.0~3.3	2.4~2.6	4.5
	φ1.5×7	600~700	50~100	4.2~4.4	3.3~3.5	5.0
	φ1.5×9	700~800	50~100	5.4~5.6	4.3~4.5	6.0
SPH-D	φ1.0	500	50~100	5.3~6.0	4.8~5.1	8.0
	φ1.2	600	50~100	8.0~9.0	7.2~7.6	12.0
SPH-K	φ1.2	600	50~100	3.8	3.3	4.0~6.0
PH/SWJ	φ1.2	300~500	50~100	0.35	0.3	1.0~1.5
	φ1.4	400~600	50~100	0.52	0.45	1.5~2.0

表 6-23 火焰重熔枪的型号及主要技术性能

型 号	喷嘴孔径 /mm	气体压力/kPa		气体消耗量/(m <sup>3</sup> /h)	
		氧气	乙炔	氧气	乙炔
SPH-C	φ0.7×8	400	50~100	1.00	0.75
	φ0.9×10	500	50~100	2.20	1.70
	φ1.2×12	500~600	70~100	3.70	2.80
SCR-100	φ0.8×13	400	50~100	1.4~1.6	1.3~1.5
	φ1.0×13	500	50~100	2.7~2.9	2.4~2.6
	φ1.2×13	600	50~100	4.1~4.3	3.7~3.9

表 6-24 火焰喷涂喷嘴两用枪的型号及主要技术性能

型 号	喷嘴孔径 /mm	气体压力/kPa		气体消耗量/(m <sup>3</sup> /h)		送粉量 /(kg/h)
		氧气	乙炔	氧气	乙炔	
SPHT-6/h	φ2.5	400	>40	预热 0.9~1.2 喷粉 1.2~1.7	0.78~1.00	4~6
	预热 φ0.7×12 喷粉 φ2.8	450	>40	预热 0.5~0.8 喷粉 0.8~1.8	0.43~0.70	4~6

(续)

型 号	喷嘴孔径 /mm	气体压力/kPa		气体消耗量/(m <sup>3</sup> /h)		送粉量 /(kg/h)
		氧气	乙炔	氧气	乙炔	
SPHT 6/h	预热 φ0.8×12 喷粉 φ3.0	500	>40	预热 1.0~1.3 喷粉 1.2~2.3	0.86~1.15	4~6
		400	>40	预热 0.9~1.2 喷粉 1.2~2.2	0.78~1.00	6~8
SPHT-8/h	预热 φ0.8×12 喷粉 φ3.0	450	>40	预热 1.0~1.3 喷粉 1.3~2.3	0.86~1.15	6~8
		500		预热 1.0~1.4 喷粉 1.3~2.4	0.90~1.20	6~8
SPH-E	—	500~600	>50	预热 1.2 喷粉 1.3	0.75	<7
QSH-4	—	400	1~100	预热 0.94 喷粉 0.60	1.60	2~6

### 三、喷熔工艺

制定喷熔工艺措施时,必须了解工件材料对于喷熔的适应性(见表6-25)。喷熔工艺包括工件表面制备、工件预热、喷涂合金粉末、重熔处理、冷却、涂层后处理等几项内容。

表 6-25 几种工件材料对喷熔的适应性

工 件 材 料	喷熔适应性
$w_C < 0.25\%$ 的低碳钢 Mo、Mn、V、Cr、Ni 总质量分数 $< 3\%$ 的 结构钢 18-8 型不锈钢及各类铸铁	预热至 $250 \sim 300\text{C}$ 即可喷熔
$w_C$ 为 $0.25\% \sim 0.4\%$ 的中碳钢 Mo、Mn、V、Cr、Ni 总质量分数 $> 3\%$ 的 结构钢 $w_{Cr} \geq 2\%$ 的结构钢	需预热至 $250 \sim 380\text{C}$ , 喷熔后需缓冷
$w_{Cr} \geq 11\%$ 的马氏体不锈钢 $w_C \geq 0.4\%$ 的 Cr、Mo 结构钢	喷熔后需进行等温退火
铝及其合金、镁及其合金、青铜、黄铜等 熔点低于自熔性合金熔点的材料 淬硬性高的 Ni-Cr 和 Ni-Cr-Mo 合金钢 $w_{Cr} > 18\%$ 的马氏体钢 易切削钢 加热时会产生脆性相的材料	不适于喷熔

进行喷熔操作时,喷涂与重熔的工序可以连续进行或同时进行,当喷涂与重熔同时进行时,称为“一步法”喷熔工艺。当先喷涂、然后再重熔时,称为“二步法”喷熔工艺。重熔时,操作者应根据喷涂层表面状态的变化来控制温度。当观察到涂层在加热时逐渐变红,出现“镜面”反光时,即表明喷涂层已经熔融。此时应将火焰立即移到其它部位。



否则会导致涂层过热或熔融金属流失。

重熔时通常采用乙炔为燃料气体，火焰应采用中性焰或微碳化焰。当工件体积较小时，可用火焰喷涂枪或喷涂、喷熔两用枪进行重熔操作。当工件体较大时，需要用专门的火焰重熔枪工作。重熔处理也可以选用炉中加热、感应加热、激光加热等方法。

喷熔时，工件的温度应控制在 500℃ 左右。由于自熔性合金粉末的线膨胀系数较大，塑性较差，冷却时容易发生涂层开裂。特别是工件较大或涂层较厚时，更容易产生裂纹。因此，喷熔结束后，应根据具体情况对工作采取空冷、保温缓冷、等温退火等措施。喷熔层缺陷产生原因及防止措施见表 6-26。

表 6-26 喷熔层缺陷产生原因及防止措施

喷熔层缺陷	产生原因	防止措施
剥落	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 工件表面制备不符合要求</li> <li>2. 重熔时母材金属温度过低</li> <li>3. 熔化厚的涂层时，火焰移动太快</li> <li>4. 重熔温度太低，铁基粉末熔化时“镜面”反光不明显，比镍基粉末难于区别是否熔化</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 按规定要求进行表面制备</li> <li>2. 重熔时先加热母材金属，待接近粉末熔化温度时再对涂层重熔处理</li> <li>3. 厚的涂层，火焰应稍作停留，使表里均达到熔化</li> <li>4. 平时多练习，掌握铁基粉末的重熔温度</li> </ol>
裂纹	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 喷粉前工件预热温度太低</li> <li>2. 重熔后冷却速度太快，或喷熔层材料与母材金属线膨胀系数相差太大</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 提高预热温度，为防止氧化，可先在工件表面喷一薄层合金粉，然后再提高预热温度至 400 ~ 500℃</li> <li>2. 喷熔后缓冷，或进行等温处理</li> </ol>

(续)

喷熔层缺陷	产生原因	防止措施
夹渣	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 重熔时, 火焰移动速度太快, 熔渣来不及浮出</li> <li>2. 合金粉末自熔性差, 熔点高, 粘度大</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 重熔瞬间, 稍提高火焰, 在熔化处停留, 使渣完全浮出</li> <li>2. 更换粉末, 在采用新品种粉末或不同厂生产的粉末时, 应预先掌握其性能</li> </ol>
气孔	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 工件表面有锈、油污</li> <li>2. 工件表面和合金粉末被氧化</li> <li>3. 乙炔气体有水分</li> <li>4. 熔化温度过高, 时间太长, 引起喷熔层翻泡</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 认真做好工件表面制备</li> <li>2. 预热温度不宜过高, 用二步法喷熔的粉末不要太细。回收粉末已被氧化, 不能用在重要工件上</li> <li>3. 除去乙炔气水分</li> <li>4. 掌握好重熔的温度和时间</li> </ol>

## 第六节 热喷涂工程实例

### 一、水闸门火焰线材喷涂防腐涂层

水闸门是水利工程中的钢结构件。其工作条件是长期处于干湿交替、浸没水下等恶劣环境中。并受日光、大气、水、水生物的侵蚀, 泥沙、冰块、漂浮物等冲磨, 容易发生磨蚀、大气腐蚀、锈蚀等。为提高水闸门的使用寿命, 通常采用涂料保护。一般保护周期为 3~4a (年), 较好的为 7~8a。采用喷锌涂层, 水闸门的使用寿命可延长到 20~30a。

#### 1. 涂层选择

采用喷涂锌涂层是因为锌的标准电极电势比较低。被喷工件材质是钢铁, 其与涂层锌将构成一个原电池, 锌为阳极, 而钢铁为阴极。由于阳极锌溶解极其缓慢, 使钢铁不受腐蚀, 从而延长了水闸门的使用寿命。

#### 2. 喷涂工艺

1) 水闸门的喷涂表面进行喷砂处理、去污、除锈, 并且粗化水闸门表面。喷砂时, 采用硅砂, 其粒径为  $0.5\sim 2\text{mm}$ 。

2) 使用喷枪为 SQP-1 型火焰喷涂枪。

3) 喷涂材料为锌丝。

4) 喷涂工艺参数: 氧气压力为  $392\sim 490\text{kPa}$ ; 乙炔压力为  $39.2\sim 49\text{kPa}$ ; 压缩空气压力为  $490\sim 637\text{kPa}$ ; 火焰为中性焰或稍偏碳化焰; 喷涂距离为  $150\sim 200\text{mm}$ ; 涂层总厚度为  $0.3\text{mm}$  (采用多次喷涂累计达到  $0.3\text{mm}$ , 以防止涂层翘起脱落)。

5) 涂层质量检验合格后, 进行喷后处理。涂刷油漆封孔。油漆一般选用沥青漆。

## 二、 $200\text{m}^3$ 球罐的火焰粉末喷涂修复

被喷工件为  $200\text{m}^3$  球罐, 材质为 Q345R (16MnR), 壁厚  $24\text{mm}$ , 贮存介质为液化石油气。由于液化石油气中含  $\text{H}_2\text{S}$  量较高, 球罐在工作 5a 后, 发现有严重的应力腐蚀开裂, 裂纹主要分布在焊接接头部位。因此对球罐的安全使用造成严重威胁。

### 1. 涂层选择

采用喷涂铜合金粉末是因为根据电化学原理, 控制喷涂保护区的阴极析氢反应; 造成球罐基体金属与液化石油气之间的隔离层; 进行喷涂时对金属的加热可以减少焊接接头的应力。

### 2. 喷涂工艺

1) 对于探伤合格的焊缝及热影响区, 使用砂轮机打磨, 清除锈斑。打磨宽度为  $150\sim 170\text{mm}$ 。并且用丙酮擦洗  $2\sim 3$  次。

2) 工件预热是在喷涂部位的外壁用液化石油气火焰加热。用表面温度计测量球罐内表面温度, 预热温度控制在  $250\sim 350\text{C}$ 。

3) 使用第一把喷枪喷镍包铝粉末, 作为打底结合层。紧接着用第二把喷枪喷铜合金粉末。

4) 喷涂工艺参数: 氧气压力为  $588\sim 784\text{kPa}$ ; 乙炔压力为  $49\sim 98\text{kPa}$ ; 喷枪与工件的距离为  $150\sim 200\text{mm}$ ; 喷涂层宽度为  $120\sim 150\text{mm}$ 。

5) 开始喷涂后, 将预热用的液化气火焰调小, 当该段喷涂完毕应

立即灭火。

喷涂后，球罐经 182d（天）的运转考核，效果良好，未发现应力腐蚀开裂。

### 三、大制动鼓密封盖的等离子弧喷涂修复

重载车辆大制动鼓密封盖的材质为耐磨铸铁，其零件图如图 6-10 所示。该零件与密封环相配合工作，由于两者之间的相对运动速度较高，磨损情况严重。如采用焊接工艺修复，对于这样的薄壁零件容易产生变形超差而报废。所以采用等离子弧喷涂修复工艺。

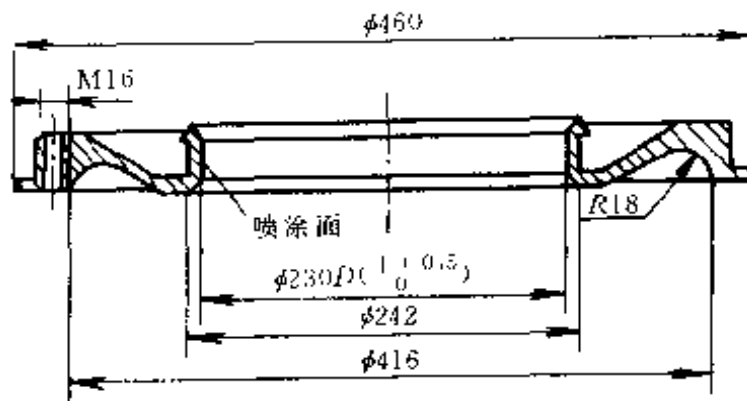


图 6 10 大制动鼓密封盖零件图

喷涂工艺如下：

(1) 清洗工件 由于工件材质为铸铁，应将其放在炉内加热或使用火焰反复烘烤，待油污渗出工件表面后，采用清洗剂进行清洗。加热时温度应 $\leq 250^{\circ}\text{C}$ ，炉内加热时间为 2.5h。

(2) 表面预加工 在零件待喷涂面的半径方向下切 0.3mm，并车掉工件表面上的磨损层及疲劳层。

(3) 喷砂处理 使用 20~30 号的刚玉砂 ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) 进行喷砂，然后使用压缩空气将工件表面吹净，并且立即进行喷涂。

(4) 喷涂 选用镍 铝复合粉末为结合底层材料，粒度为 -160~+240 目，选用 Ni04 粉末为工作层材料，粒度为 -140~+300 目。喷涂工艺参数见表 6-27。

(5) 喷后机械加工 采用车削后进行磨削，以获得规定的尺寸。也

可采用车削加工至规定尺寸。

表 6-27 大制动鼓密封盖喷涂工艺参数

工作气体 (N <sub>2</sub> ) 流量 / (m <sup>3</sup> /h)		送粉量 ' (g/min)		喷涂电功率 /kW		结合底 层厚度 mm	喷涂后 零件尺 寸 mm
等离子气	送粉气	结合底层	工作层	结合底层	工作层		
1.9~2.1	0.6~0.8	19~23	18~22	22~25	20~24	0.03~ 0.05	<φ 229.5

# 第七章 钎 焊

## 第一节 概 述

钎焊是采用比母材熔点低的金属材料作钎料，将焊件和钎料加热到高于钎料熔点，低于母材熔点的温度，利用液态钎料润湿母材，填充接头间隙并与母材相互扩散实现连接焊件的方法。

近代的钎焊方法种类比较多，且广泛应用于机械、电子、能源、国防、航空、航天等工业部门。钎焊工艺可以钎接碳素钢、合金钢、铸铁、硬质合金、有色金属、贵金属、稀有金属、异种金属、金属与非金属等。钎焊对于尺寸要求精确的零件以及小而薄的零件连接是很有成效的。

### 一、钎焊的特点

1) 钎焊工艺的加热温度比较低，因此钎焊以后焊件的变形小，容易保证焊件的尺寸精度。同时，对于焊件母材的组织及性能的影响也比较小。

2) 钎焊接头平整光滑、外形美观。

3) 钎焊工艺可适用于各种金属材料、异种金属、金属与非金属的连接。

4) 可以一次完成多个零件或多条钎缝的钎焊，生产率较高。

5) 可以钎焊极薄或极细的零件，以及粗细、厚薄相差很大的零件。

6) 根据需要可以将某些材料的钎焊接头拆开，经过修整后可以重新钎焊。

7) 钎焊的缺点是：钎焊接头的耐热能力比较差、接头强度比较低、钎焊时表面清理及焊件装配质量的要求比较高。

### 二、钎焊的分类

1. 按照使用钎料的不同分

- (1) 软钎焊 使用软钎料（熔点低于 450℃的钎料）进行的钎焊。
- (2) 硬钎焊 使用硬钎料（熔点高于 450℃的钎料）进行的钎焊。
- (3) 高温钎焊 钎料熔点 > 900℃、并且不使用钎剂的钎焊。

2. 按照钎焊的加热方法分

(1) 热传导方式加热的钎焊 普通烙铁钎焊、火焰钎焊、浸渍钎焊、炉中钎焊等。

(2) 电加热方式的钎焊 电阻钎焊、感应钎焊、电弧钎焊和电烙铁钎焊等。

各种钎焊方法的特点及应用见表 7-1。

表 7-1 各种钎焊方法的特点及应用

钎焊方法	特 点	应 用 范 围
普通烙铁钎焊	温度低	1. 适用于钎焊温度低于 300℃的软钎焊(用锡铅或铅基钎料) 2. 钎焊薄件、小件需钎剂
火焰钎焊	设备简单,通用性好,生产率低(手工操作时),要求操作技术高	1. 适用于钎焊某些受焊件形状、尺寸及设备等的限制而不能用其它方法钎焊的焊件 2. 可采用火焰自动钎焊 3. 可焊接钢、不锈钢、硬质合金、铸铁、铜、银、铝等及其合金 4. 常用钎料有铜锌、铜磷、银基、铝基及锌铝钎料
电阻钎焊	加热快,生产率高,操作技术易掌握	1. 可在焊件上通低电压,由焊件上产生的电阻热直接加热,也可用碳电极通电,由碳电阻放出的电阻热间接加热焊件 2. 钎焊接头面积小于 65~380mm <sup>2</sup> 时,经济效果最好 3. 特别适用于钎焊某些不允许整体加热的焊件 4. 最宜焊铜,使用铜磷钎料可不用钎剂;也可用于焊银合金、铜合金、钢、硬质合金等 5. 使用的钎料有铜锌、铜磷、银基。常用于钎焊刀具、电器触头、电机定子线圈、仪表元件、导线端头等



(续)

钎焊方法	特 点	应 用 范 围
感应钎焊	<p>加热快,生产效率高 可局部加热,零件变形小,接头洁净,易满足电子电器产品的要求 受零件形状及大小的限制</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 钎料需预置,一般需用钎剂,否则应在保护气体或真空中钎焊</li> <li>2. 因加热时间短,宜采用熔化温度范围小的钎料</li> <li>3. 适用于除铝、镁外的各种材料及异种材料的钎焊,特别适宜于焊接形状对称的管接头,法兰接头等</li> <li>4. 钎焊异种材料时,应考虑不同磁性及膨胀系数的影响</li> <li>5. 常用的钎料有银基、铜基</li> </ol>
浸渍钎焊	<p>加热快,生产效率高 当设备能力大时,可同时焊多件、多缝宜大量连续生产,如制氧机铝制大型板式热交换器,单件或非连续生产</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 在熔融的钎料槽内浸渍钎焊 软钎料用于钎焊钢、铜和合金,特别适用于钎焊焊缝多的复杂焊件,如换热器、电机电枢导线等 硬钎料主要用于焊小件,缺点是钎料消耗量大</li> <li>2. 在熔盐槽中浸渍钎焊,焊件需预置钎料及钎剂,钎焊焊件浸入熔盐中预置钎料,在熔融的钎剂或含钎剂的熔盐中钎焊 所有的熔盐不仅起到钎剂的作用,而且能在钎焊的同时向焊件渗碳、渗氮</li> <li>3. 适用于焊钢、铜及其合金、铝及其合金,使用铜基、银基、铝基钎料</li> </ol>
炉中钎焊	<p>炉内气氛可控,炉温易控制准确、均匀,焊件整体加热,变形量小,可同时焊多件、多缝,适于大量生产,成本低 焊件尺寸受设备大小的限制</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 在空气炉中钎焊,如用软钎料钎焊钢和铜合金,铝基钎料焊铝合金,虽用钎剂,焊件氧化仍较严重,故很少应用</li> <li>2. 在还原性气体如氢、分解氨的保护气氛中,不需焊剂,可用铜、银基钎料钎焊钢、不锈钢、无氧铜</li> <li>3. 在惰性气体,如氩的保护气氛中钎焊,不用钎剂,可用含铯的银基钎料焊钢、不锈钢,银铜钎料焊铜、镍,或少用钎剂,以银基钎料焊钢,铜钎料焊不锈钢;使用钎剂时可用镍基钎料焊不锈钢、高温合金,钛合金,用铜钎料焊钢</li> <li>4. 在真空炉中钎焊,不需钎剂,以铜、镍基钎料焊不锈钢、高温合金(尤以含钛、铝高的高温合金为宜;用银铜钎料焊铜、镍、可伐合金、银钛合金;用铝基钎料焊铝合金、钛合金</li> </ol>



## 第二节 钎 料

### 一、对钎料的基本要求

为符合钎焊工艺要求和获得优质的钎焊接头，钎料应满足以下几项基本要求：

- 1) 钎料应具有合适的熔化温度范围，至少应比母材的熔化温度范围低几十度。
- 2) 在钎焊温度下，应具有良好的润湿性，以保证充分填满钎缝间隙。
- 3) 钎料与母材应有扩散作用，以使其形成牢固的结合。
- 4) 钎料应具有稳定和均匀的成分，尽量减少钎焊过程中合金元素的损失。
- 5) 所获得的钎焊接头应符合产品的技术要求，满足力学性能、物理化学性能、使用性能方面的要求。
- 6) 钎料的经济性要好。应尽量减少含或不含稀有金属和贵重金属。还应保证钎焊的生产率要高。

### 二、钎料的分类

#### 1. 按照钎料的熔化温度范围分

- 1) 熔点低于 450℃ 的钎料称为软钎料（俗称易熔钎料），如镓基、铋基、铟基、锡基、铅基、镉基、锌基等合金。
- 2) 熔点高于 450℃ 的钎料称为硬钎料（俗称难熔钎料）如铝基、镁基、铜基、银基、锰基、金基、镍基、钨基、钛基等合金。

各种钎料的熔化温度范围见图 7-1。

#### 2. 按照钎料的主要合金元素分

钎料按其主要合金元素可分为锡基、铅基、铝基等钎料。

#### 3. 按照钎料的钎焊工艺性能分

钎料按其钎焊工艺性能可分为自钎性钎料、电真空钎料、复合钎料等。

#### 4. 按照钎料的制成形状分

钎料按其制成形状可分为丝、棒、片、箔、粉状或特殊形状钎料

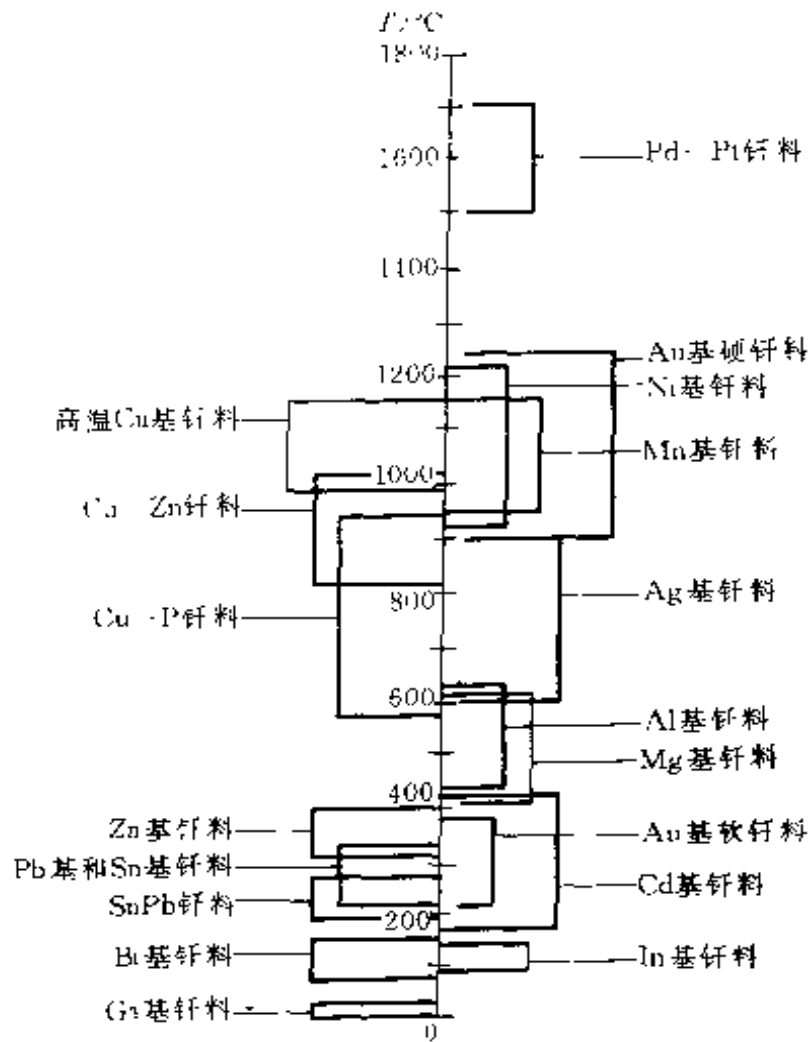


图 7-1 各种钎料的熔化温度范围

(例如环形钎料或膏状钎料等)。

### 三、钎料的型号及牌号

#### 1. “国标”钎料型号的表示方法

按照国家标准 GB/T 6208-1995“钎料型号表示方法”的规定，钎料型号的表示方法是：

(1) 钎料型号由两部分组成。钎料型号两部分间用隔线“-”分开。

(2) 钎料型号中第一部分用一个大写英文字母表示钎料的类型：“S”表示软钎料；“B”表示硬钎料（对于电子行业用软钎料，将符号“E”标在钎料型号第二部分之后加以表示）。

(3) 钎料型号中的第二部分由主要合金组分的化学元素符号组成。

1) 在这部分中第一个化学元素符号表示钎料的基本组分,其它化学元素符号按其质量分数顺序排列,当几种元素具有相同质量分数时,按其原子序数顺序排列。

2) 软钎料每个化学元素符号后都要标出其公称质量分数。硬钎料仅第一个化学元素符号后标出公称质量分数。公称质量分数取整数误差 $\pm 1\%$ ,若其元素公称质量分数仅规定最低值时应将其取整。

3) 公称质量分数小于1%的元素在型号中不必标出,如果元素是钎料的关键组分,一定要标出时,按如下规定予以标出:

① 软钎料型号中可仅标出其化学元素符号。

② 硬钎料型号中将其化学元素符号用括号括起来。

1) 每个型号中最多只能标出六个化学元素符号。

(4) 国标的钎料型号示例

1) 软钎料

① 一种  $w_{Sn}$  为 60%、 $w_{Pb}$  为 39%、 $w_{Sb}$  为 0.1% 的软钎料,其型号表示为: S-Sn60Pb40Sb。

② 一种  $w_{Sn}$  为 63%、 $w_{Pb}$  为 37% 的电子工业用软钎料,其型号表示为: S-Sn63Pb37E。

2) 硬钎料

① 一种二元共晶钎料中,  $w_{Ag}$  为 72%、 $w_{Cu}$  为 28%,其型号表示为: B-Ag72Cu。

一种成分基本相同的钎料,但含有一种关键元素锂( $w_{Li}$  小于 1%),其型号表示为: B-Ag72Cu(Li)。

② 一种  $w_{Ni}$  为 63%、 $w_W$  为 16%、 $w_{Cr}$  为 10%、 $w_{Fe}$  为 3.8%、 $w_{Si}$  为 3.2%、 $w_{Mn}$  为 2.5%、 $w_{Ti}$  为 0.5%、 $w_P$  为 0.6%、 $w_{Mo}$  为 0.1%、 $w_{Co}$  为 0.2% 的镍基钎料,其型号表示为: B-Ni63WCrFeSiB。

(5) 型号的应用

型号用于钎料的包装说明,并不强调一定要作为钎料本身的标志。

(6) 钎料的现行国家标准

- 1) GB/T 6298 -1995 钎料型号表示方法。
- 2) GB 6418- 93 铜基钎料。
- 3) GB 10046 88 银基钎料。
- 4) GB 10859 89 镍基钎料。
- 5) GB/T 13679- 92 锰基钎料。
- 6) GB/T 13815 92 铝基钎料。
- 7) GB 11364—89 钎料铺展性及填缝性试验方法。

除此之外的钎料，仍需采用各部的标准。由于钎料种类繁多，很多钎料尚未列入国标或部标，或无具体牌号。为方便起见，在介绍这些钎料时，参照国标关于钎料型号的表示方法，进行部分标注。

#### 2. 原冶金部颁布的钎料牌号编制方法

在牌号前面冠以“HL”表示钎料，然后以两个化学元素符号表明钎料的主要组元；最后用一个或数个数字标出除第一个主要元素以外的钎料主要合金组元的含量。

例如“HLAgCu26-4”即表示银基合金钎料，Cu 的质量分数为 26%，并含有质量分数为 4% 的其它合金元素。

#### 3. 原机械工业部关于钎焊材料的编号

以两个大写拼音字母“HL”表示钎料，然后用第一位数字表示钎料化学组成类型（表 7-2），第二、三位数字表示同一类型钎料的不同编号。

表 7-2 原机械工业部钎料牌号系列

牌 号	化学组成类型	牌 号	化学组成类型
HL1××	铜锌合金	HL5××	铈镉合金
HL2××	铜磷合金	HL6××	锡铅合金
HL3××	银合金	HL7××	镍基合金
HL4××	铝合金	—	—

### 四、软钎料

#### 1. 低熔点钎料

(1) 镉基钎料 其化学成分见表 7-3。镉的熔点为 29.8℃，镉基钎

料的熔化温度范围约为  $10\sim 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。它可与银、铜、镍粉混合制成复合钎料使用。钎焊时将复合钎料涂抹在需要连接的地方,再将焊件加压或处于白白状态,在一定温度下放置  $24\sim 48\text{h}$ 。由于液固相之间的扩散作用,钎缝固化而形成接头。镱基钎料适用于微电子器件等要求加热温度很低元件的钎焊。

(2) 铋基钎料 其化学成分见表 7-4。铋的熔点是  $271\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,它能与很多金属形成低熔点共晶。铋基钎料脆,对铜、钢的润湿性差。钎焊前应对金属预先镀锌、银、锡。适用于热敏电子元、器件的制造。

(3) 铟基钎料 其化学成分见表 7-5。铟的熔点是  $156.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,能与锡、铅、锌、铜、铋等金属形成低熔点共晶。这种钎料在碱性介质中耐腐蚀性很强。能很好地润湿金属与非金属。铟基钎料广泛应用于电真空器件、玻璃、陶瓷和低温超导器件的钎接。

## 2. 锡基及铅基钎料

(1) 锡铅钎料 它是应用最广的一类软钎料。锡铅钎料的化学成分、特性及用途见表 7-6。当  $w_{\text{Sn}}$  为  $61.9\%$  时,锡铅合金即形成熔点为  $183\text{ }^{\circ}\text{C}$  的共晶。纯锡加铅后强度提高,在共晶成分时,强度及硬度最高。但是电导率则随含铅量的增加而降低。钎料中加入少量的铋,可以减少钎料在液态时的氧化,以及提高钎焊接头的热稳定性。铋质量分数一般  $\leq 3\%$ ,以免钎料发脆。含锡量高的钎料不适宜钎焊在低温下工作的零件。

表 7-3 镱基钎料

钎料型号	化学成分(质量分数)/%						熔点 / $^{\circ}\text{C}$
	Ga	In	Sn	Zn	Cd	Mg	
S-Ga100	100	—	—	—	—	—	29.8
S-Ga95Zn5	95	—	—	5	—	—	24~25
S-Ga92Sn8	92	—	8	—	—	—	20~21
S-Ga82Sn12Zn6	82	—	12	6	—	—	17
S-Ga76In24	76	24	—	—	—	—	16
S-Ga67In29Zn4	67	29	—	4	—	—	13
S-Ga55In25Sn11Cd4Mg4Zr	55	25	11	Zr1	4	4	10.6

表 7-4 铋基钎料

钎料型号	化学成分 (质量分数) /%					熔点 /C
	Bi	Pb	Sn	Cd	In	
S-Bi60Cd40	60	—	—	10	-	114
S-Bi59Sn26Pb15	59	15	26	—	—	114
S-Bi57Sn43	57	—	43	-	-	138.5
S-Bi55Pb45	55	45	-	—	—	124
S-Bi50Pb25Sn25	50	25	25	-	—	94
S-Bi49In21Pb18Sn12	49	18	12	—	21	58
S-Bi32Pb22In18Sn11Cd8	32	22	10.8	8.2	18	46

表 7-5 锡基钎料

钎料型号	化学成分 (质量分数) /%				熔点 /C
	In	Sn	Cd	Zn	
S-In98Zn2	98	-	—	2	141.5
S-In74Cd24Zn2	74	-	24.2	1.8	116
S-In52Sn48	52	48	—	-	117
S-In52Sn46Zn2	52	46	—	2	108
S-In44Sn42Cd14	44	42	14	-	93
S-In44Sn41Cd14Zn1	44	41.4	13.6	1.0	90

锡铅钎料通常制成丝、棒或扁带状,有的可制成松香芯焊丝、活性松香芯焊丝,如HH50G和HH60G等。活性松香芯钎料的去膜能力较强。而且钎剂的残渣腐蚀性不大。

(2) 其它锡基钎料 表 7-7 列出了某些锡基钎料的化学成分、性能及用途。含银、铈、锡、铜的锡基钎料具有较高的熔化温度和工作温度,而且耐蚀性及抗蠕变性能也很好,适用于较高温度环境中工作的电子、机电产品。

(3) 铅基钎料 铅基钎料的化学成分及性能见表 7-8。它的耐热性比锡铅钎料好。HIAgPb97 钎料可钎焊工作温度较高的铜及铜合金零

表 7-6 锡铅钎料的化学成分、特性及用途

钎料型号(牌号)	化学成分(质量分数)/%			熔化温度范围/°C	抗拉强度/MPa	伸长率/%	电阻率/ $\mu\Omega \cdot m$	用途
	Sn	Sb	Pb					
S-Sn61Pb39Sb (HL600, HlSnPb39)	59~61	$\leq 0.1$	余量	183~190	46	34	0.145	是共晶型钎料,熔点最低,流动性好,用于无线电器件、电器开关零件,计算机零件及易熔金属制品,适宜于钎焊低温工作的工件
S-Sn18Pb80Sb2 (HL601, HlSnPb80 2)	17~19	1.5~2.0	余量	183~279	27	67	0.22	
S-Sn30Pb68Sb2 (HL602, HlSnPb68-2)	29~31	1.5~2.0	余量	183~258	32	-	0.182	用于钎焊电缆护套、铅管摩擦钎焊等应用较广
S-Sn40Pb58Sb2 (HL603, HlSnPb58-2)	39~41	1.5~2.0	余量	183~238	37	63	0.170	应用最广的锡铅钎料,用途与HL613同
S-Sn90Pb10Sb (HL604, HlSnPb10)	89~91	$\leq 0.1$	余量	183~215	42	25	0.12	因含铅量低,特别适宜于食品器皿及医疗器材的钎焊
S-Sn5Pb93Ag2 (HL608)	4~6	Ag1.0~2.0	余量	296~301	34	-	-	具有较高的高温强度,用于铜及铜合金,剂的熔铁钎焊及火焰钎焊
S-Sn60Pb39Sb1 (HL610)	59~61	0.3~0.8	余量	183~190	46	-	-	化学成分、力学性能及熔化温度与HL600相同,是一种含松香弱活性料芯的锡焊丝
S-Sn50Pb49Sb1 (HL613, HlSnPb50)	49~51	0.3~0.8	余量	183~215	37	32	0.156	用于钎焊铜、黄铜、镀锌或铸锡铁皮等的常用钎料,可钎焊散热器、计算机零件及发动机过滤器等



表 7-7 某些锡基钎料的化学成分、特性及用途

钎料型号	化学成分(质量分数)/%					熔点范围/°C	抗拉强度/MPa	伸长率/%	用途
	Sn	Ag	Sb	Zn	其它				
S-Sn95Sb5	95	—	5	—	—	24~240	39	43	150°C时的抗拉强度为22.4MPa,用于钎焊铜和铜合金的热水器
S-Sn92Ag5Cu2Sb1	92	5	1	—	Cu2	250	49	23	强度和导电性均优于HSnPb68-2,适宜于钎焊在较高温度和湿度大气中工作的零件
S-Sn85Ag8Sb8	84.5	8	7.5	—	—	270	80	8.8	取代HIAgPb97钎料,可钎焊不高于200°C工作的铜和铜合金零件
S-Sn55Zn40Ag3Al2	55	2.5	—	40	Al2.5	320~350	—	—	用于铝铜接头的钎焊,抗腐蚀性较优

表 7-8 铅基钎料的化学成分及性能

钎料型号(牌号)	化学成分质量分数/%				熔点范围/°C	抗拉强度/MPa	伸长率/%	电阻率/ $\mu\Omega \cdot m$
	Pb	Ag	Sn	其它				
S-Pb97Ag3(HIAgPb97)	96~98	2.7~3.3	—	—	300~305	30	4.5	0.2
S-Pb92Sn5Ag3(HIAgPb92-5.5)	92	2.5	5.5	—	295~305	—	—	—
S-Pb83Sn15Ag2(HIAgPb83.5-15-1.5)	83.5	1.5	15	—	265~270	—	—	—
S-Pb65Sn30Ag5(HIAgPb65-30-5)	65	5	30	—	225~235	—	—	—
S-Pb90Ag5In5	90	5	—	In 5	290~294	—	—	—
S-Pb87Sn6Sb6Ni1	87	—	6	Sb6Ni1	310~320	—	—	—



件。铅基钎料也用于微电子器件的钎接。

(4) 微电子器件装联用钎焊膏 在微电子器件的制造、厚膜与薄膜电路的装配过程中,普遍采用钎焊工艺。表 7-9 列出了装联用膏状钎料中钎料粉末成分。膏状钎料由钎料粉末、钎剂和粘结剂组成。

表 7-9 微电子器件装联用膏状钎料

序号	化学成分(质量分数)/%									熔点 /°C
	Sn	Pb	Sb	Bi	Ag	Au	Si	Ge	In	
1	96.5	—	—	—	3.5	—	—	—	—	221
2	63	37	—	—	—	—	—	—	—	183
3	63	34.7	—	2.5	—	—	—	—	—	189
4	62	36	—	—	2	—	—	—	—	189
5	59.5	34.5	—	—	6	—	—	—	—	177
6	45	40	—	15	—	—	—	—	—	162
7	42	45	—	14	2	—	—	—	—	150
8	20	—	—	—	—	80	—	—	—	280
9	—	97.5	—	—	2.5	—	—	—	—	304
10	1.0	97.5	—	—	1.5	—	—	—	—	309
11	—	90	—	—	5	—	—	—	5	310
12	37.5	37.5	—	—	—	—	—	—	25	117
13	—	—	—	—	—	97	3	—	—	370
14	—	—	—	—	—	88	—	12	—	356

### 3. 镉基、锌基、金基钎料

这些钎料属于熔点较高的软钎料。

(1) 镉基钎料 镉基钎料的化学成分、特性及用途见表 7-10。镉基钎料是软钎料中耐热性最好的一种,并且具有较好的耐腐蚀性。镉基钎料主要是镉银合金,  $w_{Ag} \leq 5\%$ , 不宜过多。在使用镉基钎料钎焊铜时,钎焊温度不能高,钎焊加热时间也不宜长,以免在钎缝界面生成铜镉脆性化合物相。

(2) 锌基钎料 锌基钎料的化学成分、特性及用途见表 7-11。它主要用于钎焊铝及铝合金,也可用于钎焊铜及铜合金。大部分锌基钎料的强度低、延性差。

表 7-10 镉基钎料的化学成分、特性及用途

钎料型号(牌号)	化学成分(质量分数)·%				熔化温度范围·°C	抗拉强度·MPa	用途
	Cd	Zn	Ag	Ni			
S-Cd96Ag3Zn1 (HLAgCd961)	96	1	3	—	300~325	149	用于工作温度较高的铜和铜合金零件,如散热器、电机整流子等
S-Cd84Zn6Ag8Ni2	81	6	3	2	360~380	157	用于 300°C 下短时工作的铜合金零件
S-Cd82Zn16Ag2	82	16	2	—	270~280	—	用途与上述钎料相同,但加锌可减轻液态钎料的氧化
S-Cd79Zn16Ag5	79	16	5	—	270~285	200	
S-Cd92Ag5Zn3 (HL508)	92	3	3	—	320~360	—	

表 7-11 锌基钎料的化学成分、特性及用途

钎料型号(牌号)	化学成分(质量分数)·%					熔化温度范围·°C	用途
	Zn	Al	Sn	Cu	其它		
S-Zn97Al3	95	5	—	—	—	382	用于钎焊铝和铝合金以及铝钎接头,钎焊接头具有较好的抗腐蚀性
S-Zn89Al7Cu4	86	7	—	1	—	377	
S-Zn86Al7Cu4 Sn?Bi1	86	6.7	2	3.6	Bi1.5	341~350	对铜和铜合金的润湿性较好,主要用于钎焊铜和铜合金

(续)

钎料型号(牌号)	化学成分(质量分数)/%					熔化温度 范围/℃	用 途
	Zn	Al	Sn	Cu	其它		
S-Zn73Al27 (HL505)	72.5	27.5	-	-	-	430~500	用于钎焊固相线 温度低的铝合金, 如 LY12 等,接头 抗腐蚀性是锌基钎 料中最好的
S-Zn58Sn40Cu2 (HL501)	58	-	40	2	-	200~350	用于铝的刮擦钎 焊,钎焊接头具有 中等抗腐蚀性

(3) 金基软钎料 半导体器件钎焊用的金基软钎料见表 7-12。钎焊时使用此种钎料可以减少焊件的镀金层向钎料的过渡。

表 7-12 半导体器件用金基软钎料

钎料型号(牌号)	化学成分(质量分数)/%				熔点 (℃)
	Au	Sn	Ge	其它	
S-Au30SnAg	余量	40	-	Ag30	411
S-Au97Si3	余量	-	-	Si3	363
S-Au99Sb1(HLAuSb0.5)	余量	-	-	Sb0.5	360
S-Au86Ge12Ag2(HLAuGeAg12-2)	余量	-	12	Ag2	358
S-Au88Ge12(HLAuGe12)	余量	-	12	-	356
S-Au87Ge12Ni(HLAuGeNi12-0.5)	余量	-	12	Ni0.5	356
S-Au80Sn20	余量	20	-	-	280
S-Au10Sn90(HLAuSn90)	余量	90	-	-	217

### 五、硬钎料

#### 1. 铝基钎料

铝基钎料的化学成分、特性及用途见表 7-13。其主要成分是以铝硅合金为基,加入铜、锌、锆、镁等元素,以达到满足钎焊工艺性能的

要求。 $w_{Mg}$  1%~1.5%的铝镁合金,可用于铝合金的真空钎焊。铝基钎料还可制成双金属复合板,就是在基体两侧复合5%~10%板厚的钎料,使钎焊时焊件装配过程得以简化。双金属钎焊板的牌号和特性见表7-14。双金属复合板适用于大面积钎焊或接头密集的部件钎焊,例如制氧机的散热器、柴油机的冷却器等结构的钎焊。

## 2. 银基钎料

银基钎料的化学成分和主要性能见表7-15。银基钎料是应用最广的一类硬钎料。由于熔化温度不很高(600~850℃),能润湿铝、镁以外的许多金属材料。它具有良好的强度及塑性,导电性、导热性、耐腐蚀性。银基钎料广泛用于钎焊低碳钢、低合金钢、不锈钢、铜及铜合金、高温镍基合金、难熔金属等。

表 7-13 铝基钎料的化学成分、特性及用途

钎料型号(牌号)	化学成分(质量分数)/%					熔化温度范围 /℃	特点和用途
	Al	Si	Cu	Mg	其它		
B-Al92Si(Cu) (H1AlSi7.5)	余量	6.8~ 7.2	0.25	—	—	577~ 613	流动性差,对铝的溶蚀小。制成片状用于炉中钎焊和浸渍钎焊
B-Al90Si(Cu) (H1AlSi10)	余量	9~ 11	0.3	—	—	577~ 591	制成片状用于炉中钎焊和浸渍钎焊,钎焊温度比H1AlSi7.5低
B-Al88Si(Cu) (H1AlSi12)	余量	11~ 13	0.3	—	—	577~ 582	是一种通用钎料,适用于各种钎焊方法,具有极好的流动性和抗腐蚀性
B-Al86SiCu (H1AlSiCu10-)	余量	9.3~ 10.7	3.3~ 4.7	—	—	521~ 583	适用于各种钎焊方法。钎料的结晶温度间隔较大,易于控制钎料流动

(续)

钎料型号(牌号)	化学成分质量分数: %					熔化温度范围 °C	特点和用途
	Al	Si	Cu	Mg	其它		
B-Al12Si(Sr-La)	余量	10.5~ 12.5	--	--	Sr0.03 La0.03	572~ 597	铈、镧的变质作用使钎焊接头延性优于用HfAlSi12钎料钎焊的接头延性
B-Al80SiZn (Hf493)	余量	10	--	--	Zn10	516~ 560	适用于火焰钎焊。熔化温度较低,容易操作,钎焊接头的抗腐蚀性低于铝硅钎料
B-Al67CuSi (Hf401)	余量	5	28	--	--	525~ 535	适用于火焰钎焊,熔化温度低,容易操作。钎料脆,接头抗腐蚀性比用铝硅钎料钎焊的低
B-Al60GeSi	余量	4~6	--	--	Ge35	440~ 460	钴基钎料中熔点最低的一种,适用于火焰钎焊、性脆、价昂
B-Al90SiMg(Cu) (HfAlSiMg7.5-1.5)	余量	6.6~ 8.2	0.25	1~ 2	--	559~ 607	真空钎焊用片状钎料,根据不同钎焊温度要求选用
B-Al88SiMg(Cu) (HfAlSiMg10-1.5)	余量	9~10	0.25	1~ 2	--	559~ 579	
B-Al86SiMg(Cu) (HfAlSiMg12-1.5)	余量	11~ 13	0.25	1~ 2	--	559~ 569	真空钎焊用片状、丝性钎料,钎焊温度比HfAlSiMg7.5-1.5和HfAlSiMg10-1.5钎料低

表 7-14 双金属钎焊板的牌号及特性

钎焊板牌号	基体金属	包覆层	包覆层熔化温度范围/℃
LF6.3-1	LF21	Al-11~12.5Si <sup>①</sup>	577~582
LF-3	LF21	Al-6.8~8.2Si	557~612

① 含量为质量分数。

由于锌的蒸气压较高,容易挥发,所以含锌的银基钎料不能用于真空钎焊和在真空条件下工作的零件。含铜和锡的银基钎料,适于真空钎焊。B-Ag72Cu 钎料适用于铜、镍的真空和还原气氛钎焊。B-Ag70CuZn 钎料的强度和延性好,特别适于钎焊要求导电性高的焊件。B-Ag10CuZn 钎料的含银量最低,价格便宜。但是它的钎焊温度高于其它银铜锌钎料,并且钎焊接头的延性较差,主要应用于要求比较低的铜及铜合金、钢等钎焊。B-Ag40CuZnCd 钎料是银基钎接中熔化温度最低的一种,常用于铜及铜合金、钢、不锈钢等材料的钎焊。特别适用于要求钎焊温度低的材料。由于镉蒸气有毒,在熔炼及钎焊时要加强通风。TY-3 及 TY-8 钎料为银铜钛合金,经热理后可制成箔和丝。可用于陶瓷与陶瓷,陶瓷与金属的活性钎焊。

### 3. 铜基钎料

由于铜基钎料的经济性较好,所以广泛应用于碳素钢、合金钢、铜及铜合金等材料的钎焊。

(1) 铜锌钎料 铜及铜锌钎料的化学成分、性能及用途见表 7-16。为防止钎焊时焊件的氧化,纯铜钎料多用于还原性、惰性气氛及真空条件下的钎焊。由于铜对钢的润湿性和填满间隙的能力很好,因此要求钎焊接头的间隙很小(0~0.05mm)。H62 钎料就是 H62 黄铜,是应用最广的铜锌钎料。黄铜钎料的锌很容易挥发,其结果使钎料熔点增高、接头出现气孔,破坏钎缝的致密性。而且,锌蒸气有毒,有损健康。为了减少锌的挥发,可在黄铜中加入少量硅( $w_{Si}$ 为 0.5%左右)。黄铜钎料中加入锡可以提高钎料的铺展性,锡与硅同样会降低锌在铜中的溶解度,所以锡量  $w_{Sn} \leq 1\%$ 。由于硅化黄铜及锡化黄铜钎料的工艺性能好,

表 7 15 银基钎料的化学成分和主要性能

钎料型号	钎料牌号	化学成分(质量分数), %						熔点温度 范围, °C	抗拉强度 MPa	电阻率 $\mu\Omega \cdot m$
		Ag	Cu	Zn	Cd	其它				
B-Ag72Cu	HL-AgCu28HL308	72±1	余量	-	-	-	779~780	375	0.022	
B-Ag50Cu	-	50±1	余量	-	-	-	779~850	-	-	
B-Ag40Cu	-	40±1	余量	-	-	Li0.5	779~881	-	-	
B-Ag72Cu(Ni, Li)	HL-AgCu28 1-0.5	72±1	余量	-	-	Nil Li0.5	780~800	-	-	
B-Ag70CuZn	HL-AgCu26	70±1	26±1	余量	-	-	730~755	353	0.042	
B-Ag65CuZn	HL-AgCu20-15HL306	65±1	20±1	余量	-	-	685~720	384	0.086	
B-Ag60CuSn	-	60±1	余量	-	-	Sn10	602~718	-	-	
B-Ag40CuZn	HL-AgCu34 1-HL301	50±1	31±1	余量	-	-	677~775	343	0.076	
B-Ag45CuZn	HL-AgCu39 25HL303	45±1	30±1	余量	-	-	677~743	386	0.097	
B-Ag25CuZn	HL-AgCu40 55HL302	25±1	40±1	余量	-	-	715~775	353	0.069	
B-Ag10CuZn	HL-AgCu53 37HL301	10±1	33±1	余量	-	-	815~850	151	0.065	
B-Ag50CuZnCd	HL-AgCd18 16-16	50±1	15.5±1	16.5±2	18±1	-	627~635	419	0.072	
B-Ag15CuZnCd	-	45±1	15±1	16±2	24±1	-	607~618	-	-	
B-Ag40Cu70Cd	HL-AgCd26 17-0.2	40±1	16±0.5	17.8±0.5	26±0.5	0.2±0.1	595~605	392	0.069	

钎料型号	钎料牌号	化学成分(质量分数)/%					熔化温度 范围/°C	抗拉强度 /MPa	电阻率 / $\mu\Omega \cdot m$
		Ag	Cu	Zn	Cd	其它			
B-Ag35CuZnCd	—	35±1	26±1	21±2	18±1	—	607~702	441	0.069
B-Ag50CuZnCdNi	—	50±1	15.5±1	15.5±2	16±1	Ni3±0.5	632~688	431	0.105
B-Ag49CuZnMnNi	HL321	49±1	18±1	19±1	—	Ni4.5 Mn7.5	690~710	440	—
B-Ag56CuZnSn	—	56±1	22±1	17±2	—	Sn5	618~652	—	—
B-Ag34CuZnSn	—	34±1	36±1	27±2	—	Sn3±0.5	630~730	—	—
B-Ag50CuZnSn(Ni)	HL324	50±1	21.5±1	27±1	—	Sn1 Ni0.5	650~670	—	—
B-Ag40CuZnSnNi	HL322	40±1	25±1	30.5±1	—	Sn3 Ni1.4	630~640	—	—
B-Ag85Mn	HL320	85±1	—	—	—	Mn15±1	960~971	165	—
B-Ag70CuTi	TY-3	70	余量	—	—	Ti 2.5±0.5	780~795	—	—
B-Ag70CuTi	TY-8	70	余量	—	—	Ti 4.5±1.5	785~810	—	—

(续)



表 7-16 铜和铜锌钎料的化学成分、特性及用途

钎料型号	钎料牌号	化学成分(质量分数)/%							熔化温度范围/℃	抗拉强度/MPa	用途
		Cu	Sn	Si	Fe	Mn	Zn	其它			
B-Cu	—	≥99	—	—	—	—	—	—	1083	—	主要用于还原性气氛、惰性气氛和真空条件下钎焊低碳钢、低合金钢、不锈钢、镍钴和铝等
	H62	62 ±1.5	—	—	—	—	余量	—	900~905	313.8	应用最广的铜锌钎料,用来钎焊受力大的铜、镍、钢制零件
B-Cu51Zn	HCuZn46 HL103	54±2	—	—	—	—	余量	—	885~888	254	钎料延性较差,主要用来钎焊不受冲击和弯曲的铜及其合金零件
	HCuZn52 HL102	48±2	—	—	—	—	余量	—	860~870	205	钎料相当脆,主要用来钎焊不受冲击和弯曲的铜质量分数大于68%的铜合金
	HCuZn64 HL101	36±2	—	—	—	—	余量	—	800~823	29	钎料极脆,钎焊接头性能差,主要用于黄铜的钎焊

(续)

材料型号	材料牌号	化学成分(质量分数) %							其它	熔化温度范围/°C	抗拉强度/MPa	用途
		Cu	Sn	Si	Fe	Mn	Zn					
B Cu51Zn	Cu Mn- Zn Sn	余量	0.2~ 0.6			21~32	11~20		825~831	111.6	用于硬质合金的 钎焊	
B Cu60ZnSn (RE)	HS221	余量				6~10	31~36	2~3	830~850	372	代替银钎料用于 带锡的钎焊	
B Cu69ZnSn (RE)	HS221	60±1	0.85~ 0.15	0.11 0.05	0.8~ 0.4	0.06+ 0.03	余量		860~900	333.1	与 B-Cu60ZnSn (RE)钎料相同 可取代 HS2 钎 料以获得更致密的 钎缝,尚可作为气 焊黄铜用的焊丝	
B Cu68ZnMn	HS221	60±1	1±0.2	0.25± 0.1	—	—	余量	—	890~905	343.2	锰可提高钎料的 强度、延性和对硬 质合金的润湿性, 广泛用于硬质合 金刀具、模具及 采掘工具的钎焊	
B Cu68ZnNiRE	HS221	58±1	—	0.15	0.15	0.03	余量	—	880~909	304.2	用于有一定耐热 要求的低碳钢、铸 铁、铝合金零件的 钎焊,对硬质合金 工具也有良好的润 湿能力	

表 7-17 铜磷钎料化学成分、特性及用途

钎料型号	钎料牌号	化学成分(质量分数)/%					熔化温度范围/°C	抗拉强度/MPa	电阻率/ $\mu\Omega \cdot m$	用途
		Cu	P	Ag	Sn	其它				
B-Cu95P	—	余量	$5 \pm 0.3$	—	—	—	710~899	—	—	制成片状使用,流动性低,特别适用于电阻钎焊
B-Cu93P	HL201	余量	$6.8 \pm 0.4$	—	—	—	710~793	470	0.28	流动性极好,可以流入间隙很小的接头,钎料脆,主要用于机电和仪表工业,钎焊不受冲击载荷的铜和黄铜零件
B-Cu92PSb	HL203	余量	$6.3 \pm 0.4$	—	—	Sb 1.3~2.5	690~800	305	0.47	流动性稍差,用途与B-Cu93P相仿
B-Cu91PAg	HL209	余量	$7 \pm 0.22 \pm 0.2$	—	—	—	645~810	—	—	钎料中的银改善了它的延性,在较大温度范围内能填充接头间隙,用于电冰箱、空调器、电机和仪表行业
B-Cu89PAg	HL205	余量	$5.8 \sim 6.7$	$5 \pm 0.2$	—	—	650~800	519	0.23	钎料延性和导电性得到提高,流动性低,适用于钎焊间隙较大的零件

(续)

钎料型号	钎料牌号	化学成分(质量分数), %					熔化温度范围/°C	抗拉强度/MPa	电阻率/ $\mu\Omega \cdot m$	用途
		Cu	P	Ag	Sn	其它				
B-Cu80PAg	HL204	余量	4.8~5.3	15±0.5	-	-	640~815	503	0.12	钎料延性和导电性进一步改善,用于钎焊要求比B-Cu89PAg钎料高的场合
	-	余量	5.1~0.3	5±0.5	10±0.5	-	560~650	-	-	用于要求钎焊温度低的铜及铜合金零件
B-Cu80P <sub>2</sub> Sn-Ag	HLAgCu70-5	余量	5.5±0.5	25±0.5	-	-	650~710	-	-	延性和导电性是铜磷银钎料中最好的,用于钎焊要求高的电气接头
	HLCuP6-3	余量	6±0.3	-	3.3±0.5	-	640~680	-	0.35	流动性好,钎焊接头性能与B-Ag25CuZn钎料钎焊的相仿,可部分代替银钎料和铜磷银钎料钎焊铜和铜合金
B-Cu86SnP	-	余量	5.3±0.5	-	7.5±0.5	Ni0.8±0.4	-	-	-	用途与HLCuP6-3相似, Ni的加入使钎料脆性增大,但流动性提高
B-Cu80P <sub>2</sub> SnAg	HL206	余量	6~10	2~10	3~10	-	620~660	-	-	用途与HLCuP6-3相似,但钎焊温度更低

焊缝的致密性高，可以取代 H62 黄铜钎料。

(2) 铜磷钎料 铜磷钎料的化学成分、特性及用途见表 7-17。它是  
以 Cu-P、Cu-P-Ag 合金为基的钎料，主要应用于铜及铜合金的钎焊。由  
于铜磷钎料的工艺性能好、价格低、钎焊铜时可不用钎剂，并且钎焊接  
头具有满意的耐蚀性及较好的导电性，所以广泛应用于电机、电器、制  
冷设备的钎焊。

(3) 铜锗钎料 铜锗钎料的化学成分及特性见表 7-18。它可用来  
钎焊铜、可伐合金和钼。它主要应用于电真空器件的钎焊。

表 7-18 铜锗钎料的化学成分及特性

钎料型号 (牌号)	化学成分 (质量 分数) /%			熔化温度 范围 / °C	钎焊温度 范围 / °C
	Cu	Ge	Ni		
B-Cu92Ge (HICuGe8)	余量	8±0.5	—	910±10	970~990
B-Cu90Ge (HICuGe10.5)	余量	10.5	—	880±10	900~930
B-Cu88Ge (Ni) (HICuGe12)	余量	12	0.25	850±10	880~900

(4) 高温铜基钎料 高温铜基钎料的化学成分、特性及用途见表  
7-19。在铜中加入镍、钴可以提高钎料的耐热性能，但是它的熔化温度  
也相应提高了。

4. 锰基钎料

锰基钎料的化学成分、特性及用途见表 7-20。我国锰资源丰富，价  
格较低，但是锰基钎料的蒸气压高，耐腐蚀性不强。它适用于低真空及  
保护气氛下钎焊在 500°C 左右长期工作的不锈钢和耐热钢焊件。

5. 镍基钎料

镍基钎料的化学成分及特性见表 7-21。镍基钎料的耐热性及耐蚀  
性优良，它的钎焊接头可承受高达 1000°C 的工作温度。适用于钎焊奥  
氏体不锈钢、马氏体不锈钢、双相不锈钢、镍基及钴基合金，以及碳素  
钢、低合金钢等焊件。镍基钎料中由于含有较多的硅、硼、磷等元素，  
所以比较脆，常以粉末状使用。近年来已制成非晶态箔状镍基钎  
料。

表 7-19 高温铜基钎料的化学成分、特性及用途

钎料型号(牌号)	化学成分(质量分数)/%						熔化温度 范围/°C	钎焊温度 范围/°C	用 途
	Cu	Ni	Si	B	Fe	其它			
B-Cu67NiMnCoSiFe (HICu-2)	余量	17~ 19	1.6~ 1.9	0.15~ 0.25	0.8~ 1.2	Co 4.5~5.5 Mn6~7	1027~ 1070	1080~ 1100	用途与 HICuNi30-2-0.2 钎料相 同,但钎焊温度较低,可避免母材 晶粒长大和麻面等缺陷。HICu-2a 因含锰量较低,火焰钎焊时的工艺 性优于 HICu-2
B-Cu69NiMnCoSiFe (HICu 2a)	余量	17~ 19	1.6~ 1.9	0.15~ 0.25	0.8~ 1.2	Co 4.5~5.5 Mn 4.5~5.5	1050~ 1080	1090~ 1100	
B-Cu59MnCo (QCu-4)	余量	-	-	-	-	Co10±1 Mn 31.5±1	940~950	1000~ 1050	主要用于气体保护钎焊不锈钢, 钎焊接头工作温度可达 538°C,钎 焊马氏体不锈钢时可将钎焊与淬 火处理合并进行,简化工艺过程
B-Cu69NiSiFe (HICuNi30-2-0.2)	余量	27~ 30	1.5~ 2	≤0.2	<1.5	-	1080~ 1120	1150~ 1200	该钎料在 600°C 以下几乎与 1Cr18Ni9Ti 不锈钢等强度,主要 用于不锈钢的钎焊,钎料熔点高, 容易引起母材晶粒长大和近缝区 麻面缺陷

表 7 20 锰基钎料的化学成分、特性及用途

钎料牌号(牌号)	化学成分(质量分数) %						其它	熔化温度 范围·°C	钎焊温度 范围·°C	用 途
	Mn	Ni	Cr	Cu	Co	Fe				
B Mn70NiCr	7.11	0.5±1	5±1	—	—	—	—	1035~ 1080	1150~ 1180	使用很广的一种锰基钎料,具有良好的润湿作用和填充作用,对母材的溶蚀作用小,可满足不锈钢波纹管夹层结构换热器的低真空钎焊的要求
B Mn30NiCrCo	10.11	1.11	1.1	—	3±0.5	1.1	—	1065~ 1135	1180~ 1200	钎料的高温性能和抗腐蚀性稍高于QMn1钎料,但钎焊温度更高,为避免母材晶粒长大,必须严格控制钎焊温度
B Mn68NiCo	0.8±1	2.2±1	—	—	10±1	—	—	1050~ 1070	1120~ 1150	高温性能好,钎焊温度低于前两者,适宜于钎焊工作温度较高的薄件
B Mn50NiCrCo	5.0±1	2.5±1	4.5±1	—	4.5±0.5	—	—	1010~ 1035	1060~ 1080	钎料熔化温度较低,能填充较大的接头间隙,特别适宜于在氟气保护下高钎钎母不锈钢接头
B Mn60NiCoCr(B)	余量	1.6±1	—	—	16±1	3~3.5	—	1010~ 1055	1060~ 1085	钎料在不锈钢上的润湿作用较差,可用于钎焊毛细管等易被钎料堵塞的原件
D Mn15NiCu	15±1	2.0±1	—	—	35±1	—	—	950	1000	钎料熔点低,以适应分步钎焊及补钎的要求

表 7-21 镍基钎料的化学成分及特性

钎料型号	钎料牌号	化学成分(质量分数)/%							熔化温度范围/°C	钎焊温度范围/°C
		Ni	Cr	B	Si	Fe	C	其它		
B-Ni89P	NiP11	余量	13~15	—	—	—	—	P10~12	877	925~1025
B-Ni76CrP (B,CSiFe)	—	余量	18.5~19.5	0.01	0.1	0.2	0.08	P9.7~10.5	890	925~1040
B-Ni71CrSi(C)	QNi-7	余量	—	*	9.75~10.5	—	0.10	—	1080~1135	1150~1205
B-Ni93SiBFe(C)	—	余量	—	1.5~2.2	3~1	1.5	0.06	—	980~1065	1010~1175
B-Ni92SiB(FeC)	—	余量	8~12	2.75~3.5	4~5	0.5	0.06	—	980~1010	1010~1175
B-Ni82CrSiFeB	HL702	余量	13~15	1.8~2.6	2.5~4.5	≤4	—	—	970~1000	1010~1175
B-Ni75CrSiFeB(C)	HL-5	余量	14~18	2.75~3.5	4~5	4~5	0.06	—	975~1075	1075~1205
B-Ni71CrFeSiB	HL701	余量	—	3.0~4.0	3.5~5.5	≤5	—	—	970~1070	1065~1205
B-Ni66MnSiCu(Fe)	—	余量	—	—	6~8	0.10	—	Cu4~5 Mn21.0~21.5	980~1010	1010~1095

表 7-22 金基硬钎料的化学成分及特性

钎料型号(牌号)	化学成分(质量分数)/%						熔化温度范围/°C	钎焊温度范围/°C
	Au	Cu	Ni	Pd	其它			
B-Au37Cu(HlAuCu63)	余量	62.5~63.5	—	—	—	—	991~1016	1016~1083
B-Au40Cu(In)(HlAuCu60-5)	余量	59~61	—	—	In	—	830~880	880~910
B-Au60Cu(HlAuCu10)	余量	39~41	—	—	—	—	950~975	980~1000
B-Au80Cu(HlAuCu20)	余量	19.5~20.5	—	—	—	—	891	891~1010
B-Au33Cu(HlAuCuNi613)	余量	63.5~64.5	2.5~3.5	—	—	—	974~1029	1029~1091
B-Au84Ni(HlAuNi17.5)	余量	—	17~18	—	—	—	949	949~1004
B-Au29NiPd(HlAuPdNi34-37)	余量	—	36.5~37.5	33.5~34.5	—	—	1135~1166	1166~1232



## 6. 金基钎料

金基硬钎料的化学成分及特性见表 7-22。它适用于薄件的钎焊。

## 7. 钯基钎料

钯基钎料的化学成分及特性见表 7-23。它适用于航空、航天及电子工业部门的不锈钢、镍基合金等材质焊件的钎焊。其价格昂贵。

表 7-23 钯基钎料化学成分及特性

钎料型号	化学成分 (质量分数) /%					熔化温度 范围/℃
	Pd	Ag	Cu	Mn	Ni	
B-Pd25AgCu	25	54	21	—	—	901~950
B-Pd20AgCu	20	52	28	—	—	879~898
B-Pd10AgCu	10	58	32	—	—	825~850
B-Pd5AgCu	5	58.4	26.6	—	—	807~810
B-Pd33AgMn	33	64	—	3	—	1180~1200
B-Pd20AgMn	20	75	—	5	—	1000~1120
B-Pd60Ni	60	—	—	—	40	1235
B-Pd21NiMn	21	—	—	31	48	1120

## 8. 真空级钎料

真空级钎料的化学成分、特性及用途见表 7-24。真空级钎料的纯度比普通钎料高得多。真空级钎料熔化过程中不会发生溅散现象。在制造高质量的电子管时，必须使用这类钎料。

## 六、钎料的选择

钎焊时钎料的选择原则有以下几方面：

(1) 根据钎焊接头的使用要求选择 对于钎焊接头强度要求不高，或工作温度不高的接头，可采用软钎焊。对于高温强度、抗氧化性要求较高的接头，应采用镍基钎料。

(2) 根据钎料与母材的相互作用选择 应当选择避免与母材形成化合物的钎料，因为化合物大多硬而脆，使钎焊接头变脆、质量变坏。例如，铜磷钎料不能用于钎焊铜和镍，因为会在界面生成极脆的磷化物相。

(3) 根据钎焊方法及加热温度选择，不同的钎焊方法对于钎料的要求不同 例如真空钎焊要求钎料不含高蒸气压元素。烙铁钎焊只适

表 7-24 真空级钎料的化学成分特性及用途

钎料型号	钎料牌号	化学成分(质量分数)/%										特性和用途	
		Ag	Cu	Ni	其它	Zn	Cd	Pb	P	C			
B-Ag99.55-V <sup>①</sup>	DHLAg	99.95	0.05	—	—	0.001	0.001	0.002	0.002	0.005	—	—	用于分步钎焊的 分步钎焊
B-Ag72Cu-V	DHLAgCu28	71±1	28±1	—	—	0.001	0.001	0.002	0.002	0.005	—	—	应用最广泛的真空 级钎料,流动性好,适 用于分步钎焊的最后 一步钎焊,钎焊黑色金 属时母材表面需镀铜 或镀镍
B-Ag71CuNi-V	DHLAgCu28-1	71±1	28±1	0.5~ 1.0	—	0.001	0.001	0.002	0.002	0.005	—	—	对黑色金属的润湿 能力优于 B-Ag72Cu V,用于黑色金属的钎 焊
B-Ag50Cu-V	DHLAgCu50	50±1	50±1	—	—	0.001	0.001	0.002	0.002	0.005	—	—	在黑色金属上的润 湿能力优于 B-Ag72- Cu-V,可与 B-Ag72Cu- V 一起用于分步钎焊

(续)

钎料型号	钎料牌号	化学成分(质量分数)/%										特性和用途		
		Ag	Cu	Ni	其它	Zn	Cd	Pb	P	C				
B-Ag68CuPd-V	DHLAgCu27.5	68±1	27±1	—	Pd:±0.5	0.001	0.001	0.002	0.002	0.005	—	—	—	用途与 B-Ag72Cu-V 钎料相似, 钎大大改善了钎料对黑色金属和镍基合金的润湿能力
B-Cu99.95-V	DHLCu	0.05	99.95	—	—	0.002	0.002	0.002	0.002	0.005	—	—	—	用于分步钎焊的第三步钎焊
	DHLAuCu20	—	20±5	—	Au 余量	0.001	0.001	0.002	0.002	0.005	—	—	—	用于工作温度高的场合
	DHLAuNi17.5	—	—	17.5±0.5	Au 余量	0.001	0.001	0.002	0.002	0.005	—	—	—	—
B-CuGe-V	DHLCuGe12	—	余量	0.2~0.3	Ge11±0.5	0.001	0.001	0.002	0.002	0.005	—	—	—	金镍和金铜钎料的代用品

① V 代表真空钎料。

表 7-25 各种材料组合适用的钎料

材料 钎料 材料	Al 及其 合金	Be, V Zr 及其 合金	Cu 及其 合金	Mo, Nb, Ta, W 及其合金	Ni 及其 合金	Ti 及 其合金	碳素钢及 低合金钢	铸铁	工具钢	不锈钢
Al 及其合金	Al <sup>b</sup> Sn-Zn Zn-Al Zn-Cd		—		—	—	—	—	—	—
Be, V, Zr 及其合金	不推荐	无规定	—		—	—	—	—	—	—
Cu 及其合金	Sn-Zn Zn-Cd Zn-Al	Ag	Ag Cd- Cu-P Sn-Pb	—	—	—	—	—	—	—
Mo, Nb, Ta, W 及其合金	不推荐	无规定	Ag	无规定		—	—	—	—	—
Ni 及其合金	不推荐	Ag	Ag- Au Cu Zn	Ag- Cu Ni	Ag- Ni- Au- Pd Cu Mn-	—	—	—	—	—
Ti 及其合金	Al-Si	无规定	Ag	无规定	Ag-	无规定	—	—	—	—

(续)

材料 钎料 材料	Al 及其 合金	Be、V Zr 及其 合金	Cu 及其 合金	Mo、Nb、 Ta、W 及其合金	Ni 及其 合金	Ti 及 其合金	碳素钢及 低合金钢	铸铁	工具钢	不锈钢
碳素钢及 低合金钢	Al-Si	Ag-	Ag- Sn-Pb Au Cu-Zn Cd	Ag- Cu Ni	Ag- Sn-Pb Au Cu- Ni	Ag-	Ag- Cu-Zn Au- Ni Cd-Sn-Pb Cu		—	—
铸铁	不推荐	Ag-	Ag- Sn-Pb Au Cu-Zn Cd	Ag- Cu Ni	Ag- Cu <sup>②</sup> Cu-Zn <sup>③</sup> Ni	Ag-	Ag- Cu-Zn Sn-Pb	Ag- Cu-Zn Ni Sn-Pb	—	
工具钢	不推荐	不推荐	Ag- Cu-Zn Ni	不推荐	Ag- Cu Cu-Zn Ni	不推荐	Ag- Cu Cu-Zn Ni	Ag- Cu Cu-Zn Ni	—	
不锈钢	Al Si	Ag-	Ag- Cd- Au- Sn-P Cu-Zn	Ag- Cu Ni	Ag- Ni- Au Pd Cu- Sn-Pb Mn	Ag-	Ag- Sn-Pb Au Cu- Ni	Ag- Cu- Ni Sn-Pb	Ag Ni Au-Pd- Cu Sn Pb Mn	

- ① Al-为铝基钎料,
- ② Cu 为纯铜钎料。
- ③ Cu-Zn 为铜锌钎料。

用于熔点较低的软钎料。电阻钎焊则要求钎料的电阻率高一些。

对于已经调质处理的焊件,应选择加热温度低的钎料,以免使焊件退火。对于冷作硬化的钢材,应选用钎焊温度低于 300℃ 的钎料,以防止母材钎焊后发生软化。

(4) 根据经济分析选择钎料 在满足使用要求及钎焊技术要求的条件下,选用价格便宜的钎料。

各种材料组合所适用的钎料见表 7-25。

### 第三节 钎 剂

钎剂是钎焊时使用的熔剂。它的作用是清除钎料和母材表面的氧化物,并保护焊件和液态钎料在钎焊过程中免于氧化,改善液态钎料对焊件的润湿性。钎焊时使用钎剂的目的是促进钎缝的形成,即保证钎焊过程顺利进行以及获得优质的钎焊接头。对于大多数钎焊方法,钎剂是不可缺少的。

#### 一、对钎剂的基本要求

- 1) 钎剂应具有足够的去除母材及钎料表面氧化物的能力。
- 2) 钎剂的熔点及最低活性温度应低于钎料的熔点。
- 3) 钎剂在钎焊温度下具有足够的润湿性。
- 4) 钎剂中各组分的气化(蒸发)温度应比钎焊温度高,以避免钎剂挥发而丧失作用。
- 5) 钎剂以及清除氧化物后的生成物,其密度均应尽量小,以利于浮在表面,不在钎缝中形成夹渣。
- 6) 钎剂及其残渣对钎料及母材的腐蚀性要小。
- 7) 钎剂的挥发物应当无毒性。
- 8) 钎焊后,残留钎剂及钎焊残渣应当容易清除。
- 9) 钎剂原料供应充足,经济性合理。

#### 二、软钎剂

软钎剂是在 450℃ 以下进行钎焊用的钎剂,分为以下两大类:

##### 1. 非腐蚀性软钎剂

这种钎剂化学活性比较弱,对母材几乎无腐蚀作用。松香、胺、有

机卤化物等都属于非腐蚀性软钎剂。

松香是最常用的钎剂，一般以粉末或以酒精、松节油溶液的形式使用。松香钎剂只能在 300℃ 以下使用，超过此温度时将碳化而失效。通常加入活性物质配成活性松香钎剂，以提高其去除氧化物的能力。常用的活性松香钎剂见表 7-26。

### 2. 腐蚀性软钎剂

这种钎剂化学活性强，热稳定性好，可用于黑色金属及有色金属的钎焊，但是钎焊后的残留物必须彻底洗净。

表 7-26 常用活性松香钎剂

牌号	组分(质量分数)/%	应用范围
—	松香 40, 盐酸谷氨酸 2, 酒精 余量	铜及铜合金
—	松香 40, 三硬脂酸甘油酯 4, 酒精 余量	
—	松香 40, 水杨酸 2.8, 三乙醇胺 1.4, 酒精 余量	
—	松香 70, 氯化铵·溴酸	铜、锌、镍
—	松香 24, 盐酸二乙胺 4, 三乙醇胺 2, 酒精 余量	
201	树脂 A 20, 溴化水杨酸 10, 松香 20, 酒精 余量	用于波峰焊、浸沾焊
201-2	溴化水杨酸 10, 松香 20.5, 甘油 0.5, 酒精 余量	
202-B	溴化胍 8, 甘油 4, 松香 20, 水 20, 酒精 余量	引线搪锡
SD-1	改性酚醛 55, 松香 30, 溴化水杨酸 15	印刷电路板波峰焊, 浸沾焊, 引线搪锡
HY-3B	溴化水杨酸 12, 松香 20, 改性丙烯酸树脂 1.3, 缓蚀剂 0.25, 酒精 余量	
氟碳 B	氟碳 0.23, 松香 23, 异丙醇 76.7	
—	聚丙二醇 40~50, 正磷酸 10~20, 松香 35, 二乙胺盐酸 5	镍铬丝的钎焊

(续)

牌号	组分(质量分数)/%	应用范围
RJ11	工业凡士林 80, 松香 15, 氯化锌 4, 氯化铵 1	铜和铜合金
RJ12	松香 30, 氯化锌 3, 氯化铵 1, 酒精余量	铜和铜合金, 镀锌铁皮
RJ13	松香 25, 二乙酸 5, 三羟乙基胺 2, 酒精余量	铜和铜合金, 钢
RJ14	凡士林 35, 松香 20, 硬脂 20, 氧化锌 13, 盐酸苯胺 3, 水 7	铜和铜合金, 钢
RJ15	蓖麻油 26, 松香 34, 硬脂酸 14, 氯化锌 7, 氯化铵 8, 水 11	铜合金和镀锌板
RJ16	松香 28, 氯化锌 5, 氯化铵 2, 酒精 65	黄铜挂钎
RJ18	松香 24, 氯化锌 1, 酒精 75	铜和铜合金
RJ19	松香 18, 甘油 25, 氯化锌 1, 酒精 56	
RJ21	松香 38, 正磷酸(比重 1.6)12, 酒精 50	铬钢、镍铬不锈钢的挂锡和钎焊
RJ24	松香 55, 盐酸苯胺 2, 甘油 2, 酒精 41	铜和铜合金

氯化锌水溶液是最常用的腐蚀性软钎剂, 在氯化锌中加入氯化铵可提高钎剂的活性及降低熔点。常用的腐蚀性软钎剂见表 7-27。

表 7-27 常用的腐蚀性软钎剂

牌号	组分(质量分数)/%	应用范围
RJ1	氯化锌 40, 水 60	钢、铜、黄铜和青铜
RJ2	氯化锌 25, 水 75	铜及铜合金
RJ3	氯化锌 40, 氯化铵 5, 水 55	钢、铜、黄铜和青铜
RJ4	氯化锌 18, 氯化铵 6, 水 76	铜及铜合金
RJ5	氯化锌 25, 盐酸(密度 1.19g/cm <sup>3</sup> )25, 水 50	不锈钢、碳素钢、铜合金



(续)

牌号	组分(质量分数)/%	应用范围
RJ6	氯化锌 6, 氯化铵 4, 盐酸(密度为 1.19g/cm <sup>3</sup> ) 5, 水 80	钢、铜及铜合金
RJ7	氯化锌 40, 二氯化锡 5, 氯化亚铜 0.5, 盐酸 3.5, 水 51	钢、铸铁, 钎料在钢上的铺展性有改进
RJ8	氯化锌 65, 氯化钾 14, 氯化钠 11, 氯化铵 10	铜及铜合金
RJ9	氯化锌 45, 氯化钾 5, 二氯化锡 2, 水 48	铜及铜合金
RJ10	氯化锌 15, 氯化铵 1.5, 盐酸 36, 变性酒精 12.8, 正磷酸 2.2, 氯化铁 0.6, 水余量	碳素钢
RJ11	正磷酸 60, 水 40	不锈钢、铸铁
QJ205	氯化锌 50, 氯化铵 15, 氯化镉 30, 氯化铜 5	铜及铜合金, 钢

### 三、硬钎剂

硬钎剂是在 450℃ 以上进行钎焊用的钎剂。常用的硬钎剂组分及用途见表 7-28。

表 7-28 常用的硬钎剂组分及用途

牌号	组分(质量分数)/%	钎焊温度 /℃	用 途
YJ1	硼砂 100	800~1150	用铜基钎料钎焊碳素钢、铜、铸铁、硬质合金等
YJ2	硼砂 25, 硼酸 75	850~1150	
YJ6	硼砂 15, 硼酸 80, 氯化钙 5	850~1150	用铜基钎料钎焊不锈钢和高温合金
YJ7	硼砂 50, 硼酸 35, 氯化钾 15	650~850	用银基钎料钎焊钢, 铜合金, 不锈钢和高温合金

(续)

牌号	组分(质量分数)/%	钎焊温度 ·C	用 途
YJ8	硼砂 50, 硼酸 10, 氯化钾 40	>800	用铜基钎料钎焊硬质合 金
YJ11	硼砂 95, 过锰酸钾 5		用铜锌钎料钎焊铸铁
QJ-101	硼酐 30, 氟硼酸钾 70	550~850	用银基钎料钎焊铜及铜 合金、钢, 不锈钢和高温合 金
QJ 102	氯化钾 42, 硼酐 35, 氟硼 酸钾 23	650~850	
QJ-103	氟硼酸钾 >95	550~750	用银铜锌锡钎料钎焊
F301 200	硼砂 30, 硼酸 70 硼酐 66±2, 脱水硼砂 19± 2, 氯化钙 15±1	850~1150	同 YJ1 和 YJ2
201	硼酐 77±1, 脱水硼砂 12± 1, 氯化钙 10±0.5	850~1150	用铜基钎料或镍基钎料 钎焊不锈钢和高温合金
QJ105	氯化钠 29~31, 氯化钾 24 ~26, 氯化铯 24~26, 氯化铊 13~16, 氯化铵 4.5~5.5	450~600	钎焊铜及铜合金
铸铁 钎剂	硼酸 40~45, 碳酸锂 11~ 18, 碳酸钠 24~27, 氯化钠 氯化钠 10~20 (NaF : NaCl = 27 : 73)	650~750	活性温度低, 适宜于银基 钎料和低熔点铜基钎料钎 焊和补焊铸铁

黑色金属常用的硬钎剂是硼砂、硼酸及其混合物。这些钎剂的粘度大、活性温度相当高, 必须在 800 C 以上使用, 并且钎剂残渣难于清除。在硼化物中加入碱金属和碱土金属的氟化物及氯化物, 可以改善硼砂、硼酸钎剂的润湿能力, 提高去除氧化物的能力, 以及降低钎剂的熔化温度及活性温度。

#### 四、铝合金用钎剂

1. 铝用软钎剂

这种钎剂按去除氧化膜的方式可分为以下两类，其组分及特性见表 7-29

表 7 29 铝用软钎剂的组分及特性

类别	牌号	组分(质量分数)/%	钎焊温度 /C	腐蚀 性	导电性	
					钎剂	残渣
有机 钎剂	QJ204	Cd(BF <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> 10, Zn(BF <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> 2.5, NH <sub>4</sub> BF <sub>4</sub> 5, 三乙醇胺 82.5	180~275	小	中	低
反应 钎剂	QJ203	ZnCl <sub>2</sub> 55, SnCl <sub>2</sub> 28, NH <sub>4</sub> Br 15, NaF 2	280~350	大	高	高
		SnCl <sub>2</sub> 88, NH <sub>4</sub> Cl 10, NaF 2	300~340	大	高	高
		ZnCl <sub>2</sub> 88, NH <sub>4</sub> Cl 10, NaF 2	330~365	大	高	高

(1) 有机钎剂 主要组分为三乙醇胺。为提高活性可加入氟硼酸或氟硼酸盐。钎焊温度不得超过 275 C，钎焊热源也不准直接与钎剂接触。因为高于 275 C 三乙醇胺迅速碳化而丧失活性。有机钎剂的活性小，钎料不易流入接头间隙。有机钎剂的残渣腐蚀性低。

(2) 反应钎剂 主要组分为锌、锡等重金属的氯化物，加热时在铝表面析出锌、锡等金属，大大提高钎料的润湿能力。反应钎剂一般制成粉末状，也可采用不与氯化物反应的乙醇、甲醇、凡士林等调成糊状使用。反应钎剂具有吸潮性，钎剂吸潮后形成氯氧化物而丧失活性。

铝用软钎剂在钎焊时都产生大量白色有刺激性和腐蚀性的浓烟，因此钎焊操作时必须注意通风。

2. 铝用硬钎剂

铝用硬钎剂组分及用途见表 7-30。其主要组分是碱金属及碱土金属的氯化物，加入氟化物可以去除铝表面的氧化物。在火焰钎焊及某些炉中钎焊时，为了进一步提高钎剂的活性，除加入氟化物外，还可加入重金属的氯化物。

五、气体钎剂

气体钎剂是炉中钎焊及气体火焰钎焊过程中起钎剂作用的气体。

表 7-30 铝用硬钎剂组分及用途

牌号	组分(质量分数) %	钎焊温度 °C	用 途
211	KCl 47, NaCl 27, LiCl 14, CdCl <sub>2</sub> 4, ZnCl <sub>2</sub> 3, AlF <sub>3</sub> 5	>550	火焰钎焊, 炉中钎焊
YJ17	KCl 51, LiCl 41, AlF <sub>3</sub> 1.3, KF 3.7	>570	浸渍钎焊
	KCl 44, LiCl 31, NaCl 12, KF- AlF <sub>3</sub> 共晶(46%KF, 54%AlF <sub>3</sub> ) 10	>560	浸渍钎焊
QJ201	KCl 50, LiCl 32, ZnCl <sub>2</sub> 28, NaF 10	450~620	火焰钎焊, 某些钎料 炉中钎焊
QJ202	KCl 28, LiCl 42, ZnCl <sub>2</sub> 24, NaF 6	450~620	火焰钎焊
H701	KCl 46, LiCl 12, NaCl 26, KFAIF <sub>3</sub> 共晶 10, ZnCl <sub>2</sub> 1.3, CdCl <sub>2</sub> 4.7	>560	火焰钎焊, 炉中钎焊
1712B	KCl 47, LiCl 23.5, NaCl 21, AlF <sub>3</sub> 3, ZnCl <sub>2</sub> 1.5, CdCl <sub>2</sub> 20, TiCl <sub>2</sub>	>500	火焰钎焊, 炉中钎焊
QF	KF · 2H <sub>2</sub> O 42-44, AlF <sub>3</sub> 31/ 2H <sub>2</sub> C 56~58	>570	炉中钎焊

其优点是钎焊后无固体残渣, 焊件也不需要清洗。

炉中钎焊最常用的气体钎剂是三氟化硼, 它是 KBF<sub>4</sub> 在 800~900°C 分解的产物。三氟化硼是添加在惰性气体中使用的。主要应用于在高温下钎焊不锈钢等材料。气体火焰钎焊时, 可采用含硼有机化合物的蒸气作为钎剂。

所有用作气体钎剂的化合物, 其气化产物均有毒性, 使用时必须采取相应的安全措施。

## 第四节 钎焊工艺

### 一、钎焊接头设计

钎焊接头设计应当考虑接头的强度,焊件的尺寸精度,以及进行钎焊的具体工艺等。钎焊接头的合理设计对于保证良好的钎焊工艺性以及钎焊接头的综合性能有重要作用。

#### 1. 接头的基本形式

钎焊接头的基本形式有对接和搭接,T形接头相当于对接,套接相当于搭接。钎焊接头的基本形式如图7-2所示。由于钎料及钎缝的强度一般比母材低,所以钎焊接头主要采用搭接,很少采用对接。如果结构需要对接,也要设法将接头改成局部搭接型。

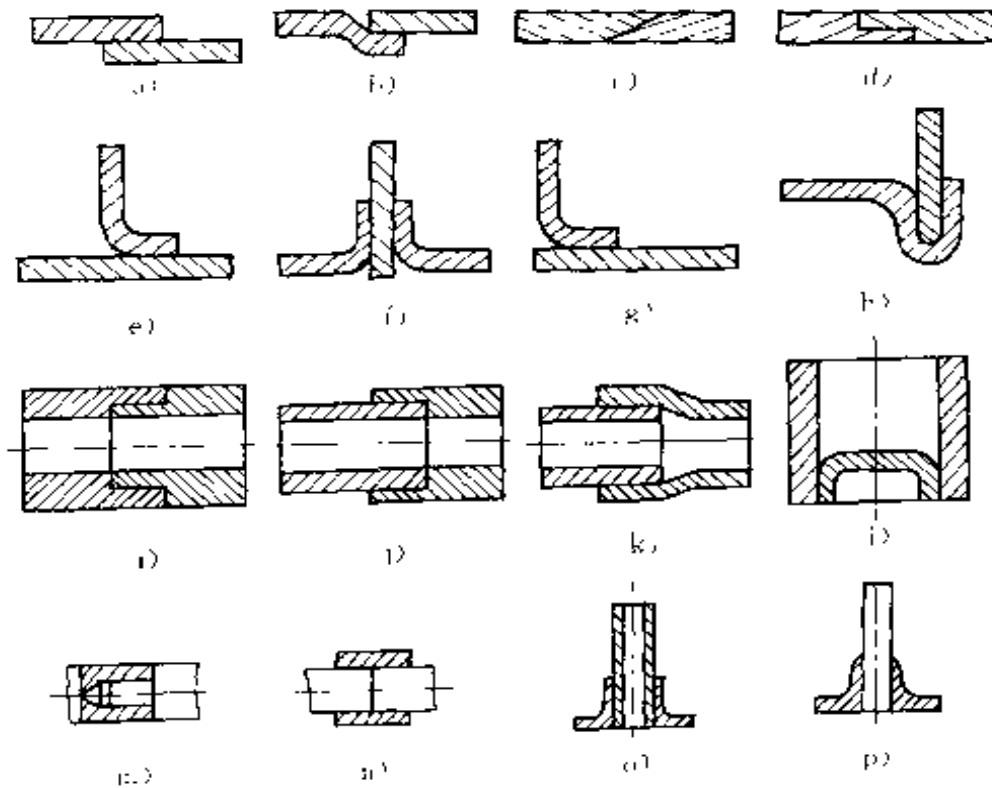


图 7-2 钎焊接头的基本形式

a)、b) 普通搭接接头 c)、d) 对接接头局部搭接化 e)、f)、g)、h) T形接头和角接接头的局部搭接化 i)、j)、k) 管件的套接接头 l) 管与底板的接头形式 m)、n) 杆件的连接接头 o)、p) 管或杆与凸缘的接头

为了使搭接接头与母材具有相等的承载能力，搭接长度可按下式计算：

$$L = a \frac{\sigma_b}{\sigma_r} \delta$$

式中  $a$ ——安全系数；

$\sigma_b$ ——母材的抗拉强度 (MPa)；

$\sigma_r$ ——钎焊接头的抗切强度 (MPa)；

$\delta$ ——母材板厚 (mm)；

$L$ ——搭接长度 (mm)。

钎接生产中对于采用银基、铜基、镍基等强度较高的钎焊接头，按经验式  $L = (2 \sim 3) \delta$  选取搭接长度；对于锡铅等软钎料钎焊接头，可取  $L = (4 \sim 5) \delta$ 。但是搭接长度  $L \leq 15 \text{mm}$ 。因为超过 15mm 时，钎料很难填满间隙，经常会形成大量的缺陷。

设计钎焊接头时，应当考虑应力集中问题，在承受动载或较大应力时，更应注意。其设计原则是不在接头边缘处造成任何过大的应力集中，想办法将应力转移到母材上去。例如，不采用钎缝圆角来缓和应力集中，而是在零件本身的母材上设计成圆角状的拐角。这样，应力通过母材上的圆角形成适当的分布。此外，增大钎缝面积，尽量使受力方向垂直于钎缝面积，也可以增加钎焊接头的承载能力。

设计钎焊接头时还应当考虑接头的装配定位、钎料的安置、限制钎料的流动、工艺孔的位置等有关钎接工艺方面的要求。对于封闭性接头，开设工艺孔可以使受热膨胀的空气逸出。尤其是密闭的容器，内部的空气受热膨胀，阻碍钎料的填隙，或者使已填满间隙的钎料重新排出，造成不致密性的缺陷。图 7-3 为封闭型接头的工艺孔形式。

## 2. 接头间隙

接头间隙在很大程度上影响钎缝的致密性及钎接接头强度。表 7-31 列出了各种金属钎焊接头的合适间隙。间隙过大或过小，都将造成钎料不能填满间隙，影响接头质量。

确定接头间隙的影响因素如下：

(1) 垂直位置的接头间隙应小些，以免钎料流出；水平位置的接头、

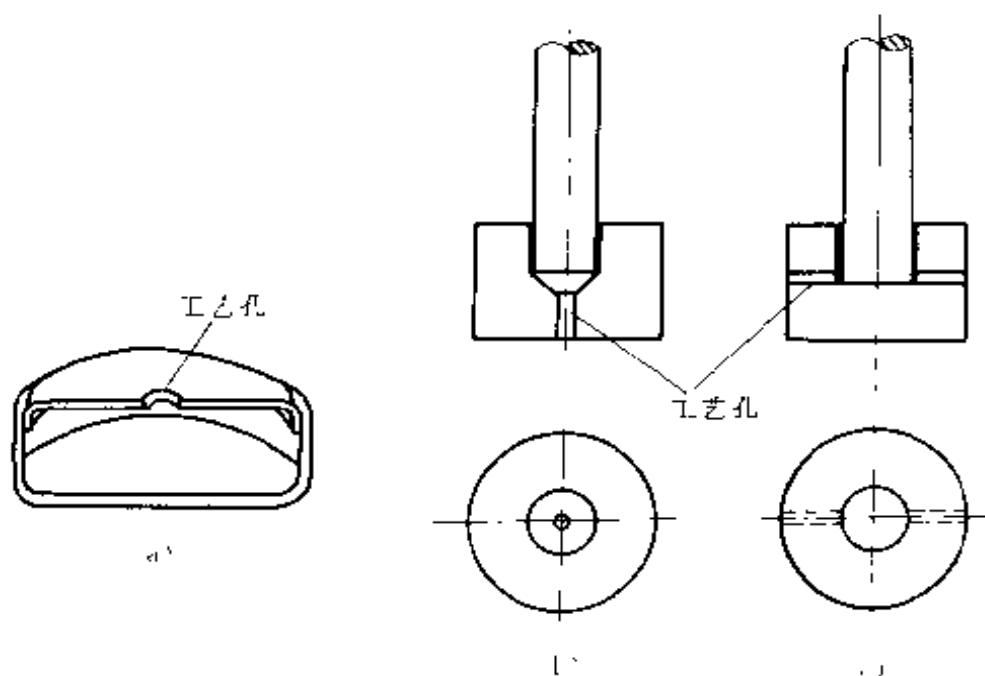


图 7-3 封闭型接头的工艺孔

搭接长度大的接头，间隙应大些。

2) 采用钎剂时，接头间隙应当大些。因为钎焊时熔化的钎剂先流入接头，当间隙较小时，熔化的钎料难以将钎剂排出间隙，易形成夹杂。对于真空或气体保护钎焊时，没有排渣的过程，接头间隙应选小些。

3) 使用流动性好的钎料，接头间隙应小些；流动性差的钎料，接头间隙应大些。

4) 母材与钎料的相互作用程度较小时，接头间隙可取小些，例如用铜钎焊钢或不锈钢。当母材与钎料的相互作用强烈时，间隙应大些，例如用铝基钎料钎焊铝，因为母材的溶解会使钎料熔点提高，流动性降低。

5) 异种材料的钎焊接头，必须根据材质的热膨胀数据计算出钎焊温度时的接头间隙。图 7-4 是确定在钎焊温度下异种金属径向间隙的计算图。例如，当  $D=50\text{mm}$ ， $\Delta t=680\text{C}$ ， $(\alpha_2 - \alpha_1) = -5 \times 10^{-6}\text{C}^{-1}$ ，如图 7-4 所示：连接 D 与  $\Delta t$  相应点在 AA 线上有一交点，将此交点与  $(\alpha_2 - \alpha_1)$  的相应点连线得到，与  $\Delta$  的交点，即为实际问题的解： $\Delta = -0.17\text{mm}$ 。此外，异种材料钎焊接头的装配间隙与焊件的不同装配方



式有关,例如黄铜与钢的套接接头,由于黄铜的线膨胀系数大于钢,如果黄铜焊件套接在钢焊件内,则室温时的装配间隙应大于钎焊温度时所需的间隙。反之,如果钢焊件套接在黄铜焊件内,则室温时的装配间隙应小于在钎焊温度时所需的间隙。这个关系如图 7-5 所示。

表 7-31 各种金属钎焊接头的合适间隙

钎焊金属	钎 料	间隙/mm
碳素钢	铜	0.01~0.05
	黄 铜	0.05~0.20
	银基钎料	0.05~0.15
	锡铅钎料	0.05~0.20
不锈钢	铜	0.02~0.07
	铜镍钎料	0.03~0.20
	银基钎料	0.05~0.15
	镍基钎料	0.05~0.12
	锰基钎料	0.04~0.15
	锡铅钎料	0.05~0.20
铜和铜合金	铜锌钎料	0.05~0.13
	铜磷钎料	0.02~0.15
	银基钎料	0.05~0.13
	锡铅钎料	0.05~0.20
	镉基钎料	0.05~0.20
铝和铝合金	铝基钎料	0.1~0.30
	锡锌钎料	0.1~0.30
钛和钛合金	银基钎料	0.05~0.10
	钛基钎料	0.05~0.15
镍合金	镍鎳合金钎料	0.05~0.10

## 二、钎焊前焊件的表面处理

### 1. 钎焊焊件表面去油

焊件表面粘附的矿物油可用有机溶剂清除,动植物油可用碱溶液



清除。

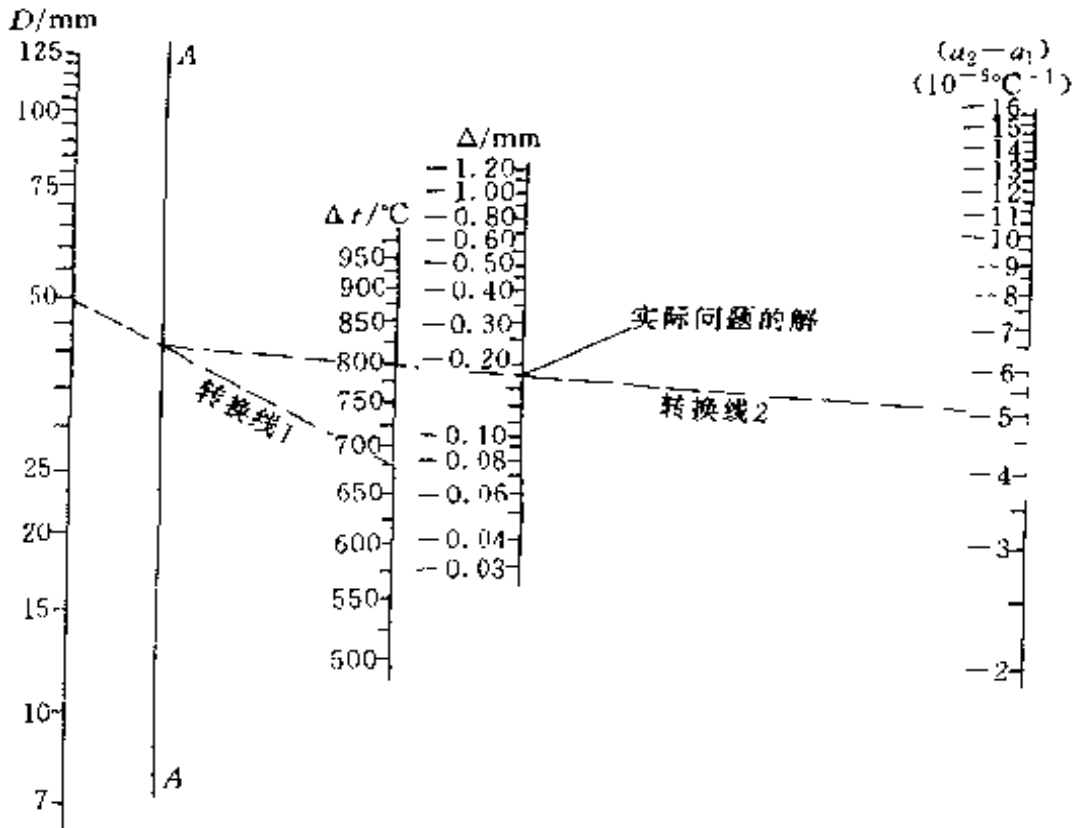


图 7-4 确定在钎焊温度下异种金属径向间隙的计算图

$D$  接头的正常直径(mm)  $\Delta t$  钎焊温度减去室温( $^{\circ}\text{C}$ )  $\Delta$  间隙的变化(mm)  $\alpha_1$ —内插件平均热膨胀系数( $^{\circ}\text{C}^{-1}$ )  $\alpha_2$ —外套件平均热膨胀系数( $^{\circ}\text{C}^{-1}$ )

当  $\alpha_1 > \alpha_2$  时; $\alpha_2 - \alpha_1$  为负值, $\Delta$  读数也是负值,表示加热时接头间隙缩小

当  $\alpha_2 > \alpha_1$  时; $\Delta$  读数为正值,表示加热时接头间隙增大

(1) 有机溶剂去油 常用的有机溶剂有三氯乙烯、汽油、丙酮等。三氯乙烯去油效果最好,但是毒性最大。最常用的是汽油、丙酮。具体做法:先用汽油擦去焊件表面的油污,再放入三氯乙烯中浸洗 5~10min,然后擦干。再放入无水乙醇中浸泡后,在碳酸镁水溶液中煮沸 3~5min。最后用水冲洗、酒精脱水并烘干。采用丙酮去油:先用汽油浸泡除油,再用丙酮洗净,然后吹干即可。

(2) 碱溶液去油 低碳钢、低合金钢、不锈钢、铜、镍、钛及其合金等，可放入质量分数为 10% 的 NaOH 水溶液（80~90℃）中浸洗 8~10min。铝及铝合金可放在 70~80℃ 的  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  50~70g/L， $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  25~30g/L，肥皂 3~5g/L 的水溶液中浸洗 10~15min，然后用清水冲洗干净。

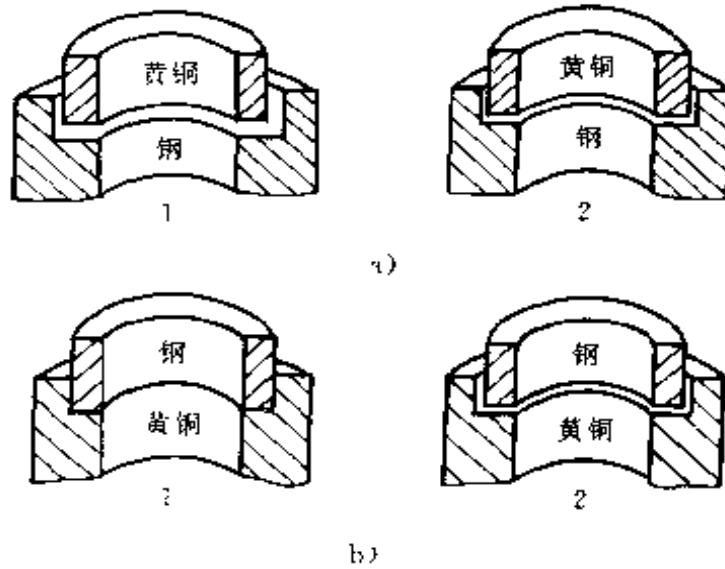


图 7-5 不同线膨胀系数材料装配间隙与装配方式的关系

a) 黄铜套在钢中

1—室温时大间隙 2—钎焊温度时合适间隙

b) 钢套在黄铜中

1—室温时小间隙 2—钎焊温度时合适间隙

## 2. 氧化膜的化学清理

常用材料表面氧化膜的化学清理方法见表 7-32。清洗后的焊件表面严禁手摸，或与脏物接触。清洗后的焊件应当立即装配或放入干燥器内保存。装配时，应戴棉布手套操作，防止污染焊件。

## 3. 焊件表面镀覆金属

为了增加钎料对母材的浸湿能力，改善材料的钎焊性，防止产生裂纹以及在界面产生脆性化合物，必须对焊件表面镀覆金属。金属镀层还可作为钎料，以简化装配过程、提高生产率。常用材料预镀覆的使用情

况见表 7-33。

表 7-32 常用材料表面氧化膜的化学清理方法

焊件材料	浸蚀溶液配方	化学清理方法
低碳钢和 低合金钢	(1) $H_2SO_4$ 10% 水溶液 <sup>①</sup>	40~60℃ 下浸蚀 10~20min
	(2) $H_2SO_4$ 5%~10% $HCl$ <sup>①</sup> 2%~10% 水溶液, 加碘化亚钠 0.2% (缓蚀剂) <sup>②</sup>	室温下浸蚀 2~10min
不锈钢	(1) $NH_4O_3$ 150mL, $NaF$ 50g, $H_2O$ 850mL	20~90℃ 下浸蚀到表面光亮
	(2) $H_2SO_4$ <sup>①</sup> 10% (浓度 94% ~96%) $HCl$ <sup>②</sup> 15% (浓度 35%~ 38%) $HNO_3$ <sup>③</sup> 5% (浓度 65%~ 68%) $H_2O$ 64%	100℃ 下浸蚀 30s, 再在 $HNO_3$ <sup>④</sup> 15% 的水溶液中光化处理, 然后 100℃ 下浸 10min, 适用于厚壁 焊件
	(3) $HNO_3$ <sup>①</sup> 10%, $H_2SO_4$ <sup>②</sup> 6% $HF$ 50g/L, 余为 $H_2O$	室温下浸蚀 10min 后, 在 60 ~70℃ 热水中洗 10min, 适用于 薄壁焊件
	(4) $HNO_3$ <sup>①</sup> 3%, $HCl$ <sup>②</sup> 7%, $H_2O$ <sup>③</sup> 90%	80℃ 下浸蚀后热水冲洗, 适用 于含钨、钼的不锈钢深度浸蚀
铜及铜 合金	(1) $H_2SO_4$ <sup>①</sup> 12.5%, $Na_2$ $CO_3$ <sup>②</sup> 1%~3%, 余量 $H_2O$	20~77℃ 下浸蚀
	(2) $H_2SO_4$ <sup>①</sup> 10%, $Fe_2SO_4$ <sup>②</sup> 10%, 余量 $H_2O$	50~80℃ 下浸蚀
铝及铝 合金	(1) $NaOH$ <sup>①</sup> 10%, 余量 $H_2O$	60~70℃ 下浸蚀 1~7min 后 用热水冲洗, 并在 $HNO_3$ <sup>②</sup> 15% 的水溶液中光亮处理 2~5min, 最后在流水中洗净

(续)

焊件材料	浸蚀溶液配方	化学清理方法
铝及铝合金	(2) NaOH <sup>②</sup> 20 ~ 35g/L, Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 20~30g/L, 余量 H <sub>2</sub> O	先在 40~55℃ 下浸蚀 2min, 然后用上法清理
	(3) Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 150g/L, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 30g/L, 余量 H <sub>2</sub> O	50~60℃ 下浸蚀 5~20min
镍及镍合金	(1) H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (密度 1.87g/L) 1500mL, HNO <sub>3</sub> (密度 1.36g/L) 2250mL, NaCl 30g, H <sub>2</sub> O 1000mL	
	(2) HNO <sub>3</sub> <sup>①</sup> 10% ~ 20%, HF <sup>①</sup> 1% ~ 8%, 余量 H <sub>2</sub> O	
钛及钛合金	(1) HNO <sub>3</sub> <sup>①</sup> 20%, HF <sup>①</sup> (浓度 40%) 1% ~ 3%, 余量 H <sub>2</sub> O	适用于氧化膜薄的零件
	(2) HCl <sup>②</sup> 15%, HNO <sub>3</sub> <sup>②</sup> 5%, NaCl <sup>②</sup> 5%, 余量 H <sub>2</sub> O	适用于氧化膜厚的零件
	(3) HF <sup>②</sup> 2% ~ 3%, HCl <sup>②</sup> 3% ~ 4%, 余量 H <sub>2</sub> O	--
钨、钼	HNO <sub>3</sub> <sup>①</sup> 50%, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> <sup>①</sup> 30%, 余量 H <sub>2</sub> O	--

① 此百分数为体积分数。

② 此百分数为质量分数。

表 7-33 预镀覆的使用情况

母材	镀覆材料	方法	功 用
铜	银	电镀、化学镀	用作钎料
	锡	热浸	提高钎料的润湿作用

(续)

母材	镀覆材料	方法	功用
不锈钢	铜、镍	电镀、化学镀	提高钎料的润湿作用,铜又可用作钎料
铜	铜	电镀、化学镀	提高钎料的润湿作用
石墨	铜	电镀	使钎料容易润湿
钨	镍	电镀、化学镀	提高钎料润湿作用
可伐合金	铜、镍	电镀、化学镀	防止母材开裂
钛	钼	电镀	防止界面产生脆性相
铝	镍、铜、锌	电镀、化学镀	提高钎料润湿作用,提高接头抗腐蚀性
	铝硅合金	包覆	用作钎料

### 三、焊件装配及钎料放置

#### 1. 焊件的装配

钎焊前需要将零件装配与定位,以确保零件之间的相互位置。典型的定位方法如图 7-6 所示。对于结构复杂的零件,一般采用专用的夹具来定位。钎焊夹具的材料应具有良好的耐高温及抗氧化性,应与钎焊焊件材质具有相近的热膨胀系数。

#### 2. 钎料的放置

除烙铁钎焊、火焰钎焊之外,大多数钎焊方法都是将钎料预先放置在接头上。安置钎料时,应尽量利用间隙的毛细作用、钎料的重力作用使钎料填满装配间隙。钎料的放置方法如图 7-7 所示。为避免钎料沿平面流失,应将环状钎料放在稍高于间隙的部位(图 7-7a、b)。将钎料放置在孔内可以防止钎料沿法兰平面流失(图 7-7c、d)。对于水平位置的焊件,钎料只有紧靠接头才能在毛细作用下吸入间隙(图 7-7e、f)。在接头上加工出钎料安置槽的方法,适用于紧密配合及搭接长度较大的焊件(图 7-7g、h)。箔状钎料可直接放入接头间隙内(图 7-7i、j、k),并应施加一定的压力,以确保钎料填满间隙。膏状钎料直接涂抹在钎焊处。粉

末状钎料可选用适当的粘结剂调和后粘附在接头上。

涂阻流剂是为了防止钎料的流失。阻流剂由氧化铝、氧化钛等稳定的氧化物与适当的粘结剂组成。钎焊前将糊状阻流剂涂在靠近接头的零件表面上,由于钎料不能润湿这些物质,即被阻止流动。阻流剂多应用于真空炉中钎焊及气体保护炉中钎焊。

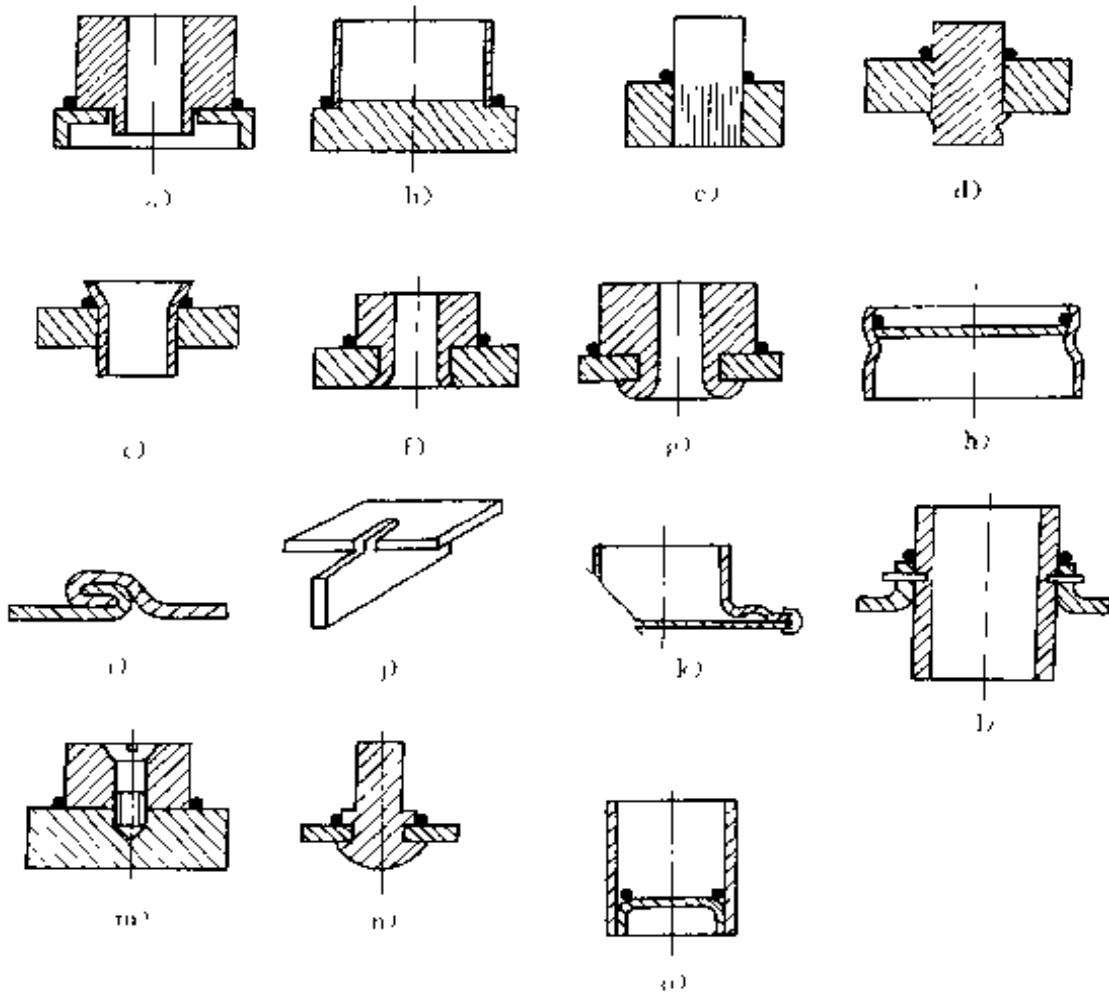


图 7-6 典型的零件定位方法

- a) 重力定位 b) 紧配合 c) 滚花 d) 翻边 e) 扩口  
 f) 旋压 g) 模锻 h) 收口 i) 咬边 j) 开槽与弯边  
 k) 夹紧 l) 定位销 m) 螺钉定位 n) 铆接 o) 定位焊

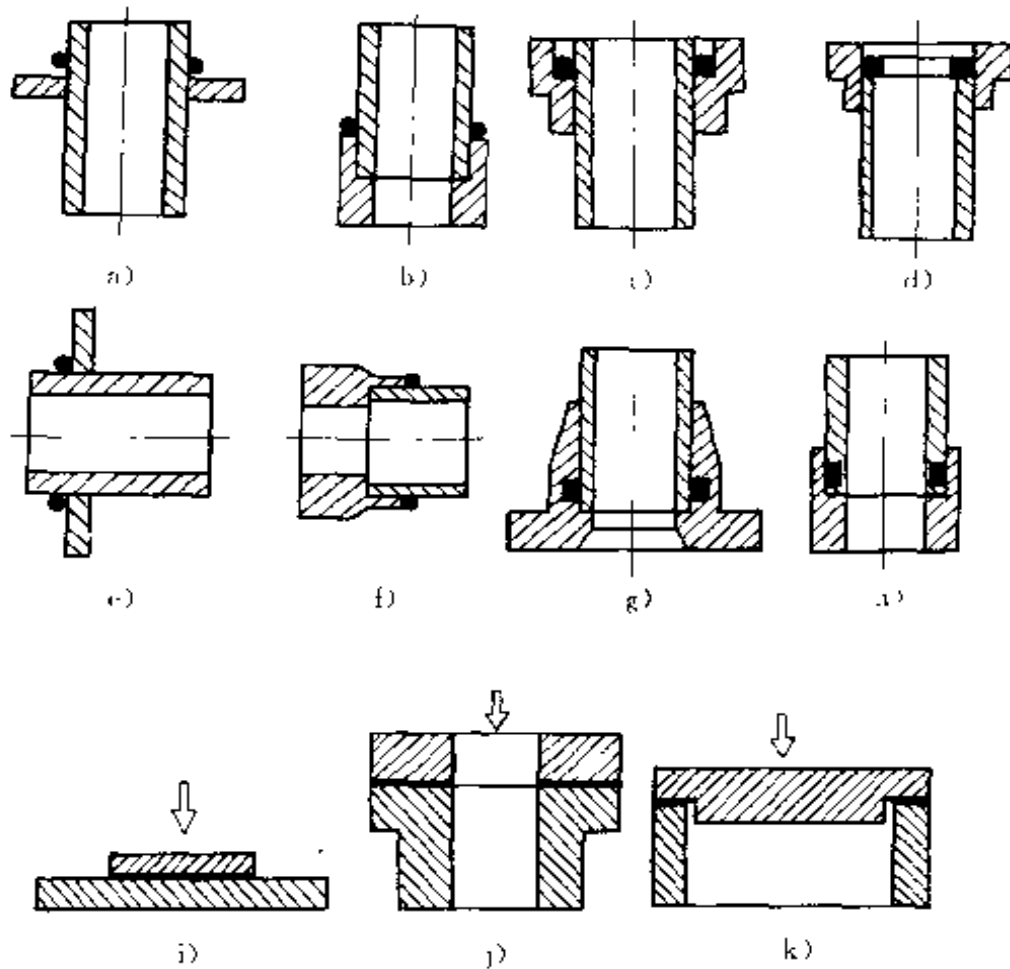


图 7-7 钎料的放置方法

a)~h)环状钎料的放置 i)~k)箔状钎料的放置

#### 四、钎焊方法

钎焊方法通常以所应用的热源来命名。生产中主要的钎焊方法有以下几种：

##### 1. 火焰钎焊

火焰钎焊是使用可燃气体与氧气(或压缩空气)混合燃烧的火焰进行加热的钎焊。其所用的设备简单、操作方便、燃气来源广、焊件结构及尺寸不受限制。但是这种方法的生产率低、操作技术要求高，适于碳素钢、不锈钢、硬质合金、铸铁，以及铜、铝及其合金等材料的钎焊。

火焰钎焊所用的可燃气体有：乙炔、丙烷、石油气、雾化汽油、煤气

等。助燃气体有：氧气、压缩空气。不同的混合气体所产生的火焰温度也不同。例如：氧乙炔火焰温度为  $3150^{\circ}\text{C}$ ；氧丙烷火焰温度为  $2050^{\circ}\text{C}$ ；氧石油气火焰温度为  $2400^{\circ}\text{C}$ ；氧汽油蒸气火焰温度为  $2550^{\circ}\text{C}$ 。氧乙炔焰是常用的火焰，由于钎料熔点一般不超过  $1200^{\circ}\text{C}$ ，为使钎接头均匀加热，并防止母材及钎料的氧化，应当采用中性焰或碳化焰的外焰加热。使用黄铜钎料时，为了在钎料表面形成一层氧化锌以防止锌的蒸发，可采用轻微过氧焰。压缩空气—雾化汽油火焰的温度低于氧乙炔焰，适用于钎焊件钎焊或采用低熔点钎料的钎焊。液化石油气与氧气或空气混合燃烧的火焰也常用于火焰钎焊。使用软钎料钎焊时，也可采用喷灯加热作为钎焊的热源。

## 2. 电阻钎焊

电阻钎焊是将焊件直接通以电流或将焊件放在通电的加热板上利用电阻热进行钎焊的方法。电阻钎焊分为直接加热及间接加热两种方式(图 7-8)。

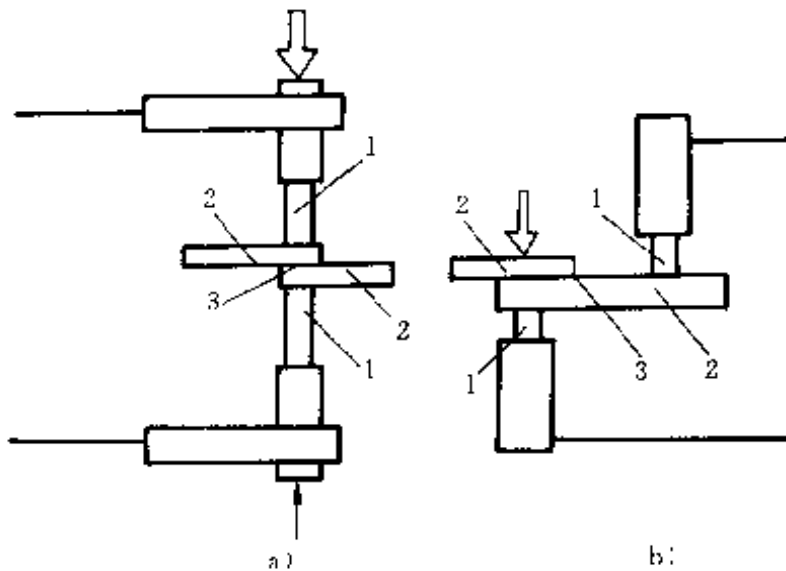


图 7-8 电阻钎焊示意图

a) 直接加热法 b) 间接加热法

1—电极 2—焊件 3—钎料

直接加热电阻钎焊，是电流通过钎焊部位直接加热，因此要求钎焊面紧密接触，加热电流为  $6000\sim 15000\text{A}$ ，压力为  $100\sim 2000\text{N}$ 。电极材



料为铜、铬铜、钼、钨、石墨、铜钨烧结合金等。电极材料的性能见表 7-34。直接加热电阻钎焊的电极、形状及大小应与钎焊接头相适应。

表 7-34 直接加热电阻钎焊用钎焊电极材料性能

材料	电阻率/ $\mu\Omega \cdot m$	硬度	软化温度 /C	热导率/ [W/(m·K)]
铜	0.0176	95	150	393.56
铬铜	0.0215	150	400	322.38
铝	0.057	250	900	146.54
钨	0.051	380~480	1000~1200	200.97
石墨	0.20	70	—	—
铜钨烧结合金	0.052	165~210	—	175.85

间接加热电阻钎焊,电流只通过一个焊件,而另一个焊件的加热及钎料的熔化是由通电加热焊件的热传导来实现的。也可将电流通过一个较大的石墨板,其上放置焊件,由石墨板的传热加热焊件及钎料。间接加热电阻钎焊的电流为 100~3000A。电极压力为 50~500N。由于这种方式加热比较慢,适宜于热物理性能差别较大、厚度差别较大焊件的钎焊。

电阻钎焊的钎料常以片状放在接头内,也可以膏状涂于接头处。常用钎料为铜基、银基钎料。所使用的设备为电阻焊机或专用的电阻钎焊设备。

### 3. 感应钎焊

感应钎焊是利用高频、中频或工频交流由感应加热所进行的钎焊。感应钎焊设备主要由感应电流发生器和感应圈组成。中频及高频发生器的型号及规格见表 7-35。感应钎焊用感应圈是重要的部件,必须进行专门设计,并通过实验确定其结构及尺寸。感应圈的基本形式如图 7-9 所示。感应圈多由铜管制成,工作时内部通以冷却水。为了提高热效率和防止与焊件接触短路,感应圈与焊件的距离应为 3~6mm,感应圈的匝距一般为 1.5~2.2mm。感应钎焊的特点是加热快、效率高,可进行局部加热,且容易实现自动化。按照保护方式可以分为空气中感应

钎焊、保护气体中感应钎焊、真空中感应钎焊。空气中感应钎焊必须使用钎剂,其它两种方法都不用钎剂。感应钎焊可用于钎焊碳素钢、不锈钢、铜及铜合金等,适用于较小的焊件,尤其是对称形状的焊件,例如轴和圆盘的连接、管与法兰、管状接头、刀具、电子器件等。

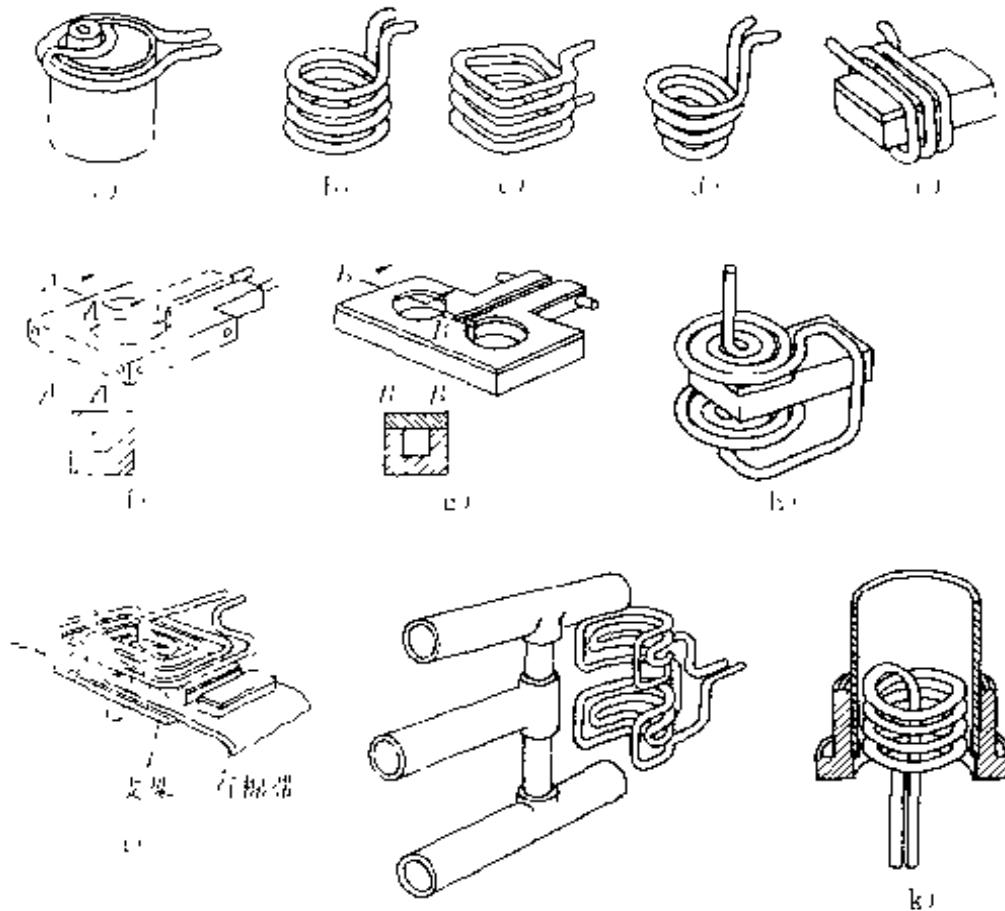


图 7-9 感应圈的基本形式

- a) 单匝感应圈 b)~e) 多匝感应圈 f) 单匝铜板感应圈  
g) 双工位铜板感应圈 h) 扁平式感应圈 i) 传送带式扁平感应圈 j) 特殊外形双工位感应圈 k) 内热式感应圈

#### 4. 浸渍钎焊

浸渍钎焊是将工件局部或整体浸入熔态的高温介质中加热,进行钎焊。其特点是加热迅速、生产率高、液态介质保护零件不受氧化,有时还能同时完成淬火等热处理工艺。这种钎焊方法特别适用于大量生产。

浸渍钎焊的缺点是耗电多、熔盐蒸气污染严重、劳动条件差。浸渍钎焊有以下几种形式：

表 7-35 中频和高频发生器的型号和规格

型 号	输出功率/kW	工作频率/kHz
DGF-C-108-2	100	8.6
GP60-C3	50	80~110
CYP100 C2	85	30~40
GP8-CR10	8	300~500
GP30 CR11	30	200~300
GP60 CR11	60	200~300

表 7-36 盐浴钎焊钢和低合金钢时所用的盐液成分

盐类	成分(质量分数)/%	钎焊温度 / $^{\circ}\text{C}$	适用钎料
中性	BaCl <sub>2</sub> 100	1100~1150	铜
中性	BaCl <sub>2</sub> 95, NaCl5	1100~1150	铜
中性	NaCl100	850~1100	黄铜
中性	BaCl <sub>2</sub> 80, NaCl20	670~1000	黄铜
含钎剂	BaCl <sub>2</sub> 80, NaCl20, 硼砂 1	900~1000	黄铜
中性	NaCl50, KCl50	730~900	银基钎料
中性	BaCl <sub>2</sub> 55, NaCl25, KCl20	620~870	银基钎料
氰化	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 20~30, KCl20~30, NaCN30~40	650~870	银基钎料
渗碳	NaCl30, KCl30, 碳酸盐 20, NaCN15~20, 活化剂余量	900~1000	黄铜

(1) 盐浴钎焊 这种钎焊主要用于硬钎焊。盐液应当具有合适的熔化温度、成分和性能应当稳定，对焊件能起到防止氧化的保护作用。钎焊钢、低合金钢时所用的盐液成分见表 7-36。钎焊铝及铝合金用的盐液既是导热的介质，又是钎焊过程中的钎剂，其成分见表 7-30。盐

浴钎焊的主要设备是盐浴槽。各种盐浴炉型号和技术数据见表 7-37。放入盐浴前,为了去除焊件及焊剂的水分,以防盐液飞溅,应将焊件预热到 120~150℃。如果为了减小焊件浸入时盐浴温度的降低,缩短钎焊时间,预热温度可适当增高。

表 7-37 盐浴炉型号和技术数据

名称	型 号	功率 /kW	电压 /V	相数	最高 工作 温度 /℃	盐浴槽尺寸		最大 技术 生产率 /(kg/h)	质量 /kg
						$\frac{A}{\text{mm}} \times \frac{B}{\text{mm}} \times \frac{C}{\text{mm}}$			
插 入 式 电 极 盐 浴 炉	RDM2-20-13	20	380	1	1300	180×180×430		90	740
	RDM2-25-8	25	380	1	850	300×300×490		90	842
	RDM2-35-13	35	380	3	1300	200×200×430		100	893
	RDM2-45-13	45	380	1	1300	260×240×600		200	1395
	RDM2-50-6	50	380	3	600	500×920×540		100	2690
	RDM2-75-13	75	380	3	1300	310×350×600		250	1769
	RDM2-100-8	100	380	3	850	500×920×540		160	2690
	RYD-20-13	20	380	1	1300	245×180×430		—	1090
	RYD-25-8	25	380	1	850	380×300×490		—	1020
	RYD-35-13	35	380	3	1300	305×200×430		—	1043
	RYD-45-13	45	380	1	1300	340×260×600		—	1458
	RYD-50-6	50	380	3	600	920×600×540		—	3052
	RYD-75-13	75	380	3	1300	525×350×600		—	1652
	RYD-100-8	100	380	3	850	920×600×540		—	3052
坩 埚 式 盐 浴 炉						$\frac{D}{\text{mm}} \times \frac{h}{\text{mm}}$			
	RYG-10-8	10	220	1	850	φ200×350		—	1290
	RYG-20-8	20	380	3	850	φ300×555		—	1350
	RYG-30-8	30	380	3	850	φ400×575		—	1600

(2) 金属浴钎焊 这种方法主要用于软钎焊。它是将装配好的焊件浸入熔态钎料中,依靠熔态钎料的热量使焊件加热,同时钎料渗入接

头间隙完成钎焊，这种方法的优点是装配容易、生产率高，适用于钎缝多而复杂的焊件。缺点是焊件沾满钎料，增加了钎料消耗量，并给钎焊后的清理增加了工作量。

(3) 波峰钎焊 它是金属浴钎焊的一个特例，主要用于印刷电路板的钎焊。波峰钎焊的原理如图 7-10 所示。依靠泵的作用使熔化的钎料向上涌动，印刷电路板随传送带向前移动时与钎料波峰接触，进行了元器件引线与铜箔电路的钎焊连接。由于波峰上没有氧化膜，钎料与电路板保持良好的接触，并且生产率高。

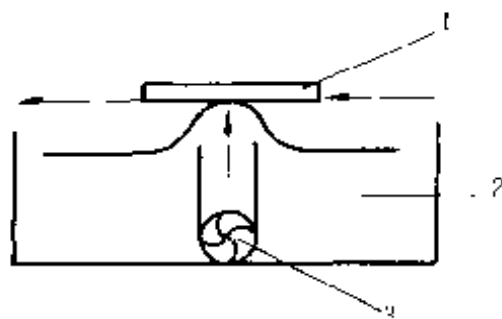


图 7-10 波峰钎焊原理图

1—电路板 2—熔态钎料 3—泵

### 5. 炉中钎焊

炉中钎焊是将装配好钎料的焊件放在炉中加热并进行钎焊的方法。其特点是焊件整体加热、焊件变形小、加热速度慢，但是一炉可同时钎焊多个焊件，适于批量生产。

(1) 空气炉中钎焊 使用一般的工业电阻炉将焊件加热到钎焊温度，依靠钎剂去除氧化物。

(2) 保护气氛炉中钎焊 根据所用气氛不同，可分为还原性气体炉中钎焊和惰性气体炉中钎焊。还原性气体的主要成分主要是氢及一氧化碳，它的作用不仅防止空气侵入，而且能还原焊件表面的氧化物，有助于钎料润湿母材。表 7-38 列出了钎焊用还原性气体。放热型气体是可燃气体与空气不完全燃烧的产物。吸热型气体是碳氢化合物气体与空气在加热温度很高的热罐内在镍触媒的作用下反应而形成的产物。进行还原性气体炉中钎焊时，应注意安全操作。为防止氢与空气混合引起爆炸，钎焊炉在加热前应先通 10~15min 还原性气体，以充分排出炉内的空气。炉子排出的气体应点火燃烧掉，以消除在炉旁聚集的危险。钎焊结束后，待炉温降至 150℃ 以下再停止供气。

惰性气体炉中钎焊通常采用氩气。氩气只起保护作用，其纯度

表 7-38 钎焊用还原性气体

气体	主要成分(体积分数):%				露点 /°C	用途		备注
	H <sub>2</sub>	CO	N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>		钎料	母材	
放热气体	14~15	3~10	70~71	5~6	室温	铜、铜 磷、黄铜、 银基	无氧铜、碳 素钢、镍、蒙 乃尔	脱碳 性
放热气体	13~13	10~11	73~75	—	-40		同上,高碳 钢、镍基合金	渗碳 性
吸热气体	38~40	17~19	41~45	—	-40			
氢气	97~100	—	—	—	室温	铜、铜 磷、黄铜、 银基、镍 基	无氧铜、碳 素钢、镍、蒙 乃尔、高碳 钢、不锈钢、 镍基合金	脱碳 性
干燥氢气	100	—	—	—	-60			
分解氨	75	—	25	—	-54			

$\varphi_{Ar}$  高于 99.99%。

(3) 真空炉中钎焊 焊件周围的气氛纯度很高,可以防止氧、氢、氮对母材的作用。高真空的条件可以获得优良的钎焊质量。一般情况下钎焊温度时的真空度应不低于  $13.3 \times 10^{-3} \text{ Pa}$ 。钎焊后冷却到  $150^\circ\text{C}$  以下方可出炉,以免焊件氧化。真空钎焊设备包括真空系统及钎焊炉。钎焊炉可分为热壁型和冷壁型两类。真空钎焊设备的投资较大,设备维修困难,因此钎焊成本也比较高。

### 五、钎焊焊接参数

钎焊温度和保温时间是钎焊的主要参数。钎焊温度通常高于钎料熔点  $25 \sim 50^\circ\text{C}$ ,以保证钎料能填满间隙。

钎焊保温时间与焊件尺寸、钎料与母材相互作用的剧烈程度有关。大件的保温时间应当长些。如果钎料与母材作用强烈,则保温时间应短些。一定的保温时间促使钎料与母材相互扩散,形成优质接头。保温时间过长将会造成熔蚀等缺陷。

### 六、钎焊后的清洗



大多数钎剂残渣对钎焊接头有腐蚀作用,应当清除干净。软钎剂松香无腐蚀作用,不必清除。含松香的活性钎剂残渣不溶于水,可用异丙醇、酒精、汽油等有机溶剂清除。

由有机酸及盐组成的钎剂,一般都溶于水,可以用热水清洗。如果是由凡士林调制的膏状钎剂,则可用有机溶剂清除。

含无机酸的软钎剂,可以用热水清洗。含碱金属及碱土金属氯化物的钎剂,可用体积分数为2%的盐酸溶液清洗,然后用含少量NaOH的热水洗涤,以中和盐酸。

硬钎焊用的硼砂、硼酸钎剂,其残渣很难清除。通常采用喷砂清除残渣。如在焊件为热态时放入水中,钎剂残渣开裂而易于清除。含氟硼酸钾或氟化钾的硬钎剂残渣可使用水煮,或在体积分数为10%的柠檬酸热水中清除。

### 七、钎焊接头的缺陷

钎焊接头的缺陷及产生原因见表 7-39。

表 7 39 钎焊接头的缺陷及产生原因

缺陷的种类	原因
部分间隙未填满	1. 接头设计不合适(间隙过小,接头装配不好) 2. 钎焊前表面清洗不充分 3. 钎剂选择不当(活性不足、润湿性不好,钎剂与钎料熔点相差过大) 4. 钎焊区域温度不够 5. 钎料数量不足
钎料流失	1. 钎焊温度过高 2. 钎焊时间过长 3. 钎料与母材发生化学反应
钎焊区域钎料表面不光滑	1. 钎焊温度过高 2. 钎焊时间过长 3. 钎剂不足 4. 钎料金属晶粒粗大

(续)

缺陷的种类	原 因
钎缝中存在气孔	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 熔化钎料中混入游离氧化物 (表面清洗不充分及使用不适当的钎剂)</li> <li>2. 母材或钎料中析出气体</li> <li>3. 钎料过热</li> </ol>
钎缝中夹渣	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 钎剂量过多</li> <li>2. 钎料量不足</li> <li>3. 钎料从钎缝两面同时填缝</li> <li>4. 间隙选择不适当</li> <li>5. 钎料与钎剂熔点相差过大</li> <li>6. 钎剂的密度过大</li> <li>7. 加热不均匀</li> </ol>
钎缝区域有裂纹	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 钎料凝固过程中工件振动</li> <li>2. 钎料的固相线与液相线相差过大</li> </ol>
母材区域有裂纹	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 母材过烧或过热</li> <li>2. 钎料向母材晶间渗入</li> <li>3. 由于母材导热性不好造成加热不均匀</li> <li>4. 由于母材与钎料热膨胀差别过大产生热应力</li> </ol>

## 第五节 常用金属材料的钎焊

### 一、碳素钢及低合金钢的钎焊

碳素钢表面的氧化物为  $\text{FeO}$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  等。低合金结构钢表面除了生成氧化铁以外,还可能生成合金元素的氧化物。除了铬、铝的氧化物影响较大以外,其它氧化物都较易清除。

#### 1. 钎料

碳素钢、低合金钢软钎焊时,可采用各种软钎料。其中以锡铅钎料应用最广泛。使用  $\text{HSnPb10}$  锡铅钎料钎焊的低碳钢接头抗拉强度为  $93\text{MPa}$ , 抗切强度为  $37\text{MPa}$ 。当采用  $\text{HSnPb68-2}$  钎料时,则分别提高到  $113\text{MPa}$  及  $49\text{MPa}$ 。低碳钢用软钎料钎焊的接头强度见表 7-4。当



采用铜、铜基钎料及银基钎料进行硬钎焊时,可获得较高的接头强度。低碳钢用硬钎料钎焊的接头强度见表 7-41。

表 7-40 低碳钢用软钎料钎焊的接头强度

钎料牌号	抗切强度/MPa			抗拉强度/MPa
	低碳钢	镀锌铁皮	镀锡铁皮	低碳钢
纯锡	38	51	—	79
纯铅	15	17	—	79
HL601	51	45	46	105
HL602	50	42	36	115
HL603	61	57	49	101

表 7-41 低碳钢用硬钎焊的接头强度

钎料	抗切强度/MPa	抗拉强度/MPa
纯铜	176	343
H62	225	323
B Ag40CuZnCd	203	386
B-Ag50CuZnCd	231	402
B Ag45CuZn	197	363
B Ag25CuZn	197	375
B Ag10CuZn	198	376

## 2. 钎剂

软钎焊时,钎剂采用氯化锌水溶液或氯化锌、氯化铵水溶液(表 7-26、表 7-27)、使用铜基钎料时,采用硼砂硼酸类钎剂或 QJ301。用银基钎料时,采用 QJ101、QJ102 等(表 7-28)。

## 二、不锈钢的钎焊

由于不锈钢含有铬、铜、钛等合金元素,所以它的表面氧化物种类也很多,其中铬及钛的氧化物化学稳定性最好。必须采用活性很强的钎剂以及保护气体或真空度高的钎焊方法。

## 1. 钎料

根据钎焊件的使用要求、钎焊接头的性能、钎焊温度等,可选用不同的软钎料及硬钎料。1Cr18Ni9Ti 不锈钢用软钎料钎焊的接头强度见表 7-42。采用银(硬)钎料钎焊的接头强度见表 7-43

表 7-42 1Cr18Ni9Ti 用软钎料钎焊的接头强度

钎料牌号	抗切强度/MPa
锡	31
HL601	22
HL602	33
HL603	32
HL604	33
HlAgPb37	21

表 7-43 银钎料钎焊 1Cr18Ni9Ti 的接头强度

牌 号	润 湿 性		钎焊接头强度/MPa	
	温度/°C	流布面积/cm <sup>2</sup>	抗拉强度	抗切强度
HL301	900	3.7	394	202
HL302	800	4.9	356	194
HL303	800	5.3	403	202
HL312	700	6.8	417	209
HL313	700	7.5	438	228
HL315	750	5.0	135	221

注:采用 QJ102 作钎剂。

## 2. 钎剂

由于铬会形成稳定的氧化物,因此应该采用活性很强的钎剂。

软钎焊时,必须采用氯化锌盐酸溶液、氯化锌-氯化铵盐酸溶液或磷酸。

硬钎焊时,在用银铜锌、银铜锌锡钎料时可采用 QJ101、QJ102。用铜基钎料钎焊时,应采用含氟化钙的 QJ200。

## 三、铜及铜合金的钎焊

铜及铜合金的钎焊性见表 7-44。铜及铜合金的表面氧化物主要是  $Cu_2O$ 、 $CuO$ ，还有一些其它合金元素的氧化物。由于其化学稳定性较差，因此容易被还原、清除。几乎所有的钎焊方法都可采用。

表 7-44 铜及铜合金的钎焊性

名称	牌 号	主要成分(质量分数),%	钎焊性
铜	T2	Cu>99.9	优
无氧铜	TU1	Cu>99.97	优
黄 铜	H90	Zn10,余量 Cu	优
	H68	Zn32,余量 Cu	优
	H62	Zn38,余量 Cu	优
铅黄铜	HPb59-1	Zn40,Pb1.5,余量 Cu	良
锰黄铜	HMn58-2	Zn40,Mn2,余量 Cu	良
	HMn57-3-1	Zn39,Mn3,Al1,余量 Cu	困难
铝黄铜	HAL60-1-1	Zn10,Al1,Fe1,Mn0.35,余量 Cu	困难
锡青铜	QSn4-3	Sn4,Zn3,余量 Cu	优
	QSn6.5-0.1	Sn6.5,P0.1,余量 Cu	良
铝青铜	QA19-2	Al9,Mn2,余量 Cu	差
	QA16-4-1	Al10,Fe4,Ni4,余量 Cu	差
铬青铜	QCr0.5	Cr0.75,余量 Cu	优
镉青铜	QCd1.0	Cd1,余量 Cu	优
铍青铜	QBe2	Be2,Ni0.35,余量 Cu	良
硅青铜	QSi3-1	Si3,Mn1,余量 Cu	良
锰白铜	BMn40-1.5	Ni40,Mn1.5,余量 Cu	优
锌白铜	BZn15-20	Ni15,Zn20,余量 Cu	优

1. 钎料

可根据钎焊件的结构、性能及用途进行选择。软钎焊可采用锡铅基、铜基、锌基钎料。硬钎焊采用铜基、铜磷银、银基钎料。采用软钎焊和硬钎焊钎焊铜及黄铜的接头强度见表 7-45 及表 7-16。

表 7-45 软钎焊铜及黄铜的接头强度

钎料型号及牌号	抗切强度 /MPa		抗拉强度 /MPa	
	铜	黄铜	铜	黄铜
HSnPb10	45.1	44.1	63.7	68.6
HSnPb39	34.5	35.2	93.1	78.4
HSnPb58 2	36.3	45.1	76.4	78.4
HSnPb68 2	26.5	27.4	89.2	86.2
HSnPb80 2	20.6	36.3	88.2	95.1
HL635	37.2	37.2	81.3	87.2
S-Sn95Sb	37.2	—	—	—
S-Sn92AgCuSb	35.2	—	—	—
HAgPb97	53.3	34.3	50	58.8
HL503	44.1	46.0	87.2	88.2
HAgCd96-	57.8	—	73.8	—
HL506	48.0	54.9	90.1	96.0

表 7 46 硬钎焊铜及黄铜的接头强度

钎料型号及牌号	抗切强度 /MPa		抗拉强度 /MPa	
	铜	H62 黄铜	铜	H62 黄铜
H62	165	—	176	—
B-Cu60ZnSn R	167	—	181	—
B-Cu54Zn	162	—	172	—
HICuZn52	154	—	167	—
HICuZn64	132	—	147	—
B-Cu93P	132	—	162	176

(续)

钎料型号及牌号	抗切强度/MPa		抗拉强度/MPa	
	铜	H62 黄铜	铜	H62 黄铜
B-Cu92PSb	138	--	160	196
B-Cu92PAg	159	219	225	292
B-Cu80PAg	162	220	225	343
HCuP6-3	152	205	202	257
B-Ag70CuZn	167	159	185	321
B-Ag55CuZn	172	211	177	331
B-Ag50CuZn	172	208	174	328
B-Ag45CuZn	177	216	181	325
B-Ag25CuZn	167	184	172	316
B-Ag10CuZn	158	161	167	314
B-Ag72Cu	165	—	177	—
B-Ag50CuZnCd	177	226	210	375
B-Ag40CuZnCd	168	194	179	339

## 2. 钎剂

使用锡铅钎料焊铜时,钎剂可为松香酒精溶液,也可以是活性松香和  $ZnCl_2 + NH_4Cl$  水溶液。使用镉基钎料时,钎剂可采用 QJ205。用硬钎料钎焊铜时,所用钎剂可参照表 7-28 选用。

## 四、铝及铝合金的钎焊

由于铝及铝合金表面氧化物的化学稳定性很强,所以不易清除。因此,在钎焊时应当采用活性极强的钎剂或真空钎焊等方法。常用的铝及铝合金的钎焊性见表 7-17。

### 1. 钎料

采用软钎料钎焊铝时,例如用锌基、镉基钎料时,所得到的接头耐腐蚀性较差、强度低。采用硬钎料可以提高接头的耐蚀性及强度。表 7-

18 列出了铝合金硬钎料的适用范围。铝及铝合金钎焊接头强度见表 7-49。

表 7-47 铝及铝合金的钎焊性

牌 号	名 称	熔化温度 范围/°C	主要成分(质量分数)/%	软钎 焊性	硬钎 焊性
L2-L6	2-6 号纯铝	~660	Al>99	优	优
LF21	21 号防锈铝	643~654	Mn1.3, 余量 Al	优	优
LF1	1 号防锈铝	631~654	Mg1, 余量 Al	良	优
LF2	2 号防锈铝	627~652	Mg2.5, Mn0.3, 余量 Al	困难	良
LF3	3 号防锈铝	—	Mg3.5, Mn0.15, 余量 Al	困难	差
LF5	5 号防锈铝	568~638	Mg4.7, Mn0.45, 余量 Al	困难	差
LY11	11 号硬铝	515~641	Cu4.3, Mg0.6, Mn0.6, 余量 Al	差	差
LY12	12 号硬铝	505~638	Cu4.3, Mg1.5, Mn0.6, 余量 Al	差	差
LD2	2 号锻铝	593~651	Cu0.1, Mg0.7, Si0.8, 余量 Al	良	良
LD6	6 号锻铝	555~	Cu2.4, Mg0.6, Si0.9, 余量 Al	良	困难
LC4	4 号超硬铝	477~638	Cu1.7, Mg2.4, Zn6, Mn0.4, Cr0.2, 余量 Al	差	差
ZL102	—	577~582	Si12, 余量 Al	差	困难
ZL202	—	519~582	Cu5, Mn0.8, Ti0.25, 余量 Al	良	困难
ZL301	—	525~615	Mg19.5, 余量 Al	差	差

## 2. 钎剂

钎焊铝及铝合金用钎剂的牌号、组分、适用的钎焊温度等见表 7-29 及表 7-30。对于铝及铝合金钎焊,应当注意钎焊后必须清除残渣。否则,钎焊接头在使用过程中容易腐蚀破坏。

表 7-48 铝合金硬钎料的适用范围

钎料牌号	钎焊温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	钎焊方法	可钎焊的金属
HLAlSi7.5	595~621	浸渍、炉中	L2~L6, LF21
HLAlSi10	588~604	浸渍、炉中	L2~L6, LF21
HLAlSi12	582~604	浸渍、炉中、火焰	L2~L6, LF21, LF1, LF2, LD2
HLAlSiCu10-1	585~604	浸渍、炉中、火焰	L2~L6, LF21, LF1, LF2, LD2
HL403	562~582	火焰、炉中	L2~L6, LF21, LF1, LF2, LD2
HL401	555~576	火焰	L2~L6, LF21, LF1, LF2, LD2, LD5, ZL102, ZL202
B62	500~550	火焰	L2~L6, LF21, LF1, LF2, LD2, LD5, ZL102, ZL202
HLAlSiMg7.5-1.5	595~621	真空炉中	L2~L6, LF21
HLAlSiMg10-1.5	588~604	真空炉中	L2~L6, LF21, LD2
HLAlSiMg12-1.5	582~604	真空炉中	L2~L6, LF21, LD2

表 7-49 铝及铝合金钎焊的接头强度

钎料	抗切强度, MPa			抗拉强度, MPa		
	L3	LF21	LD2	L3	LF21	LD2
HL406	40	58	—	68	98	—
HL401	41	59	—	69	98	—
HL402	42	57	96	70	95	156
HL403	42	60	91	68	96	155
HL501	39	51	—	63	85	—
HL502	40	51	—	65	86	—
HL505	43	56	83	65	96	135
HL607	41	58	—	62	73	—

## 第六节 钎焊工程实例

### 一、铜管翅式散热器的软钎焊

管翅式散热器用于汽车散热，其结构如图 7-11 所示。散热器由扁形铜管与铜片焊接而成，工作状况为铜管内通水冷却，翅片为空冷散热用。

#### 1. 钎焊前的准备

1) 将黄铜带材表面热浸涂软钎料，钎料为锡铅钎料 (HL503)。所用钎剂为氯化锌水溶液，成分为 4.5L 溶液内含氯化锌 3.5kg。黄铜带材表面浸涂钎料的厚度为 0.015 ~ 0.025mm。

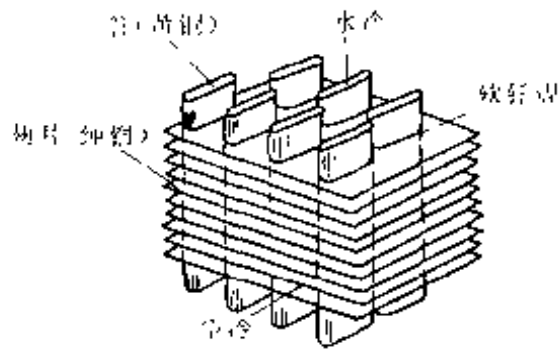


图 7-11 管翅式散热器的结构

2) 将涂有钎料的黄铜带材卷绕成管（图 7-12a~e），并切断成规定的长度。

3) 按照散热器图样要求，将管子插入翅片，装配成焊件。间隙为

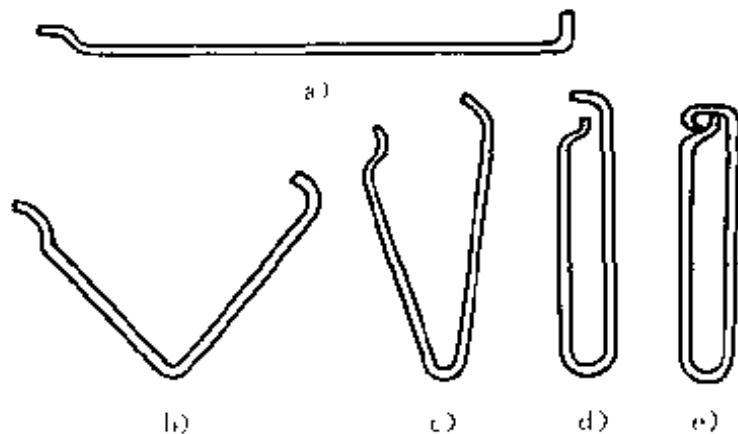


图 7-12 卷管工艺过程



0.025~0.05mm。

## 2. 钎焊工艺过程

- 1) 将装配好的焊件浸入上述钎剂中
- 2) 焊件在炉中（或烘箱中）加热，使钎料熔化填入管子卷边接缝及管子与翅片的间隙中，即完成散热器的软钎焊。

## 3. 钎焊后清洗

焊件出炉后，在  $\varphi$  (HCl) 2% 的热溶液中浸泡、洗涤，去除钎剂残渣。最后用热水洗净焊件。

以上生产过程，在散热器的批量生产中已实现机械化及自动化。

## 二、大型铝板换热器的盐浴浸渍钎焊

铝板翅片换热器由于具有传热效率高、结构轻巧紧凑等特点，广泛应用于石油、化工、制冷、交通、冶金等工业部门。并且逐渐取代铜管式换热器。图 7-13 是典型的铝板翅式换热器的钎焊结构。它是由隔板、波纹板、封条等组成的。其全部材质为 LF21 铝合金，钎料为 H14Si7.5，熔化温度范围 577~612℃。钎料可制成箔状铺放在隔板上，但是较多的情况是采用轧制方法将钎料复合于隔板上制成双金属板，从而简化装配工艺。

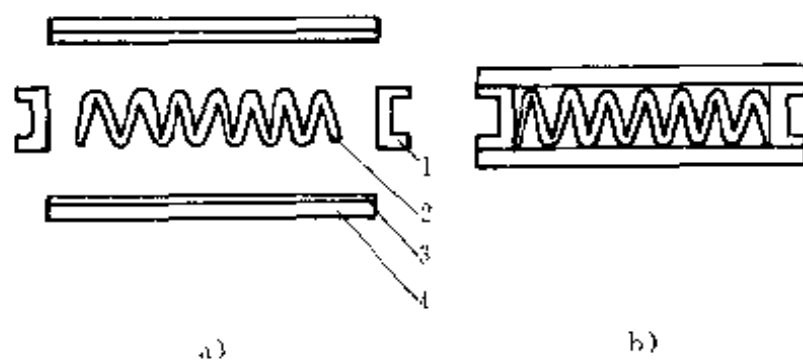


图 7-13 典型的铝板翅式换热器钎焊结构

a) 钎焊前 b) 钎焊后

1—封条 2—波纹板 3—钎料 4—隔板

## 1. 钎焊前的准备

- 1) 零件先在  $\omega$  ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) 3%~5%。(601 洗涤剂) 2%~6% 的混

合液中去油。

2) 然后在  $w(\text{NaOH})$  5%~10% 溶液中去除氧化物

3) 用  $\varphi(\text{HNO}_3)$  20%~40% 溶液进行中和处理。

4) 用流动的清水洗净并烘干零件。

5) 在夹具中装配成所要求的结构。外形尺寸为 710mm $\times$ 750mm $\times$ 2100mm, 共计 66 层。

6) 将装配好的结构在功率为 150kW 的预热炉中预热 560℃, 3h。预热的目的: ①提高焊件进入盐浴炉的温度; ②防止钎剂凝固阻塞焊件通道; ③缩短钎焊时间。

## 2. 钎焊工艺过程

1) 预热完毕的焊件立即浸入保持在 615℃ 的盐浴槽中钎焊。盐液既是导热的介质, 把焊件加热到钎焊温度, 又是钎焊过程中的钎剂。钎剂成分 (质量分数):  $\text{KCl}$  4%,  $\text{NaCl}$  12%,  $\text{LiCl}$  34%,  $\text{KF}\cdot\text{AlF}_3$  10% (熔点为 480~520℃)。盐浴槽为电极式盐浴电阻炉, 盐浴槽的尺寸为 3200mm $\times$ 1300mm $\times$ 1400mm, 功率 250kW。

2) 钎焊时采用三次浸渍工艺: 第一次焊件以 30° 角左右倾斜浸入, 浸入的速度适当慢一些, 以利空气排出。待焊件全部浸入时, 再把焊件放平。保持 1min 以后, 焊件从另一端以 30° 吊起离开盐浴面, 待钎剂大部分排出后, 再第二次浸入。如此顺序共进行三次浸渍, 浸渍的保持时间是: 第一次 1min, 第二次 2min, 第三次 4min。焊件在盐浴中的加热时间共计 10min。在最后一次倒盐时, 应尽量将焊件中的钎剂排尽。

## 3. 钎焊后的清洗

1) 钎焊完毕, 焊件在空气中冷却 90min。待焊件中心温度降至 200~300℃ 时, 即可在沸水中速冷。

2) 按表 7-50 中所列的顺序清洗, 去除钎剂造成的任何痕迹, 直到各通道中倒出来的内存水氯离子含量通过“盐迹试验”。

## 4. 渗漏检验

1) 用热空气干燥。

2) 进行渗漏检验, 该换热器的设计压力为 0.6MPa, 经检验达到质量要求即完成制造过程。

表 7 50 钎焊后的清洗过程

工序	清 洗 液	时间/min	温度/℃
1	浸入热水槽速冷	2~5	>80
2	循环水冲洗	4~8b	>60
2	草酸 <sup>①</sup> 2%~4% 氟化钠 <sup>②</sup> 1%~2% 601 洗涤剂 2%~4% (烷基磺酸钠)	5~20	室温
4	循环水冲洗	10~30	>60
5	硝酸 10%~20%	5~10	室温
6	循环水冲洗	5~30	>60
7	铬酸 1.1%、硼酸 1.9% 氟硅酸钠 1.9%	1~5	室温
8	循环水冲洗	10~30	>60

①) 百分数为体积分数。

②) 百分数为质量分数。

### 三、铝波导零件的真空钎焊

典型铝波导零件的钎焊结构如图 7-14 所示。零件材质为 LF21 铝合金。

#### 1. 钎焊前的准备

(1) 零件清洗 在  $\varphi$  ( $H_2SO_4$ ) 30% 溶液 (80℃) 中浸洗, 经冷水洗涤后, 放入  $\varphi$  ( $HNO_3$ ) 30% 溶液中浸洗, 最后经过热水洗涤后, 用热风干燥。

(2) 零件装配 将厚度为 0.10mm 的箔状钎料夹在接头间隙内, 再把丝状钎料放置在法兰盘上紧贴着波导管。法兰盘与波导管的钎焊间隙为 0.10~0.15mm。所用钎料为含金属活化剂 Mg 的钎料

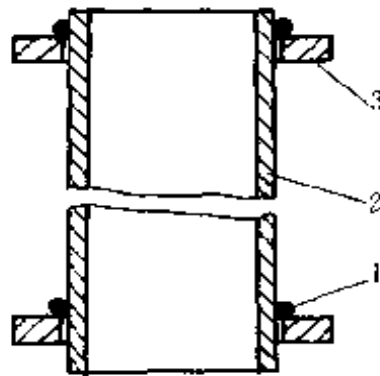


图 7 14 铝波导零件的钎焊结构

1—钎料 2—波导管 3—法兰盘

HIAlSiMg10-1.5 ( $w_B$  为 0.1%，熔点为 555~585℃)。

## 2. 钎焊工艺过程

- 1) 钎焊设备为冷壁型真空炉，其极限真空度为  $6.67 \times 10^{-3} \text{Pa}$ 。
- 2) 钎焊时，将装配好的焊件及少量镁块放入钎焊炉中。
- 3) 当炉中真空度抽到  $6.67 \times 10^{-2} \text{Pa}$  后，调节真空炉的针阀，通入  $13.33 \text{Pa}$  压力的流动氩气，并开始加热。
- 4) 当加热温度到达 550℃，关闭氩气。并把炉中真空度提高到  $1.33 \times 10^{-2} \text{Pa}$  以上。

5) 焊件到达钎焊温度 610~615℃后，保温 5min。然后停止加热，并通入氩气，加速焊件冷却。

6) 待炉温冷到 100℃以下，打开炉门取出焊件。

7) 钎焊焊接参数如图 7-15 所示。在升温过程中通入低压力的氩气可防止镁金属的过早蒸发。接近钎焊

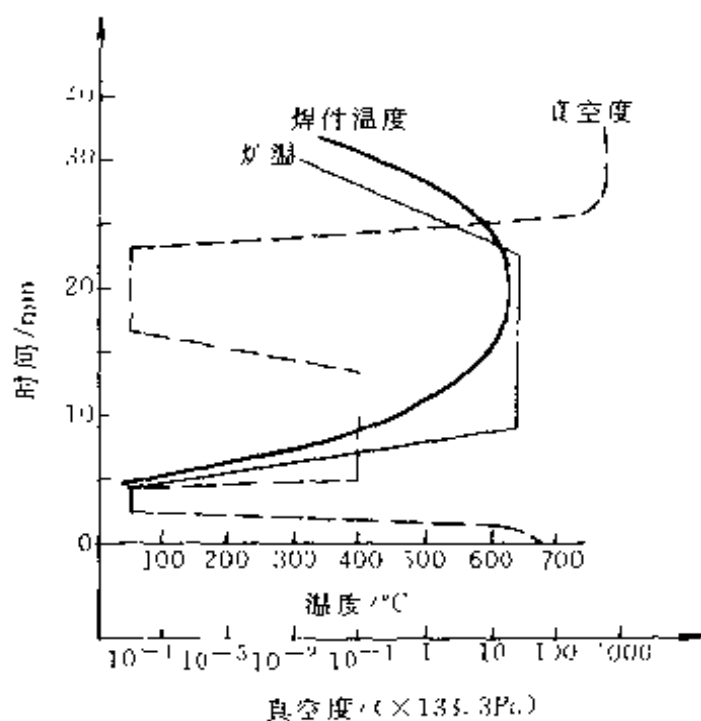


图 7-15 铝零件真空钎焊焊接参数

温度后，抽成高真空可最有效地发挥镁蒸气的作用。

## 四、钛-钢零件氩气炉中钎焊

对于钛与异种金属的连接，钎焊是主要的工艺方法。通常采用真空或氩气保护气氛中钎焊，此时可不使用钎剂。特别是氩气气氛炉中钎焊，设备简单。

钛-钢环钎焊结构如图 7-16 所示。上环为纯钛 TA2，下环为 Q235 钢。钛环加工凹槽，钢环加工凸台，两环要求有适当配合。

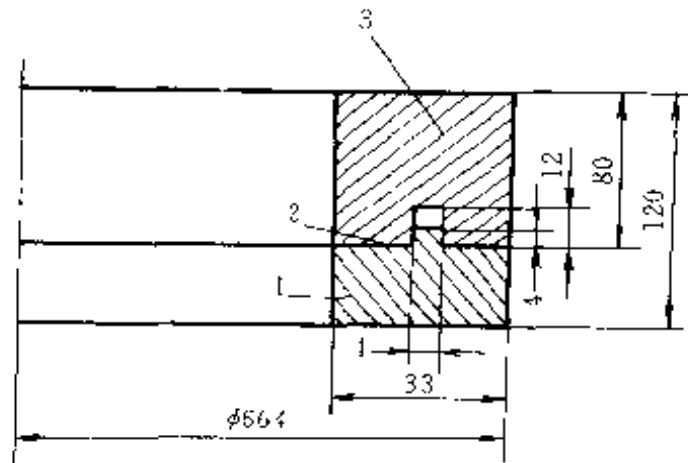


图 7-16 钛-钢环钎焊结构示意图

1—钢环 2—钎缝 3—钛环

## 1. 钎焊前的准备

- 1) 清除零件的边角毛刺及表面氧化物。
- 2) 用丙酮清洗除油。
- 3) 在凸台旁垫两层 0.10mm 厚的箔片钎料，以控制凸台和凹槽之间的间隙。将  $\phi 4$ mm 丝状钎料放置在凸台上，装配后以夹具夹紧。所用钎料为 HL313 银基钎料。

## 2. 钎焊工艺过程

- 1) 钎焊装置为砂封的充氩箱（如图 7-17 所示）。充氩箱由进气管、出气管及箱体组成，箱体上有两层盖板及砂封槽。

加热炉为 H-75 型箱式电炉，功率为 75kW。

- 2) 焊件装入充氩箱后，预充氩气 45~60min。以便排除箱内空气。
- 3) 将充氩箱放入炉温保持在 900℃ 的箱式电炉内加热。
- 4) 焊件达到钎焊温度 800~830℃ 后，保温 20min。
- 5) 充氩箱出炉后，降温至 200℃ 以下停止通氩。
- 6) 打开充氩箱取出焊件。

## 3. 接头性能

上述钛-钢钎焊接头的抗切强度为 98MPa，并且通过 0.05MPa 氩渗漏检验。

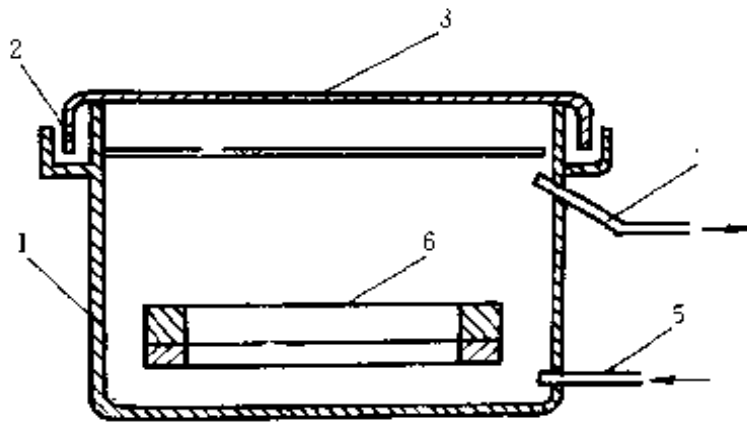


图 7 17 充氩箱结构图

- 1--箱体 2--砂封槽 3--顶盖 4--氩气出口  
5--氩气进口 6--焊件

# 第八章 电 阻 焊

## 第一节 概 述

焊件组合后通过电极施加压力，利用电流通过接头的接触面及邻近区域产生的电阻热进行焊接的方法称为电阻焊。电阻焊具有生产率高、成本低、节省材料、易于自动化等特点，因此广泛应用于航空、航天、能源、电子、汽车、轻工等各工业部门，是重要的焊接工艺之一。

### 一、电阻焊的特点

1) 电阻焊是利用焊件内部产生的电阻热，由高温区向低温区传导，加热及熔化金属，实现焊接的。它属于内部分布能源。

2) 电阻焊的焊缝是在压力下凝固或聚合结晶，属于压焊范畴，具有锻压特征。

3) 由于焊接热量集中，加热时间短，所以热影响区小，焊接变形与应力也较小。所以，通常焊后不需要校正及热处理。

4) 通常不需要焊条、焊丝、焊剂、保护气体等焊接材料，焊接成本低。

5) 电阻焊的熔核始终被固体金属包围，熔化金属与空气隔绝，焊接冶金过程比较简单。

6) 操作简单，易于实现机械化与自动化，劳动条件较好。

7) 生产率高，可与其它工序一起安排在组装焊接生产线上。但是闪光焊因有火花喷溅，尚需隔离。

8) 由于电阻焊设备功率大，机械化、自动化程度较高，使得设备的一次投资大，维修困难。而且常用的大功率单相交流焊机不利于电网的正常运行。

9) 点、缝焊的搭接接头不仅增加构件的质量，而且使接头的抗拉强度及疲劳强度降低。

10) 电阻焊质量,目前还缺乏可靠的无损检测方法,只能靠工艺试样、破坏性试验来检查,以及靠各种监控技术来保证。

## 二、电阻焊的分类

电阻焊的种类较多,常见分类方法如下:

1) 按工艺方法分类,有电阻点焊、缝焊、凸焊、电阻对焊四种,具体分类如图 8-1 及表 8-1 所示。

2) 按电源种类分类,有交流电源电阻焊、二次整流电阻焊、脉冲电源电阻焊三种,具体分类如图 8-2 所示。

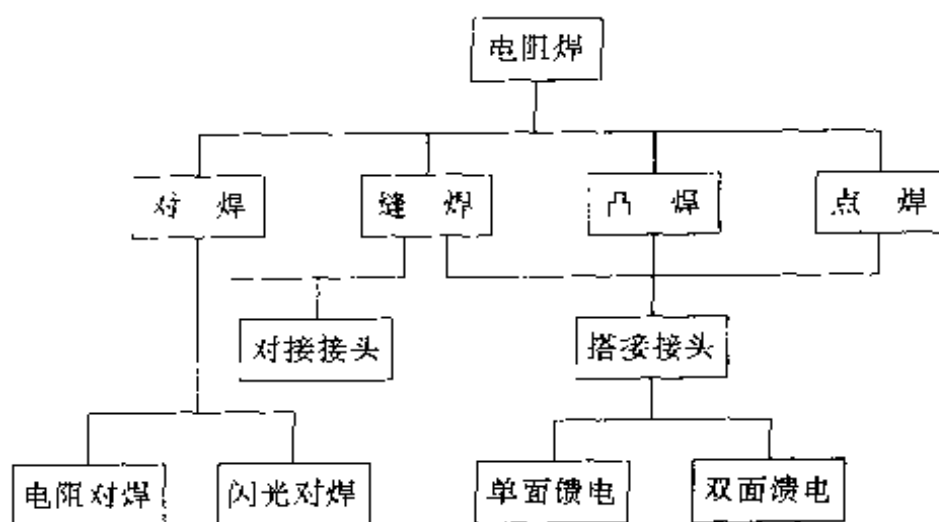


图 8-1 按工艺方法分的电阻焊种类

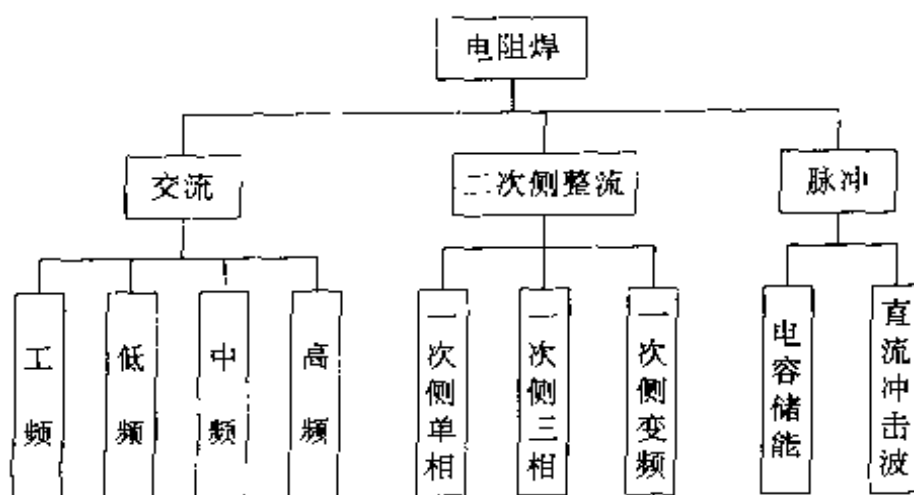
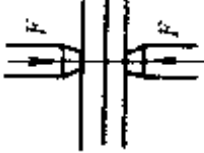

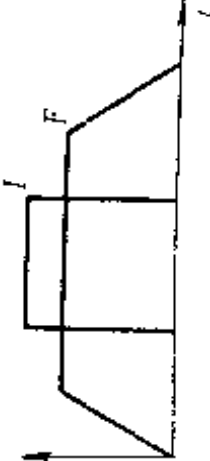
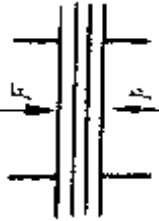

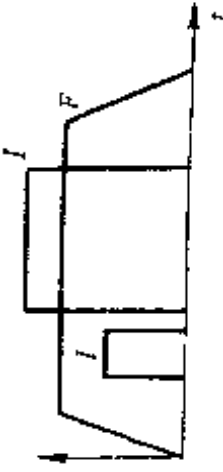


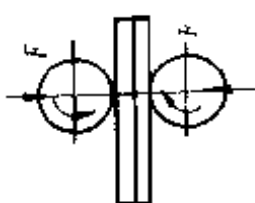

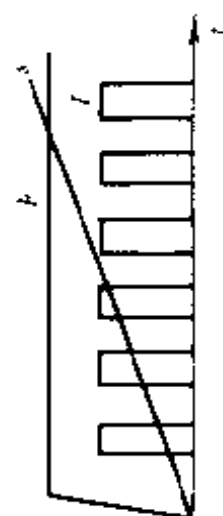
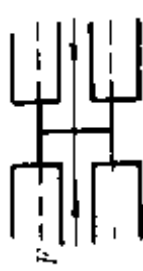
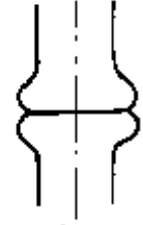

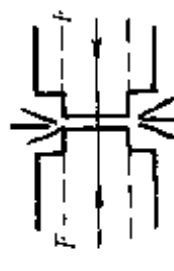
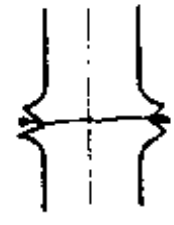
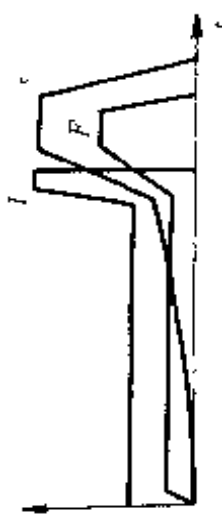
图 8-2 按电源种类分的电阻焊种类



表 8-1 电阻焊种类及特征

种 类	示 意 图	接 头 剖 面	基 本 时 序
点 焊			
凸 焊			

(续)

种 类	示 意 图	接 头 剖 面	基 本 时 序
缝 焊			
电 阻 对 焊			
闪 光 对 焊			

注:  $F$ —压力,  $I$ —电流,  $s$ —位移。

点焊是焊件装配成搭接接头,并压紧在两电极之间,利用电阻热熔化固体金属,形成焊点的电阻焊方法。点焊时焊件只在很小的接触面积上被焊接起来,形成扁球状的熔核。点焊可分为单点焊及多点焊两种。在多点焊时,需使用两对以上的电极,并且在同一工序内形成多个熔核。

缝焊是焊件装配成搭接或对接接头并置于两滚轮电极之间,滚轮加压焊件并转动,连续或断续送电,形成一条连续焊缝的电阻焊方法。缝焊时焊件在两个滚轮电极间通过后,形成由许多焊点前后搭接而成的一条连续焊缝。缝焊类似于点焊,实质上是许多焊点有规律地搭接。

凸焊是点焊的一种变型。它是在一焊件的贴合面上预先加工出一个或多个突起点,使其与另一工件表面相接触并通电加热,然后压塌,使这些接触点形成焊点的电阻焊方法。凸焊时可在接头处形成一个或多个熔核。

对焊是将焊件装配成对接接头,使其端面紧密接触,利用电阻热加热至塑性状态,然后迅速施加顶锻力完成焊接的方法。对焊时,两个焊件端面相接触,经过电阻加热及加压使整个接触面被焊接起来。可分为电阻对焊及闪光对焊两种形式。

## 第二节 点 焊

### 一、点焊过程

点焊过程可以分为三个阶段:焊件在电极之间预先加压、将焊接部位加热到所需温度、焊接部位在电极压力作用下冷却。

#### 1. 加压阶段

加压阶段的作用是使焊件的焊接部位形成紧密的接触点。所以电极压力应在焊接电流接通以前即应达到焊接参数规定的数值。否则,如电流闭合瞬间的电极压力不够大,则接触电阻就很大。于是在接触电阻处产生很多热量,造成金属熔化,产生初期飞溅。这样,焊件与电极都可能被烧坏。点焊时电流与电极压力的变化如图 8-3 所示。

#### 2. 加热阶段

加热阶段的时间很短,而且加热的不均匀性很大。由于中间金属柱

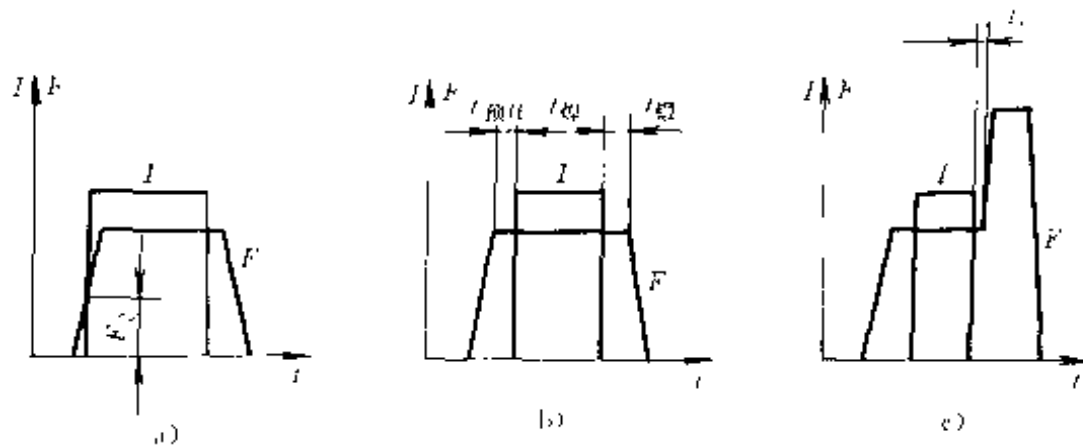


图 8-3 点焊时电流  $I$  及电极压力  $F$  的变化

a) 电流过早接通 b) 正常情况 c) 采用锻压力

部位的电流密度最大，所以加热最为强烈。在电阻热及电极的冷却作用下，使焊点的核心（图 8-4 的网格线部分）加热最快。焊点核心的金属熔化、结晶后，在两个焊件之间形成了牢固的结合。核心内的熔化金属被塑性金属环包围，如果这个环不够紧密，就会造成液体金属外溢，形成飞溅。在正常情

况下熔核直径  $d_m$  与板厚  $\delta$  有如下关系：

$$d_m = 2\delta + 3$$

$\delta$  指两焊件中薄件的厚度。

在电极压力  $F$  的作用下，焊件表面形成凹陷，其深度应当满足  $h = 0.1 \sim 0.15\delta$ 。当焊点核心金属溢出较多时，凹陷深度增大。焊点的熔透率  $A = \frac{h}{\delta} \times 100\%$ 。

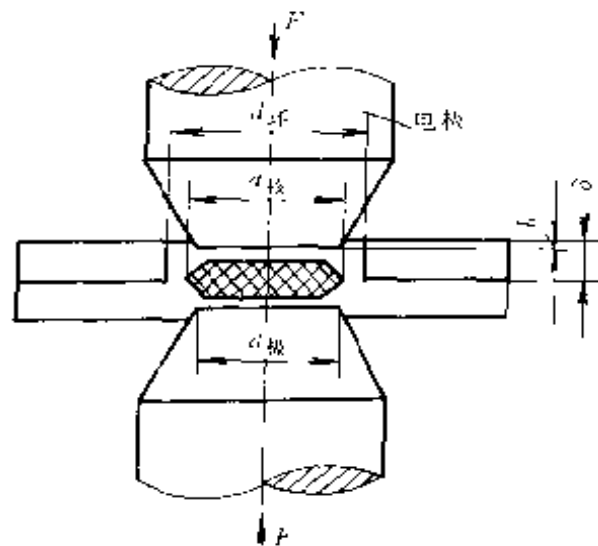


图 8-4 焊点的示意图

### 3. 冷却结晶阶段

冷却结晶阶段,又称锻压阶段。熔核是在电极压力作用下冷却结晶的。结晶始于熔核周界的半熔化晶粒,以枝晶形式沿着与散热相反的方向生长。熔核结晶是在封闭的金属模内进行的,所以不能自由收缩。电极的挤压可使正在结晶的金属变得致密,不致产生缩孔及裂纹。因此,电极压力在焊接电流断开,熔核金属全部结晶后才能去除。对于1~8mm厚的钢板,锻压时间为0.1~2.5s。焊接较厚焊件时( $\geq 1.5\text{mm}$ 的铝合金、 $\geq 5\text{mm}$ 的钢板),在切断焊接电流后经间歇时间 $t_1=0\sim 0.2\text{s}$ 后加大锻压力,如图8-3c所示。

## 二、点焊工艺

### 1. 接头形式

最常见的点焊接头形式如图8-5所示。圆棒的点焊也比较常用,接头形式如图8-6所示。在重要结构上,同时进行点焊的焊件数目尽量不要超过2件。因为焊件数目增加,造成电流的分流严重,致使焊点的强度

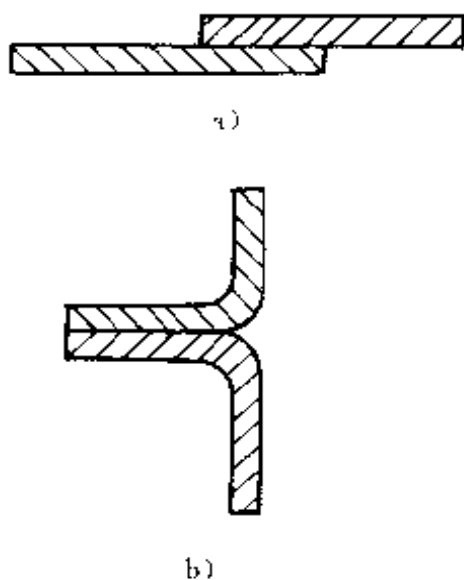


图 8-5 点焊接头形式

a) 搭接 b) 卷边接

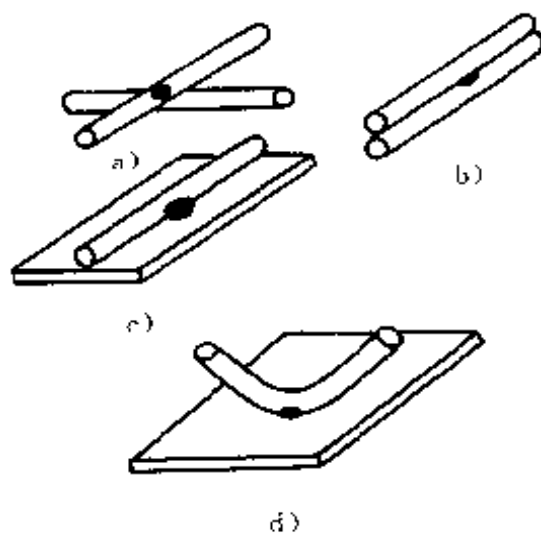


图 8-6 圆棒的点焊接头形式

a)、b) 圆棒与圆棒点焊  
c)、d) 圆棒与板材点焊

不稳定。当焊件的板厚之比在 1:3 范围之内时,能够成功地实现点焊。

焊点的布置受分流和变形条件的限制。当焊件厚度增大时,允许的最小节距和从焊点中心到焊件边缘(或阻碍焊件变形的构件)的距离都相应增大。表 8-2 列出了结构钢点焊时焊点的布置尺寸。对于电阻率较大的材料,例如奥氏体钢,焊点的最小节距应再增大 25%~30%。

表 8-2 结构钢点焊时焊点的布置尺寸

焊件厚度 /mm	最小节距 /mm		从焊点中心到 肋条或折边的 最小距离 /mm	从焊点中心到焊 件边缘的最小 距离/mm
	2 焊件 重叠	3 焊件 重叠		
1	12	20	8	6
2	18	30	12	9
3	25	40	18	10
4	36	50	25	12
6	50	80	30	15

在特殊的点焊装备上能顺利地焊接形状复杂的点焊结构。但是在通用焊机及简单夹具上点焊时,点焊结构应当注意以下几点:

1) 点焊时伸入焊机回路内的铁磁体焊件或夹具的断面积应尽可能小,并且在焊接过程中不能剧烈地变化。因为回路内的铁磁体能使回路阻抗增大,造成焊接电流减小。

2) 尽可能采用具有强烈水冷的通用电极进行点焊。

3) 焊点与焊件边缘的距离不应太小;焊点不应布置在难以进行形变的部位。

## 2. 焊前表面清理

(1) 机械清理 采用旋转钢丝刷、金刚砂毡轮抛光等。也可采用喷砂、喷丸处理。

(2) 化学清理 包括去油、酸洗、钝化等。化学清理时,零件不应有搭接缝或其它缝隙,以免因腐蚀液冲洗不净而受腐蚀。电解抛光可用于板厚 $<0.5\text{mm}$ 的不锈钢件、质量稳定。化学清理腐蚀液成分及工艺见表 8-3。

表 8-3 化学清理腐蚀液成分及工艺

焊件	溶液成分及温度	中和溶液
冷轧低合金钢	(除油用) 工业用磷酸三钠 $\text{Na}_3\text{PO}_4$ 50kg/m <sup>3</sup> 煅烧苏打 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 25kg/m <sup>3</sup> 苛性钠 $\text{NaOH}$ 10kg/m <sup>3</sup> 温度 60~70℃	先在 70~80℃ 热水,后在冷水中冲净
	(酸洗用) 硫酸 $\text{H}_2\text{SO}_4$ 0.11m <sup>3</sup> 氯化钠 $\text{NaCl}$ 10kg KCl 填充剂 1kg 温度 50~60℃	常温下在 50~70kg/m <sup>3</sup> 氢氧化钠或氢氧化钾溶液中中和
热轧低合金钢、不锈钢、耐热钢及高温合金	(酸洗用) 硫酸 $\text{H}_2\text{SO}_4$ 0.085m <sup>3</sup> 盐酸 $\text{HCl}$ 0.215m <sup>3</sup> 硝酸 $\text{HNO}_3$ 0.01m <sup>3</sup> 温度 50~60℃	先在 60~70℃ 质量分数为 10% 的 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 溶液,后在冷水中冲净
带氧化膜的钛合金	(酸洗用) 盐酸 $\text{HCl}$ 0.35m <sup>3</sup> 硝酸 $\text{HNO}_3$ 0.06m <sup>3</sup> 氟化钠 $\text{NaF}$ 50kg 温度 40~50℃	在 40~50℃ 热水中冲净
黄铜、青铜	(去油用) 苛性钠 $\text{NaOH}$ 15kg 碳酸钠 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 15kg 磷酸三钠 $\text{Na}_3\text{PO}_4$ 15kg 温度 40~50℃	先在 40~50℃ 热水,后在冷水中冲净
	(酸洗用) 硫酸 $\text{H}_2\text{SO}_4$ 0.1m <sup>3</sup> 盐酸 $\text{HCl}$ 0.001m <sup>3</sup> 硝酸 $\text{HNO}_3$ 0.075m <sup>3</sup> 室温	室温下在 50~70kg/m <sup>3</sup> $\text{NaOH}$ 或 $\text{KOH}$ 溶液中中和

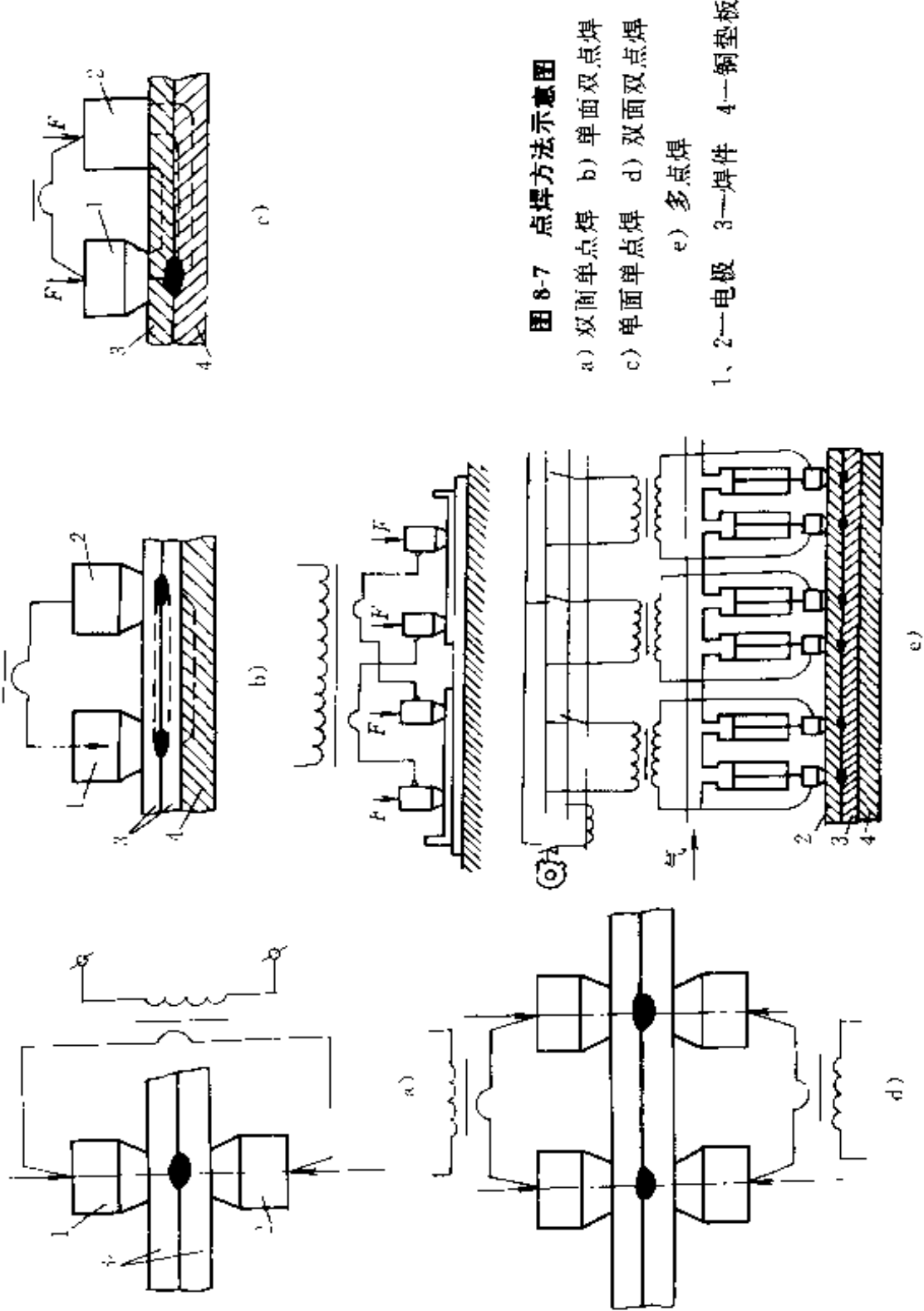


图 8-7 点焊方法示意图

- a) 双面单点焊
- b) 单面双点焊
- c) 单面单点焊
- d) 双面双点焊
- e) 多点焊

1、2—电极 3—焊件 4—钢垫板



清理后的焊件存放时间不可太长。一般铝合金清理后的存放时间应 $<96\text{h}$ 。

### 3. 点焊方法分类

点焊方法示意图如图 8-7 所示。按照电极馈电方向和在一个点焊循环中所形成的焊点个数，点焊方法可以分为以下几种：

(1) 双面单点焊 这种方法(图 8-7a)能对焊件施加足够大的电极压力。焊接电流集中通过焊接区，因而可减小焊件的受热体积。

(2) 单面双点焊 如图 8-7b 所示，同时可焊成两个焊点，生产率高。可方便地焊接尺寸大、形状复杂的焊件。易于保证焊件的一个表面光滑、无电极压痕。

(3) 单面单点焊 如图 8-7c 所示，其中一个电极工作面的尺寸很大，仅起导电块作用。这种方法适用于不能采用双面点焊的结构。

(4) 双面双点焊 如图 8-7d 所示，由两台焊接变压器分别对焊件上、下两面的成对电极供电。两台变压器的接线方向，应保证上、下对准电极在焊接时间内极性相反。上、下两变压器的二次电压成顺向串联，形成单一的焊接回路。一次点焊循环中同时焊成两个焊点。主要用于厚度较大，质量要求高的大型焊件。

(5) 多点焊 如图 8-7e 所示，这是一次可以焊出多个焊点的方法。通常采用数组单面双点焊组合起来。也有的采用数组双面单点焊或双面双点焊组成。由于这种方法生产率高，在汽车制造工业等大量生产中得到了广泛应用。

### 4. 点焊焊接参数

对于电极力不变的单脉冲点焊，其焊接参数包括焊接电流、焊接通电时间、电极压力、电极工作端面的形状及尺寸等。

## 三、常用金属材料的点焊

### 1. 低碳钢的点焊

交流点焊机通常用于 0.25~6.0mm 厚的冷轧、热轧钢板，在此范围以外的板材需采用特殊点焊机。

表 8-4 列出了厚度为 0.5~3.2mm 的低碳钢点焊焊接参数。

表 8-5 列出了厚度为 3~8mm 低碳钢单点焊的焊接参数(使用容

表 8-4 低碳钢板点焊的焊接参数

参数类别	板厚 mm	电极直径 mm	焊接通电 时间, 周	电极压力 /N	焊接电流 /kA	熔核直径 /mm	抗切力 /N
最佳 参数	0.5	φ1.8	6	1350	6	4.3	2400
	0.8	φ1.8	8	1900	7.8	5.3	4400
	1.0	φ6.4	10	2250	8.8	5.8	6100
	1.2	φ6.4	12	2700	9.8	6.2	7800
	2.0	φ8.0	20	1700	13.3	7.5	14500
	3.2	φ9.5	32	8200	17.4	10.3	31000
中等 参数	0.5	φ1.8	11	900	5	4.0	2100
	0.8	φ1.8	15	1250	6.5	4.8	4000
	1.0	φ6.4	20	1500	7.2	5.4	5400
	1.2	φ6.4	23	1750	7.7	5.8	6800
	2.0	φ8.0	36	3000	10.3	7.6	13700
	3.2	φ9.2	60	5000	12.9	9.9	28500
一般 参数	0.5	φ1.8	24	450	4	3.6	1750
	0.8	φ1.8	30	600	5	4.6	3550
	1.0	φ6.4	36	750	5.6	5.3	5300
	1.2	φ6.4	40	850	6.1	5.5	6500
	2.0	φ8.0	64	1500	8.0	7.1	13050
	3.2	φ9.2	105	2600	10.0	9.4	26600

注：存在分流时，焊接电流相应增大。

量 >150kVA、有多脉冲时间调节器的点焊机)。

## 2. 低合金钢的点焊

点焊低合金钢通常采用以下三种工艺方法：

(1) 软参数焊接 减小熔核凝固速度，防止形成裂纹。降低冷却速度，以提高焊点的塑性。这种方法的焊接通电时间是焊接同厚度低碳钢板的 3~4 倍。30CrMnSiA、40CrNiMoA 及 45 钢的单脉冲点焊焊接参数见表 8-6。

表 8 5 低碳钢采用 2 组 A 类电极多脉冲单点焊的焊接参数

板厚 mm		电极直径 mm	电极压力 kN	焊接电流 kA	焊接脉冲数		单点抗 剪力 kN	
					单点	下列中心距 (mm) 的焊点		
$\delta_1$	$\delta_2$					25~50	50~100	
3	3	$\phi 11$	8.2	16	3	5	4	20
3	5	$\phi 11$	8.2	16	3	5	4	20
3	6	$\phi 11$	8.2	16	3	5	4	20
5	5	$\phi 13$	8.9	19	6	18	12	45
5	6	$\phi 13$	8.9	19	6	18	12	45
5	8	$\phi 13$	8.9	19	6	18	12	45
6	6	$\phi 14$	9.2	21	10	20	15	67
6	8	$\phi 14$	9.2	21	10	20	15	67
8	8	$\phi 16$	11.0	25	13	27	20	91

注: 1. 球面电极半径  $R200\text{mm}$ , 圆锥电极锥度  $160^\circ$ 。  
2. 加热时每 一脉冲通电 18 周, 间隔 5 周。

表 8-6 30CrMnSiA、40CrNiMoA 及 45 钢的  
单脉冲点焊焊接参数

板厚 /mm	焊接电流 kA	焊接通电时间 s	电极压力 N	电极直径 mm
0.5	2.5~4.0	0.5~0.7	300~500	3.5~4
0.8	3.0~5.0	0.6~0.8	500~800	4~4.5
1.0	4.0~6.0	0.8~1.2	700~1000	5~6
1.5	5.0~7.0	1.0~1.5	1200~1800	6~7
2.0	6.0~8.0	1.4~2.0	2000~3000	7~9
3.0	9.0~12.0	2.0~2.5	3500~5000	9~10

(2) 双脉冲参数 采用这种方法可使熔核在凝固时受到补充加热, 从而降低了凝固速度, 增强了电极压力的压实效果, 防止了裂纹的产生。表 8-7 列出了两次脉冲时间相等的双脉冲点焊焊接参数。

表 8-7 30CrMnSiA 钢的双脉冲点焊焊接参数

板厚 /mm	第一脉冲		脉冲间歇 时间/s	第二脉冲		电极压力 /N	电极直径 mm
	焊接电流 /kA	延时 /s		焊接电流 /kA	延时 /s		
2	8	0.3	0.02~0.04	6	0.3	3000	7
2.5	9	0.4	0.02~0.04	6	0.4	4000	8
3	10	0.4	0.04~0.06	7	0.4	5000	10
3.5	12	0.5	0.04~0.06	9	0.5	8000	12

表 8-8 30CrMnSiA、40CrNiMoA 及 45 钢的电极间热处理  
双脉冲点焊焊接参数

板厚 mm	第一脉冲		脉冲间歇 时间/s	第二脉冲		电极压力 /N	电极直径 /mm
	焊接电流 /kA	延时 /s		焊接电流 /kA	延时 /s		
0.8	5	0.5	0.25	2.5	0.5	600	4~5
1.0	6	0.6	0.20	3.0	0.6	800	5~6
1.2	7	0.8	0.25	3.5	0.8	1000	6~7
1.5	8	1.0	0.30	4.0	1.0	1400	6~7
2.0	9	1.4	0.40	4.5	1.4	2000	7~9
2.5	10.5	1.6	0.45	5.0	1.6	3000	8~10
3.0	12	2.0	0.50	6.0	2.0	4000	9~10

(3) 电极间热处理的点焊 这种方法是采用双脉冲焊接参数，而且两个脉冲之间的间歇时间较长。使第一次加热后的焊点温度能降低到马氏体转变温度以下，产生淬火。第二脉冲的电流约为第一脉冲的 50%，使再次加热时的焊点温度低于重结晶温度而超过马氏体转变温度，以产生回火效应，使焊点的塑性提高。表 8-8 是 30CrMnSiA、40CrNiMoA 及 45 钢的电极间热处理双脉冲点焊焊接参数。

点焊厚度  $> 2\text{mm}$  和易淬火的低合金钢，最好采用三脉冲参数。三个脉冲的电流各不相同，并且第二与第一脉冲间的间歇时间较短，这样

可降低熔化金属的凝固速度。第二、三脉冲间的间歇时间较长，用来对焊点进行热处理，称为回火脉冲。

3. 不锈钢的点焊

不锈钢的电导率低，仅为低碳钢的 1/5~1/6，其热导率也低，是低碳钢的 1/3。所以，可采用小电流或短时间点焊。

奥氏体不锈钢点焊焊接参数见表 8-9。

奥氏体不锈钢多脉冲点焊焊接参数见表 8-10。

表 8-9 奥氏体不锈钢点焊焊接参数（单相、交流）

板厚 /mm	电极直径/mm		电极 压力 /N	焊接电流/kA		焊接 时间 /周	焊点最 小间距 /mm
	<i>d</i>	<i>D</i>		$\sigma_b \leq 1050 \text{MPa}$	$\sigma_b > 1050 \text{MPa}$		
0.3	2.8	>6	1200	2.1	2.1	3	6
1.6	4.6	>10	2200	4.7	3.6	4	11
1.0	5.6	>10	1000	7.5	6.0	6	15
1.6	6.3	>10	7000	11.5	9.0	9	25
2.0	7.0	>16	9000	13.5	11.0	11	32
3.2	9.0	>19	15500	19.0	15.5	17	50

注：*d*—电极端头直径，*D*—电极体部直径。

表 8-10 奥氏体不锈钢多脉冲点焊焊接参数

板厚 /mm	电极直径/mm		电极 压力 /N	焊接电流/kA		焊接 脉冲 数	焊点最 小间距 /mm	熔核 直径 /mm
	<i>d</i>	<i>D</i>		$\sigma_b \leq 1050 \text{MPa}$	$\sigma_b > 1050 \text{MPa}$			
4	12.5	25	18160	20.7	17.5	4	48	11
4.8	12.5	25	22700	21.5	18.5	5	51	13
5.2	16	25	25000	22.0	19.0	6	55	14
5.4	16	25	31800	22.5	20.0	7	60	15

注：每一脉冲通电时间 13 周，间断 5 周。

## 4. 高温合金的点焊

高温合金的电阻率及高温强度比不锈钢更大,点焊时可减小焊接电流,但必须增大电极压力。还应注意表面的清理。因可镍 X 点焊焊接参数见表 8-11。

高温合金 GH1033、GH3044 点焊焊接参数见表 8-12。

## 5. 铝合金的点焊

铝合金板的焊点最小间距一般大于板厚的 8 倍。表 8-13 列出了铝合金点焊最小的搭边宽度、焊点间距和排间距离。

表 8-11 因可镍 X 点焊焊接参数 (单相, 工频)

板厚 mm	电极尺寸 /mm		电极压力 /N		电流/A		时间/周				熔核 直径 /mm
	<i>D</i> 或 <i>d</i>	<i>R</i>	焊接	锻压	焊接	缓冷	焊接	冷却	缓冷	锻压	
0.5	<i>d</i> 4.8	150	3100	—	7.5	—	5	—	—	—	3.5
0.8	<i>d</i> 5.6	150	8000	—	9.9	—	7	—	—	—	4.3
1.6	<i>d</i> 8.0	250	20000	—	16.1	—	4	—	—	—	7.2
2.4	<i>D</i> 22	200	15000	30000	9.8	7.8	48	4	64	12	7.8
3.1	<i>D</i> 22	200	14000	25000	9.7	7.5	80	10	110	15	9.5

注: 1. 因可镍 X 成分 (质量分数 %): C0.05, Mn0.05, Si0.4, Cr14.6, Ni73.4, Nb1, Fe6.9, Cu0.04, Al0.7, Ti2.3。

2. *D*—电极本体直径, *d*—电极端头直径, *R*—端头球半径。

铝合金点焊焊接参数见表 8-14、表 8-15。

## 6. 钛及钛合金的点焊

钛合金点焊时采用的焊点间距和最小边缘距离见表 8-16。

钛及钛合金的点焊焊接参数见表 8-17。

## 7. 铜及铜合金的点焊

与铝合金相比,铜合金电阻率稍高而导热性稍差,所以点焊并无太大困难。厚度 $<1.5\text{mm}$ 的铜合金,尤其是低电导率的铜合金广泛应用于实际生产中。纯铜由于电导率极高,所以点焊比较困难。

黄铜点焊的焊接参数见表 8-18 和表 8-19

表 8-12 GH3044、GH4033 点焊焊接参数

板厚 /mm	焊接脉冲		间隔时间	缓冷脉冲		电极压力 /N	锻压压力 /N	锻压开始 时间/s
	电流 /A	通电时间 /s		电流 /A	通电时间/s			
0.3	5000~6000	0.14~0.20	—	—	—	4000~5000	—	—
0.5	4500~5000	0.18~0.24	—	—	—	5000~6000	—	—
0.8	5000~6000	0.22~0.34	—	—	—	6500~8000	—	—
1.0	6000~6500	0.32~0.40	—	—	—	8000~10000	—	—
1.2	6200~6800	0.38~0.48	—	—	—	10000~12000	—	—
1.5	6500~7000	0.44~0.62	—	—	—	12500~15000	—	—
2.0	7000~7500	0.58~0.76	—	—	—	15500~17500	—	—
2.5	7500~8200	0.78~0.96	—	—	—	18500~19500	—	—
3.0	8000~8800	1.0~1.3	—	—	—	20000~21500	—	—
2.0	7000~7500	0.58~0.76	0.24~0.40	5500~7000	0.50~0.66	14000~15000	—	—
2.5	7500~8200	0.78~0.96	0.30~0.46	6000~7500	0.54~0.76	15000~16000	—	—
3.0	8000~8800	1.0~1.2	0.34~0.52	6500~8000	0.6~0.8	16000~17000	—	—
1.5	6200~6800	0.7~0.8	0.06~0.1	4200~4600	0.6~0.8	11000~12500	19000~20000	0.86~1.0
2.0	6600~7200	0.8~0.9	0.10~0.12	4400~4900	1.0~1.2	13000~15000	20000~22000	1.0~1.1
2.5	7200~8000	1.1~1.2	0.12~0.16	4900~5500	1.2~1.4	14000~15000	24000~28000	1.1~1.52
2.0	7800~8600	1.24~1.42	0.16~0.24	5300~6000	1.5~1.7	16000~18000	30000~32000	1.1~1.6

表 8-13 铝合金点焊最小的搭边宽度、焊点间距和排间距离  
(mm)

板 厚	最小搭边宽度	焊点最小间距	排间最小距离
0.5	9.5	9.5	6
1.0	13	13	8
1.6	19	16	9.5
2.0	22	19	13
3.2	29	32	16

表 8-14 铝合金 LF21、LF3、LF5 点焊的焊接参数

板厚 /mm	电极球面 半径/mm	电极压力 /kN	焊接电流 /kA	焊接时间 /周	锻压压力 /kN
0.8	75	2.0~2.5	25~28	2	—
1.0	100	2.5~3.6	29~32	2	—
1.5	150	3.5~4.0	35~40	3	—
2.0	200	4.5~5.0	45~50	5	—
2.5	200	6.0~6.5	49~55	5~7	—
3.0	200	8	57~60	6~9	22

表 8-15 铝合金 LY12CZ、LC4CS 点焊的焊接参数

板厚 /mm	电极球面 半径/mm	电极压力 /kN	焊接电流 /kA	焊接时间 /周	锻压压力 /kN	锻压滞后 断电时刻 /周
0.5	75	2.3~3.1	19~26	1	3.0~3.2	0.5
0.8	100	3.2~3.5	26~36	2	5.0~8.0	0.5
1.0	100	3.6~4.0	29~36	2	8.0~9.0	0.5
1.3	100	4.0~4.2	40~46	2	10~10.5	1
1.6	150	5.0~5.9	41~51	3	13.5~14	1
1.8	200	6.8~7.3	45~50	3	15~16	1
2.0	200	7.0~9.0	50~55	5	19~19.5	1
2.3	200	8.0~10	70~75	5	23~24	1
2.5	200	8.0~11	80~85	7	25~26	1
3.0	200	1~12	90~94	8	30~32	2



表 8-16 钛合金点焊焊点边距和间距 (mm)

钛板的总厚度	最小边距	最小点距	钛板的总厚度	最小边距	最小点距
1.0~2.0	6.3	5.3	4.6~5.0	11.1	25.4
2.1~2.5	6.3	9.5	5.1~6.0	12.7	30.1
2.6~3.0	7.0	12.7	6.1~7.0	11.0	36.5
3.1~3.5	7.9	15.8	7.1~8.0	13.8	42.5
3.6~4.0	9.5	19.0	8.1~9.0	15.8	49.0
4.1~4.5	9.5	22.2	6.1~9.5	15.8	55.5

表 8-17 钛及钛合金的点焊焊接参数

材料	板材厚度 mm	焊接电流 A	通电时间 s	电极压力 N	电极/mm	
					核点 直径	球径
工业纯 钛 (TA1、 TA2、 TA3)	0.8+0.8	5700	0.1~0.15	2000~2500	4.0	50~75
	1.0+1.0	6000	0.15~0.20	2500~3000	5.0	75~100
	1.2+1.2	6500	0.20~0.25	3000~3500	5.5	75~100
	1.5+1.5	7500	0.25~0.30	3500~4000	6.0	75~100
	1.7+1.7	8000	0.25~0.30	3750~4000	6.5	75~100
	2.0+2.0	10000	0.30~0.35	4000~5000	7.0	100~150
	2.5+2.5	12000	0.30~0.40	5000~6000	8.0	100~150
	3+2	15500~16000	0.16~0.17	6800	上极 16 下极 24	上 70 下平面
	3+3	16500~17000	0.18~0.22	6800	上极 16 下极 24	上 70 下平面
钛合金 <sup>①</sup> (TC1)	0.508	5000	0.1	5440	3.81	254
	0.889	5500	0.14	2720	5.71	76.2
	1.277	8500	0.14	4080	9.11	101.6
	1.574	10600	0.08	6800	8.89	76.2
	1.600	11000	0.20	3800	8.89	250
	1.778	11500	0.24	7710	9.93	76.2
	2.360	12500	0.26	10880	10.9	76.2
	3.175	15500~16000	0.28	10430	10.79	254

① TC4 钛合金点焊用板材的厚度为两板的总厚度值。

表 8-18 黄铜 (75 : 35) 点焊的焊接参数

板厚 mm	电极压力 kN	波形调制 周	焊接时间 周	焊接电流 kA	抗切力 kN
0.8 + 0.8	3	3	6	23	1.5
0.8 + 1.6	3	3	6	23	
0.8 + 2.3	3	3	8	22	
0.8 + 3.2	3	3	10	22	
1.2 + 1.2	4	3	8	23	2.3
1.6 + 1.6	4	3	10	25	2.9
1.6 + 2.3	4.5	3	10	26	—
1.6 + 3.2	4.5	3	10	26	—
2.3 + 2.3	5	3	14	26	5.3
2.3 + 3.2	6	3	11	31	—
3.2 + 3.2	10	3	16	43	8.5





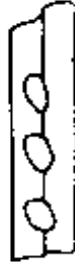
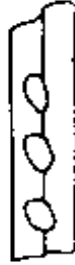
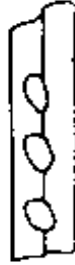

表 8-19 用复合电极点焊黄铜的焊接参数

板厚 /mm	电极压力 /kN	焊接时间 /周	焊接电流 /kA	抗切力 /kN
0.4	0.6	5	8	1
0.6	0.8	6	9	1.2
0.8	1.0	8	9.5	2
1.0	1.2	11	10	3

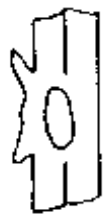



#### 四、点焊接头的质量

点焊接头质量,首先是接头应具有一定的强度,这主要取决于熔核尺寸(熔核直径及熔透率);熔核及其周围热影响区的金属组织及缺陷。点、缝焊接头的主要质量问题见表 8-20。点焊焊接结构的缺陷见表 8-21。点、缝焊时由于毛坯准备不好(例如圆角尺寸不符合要求、折边不正,即折边角度与尺寸不合要求),组合件装配质量不良、焊机电极臂刚度较差等都会造成焊接结构的缺陷,这些缺陷同样也会引起质量问题,甚至出现废品。






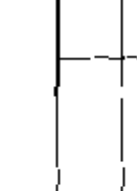

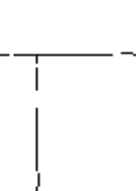

表 8-20 点、缝焊接头的主要质量问题

名称	质量问题	产生的可能原因	改进措施	简 图
熔核、焊缝尺寸缺陷	未焊透或熔核尺寸小	焊接电流小,通电时间短,电极压力过大	调整焊接参数	
		电极接触面积过大	修整电极	
	焊透率过大	表面清理不良	清理表面	
		焊接电流过大,通电时间过长,电极压力不足,缝焊速度过快	调整焊接参数	
重叠量不够(缝焊)	重叠量不够(缝焊)	电极冷却条件差	加强冷却,更换导热好的电极材料	
		焊接电流小,脉冲持续时间短,间隔时间长	调整焊接参数	
	焊点间距不当,缝焊速度过快	调整焊接参数		
外部缺陷	焊点压痕过深及表面过热	电极接触面积过小	修整电极	
		焊接电流过大,通电时间过长,电极压力不足	调整焊接参数	
		电极冷却条件差	加强冷却	







(续)

名称	质量问题	产生的可能原因	改进措施	简 图
外 部 缺 陷	表面局部烧穿、溢 出、表面飞溅	电极修整得太尖锐	修整电极	
		电极或焊件表面有异物	清理表面	
		电极压力不足或电极与焊件虚接触	提高电极压力、调整行程	
	表面压痕形状及 波纹度不均匀(缝 焊)	缝焊速度过快,滚轮电极过热	调整焊接速度,加强冷却	
		电极表面形状不正确或磨损不均匀	修整滚轮电极	
		焊件与滚轮电极相互倾斜	检查机头刚度,调整滚轮电极倾角	
		焊接速度过快或焊接参数不稳定	调整焊接速度,检查控制装置	
	焊点表面径向裂 纹	电极压力不足,顶锻力不足或加 得不及时	调整焊接参数	
		电极冷却作用差	加强冷却	
	焊点表面环形裂 纹	焊接时间过长	调整焊接参数	






(续)

名称	质量问题	产生的可能原因	改进措施	简 图	
外部缺陷	焊点表面粘损	电极材料选择不当	调换合适电极材料		
		电极端面倾斜	修整电极		
	焊点表面发黑,包 覆层破坏	电极、焊件表面清理不良	清理表面		
		焊接电流过大,焊接时间过长, 电极压力不足	调整焊接参数		
		边距过小	改进接头设计		
	接头边缘压溃或 开裂	大尾飞溅	调整焊接参数		
		电极未对中	调整电极同轴度		
	焊点脱开	焊件刚度大且装配不良	调整板件间隙,注意装配;调整 焊接参数		
	内部缺陷	裂纹、疏松、缩孔	焊接时间过长,电极压力不足, 顶锻力加得及时	调整焊接参数	

(续)

名称	质量问题	产生的可能原因	改进措施	简 图	
内 部 缺 陷	裂纹、缩松、缩孔	熔核及近缝区淬硬	选用合适的焊接循环		
		大量飞溅	清理表面,增大电极压力		
		焊接速度过快	调整焊接速度		
	核心偏移	热场分布对贴合面不对称	调整热平衡(不等电极端面,不同电极材料,改为凸焊等)		
			表面氧化膜清除不净	高熔点氧化膜应严格清除并防止焊前的再氧化	
	结合线伸入板缝间有金属溢出(内部飞溅)	板间有异物或贴合不紧密	焊接电流过大、电极压力不足	调整焊接参数	
			板间有异物或贴合不紧密	清理表面、提高压力或用调幅电流波形	
			边距过小	改进接头设计	

(续)

名称	质量问题	产生的可能原因	改进措施	简 图
	脆性接头	熔核及近缝区淬硬	采用合适的焊接循环	
	熔核成分宏观偏析(旋流)	焊接时间短	调整焊接参数	
	环形层状花纹(洋葱环)	焊接时间过长	调整焊接参数	
	气 孔	表面有异物(镀层、锈等)	清理表面	
	胡 须	耐热合金焊接参数过软	调整焊接参数	

内 部 缺 陷

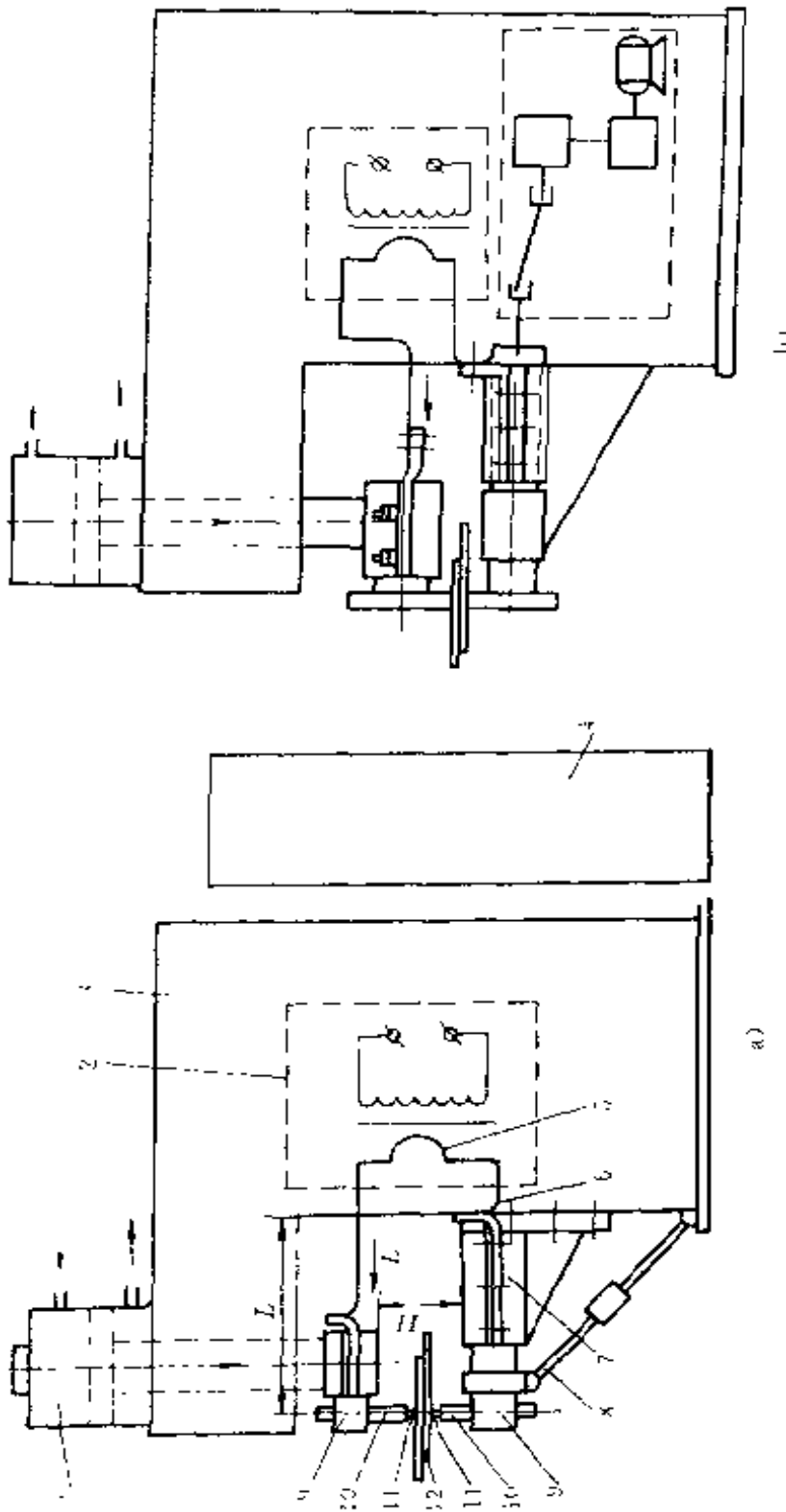


图 8-8 点焊机(a)及缝焊机(b)的简图

1—加压机构 2—焊接变压器 3—机座 4—控制箱 5—二次线圈 6—柔性母线 7—支座  
8—撑杆 9—机臂 10—电极握杆 11—电极 12—焊件



表 8 21 点焊焊接结构缺陷

缺陷种类	产生的可能原因	改进措施
焊点间板件起皱或鼓起	装配不良、板间间隙过大	精心装配、调整
	焊序不正确	采用合理焊序
	机臂刚度差	增强刚度
搭接边错移	没定位点焊或定位点焊不牢	调整定位点焊焊接参数
	定位焊点,间距过大	增加定位焊点
	夹具不能保证夹紧焊件	更换夹具
接头过分翘曲	装配不良或定位焊距离过大	精心装配、增加定位焊点数量
	参数过软、冷却不良	调整焊接参数
	焊序不正确	采用合理焊序

## 五、点焊设备

### 1. 组成

点焊机及缝焊机的简图如图 8-8 所示。点焊机的功能应当能够以一定的压力压紧焊件、并且能向焊接区传送电流。点焊机由机架、焊接变压器、加压机构、控制箱等部件组成。

### 2. 分类

- 1) 按安装方式分为:固定式、移动式、轻便式(悬挂式)。
- 2) 按焊接电流波形分为:交流型、低频型、电容储能型、直流型。
- 3) 按用途分为:通用型、专用型、特殊型。
- 4) 按加压机构传动方式分为:脚踏式、电动凸轮式、气压式、液压式、复合式等。
- 5) 按活动电极的移动方式分为:垂直行程式、圆弧行程式。
- 6) 按焊点数目分为:单点式、双点式、多点式。

### 3. 电极

点焊电极端头形状如图 8-9 所示。

电极材料主要是铜及铜合金,以及钨、钼等粉末烧结材料。根据 ISO5182—1978,电阻焊电极材料分为 A、B 两组共 14 类合金,见表 8-

表 8-22 电阻焊电极和附件的材料成分及性能

组	类	编号	名称	成分 <sup>1)</sup> (质量分数)/%	形 式	硬度 HV (300N)最小值	电导率/ (MS/m)最小值	软化温度/°C 最低值
1		1	Cu-ETP	Cu99.9 (+Ag 微量)	棒 $\geq 25\text{mm}$	85	56	130
					棒 $< 25\text{mm}$	90	56	
					锻件	50	56	
					铸件	40	50	
2		2	CuCd1	Cd0.7~1.3	棒 $\geq 25\text{mm}$	90	45	250
					棒 $< 25\text{mm}$	95	13	
					锻件	90	45	
					铸件	125	43	
A		1	CuCr1	Cr0.3~1.2	棒 $\geq 25\text{mm}$	140	43	475
					棒 $< 25\text{mm}$	100	43	
					锻件	85	43	
					铸件	130	43	
3		2	CuCr1Zr	Cr0.5~1.4 Zr0.02~0.2	棒 $\geq 25\text{mm}$	140	43	500
					棒 $< 25\text{mm}$	100	43	
					锻件	180	23	
					铸件	190	23	
		1	CuCo2Be	Co2.0~2.8 Be0.4~0.7	棒 $\geq 25\text{mm}$	180	23	475
					棒 $< 25\text{mm}$	180	23	
					锻件	180	23	
					铸件	200	18	
		2	CuNi2Si	Ni1.6~2.5 Si0.5~0.8	棒 $\geq 25\text{mm}$	200	17	500
					棒 $< 25\text{mm}$	168	19	
					锻件	158	17	
					铸件			

(续)

组	类	编号	名称	成分 <sup>①</sup> (质量分数), %	形 式	硬度 HV (300N)最小值	电导率, (MS·m)最小值	软化温度/℃ 最低值		
A		1	CuNi1P	Ni0.8~1.2 P0.16~0.25	棒≥25mm	130	29	175		
					棒<25mm	140	29			
					锻件	130	29			
A		2	CuBe2CoNi	Be1.8~2.1 Co, Ni, Fe 各0.2~0.6	棒≥25mm	350	12	300		
					棒<25mm	350	12			
					锻件	350	12			
					铸件	350	12			
A		3	CuAg6	Ag6~7	锻件<25mm	140	40	400		
					铸件25~50mm	120	40			
B		1	CuAl10Fe5Ni5	Al8.5~11.5 Fe2.0~6.0 Ni±.0~6.0 Mn0~2.0	锻件	170	4	650		
					铸件	170	4			
					W75Cu	Cu25	220		17	1000
					W78Cu	Cu22	240		16	
					WC70Cu	Cu30	300		12	1000
					Mo	Mo99.5	150		17	
					W	W99.5	420		17	1000
					W65Ag	Ag35	140		29	

① 成分栏中未注出Cu成分的,Cu为余量。

表 8-23 电阻焊电极材料的典型用途

材料	点 焊	缝 焊	凸 焊	闪光对焊或电阻对焊	辅助设备
A1/1	焊铝电极	焊铝电极		—	无应力导电部件、叠片分路
A1/2	焊铝电极、焊镀层钢(镀锌、锡、铝、铅)电极	焊铝电极, 焊镀层钢(镀锌、锡、铝、铅)焊轮		焊低碳钢的模具或镶嵌电极	高频电阻焊或焊非铁磁金属用电极
A2/1	焊低碳钢电极、握杆、轴和衬垫材料	焊低碳钢电极	人型模具	焊碳钢、不锈钢和耐热钢用模具或镶嵌电极	有应力导电部件、电阻烧结材料的衬垫
A2/2	焊低碳钢和镀层钢电极	焊低碳钢和镀层钢电极			
A3/1	焊不锈钢和耐热钢电极, 有应力电极握杆、轴和电极臂	焊不锈钢和耐热钢焊轮、轴承衬套	模具或镶嵌电极	高文紧力下的模具或镶嵌电极	有应力导电部件
A3/2	有应力电极握杆、轴和电极臂	轴和衬套	—		有应力导电部件
A4/1	电极握杆和弯电极臂	轴和衬套	—	—	有应力导电部件
A4/2	极大机械应力下的电极握杆和轴	极大机械应力下的机臂	高电极压力下的模具和镶嵌电极	闪光焊用长模具	

(续)

材料	点 焊	缝 焊	凸 焊	闪光对焊或电阻对焊	辅助设备
A4/3	-	高热应力下焊低碳 钢电极轮	-	-	-
A4/4	电极握杆	低电力负荷下的轴 和衬套	压板和模具	-	-
B10	-	-	焊低碳钢镶嵌电极	在高应力下焊低碳 钢镶嵌电极	热铆和热压用镶嵌 电极
B11	-	-	-	-	热铆和热压用镶嵌 电极
B12	-	-	焊不锈钢镶嵌电极	焊钢材用小型模具 或镶嵌电极	热铆和热压用镶嵌 电极
B13	焊铜基高导电材料 的镶嵌电极	-	-	-	热铆和热压用镶嵌 电极、电阻钎焊用镶 嵌电极
D14	焊铜基高导电材料 的镶嵌电极	-	-	-	热铆和热压用镶嵌 电极、电阻钎焊用镶 嵌电极、钛磁材料高 频电阻焊用电极

表 8-24 固定式点焊机的型号及主要技术数据

技术数据	型号	DN-5-2	DN 10	DN 16	DN 25	DN-80	DN-100
额定容量/kVA		5	10	16	25	80	100
一次电压/V		220/380	380	220/380	380	380	380
二次电压/V		1.09~1.74	1.6~3.2	1.76~3.52	2.09~4.18	3.16~6.91	4.05~8.14
次级电压调节级数		6	8	8	8	8	16
额定负载持续率/%		20	50	50	50	50	50
电极		700		1500	6000	8000	14000
最大压力/N		15	15	20	30	20	20
工作行程/mm							
电极臂间距/mm		105	100	150	125		
电极臂有效伸长/mm		220	300	250	500	500,800,1000	500
上电极辅助行程/mm		15	20	20	20~50	20	60
冷却水消耗量/(L/h)		30	30	120	600	732	810
压缩空气		-			压力 55kPa 消耗量 600L/h	0.5MPa 5500L/h	0.55MPa 810L/h
焊件厚度/mm		1+1+1	2+2	3+3	1.5+1.5	3+3	
生产率/(点/h)		900		60	4800		
质量/kg		80	23	240	600		1950
外形尺寸 $\frac{\text{长}}{\text{mm}} \times \frac{\text{宽}}{\text{mm}} \times \frac{\text{高}}{\text{mm}}$		800×450 ×600	870×280 ×1080	1015×510 ×1090	1374×190 ×1530	2040×530 ×1885	1300×570 ×1950
用途		点焊低碳钢薄板和钢丝				点焊钢筋及尺寸较大的低碳钢板	大量或成批生产中点焊低碳钢零件

表 8-25 气压传动式点焊机的型号及主要技术数据

型 号	DN2-50	DN2 75	DN2 100	DN2 200	DN2-400	DN3 75	DN3-100
额定容量/kVA	50	75	100	200	400	75	100
一次电压/V	380	380	380	380	380	380	380
二次电压/V	2.09~4.18	3.12~6.24	3.65~7.3	4.42~8.35	5.42~10.84	3.33~6.66	3.65~7.3
二次电压调节级数	8	8	8	16	18	8	8
额定负载持续率/%	20	20	20	20	20	20	20
电极间最大压力/N	6000	6000	6600	14000	32000	4000	5500
上电极工作行程/mm	30	20	20	20	20	20	20
上电极辅助行程/mm	50	60	60	80	100	80	80
电极臂伸出长度/mm	500±50	500±50	500±50	500±50	500±50	800	800
下电极垂直调节长度/mm	100	100	100	100	150	150	150
焊接时间/s	0.02~6.0	0.035~6.75	0.02~6.0	0.02~6.0	0.02~6.0	—	—
冷却水消耗量/(L/h)	600	720	720	810	1800	400	700
压缩空气	压力/MPa	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55
	消耗量/(m <sup>3</sup> /h)	12	22	33	60	15	15
焊件	KD3 型控制箱	—	—	—	—	—	—
	低碳钢	2.5±2.5	—	—	—	—	—
厚度	KD、KD6 或 KD7	1.5+1.5	4+4	6+6	8+8	2+2	2.5+2.5
/mm	型控制箱	1.5+1.5	1.5+1.5	3+3	—	—	—
	铝合金	0.5+0.5	0.6+0.6	1.0+1.0	—	—	—
生产率/(点/min)	65	68	68	65	40	60	60
质量/kg	600	800	800	850	—	800	850
外形尺寸	长/mm	1350	1300	1300	1700	1610	1610
	宽/mm	560	570	570	685	700	700
	高/mm	1720	1950	1950	2310	1500	1500
用 途	配 KD3 型控制箱点焊低碳钢,配 KD、KD6 或 KD7 型控制箱点焊不锈钢和铝合金(根据需要选用控制箱)						
	单点焊低碳钢						

表 8-26 悬挂式点焊机的型号及主要技术数据

型 号	DN4-25-1	DN5-75	DN5-150-2	DN5-200-1
额定容量/kVA	25	75	150	200
一次电压/V	380	380	380	380
二次电压/V	3 14	9.5~19	12.6~20.8	14.5~22.8
二次电压调节级数	—	4.75~9.5	6.3~10.4	—
额定负载持续率/%	—	2×8	2×6	6
电极最大压力/N	20	20	20	20
电极工作行程/mm	3000	2000	1000	7200
电极臂间距/mm	20	30	20	60
电极臂有效伸长/mm	100	94	45、35、90	10
冷却水消耗量/(L/h)	170	125	45、90、160	175
压缩空气压力/MPa	600	600	720	62
消耗量/(m <sup>3</sup> /h)	0.5	0.5	0.55	425
钢焊件厚度/mm	1.5+1.5	1.5+1.5	1.5+1.5	164
质量/kg	25(焊钳)	370	22	800
外形尺寸 $\frac{长}{mm} \times \frac{宽}{mm} \times \frac{高}{mm}$	615×330×280	850×455×770	850×455×770	0.5
配用控制箱型号	KD2-600	KD3-600-2	KD3-600-1	10
用 途	固定式点焊机不便进行工作的大型低碳钢构件点焊	固定式点焊机不便进行工作的大型低碳钢构件点焊或建筑工地上点焊	固定式点焊机不便进行工作的大型低碳钢构件点焊	652×695×732
				KD7 500



表 8-27 专用点焊机的型号及主要技术数据

名称	触头焊机	整流子专用点焊机	蓄电池专用点焊机	变压器片式散热器专用点焊机	快速旋转点焊机
型号	DN6 25-1	DN6-1 25	DN16-25	DN17-150×2	DNK2×75
额定容量/kVA	25	25	25	150×2	2×75
一次电压/V	380	380	380	380	380
二次电压/V	1.35~2.7	1.36~2.72	1.94~3.88	3, 2.9~4.68	
二次电压调节级数	2	2	8	1	8
额定负载持续率/%	20	20	20	20	20
电极	最大压力/N	1500	11060	1-3250, 下 10	2000
	工作行程/mm	20	10		
电极臂间距/mm	-	-	-	30	10
电极臂有效伸长/mm	80	80	-	200	11(偏心位移)
电极移动距离/mm	-	-	-	300	210
冷却水消耗量/(L/h)	300	300	400	900	720×2
压缩空气	压力/MPa	0.6	0.5	5.5	5
	消耗量/(m <sup>3</sup> /h)	2	2		4×2
焊件厚度/mm	0.5+0.5	φ≤40 (电机转子)	-	1.5+1.5	200
生产率/(点/h)	3600	3600	-	2×3点/每次	1+1(08F钢)
质量/kg	160	160	-	2000	7200
	长/mm	810	1740	1760	2500
	宽/mm	470	1440	1300	3640
外形尺寸	高/mm	760	1500	2350	940
	配用控制箱型号	KD7-50	KD7-200 1	KD3 100	1435
					专用

22. 电阻焊电极材料的典型用途见表 8-23。

#### 4. 国产点焊机的型号及主要技术数据

国产点焊机的型号及主要技术数据见表 8-24、表 8-25、表 8-26、表 8-27 等。它们分别是固定式点焊机、气压传动式点焊机、悬挂式点焊机、专用点焊机等。

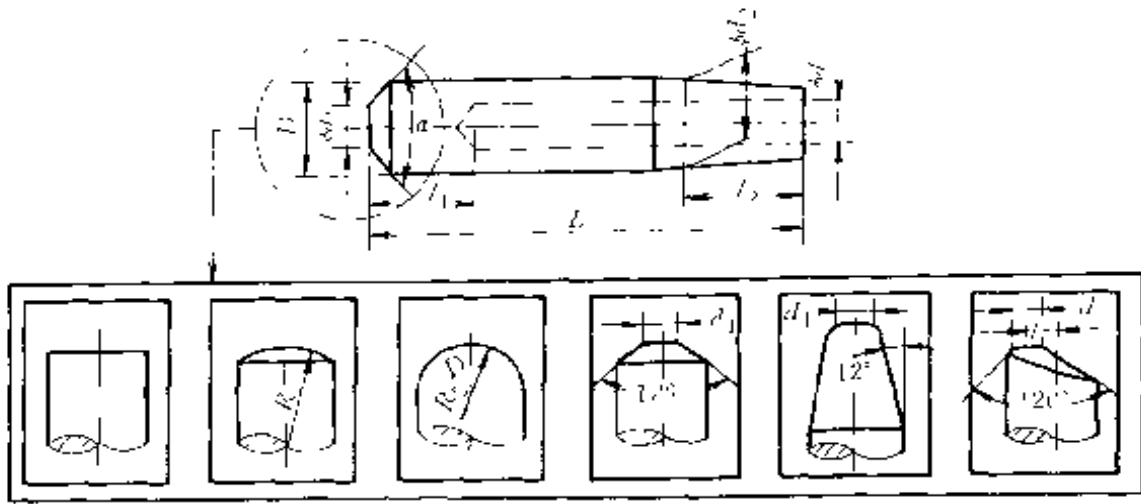


图 8-9 点焊电极端头形状

### 第三节 缝 焊

#### 一、缝焊的基本形式

##### 1. 连续缝焊

焊件在两个滚轮电极间连续移动(即滚轮连续旋转),焊接电流也连续通过。这种工艺方法滚轮容易发热及磨损,熔核附近也容易过热,焊缝下凹。

##### 2. 断续缝焊

焊件连续移动,而电流断续通过。这种情况下,滚轮有冷却的时间。应用比较广泛。但是在熔核冷却时,滚轮已一定程度地离开焊件,不能充分地挤压,致使某些金属容易产生缩孔。

##### 3. 步进缝焊

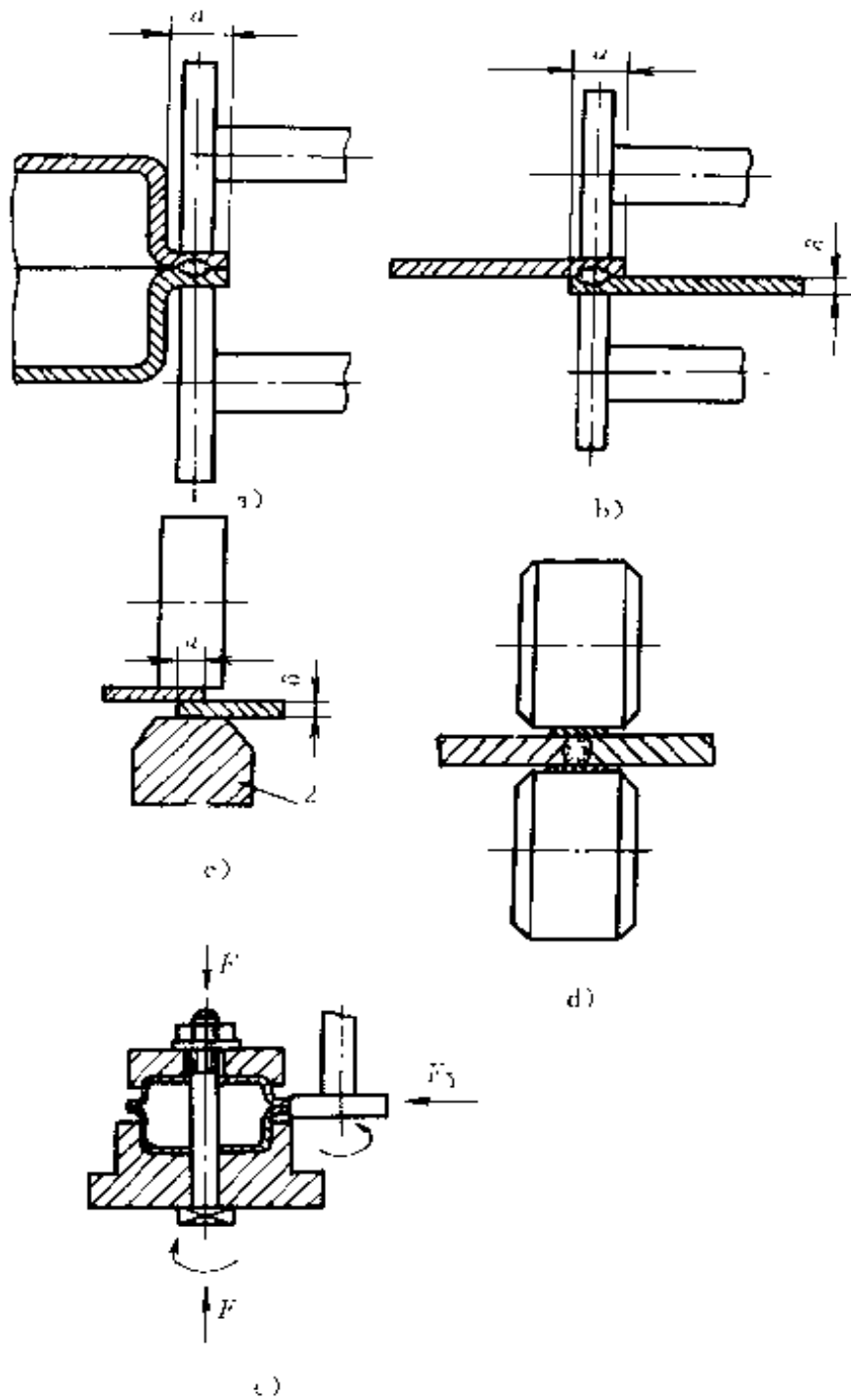


图 8 10 缝焊的接头形式

将焊件置于两滚轮电极之间,滚轮电极连续加压,间歇滚动,当滚轮停止滚动时通电,滚动时断电,交替进行的缝焊法即步进缝焊。这种缝焊法焊件断续移动(即滚轮间歇式滚动),电流在焊件静止时通过。熔核在全部结晶过程中都有顶锻力存在,所以焊缝致密。但是这种工艺需要比较复杂的机械装置。

## 二、缝焊工艺

### 1. 接头形式

最常用的缝焊接头形式是卷边接头和搭接接头,如图 8-10 所示。卷边宽度不宜过小,板厚为 1mm 时,卷边不应小于 12mm;板厚为 1.5mm 时,卷边不应小于 16mm;板厚为 2mm 时,卷边不应小于 18mm。搭接接头的应用最广,搭边长度应为 12~18mm。

滚轮工作表面如图 8-11 所示,有圆柱形和球面形。圆柱形常用于焊钢, $b=4\sim 8\text{mm}$ ;球面形用于焊轻金属。

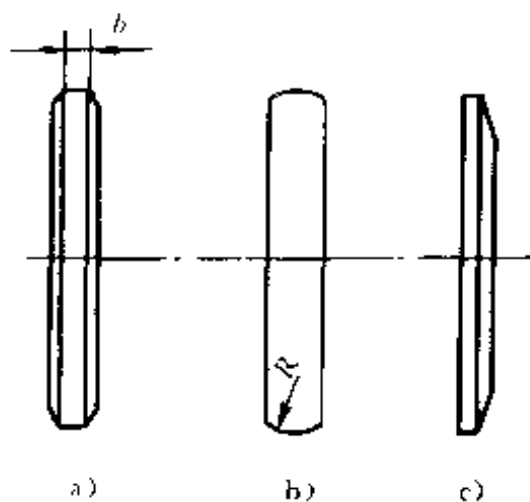


图 8-11 滚轮形状

a)、c) 圆柱形 b) 球面形

### 2. 焊前表面清理

焊前应对接头两侧附近宽约 20mm 处进行清理。清理方法参见表 8-3。

### 3. 缝焊的分类

按照接头形式可以分为以下几种：

(1) 搭接缝焊 以双面缝焊为最常见。此外,还有单面单缝缝焊、单面双缝缝焊、小直径圆周缝焊等。

(2) 压平缝焊 其搭接量比一般缝焊时要小得多,约为板厚的1~1.5倍。焊接时将接头压平,常用于食品容器和冷冻机衬套等产品的焊接。

(3) 垫箔对接缝焊 这是解决厚板缝焊的一种方法。由于板厚为3mm时,若采用常规的搭接缝焊,焊接速度很慢,焊接电流及电极压力都比较大,造成焊件表面过热及电极粘附。采用这种工艺方法时,先将焊件边缘对接,在接头通过滚轮时,不断地将两条箔带铺垫于滚轮与板件之间。由于箔带增加了焊接区的电阻,使散热困难,因而有利于熔核的形成。使用的箔带尺寸为:宽4~6mm,厚0.2~0.3mm。

(4) 铜线电极缝焊 这种工艺方法是解决镀层钢板缝焊时镀层粘在滚轮的有效方法。缝焊时,铜线不断输送到滚轮与板件之间,镀层仅粘附在铜线上,不会污染滚轮。由于这种方法焊接成本不高,主要应用于制造食品罐。如果先将铜线轧成扁平线再送入焊接区,搭接接头和压平缝焊一样。

#### 4. 缝焊焊接参数

缝焊接头的形成本质与点焊相同,所以影响焊接质量的因素也是相似的。缝焊的焊接参数有焊接电流、电极压力、焊接时间、休止时间、焊接速度、滚轮直径等。

### 三、常用金属材料的缝焊

#### 1. 低碳钢的缝焊

低碳钢薄板的缝焊焊接参数见表8-28;低碳钢压平缝焊的焊接参数见表8-29;低碳钢垫箔缝焊的焊接参数见表8-30。

#### 2. 低合金钢的缝焊

低合金钢30CrMnSiA的缝焊焊接参数见表8-31。

#### 3. 不锈钢的缝焊

不锈钢的缝焊焊接参数见表8-32。

#### 4. 镀层钢的缝焊

表 8-28 低碳钢薄板断续缝焊的焊接参数

工艺类别	每块板厚 /mm	滚轮宽度 /mm		电极压力 /N	最小搭边 /mm	焊接时间 /周		焊接速度 /(m/min)	点 数 /(点/ 10mm)	焊接 电流 /kA
		工作面	总宽			脉冲	休止			
低速 缝 焊	0.4	5	11	2200	10	3	3	1.2	5.1	8.6
	0.8	6	13	3300	12	2	4	1.1	5.7	11.7
	1.0	7	14	4000	13	2	4	1	6.0	13
	1.2	7.7	14	4700	14	3	4	0.9	5.3	14
	2.0	10	17	7200	17	6	6	0.7	3.9	16.5
	3.2	13	20	10000	22	6	6	0.6	5.2	20
中 速 缝 焊	0.4	5	11	2200	10	2	2	2.0	4.5	9.7
	0.8	6	13	3300	12	3	2	1.8	4.9	13
	1.0	7	14	4000	13	3	3	1.8	3.4	14.5
	1.2	7.7	14	4700	14	4	3	1.7	3.0	16
	2.0	10	17	7200	17	5	5	1.4	2.5	19
	3.2	13	20	10000	22	11	7	1.1	1.8	22
高 速 缝 焊	0.4	5	11	2200	10	2	1	2.8	4.2	12
	0.8	6	13	3300	12	2	1	2.6	4.6	15.5
	1.0	7	14	4000	13	2	2	2.5	3.6	18
	1.2	7.7	14	4700	14	2	2	2.4	3.7	19
	2.0	10	17	7200	17	3	1	2.2	4.2	22
	3.2	13	20	10000	22	4	2	1.7	3.4	27.5

表 8-29 低碳钢压平缝焊的焊接参数

板厚 /mm	搭接量 /mm	电极压力 /kN	焊接电流 /kA	焊接速度 /(cm/min)
0.8	1.2	4	13	320
1.2	1.8	7	16	200
2.0	2.5	11	19	140

表 8-30 低碳钢垫箔缝焊的焊接参数

板厚/mm	电极压力/kN	焊接电流/kA	焊接速度/(cm/min)
0.8	2.5	11.0	120
1.0	2.5	11.0	120
1.2	3.0	12.0	120
1.6	3.2	12.5	120
2.3	3.5	12.0	100
3.2	3.9	12.5	70
4.5	4.5	14.0	50

表 8-31 30CrMnSiA 钢缝焊的焊接参数

板厚 /mm	滚轮宽度 /mm	电极压力 /kN	焊接电流 /kA	时间/周		焊接速度 /(cm/min)
				焊接	休止	
0.8	5~6	2.5~3.0	6~8	6~7	3~5	60~80
1.0	7~8	3.0~3.5	10~12	7~8	5~7	50~70
1.2	7~8	3.5~4.0	12~15	8~9	7~9	50~70
1.5	7~9	4.0~5.0	15~17	9~10	8~10	50~60
2.0	8~9	5.5~6.5	17~20	10~12	10~13	50~60
2.5	9~11	6.5~8.0	20~24	12~15	13~15	50~60

注:滚轮直径为 150~200mm。

表 8-32 不锈钢缝焊的焊接参数

薄件 板厚 /mm	滚轮 宽度 /mm	电极 压力 /N	焊接 电流 /kA	最大焊接速度 /(m/min)		脉冲 时间 /周	休止时间 /周		最小 搭边 /mm
				厚度比 <sup>①</sup>	厚度比		厚度比	厚度比	
				1:1	1:3		1:1	1:3	
0.15	4.8	1400	1.0	1.52	1.70	2	1	1	7
0.30	6.4	2000	5.6	1.22	1.40	3	2	2	8
0.55	6.4	3200	7.9	1.46	1.40	3	2	3	10
1.0	9.5	5900	13.0	1.20	1.14	3	5	6	13
1.6	12.7	8400	15.1	1.00	1.04	4	5	8	16
2.0	15.9	10400	16.5	1.00	1.04	4	7	8	18
3.2	19.1	15000	17.0	0.97	0.94	6	7	9	22

注:1. 电极材料为 ISOA 组 3 类。

2. 球面形滚轮球半径 R 为 75mm。

① 厚度比为两块板的厚度比。

镀锌钢板、镀铝钢板、镀铅钢板的缝焊焊接参数见表 8-33、表 8-34、表 8-35。

### 5. 铝合金的缝焊

铝合金缝焊的焊接参数见表 8-36。

### 6. 工业纯钛的缝焊

TA1、TA2 的缝焊焊接参数见表 8-37。

**表 8-33 镀锌钢板缝焊的焊接参数**

每块板厚 /mm	焊接电流 /kA	焊接速度 /m/min	滚轮工作面 宽度/mm	电极压力 /N	焊接时间/周	
					脉冲	休止
0.6	16	2.5	4.5	3700	3	2
1.0	18	2.5	5.0	1300	3	2
1.6	21	2.0	6.5	5000	4	1

**表 8-34 镀铝钢板缝焊的焊接参数**

每块板厚 /mm	焊接电流 /kA	焊接速度 /m/min	滚轮工作面 宽度/mm	电极压力 /N	焊接时间/周	
					脉冲	休止
0.9	20	2.2	4.8	3800	2	2
1.2	23	1.5	5.5	5000	2	2
1.6	25	1.3	6.5	6000	3	2

**表 8-35 镀铅钢板缝焊的焊接参数**

每块板厚 /mm	焊接电流 /kA	焊接速度 /m/min	滚轮工作面 宽度/mm	电极压力 /N	焊接时间/周	
					脉冲	休止
0.8	17	1.50	7	3600~4500	3	2
	18	2.50		3600~4500	5	2
1.0	17.5	1.50	7	4200~5200	2	1
	18.5	2.50		4200~5200	5	1
1.2	18	1.50	7	4500~5500	2	1
	19	2.50		4500~5500	4	1



表 8-36 铝合金缝焊的焊接参数

板厚 /mm	滚轮球面 半径 /mm	步距 (点距) /mm	LF21、LF3、LF6			LY21CZ、LC4CS				
			电极压力 /kN	焊接时间 /周	焊接电流 /kA	每分钟 点数	电极压力 /kN	焊接时间 /周	焊接电流 /kA	每分钟 点数
1.0	100	2.5	3.5	3	49.6	120~150	5.5	4	48	120~150
1.5	100	2.5	4.2	5	49.6	120~150	8.5	6	48	100~120
2.0	150	3.8	5.5	6	51.4	100~120	9.0	6	51.1	80~100
3.0	150	4.2	7.0	8	60.0	60~80	10	7	51.4	60~80
3.5	150	4.2	—	—	—	—	10	8	51.4	60~80

表 8-37 工业纯钛(TA1、TA2)缝焊的焊接参数

板材厚度 /mm	焊接电流 /A	通电时间 /s	休止时间 /s	电极压力 /kN	焊接速度 /(m/h)	滚轮球面直径 /mm
0.8+0.8	6500	0.10~0.20	0.16~0.20	2.45~2.94	42~48	50~75
1.0+1.0	7500	0.13~0.14	0.20~0.28	2.94~3.43	36~42	75~100
1.2+1.2	8500	0.14~0.18	0.28~0.36	3.43~3.92	33~39	75~100
1.5+1.5	9000	0.18~0.24	0.36~0.48	3.92~4.41	30~36	75~100
1.7+1.7	10000	0.18~0.24	0.36~0.48	4.41~4.9	30~36	75~100
2.0+2.0	11500	0.20~0.28	0.40~0.56	4.9~5.88	30~36	100~150
2.5+2.5	14000	0.28~0.32	0.60~0.80	6.37~7.35	20~25	100~150
2.0+3.0	50000~60000	0.16	0.31	8.82	40~45	上轮 $\phi 205 \times 13$
3.0+3.0	50000~60000	0.16	0.34	8.82	40~45	下轮 $\phi 240 \times 20$

#### 四、缝焊接头的质量

缝焊接头质量分析、缺陷产生原因、改进措施等与点焊相似,参见表 8-20。

#### 五、缝焊设备

缝焊机与点焊机的区别在于用旋转的滚轮电极代替固定的电极。

##### 1. 分类

1) 按缝焊方法分为:连续式、断续式、步进式

2) 按安装方式分为:固定式、移动式。

3) 按焊件移动方向分为:纵缝缝焊机、横缝缝焊机、纵横通用缝焊机、圆缝缝焊机。

4) 按馈电方式分为:双侧缝焊机、单侧缝焊机。

5) 按滚轮数目分为:双滚轮缝焊机、单滚轮缝焊机。

6) 按加压机构的传动方式分为:脚踏式、电动凸轮式、气压式等。

##### 2. 电极

缝焊电极如图 8-11 所示。工作表面有圆柱形及球形。

3. 国产缝焊机的型号及主要技术数据(表 8-38 和表 8-39)。

表 8-38 气压传动式缝焊机的型号及主要技术数据

型 号		FN1-100-1	FN1-150-1	FN1-150-2
额定容量/kVA		100		150
一次电压/V		380		380
一次额定电流/A		264		395
二次空载电压调节范围/V		3.34~5.68		3.88~7.76
二次电压调节级数		8		8
额定负载持续率/%		50		50
最大电极压力/N		8000		8000
电极行程 /mm	工作	50		50
	最大	130		130
电极有效伸出长度/mm		400		500

(续)

型 号		FN1-100-1	FN1-150-1	FN1-150-2		
焊接 圆筒时	圆筒直径/mm		φ300	φ400	φ300	φ300   φ400
	电极有效伸长/mm		100	400	520	585   650
可焊低碳钢厚度/mm		2+2	2+2			
焊接速度/(m/min)		1.0~4.0	1.2~4.3	0.89~3.1		
冷却水消耗量/(L/h)		1000	1900	750		
压缩空气 压力/MPa		0.5	0.5			
消耗量/(m <sup>3</sup> /h)		1.5~2.5	1.5~2.5			
电动机功率/kW		1.1	1			
质量/kg		1000	2900			
外形尺寸		长/mm	1120	2200		
		宽/mm	750	1000		
		高/mm	2050	2250		
配用控制箱型号		KF1200	KF1200			
用 途		缝焊无镀层的低碳钢及合金钢板				
备 注		横焊	横焊	纵焊		

表 8-39 专用缝焊机的型号及主要技术数据

名 称	贮油缸 专用缝焊机	挤压缝焊机	双轮搭接 缝焊机
型 号	FN4-150	FN5-2×50	FN6-200
额定容量/sVA	150	2×50	200
一次电压/V	380	380 (1/50)	380 (1/50)
一次额定电流/A	395	2×132	527
二次空载电压调节范围/V	3.88~7.76	2.72~5.44	4.05~8.1
二次电压调节级数	8	8	16

(续)

名 称		贮油缸 专用缝焊机	挤压缝焊机	双轮各接 缝焊机
型 号		FN4-150	FN5-2×50	FN6-200
额定负载持续率/%		50	50	10
最大电极压力/N		6000	11000	7500
最大夹紧力/N		3500		6300
电极行程 /mm	工作	110	20	50
	最大	-	-	-
电极臂伸出长度/mm		200	-	-
焊件尺寸/mm			厚 0.2+0.2~ 1.2+1.2 宽 270~530 (不锈钢)	厚 0.1~1 宽 500~1050
焊接速度/(m/min)		0.5~2.0	0.5~4	2~6.5
冷却水消耗量/(L/h)		800	1000	1000
压缩空气	压力/MPa	0.55	0.6	0.6
	消耗量/(m <sup>3</sup> /h)	2	30	10
电动机功率/kW		0.6	0.8	1.5
质量/kg		-	2500	4000
外形尺寸	长/mm	860	2100	2560
	宽/mm	1250	960	1800
	高/mm	1830	1425	2700
配用控制箱型号		KF2-1200	KF1200	KF600
用 途		专用于焊接直径 54~71mm、壁厚 2mm、长 326~341mm 的筒式减震器贮油缸	焊接不锈钢带,可作冷轧带钢车间工艺装备	单面双缝焊接冷轧碳钢或硅钢的带钢搭接接头

## 第四节 凸 焊

### 一、凸焊过程

凸焊是点焊的一种形式。利用零件上原有的型面、倒角、预制的凸点焊到另一块面积较大的零件上。由于零件间是凸点接触，提高了单位面积上的压力与电流，有利于热量集中、减少分流及表面氧化物的破裂。这种工艺可用于厚度比超过1:6的零件焊接。焊件上通常预制出多个凸点，这些凸点可以同时焊接起来。必须使电流与电极压力均匀分配在每个凸点上，才能保证各凸点的焊透情况相同。这就要求焊件表面应当仔细清理，焊件及其凸点的冲压必须十分精确。

### 二、凸焊接头的准备

#### 1. 表面清理

凸焊接头的表面清理与点焊相同，参见表 8-3。

#### 2. 凸点、凸环的制备

焊件上的凸点形状如图 8-12 所示。以半圆形及圆锥形凸点应用最广。凸点的尺寸见表 8-4C，凸点直径与高度的公差为  $\pm 0.2\text{mm}$ 。典型的凸焊结构如图 8-13 所示。

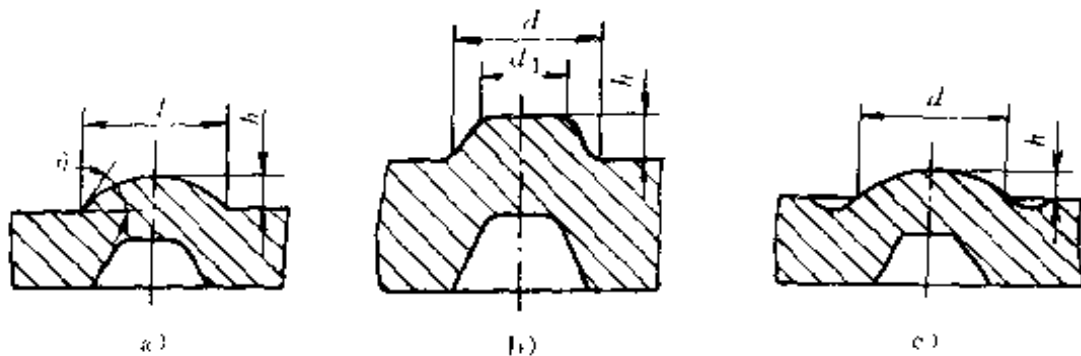


图 8-12 凸点形状

a) 半圆形 b) 圆锥形 c) 带溢出环形槽的半圆形

### 三、凸焊焊接参数

- 1) 低碳钢单点凸焊的焊接参数见表 8-41。
- 2) 低碳钢丝交叉接头凸焊的焊接参数见表 8-42。

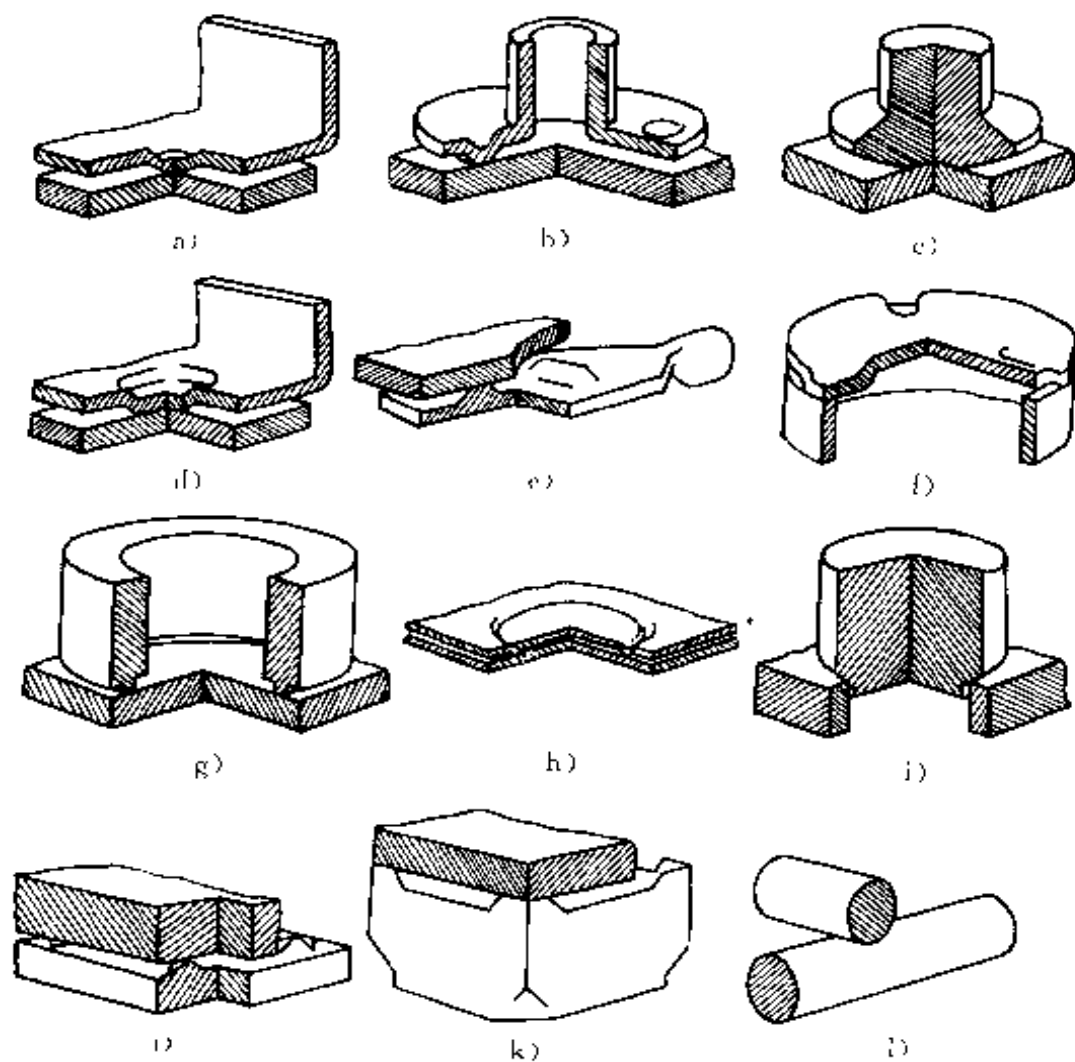


图 8-13 典型的凸焊结构

a)、b)、c) 球形凸台 d)、e)、f) 长条形凸台 g)、h) 环形凸台  
 i) 销与榫接头的环形焊缝 j)、k) 锥形凸台 l) 交叉丝接头

表 8-40 凸焊的凸点尺寸 (mm)

凸点所在板厚	平板厚度	凸点尺寸	
		直 径	高 度
0.5	0.5	1.8	0.5
	2.0	2.3	0.6
1.0	1.0	1.8	0.5
	3.2	2.8	0.8
2.0	1.0	2.8	0.7
	1.0	4.0	1.0
3.0	1.0	3.5	0.9
	5.0	4.5	1.1
4.0	2.0	6.0	1.2
	6.0	7.0	1.5
6.0	3.0	7.0	1.5
	6.0	9.0	2.0

表 8-41 低碳钢单点凸焊焊接参数

板厚 /mm	凸点尺寸/mm		焊点最 小间距 /mm	电极压力/N		递增 时间 /周	焊接 时间 /周	焊接 电流 /kA	焊点拉 切力 /N
	直径	高度		焊接	锻爪				
正 常 凸 点									
4+4	φ8.5	1.65	45	9560	19000	12	54	15.8	34700
5+5	φ10.5	2.13	51	13000	26000	17	82	18.8	50000
6+6	φ12.5	2.60	61	16700	33400	25	121	23.3	76900
小 尺 寸 凸 点									
4+4	φ7.0	1.52	41	6300	12000	12	54	11.5	24600
5+5	φ8.5	1.83	44	7100	14200	17	82	13.9	34200
6+6	φ9.5	2.16	43	8900	17800	25	121	17.3	53300

表 8-42 低碳钢丝交叉接头凸焊的焊接参数

钢丝 直径 /mm	焊接 时间 /周	15%压下量时的参数			30%压下量时的参数		
		电极压力 /N	焊接电流 /kA	焊点拉切 力/N	电极压力 /N	焊接电流 /kA	焊点拉切 力/N
冷 拔 丝							
1.6	4	145	0.6	2000	670	0.8	2224
3.2	8	556	1.8	4300	1160	2.7	5000
4.8	14	1600	3.3	8900	2670	5.0	10700
6.4	19	2600	4.5	16500	3780	6.7	18700
7.9	25	3670	6.2	22700	6450	9.3	27100
9.5	33	4890	7.4	29800	9170	11.3	37000
11.1	42	6300	9.3	42700	12900	13.8	50200
12.7	50	7600	10.3	54300	15100	15.8	60500
热 拔 丝							
1.6	1	445	0.8	1600	670	0.8	1780
3.2	8	556	2.8	3300	1160	2.8	3800
4.8	14	1600	5.1	6700	2670	5.1	7500
6.4	19	2600	7.1	12500	3780	7.1	13400
7.9	25	3670	9.6	20500	6450	9.6	22300
9.5	33	4890	11.8	27600	9170	11.8	30300
11.1	42	6300	14.8	39100	12900	14.8	42700
12.7	50	7600	16.5	51200	15100	16.5	55170

注：压下量系电阻焊中一根钢丝压入另一根丝的量。

3) 低碳钢螺母凸焊的焊接参数见表 8-43。

4) 镀锌钢板凸焊的焊接参数见表 8-44。

5) 不锈钢凸焊的焊接参数见表 8-45。

#### 四、凸焊机

凸焊机的结构与点焊机类似。其区别在于凸焊机一般都采用平板形电极，要求活动部分灵敏、可靠。凸焊机的型号及主要技术数据见表 8-46。



表 8-43 低碳钢螺母凸焊的焊接参数

螺母的 螺纹直径 /mm	平板 厚度 /mm	A			B			接头抗 扭力矩/ (N·m)
		电极 压力 /kN	焊接 时间 /周	焊接 电流 /kA	电极 压力 /kN	焊接 时间 /周	焊接 电流 /kA	
1	1.2	3.0	3	10	2.4	6	8	
	2.3	3.2	3	11	2.6	6	9	
8	2.3	4.0	3	15	2.9	6	10	80.2
	4.0	4.3	3	16	3.2	6	12	
12	1.2	4.8	3	18	4.0	6	15	210
	4.0	5.2	3	20	4.2	6	17	

表 8-44 采用 2 级电极单点凸焊镀锌钢板的焊接参数

每块 板厚 /mm	电极 压力 /N	焊接 时间 /周	焊接 电流 /kA	凸点尺寸/mm		熔核 直径 /mm	焊点拉切力 /N
				直径	高度		
1.0	1100	13	10.0	φ4.7	1.0	φ6.8	4100
1.6	1800	17	11.5	φ5.5	1.2	φ6.4	9100
2.0	2500	21	16.0	φ6.4	1.4	φ6.4	12000
2.4	3300	25	16.0	φ6.4	1.4	φ7.6	19000
2.8	4300	28	22.0	φ6.4	1.4	φ7.9	22000

表 8-45 1Cr18Ni9Ti 不锈钢单点凸焊的焊接参数

每块板厚 /mm	电极压力 /N	焊接时间 /周	焊接电流 /kA	凸点尺寸/mm		搭边尺寸 /mm
				直径	高度	
0.5	2000	8	4.0	φ1.75	0.5	5
0.8	3200	12	5.6	φ2.5	0.6	6
1.0	4000	13	6.6	φ3.0	0.7	8
1.5	6000	18	9.0	φ4.0	0.9	11
2.0	8000	21	11.0	φ4.75	1.0	13
2.5	10000	23	12.5	φ5.5	1.0	15
3.0	12000	24	14.0	φ7.0	1.5	18

表 8-46 凸焊机的型号及主要技术数据

型 号		TN1 200A	TR-6000	
额定容量/kVA		200	10	
一次电压/V		380	380(三相)	
一次电流/A		527	-	
二次级空载电压/V		4.12~8.85	-	
电容器容量/ $\mu$ F		-	70000	
电容器最高充电电压/V		-	420	
最大贮存能量/J		-	6164	
二次电压调节级数		16	11(电容器)	
额定负载持续率/%		20	-	
最大电极压力/N		14000	16000	
上电极	工作行程/mm	80	100	
	辅助行程/mm	40	50	
下电极垂直调节长度/mm		150	-	
机臂间开度/mm		-	150~250	
上电极工作次数/(次·min)		65(行程20mm)	-	
焊接持续时间/s		0.02~1.98	6	
冷却水消耗量/(L·h)		810	-	
焊件厚度/mm		-	1.5+1.5~2+2(铝)	
压缩空气	压力/MPa	0.55	0.6~0.8	
	消耗量/(m <sup>3</sup> ·h)	33	0.63	
质量/kg		900	焊机 1050	电容箱 250
外形尺寸	长/mm	1360	1140	1160
	宽/mm	710	672	430
	高/mm	599	710	1490
配用控制箱型号		K08 100-1		
用 途		凸焊汽车筒式减震器 T 形零件	专用凸焊 201~309 单列向心球轴承保持器, 更换电极后可进行其他凸、点焊	

## 第五节 对 焊

对焊是对接接头的电阻焊,它分为电阻对焊与闪光对焊两类。其特点是:

1) 焊件断面可以加热到高温塑性状态,也可以加热到熔化状态。顶锻时部分金属被挤在接头,所以达到熔点的金属不可能成为焊缝的组成部分。

2) 焊件尺寸范围较大,最小的对焊零件为 $\phi 0.1\text{mm}$ ,截面积约 $0.126\text{mm}^2$ 的金属丝,最大的零件,是截面积超过 $10^5\text{mm}^2$ 的钢坯。焊件可在一瞬间实现整个断面的对接。

3) 两个焊件的截面形状必须完全一致才可焊接。尺寸的差别:直径差别应 $<15\%$ ,厚度差别应 $<10\%$ 。

1) 接头形式为对接接头。

### 一、电阻对焊

#### 1. 特点

电阻对焊是先加压力,后通电。由于电阻热使焊件温度升高,但温度最高也低于焊件熔点,约为0.9倍的熔点温度。焊件只有变形而几乎没有烧损。

#### 2. 焊接参数

电阻对焊的焊接参数主要有:

(1) 电流密度 对于碳素钢一般取 $9000\sim 70000\text{A}/\text{cm}^2$ ,焊件截面较大时,应取下限,或比功率取 $10\sim 50\text{kW}/\text{cm}^2$ 。

(2) 通电时间 碳素钢一般取 $0.02\sim 3.0\text{s}$ 。

(3) 顶锻压力 低碳钢一般取 $10\sim 30\text{MPa}$ ,有色金属按其物理化学性能取 $3\sim 45\text{MPa}$ 。

(4) 伸出长度 对每个焊件,一般应取0.6~2倍焊件直径。直径小时,取上限。

电阻对焊的焊接参数见表 8-47。

### 二、闪光对焊

#### 1. 特点

表 8-47 电阻对焊的焊接参数

焊件材料	截面积 'mm <sup>2</sup>	伸出长度 $2l$ /mm	电流密度 /(A·mm <sup>2</sup> )	焊接时间 /s	顶锻量/mm		顶锻压力 MPa
					有电	无电	
低碳钢	25	12	200	0.6	0.5	0.9	10~20
	50	16	160	0.8	0.5	0.9	
	100	20	140	1.0	0.5	1.0	
	250	24	90	1.5	1.0	1.8	
铜	25	15	70~200		1	1	30
	100	25			1.5	1.5	
	500	60			2.0	2.0	
黄铜	25	10	70~150		1	1	
	100	15			1.5	1.5	
	500	30			2.0	2.0	
铝	25	10	10~120		2	2	15
	100	15			2.5	2.5	
	500	30			4	4	

闪光对焊分为连续闪光对焊及预热闪光对焊。它可用于中、大截面焊件的对接。可以焊接碳素钢、工具钢、不锈钢、有色金属等，并且可以焊接异种材料。

闪光对焊的过程：连续闪光对焊有烧化、顶锻两个过程；预热闪光对焊则有预热、烧化、顶锻三个过程。

## 2. 焊接参数

(1) 预热参数 包括预热次数、每次短路时间等。

(2) 烧化参数 包括烧化模式、烧化留量、空载电压、平均烧化速度等。

(3) 顶锻参数 包括顶锻留量、顶锻力、顶锻速度等。推荐的顶锻压力、顶锻速度见表 8-48、表 8-49。

低碳钢棒料闪光对焊的焊接参数见表 8-50。

低碳钢平板闪光对焊的焊接参数见表 8-51。

各类钢闪光对焊的焊接参数参考值见表 8-52。

表 8-48 闪光对焊推荐的顶锻压力

焊件材料	顶锻压力/MPa	
	连续闪光对焊	预热闪光对焊
低碳钢	60~80	10~60
中碳钢	80~100	40~60
高碳钢	100~120	10~60
低合金钢	100~120	10~60
奥氏体钢	150~220	100~110
纯 铜	250~300	
黄 铜	140~180	
青 铜	110~180	20
纯 铝	120~150	
铝合金	150~300	
纯 铁	30~60	30~40

表 8-49 闪光对焊推荐的最低顶锻速度

材 质	最低顶锻速度/(mm/s)	材 质	最低顶锻速度/(mm/s)
铸铁	20~30	铝合金	>200
高碳钢	50~60	纯铜	>200
低碳钢	60~80	黄铜	200~300
复杂合金钢	80~100	镍	>60

表 8-50 低碳钢棒料闪光对焊的焊接参数

直径(或短边)	伸出长度	烧化留量	顶锻留量	烧化时间
/mm	/mm	/mm	/mm	/s
5	9	3	1	1.50
6	11	3.5	1.3	1.90
8	13	4	1.5	2.25
10	17	5	2	3.25
12	22	6.5	2.5	4.25
14	24	7	2.8	5.00
16	28	8	3	6.75
18	30	9	3.3	7.50
20	34	10	3.6	9.00
25	42	12.5	4.0	13.00
30	50	15	4.6	20.00
40	66	20	6.0	45.00
50	82	25	6.6	90.00

表 8-51 低碳钢平板闪光对焊的焊接参数

板厚 /mm	板宽 mm	烧化留量 /mm	顶锻留量/mm	
			有电	无电
2	100	7	1	1
	200	9	1	1
	400	9	1.5	1
	800	10	2	1
	1200	11	2	2
	2000	15	2	2.5
3	100	9	2	1
	200	10	2	1.5
	400	11	2.5	1.5
	800	12	2	2.5
	1200	13	2	3
	2000	14	3	3
4~5	100	10	2	2
	200	11	2	3
	400	12	2	3
	800	13	3	3
	1200	14	3	3
	2000	15	3	3

表 8-52 各类钢闪光对焊的焊接参数参考值

类 别	平均闪光速度 /(mm/s)		最大闪光速度 /(mm/s)	顶锻速度/ (mm/s)	顶锻压力 /MPa		焊后 热处理
	预热 闪光	连续 闪光			预热 闪光	连续 闪光	
低碳钢	1.5~ 2.5	0.8~ 1.5	4~5	15~30	40~60	60~80	不需要
低碳钢及低合金钢	1.5~ 2.5	0.8~ 1.5	4~5	≥30	10~60	100~ 110	缓冷, 回火
高碳钢	≤1.5 ~2.5	≤0.8 ~1.5	4~5	15~30	40~60	110~ 120	缓冷, 回火
珠光体高合金钢	3.5~ 4.5	2.5~ 3.5	5~10	30~ 150	50~80	110~ 180	回火, 正火
奥氏体钢	3.5~ 4.5	2.5~ 3.5	5~8	50~ 160	100~ 140	150~ 220	一般 不需要

表 8-53 有色金属及其合金闪光对焊的焊接参数

焊接参数	材 料 尺 寸/mm															
	铜			黄铜(H62)		黄铜(H59)		青铜(QSn 6.5 1.5)		铝						
	棒材		管材	板材		棒材直径		带材厚		棒材直径						
	直径	壁厚	直径	厚度	直径	厚度	厚度	厚度	直径	直径	厚度	厚度				
空载电压/V	6.1	5.0	10.0	2.17	4.41	2.4	7.5	1~4	4~8	20	20	30	38	4	6	4~7
最大电流/kA	3.3	20	60	12.5	24.3	13.5	41	—	—	58	63	63	63	—	—	—
伸出长度/mm	20	20	—	15	22	18	25	25	40	38	13	50	65	12	14	13
闪光留量/mm	12	—	—	6	8	7	10	15	25	17	20	22	28	8	10	14
闪光时间/s	1.5	—	—	2.5	3.5	2.0	2.2	3	10	1.7	1.9	2.8	5.0	1.2	1.5	5.0
平均闪光速度/(mm/s)	8.0	—	—	2.4	2.3	3.5	4.5	5	2.5	11.3	10.5	7.9	5.6	5.8	6.5	2.8
最大闪光速度/(mm/s)	—	—	—	—	—	—	—	12	5	—	—	—	—	15.0	15.0	6.0
顶锻留量/mm	8	—	—	9	13	10	12	—	—	13	13	14	15	7.0	8.5	12.0
顶锻速度/(mm/s)	200	—	—	200~300	200~300	200~300	200~300	125	125	150	150	150	150	150	150	200
顶锻压力/MPa	380	230	224	—	230	—	250	—	60~150	64	170	190	120	180~200	200	220
有电流顶锻量/mm	6	—	—	—	—	—	—	—	—	6.0	6.0	7.0	7.0	3.0	3.0	6~8
比功率/(kW/mm <sup>2</sup> )	2.6	2.66	1.35	0.9	1.35	0.95	2.7	0.5	0.25	—	—	—	—	0.4	0.4	—

有色金属及其合金闪光对焊的焊接参数见表 8-53。

铜与铝闪光对焊的焊接参数见表 8-54。

### 三、对焊设备

国产对焊机型号及主要技术数据见表 8-55~表 8-59。

表 8-54 铜与铝闪光对焊的焊接参数

	焊接断面/mm <sup>2</sup>			
	棒材直径		带材	
	20	25	40×50	50×10
电流最大值/kA	63	63	58	63
伸出长度/mm	铜		铝	
	3	4	3	4
	34	38	30	36
烧化留量/mm	17	20	18	20
闪光时间/s	1.5	1.9	1.6	1.9
平均闪光速度/(mm/s)	11.3	10.5	11.3	10.5
顶锻留量/mm	13	13	6	8
顶锻速度/(mm/s)	100~120	100~120	100~120	100~120
顶锻压力/MPa	190	270	225	268

表 8-55 弹簧顶锻式对焊机技术数据

型 号	UN-1	UN-3	UN-10
额定容量/kVA	1	3	10
一次电压/V	220/380	220/380	220/380
二次电压调节范围/V	0.5~1.5	1~2	1.6~3.2
二次电压调节级数	8	8	8
额定负载持续率/%	8	15	15
钳口夹紧力/N	80~100	450	900
顶锻力调节范围/N	1~40 2~32	6~180	20~350
最大顶锻力/N	40 32	180	350



(续)

型 号		UN-1	UN-3	UN 10
钳口最大距离/mm		7	15	30
焊件直径 /mm	低碳钢	$\phi 0.4 \sim 2$	$\phi 1 \sim 5$	$\phi 3 \sim 8$
	铜	$\phi 0.5 \sim 1.2$	$\phi 1 \sim 2.5$	$\phi 2.5 \sim 6$
	铝	$\phi 0.5 \sim 1.5$	$\phi 1 \sim 3$	$\phi 2.5 \sim 6$
焊接生产率/(次/h)		300	400	400
质量/kg		15	60	127
外形尺寸	长/mm	310	690	730
	宽/mm	265	565	595
	高/mm	265	1105	1035
用 途		对焊低碳钢棒、铜丝及铝丝		

表 8-56 杠杆挤压弹簧顶锻式对焊机技术数据

型 号		UN1-25	UN1-75	UN1-100
额定容量/kVA		25	75	100
一次电压/V		220/380	220/380	380
二次电压调节范围/V		1.76~3.52	3.52~7.04	4.5~7.6
二次电压调节级数		8	8	8
额定负载持续率/%		20	20	20
钳口最大夹紧力/N				35000~40000
最大顶锻 力/N	弹簧加压	1500		
	杠杆加压	10000	30000	40000
钳口最大距离/mm		50	80	80
最大进给 /mm	弹簧加压	15		
	杠杆加压	20	30	50

(续)

型 号		UN1 25	UN1 75	UN1-100	
最大焊接 截面 /mm <sup>2</sup>	杆杆加压	低碳钢	300	600	1000
	弹簧加压	低碳钢	120		
		铜	150		
		黄铜	200		
		铝	300		
焊接生产率/(次/h)		110	75	20~30	
冷却水消耗量/(L/h)		120	200	200	
质量/kg		275	455	465	
外形尺寸	长/mm	1340	1520	1580	
	宽/mm	500	550	550	
	高/mm	1300	1080	1150	
用 途		用电阻对焊或闪光焊法焊接低碳钢 和有色金属零件			

表 8-57 UN2-150-2 型电动凸轮顶锻式对焊机技术数据

额定容量/kVA	150
一次电压/V	380
二次电压调节范围/V	1.05~8.1
二次电压调节级数	16
额定负载持续率/%	20
最大夹紧力/N	100000
最大顶锻力/N	65000
钳口间距离/mm	10~100
自动焊时可动夹具最大行程/mm	27
烧化及顶锻持续时间/s	≤95

(续)

定夹具接触钳口在垂直方向调整距离/mm		±10
动夹具接触钳口在水平方向调整距离/mm		±4
焊件端部最大预热压缩量/mm		10
低碳钢最大焊接截面 mm <sup>2</sup>	用连续烧化法自动焊时	1000
	焊件端部先行预热时	2000
自动焊时生产率/(次·h)		80
冷却水消耗量/(L/h)		200
压缩空气	压力/MPa	0.55
	消耗量/(m <sup>3</sup> /h)	15
电动机功率/kW		2.2
质量/kg		2500
外形尺寸	长/mm	2140
	宽/mm	1360
	高/mm	1380
用 途		自动焊接低碳钢零件

表 8-58 气压顶锻式对焊机技术数据

名 称	空腹钢窗对焊机	闪光对焊机	钢轨对焊机
型 号	UN 150	UN4-300	UN6 500
额定容量/kVA	150	300	500
一次电压/V	380	380	380
二次电压调节范围/V	6.6~11.8	5.42~10.84	6.8~13.6
额定一次电流/A	400	—	—
二次电压调节数	6	16	16
额定负载持续率/%	25	20	40
最大夹紧力/N	5000	350000	600000

(续)

名 称		窄缝钢窗对焊机	闪光对焊机	钢轨对焊机
最大顶锻力/N		15000	250000	350000
最大顶锻量/mm		—	—	—
火具间最大距离/mm		50±1	200	200±10
对火具最大行程/mm		—	120	150
速度/ (mm/s)	预热	—	—	—
	闪光	3~5	—	1~4
	顶锻	—	—	25
最大焊接截面积/mm <sup>2</sup>		—	最大 5000, 额定 2500	钢轨 8500, 紧凑截面 10000
生产率/(次/h)		150~240	12	7
冷却水消耗量/(L/h)		800	1500	1800
压缩空气	压力/MPa	0.6	0.6	0.5
	消耗量/(m <sup>3</sup> /h)	66	2	0.2
电动机功率/kW		—	11	14
质量/kg		1700	焊机 8000, 控制箱 230	15000
焊机外形 尺寸	长/mm	2650	3540	3300
	宽/mm	500	1600	1630
	高/mm	1200	2210	2200
用 途		焊接低碳钢及 合金钢窄缝钢窗	焊接截面 5000mm <sup>2</sup> 以下 的低碳钢焊件	对焊铁路钢 轨及紧凑截面 10000mm <sup>2</sup> 以 下的低碳钢焊 件

## 第六节 电阻焊工程实例

### 一、铝合金轿车间的点焊

轿车间材料为 LF3 防锈铝 (德国 DIN1725 标准  $AlMg_3$  材料)。焊件为 1.2mm 厚的冲压件。铝合金材料的特点是散热快、电导率高。因此,在制定焊接工艺方案时,应当保证在短时间内形成优质的熔核,点焊时需要更大的能量。基于以上考虑,选用大功率二次整流点焊机,采用合理的工艺措施,圆满地完成了该焊件点焊工作。

铝合金轿车间点焊工艺所使用的焊接设备是 DZ-100 型二次整流点焊机。该型焊机的特点是输出功率大、热效率高。DZ 系列二次整流点焊机是在焊接变压器的二次侧用二极管进行全波整流的新型焊机。由于它的二次侧为直流,所以在二次侧回路中不存在感抗 (或感抗很小),因此该焊机与交流焊机相比具有功率因数高,在焊接同样厚度材料时功率消耗较小的优点。此外,该焊机的加压系统装有压力补偿装置,它能及时补偿因焊件熔化而引起的压力变化。从而使焊接质量得到可靠的保证。DZ-100 型二次整流点焊机的主要技术数据见表 8-59。

表 8-59 DZ-100 型二次整流点焊机的主要技术数据

额定容量/kVA	100	
电源电压/V	380	
额定负载持续率/%	50	
变压器二次电压/V	4.13~8.26	
二次电压调节级数/级	8	
额定二次电压/V	7.17	
电极臂伸长率/mm	480	
电极臂间距离/mm	220	
额定电极压力/kN	6	
最大锻压力/kN	14.7	
焊接厚度	低碳钢/mm	6+6
	铝 (防锈铝) /mm	2.5+2.5
压缩空气压力/MPa	0.4	
压缩空气消耗量/(m <sup>3</sup> /h)	3.5	
冷却水消耗量/(L/h)	2040	

铝合金轿车车门点焊焊接参数见表 8-60。为了减少焊件的接触电阻,应当对 LF3 材质冲压件进行清洗;用碱液除油,用酸液处理氧化膜。清洗好的焊件应在 72h 内焊接完毕。在焊接过程中,必须对电极进行强制水冷。水流量应当在 6L/min 以上,水温应低于 30℃。下电极直径为 12mm,端面为平面。上电极直径为 8mm,端面为半径为 50mm 的球面。这样可以保证电极与焊件之间的压力稳定、减少飞溅。小直径的电极对电流有压缩作用,增大电流密度可以保证熔核的质量。

表 8-60 点焊焊接参数

次级电压/V	8.26	焊接时间/s	3
电极压力/N	3000	维持时间/s	40
预压时间/s	40	休止时间/s	99

焊后应检查焊点质量。从外观上要求配合面的压痕深度 $\leq 0.1\text{mm}$ ,用扁铲将焊点剥离来检验焊点强度,要求熔核直径为 4~5mm。

总之,对 LF3 材质的焊件应当采用强参数点焊,且配合适当的电极,可以获得优质的焊接产品。

## 二、钛框构件的闪光对焊

大截面钛框构件如图 8-14 所示。I、II 截面的面积约为 620mm<sup>2</sup>, III、IV 截面的面积约为 850mm<sup>2</sup>。

焊机采用 LM 150 型对焊机。该焊机适用于 650mm<sup>2</sup> 的焊件对焊,对于 850mm<sup>2</sup> 截面对焊却有困难。因此,对焊机进行了改进。重新设计了凸轮使焊接快速进行。

钛框构件的闪光对焊焊接参数见表 8-61。接头的力学性能见表

表 8-61 钛框闪光对焊焊接参数

截面积 代 号	伸出长度 /mm	烧化留量 /mm	顶锻留量/mm		变压器 级数	凸轮转速 / (r/min)
			带电	无电		
I	50	17.3	4.5	8.7	15	3.18
III	50	17.3	4.5	8.7	16	3.18
IV、V	50	26	7	7	14	2.63

8-52。经产品质量分析，接头强度达到基本金属的 90%，而弯由角为基本金属的 60%。钛的闪光对焊焊接参数见表 8-63。

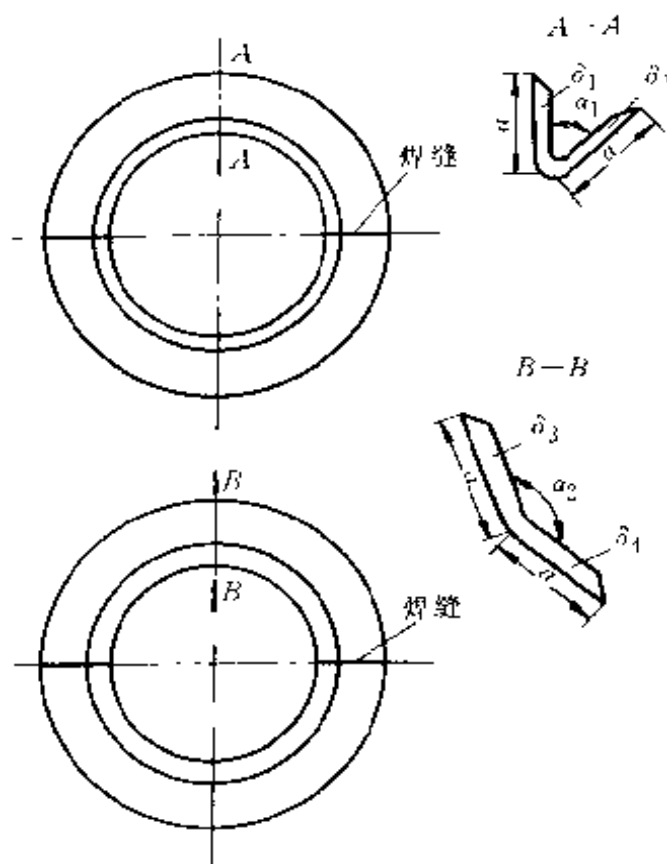


图 8-14 钛框截面形状

$\delta_1 = 6\text{mm}$   $\delta_2 = 5\text{mm}$  为 I 截面  $\delta_1 = 8\text{mm}$   $\delta_2 = 7\text{mm}$  为 II 截面

$\delta_3 = 6\text{mm}$   $\delta_4 = 5\text{mm}$  为 III 截面  $\delta_3 = 8\text{mm}$   $\delta_4 = 7\text{mm}$  为 IV 截面

( $\delta$  为工件厚度)

表 8-62 钛框闪光焊的接头力学性能

接头部位	抗拉强度, MPa	冷弯角
基本金属	913	$30^{\circ}55'$
I、II	$\frac{880 \sim 955}{918}$	$\frac{24^{\circ}45' \sim 31^{\circ}}{29^{\circ}5'}$
III、IV	$\frac{930 \sim 1130}{980}$	$\frac{24^{\circ}55' \sim 25^{\circ}10'}{25^{\circ}5'}$

表 8-63 钛的闪光对焊焊接参数

焊件截面 (mm <sup>2</sup> )	熔化或预热 电流 A	压力 kN	伸出电 极长度 (mm)	余量 mm		熔化速度 (m/h)	
				熔化	加压	开始	终止
150	1500~2000	3	25	8	3	0.5	3
250	2500~3000	5~8	25~40	10	5	0.5	6
500	5000~7000	10~15	35	10	5	0.5	6
1000	5000 预热	20~25	50	12	10	0.5	5
2000	10000 预热	40~100	65	18	12	0.5	5
4000	20000 预热	150~300	110	24	15	0.5	4
6000	10000 预热	350~500	140	28	15	0.5	3.5
8000	40000 预热	350~600	165	35	15	0.5	3.0
10000	50000 预热	500~1000	180~200	40	15	0.5	2.5



# 第九章 气焊与切割

## 第一节 概 述

### 一、常用金属及其氧化物熔点

常用金属及其氧化物的熔点见表 9-1。

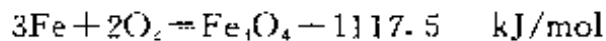
表 9-1 金属及其氧化物的熔点

金属	熔点/℃	氧化物	熔点/℃
纯铁	1538	FeO	1370
		Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	1527
		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1565
低碳钢	约 1530	FeO、Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> 、 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1370~1565
高碳钢	1300~1400		1370~1565
铸铁	约 1200		1370~1565
镍	1452	NiO	1990
铬	1550	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1990
铝	938	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2050
锌	419	ZnO	1800
纯铜	1083	Cu <sub>2</sub> O	1230
		CuO	1336
黄铜	850~960	Cu <sub>2</sub> O、CuO	1230~1336
锡青铜	850~900		1230~1336
钛	1668	TiO <sub>2</sub>	1640

### 二、金属氧化生成热

金属燃烧生成氧化物的同时会放出一定的热量，这个热量称为金

属氧化生成热，碳素钢燃烧反应式如下：



常用金属氧化生成热见表 9-2。

表 9-2 常用金属氧化生成热

氧化物	生成热/(kJ/mol)	氧化物	生成热/(kJ/mol)
FeO	269.2	ZnO	349.0
Fe <sub>3</sub> O <sub>3</sub>	1117.5	MnO	389.8
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	831.1	Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	974.3
NiO	244.5	Mn <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	1408.9
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1143.0	V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1339.8
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1646.7	MoO <sub>2</sub>	544.3
CuO	157.0	SnO	284.3
Cu <sub>2</sub> O	170.0	PbO	219.2

### 三、气焊应用范围及特点

利用气体火焰作热源的焊接方法称为气焊。最常用的有氧乙炔焊，还有氧丙烷（液化石油气）焊、氢氧焊等。与焊接电弧相比，气体火焰的温度较低，热量较分散。因此，气焊的生产率低，焊接变形较严重，焊接接头显微组织粗大，过热区较宽，力学性能较差。但气焊熔池温度容易控制，有利于实现单面焊双面成形。同时，气焊还便于预热和后热。所以，气焊常用于薄板焊接、低熔点材料焊接、管子焊接、铸铁补焊、工具钢焊接以及无电源的野外施工等。

### 四、气割应用范围及特点

利用气体火焰的热能将工件切割处预热到一定温度后，喷出高速切割氧流，使其燃烧并放出热量实现切割的方法称之为气割。

气割的实质是被切割材料在纯氧中燃烧的过程，不是熔化过程。为

使切割过程顺利地进行，被切割金属材料一般应满足以下条件：

(1) 金属材料的燃点应低于熔点 气割时金属在固态下燃烧，才能保证切口平整。如果燃点高于熔点，则金属在燃烧前已经熔化，切口质量很差，严重时切割无法进行。纯铁的燃点为 1050℃，低碳钢的燃点为 1350℃，钛的燃点为 1100℃，均低于表 9-1 所示各材料的熔点，所以很容易气割。

(2) 氧化物熔点应低于金属熔点，且氧化物的流动性要好 氧化物的熔点低于金属的熔点，则生成的氧化物才可能以液体状态从切口中被纯氧吹除。否则，氧化物会比液体金属先凝固，而在液体金属表面形成固态薄膜，或粘度大，不易吹除，而且阻碍下层金属与氧接触，使切割过程发生困难。高碳钢、铸铁、高铬钢、铬镍不锈钢、铝、铜等氧化物的熔点均高于材料本身的熔点，铸铁中的硅及铜、铝氧化物粘度都很大，所以，它们很难气割。

(3) 金属氧化生成热要高，金属导热性要低 这样才能保证切口处下层金属的燃烧，否则，生成热低，导热好，热量不足，气割不能正常进行。气割低碳钢时所需的热量，金属燃烧产生的热量占 70% 左右，而预热火焰供给的热量仅占 30% 左右，所以，金属氧化生成热的作用是相当大的。

当被切割材料不能满足上述条件时，则应对气割进行改进，如振动气割、氧熔剂切割等，或采用其它切割方法，如等离子弧切割等来完成材料的切割任务。

## 第二节 气体火焰

### 一、可燃气体的发热量及火焰温度

自身能够燃烧的气体叫可燃气体。工业上常采用的可燃气体有氢和碳氢化合物，如乙炔、丙烷、丙烯、天然气（甲烷）、煤气、沼气等。

可燃气体的发热量与火焰温度见表 9-3。

### 二、氧乙炔焰种类与应用

乙炔在完全燃烧后生成二氧化碳和水蒸气，并放出大量的热。其燃

烧反应式为：

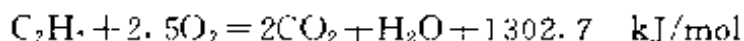
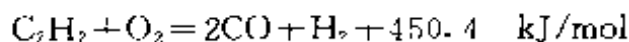


表 9 3 可燃气体的发热量与火焰温度

气体名称	发热量/ (kJ·m <sup>-1</sup> )	火焰温度 <sup>①</sup> /℃	气体名称	发热量/ (kJ·m <sup>-1</sup> )	火焰温度 <sup>①</sup> /℃
乙炔	52963	3100	天然气(甲烷)	37581	2540
丙烷	85764	2520	煤气	20934	2100
丙烯	81182	2870	沼气	33076	2000
氢	10048	2660		-	-

① 火焰温度指中性焰的温度。

由于火焰周围的空气可供给一部分氧,所以,由氧气瓶供给的氧只需使乙炔燃烧成一氧化碳和氢就可以了,其燃烧反应式为:



因此,从氧气瓶供给的氧量与乙炔量在焊炬中的混合比理论上为 1:1。由于工业用氧含有杂质,故实际的混合比应比理论值大一些。

氧乙炔焰一般分为中性焰、氧化焰和碳化焰三种,见图 9-1。

#### 1. 中性焰

在焊炬混合室内,氧气与乙炔的混合比为 1.1~1.2 时,乙炔充分燃烧,燃烧后的气体中既无过剩的氧,也无过剩的乙炔,这种在一次燃烧区内既无过量氧又无游离碳的火焰称为中性焰。

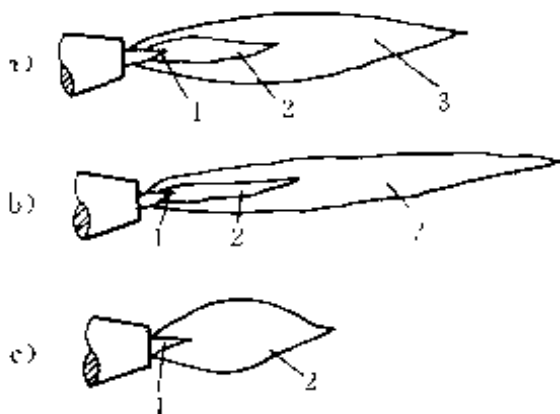


图 9-1 氧乙炔焰的种类与外形

a) 中性焰 b) 碳化焰 c) 氧化焰

1—焰芯 2—内焰 3—外焰

焰芯是火焰中靠近焊炬(或割炬)喷嘴孔的呈锥状而发亮的部分。

中性焰的焰芯呈光亮蓝白色圆锥形，轮廓清楚，温度为 $800\sim 1200\text{C}$ 左右。焰芯之外为内焰，内焰是火焰中含碳气体过剩时，在焰芯周围明显可见的富碳区，只在碳化焰中有内焰。内焰呈蓝白色，有深蓝色线条，在焰芯前 $2\sim 4\text{mm}$ 处温度最高，可达 $3050\sim 3150\text{C}$ ，此区称为焊接区，又称为还原区。火焰中围绕焰芯或内焰燃烧的火焰为外焰，外焰与内焰没有明显界限，其颜色从里向外，由淡紫色变为橙黄色，温度在 $1200\sim 2500\text{C}$ 之间，且具有氧化性。气焊各种材料时，大都要用中性焰。

### 2. 氧化焰

在焊炬混合室内，氧气与乙炔混合比大于 $1.2$ ，一般为 $1.3\sim 1.7$ 时，其火焰是氧化焰。燃烧后的气体火焰中，有部分过剩的氧气。这种火焰中有过量的氧，在尖形焰芯外面形成一个有氧化性的富氧区的火焰称为氧化焰。

氧化焰的焰芯呈淡紫蓝色，轮廓也不太明显。内焰和外焰呈蓝紫色。氧化焰火焰较短，燃烧时带有噪声。最高温度为 $3100\sim 3300\text{C}$ ，整个火焰具有氧化性。所以，焊接碳素钢时会造成熔化金属的氧化和元素的烧损，使焊缝产生气孔，并增强熔池的沸腾现象，从而降低焊缝质量。所以，这种火焰较少使用，但焊接黄铜和锡青铜时，利用氧化性生成氧化物薄膜，覆盖在熔池上，以保护低沸点锌、锡不再蒸发。由于氧化焰温度高，在火焰加热和气割时，也常使用氧化焰。

### 3. 碳化焰

在混合室内，氧气和乙炔混合比小于 $1$ ，一般在 $0.85\sim 0.95$ 时，得到的火焰为碳化焰。这种火焰的气体中尚有部分乙炔未燃烧。这种火焰中含有游离碳，具有较强的还原作用，也有一定的渗碳作用的火焰，称为碳化焰。

碳化焰的焰芯较长，呈蓝白色，内焰呈淡蓝色，外焰带桔红色。碳化焰三层火焰之间无明显的轮廓。最高温度为 $2700\sim 3000\text{C}$ 。焊接时过剩的乙炔分解为碳和氢，内焰中过量的炽热炭粒能使氧化铁还原，因此碳化焰也称为还原焰。用碳化焰焊接碳素钢，熔池会因吸收碳粒生成二氧化碳而产生沸腾现象，同时使被焊件增碳，增加裂纹产生的可能。但有时为对焊缝增碳和提高焊缝强度和硬度，常使用碳化焰焊接高碳

钢、铸铁及硬质合金等材料。

不同的材料应使用不同的火焰来焊接，表 9-4 为各种材料焊接时，火焰种类的选择。

表 9-4 焊接火焰的选择

母材	应用火焰	母材	应用火焰
低碳钢	中性焰	铬不锈钢	中性焰或轻微碳化焰
中碳钢	中性焰	铬镍不锈钢	中性焰
低合金钢	中性焰	纯铜	中性焰
高碳钢	轻微碳化焰	黄铜	轻微氧化焰
锰钢	轻微氧化焰	锡青铜	轻微氧化焰
灰铸铁	碳化焰或轻微碳化焰	铝及铝合金	中性焰或轻微碳化焰
镀锌铁板	轻微氧化焰	铅、锡	中性焰或轻微碳化焰

### 第三节 气焊、气割工具及设备

#### 一、气焊炬、割炬的分类及特点

气焊炬是气焊及软、硬钎焊时，用于控制火焰进行焊接的工具。气焊炬按气体的混合方式分为射吸式焊炬和等压式焊炬两类；按火焰的数目分为单焰和多焰两类；按可燃气体的种类分为乙炔用、氢用、汽油用等；按使用方法分为手工和机械两类。

##### 1. 射吸式焊炬

射吸式焊炬是可燃气体靠喷射氧流的射吸作用与氧气混合的焊炬。射吸式焊炬的构造原理见图 9-2。乙炔靠氧气的射吸作用吸入射吸管，因此它适用于低压及中压乙炔气（0.001~0.1MPa）。

射吸式焊炬应符合 GB5109—85 的要求。

##### 2. 等压式焊炬

等压式焊炬是氧气与可燃气体压力相等，混合室出口压力低于氧气及燃气压力的焊炬。其构造原理见图 9-3，压力相等或相近的氧气、乙炔气同时进入混合室。工作时可燃气体流量保持稳定，火焰燃烧也稳定，并且不易回火。但它仅适用于中压乙炔气。

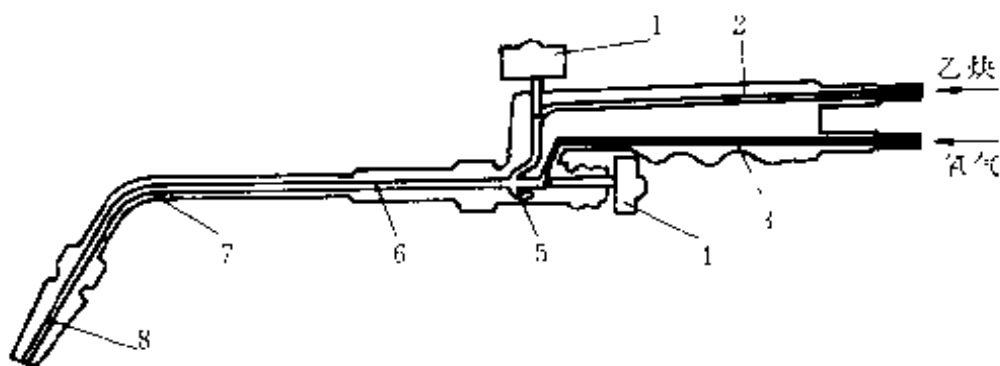


图 9-2 射吸式焊炬的构造原理

- 1—乙炔阀 2—乙炔胶管 3—氧气胶管 4—氧气阀 5—喷嘴  
6—射吸管 7—混合气管 8—焊嘴

等压式焊炬应符合 GB5108—85 的要求。

### 3. 射吸式割炬

射吸式割炬是在射吸式焊炬的基础上，增加切割氧的气路和阀门，采用固定的射吸管，更换切割氧孔径大小不同的割嘴，来适应不同

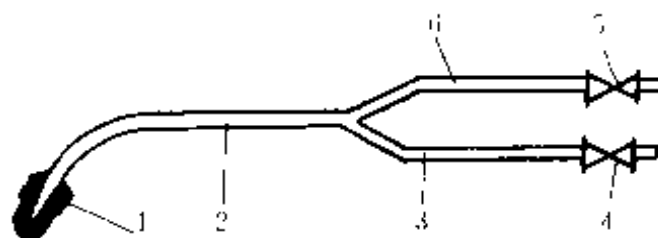


图 9-3 等压式焊炬的构造原理

- 1—焊嘴 2—混合室 3—乙炔胶管 4—乙炔阀  
5—氧气阀 6—氧气胶管

厚度工件的需要。割嘴可用组合式（环形）或整体式（梅花型）。射吸式割炬的构造原理见图 9-4。

射吸式割炬适用于低压、中压乙炔气。

射吸式割炬应符合 GB5110—85 要求。

### 4. 等压式割炬

等压式割炬的乙炔、预热氧、切割氧分别由单独的管路进入割嘴，预热氧和乙炔在割嘴内开始混合而产生预热火焰。它适用于中压乙炔，火焰稳定，不易回火。

等压式割炬应符合 GB5108—85 要求。



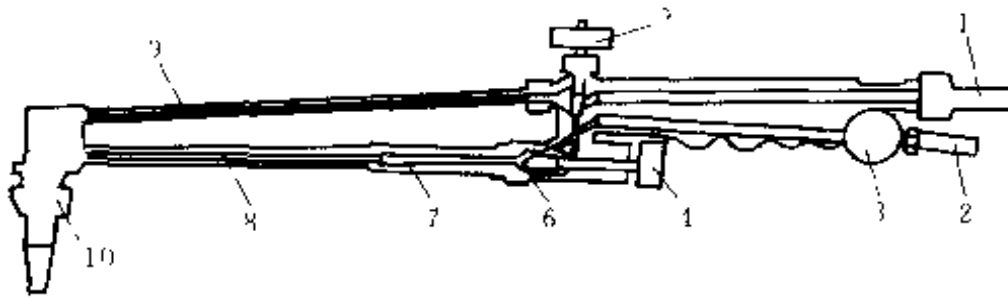


图 9-4 射吸式割炬的构造原理

1—氧气进口 2—乙炔进口 3—乙炔阀门 4—氧气阀 5—高压氧气阀  
6—喷嘴 7—射吸管 8—混合气管 9—高压氧气管 10—割嘴

### 5. 焊割两用炬

焊割两用炬即在同一炬体上，装上气焊用附件可进行气焊，装上气割用附件可进行气割的两用工具。在一般情况下装成割炬形式，当需要气焊时，只需拆换下气管及割嘴，并关闭高压氧气阀即可。

焊割两用炬应符合 GB5108—85 要求。

## 二、气焊炬性能及规格

### 1. 射吸式焊炬

氧乙炔焰射吸式焊炬的焊嘴应符合表 9-5 及图 9-5 的规定。

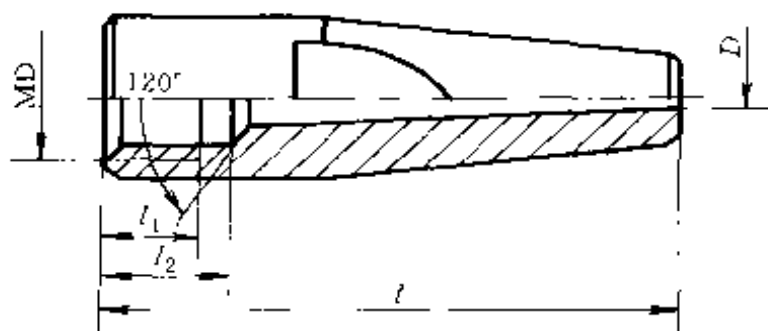


图 9-5 氧乙炔焰射吸式焊炬的焊嘴

氧乙炔焰射吸式焊炬的主要参数应符合表 9-6 的规定；氧乙炔焰射吸式焊炬的基本参数应符合表 9-7 的规定；气体消耗量见表 9-8。



表 9-5 氧乙炔焰射吸式焊炬的焊嘴尺寸 (mm)

型 号	D					MD	l	l <sub>1</sub>	l <sub>2</sub>
	1#	2#	3#	4#	5#				
H01-2	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	M6×1	≥25	4	6
H01-6	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	M8×1	≥40	7	9
H01-12	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	M10×1.25	≥45	7.5	10
H01-20	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	M12×1.25	≥50	9.5	12

注：H——表示焊(Han)的第一个字母；0——表示手工；1——表示射吸；  
2、6、12、20——表示焊接低碳钢最大厚度为2mm、6mm、12mm和20mm。

表 9-6 氧乙炔焰射吸式焊炬的主要参数

型 号	H01-2	H01-6	H01-12	H01-20
焊接低碳钢厚度/mm	0.5~2	2~6	6~12	12~20

表 9-7 氧乙炔焰射吸式焊炬的基本参数

型 号	氧气工作压力/MPa					乙炔压力 /MPa	焊炬总长度 /mm
	1#	2#	3#	4#	5#		
H01-2	0.1	0.125	0.15	0.2	0.25	0.001~0.1	300
H01-6	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4		400
H01-12	0.4	0.45	0.5	0.6	0.7		500
H01-20	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8		600

表 9-8 氧乙炔焰射吸式焊炬气体消耗量 (m<sup>3</sup>/h)

型号	氧气消耗量					乙炔消耗量				
	1#	2#	3#	4#	5#	1#	2#	3#	4#	5#
H01-2	0.033~0.15					40~70				
H01-6	0.15	0.20	0.24	0.28	0.37	170	240	280	330	430
H01-12	0.37	0.49	0.65	0.86	1.10	430	580	780	1050	1210
H01-20	1.25	1.45	1.65	1.95	2.25	1500	1700	2000	2300	2600

在表 9-7 规定的氧气压力下, 当乙炔压力为  $0.006 \sim 0.008 \text{MPa}$  时, 焊炬正常火焰中焰芯长度不小于表 9-9 的数值。

表 9-9 氧乙炔焰射吸式焊炬的焰芯长度 (mm)

型 号	焊 嘴 号 码				
	1 <sup>#</sup>	2 <sup>#</sup>	3 <sup>#</sup>	4 <sup>#</sup>	5 <sup>#</sup>
H01-2	3	4	5	6	8
H01-6	8	10	11	12	13
H01-12	13	15	17	18	19
H01-20	20	21	21	21	21

## 2. 等压式焊炬

氧乙炔焰等压式焊炬技术参数见表 9-10。

表 9-10 氧乙炔焰等压式焊炬的技术参数

型号	焊嘴号	孔径 /mm	氧气压力 /MPa	乙炔压力 /MPa	焰芯长度 /mm $\geq$	焊炬总长 度/mm	焊接低碳钢 厚度/mm
H02-12	1	0.6	0.2	0.02	4	500	0.5~12
	2	1.0	0.25	0.03	11		
	3	1.4	0.3	0.04	13		
	4	1.8	0.35	0.05	17		
	5	2.2	0.4	0.06	20		
H02-20	1	0.6	0.2	0.02	4	600	0.5~20
	2	1.0	0.25	0.03	11		
	3	1.4	0.3	0.04	13		
	4	1.8	0.35	0.05	17		
	5	2.2	0.4	0.06	20		
	6	2.6	0.5	0.07	21		
	7	3.0	0.6	0.08	21		

注: H——表示焊(Han)的第一个字母; 0——表示手工; 2——表示等压式; 12、20——表示焊接低碳钢最大厚度为 12mm、20mm。

三、气割炬性能及规格

1. 射吸式割炬

氧乙炔焰射吸式割炬的割嘴应符合图 9-6、表 9-11 的规定。

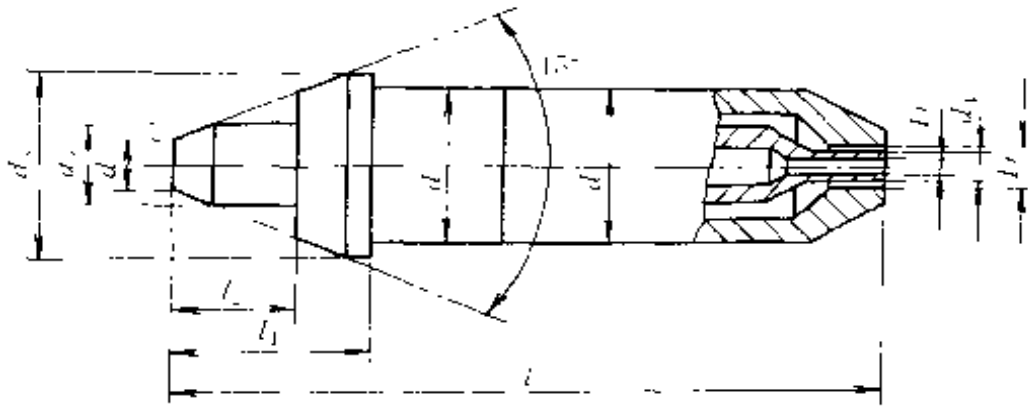


图 9-6 氧乙炔焰射吸式割炬的割嘴

表 9-11 氧乙炔焰射吸式割炬割嘴的尺寸 (mm)

尺寸	型号			G01-100			G01-300			
	G01-30			G01-100			G01-300			
$l$	$\geq 55$			$\geq 65$			$\geq 75$			
$l_1$	16			18			19			
$l_2$	10			11.5			12			
$d$	$13^{+0.150}_{-0.280}$			$15^{+0.150}_{-0.280}$			$16.5^{+0.150}_{-0.280}$			
$d_1$	4.5			5.5			5.5			
$d_2$	7			8			8			
$d_3$	16			18			19			
嘴号	1	2	3	1	2	3	1	2	3	4
$D$	2.9	3.1	3.3	3.5	3.7	4.1	4.5	5.0	5.5	6.0
$D_1$	0.7	0.9	1.1	1.0	1.3	1.6	1.8	2.2	2.6	3.0
$d_4$	2.1	2.5	2.8	2.8	3.0	3.3	3.8	4.2	4.5	5.0

注：G——表示割(Gc)的第一个字母；0——表示手工；1——表示射吸式；  
30、100、300——表示切割低碳钢最大厚度为 30mm、100mm 和 300mm。

氧乙炔焰射吸式割炬的主要参数应符合表 9-12, 基本参数应符合表 9-13, 气体消耗量见表 9-14。

表 9-12 氧乙炔焰射吸式割炬的主要参数

型 号	G01-30	G01-100	G01-300
切割低碳钢厚度/mm	3~30	10~100	100~300

表 9-13 氧乙炔焰射吸式割炬的基本参数

型 号	氧气工作压力/MPa				乙炔使用压力 /MPa	割炬总长度 /mm
	1#	2#	3#	4#		
G01-30	0.2	0.25	0.3	—	0.001~0.1	500
G01-100	0.3	0.4	0.5	-		550
G01-300	0.5	0.65	0.8	1.0		650

表 9-14 氧乙炔焰射吸式割炬的气体消耗量 (m<sup>3</sup>/h)

型 号	G01-30			G01-100		
	1	2	3	1	2	3
嘴号						
氧气消耗量	0.8	1.4	2.2	2.2~2.7	3.5~4.2	5.5~7.3
乙炔消耗量	210	240	310	350~400	400~500	500~610

型 号	G01-300			
	1	2	3	4
嘴号				
氧气消耗量	9.0~10.8	11~14	14.5~18	19~26
乙炔消耗量	680~780	800~1100	1150~1200	1250~1600

在表 9-13 规定的氧气工作压力下, 当乙炔压力为 0.006~0.008MPa 时, 割炬的火焰内可见切割氧流长度不小于表 9-15 的数值。

表 9-15 氧乙炔焰射吸式割炬可见切割氧流长度

型 号	G01-30			G01-100				G01-300			
	1	2	3	1	2	3	4	2	3	4	
可见切割氧流 长度/mm	60	70	80	80	90	100	110	130	150	170	

## 2. 等压式割炬

氧乙炔焰等压式割炬的技术参数见表 9-16。

表 9-16 氧乙炔焰等压式割炬的技术参数

型号	喷嘴号	切割氧孔径/mm	氧气工作压力/MPa	乙炔工作压力/MPa	可见切割氧流长度/mm(≥)	割炬总长度/mm	切割低碳钢厚度/mm
G02-100	1	0.7	0.2	0.04	50	550	3~100
	2	0.9	0.25	0.04	70		
	3	1.1	0.3	0.05	80		
	4	1.3	0.4	0.05	90		
	5	1.6	0.5	0.06	100		
G02-300	1	0.7	0.2	0.04	60	650	3~300
	2	0.9	0.25	0.04	70		
	3	1.1	0.3	0.05	80		
	4	1.3	0.4	0.05	90		
	5	1.6	0.5	0.06	100		
	6	1.8	0.5	0.06	110		
	7	2.2	0.65	0.07	130		
	8	2.6	0.8	0.08	150		
	9	3.0	1.0	0.09	170		

注：G 表示割(Ge)的第一个字母；0 表示手工；2 表示等压式；100、300——表示切割低碳钢厚度最大为 100mm、300mm。

## 3. 氧丙烷割炬

氧丙烷割炬的型号及参数见表 9-17。

氧丙烷切割与氧乙炔切割比较，其预热氧多消耗一倍，而切割氧耗量是相同的。但是在切割时预热氧耗量与切割氧耗量相比要少得多，几乎可以忽略。实验数据见表 9-18。

表 9-17 氧丙烷割炬的型号及参数

参数	割炬型号	
	G07-100	G07-300
割嘴号码	1~3	1~4
割嘴孔径/mm	1~1.3	2.4~3.0
可换割嘴个数	3	4
氧气压力/MPa	0.7	1.0
丙烷压力/MPa	0.03~0.05	0.03~0.05
气割厚度/mm	≤100	≤300

表 9-18 两种切割方法耗气量比较

割嘴种类	乙 炔	丙 烷
割嘴号	2	2
割嘴喉径/mm	0.8	0.8
切割板厚/mm	14	14
切割速度/(cm/min)	51	51
氧气压力/MPa	0.7	0.7
燃气压力/MPa	0.05	0.05
氧气流量/(L/min)	1.09	1.12
燃气流量/(L/min)	0.33	0.18

氧丙烷火焰的温度比氧乙炔焰低，所以切割预热时间比氧乙炔焰要长。氧丙烷火焰温度最高点在焰芯前 2mm 处。手工切割时，由于手持割炬不平稳，预热时间差异很大，机械切割时预热时间差别很小，见表 9-19。手工切割预热钢板时，咬缘越小越可减少预热时间。预热时采用氧化焰，可提高火焰温度，切割时调成正常焰。

表 9 19 机械切割时的预热时间

切割厚度/mm	预热时间/s	
	乙 炔	丙 烷
20	5 (30)	8 (31)
50	8 (50)	10 (53)
100	10 (78)	14 (80)

注：括号内为穿孔时间。

#### 四、焊割两用炬性能及规格

氧乙炔焰等压式焊割两用炬的主要参数见表 9-20，基本参数见表 9 21。

表 9 20 氧乙炔焰等压式焊割两用炬的主要参数

型 号	焊接低碳钢厚度/mm	切割低碳钢厚度/mm
HG02-12/100	0.5~12	3~100
HG02-20/200	0.5~20	3~200

表 9 21 氧乙炔焰等压式焊割两用炬的基本参数

型 号	嘴 号	孔径 /mm	氧气工	乙炔工	焰芯 长度 /mm (≥)	可见切割 氧流长度 /mm (≥)	焊割炬 总长度 /mm
			作压力 /MPa	作压力 /MPa			
HG02-12/100	焊嘴	1	0.2	0.02	4	—	550
		3	0.3	0.04	13	—	
		5	0.4	0.06	20	—	
	割嘴	1	0.2	0.04	—	60	
		3	0.3	0.05	—	80	
		5	0.5	0.06	—	100	

(续)

型号	嘴号	孔径 /mm	氧气工 作压力 /MPa	乙炔工 作压力 /MPa	焰芯 长度 /mm ( $\geq$ )	可见切割 氧流长度 /mm ( $\geq$ )	焊割炬 总长度 /mm
HG02-20/200	焊嘴	1	0.6	0.2	0.02	4	—
		3	1.4	0.3	0.04	13	—
		5	2.2	0.4	0.06	20	—
		7	3.0	0.6	0.08	21	—
	割嘴	1	0.7	0.2	0.04	—	60
		3	1.1	0.3	0.05	—	80
		5	1.6	0.5	0.06	—	100
		6	1.8	0.5	0.06	—	110
		7	2.2	0.65	0.07	—	130

### 五、割嘴的种类与性能

割嘴是割炬的关键部件,割嘴的结构和加工精度对气割的质量、生产率和操作性能都有很大的影响,实际应用的割嘴种类很多。

割嘴按配用的割炬和预热气体混合方式的不同分为:射吸式、等压式和外混式三种;按使用燃气的类型分为:乙炔用割嘴和液化石油气、天然气用割嘴;按预热燃气孔道的结构分为:环形、梅花型和齿槽形割嘴;按切割氧孔道的形状分为:直筒形和扩散形割嘴;按割嘴切割氧孔道的数目分为:单氧孔、双氧孔和三氧孔割嘴。此外,还有氧气屏割嘴、接触式割嘴、表面气割割嘴、预热与切割分开的单独式割嘴等特种割嘴。

#### 1. 氧乙炔焰直筒割嘴

其射吸式割嘴结构见图 9-6。它的预热气孔道有环形和梅花形两种。环形割嘴为组合式,由外套和内芯组成。梅花形则为整体式。环形



预热孔对保护切割氧流方向最为有利,但缺点是火焰不够集中,在切割薄板时,对提高切割速度和质量不利。梅花形割嘴火焰集中,能较快地把切口前缘的钢板表面预热到燃点。目前一般采用6个预热孔,但切割厚4mm以下的薄板时,预热孔以小于4个为佳。

等压式割嘴结构见图9-7,它为梅花形整体式结构。

### 2. 扩散型割嘴

直筒形切割氧孔道在获得理想的切割气流方面存在很大的局限性:切割氧出口流速只能是亚声(音)速或声速,即马赫数 $M \leq 1$ ,而且达到最好氧流形状(风线)的压力比较低,因此,切割能力有限。若将割嘴进口处切割氧压力提高,不但不能使切割氧流速增高,相反,风线向横方向膨胀而变粗,风线缩得很短。从而使切口加宽、切口表面粗糙、熔渣粘附增多。为克服上述缺点可采用扩散形割嘴。

扩散形割嘴的切割氧孔道是一个超声(音)速喷管,它由稳定段、收缩段、喉部、扩散段和平直段等组成,见图9-8。切割氧从进气口进入稳定段,使气流均匀化,流入收缩段后,气流逐渐加速,在喉部恰好达到声速。声速气流在扩散段中不断地膨胀、加速,到出口处气流速度就超过声速。出口气流速度一般取马赫数 $M$ 等于2或再低些,其切割工艺参数见表9-22,喉部直径取决于工件厚度,见表9-23。

使用扩散型割嘴其切割面表面粗糙度一般达到 $R_a 6.3\mu\text{m}$ ,甚至可达 $R_a 3.2\mu\text{m}$ ,切割速度可提高50%~150%,而且变形小,切割厚板时热影响区窄。切割时选用乙炔稍多些的中性焰较为理想,不能用氧化焰。

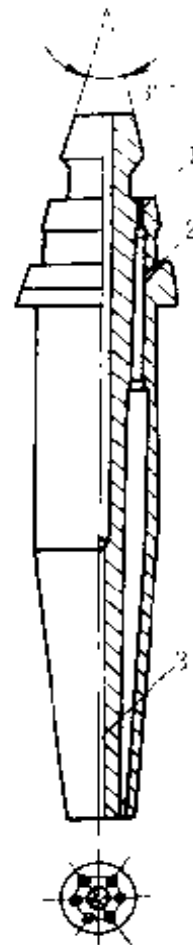


图9-7 等压式割嘴的结构  
1—预热氧孔 2—乙炔孔  
3—切割氧孔

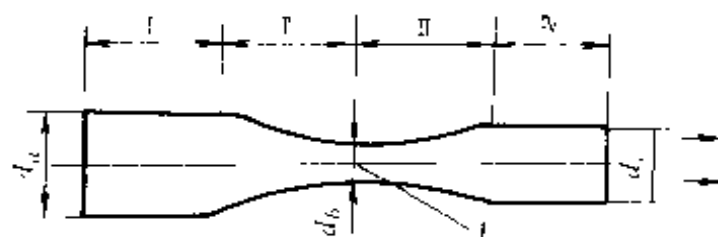


图 9 8 扩散形割嘴切割氧孔道

稳定段 III—收缩段 II—扩散段 IV—平直段  
I—喉部  $d_a$ —进口直径  $d_b$ —喉部直径  $d_c$ —出口直径

表 9-22 扩散形割嘴的切割工艺参数

钢板厚度 /mm	割嘴喉径 /mm	切割氧压力 /MPa	可燃气体压力 /MPa	切割速度 /(cm/min)
2~5	0.7	0.75~0.80	0.02~0.04	110
5~10				110~85
10~20				85~60
20~40				60~35
40~60				35~25
20~40	1.0	0.75~0.80		65~45
40~60				45~38
60~100				38~20
60~100	1.50	0.70~0.75		43~27
100~150				27~20
100~150	2.00	0.70~0.75	30~25	
150~200			25~17	

表 9 23 扩散形割嘴喉部直径的选择

钢板厚度/mm	3~50	50~100	100~200	200~300	300以上
喉部直径/mm	0.1~1	1~1.5	1.5~2	2~3	>3

### 3. 外混式割嘴

外混式割嘴是用于切割大厚度钢材（厚度在 300mm 以上）的新型割嘴。割嘴中有独立的燃气和预热氧孔道，气体流到嘴外，在空气中混合燃烧。其结构见图 9-9。

割嘴中预热氧和燃气孔道的配置有两种方式：燃气孔道布置在预热氧和切割氧孔道之间；燃气孔道布置在外侧，预热氧孔道在中间。

外混式割嘴在切割过程中不会发生回火和熄火，同时割嘴高度不需调整，安全可靠。燃气通常采用石油气。切割氧孔道一般做成低压扩散形。

外混式割嘴的切割工艺参数示例见表 9-24。

### 4. 氧气屏式割嘴

所谓氧气屏割嘴是在切割氧流和预热火焰之间，加入一层低速、小流量的保护氧“屏幕”，防止空气等杂质混入切割氧流的割嘴，见图 9-10。

由于氧屏的保护，使切割氧的纯度比普通割嘴大大提高，而且氧气屏还有降低切割氧的紊流，保持其完好的圆柱度，提高氧气流的动量，

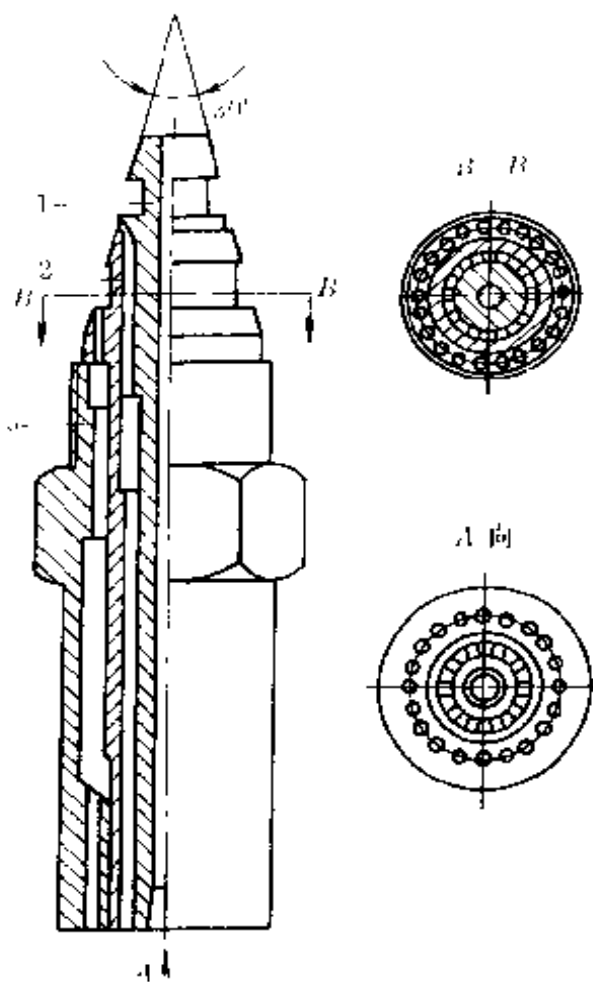


图 9-9 外混式割嘴结构

1—内芯 2—中间套筒 3—外套

增大对熔渣冲刷力的作用。同时氧气屏还能改善预热火焰的稳定性,并对切口起“修切”作用,降低切口的表面粗糙度值,可达 $R_a 6.3\mu\text{m}$ 。

表 9-24 外混式割嘴切割工艺参数示例

割嘴, mm		工件厚度 mm	切割氧压力 MPa	预热气体压力 (MPa)		切割速度 (cm/min)
$d_1$	$d_2$			丙烷	氧气	
3	1	100	0.7	0.05	0.05	15

采用这种割嘴,可提高切割速度50%左右,割嘴的切割氧孔道可以是直筒形,也可以是扩散形。

### 5. 双氧孔割嘴

双氧孔割嘴是指具有2个切割氧孔的割嘴。这种割嘴能同时喷出两股切割氧流,并相互错开,一个在前,一个稍后,见图9-11。前一个氧流是把钢板切开(相当于粗加工),并使切口边缘呈炽热状态,后一个氧流随之对切口进行“修切”(相当于精加工)。因此,能在较高的切割速度下获得相当光洁的切割面。这种割嘴的不足之处是:只能获得一边光洁的切口,而且耗氧量较多。

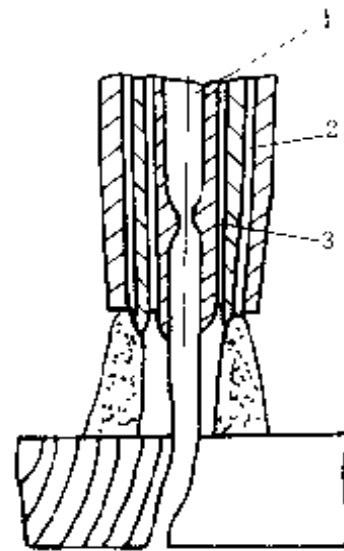


图 9-10 氧气屏式割嘴

1—切割氧孔道 2—燃气孔道  
3—屏幕氧孔道

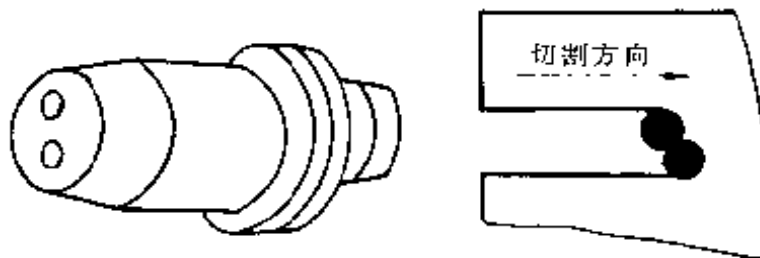


图 9-11 双氧孔割嘴及切割示意图

6. 氧石油气割嘴

氧石油气割嘴一般采用组合式结构。由于石油气密度大,燃烧速度慢,火焰温度低等特点,预热焰出口孔道总面积比氧乙炔割嘴大1倍左右,一般制成齿槽形,槽数为16~18。同时,预热氧孔道的锥度也比乙炔割嘴大(约 $10^\circ$ 左右)。而且,喷嘴的端面向里缩进0.5~1mm,以便石油气能更充分地燃烧,提高火焰温度。

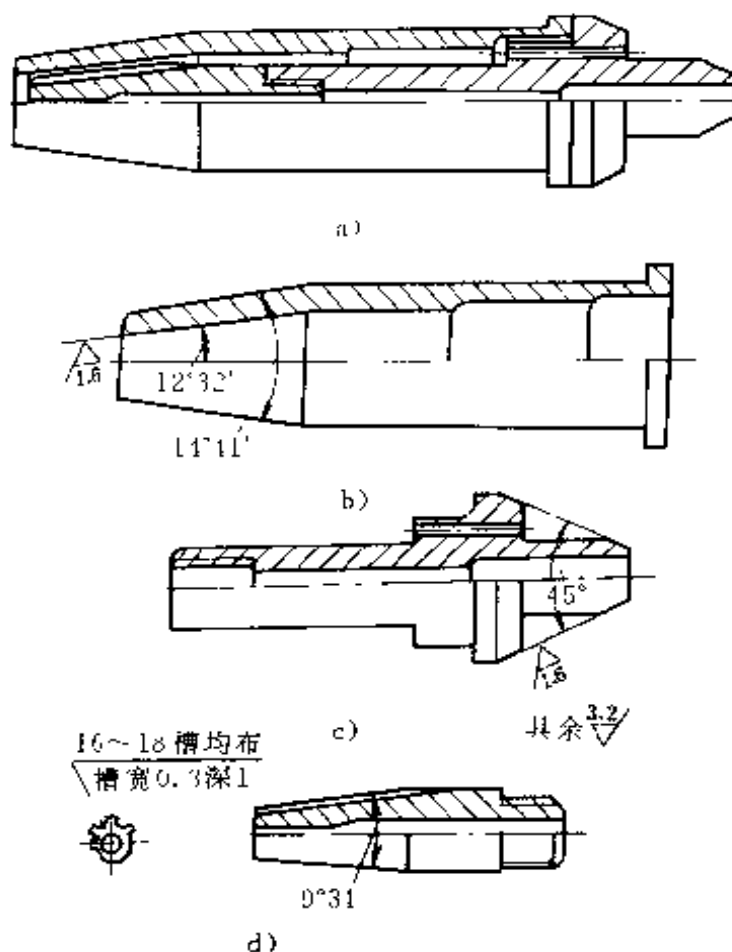


图 9-12 氧石油气射吸式割嘴的结构

a) 割嘴 b) 外套 c) 接头 d) 喷嘴

图 9-12 为氧石油气射吸式割嘴结构,图 9-13 为氧石油气等压式割嘴结构。

氧石油气割嘴的切割氧孔道可以是直筒形,也可以是扩散形,或采用外混式割嘴。现有氧乙炔切割机及等压式割炬,均可直接用于氧石油气(丙烷)切割,或换用石油气割嘴;对射吸式割炬,当切割厚度在

80mm 以下时,可以和氧乙炔割炬通用,超过 80mm 时,应将割炬预热氧喷嘴、射吸管扩大为原孔截面积的 1.5 倍,使预热火焰能力提高。

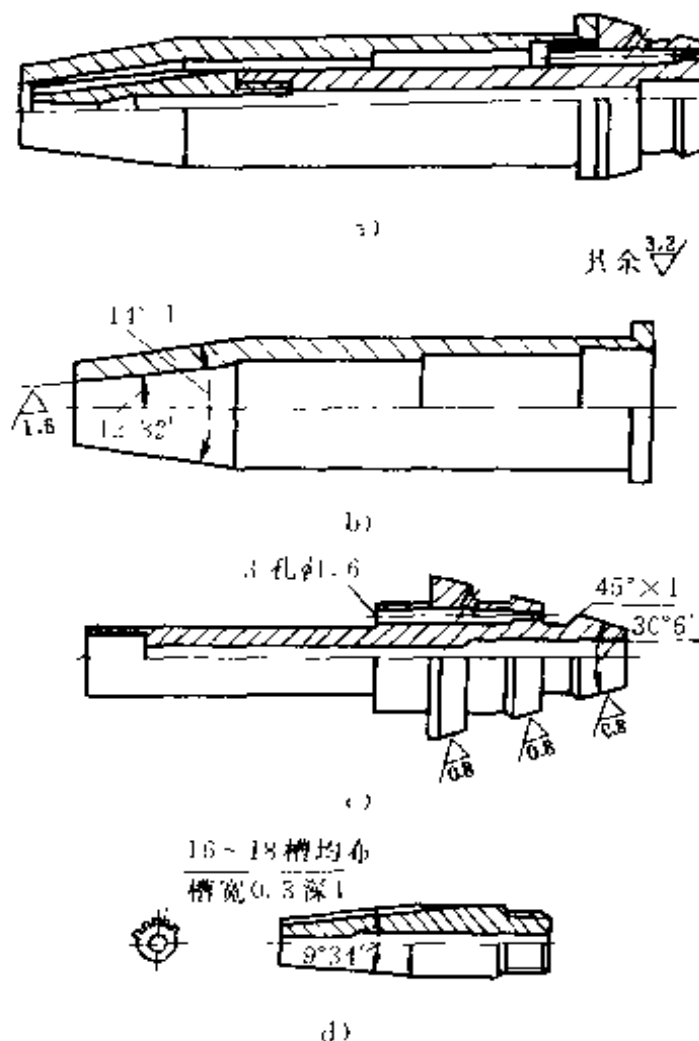


图 9-13 氧石油气等压式割嘴的结构

a) 割嘴 b) 外套 c) 接头 d) 喷嘴

### 六、乙炔发生器的种类及技术性能

乙炔发生器种类很多,按压力分有中压乙炔发生器(产生表压力为 0.0069~0.0127MPa 乙炔气体的乙炔发生器)和低压乙炔发生器(产生表压力低于 0.0069MPa 乙炔气体的乙炔发生器);按电石与水接触方法的不同,可分为排水式、电石入水和排水联合式;按位置形式有移动式 and 固定式。中压乙炔发生器的种类及技术性能见表 9-25。

表 9-25 中压乙炔发生器的技术性能

型 号	Q3-0.5	Q3-1	Q3-3	Q4-5	Q4-10	
正常生产率 /(m <sup>3</sup> ·h)	0.5	1	3	5	10	
乙炔工作压力 /MPa	0.045~0.10	0.045~0.10	0.045~0.10	0.1~0.12	0.045~0.1	
安全阀泄气压力 /MPa	0.115	0.115	0.115	0.15	0.15	
防爆膜爆破压力 /MPa	0.18~0.28	0.18~0.28	0.18~0.28	0.18~0.28	0.18~0.28	
发气室乙炔最高 温度 /℃	90	90	90	90	90	
电石一次装入量 /kg	2.4	5	13	12.5	25.5	
电石允许颗粒度 /mm	25×50 50×80	25×50 50×80	25×50 50×80	15×25	15×25 25×50 50×80	
发生器水容量 /L	30	65	330	338	818	
结构形式	排水式	排水式	排水式	联合式	联合式	
安装形式	移动式	移动式	固定式	固定式	固定式	
外形尺寸 /mm	长	515	1210	1050	1450	1700
	宽	505	675	770	1375	1800
	高	930	1150	1755	2180	2690
净重(不含水和 电石) /kg	45	115	260	750	980	

由于用溶解乙炔瓶比用乙炔发生器可节约电石约 30%，且操作方便、安全可靠，因此，溶解乙炔瓶有取代使用乙炔发生器进行作业的趋势。

### 七、常用回火保险器的种类及特点

火焰伴有爆鸣声进入焊(割)炬,并熄灭或在喷嘴内重新点燃的现象称之为回火。可见,回火有逆火和回烧两种。当回烧时,火焰除向喷嘴逆行,还继续向混合室和气体管路燃烧,以致于焊(割)炬、管路以及引起可燃气体贮罐的爆炸。回火保险器就是装在燃料气体系统上的防止向燃气管路或气源回烧的保险装置。

现使用的回火保险器按作用原理分为水封式和干式两种;按工作部位分有袖珍割炬用、岗位式和集中式等。

#### 1. 闭式中压水封回火保险器

闭式中压水封回火保险器常与中压乙炔发生器配合使用。封闭介质为水,作用原理见图 9-14。

正常工作时,乙炔由 1 进气管进入回火保险器,靠乙炔压力顶开止

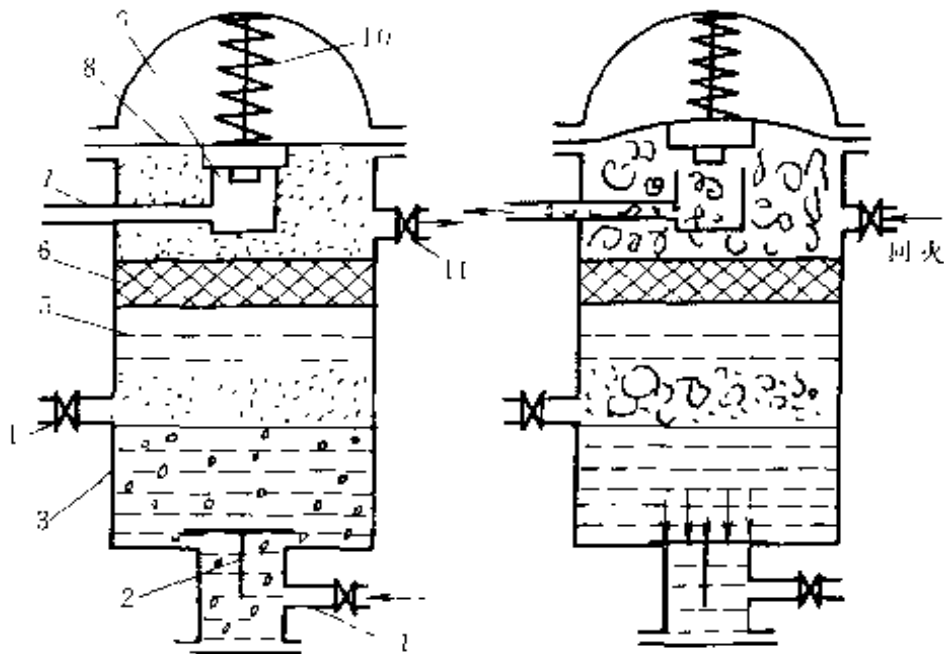


图 9-14 中压水封式回火保险器

- 1—进气管 2—止回阀 3—桶体 4—水位阀 5—分配盘 6—滤清器  
7—排气口 8—弹簧片 9—排气活门 10—弹簧 11—出口阀



回阀 2，乙炔气体通过水封和滤清器后从出口阀 7 导至乙炔胶管进入焊（割）炬。当发生回火时，燃烧气体使回火保险器内压力增高，关闭止回阀 2，同时顶开弹簧片 8，燃烧气体经排气活门 9 由排气口 10 排出，防止燃烧气体回流。水封式回火保险器应垂直安放；每天检查，更换清水，确保水位准确；冬天使用时应加入少量食盐防冻，若发现水冻结，则只允许用热水或蒸汽解冻，严禁用明火加温解冻。

### 2. 中压防爆膜干式回火保险器

中压防爆膜干式回火保

险器的结构原理见图 9-15。

正常工作时，乙炔经进气管顶开逆止阀进入腔体，由出气管输出。回火时，倒流的燃烧气体从出气管进入爆炸室，使压力增高，防爆膜破裂，燃烧气体散入大气。同时，逆止阀关闭，暂时停止供气，起到防止回火的作用。由于逆止阀的关闭是暂时的，当爆炸室泄压后，乙炔又继续供给，因此，必须关闭乙炔总阀，被冲破的防爆膜经更换后才能工作。

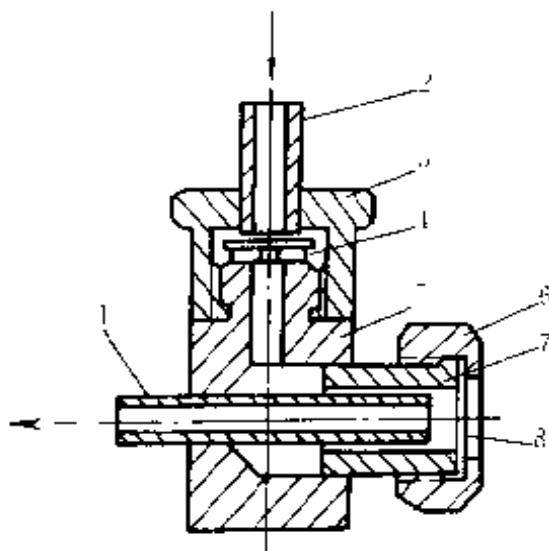


图 9-15 中压防爆膜干式回火保险器的结构原理

1—出气管 2—进气管 3—盖 4—逆止阀  
5—筒体 6—膜盖 7—膜座 8—防爆膜

### 3. 中压多孔管干式回火保险器

中压多孔管干式回火保险器所使用的多孔管，可以是陶瓷多孔管，也可以是粉末冶金多孔管。这种回火保险器能有效地阻止回火，并能切断气源；不受气候条件限制，寒冷、炎热天气均可使用；使用弹簧泄压装置代替了防爆膜装置，使回火爆炸声大为减小；回火后用手柄使锥形阀芯复位就能继续使用，操作、维护简便；而且体积小、质量轻。多孔陶瓷管干式回火保险器的主要技术数据见表 9-26。

表 9-26 多孔陶瓷管干式回火保险器的  
主要技术数据

乙炔流量/(m <sup>3</sup> /h)	3.5
工作压力/MPa	0.05~0.15
阻力/MPa	0.013
气体体积/L	0.116

下式回火保险器使用时发现阻力增加或流量减少,应进行检修,将多孔管在规定的溶剂中清除污物并干燥,经止回性能试验合格方能继续使用。

#### 4. 袖珍割炬用中压干式回火保险器

袖珍割炬用中压干式回火保险器,是乙炔回火保险器与氧气回火保险器分开装设的回火保险器。它可直接装接在手工割炬、机械化或半机械化气割机割炬的进气口处,或装接在输气胶管上。此类回火保险器结构合理、体积小、质量轻、功能全,具有防止气体逆流、切断供气、阻止回火、自动复位等功能。其主要技术参数见表 9-27。

表 9-27 袖珍干式回火保险器的  
主要技术数据

种 类	乙炔回火保险器		氧气回火保险器	
	最大工作压力 /MPa	最大通气量 /(m <sup>3</sup> /h)	最大工作压力 /MPa	最大通气量 /(m <sup>3</sup> /h)
I 型	0.12	5	0.7	16
II 型		3		12
III 型		6		18
IV 型		20		—
V 型		15		—

#### 八、减压器型号及特点

减压器的作用是把贮存在气瓶内的高压气体降为工作需要的低压气体,并保持输出气体的压力和流量稳定。

减压器按工作气体分有氧气用、乙炔气用和液化石油气用等；按使用情况和输送能力分有气瓶用、岗位用和集中用；按构造和作用分有杠杆式和弹簧式。弹簧式减压器又分为正作用和反作用两种；按减压次数又分为单级式和双级式两种。

常用减压器的主要技术数据见表 9-28。

表 9-28 减压器主要技术数据

型 号	QD-1	QD-2A	QD-50	QD-20	QW5-25/0.6
名 称	单级氧气减压器	单级氧气减压器	双级氧气减压器	单级乙炔减压器	单级丙烷减压器
进气最高压力 /MPa	15	15	15	1.6	2.5
工作压力调节范围 /MPa	0.1~2.5	0.1~1	0.5~2.5	0.01~0.15	0.01~0.06
公称流量 / (L/min)	1333	667	3667	150	100
出气口孔径 /mm	6	5	9	4	5
安全阀泄气压力 /MPa	2.9~3.9	1.15~1.6	—	0.18~0.24	0.07~0.12
进口连接螺纹	G5/8	G5/8	G1	夹环连接	G5/8左

### 1. QD-1 型减压器

QD-1 型减压器属单级反作用式减压器，其主要技术数据见表 9-28，结构、原理见图 9-16。

在非工作状态时，调压螺钉向外旋出，调压弹簧 12 不受力呈自由状态，这时打开氧气瓶阀，高压气体由进气口 4 进入高压气室 7，但由于减压活门 3 被副弹簧顶住，高压氧流不到低压气室 10 内。

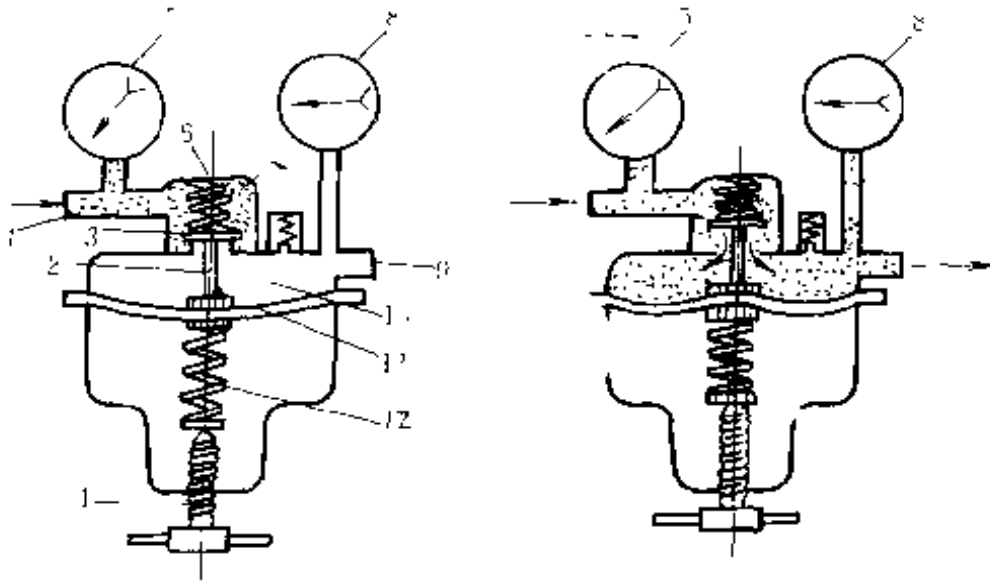


图 9-16 QD-1 型减压器工作原理

- 1—调压螺钉 2—活门顶杆 3—减压活门 4—进气口 5—高压表  
6—副弹簧 7—高压气室 8—低压表 9—出气口 10—低压气室  
11—弹簧薄膜 12—调压弹簧

工作时，旋入调压螺钉 1 调压弹簧 12 受压缩，产生顶力，通过弹簧薄膜 11，由活门顶杆 2 传递到减压活门 3 上，克服弹簧 6 的部分压力，把减压活门 3 顶开，此时高压气体从活门 3 的开口间隙流入低压气室 10，并且随着气体膨胀降低了压力，而后低压氧由出气口 9 输入焊、割炬。

当氧气输出量降低时，则低压气室 10 压力增高，通过弹簧薄膜 11 使调压弹簧 12 被压缩，副弹簧 6 膨胀，传给减压活门 3 的向下力加大，开启度减小甚至关闭。反之，当输出氧量增加时，低压气室 10 压力降低，减压活门 3 开启度增大，进入低压气室的气体增加，从而保证工作压力的稳定。

当氧气瓶内的压力下降时，作用于减压活门 3 的关闭压力也减小，减压活门的开启度增大，从而保证低压气室 10 内的氧气工作压力稳定。

单级反作用式氧气减压器涂成天蓝色。此种减压器目前使用较多。

2. QD-20 型单级乙炔减压器

QD-20 型单级乙炔减压器供乙炔减压用,其主要技术性能见表 9-28,结构和工作原理基本上与单级反作用式氧气减压器相似,不同的是与乙炔瓶连接要使用特殊的火环并借紧固螺钉加以固定。而且减压器在出口处还装有逆止阀,以防止回火时燃烧气浪倒袋。减压器外壳涂成白色。

3. QW5 25/0.6 单级丙烷减压器

QW5-25/0.6 单级杠杆式丙烷(液化石油气)减压器,又称为调压器,其结构见图 9-17。

当较高压力的气体进入高压气室后,经过喷嘴 4 顶开阀垫 3,进入低压气室。此时,高压气体由于克服喷嘴阻力和气体膨胀,而使其压力降低。当低压气室内的气体达到一定压力时,橡胶隔膜向上鼓起,并通过纵阀杆 8 使阀垫关闭喷嘴。当低压气室的气体输出时,低压气室的气体压力降低,则阀垫抬起,高压气体继续通过喷嘴输入低压气室。如此循环,保证稳定、均匀地供给一定压力的气体。

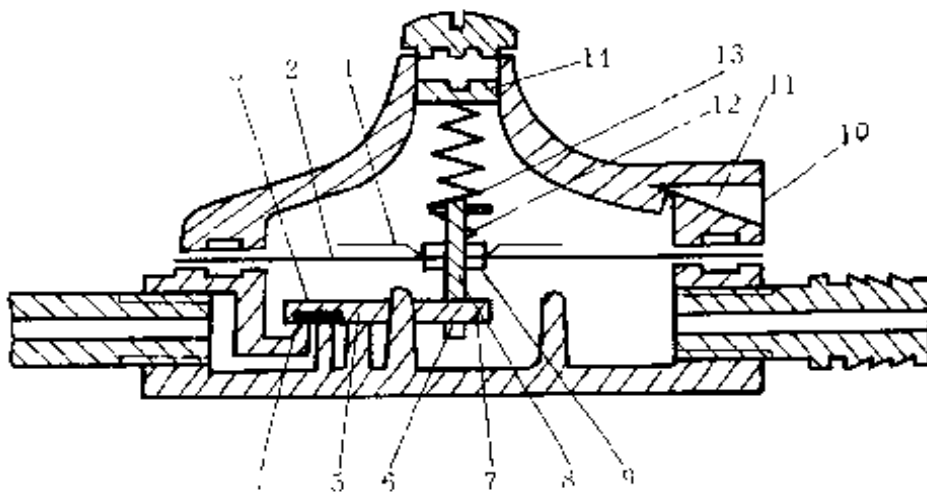


图 9-17 丙烷调压器结构

- 1—压隔膜金属片 2—橡胶隔膜 3—阀垫 4—喷嘴 5—支柱轴 6—滚柱 7—横阀杆 8—纵阀杆 9—安全阀座 10—安全阀 11—安全孔 12—安全阀弹簧 13—调压弹簧 14—调整帽

丙烷减压器涂成灰色。

不同气体用减压器，虽结构、原理和使用方法基本相同，为避免混用造成事故，所以其尺寸、形状、材料、装卡方法和涂色等均不同。

## 九、气瓶

### 1. 氧气瓶

氧气瓶是一种贮存、运输高压氧气的高压容器。常用氧气瓶的充装压力为 15MPa，容积为 40L，在 15MPa 压力下可贮存 6m<sup>3</sup> 氧气。氧气瓶涂成天蓝色，并写有黑色“氧气”字样。

氧气瓶为压缩气瓶，其贮量可用氧气瓶的容积与瓶内压力的乘积来计算，公式为：

$$V = 16V_0p$$

式中  $V$  — 氧气的贮量，即常压下的体积 (L)；

$V_0$  — 氧气瓶的容积 (L)；

$p$  — 氧气瓶表压 (MPa)。

国产部分氧气瓶的规格见表 9-29。

表 9-29 国产部分氧气瓶的规格

工作 压力 /MPa	容积 /L	瓶体 外径 /mm	瓶体高度 /mm	质量 /kg	水压试 验压力 /MPa	采用 瓶阀 规格
15	30	φ216	1150±20	45±2	22.5	QF-2 铜阀
	40		1370±20	55±2		
	46		1490±20	57±2		

### 2. 溶解乙炔瓶

溶解乙炔瓶不同于压缩气瓶，也不同于液化气瓶，其构造见图 9-18。

根据“溶解乙炔瓶安全监察规程”规定，钢瓶的公称容积和直径应按表 9-30 选用。

乙炔溶解于丙酮，其溶解度与压力成正比。在 15℃、0.1MPa 压力时，一个单位体积的丙酮能溶解 23 个单位体积的乙炔；在 15℃、

1.5MPa 压力时,可溶解 345 个单位体积的乙炔。根据这个特性来贮存和运输乙炔。

乙炔瓶内装有多孔而轻质的固态填料——活性炭、木屑、浮石及硅藻土等合成物或硅酸钙,由它来吸收液体物质丙酮,而用丙酮来溶解乙炔。常用的溶解乙炔瓶容积为 40L,可贮溶解乙炔净重 5~7kg,按 6.5kg 计,则乙炔气体积约 6m<sup>3</sup>。溶解乙炔瓶最高工作压力为 1.55MPa。

乙炔瓶阀下面的填料中心部分长孔内装有石棉,其作用是帮助乙炔从多孔填料内的丙酮中分解出来。但从溶解乙炔瓶中取出的乙炔量不能随意,而应有一定的限制;乙炔气的压力也不能调得过大。一般每小时从溶解乙炔瓶输出的乙炔限量不能超过 1kg,输出压力不宜超过 0.1MPa,以 0.03~0.075MPa 为宜。

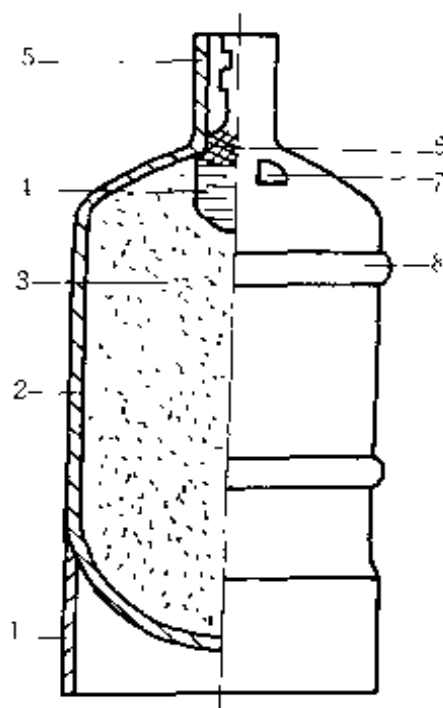


图 9-18 溶解乙炔瓶的构造

- 1—瓶座 2—瓶壁 3—多孔填料
- 4—石棉 5—瓶帽 6—过滤网
- 7—压力表 8—防振圈

表 9-30 溶解乙炔瓶公称容积和直径关系

公称容积/L	≤25	40	50	60
公称直径/mm	200	250	250	300

溶解乙炔瓶外表涂成白色,并标有红色的“乙炔”和“不可近火”字样。

溶解乙炔瓶中的乙炔不能用完,气瓶中的剩余压力应符合表 9-31 的规定。

溶解乙炔瓶内的压力随温度变化,当溶解乙炔瓶充气并静置后,其极限压力值不应大于表 9-32 的规定。



表 9-31 溶解乙炔瓶的剩余压力值

环境温度/℃	瓶内压力值/MPa
-5~0	≥0.05
0~15	≥0.1
15~25	≥0.2
25~35	≥0.3

表 9-32 溶解乙炔瓶内极限压力值与  
周围介质温度的关系

温度/℃	10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40
表压/MPa	0.7	0.8	0.9	0.105	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.25	2.5

### 3. 液化石油气瓶

常用液化石油气瓶有能充装 15kg 和 50kg 两种，钢瓶表面涂成灰色，并涂有红色“液化石油气”字样。

液化石油气钢瓶的设计压力为 1.6MPa，这是按照液化石油气的主要成分丙烷在 48℃ 时的饱和蒸气压确定的。钢瓶内容积是按液态丙烷在 60℃ 时恰好充满整个钢瓶而设计的。所以，正常情况下，钢瓶内压力不会达到 1.6MPa，按规定量充装，钢瓶内总会有一定的气态空间。

## 十、切割机

切割机在生产中已广泛使用，其形式五花八门，品种有数十种，如：手持式切割机、黄鼠狼式切割机、直线式切割机、割圆机、椭圆切割机、弧形切割机、多向切割机、摇臂仿形切割机、管子切割机、型钢切割机、厚板 U 形坡口切割机、坡口切割机、门式切割机、光电跟踪切割机和数控切割机等。

### 1. QGS-13A-U 型手持式自动火焰切割机

手持式自动火焰切割机是在手用割炬上加装了电动匀走器和导向机构等附件，使切割实现了机械化。该机既具备了手用割炬轻便、灵活的特点，又能机动匀走和靠附件导向，因而可以切割出较高质量的工



件。

QGS-13A-1 切割机大致分为三部分, 见图 9-19。第一部分为主体部分, 包括传动链、电控部分、气路部分和壳体。传动链由微型电动机、减速器、万向接头、锥齿轮副、摩擦轮组成。通过无级调速使摩擦轮得到相应的角速度。气路系统由预热氧、切割氧和燃气三条管路供气至喷嘴, 其中切割氧阀与微型电动机启动开关可联动也可分动。

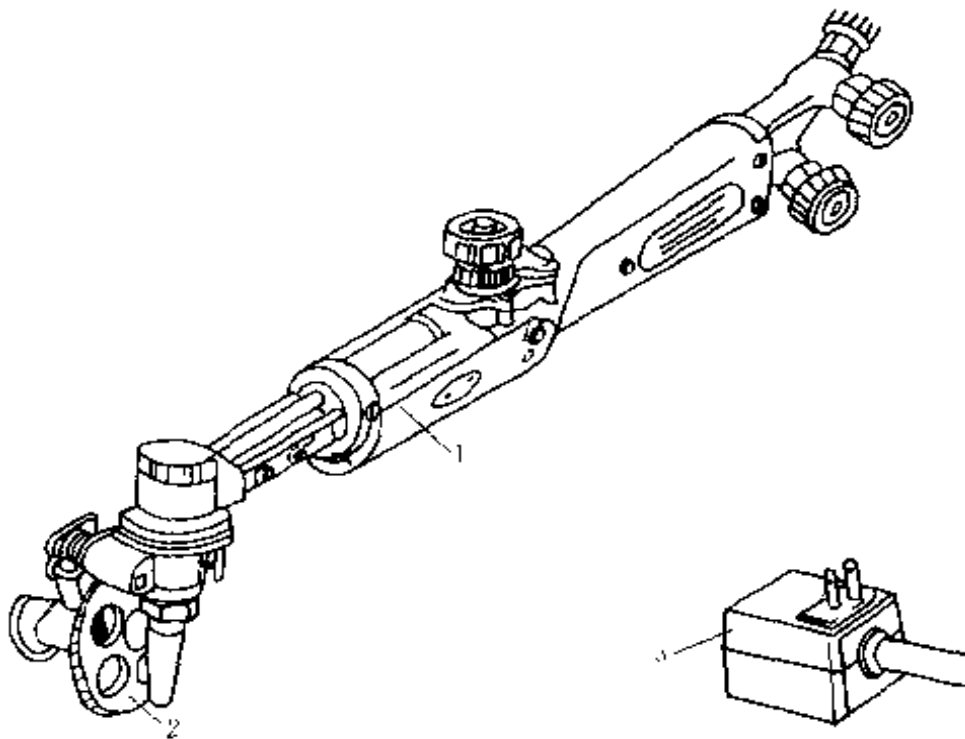


图 9-19 QGS-13A-1 型手持切割机

1—主体 2—驱动附件 3—交直流转换电源插头

第二部分由驱动附件组成, 驱动附件有垂直驱动轮、坡口驱动轮、小圆规及大圆规。垂直驱动轮或坡口驱动轮靠弹簧可快速装卡在主体割炬头部, 与摩擦轮相接获得驱动力矩。

第三部分为电源部分, 切割机的驱动电动机大多采用 12V 直流电源。若在有交流电的现场作业, 可通过交直流转换器来实现转换。切割机也有靠电池运行的。

QGS-13A-1 型手持式自动火焰切割机能够在手工切割的环境中,

在厚 4~60mm 的钢板上实现机动切割弧线、缓曲线、0~45°坡口、内外圆坡口、圆的垂直割口,还可用于切割  $\phi 100\text{mm}$  以上的管子和各种型材。

QGS-13A-I 型手持式自动火焰切割机的主要性能见表 9-33。

表 9-33 QGS-13A-I 型手持切割机的  
主要性能参数

质量/kg	2	速度控制	晶体管
电源/V	AC220, DC12	氧气压力/MPa	0.2~0.8
切割厚度/mm	4~60	乙炔压力/MPa	0.05~0.06
传动方式	摩擦传动	切割速度 (cm/min)	20~70

## 2. CG1-30 型切割机

CG1-30 型切割机是一种结构简单、操作方便的小车式切割机,可以切割直线或圆弧,在生产中应用广泛。

CG1-30 型切割机机体采用铸铝外壳,机身上装有小车行走机构、气体分配器、控制板和割嘴支持架等。在割嘴支持架上,安装有调节割嘴横向移动、升降移动和倾斜角度的支架,可随时按工作要求对割嘴进行调整。

CG1-30 型切割机的主要技术数据见表 9-34,切割参数见表 9-35。

表 9-34 CG1-30 型切割机的主要技术数据

切割钢板厚度	/mm	5~60
割嘴数目	/个	3
切割速度	/(cm/min)	6~75
割圆直径	/mm	200~2000
电动机功率	/W	24
电源电压	/V	220
外形尺寸	$\frac{\text{长}}{\text{mm}} \times \frac{\text{宽}}{\text{mm}} \times \frac{\text{高}}{\text{mm}}$	370×230×240
质量	/kg	约 14

表 9-35 CG1-3 型切割机的切割参数

割嘴号码	切割厚度 /mm	氧气压力 /MPa	乙炔压力 /MPa	切割速度 /(cm/min)
1	5~20	0.25	0.02	50~60
2	20~40	0.25	0.025	40~50
3	40~60	0.30	0.04	30~40

其它小型切割机的主要技术数据见表 9-36。

表 9-36 几种小型切割机的主要技术数据

型 号	CG 7	CG1 18	G1-100	G1-100A	CG Q2
切割钢板厚度 /mm	5~50	5~150	10~100	10~100	6~150
割嘴数目 /个	3	5	3	3	—
气割速度 /(cm/min)	7.5~85	5~120	19~55	5~65	0~100
割圆直径 /mm	65~1200	300~2000	540~2700	50~1500	30~1500
电动机功率 /W	3	15	22	24	24
电源电压 /V	220	220	220	220	220
外形尺寸 $\frac{\text{长}}{\text{mm}} \times \frac{\text{宽}}{\text{mm}}$ $\times \frac{\text{高}}{\text{mm}}$	480×105 ×145	310×200 ×100	465×370 ×540	420×440 ×310	320×240 ×300
质量 /kg	2.8	13	19.2	17	20

### 3. CG2-150 型仿形切割机

CG2-150 型仿形切割机为摇臂式磁性靠模，由磁滚轮沿样板仿形带动割嘴运动，机身结构简单、紧凑，适用于中、小型工件的封闭曲线大批量切割生产。

CG2-150 型仿形切割机的主要技术数据见表 9-37，切割参数见表 9-38。

表 9-37 CG2-150 型切割机的主要技术数据

切割钢板厚度	/mm	5~50		
割嘴数目	/个	3		
切割速度	/(cm/min)	5~75		
割圆直径	/mm	600		
割件最大尺寸	/mm	500×500	100×900	450×750
电动机功率	/W	24		
电源电压	/V	220		
切割精度	/mm	±0.4		
外形尺寸	$\frac{\text{长}}{\text{mm}} \times \frac{\text{宽}}{\text{mm}} \times \frac{\text{高}}{\text{mm}}$	1190×335×800		
质量	/kg	49		

表 9-38 CG2-150 型切割机的切割工艺参数

割嘴号码	气割厚度 /mm	切口宽度 /mm	氧气压力 /MPa	乙炔压力 /MPa	切割速度 /(cm/min)
1	5~20	2.0	0.25	0.02	50~60
2	20~40	2.6	0.25	0.025	40~50
3	40~60	3.2	0.30	0.04	30~40

其它仿形切割机的主要技术性能见表 9-39。

#### 4. 专用切割机

CG-Q4 型立柱式割圆机，切割厚度为 6~100mm，割孔直径 30~300mm，带磁力底座，垂直静吸力大于 500N，可以在平面上或垂直面上切割。

CG-Q3 型椭圆切割机，切割厚度 5~80mm，切割椭圆长径 200~800mm，短径 150~600mm，也可以割圆，割圆直径 50~800mm。

CG-1-13 型多向切割机，可以在永磁钢带导轨上行走。随导轨位置的改变，能做垂直、横向、仰面、曲面等多方向运动。切割厚度 5~45mm，切割不平直钢板最小曲率 700mm。

CG2-11 型管道切割机,采用两对四个永磁性滚轮将其吸附在钢管上,自动环绕钢管切割。切割钢管直径 108mm 以上,并能进行 V 形坡口的切割。

CG2-60 型钢管内切割机,可以对钢管桩或垂直钢管 ( $\phi 400 \sim \phi 900$ mm) 进行内壁切割,切割厚度 5~25mm。

CG1-75 型钢锭切割机,可以对厚 150~350mm 钢板、钢锭做直线切割。

表 9-39 其它仿形切割机的主要技术性能

型 号	G2 1000	G2-3000	G2-5000
切割厚度 /mm	5~60	10~100	10~100
切割长度 /mm	1200	--	5300
切割正方形 /mm	1060×1060	1000×1000	2000×2000
切割长方形 /mm	750×460 900×410 1200×260	3200×350	5000×600
切割圆直径 /mm	620、1500	1400	20~2300
割嘴数目 /个	3	3	3
切割速度 / (cm/min)	5~75	10.8~72.2	20~150
电动机功率 /W	24	24	24
电源电压 /V	220	220	220
外形尺寸 $\frac{\text{长}}{\text{mm}} \times \frac{\text{宽}}{\text{mm}}$ $< \frac{\text{高}}{\text{mm}}$	1325×325×800	2200×1000×1500	3850×2000×1700
质量 /kg	38.5	--	500
切割精度 /mm	$\leq \pm 1.75$	$\pm 0.4$	$\pm 0.4$

(续)

型 号	CG2-W 600-1500	CG2 100	G5-100
切割厚度 /mm	200~600	5~45	5~100
切割长度 /mm	2000		—
切割正方形 /mm	1500×1500	—	—
切割长方形 /mm	1500×2000	—	—
切割圆直径 /mm	1500	—	—
割嘴数目 /个	3	3	3
切割速度 / (cm/min)	1.6~25	—	10~90
电动机功率 /W	68	20	20
电源电压 /V	220	220	220
外形尺寸 $\frac{\text{长}}{\text{mm}} \times \frac{\text{宽}}{\text{mm}}$ $\times \frac{\text{高}}{\text{mm}}$	2000×2500×3500	261.5×424×346	261×423×341
质量 /kg	3000	10.62	10.5
切割精度 /mm	椭圆度<3	—	—

SAG-A型、SAG-B型磁轮切割机,是利用两个永久磁性轮使其吸附在钢管、钢板上做多种位置自动切割的设备。如钢管自动切割与坡口切割,钢板在平、立、仰各种位置的直线或斜面切割,B型还可进行圆弧切割。切割厚度5~70mm,切割管径大于108mm,切割圆弧0~500mm

GX-600型型钢切割机,用来切割工字钢、槽钢等,可切割工字钢10~70号、槽钢10~40号,可正横斜切割0~45°、斜垂切割0~60°。

厚板 U 形坡口切割机, 切割厚度 40~100mm, 也可以切割 V、X、Y、K 形坡口。

GCJ2-350 型坡口切割机, 为适应不同工艺要求, 可采用单割炬、双割炬和三割炬分别进行 Y、V、X、K 形直线坡口的切割。切割厚度 5~100mm。

### 5. 光电跟踪切割机

光电跟踪切割机是用光电平面轮廓仿形, 通过自动跟踪系统, 驱动割嘴使用气体火焰对金属板材进行切割的设备。其结构主要由光电跟踪机和自动切割机两大部分组成, 国内目前跟踪机和切割机多为分离式, 实行遥控。跟踪方式大多采用脉冲相位制。

光电跟踪切割机的工作原理是: 将光源激励灯的光线通过光学系统(光电头)聚成光点, 随着光学系统中同步扫描电动机运转, 使光点形成光环, 投射到按一定比例绘制的仿形图上, 由于黑(线条)白(图样)反差的变动, 光电元件将这种光照的变化转换成电信号, 即脉冲信号。脉冲的相位取决于线条相对于光环的位置。脉冲信号通过感应、放大, 来控制伺服系统, 使光电头自动跟踪图样上的线条, 并以稳定的速度作连续而准确的移动。

与此同时, 脉冲信号或经过一套控制器处理转换成电压, 送给切割台上纵、横两个方向的伺服电动机来拖动割炬切割钢板; 或信号放大处理后输出的直流控制信号, 经过速度分解机构分成  $x$ 、 $y$  两个垂直分量, 再经纵向和横向电动机放大机推动纵、横向执行电动机拖动割炬切割钢板。

光电跟踪切割机的主要技术数据见表 9-10。

### 6. 数控切割机

按照数字指令规定的程序, 进行的热切割为数控切割。数控切割机可用来完成金属构件的切割、号料和套料工作。

数控切割机主要由数控程序机构和切割执行机构两大部分组成, 采用门式结构, 在两根导轨上行走。门架上装有两台横移小车, 各装有一个割炬架。

数控切割机的控制方式大体有两类: 一种是普通数控切割机, 又称

表 9-40 光电跟踪切割机的主要技术数据

型 号		双臂式 KHD-2	龙门式 601
切割厚度	/mm	6~100	4~100
切割速度	/(cm/min)	0~60	0~75
仿形比例		1:10	1:10
切割精度	纵向误差 /mm	≤±1	≤0.5
	横向误差 /mm	≤±1	≤0.5
光电头光环直径	/mm	1.5~2	~1 (可调节)

硬件数控：另一种是计算机数控切割机，又称软件数控。

数控切割机还可装许多附属装置，如自动点火装置、割嘴回转装置（可用于切割坡口）、割嘴高度测定装置、划线或打出点迹的号料装置、放水装置、遇有着火等情况的报警或停车装置等。

数控切割机的主要技术数据见表 9-41。

表 9-41 数控切割机的主要技术数据

型 号		6500	SK-CG 9000	QSQ-1	SK-CG -2500	GCNC- 7500A
切割厚度	/mm	5~100	5~100	5~100	5~100	5~100
切割长度	/mm	2800	2400	10000	6000	2400
切割宽度	/mm	4800	3600	4000	2500	6000
轨距	/mm	6500	9020	—	—	7500
切割速度	/(cm/min)	10~600	5~240	0~80	5~90	10~80
割炬组	/个	2	4	2	2	—
切割精度	纵 /mm	<±1	±1	±0.1	—	—
	横 /mm	—	±0.5	±0.3	—	—
	综合 /mm	—	±1.5	±0.5	—	—
空车速度	/(cm/min)	—	400	200	311	1200



7. 高精度门式切割机

高精度门式切割机是一种适用于切割大型钢板直缝的切割机。它装有多个可调各种角度的割嘴，可割 I 形缝，也可割 V、Y、X 形坡口。

高精度门式切割机是在两根精度很高的固定导轨上设置一座活动的刚度有保证的门式车架。通过伺服电动机、减速箱、齿轮、齿条等驱动机构，门式车架在导轨上做匀速运行。为了保证切口的侧向精度，安装了导向轴承，对导轨、车轮、水平导向轮等的制作安装要求很严格。

高精度门式切割机的主要技术数据见表 9-42。

表 9-42 高精度门式切割机的主要技术数据

项 目	参 数
切割厚度 /mm	7~100
切割最大长度 /mm	10000
切割最大宽度 /mm	2×5000
最大切割速度 / (cm/min)	150
纵向最大移动速度 / (cm/min)	400
割炬数量 /个	12
可切坡口形式	I、V、Y X
切口直线度 /mm	10m 长度内<1
切口垂直度 /mm	2.5m×10m 内<1
坡口根部误差 /mm	<1

第四节 其它切割方法

一、等离子弧切割（参见第四章）

二、氢氧源切割

水电解氢氧发生器是将水经直流电解分解成氢气和氧气，其气体比例恰好完全燃烧，温度可达 2800~3000℃，可以用于火焰加热、气焊和气割。同传统的氧乙炔焰比有许多优点。

水电解氢氧焊割机只要有水有电就可以工作，为提高电解速度，水中可加入适量的强电解质，增加导电性，加速水的电离。水电解产生的

大量氢氧气点燃后可直接用于加热、气焊和切割。再附加氧气瓶可实现厚板切割，并长时间连续工作，其成本仅为氧乙炔焰的 1/10。

水电解氢氧焊割机设有多级防回火装置及泄爆装置，使用安全可靠。同时操作简便、产气迅速，开机后不到 1min 即可气焊与切割。停机不用时放空气体，无任何危险。

氢氧焰燃烧时清洁卫生无污染，而且火焰集中、轴向性好。

水电解氢氧焊割机有利于实现一机多用，形式多样。如可一机实现电焊、气焊、切割、喷涂、刷镀等。

所以，采用氢氧混合气不仅节约使用费用和大量的电能，而且有巨大的经济效益和社会效益，应广泛开发使用。

典型水电解氢氧焊割机的主要技术参数见表 9-43。

表 9-43 典型水电解氢氧焊割机的主要技术参数

型 号	DQS-1	TQ100~ 6000	YJ-1500	YJ-3000	YJ 8000
额定功率 /kVA	21	0.4~30	7	12	30
额定产气量 /(m <sup>3</sup> /h)	2.2	0.1~8	1.5	3	8
气体压力 /MPa	<0.06	-	0.03~0.07	0.03~0.07	0.03~0.07
额定电流 /A	400	-	-	-	-
最高空载电压 /V	80	-	-	-	-
工作方式	连续	连续	24h 连续	24h 连续	24h 连续
气焊钢板厚度 /mm	5	0.1~10	-	-	-
切割钢板厚度 /mm	80	0.5~500	30~70	70~120	≥120
一机多用范围	电焊、 气焊、切 割、喷涂、 刷镀	气焊、 切割	电焊、 气焊、切 割	电焊、 气焊、切 割	电焊、 气焊、切 割

### 三、激光切割

激光切割是利用激光束的热能实现切割的方法。激光切割时,把激光器作为光源,通过反射镜导光,聚焦透镜聚焦光束,以很高的功率密度照射被加工的材料,材料吸收光能转变为热能,使材料熔化、气化,激光束就把材料穿透,激光束等速移动而产生连续切口,见图 9-20。

激光切割的特点

是:

1) 切口细。切割低碳钢时,切口宽度可达 0.1~0.2mm。

2) 切割表面光滑、平整、精度较高。

3) 工件变形小,热影响区仅 0.01~0.1mm。

4) 切割速度快。切割低碳钢、钛板时切割速度每分钟可达数米至数十米。

5) 噪声低,污染小。

6) 可切割多种材料。如:低碳钢、不锈钢、钛、钽、铌、锆及非金属等。

7) 受激光发生器输出功率限制,目前激光切割仅适用于切割中、小厚度板材。

激光切割方法分为激光气化切割(大多用于非金属材料的切割)、激光熔化切割(用于易氧化材料的切割)、激光氧气切割(用于切割钢、钛和铝等金属)、划片与控制断裂(用于脆性材料刻槽断开等)。

激光切割主要采用快速轴流式 CO<sub>2</sub> 激光器,见图 9-21。

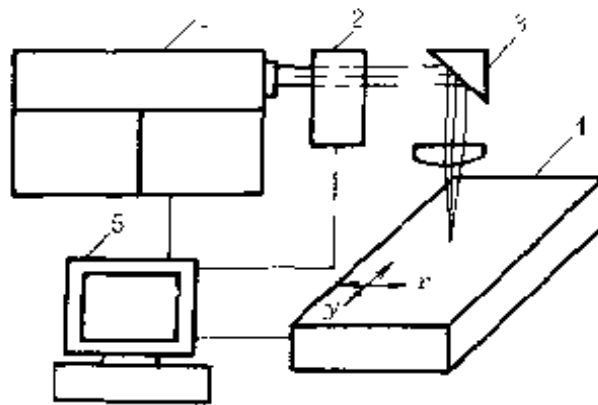


图 9-20 激光切割设备图

1—激光器 2—光束检测仪 3—偏转聚焦系统  
4—工作台 5—控制系统

常用激光切割机有：SJ-2500 型数控激光切割机，采用  $\text{CO}_2$  连续激光器，输出功率为 450~500W，加工板料厚度最大为 6mm，进给速度为 5~200cm/min；GFQ1-150 型  $\text{CO}_2$  激光焊接切割机，输出功率 90~150W，切割厚度为 1mm 左右的碳素钢、合金钢、不锈钢等，并能切割石英、陶瓷及厚度为 10mm 以下的有机玻璃、塑料、木板、纸板、橡皮等非金属材料。

激光切割工艺参数见表 9-44。

#### 四、水射流切割

水射流切割是利用高压水射流进行切割的方法。高压换能泵产生 200~400MPa 的高压，并尽可能无损失地转变成水束动能，来实现材料的切割。若高压水中添加磨料，并通过特制的喷嘴小孔（材料为人造蓝宝石，孔径 0.12~0.4mm）形成混有磨料的高速水射流，进行切割，即加磨料水射流切割。这种新工艺的原理是，利用水和磨料的巨大动量对材料产生的冲蚀和剪切作用及磨料的微细加工效应，将工件割开并形成良好的切割面。它适用于切割各种金属和非金属，尤其是其它加工方法难以加工的硬质合金材料和陶瓷材料。

加磨料水射流切割的特点是：无热作用，不产生热应力，不改变被加工材料的性能；具有多方面切割能力；切割“刀具”不会变钝；效率高；切割过程中粉尘很少；无引起火灾的危险。所以目前在航天、航空工业中应用较多，在船舶行业也已获得应用。如切割胶合板、聚四氟乙烯和橡胶以及铅、双金属板和铜镍合金等。另外在海上采油平台、石油化工行业也获应用。

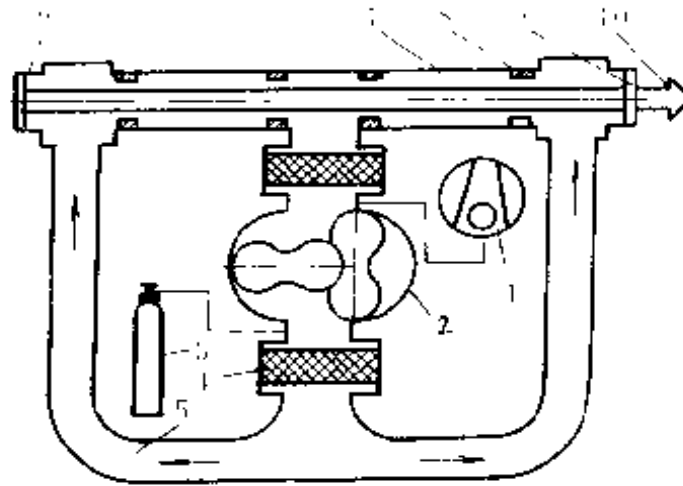


图 9-21 快速轴流式  $\text{CO}_2$  激光器

1—真空系统 2—罗茨风机 3—激光工作气源  
4—热交换器 5—气管 6—全反射镜 7—放  
电管 8—电极 9—输出窗口 10—激光束

表 9-44 激光切割工艺参数

材 料	厚 度 /mm	激光功率 /W	切割速度 /(cm min)	切割气体
刚玉陶瓷	0.7	8	30	—
晶体石英	0.81	3	60	-
玻璃钢	12.7	20000	450	空气
低碳钢	1.0	1000	900	O <sub>2</sub>
	3	300	200	
	35	4000	50	
不锈钢	0.5	250	450	
	1.0	1000	800	
	12	2000	40	
铝合金	3.2	4300	252	
	12.7	5700	78	
钛合金	3	250	1300	
	40	250	50	

### 五、碳弧气割

使用石墨棒或碳棒与工件间产生的电弧将金属熔化，并用压缩空气将其吹掉，实现切割的方法称为碳弧气割。主要用于清理铸件飞边、毛刺及切割高合金钢、不锈钢、铝、铜及其合金等。

碳弧气割所采用的设备与参数与碳弧气刨一致。应采用具有陡降外特性的直流电源。焊机输出电流要大，连续工作性能好。工作时采用反接法（碳棒接正），压缩空气压力为 0.4~0.6MPa。碳棒可选用圆形或扁形，其适用电流见表 9-45。

目前广泛采用的是手工碳弧气割，为提高切割速度和精度，减轻劳动强度，可采用机械化（自动）碳弧气割，为了减少粉尘污染，可采用碳弧水雾气割。即压缩空气与由供水器射吸出的水混合成雾状，由气割枪喷出，完成碳弧水雾气割。

表 9-45 专用碳棒规格及适用电流

断面 形状	规格		适用电流 /A	断面 形状	规格		适用电流 /A
	$\frac{A}{\text{mm}} \times \frac{B}{\text{mm}} \times \frac{L}{\text{mm}}$				$\frac{\phi}{\text{mm}} \times \frac{L}{\text{mm}}$		
扁形	$3 \times 12 \times 355$		200~300	圆形	$3 \times 355$		150~180
	$4 \times 8 \times 355$		180~270		$4 \times 355$		150~200
	$4 \times 12 \times 355$		200~400		$5 \times 355$		150~250
	$5 \times 10 \times 355$		300~400		$6 \times 355$		180~300
	$5 \times 12 \times 355$		350~450		$7 \times 355$		200~350
	$5 \times 15 \times 355$		400~500		$8 \times 355$		250~400
	$5 \times 18 \times 355$		450~550		$9 \times 355$		300~450
	$5 \times 20 \times 355$		500~600		$10 \times 355$		350~500

## 六、电弧刨割条

焊接构件在制造安装和检修时常有焊缝返修和局部切割问题，特别是在野外施工及工位狭窄处，采用碳弧气刨、砂轮磨削、氧乙炔切割均有不便，而使用电弧刨割条很有利。

电弧刨割条的外形与普通焊条相同，是利用药皮在电弧高温下产生的喷射气流，吹除熔化金属，达到刨割的目的。工作时只需要交、直流弧焊机，不用空气压缩机。操作时其电弧必须达到一定的喷射能力，才能除去熔化金属。

### 1. 电弧刨割条的使用性能

1) 刨割低碳钢后，其表面没有硬化层，可以机械加工，对高强度钢热影响区无渗碳现象，对预防焊接裂纹和提高补焊质量十分有利。

2) 清除碳素钢或不锈钢的缺陷后，可以不打磨而直接补焊，专有规定的除外。

3) 必要时可以用于定位焊或焊接不重要的低碳钢构件。

4) 电弧刨割条可交、直流两用，使用交流时空载电压应大于 70V；使用直流时应正接，电弧电压应在 40V 以上，电流应为焊芯直径的 70~100 倍。当刨割条受潮时应进行 100℃、2h 的烘干。



典型刨割条 ST-33 的工艺参数为： $\phi 4\text{mm}$ ，电弧电压 45~53V，电流 320~350A。

#### 2. 电弧刨割条的操作要点

1) 刨割条应沿焊钳口成  $180^\circ$  夹持，不同于碳弧气刨的直角夹持。

2) 刨槽时，刨割条与钢板的夹角为  $10^\circ\sim 20^\circ$ ，必须紧贴（加压力）在钢板上，同时要沿焊接方向做快速进退运条，每秒进退 3~4 次，每次进退约 20mm。对于短、浅缺陷也可以不运条，直线前推。

3) 每次刨槽深度应接近焊芯直径，不宜太深，而且应将前次刨槽的熔渣清除。对于深度不超过 10mm，宽度不超过 20mm 的缺陷，可用  $\phi 4\text{mm}$  刨割条一次性刨除，直流正接，电流 350A。

### 七、氧熔剂切割

在切割氧流中加入纯铁粉或其它熔剂，利用它们的燃烧热和造渣作用实现气割的方法为氧熔剂切割。它可用于不锈钢、铸铁和有色金属的氧切割。

氧熔剂切割设备除包括普通气割设备外，需有输送熔剂的装置及氧熔剂切割割炬。

送粉方式有两种：一种是用切割氧从送粉罐把熔剂通过割嘴带到切割部位，称为内送粉式；另一种是用低压（0.04~0.06MPa）的空气或氮气单独将细颗粒熔剂由嘴芯外部送入火焰加热区，称为外送粉式。

熔剂一般采用铁粉。粒度：内送粉式为 0.5~1mm，外送粉式为 0.1~0.3mm。

氧熔剂切割的典型工艺参数见表 9-46、表 9-47。

KYD 氧乙炔喷割多用枪是将超声（音）速氧气流快速切割与氧熔剂切割有机地结合于一体，其切割速度、质量均有明显提高。

### 八、氧矛切割

利用在钢管中通入氧气流对金属进行切割的方法。切割开始时，首先将切割处用火焰预热到燃点，然后将钢管一端紧贴该部位，并在钢管中通入氧气流，使钢管及工件燃烧，并吹除熔渣，形成切口。

氧矛切割用钢管内径为 2~6mm，外径为 6~10mm，长度为 2~4m，燃烧速度为 50~100cm/min。

表 9-46 铸铁氧熔剂切割的工艺参数

参 数	板 厚 /mm				
	50	100	150	200	300
熔剂消耗量 (kg/m)	3.5~6	6~10	9~13.5	11.5~ 14.5	17
氧气消耗量 (m <sup>3</sup> /m)	2~4	4.5~8	8.5~14.5	13.5~ 22.5	27.5~43
乙炔消耗量 (m <sup>3</sup> /m)	0.16~ 0.25	0.3~0.45	0.45~ 0.65	0.6~0.87	0.9~1.3
切割速度 (cm/min)	6~9	4~5	2.5~3.5	2~3	1.5~2.2

注：为增加熔渣流动性，铁粉中加入 30%~35% 的高炉磷铁。

表 9-47 不锈钢氧熔剂切割工艺参数

管口直径	/mm	1000~1300
熔剂		铁粉
送粉气体		氮
氧气消耗量	(m <sup>3</sup> /h)	200
乙炔消耗量	(m <sup>3</sup> /h)	20
熔剂消耗量	(kg/h)	18
切割速度	(cm/min)	2~2.5

切割过程中氧气压力应从低压逐步升到工作压力，防止开始氧气压力高，冷却作用大而使切割不能正常进行。

对  $\phi 1200\text{mm}$  的合金铸钢件管口，可采用氧矛切割的办法去除。氧矛切割时配合采用气割制炬，预热氧压力为 1.3MPa，乙炔压力为 0.08MPa，钢管内氧压力为 1.5MPa。

### 九、火焰气刨

利用气割原理在金属表面上加工沟槽的方法称为火焰气刨，它可



以铲除钢锭表面的缺陷、焊缝表面的缺陷及清焊根,完成火焰表面清理的任务。

对普通气割割具改造,即可完成火焰气刨的工作。改造的办法是增加切割氧的孔径,相应减少预热火焰的孔径,风线长度在 20~30mm 为宜,割嘴与工件的夹角为 20°左右。

若改造成成排的割嘴,即成为火焰表面清理机,大大提高钢锭表面火焰气刨的效率。若配加氧熔剂切割原理的装置,则可对不锈钢等进行火焰表面清理。

### 十、水下切割

在水下进行的热切割称为水下切割。其方法主要有水下电-氧切割、水下碳棒水喷射切割和水下等离子弧切割。

水下电-氧切割采用直流弧焊电源、反接法。可以切割碳素钢、不锈钢、铸铁和非铁金属等。割条可用空心碳棒或专用的 TS304 水下割条,TS304 为空心钢管(外径 8mm,内径 3mm,长 350mm),外涂防水药皮。该割条可长时间放置淡水中或海水中,药皮不会破坏。

TS304 水下切割的主要工艺参数见表 9-48。

表 9-48 TS-304 水下切割的主要工艺参数

金属厚度/mm	切割电流/A	氧气压力/MPa
5~10	280~320	0.8~1.1
10~20	320~340	0.9~1.2
20~30	340~360	1.0~1.3

注:指浅于 10m 水深的切割条件。

水下碳棒水喷射切割是通过碳棒与工件间短路引弧,并同步移动碳棒与冲刷作用的高压水,使工件不断熔化并冲走,形成切口。

切割时使用电流较大,所以选用平特性弧焊电源(如 ZPG7-1500 焊机),采用反接法。

碳棒选用 W 802 型水下切割碳棒,直径以 8mm 为宜,其最佳伸出长度约为 150mm。

为降低与稳定切割电流,采用侧面喷水方式,其喷水压力约

1MPa。喷嘴为两直孔式，喷孔直径为2.5~3mm。

切割工艺参数见表9-49。

表 9-49 采用 W-802 碳棒的水喷射切割工艺参数

板厚 mm	空载 电压 /V	电弧 电压 /V	切割 电流 /A	切割速度 / (cm/min)	碳棒耗量 / (mm/m)	切口宽度/mm	
						上缘	下缘
10	60	48	700	50	350	10	9
12		48	800	33	300		
14		45	1000	20	200		
16		44	1200	17	200		

水下等离子弧切割时电源功率应加大，空载电压应提高，一般为500~900V。喷嘴外再装一个外喷嘴，使高速旋转的冷却水从喷嘴端部经外喷嘴孔道喷射出，形成伞形水屏，提高等离子弧燃烧的稳定性。

水下等离子弧切割不锈钢的工艺参数见表9-50。

表 9-50 水下等离子弧切割不锈钢的工艺参数

空载电压	/V	500~900
工作电压	/V	180~450
工作电流	/A	300~1000
维弧电流	/A	75~100
不锈钢板厚度	/mm	30~100

### 十一、钢板下料最优化技术

钢板下料最优化方案的自动编排技术运用了最优化技术原理，利用微型计算机进行计算，能自动地得出钢板（或其它材料）下料的最优方案，并可由计算机绘制出下料工艺图形。通过优化工作可使材料下料利用率一般达92%~95%，最佳可达99%，使钢板利用率大大提高。它不仅降低了成本，节约了大量钢材，提高了经济效益，而且，提高了企业的技术水平和企业的管理水平。

钢板下料最优化方案自动编排的技术是属于成套的新技术。它包

括了二维最优搜索算法、新的规格化下料剪裁工艺方法、对各种零件坯料间进行准确配套的计算方法和整套计算公式，综合上三项技术后编成的微机应用软件。该软件适用在 IBM PC/XT 及其兼容机上运行。

生产中将钢板的规格和所需剪裁零件坯料尺寸输入计算机，1min 后计算机即可输出最优方案的下料用图样，工人即可按图样剪裁。

### 十二、切割新气源

随着科学技术的发展，取代乙炔气的新型切割气已经出现，如特利Ⅱ型工业切割气、SHCG 切割气、霞普切割气等。

#### 1. 特利Ⅱ型工业切割气

特利Ⅱ型切割气是利用石油裂化的副产品生产出的一种燃气，是碳 3 和精丙烯的混合物，成本仅为乙炔的 1/2，单位发热量高于乙炔。燃烧时不产生黑烟，无毒、无色、无味，不污染环境，有利于工人的身体健康。瓶内残留气体很少，可在室内外不同温度下供气。在空气中爆炸性比乙炔小得多，切割时不易回火，安全可靠。其物理性能见表 9-51。

表 9 51 特利Ⅱ型气与乙炔气物理性能的对比

名 称	气体纯度 φ/%	气体密度 (0℃, 0.1MPa) /(g/L)	火焰温度 /℃	着火点 /℃	爆炸极限 (在空气中) φ/%
特利Ⅱ型气	≥98.5	1.912	2930	459	2.4~11.1
乙炔	≥98	1.174	3070	305	2.2~81

切割时切口窄、不塌边、不氧化、变形小、表面粗糙度值小、不易挂渣，一旦挂渣极易清除，也是精密切割的最理想气体。其切割工艺参数见表 9-52。

#### 2. 霞普气

“霞普气”在我国是新一代的液化燃气。它早在 60 年代就已为日本、美国等发达国家应用于工业生产领域。90 年代初，“霞普气”及其专用机具在我国开始推广。

“霞普气”主要组成为丙烯，与特别Ⅱ型气相近，与乙炔气性能的比较见表 9-53。

表 9-52 特利 II 型气的切割工艺参数

割炬	割嘴号	切割厚度 /mm	氧气压力 /MPa	切割氧孔径 /mm	特利 I 型气 压力/MPa
G01-100	1	1~30	0.3	1	0.015
	2	20~60	0.4	1.3	0.02
	3	40~100	0.45~0.5	1.6	0.02~0.025
G01-300	4	50~120	0.4~0.5	1.9	0.02~0.03
	5	100~150	0.45~0.7	2.2	0.02~0.035
	6	150~200	0.5~0.8	2.5	0.025~0.04

表 9-53 “霞普气”与乙炔气的性能比较

名称	气体密度 (0℃, 0.1MPa) /(g/L)	火焰 温度 /℃	发热量		着火 点 /℃	爆炸范围 (在空气中) φ/%	燃烧 速度 /(m/s)
			kJ/kg	kJ/m <sup>3</sup>			
乙炔气	1.174	3070	50367	58992	305	2.2~81	7.6
霞普气	1.912	2960	48952	93910	459	2.4~10.3	3.9

“霞普气”使用专用切割器、火嘴、火嘴号及工艺参数见表 9-54 和表 9-55。

表 9-54 “霞普气”切割器火嘴及工艺参数

名称	火嘴号	高压口径 /mm	适用板厚 /mm	氧气压力 /MPa	霞普气压力 /MPa
中型切割器	1	0.7	1~10	0.25	0.015
	2	0.9	5~20	0.3	0.015
	3	1.1	10~30	0.35	0.015
A 号切割器	1	1.0	3~30	0.3	0.015
	2	1.3	20~60	0.35	0.02
	3	1.6	40~100	0.4	0.02

(续)

名称	火嘴号	高压口径 /mm	适用板厚 /mm	氧气压力 /MPa	霞普气压力 /MPa
CB号切割器	4	1.9	50~120	0.4	0.02
	5	2.2	100~150	0.45	0.02
	6	2.5	120~200	0.5	0.025
	7	2.7	150~250	0.55	0.025
	8	3.0	200~300	0.6	0.03
	9	3.4	250~380	0.7	0.03
大型切割器	10	3.8	300~450	0.8	0.03
	11	4.0	400~550	0.8	0.035
	12	4.5	500~600	1.0	0.04
特大型切割器	45	4.5	550~650	1.3	0.04
	50	5.0	600~750	1.3	0.04
	55	5.5	650~800	1.4	0.04
	60	6.0	700~900	1.4	0.04

表 9-55 “霞普气”自动切割器火嘴及工艺参数

名称	火嘴号	高压口径 /mm	适用板厚 /mm	氧气压力 /MPa	霞普气压力 /MPa
JP	0	0.8	1~10	0.3	0.02
	1	1.0	5~20	0.3	0.02
	2	1.3	20~30	0.35	0.02
	3	1.6	30~50	0.4	0.02
	4	1.9	50~75	0.45	0.025
	5	2.1	75~100	0.5	0.03
	6	2.4	100~150	0.55	0.035
	7	2.8	150~250	0.6	0.04
	8	3.2	250~300	0.65	0.04

“霞普气”的特点如下

1) 经济性好。同等作业中与溶解乙炔气相比,燃气消费量、氧气消费量基本相同。霞普气价格低于溶解乙炔气价格40%左右,降低了生产成本。每瓶(16kg)霞普气相当于3~3.5瓶乙炔气的工作量,降低了运输和使用中的调整次数,节省了费用,提高了工作效率。

2) 安全性好。霞普气燃烧速度比乙炔气慢,在一般使用条件下不会产生回火,所以在管路中可以不设置回火保险器。又由于霞普气与空气混合其爆炸范围小,所以发生事故的危险性很小。

3) 工作性能好。使用霞普气切割精度高,切割面整齐,挂渣极少,塌边和变形极小。使用配套专用机具,可以实现精密切割。

使用“霞普气”的注意事项:

1) 气瓶一定要直立使用,放倒使用时有碍气瓶安全阀工作。

2) 作业时氧气压力、霞普气压力与使用乙炔气时相同。

3) 霞普气火焰稍偏向于氧化焰,火焰喷嘴处为放射状,呈明亮的蓝白色,无明显的内焰和焰心的区别。火焰的最高温度点距火嘴喷口距离比乙炔焰近,预热时需将火焰白色部分接触钢板,预热充分后再将火嘴稍抬高一些。

4) 霞普气火焰开孔切割时预热时间比乙炔焰稍长,边缘预热时与乙炔相同。

5) 霞普气点火时要明火点燃。

## 第五节 气焊工艺及实例

### 一、合金结构钢的气焊

#### 1. 气焊合金结构钢应采取的工艺措施

气焊合金结构钢的主要问题是过热区的脆化,所以尽量采用其它的焊接方法来焊接合金结构钢。对于一些薄壁管的气焊及返修时应采取如下工艺措施:

1) 选用焊丝时,在保证接头强度和性能的前提下,其含碳量要低,S、P杂质的含量也要低。

2) 焊前要严格清理接头处内外的污物。

3) 使用 CJ101。

4) 严格采用中性焰，特别是焊接过程中防止中性焰变成氧化焰。用内焰进行焊接，保持焰芯尖端与熔池表面距离为 2~4mm，且焊接过程中不偏离熔池。

5) 火焰能率尽可能大些，以便加快焊接速度，防止过热区脆化。

6) 焊接淬硬倾向大的钢时，应进行焊后缓冷。

7) 采用焊后热处理。对于热轧及正火钢，焊后进行正火或正火加回火处理；对于低碳调质钢，焊后进行调质处理；对于中碳调质钢，焊后进行调质处理。若不能及时进行热处理，则应进行加热保温处理；对于珠光体耐热钢，焊后马上进行高温回火处理。

## 2. 气焊合金结构钢的实例

高压锅炉过热器换热管的气焊，其焊接图样如图 9-22 所示。管材牌号为 12CrMoV；规格为  $\phi 42\text{mm} \times 5\text{mm}$ ；壁温为 540℃；工作压力为 10MPa。其焊接工艺要点如下：

(1) 坡口形式 采用 V 形坡口，其尺寸如图 9-23 所示。

(2) 清理表面清除坡口处及坡口外 10~15mm 范围内管子内、外表面的油、锈等污物，直至露出金属光泽。

(3) 焊丝及焊剂 焊丝选用 H08CrMoVA， $\phi 3\text{mm}$ ，焊剂选用 CJ101。

(4) 焊炬及火焰采用 H01-6 焊炬，使用略带轻微碳化焰的中性焰，不能用氧化焰，以免合金元素被氧化烧损。

(5) 焊接方向 采用右焊法，火焰指向已形成的焊缝，能更好地保护熔化金属，并使焊缝金属缓慢冷却，火焰热量的利用率高。

(6) 焊接操作 焊接过程中，保证坡口边缘熔合良好，焊丝末端不

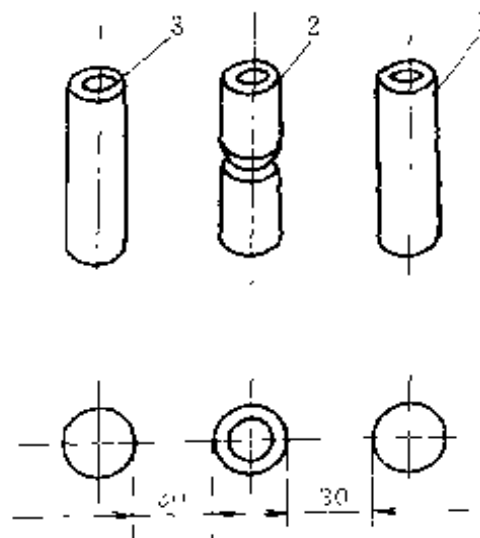


图 9-22 垂直固定管加障碍物

1、3—障碍物 2—焊件



能脱离熔池，防止氧、氮渗入焊缝。

采用两层焊接，第一层要求单面焊双面成形，每一层焊缝力求连续焊完。如需停焊时，火焰应逐渐撤离火口，当焊缝终了收尾时勿使火口冷却速度过快。

(7) 焊后热处理 加热至  $680\sim 720\text{C}$ ，保温 30min，在空气中冷却。

(8) 检验 焊缝外观经检验合格后，进行 X 射线探伤，按 JB4730--94 II 级合格，否则予以返修。

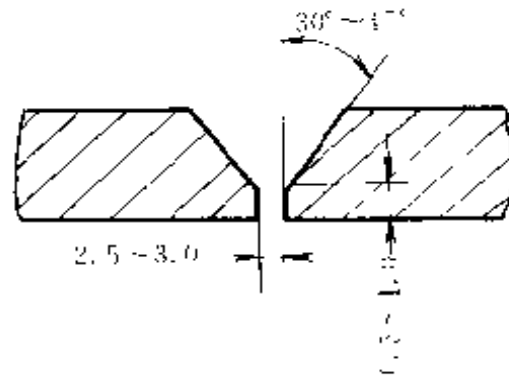


图 9-23 管子 V 形坡口尺寸

## 二、不锈钢的气焊

1. 气焊奥氏体不锈钢应采取的工艺措施

气焊奥氏体不锈钢的主要问题是：焊接接头晶间腐蚀、应力腐蚀开裂和焊接接头热裂纹等。采用气焊焊接不锈钢一般是在没有其它焊接方法可采用时，而且是较薄的板、管子的焊接或进行修补时，并应采取相应的工艺措施：

- 1) 严格清理接头处内、外表面的油、污。
- 2) 选择和母材相一致成分的焊丝，并应尽量用低碳、超低碳焊丝或添加 Ti 或 Nb 元素的焊丝。

3) 必须使用 CJ101。

4) 乙炔气要严格地过滤，除去乙炔所含杂质磷化氢、硫化氢及氨等，其化学净化器如图 9-24 所示。棉花层厚  $20\sim 30\text{mm}$ ，药粉配方（质量分数）为：无水铬酸  $10\%\sim 13\%$ ，硫酸  $9\%\sim 18\%$ ，硅藻土  $45\%\sim 50\%$ ，药粉总含水量  $w_{\text{H}_2\text{O}}$  不应超过  $10\%\sim 15\%$ 。每二

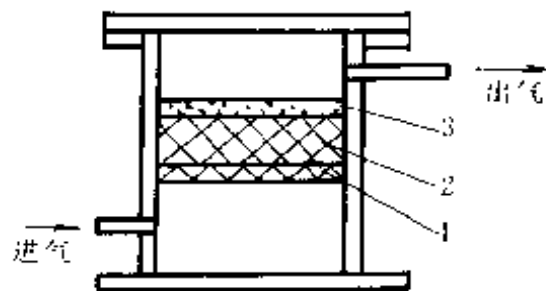


图 9-24 乙炔化学净化器

1—钢丝网 2—棉花 3—药粉



克药粉可净化  $35\text{m}^3$  乙炔气。此药粉为黄色，失效后变为上褐色。

5) 焊炬及火焰能率要尽量大，并加快焊接速度，防止过热。

6) 采用乙炔稍多的中性焰，既要防止渗碳，又要防止氧化，并用内焰焊接，使熔池表面距焰芯尖端  $2\sim 4\text{mm}$ 。

7) 收尾焊时，火焰慢慢离开，保护好火口，防止火口裂纹发生。

8) 焊炬不宜做横向摆动使熔池扩大。

9) 必要时采用水冷，降低层间温度。

10) 焊后进行回溶化或稳定化处理。

## 2. 气焊奥氏体不锈钢实例

奥氏体不锈钢薄板对接。板材为  $1\text{Cr}18\text{Ni}9\text{Ti}$ ；规格为  $\delta=1.5\text{mm}$ 。

焊接工艺要点如下：

(1) 坡口形式 采用 I 形坡口，接头间隙为  $1.5\text{mm}$ 。

(2) 清理表面 使用丙酮将坡口两侧各  $10\sim 15\text{mm}$  范围内、外表面油、污物清理干净。

(3) 焊丝及焊剂 焊丝选用  $\text{HOCr}18\text{Ni}9$ ， $\phi 1.5\text{mm}$ ，熔剂选用 CJ101。

(4) 焊炬及火焰 采用 H01-2 焊炬，使用略带轻微碳化焰的中性焰。

(5) 焊接方向 采用左焊法，火焰指向未焊坡口。喷嘴与焊件成  $45^\circ\sim 50^\circ$ 。

(6) 焊炬的运动 焊接时焊炬不得横向摆动，焰芯到熔池的距离小于  $2\text{mm}$  为宜。焊丝末端与熔池接触，并与火焰一起沿焊缝移动。焊接速度要快，并防止过程中断。焊接终了时，使火焰缓慢离开火口。

## 三、铸铁的补焊

### 1. 铸铁补焊的主要问题及工艺措施

(1) 焊缝及熔合区易产生白口组织

1) 采用焊前预热，焊后缓冷、保温来减缓焊缝的冷却速度和延长熔合区高温停留时间，碳元素不形成  $\text{Fe}_3\text{C}$ ，使游离态的石墨充分析出。气焊时也应使用大能率的火焰。

2) 使用乙炔稍多的中性焰，防止强烈促进石墨化的元素 C、Si 等

烧损，同时也可使焊缝有轻微的增碳，进一步促进石墨化。

3) 使用专用铸铁焊丝，通过加入的合金元素来促进石墨化。

#### (2) 焊缝及熔合区易产生裂纹

1) 采用“热焊法”，即焊前预热、焊接过程中保温、焊后缓冷。这样可以减少焊接应力，避免白口组织和淬火组织的产生。一般预热温度为  $600\sim 650\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，焊接过程中焊件温度不得小于  $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。因为  $400\text{ }^{\circ}\text{C}$  以上时焊缝承受的拉应力很小，并且焊缝有一定的塑性， $400\text{ }^{\circ}\text{C}$  以下时铸铁无塑性。

2) 选用专用的铸铁焊丝，使用乙炔稍多的中性焰，防止白口组织出现。

3) 采用“加热减应区”法焊接，见图 9-25。

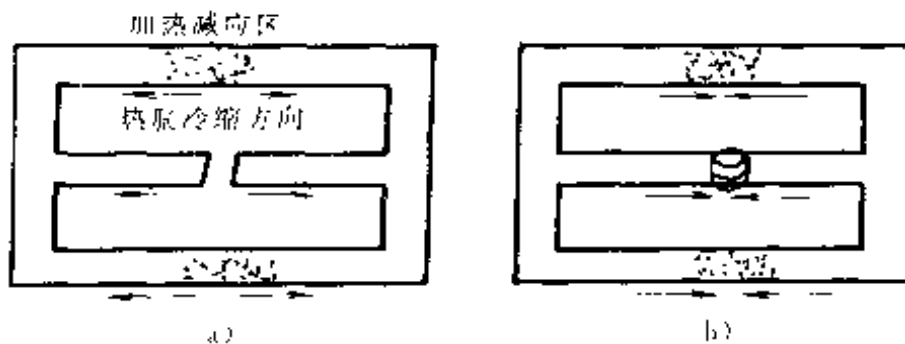


图 9-25 加热减应区法示意图

a) 加热减应区时接头间隙增大 b) 焊后焊缝与减应区一并收缩冷却

所谓“加热减应区”法是利用金属热胀冷缩的原理，在焊前或焊接同时对焊件某一部位加热 ( $500\sim 650\text{ }^{\circ}\text{C}$ )，使焊接处胀缩比较自如，达到减小焊接处应力的目的，从而减少裂纹。

4) 采用大能率火焰，或一人施焊一人补充加热，保持焊接过程中焊接处的温度不低于  $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

(3) 焊缝金属易产生气孔 为防止气孔的产生，除严格清除焊接处的油、锈、水分等污物外，关键是焊接操作方法。施焊时火焰要始终覆盖熔池，保持熔池的温度，使熔池中的气体得以排出。焊丝要直接插入熔池，并不停地均匀搅拌熔池。对已焊满达到要求尺寸的焊缝，应趁

高温状态重复加热,对其焊缝实行整形、熔实、展平,这样可有利于进一步排出气孔、缩孔、夹渣、未熔合等缺陷。

(4) 产生难熔氧化物影响焊接质量 氧化物主要是  $\text{SiO}_2$ , 其熔点高 ( $1713^\circ\text{C}$ )、粘度大、流动性差。排除难熔氧化物的主要措施是焊接时加入熔剂 (CJ201), 有效地驱除焊接过程中产生的硅酸盐和氧化物。同时采用乙炔稍多的中性焰, 防止铸铁中硅氧化, 并提高熔池温度, 增加熔化金属流动性, 有利于熔渣的上浮。

(5) 已变质的铸铁不易熔合 铸铁件长时间在高温工作, 则石墨析出量增多并聚集长大, 石墨熔点高, 难于熔合。同时高温氧化生成 Fe、Mn、Si 等金属的氧化物, 其熔点高, 增大了熔合的难度。解决的办法是: 焊前将变质铸铁层适当去除, 或采用镍基铸铁焊条及氧化性强的铸铁焊条进行补焊。

球墨铸铁由于有镁、钼、铈、钙等球化剂的存在, 增加了铁液过冷倾向, 镁、铈又是强烈的反石墨化元素, 同时这些元素还提高了奥氏体的稳定性, 这样白口和淬硬组织更易出现。

球墨铸铁气焊用焊丝为 HS402, 主要化学成分 (质量分数) 为: C $3.8\% \sim 4.2\%$ 、Si $3.0\% \sim 3.6\%$ 、Mn $0.5\% \sim 0.8\%$ 、 $\Sigma\text{RE}$  $0.08\% \sim 0.15\%$ 、S $\leq 0.05\%$ 、P $\leq 0.5\%$ 。使用焊剂为 CJ201。

结构复杂或厚大的铸件须采用焊前预热  $500 \sim 700^\circ\text{C}$ , 焊后保温缓冷的措施, 才能防止白口、淬硬组织及裂纹的产生。当有热处理要求时, 应焊后热处理、正火: 随炉升至  $900 \sim 920^\circ\text{C}$ 、保温  $1 \sim 2\text{h}$ , 出炉空冷; 退火: 随炉升至  $900 \sim 920^\circ\text{C}$ 、保温  $1 \sim 2\text{h}$ , 随炉冷至  $550^\circ\text{C}$ 、保温  $1\text{h}$ , 出炉空冷。

## 2. 气焊铸铁的实例

汽缸体裂纹的补焊, 如图 9-26 所示。缸体材料为 HT150。其气焊工艺要点如下:

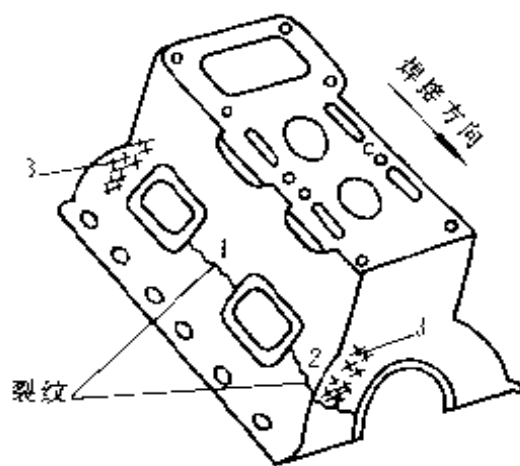


图 9 26 汽缸体裂纹的补焊

1) 采用“加热减应区”焊接方法,其焊接顺序按1、2依次进行。焊接1时,加热点3为减应区,2处为裂纹,能使1处自由胀缩;焊接2时,加热1、3减应区,能使2处自由胀缩,减应区加热温度为600℃左右。

2) 选用铸铁焊丝HS401,其主要化学成分(质量分数)为:C3.0%~4.2%、Si2.8%~3.6%、Mn0.3%~0.8%、S≤0.08%、P≤0.5%。

选用熔剂为CJ201,其熔点为650℃,主要化学成分(质量分数): $H_2BO_3$ 18%、 $Na_2CO_3$ 40%、NaHCO<sub>3</sub>20%、 $MnO_2$ 7%、NaNO<sub>2</sub>15%。

3) 焊前对焊接处进行表面清洗,并用角向磨光机开90°V形坡口。

4) 选用焊炬H01-12,采用微量乙炔中性焰焊接。需用两把焊炬,一把用于加热减应区,一把用于焊接。焊接过程中应保持减应区温度。

5) 焊接方向为图9-26中箭头指示方向,即由固定端向开放端焊接。

#### 四、铜及铜合金的气焊

工业用铜及铜合金分为纯铜、黄铜、青铜和白铜。

气焊适用于纯铜、黄铜结构的焊接和青铜的补焊。

##### 1. 铜及铜合金焊接时的主要问题

(1) 焊缝难成形及易变形 焊接铜及铜合金时易出现母材与焊缝金属难以熔合、焊不透、焊缝表面成形差、变形大等缺陷。这与铜的物理性能有直接关系,见表9-56。

表 9-56 铜与铁的物理性能对比

项目	热导率 (W/m·K)		线膨胀系数/ ( $10^{-6}K^{-1}$ )20~100℃	收缩 率/ %	表面张力/ ( $\times 10^{-3}N \cdot cm^{-1}$ )
	20℃	1000℃			
Cu	393.6	326.6	16.4	4.7	1300(1200℃)
Fe	54.8	29.3	14.2	2.0	1835(1550℃)

虽然铜的熔点低(1083℃),但导热性好,常温时是铁的7倍多,高温时是铁的10倍多。焊接时大部分热量被工件散失,所以很难熔合,随着板厚的增加,问题更加突出。这样就要求焊接时火焰能率要大,并采

取预热工艺措施。

熔化时铜的表面张力比铁小，流动性比铁大，表面成形不良，所以工艺上要求不能悬空单面焊接，背面一定要加垫板。

铜的线膨胀系数、收缩率均比较大，又是在高能率火焰下焊接，所以焊接应力大，变形必然大。

(2) 易产生裂纹 铜在高温液态时易氧化生成  $\text{Cu}_2\text{O}$ ，且所含杂质与铜生成低熔点共晶物，当熔池凝固时会产生焊缝及热影响区热裂纹。所以焊接结构用铜材对杂质含量有严格要求，见表 9-57。

表 9-57 铜中所含杂质及限量

元素	低熔点共晶物		铜中杂质含量( $\leq$ ) $w/\%$
	共晶物	熔点/ $^{\circ}\text{C}$	
氧	$\text{Cu} + \text{Cu}_2\text{O}$	1064	0.03
铋	$\text{Cu} + \text{Bi}$	270	0.003
铅	$\text{Cu} + \text{Pb}$	326	0.03
硫	$\text{Cu} + \text{Cu}_2\text{S}$	1067	0.01
磷	-	-	0.4

磷是良好的脱氧剂，其含量不应超过 0.4%（室温铜中最大溶解度）。为增加脱氧能力，通过焊丝可以加入 Si、Mn、Al、Ti 等元素。

(3) 易产生气孔 铜及合金焊接时气孔倾向比低碳钢严重得多，其气孔有两类：扩散气孔和反应气孔。

由氢引起的气孔为扩散气孔。铜在高温时溶解氢的能力很大，凝固时溶解度大幅度下降，见图 9-27，且铜的热导率高，凝固结晶快，氢

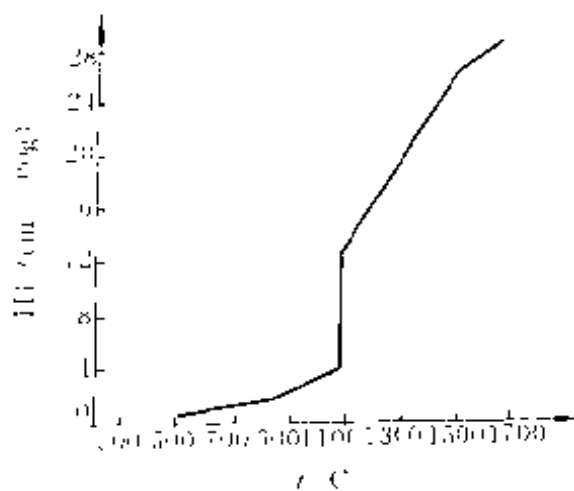
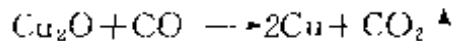
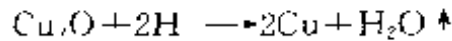


图 9-27 氢在铜中的溶解度  
( $p_{\text{H}_2} = 101.3 \text{ kPa}$ )

来不及逸出上浮而形成气孔。

由冶金反应生成的气体引起的气孔为反应气孔。高温时熔池中的  $\text{Cu}_2\text{O}$  在  $1200^\circ\text{C}$  以下析出并与溶解在液态铜中的氢或一氧化碳生成水蒸气或二氧化碳，它们不容于铜，又来不及逸出熔池而成为气孔。



防止气孔产生的主要措施是严格限制氢、氧的来源，如清除焊件、焊丝表面吸附的水分及氧化物；选择焊丝向焊缝过渡脱氧元素；采用预热来延长熔池存在时间，减慢熔池冷却速度，以便于气体上浮逸出等。

(4) 焊接接头的性能下降 焊接铜及铜合金时，由于杂质的掺入，合金元素的变化，晶粒的长大，对接头性能产生很不利的影响：塑性降低、导电性下降、耐蚀性能下降。

为了改善焊接接头的性能，应严格控制杂质的含量；通过合金化对焊缝进行适当的变质处理；减弱热作用，防止粗晶产生；焊后热处理等。

## 2. 气焊铜及铜合金用焊丝与熔剂

气焊铜及合金用焊丝、熔剂见表 9-58、表 9-59、表 9-60。

表 9 58 气焊铜及铜合金用焊丝

名 称	牌 号	代 号	识别颜色
纯铜丝	HSCu	HS201	浅灰
1号黄铜丝	HS CuZn-1	HS221	大红
2号黄铜丝	HS CuZn-2	HS222	苹果绿
3号黄铜丝	HS CuZn-3	HS223	紫蓝
4号黄铜丝	HS CuZn-4	HS224	黑
硅青铜丝	HS CuSi	HS211	紫红
锡青铜丝	HS CuSn	HS212	粉红
铝青铜丝	HS CuAl	HS213	中蓝
镍铝青铜丝	HS CuAlNi	HS214	中绿

表 9-59 铜及铜合金焊丝的化学成分 (质量分数)

牌 号	Cu	Zn	Sn	Si	Mn
HSCu	≥98.0	*	≤1.0	≤0.5	≤0.5
HSCuZn-1	57.0~61.0	余量	0.5~1.5		
HSCuZn-2	56.0~60.0		0.8~1.1	0.04~0.15	0.01~0.5
HSCuZn-3	56.0~62.0		0.5~1.5	0.1~0.5	≤1.0
HSCuZn-4	61.0~63.0			0.3~0.7	—
HSCuSi	余量	≤1.5	≤1.1	2.8~4.0	≤1.5
HSCuSn		*	6.0~9.0	*	*
HSCuAl		≤0.10	—	≤0.10	≤0.20
HSCuAlNi		≤0.10	—	≤0.10	0.5~3.0
牌 号	Ni	Fe	P	Pb	Al
HSCu	*	*	≤0.15	≤0.02	≤0.01*
HSCuZn-1	—	—	—	—	—
HSCuZn-2	—	0.25~1.20	—	—	—
HSCuZn-3	≤1.5	≤0.5	—	—	—
HSCuZn-4	—	—	—	—	—
HSCuSi	*	≤0.5	*	≤0.20*	≤0.01*
HSCuSn	*	*	0.1~0.35	≤0.20*	≤0.01*
HSCuAl	—	—	*	≤0.20*	7.0~9.0
HSCuAlNi	0.5~3.0	≤2.0	*	≤0.20*	7.0~9.0

注：杂质元素总和包括带\*号的元素，其质量分数≤0.05。



表 9-60 气焊铜及铜合金用熔剂


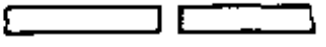



组成(质量分数)/%	CJ301	CJ401
硼酸( $H_3BO_3$ )	76~79	—
硼砂( $Na_2B_4O_7$ )	16.5~18.5	—
磷酸铝( $AlPO_3$ )	4~5.5	—
氯化钾(KCl)	—	49.5~52
氯化钠(NaCl)	—	27~30
氯化锂(LiCl)	—	13.5~15
氟化钠(NaF)	—	7.5~9
熔点/ $^{\circ}C$	650	560

## 3. 纯铜气焊的工艺要求

1) 焊前对接头处及焊丝进行严格清理。用丙酮清除油污,用砂纸打磨掉氧化物,直至露出金属光泽。清理过后要及时焊接。

2) 采用对接接头,其坡口形式与尺寸见表 9-61。

表 9-61 气焊纯铜的坡口形式与尺寸

板厚 /mm	坡口形式	坡口角度 / $^{\circ}$	根部间隙 /mm	钝边 /mm	卷边高度 /mm
$\leq 2$		—	0~0.5	—	1~1.5
$\leq 2$		—	0.5~1	—	—
3		—	1~2	—	—
4~6		60~90	2~3	1~2	—
$> 6$		60~80	4~5	3~4	—



3) 为保证焊缝根部熔透及良好成形, 焊缝背部要加垫板, 见图 9-28, 垫板可用钢或石墨, 并预热, 石棉板应干燥。

4) 使用 HS201、CJ301, 若使用硼砂做熔剂, 应在石墨坩锅或不锈钢容器中加热  $700\sim 750\text{C}$ , 经  $10\sim 15\text{min}$ , 去除结晶水, 然后研磨碎再使用。

5) 焊件装配时可用夹具, 也可定位焊。定位焊缝长  $20\sim 30\text{mm}$ , 间距  $160\sim 300\text{mm}$ 。短焊缝先定位焊两端, 再焊中间; 长焊缝先定位焊中间, 再交替向两端定位焊。由于铜的线膨胀系数大, 其根部间隙应沿焊接方向每隔  $100\text{mm}$  增大间隙  $0.5\sim 1\text{mm}$ 。

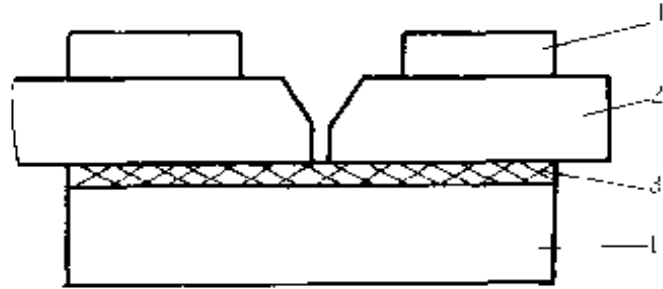


图 9-28 气焊纯铜用垫板位置图

1—重物 2—焊件 3—石棉板 4 垫板

6) 焊前预热温度为  $400\sim 500\text{C}$ , 尺寸大、厚度大、刚度大的焊件应预热  $600\sim 700\text{C}$ , 当板厚超过  $10\text{mm}$  时, 除预热外, 还应用另一把焊炬补充加热。

7) 应严格选用中性焰。碳化焰由于游离氢会导致气孔, 氧化焰会增加焊缝  $\text{Cu}_2\text{O}$  含量形成裂纹。焊接时火焰要覆盖熔池, 焰芯距熔池表面  $3\sim 5\text{mm}$ 。火焰能率要比焊接低碳钢大  $1\sim 1.5$  倍。

8) 为防止粗晶应采用左向焊, 当板厚大于  $5\text{mm}$  时可采用右向焊, 焊炬与焊件夹角为  $70^\circ$  左右。尽量采用单层焊, 为保证焊缝成形, 焊件可倾斜  $7^\circ\sim 10^\circ$ , 上坡焊, 采用较快的焊接速度。

9) 为提高焊接接头力学性能, 焊后可对板厚小于  $5\text{mm}$  的焊缝冷态锤击。较厚件应在  $300\text{C}$  左右热态下锤击; 或进行水韧处理, 即焊件被加热到  $500\sim 600\text{C}$  后, 在水中急冷。

#### 4. 黄铜气焊的工艺要求

黄铜气焊的工艺要求大多与气焊纯铜类同。黄铜的主要合金元素锌在  $420\text{C}$  时熔化, 在  $906\text{C}$  时气化蒸发。所以, 防止锌的氧化烧损, 不

致于造成力学性能和抗蚀性下降，是气焊黄铜的突出问题。





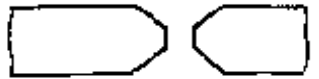
1) 为防止锌的氧化与蒸发，采用含硅的焊丝，硅氧化为  $\text{SiO}_2$ ，致密的  $\text{SiO}_2$  表膜在熔池表面，阻止熔池内锌的氧化与蒸发，并能防止气的溶入。同时焊丝中还应含有 Fe、Sn 等元素，这些元素均能进一步防止锌的氧化与蒸发。常用的焊丝有 HS221、HS222、HS223、HS224。

2) 采用极微弱的氧化焰。

3) 黄铜导热性比纯铜差，所以，薄件焊前可不预热，厚度大于 6mm 时预热  $300\sim 400\text{C}$ ，厚度在 15mm 以上时预热  $550\text{C}$ 。

4) 气焊黄铜时可不用垫板。采用对接接头，坡口形式与尺寸见表 9-62。

表 9-62 气焊黄铜的坡口形式与尺寸

板厚 /mm	坡口形式	坡口角度 / (°)	间隙 /mm	钝边 /mm	卷边高度 /mm
< 2		—	—	—	1~2
1~3		—	1~2	—	—
3~6		—	3~4	—	—
6~15		70~90	2~4	1.5~3	—
15~25		70~90	2~4	2~4	—

5) 采用左向焊，焰芯距熔池  $5\sim 10\text{mm}$ 。焊丝与焊件接触，减少锌的蒸发。

6) 焊后进行  $350\sim 450\text{C}$  消除应力退火处理。

#### 5. 青铜气焊补焊的工艺要求

青铜气焊主要是铸件缺陷补焊和损坏件的修复。铸造青铜中常用

锡青铜、铝青铜。焊接时的主要问题是 Sn、Al 合金元素氧化。SnO<sub>2</sub> 在焊缝中形成硬脆的夹杂物，降低青铜的抗腐蚀性。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 使熔池表面的熔渣发粘，易产生气孔、夹渣，并阻碍填充金属与母材的良好熔合。

1) 焊前预热温度，铅青铜为 500~600℃，锡青铜为 300~450℃。

2) 焊丝选用 HS211、HS212、HS213、HS214。气焊铅青铜时采用 CJ401。

3) 严格采用中性焰。焰芯距熔池表面 7~10mm。

4) 锡青铜在加热状态时很脆，应避免撞击，焊后不宜立即搬动。焊后可锤击焊缝或进行消除应力退火处理。

#### 6. 铜及铜合金的气焊实例

冷凝器壳体的气焊，如图 9-29 所示。壳体材料为 HSn62-1；板材规格  $\delta=8\text{mm}$ ；壳体直径为  $\phi 600\text{mm}$ 。其焊接工艺要点如下：

1) 采用 V 形坡口，单边坡口角度为 30°，卷筒后双边达 75°左右，根部间隙 4mm，钝边 2mm。

2) 用丙酮将焊丝及坡口两侧各 30mm 范围内的油、污清理干净，用钢丝刷清除焊件表面的氧化膜，直至露出金黄色。

3) 选用焊丝 HS212， $\phi 4\text{mm}$ ，CJ301。

4) 使用 H01-12 焊炬，接头处预热 350℃，并边预热边焊接，火焰为微弱氧化焰。

5) 采用双直焊、左向焊法直通焊，焊接方向见图 9-29 箭头所示。

6) 焊后局部退火 400℃。

#### 五、铝及铝合金的气焊

##### 1. 气焊铝及铝合金的主要问题

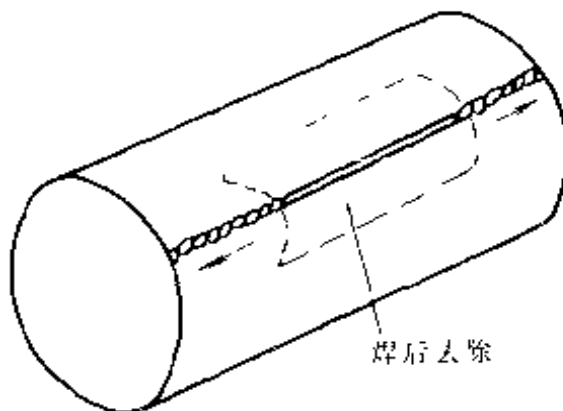


图 9-29 冷凝器壳体的气焊

(1) 要求火焰能率高 铝和铝合金的热导率、比热容都很大,见表 9-63,因此要求大功率和能量集中的热源。因此气焊的火焰能率要大,有时需要对焊件进行预热来满足工艺要求。

表 9-63 铝与铁的物理性能比较

金属	熔点 / (°C)	沸点 / (°C)	密度 / (g/cm <sup>3</sup> )	热导率 / (W/m·°C)
Al	660	1800	2.7	231
Fe	1540	2450	7.85	76

金属	比热容 / (J/kg·°C)	线膨胀系数 / (×10 <sup>-6</sup> /°C)	熔化潜热 / (J/kg)
Al	903	24	388080
Fe	462	12	273000

(2) 氧化能力强 氧与铝的亲合力大,其 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜致密结实,厚度约 0.1μm,密度为铝的 1.4 倍,熔点为 2050°C。焊接时氧化膜覆盖着熔滴及熔化金属,阻碍填充金属与母材的熔合,易造成未熔合、夹渣和成形不良。同时氧化膜还会吸附水分,使焊缝易出现气孔。所以,焊前要严格清理金属表面,焊接过程中对熔池及高温金属要有效保护,防止再氧化。

(3) 容易产生气孔 液态铝不溶解氮,但可以溶解大量的氢,而在固态时氢在铝中的溶解度几乎等于零。当熔池快速冷却时,氢的溶解度急剧下降,在凝固点由 0.69cm<sup>3</sup>/100g 下降到 0.036cm<sup>3</sup>/100g。来不及逸出的氢在焊缝中集聚成气孔。

铝及铝合金焊接时产生的气孔有三种:

1) 分散气孔 常出现在焊缝截面中,数量多、尺寸小 (< 0.2mm)、呈弥散状分布,试样断口上呈圆形亮白色的点。焊接气氛中所含的水分是产生这种氢气孔的原因。纯铝比铝镁合金更容易产生这种气孔。

2) 集中气孔 往往分布在熔合线附近,尺寸大,断面为圆形,内

壁光滑；呈亮白色或金黄色（油污氧化引起）。母材表面及坡口未去净的氧化膜所吸附的水分是产生这种氢气孔的原因。铝镁合金比纯铝容易形成吸水强、疏松、厚的表面氧化膜层，所以，集中气孔比纯铝严重。

3) 热影响区气孔 分布于热影响区表面，含镁量较高的铝镁合金易产生此种气孔，并且有时形成连续的凸起鼓胀现象。这是由于高温下氢压的作用，使氢向热影响区扩散而形成气孔。

(4) 易产生热裂纹 铝的线膨胀系数大，凝固收缩率大、导热快、加热时间长、受热面积大，所以，焊接变形及应力大。而高温时塑性差，在 640~650℃时  $\delta < 0.6\%$ ，在 350~400℃时  $\sigma_s \leq 10\text{MPa}$ ，某些铝合金易形成低熔点共晶物，因此容易产生裂纹。

(5) 焊接接头性能下降 铝合金中所含有的合金元素 Mg、Zn、Mn 等高温下易烧损，使焊缝性能下降。热影响区由于受热软化，若纯铝板在冷作硬化状态下焊接，接头强度会下降，热处理强化铝合金软化更严重，接头强度只有母材的 40%~50%。

(6) 易产生焊缝塌陷和烧穿 由于铝及铝合金高温时强度比较低，固液态转变时没有显著的颜色变化，而且熔池表面又有一层氧化膜，焊接时很难判断熔化情况，所以熔池温度很难掌握，稍不注意就会塌陷乃至烧穿。

气焊铝及铝合金时，材料的相对焊接性见表 9-64。

表 9-64 气焊铝及铝合金的相对焊接性

工业纯铝	铝锰合金	铝镁合金		硬铝	适用厚度范围/mm	
		LF5、LF6	LF2、LF3		适宜范围	厚度界限
L1~L7	LF21	LF5、LF6	LF2、LF3	LY11、LY12	适宜范围	厚度界限
好	好	差	尚可	差	0.5~10	0.3~25

## 2. 气焊铝及铝合金用焊丝与焊剂

气焊铝及铝合金时，一般应选用与母材化学成分相近的焊丝，也可用母材切条为填充金属。常用的焊丝牌号及化学成分见表 3-42。选用焊丝时必须考虑到抗裂纹性能、耐腐蚀性能和接头力学性能。

铝及铝合金焊前虽然经过清理，但其表面氧化膜有可能清除不干

净,焊接时又会产生新的氧化膜。所以,焊接时应采用熔剂,清除熔池中的氧化膜和其它杂质,提高熔化金属的流动性,使焊接顺利并保证质量和成形。气焊铝及铝合金常用熔剂配方见表 9-65。

表 9-65 气焊铝及铝合金熔剂的配方 (质量分数)(%)

组成	铝块 晶石	氯化钠	氯化钾	氯化 钡	氯化锂	氟化钠	氟化 钙	硼砂	其它
CJ401		27~30	49.5~52	—	13.5~15	7.5~9	—	—	—
1	—	19	29	18	—	—	4	—	—
2	30	30	40	—	—	—	—	—	—
3	20	—	40	40	—	—	—	—	—
4	—	45	30	—	10	15	—	—	—
5	—	27	18	—	—	—	—	14	硝酸 钾 41
6	—	20	40	20	—	20	—	—	—
7	—	25	25	—	—	—	—	40	硫酸 钠 10
8	4.8	—	—	33.3	19.5	—	14.8	氧化 镁 2.8	氟化镁 24.8
9	—	—	—	70	15	氟化 锂 15	—	—	—
10	硝酸 钾 28	9	3	—	—	—	—	40	硫酸 钾 20
11	4.5	40	15	—	—	—	—	—	—
12	20	30	50	—	—	—	—	—	—

### 3. 铝及铝合金气焊的工艺要求

(1) 严格清除焊件接头处及焊丝表面的氧化膜和油污。清理方法有化学清理和机械清理两种。较小焊件及焊丝适于化学清洗,尺寸较大

的焊件常用机械方法清理，其工艺见表 9-66。焊件及焊丝经清理后在存放过程中会重新生成氧化膜，所以，应缩短清理后至焊接前的存放时间。干燥环境间隔时间不超过 24h，潮湿环境不超过 4h，否则应重新清理氧化膜。采用抛光处理焊丝并用塑料密封，保存期可达半年。

表 9-66 铝及铝合金的焊前清理

工 序		除 油	碱 洗			冲 洗
			溶液 $\omega/\%$	温度 / $^{\circ}\text{C}$	时间 / min	
化学 清洗 法	纯铝	汽油、煤油、丙酮等除油剂	NaOH 6~10	40~60	$\leq 20$	流动清水
	铝镁、铝锰合金				$\leq 7$	
工 序		中和光化			冲 洗	干 燥
		溶液 $\varphi/\%$	温度 / $^{\circ}\text{C}$	时间 / min		
化学 清洗 法	纯铝	HNO <sub>3</sub> 30	室温或 40~60	1~3	流动清水	风干或低温干燥
	铝镁、铝锰合金					
机械法	用丙酮或汽油进行表面除油，随后用 $\phi 0.15\text{mm}$ 丝径的铜或不锈钢丝刷子刷，直至露出金属光泽为止。也可以用刮刀清理焊件表面					

(2) 坡口形式及尺寸 气焊铝及铝合金的坡口形式及尺寸见表 9-67。

气焊铝及铝合金时，不宜采用搭接接头和 T 形接头。因为这种接头易残留熔剂和焊渣，不便焊后清除，使接头耐腐蚀性下降。

为保证焊件焊接时既焊透而又不塌陷和烧穿，可以采用垫板。垫板可用不锈钢板、碳素钢板或石墨板。当单面焊双面成形时，应在接触介质一面施焊。

(3) 合理选择焊丝与熔剂 SA1Si5 是一种通用焊丝，焊缝金属流动性好，抗裂纹性能高，并能保证一定的力学性能，除铝镁合金外，常采用此焊丝。因铝镁合金采用 SA1Si5 焊丝时，会在晶间析出 MgSi 脆性化合物，使接头塑性和抗腐蚀性能下降，甚至引起裂纹。焊接铝镁合



表 9-67 铝及合金气焊坡口形式与尺寸

板厚 /mm	施焊 方法	坡口 名称	坡口形式	尺 寸		
				$b$ /mm	$p$ /mm	$\alpha$ / (°)
$\leq 2$	单面焊	卷边		—	—	—
$\leq 5$	单面焊	I型		1~1.5	—	—
5~10	单面焊	V形		2~4	0.5~2	65±5

金时应采用 SAlMg5Ti 焊丝。

气焊熔剂有含锂和不含锂两类，含锂的熔剂熔点较低，熔渣的熔点、粘度也较低，焊后易清除，但价格高，吸潮性强，应以干粉状加入熔池。不含锂的熔剂价格低，但熔点高，熔渣粘度大，易夹渣，适于较高温度下焊接用。

气焊角接及搭接接头时，由于熔渣不易清除干净，建议选用表 9-65 中序号 7 熔剂。铝镁合金焊接不宜采用含钠熔剂，可采用表 9-65 中序号 8、9 号熔剂。

(4) 气焊铝及铝合金时应采用中性焰或乙炔稍多的中性焰，严禁采用氧化焰。焊接薄板时火焰能率稍小，焊接厚板时火焰能率应大。其板厚与焊炬的使用见表 9-68。

由于铝及铝合金高温固液态转变时没有明显的颜色变化，所以熔化情况不易掌握。当加热表面由光亮银白色变成暗淡的银白色，表面氧



化膜起皱,加热处金属有波动现象时,即达熔化温度,可以施焊;用蘸有熔剂的焊丝端头触及加热处有粘性,焊丝与母材能熔合时,即达熔化温度,可以施焊;母材边棱有倒下现象时,母材达熔化温度,可以施焊。

表 9-68 气焊铝及铝合金的焊炬与板厚关系

板厚/mm	1.2	1.5~2.0	3.0~4.0
焊炬型号	H01-6	H01-6	H01-6
焊嘴号	1	1~2	3~4
焊嘴孔径/mm	0.9	0.9~1.0	1.1~1.3
焊丝直径/mm	1.5~2.0	2.0~2.5	2.0~3.0
板厚/mm	5.0~7.0	7.0~10.0	10.0~20.0
焊炬型号	H01-12	H01-12	H01-20
焊嘴号	1~3	2~4	4~5
焊嘴孔径/mm	1.4~1.8	1.6~2.0	3.0~5.2
焊丝直径/mm	4.0~5.0	5.0~6.0	5.0~6.0

当气焊薄小件时采用左焊法,厚度较大焊件采用右焊法。

气焊 3mm 以下薄件时,焊炬倾角为  $20^{\circ}\sim 40^{\circ}$ ,气焊厚件时,焊炬倾角为  $40^{\circ}\sim 80^{\circ}$ ,焊丝与焊炬夹角为  $80^{\circ}\sim 100^{\circ}$ 。

(5) 预热 气焊薄小件时,一般不需要预热,厚度大于 5mm 及结构复杂件,应进行局部或整体预热,温度为  $150\sim 300\text{C}$ 。

(6) 定位焊 采用比正式焊接稍大的火焰,焰芯距焊件表面 3~5mm,焊炬与焊件夹角为  $50^{\circ}$  左右。较长焊缝从中间向两端定位焊,环缝对称定位焊,一般要求见表 9-69 和表 9-70。

(7) 焊炬操作 气焊铝及铝合金时,焊炬可以上下跳动前进或平直前进,见图 9-30。

气焊 3mm 以下薄件时,焊炬上下跳动前进,跳动幅度为 3~4mm,焰芯尖端距焊件 3~5mm,焊丝做反向的跳动;气焊厚大件时,焊炬平直前进,焰芯尖端距焊件表面 3~5mm,焊丝上下跳动,拨开氧化膜,搅动熔池。

表 9-69 铝及铝合金板定位焊要求 (mm)

板 厚	<1.5	1.5~2.0	3~4	5~7
定位焊间距	10~30	30~50	50~70	80~100
定位焊缝长度	3~8	6~10	10~15	20~30
焊点高度	1~1.2	1.2~2	2.5~3	3~5
板 厚	7~10	10~16	>16	
定位焊间距	100~120	120~180	180~240	
定位焊缝长度	30~40	40~50	50~60	
焊点高度	3~5	5~7	6~8	

表 9 70 铝及铝合金管材定位焊要求 (mm)

管材直径	壁厚 ( $\delta$ )	定位焊位置及数量	定位焊缝长度	定位焊缝高度
$\leq 18$	1~3.5	对接定位焊 2处	5~10	$\leq \delta$
25~55	1.5~5	对称定位焊 3处	10~20	$\delta \sim 2/3\delta$
75~120	2.5~10	对接定位焊 4处	30~40	$\delta \sim 2/3\delta$

(8) 焊后处理 焊后残存在焊缝及附近的熔剂和焊渣要及时清理干净, 否则会腐蚀焊件。清理方法为: 先在 60~80℃ 热水中用硬毛刷洗刷焊接接头, 重要构件洗刷后再放入 60~80℃、质量分数为 2%~3% 的铬酐水溶液中浸泡 5~10min, 然后再用硬毛刷仔细洗刷, 最后用热水冲洗干净。

清理后若焊接接头表面无白色附着物即可认为合格, 或用质量分数为 2% 硝酸银溶液滴在焊接接头上, 若没有产生白色沉淀物, 即说明清洗干净。

铸造铝合金补焊后为消除内应力, 可进行 300~350℃ 退火处理。

#### 4. 铝及铝合金的气焊实例

铝冷凝器端盖的气焊, 其结构见图 9-31, 材料为 LF6, 焊接工艺要点如下:

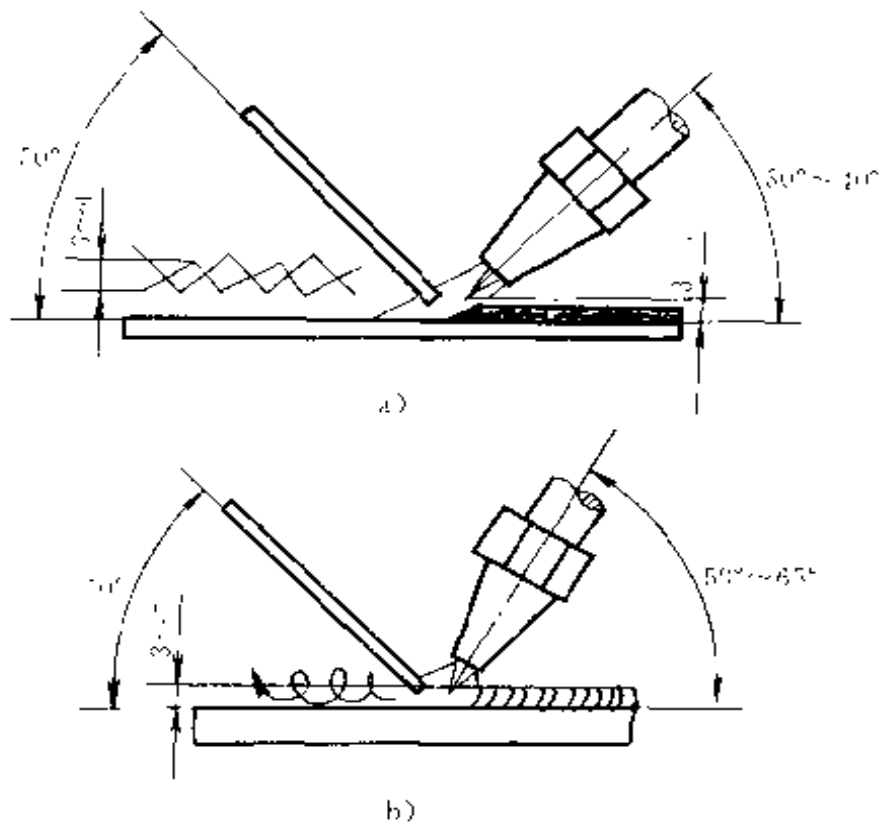


图 9-30 气焊铝及铝合金时焊炬的运动方式

a) 上下跳动前进 b) 平直前进

1) 采用化学清洗的办法(见表 9-66)将接管、端盖、大小法兰、焊丝清洗干净。

2) 焊丝选用 SA1Mg5Ti,  $\phi 4\text{mm}$ , 熔剂选用 CJ401。用气焊火焰将焊丝加热, 在熔剂槽内将焊丝蘸满 CJ401 备用。

3) 采用中性焰, 右向焊法焊接。焊炬选用 H01-12, 选用 3 号焊嘴。

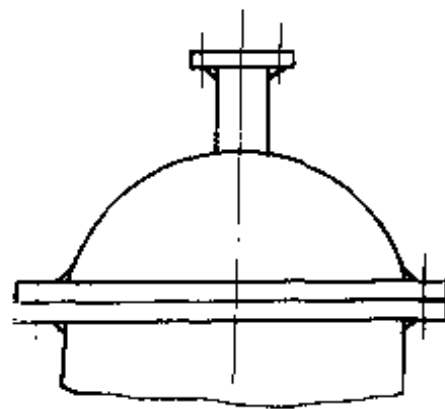


图 9 31 铝冷凝器端盖示意图

4) 焊接小法兰盘与接管。用气焊火焰对小法兰均匀加热, 待温度达  $250^{\circ}\text{C}$  左右时组焊接管。定位焊两处, 从第三点进行焊接。为避免变

形和隔热，在预热和焊接时小法兰盘放在耐火砖上。

5) 焊接端盖与大法兰盘。切割一块与大法兰盘等径的厚度 20mm 的钢板，并将其加热到红热状态，将大法兰盘放在钢板上，用两把焊炬将其预热到 300℃ 左右，快速将端盖组合到大法兰盘上。定位三处，从第四点施焊。焊接过程中保持大法兰盘的温度，并不间断焊接。

6) 焊接接管与端盖焊缝，预热温度为 250℃。

7) 焊后清理：先在 60~80℃ 热水中用硬毛刷刷洗焊缝及热影响区，再放入 60~80℃、质量分数为 2%~3% 的铬酐水溶液中浸泡 5~10min，再用硬毛刷刷洗，然后用热水冲洗干净并风干。

### 六、常用金属材料气焊的焊接参数

常用金属材料气焊的焊接参数见表 9-71、表 9-72、表 9-73、表 9-74、表 9-75、表 9-76 和表 9-77。

表 9-71 碳素钢气焊焊接参数

板厚 /mm	对 接		T 形接		搭 接		端 接	
	氧气 压力 /MPa	焊丝 直径 /mm	氧气 压力 /MPa	焊丝 直径 /mm	氧气 压力 /MPa	焊丝 直径 /mm	氧气 压力 /MPa	焊丝 直径 /mm
0.5	0.15	1.0	0.15	1.0	0.15	1.0	0.15	1.0
0.8	0.15	1.0	0.15	1.0	0.15	1.0	0.15	1.0
1.0	0.15	1.0~1.5	0.15	1.5	0.15	1.0~1.5	0.15	1.0
1.5	0.20	1.5	0.20	1.5	0.20	1.5	0.20	1.5
2.0	0.25	2.0	0.25	2.0	0.25	2.0	0.20	2.0
2.5	0.25	2.0	0.30	2.0	0.30	2.0	0.25	2.0
3.0	0.30	2.5	0.30	2.5	0.30	2.5	0.30	2.5

表 9-72 耐热钢气焊焊接参数

板厚/mm	焊丝直径/mm	焊嘴号
3	2~3	H01-6 1~3号
6	3~4	H01-6 3~5号

表 9-73 不锈钢气焊焊接参数

板厚/mm	焊丝直径/mm	焊嘴号	氧气压力/MPa
0.8~1.5	1~2	H01-6 2号	0.2
1.5~3.0	2~3	H01-6 2号	0.2~0.25

表 9-74 铝及铝合金气焊焊接参数

板厚/mm	氧气压力/MPa	乙炔流量(L/min)	焊嘴号	对接焊缝层数
1.5	0.15	0.8~1.7	H01-6 2号	1
>1.5~3.0	0.15~0.20	1.7~3.4	H01-6 2~5号	1
>3.0~5.0	0.20~0.25	3.3~6.7	H01-6 4~5号	1~2
>5.0	0.25~0.30	6.7~20	H01-12 2~5号	>1

表 9-75 纯铜气焊焊接参数

板厚/mm	焊丝直径/mm	乙炔流量(L/min)	焊嘴号
~1.5	1.5	2.5	H01-2 4~5号
>1.5~2.5	2	5.8	H01-6 3~4号
>2.5~4	3	8.3	H01-12 1~2号
>4~8	5	12.5	H01-12 2~3号
>8~15	6	16.7	H01-12 3~4号

表 9-76 黄铜气焊焊接参数

板厚/mm	焊丝直径/mm	乙炔流量(L/min)	焊炬型号	焊接层数
1~2.5	2	1.7~2.5	H01-2	1
3~4	3	1.7~5.0	H01-2	2
4~5	4	3.8~5.8	H01-6	2

(续)				
板厚/mm	焊丝直径/mm	乙炔流量/(L/min)	焊炬型号	焊接层数
6~10	4	8.3~11.7	H01-12	1
	6~8			1
	8			正面1,背面1
>12	6	12.5~16.7	H01-12	1
	8			2
	8			3
	8			正面2,背面1

表 9-77 铸铁气焊补焊焊接参数

壁厚/mm	焊嘴号	氧气压力/MPa
<20	H01 12,4~5号	0.4~0.5
20~50	H01 20,3~5号	0.6~0.7

## 第六节 气割工艺

### 一、低碳钢气割工艺

低碳钢气割工艺参数包括预热火焰能率、氧气压力、切割速度、割嘴与割件距离及切割倾角等。

#### 1. 预热火焰能率

根据工件厚度来选择预热火焰能率,割炬与割嘴过大,切口表面棱角熔化;过小则切割过程不稳定,切口表面不整齐,其推荐值见表 9-78。

#### 2. 氧气压力

根据工件厚度来选择氧气压力,过大,使切口变宽、粗糙;过小,使切割过程缓慢,易造成粘渣。其推荐值见表 9-79。

#### 3. 切割速度

切割速度与工件厚度、割嘴形式有关,一般随工件厚度增大而减

表 9-78 预热火焰能率推荐值

钢板厚度/mm	3~25	>25~50	>50~100	>100~200	>200~300
火焰能率·(L·min) <sup>①</sup>	3~8.3	9.2~12.5	12.5~16.7	16.7~20	20~21.7

① 指乙炔消耗量。

表 9-79 氧气压力推荐值

工件厚度/mm	3~12	>12~30	>30~50	>50~100
切割氧压力/MPa	0.4~0.5	0.5~0.6	0.5~0.7	0.6~0.8
工件厚度/mm	>100~150	>150~200	>200~300	
切割氧压力/MPa	0.8~1.2	1.0~1.4	1.0~1.4	

慢。太慢会使切口上缘熔化，太快则后拖量过大，甚至割不透。

#### 4. 割嘴与工件间距

根据工件厚度及预热火焰长度来确定，一般以熔芯尖端距工件 3~5mm 为宜，过小则会使切口边缘熔化及增碳，过大则使预热时间加长。

#### 5. 切割倾角

工件厚度在 30mm 以下，后倾角为 20°~30°；工件厚度大于 30mm，起割时为 5°~10°前倾角，割透后割嘴垂直于工件，结束时为 5°~10°后倾角；机械切割及手工曲线切割时，割嘴垂直于工件。

低碳钢常用的气割工艺参数见表 9-80、表 9-81、表 9-82。

### 二、叠板气割工艺要点

大批量薄板零件气割时，可将薄板叠在一起进行切割。这样生产率高，切割质量也比单层切割好。切割前应将每件钢板切口附近的氧化皮、铁锈和油污等仔细清理干净，然后将钢板叠合在一起。叠合时钢板之间不应有空隙，否则会发生钢板局部烧熔。为此，可以采用夹具夹紧的方法、多点螺栓紧固的方法，增加两块 6~8mm 上下盖板一起叠层的方法。为使切割顺利，可使上下钢板错开，造成端面叠层有 3°~5°的倾角，见图 9-32。

表 9-80 低碳钢手工气割工艺参数 (一)

工件厚度/mm	氧气压力/MPa	乙炔压力/MPa	割炬型号	割嘴号
~3.0	0.29~0.39	0.01~0.12	G01-30	1、2
>3.0~12	0.39~0.49			1、2
>12~30	0.49~0.69			2~4
>30~50	0.49~0.69		G01 100	3~5
>50~100	0.59~0.78			5、6
>100~150	0.78~1.18		G01-300	7
>150~200	0.98~1.37			8
>200~250	0.98~1.37			9

表 9-81 低碳钢手工气割工艺参数(二)

工件厚度/mm	乙炔压力/MPa	预热氧压力/MPa	切割氧压力/MPa	割嘴号
200~300	0.08~0.1	0.29~0.39	0.98~1.18	1
>300~400	0.1~0.12	0.29~0.39	1.18~1.57	1
>400~500	0.1~0.12	0.39~0.49	1.57~1.96	2
>500~600	0.1~0.14	0.39~0.49	1.96~2.45	3

表 9-82 低碳钢机械气割工艺参数

板厚/mm	割嘴孔径/mm	氧气消耗量/(L/min)	乙炔消耗量/(L/min)	氧气压力/MPa	切割速度/(cm/min)
6	0.8~1.5	16.7~43.3	2.8~5.2	0.11~0.24	51~71
9	0.8~1.5	21.7~55	2.8~5.2	0.12~0.28	48~66
12	0.8~1.5	30~53.3	3.8~6.2	0.14~0.38	43~61
19	1.0~1.5	55~75	5.7~7.2	0.17~0.35	38~56
25	1.2~1.5	61.7~81.7	6.2~7.5	0.19~0.38	35~48
38	1.7~2.1	86.7~113.3	6.5~8.5	0.16~0.38	30~38



(续)

板厚 /mm	割嘴孔径 /mm	氧气消耗量 '(L·mm)	乙炔消耗量 '(L·min)	氧气压力 '(MPa)	切割速度 '(cm/min)
50	1.7~2.1	86.7~123.3	7.5~9.5	0.16~0.42	25~35
75	2.1~2.2	98.3~156.7	7.5~10.8	0.21~0.35	20~28
100	2.1~2.2	138.3~181.7	9.8~12.3	0.23~0.42	16~23
125	2.1~2.2	163.3~193.3	10.8~13.7	0.35~0.45	14~19
150	2.5	188.3~231.7	12.3~15.2	0.31~0.45	11~17
200	2.5	240~295	14.7~18.3	0.42~0.63	9~12
250	2.5~2.8	288.3~353.3	17.5~21.2	0.49~0.63	7~10
300	2.8~3.0	340~415	19.8~24.3	0.48~0.74	6~9
350	2.8~3.0	391.7~493.3	22.7~27.8	0.74	5~8
400	3.2~4.0	441.7~543.3	27~33.3	0.77	4.5~7.5
450	3.7~4.0	493.3~795	30.7~39.2	0.84	4.3~7.5
500	4.0~5.0	546.7~970	36.8~46.8	0.95	3.4~7.5

叠板气割可以切割厚度在0.5mm以上的薄钢板,总厚度不应大于120mm。

叠层气割与切割同样厚度的钢板比较,切割氧压力应增加0.1~0.2MPa,切割速度应慢些。采用氧丙烷进行叠板切割,其切割质量优于氧乙炔焰。

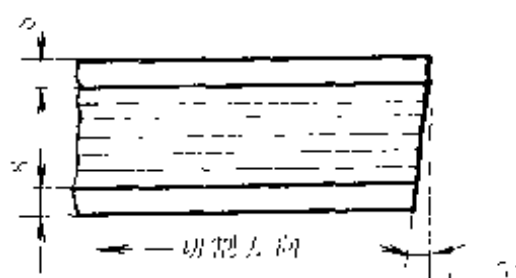


图 9-32 钢板叠合方式

### 三、大厚度钢板气割工艺要点

大厚度钢板指厚度在300mm以上的钢板。其气割时的主要问题是工件在厚度方向上预热不均匀,下部金属燃烧比上部金属慢,切口后拖量大,甚至切不透。由于切割大厚度钢板时,切割氧压力大,高压气流对工件冷却作用大,降低切口温度,使切割速度下降。

为此,大厚度钢板切割时应采取相应的工艺措施:

1) 采用大号割炬和大号割嘴,如 G01-300 或重型割炬及自行改装的割炬,而且切割时氧气要保证供应充足,可采用汇流排将数瓶氧气汇集在一起。

2) 切割时预热火焰要大,要使钢板厚度方向全部均匀预热,见图 9-37a 否则产生未割透,见图 9-33c。

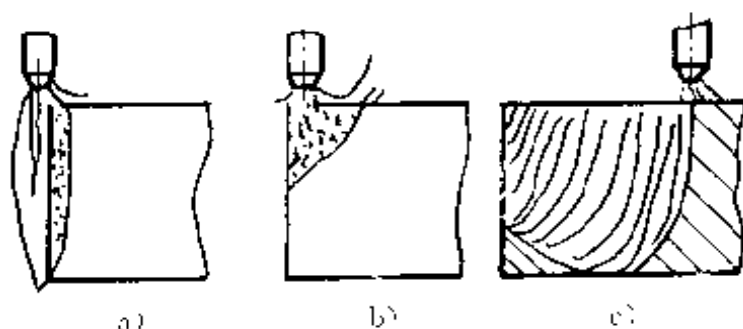


图 9-33 大厚度钢板切割预热

a) 正确 b) 不正确 c) 未割透

3) 手工切割大厚度钢板的工艺参数见表 9-83。

表 9-83 大厚度钢板手工气割工艺参数

工件厚度/mm	乙炔压力/MPa	预热氧压力/MPa	切割氧压力/MPa
200~300	0.08~0.1	0.3~0.4	1~1.2
300~400	0.1~0.12	0.3~0.4	1.2~1.6
400~500	0.1~0.12	0.4~0.5	1.6~2.0
500~600	0.1~0.14	0.4~0.5	2.0~2.5

#### 四、不锈钢的振动气割工艺要点

不锈钢振动气割的特点是在切割过程中使割炬振动,以冲破切口处产生的难熔氧化膜,达到逐步分离切割金属的目的。这种工艺方法虽然切口不够光滑,但设备简单、易掌握,且切割厚度可以很大。当不具备等离子弧切割条件或等离子弧切割不方便的时候,振动切割有它的实用性。其切割厚度可达 300mm 以上,但厚度超过 500mm 的不锈钢

冒口，宜采用氧熔剂切割。

振动切割不锈钢时，预热火焰应比切割碳素钢大而集中，氧气压力也要增大15%~20%，采用中性火焰。切割过程如图9-34所示。切割开始时将工件边缘预热到熔融状态，打开切割氧阀门，少许提高割炬，熔渣即从切口处流出，此时割炬即做一定幅度的前后、上下摆动，振动的切割氧气流冲破切口处产生的高熔点氧化铬，使铁继续燃烧，并通过氧气流的上下、前后冲击研磨作用，把溶渣冲掉，实现连续切割。

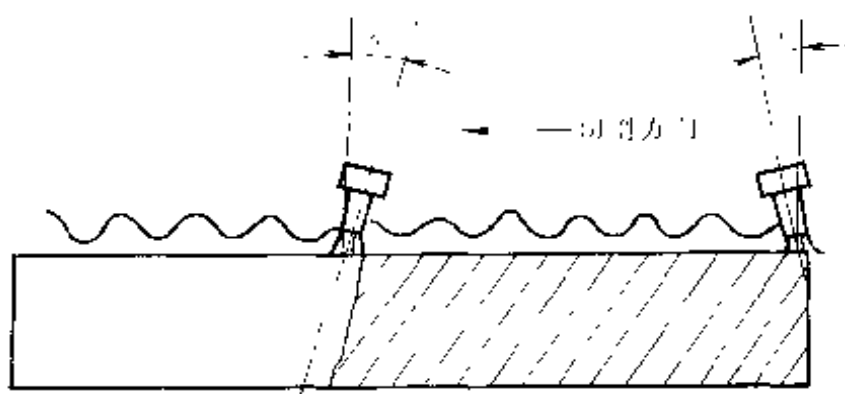


图 9-34 不锈钢的振动气割

振动气割的振幅为10~15mm，前后振幅应大些。频率为每分钟80次左右。切割时保持喷嘴一定的后倾角。

### 五、铸铁的振动气割工艺要点

铸铁含硅量较高，气割时产生大量的 $\text{SiO}_2$ ，不但难熔，而且熔渣粘度大，不易被氧流吹走，这是铸铁气割的主要问题。铸铁的振动气割与不锈钢振动气割类似。不同的是，割炬不仅可以做上下、前后摆动，而且可以做左右摆动。横向摆动振幅在8~16mm，振动频率为每分钟60次左右。当切割一段后，振动频率可逐渐减小，甚至可以不振动，象一般气割一样。

## 第七节 气割缺陷及防止方法

### 一、火焰切割质量要求

#### 1. 切割面质量

切割面质量按 ZBJ59002.3—88 要求,以切割面平面度  $a$ 、割纹深度  $h$ 、缺口的最小间距  $L$  三项参数进行分等。后拖量、上缘熔化度、挂渣不做质量分等评定。切割面质量等级分 I、II 两级,见表 9-84。切割面平面度  $a$ 、割纹深度  $h$  的分等取值范围见图 9-35 和图 9-36。

表 9 84 切割面质量分等

切割面质量	切割面平面度 $a$	割纹深度 $h$	缺口最小间距 $L$
I 级	1 等和 2 等	1 等和 2 等	$\geq 2000\text{mm}$
II 级	1 等~3 等	1 等~3 等	$\geq 1000\text{mm}$

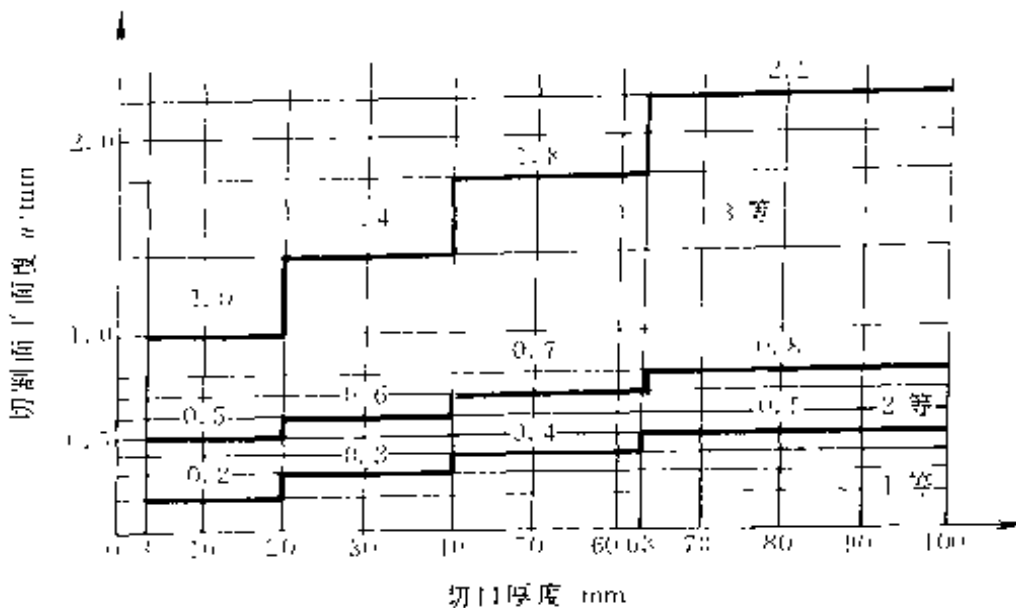


图 9-35 切割面平面度  $a$  (数值表示上限)

## 2. 工件尺寸偏差

在国家专业标准 ZBJ59002.3—88 中,工件尺寸偏差是指工件基本尺寸与切割后的实际尺寸之差值。实际尺寸应在切口经过清理并冷却到室温后进行测量。尺寸偏差包括由切割面平面度造成的偏差部分。工件尺寸偏差见表 9-85。

## 二、气割质量的检验

切割面质量的测定按 ZBJ59002.3—88 执行。对于缺口最小间距

L<sub>1</sub> 可用量具直接测得。对于切割面平面度  $u$ 、割纹深度  $h$  的数值，可用测量仪器和量具分别测定。为方便切割面质量分级评定，采用切割面质量样板，用作鉴定切割面质量的比较样板。而对比得出的切割面质量等级便可作为评定结果。

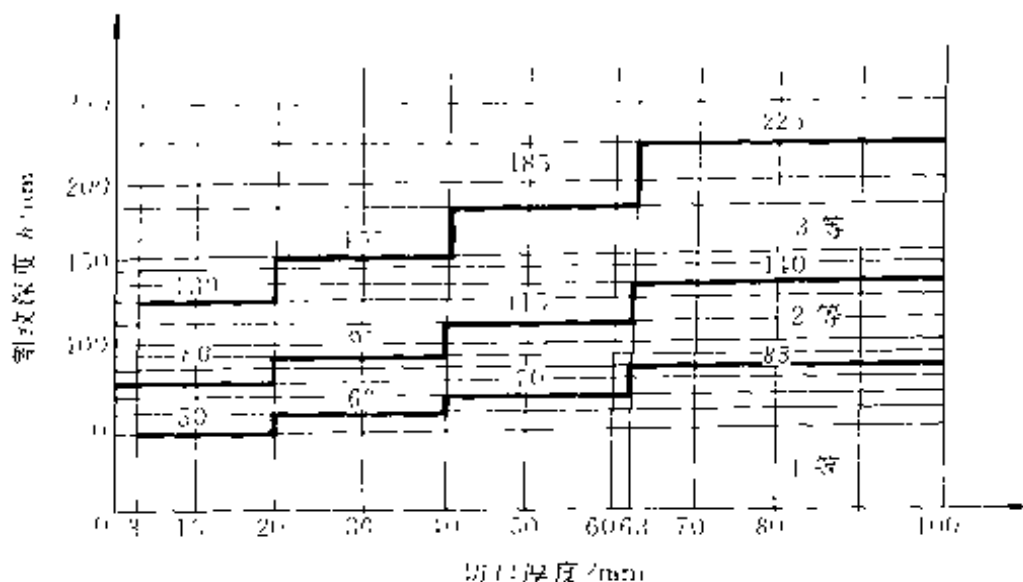


图 9-36 割纹深度  $h$  (数值表示上限)

表 9-85 工件尺寸偏差 (mm)

精度	切割厚度	基本尺寸范围			
		35~<315	315~<1000	1000~<2000	2000~4000
A	3~50	±0.5	±1.0	±1.5	±2.0
	>50~100	±1.0	±2.0	±2.5	±3.0
B	3~5	±1.5	±2.5	±3.0	±3.5
	>50~100	±2.5	±3.5	±4.0	±4.5

注：表中所列工件尺寸偏差适用于：

1. 图样上未注公差尺寸。
2. 长宽比小于或等于 4:1 的工件。
3. 切割周长大于或等于 350mm 的工件。

火焰切割表面质量标准样板由 14 个样块组成,其中由 15mm、30mm、50mm 三种不同切割厚度的样块组成。样块尺寸和表面质量等级排列见表 9-86。

表 9-86 标准样块尺寸与表面质量等级

样块序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
样块尺寸 $\frac{A}{\text{mm}} \times \frac{B}{\text{mm}}$	15×30					30×30					50×30			
适用对比切口厚度/mm	3~20					20~40					40~60			
质量级别	I				I				I				I	
<i>a</i> 值分等	1	1	2	2	3	3	1	1	2	2	3	3	2	3
<i>b</i> 值分等	1	2	1	2	2	3	1	2	1	2	2	3	1	2

### 三、气割缺陷及防止方法

#### 1. 影响气割质量的因素

(1) 工件 工件的材质、厚度、力学性能、平面度、清洁度;工件的气割形状、坡口情况、切口在工件上的分布、套裁方法以及切口四周的余量情况等。

(2) 燃气和氧气 气体的纯度、气体的压力及压力的持久稳定性等。

(3) 设备与工装 设备的精度、操作性能、气割平台的平整度、工件卡紧装置或冷却装置、排渣的方便程度等。

(4) 气割工艺 割炬规格和割嘴号的选择、预热火焰的选择、风线的调节、加热时间的控制、割嘴离工件的高度、割嘴的前后倾角和左右垂直度、气割速度、气割顺序及路线等。

(5) 工人的操作水平。

#### 2. 气割缺陷的防止

常见的气割缺陷及防止方法见表 9-87。

表 9-87 气割缺陷的产生原因及防止方法

缺陷形式	产生原因	防止方法
切口断面 纹路粗糙	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 氧气纯度低</li> <li>2. 氧气压力太大</li> <li>3. 预热火焰能率小</li> <li>4. 割嘴距离不稳定</li> <li>5. 切割速度不稳定或过快</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 一般气割, 氧气纯度 <math>\varphi_{O_2}</math> 不低于 98.5%; 要求较高时 <math>\varphi_{O_2}</math> 不低于 99.2%, 或者高达 99.5%</li> <li>2. 适当降低氧气压力</li> <li>3. 加大预热火焰能率</li> <li>4. 稳定割嘴距离</li> <li>5. 调整切割速度, 检查设备精度及网路电压, 适当降低切割速度</li> </ol>
切口断面刻 槽	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 回火或灭火后重新起割</li> <li>2. 割嘴或工件有振动</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 防止回火和灭火, 割嘴是否离工件太近, 工件表面是否清洁, 下部平台是否阻碍熔渣排出</li> <li>2. 避免周围环境的干扰</li> </ol>
下部出现 深沟	切割速度太慢	加快切割速度, 避免氧气流扰动产生熔渣旋涡
气割厚度 出现喇叭口	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 切割速度太慢</li> <li>2. 风线不好</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 提高切割速度</li> <li>2. 适当增大氧气流速, 采用收缩-扩散型割嘴</li> </ol>
后拖量过 大	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 切割速度太快</li> <li>2. 预热火焰能率不足</li> <li>3. 割嘴倾角不当</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 降低切割速度</li> <li>2. 增大火焰能率</li> <li>3. 调整割嘴后倾角度</li> </ol>
厚板凹心 大	切割速度快或速度不均	降低切割速度, 并保持速度平稳
切口不直	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 钢板放置不平</li> <li>2. 钢板变形</li> <li>3. 风线不正</li> <li>4. 割炬不稳定</li> <li>5. 切割机轨道不直</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 检查气割平台, 将钢板放平</li> <li>2. 切割前校平钢板</li> <li>3. 调整割嘴垂直度</li> <li>4. 尽量采用直线导板</li> <li>5. 修理或更换轨道</li> </ol>

(续)

缺陷形式	产生原因	防止方法
切口过宽	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 割嘴号码太大</li> <li>2. 氧气压力过大</li> <li>3. 切割速度太慢</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 换小号割嘴</li> <li>2. 按工艺规程调整压力</li> <li>3. 加快切割速度</li> </ol>
棱角熔化塌边	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 割嘴距离太近</li> <li>2. 预热火焰能率大</li> <li>3. 切割速度过慢</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 将割嘴提高到正确高度</li> <li>2. 将火焰调小, 或更换割嘴</li> <li>3. 提高切割速度</li> </ol>
中断, 割不透	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 材料缺陷</li> <li>2. 预热火焰能率小</li> <li>3. 切割速度太快</li> <li>4. 切割氧压力小</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 检查夹层、气孔缺陷, 以相反方向重新气割</li> <li>2. 检查氧气、乙炔压力, 检查管道和割炬通道有无堵塞、漏气, 调整火焰</li> <li>3. 放慢切割速度</li> <li>4. 提高切割氧压力及流量</li> </ol>
切口被熔渣粘结	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 氧气压力小, 风线太短</li> <li>2. 割薄板时切割速度低</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 增大氧气压力, 检查割嘴</li> <li>2. 加大切割速度</li> </ol>
熔渣吹不掉	氧气压力太小	提高氧气压力, 检查减压阀通畅情况
下缘挂渣不易脱落	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 氧气纯度低</li> <li>2. 预热火焰能率大</li> <li>3. 氧气压力低</li> <li>4. 切割速度慢</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 换用纯度高的氧气</li> <li>2. 更换割嘴, 调整火焰</li> <li>3. 提高切割氧压力</li> <li>4. 调整切割速度</li> </ol>
割后变形	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 预热火焰能率大</li> <li>2. 切割速度慢</li> <li>3. 气割顺序不合理</li> <li>4. 未采取工艺措施</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 调整火焰</li> <li>2. 提高切割速度</li> <li>3. 按工艺采用正确的切割顺序</li> <li>4. 采用工夹具, 选用合理起割点等工艺措施</li> </ol>



(续)

缺陷形式	产生原因	防止方法
产生裂纹	1. 工件含碳量高 2. 工件厚度大	1. 可采取预热及割后退火处理办法 2. 预热温度 250 C
碳化严重	1. 氧气纯度低 2. 火焰种类不对 3. 割嘴距工件近	1. 换纯度高的氧气, 保证燃烧充分 2. 避免加热时产生碳化焰 3. 适当提高割嘴高度

## 第八节 气焊、气割中常见故障及排除方法

### 一、火焰不正常

火焰指焊炬火焰、割炬预热火焰和割炬切割火焰。正常时, 焊炬火焰的内焰为圆锥形, 割炬预热火焰为圆环形或由 6 个小圆锥形火焰组成的梅花形, 割炬的切割火焰呈两条平行的直线。

#### 1. 不正常的焊炬火焰

从形状上看, 基本有三种: 弯曲形、扫帚形、圆头形, 见图 9-37。其产生的原因及排除方法是:

1) 金属飞溅物及熔渣塞焊嘴或进入焊嘴内, 破坏气体的正常流出。

焊嘴外部的飞溅物或熔渣可用扁通针的平端将其刮去, 焊嘴内的飞溅物或熔渣, 可将焊嘴从焊炬上拧下来, 用扁通针的尖端插入焊嘴, 通过转动焊嘴来清除。

2) 焊嘴经长时间使用, 火口处

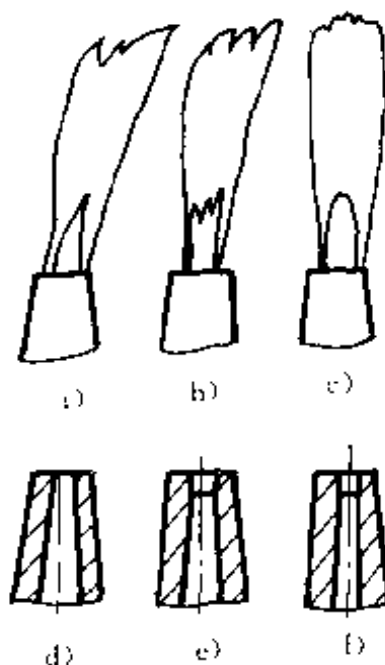


图 9-37 不正常的焊炬火焰  
a) 弯曲形 b) 扫帚形 c) 圆头形  
d) 金属飞溅物 e) 烧损的火口  
f) 喇叭口

局部金属被烧损，气体到达火口处不能按正确方向流出。

烧损部分可用锉刀锉掉，保证火口部位的几何形状不变，或将焊嘴拧下来放在平台上，用圆头小手锤轻轻敲打焊嘴火口部位，即“收口”，再用锉刀锉平，并用扁通针刮出锥形形状。

3) 由于维护方法不当，焊嘴孔端部成有筒形或喇叭形，无法保证火焰正常形状。

可采用“收口”的方法恢复形状，再用扁通针尖端刮出正确的焊嘴几何形状。

## 2. 不正常的预热火焰

一种是火焰的不整齐，另一种是火焰不对称。不整齐的火焰是由于割嘴环形孔内有飞溅物，阻塞气体的正常流出。可把割嘴卸下用通针来清除。火焰不对称是由于割嘴外套与内芯没有装配好，环形孔不对称造成的。可以重新调整外套与内芯的位置来解决。

## 3. 不正常的切割火焰

按其形状可有三种：喇叭口形、紊乱形和多线条形，见图 9-38。

1) 喇叭口形风线线条清晰，但喇叭口形明显，风线比正常风线短。产生的原因是割嘴内芯由于长时间使用，内芯孔成了喇叭口。由于不易修复，可更换或用于切割不重要工件。

2) 紊乱形风线是因割嘴内芯孔中有飞溅物，气流受阻造成。对于表面飞溅物可用扁通针刮去，内部飞溅物可用长通针清理。应注意选择直径与内芯孔直径相近的长通针，操作时要来回拉动通针，保证通针轴线与芯孔轴线基本重合，防止内芯孔的破坏

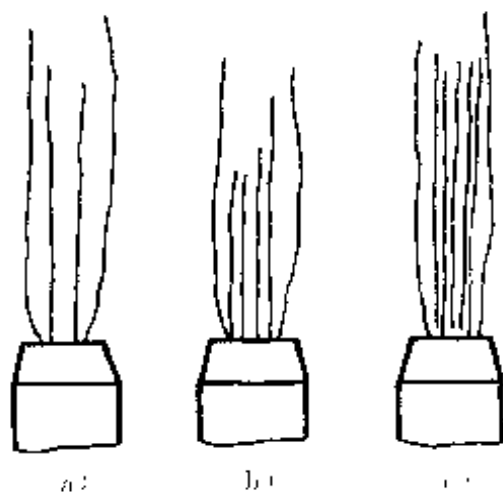


图 9-38 不正常的切割火焰

a) 喇叭口形风线 b) 紊乱形风线  
c) 多线条形风线

3) 多线条风线是由于割嘴内芯火口处的金属烧损造成。可用前面讲过的方法把这部分金属锉掉,但应连同外套一起锉,防止内芯低外套高的情况发生。

## 二、割嘴漏气

### 1. 割嘴漏气的原因

(1) 螺纹不严 内芯与割嘴座之间漏气,当打开切割氧阀门时,割嘴内发出连续“啪啪”声或回火。

(2) 压合不严 小压盖处不严,打开切割氧阀门,则会出现回火。大压盖与割炬头接合面不严,外套与割嘴座不严,混合气体会从大螺帽的间隙漏出来,则有漏火或回火发生。

### 2. 割嘴漏气的检查方法

可以把割嘴部分放入水中检查。

1) 关紧切割氧和乙炔阀门,用手堵住割嘴的环形孔和内芯孔,将割嘴放入水中,开启低压氧气阀门,观察螺母部位有无气泡析出,则可判断出大压盖部位和外套的割嘴座之间有无漏气现象。

2) 卸下割嘴外套,内芯和割嘴座仍用大螺母压紧,用手压住内芯孔并放入水中,开启切割氧阀门,若此时内芯与割嘴座的接合面有漏气,说明螺纹不严,若梅花孔有气泡析出,则是小压盖处漏气。

### 3. 割嘴漏气的排除方法

螺纹不严时可以在螺纹上涂铅油,若仍无效,说明螺纹尺寸误差太大,应更换某个部件。

大压盖漏气可以通过多次上紧、松开割嘴外面的大螺母,使小压盖或大压盖产生一定的变形,达到密封,或在大压盖上涂一些研磨砂,用反复研磨方法来消除漏气。

小压盖漏气可以在小压盖的锥形面上薄薄地焊上一层焊锡,然后通过反复上紧、松开外面的大螺母,使焊锡变形,达到密封。

## 三、割炬“不冲”及排除方法

割炬“不冲”是指预热火焰弱,混合气体喷出速度低,切割氧冲击力小的现象。

### 1. 形成原因

- 1) 气体的杂质堵塞、烟尘在管壁沉积, 造成气路不畅。
  - 2) 使用维修不当 使射吸管直径变大或形状改变, 虹吸效果下降。
  - 3) 针形阀阀针变秃或弯曲, 喷嘴孔阻塞或直径变大, 致使由喷嘴喷出的氧气流量变小或气流集中性变差, 对乙炔的吸力下降。
2. 排除方法
- 1) 清理割嘴外套、内芯和割嘴座上沉集的杂质和烟尘。
  - 2) 更换孔径变大或形状改变的射吸管。
  - 3) 车削变秃的阀针, 矫正弯曲的阀针, 并注意勿伤阀针外表, 喷嘴孔径变大可用“收口”的办法, 再用扁通针刮研修整。

# 第十章 焊接应力与变形

## 第一节 概 述

焊接过程是对焊件的局部进行高温加热使其达到熔化状态，随后快速冷却结晶而形成焊缝，因此在焊接构件中就产生了焊后残余变形、应力以及金属组织的变化。

### 一、焊接应力与变形的危害性

焊接过程中以及焊后，焊件中不可避免地会产生焊接应力与变形。焊接应力与变形直接影响焊接结构的制造质量及使用性能，例如，焊件尺寸精度、强度、刚度、稳定性以及耐腐蚀性能等。焊接应力与变形过大时，不仅给产品制造工艺增加困难，而且会导致产品报废，造成巨大经济损失。

#### 1. 焊接应力的危害性

1) 焊接应力是形成各种焊接裂纹的因素之一。在温度、金属组织状态及焊接结构拘束度等各项条件的相互作用下，当焊接应力达到一定值时，将会形成热裂纹、冷裂纹以及再热裂纹。其结果造成潜在危险，已经发现宏观裂纹的焊接结构则需要返修或报废，将造成工时及材料的损失。

2) 在腐蚀介质中工作的焊接构件，如果具有拉伸残余应力，就会造成该构件产生应力腐蚀开裂、应力腐蚀及低应力脆断。

3) 由于存在焊接应力，降低了结构的承载能力。焊接结构中的残余应力与工作应力叠加时，则增加了构件所承受的应力水平，因而降低了结构的强度安全裕量，实际上降低了结构的承载能力。当焊接应力超过材料的屈服点时，将会造成该区域的拉伸塑性变形，使材料的塑性受到损失。

4) 具有焊接应力的焊接构件，如果经过焊后机械加工则会破坏内

应力的平衡，引起焊接构件的变形，影响加工尺寸的不稳定性。

## 2. 焊接变形的危害性

1) 由于焊件存在有焊接变形，造成尺寸及形状的技术指标超差，降低了焊接结构的装配质量及承载能力。

2) 发生焊接变形的构件需要矫正，因此浪费了大量的工时及材料。当焊件变形过大，而且难以矫正时，会导致产品报废，造成经济损失。

## 二、焊接应力与变形的产生原因

焊接应力与变形产生的根本原因就是焊件在焊接过程中经受了不均匀的加热及冷却。由于焊接热过程对焊件的作用，在焊接构件中产生了应力状态及尺寸、形状的变化。

### 1. 焊接温度场

由于焊接热源的作用，在焊件上产生了不均匀的温度，并且焊接方法、焊接参数以及被焊材料等条件的不同，将有不同的温度场。薄板焊接时的温度场如图 10-1 所示。图 10-1a、b 分别为薄板沿纵向截面及横向截面的温度分布曲线。图 10-1c 为薄板平面上焊接温度场的等温线。对于低碳钢来说，达到 600℃ 时材料处于塑性状态。因此，600℃ 等温线区域内就是低碳钢材料受热产生塑性变形的范围。这个区域的大小与焊件冷却后的焊接应力与变形的大小有关。从图 10-1 可以看到焊接温度场有以下特征：

1) 焊件上各点的温度不同，并且差别很大。熔池中的金属处于液体状态，温度在材料的熔点以上。靠近熔池的区域温度也比较高，对于低碳钢材料，通常认为超过 600℃ 的区域完全丧失了弹性，也就是焊缝及其附近超过 600℃ 的区域处于热塑性状态。距离焊缝越远的区域，其温度下降的越多，直至室温状态。因此，焊件的材料也是由热塑性状态、半塑性状态过渡到弹性状态。

2) 焊件上各点的加热及冷却也是不均匀的。在同一瞬间，焊件上各点的温度不同，而且各自的升温与降温的趋势也不同。当靠近焊缝区域处于降温时，距焊缝较远的区域却处于升温过程。也就是说，焊件上各点达到各自最高温度的时间不同，靠近焊缝的区域比较早，远离焊缝的区域则比较迟一些。

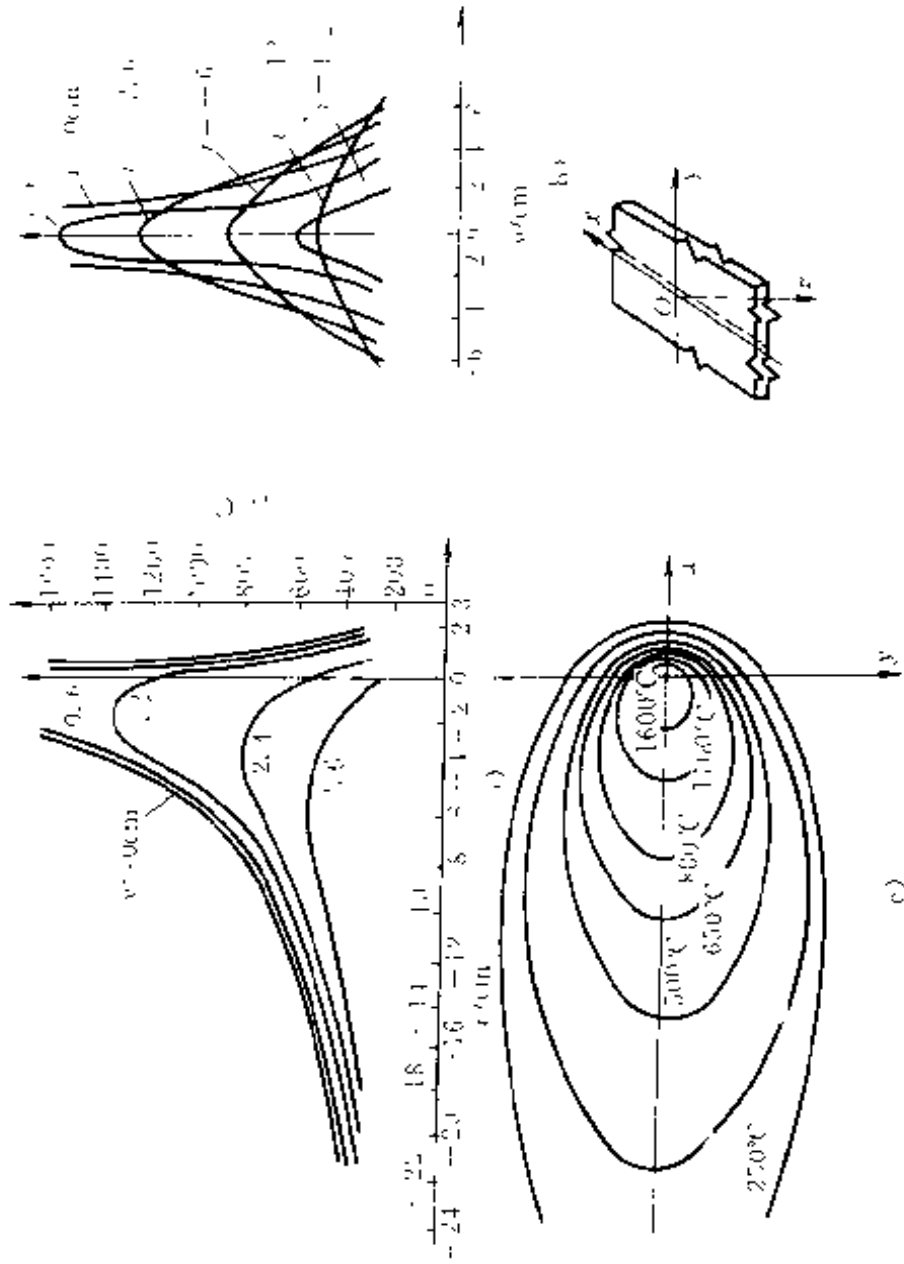


图 10-1 薄板焊接时的温度场

a) 沿纵向截面的温度分布 b) 沿横向截面的温度分布

c) 薄板平面上的等温线



3) 焊件上的焊接温度场随着焊接热源的能量、焊件的尺寸及形状、焊接参数以及被焊金属的热物理性能而变化, 因此这些因素也直接影响着焊件的焊接应力与变形。

## 2. 焊接应力与变形的形成过程

焊接应力与变形的产生原因, 就是由于焊接过程中的不均匀加热及冷却, 这种焊接温度场对于焊接构件的作用, 形成了焊件的应力状态及形状、尺寸上的变化。

图 10-2 为焊接应力与变形的产生示意图。图中为一块平板条, 在其中心焊接一条焊缝, 通过对单位长度板条的应力变形状态进行分析, 说明焊接应力与变形的形成基本过程。

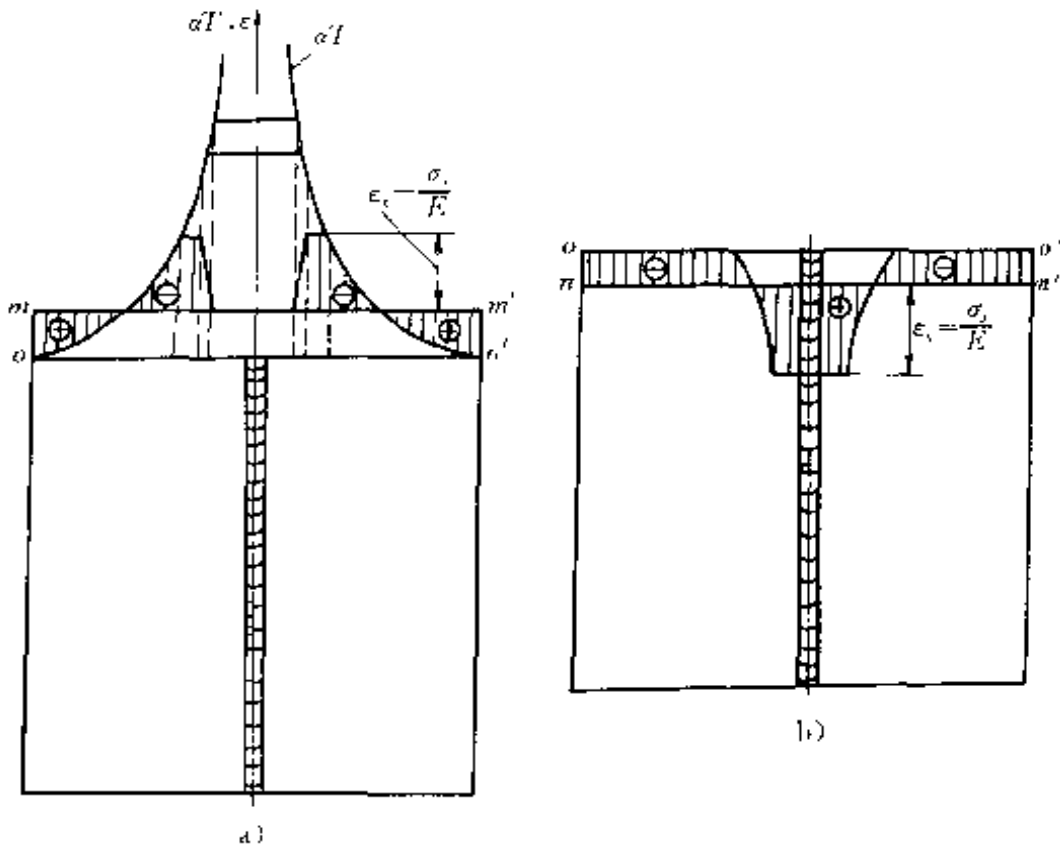


图 10-2 焊接应力与变形的产生示意图

1) 焊接加热时的情况如图 10-2a 所示。由于焊缝及其附近区域的温度很高, 被焊材料的自由热变形量很大, 而远离焊缝的区域(两侧边缘)温度较低, 产生的热变形也较小。假设图 10-2 中所示板条的各纵



向纤维之间互不联系,则单位长度板条将产生形状与热变形曲线  $\alpha T$  相同的变形。实际上板条是一个整体,焊缝及其附近区域金属材料的热膨胀必然要受到周围温度较低区域的阻止。当板宽不大时,根据平截面假设,可以认为板条的  $oo'$  截面移到  $mm'$  的位置。此时所产生的瞬时焊接热应力,在焊缝附近是压应力,在板条的两侧边缘是拉应力。 $oo'$  截面与  $mm'$  截面之间的位移,即所产生的焊接变形。图中焊缝及其临近的部位由于温度很高,当超过  $600^{\circ}\text{C}$  时,低碳钢材料丧失弹性,这个部位的金属膨胀受到限制而形成压缩的热塑性变形。

2) 焊接以后,温度降至室温的情况如图 10-2b 所示。由于焊缝及其临近的部位残留着压缩塑性变形区,根据平截面假设, $oo'$  截面在焊接加热时到达  $mm'$  截面以后,冷却过程中它又移动到  $nn'$  的位置。当板条降至室温时,平板中产生的残余应力,在焊缝及其临近的部位是拉应力,平板的两侧是压应力。 $oo'$  截面与  $nn'$  截面之间的位移,就是焊后产生的残余变形,又称为焊缝的纵向变形或纵向收缩。

与此同时,由于焊接的不均匀加热还会使焊件产生垂直于焊缝方向的应力及变形,又称为横向变形或横向收缩。对于厚板焊件还会产生板厚方向的应力,显然厚板结构中的三向应力状态对于材料塑性及焊接结构的承载能力都是不利的。

### 三、焊接应力与变形的影响因素

(1) 焊接工艺方法 采用不同的焊接方法,如气焊、焊条电弧焊、埋弧焊、气体保护焊等,所产生的焊接应力与变形情况也不相同。

(2) 焊接参数及施焊方法 焊接电流、电弧电压、焊接速度等焊接参数的不同,以及采用直通焊、跳焊或逆向分段焊等不同的施焊方法,均对焊接应力与变形有着不同的影响。

(3) 焊缝位置、尺寸及数量 单层焊或多层焊、坡口形式、焊缝及填充金属的多少以及焊缝的位置等,均对应力与变形有明显影响。

(4) 焊件材料的热物理性能 金属材料不同,则热导率、热膨胀系数、比热容、表面散热系数等热物理性能也不同,使之产生的应力与变形也不同。

(5) 焊件的形状及尺寸 不同形状的焊件就会形成不同的焊接温

度场,而且焊件的刚度及拘束度也不同,因此,产生的焊接应力与变形也不同。

(6)装配焊接顺序及焊接状态 不同的装配焊接顺序、是否采用胎卡具进行焊接,都对焊件的刚度与拘束度有着重要的影响,因此直接影响着焊接应力与变形的数值。

从以上各项的分析可以看出,凡是影响焊缝及其临近部位不均匀加热的范围和程度、影响热变形的大小及分布的因素;影响焊件刚度及其外界拘束程度,也就是阻止焊缝及其附近在焊接加热过程中所产生的热变形程度的因素,都直接影响着焊件的焊接应力与变形。一般来说,焊件在拘束程度大的条件下焊接,其焊接变形小而应力大;在拘束程度小的情况下焊接,则焊接变形大而应力小。

## 第二节 焊接应力

### 一、内应力及焊接应力

在没有外力作用的情况下,物体内部存在的应力称为内应力。内应力在物体内部自相平衡,遵守静力学的平衡条件,即物体内部各方向的内应力总和等于零,内应力对于任何一点的力矩总和等于零。常见的内应力有以下几种:

(1)热应力 又称为温度应力。它是在不均匀加热及冷却过程中所产生的应力,它与加热温度及加热的不均匀程度、焊件的刚度以及焊件材料的热物理性能等因素有关。

(2)相变应力 金属发生相变时,由于体积发生变化而引起的应力。例如奥氏体分解为珠光体或转变为马氏体时,都会发生体积膨胀,然而这种膨胀受到周围材料的约束,结果在金属内部就产生了内应力。

(3)装配应力 在装配或安装过程中产生的内应力。例如,紧固螺栓、热套结构等均有内应力产生。

(4)残余应力 当构件上承受局部载荷或经受不均匀加热时,都会在局部地区产生塑性应变。当局部外载撤去以后或热源离去,构件温度恢复到原始的均匀状态时,由于在构件内部发生了不能恢复的塑性变

形,因而产生了相应的内应力,即称为残余应力。构件中残留下来的变形,即称为残余变形。

焊接过程中焊件的热应力是随时间而变化的瞬时应力,称为焊接瞬时应力。焊后在焊件中残留下来的应力,称为焊接残余应力。

此外,在焊接结构中由于自身或外加拘束作用而引起的拘束应力;以及在焊接接头中扩散氢在显微缺陷处聚集而形成的氢致局部应力都统称为焊接应力。焊接应力的大小及分布与焊件材质、焊接方法、焊接参数、焊接材料、焊接操作方法、装配焊接顺序、焊接构件的刚度以及外加的拘束程度等项因素有关。

按照焊接应力在空间的方向可以分为单向应力、双向应力和三向应力。薄板对接时,可以认为是双向应力。大厚度焊件的焊缝、三个方向焊缝的交叉处以及存在裂纹、夹渣等缺陷处通常出现三向应力。三向应力使材料的塑性降低、容易导致脆性断裂,它是一种最危险的应力状态。

## 二、焊接残余应力的调节

在焊缝设计及焊接工艺方面采取相应的措施可以调节内应力、降低残余应力的峰值。采用这些措施可以使内应力分布更为合理,避免在大面积内产生较大的拉应力,因此有利于消除焊接裂纹等缺陷。

1) 在焊缝设计方面应当尽量减少焊缝的数量及尺寸,采用填充金属量少的坡口形式。

2) 焊缝布置应避免过分集中,焊缝之间应保持足够的距离(图 10-3、图 10-4),尽量避免三轴交叉的焊缝(图 10-5)。并且不把焊缝布置在工作应力最严重的区域。

3) 采用刚度较小的接头形式,例如用翻边式连接代替嵌入式管连接(图 10-6),使焊缝能够较自由地收缩。在残余拉应力的区域内,应当避免几何不连续性,避免应力集中。

4) 采用合理的焊接顺序及方向

① 先焊收缩量较大的焊缝,使焊缝尽量能够自由收缩。在具有对接及角接焊缝的结构中,应当先焊收缩量较大的对接焊缝。

② 先焊工作时受力较大的焊缝,使内应力合理分布。图 10-7 所

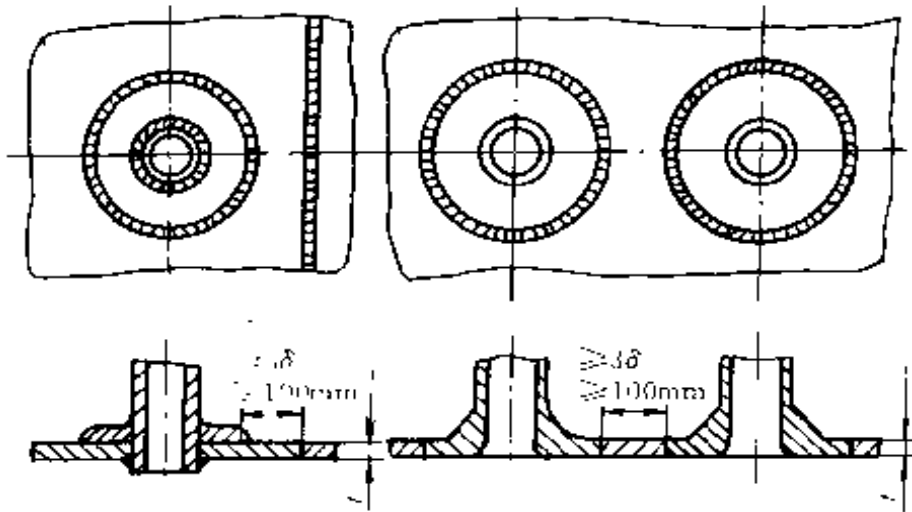


图 10-3 容器接管焊缝布置

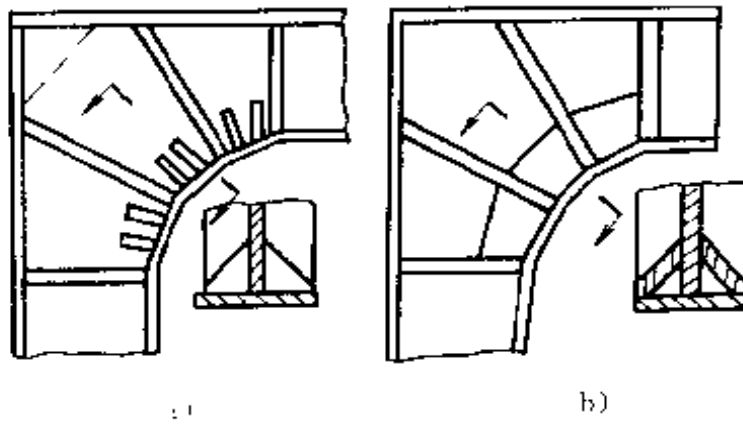


图 10-4 框架转角处的肋板设计

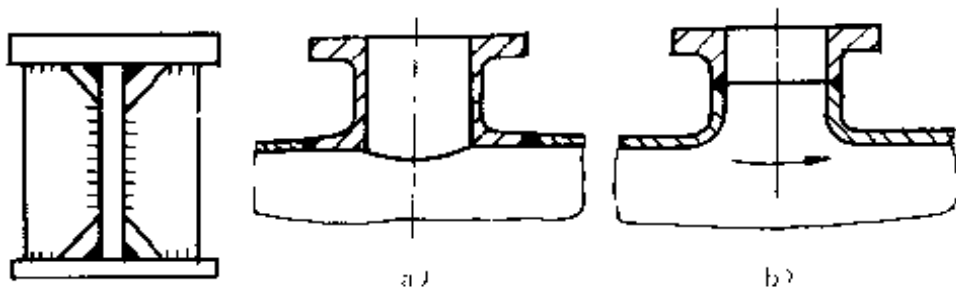


图 10-5 工字梁肋板接头

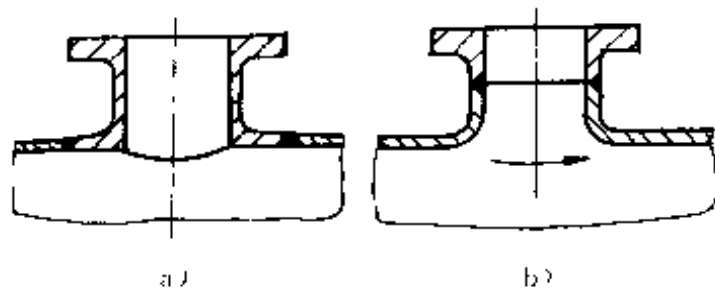


图 10-6 焊接管连接  
a) 嵌入式 b) 翻边式

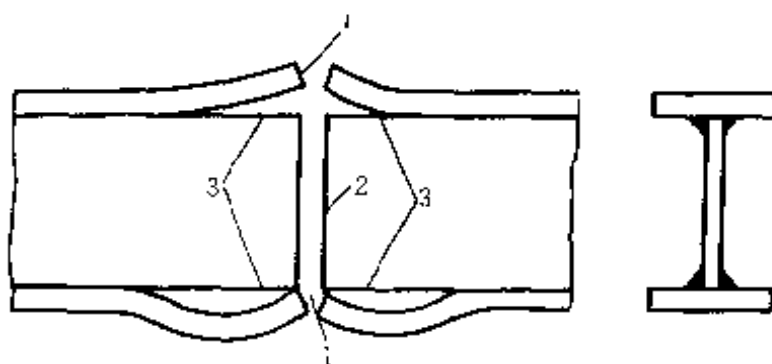


图 10-7 工字梁的拼接顺序

1、2—对接焊缝 3—角焊缝

示的工字梁,应当先焊受力最大的翼缘对接焊缝 1,然后焊接腹板对接焊缝 2,最后焊接预先留出的翼缘角焊缝 3。这样可使翼缘焊缝预先承受压应力,而腹板则为拉应力。翼缘角焊缝最后焊接,可使腹板有一定的收缩余地。这样焊成的梁,疲劳强度比先焊腹板的梁高出约 30%。

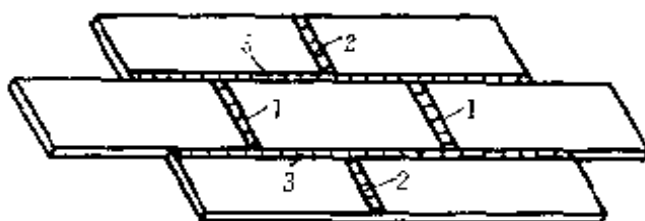


图 10-8 合理的拼板焊接顺序

③ 拼板时应先焊错开的短焊缝,后焊直通的长焊缝(图 10-8),使焊缝有较大的横向收缩余地。

④ 焊接平面上的焊缝时,应使焊缝的收缩比较自由,尤其是横向收缩更应保证自由。对接焊缝的焊接方向,应当指向自由端。

5) 降低接头的刚度:焊接封闭焊缝或刚度较大的焊缝时,可以采用反变形法来降低接头的刚度(图 10-9),以减小焊后的残余应力。

6) 锤击焊缝:焊后使用带有小圆弧面的手锤或风枪锤击焊缝,使焊缝得到延展,从而降低内应力。锤击应保持均匀、适度,避免因锤击过分而产生裂纹。

7) 在局部加热造成反变形。在结构的适当部位进行加热,使它产生与焊缝收缩方向相反的伸长变形。在冷却时,加热区的收缩与焊缝的收缩方向相同,由于焊缝的收缩比较自由,从而减小了内应力。图 10-10 为轮辐、轮缘断口焊接时采用局部加热方法降低内应力的实例。

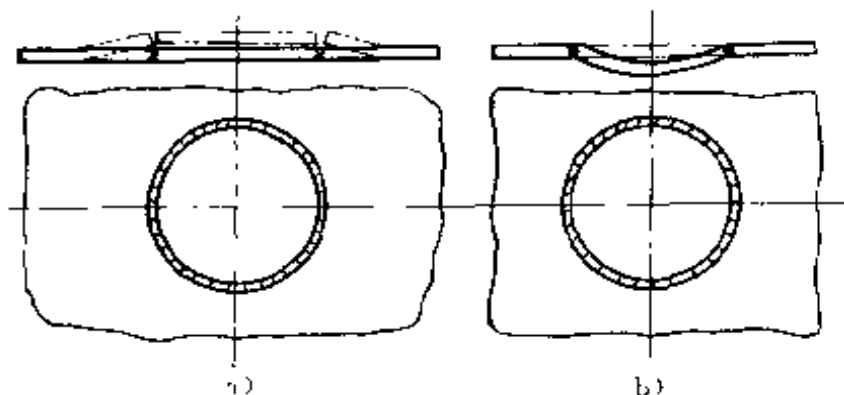


图 10-9 降低接头刚度减小内应力

a) 孔口少量翻边 b) 凹形镶块

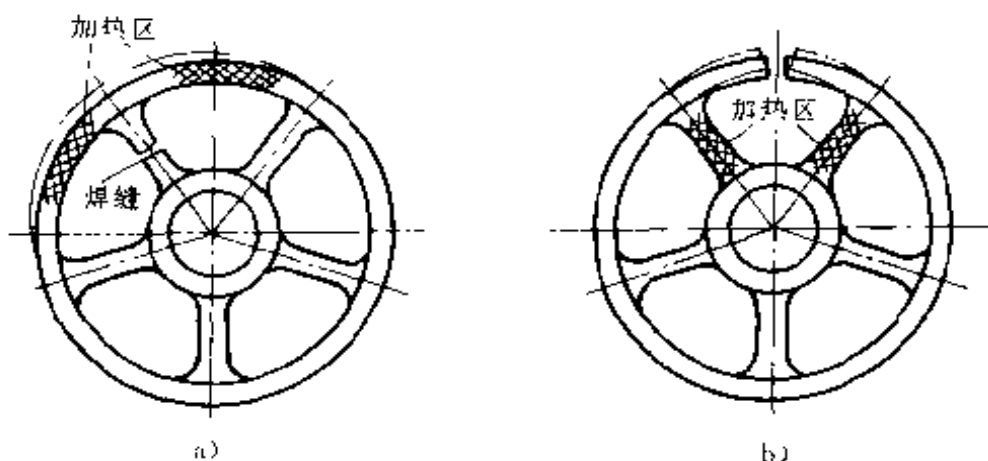


图 10-10 轮辐及轮缘的断口焊接

a) 轮辐焊接 b) 轮缘焊接

### 三、焊后消除内应力的方法

#### 1. 整体高温回火

把焊件整体加热到一定温度、保温一定时间，然后缓慢冷却。常用钢材、有色金属及其合金焊后消除应力热处理的温度见表 10-1 及表 10-2。

各国标准中可不进行焊后热处理的 $\text{最大焊件厚度}$ 见表 10-3。各国标准中关于钼钢及铬钼钢焊后热处理的温度范围的规定见表 10-4。

高温保温时间按材料的厚度确定。钢按每  $\text{mm}1\sim 2\text{min}$  计算，一般不少于  $30\text{min}$ ，不必多于  $3\text{h}$ 。为使板厚方向上的温度均匀地升高到所



表 10-1 常用钢材焊后消除应力热处理

材料类别	钢 号	焊后热处理	
		壁厚 $\delta$ /mm	温度/℃
管材	20	$>36$	600~650
	Q390 (15MnV)	$>20$	520~570
	Q345 (16Mn)		600~650
	12CrMo	$>10$	650~700
	15CrMo		670~700
	12Cr1MoV		720~750
	12Cr2MoWVB	任意壁厚	750~780
	12Cr2MoVSiTiB		
1Cr5Mo			
板材	碳素钢	$>38$	600~650
	Q345R (16MnR)	$>34$	
	Q390R (15MnVR)	$>32$	520~570

注：焊后热处理的加热速度、恒温时间及冷却速度应符合下列要求：加热速度：升温至 300℃ 后，加热速度不应超过  $220 \times \frac{25}{\delta}$  °C/h，且不大于 220 °C/h。恒温时间：碳素钢每毫米壁厚需 2~2.5min，合金钢每毫米壁厚需 3min，且不少于 30min。冷却速度：恒温后的冷却速度不应超过  $275 \times \frac{25}{\delta}$  °C/h，且不大于 275 °C/h，300℃ 以下可自然冷却。

表 10-2 有色金属及其合金消除应力热处理的温度

材料种类	铝合金	镁合金	钛合金	镍合金
回火温度/℃	250~300	250~300	550~600	1100~1200

要求的温度，当板材表面达到所要求的温度后，还需要一定的均温时间。

热处理一般在炉内进行。对于大型容器，也可采用在容器外壁覆盖绝热层，而在容器内部用火焰或电阻加热的办法来处理。

表 10-3 各国标准中可不进行焊后热处理的<sub>最大</sub>焊件厚度

钢 种	HPIS/WES	ISO	IIW	ASME
		TC11	X-WG	Sec. VIII
碳素钢	38	30, 38	50	32
	50	50		38
C-Mo	16, 20	20		19
1. 25Cr-0.5Mo	13, 16	15		19
2. 25Cr-1Mo	8, 0	0		19
5Cr-1Mo	0	0		0
3. 5Ni	50	协议	50	19

钢 种	ASME	ANSI	BS5500	BS2633
	Sec. III	B31.3		
碳素钢	32	19	35	30
	38		38	
C-Mo	0	19	20	12.5
1. 25Cr-0.5Mo	0	12.7	0	12.5
2. 25Cr-1Mo	0	12.7	0	0
5Cr-1Mo	0	0	0	0
3. 5Ni	19	19	任意壁厚	15.2

实践表明,整体高温回火消除焊接残余应力的效果最好,它可能将80%~90%以上的残余应力消除。

### 2. 局部高温回火

将焊缝及其附近应力较大的局部区域加热到高温回火温度,然后保温及缓慢冷却。常用于管道和长筒形容器的焊接接头,以及长构件的对接接头等。

局部高温回火难以完全消除残余应力,但可降低其峰值使应力的分布比较平缓。消除应力的效果取决于局部区域内温度分布的均匀程度。保证有足够的加热宽度,可以取得较好的降低应力效果。图10-11为局部热处理的加热区宽度。局部高温回火可采用气体火焰加热、工频感应加热、红外线加热以及履带式加热器等加热方式。

### 3. 机械拉伸法



表 10-4 各国标准中关于钼钢及铬钼钢焊后热处理温度范围规定的比较

标准 钢种	ANSI B31.3 (1976) 石油精制管道	ANSI B31.1 (1975) 发电用管道	BS 3351 (1971) 石油精制管道 BS2533 (1975) 发电用管道	
1/2Mo	595~720 C	600~650 C	650~680 C	
1/2Cr-1/2Mo	595~720	600~650	—	
1Cr-1/2Mo	705~745	700~750	630~670	
1. 25Cr-1/2Mo	—	—	630~670	
1. 25Cr-3/4Si-1/2Mo	705~745	700~750	—	
2. 25Cr-1Mo	705~760	700~760	680~720 <sup>①</sup> 700~750 <sup>②</sup>	
3Cr-1Mo	705~760	700~760	—	
5Cr-1/2Mo	705~760	700~760	710~760	
9Cr-1Mo	705~760	700~760	710~760	

标准 钢种	BS 5500 (1976) 非直接火压力容器	ISO TC11 (1971) 压力容器	JIS B8243 压力容器 结构标准	ASME SeCVIII —1.2
1/2Mo	650~680 C	580~620 C	≥600 C	≥593 C
1/2Cr-1/2Mo	—	620~660	≥600	≥593
1Cr-1/2Mo	630~670 <sup>③</sup> 650~700 <sup>②</sup>	620~660	≥680	≥593
1. 25Cr-1/2Mo	630~670 <sup>③</sup> 650~700 <sup>②</sup>	620~660	≥680	≥593
1. 25Cr-3/4Si-1/2Mo	—	—	—	—
2. 25Cr-1Mo	630~670 <sup>④</sup> 680~720 <sup>①</sup> 710~750 <sup>②</sup>	625~750	≥680	≥677
3Cr-1Mo	—	—	≥680	≥677
5Cr-1/2Mo	710~760	670~740	≥680	≥677
9Cr-1Mo	—	—	≥680	≥677

① 以蠕变特性为主。

② 以焊缝区软化为主。

③ 以高温性能为主。

④ 以抗拉强度为主。

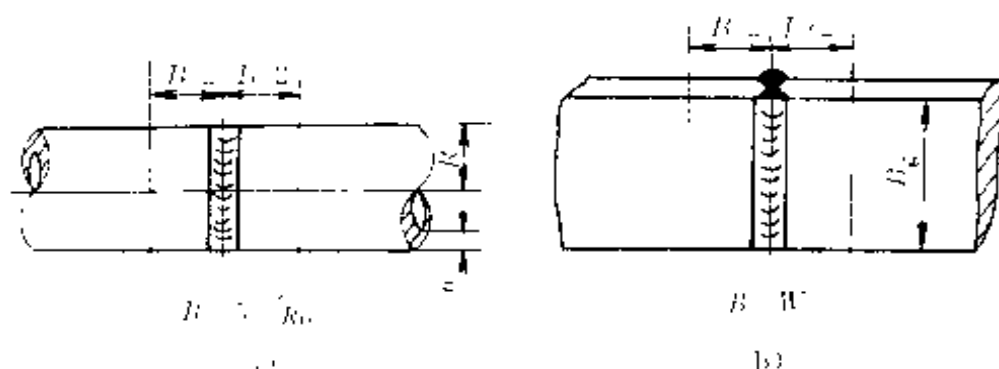


图 10-11 局部热处理的加热区宽度

a) 环焊缝 ( $B=5\sqrt{R\delta}$ )    b) 长构件对接缝 ( $B=B_g$ )

$B$ —加热区宽度     $R$ —管道容器半径     $\delta$ —壁厚     $B_g$ —构件宽度

焊后对焊接构件加载,使具有较高拉伸残余应力的区域产生拉伸塑性变形,卸载后可使焊接残余应力降低。加载应力越高,焊接过程中形成的压缩塑性变形就被抵消的越多,内应力也就消除的越彻底。

对于压力容器,一般在室温下进行过载的液压试验,则可以消除部分焊接残余应力。应当指出的是液压试验介质的温度最好能高于容器材料的脆性断裂临界温度,以免在加载时发生脆断。

#### 4. 温差拉伸法

在焊缝两侧用可移动的火焰进行加热,用与火焰同时移动的喷水进行急冷,因此造成了两侧高,而焊缝区低的温度场(图 10-12)。两侧的金属因受热膨胀对温度较低的焊缝区进行拉伸,并且产生拉伸塑性变形,抵消了部分焊接过程中产生的压缩塑性变形,从而降低了焊接残余应力。

这种方法在焊缝比较规则、厚度不大( $<40\text{mm}$ )的容器、船舶等

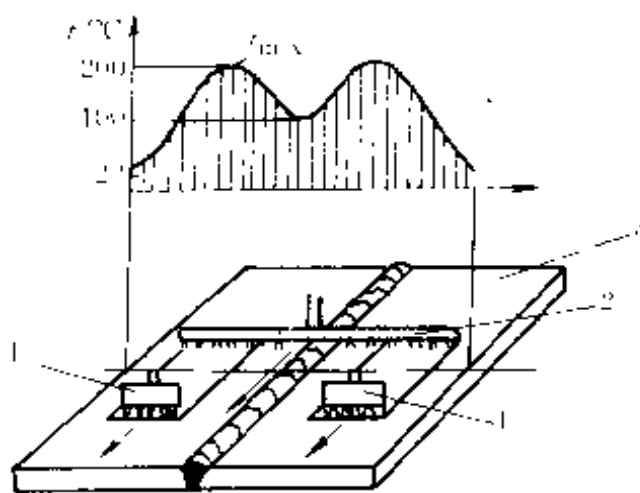


图 10-12 温差拉伸法

1—火焰加热炬    2—喷水排管    3—焊件

板壳结构上有一定的应用价值。如果工艺参数选择适当,可取得较好的消除应力效果。表 10-5 是  $\sigma_b \leq 500\text{MPa}$  低碳钢消除焊接残余应力的工艺参数。

**表 10-5  $\sigma_b \leq 500\text{MPa}$  低碳钢温差拉伸法消除应力的工艺参数**

钢板厚度/mm	焰炬宽度/mm	焰炬中心距/mm	焰炬移动速度/ (mm/min)
8	60	115	600
10	60	125	400
10	100	155	600
15	100	180	500
17	100	180	300
20	100	180	250
25	100	180	200
30	100	180	175
35	100	180	150
40	100	180	125

注:焰炬宽度为 100mm 时,每个焰炬乙炔消耗量为  $17\text{m}^3/\text{h}$ ,耗水量  $5\sim 6\text{L}/\text{min}$ ,焰炬与水管距离为 130mm。

### 5. 振动法

振动法是利用振动产生的交变应力来消除部分残余应力。这种方法的优点是设备简单且操作方便。费用仅为热处理消除应力的  $8\%\sim 10\%$ ,能源消耗尚不足热处理的  $5\%$ ,并且没有高温回火时的金属表面氧化问题。但是如何选择振动参数,既使内应力降低,而又不使结构发生疲劳破坏等问题尚待研究。

## 第三节 焊 接 变 形

### 一、焊接变形的种类

(1) 纵向收缩变形 构件焊后在焊缝方向发生的收缩,如图 10-13 中的  $\Delta L$ 。

(2) 横向收缩变形 构件经过焊接以后在垂直焊缝方向发生的收

缩，如图 10-13 中的  $\Delta B$ 。

(3) 角变形 焊接以后，构件的平面围绕焊缝发生的角位移，如图 10-14 所示。

(4) 错边变形 焊接过程中，由于两块板材的热膨胀不一致，可能引起长度方向或厚度方向上的错边，如图 10-15 所示。

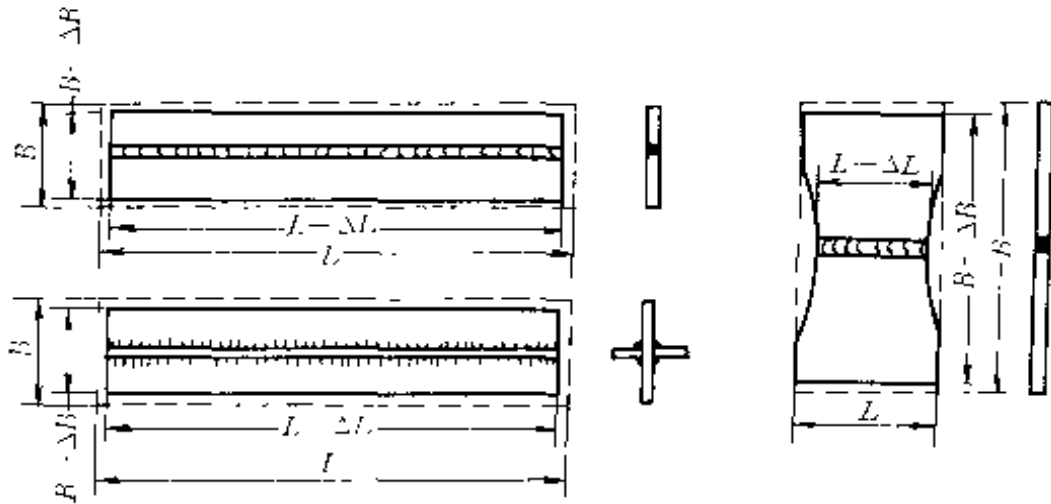


图 10-13 纵向和横向收缩变形

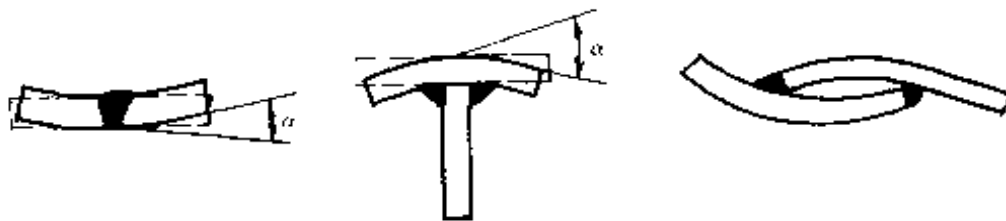


图 10-14 角变形

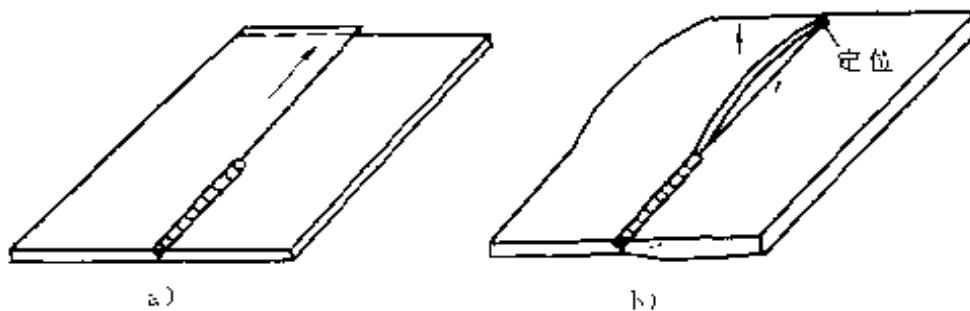


图 10-15 错边变形

a) 长度方向的错边 b) 厚度方向的错边

(5)波浪变形 薄板焊件焊后最容易发生这种失稳变形,形状呈波浪状。如图 10-16 所示。



图 10-16 波浪变形

(6) 挠曲变形 构件焊后所发生的挠曲,如图 10-17 所示。挠曲变形可以由焊缝的纵向收缩引起,如图

10-17a 所示。也可以由焊缝的横向收缩引起,如图 10-17b 所示。

(7) 螺旋形变形 焊后在结构上出现的扭曲,如图 10-18 所示。

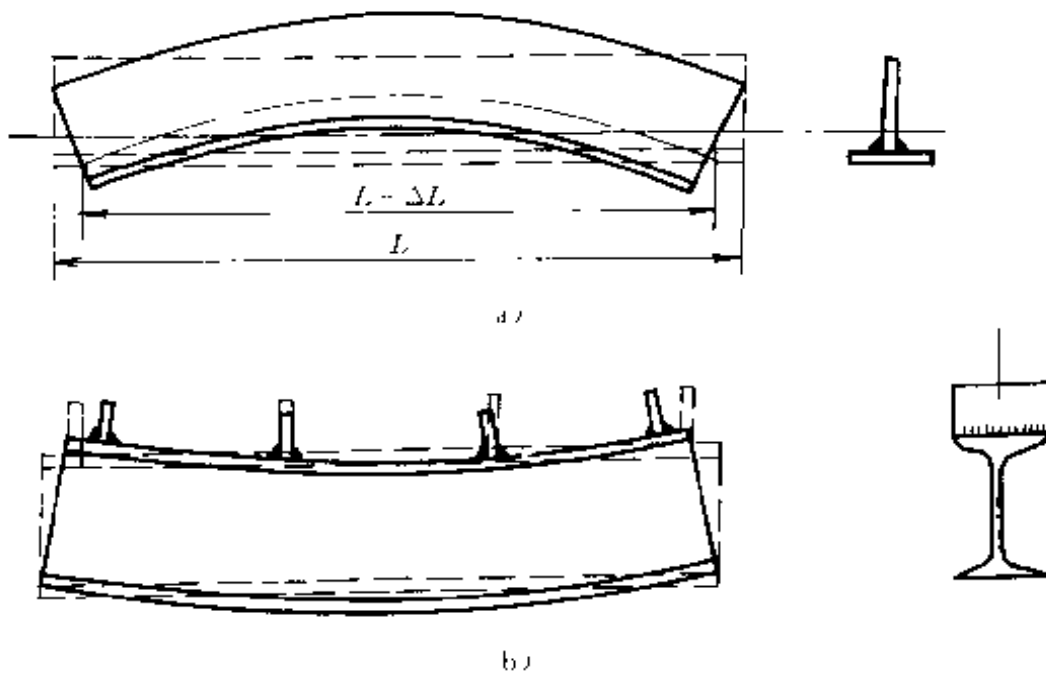


图 10-17 挠曲变形

a) 由纵向收缩引起的挠曲 b) 由横向收缩引起的挠曲

## 二、焊接变形的估算方法

(1)纵向收缩变形、横向收缩变形 均可采用有关公式进行计算,具体方法详见本书第十二章焊接计算的有关内容。

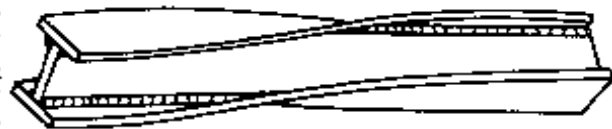


图 10-18 螺旋形变形

(2)角变形 可由图 10-19 进行估算。

## 三、焊接变形的经验数据

1) 低碳钢纵向收缩变形见表 10-6, 适用于中等厚度、以及宽厚比约为 15 的板件。

2) 焊缝横向收缩变形见表 10-7。

3) 低碳钢对接接头横向收缩变形见表 10-8。

4) 低碳钢角接接头的横向收缩变形见表 10-9。

5) 低碳钢的对接接头角变形见表 10-10。表中的角变形数值是在自由状态下对接焊后测得的。

6) T 形接头和搭接接头的角变形见表 10-11。

#### 四、焊接变形的控制与矫正

##### 1. 改进焊缝设计

(1) 尽量减少焊缝数量 在设计焊接结构时应当避免不必要的焊缝。尽量选用型钢、冲压件代替焊接件, 以减少肋板数量来减小焊接和矫正变形的工作量。

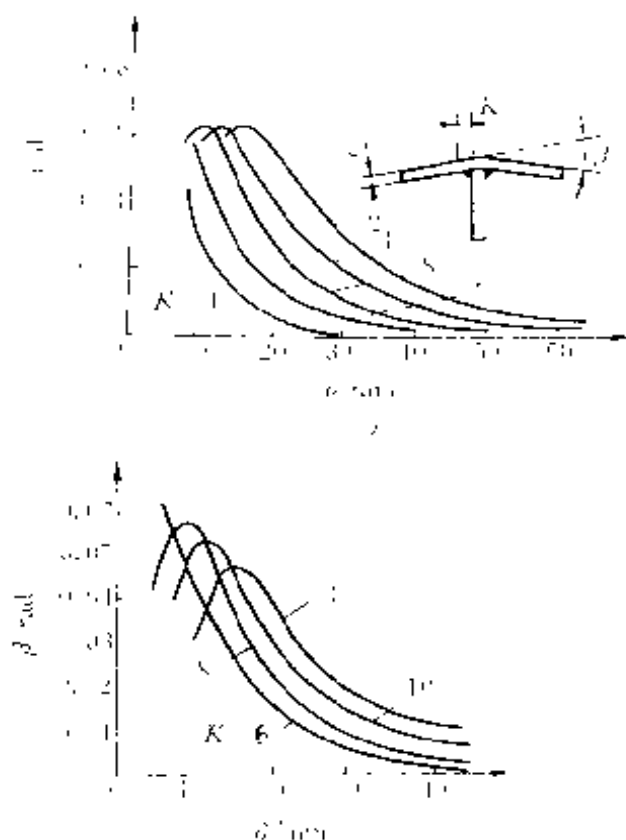


图 10-19 T 形接头角变形与板厚  $\delta$  及焊脚尺寸  $K$  的关系

a) 低碳钢 b) 铝镁合金

表 10-6 低碳钢纵向收缩变形 (mm/m)

对接焊缝	连续角焊缝	间断角焊缝
0.15~0.30	0.20~0.40	0~0.16

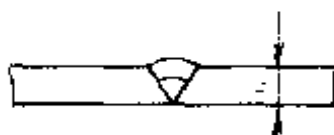
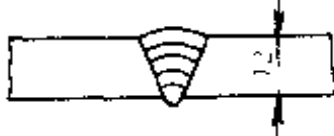
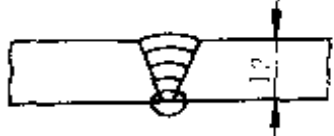
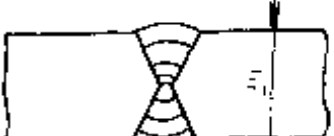
(2) 合理选择焊缝形状及尺寸 对于板厚较大的对接接头应选 X 形坡口代替 V 形坡口。减少熔敷金属总量以减少焊接变形。

在保证有足够承载能力的条件下, 应尽量选用较小的焊缝尺寸。对

表 10.7 焊缝横向收缩变形近似值

接头形式	板厚·mm						
	3~4	4~8	8~12	12~16	16~20	20~24	24~30
收缩量/mm							
V形坡口对接	0.7~ 1.3	1.3~ 1.4	1.4~ 1.8	1.8~ 2.1	2.1~ 2.6	2.6~ 3.1	
X形坡口对接		—		1.6~ 1.9	1.9~ 2.4	2.4~ 2.8	2.8~ 3.2
单面坡口十字接头	1.5~ 1.6	1.6~ 1.8	1.8~ 2.1	2.1~ 2.5	2.5~ 3.0	3.0~ 3.5	3.5~ 4.0
单面坡口角焊缝	0.8			0.7	0.6	0.4	—
无坡口单面角焊缝	0.9			0.8	0.7	0.4	
双面断续角焊缝	0.1	0.3		0.2	—	—	—

表 10.8 低碳钢对接接头横向收缩变形

接头横截面	焊接方法	横向收缩/mm
	焊条电弧焊 2 层	1.0
	焊条电弧焊 5 层	1.6
	焊条电弧焊 正面 5 层 背面清根后焊 2 层	1.8
	焊条电弧焊正 背面各焊 4 层	1.8

(续)

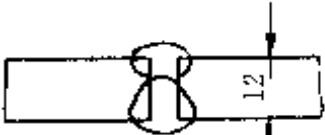

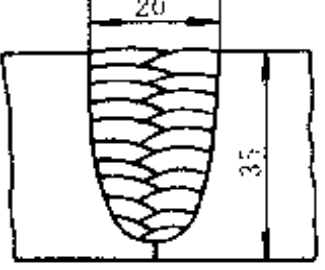

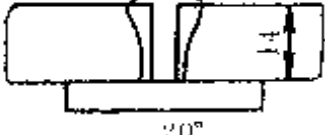
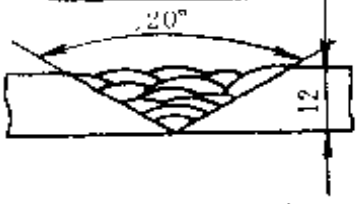
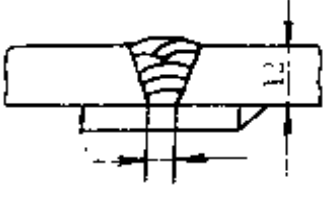

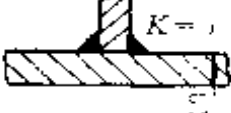





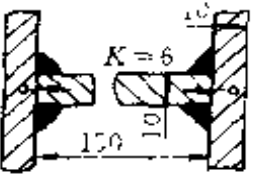

接头横截面	焊接方法	横向收缩/mm
	焊条电弧焊 (深熔焊条)	1.6
	右向气焊	2.3
	焊条电弧焊 20 道, 背面未焊	3.2
	1/3 背面焊条电弧焊, 2/3 埋弧焊 1 层	2.4
	铜垫板上埋弧焊 1 层	0.6
	焊条电弧焊	3.3
	焊条电弧焊 (加垫板单面焊)	1.5





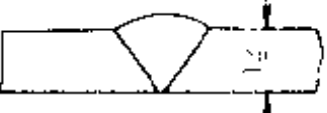





表 10-9 低碳钢角接接头的横向收缩变形

接头截面	焊接方法	收缩量/mm
	焊条弧焊	0.5
	焊条弧焊 2 层	0.3
	焊条弧焊 2 层	0
	焊条弧焊 2 层	0.5
	焊条弧焊 2 层	0.6
	焊条弧船形焊 2 层	1.0
	焊条弧立焊 2 层	1.3
	焊条弧焊 2 层	0
	焊条弧焊 3 层	0

注：a 为焊缝计算厚度。

表 10-10 低碳钢对接接头角变形

接头横截面	焊接方法	角变形' ( $^{\circ}$ )
	焊条电弧焊 2 层	1
	光焊条电弧焊	1-4
	单面焊条电弧焊 5 层	3-5
	正面焊条电弧焊 5 层 层背面清根焊 3 层	0
	右向气焊	1
	两面同时垂直气焊	0
	焊条电弧焊 8 层	7
	焊条电弧焊 22 道	13

(续)


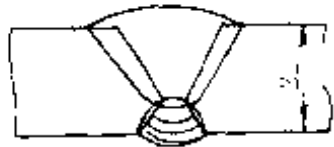
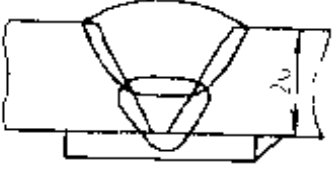
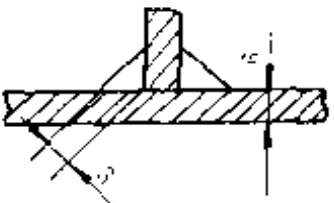
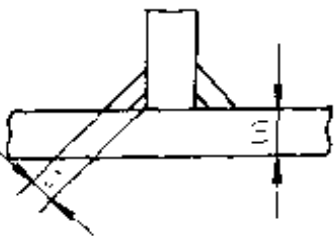
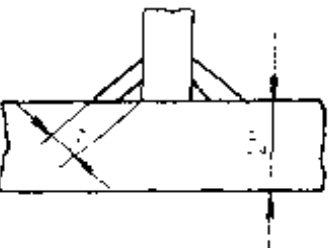
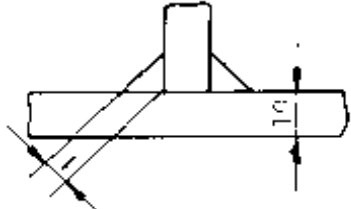
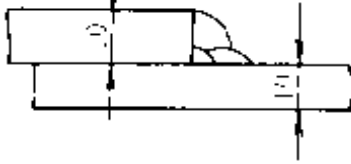
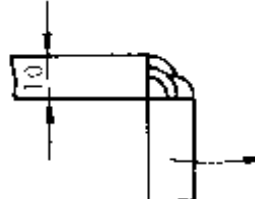
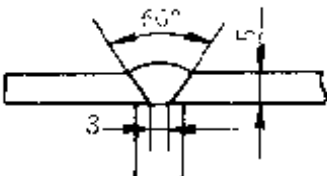
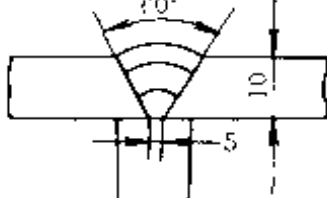
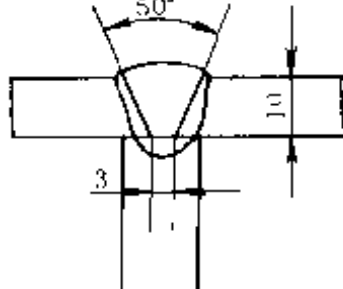
接头横截面	焊接方法	角变形 / (°)
	钢垫板上埋弧焊 1 层	0
	1/3 焊条电弧焊 2/3 埋弧焊	2
	钢垫板上埋弧焊 2 层	5

表 10-11 T 形接头和搭接接头的角变形

接头横截面	焊接方法	角变形 / (°)
	焊电弧焊	3
	水平位置焊条电弧焊 2 层	3
	水平位置焊条电弧焊 2 层	1

(续)

接头横截面	焊接方法	角变形' (°)
	焊条电弧焊交错断续焊, 每段焊 80mm, 间隔 160mm	0
	焊条电弧焊 3 层	2
	焊条电弧焊 4 层	1.5
	焊条电弧焊 1 层	0
	焊条电弧焊 3 层	1
	埋弧焊 1 层	0

于不需要进行强度计算的 T 形接头, 应选用工艺上合理的最小焊脚尺寸 (见表 10-12)。并且采用断续焊缝比连续焊缝更能减少变形。

表 10-12 低碳钢最小焊脚尺寸 (mm)

板厚	≤6	7~18	19~30	31~50	51~100
最小焊脚尺寸	3	4	6	8	10

当按设计计算确定 T 形接头角焊缝时, 应采用连续焊缝, 不应采用与之等强的断续焊缝。并应采用双面连续焊缝代替等强度的单面连续焊缝, 以减小焊脚尺寸。

对于受力较大的 T 形或十字接头, 在保证相同强度的条件下, 应采用开坡口的角焊缝。这样比一般角焊缝可大大减少焊缝金属、减少焊接变形量。

(3) 合理设计结构形式及焊缝位置 设计结构时应考虑焊接工作量最小以及部件总装时的焊接变形量最小。对于薄板结构, 应选择合适的板厚、减少骨架间距及焊脚尺寸, 以提高结构的稳定性、减少波浪变形。此外, 还应尽量避免设计曲线形结构, 因为采用平面形结构可使固定状态下的焊接装备比较简单, 易于控制焊接变形。

由于焊缝的横向收缩通常比纵向收缩显著, 因此应尽量将焊缝布置在平行于要求焊接变形量最小的方向。焊缝的位置应尽量靠近截面中心轴, 并且尽量对称于该中心轴, 以减少结构的弯曲变形。

2. 采取工艺措施

(1) 反变形 焊前将构件装配成具有与焊接变形相反方向的预先反变形。反变形的大小应以能抵消焊后形成的变形为准。这种预制的反变形可以是弹性的、塑性的或弹塑性的。工字梁盖板焊接时的反变形如图 10-

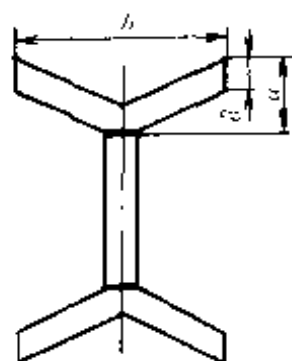


图 10-20 工字梁盖板的焊前反变形  
a—反变形量 b—板宽  
δ—板厚

20 所示。焊接工字梁时采用的上、下盖板的反变形值见表 10-13 及表 10-14。

(2) 刚性固定 将构件加以固定来限制焊接变形。对于刚度小的结构, 可以采用胎卡具或临时支承等措施, 增加该结构在焊接时的刚度, 以减小焊接变形量。结构的刚度越大, 利用刚性固定法控制弯曲变形的效果较差, 而对角变形及波浪变形较为有效。这种方法虽然可以减少焊接变形, 但同时却又增加了焊接应力。

表 10-13 工字梁盖板焊条电弧焊时反变形  $a$  值 (mm)

板厚 $\delta$	10	12	14	16	18	20	24	30	36	40
板宽 $b$										
100	2.5	1.95	1.6	1.35	1.19	1.15	0.9	0.7	0.6	0.53
200	5	3.9	3.2	2.7	2.38	2.1	1.79	1.4	1.2	1.06
400	10	7.8	6.38	5.4	4.75	4.2	3.58	2.8	2.3	2.13
1000	25	19.5	16	13.5	11.9	10.5	9	7	6	5.3

表 10-14 工字梁盖板埋弧焊时反变形  $a$  值 (mm)

板厚 $\delta$	10	12	14	16	18	20	24	30	36	40
板宽 $b$										
100	1.5	2.14	2.8	2.9	2.42	2.1	1.66	1.25	1	0.87
200	3	4.28	5.6	5.8	4.88	4.22	3.3	2.5	2.1	1.28
400	5	8.57	11.2	11.6	9.75	8.42	6.52	5	4.02	3.58
600	9	12.85	16.8	17.4	14.5	12.6	9.9	7.5	6.02	5.24
720	10.8	15.4	20.8	20.9	17.5	15.2	11.9	9	7.23	6.4

(3) 选用合理的焊接方法及焊接参数 选用能量密度较高的焊接方法, 可以减小焊接变形。焊接热输入较小时, 可以减小焊接变形, 然而从焊接生产率来考虑, 热输入又不宜过低。采用跳焊、逐步退焊等措施, 可以影响焊接温度场, 减小焊接变形量。选用不同的焊接参数, 也可以控制及调节弯曲变形。例如, 对于截面不对称的梁, 选用较小的焊接参数焊接远离截面中心轴的焊缝, 可以调节梁的弯曲变形, 以达到抵消其它焊缝所造成的弯曲变形。

(4) 选择合理的装配焊接顺序 构件在装配过程中, 截面的重心位置也在不断地变化着, 因而影响焊接变形量。所以同样的构件, 采用不

同的装配焊接顺序,就有不同的变形量。通常将构件分成部件,分别装配焊接,其顺序应做具体分析,对于重要的构件还应进行模拟试验。

分布在截面中心线两侧的焊缝,通常是先焊的一侧焊缝所产生的弯曲变形比后焊一侧所产生的变形要大。所以,确定焊接顺序的原则是:焊缝少的一侧先焊。对于截面形状、焊缝布置均为对称的构件,应当采用对称焊接施工。

(5) 预拉伸法 采用机械的预拉伸、加热的预拉伸、或者机械的与加热的两法同时使用的预拉伸,可以使薄板预先得到拉伸与伸长。这时在张紧的薄板上装配焊接骨架,可以很好地防止波浪变形。

### 3. 焊接变形的矫正

(1) 机械矫正法 采用手工锤击、压力机等机械方法使构件的材料产生新的塑性变形,这就使原来缩短的部分得到延伸,从而矫正了变形。对于薄板拼焊件的矫正,常采用多辊平板机;对于焊缝比较规则的薄壳结构,常采用窄轮辗压机的圆盘形辊轮辗压焊缝及其两侧使之延伸来消除变形。

(2) 火焰矫正法 火焰加热所产生的局部压缩塑性变形,使较长的金属材料在冷却后缩短来消除变形。使用时应控制加热的温度及位置。对于低碳钢和普通低合金钢,常采用  $600\sim 800\text{C}$  的加热温度。由于这种方法需要对构件再次加热至高温,所以对于合金钢等材料应当慎用。

#### 1) 火焰矫正的方法有以下三种

① 点状加热法 多用于薄板结构。加热点直径  $d\geq 15\text{mm}$ ,加热点中心距  $a$  为  $50\sim 100\text{mm}$ 。

② 线状加热法 多用于矫正角变形、扭曲变形及筒体直径过大或椭圆度。

③ 三角形加热法 多用于矫正弯曲变形。

#### 2) 利用火焰矫正方法的注意事项

① 矫正变形之前应认真分析变形情况,制定矫正工作方案,确定加热位置及矫正步骤。

② 认真了解被矫正结构的材料性质。焊接性好的材料,火焰矫正后材料性能变化也小。对于已经热处理的高强度钢,加热温度不应超过

其回火温度。

③ 当采用水冷配合火焰矫正时，应在钢材冷到失云红态时再浇水。

④ 矫正薄板变形若需锤击时，应采用木锤。

⑤ 加热火焰一般采用中性焰。

#### 第四节 控制焊接应力与变形的工程实例

##### 一、大型水轮机转子的工地拼焊

大型水轮机转子的外径为  $\phi 6110\text{mm}$ ，高  $3116\text{mm}$ ，材质为  $20\text{MnSi}$  钢，整体铸造，质量约  $95\text{t}$ 。它由上冠、下环及 14 个翼片组成，具体结构如图 10-21 所示。

为便于铁路运输，将转子分为两部分制造，上冠由 8 个螺栓联接，下环在安装现场采用焊条电弧焊焊接。由于下环截面上厚下薄，焊接变形情况复杂。为了保证转子焊后尺寸的精确度，采用焊前反变形，调整间隙量等措施。并且在焊接过程中对焊接变形量进行监测。测得的下环上端、下端的横向收缩变形量与焊缝层数的关系数据，绘制成图 10-22 的关系曲线。

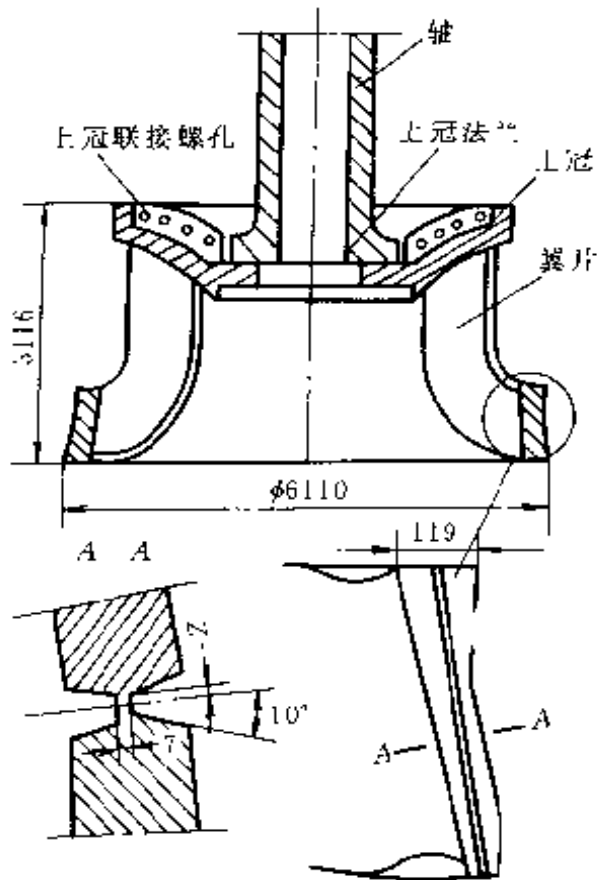


图 10-21 大型水轮机转子的拼焊

从这个工程实例中可以看出：在多层焊时，各层焊缝所引起的横向收缩变形，以第一层的变形量最大。以后则逐层减少，到第五层以后的



每一层焊后收缩都很小,此时结构总的收缩变形量逐渐趋于稳定。造成这种现象的原因,就是随着焊接层数的增加,结构的刚度也在不断增大,所以每层焊道所引起的横向收缩变形量也就随之减少。总之,厚板焊接时的横向变形,基本上由最初几层焊缝决定。换句话说,控制厚板焊接时的横向变形的技术关键在于控制最初几层焊缝的焊接。

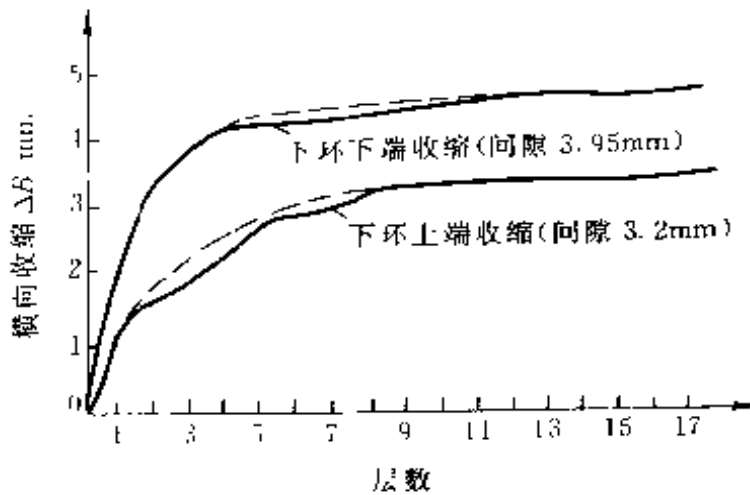


图 10-22 焊缝层数与横向收缩变形的关系曲线

## 二、大型管板盒状结构的焊接

圆形带台阶的盒状结构如图 10-23 所示。上栅板直径 13000mm,下栅板直径 10300mm,上、下栅板的材质均为 Q235 钢板。在栅板上焊接 2000 多根不锈钢管。由于工程上的使用要求,规定在不锈钢管焊接以后,必须满足以下技术条件:

- 1) 上栅板、下栅板的径向收缩不大于 8mm。
- 2) 上栅板、下栅板可转变形量不大于 3.5mm。

对于焊接了许多管子的大型结构,要保证达到上述焊接变形量的要求,在技术上是具有一定难度的。在进行了深入的技术分析及大量的模拟试验,制定出合理的装配焊接顺序,最终获得了满足技术要求的焊接构件。

### 1. 焊接条件

焊接方法: 熔化极自动氩弧焊

焊接设备: NZA-300 型专用焊机

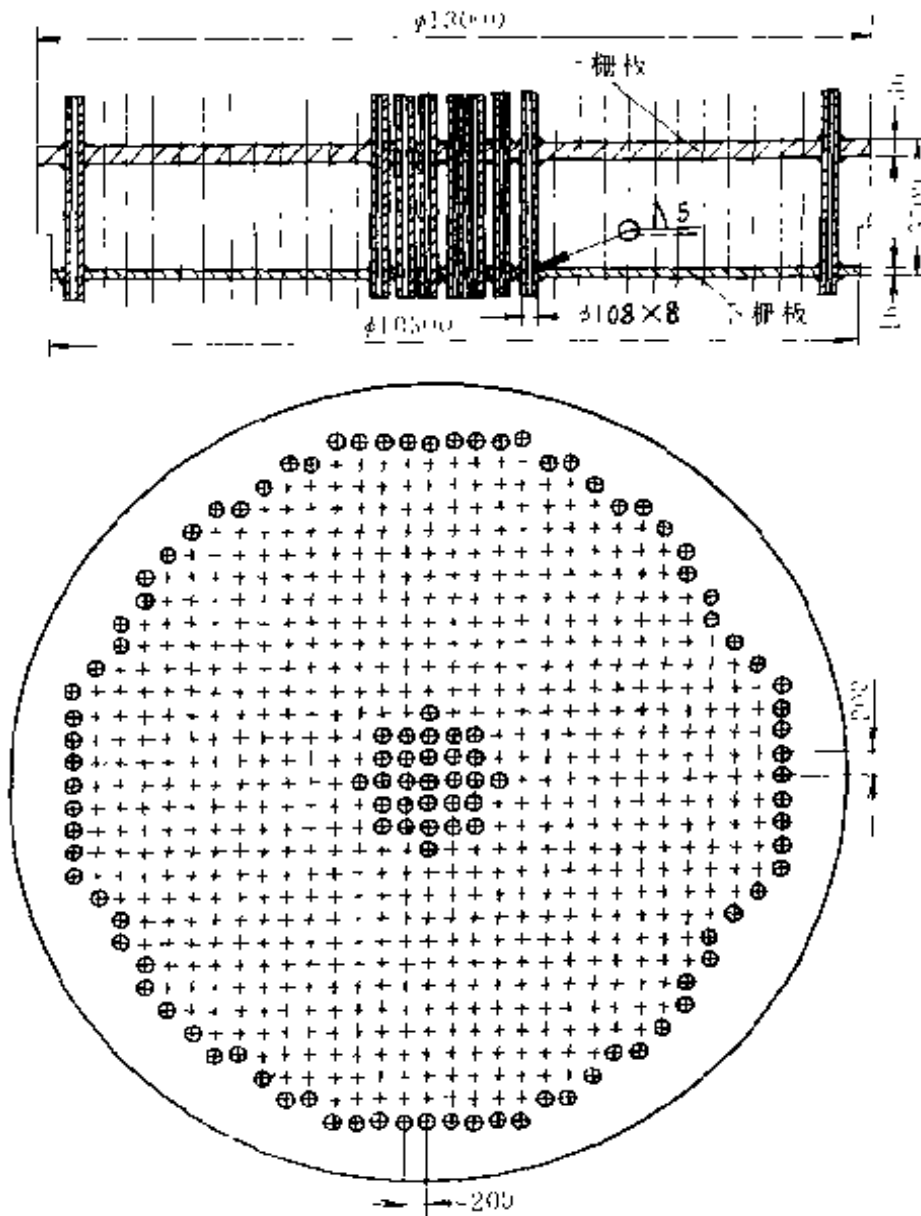


图 10-23 大型管板结构形状

焊接电流：240~300A

电弧电压：19~21V

焊接速度：24~26m/h

送丝速度：290~350m/h

氩气流量：20~25L/min

焊丝伸出长度：18~20mm

2. 合理的装配焊接顺序

- 1) 在上、下栅板之间相对应的位置上同时焊接。
- 2) 先焊接构件内的中心管。
- 3) 装配点焊通过中心管的十字垂线上的两排管子。
- 4) 为增加下栅板的刚度, 应将该板边缘均布的 32 根管子先行焊接完毕。
- 5) 在下栅板下面焊接 3 个径向滑槽, 使下栅板在焊接过程中, 只能径向收缩、不能周向回转, 以防止其回转变形过大。

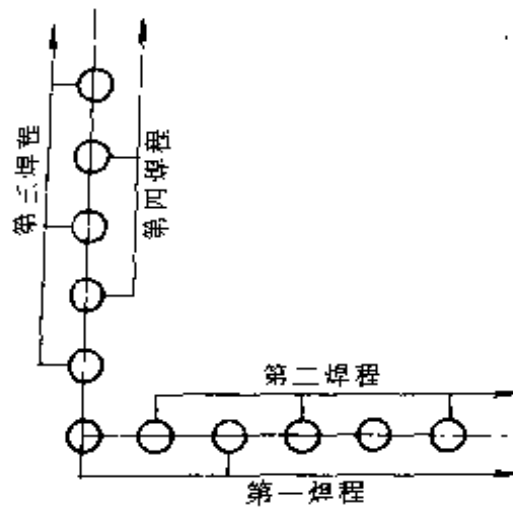


图 10-24 焊接位置顺序

6) 使用 4 台焊机, 同时跳焊通过中心管的十字垂线上的管子, 其焊接方式如图 10-24 所示。

7) 以构件的十字中心线为准, 将构件分为 4 个象限, 如图 10-25 所示。4 个象限中的管接头分别、同时按图 10-24 的方式进行逐个焊接。

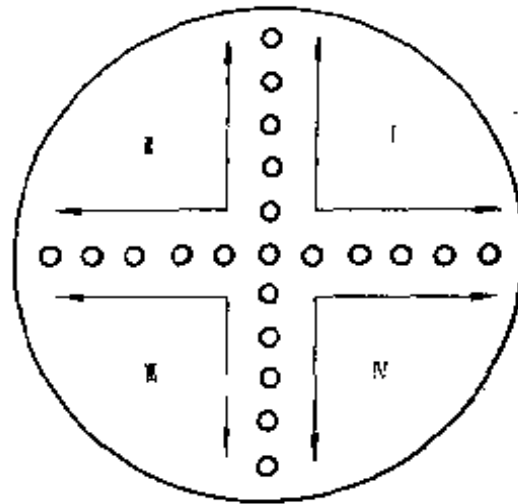


图 10-25 焊接方式

### 3. 焊接变形值

按照上述装配焊接顺序制造的大型管板盒状结构, 其焊接变形值见表 10-15, 从表 10-15 中可以看出, 该结构的焊接变形量符合技术要求的规定。

表 10-15 管板结构的焊接变形值 (mm)

部件	径向收缩		回转变形		挠曲变形	
	最大值	平均值	最大值	平均值	最大值	平均值
上栅板	1.12	0.62	0.6(逆时针)	0.19(逆时针)	1.0(上挠)	1.0(上翘)
下栅板	4.06	2.70	4.0(顺时针)	1.60(顺时针)	15.0(上挠)	13.8(上翘)

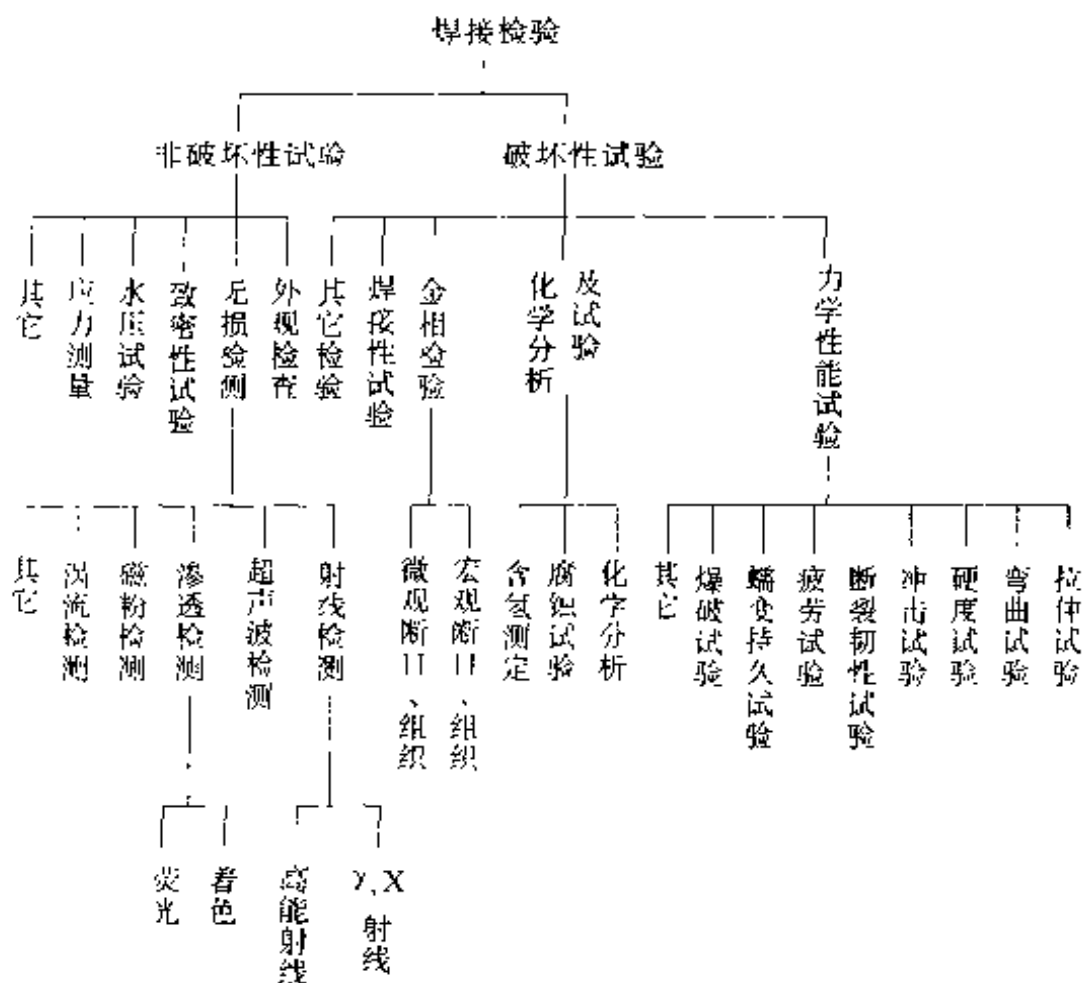
# 第十一章 焊接检验

## 第一节 概 述

### 一、焊接接头质量

焊接接头质量，是指焊接接头在复杂的工作环境中能满足某种使用性能要求的能力。从某种意义上讲，焊接接头质量决定着产品质量，

表 11-1 常用的焊接检验方法



所以，在不同的使用条件和使用环境中，对焊接接头质量有不同的要求。如：用低碳钢、低合金钢制造的焊接结构，要求焊缝与母材等强度，所以，力学性能就代表了焊接接头质量；用耐热钢、高温合金制造的焊接结构，要在高温条件下使用，焊接接头的持久强度就是焊接接头质量；用不锈钢制造的容器贮存腐蚀介质时，焊接接头的抗腐蚀性能就是焊接接头质量。所以，焊接接头质量高低将直接影响着焊接结构在运行中的安全。

## 二、焊接检验方法简介

焊接结构在制造过程中，要尽量采用较先进、较完善的焊接检验手段，不断地发现各种各样的焊接缺陷，进行及时的、卓有成效的焊接缺陷修复工作，这是保证焊接产品质量的重要手段。焊接接头检验可分为非破坏性检验和破坏性检验。常用的焊接检验方法见表 11-1。

## 第二节 焊 接 缺 陷

### 一、焊接缺陷的分类

金属熔化焊焊缝缺陷共分为六类：

第 1 类 裂纹；

第 2 类 孔穴；

第 3 类 固体夹杂；

第 4 类 未熔合和未焊透；

第 5 类 形状缺陷；

第 6 类 上述以外的其它缺陷。

金属熔化焊焊缝缺陷分类及标记见表 11-2。缺陷用数字序号标记，每一缺陷大类用一个三位阿拉伯数字标记，每一缺陷小类用一个四位阿拉伯数字标记，同时采用国际焊接学会（IIW）“参考射线底片汇编”中目前通用的缺陷字母代号来对缺陷进行简化标记。

### 二、焊接缺陷的产生原因、危害及防止方法

焊接结构在生产制造过程中，焊缝中会出现各种各样的焊接缺陷，常见焊接缺陷的产生原因、危害及防止方法见表 11-3。

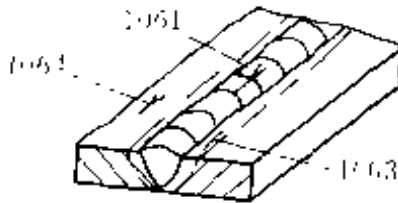
表 11-2 金属熔化焊焊缝缺陷分类及标记

数字 序号	IIW 射 线底片 缺陷字 母代号	名称	说 明	简 图
第 1 类 裂纹				
100	E	裂纹	在焊接应力及其它致脆因素共同作用下,焊接接头中局部地区的金属原子结合力遭到破坏形成的新界面而产生的缝隙	
1001		微观 裂纹	在显微镜下才能观察到的裂纹	
101 1011 1012 1013 1014	Ea	纵向 裂纹	基本上与焊缝轴线平行的裂纹,可能存在于: ——焊缝金属中 ——熔合线上 ——热影响区中 ——母材金属中	
102 1021 1023 1024	Eb	横向 裂纹	基本上与焊缝轴线垂直的裂纹,可能位于: ——焊缝金属中 ——热影响区中 ——母材金属中	

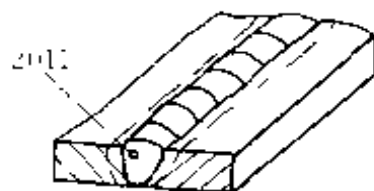
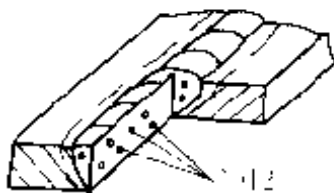
(续)

数字 序号	IIW 射 线底片 缺陷字 母代号	名称	说明	简 图
103 1031 1033 1034	E	放射 状裂 纹	<p>具有某一公共 点的放射状裂纹, 可能位于:</p> <p>——焊缝金属中 ——热影响区中 ——母材金属中</p> <p>注:这种类型的 小裂纹也可以叫 做星形裂纹</p>	
104 1045 1046 1047	Ec	弧坑 裂纹	<p>在焊缝收弧弧 坑处的裂纹,可能 是:</p> <p>——纵向的 ——横向的 ——星形的</p>	
105 1051 1053 1054	E	间断 裂纹 群	<p>一组间断的裂 纹,可能位于:</p> <p>——焊缝金属中 ——热影响区中 ——母材金属中</p>	

(续)


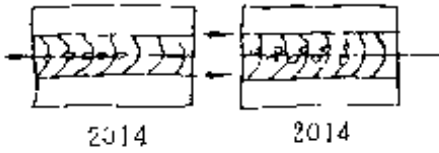
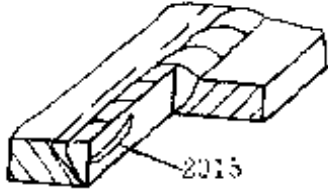
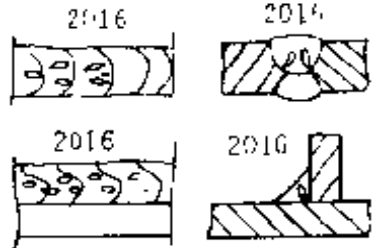
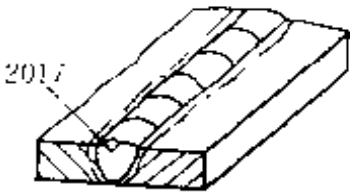
数字 序号	IIW 射 线底片 缺陷字 母代号	名称	说 明	简 图
106	E	枝状 裂纹	由某一公共裂 纹派生的一组裂 纹,它与间断裂纹 群(105)和放射状 裂纹(103)不同, 可能位于: ——焊缝金属中 ——热影响区中 ——母材金属中	

## 第2类 孔穴

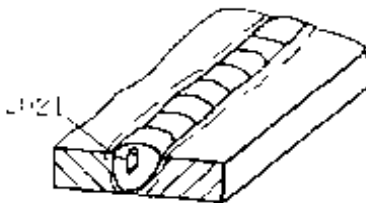
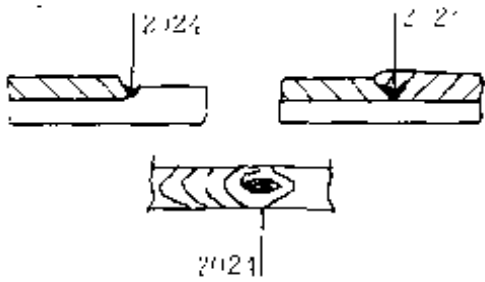
200		孔穴		
201	A	气孔	熔池中的气泡 在凝固时未能逸 出而残留下来所 形成的空穴	
2011	Aa	球形 气孔	近似球形的孔 穴	
2012		均布 气孔	大量气孔比较 均匀地分布在整 个焊缝金属中,不 要与链状气孔 (2014)相混淆	



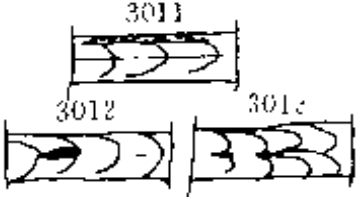
(续)

数字 序号	IIW 射 线底片 缺陷字 母代号	名称	说明	简 图
2013		局部 密集 气孔	气孔群	
2014		链状 气孔	与焊缝轴线平 行的成串气孔	
2015	Ab	条形 气孔	长度方向与焊 缝轴线近似平行 的非球形的气孔	
2016	Ab	虫形 气孔	由于气孔在焊 缝金属中上浮而 引起的管状孔穴, 其位置和形状是 由凝固的形式和 气孔的来源决定 的,通常,它们成 群地出现并且成 人字形分布	
2017		表面 气孔	暴露在焊缝表 面的气孔	

(续)

数字 序号	BW射 线底片 缺陷字 母代号	名称	说 明	简 图
202	K	缩孔	熔化金属在凝固过程中收缩而产生的,残留在熔核中的孔穴	
2021		结晶 缩孔	冷却过程中在焊缝中心形成的长形收缩孔穴,可能有残留气体,这种缺陷通常在垂直焊缝表面方向上出现	
2022		微缩 孔	在显微镜下观察到的缩孔	
2023		枝晶 间微 缩孔	在显微镜下观察到的枝晶间微缩孔	
2024	K	弧坑 缩孔	指焊道末端的凹陷,且在后续焊道焊接之前或在后续焊道焊接过程中未被消除	
第3类 固体夹杂				
300		固体 夹杂	在焊缝金属中残留的固体夹杂物	

(续)

数字 序号	IIW 射 线底片 缺陷字 母代号	名称	说 明	简 图
301  3011 3012 3013	Ba	夹渣	<p>残留在焊缝中的焊渣, 根据其形成的情况, 可以分为:</p> <p>——线状的</p> <p>——孤立的</p> <p>——其它形式的</p>	
302  3021 3022 3023	G	焊剂 或熔 剂夹 渣	<p>残留在焊缝金属中的焊剂或熔剂, 根据其形成的情况, 可以分为:</p> <p>——线状的</p> <p>——孤立的</p> <p>——其它形式的</p>	见 3011~3013
303	J	氧化 物夹 杂	凝固过程中在焊缝金属中残留的金属氧化物	
3031		皱褶	在某些情况下, 特别是铝合金焊接时, 由于对焊接熔池保护不良和熔池中紊流而产生的大量氧化膜	

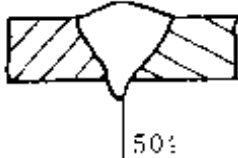
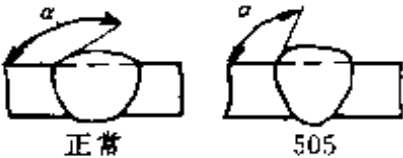
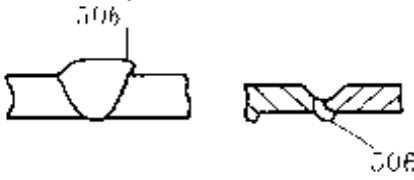

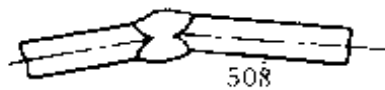
(续)

IIW 射线底片缺陷字母代号	名称	说明	简图
304 3041 3042 3043	H 金属夹杂	残留在焊缝金属中的来自外部的金属颗粒。这种金属颗粒可能是： ——钨 ——铜 ——其它金属	
第 4 类 未熔合和未焊透			
400	未熔合和未焊透		
401 4011 4012 4013	未熔合	在焊缝金属和母材之间或焊道金属和焊道金属之间未完全熔化结合的部分，它可分为下述几种形式： ——侧壁未熔合 ——层间未熔合 ——焊缝根部未熔合	
402	D 未焊透	焊接时接头的根部未完全熔透的现象	

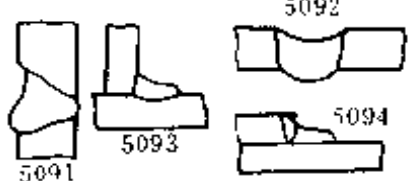
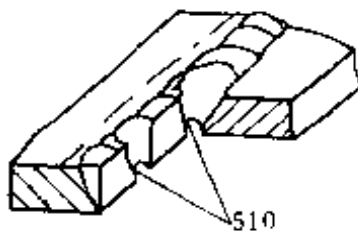
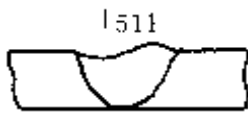

(续)

数字 序号	IIW 射线 底片 缺陷字 母代号	名称	说明	简图
<b>第 5 类 形状缺陷</b>				
500		形状 缺陷	焊缝的表面形状与原设计几何形状有偏差	
5011 5012	F F	连续 咬边 间断 咬边	因焊接造成的焊趾(或焊根)处的沟槽,咬边可能是连续的(5011)或间断的(5012)	<p>The diagrams show two types of咬边 (undercut) on weld toes. On the left, 5011 shows continuous咬边 as a series of semi-circular grooves along the weld toe. On the right, 5012 shows intermittent咬边 as isolated semi-circular grooves. Each type is shown in both a longitudinal view and a cross-sectional view.</p>
5013		缩沟	由于焊缝金属的收缩,在根部焊道每一侧产生的浅的沟槽(也可见515)	<p>The diagram shows a cross-section of a weld with a shallow groove (shrinkage groove) formed on both sides of the root. The label 5013 points to this groove.</p>
502		焊缝 超高	对接焊缝表面上焊缝金属过高	<p>The diagram compares a normal weld toe (labeled '正常') with a weld toe that has excessive weld metal (labeled 502), showing a much larger, rounded protrusion.</p>
503		凸度 过大	角焊缝表面的焊缝金属过高	<p>The diagram shows an angle weld with a large, rounded protrusion of weld metal on its surface, labeled 503.</p>

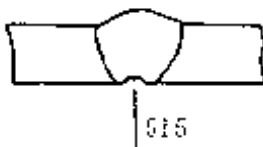
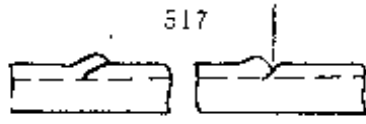
(续)

数字 序号	IIW 射 线底片 缺陷字 母代号	名称	说 明	简 图
504		下塌	穿过单层焊缝根部或从多层焊接接头穿过前道熔敷金属塌落的过量焊缝金属	
5041		局部下塌	局部塌落	
505		焊缝型面不良	母材金属表面与靠近焊趾处焊缝表面的切面之间的角度 $\alpha$ 过小	
506		焊瘤	焊接过程中, 熔化金属流淌到焊缝之外未熔化的母材上所形成的金属瘤	
507		错边	由于两个焊件没有对正而造成板的中心线平行偏差	
508		角度偏差	由于两个焊件没有对正而使它们的表面不平行 (或不成预定的角度)	

(续)

数字 序号	IIW 射 线底片 缺陷字 母代号	名称	说明	简 图
509		下垂	由于重力作用造成的焊缝金属塌落	
5091			—— 横焊缝垂直下垂	
5092			—— 平焊缝或仰焊缝下垂	
5093			—— 角焊缝下垂	
5094			—— 边缘下垂	
510		烧穿	焊接过程中, 熔化金属自坡口背面流出, 形成穿孔的缺陷	
511		未焊满	由于填充金属不足, 在焊缝表面形成的连续或断续的沟槽	
512		焊脚不对称		
513		焊缝宽度不齐	焊缝宽度改变过大	

(续)

数字 序号	IIW 射 线底片 缺陷字 母代号	名称	说 明	简 图
514		表面 不规则	表面过分粗糙	
515		根部 收缩	由于对接焊缝 根部收缩造成的 浅的沟槽(也可见 5013)	
516		根部 气孔	在凝固瞬间,由 于焊缝析出气体 而在焊缝根部形 成的多孔状组织	
517		焊缝 接头 不良	焊缝衔接处的 局部表面不规则	
第 6 类 其它缺陷				
600		其它 缺陷	不能包括在 1~ 5 类缺陷的其它缺 陷	
601		电弧 擦伤	在焊缝坡口外 部引弧或打弧时 产生于母材金属 表面上的局部损 伤	



(续)

数字 序号	IIW 射 线底片 缺陷字 母代号	名称	说 明	简 图
602		飞溅	熔焊过程中,熔化的金属颗粒和熔渣向周围飞散的现象。这种飞散出的金属颗粒和熔渣习惯上也叫飞溅	
6021		钨飞溅	从钨电极过渡到母材金属表面或凝固焊缝金属表面上的钨颗粒	
603		表面撕裂	不按操作规程拆除临时焊接的附件时产生于母材金属表面的损伤	
604		磨痕	不按操作规程打磨引起的局部表面损伤	
605		凿痕	不按操作规程使用扁铲或其它工具铲凿金属而产生的局部损伤	
606		打磨过量	由于打磨引起的工件或焊缝的不允许的减薄	

(续)

数字 序号	IIW 射线 底片 缺陷字 母代号	名称	说明	简图
607		定位 焊缺 陷		
608		层间 错位	不按规定程序 熔敷的焊道	

表 11-3 常见焊接缺陷的产生原因、危害及防止方法

缺陷 名称	产生原因	危害	防止方法
咬 边	1. 焊接电流过大, 电弧过长, 焊条角度不正确 2. 横焊时, 电弧在上坡口停留时间过长 3. 用直流弧焊机施焊时, 焊接电弧发生偏弧 4. 机械化焊时, 焊接速度过快	焊缝咬边处容易产生应力集中, 同时, 焊缝的咬边缺陷也削弱了母材金属的工作截面	1. 执行焊接工艺规程 2. 提高焊工操作技术水平 3. 选择合格的焊接设备施焊
气 孔	1. 焊前坡口两侧油、污、锈、垢未清理干净 2. 焊接电流过大或过小 3. 打底焊缝采用断弧焊手法焊接, 并且运用不熟练 4. 焊条药皮焊前未经烘干或烘干温度、烘干时间不正确	气孔缺陷减少了焊缝工作截面, 气孔还可能与其它焊接缺陷形成贯穿性, 破坏了焊缝的致密性。连续气孔存在于焊缝中, 将会降低焊缝承载能力, 使焊接结构发生破坏	1. 焊前仔细清除坡口处的油、污、锈、垢 2. 选择合格的焊接设备施焊 3. 提高焊工操作水平 4. 正确烘干焊条: 碱性焊条烘干温度为 350~450℃, 保温 1h

(续)

缺陷名称	产生原因	危害	防止方法
气孔	5. 焊芯生锈 6. 直流电流焊接时, 电源极性运用不当		酸性焊条烘干温度为 150~250℃, 保温 1~2h 5. 野外作业, 注意防止风力直吹电弧
夹渣	1. 多层焊时, 前道焊渣没清理干净就焊下道焊缝 2. 焊条药皮受潮未烘干, 或变质或在熔化时成块状脱落 3. 熔池凝固过快, 熔渣在熔池凝固前来不及浮出熔池 4. 焊接电流小而焊接速度过快 5. 焊接过程中, 运条手法不利于熔渣脱出熔池	焊缝夹渣的几何形状不规则, 存在着棱角或尖角, 容易在承受载荷时产生应力集中。夹渣的危害比气孔要严重, 因为夹渣多是裂纹的起源。夹渣缺陷还将降低焊缝金属的力学性能	1. 仔细清理前道焊缝表面焊渣, 合格后再焊下一道焊缝 2. 焊前对焊条要进行合理烘干 3. 认真执行焊接工艺规程 4. 提高焊工操作水平
未焊透	1. 焊接电流太小 2. 焊接速度太快 3. 坡口钝边大或根部间隙小 4. 焊件坡口角度小或错边量大	焊缝未焊透减小了焊缝的有效工作截面, 对焊缝的力学性能有不利的影响, 未焊透根部尖角处容易产生应力集中并引起裂纹, 导致焊接结构被破坏	1. 正确选择焊接参数 2. 严格执行焊接工艺规程 3. 提高焊工操作技术水平

(续)

缺陷名称	产生原因	危害	防止方法
未熔合	1. 焊条药皮偏心, 导致焊接电弧偏弧, 使母材金属不能充分熔化 2. 焊条与焊接方向夹角不当, 使焊接电弧偏弧, 造成一侧金属产生未熔合 3. 横焊时, 上坡口金属熔化下坠, 影响下坡口金属加热, 造成冷接 4. 坡口不合格 5. 焊接速度快而焊接电流小, 热量不足, 形成冷接 6. 坡口或焊道上有焊渣或氧化皮, 使部分热量损失在熔化熔渣或氧化皮上, 余下热量不足以熔化焊道金属或坡口	未熔合缺陷易造成应力集中, 还将降低焊缝金属的力学性能。未熔合缺陷可视为片状缺陷, 间隙很小, 类似裂纹, 容易造成焊接结构破坏, 是焊缝中比较危险的缺陷	1. 选择合格的焊条施焊 2. 提高焊工操作技术水平 3. 按工艺规程规定加工坡口 4. 合理选择焊接参数 5. 焊前仔细清除焊件坡口处的锈垢
下塌	1. 焊接电流过大而焊接速度偏小 2. 焊接坡口根部间隙过大而坡口钝边偏小 3. 焊工操作技术水平低 4. 焊接设备不能输出所需要的焊接电流	焊缝金属组织易过热, 对有淬火倾向的钢材易产生淬火裂纹。承受动载荷时易产生应力集中	1. 合理选择焊接参数 2. 提高焊工操作技术水平 3. 合理选用焊接设备

(续)

缺陷名称	产生原因	危害	防止方法
焊瘤	1. 钝边过小而根部间隙过大 2. 焊接电流大而焊接速度过快 3. 焊工操作技术水平低	焊瘤改变了焊缝横截面积，内部还常有未焊透缺陷存在，对承受动载荷不利 管子内部有焊瘤存在，将减少管子内部的有效流通面积	1. 合理选择焊接参数 2. 提高焊工操作技术水平 3. 合理选用焊接设备
热裂纹	1. 低熔点化合物不均匀地分布在焊缝中心和最后凝固部位，形成液态薄膜 2. 在结晶刚要结束时，凝固金属和液态金属共存，由于液态金属量很少，形成的液态薄膜在拉应力作用下，使液膜破坏形成裂纹 3. 熔合线附近热影响区的低熔点硫化物熔化，形成液相薄膜，在焊接拉应力作用下形成微裂纹	焊缝金属在承受交变载荷或冲击载荷时，裂纹端部尖锐形状易产生应力集中，使裂纹延展、扩大，直至焊接结构发生破坏 焊缝金属承受拉伸载荷时，裂纹缺陷会降低焊缝金属的承载能力 热裂纹是在高温下形成的，与大气相通的开口部位发生氧化，裂纹断口表面有氧化色彩	1. 限制母材及焊接材料中的有害杂质含量 2. 向熔池中加入细化晶粒元素，改善焊缝凝固结晶组织 3. 适当改进焊缝形状系数 4. 提高焊条或焊剂的碱度 5. 严格执行焊接工艺规程
冷裂纹	1. 含氢量的影响。焊缝金属在高温时溶氢量多，低温时溶氢量少，残存在固态金属中形成氢的分子气体会形成很大内压力，直致形成裂纹 2. 焊接接头存在内应力	冷裂纹的产生有时间性，普通低合金结构钢在常温下，焊缝中延迟裂纹在24h内产生。高铬铁素体钢，裂纹延迟产生可达10h。由于冷裂纹的延迟产生，对焊接结构的危害也最大，	1. 改进焊接结构设计，改善焊缝拘束条件 2. 选用低氢型焊接材料和低氢型焊接工艺方法（如：使用低氢型焊条或CO <sub>2</sub> 气体保护焊方法焊接）

(续)

缺陷名称	产生原因	危害	防止方法
冷裂纹	3. 刚性拘束条件 4. 焊缝咬边、未焊透、夹渣等缺陷或焊缝截面突然变化而形成的应力集中 5. 淬硬组织的影响。具有很高应力的淬硬组织对裂纹的形成提供了敏感的基体,使氢的危害作用更加突出	很难准确预测破坏的时间,造成不应有的损失 冷裂纹微观特征是穿晶断裂,常见于淬透性大的钢种,裂纹多出现在热影响区、特别是焊道下熔合线附近,焊趾和焊缝根部。冷裂纹断口处不发生氧化,冷裂纹发生时,有时会听到断裂响声	3. 严格控制氢的来源。焊前焊条或焊剂需严格烘干 4. 合理选用预热、层间保温、后热或缓冷措施;合理选择焊接参数,加速氢气逸出 5. 合理安排焊接顺序,减少焊接应力
再热裂纹	1. 焊后调质处理后强度等级 $\sigma_b \geq 780\text{MPa}$ 的钢材或含 Mo、V、Cr 合金较多的钢材容易产生再热裂纹 2. 550~650℃ 是弥散碳化物容易析出的温度,在此温度长时间加热或保温,容易出现再热裂纹 3. 再热裂纹常发生在拘束力大或厚板的焊接接头处 4. 焊接接头晶粒度越大,越容易产生再热裂纹	再热裂纹是焊后焊件在一定温度范围内再次加热产生的裂纹,常发生在靠近焊缝的热影响区,沿奥氏体晶界扩展。断口有不同程度的氧化颜色 再热裂纹的出现,使焊件承受交变载荷或冲击载荷时产生应力集中,使再热裂纹扩展,导致焊接结构发生破坏	1. 化学成分对再热裂纹的影响随钢种不同而有差异,可根据公式予以判断: $\Delta G = [\text{Cr}] + 3.8[\text{Mo}] + 8.1[\text{V}] - 2$ 当 $\Delta G > 0$ 时,容易产生再热裂纹 当 $\Delta G < 0$ 时,不容易产生再热裂纹 2. 焊接接头晶粒度越细小,越不容易产生再热裂纹 3. 合理选用焊接方法 4. 选用更高的预热温度或配合后热处理

(续)

缺陷名称	产生原因	危害	防止方法
再热裂纹			5. 选用低匹配的焊接材料 6. 降低残余应力和避免应力集中
层状撕裂	1. 非金属夹杂物的种类、数量和分布形态是产生层状撕裂的本质原因 2. 在一定的焊接条件下,对于某种钢存在一个Z向临界拘束应力,超过此值便产生层状撕裂 3. 在焊缝热影响区附近,由于氧的存在,冷裂纹诱发成为层状撕裂 4. 热应变会引起母材发生脆化,对层状撕裂的产生和扩展有利	层状撕裂主要发生在低合金高强度钢的厚板焊接结构中,在热影响区附近穿晶或沿晶开裂 层状撕裂在外观上没有任何迹象,现有的无损检测手段又难以发现,即使能判断结构中有层状撕裂也无法修复,因层状撕裂引起的事故往往是灾难性的	1. 选用抗层状撕裂的钢材 1) 精炼钢Z向断面收缩率可达23%~45% 2) 控制硫化物夹杂形态的钢,其Z向断面收缩率可达50%~70% 2. 改进设计和施工工艺 1) T形焊缝由单侧焊缝改为双侧焊缝 2) 采用焊接量小的对称角焊缝代替焊接量大的全焊透焊缝 3) 在承受Z向应力一侧开坡口焊接 4) 适当提高预热温度、减少焊缝含氢量 5) T形接头,可先在横板上堆焊一层低强度的焊接材料,缓和焊接应力



### 第三节 焊接检验内容

#### 一、焊前检验

##### 1. 检验目的

以预防为主,达到减小或消灭焊接缺陷产生的可能性。

##### 2. 主要检验内容

(1) 金属原材料检验 金属原材料质量复检;来料的单据及合格证;检查金属材料上的标记;检查金属材料表面质量;检查金属材料的尺寸。

(2) 焊接材料的检验 检查焊接材料的选用及审批手续;代用的焊接材料及审批手续;焊接材料及代用的焊接材料合格证书;焊接材料及代用的焊接材料质量复检;焊接材料的工艺性处理;焊接材料的型号及颜色标记。

(3) 焊件的生产准备检查 坡口的选用;坡口角度、钝边及加工质量。

(4) 焊件装配检验 零、部件装配;装配工艺,定位焊质量。

(5) 焊件试板检验 试板的用料;试板的加工;试板的尺寸及分类。

(6) 焊接预热检验 预热方式、预热温度及温度的检测。

(7) 焊工资格检查 焊工资格证件的有效期;焊工资格证件考试合格的项目。

(8) 焊接环境检查 检查施焊当天的天气情况。露天施焊时,雨、雪天气应停止焊接;检查风速、相对湿度、最低气温等。

(9) 试板焊接检验 试板按正式焊件的焊接参数焊接,并按工艺文件所要求的内容进行检验。

#### 二、焊接过程中检验

##### 1. 检验目的

防止和及时发现焊接缺陷,进行卓有成效的焊接缺陷修复,保证焊件在制造过程中的质量。

##### 2. 主要检验内容

(1) 检查焊接工艺方法 焊接工艺方法是否与工艺规程规定相符,



否则应办理审批手续。

(2) 检查焊接材料 查看焊接材料特征、颜色、型号标注、尺寸、焊缝外观特征；查看焊接材料领用单与实际使用焊接材料是否相符

(3) 检查焊接顺序 注意现场施焊部位的施焊方向和顺序。

(4) 检查预热温度 根据焊件表面温度变化情况，随时验证预热温度是否符合要求。

(5) 检查焊道表面质量 对发现的焊缝缺陷进行及时修复。

(6) 检查层间温度 防止多道焊或多层焊时，焊缝金属组织过热。

(7) 检查后热处理 焊后要及时进行消除应力热处理。检查后热处理的方法、工艺参数是否与工艺规程相同。

### 三、焊后质量检验

#### 1. 检验目的

保证焊件质量完全符合技术文件要求。

#### 2. 主要检验内容

(1) 焊缝的非破坏性试验 常用的焊缝非破坏性试验方法见表 11-1。在焊接接头非破坏性试验中，无损检测使用面最广，常用的无损检测方法比较见表 11-5。各种焊接缺陷在射线照相底片上的特征见表 11-6。各种伪缺陷产生的原因及在底片上的特征见表 11-7。焊接缺陷超声波探伤的特征及探测方法见表 11-8。

检验焊缝尺寸及坡口时，还经常使用焊缝检验尺和焊缝卡板，检验焊缝宽度、余高、余高差、错边尺寸、焊脚尺寸、焊前坡口角度、间隙、钝边以及焊后变形等。常用的焊缝检验尺如图 11-1 所示，常用的焊缝卡板如图 11-2 所示。

(2) 焊缝的破坏性试验 焊缝的某些特殊性能数据是从破坏焊件的试验中得到的，统称为破坏性试验。焊接接头的力学性能、腐蚀性能、化学分析和金相组织检验等都是由破坏性试验取得的，这种检测方法比较直观、数据可靠。焊缝常用的力学性能试验方法见表 11-9。其它破坏性试验方法见表 11-10。

表 11-4 常用的焊缝非破坏性试验方法

检验方法	检验操作	检出缺陷	备注
外观检查	<p>距离被检验的焊件较近时,眼睛与被检验焊件表面的视角<math>&gt;30^\circ</math>,或借助适当照明,利用反光镜调节照射角度,直接目视或借助5~20倍放大镜进行焊缝外观检验</p> <p>距离被检验的焊件较远时,为看清焊缝,可借助于望远镜,内孔管道镜、照相机等仪器,对焊接缺陷进行真伪分辨,其分辨能力应大于直接目视检验效果</p>	能检验焊缝表面的清理质量;焊缝几何形状;焊缝表面缺陷;焊缝缺陷修复后的表面质量	利用焊缝检验尺、焊缝样板、游标卡尺进行检验
声响试验	用小锤(轻微)敲击焊件检验部位,由产生的响声来判断内部是否有缺陷	内部气孔、内部裂纹和夹渣等	要求检验工经验丰富
密封性检验	煤油试验	适用于敞开的容器和液体储罐容器等。煤油试验时,在焊缝便于检查和补焊的一面涂上白垩粉,并使其干燥,在焊缝的另一面反复涂煤油2~3次,使煤油不干,焊缝在煤油作用下,15~180min,看涂白垩粉的一面是否有煤油斑点	确定对接接头致密性很有效。对确定搭接接头的致密性则不太可靠
	吹气试验	用0.4~0.5MPa的压缩空气,在距焊缝一侧小于30mm处垂直吹焊缝,在焊缝另一侧涂肥皂液,仔细观察是否有肥皂泡出现	焊缝内的贯穿性裂纹,未焊透,未熔合等穿透性缺陷

(续)

检验方法	检验操作	检出缺陷	备注
密封性检验	<p>对封闭容器焊缝试验时,在容器外部焊缝上贴浸透质量分数为5%的硝酸银(灵)溶液的试纸带,试纸带比焊缝宽20mm</p> <p>在容器内部充10%的被试容器空气体积(标准气压)的氮气和相应压力的压缩空气,保压3~5min,在纸带上无黑色斑点为不漏</p>	<p>焊缝内的贯穿性裂纹、未焊透、未熔合等缺陷</p>	<p>比涂肥皂水检验更准确、便宜、迅速。这种试验方法还可以在低温下检验焊缝的致密性</p>
	<p>试验前将焊件全密闭,浸入水中,在试件上部有20~30mm的水层。接着向试件内部送入压缩空气,焊缝缺陷位置由水中出现的气泡确定。不能放入水中的试件,充入压缩空气后在外部焊缝涂肥皂液观察有无肥皂气泡出现</p>	<p>确定低压力下工作的容器和管道的密封性及穿透性缺陷</p>	<p>处在压力下的试件不得敲击、振动和修补缺陷,试验压力为工作压力的1.2~1.5倍</p>
	<p>试验前将试件密封,充满水。水压试验压力一般为工作压力的1.25~1.5倍。当达到试验压力时,保压一定时间,然后再降低到工作压力进行水压密封性检验</p>	<p>检查容器及锅炉的致密性和强度,焊缝有贯穿性缺陷会出现水珠</p>	<p>水压试验时,沿焊缝和平行焊缝边15~20mm处用质量为1~1.5kg的圆头小锤轻轻敲打</p>
	<p>试验前将焊缝表面仔细擦干净,并用空气吹干,试验的环境温度不低于0℃,水温不低于5℃,容器中灌满水,保持一定时间。焊缝缺陷位置由出现水流,水滴状渗出及其表面出汗来确定</p>	<p>检验不承受压力的焊接容器的致密性及穿透性缺陷</p>	<p>灌水后试验持续时间不少于1h</p>

(续)

检验方法	检验操作	检出缺陷	备注
密封性检验 喷水试验	由出口直径不小于 15mm 的消防水带往焊缝浇水,试验前仔细将焊缝擦干吹干,喷水时间由工艺文件规定。在喷水的同时在焊缝另一面观察焊缝漏水情况,适用于不能灌水和不能进行水压试验的大型构件	焊缝穿透性缺陷位置由出现水流、水滴状渗出、焊缝及其临近表面出汗来确定	水管中水压不小于 0.1MPa,试验环境温度不低于 0℃,水温大于 5℃
密封性检验 热水密封试验	将密闭试件浸入 90℃ 左右的热水中,停留 10min 左右,由于受热,容器内的空气受热膨胀并从缝隙中涌出	观察热水中的气泡可以发现穿透性缺陷	适用于小型密闭容器或管段的检漏
无损检验 荧光探伤	焊缝被检部位用荧光粉与煤油(或矿物油)混合液浸泡数分钟,使混合液体浸入缺陷内部。然后在被检部位撒上荧光粉末,落在缺陷处的粉末颗粒被矿物油浸湿,留在缺陷的缝隙内。把多余的吹掉,然后在暗室内用紫外线照射,渗入缺陷内的荧光粉末就会发出黄绿色荧光,以此判断缺陷位置及大小	检验材料表面缺陷	主要检验不锈钢、铜及铜合金、铝及铝合金等非磁性材料,也可以用于磁性材料

(续)

检验方法	检验操作	检出缺陷	备注
磁粉探伤	<p>磁粉探伤分干法和湿法两种。干法检验时,焊缝先充磁,然后撒有磁粉末,湿法检验时是在已磁化的焊缝表面上喷以混有铁粉的煤油液体,焊缝如有缺陷,就会有不规则的磁力线出现</p> <p>对发现气孔、夹渣及深部缺陷较困难</p>	<p>可检测薄壁件或焊缝表面附近的裂纹,也能发现一定深度和大小未焊透</p>	<p>不适用非磁性材料,如奥氏体不锈钢、铜及铜合金、铝及铝合金</p>
无损检验 着色探伤	<p>将红色着色液(渗透液)涂在零件表面上,着色液就渗入细小缺陷中,然后清洗零件表面。干燥后涂以(或喷)显示剂,由于毛细管吸附作用,着色液在缺陷中浸湿显示剂,经过急速干燥,显示表面印出明显的缺陷彩色影像,以此判断零件上的缺陷</p>	<p>不仅能检测出穿透性的缺陷,也能检测非穿透性的缺陷</p>	<p>待检的表面应有一定的粗糙度,检验时焊件温度应在 20~30℃</p>
无损检验 涡流探伤	<p>将焊件处于交变磁场的作用下,由于电磁感应,在焊件内部产生涡流,由涡流产生的磁场将削弱主磁场,形成叠加磁场,不同的缺陷将产生不同的涡流,因此叠加磁场也在不断变化,这个变化经测量线圈,通过探伤仪而发现缺陷</p>	<p>易于检测裂纹、麻点、夹渣等及小直径不锈钢管,除对接接头外,不能检测其它类型焊接接头</p>	<p>只能检测对接接头,显露表面最小缺陷灵敏度不如磁粉,不能指示所显缺陷性质</p>

(续)

检验方法	检验操作	检出缺陷	备注
声发射分析及电阻测量试验	<p>金属中的微观和宏观变化,都会引发机械冲击波,产生一定的声响信号,利用专门声发射测试仪得冲“脉冲频率图”并进行分析,根据经验去伪存真,求出是否有裂纹产生,扩展和断裂</p> <p>金属中微观和宏观变化,必然伴随电阻的变化,把它们的测量数据从时间关系上与裂纹的出现联系起来进行分析,确定有无裂纹的产生、扩展、断裂</p>	是检查延迟裂纹的有效方法。可以灵敏地测出裂纹的产生、扩展和断裂	声发射试验只限于在施焊后开始冷却至室温这段时间内进行
无损检验 超声探伤	采用定向声束穿透焊缝,在缺陷表面产生反射波而形成反射信号来检测焊缝的内在缺陷。超声检测时,采用斜角探伤法,在焊缝两侧进行探测	一般情况下只能确定缺陷位置、深度、大小、分布情况。不能准确、直观地确定缺陷性质	被测焊件材质应一致,与探头耦合面粗糙度值达 $R_a 3.2\mu\text{m}$ 以上
X射线和 $\gamma$ 射线探伤	<p>将射线照射在焊件上,利用射线透过焊件时,缺陷与无缺陷部分对射线具有不同程度的吸收来检验缺陷</p> <p>X射线检测金属厚度 <math>\delta &lt; 200\text{mm}</math></p> <p><math>\gamma</math>射线检测金属厚度 <math>\delta &lt; 300\text{mm}</math></p> <p>高能X射线检测金属厚度 <math>\delta &lt; 1000\text{mm}</math></p>	发现焊件与射线呈垂直方向并且有一定尺寸的缺陷。如裂纹、未焊透、未熔合、夹渣、气孔等。基本上能确定缺陷性质、位置、大小、形状和分布情况	射线照到人体后,会引起生理变化。因此要用铅板等防护射线伤人

表 11-5 常用的无损检验方法比较

	检验对象	检验厚度	可检缺陷	判断方法	检验灵敏度	检验结论	主要优点	主要缺点
磁分探伤	铁磁性金属,其表面粗糙度 $R_a 1.6\mu m$	取决于磁场强度及磁化电流强弱	表面及近表面微小缺陷	直接观察磁粉排列情况	决定于磁化方法、磁化电流极性及电流值大小、缺陷潜伏深度、磁粉粒度、性能及表面粗糙度等因素	确定缺陷位置、形状及长度	操作方便,能直观缺陷,灵敏度高,速度快	不能发现内部缺陷,表面加工要求高,难于确定深度,不能检验非磁性材料
着色探伤	金属或非金属,检测表面粗糙度为 $R_a 1.6\mu m$	表面	表面缺陷	直接观察着色表面的缺陷影像	精低于荧光探伤,可发现宽度小于 $0.01mm$ , 深度为 $0.03 \sim 0.04mm$ 的缺陷	确定表面缺陷的形状、位置、长度	操作简便,成本低,不需专用设备	表面粗糙度要求高,灵敏度低,速度慢
荧光探伤	各种金属焊件均可。检测表面粗糙度在 $R_a 1.6 \sim R_a 3.2\mu m$	表面	表面微小缺陷	直接通过荧光显现缺陷	可发现深度 $10^{-2}mm$ , 宽度 $10^{-1}mm$ 的表面缺陷	确定表面缺陷的形状、位置、长度	不受焊件材料限制,设备简单,操作方便	只能发现表面缺陷,紫外线照射有臭氧,对视力不利



(续)

检验对象	检验厚度	可检缺陷	判断方法	检验灵敏度	检验结论	主要优点	主要缺点
各种金属铸件、锻件、棒材、管材、易实现自动化	检验深度取决于交流电在金属中的透入深度，与厚度无关	表面及近表面缺陷	通过仪表指示观察涡流的变化及时发现缺陷	取决于金属性质及交流电频率	确定缺陷的位置及范围	对导电材料表面及近表面缺陷，干扰因素较多，需要特殊信号处理难以判断缺陷种类和形状	只限导电材料，只限检测表面及近表面缺陷，干扰因素较多，需要特殊信号处理难以判断缺陷种类和形状
形状简单的任何材料或铸件、检测表面粗糙度在 $R_a 3.2\mu m$ 以上	因材质而异，锻钢可检 $8 \sim 10mm$ ，最小达 $2mm$ ，最大达 $1000mm$ 以上，是现有探伤穿透最深的检验方法	任何部位的缺陷（表面、内部、底部）	由图形上讯号的变化确定是否有缺陷	灵敏度高且不随厚度的变化而变化，能检出 $\phi 1mm$ 以上的气孔、夹渣	缺陷的位置、大小与分布情况	灵敏度高，适用范围广，运用灵活，对物体无损伤，当时可得出检验结果，能防止在运行的设备进行探伤	只能检验简单形状的铸件，检测表面要求较高，不能确定缺陷性质及准确尺寸，结论准确性在一定程度上与检测人经验有关，不能保留检测时的曲线记录



(续)

	检验对象	检验厚度	可检缺陷	判断方法	检验灵敏度	检验结论	主要优点	主要缺点
γ 射线	金属或非金属材料	取决于射线源剂量大小。一般在300mm以下	近表面及内部缺陷	观察照相软片	通常为厚度的3%~5%	能确定缺陷的位置、大小、形状及分布情况	透照厚度范围很大。比X射线机轻,不易损坏	灵敏度较低,曝光时间长,安全防护要求较高,对人体有害
		20mm以下钢材	近表面及内部缺陷	观察照相软片	可达厚度的1%	能确定缺陷的位置、大小、形状及分布情况	透视灵敏度高,不受材质形状限制。能永久保持缺陷记录	设备较重,费用高,不能发现与射线方向相平行的线性缺陷。透照厚度较γ射线小
		65mm以下钢材						
		100mm以下钢材						
		150mm以下钢材						
		180mm以下钢材						
高能X射线	任何材料加工件	通常在500mm以下,高达1000mm	近表面及内部缺陷	观察照相软片	可达厚度的1%	能确定缺陷的位置、大小、形状及分布情况	穿透能力强,灵敏度高,底片清晰度高	设备复杂,购置维护费用高,对人体有害,防护措施要求高

射线探伤

表 11-6 各种焊接缺陷在射线照相底片上的特征

缺陷名称	射线照相底片上的特征	备注
纵向裂纹	与焊缝方向一致的, 中间稍宽, 两端较尖细的波浪状或直线形黑色条纹	I、II、III级焊缝不允许存在
横向裂纹	与焊接方向垂直的黑色条纹, 特征是中间稍宽, 两端较尖细的波浪状或直线形	
放射裂纹	由某一点为中心辐射出去的星形黑色条纹	
弧坑裂纹	在弧坑中, 由纵向、横向和星形黑色条纹组成	
表面气孔	黑度值不太高的圆形黑点, 其黑度是中心较大, 并均匀向边缘减小	按不同的板厚, 不同的焊缝, 允许不同点数
均布及局部密集气孔	均匀分布或局部密集的黑色点状影像, 点状影像有大有小, 黑色深浅不一	
球形气孔	黑度值中心较大而边缘较小且均匀过渡的圆形黑色影像	
柱形气孔	黑度极大且均匀的黑色圆形影像	
条状气孔	与焊缝方向平行的长条黑色影像	
链状与孔	与焊缝方向平行的呈直线状排列的黑色影像	
斜针状气孔	单个的或呈人字分布的带尾的黑色影像	
弧坑缩孔	前一道焊缝末端没填满而在焊下一道焊缝时又没有消除的缩孔, 在底片上为黑色影像	按焊缝级别及板厚允许点数
点状夹渣	外观不规则并带有棱角, 黑度较均匀的黑点	
条状夹渣	黑度值较均匀, 呈宽而短的粗线条状, 且宽窄不一的不规则影像。I级焊缝不允许存在	
钨夹渣	白色不规则影像	不允许
塌漏	单面焊接, 背面焊道正中呈灰白色影像	对照外观检查结果
焊瘤	焊缝边缘灰白色影像	
下垂	焊缝表面凹槽, 黑度值稍高	

(续)

缺陷名称	射线照相底片上的特征	备注
烧穿	单面焊接的背面焊道由于熔池塌陷形成的空洞,在底片上呈黑色影像	不允许
未熔合	坡口边缘,焊道之间以及焊缝根部等处伴有的气孔、夹渣的连续或断续黑色影像	I、II、III级焊缝不允许存在
未焊透	焊缝根部钝边没熔化的直线黑色影像	
咬边	焊缝边缘与焊缝走向相同的不规则曲线影像	有数量要求
焊缝超高	焊缝正中的灰白色突起	有数值要求
收缩沟	单面焊缝,背部焊道两侧的黑色影像	有数值要求

表 11-7 各种伪缺陷产生的原因及在底片上的特征

	底片上伪缺陷特征	产生原因	防止措施
暗黑阴影	细微杂色斑点雾翳	底片陈旧	采用新底片
	底片边缘或角上有雾翳	暗盒不严密	修理或更新暗盒
	雾翳均布底片	1. 安全灯太亮 2. 底片陈旧 3. 显影过长	1. 调整安全灯亮度 2. 用新底片 3. 按规定显影
	暗黑色斑点或条纹	被金属粒或金属盐污染	避免用金属容器或低质量搪瓷器具盛定影液
	暗黑色线条或裂纹	铝箔上有抓痕或裂纹	更换铝箔
	暗黑色指纹印	在显影前沾有化学物的手指接触了底片	暗室操作过程中使用底片夹

(续)

	底片上伪缺陷特征	产生原因	防止措施
暗 黑 阴 影	暗黑色圆圈或珠状痕迹	在显影前溅上显影液滴	显影时要小心操作
	暗黑色分支线及黑色斑点	静电放电感光	避免底片之间互相摩擦滑动
	有像大理石花纹的暗色斑点或区域	定影不足	延长定影时间或更换新鲜定影液
淡 色 阴 影	淡色斑点或条纹	显影前底片沾污了油质或显影液中有油质	1. 保存好显影液 2. 小心操作
	淡色区域呈月状	1. 底片在感光前受弯曲 2. 旧定影液沾污底片	1. 暗室操作时提底片的某个角处 2. 洗净底片夹
	淡色斑点或线条	钨酸钙增感屏上有斑点或裂纹	用无碱肥皂清洗或换新增感屏
	淡色圆环片	显影过程有气泡	显影时搅动显影液
	淡色斑点或区域	在底片与增感屏之间夹有灰尘或纸片	1. 装片前仔细检查暗盒 2. 清除增感屏灰尘
	淡色指纹印	显影前油污手指沾污了底片	先洗污手,然后再拿底片
	淡色圆形斑点	显影前底片上溅有定影液或水滴	在暗室里工作要小心仔细
其 它 缺 陷	带黑色边的小凹陷	细菌作用,通常发生在热带的地方	避免在闷热空气中干燥或用太热的水冲洗
	曝晒色	感光后在非安全的光束下曝露过	检查灯光是否是安全灯光
	木纹状或墙砖状阴影等	底片感光前受到射线的辐射	底片存放应与射线隔离

(续)

	底片上伪缺陷特征	产生原因	防止措施
其它缺陷	网状花纹	显影、清洗、定影、冲洗槽温差太大	使各道工序中槽温均匀
	轮廓清楚的暗色或淡色区域	显影液在底片上流动不均匀	底片应均匀侵入,不时搅动显影液
	波纹状大理石花纹在感光区密度减小,在淡色区密度增大	显影过程中搅动不均匀	显影时要均匀搅动显影液

表 11-8 焊接缺陷超声波探伤的特征及探伤方法

缺陷种类	特征	最佳探伤方法
坡口面未熔合	产生位置: 坡口面 反射面: 光滑 形状: 平面状 方向性: 与坡口面相同	单探头法 1. 频率: 5MHz 2. 折射角 $\beta = 90^\circ - \theta$
层间未熔合	产生位置: 层间 反射面: 略粗糙 形状: 曲面状 方向性: 平行于探测面	单探头法 1. 频率: 2MHz 2. 折射角: $40^\circ \sim 50^\circ$
根部未焊透	产生位置: 根部 反射面: 光滑 形状: 槽形 方向性: 垂直于探测面	单探头法 1. 频率: 2MHz 2. 折射角: $70^\circ$
内部未焊透	产生位置: 根部 反射面: 光滑 形状: 平面状 方向性: 垂直于探测面	串列探伤法 1. 频率: 5MHz 2. 折射角: $40^\circ \sim 50^\circ$ (薄板为 $70^\circ$ ) 单探头法 1. 频率: 2MHz 2. 折射角: $70^\circ$

(续)

缺陷种类	特 征	最佳探伤方法
横向裂纹	产生位置: 正背面附近 (最终层焊道正下方) 反 射 面: 粗糙 形 状: 弯曲面状 方 向 性: 垂直于焊接线	斜平行 (平行扫描) 1. 频率: 5MHz 2. 折射角: 70°
纵向裂纹	产生位置: 整个焊缝区 反 射 面: 粗糙 形 状: 弯曲面状 方 向 性: 多数垂直探测面	单探头法 1. 频率: 2MHz 2. 折射角: 70°
夹渣	产生位置: 坡口面与层间 反 射 面: 稍粗糙 形 状: 较复杂 方 向 性: 推测较困难	单探头法 1. 频率: 2MHz 2. 折射角: 40°~70°

表 11-9 焊缝常用的力学性能试验方法

	能测定的性能	可检查出的缺陷	备注
焊缝金属抗拉试验	1. 抗拉强度 $\sigma_b$ (MPa) 2. 屈服点 $\sigma_s$ (MPa) 3. 条件屈服强度 $\sigma_{0.2}$ (MPa) 4. 伸长率 $\delta$ (%) 5. 断面收缩率 (%)	在断口处可检查: 有无气孔、裂纹、夹渣、未熔合等缺陷	
焊缝金属和母材焊接热影响区冲击试验	测定焊缝金属或母材焊接热影响区在突加载荷时的性能对缺口的敏感性、冲击吸收功 $A_{KV}$ (J) 冲击韧度 $\alpha_{KV}$ (J/cm <sup>2</sup> )	在断口处可检查金属内有无气孔、裂纹、夹渣或其它焊接缺陷	试验在 10~30℃ 内进行
焊缝金属弯曲试验	1. 检验塑性金属材料变形能力, 焊接接头各区域的塑性差别; 焊接接头熔合线的接合质量 2. 显示缺陷	可检查出未焊透、断口处的气孔、夹渣、裂纹、未熔合等	

(续)

	能测定的性能	可检查出的缺陷	备注
焊接接头的硬度	焊接接头及堆焊金属的强度、塑性、韧性、耐磨性以及抗裂性都与硬度有关	焊后在焊缝及热影响区测硬度值,鉴定焊接接头的强度、塑性、韧性、耐磨性、抗裂性	根据试样厚度、测点距离和大致硬度范围,可分别用布氏、洛氏、维氏硬度测定
焊接接头疲劳试验	能测定焊接接头承受循环载荷情况下的强度	求出使试样破坏所加载循环次数 $N$ ,将破坏应力与 $N$ 绘成疲劳曲线,可得出不同循环下的疲劳强度、疲劳极限	环境及介质对疲劳强度有重大影响
焊接接头压扁试验	用于小直径管接头的纵向焊缝和环向焊缝的检验,用来检验焊接接头压扁的塑性变形性能,焊接接头各区域的塑性差别	断口处气孔、夹渣、裂纹、未熔合、未焊透等焊接缺陷	

表 11 10 焊缝常用的其它破坏性试验方法

	试验内容	备注
焊接接头腐蚀试验	在给定的条件下测金属抗腐蚀能力,估计其使用寿命,分析引起腐蚀的原因,找出延缓腐蚀的方法	确定焊接接头的晶间腐蚀、应力腐蚀、疲劳腐蚀、大气腐蚀及高温腐蚀
化学分析	测定焊缝金属的化学成分	鉴定焊条金属过渡及烧损
金相分析	测定焊缝金属、过渡区及母材组织的特点;确定焊接接头内部缺陷	发现内部缺陷及组织变化

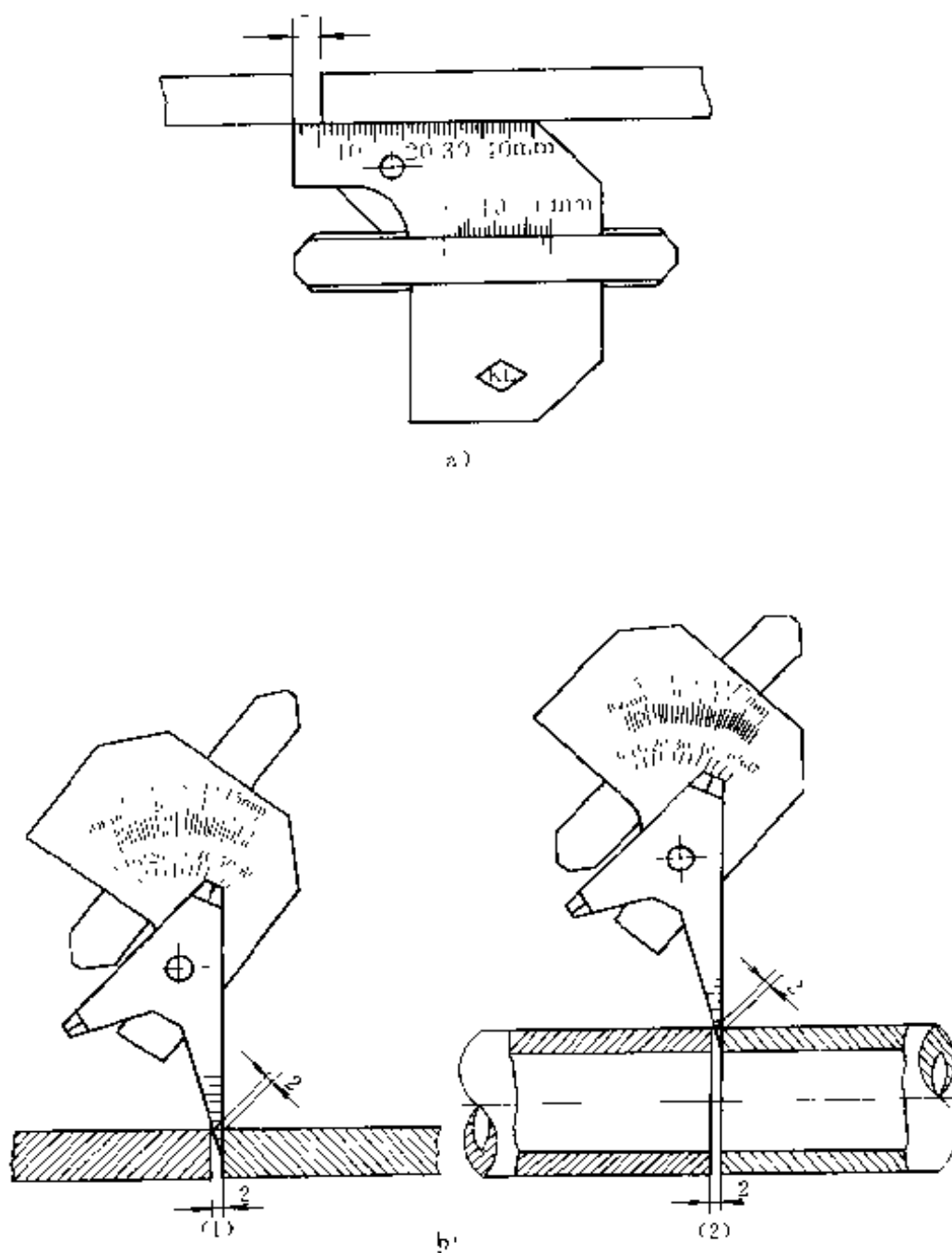
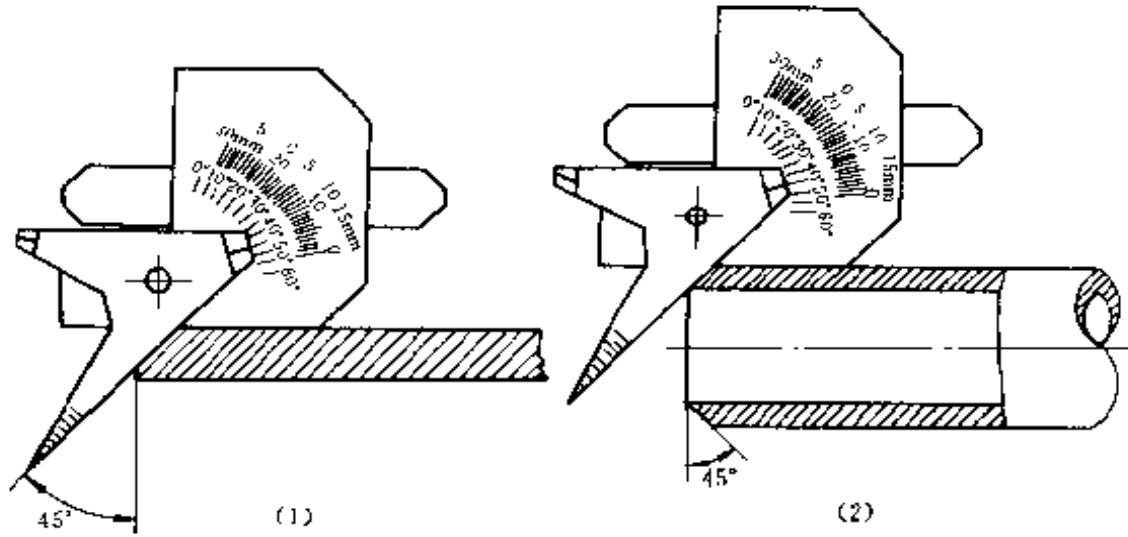
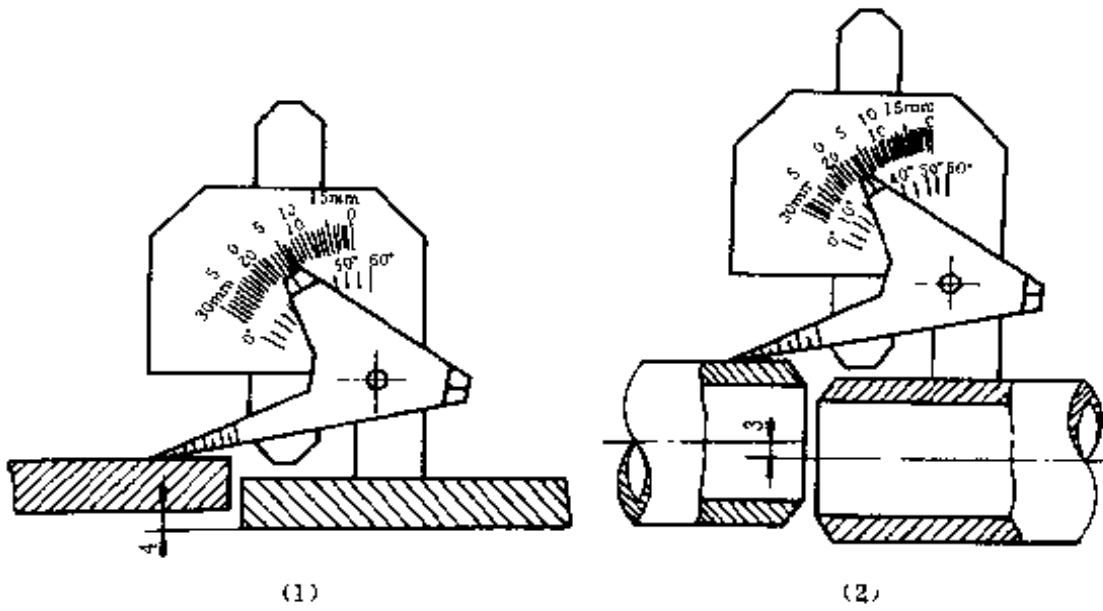


图 11-1 焊接检验尺





c)



d)

图 11-1 (续)

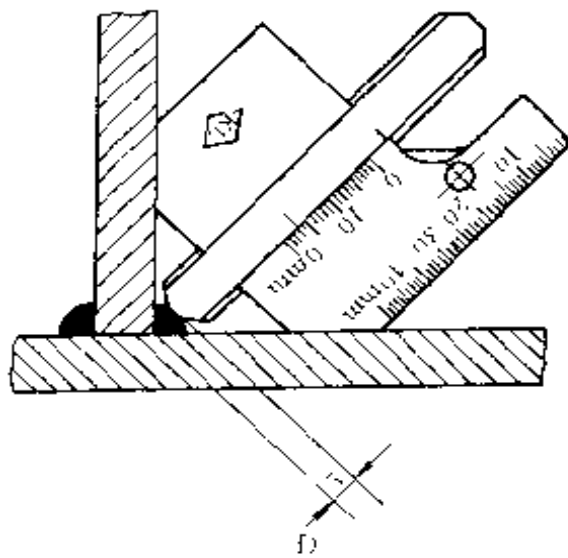
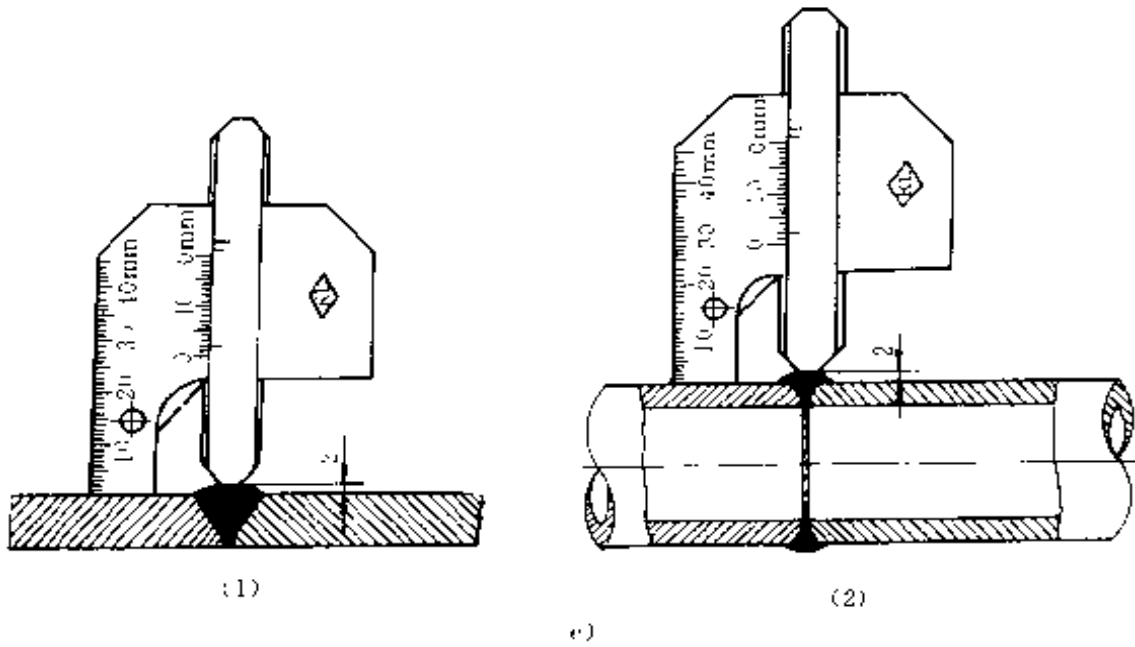


图 11 1 (续)

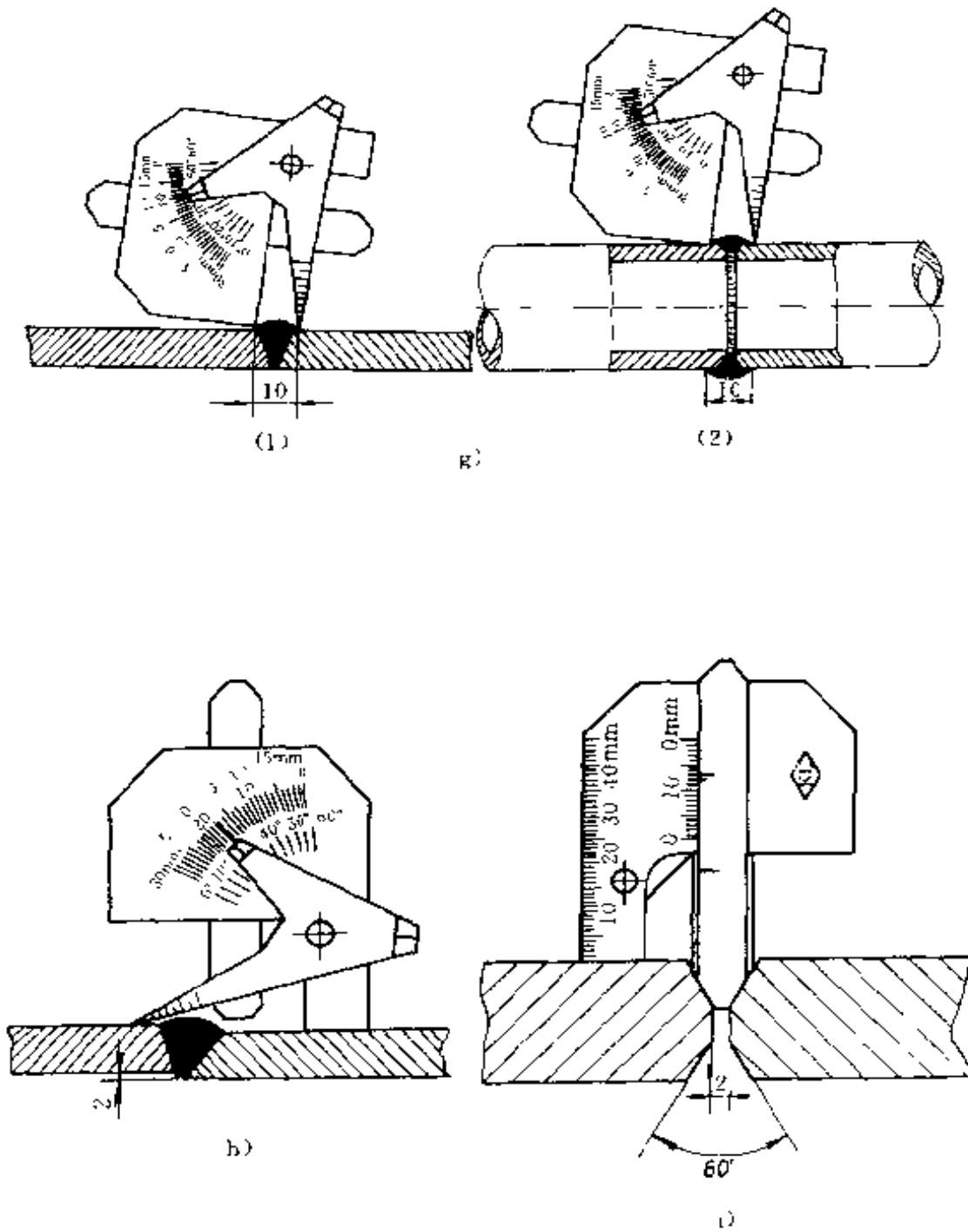


图 11-1 (续)

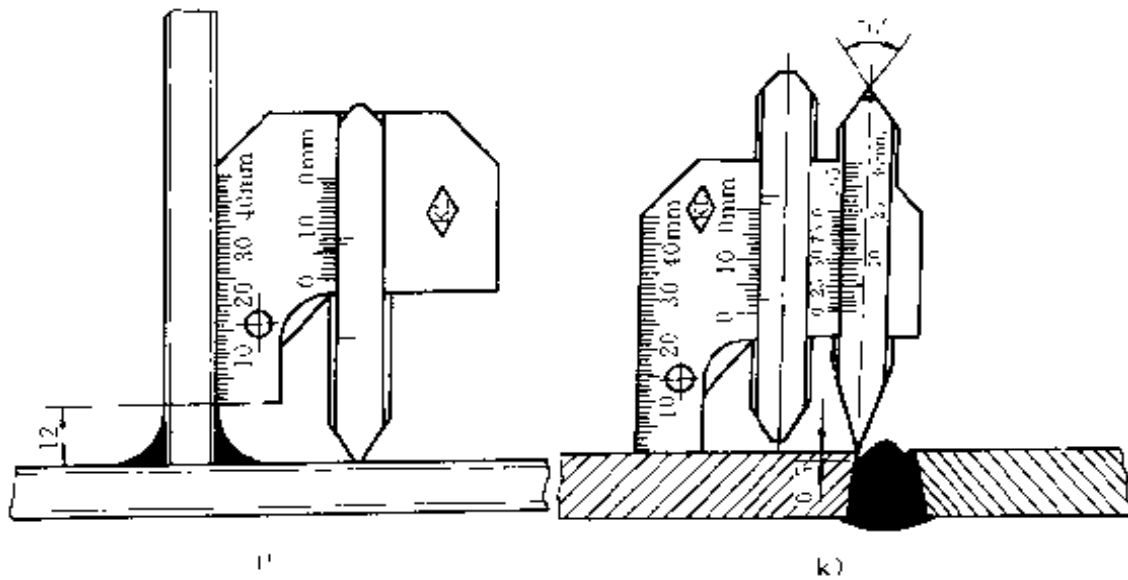


图 11-1 (续)

a) 作一般钢直尺用

b) 测量对口间隙

(1) 测量型钢、板材对口间隙 (2) 测量管道对口间隙

c) 测量坡口角度

(1) 测量型钢、板材坡口 (2) 测量管道坡口

d) 测量错口

(1) 测量型钢、板材错口 (2) 测量管道错口

e) 测量焊缝高度

(1) 测量型钢、板材焊缝高度 (2) 测量管道焊缝高度

f) 测量角焊缝高度

g) 测量焊缝宽度

(1) 测量型钢、板材焊缝宽度 (2) 测量管道焊缝宽度

h) 测量平直度

i) 测量对接组焊 X 形坡口角度

j) 测量焊脚尺寸

k) 测量焊缝咬边深度

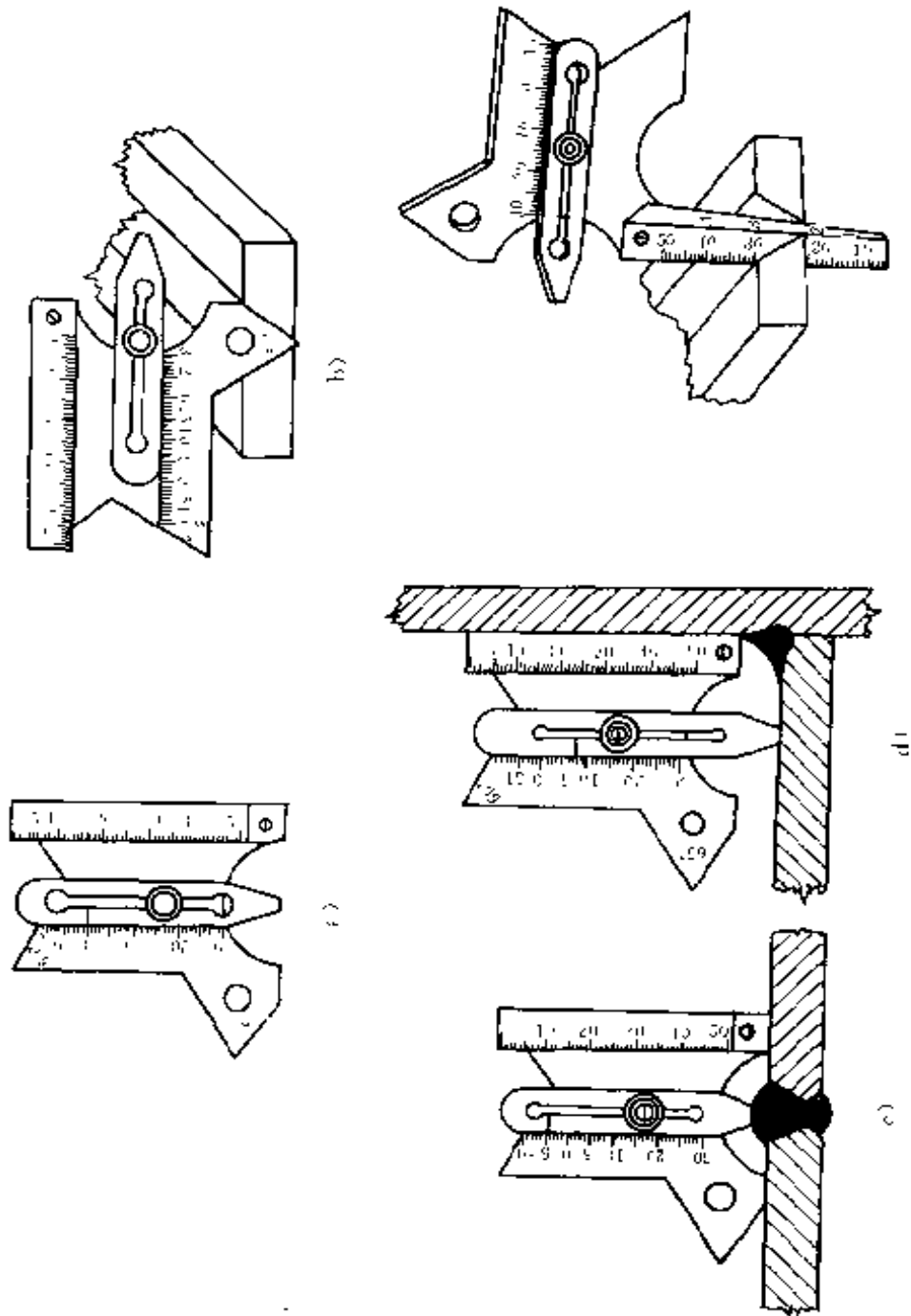


图 11.2 焊接卡板

a) 焊缝下板 b) 测量坡口角度 c) 测量焊缝高度

d) 测量焊脚尺寸 e) 测量间隙

## 第四节 工业无损探伤设备

焊缝的无损探伤方法主要有：着色探伤、磁粉探伤、超声波探伤、射线探伤和荧光探伤等。其中以超声波探伤、射线探伤应用极其广泛。

### 一、常用超声波探伤仪的主要性能指标

#### 1. PXUT-22 全数字智能超声波探伤仪的主要性能指标

1) 10 组参量通道，可存储 10 组不同的探头参数，探伤工艺及仪器参数。

2) 可储存 120 幅数据文件。

3) 数据文件打印输出并与计算机通讯。

4) 测声速、测厚度、测  $K$  值。

5) DAC 门、直方门。

6) 增益范围 110dB (0.1, 2.0, 6dB)。

7) 频带宽度 0.4~15MHz。

8) 探伤范围 0~5000mm。

9) 动态范围 >38dB。

10) 灵敏度余量 >60dB。

11) 分辨率 >35dB。

12) 水平线性误差 <0.1%。

13) 垂直线性误差 <3%。

14) 工作时间 >6.5h。

15) 工作温度 -25~50℃。

16) 外形尺寸 100mm×210mm×260mm。

#### 2. DUT-92 型数字式超声波探伤仪的主要性能指标。

内存储 100 幅波形供回放打印，配接录像机可进行回波全程记录。包络线功能使最高波寻找极其准确，并能辅助缺陷定性和数字定量，定位误差分别为 0.1dB 和 0.1mm。

1) 频率范围 0.4~12MHz。

2) 滤波口 0.4~0.6MHz; 0.8~1.2MHz; 2.0~3.2MHz; 4~6MHz; 9~11MHz。

- 3) 增益范围 100dB; 步进: 0.1dB; 2dB; 6dB。
- 4) 垂直线性误差:  $<4\%$ 。
- 5) 水平线性误差:  $<1\%$
- 6) 检测范围 5~6000mm (钢纵波)
- 7) 灵敏度余量  $>58\text{dB}$ 。
- 8) 动态范围  $>30\text{dB}$ 。

3. KS-1020 数字式超声波探伤仪的主要性能指标:

- 1) 工作频率 0.4~15MHz。
- 2) 工作方式 单、双。
- 3) 检波方式 全波、正半波、负半波、射频。
- 4) 检测范围  $-0.1\sim 8\text{m}$  (钢中纵波)。
- 5) 声程位移及始波偏移 在检测范围内自由调节。
- 6) 回波数据存储及 DAC 曲线可存储数  $>200$  组。
- 7) DAC 曲线显示 同一屏幕上可显示评定线、定量线、判废线。
- 8) 增益范围  $0\sim 114\text{dB}$  ( $\pm 0.1\text{dB}$ ,  $\pm 1\text{dB}$ )。
- 9) 打印输出 屏幕拷贝, 参数打印。
- 10) 报警 声报警, 波幅数据显示。
- 11) 外形尺寸  $100\text{mm}\times 240\text{mm}\times 280\text{mm}$ 。

4. GS-23、26 型超声波探伤仪的主要性能指标

- 1) 工作频率 0.5~20MHz。
- 2) 垂直线性误差  $\leq 5\%$ 。
- 3) 水平线性误差  $\leq 1\%$ 。
- 4) 总衰减量  $90\text{dB}$  ( $20\text{dB}\times 2$ 、 $2\text{dB}\times 20$ 、 $0.5\text{dB}\times 20$ )。
- 5) 衰减误差 每  $2\text{dB}\pm 0.1\text{dB}$ 。
- 6) 动态范围  $\geq 30\text{dB}$ 。
- 7) 探伤灵敏度余量  $\geq 40\text{dB}$ 。
- 8) 分辨率 用窄脉冲探头  $10\text{N}6\leq 1.2\text{mm}$ 。
- 9) 近区探伤能力 用  $10\text{N}8$  探头可发现距离探测面  $2\text{mm}$  的  $\phi 2\text{mm}$  平底孔。
- 10) 薄板分辨力 用  $10\text{N}8$  探头  $\leq 1.2\text{mm}$ 。

11) 探测深度 5~5000mm (钢纵波), 分 10mm、50mm、250mm、1000mm 四档。

12) 阻塞范围 约 4mm (钢纵波)。

13) 报警器功能“进波”或“失波”报警。

14) 交流电源允许范围 187~242V。

15) 具有记忆系统 (只适应 26 型)

16) 质量 7.5kg (包括电池)。

## 二、常用 X 射线探伤机的性能及参数

### 1. 新型 BWG 系列 X 射线探伤机的主要特点

#### (1) 发生器 (新型)

1) 端环与减振器合为一体, 强度高, 减振效果好。

2) 电缆插座在端盖的侧面, 提高放置的灵活性。

3) 采用复式强制冷却, 改善了 SF<sub>6</sub> 气体散热效果, 显著降低温升。

#### (2) 控制器 (新型)

1) 控制器箱体为铝合金制造, 体积小、质量轻。

2) 控制器前后均有橡圈增强抗振能力。

3) 控制器配备拐角式橡胶提手, 既可稳定立撑, 又可方便携带。

4) 表 11-2 中列出的不同型号控制器可配用该公司所产的各种型号 X 射线发生器。

新型 BWG 系列 X 射线机性能及参数见表 11-11。新型控制器型号及性能见表 11-12。

表 11-11 新型 BWG 系列 X 射线机性能及参数

型号	输出电压 /kV	有效角度 (°)	焦点尺寸 /mm	穿透能力 /mm	整机尺寸 $\frac{d}{\text{mm}} \times \frac{h}{\text{mm}}$	质量 /kg
2	120~200	40	1.5×1.5	≤26	φ286×684	19
0		25	1×2.5			
0		24	1×3.5			
5		38	2×2		—	—



(续)

型号	输出电压 /kV	有效角度 (°)	焦点尺寸 /mm	穿透能力 /mm	整机尺寸 $\frac{d}{\text{mm}} \times \frac{h}{\text{mm}}$	质量 /kg
2	150~250	40	2.5×2.5	≤38	φ510×785	38
5		25	1×2.4			
0		24	1×4			
5		38	2.5×2.5			
3	170~300	40	3.5×3.5	≤30	φ540×884	42
0		25	1×2.5	≤46		
0		24	1×4.5	≤40		
5		38	—	≤50		

表 11-12 新型控制器型号及性能

型 号	BWC 1	BWC-2	BWC 3
质量	16kg		
外型尺寸	400mm×200mm×330mm		
电源电压指示	无	10位LED	液晶显示
强制休息		有	有
有线遥探	有		—
超千伏保护			有
自动训机功能	无	无	有
曝光时间累计			无
操作显示信息	电压表 四指示灯	发光二极管 六指示灯	液晶中文显示 及曝光灯
电压调节方式	拨码盘	拨码盘	键盘
kV 调节精度	1kV	1kV	1kV
时间精度	±1%	±1%	±0%

### 2. GXL 系列 X 射线探伤机的主要特点

通用型 GXL 控制箱采用微处理机器控制, 具有:

- 1) 自动识别 X 射线管型号。
- 2) 自动训机功能。
- 3) 自动预警。
- 4) 自动升高电压预读 (kV)。

GXL 系列 X 射线探伤机的性能及参数见表 11-13。

表 11-13 GXL 系列 X 射线探伤机的性能及参数

	GXL208D	GXL205PO	GXL306D	GXL305PO
性能	200kV—8mA	200kV—5mA	300kV—6mA	300kV—5mA
穿透厚度/mm	33	24	53	46
功耗/kVA	3	2.5	3.5	3
连续电压调节/kV	80~200	80~200	120~300	120~300
焦点尺寸	2.3mm× 2.3mm	φ4mm	3mm×3mm	φ5mm
X 射线束	50°	360°×45°	50°	350°×45°
电压/V	110~220	110~220	110~220	110~220
冷却方式	SF <sub>6</sub>	SF <sub>6</sub>	SF <sub>6</sub>	SF <sub>6</sub>
质量/kg	26	26	41	41

### 3. 新一代智能型气绝缘 X 射线机系列

XAW1 通用微机控制器能与变频气绝缘 X 射线机 2005、2505、3005 系列中各种定向、周向 X 射线机相连, 主要特点:

1) 控制器采用电脑智能化, 能与本厂各种气绝缘 X 射线机头匹配, 采用 DIP 选择开关设定所配机头。

2) 具有七个功能键, 十一个数字键, 任意设定工作电压 (kV)、曝光时间, 工作时实时显示 X 射线管的工作电压和工作管电流。

3) 具有抗干扰功能和全自动过电压、过电流、失电压、失电流和温度保护功能, 适合各种工作环境使用。

4) 电脑控制具有自诊断功能, 一旦发生故障, 自动保护停机并发

出报警。

5) 自动记忆、显示匹配机头工作情况。

6) 具有停机时间累计和自动训机功能,根据不同的停机时间 1~12 级自动训机。

7) 具有各种记忆功能和严格的 1:1 工作时间,延长 X 射线机的工作寿命。

#### 4. DL-ⅠA 型<sup>192</sup>I,γ 射线探伤机

产品技术指标符合国际 ISO3999 标准,属国内新一代 γ 射线探伤机,射源回位后,各道敞锁自动关闭,减少射线人员辐射剂量 50%。

主要技术指标:

- 1) 额定装载量<sup>192</sup>I,  $3.7 \times 10^{12}$  Bq。
- 2) 透照范围 10~100mm (Fe)。
- 3) 泄漏剂量 符合国际 ISO3999 标准。
- 4) 操作距离 10~15m。
- 5) 源输出距离 5~10m。
- 6) 射源回位后各道敞锁自动关闭。
- 7) 质量 20kg
- 8) 源尺寸  $\phi 2\text{mm} \times 2\text{mm}$ ;  $\phi 2\text{mm} \times 3\text{mm}$ ;  $\phi 3\text{mm} \times 2\text{mm}$ 。

## 第十二章 焊接的有关计算

### 第一节 基本概念的有关计算

基本概念是焊接计算的基础,概念不清或不懂,其计算结果将是错误的。所以,弄清基本概念不仅使计算结果无误,还有助于解决焊接过程中出现的问题。

#### 一、焊条药皮质量系数

焊条药皮质量系数即焊条药皮与焊芯(不包括无药皮的夹持端)的质量比。

$$K_b = \frac{m_0}{m_1} \times 100\%$$

式中  $K_b$ — 药皮质量系数 (%) ;

$m_0$ — 药皮质量 (kg) ;

$m_1$ — 焊芯质量 (kg)。

#### 二、焊条药皮厚度分类

(1) 薄药皮焊条  $\frac{\text{焊条直径}}{\text{焊芯直径}} \leq 1.2$

(2) 厚药皮焊条  $1.2 < \frac{\text{焊条直径}}{\text{焊芯直径}} \leq 1.5$

(3) 特厚药皮焊条  $1.8 < \frac{\text{焊条直径}}{\text{焊芯直径}}$

#### 三、熔敷系数

熔敷系数指熔焊过程中,单位电流、单位时间内,焊芯(或焊丝)熔敷在焊件上的金属量。

$$a_H = \frac{m}{It}$$

式中  $a_H$ — 熔敷系数 (g/Ah) ;

$m$ — 熔敷焊缝金属质量 (g) ;

$I$  — 焊接电流 (A);

$t$  — 焊接时间 (h)。

#### 四、熔化系数

熔化系数指熔焊过程中, 单位电流、单位时间内, 焊芯 (或焊丝) 的熔化量。

$$\alpha_p = \frac{m_0 - m_1}{It}$$

式中  $\alpha_p$  — 熔化系数 (g/Ah);

$m_0$  — 焊芯原质量 (g);

$m_1$  — 焊后剩下焊芯质量 (g);

$t$  — 焊接时间 (h);

$I$  — 焊接电流 (A)。

#### 五、熔化速度

熔化速度指熔焊过程中, 熔化电极在单位时间内熔化的长度或质量。

$$v_p = \frac{L_0 - L}{t}$$

式中  $v_p$  — 熔化速度 (mm/min);

$L_0$  — 焊条原长 (mm);

$L$  — 余下焊条头长度 (mm);

$t$  — 焊接时间 (min)。

例: 某焊条长 320mm, 经过 5min 的焊接, 剩下 40mm 焊条头, 求该焊条的熔化速度。

$$\text{解: } v_p = \frac{L_0 - L}{t} = \frac{320\text{mm} - 40\text{mm}}{5 \text{ min}} = 56\text{mm/min}$$

答: 该焊条的熔化速度为 56mm/min。

#### 六、熔敷速度

熔敷速度指熔焊过程中, 单位时间内熔敷在焊件上的金属量。

$$v_p = \frac{m - m_0}{t}$$

式中  $v_p$  — 熔敷速度 (kg/h);

$m$  焊后焊件的质量 (kg);

$m_0$ ——焊前焊件的质量 (kg);

$t$  焊接时间 (h)。

### 七、热输入<sup>①</sup>

热输入指熔焊时,由焊接能源输入给单位长度焊缝上的热能。

$$q = \eta UI/v$$

式中  $q$ ——热输入 (J/mm);

$U$ ——电弧电压 (V);

$I$ ——焊接电流 (A);

$v$  焊接速度 (mm/s);

$\eta$ ——热效率(焊条电弧焊  $\eta=0.7\sim 0.8$ ;埋弧焊  $\eta=0.8\sim 0.95$ ;

TIG 焊  $\eta=0.5$ )。

**例1:**用焊条电弧焊焊接 Q390 (原 15MnTi) 钢时,为防止和减小焊接热影响区的过热区脆化倾向,要求焊接时热输入不超过 30kJ/cm。如果选择焊接电流为 180A,电弧电压为 28V,试计算焊接速度应为多少?

已知:  $I=180\text{A}$ ;  $q=30\text{kJ/cm}$ ;  $U=28\text{V}$

求:  $v=?$

解: 由  $q = \eta UI/v$  取  $\eta=0.7$

$$\text{得 } v = \frac{\eta UI}{q} = \frac{0.7 \times 28 \times 180}{30000} \text{cm/s} = 0.118 \text{cm/s}$$

答: 应选用的焊接速度为 0.118 cm/s。

**例2:**已知某钢材焊接过程中焊条电弧焊的电弧电压为 26V,焊接电流为 200A,焊接速度为 0.2 cm/s,试求其焊接热输入 ( $\eta$  取 0.8)。

已知:  $I=200\text{A}$ ;  $v=0.2 \text{cm/s}$ ;  $U=26\text{V}$ ;  $\eta=0.8$

求:  $q=?$

$$\text{解: } q = \frac{\eta UI}{v} = 0.8 \times 26 \times 200 / 0.2 \text{kJ/cm} = 20.8 \text{kJ/cm}$$

答: 焊接热输入为 20.8 kJ/cm。

① 即原来常说的线能量。

**例 3:** 某钢材在焊接过程中的最佳热输入为  $24 \text{ kJ/cm}$ , 如果采用焊条电弧焊, 选用电弧电压为  $24 \text{ V}$ , 焊接速度为  $0.2 \text{ cm/s}$ , 其焊接电流应选用多少 ( $\eta$  取  $0.8$ )?

已知:  $q = 24 \text{ kJ/cm}$ ;  $U = 24 \text{ V}$ ;  $v = 0.2 \text{ cm/s}$ ;  $\eta = 0.8$

求:  $I = ?$

解: 由

$$q = \eta UI / v$$

$$\text{得 } I = \frac{qv}{\eta U} = \frac{24 \times 0.2 \times 10^4}{0.8 \times 24} \text{ A} = 250 \text{ A}$$

答: 焊接电流应选用  $250 \text{ A}$ 。

**例 4:** 某钢材焊接过程中的最佳热输入为  $24 \text{ kJ/cm}$ , 焊条电弧焊时, 如果选用  $240 \text{ A}$  的焊接电流施焊, 焊接速度为  $0.2 \text{ cm/s}$ , 求电弧电压为多少 ( $\eta$  取  $0.8$ )?

已知:  $I = 240 \text{ A}$ ;  $v = 0.2 \text{ cm/s}$ ;  $q = 24 \text{ kJ/cm}$ ;  $\eta = 0.8$

求:  $U = ?$

解: 由

$$q = \eta UI / v$$

$$\text{得 } U = \frac{qv}{\eta I} = \frac{24 \times 0.2 \times 10^4}{0.8 \times 240} \text{ V} = 25 \text{ V}$$

答: 电弧电压应是  $25 \text{ V}$ 。

## 八、熔合比

熔合比又称截面系数。熔合比指熔焊时, 被熔化的母材部分在焊道金属中所占的比例 (图 12-1)。

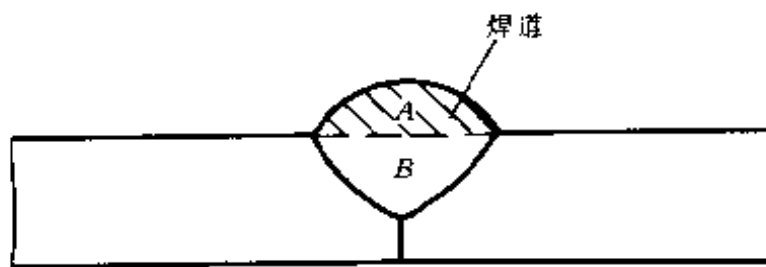


图 12-1 焊缝截面

$$\theta = \frac{A_A}{A_B + A_A}$$

式中  $\theta$ ——熔合比 (%)；

$A_A$ ——填充焊丝 (焊条) 所占面积；

$A_B$ ——母材所占面积。

### 九、碳当量

碳当量即把钢中合金元素(包括碳)的含量按其作用换算成碳的相当含量。它可作为评定钢材焊接性的一种参考指标。

国际焊接学会推荐:

$$w_{CE} = w_C + \frac{1}{5} w_{Mn} + \frac{1}{5} w_{Cr} + \frac{1}{5} w_{Mo} + \frac{1}{5} w_V + \frac{1}{15} w_{Ni} + \frac{1}{15} w_{Cu}$$

日本 JIS 标准所规定的:

$$w_{CE} = w_C + \frac{1}{6} w_{Mn} + \frac{1}{24} w_{Si} + \frac{1}{40} w_{Ni} + \frac{1}{5} w_{Cr} + \frac{1}{4} w_{Mo} + \frac{1}{14} w_V$$

CE 主要适用于中高强度的非调质低合金高强度钢 ( $\sigma_t = 500 \sim 900\text{MPa}$ )。

CE (JIS) 主要适用于低碳调质低合金高强度钢 ( $\sigma_t = 500 \sim 1000\text{MPa}$ )。

上述两个公式都适用于含碳量偏高的钢种 ( $w_C \geq 0.18\%$ )。这类钢的化学成分(质量分数)范围如下:

$$w_C \leq 0.2\%; w_{Si} \leq 0.55\%; w_{Mn} \leq 1.5\%; w_{Cu} \leq 0.5\%; w_{Ni} \leq 2.5\%; w_{Cr} \leq 1.25\%; w_{Mo} \leq 0.7\%; w_V \leq 0.1\%; w_B \leq 0.006\%。$$

例: 已知 30CrMnSiA 钢的化学成分如下, 求其碳当量。

#### 30CrMnSiA 钢的化学成分

(质量分数) (%)

$w_C$	$w_{Mn}$	$w_{Si}$	$w_{Cr}$	$w_{Ni}$
0.28 ~ 0.35	0.8 ~ 1.1	0.9 ~ 1.2	0.8 ~ 1.1	< 0.3

$$\begin{aligned} \text{解: } w_{CE} &= w_C + \frac{1}{6} w_{Mn} + \frac{1}{5} w_{Cr} + \frac{1}{5} w_{Mo} + \frac{1}{5} w_V + \frac{1}{15} w_{Ni} + \frac{1}{15} w_{Cu} \\ &= 0.35\% + \frac{1.1\%}{6} + \frac{1.1\%}{5} + 0 + 0 + \frac{0.3\%}{15} + 0 = 0.77\% \end{aligned}$$

答: 30CrMnSiA 钢的碳当量为 0.77%。

### 十、损失系数

损失系数指焊芯(或焊丝)在熔敷过程中的损失量与焊芯(或焊



丝) 原有质量的百分比。

$$\phi = \frac{m_1}{m} - \frac{v_{\text{Pav}} - v_{\text{Hav}}}{v_{\text{Pav}}} = 1 - \frac{D}{\Delta} \text{ 或 } D = (1 - \phi) \Delta$$

式中  $m$  —— 熔化焊芯 (或焊丝) 质量 (g);

$m_1$  —— 熔敷到焊缝金属中焊芯 (或焊丝) 金属质量 (g);

$v_{\text{Pav}}$  —— 熔化电极金属平均熔化速度 (g/h);

$v_{\text{Hav}}$  —— 熔化金属平均熔敷速度 (g/h);

$\alpha_{\text{P}}$  —— 熔化系数 (g/Ah);

$\alpha_{\text{H}}$  —— 熔敷系数 (g/Ah)。

由上述可见, 熔敷速度才是反映焊接生产率的指标。常用焊条的  $\alpha_{\text{P}}$  和  $\alpha_{\text{H}}$  见表 12-1。

表 12-1 常用焊条的  $\alpha_{\text{P}}$  与  $\alpha_{\text{H}}$

焊条型号	焊条牌号	熔化系数 $\alpha_{\text{P}}$ / (g/Ah)	熔敷系数 $\alpha_{\text{H}}$ / (g/Ah)
E4301	J423	10.1	9.7
E4303	J422	9.16	8.25
E4315	J127	9.5	9
E4320	J424	9.1	8.2
E5015	J507	9.06	8.49

### 十一、负载持续率

负载持续率是表示焊接电源工作状态的参数, 在选定的工作时间内 (我国标准规定 500A 以下的焊机工作时间周期为 5min), 负载工作的持续时间与全周期时间的比值介于 0~1 之间, 可用百分数表示。

$$DY_{\text{h}} = \frac{t}{T} \times 100\%$$

式中  $DY$  —— 负载持续率 (%);

$t$  —— 选定工作时间内负载的时间 (min);

$T$  —— 选定的工作时间周期 (min)。

**例 1:** 某焊机的额定焊接电流是 300A, 额定负载持续率是 60%, 求在工作周期内焊机的连续负载时间。

已知： $I_N = 300\text{A}$ ； $DY_N = 60\%$ ；工作周期  $T = 5\text{min}$

求：连续负载时间  $t$

解：
$$DY = \frac{t}{T} \times 100\%$$

$$t = TDY_N$$

$$t = 5\text{min} \times 60\% = 3\text{min}$$

答：在工作周期内连续负载时间为 3min。

不同实际负载持续率条件下，允许使用的输出电流可按下式计算：

$$I = \sqrt{\frac{DY_N}{DY}} I_N$$

式中  $DY_N$  额定负载持续率（%）；

$DY$ ——实际负载持续率（%）；

$I_N$ ——额定负载持续率时的额定焊接电流（A）；

$I$ ——实际负载持续率时允许使用的焊接电流（A）。

**例 2：**某电焊机在额定负载持续率  $DY_N = 60\%$  时的额定焊接电流  $I_N = 300\text{A}$ ，求实际负载持续率  $DY = 80\%$  时允许使用的焊接电流。

已知： $DY_N = 60\%$ ； $DY = 80\%$ ； $I_N = 300\text{A}$ 。

求： $I$

解：
$$I = \sqrt{\frac{DY_N}{DY}} I_N = \sqrt{\frac{60\%}{80\%}} \times 300\text{A} = 259.8\text{A}$$

答：当负载持续率为 80% 时，允许使用的焊接电流为 259.8A。

**例 3：**某电焊机额定负载持续率  $DY_N = 60\%$ ，其额定焊接电流  $I_N = 300\text{A}$ ，求实际使用焊接电流为  $I = 600\text{A}$  时，实际负载持续率为多少？

已知： $DY_N = 60\%$ ； $I_N = 300\text{A}$ ； $I = 600\text{A}$ 。

求： $DY$

解：由 
$$I = \sqrt{\frac{DY_N}{DY}} I_N$$

得 
$$DY = DY_N \frac{I_N^2}{I^2} = 60\% \times \frac{300^2}{600^2} = 15\%$$

答：实际负载持续率  $DY$  为 15%。

**例 4：**某电焊机额定负载持续率  $DY_N = 60\%$ ，而在实际负载持续率  $DY = 15\%$  时，允许使用的焊接电流  $I = 600\text{A}$ ，求该焊机的额定焊接电

流  $I_N$ 。

已知： $DY_N = 60\%$ ； $DY = 15\%$ ； $I = 600A$ 。

求： $I_N$

解：由 
$$I = \sqrt{\frac{DY_N}{DY}} I_N$$

得 
$$I_N = \frac{I}{\sqrt{\frac{DY_N}{DY}}} = \frac{600A}{\sqrt{\frac{60\%}{15\%}}} = 300A$$

答：该焊机的额定焊接电流  $I_N = 300A$ 。

**例 5：**某焊机的额定焊接电流  $I_N = 300A$ ，当实际负载持续率  $DY = 15\%$  时，允许使用的焊接电流  $I = 600A$ ，求该焊机的额定负载持续率  $DY_N$ 。

已知： $DY = 15\%$ ； $I = 600A$ ； $I_N = 300A$ 。

求： $DY_N$

解：
$$I = \sqrt{\frac{DY_N}{DY}} I_N$$

$$DY_N = \frac{I^2}{I_N^2} DY = \frac{600^2}{300^2} \times 15\% = 60\%$$

答：该焊机的额定负载持续率为  $60\%$ 。

**例 6：**已知某焊机的额定焊接电流  $I_N = 300A$ ，额定负载持续率  $DY_N = 60\%$ ，当实际负载持续率  $DY$  为  $40\%$  时，在  $5min$  周期为焊接电流可持续几分钟？

解：由 
$$DY = \frac{t}{T}$$

得 
$$t = T \cdot DY = 5min \times 40\% = 2min$$

答：在  $40\%$  实际负载持续率下，焊接周期为  $5min$  时，焊接电流可持续  $2min$ 。

## 第二节 焊接基础的有关计算

### 一、熔池长度

熔化焊时，熔池的形成需要一定的时间，经过这个时间以后，就进入准稳定时期，这时的熔池形状、质量、尺寸等都不再发生变化。熔池

的宽度与深度是沿  $x$  轴连续变化的。在一般情况下,随着焊接电流的增加,熔池最大深度增大,熔池的最大宽度相对减小,随着电弧电压的升高,熔池最大深度减小,熔池最大宽度增加。

熔池长度  $L$  可由下式进行近似估算:

$$L = CP - CUI$$

式中  $L$  ——熔池长度 (mm);  
 $C$  ——比例常数 (mm/kW);  
 $P$  ——电弧功率 (kW);  
 $U$  ——电弧电压 (V);  
 $I$  ——焊接电流 (A)。

$C$  与焊接方法及焊接电流有关,见表 12-2。

表 12-2  $C$  与焊接方法及焊接电流的关系

焊接方法	焊接电流 $I/A$	$C/$ (mm/kW)
焊条电弧焊	100~300	3.2~5.5
埋弧焊	150~370	3.5~4.8
	500~3000	2.4~3.2
TIG 焊	600	2.85
MIG 焊	200~300	3.8~4.8

例:埋弧焊时,  $U=28V$ ,  $I=300A$ , 试求埋弧焊熔池的长度 (设  $C=4$  mm/kW)。

解:  $L = CUI = 4 \times 10^{-3} \times 28 \times 300 \text{mm} = 33.6 \text{mm}$

答:熔池长度为 33.6mm。

二、熔池在液态存在的最长时间  $t_{max}$

$$t_{max} = \frac{L}{v}$$

式中  $L$  ——熔池的长度 (cm);  
 $v$  ——焊接速度 (cm/s)。

**例：**不锈钢氩弧焊，焊接电流为100A，电弧电压为23V，焊接速度  $v=7.2\text{m/h}$ ，求熔池存在的最长时间（设  $C=2.27\text{mm/kW}$ ）。

**解：**  $L=CUI=2.27\times 10^{-3}\times 23\times 100\text{mm}=5.22\text{mm}$

$$t_{\max} = \frac{L}{v} = \frac{5.22}{7.2 \times 1000} \text{s} = 2.61 \text{s}$$

**答：**熔池存在的最长时间为2.61s。

### 三、熔池平均存在时间 $t_{av}$

熔池的质量大小、电弧电压、焊接速度、焊接电流以及熔池的几何形状及物理参量等，都将确定熔池平均存在时间  $t_{av}$ 。熔池的几何形状及物理参量见表12-3。

$$t_{av} = \frac{m_p}{\rho v A_w}$$

式中  $m_p$ ——熔池质量 (g)；

$\rho$ ——熔池液态金属的密度 ( $\text{g/cm}^3$ )；

$v$ ——焊接速度 (cm/s)；

$A_w$ ——焊缝的横截面积 ( $\text{cm}^2$ )。

**例：**已知焊条电弧焊的熔池质量  $m_p=3.2\text{g}$  焊缝横断面积  $A_w=0.262\text{cm}^2$ ，焊接速度  $v=0.25\text{cm/s}$ ，求熔池平均存在时间（设  $\rho=7.8\text{g/cm}^3$ ）。

**解：**  $t_{av} = \frac{m_p}{\rho v A_w} = \frac{3.2}{7.8 \times 0.25 \times 0.262} \text{s} = 6.27 \text{s}$

**答：**熔池平均存在时间为6.27s。

### 四、传热及冷却

在钢板上进行单道全熔透焊接时，离焊缝熔合线  $x_{\text{mm}}$  远处峰值温度的计算公式：

$$\frac{1}{t_s - t_0} = \frac{4.13c_v \delta x}{q} + \frac{1}{t_m - t_0}$$

式中  $c_v$ ——体积比热容 ( $0.0044\text{J/mm}^3 \cdot \text{C}$ )；

$\delta$ ——焊件板厚 (mm)；

$x$ ——离焊缝熔合线的距离 (mm)；

$t_0$ ——焊件初始温度 (C)；

表 12-3 熔池的几何形状及物理参量

焊接方法	焊接参数					熔池长度 $L/\text{cm}^2$	焊缝横截面积 $\Delta w/\text{cm}^2$	熔池质量 $m_p/\text{g}$	熔池表面积 $A_p/\text{cm}^2$	熔池平均存在时间 $t_{av}/\text{s}$	熔池比表面积 $a_p/(\text{cm}^2/\text{kg})$
	极性	焊丝直径	$I/\text{A}$	$U/\text{V}$	$V/(\text{cm}/\text{s})$						
光焊丝	正	5	140~230	17~19	0.25	1.09~1.88	0.106~0.274	0.71~2.5	0.7~1.7	1~2.1	6.3~11.3
焊条电弧焊氧化铁型焊条	正	5	140~230	26	0.25	1.51~3.07	0.118~0.335	1.28~7.2	1.05~3.65	2.1~4.7	7.1~8.2
埋弧焊、不锈钢焊丝 HJ431 H18CrMoA	反	3	200~370	27~28	0.59	2~3.98	0.085~0.36	1.9~11.5	1.25~3.65	1.9~3.5	3.2~6.6
氩弧焊不锈钢焊丝 H1Cr18Ni9Ti	反	2	200~300	23~24.5	0.74	1.8~2.8	0.099~0.173	1.4~4.35	0.87~1.9	1~1.63	4.4~6

$q$  — 焊接热输入 (J/mm);

$t_m$  — 熔化温度 (°C)。

### 1. 求指定距离处峰值温度

**例 1:** 已知焊件  $\delta=5\text{mm}$ , 焊接参数为: 电弧电压  $U=20\text{V}$ , 体积比热容  $c_V=0.0044\text{ J/mm}^3\cdot\text{C}$ , 焊接电流  $I=220\text{A}$ , 焊接速度  $v=5\text{mm/s}$ , 热效率  $\eta=0.9$ , 板件初始均匀温度  $T_0=25\text{ }^\circ\text{C}$ , 焊接热输入  $q=720\text{ J/mm}$ , 熔化温度  $T_m=1510\text{ }^\circ\text{C}$ 。求离焊缝熔合线  $2\text{mm}$  和  $3.5\text{mm}$  处的峰值温度

**解:** ①  $x=2\text{ mm}$  处的峰值温度  $T_2$

$$\text{由 } \frac{1}{T_x - T_0} = \frac{4.13c_V\delta x}{q} + \frac{1}{T_m - T_0}$$

$$\text{得 } \frac{1}{T_2 - 25} = \frac{4.13 \times 0.0044 \times 5 \times 2}{720} + \frac{1}{1510 - 25} =$$

$$0.0002523 + 0.0006734 = 0.0009257$$

$$0.0009257T_2 - 25 \times 0.0009257 = 1$$

$$T_2 = \frac{1 + 0.0231425}{0.0009257} \text{ }^\circ\text{C} = 1105 \text{ }^\circ\text{C}$$

**答:** 离焊缝熔合线  $2\text{mm}$  处的峰值温度  $T_2 = 1105\text{ }^\circ\text{C}$ 。

②  $x=3.5\text{ mm}$  处的峰值温度  $T_{3.5}$

$$\text{由 } \frac{1}{T_{3.5} - T_0} = \frac{4.13c_V\delta x}{q} + \frac{1}{T_m - T_0} =$$

$$\frac{4.13 \times 0.0044 \times 5 \times 3.5}{720} + \frac{1}{1510 - 25} =$$

$$0.0004416 + 0.0006734 = 0.001115$$

$$\text{得 } T_{3.5} = \frac{1 + 25 \times 0.001115}{0.001115} \text{ }^\circ\text{C} = 921.86\text{ }^\circ\text{C}$$

**答:** 离焊缝熔合线  $3.5\text{mm}$  处的峰值温度  $T_{3.5} = 921.86\text{ }^\circ\text{C}$ 。

### 2. 求热影响区的宽度

对于大多数普通碳素钢和低合金结构钢都有一个很清楚的浸蚀边界, 相当于  $730\text{ }^\circ\text{C}$  的峰值温度。所以, 设  $b_{V,730}$  为热影响区宽度, 已知条件与例 1 相同。

$$\text{解: 由 } \frac{1}{T_x - T_c} = \frac{4.13c_V\delta x}{q} + \frac{1}{T_m - T_0}$$

$$\begin{aligned} \text{得 } \frac{1}{T_{730} - T_0} &= \frac{4.13 \times 0.0044 \times 5 \times b_{V_{730}}}{720} + \frac{1}{1510 - 25} \\ \frac{1}{730 - 25} &= 0.0001261 b_{V_{730}} + 0.0006734 \\ b_{V_{730}} &= \frac{1 - 0.474717}{0.0889} \text{ mm} = 5.9 \text{ mm} \end{aligned}$$

答：热影响区的宽度为 5.9 mm。

3. 求经过 430℃ 回火处理的淬火回火钢的热影响区宽度  
设其宽度为  $b_{V_{430}}$ ，已知条件与例 1 相同。

$$\begin{aligned} \text{解：由 } \frac{1}{T_r - T_0} &= \frac{4.13c_v \delta x}{q} + \frac{1}{T_m - T_0} \\ \text{得 } \frac{1}{430 - 25} &= \frac{4.13 \times 0.0044 \times 5 \times b_{V_{430}}}{720} + \frac{1}{1510 - 25} \\ 0.0024691 &= 0.0001261 b_{V_{430}} + 0.0006734 \\ b_{V_{430}} &= \frac{0.0024691 - 0.0006734}{0.0001261} \text{ mm} = 14.2 \text{ mm} \end{aligned}$$

答：热影响区宽度为 14.2 mm。

4. 求焊前预热的焊接热影响区宽度

经受淬火和 430℃ 回火热处理的钢材，一般都需要进行焊前预热，这种预热处理有扩大热影响区的副作用，假定预热温度为  $T_0 = 250^\circ\text{C}$ ，其热影响区宽度  $b_{V_{250}}$  的计算如下。

已知： $T_r = 430^\circ\text{C}$ ； $T_0 = 250^\circ\text{C}$ ； $T_m = 1510^\circ\text{C}$ ； $c_v = 0.0044 \text{ J/mm}^3\text{C}$ ；  
 $\delta = 5 \text{ mm}$ ； $q = 720 \text{ J/mm}$ 。

$$\begin{aligned} \text{解：由 } \frac{1}{T_r - T_0} &= \frac{4.13c_v \delta b_{V_{250}}}{q} + \frac{1}{T_m - T_0} \\ \text{得 } \frac{1}{430 - 250} &= \frac{4.13 \times 0.0044 \times 5 \times b_{V_{250}}}{720} + \frac{1}{1510 - 250} \\ 0.005556 &= 0.000126194 b_{V_{250}} + 0.00079365 \\ b_{V_{250}} &= \frac{0.005556 - 0.00079365}{0.000126194} \text{ mm} = 37.7 \text{ mm} \end{aligned}$$



答：焊前预热 250℃，则焊接热影响区宽度为 37.7 mm。

### 5. 冷却速度的计算

计算和比较冷却速度时，最有效的方法是确定焊缝中心线上的金属经过某一关键温度  $T_c$  瞬间的冷却速度，从而用厚板或薄板的冷却速度公式来计算预热温度或确定焊接条件下的临界冷却速度。

薄板计算公式：

$$v_{cr} = 2\pi\lambda c_v \left( \frac{\delta}{q} \right)^2 (T_c - T_0)^3$$

式中  $v_{cr}$  —— 临界冷却速度 (℃/s)；

$\lambda$  —— 热导率 (W/mm·℃)；

$\eta$  —— 热效率；

$\delta$  —— 板厚 (mm)；

$c_v$  —— 体积比热容 (J/mm<sup>3</sup>·℃)；

$T_0$  —— 试件的初始温度 (℃)；

$T_c$  —— 焊缝中心线上某点冷却过程中的某瞬时温度 (℃)；

$q$  —— 热输入 (J/mm)。

例：已知电弧电压  $U=25\text{V}$ ，焊接电流  $I=320\text{A}$ ，对接板厚  $\delta=4\text{mm}$ ，热效率  $\eta=0.9$ ， $\lambda=0.028\text{ J/mm s}\cdot\text{℃}$ ，熔敷速度  $v_H=8\text{ mm/s}$ ， $T_0=25\text{℃}$ ， $T_c=550\text{℃}$ ，体积比热容  $c_v=0.0044\text{ J/mm}^3\text{℃}$ ，求临界冷却速度。

解：由  $v_{cr} = 2\pi\lambda c_v \left( \frac{\delta}{q} \right)^2 (T_c - T_0)^3$

$$q = \frac{\eta UI}{v_H} = \frac{0.9 \times 25 \times 320}{8} \text{ J/mm} = 900 \text{ J/mm}$$

$$\begin{aligned} \text{得 } v_{cr} &= 2 \times 3.14 \times 0.028 \times 0.0044 \times \left( \frac{4}{900} \right)^2 (550 - 25)^3 = \\ &= 0.0007736 \times 0.000197 \times 144703125 \text{ } ^\circ\text{C/s} = \\ &= 2.2 \text{ } ^\circ\text{C/s} \end{aligned}$$

答：在焊接条件下，该钢材的最大安全冷却速度为 2.2℃/s。

### 6. 凝固时间的计算

焊缝金属的凝固速度对金属的金相组织、性能、热处理反应以及致密度都有很重要的影响，焊缝金属的凝固时间  $t$  取决于焊接热输入的

大小。其计算公式如下：

$$t = \frac{Q_1 q}{2\pi\lambda c_v (T_m - T_0)^2}$$

式中  $Q_1$  — 熔化潜热 ( $\text{J}/\text{mm}^3$ )；  
 $q$  — 焊接热输入 ( $\text{J}/\text{mm}$ )；  
 $c_v$  — 体积比热容 ( $\text{J}/\text{mm}^3 \cdot \text{C}$ )；  
 $\lambda$  — 金属热导率 ( $\text{W}/\text{mm} \cdot \text{C}$ )；  
 $T_0$  — 初始温度 ( $\text{C}$ )；  
 $T_m$  — 熔化温度 ( $\text{C}$ )；  
 $t$  — 凝固时间 (s)。

**例：**已知焊接热输入  $q = 942 \text{ J}/\text{mm}$ ，初始温度  $T_0 = 25 \text{ C}$ ，体积比热容  $c_v = 0.0044 \text{ J}/\text{mm}^3 \cdot \text{C}$ ，熔化潜热  $Q_1 = 2 \text{ J}/\text{mm}^3$ ，金属热导率  $\lambda = 0.028 \text{ W}/\text{mm} \cdot \text{C}$ ，试求焊缝金属的凝固时间

**解：**由 
$$t = \frac{Q_1 q}{2\pi\lambda c_v (T_m - T_0)^2}$$

得 
$$t = \frac{2 \times 942}{2 \times 3.14 \times 0.028 \times 0.0044 \times (1510 - 25)^2} = \frac{1884}{1706} \text{ s} = 1.1 \text{ s}$$

**答：**焊缝金属某点的凝固时间为 1.1 s

### 五、合金元素在焊缝中含量的计算

合金元素在焊缝中的含量，对于多层多道焊缝来说，影响因素较多，各道焊缝合金元素含量并不相等，靠近母材的焊缝成分与熔敷金属成分相差较多，而远离母材的焊缝成分与熔敷金属成分接近。在实际焊接过程中，常用控制熔合比的方法来减少母材对焊缝的稀释作用，以满足焊缝对成分和性能的要求。对于单层单道焊缝，焊缝成分可以通过下式计算得出。

焊条电弧焊： $w_w = \eta_1 \theta w_b + \eta_2 (1 - \theta) w_c$

气体保护电弧焊： $w_w = \eta_1 \theta w_b + \eta_2 (1 - \theta) w_{cw}$

式中  $w_w$  — 合金元素在焊缝中的含量 (%)；

$w_b$  — 合金元素在母材中的原始含量 (%)；

$w_c$  —— 合金元素在焊条中的原始含量 (%)；

$w_{cw}$  —— 合金元素在焊丝中的原始含量 (%)；

$\eta_1$  —— 母材中合金元素的过渡系数 (%) ( $\eta_1 = 1$ )；

$\eta_2$  —— 焊接材料中合金元素的过渡系数 (%)；

$\theta$  —— 熔合比 (%)。

$$\eta = \frac{w_f}{w_T} \%$$

式中  $\eta$  —— 某合金元素的过渡系数 (%)；

$w_f$  —— 熔敷金属中合金元素的含量 (%)；

$w_T$  —— 焊接材料 (焊丝、焊条、焊剂) 中某合金元素的原始总含量 (%)；

合金元素的过渡系数  $\eta$  还可以通过下式计算：

$$\text{焊条电弧焊: } \eta = \frac{w_d}{w_c} = \frac{w_d}{w_{rw} + K_b w_{co}}$$

$$\text{气体保护电弧焊: } \eta = \frac{w_f}{w_{cw}}$$

式中  $w_d$  —— 合金元素在熔敷金属中的含量 (%)；

$w_c$  —— 合金元素在焊条中的含量 (%)；

$w_{rw}$  —— 合金元素在焊芯中的含量 (%)；

$w_{co}$  —— 合金元素在焊条药皮中的含量 (%)；

$K_b$  —— 焊条药皮质量系数；

$\eta$  —— 某合金元素的过渡系数 (%)。

**例 1:** 用 E5015 焊条焊接含锰质量分数为 1.5% 的 Q345 (16Mn) 钢, 已知母材中的合金元素可全部过渡到焊缝中去, 熔合比为 40%, 求焊条及焊缝中的含锰量 (设 E5015 焊条的合金元素过渡系数为 24%, 熔敷金属含锰质量分数为 1.7%)。

**解:**

(1) 已知:  $w_d = 1.7\%$ ;  $\eta_2 = 24\%$

$$\text{由 } \eta_2 = \frac{w_d}{w_c}$$

$$\text{得 } w_w = \frac{w_d}{\eta_2} = \frac{1.7\%}{24\%} = 7.08\%$$

答：合金元素锰（Mn）在焊条中的质量分数为 7.08%。

(2) 已知： $\theta = 10\%$ ； $\eta = 1$ ；母材含锰量  $w_b = 1.6\%$

$$\text{由 } w_w = \eta_1 \theta w_b + \eta_2 (1 - \theta) w_c \quad \text{和} \quad \eta_2 = \frac{w_d}{w_c}$$

$$\begin{aligned} \text{得 } w_w &= \eta_1 \theta w_b + (1 - \theta) w_d = 1 \times 10\% \times 1.6\% + (1 - \\ & 10\%) \times 1.7\% = \\ & 0.64\% + 1.02\% = 1.66\% \end{aligned}$$

答：合金元素锰在焊缝中的质量分数为 1.66%。

**例 2：**用  $\text{CO}_2$  气体保护焊焊接 Q235A 钢，当要求焊缝含硅质量分数为 0.16% 时，求焊丝的含硅量（设熔合比为 50%，母材过渡系数为 73%，母材含硅质量分数为 0.24%，焊丝过渡系数为 20%）。

$$\text{解：由 } w_w = \eta_1 \theta w_b + \eta_2 (1 - \theta) w_{cw}$$

$$\text{得 } w_{cw} = \frac{w_w - \eta_1 \theta w_b}{\eta_2 (1 - \theta)}$$

已知： $w_w = 0.16\%$ ； $\theta = 50\%$ ； $\eta_1 = 73\%$ ； $w_b = 0.24\%$ ； $\eta_2 = 20\%$ 。

将已知数据代入上式中，得

$$w_{cw} = \frac{0.16\% - 73\% \times 50\% \times 0.24\%}{20\% \times (1 - 50\%)} = \frac{0.0724\%}{10\%} = 0.72\%$$

答：为保证焊缝金属含硅量，焊丝中含硅的质量分数应为 0.72%。

**例 3：**用  $\text{CO}_2$  气体保护焊焊接 Q235A 钢时，为防止气孔产生，要求焊缝中含硅量  $w_w$  为 0.15%，求焊丝的含硅量（设焊丝在焊缝中的熔合比为 50%，母材硅的过渡系数为 73%，母材含硅质量分数为 0.24%，焊缝硅过渡系数为 23%）。

已知：熔合比  $\theta_c = \theta_w = 50\%$ ，母材过渡系数  $\eta_1 = 73\%$ ，焊丝硅过渡系数  $\eta_2 = 23\%$ ，母材含硅量  $w_b = 0.24\%$

$$\text{焊缝含硅量：} w_w = \eta_2 \theta_c w_{cw} + \eta_1 \theta_w w_b$$

式中  $w_{cw}$ 、 $w_b$  —— 焊丝、母材中硅元素含量（%）；

$\eta_2$ 、 $\eta_1$  —— 焊丝、母材中硅元素过渡系数（%）；

$\theta_w$ 、 $\theta_b$  ——焊丝、母材熔合比(%)。

解: 
$$w_{c_w} = \frac{w_w \cdot \eta_1 \theta_b \theta_w \eta_2}{\eta_2 \theta_b} =$$

$$\frac{0.15\% - 73\% \times 50\% \times 0.24\%}{23\% \times 50\%} =$$

$$\frac{0.0625\%}{0.115\%} = 0.54\%$$

答: 焊丝中含硅质量分数应为 0.54%。

### 六、氧气与乙炔的有关计算

#### 1. 氧气瓶内氧气贮存量的计算公式

$$V = 10V_0 p$$

式中  $V_0$  —— 氧气瓶容积 (L);

$p$  —— 氧气瓶内的氧气压力 (MPa);

$V$  —— 氧气贮存量 (L)。

**例** 40L 容积的氧气瓶, 当瓶内氧气压力为 15MPa 时, 瓶内氧气为多少?

解: 
$$V = 10V_0 p$$

$$10 \times 40 \times 15L = 6000L$$

#### 2. 氧气瓶温度与气瓶压力的关系

$$p = 15 \times \frac{273+t}{293}$$

式中  $t$  —— 气瓶实际温度 (C);

$p$  —— 气瓶在实际温度下具有的压力 (MPa)。

**例 1:** 40L 容积的氧气瓶, 在 20°C 条件下充装 15MPa 的氧气, 在露天存放时, 气瓶温度升高到 80°C, 试求瓶内气体压力。

解: 
$$p = 15 \times \frac{273+t}{293} = 15 \times \frac{273+80}{293} \text{MPa} = 15 \times \frac{353}{293} \text{MPa} =$$

$$15 \times 1.2 \text{MPa} = 18.07 \text{MPa}$$

答 80°C 时, 瓶内压力为 18.07 MPa

**例 2:** 40L 容积的氧气瓶, 在 20°C 充装 15MPa 氧气, 当气瓶在阳光下曝晒后瓶内气体压力已达到 18MPa 时, 求这个压力下的瓶体温

度。

解：由  $\rho = 15 \times \frac{273+t}{293}$

得  $t = \frac{\rho \times 293}{15} - 273 = \left( \frac{18 \times 293}{15} - 273 \right) \text{ } ^\circ\text{C} = 78.6 \text{ } ^\circ\text{C}$

答：瓶体温度达到 78.6℃。

### 3. 氧气质量与密度的关系

$$V = m / \rho$$

式中  $V$  —— 气体体积 ( $\text{m}^3$ )；

$m$  —— 气体质量 ( $\text{kg}$ )；

$\rho$  —— 气体密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )。

**例 1：**空氧气瓶的质量是 60kg，装入氧气后的质量为 68kg，氧气的温度为 0℃（氧气在 0℃的密度是 1.429kg/m<sup>3</sup>），试求瓶内贮存的氧气是多少标准立方米。

解：  $V = m / \rho =$

$$\frac{68 - 60}{1.429} \text{m}^3 = 5.598 \text{m}^3$$

答：瓶内贮存氧气是 5.598 m<sup>3</sup>。

**例 2：**已知氧气瓶容积是 40L，在 0℃的温度下装入 15MPa 氧气，求瓶内氧气质量（氧气在 0℃的密度是 1.429 kg/cm<sup>3</sup>）。

解：  $V = 10V_0 p = 10 \times 40 \times 15 \text{L} = 6000 \text{L} = 6 \text{m}^3$

又  $V = m / \rho$

故  $m = V \rho = 6 \times 1.429 \text{kg} = 8.57 \text{kg}$

答：瓶内氧气质量是 8.57 kg。

### 4. 切割用乙炔的计算

**例** 用氧乙炔切割厚度  $\delta = 20 \text{mm}$  的钢板时，乙炔和氧气消耗量的比值为 1 : 6，切割每米钢板的氧气消耗量为 145L，试求切割 6 m 长钢板所需的乙炔是多少。

解： 设切割每米钢板的乙炔消耗量为  $V_0$ 。

已知切割过程中，乙炔和氧气消耗量的比值是 1 : 6，而切割每米钢板的氧气消耗量为 145L，所以切割每米钢板乙炔的消耗量为

$$V_{C_2H_2} = \frac{V_{O_2} \times 1}{6}$$

切割 6m 长钢板的乙炔消耗量为：

$$V_{C_2H_2} = \frac{V_{O_2} \times 1}{6} \times 6 = \frac{145 \times 1}{6} \times 6 \text{ L} = 145 \text{ L}$$

答：切割 6m 长钢板需乙炔气 145L。

### 5. 电石分解的计算

**例：**分解 10kg 电石，理论上需要多少水（CaC<sub>2</sub> 的摩尔质量为 64.08g/mol，H<sub>2</sub>O 的摩尔质量为 18g/mol）。

**解：**设理论上需要水为  $x$ ， $\text{CaC}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{C}_2\text{H}_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2$

将已知数据代入化学反应式中得：

$$64.08 : 2 \times 18 = 10 : x$$

$$x = \frac{2 \times 18 \times 10}{64.08} \text{ kg} = 5.62 \text{ kg}$$

答：理论上需要 5.62 kg 水。

## 第三节 焊接材料、电力消耗定额的制定与计算

电弧焊技术定额内容包括焊接材料和电力消耗定额及劳动定额两大部分。焊接材料消耗定额主要包括：焊条消耗定额、焊丝消耗定额、焊剂消耗定额、保护气体消耗定额等。焊接产品成本的高与低，都与认真制定、认真执行这些定额有很大关系。

### 一、焊条消耗定额的制定

(1) 焊条消耗量通常按下式计算

$$m = \frac{Al\rho}{1-K_0}$$

式中  $m$  焊条消耗量 (g)；

$A$ ——焊缝横截面积 (cm<sup>2</sup>) (见表 12-4)；

$l$ ——焊缝长度 (cm)；

$\rho$ ——熔敷金属的密度 (g/cm<sup>3</sup>)；

表 12-4 焊缝横截面积的计算公式

焊缝名称	计算公式	焊缝横截面图
I 形坡口单面对接焊缝	$A = \delta b + \frac{2}{3} hc$	
I 形坡口双面对接焊缝	$A = \delta b + \frac{4}{3} hc$	
V 形坡口对接焊缝 (不做封底焊)	$A = \delta b + (\delta - p)^2 \tan \frac{\alpha}{2} + \frac{2}{3} hc$	
单边 V 形坡口对接焊缝 (不做封底焊)	$A = \delta b + \frac{(\delta - p)^2 \tan \beta}{2} + \frac{2}{3} hc$	



(续)

焊缝名称	计算公式	焊缝横截面图
U形坡口对接焊缝 (不做封底焊)	$A = \delta b + (\delta - p - r)^2 \tan \beta + 2r(\delta - p - r) + \frac{\pi r^2}{2} + \frac{2}{3} hc$	
V形、U形坡口对接根部不挑焊根的封底焊	$A = \frac{2}{3} k_1 c_1$	
保留钢垫板的V形坡口对接焊缝	$A = \delta b + \delta^2 \tan \frac{\alpha}{2} + \frac{2}{3} hc$	

(续)

焊缝名称	计算公式	焊缝横截面图
X形坡口对接焊缝 (坡口对称)	$A = \delta b + \frac{(\delta - p)^2 \tan \frac{\alpha}{2}}{2} + \frac{4}{3} hc$	
K形坡口对接焊缝 (坡口对称)	$A = \delta b + \frac{(\delta - p)^2 \tan \beta}{4} + \frac{4}{3} hc$	
双U形坡口平对接焊缝 (坡口对称)	$A = \delta b + 2r(\delta - 2r - p) + \frac{(\delta - 2r - p)^2 \tan \beta}{2} + \frac{4}{3} hc$	

(续)

焊缝名称	计算公式	焊缝横截面图
I形坡口的角焊缝	$A = \frac{K^2}{2} + Kh$	
单边V形坡口T形接头焊缝	$A = \delta b + \frac{(\delta - p)^2 \tan \alpha}{2} + \frac{2}{3} hc$	
双边V形坡口T形接头焊缝	$A = \delta b + \frac{(\delta - p)^2 \tan \alpha}{4} + \frac{4}{3} hc$	

$K_1$ — 焊条损失系数 (见表 12-5)。

表 12-5 焊条损失系数  $K_1$

焊条型号 (牌号)	E1303 (J422)	E4320 (J424)	E5014 (J502Fe)	E5015 (J507)
$K_1$	0.465	0.47	0.41	0.44

例 1: 某工字梁长 10m, 焊脚尺寸为 10mm, 求用 E5014 焊条焊接时, 需要多少千克焊条?

解: 已知  $l=10\text{m}\times 4=4000\text{cm}$ ;  $K=10\text{mm}=1\text{cm}$ ;  $\rho=7.8\text{g}/\text{cm}^3$ ; 查表 12-5 知焊条损失系数  $K_1=0.41$

$$A=\frac{1}{2}K^2=\frac{1}{2}\times 1\times 1\text{cm}^2=0.5\text{cm}^2$$

$$\text{故 } m=\frac{Al\rho}{1-K_1}=\frac{0.5\times 4000\times 7.8}{1-0.41}\text{g}$$

$$=26440.68\text{g}\approx 26.44\text{kg}$$

答: 需要 E5014 焊条 26.44 kg。

例 2: 某容器直径为 8m, 环焊缝横截面积为  $4.8\text{cm}^2$ , 试求焊一圈焊缝需要多少焊条?

解: 已知  $A=4.8\text{cm}^2$ ;  $\rho=7.8\text{g}/\text{cm}^3$ ;  $D=8\text{m}=800\text{cm}$ ;  $K_1$  取 0.5;  
 $\therefore l=\pi D=3.14\times 800\text{cm}=2512\text{cm}$

$$\text{故 } m=\frac{Al\rho}{1-K_1}=\frac{4.8\times 2512\times 7.8}{1-0.5}\text{g}$$

$$=188098.56\text{g}\approx 188.1\text{kg}$$

答: 需要焊条 188.1 kg

例 3: 焊接一个 10m 长的工字梁, 焊脚尺寸为 8mm, 试求焊条损失系数为 0.5 时需用多少焊条?

解: 工字梁为 4 条 10m 长焊缝,  $l=4\times 10\text{m}=4000\text{cm}$

$$A=\frac{1}{2}K^2=\frac{1}{2}\times 0.8\times 0.8\text{cm}^2=0.32\text{cm}^2$$

又  $\rho=7.8\text{g}/\text{cm}^3$ ;  $K=0.5$

$$\text{故 } m=\frac{Al\rho}{1-K_1}=\frac{0.32\times 4000\times 7.8}{1-0.5}=19968\text{g}\approx 19.97\text{kg}$$

答: 需要焊条 19.97 kg。

**例 4:** 焊制一台直径 10m, 板厚  $\delta=40$  mm 的容器, 求焊制筒节对接焊缝时需要多少焊条 ( $\rho=7.8$  g/cm<sup>3</sup>)。焊缝断面见图 12-2。

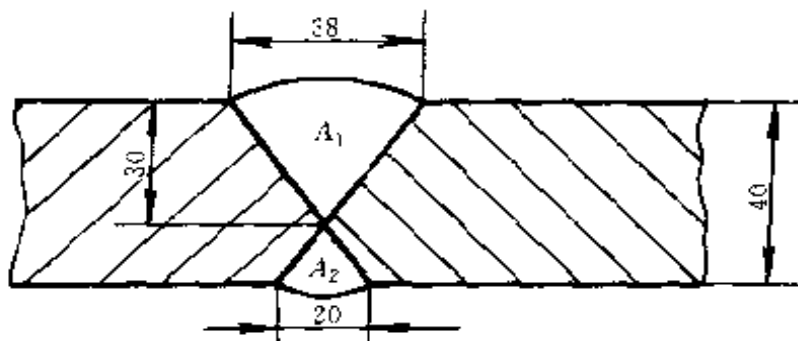


图 12-2 筒节对接断面

**解:** 焊缝长  $l=\pi D=3.14 \times 1000$  cm = 3140 cm

$$A_1 = \frac{1}{2} \times 3.8 \times 3 \text{ cm}^2 = 5.7 \text{ cm}^2$$

$$A_2 = \frac{1}{2} \times 2 \times 1 \text{ cm}^2 = 1 \text{ cm}^2$$

$$A = A_1 + A_2 = 5.7 \text{ cm}^2 + 1 \text{ cm}^2 = 6.7 \text{ cm}^2$$

取焊条损失系数  $K_s=0.5$

$$m = \frac{Al\rho}{1-K_s} = \frac{6.7 \times 3140 \times 7.8}{1-0.5} = 328192.8 \text{ g} \approx 328.2 \text{ kg}$$

**答:** 需要焊条 328.2 kg。

**例 5:** 某结构为厚  $\delta=10$  mm 板的搭接焊接 (见图 12-3), 焊脚尺寸  $K=8$  mm, 求焊完全部焊缝需要多少焊条?

**解:**  $\delta=10$  mm = 1 cm;  $l_1=2000=200$ cm (两条);  $K=8$  mm = 0.8 cm

$$A = \frac{1}{2} \times 0.8 \times 0.8 \text{ cm}^2 = 0.32 \text{ cm}^2; \text{ 取 } K_s=0.5; \rho=7.8 \text{ g/cm}^3$$

$$l = 2l_1 = 200 \text{ cm} \times 2 = 400 \text{ cm}$$

$$\text{故 } m = \frac{Al\rho}{1-K_s} = \frac{0.32 \times 400 \times 7.8}{1-0.5} = 1996.8 \text{ g} \approx 1.999 \text{ kg}$$

**答:** 需要焊条 1.999 kg。

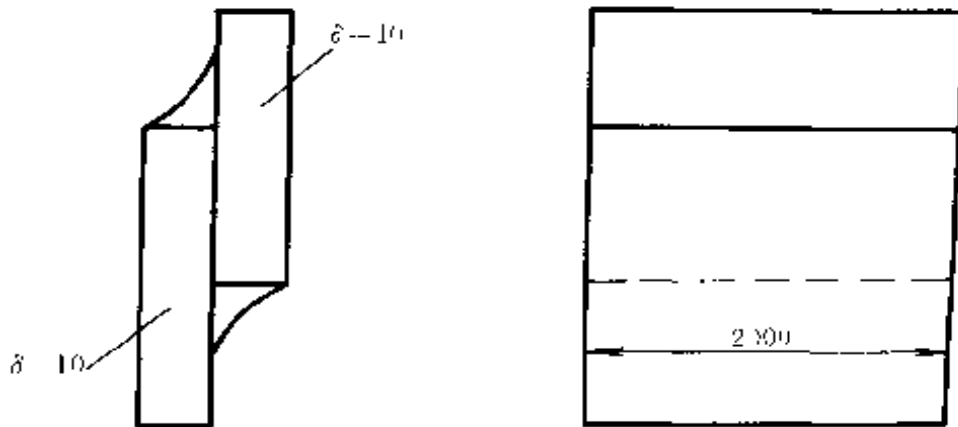


图 12-3 搭接接头焊缝截面

(2) 非铁粉型焊条消耗量也可按下式计算

$$m = \frac{Al\rho}{K_n} (1 + K_b)$$

式中  $m$  — 焊条消耗量 (g);

$A$  — 焊缝横截面积 (见表 12-4) ( $\text{cm}^2$ );

$l$  — 焊缝长度 (cm);

$\rho$  — 熔敷金属的密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

$K_b$  — 药皮质量系数 (见表 12-6);

$K_n$  — 金属由焊条到焊缝的转熔系数 (包括因烧损、飞溅及焊条头在内的损失) (见表 12-7)。

表 12-6 药皮质量系数  $K_b$ 

焊条型号 (牌号)	E4301 (J423)	E4303 (J422)	E4320 (J424)	E4316 (J426)	E5016 (J506)	E5015 (J507)
$K_b$	0.325	0.45	0.46	0.32	0.32	0.41

表 12-7 焊条转熔系数  $K_n$ 

焊条型号 (牌号)	E4303 (J422)	E4301 (J423)	E4320 (J424)	E5015 (J507)
$K_n$	0.77	0.7	0.77	0.79

例 1: 有一角接头 (见图 12-4), 焊脚尺寸  $K=10\text{ mm}$ ,  $h=2\text{ mm}$ , 求: 焊接  $1\text{ m}$  焊缝需 E4303 焊条的数量。

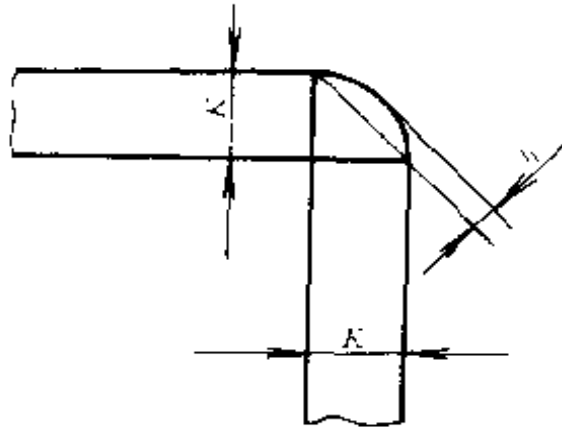


图 12-4 角接接头的焊缝截面

解: 已知  $K=10\text{ mm}=1\text{ cm}$ ;  $h=2\text{ mm}=0.2\text{ cm}$ ;  $l=1\text{ m}=100\text{ cm}$ ;  
 $\rho=7.8\text{ g/cm}^3$

焊条 E4303 查表 12-6 和表 12-7 得  $K_b=0.45$ ;  $K_n=0.77$

故  $A = \frac{1}{2}K^2 + Kh = \frac{1}{2} \times 1^2\text{ cm}^2 + 1 \times 0.2\text{ cm}^2 = 0.7\text{ cm}^2$

$$\text{又 } m = \frac{Al\rho}{K_n} (1 + K_b) = \frac{0.7 \times 100 \times 7.8}{0.77} (1 + 0.45)\text{ g} = 1028.18\text{ g} = 1.028\text{ kg}$$

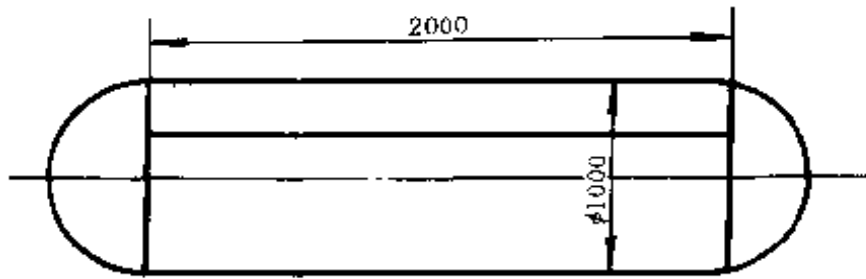
答: 需要 E4303 焊条  $1.028\text{ kg}$ 。

例 2: 焊接壁厚  $\delta=22\text{ mm}$  的圆筒容器, 该容器共有两条环缝和一条纵缝, 其中筒节纵缝横截面积  $A_l=2.54\text{ cm}^2$ , 封头对接环缝的横截面积  $A_H=2.32\text{ cm}^2$ , 见图 12-5, 试问 25kgE5015 焊条是否够用。

已知: E5015 焊条  $K_n=0.79$  (查表 12-7);  $K_b=0.41$  (查表 12-6);  $A_l=2.54\text{ cm}^2$ ;  $A_H=2.32\text{ cm}^2$ ;  $\rho=7.8\text{ g/cm}^3$ ;  $l_2=2000\text{ mm}=200\text{ cm}$ ;  $D=1000\text{ mm}=100\text{ cm}$

解: ① 焊接两条环缝焊条用量

由 
$$m_H = \frac{A_H l_H \rho}{K_n} (1 + K_b)$$

图 12-5  $\delta=22$  mm 圆筒容器

$$A=2.32 \text{ cm}^2; l_H=\pi D=2 \times 3.14 \times 100 \text{ cm}=628 \text{ cm}$$

$$\text{得 } m_H = \frac{2.32 \times 628 \times 7.8}{0.79} (1+0.41) \text{ g} =$$

$$20283 \text{ g} \approx 20.3 \text{ kg}$$

## ② 焊对接纵缝焊条用量

$$\text{由 } m_z = \frac{A_z l_z \rho}{K_n} (1+K_b)$$

$$\text{得 } m_z = \frac{2.54 \times 200 \times 7.8}{0.79} (1+0.41) \text{ g} = 7072 \text{ g} \approx 7.07 \text{ kg}$$

用焊条总量  $m = m_H + m_z = 20.3 \text{ kg} + 7.07 \text{ kg} = 27.37 \text{ kg} > 25 \text{ kg}$

答：需用 27.37 kg 焊条，25 kg E5015 焊条不够用。

## 二、焊丝消耗定额的制定

单件焊丝消耗量  $m_s$

$$m_s = \frac{A l \rho}{1000 K_n}$$

式中  $A$ ——焊缝熔敷金属截面积（见表 12-4）（ $\text{cm}^2$ ）；

$l$ ——焊缝长度（cm）；

$\rho$ ——熔敷金属密度（ $\text{g}/\text{cm}^3$ ）；

$K_n$ ——金属由焊条到焊缝的转熔系数，常取  $K_n=0.92 \sim 0.99$ ；

$m_s$ ——单件焊丝消耗量（kg）。

**例** I 形坡口双面对接 TIG 焊，见图 12-6，焊缝长度为 1m，求焊丝消耗量。

**解**：由题意知  $\delta=5 \text{ mm}$ ； $b=2 \text{ mm}$ ； $c=6 \text{ mm}$ ； $l=100 \text{ cm}$ ； $h=2 \text{ mm}$ ； $\rho=7.8 \text{ g}/\text{cm}^3$ ； $K_n=0.95$ ；查表 12-4 得



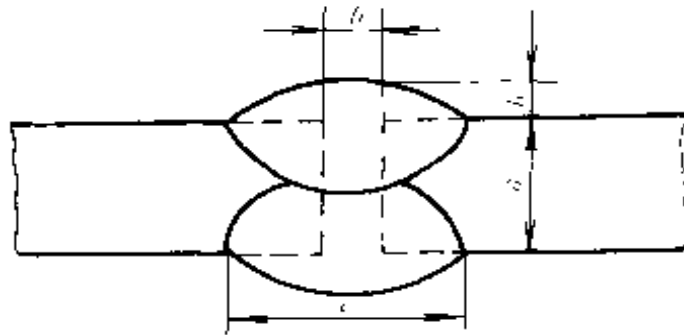


图 12-6 J形坡口双面对接 TIG 焊的焊缝截面

$$A = \delta b + \frac{4}{3}hc$$

$$A = \left( 0.5 \times 0.2 + \frac{4}{3} \times 0.5 \times 0.2 \right) \text{cm}^2 = 0.26 \text{cm}^2$$

故  $m_s = \frac{A\rho}{1000K_n} = \frac{0.26 \times 100 \times 7.8}{1000 \times 0.95} \text{kg} = 0.21 \text{kg}$

答：需要焊丝 0.21 kg。

### 三、焊剂消耗定额的制定

焊剂消耗定额有两种制定方法，见表 12-8。

表 12-8 焊剂消耗定额的制定

制定方法	内 容
实测方法	实际测出每种板厚、每米焊缝所消耗的焊剂质量，然后由焊缝总长度计算年耗量
概略计算	约是焊丝消耗量的 0.8~1.2 倍

例：厚  $\delta = 8 \text{ mm}$  的两块板采用埋弧焊，J形坡口双面焊接（见图 12-7）。已知： $c = 6 \text{ mm}$ ， $b = 3 \text{ mm}$ ， $h = 2 \text{ mm}$ ， $\rho = 7.8 \text{ g/cm}^3$ ， $K_n = 0.9$ ，试求 1 m 长焊缝的焊剂消耗量。

解：查表 12-4 可知

$$A = \delta b + \frac{4}{3}hc =$$

$$8 \times 10^{-3} \times 3 \times 10^{-3} \text{cm}^2 + \frac{4}{3} \times 6 \times 10^{-3} \times 2 \times 10^{-3} \text{cm}^2 =$$

$$40 \times 10^{-2} \text{ cm}^2$$

$$\text{又} \quad m_s = \frac{A \rho}{1000 K_n}$$

$$\text{故} \quad m_s = \frac{10 \times 10^{-2} \times 10^2 \times 7.8}{1000 \times 0.9} \text{ kg} = 0.35 \text{ kg}$$

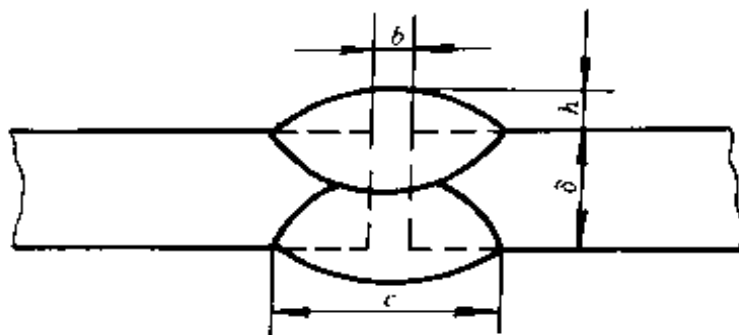


图 12-7 I 形坡口双面焊缝的截面

根据概略计算, 1m 长焊缝埋弧焊焊剂消耗量为焊丝消耗量的 0.8~1.2 倍, 本题取 1, 故

$$m_j = m_s = 0.35 \text{ kg}$$

答: 埋弧焊 1m 长焊缝, 消耗焊剂 0.35 kg。

#### 四、保护气体消耗量的计算

$$V = q_v (1 + \eta) t n$$

式中  $V$ ——保护气体体积 (L);

$q_v$ ——保护气体体积流量 (L/min);

$t$ ——单件焊接基本时间 (min);

$n$ ——每年、每月或每周焊件数量;

$\eta$ ——气体损耗系数 (常用 0.03~0.05)。

例:  $\text{CO}_2$  气体保护焊, 板厚  $\delta = 2 \text{ mm}$ , 对接焊接过程中气体体积流量  $q_v = 8 \text{ L/min}$ , 每件需焊 5 min, 共 10 件。当  $\eta = 0.04$  时, 完成这批焊件所需  $\text{CO}_2$  气体为多少?

$$\text{解: } V = q_v (1 + \eta) t n = 8 \times (1 + 0.04) \times 5 \times 10 \text{ L} = 416 \text{ L}$$

答: 需要  $\text{CO}_2$  气体 416L。

标准容量 40L 的钢瓶, 可以灌入 25kg 液态  $\text{CO}_2$ , 在 0℃ 和 101.325 kPa (1 个大气压) 下, 1kg  $\text{CO}_2$  可以气化成 509L 气态  $\text{CO}_2$ , 去掉不能再用于焊接的  $\text{CO}_2$  气体, 在标准状态下, 每瓶 25 kg 液态  $\text{CO}_2$  可以提供使用的  $\text{CO}_2$  气体是 12324L, 这样可以计算出每周、每月、每年需要的  $\text{CO}_2$  气瓶数  $N$ :  $N = \frac{V}{12324}$

标准容量为 40L 的氩气钢瓶, 在 20℃, 压力为 15 MPa 时, 瓶内有氩气  $V_1 = 40 \times 150 = 6000 \text{ L}$  这样可以计算出每周、每月、每年需要的氩气瓶数  $N$ ,  $N = \frac{V}{6000}$  (瓶)

**例:** 铝合金手工钨极氩弧焊, 板厚  $\delta = 3 \text{ mm}$ , 对接焊, 焊接过程中氩气流量为  $q_v = 12 \text{ L/min}$ , 每件需焊接 80 min, 共有 15000 件, 试求需 40L 瓶装氩气多少瓶?

已知:  $Q = 12 \text{ L/min}$ ;  $t = 80 \text{ min}$ ;  $n = 15000$ ;  $\eta = 0.04$

解:  $V = q_v(1 + \eta)tn = 12 \times (1 + 0.04) \times 80 \times 15000 \text{ L} = 14976000 \text{ L}$

又 40L 氩气在 15 MPa 下,  $V_1 = 6000 \text{ L}$

故  $N = \frac{V}{V_1} = \frac{14976000}{6000} \text{ 瓶} = 2496 \text{ 瓶}$

答: 需 40 L 瓶装氩气 2496 瓶。

### 五、电弧焊时电能消耗的计算

采用交流电源焊接时:

$$W = \frac{UI t}{1000\eta}$$

采用直流电源焊接每千克熔敷金属的电能消耗为:

$$W = \frac{UC_x}{\eta\alpha_1}$$

式中  $W$  电能消耗量 (kWh);

$U$  空载电压 (V);

$I$  焊接电流 (A);

$t$  电弧燃烧时间 (h);

$\eta$  弧焊电源有效率 (查弧焊电源技术数据);

$P$  电弧电源空载功率 (kW);

$t_2$ ——电弧电源工作总时间 (h);

$\alpha_H$ ——电弧焊的熔敷系数 (见表 12-9)  $[g/(A \cdot h)]$ ;

$C_x$ ——空载消耗系数。

表 12-9 电弧焊熔敷金属的熔敷系数  $\alpha_H$

焊接方法	焊条电弧焊				半机械化埋弧焊	机械化埋弧焊
	E4303 (J422)	E4301 (J423)	E4320 (J424)	E5015 (J507)		
$\alpha_H/(g/Ab)$	8.25	8.2	9.7	8.49	12~20	11~16

例: Q235-A 钢板, 厚  $\delta=5$  mm, 对接焊接, 当  $U=22\sim 26$  V, 焊接电流  $I=110\sim 120$  A, 电弧燃烧时间  $t=30$  min,  $\eta=0.8$  时, 求用交流弧焊机焊接时电能消耗量。

$$\text{解: } W = \frac{UIt}{1000\eta} = \frac{24 \times 115 \times 30}{1000 \times 0.8} \text{ kWh} = \frac{82800}{800} \text{ kWh} = 103.5 \text{ kWh}$$

答: 需要消耗电能 103.5 kWh。

#### 第四节 焊缝强度的计算

在实际使用上, 焊接结构上有的焊缝承受载荷, 这种在焊件上承受载荷的焊缝称为承载焊缝, 又称为工作焊缝 (见图 12-8)。焊接结构上也有的焊缝不直接承受载荷, 只是起连接作用, 称为非承载焊缝或联系焊缝 (见图 12-9)。在设计和校验焊缝强度时, 只计算承载焊缝的强度。

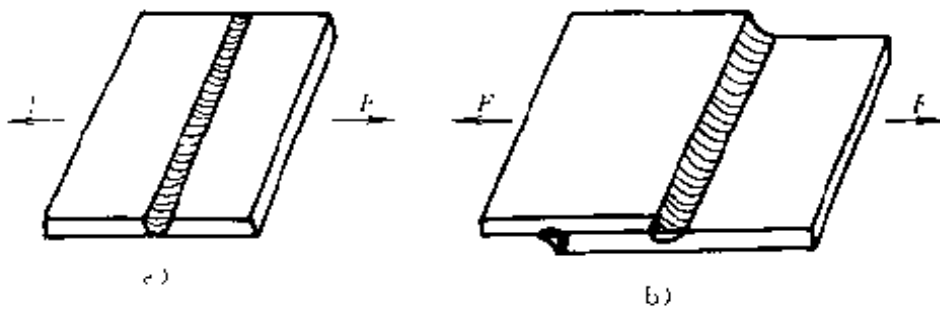


图 12-8 承载焊缝

a) 对接焊缝 b) 搭接焊缝

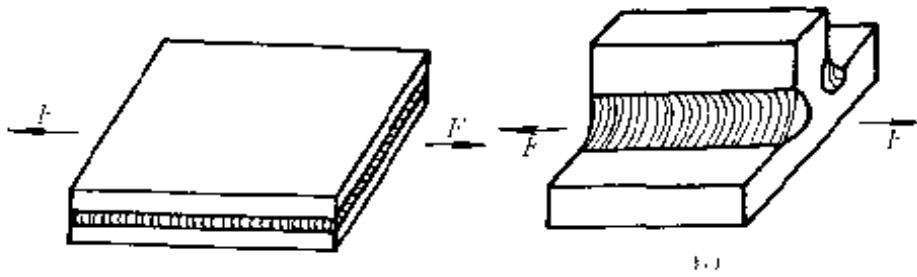


图 12 9 非承载焊缝

a) 对接焊缝 o) 角接焊缝

焊接结构中,焊缝受残余应力及应力集中的影响,其应力分布是十分复杂的,很难精确地计算接头的强度。所以,在静载条件下,为了简化计算,常做以下假设:

- 1) 焊趾和余高等处应力集中,对焊接接头强度没有影响。
- 2) 残余应力对焊接接头强度没有影响。
- 3) 正面角焊缝和侧面角焊缝的强度没有差别。
- 4) 焊接接头的工作应力是均布的,以平均应力计算。
- 5) 角焊缝都在切应力的作用下被破坏,按切应力计算强度。

6) 角焊缝的破断面(计算断面)在角焊缝截面的最小厚度上,其值等于内接三角形的高  $\delta_1$  (计算厚度),其值计算如下:

$$\delta_1 = \frac{K}{\sqrt{2}} \approx 0.7K \quad (K \text{ 为焊脚尺寸})$$

7) 余高和少量的熔深对焊接接头强度无影响,但埋弧焊和  $\text{CO}_2$  气体保护焊的熔深较大,应该在计算时考虑(见图 12-10),其焊缝计算断面厚度按下式计算:

$$\delta = (K + p) \cos 45^\circ$$

式中  $K$  — 角焊缝焊脚尺寸;

$\delta$  — 板厚;

$p$  — 熔深。

$K \leq 8\text{mm}$  时,  $\delta = K$ ;  $K > 8\text{mm}$  时, 熔深  $p = 3\text{mm}$ 。

角焊缝截面形状及其计算断面见图 12-11。

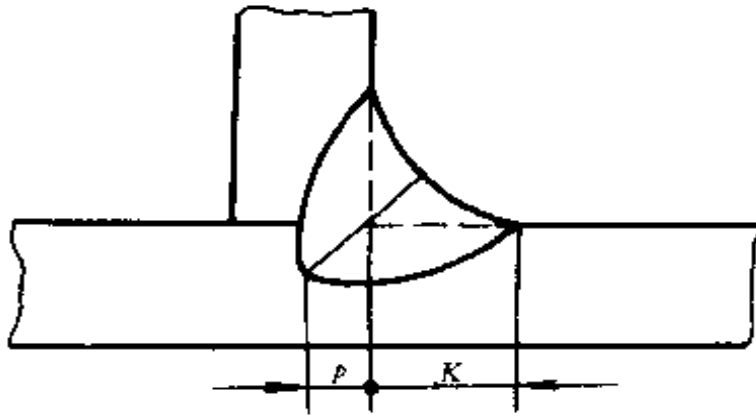


图 12-10 熔焊较深的角焊缝

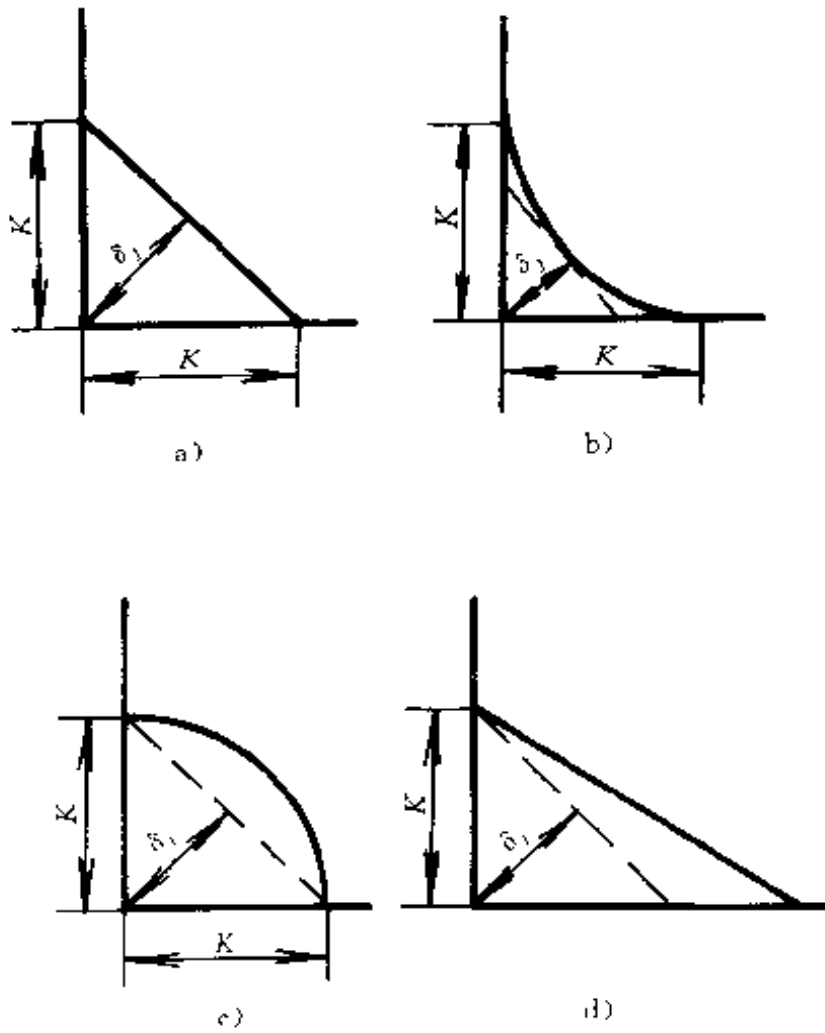


图 12-11 角焊缝截面形状及计算断面

$\delta_1$ —焊缝计算厚度  $K$ —焊脚尺寸

一、对接接头的静载强度计算

1. 受拉力的计算

$$\sigma = \frac{F}{L\delta} \leq [\sigma_t]$$

式中  $\sigma_t$ ——焊缝所承受的拉应力 (MPa);

$[\sigma_t]$ ——焊缝的许用拉应力 (MPa);

$F$ ——焊接接头承受的拉力 (N);

$L$ ——焊缝长度 (mm);

$\delta$ ——焊接接头中较薄的板材厚度 (mm)。

受拉力的焊缝见图 12-12。

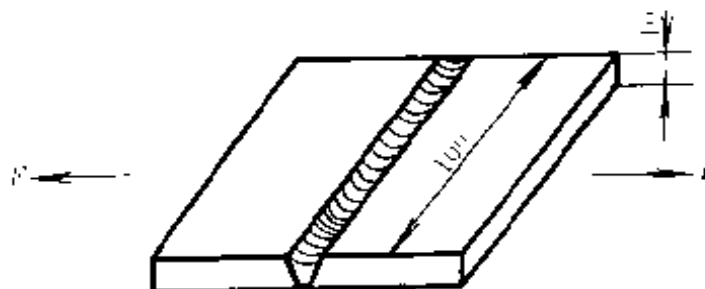


图 12-12 受拉力的焊缝

例 1: 两块板厚  $\delta = 10$  mm 的 Q235-A 钢板对接焊, 已知焊缝长度  $l = 100$  mm; Q235-A 钢的许用拉应力  $[\sigma_t] = 167$  MPa, 求该焊缝能承受的拉力。

解: 由  $\sigma_t = \frac{F}{\delta l} \leq [\sigma_t]$

得  $F \leq [\sigma_t] \delta l$

故  $F \leq 167 \times 10 \times 100 \text{ N} \leq 167 \times 10^3 \text{ N} \leq 167 \text{ kN}$

答: 该焊缝能承受 167 kN 的拉力。

例 2: 钢板斜对接焊缝 (见图 12-13), 焊缝长度  $l = 433$  mm, 板厚  $\delta = 5$  mm, 焊缝的许用拉应力  $[\sigma_t] = 240$  MPa, 焊缝倾斜角为  $60^\circ$ , 求此斜焊缝能承受的最大拉应力

解: 根据焊缝强度计算公式, 得

$$\frac{F}{l\delta} \sin\alpha \leq [\sigma_t]$$

$$\text{故 } F = \frac{[\sigma_t] l \delta}{\sin 60^\circ} = \frac{240 \times 433 \times 5}{0.866} \text{ N} = 600000 \text{ N} = 600 \text{ kN}$$

答：此斜焊缝能承受的最大拉力是  $6 \times 10^2 \text{ kN}$ 。



图 12-13 受拉力斜焊缝

2. 受压力的计算 (见图 12-14)

$$\sigma_p = \frac{F}{l\delta} \leq [\sigma_p']$$

式中  $F$ ——接头所受压力 (N);

$l$ ——焊缝长度 (mm);

$\delta$ ——接头中较薄板材的厚度 (mm);

$\sigma_p$ ——焊缝承受的压应力 (MPa);

$[\sigma_p']$ ——焊缝的许用压应力 (MPa)。

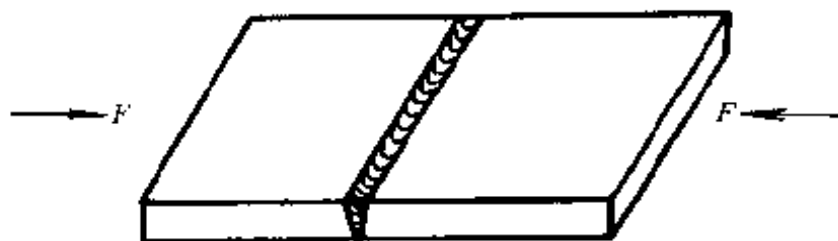


图 12-14 受压力焊缝

例：两块板厚  $\delta = 10 \text{ mm}$  的 Q235-A 钢板对接焊接，焊缝承受压力  $F = 167 \text{ kN}$ ，求该焊缝的长度  $l$ 。

已知： $\delta = 10 \text{ mm}$ ； $F = 167 \text{ kN}$ ； $[\sigma_p'] = 167 \text{ MPa}$

解：由  $\sigma_p = \frac{F}{l\delta} \leq [\sigma_p']$

得  $l = \frac{F}{\delta [\sigma_p']} = \frac{167 \times 10^3}{10 \times 167} \text{ mm} = 100 \text{ mm}$

答：该焊缝长度为  $100 \text{ mm}$ 。

3. 受切应力的计算 (见图 12-15)

$$\tau = \frac{F}{l\delta} \leq [\tau]$$



式中  $\tau$  —— 焊缝所受切应力 (MPa);

$[\tau']$  —— 焊缝的许用切应力 (MPa);

$F$  —— 接头所受的切力 (N);

$l$  —— 焊缝长度 (mm);

$\delta$  —— 焊接接头中较薄板的厚度 (mm)。

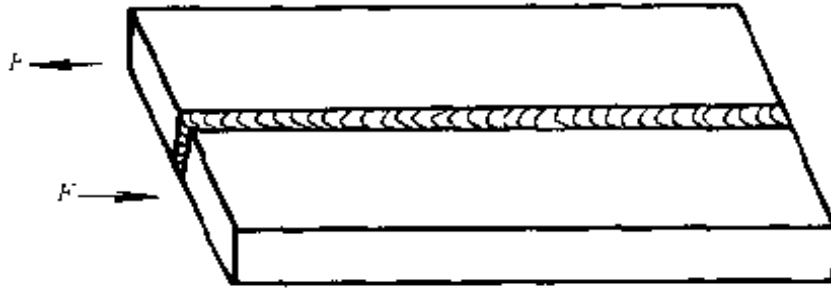


图 12-15 受切应力的焊缝

**例 1:** 钢材对接焊接受切应力, 当焊缝长度  $l=200$  mm, 板厚  $\delta=10$  mm 时, 求焊缝能承受最大的切力是多少?

已知:  $l=200$  mm,  $\delta=10$  mm;  $[\tau'] = 100$  MPa

解: 由  $\tau = \frac{F}{l\delta} \leq [\tau']$

得  $F = [\tau'] l\delta = 100 \times 10 \times 200$  N = 200 kN

答: 该结构焊缝能承受 200 kN 的切力。

**例 2:** 两块板厚  $\delta=20$  mm 的钢板对接, 焊缝受 29400 N 的切力, 材料是 Q235-A 钢, 试设计焊缝长度 (钢板宽度) 应是多少?

已知:  $\delta=20$  mm;  $F=29400$  N;  $[\tau'] = 98$  MPa

解: 由  $\tau = \frac{F}{l\delta} \leq [\tau']$

得  $l = \frac{F}{\delta [\tau']} = \frac{29400}{20 \times 98}$  mm = 1.5 cm

答: 焊缝应该是 1.5 cm 长。

**例 3:** 两块 Q235-A 钢板对接焊, 焊缝长为 15 mm, 当焊缝承受 29400 N 的切力时, 钢板应为多厚, 这个对接接头的焊缝强度才能满足要求。

已知:  $l=15$  mm,  $F=29400$  N;  $[\tau'] = 98$  MPa

解：由  $\tau = \frac{F}{l\delta} \leq [\tau]$

得  $\delta = \frac{F}{l[\tau]} = \frac{29400}{15 \times 98} \text{mm} = 20 \text{mm}$

答：钢板厚度为 20 mm，焊缝强度才能满足要求。

例 4：将 100mm×100mm×8mm 的角钢用角焊缝搭接在一块钢板上（见图 12-16），受拉伸时要求与角钢等强度角钢材质为 Q235-A，试计算焊接接头的合理尺寸  $l$ 。

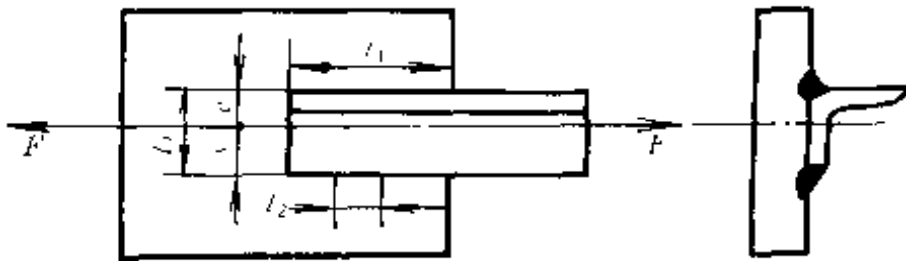


图 12-16 角钢与钢板搭接受力焊缝

解：查角钢材料手册，角钢截面积  $A = 19.2 \text{cm}^2$ ， $[\sigma] = 160 \text{MPa}$ ， $[\tau] = 100 \text{MPa}$

角钢许用载荷： $[F] = A[\sigma] = 1920 \times 160 \text{N} = 307200 \text{N}$

假定接头焊缝中的切应力都达到焊缝的许用切应力值，即  $\tau = [\tau]$ ，当焊脚尺寸  $K = 8 \text{mm}$  时，所需焊缝总长  $\Sigma l = \frac{[F]}{0.7K[\tau]} = \frac{307200}{0.7 \times 8 \times 100} \text{mm} = 548.6 \text{mm}$

又  $\Sigma l = l_1 + l_2 + l_3$

已知角钢为 100mm，故  $l_3 = 100 \text{mm}$

$$l_1 + l_2 = \Sigma l - l_3 = 54.86 \text{cm} - 10 \text{cm} = 44.86 \text{cm}$$

查材料手册，角钢拉力作用线位置  $e = 2.76 \text{cm}$

按杠杆原理，则侧面角焊缝  $l_2$  应承受全部侧面角焊缝应承受的 27.6%。

$$\text{故 } l_2 = 44.86 \times \frac{27.6}{100} \text{cm} = 12.38 \text{cm}$$

$$l_1 = \Sigma l - l_3 - l_2 = 54.86 \text{cm} - 10 \text{cm} - 12.38 \text{cm} = 32.48 \text{cm}$$

答：焊缝长度  $l_1 = 32.48\text{cm}$ ,  $l_2 = 12.38\text{cm}$ ,  $l_3 = 10\text{cm}$ 。

**例 5:** 已知焊缝金属的许用切应力  $[\tau'] = 100\text{ MPa}$ , 试设计 T 形接头 (见图 12-17) 角焊缝的焊脚  $K$  尺寸。

已知:  $F = 75000\text{N}$ ;  $h = 150\text{mm}$ ,  $l = 250\text{mm}$ ,  $[\tau'] = 100\text{ MPa}$

解: 由  $\tau_M = \frac{3Fh}{0.7Kl^2}$

将已知数据代入上式中

$$\begin{aligned} \text{得 } \tau_M &= \frac{3 \times 75000 \times 150}{0.7 \times K \times 250^2} \\ &= \frac{5.4 \times 10^5}{0.7K} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tau_Q &= \frac{F}{1.4Kl} = \frac{75000}{1.4 \times K \times 25} \\ &= \frac{3 \times 10^3}{1.4K} \end{aligned}$$

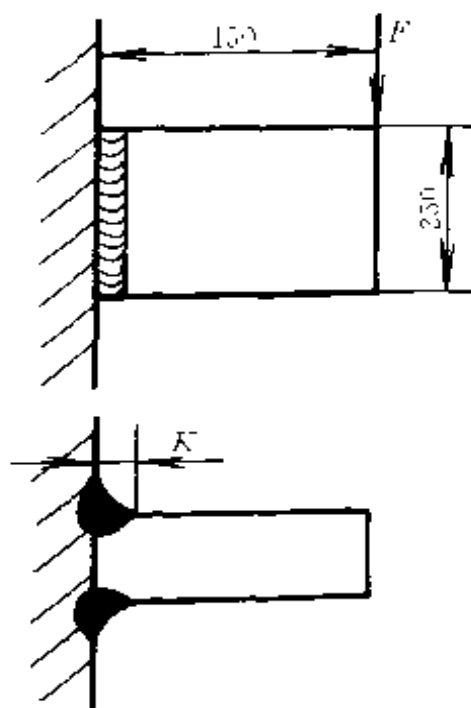


图 12-17 T 形接头受力焊缝

$$\tau_{\text{合}} = \sqrt{\tau_M^2 + \tau_Q^2} = \sqrt{\left(\frac{5.4 \times 10^5}{0.7K}\right)^2 + \left(\frac{3 \times 10^3}{1.4K}\right)^2}$$

利用强度校核公式  $\tau_{\text{合}} \leq [\tau']$

$$\begin{aligned} \text{即 } \sqrt{\left(\frac{5.4 \times 10^5}{0.7K}\right)^2 + \left(\frac{3 \times 10^3}{1.4K}\right)^2} &\leq 100 \\ K &\geq 8\text{mm} \end{aligned}$$

答: T 形接头角焊缝焊脚尺寸  $K \geq 8\text{mm}$ 。

**例 6:** 图 12-18 所示的电弧塞焊连接接头, 承受  $147000\text{N}$  的拉伸载荷, 由两块断面为  $180\text{mm} \times 10\text{mm}$  的钢板组成, 有 7 个  $d = 20\text{mm}$  的塞焊焊点连接。塞焊点的许用切应力  $[\tau] = 96\text{ MPa}$ , 试校核其强度。

已知:  $d = 20\text{mm}$ , 每个塞焊点断面积  $A = \pi d^2 / 4 = 314\text{mm}^2$ ;  $[\tau] = 96\text{ MPa}$ ;  $F = 147000\text{N}$

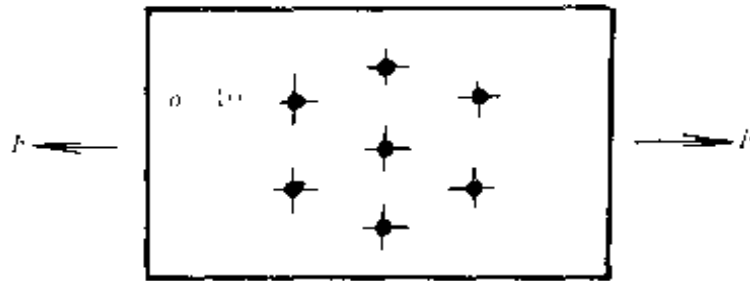


图 12-18 电弧塞焊连接接头受力图

解:  $\tau = \frac{F}{nA} = \frac{147000}{7 \times 314} \text{MPa} = 66.88 \text{MPa} < [\tau] = 96 \text{MPa}$

答: 塞焊点的切应力小于许用应力, 强度合格。

#### 4. 板受平面内弯矩的强度计算

板平面受弯矩形式如图 12-19 所示, 强度计算公式为

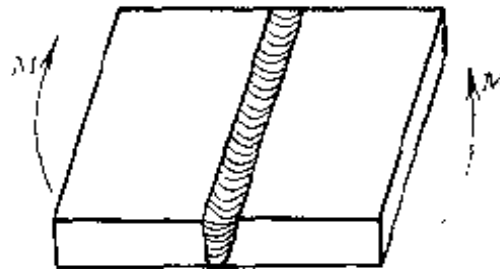


图 12-19 板平面弯矩受力形式

$$\sigma_t = \frac{6M}{\delta l^2} \leq [\sigma_t]$$

式中  $M$  ——板平面内弯矩 (Nm);

$\delta$  ——焊接接头中较薄板的厚度 (m);

$l$  ——焊缝长度 (m);

$\sigma_t$  ——焊缝所受应力 (Pa);

$[\sigma_t]$  ——焊缝的许用拉应力 (Pa)。

例: 板对接焊, 焊缝长度  $l=200\text{mm}$ , 板厚  $\delta=18\text{mm}$ , 求焊接接头焊缝受平面内弯矩时所能承受的最大弯矩 ( $[\sigma_t]=200\text{MPa}$ )。

解：由 
$$\sigma = \frac{6M}{\delta l^2} \leq [\sigma_t]$$

得 
$$M = \frac{[\sigma_t] \delta l^2}{6} = \frac{200 \times 10^6 \times 18 \times 10^{-3} \times (0.2)^2}{6} \text{ Nm}$$
  

$$= 24 \times 10^4 \text{ Nm}$$

答：该焊缝能承受  $24 \times 10^4 \text{ Nm}$  的板平面内弯矩。

5. 受垂直板面弯矩的强度计算

受垂直板面弯矩的形式如图 12-20 所示，其强度计算公式为：

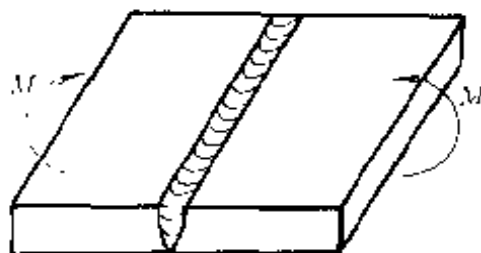


图 12-20 受垂直板面弯矩的焊缝

$$\sigma = \frac{6M}{\delta^2 l} \leq [\sigma_t]$$

式中  $\sigma$  - 焊缝所受应力 (Pa)；

$[\sigma_t]$  - 板许用拉应力 (Pa)；

$M$  - 垂直板面弯矩 (Nm)；

$\delta$  - 接头中较薄板的厚度 (m)；

$l$  - 焊缝长度 (m)。

**例 1：**板对接焊接，板厚  $\delta = 10 \text{ mm}$ ，求该板对接焊缝承受最大许用垂直平板面弯矩  $4000 \text{ Nm}$  时的焊缝长度 ( $[\sigma_t] = 167 \text{ MPa}$ )。

已知： $\delta = 10 \text{ mm}$ ； $M = 4000 \text{ Nm}$ ； $[\sigma_t] = 167 \text{ MPa}$

解：由 
$$\sigma = \frac{6M}{\delta^2 l} \leq [\sigma_t]$$

得 
$$l = \frac{6M}{\delta^2 [\sigma_t]} = \frac{6 \times 4000}{(10^{-2})^2 \times 167 \times 10^6} \text{ m} = 1.44 \text{ m}$$

答：该焊缝的长度应该是  $1.44 \text{ m}$ 。

**例 2：**两块厚度相同的钢板对接，材质为 Q345 (16Mn)，钢板宽度 (即焊缝长度) 为  $100 \text{ mm}$ ，受垂直板面弯矩  $3600 \text{ Nm}$ ，试计算焊缝所需要的厚度 (板厚)。

已知: Q345(16Mn) 钢的  $[\sigma_t] = 201 \text{ MPa}$ ;  $M = 3600 \text{ Nm}$ ;  $l = 100 \text{ mm}$ 。

解: 由 
$$\sigma = \frac{6M}{\delta^2 l} \leq [\sigma_t]$$

得 
$$\delta = \sqrt{\frac{6M}{[\sigma_t] l}} = \sqrt{\frac{6 \times 3600}{10^{-1} \times 201 \times 10^6}} \text{ mm} = 32.78 \text{ mm}$$

答: 焊缝板厚应是 32.78mm。

## 二、搭接接头静载强度的计算

### 1. 受拉、压搭接接头的强度计算

这种搭接形式的接头, 由于焊缝和受力方向相对位置的不同, 可以分成正面受拉、压侧面搭接受拉、压和联合受拉、压三种情况 (见图 12-21)。其计算公式如下:

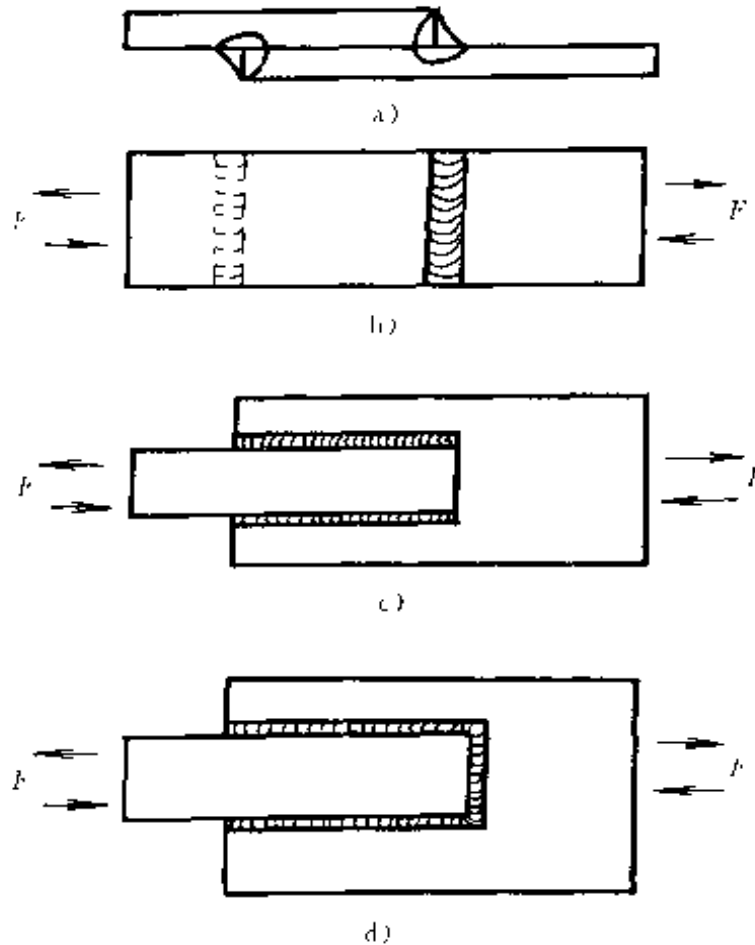


图 12-21 各种搭接接头的受力情况

- a) 搭接接头示意图 b) 正面受拉、压  
c) 侧面受拉、压 d) 联合受拉、压

$$\tau = \frac{F}{0.7K\Sigma l} \leq [\tau]$$

式中  $F$ — 搭接接头所受的拉力或压力 (N);

$\Sigma l$ — 焊缝总长 (mm);

$K$ — 焊脚尺寸 (mm);

$\tau$ — 搭接接头角焊缝所承受的切应力 (MPa);

$[\tau]$ — 焊缝金属许用切应力 (MPa)。

**例 1:** 两个等厚板搭接焊接, 正面焊缝受拉力 84000N, 板宽 (焊缝长) 100mm, 求该正面角焊缝的焊脚尺寸。

已知:  $[\tau] = 100\text{MPa}$ ;  $F = 84000\text{N}$ ;  $l = 100\text{mm}$

解: 由 
$$\tau = \frac{F}{0.7K\Sigma l} \leq [\tau]$$

得 
$$K = \frac{F}{0.7[\tau]\Sigma l} = \frac{84000}{0.7 \times 100 \times 100 \times 2} \text{mm}$$
  

$$= 6 \text{mm}$$

答: 角焊缝焊脚尺寸应为 6 mm。

**例 2:** 两等厚板采用联合搭接形式 (见图 12-22), 受拉力 84000N, 焊脚尺寸  $K = 6\text{mm}$ , 试校核其焊缝强度。

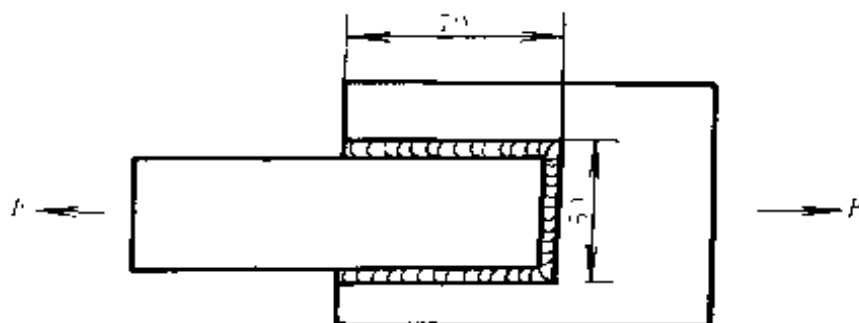


图 12-22 联合受力搭接接头

已知:  $F = 84000\text{N}$ ;  $[\tau] = 100\text{MPa}$ ;  $K = 6\text{mm}$ ;  $\Sigma l = 70 \times 2\text{mm} + 50\text{mm} = 190\text{mm}$

解: 
$$\tau = \frac{F}{0.7K\Sigma l} \leq [\tau]$$

$$\tau = \frac{84 \times 10^3}{0.7 \times 6 \times 190} \text{MPa} = 105.26 \text{MPa} > [\tau] = 100 \text{MPa}$$

答:该焊缝受切应力大于许用切应力,所以这个焊接结构是不安全的。

## 2. 受弯矩搭接接头的强度计算

如图 12-23 所示,三面角焊缝的搭接接头,外力矩  $M$  应和垂直焊缝所产生的内力矩  $M_V$  和水平焊缝产生的内力矩  $M_H$  之和平衡,即  $M = M_V + M_H$ 。当焊缝熔深不大时,水平焊缝力矩  $M_H = 0.7Kl(h + K)\tau$ , 垂直焊缝力矩  $M_V = \frac{0.7Kh^2}{6}\tau$

$$M = M_H + M_V$$

$$= \tau \left[ 0.7Kl(h + K) + \frac{0.7Kh^2}{6} \right]$$

$$\tau = \frac{M}{0.7Kl(h + K) + \frac{0.7Kh^2}{6}} \leq [\tau]$$

式中  $\tau$  —— 焊缝所承受的切应力 (MPa);

$[\tau]$  —— 焊缝的许用切应力 (MPa);

$K$  —— 焊脚尺寸 (mm);

$l, h$  —— 见图 2-23, (mm)。

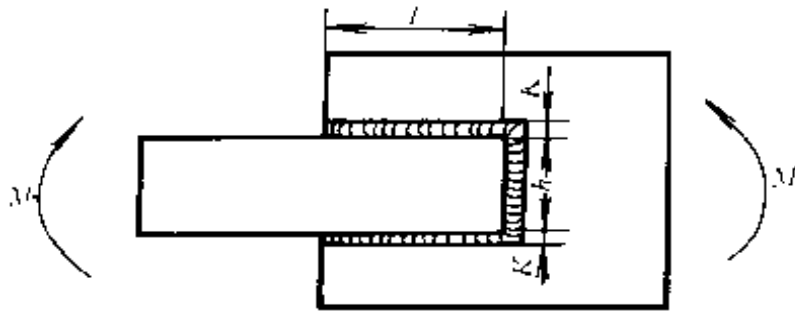


图 12-23 受弯矩的搭接接头

例 1: 两板搭接焊接 (见图 12-23), 受弯矩  $M = 84000 \text{ Nm}$ , 角焊缝焊脚尺寸  $K = 6 \text{ mm}$ , 焊缝长  $l = 100 \text{ mm}$ ,  $h = 204 \text{ mm}$ , 求该结构所能承受的最大切应力。



$$\begin{aligned} \text{解: } \tau &= \frac{M}{0.7Kl(h+K) + \frac{0.7Kh^2}{6}} \\ &= \frac{84 \times 10^3}{0.7 \times 6 \times 100(204+6) + \frac{0.7 \times 6 \times 204^2}{6}} \text{MPa} \\ &= 92.2 \text{ MPa} \end{aligned}$$

答：该结构所承受的最大切应力是 92.2MPa。

**例 2：**两板搭接焊接，其结构形式见图 12-23，角焊缝焊脚尺寸  $K=6\text{mm}$ ， $l=200\text{mm}$ ， $h=204\text{mm}$ ，搭接接头角焊缝所承受的切应力  $\tau=100\text{MPa}$ ，求该结构能承受多大的外加力矩。

已知： $\tau=100\text{MPa}$ ； $K=6\text{mm}=6 \times 10^{-3}\text{m}$ ； $l=200\text{mm}=2 \times 10^{-1}\text{m}$ ； $h=204\text{mm}=204 \times 10^{-3}\text{m}$

**解：**设外加力矩为  $M=M_H+M_V$

水平焊缝力矩  $M_H=0.7Kl(h+K)\tau$

垂直焊缝力矩  $M_V=\frac{0.7Kh^2}{6}\tau$

将已知数据分别代入上式中得：

$$\begin{aligned} M_H &= 0.7 \times 6 \times 10^{-3} \times 2 \times 10^{-1} \times (204 \times 10^{-3} + 6 \times 10^{-3}) \\ &\quad \times 100 \times 10^6 \text{ Nm} = 17640 \text{ Nm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_V &= \frac{0.7 \times 6 \times 10^{-3} \times (204 \times 10^{-3})^2}{6} \times (100 \times 10^6) \text{ Nm} \\ &= 17478.7 \text{ Nm} \end{aligned}$$

$$M = M_H + M_V = 17640 \text{ Nm} + 17478.7 \text{ Nm} = 35118.7 \text{ Nm}$$

答：该结构能承受 35118.7Nm 的外加力矩。

### 3. 受偏心载荷的搭接接头计算

受偏心载荷的搭接接头焊接结构中，焊缝受力情况是既有弯矩  $M=FL$  引起的切应力  $\tau_M$ ，又有偏心载荷引起的切应力  $\tau_F$ 。所以，应该分别计算出  $\tau_M$  和  $\tau_F$ ，然后求出向量和  $\tau_{\Sigma}$ ，就是受偏心载荷的切应力。受偏心载荷的搭接接头如图 12-24 所示。

$$\tau_M = \frac{FL}{0.7Kl(h+K) + \frac{0.7Kh^2}{6}}$$

$$\tau_F = \frac{F}{0.7K\Sigma l}$$

式中  $F$ ——搭接接头所受的偏心载荷 (N);

$L$ ——焊缝接头与偏心载荷距离 (m);

$K$ ——焊脚尺寸 (m);

$l, h$ ——焊缝长度 (见图 12-24) (m);

$\tau_M, \tau_F$ ——分别为弯矩和偏心载荷引起的切应力 (Pa)。

例：一偏心受载的搭接接头 (见图 12-24)，已知焊缝： $h=0.4\text{m}$ ， $l=0.1\text{m}$ ， $K=5\text{mm}$ ，外加载荷  $F=40000\text{N}$ ，梁长为  $1\text{m}$ ，试校正该焊缝强度。

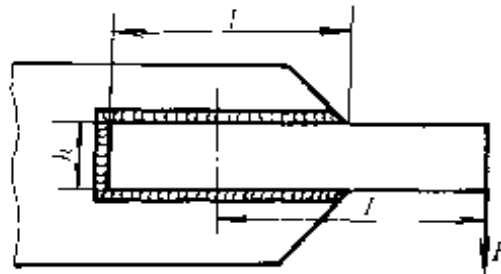


图 12-24 受偏心载荷的搭接接头

已知： $[\tau'] = 100\text{MPa}$ ； $h=0.4\text{mm}$ ； $l=0.1\text{m}$ ； $K=5\text{mm}=5\times 10^{-3}\text{m}$ ； $L=1\text{m}$ ； $F=40000\text{N}$

$$\begin{aligned} \text{解：} \quad \tau_M &= \frac{FL}{0.7Kl(h+K) + \frac{0.7Kh^2}{6}} \\ &= \frac{40000}{\frac{0.7 \times 5 \times 10^{-3} \times 10^{-1} \times (4 \times 10^{-1} + 5 \times 10^{-3}) + 0.7 \times 5 \times 10^{-3} \times (4 \times 10^{-1})^2}{6}} \text{Pa} \\ &= \frac{4 \times 10^4}{28252 \times 10^{-8}} \text{Pa} = 141.58 \times 10^6 \text{Pa} = 141.58 \text{MPa} \\ \tau_F &= \frac{F}{0.7K\Sigma l} = \frac{40000}{7 \times 10^{-1} \times 6 \times 10^{-3} \times (0.4 + 2 \times 0.1)} \text{Pa} \\ &= \frac{4 \times 10^4}{252 \times 10^{-5}} \text{Pa} = 15.87 \times 10^6 \text{Pa} = 15.87 \text{MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tau_{\text{合}} &= \sqrt{\tau_M^2 + \tau_F^2} = \sqrt{(141.58)^2 + (15.87)^2} \text{MPa} \\ &= 142.47 \text{MPa} > [\tau] = 100 \text{MPa} \end{aligned}$$

答：该偏心受载搭接接头角焊缝强度不合格。

#### 4. 双缝搭接接头的强度计算

双缝搭接接头形式有两种：即：长焊缝小间距搭接接头和短焊缝大间距搭接接头两种形式（见图 12-25 和图 12-26）。

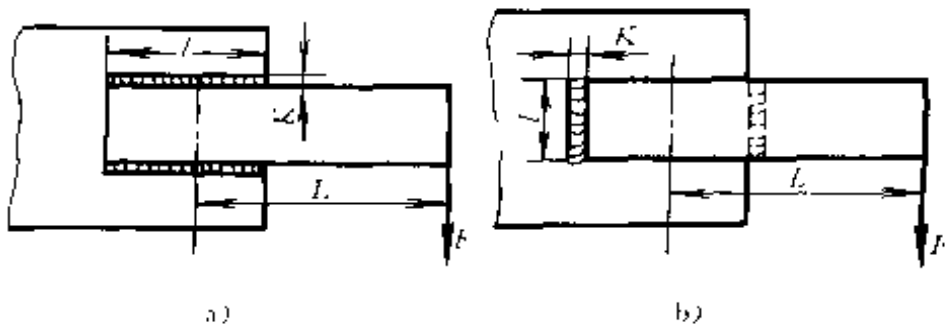


图 12-25 长焊缝小间距搭接接头

a) 力与焊缝垂直 b) 力与焊缝平行

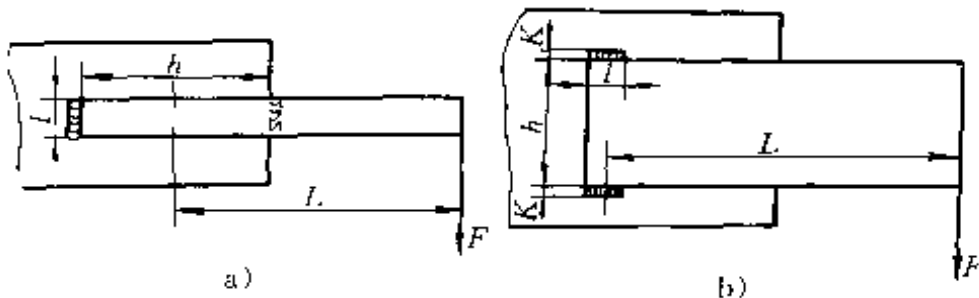


图 12-26 短焊缝大间距搭接接头

a) 力平行于焊缝 b) 力垂直于焊缝

#### (1) 长焊缝小间距搭接接头强度的计算公式

$$\tau_M = \frac{3FL}{0.7Kl^2}; \quad \tau_F = \frac{F}{1.4Kl}$$

当力平行于焊缝时，  $\tau_{\text{合}} = \sqrt{\tau_M^2 + \tau_F^2}$

当力垂直于焊缝时，  $\tau_{\text{合}} = \tau_M + \tau_F$

式中  $F$ — 搭接接头所受的拉力或压力 (N)；

$L$ — 焊缝受力中心与  $F$  的间距 (m)；

$K$  - 焊脚尺寸 (m);

$l$  - 焊缝长度 (m);

$\tau_M$ 、 $\tau_F$  - 分别为弯矩和载荷所产生的切应力 (Pa)。

**例 1:** 如图 12-25a 长焊缝小间距搭接接头, 受拉力  $F$  作用,  $F$  垂直于焊缝,  $F=700\text{N}$ , 角焊缝焊脚尺寸  $K=10\text{mm}$ , 焊缝长  $l=300\text{mm}$ , 焊缝与受力间距  $L$  为  $200\text{mm}$ , 试求搭接接头合成的切应力。

$$\begin{aligned}\text{解: } \tau_M &= \frac{3FL}{0.7Kl^2} = \frac{3 \times 700 \times 2 \times 10^{-1}}{0.7 \times 1 \times 10^{-2} \times (3 \times 10^{-1})^2} \text{Pa} \\ &= \frac{420}{63 \times 10^{-5}} \text{Pa} = 0.67 \text{ MPa} \\ \tau_F &= \frac{F}{1.4Kl} = \frac{7 \times 10^2}{1.4 \times 1 \times 10^{-2} \times 3 \times 10^{-1}} \text{Pa} \\ &= \frac{700}{4.2 \times 10^{-3}} \text{Pa} = 0.167 \text{ MPa} \\ \tau_{\text{合}} &= \tau_M + \tau_F = 0.67 \text{ MPa} + 0.167 \text{ MPa} = 0.84 \text{ MPa}\end{aligned}$$

答: 当拉力垂直焊缝时, 合成切应力为  $0.84\text{MPa}$ 。

**例 2:** 如图 12-25b 所示的长焊缝小间距搭接接头, 当拉力平行于焊缝时,  $F=700\text{N}$ , 角焊缝焊脚尺寸  $K=10\text{mm}$ , 焊缝长  $l=300\text{mm}$ , 焊缝受力中心与力的间距  $L$  为  $200\text{mm}$ , 试求搭接接头的合成切应力。

$$\begin{aligned}\text{解: } \tau_M &= \frac{3FL}{0.7Kl^2} = \frac{3 \times 700 \times 2 \times 10^{-1}}{0.7 \times 10^{-2} \times (3 \times 10^{-1})^2} \text{Pa} \\ &= \frac{420}{63 \times 10^{-5}} \text{Pa} = 0.67 \text{ MPa} \\ \tau_F &= \frac{F}{1.4Kl} = \frac{700}{1.4 \times 10^{-2} \times 3 \times 10^{-1}} \text{Pa} = 0.167 \text{ MPa} \\ \tau_{\text{合}} &= \sqrt{\tau_M^2 + \tau_F^2} = \sqrt{(0.67)^2 + (0.167)^2} \text{MPa} \\ &= \sqrt{0.4778} \text{MPa} = 0.69 \text{ MPa}\end{aligned}$$

答: 当拉力平行于焊缝时, 合成切应力为  $0.69\text{MPa}$ 。

(2) 短焊缝大间距搭接接头强度的计算公式

$$\tau_M = \frac{FL}{0.7Khl} \quad ; \quad \tau_F = \frac{F}{1.4Kl}$$

当  $F$  平行于焊缝时  $\tau_{\text{合}} = \tau_M + \tau_F$

当  $F$  垂直于焊缝时  $\tau_{\text{合}} = \sqrt{\tau_M^2 + \tau_F^2}$

式中  $F$ ——搭接接头所受的拉力或压力 (N);

$L$ ——焊缝受力中心与力的间距 (m);

$K$ ——焊脚尺寸 (m);

$l$ ——焊缝长度 (m);

$h$ ——焊缝间距 (m);

$\tau_M$ 、 $\tau_F$ ——分别为弯矩和载荷  $F$  产生的切应力 (Pa)。

**例 1:** 图 12-26a 为短焊缝大间距搭接接头, 力的作用方向垂直于焊缝, 拉力  $F = 1400\text{N}$ , 焊脚尺寸  $K = 10\text{mm}$ , 焊缝长度  $l = 30\text{mm}$ , 焊缝中心与力的作用点间距  $L = 200\text{mm}$ , 两焊缝间距  $h = 500\text{mm}$ , 试求搭接接头的合成切应力。

$$\begin{aligned} \text{解: } \tau_M &= \frac{3FL}{0.7Khl} = \frac{3 \times 1400 \times 2 \times 10^{-1}}{0.7 \times 10^{-2} \times 5 \times 10^{-1} \times 3 \times 10^{-2}} \text{Pa} \\ &= \frac{840}{105 \times 10^{-3}} \text{Pa} \approx 8 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tau_F &= \frac{F}{1.4Kl} = \frac{14 \times 10^2}{1.4 \times 10^{-2} \times 3 \times 10^{-2}} \text{Pa} \\ &= \frac{14 \times 10^2}{4.2 \times 10^{-4}} \text{Pa} \approx 3.3 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F \text{ 垂直于焊缝时 } \tau_{\text{合}} &= \sqrt{\tau_F^2 + \tau_M^2} = \sqrt{(8)^2 + (3.3)^2} \text{ MPa} \\ &= 8.65 \text{ MPa} \end{aligned}$$

答: 搭接接头外力垂直于焊缝时, 合成切应力为 8.65 MPa。

**例 2:** 图 12-26b 为短焊缝大间距搭接接头, 承受拉力  $F = 1400\text{N}$ , 力的作用方向平行于焊缝, 角焊缝焊脚尺寸  $K = 10\text{mm}$ , 焊缝长  $l = 30\text{mm}$ , 焊缝中心与力的作用点间距  $L = 200\text{mm}$ , 两焊缝的间距  $h = 500\text{mm}$ , 求搭接接头的合成切应力。

$$\begin{aligned} \text{解: } \tau_M &= \frac{3FL}{0.7Khl} = \frac{3 \times 1400 \times 2 \times 10^{-1}}{0.7 \times 10^{-2} \times 5 \times 10^{-1} \times 3 \times 10^{-2}} \text{Pa} \\ &= \frac{840}{105 \times 10^{-3}} \text{Pa} = 8 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\tau_F &= \frac{F}{1.4Kl} = \frac{1400}{1.4 \times 10^{-2} \times 3 \times 10^{-2}} \text{Pa} \\ &= \frac{1400}{4.2 \times 10^{-4}} \text{Pa} = 3.3 \text{ MPa}\end{aligned}$$

因为力平行于焊缝，故

$$\tau_{\text{合}} = \tau_M + \tau_F = (8 + 3.3) \text{ MPa} = 11.3 \text{ MPa}$$

答：短焊缝大间距搭接接头受外力平行于焊缝时，合成切应力是 11.3 MPa。

### 三、T形接头静载强度的计算

#### 1. 载荷平行于 T 形接头焊缝的强度计算

这类 T 形接头在焊接时有两种坡口形式。其一是开 I 形坡口时，计算公式为：

$$\tau_M = \frac{3FL}{0.7Kl^2}; \quad \tau_F = \frac{F}{1.4Kl}$$

其二是开坡口并熔透，强度应按对接接头计算，焊缝金属截面积  $A = \delta h$ ，由于焊缝的最上端是产生最大应力的危险点，在这点将同时有两个切应力作用，一个是由  $F$  力引起的  $\tau_F$ ，另一个是由  $M = FL$  引起的  $\tau_M$ 。因为  $\tau_F$  和  $\tau_M$  这两个切应力是相互垂直的，所以合成切应力  $\tau_{\text{合}} = \sqrt{\tau_M^2 + \tau_F^2}$ 。

式中  $F$ ——作用于 T 形接头并平行于焊缝的载荷 (N)；

$L$ ——载荷与焊缝的距离 (m)；

$K$ ——焊脚尺寸 (m)；

$l$ ——焊缝长度 (m)；

$\delta$ ——T 形接头板厚 (m)；

$\tau_M$ 、 $\tau_F$ ——分别为弯矩和载荷引起的切应力 (Pa)。

载荷平行于 T 形接头焊缝的形式如图 12-27 所示。

**例 1：**某 T 形接头见图 12-27，角焊缝  $K = 10\text{mm}$ ，I 形坡口焊接，受平行于焊缝的载荷  $F = 35000\text{N}$  作用，焊缝长  $l = 300\text{mm}$ ，距载荷距离为  $L = 700\text{mm}$ ，试校核该 T 形结构是否安全。

已知： $K = 10\text{mm} = 1 \times 10^{-2}\text{m}$ ； $F = 35000\text{N}$ ； $L = 300\text{mm} = 3 \times 10^{-1}$

m;  $L = 700\text{mm} = 7 \times 10^{-1}\text{m}$ ;  $[\tau'] = 100\text{MPa}$

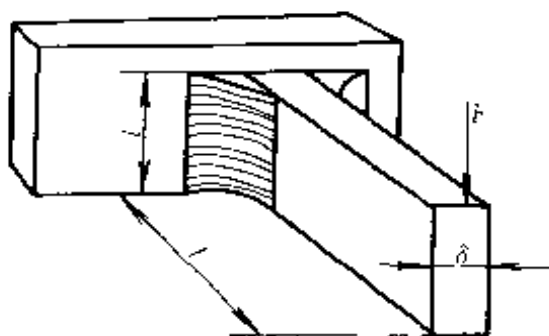


图 12-27 载荷平行于焊缝的 T 形接头

解: 
$$\tau_M = \frac{3FL}{0.7Kl^2} = \frac{3 \times 35 \times 10^3 \times 7 \times 10^{-1}}{0.7 \times 10^{-2} \times (3 \times 10^{-1})^2} \text{Pa}$$

$$= \frac{35 \times 10^3}{3 \times 10^{-4}} \text{Pa} = 117 \text{MPa}$$

$$\tau_F = \frac{F}{1.4Kl} = \frac{35000}{1.4 \times 10^{-2} \times 3 \times 10^{-1}} \text{Pa}$$

$$= \frac{35 \times 10^3}{4.2 \times 10^{-3}} \text{Pa} = 8.3 \text{MPa}$$

$$\tau_{\sigma} = \sqrt{\tau_M^2 + \tau_F^2} = \sqrt{(117)^2 + (8.3)^2} \text{MPa}$$

$$\approx 117.29 \text{MPa}$$

$$\tau_{\sigma} = 117.29 \text{MPa} > [\tau'] = 100 \text{MPa}$$

答: 该 T 形接头不安全。

**例 2:** 图 12-27 所示的角焊缝, 焊脚尺寸  $K = 8\text{mm}$ , 当承受载荷为  $147 \times 10^3\text{N}$  时, 试求最小焊缝长度,  $[\tau'] = 78.4\text{MPa}$ , 由载荷所引起的弯矩和应力集中等影响可以不考虑。

解: 设最小焊缝长度为  $l$ , 已知  $F = 147 \times 10^3\text{N}$ ;  $K = 8\text{mm}$ ;  $[\tau'] = 78.4\text{MPa}$

$$\tau_F = \frac{F}{1.4Kl} = \frac{147000}{1.4 \times 8 \times 10^{-3} \times l} \leq [\tau'] = 78.4 \times 10^6$$

$$l = \frac{147 \times 10^3}{1.4 \times 8 \times 10^{-3} \times 78.4 \times 10^6} \text{m} = \frac{147}{1.4 \times 8 \times 78.4} \text{m}$$

$$= \frac{147}{878.1} \text{m} = 0.167 \text{m} = 167 \text{mm}$$

答：最小焊缝长度是 167mm。

## 2. 弯矩垂直作用于板面的 T 形接头强度计算

T 形接头焊缝，在受到垂直于板面弯矩作用时（见图 12-28）。焊缝开何种形式坡口，是否焊透，对整个结构受力有很大影响，焊缝所受切应力的计算方法也有所不同。焊缝所受的切应力有两种计算方法：其一是当 T 形接头板开坡口要求焊透时，其强度可按对接接头计算；其二当 T 形接头板开 I 形坡口施焊时，则切应力计算公式如下：

$$\tau = \frac{M}{W} \leq [\tau]$$

$$W = \frac{l [(\delta + 1.4K)^3 - \delta^3]}{6(\delta + 1.4K)}$$

式中  $M$ ——垂直 T 形接头板面的弯矩 (Nm)；

$W$ ——截面模数 ( $\text{m}^3$ )；

$l$ ——焊缝长度 (m)；

$K$ ——焊脚尺寸 (m)；

$\delta$ ——T 形板板厚 (m)；

$\tau$ 、 $[\tau]$ ——分别为焊缝所承受的切应力和许用切应力 (Pa)。

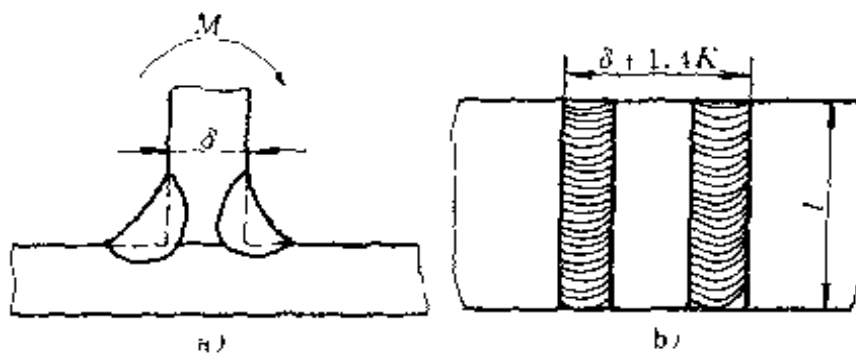


图 12-28 受垂直板面弯矩的 T 形接头

例：T 形接头受垂直于板面弯矩  $M$  的作用，已知焊缝长  $l =$



100mm, 板厚  $\delta = 6\text{mm}$ ,  $K = 10\text{mm}$ , 求该 T 形接头能承受的最大弯矩  $M$ 。  $[\tau] = 100\text{MPa}$ 。

已知:  $l = 100\text{mm} = 1 \times 10^{-1}\text{m}$ ;  $\delta = 6\text{mm} = 6 \times 10^{-3}\text{m}$ ,  $K = 10\text{mm} = 1 \times 10^{-2}\text{m}$ ;  $[\tau] = 100\text{MPa}$

解: 由  $\tau = \frac{M}{W} \leq [\tau]$

得  $M = W [\tau]$

$$\begin{aligned} \text{又 } W &= \frac{l[(\delta + 1.4K)^3 - \delta^3]}{6(\delta + 1.4K)} \\ &= \frac{1 \times 10^{-1}[(6 \times 10^{-3} + 1.4 \times 10^{-2})^3 - (6 \times 10^{-3})^3]}{6 \times (6 \times 10^{-3} + 1.4 \times 10^{-2})} \text{m}^3 \\ &= \frac{778.4 \times 10^{-9}}{120 \times 10^{-3}} \text{m}^3 = 6.48 \times 10^{-6} \text{m}^3 \end{aligned}$$

$$M = W [\tau] = 6.48 \times 10^{-6} \times 100 \times 10^6 = 648 \text{ Nm}$$

答: 该 T 形接头能承受的最大弯矩为 648 Nm。

## 第五节 焊接变形的计算

在焊接过程中, 焊件在高温下被迅速加热, 并且热源是随着焊接的进行在不断地移动, 这种急剧变化的温度所造成的不均匀加热和冷却, 再加上焊件本身的刚度, 将导致焊件产生严重的应力和变形。

焊接变形量的影响因素很多, 计算起来比较繁琐, 为此, 人们在长期的生产实践中, 不断摸索, 由理论—实践—理论, 不断地总结经验, 推导出变形量估算公式, 能够迅速而较准确地推算出焊接变形值, 供解决焊接变形参考。

### 一、纵向收缩量的估算

#### 1. 对接焊缝纵向收缩量的计算公式

$$\Delta L = -0.006 \times \frac{l}{\delta}$$

式中  $\Delta L$  纵向收缩量 (mm);

$l$  焊缝长度 (mm);

$\delta$ ——板厚 (mm)。

**例：**板厚为 10mm 的焊件，对接焊缝长 10m，试估计焊件焊完后，其纵向收缩量为多少？

$$\text{解：} \Delta L = 0.006 \times \frac{l}{\delta} = 0.006 \times \frac{10 \times 1000}{10} \text{mm} = 6 \text{mm}$$

答：焊缝纵向收缩量为 6mm。

### 2. 角焊缝纵向收缩量的计算公式

$$\Delta L = 0.05 \times \frac{A_w l}{A}$$

式中  $\Delta L$  —— 焊缝纵向收缩量 (mm)；

$A_w$  —— 焊缝截面积 ( $\text{mm}^2$ )；

$A$  —— 焊件截面积 ( $\text{mm}^2$ )；

$l$  —— 焊缝长度 (mm)。

**例：**某焊件长 7500mm，角焊缝长 5000mm，焊缝截面积  $A_w = 2.6 \text{mm}^2$ ，焊件截面积  $A = 250 \text{mm}^2$ ，试求角焊缝的纵向收缩量。

$$\text{解：} \Delta L = 0.05 \times \frac{A_w l}{A} = 0.05 \times \frac{2.6 \times 5000}{250} \text{mm} = 2.6 \text{mm}$$

答：角焊缝纵向收缩量为 2.6 mm。

## 二、横向收缩量的估算

### 1. 板对接焊缝的横向收缩量计算公式

$$\Delta B = 0.18 \times \frac{A_w}{\delta} + 0.05b$$

式中  $\Delta B$  —— 横向收缩量 (mm)；

$\delta$  —— 板厚 (mm)；

$A_w$  —— 焊缝截面积 ( $\text{mm}^2$ )；

$b$  —— 根部间隙 (mm)。

**例：**已知板厚为 14mm，焊缝截面积预测为  $42 \text{mm}^2$ ，当焊缝对接根部间隙为 3.2mm 时，试求该焊缝的横向收缩量。

已知： $A_w = 42 \text{mm}^2$ ； $\delta = 14 \text{mm}$ ； $b = 3.2 \text{mm}$

$$\text{解：} \Delta B = 0.18 \times \frac{A_w}{\delta} + 0.05b =$$

$$\left( 0.18 \times \frac{42}{14} + 0.05 \times 3.2 \right) \text{mm} = 0.7 \text{mm}$$

答：该焊缝横向收缩量为 0.7 mm。

2. 角焊缝的横向收缩量计算公式

$$\Delta B = C \frac{K^2}{\delta}$$

式中  $\Delta B$ ——横向收缩量 (mm)；

$C$ ——系数，单面焊时  $C=0.075$ ，双面焊时  $C=0.083$ ；

$K$ ——焊脚尺寸 (mm)；

$\delta$ ——翼板厚度 (mm)。

例：某工字钢翼板厚度 10mm，采取双面角焊，焊脚尺寸为 8mm，试求该焊缝焊后的横向收缩量。

已知： $\delta=10\text{mm}$ ； $K=8\text{mm}$ ；双面焊接时  $C=0.083$

解： $\Delta B = C \frac{K^2}{\delta} = 0.083 \times \frac{8^2}{10} \text{mm} = 0.083 \times 6.4 \text{mm} = 0.53 \text{mm}$

答：该角焊缝焊后横向收缩量 0.53 mm。

三、角变形的估算

1. T 形接头翼板角变形的计算公式 (见图 12-29)

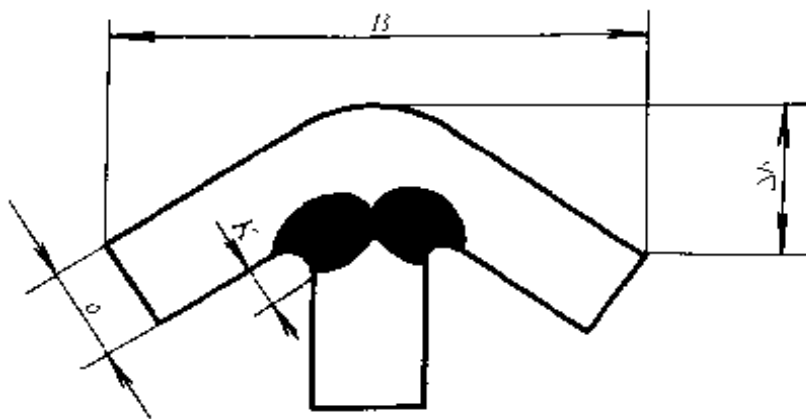


图 12-29 翼板角变形

$$\Delta b = 0.2 \times \frac{BK^{1.3}}{\delta^2}$$

式中  $\Delta b$ ——翼板角变形 (mm)；

$B$ ——翼板宽度 (mm)；

$K$ ——焊脚尺寸 (mm);

$K^{1.3}$ ——系数 (见表 12-10);

$\delta$ ——翼板厚度 (mm)。

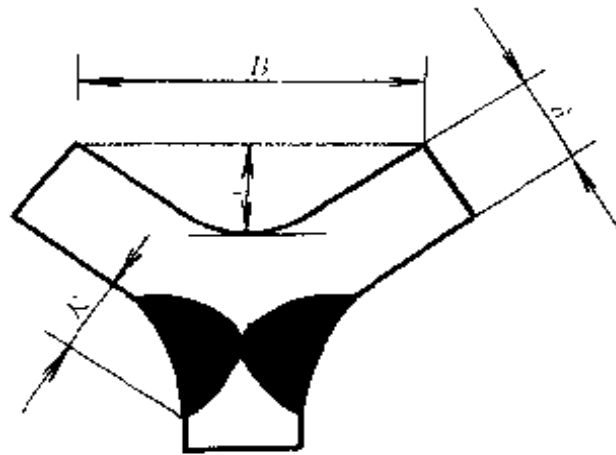


图 12-30 翼板反变形数值

表 12-10  $K^{1.3}$ 系数

焊脚尺寸 $K/\text{mm}$	$K^{1.3}$	焊脚尺寸 $K/\text{mm}$	$K^{1.3}$
4	6.06	16	36.8
5	8.1	18	42.9
6	10.3	20	49.1
7	12.6	22	56
8	14.9	24	62.3
9	17.4	26	69.1
10	20	28	76.1
12	25.3	30	83.2
14	30.9	—	—

例：翼板宽为 20mm，厚为 10mm 的 T 形接头，当焊脚尺寸为 10mm 时，预计角变形量为多少？

已知： $B=20\text{mm}$ ； $\delta=10\text{mm}$ ； $K=10\text{mm}$ ，由表 12-10 得  $K^{1.3}=20$

$$\text{解：}\Delta b=0.2\times\frac{BK^{1.3}}{\delta^2}=0.2\times\frac{20\times 20}{10^2}\text{mm}=0.8\text{mm}$$

答：预计角变形量为 0.8 mm。

2. T 形接头翼板反变形数值（见图 12-30）

$$c=\frac{KB}{30\delta}$$

式中  $c$ ——翼板反变形数值（mm）；

$K$ ——焊脚尺寸（mm）；

$B$ ——翼板宽度（mm）；

$\delta$ ——翼板厚度（mm）。

**例：**T 形接头翼板宽 240mm，翼板厚 10mm，当焊脚尺寸为 5mm 时，为防止产生角变形，需要对翼板进行反变形，其数值是多少？

已知： $K=5\text{mm}$ ； $B=240\text{mm}$ ； $\delta=10\text{mm}$

$$\text{解：}c=\frac{KB}{30\delta}=\frac{5\times 240}{30\times 10}\text{mm}=4\text{mm}$$

答：翼板需反变形 4 mm。

# 第十三章 焊接质量与管理

## 第一节 概 述

“质量-市场-效益-生存-发展”已成为现代经济生活的生命线。随着科学技术和世界范围的经济、贸易与交往迅速发展,质量也成为永恒、跨越国界的主题。质量管理日益国际化,按国际标准 ISO9000 建立质量体系,以促进经济和社会发展已受到普遍重视。为此,国家技术监督局重新修订发布了等同采用 ISO9000~9004 国际标准 1994 年版本的 GB/T19000~19004 1994《质量管理和质量保证标准》。该系列标准是质量保证的基础性标准,其通用性强、适用范围广、覆盖面大。而对于焊接这一特殊性问题,国际上采用具体的标准:

ISO3834—1: 1994 焊接质量要求——金属材料的熔化焊,第一部分:选择及使用指南。

ISO3834—2: 1994 焊接质量要求——金属材料的熔化焊,第二部分:完整质量要求。

ISO3834—3: 1994 焊接质量要求——金属材料的熔化焊,第三部分:一般质量要求。

ISO3834—4: 1994 焊接质量要求——金属材料的熔化焊,第四部分:基本质量要求。

### 一、术语和定义

下述与质量有关的术语和定义,执行 GB/T6583- 1994 标准。

#### 1. 质量

质量是指“反映实体满足明确和隐含需要的能力的特性总和”。实体是“可单独描述和研究的事物”,它可以是活动或过程;产品;组织;体系或人;上述各项的任何组合。

#### 2. 质量方针

质量方针是指“由组织的最高管理者正式发布的该组织总的质量宗旨和质量方向”。

### 3. 质量管理

质量管理是指“确定质量方针、目标和职责，并在质量体系中通过诸如质量策划、质量控制、质量保证和质量改进等使其实施的全部管理职能的所有活动”。质量管理主要体现在建设一个有效运作的质量体系上。

### 4. 质量策划

质量策划是指“确定质量以及采用质量体系要素的目标和要求的活动”。质量策划应包括产品策划、管理和作业策划、编制质量计划和规定质量改进等方面的内容。

### 5. 质量控制

质量控制是指“为达到质量要求所采取的作业技术和活动”。这些“作业技术和活动”贯穿了实体的全过程，即存在于整个质量环中。典型的质量环包括营销和市场调研、产品设计和开发、过程策划和开发、采购、生产或服务提供、验证、包装和贮存、销售和分发、安装和投入运行、技术支持和服务、售后、使用寿命结束时的处置或再生利用等。

### 6. 质量保证

质量保证是指“为了提供足够的信任表明实体能够满足质量要求，而在质量体系中实施并根据需要进行证实的全部有计划和有系统的活动”。“质量保证”和“保证质量”是相互联系但又是不同的两个概念，前者的目的在于取得“足够的信任”，而后者的目的在于满足规定的质量要求。

### 7. 质量改进

质量改进是指“为向本组织及其顾客提供更多的收益，在整个组织内所采取的旨在提高活动和过程的效益和效率的各种措施”。

### 8. 质量体系

质量体系是指“为实施质量管理所需的组织结构、程序、过程和资源”。组织结构是“组织为行使其职能按某种方式建立的职责、权限及其相互关系”。程序是“为进行某项活动所规定的途径”。在很多情况下，

程序可形成文件，称之为“书面程序”或“文件化程序”，其中通常包括活动的目的和范围；做什么和谁来做，何时、何地 and 如何做；应使用什么材料、设备和文件；如何对活动进行控制和记录。过程是“将输入转化为输出的一组彼此相关的资源和活动”。质量体系是通过过程把组织结构、资源和程序运作起来，因此质量体系是通过过程和过程组成的过程网络来实施的。资源可包括人员、资金、设施、设备、技术和方法。

## 二、全面质量管理

全面质量管理（TQM）是指一个组织以质量为中心，以全员参加为基础，目的在于通过让顾客满意和本组织所有成员及社会受益而达到长期成功的管理途径。这里最高管理者强有力和持续的领导以及该组织内所有成员的教育和培训是这种管理途径取得成功所必不可少的。

全面质量管理的特点：

(1) “三全”的管理思想 包括全面的质量概念、全过程的质量管理、全员参加的质量管理。

(2) “四个一切”的观点 即一切为用户服务的观点、一切以预防为主的观点、一切用数据说话的观点、一切按 PDCA 循环办事的观点。

PDCA 循环代表计划（Plan）、执行（Do）、检查（Check）、处理（Action）这一办事的逻辑过程。在 PDCA 循环中，质量管理活动又分为八个步骤，即：第一步，找出质量存在的问题；第二步，找出存在问题的原因；第三步，找出原因中的主要原因；第四步，根据主要原因制定解决对策，以上四个步骤属计划阶段；第五步，按

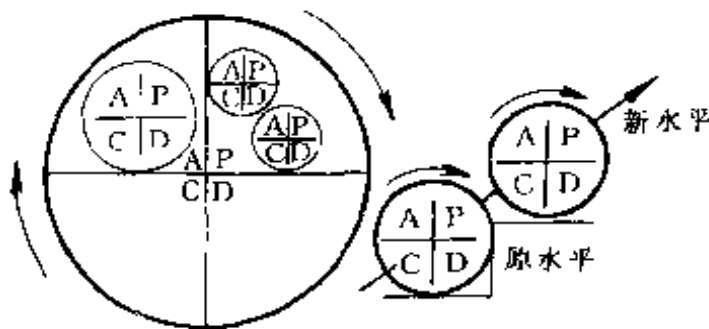


图 13-1 PDCA 循环

制定的解决对策，认真付诸实施，这一步骤属执行阶段；第六步，调查



分析对策在执行过程中的效果，此为检查阶段；第七步，总结成功的经验，并整理成标准，坚持巩固；第八步，把执行对策中不成功或遗留的问题，转入下一个 PDCA 循环中去解决，最后两步属处理阶段。通过一次 PDCA 循环，解决了一些问题，工作就前进了一步，质量就提高了一步，再在一个新的水平上进行 PDCA 循环，如图 13-1 所示。

## 第二节 质量保证体系

### 一、基本概念

#### 1. 质量保证体系

质量保证体系是指企业以提高产品质量为目标，运用系统的概念和方法，把质量管理的各个阶段、各个环节、各个部门的质量管理职能和活动合理地组织起来，形成一个有明确任务、职责、权限而又相互协调、相互促进的有机整体。

#### 2. 质量保证体系的建立和健全

建立健全的质量保证体系主要要求包括：

- (1) 明确的质量目标和方针、政策。
- (2) 各类人员、各业务技术部门的质量责任制。
- (3) 能有效地行使职权的质量保证组织。
- (4) 完整的质量管理制度和质量控制标准、规范、程序。
- (5) 有效的质量管理活动，确保产品形成的全过程处于受控状态。
- (6) 质量记录完整，信息畅通，实施闭环管理。
- (7) 制造、试验、检测、分析手段满足承制产品精度要求。
- (8) 外购器材质量确有保证。
- (9) 用户满意的售后服务。
- (10) 质量教育坚持始终。
- (11) 质量监督（审核）制度化。
- (12) 实行质量成本管理，达到质量管理与经济效益统一。

#### 3. 人、机、料、法、环

质量保证体系根据本单位的人、机、料、法、环等五个方面对产品实行全面质量控制。

人：包括人员结构、人员素质、技术水平、专业特长、工人级别和技术状况以及人员实际技能等。

机：包括品种、规格、数量、状况、使用、维护设备等的的能力。

料：一是原材料及辅料；二是资料，如各种技术资料、书籍等。

法：包括各种规程、规定、规范、标准、规章制度、技术管理制度等。

环：指工作环境、企业容貌。

## 二、典型产品的质量保证体系

### 1. 质量保证体系图

质量保证体系图由三部分组成：一是质量保证体系组织机构图，如图 13-2 所示；二是质量保证体系图，如图 13-3 所示；三是质量保证系统体系图。按图 13-2 应有九个系统，现仅列出理化检验系统体系图，如图 13-4 所示。

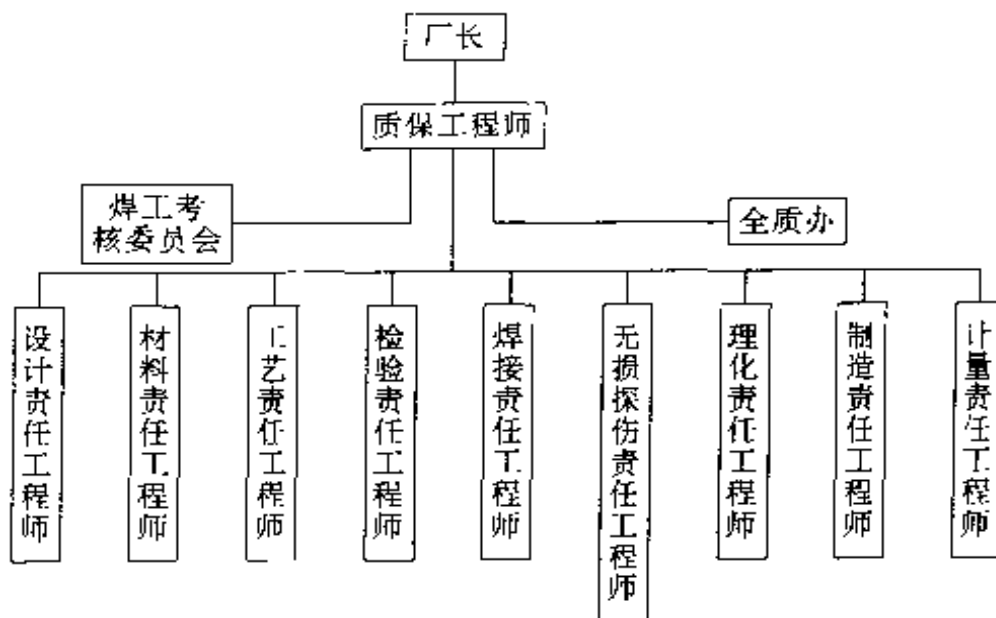


图 13 2 质量保证体系组织机构图

### 2. 质量管理手册

质量手册是指“阐明一个组织的质量方针并描述其质量体系的文件”。根据手册的范围，可以使用限定词，如“质量保证手册”、“质量

管理手册”。

质量管理手册是承制方质量管理工作的基本法规和准则，是承制方贯彻执行“产品质量管理条例”的实施细则，是承制方质量保证能力的文字表述。质量管理手册应当包括下列内容并具有指令性、系统性、可检查性。

- 1) 质量管理的方针、政策和目标。
- 2) 质量保证组织及其职责。
- 3) 产品的质量控制程序和标准。
- 4) 不合格品的管理及纠正措施。
- 5) 质量信息的传递、处理程序。
- 6) 质量保证文件的编制、签发和修改程序。
- 7) 质量工作人员资格审定办法。
- 8) 群众性质量管理活动，以及检查、评价、奖惩办法。
- 9) 其它有关事项。

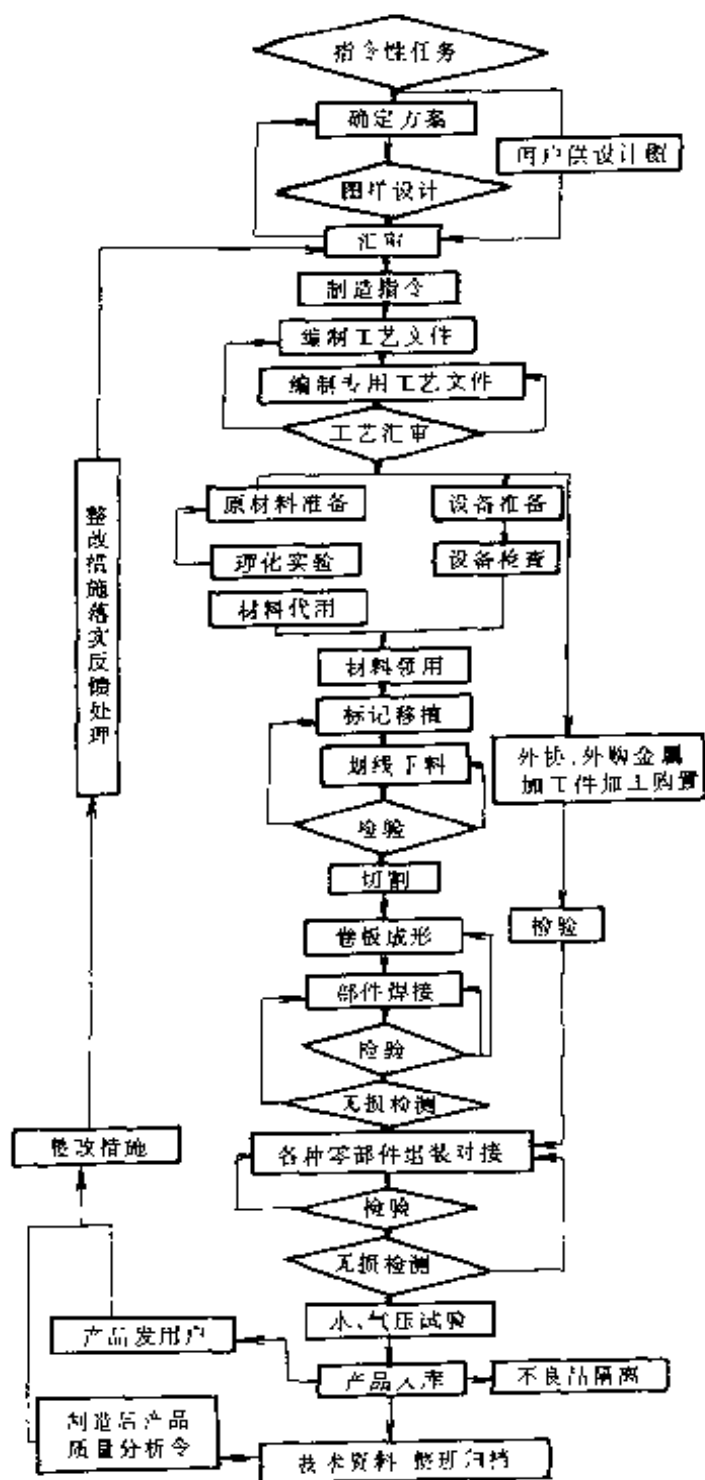


图 13-3 压力容器制造质量保证体系图

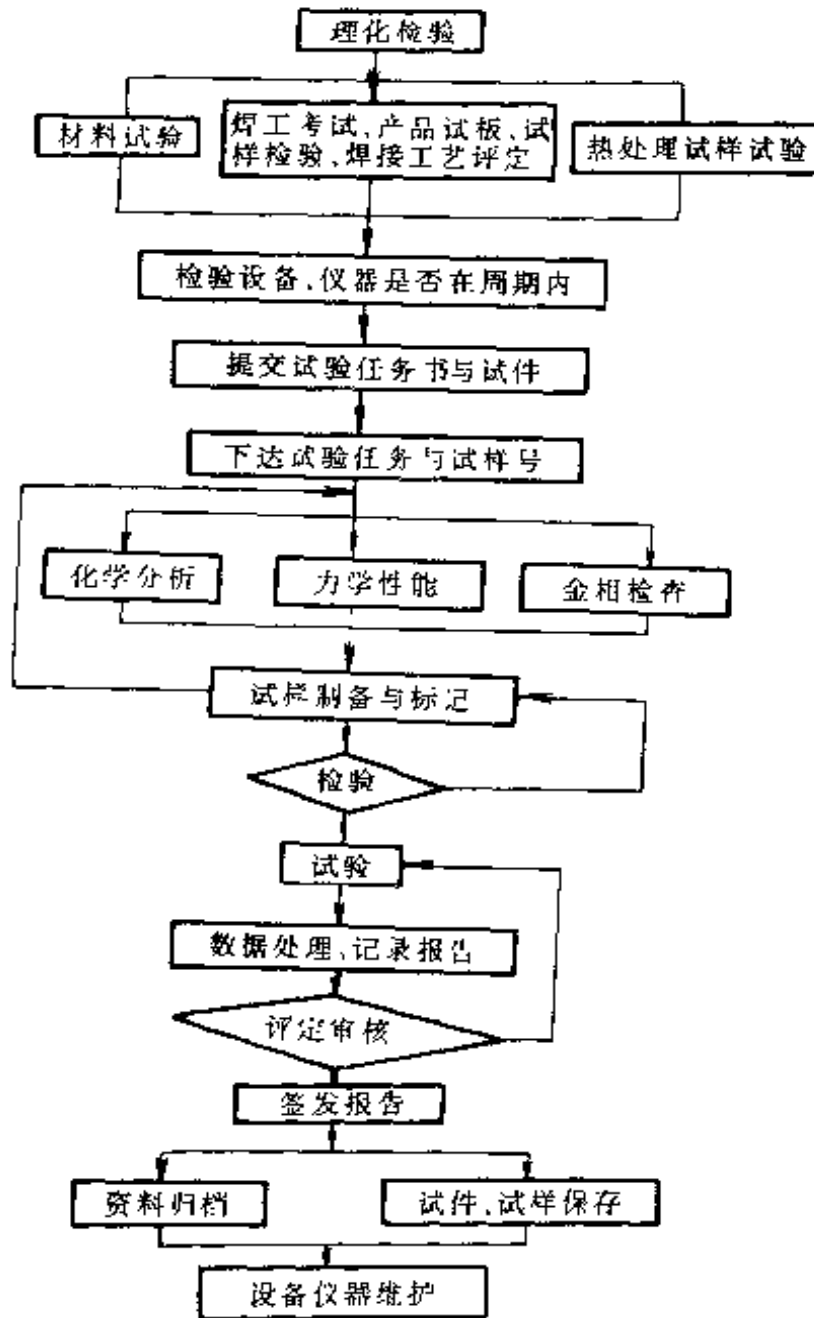


图 13-4 理化检验质量保证系统体系图

### 第三节 焊工培训与考核

#### 一、基本要求

随着科学技术的发展,焊接在工业生产中的地位更加重要。从大量结构事故原因分析结果可以看出,很多是由于焊接质量不好造成的,

而焊工的责任心和操作技能直接影响到焊接质量。为提高焊工的素质，保证焊接结构的使用安全、可靠，对焊工进行培训与考核是十分必要的。

焊工培训与考核包括基本知识和操作技能两部分。只有基本知识考试合格后才能参加操作技能的考试。

操作技能的考试项目可由焊接方法、母材钢号类别、试件类别、焊接材料等部分组成。

焊工经考试合格，发给合格证。对持证焊工应加强管理：

- 1) 持证焊工只能担任考试合格范围内的焊接工作。
- 2) 合格项目的有效期，自签证之日起一般为 3 年。
- 3) 在有效期内全国有效，但焊工不得自行到外单位焊接，否则可吊销其合格证。
- 4) 需要增加操作技能项目时，须增考核项目的操作技能，一般可不考基本知识，但改变焊接方法时，应考基本知识。
- 5) 有效期满后，焊工应重新考试，须考操作技能，必要时考基本知识。
- 6) 焊工中断焊接工作 6 个月以上必须重新考试。
- 7) 对持证焊工平时的焊接质量进行检查记录并定期统计，建立焊工焊绩档案。

## 二、典型专业焊工考试要求

### 1. 锅炉压力容器的焊工考试要求

- (1) 考试记录表 考试记录表见表 13-1 和表 13-2。
- (2) 焊缝评定要求 试件的检验项目、检查数量和试样数量见表 13-3。
- 1) 焊缝外形尺寸应符合表 13-4 的规定。

对于 I 形坡口试件，焊缝直线度应不大于 2mm，焊缝宽度差应不大于 2mm，比坡口增宽值可不测量。

管板试件的焊缝凸度或凹度应不大于 1.5mm。骑座式管板试件的焊脚尺寸为壁厚  $\delta + (3 \sim 6)$  mm，插入式管板试件的焊脚尺寸为  $\delta + (2 \sim 4)$  mm。

表 13-1 锅炉压力容器焊工考试记录表 (一)

编 号		姓 名		性 别	
出生年月			文化程度		
考前工种			焊接工龄		
技术等级			焊工钢印		
基本知识	考试日期	考试编号	考试成绩	主考人签章	
操 作 技 能	考试日期	试件编号	考试项目 (代号)	考试结果	主考人签章
考试单位			考试单位地址		

考试委员会结论：(允许担任的焊接工作)

考试委员会主任委员：

年 月 日

表 13-2 锅炉压力容器焊工考试记录表 (二)

试件编号		考试日期		试件位置		
母材钢号				焊条牌号、直径		
钢板厚度				焊丝牌号、直径		
钢管外径和壁厚				焊剂牌号		
焊接方法				钨极牌号、直径		
试件形式				保护气体		
外观 检查	焊缝余高	焊缝 余高差	比坡口 每侧增宽	宽度差	背面焊缝 余高	焊缝 不直度
	通球检验	角焊缝 凹凸度	焊脚	裂纹	未熔合	夹渣
	咬边	未焊透	背面凹坑	焊瘤	变形角度	错边量
	检查人员			日期		
	无损 检测	照相质量等级	焊缝质量等级	检测报告编号	检验日期	
	断口 检验	检验结果			检验报告编号	检验日期
冷弯 检验	面弯	背弯	侧弯	检验报告编号	检验日期	
金相 宏观 检验	检验结果			检验报告编号	检验日期	

表 13-3 锅炉压力容器焊工试件的检验项目与数量

试件形式	试件厚度或管径		检 验 项 目						
	mm		外观检查 (件)	射线探伤 (件)	断口 检验 (件)	冷弯试验			金相宏观 观检验 (个)
	厚度	管外径				面弯 (个)	背弯 (个)	侧弯 (个)	
板	3~6		1	1		1	1	—	—
	10~16	—	1	1	—	1	1	—	—
	≥24		1	1		-	-	2	
管	2.5~6	25~60	3	—	2	1	1	—	
	4~7	108~139	1	1	—	1	1	—	—
	10~20	133~273	1	1	—	1	1		—
管板	3~6/ 12~16	22~60	1	—	—	—	—	—	3

注：表中的“件”是指试件，冷弯试验的“个”是指试样，金相宏观检验的“个”是指检查面。

表 13-4 锅炉压力容器焊缝外形尺寸 (mm)

焊接方法	焊缝余高		焊缝余高差		焊缝宽度	
	平焊	其它位置	平焊	其它位置	比坡口 每侧增宽	宽度差
手工焊、半机械化焊	0~3	0~4	≤2	≤3	0.5~2.5	≤3
机械化焊	0~3 <sup>①</sup>	0~3	≤2	≤2	2~4	≤2

① 对于厚度大于或等于 24mm 的埋弧焊试件，可为 0~4mm。

单面焊的板状试件和外径大于或等于 133mm 的管状试件背面焊缝余高应不大于 3mm。

外径小于或等于 60mm 的管状试件和骑座式管板试件进行通球检验。管外径大于或等于 32mm 时，通球直径为管内径的 85%。管外径小于 32mm 时，通球直径为管内径的 75%。

2) 各种焊缝表面不得有裂纹、未熔合、夹渣、气孔和焊瘤。机械化焊的焊缝表面还不得有未焊透、咬边和凹坑。手工焊和半机械化焊焊



表 13-5 锅炉压力容器焊工考试缺陷允许尺寸

缺陷名称	允许的最大尺寸
咬边	深度 $\leq 0.5\text{mm}$ ；焊缝两侧咬边总长度：板状试件不超过焊缝有效长度的 15%，管状试件或管板试件不超过焊缝长度的 20%
未焊透	深度 $\leq 15\% \delta$ ，且 $\leq 1.5\text{mm}$ ；总长度不超过焊缝有效长度的 10%（氩弧焊打底的试件不允许未焊透）
背面凹坑	当 $\delta \leq 6\text{mm}$ 时，深度 $\leq 25\% \delta$ ，且 $\leq 1\text{mm}$ ；当 $\delta > 6\text{mm}$ 时，深度 $\leq 20\% \delta$ ，且 $\leq 2\text{mm}$ ；除仰焊位置的板状试件不做规定外，总长度不超过焊缝有效长度的 10%

缝表面的咬边、未焊透和背面凹坑不超过表 13-5 的规定。

3) 板状试件焊后变形的角度  $\theta \leq 3^\circ$ ，试件的错边量不大于  $10\% \delta$ 。

4) 试件的射线检测应符合 JB4730—94《压力容器无损检测》的规定，射线的照相质量要求不应低于 AB 级，焊缝质量不低于 II 级为合格。设有衬垫单面焊试件的未焊透可不评定（在外观检查时评定）。

5) 管状试件的断口检验应符合下列要求：

① 断面上没有裂纹和未熔合。

② 未焊透深度不大于  $15\% \delta$ ，总长度不超过周长的 10%（氩弧焊打底的试件不允许未焊透）。

③ 背面凹坑深度不大于  $25\% \delta$ ，且不大于 1mm。

④ 单个气孔沿径向不大于  $30\% \delta$ ，且不大于 1.5mm，沿轴向或周向不大于 2mm。

⑤ 单个夹渣沿径向不大于  $25\% \delta$ ，沿轴向或周向不大于  $30\% \delta$ 。

⑥ 在任何 10mm 焊缝长度内，气孔和夹渣不多于 3 个。

⑦ 沿圆周方向  $10\delta$  范围内，气孔和夹渣的累计长度不大于  $\delta$ 。

⑧ 沿壁厚方向同一一直线上各种缺陷的总和不大于  $30\% \delta$ ，且不大于 1.5mm。

6) 弯曲试样的弯曲角度应符合表 13-6 的规定。当试样弯曲到规定角度后，其拉伸面上不得有任何一个横向（沿试样宽度方向）裂纹或缺陷的长度大于 1.5mm，或纵向（沿试样长度方向）裂纹或缺陷的长

度大于 3mm, 试样的棱角开裂不计, 但确因焊接缺陷引起试样棱角开裂的长度应进行评定。

表 13-6 锅炉压力容器焊工考试试样弯曲角度

形式	钢种	弯轴直径 $D_0$	支座间距离	弯曲角度
双面焊	碳素钢、奥氏体钢	3 $\delta$	5.2 $\delta$	180°
	其它低合金钢、合金钢			100°
单面焊	碳素钢、奥氏体钢			90°
	其它低合金钢、合金钢			50°

7) 管板试件的每个金相试样检查面经宏观检验应符合下列要求:

① 没有裂纹和未熔合。

② 骑座式管板试件未焊透的深度不大于 15% $\delta$  (氩弧焊打底的试件不允许有未焊透); 插入式管板试件在接头根部熔深不小于 0.5mm。

③ 气孔或夹渣的最大尺寸不超过 1.5mm。当气孔或夹渣尺寸大于 0.5mm, 不大于 1.5mm 时, 其数量不多于 1 个; 当只有小于或等于 0.5mm 的气孔或夹渣时, 其数量不多于 3 个。

## 2. 船舶类焊工的考试要求

基本知识考试合格后, 进行操作技能考试。其操作技能考试分别按船舶焊工、船用锅炉及压力容器焊工、海上设施焊工、水下焊工考试分类及科目与试验项目的要求进行。

(1) 考试记录表 考试记录表见表 13-7。

(2) 焊缝评定要求、试验项目 焊缝评定要求和试验项目见表 13-8、表 13-9、表 13-10 和表 13-11。

除表 13-8、表 13-9、表 13-10 注中的评定要求外, 还应满足下列要求:

1) 焊缝外形尺寸: 焊缝余高, 平焊不得大于 3mm, 其它位置不得大于 4mm; 焊缝宽度, 每侧不得大于坡口 2.5mm。

2) 焊缝表面不得有裂纹、未熔合、夹渣、气孔和焊瘤等缺陷。



表 13-8 船舶焊工考试试验项目

试件形式	类别	考试科目代号	试件厚(壁厚) $\delta$ 、管径 $D$ /mm	试验项目及数量			适用范围	
				正弯	反弯	侧弯		弯曲角度
试板对接	I	F	$\delta=4\sim5$	1	1	—	90°	厚度 $\approx 10\text{mm}$ 平焊的一般板结构
			$\delta=8\sim10$	1	1	—	180°	厚度 8~20mm 平焊的一般板结构
	I	F、V	$\delta\geq 20$	—	—	2	180°	厚度 10mm 以上平焊的一般板结构
			$\delta=4\sim5$	各 1	各 1	—	90°	厚度 $\approx 10\text{mm}$ 平, 立焊的主要板结构
	I	V、H	$\delta=8\sim10$	各 1	各 1	—	180°	厚度 8~20mm 平、立, 横焊的主要板结构
			$\delta\geq 20$	—	—	各 2	180°	厚度 10mm 以上平、立、横焊的主要板结构
	I	V、O	$\delta=4\sim5$	各 1	各 1	—	90°	厚度 10mm 以下全位置焊的重要板结构
			$\delta=8\sim10$	各 1	各 1	—	180°	厚度 8~20mm 全位置焊的重要板结构
	I	V、II	$\delta\geq 20$	—	—	各 2	180°	厚度 10mm 以上全位置焊的重要板结构
			$\delta=8\sim10$	各 1	各 1	—	180°	厚度 10mm 以上全位置焊的重要板结构
管子对接	I <sub>P</sub>	IG	$D<150$	1	1	—	90°	壁厚 $\approx 8\text{mm}$ 管子转动焊的一般结构
			$\delta=4\sim5$	1	1	—	180°	壁厚 8~20mm 管子相应固定位置焊的主要结构
	I <sub>P</sub>	2G 或 5G	$D\geq 150$	1	1	—	180°	壁厚 8~20mm 管子全位置焊的主要结构
			$\delta=8\sim10$	2	2	—	180°	壁厚 8~20mm 管子全位置焊的重要结构
	I <sub>P</sub>	6G 或 2G+5G	$D\geq 150$	2	2	1	180°	壁厚 8~20mm 管子全位置焊的重要结构
			$\delta=8\sim10$	—	—	2	180°	壁厚 10mm 以上管子全位置焊的重要结构

注: 1. F 为平焊、V 为立焊、H 为横焊、O 为仰焊。1G 为管子水平转动焊, 2G 为管子垂直固定焊, 5G 为管子水平固定焊、6G 为管子倾斜 45° 固定焊。

2. 管子对接不许带有任何热环。

3. 4~5mm 试板对接可按产品工艺要求带垫板或不带垫板, 其余试板对接均可带垫板。

4. 试板对接时, 可采用反变形措施, 亦可采用强制固定措施, 焊后试板角变形不得大于 5°。

表 13.9 船用锅炉及压力容器焊工考试试验项目

试件形式	类别	考试代号	试件科目号	试件厚(壁厚) $\delta$ 、管径 $D$ /mm	试验项目及数量				适用范围
					射线探伤		冷弯 180°		
					正弯	反弯	侧弯	侧弯	
试板对接	I	F		$\delta=4\sim5$	1	1	或 2	厚度 $\leq 2\delta$ 的板结构平焊	
				$\delta=16$	—	—	2	厚度 10mm 以上板结构平焊	
	II	F、V		$\delta=4\sim5$	各 1	各 1	或各 2	厚度 $\leq 2\delta$ 的板结构平、立焊	
				$\delta=16$	—	—	各 2	厚度 10mm 以上板结构平、立焊	
	III	H、V、O		$\delta=4\sim5$	各 1	各 1	或各 2	厚度 $\leq 2\delta$ 的板结构全位置焊	
				$\delta=16$	—	—	各 2	厚度 10mm 以上板结构全位置焊	
管子对接	I、P	1G		$D\leq 60$	1	1	—	壁厚 $\leq 2\delta$ 、 $D\leq 76$ mm 管子转动平焊	
				$\delta=3\sim 6$	—	—	—	壁厚 $\leq 2\delta$ 、 $D\leq 76$ mm 管子转动平焊,当 $\delta\geq 19$ mm 时,壁厚不限	
	II、P	2G 或 5G		$D\geq 100$	1	1	或 2	壁厚 $\leq 2\delta$ 、 $D\leq 76$ mm 管子相应固定位 置焊主要结构	
				$D\leq 60$ $\delta=3\sim 6$	2G 为 1 5G 为 2	2G 为 1 5G 为 2	—	壁厚 $\leq 2\delta$ 、 $D\leq 76$ mm 管子相应固定位 置焊主要结构	
	III、P	2G+5G 或 6G		$D\geq 100$	各 2 (2G 为 1) (2G 为 1)	各 2 (2G 为 1) (2G 为 1)	—	壁厚 $\leq 2\delta$ 、 $D\leq 76$ mm 管子全位置焊重 要结构	
				$D\leq 60$ $\delta=3\sim 6$	各 2 (2G 为 1) (2G 为 1)	各 2 (2G 为 1) (2G 为 1)	或各 4 (2G、2)	壁厚 $\leq 2\delta$ 、 $D\leq 76$ mm 管子全位置焊的 重要结构、 $\delta\geq 19$ mm 时壁厚不限	

注: 1. 所有试件不得带有衬垫, 必须单面焊接。  
 2. 试件必须在考试位置位固定, 只允许采取反变形措施, 不得强制固定, 焊后角变形不得超过 3°。  
 3. 若产品工艺要求氩弧焊打底时, 则管子考试亦允许采用氩弧焊打底, 但不允许有未焊透存在。  
 4. 试件施焊过程中, 对每道焊缝均不得修补。  
 5. 当试板厚度(壁厚)  $\delta\geq 10$ mm 时, 应采用侧弯代替所要求的正弯和反弯。  
 6. 弯曲角度仅适用于碳素钢、低合金钢、其它钢种另有规定。  
 7. 射线探伤评定按 JB4730-91《压力容器无损检测》的规定进行。检查结果, 气孔不应低于一级, 其它缺陷不得低于二级。

表 13-10 海上设施焊工考试试验项目

试件形式	类别	考试代号	考试科目号	试件厚度(壁厚) $\delta$ 、管径 $D$ /mm	试验项目及数量				适用范围
					正弯	反弯	侧弯	弯曲角度	
试板对接	I	F		$\delta=8\sim 10$	1	—	—	180°	厚度 8~20mm 一般板结构平焊
				$\delta\geq 20$	—	—	2		厚度 10mm 以上一般板结构平焊
	II	V		$\delta=8\sim 10$	1	1	—	180°	厚度 8~20mm 主要板结构平、立焊
$\delta\geq 20$				—	—	2	厚度 8mm 以上主要板结构平、立焊		
管子对接	I	V、H、O		$\delta=8\sim 10$	1	1	—	180°	厚度 8mm 以上重要板结构全位置焊
				$\delta\geq 20$	—	—	各 2		厚度 $\leq 2\delta$ 管子水平滚动焊一般结构
	II	1G		$D\geq 150$	1	1	—	180°	厚度 $\leq 2\delta$ 管子对接全位置焊主要结构
$\delta=8\sim 10$				—	—	各 4 2G 为 2	当 $\delta > 20\text{mm}$ 时, 厚度 10mm 以上主要结构		
	II	6GR		$D\geq 200$ $\delta_1\geq 13$ $\delta_2\geq 18$ $\delta_2-\delta_1\geq 5$	—	—	4	180°	厚度不限 I、K、Y 形节点及其它管结构的全位置焊接所有结构

注: 1. 6GR 为带有限制环的管子倾斜 45° 固定焊, 其管子轴线与水平面成 45° 倾角, 限制环的外径比厚壁管外径至少大 300mm, 且安装在厚壁管的外缘, 距两管接缝处厚壁管端面的距离不大于 13mm。

2. 管子焊完第一层焊缝后检查, 不允许有任何裂纹、未熔合、未焊透及背部超过 3mm 的焊瘤缺陷。

3. 试板和管子对接不许带任何衬垫。

4. 若有厚度小于 8mm 的一般结构的焊接, 可按船舶焊工考试要求进行。

5. 试板焊后角变形不得大于 5°。



表 13-11 水下焊工考试试验项目

试件形式	类别	考试代号	试件壁厚/mm	试验项目及数量			适用范围	
				外观检查	宏观检查	弯曲试验 正弯 反弯 侧弯	最大允许工作水深为考试水深加 10mm	
试板对接 (PL)	T	F, H, V	6	√	√	—	—	定位焊、应急性修补
	I	F	12~14	√	√	2	—	厚度 < 20mm
			20	—	—	—	厚度 ≤ 1.5δ	
	II	H, V	12~14	√	√	各 2	各 2	厚度 < 20mm
20			—	—	—	—	厚度 ≤ 1.5δ	
管子对接 (PP)	I	O	12~14	√	√	2	2	厚度 < 20mm
			20	—	—	—	—	厚度 ≤ 1.5δ
	I <sub>p</sub>	2G	12~14	√	√	2	2	厚度 < 20mm
			20	—	—	—	—	厚度 ≤ 1.5δ
	I <sub>p</sub>	5G	12~14	√	√	2	2	厚度 < 20mm
			20	—	—	—	—	厚度 ≤ 1.5δ
II <sub>F</sub>	6G	—	√	√	2	2	厚度 < 20mm	
—	—	—	20	—	—	—	—	厚度 ≤ 1.5δ

- 注: 1. 焊缝表面凹陷深度不得低于母材表面 0.8mm。  
 2. 焊缝咬边深度不得大于 0.8mm, 焊缝两侧咬边累计长度: 试板咬边不超过焊缝全长的 10%, 管子咬边不超过焊缝全长的 20%。  
 3. 焊缝表面不得有裂纹、未熔合、夹渣、气孔和焊瘤等缺陷。  
 4. 带垫板或未垫板的试件, 焊接后的未焊透深度均不得超过试件厚度的 10%, 且不大于 1.5mm, 累计长度不超过焊缝长度的 10%。  
 5. 无垫板的试板或无垫板的管子, 焊接后其根部焊瘤不得大于 3mm。  
 6. 焊缝外形尺寸要求: 焊缝余高, 平焊不得大于 3mm, 其它位置不大于 4mm; 焊缝密度, 每侧不得大于坡口宽度 3mm。  
 7. 射线检查要求: 焊缝中不得有裂纹; 单个气孔的最大直径不得超过 3mm, 密集气孔的直径不应超过 1.6mm, 累计总长度不得超过 13mm; 未焊透和未熔合的总长度不得超过 3mm; 夹渣的总长度不得超过 25mm, 单个夹渣不得超过 7mm; 密集性气孔、夹渣或未焊透等缺陷, 相邻间距应大于 6mm, 累计长度不得超过 40mm。  
 8. 弯曲后, 试样的受拉面, 在任何方向上, 不得有超过 3mm 的裂纹或其它张开性缺陷。  
 9. 宏观腐蚀试件, 在焊缝和热影响区的断面上不得有肉眼可见的任何缺陷。

3) 焊缝咬边深度不得大于 0.5mm, 焊缝两侧咬边总长度, 试板不超过焊缝全长 10%, 管子不超过焊缝全长 20%。

4) 不加垫板的试件焊接后, 一般不允许有未焊透, 但允许有深度不超过试件厚度 10%, 且不得大于 1.5mm, 累计长度不超过焊缝全长 10% 的局部内凹。

5) 不加垫板的试件焊接后, 其根部焊瘤不得大于 3mm

6) 弯曲试样的受拉面, 在任何方向上, 不得有超过 3mm 的裂纹或其它张开性缺陷。

7) 管板焊接试件的焊缝表面凹陷或凸起应  $\leq 1.6\text{mm}$ , 两焊脚尺寸之差应  $\leq 3.2\text{mm}$ , 时钟 3 点钟及 6 点钟宏观断面检查时, 母材和焊缝应完全熔合, 并不得有任何裂纹 (焊缝根部  $\leq 0.8\text{mm}$  的线状痕迹可不计)。

### 3. 水利电力系统焊工的考试要求

(1) 焊工考核登记表 焊工考核登记表见表 13-12 和表 13-13。

(2) 焊缝评定要求 焊工分类见表 13-14, 检验项目见表 13-15, 质量标准见表 13-16、表 13-17、表 13-18、表 13-19、表 13-20、表 13-21、表 13-22。

焊缝金相微观检查要求: 没有裂纹; 没有过烧组织; 在非马氏体钢中, 没有马氏体组织。

表 13-12 水利电力系统焊工技术考核登记表

姓名:		钢印代号:	参加焊接工作时间:	年	月
考 核 序 号					
日 期					
试 件	类 别				
	钢 号				
	规 格				
焊接材料牌号及规格					
焊 接 方 法					
焊 接 位 置					



(续)

焊 接 形 式			
热 处 理	预热温度/℃		
	加热温度/℃		
	恒温时间/h		
考 核 结 果	外观检查/件		
	无损检测/件		
	断口检查/片		
	金相分析 /片	宏观	
		微观	
	冷弯试验 (°)	面弯	
		根弯	
	冲击值/(J/cm <sup>2</sup> )		
结 论			
准予担任的焊接工作			
有效期(年、月、日)			
专业技术负责人签字			

表 13-13 水利电力系统焊工考试焊接工程质量登记表

姓名: \_\_\_\_\_ 钢印代号: \_\_\_\_\_ 合格证号: \_\_\_\_\_ 统计序号: \_\_\_\_\_

工 程 名 称		
统 计 日 期		
被 焊 部 件	名 称	
	钢 号	
	规 格	
	接头总数	
检 查 项 目 结 果	外观检查 /件	总 数
		不 合 格 数
	无损检测 /件	总 数
		不 合 格 数

(续)

检查 项目 结果	冲击试验 /片	总 数		
		不合格数		
	断口检查 /片	总 数		
		不合格数		
	金相分析 /片	宏 观	总 数	
			不合格数	
		微 观	总 数	
			不合格数	
	冷弯试验 /片	面 弯	总 数	
			不合格数	
根 弯		总 数		
		不合格数		
水压试验情况				
评 语				

负责人: \_\_\_\_\_

统计人: \_\_\_\_\_

表 13-14 水利电力系统焊工分类和允许担任的工作范围

类别	序号	工 作 范 围
I	1	工作压力 $\geq 10\text{MPa}$ 、外径 $\leq 168\text{mm}$ 的汽、水管道
	2	工作温度 $> 450^\circ\text{C}$ 的锅炉受热面管子及管道
	3	工作温度 $> 300^\circ\text{C}$ 、 $\leq 450^\circ\text{C}$ 的蒸汽管道
	4	工作压力 $> 6\text{MPa}$ 的汽、水、油、空气管道
	5	工作压力 $\geq 1.6\text{MPa}$ 的压力容器
II	1	工作压力 $< 10\text{MPa}$ 、外径 $\leq 168\text{mm}$ 的汽水管道
	2	工作温度 $\leq 450^\circ\text{C}$ 的锅炉受热面管子及管道
	3	工作温度 $> 150^\circ\text{C}$ 、 $\leq 300^\circ\text{C}$ 的蒸汽管道
	4	工作压力 $> 0.1\text{MPa}$ 、 $\leq 6\text{MPa}$ 的汽、水、油、空气管道
	5	工作压力 $> 0.1\text{MPa}$ 、 $< 1.6\text{MPa}$ 的压力容器
III		承重钢结构及高速转动部件的焊接件

注: 1. I类焊工可担任II、III类焊工的工作, II类焊工可担任III类焊工的工作。

2. 焊条电弧焊应按酸性、碱性焊条分别进行考核, 且不能相互代替。

表 13-15 水利电力系统焊工操作技术考核试件的检验项目及数量

焊工类别	试件	考核项目	项目代号	检验项目							冲击试验			
				外观检查 件	无损检测 件	断口检查 片	金相检验 宏观 片 微观 片	冷弯试验 面弯 片 侧弯 片 侧弯 片						
I	板 材	平焊	1G	1	1	2	—	—	1	1	—	—	—	—
		立焊	3G	1	1	2	—	—	1	1	—	—	—	—
		横焊	2G	1	1	2	—	—	1	1	—	—	—	—
		仰焊	4G	1	1	2	—	—	1	1	—	—	—	—
	D ≤ 168mm 的管材	水平固定	5G	3	3	2(件)	1	B 类 I 级及 C 类钢做 1 片			1	—	—	—
		垂直固定	2G	3	3	2(件)	1				1	—	—	—
		45°斜焊	6G	3	3	2(件)	1				1	—	—	—
		水平固定	5G	1	1	3	1				1	—	—	—
	D > 168mm 的管材	垂直固定	2G	1	1	3	1				1	—	—	—
		水平固定	5G	2	2	—	3				3	—	—	—
		垂直固定	2G	2	2	—	3				3	—	—	—
		45°斜焊	6G	2	2	—	3				3	—	—	—
各类管座	平焊	1G	1	1	—	—				1	—	—	—	
	立焊	3G	1	1	—	—				1	—	—	—	
	横焊	2G	1	1	—	—				1	—	—	—	
	仰焊	4G	1	1	—	—				1	—	—	—	
I	板 材	平焊	1G	1	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		立焊	3G	1	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		横焊	2G	1	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		仰焊	4G	1	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—

(续)

焊工类别	试件	考核项目	项目代号	检验项目											
				外观检查 /件	无损检测 /件	断口检查 /片	金相检验		冷弯试验			冲击试验 /片			
							宏观 /片	微观 /片	面弯 /片	根弯 /片	侧弯 /片				
I	D ≤ 168mm 的管材	水平固定	5G	3	-	2(件)	-	-	1	1	-	-	-	-	-
		垂直固定	2G	3	-	2(件)	-	-	1	1	-	-	-	-	-
		45°斜焊	6G	3	-	2(件)	-	-	1	1	-	-	-	-	-
	D > 168mm 的管材	水平固定	5G	1	1	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-
		垂直固定	2G	1	1	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-
		水平固定	5F	2	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-
II	板材	垂直固定	2F	2	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-
		平焊	1G	1	1	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-
		立焊	3C	1	1	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-
		横焊	2C	1	1	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-
		仰焊	4G	1	1	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-
		仰焊	4G	1	1	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-

注:1.“\*”试件厚度大于34mm时,冷弯试验加做侧弯一片。

2.“\*”厚度大于16mm的B类钢(热强钢及合金结构钢)做二片冲击。

3.需做热处理的试件,应在热处理后进行内部检验。

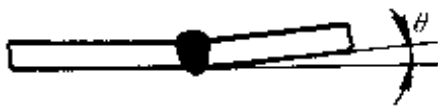
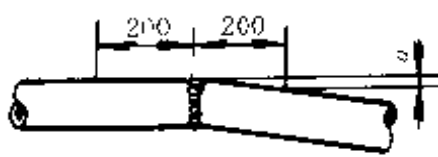
4.需进行仰焊位置管座焊接时,还应按实际位置进行考核,检验项目不变。

5.板材四个位置的考核,仅适用于钢结构和容器的筒体及封头的纵、环焊缝的焊接;在容器上焊接其它管件,要进行相应的管板考核。只管材考核合格不能进行容器的焊接。

表 13-16 水利电力系统焊工考试焊缝外形允许尺寸 (mm)

焊缝形式	焊工类别	焊缝余高		焊缝余高差		焊缝宽度		焊脚高度	焊脚尺寸差
		平焊	其它	平焊	其它	比坡口增宽	每侧增宽		
对接	I	0~3	0~3	≤2	≤2	<4	<2	—	—
	II、III	0~3	0~4	≤2	≤3	4~6	2~3	—	—
角接	I	—	—	≤1	≤1	—	—	δ+ (2~4)	≤2
	II、III	—	—	≤1.5	≤1.5	—	—	δ+ (3~5)	≤3

表 13-17 水利电力系统焊工考试焊接角变形允许尺寸

试件类别	规格 (mm)		偏差值		示意图
	管径	厚度	$\theta$ (°)	$a$ (mm)	
板件	—	12~16	≤3	—	
管件	<100	—	—	≤1	
	≥100	—	—	≤2	

注：I、II、III类焊工均按此表。

表 13-18 水利电力系统焊工考试焊缝面部及根部的表露缺陷允许范围

缺陷名称	焊工类别	允许范围
裂纹、未熔合、表面气孔和夹渣	I、II、III	不允许

(续)

缺陷名称	焊工类别	允许范围
咬边	I	深度不大于0.5mm。焊缝两侧咬边总长度：板件不超过焊缝全长的10%，管件不超过焊缝全长的10%，且不超过10mm
	II	深度不大于0.5mm。焊缝两侧咬边总长度：板件不超过焊缝全长的10%，管件不超过焊缝全长的20%
	III	深度不大于0.5mm。焊缝两侧咬边总长度不超过焊缝全长的15%
未焊透	I	深度不大于厚度的10%，且不大于1.5mm。总长度不超过焊缝全长的10%，氩弧焊打底的焊缝根部不得有未焊透
	II	深度不大于厚度的15%，且不大于1.5mm。总长度不超过焊缝全长的10%，氩弧焊打底的焊缝根部不得有未焊透
	III	深度不大于厚度的15%，且不大于2mm。总长度不超过焊缝全长的15%
根部凸出	I、II、III	板件和直径大于或等于108mm的管件，试件根部凸出高度不大于3mm；直径小于108mm的管件以内径的85%通球为准
凹坑	I、II	深度不大于厚度的15%，且不大于2mm。总长度不超过焊缝全长的10%，板件的仰焊位置长度不做规定
	III	深度不大于厚度的15%，且不大于2mm，总长度不超过焊缝全长的10%，仰焊位置长度不做规定

表 13-19 水利电力系统焊工考试无损检测检验的分级

考核试件	焊工类别	部件及工作参数	标准及质量等级	
			射线	超声
管 材 $D \leq 168\text{mm}$	I	1. 工作压力 $\geq 10\text{MPa}$ , 外径 $\leq 168\text{mm}$ 的汽水管道 2. 工作温度 $> 450\text{C}$ 的锅炉受热面管子	SD143—85 J	—
	II	1. 工作压力 $< 10\text{MPa}$ , 外径 $\leq 168\text{mm}$ 的汽水管道 2. 工作温度 $\leq 450\text{C}$ 的锅炉受热面管子	SD143—85 I	—
管 材 $D > 168\text{mm}$	I	1. 工作温度 $> 300\text{C}$ , 外径 $> 168\text{mm}$ 的蒸汽管道 2. 工作压力 $> 6\text{MPa}$ 的汽、水、油、空气管道	SD143—85 II	SDJ67—83 I
	II	1. 工作温度 $> 150\text{C} \leq 300\text{C}$ 的蒸汽管道 2. 工作压力 $> 0.1\text{MPa} \leq 6\text{MPa}$ 的汽、水、油、空气管道	II	I
板 材	I	工作压力 $> 1.6\text{MPa}$ 的压力容器	JB4730—94 II	JB4730—94 I
	II	工作压力 $> 0.1\text{MPa} \leq 1.6\text{MPa}$ 的压力容器	JB4730—94 I	JB4730—94 I
	III	承重钢结构及高速转动部件的焊接件	JB4730—94 III	JB4730—94 II

表 13-20 水利电力系统焊工考试管材及管板  
断口、金相宏观缺陷允许范围

缺陷名称	焊工类别	允许范围
裂纹、未熔合	I、II	不允许
单个气孔及夹渣	I、II	任何方向的最大尺寸不大于 1.5mm
密集气孔及夹渣	I、II	在 1cm <sup>2</sup> 面积内直径大于 0.8mm 的气孔及夹渣总数不得超过 5 个,其总面积不大于 3mm <sup>2</sup>
相邻缺陷	I、II	沿焊缝长度方向 10 $\delta$ 范围内,气孔和夹渣的累计长度不大于 $\delta$ (相邻缺陷的距离如超过最大缺陷尺寸 5 倍时,按单个缺陷计)
沿厚度方向同一直线上各种缺陷总和	I、II	不大于试件厚度 $\delta$ 的 30%,且不大于 1.5mm

表 13-21 水利电力系统焊工考试板材  
断口、金相宏观缺陷允许范围

缺陷名称	焊工类别	允许范围
裂纹、未熔合	I、II、III	不允许
单个气孔及夹渣	I、II、III	任何方向的最大尺寸不大于 1.5mm
密集气孔及夹渣	I、II、III	在 1cm <sup>2</sup> 面积内直径大于 0.8mm 的气孔及夹渣总数不得超过 5 个,其总面积不大于 3mm <sup>2</sup>
相邻缺陷	I、II、III	沿焊缝长度方向 5 $\delta$ 范围内,气孔和夹渣的累计长度不大于 $\delta$ (相邻缺陷的距离如超过最大缺陷的 5 倍时,按单个缺陷计)
沿厚度方向同一直线上各种缺陷总和	I、II、III	不大于试件厚度 $\delta$ 的 30%,且不大于 3mm



表 13-22 水利电力系统焊工考试冷弯试验要求

钢材类别	压头直径 $d/\text{mm}$	支座间距 /mm:	弯曲角度
A 类 I 级及 C 类钢	$3\delta$	$d+2.2\delta$	$90^\circ$
其它所有钢种	$3\delta$		$50^\circ$

注：1. 面弯试验压头压在焊缝根部中心线上；根弯试验压头压在焊缝面部中心线上。

2. A 类 I 级钢指低碳钢（碳的质量分数小于 0.25%）；C 类钢指奥氏体不锈钢。

3. 试样弯曲到规定角度后，其拉伸面上不得有长度大于 3mm 的纵向裂纹或大于 1.5mm 的横向裂纹

4. 热强钢和合金结构钢（B 类钢）的常温冲击值  $\alpha_K$ （U 形缺口）不得小于  $50\text{J}/\text{cm}^2$ 。

### 第四节 焊接工艺评定

焊接工艺评定就是用拟定的焊接工艺，按标准的规定来焊接试件、检验试件，测定焊接接头是否具有所要求的使用性能。

焊接工艺评定应以可靠的钢材焊接性能试验为依据，并在产品焊接之前完成。

#### 一、焊接工艺评定过程

焊接工艺评定过程是：拟定焊接工艺指导书、根据标准的规定施焊试件、检验试件和试样、测定焊接接头是否具有所要求的使用性能、提出焊接工艺评定报告。从而验证施焊单位拟定的焊接工艺的正确性。若评定不合格，应修改焊接工艺指导书继续评定，直到评定合格。经评定合格的焊接工艺指导书可直接用于生产，也可以根据焊接工艺指导书、焊接工艺评定报告，结合实际生产条件，编制工艺卡用于产品施焊。

焊接工艺评定所用设备、仪表应处于正常工作状态，钢材、焊接材料必须符合标准，由本单位技能熟练的焊接人员焊接试件。

#### 二、焊接工艺因素

焊接工艺因素分为重要因素、补加因素和次要因素。重要因素是指

影响焊接接头抗拉强度和弯曲性能的焊接工艺因素；补加因素是指影响焊接接头冲击韧度的焊接工艺因素；次要因素是指对要求测定的力学性能无明显影响的焊接工艺因素。详见表 13-23、表 13-24。

当变更任何一个重要因素时都要重新评定焊接工艺；当增加或变更任何一个补加因素时则可按增加或变更的补加因素，增焊冲击韧度试件进行试验；当变更次要因素时不需重新评定焊接工艺，但需重新编制焊接工艺指导书。

表 13-23 焊接工艺重要和补加因素

类别	焊接条件	重要因素					补加因素						
		3	111	12	131	135	72	3	111	12	131	135	72
填	1. 焊条牌号(焊条牌号中第二位数字除外)	-	√	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2. 焊条牌号仅第三位数字改变时,用非低氢型代替低氢型	-	-	-	-	-	-	√	-	-	-	-	-
	3. 焊条直径改为大于6mm	-	-	-	-	-	-	√	-	-	-	-	-
	4. 焊丝牌号	√	-	√	√	√	-	-	-	-	-	-	-
充	5. 焊剂牌号;混合焊剂的混合比例	-	-	√	-	-	√	-	-	-	-	-	-
材	6. 添加或取消附加的填充金属;附加填充金属的数量	-	-	√	√	-	-	-	-	-	-	-	-
	7. 实芯焊丝改为药芯焊丝或反之	-	-	-	√	-	-	-	-	-	-	-	-
料	8. 添加或取消预置填充金属;预置填充金属化学成分范围	-	-	-	-	√	-	-	-	-	-	-	-
	9. 增加或取消填充金属	-	-	-	-	√	-	-	-	-	-	-	-

(续)

类别	焊接条件	重要因素					补加因素							
		3	111	12	131	135	72	3	111	12	131	135	72	
填充材料	10. 丝极改为板极或反之;丝极或板极钢号	-	-	-	-	-	√	-	-	-	-	-	-	-
	11. 熔嘴改为非熔嘴或反之;熔嘴钢号	-	-	-	-	-	√	-	-	-	-	-	-	-
焊接位置	12. 从评定合格的焊接位置改为向上立焊	-	-	-	-	-	-	√	-	√	√	-	-	
预热	13. 预热温度比评定合格值降低 50℃ 以上	-	√	√	√	√	-	-	-	-	-	-	-	
	14. 最高层间温度比评定合格值高 50℃ 以上	-	-	-	-	-	-	√	√	√	√	-	-	
气体	15. 可燃气体的种类	√	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	16. 保护气体种类;混合保护气体配比	-	-	-	√	√	-	-	-	-	-	-	-	
电特性	17. 从单一的保护气体改用混合保护气体或取消保护气体	-	-	-	√	√	-	-	-	-	-	-	-	
	18. 电流和类或极性	-	-	-	-	-	-	√	√	√	√	-	-	
电特性	19. 增加热输入或单位长度焊道的熔敷金属体积超过评定合格值(若焊后热处理细化了晶粒,则不必测定热输入或熔敷金属体积)	-	-	-	-	-	-	√	√	√	√	-	-	
	20. 电流值或电压值超过评定合格值 15%	-	-	-	-	-	√	-	-	-	-	-	-	

(续)

类别	焊 接 条 件	重要因素					补加因素					
		3	111	12	131	135	72	3	111	12	131	135
技 术 措 施	21. 焊丝摆动幅度、频率和两端停留时间								√	√		
	22. 由每面多道焊改为每面单道焊								√	√	√	
	23. 单焊丝改为多焊丝或反之					√			√	√	√	
	24. 电(钨)极摆动幅度频率和两端停留时间					√					√	
	25. 增加或取消非金属或非熔化的金属成形滑块					√						

注:3—气焊;111—焊条电弧焊;12—埋弧自动焊;131—熔化极气体保护焊;135—钨极气体保护焊;72—电渣焊。

表 13-24 焊接工艺次要因素

类别	焊 接 条 件	3	111	12	131	135	72
接 头	1. 坡口形式	√	√	√	√	√	√
	2. 增加或取消钢垫板	√					
	3. 在同组别号内选择不同钢号做垫板	√				√	
	4. 坡口根部间隙	√	√	√	√	√	
	5. 取消单面焊时的钢垫板		√	√	√		
	6. 增加或取消非金属或非熔化的金属焊接衬垫		√	√	√	√	
	7. 增加钢垫板					√	
	8. 焊接面的装配间隙						√

(续)

类别	焊 接 条 件	3	11	12	13	135	72
填充材料	9. 焊条直径	—	√	—	—	—	—
	10. 焊丝直径	—	—	√	√	—	—
	11. 焊剂商标名称或制造厂	—	—	√	—	—	—
	12. 填充金属横截面积	√	—	—	—	√	√
焊接位置	13. 焊接位置	√	√	√	√	√	—
	14. 需作清根处理的根部焊道向上立焊或向下立焊	—	√	—	√	√	—
预热	15. 预热温度	√	—	—	—	—	—
	16. 施焊结束后至焊后热处理前改变原预热规定	—	√	√	√	—	—
气体	17. 保护气体流量比评定合格值减少不超过10%	—	—	—	√	√	—
电 特 性	18. 电流种类或极性	—	√	√	√	√	—
	19. 焊接电流值或电弧电压值	—	√	√	√	√	—
	20. 在直流电源上叠加或取消脉冲电流	—	—	—	—	√	—
	21. 钨极的种类或直径	—	—	—	—	√	—
	22. 熔滴过渡种类	—	—	—	√	—	—
技 术 措 施	23. 从氧化焰改为还原焰	√	—	—	—	—	—
	24. 左向焊或右向焊	√	—	—	—	—	—
	25. 不摆动焊或摆动焊	√	√	√	√	√	—
	26. 焊前清理和层间清理方法	√	√	√	√	√	√
	27. 清根方法	—	√	√	√	√	—
	28. 焊丝摆动幅度频率和两端停留时间	—	—	√	√	—	—
	29. 导电嘴至工件的距离	—	—	√	√	—	—

(续)

类别	焊接条件	3	111	12	131	135	72
技 术 措 施	30. 由每面多道焊改为每面单道焊	—	—	√	√	√	—
	31. 单丝焊或多丝焊	—	—	√	√	√	—
	32. 焊丝间距	—	—	√	√	—	√
	33. 手工操作半机械化操作或机械化操作	—	√	√	√	√	—
	34. 有无锤击焊缝	√	√	√	√	√	√
	35. 钨极间距	—	—	—	—	√	—
	36. 喷嘴尺寸	—	—	—	—	√	—
	37. 电(钨)极摆动幅度、频率和两端停留时间	—	—	—	—	√	—

### 三、焊接工艺评定试件

焊接工艺评定时可有对接焊缝、角接焊缝和组合焊缝,如图 13-5、图 13-6、图 13-7、图 13-8、图 13-9 所示。

### 四、试件与试样的检验

试件与试样的检验项目与要求见表 13-25。

### 五、焊接工艺评定格式表

焊接工艺评定推荐格式表见表 13-27、表 13-28。

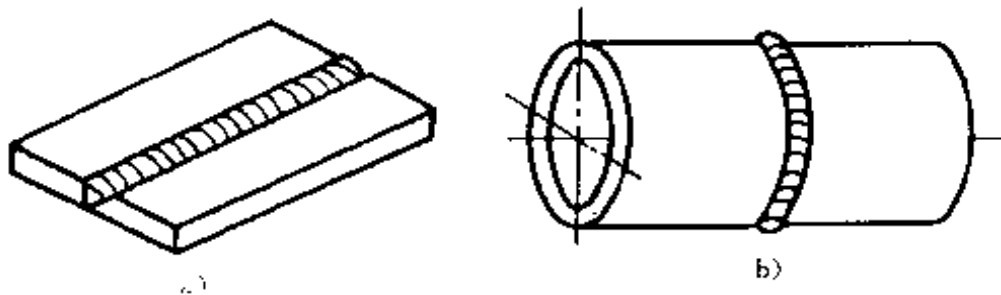


图 13-5 对接焊缝试件

a) 板材对接 b) 管材对接

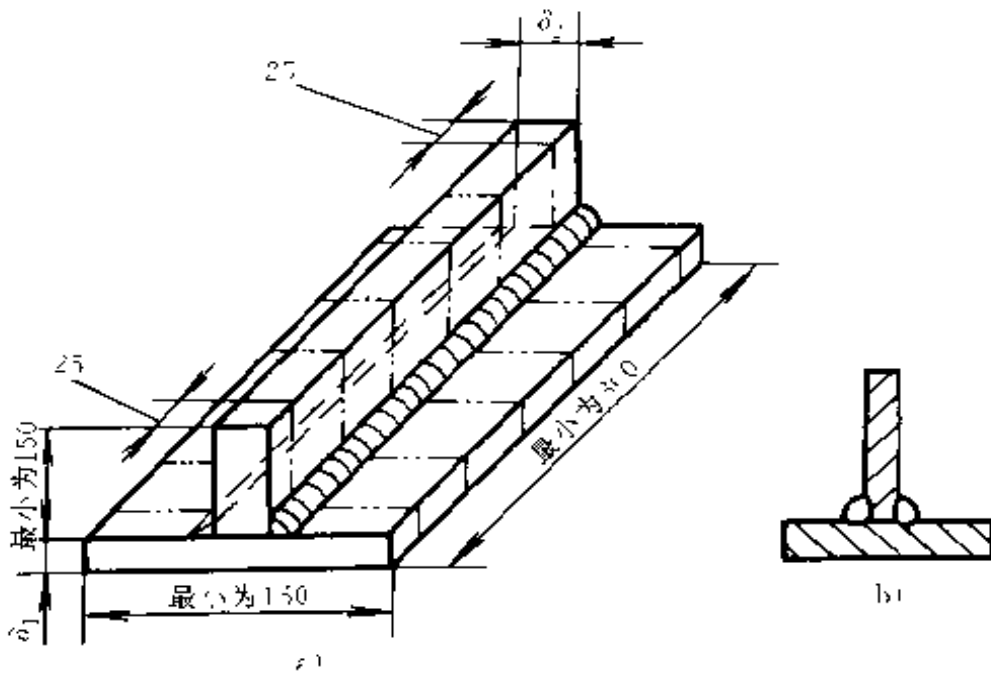


图 13-6 板材角焊缝

a) 试件 b) 金相试样

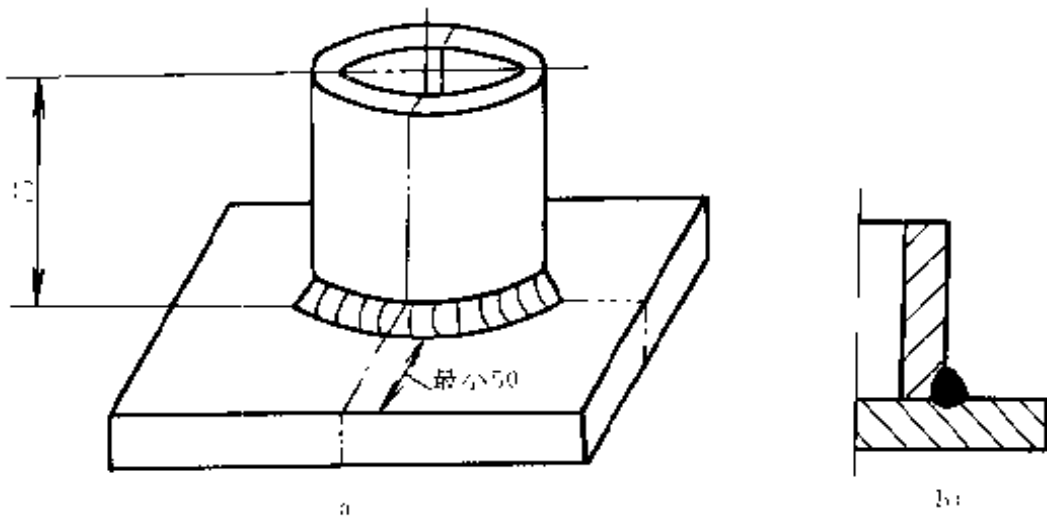


图 13-7 板与管角焊缝

a) 试件 b) 金相试样

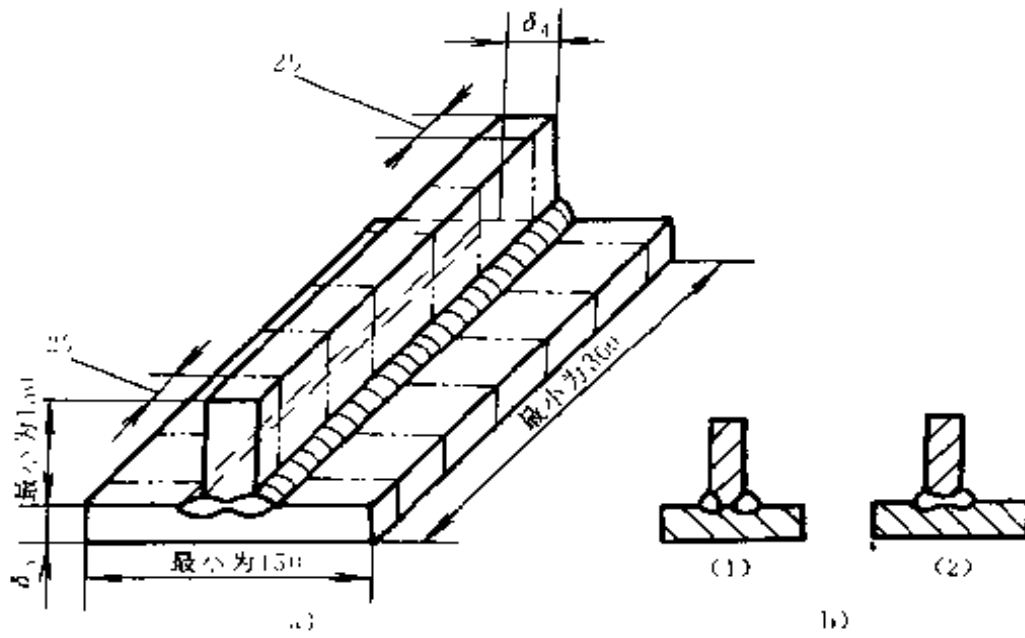


图 13-8 板材组合焊缝

a) 试件

b) 金相试样 1)未全焊透 2)全焊透

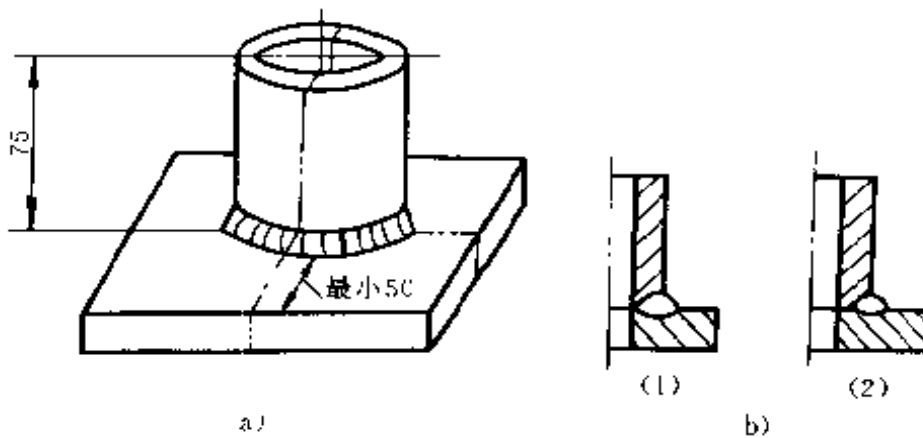


图 13-9 板与管组合焊缝

a) 试件

b) 金相试样 1)全焊透 2)未全焊透



表 13-25 试件与试样的检验项目与要求

焊缝形式	检 验 项 目			
	外 观	无损检测	力学性能	金相(宏观)
对接焊缝	试件接头表面不得有裂纹、未焊透和未熔合	按 JB4730—C4 照相质量不低于 AB 级,焊缝质量不低于 II 级,超声波探伤焊缝质量应为 I 级	<p>拉力试验:</p> <p>试样母材为同种钢号时,每个试样的 <math>\sigma_b</math> 不低于母材标准规定值的下限,母材为两种钢号时,每个试样的 <math>\sigma_b</math> 不低于两种钢号标准规定值下限的较低者</p> <p>弯曲试验:~</p> <p>试样弯曲到规定角度后,其拉伸面上出现长度大于 1.5mm 的任一横向或长度大于 3mm 任一纵向裂纹或缺陷为不合格。试样的棱角开裂一般不计,但由于焊接缺陷引起的棱角开裂长度应计入</p> <p>冲击试验:</p> <p>每个区三个试样的冲击功平均值不低于母材标准规定值,并且仅允许有一个试样低于规定值,但不低于规定值的 70%</p>	—

(续)

焊缝形式	检 验 项 目			
	外 观	无损检测	力学性能	金相(宏观)
角 接 焊 缝	试件接头 表面不得有 裂纹、未熔合	—	—	焊缝根部应焊透, 焊缝金属和热影响区 不得有裂纹、未熔合; 角焊缝两焊脚尺寸之 差不大于 3mm
组 合 焊 缝	试件接头 表面不得有 裂纹、未熔合	—	—	焊缝根部应焊透, 焊缝金属和热影响区 不得有裂纹、未熔合

① 弯曲试验条件见表 13-26。

表 13-26 弯曲试验条件

钢 种		弯轴直径 $D/mm$	支座间距离 $mm$	弯曲角度 $/(^{\circ})$
双面焊	碳素钢、奥氏体钢	3 $\delta$	5.2 $\delta$	180
	其它低合金钢、合金钢			100
单面焊	碳素钢、奥氏体钢			90
	其它低合金钢、合金钢			50

表 13-27 焊接工艺指导书

单位名称\_\_\_\_\_ 批准人\_\_\_\_\_

焊接工艺指导书编号\_\_\_\_\_ 日期\_\_\_\_\_ 焊接工艺评定报告编号\_\_\_\_\_

焊接方法\_\_\_\_\_ 机械化程度\_\_\_\_\_

---

焊接接头:  
坡口形式\_\_\_\_\_

垫板(材料及规格)\_\_\_\_\_

其它\_\_\_\_\_

(应当用简图、施工图、焊缝代号或文字说明接头形式、焊接坡口尺寸、焊缝层次和焊接顺序)

(续)

母材:

类别号\_\_\_\_\_组别号\_\_\_\_\_与类别号\_\_\_\_\_组别号\_\_\_\_\_相焊

或标准号\_\_\_\_\_钢号\_\_\_\_\_与标准号\_\_\_\_\_钢号\_\_\_\_\_相焊

厚度范围:

母材:对接焊缝\_\_\_\_\_角接焊缝\_\_\_\_\_

管子直径、壁厚范围:对接焊缝\_\_\_\_\_角接焊缝\_\_\_\_\_组合焊缝\_\_\_\_\_

焊缝金属\_\_\_\_\_

其它\_\_\_\_\_

焊接材料:

焊条类别\_\_\_\_\_其它\_\_\_\_\_

焊条标准\_\_\_\_\_牌号\_\_\_\_\_

填充金属尺寸\_\_\_\_\_

焊丝、焊剂牌号\_\_\_\_\_焊剂商标名称\_\_\_\_\_

焊条(焊丝)熔敷金属化学成分(质量分数)(%)

C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo	V	Ti

焊接位置:

对接焊缝的位置\_\_\_\_\_

焊接方向:向下\_\_\_\_\_向上\_\_\_\_\_

角焊缝位置\_\_\_\_\_

焊后热处理:

加热温度\_\_\_\_\_升温速度\_\_\_\_\_

保温时间\_\_\_\_\_冷却方式\_\_\_\_\_

预热:

预热温度(允许最低值)\_\_\_\_\_

层间温度(允许最高值)\_\_\_\_\_

保持预热时间\_\_\_\_\_

加热方式\_\_\_\_\_

气体:

保护气体\_\_\_\_\_

混合气体组成\_\_\_\_\_

流量\_\_\_\_\_

(续)

电特性:

电流种类\_\_\_\_\_ 极性\_\_\_\_\_

焊接电流范围\_\_\_\_\_ 电弧电压\_\_\_\_\_

(按所焊位置和厚度,分别列出电流、电压范围,该数据计入下表中)

焊缝 层次	焊接 方法	填充金属		焊接电流		电弧电 压范围	焊接 速度	热输入
		牌号	直径	极性	电流			

钨极类型及规格\_\_\_\_\_

熔化极气体保护焊溶滴过渡形式\_\_\_\_\_

焊丝、送丝速度范围\_\_\_\_\_

技术措施:

摆动焊或不摆动焊\_\_\_\_\_

摆动参数\_\_\_\_\_

喷嘴尺寸\_\_\_\_\_

焊前清理或层间清理\_\_\_\_\_

背面清根方法\_\_\_\_\_

导电嘴至工件距离(每面)\_\_\_\_\_

多道焊或单道焊(每面)\_\_\_\_\_

多丝焊或单丝焊\_\_\_\_\_

锤击\_\_\_\_\_

其它(环境温度、相对湿度)\_\_\_\_\_

编制		日期		审核		日期	
----	--	----	--	----	--	----	--

表 13-28 焊接工艺评定报告

单位名称\_\_\_\_\_ 批准人\_\_\_\_\_

焊接工艺评定报告编号\_\_\_\_\_ 日期\_\_\_\_\_ 焊接工艺指导书编号\_\_\_\_\_

焊接方法\_\_\_\_\_

机械化程度\_\_\_\_\_

接头

(用简图画出口形式、尺寸、垫板、焊缝层次和顺序等)

<p>母材:</p> <p>钢材标准号_____</p> <p>钢号_____</p> <p>类组别号___与类组别号___相焊</p> <p>厚度_____</p> <p>直径_____</p> <p>其它_____</p>	<p>焊后热处理:</p> <p>温度_____</p> <p>保温时间_____</p> <p>气体:</p> <p>气体种类_____</p> <p>混合气体成分_____</p>
<p>填充金属:</p> <p>焊条标准_____</p> <p>焊条牌号_____</p> <p>焊丝钢号、尺寸_____</p> <p>焊剂牌号_____</p> <p>其它_____</p>	<p>电特性:</p> <p>电流种类_____</p> <p>极性_____</p> <p>焊接电流_____ 电压_____</p> <p>其它_____</p>
<p>预热:</p> <p>预热温度_____</p> <p>层间温度_____</p> <p>其它_____</p>	<p>技术措施:</p> <p>焊接速度_____</p> <p>摆动或不摆动_____</p> <p>摆动参数_____</p>
<p>焊接位置:</p> <p>对接焊缝位置___方向(向上、下)</p> <p>角焊缝位置_____</p>	<p>多道焊或单道焊(每面)_____</p> <p>单丝焊或多丝焊_____</p> <p>其它_____</p>
<p>焊缝外观检查:</p>	

(续)

无损检测			报告编号:		
渗透探伤(标准号、结果) _____			超声波探伤(标准号、结果) _____		
磁粉探伤(标准号、结果) _____			射线探伤(标准号、结果) _____		
其它 _____					

拉力试验				报告编号:		
试样号	宽	厚	面积	断裂载荷	抗拉强度	断裂特征和部位

弯曲试验			报告编号:	
试样编号及规格	试样类型	弯轴直径	试验结果	

冲击试验				报告编号:	
试样号	缺口位置	缺口形式	试验温度	冲击功	

## 角焊缝试验和组合焊缝试验

检验结果:

焊透 \_\_\_\_\_ 未焊透 \_\_\_\_\_

裂纹类型和性质(表面) \_\_\_\_\_ 金相 \_\_\_\_\_

两焊脚尺寸差 \_\_\_\_\_

其它检验

检查方法(标准、结果) \_\_\_\_\_

焊缝金属化学成分分析(结果) \_\_\_\_\_

其它 \_\_\_\_\_

结论:

评定结果(合格、不合格) \_\_\_\_\_

施焊		焊接时间		标记	
填表		日期			
审核		日期			

## 第五节 焊接工艺规程的编制

焊接工艺是焊接过程中的一整套技术规定,其中包括:焊前准备、焊接材料、焊接设备、焊接方法、焊接顺序、焊接操作的最佳选择以及焊后处理等。

### 一、焊接工艺规程的内容与要求

焊接工艺规程的编制内容及其要求见表 13-29。

表 13-29 焊接工艺规程的编制内容与要求

项目	内 容 与 要 求
焊接材料	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 焊接材料包括焊条、焊丝、焊剂、气体、电极和衬垫等</li> <li>2. 应根据母材的化学成分、力学性能、焊接性能结合产品的结构特点和使用条件综合考虑,选用焊接材料</li> <li>3. 焊缝金属的性能应高于或等于相应母材标准规定值的下限或满足图样规定的技术要求</li> </ol>
焊 接 准 备	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 焊接坡口的选择应焊缝金属填充量尽量少;避免产生缺陷,减少残余焊接变形和应力,有利于操作等</li> <li>2. 坡口制备时对碳素钢和 <math>\sigma_s \leq 540\text{MPa}</math> 的碳锰低合金钢,可采用冷、热加工方法; <math>\sigma_s &gt; 540\text{MPa}</math> 的碳锰低合金钢、铬钼低合金钢和高合金钢应采用冷加工,若采用热加工则应采用冷加工方法去除表面层</li> <li>3. 焊接坡口应平整,不得有裂纹、分层、夹渣等缺陷,尺寸符合图样规定</li> <li>4. 坡口表面及两侧应将水、锈、油污、积渣和其它有害杂质清除干净</li> <li>5. 奥氏体高合金钢坡口两侧应刷防溅剂,防止飞溅粘附母材上</li> <li>6. 焊条、焊剂按规定烘干、保温;焊丝需除油、锈;保护气体应干燥</li> <li>7. 根据母材的化学成分、焊接性能、厚度、焊接接头拘束度、焊接方法和焊接环境等综合因素确定预热与否及其预热温度</li> <li>8. 采用局部预热时,应防止局部应力过大,预热范围为焊缝两侧各不小于焊件厚度的 3 倍,且不小于 100mm</li> <li>9. 焊接设备等应处于正常工作状态,安全可靠,仪表应定期校验</li> <li>10. 定位焊缝不得有裂纹、气孔、夹渣</li> <li>11. 避免强行组装</li> </ol>
焊 接 要 求	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 焊接环境的风速:气体保护焊时大于 <math>2\text{m/s}</math>,其它焊接方法大于 <math>10\text{m/s}</math>,相对湿度大于 90%;雨、雪环境;焊件温度低于 <math>-20\text{C}</math> 时应采取措施,否则禁焊</li> <li>2. 当焊件温度为 <math>0 \sim -20\text{C}</math> 时,应在始焊处 100mm 范围内预热到 <math>15\text{C}</math> 以上</li> </ol>

(续)

项目	内 容 与 要 求
焊 接 要 求	<ol style="list-style-type: none"> <li>3. 禁止在非焊接部位引弧</li> <li>4. 电弧擦伤处的弧坑需补焊并打磨</li> <li>5. 双面焊需清理焊根, 显露出正面打底的焊缝金属, 对于自动焊, 经试验确认能保证焊透, 可以不做清根处理</li> <li>6. 层间温度不超过规定的范围, 当预热时, 层间温度不得低于预热温度</li> <li>7. 每条焊缝尽可能一次焊完, 当中断焊接时, 对冷裂纹敏感的焊件应及时采取后热、缓冷等措施, 重新施焊时, 需按规定进行预热</li> <li>8. 采用锤击改善焊接质量时, 第一层及盖面层焊缝不应锤击</li> </ol>
焊 后 热 处 理	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 根据母材的化学成分、焊接性能、厚度、焊接接头拘束度、产品使用条件和有关标准、综合确定是否需进行焊后热处理</li> <li>2. 焊后热处理应在补焊后及压力试验前进行</li> <li>3. 应尽可能整体热处理, 当分段热处理时, 焊缝加热重叠部分长度至少为 1500mm, 加热区以外部分应采取措施防止产生有害的温度梯度</li> <li>4. 焊件进炉时炉内温度不得高于 400℃</li> <li>5. 焊件升温至 400℃以后, 加热区升温速度不得超过 5000/δ℃/h, 且不得超过 200℃/h, 最小可为 50℃/h</li> <li>6. 焊件升温期间, 加热区内任意长度 5000mm 内的温差不得大于 120℃</li> <li>7. 焊件保温期间, 加热区内最高与最低温差不宜大于 65℃</li> <li>8. 焊件温度高于 400℃时, 加热区降温速度不得超过 6500/δ℃/h, 且不得超过 260℃/h, 最小可为 50℃/h</li> <li>9. 焊件出炉时, 炉温不得高于 400℃, 出炉后应在静止的空气中冷却</li> </ol>
焊 缝 返 修	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 对需焊接返修的缺陷应分析产生原因, 提出改进措施, 按标准进行焊接工艺评定, 编制返修工艺</li> <li>2. 焊缝同一部位返修次数不宜超过 2 次</li> <li>3. 返修前将缺陷彻底清除干净</li> <li>4. 如需预热, 预热温度应较原焊缝适当提高</li> <li>5. 返修焊缝性能、质量应与原焊缝相同</li> <li>6. 要求热处理的焊件, 如在热处理后返修补焊时, 必须重作热处理</li> </ol>
焊 接 检 验	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 焊前检验包括有: 母材, 焊接材料; 焊接设备、仪表、工艺装备; 焊接坡口、接头装配及清理; 焊工资格、焊接工艺文件</li> <li>2. 焊接过程中检验包括有: 焊接工艺参数; 执行工艺情况; 执行技术标准及图样规定情况</li> <li>3. 焊后检验包括有: 施焊记录; 焊缝外观及尺寸; 后热、焊后热处理; 无损检测; 焊接工艺纪律检查试板; 压力试验; 致密性试验等</li> </ol>



二、焊接工艺卡片

典型焊接工艺卡片见表 13-30 和表 13-31。

表 13-30 焊接工艺卡片 (一)

编号:

产品名称	制造编号	产品类别	焊接工艺评定编号	焊缝代号	第 页	
					共 页	
材料牌号		焊接层次、顺序示意图		焊接层数(正/背):		
材料规格				坡口角度:		
焊接方法				钝 边:		
电源种类				组对间隙:		
电源极性				背面清根:		
坡口型式						
焊接位置		焊前预热	加热方式		层间温度	
			温度范围		测温方法	
		焊 后 热处理	种 类		保温时间	
			加热方式		冷却方式	
			温度范围		测温方法	
焊 接 参 数						
焊 层	焊材 牌号	焊材 直径 /mm	焊接 电流 /A	电弧 电压 /V	焊接 速度 /(cm/min)	保护气 体流量 /(L/min)

备注:其它焊接工艺要求按本单位《通用焊接工艺守则》执行

表 13-31 焊接工艺卡片(二)

焊接工艺卡片		产品型号		零(部)件图号	零(部)件名称		主要组成件				编号:		
		产品名称									第 页	共 页	
工序号	工序内容	设备	工艺装备	电压气压	电 流 焊 嘴 号	焊 条、丝、电极 型 号	焊 剂	其它参数	工 时	主要组成件			
										图 号	名 称	材 料	件 数
标记	处数	更改文件号	日期	签字	处数	更改文件号	日期	签字	日期	设计	审核	标准化	会签

## 第六节 影响焊接质量的技术因素

产品在焊接生产的工艺过程中,为确保质量,应考虑各有关的技术影响因素,从而在工艺编制、项目审查、生产组织以及质量管理等各个环节予以贯彻。其影响因素见表 13-32。

表 13-32 焊接质量的技术影响因素

项目	内 容
材 料	<p>1. 母材金属的化学成分、力学性能、均匀性、表面状态和厚度等都会对焊接接头的热裂、冷裂、脆性断裂和层状撕裂倾向产生影响</p> <p>2. 焊缝金属应与母材金属相匹配,匹配要求取决于具体的使用条件。对化学成分或金相组织不同的部件的焊接,需做特殊的考虑</p> <p>3. 焊缝金属性能受焊接工艺的影响</p> <p>4. 选择母材和填充金属时,应该考虑接头性能有随时间变化的可能</p>
焊 接 方 法 和 工 艺	<p>5. 焊接方法应适合接头材料的性能和接头施焊位置,应通过试验来证明所选择的方法是适合的</p> <p>6. 母材金属、焊接方法和焊接材料,都对焊接接头的剖面 and 表面粗糙度有影响</p> <p>7. 焊接方法和焊前或焊后的冷、热加工对接头力学性能会带来不可忽视的影响</p> <p>8. 焊件焊接时的热输入和温度梯度是必须考虑的重要因素</p>
应 力	<p>9. 结构的疲劳寿命与焊接接头有关,一般来说接头是敏感的部位,该部位应力集中系数之高,使材料本身的疲劳强度只具有次要的影响</p> <p>10. 在疲劳状态下的应力集中系数不仅取决于接头类型,而且取决于接头的几何形状、接头的方向,以及内部与外部的缺陷,与载荷方向、大小的关系</p> <p>11. 由安装、操作和焊接引起的残余应力必须与设计应力一起考虑</p> <p>12. 为避免角焊缝根部受拉,单面角焊缝不应承受环绕接头纵轴的弯曲,角焊缝两侧都应施焊</p> <p>13. 形成极小锐角或极大钝角熔合面的角焊缝,不适宜传递所计算的工作应力达到最大时的载荷,当必须采用这样接头时,焊接工艺要特殊考虑</p>

(续)

项目	内 容
几何形状	14. 接头几何形状应尽可能不干扰应力分布 15. 尽可能避免截面上有突变的接头、疲劳工作条件更应注意 16. 非等厚截面的对接焊缝, 应削边对接 17. 接头的厚度越厚, 材料的缺口敏感性越值得注意 18. 焊接件的组装精度, 影响最终的接头性能 19. 尽量避免在有应力叠加或应力集中的区域里布置焊缝, 若不可避免, 应做特殊处理 20. 为便于焊接和使用中的探伤、维修, 所有的焊缝都应有合适的可达性
环境	21. 接头的任一侧面接触介质时, 应采取必要的防护措施(增加壁厚、消除应力等) 22. 在腐蚀或浸蚀介质内, 接头的几何形状和粗糙度应保证不存在可能引起腐蚀或浸蚀的区域
焊后处理	23. 焊后热处理是为了减小残余应力或为了获得所需的性能, 或者均有 24. 焊后机械处理(如锤击)、振动时效处理, 目的是通过改变和改善残余应力的分布来减少由焊接引起的应力集中

# 第十四章 焊接与切割安全技术

## 第一节 概 述

焊接与切割属于“特种作业”，即焊接与切割时对操作者本人，尤其对他人和周围设施的安全有重大危害。为了加强特种作业人员的安全技术培训、考核和管理，实现安全生产，提高经济效益，国家制定了“特种作业人员安全技术考核管理规则”(GB5306—85)。该规则明确了特种作业人员应具备的条件、培训、考核和发证、复审、工作变迁及奖惩等。指出从事焊接与切割作业的人员，必须进行安全教育和安全技术培训，取得操作证方能上岗独立作业。

焊接与切割作业中要经常与电气设备、易燃易爆物质、压力容器等接触，如果安全措施不当或工作疏忽，很容易造成事故。为了保障操作者的安全，改善卫生条件，防止工伤事故和减少经济损失，国家制定了标准：“焊接与切割安全”(GB9418—88)。该标准包括有：气焊与气割设备及操作安全、电焊设备的操作安全、焊接切割劳动保护、焊接作业场所通风、焊接切割中防火等。这是焊接与切割安全的基本原则，也是对操作者的基本要求。

## 第二节 危害因素与卫生标准

### 一、触电

触电事故是指人体触及带电体，导致电流通过人体的电气事故，当电流通过人体内部时，会破坏人的心脏、肺部以及神经系统的正常功能，使人出现痉挛、呼吸窒息、心颤、心脏骤停以至危及人的生命，这种触电称为电击；由于电流的热效应、化学效应和机械效应，对人体造成伤害称为电伤。电伤多见于肌体外部，而且往往留下伤痕，电伤也属于触电事故。

电流通过人体内部，对人体伤害的严重程度与通过人体的电流大小、电流通过人体的持续时间、电流通过人体的途径、电流的种类以及人体的状况等多种因素有关。而且各因素不是相互孤立的，各因素间，特别是电流大小与通电时间之间，有十分密切的关系。

通过人体的电流越大，生理反应越明显，人的感觉越强烈，破坏心脏跳动所需的时间越短，致命的危险越大。

通电时间越长，破坏肌体的能量积累越增加，致使心室颤动的危险性越大。

电流通过心脏会引起心室颤动，更大的电流会促使心脏停止跳动，这都会中断血液循环，导致死亡；电流通过中枢神经，会引起中枢神经强烈失调而导致死亡；电流通过头部会使人立即昏迷，若电流过大，会使人脑产生严重的损坏，甚至使人不醒而死亡；电流通过脊髓，可能导致半截肢体瘫痪。从左手到胸部，电流流经心脏的途径短，是最危险的电流途径；从脚到脚的电流途径虽然危险性较小，但可能因痉挛而摔倒，导致电流通过全身或摔伤、坠落等二次事故。

直流电流、高频电流、冲击电流和静电电荷对人体都有伤害作用，其伤害程度一般较工频电流为轻。

电对人体的伤害程度与人体本身的状况有密切的关系。人体状况除人身电阻外，还与性别、健康状况、年龄大小和精神状态有关。对电流的敏感度，一般女性高于男性。受电击后的伤害，少年比成年人程度大，心脏病等严重疾病患者或体弱多病者比健康人受电伤害程度大。精神萎靡比精神饱满者伤害程度大。

人体电阻值随条件而变化，见表 14-1。一般情况下，人体电阻可按  $1000 \sim 2000 \Omega$  来考虑。

通过人体的电流不可能预先得知，因而确定安全条件时不计安全电流，而用安全电压来表示。安全电压值与工作环境有关。对于比较干燥的场所，安全电压为 36V；对于比较潮湿的场所，安全电压为 12V；对于水下焊接与切割作业，国际电工标准会议确定安全电压为 2.5V。

焊接设备的电源电压一般为 220V 或 380V，电压值大大超过安全电压值；焊接设备的空载电压虽然多数较低，但也大大超过了安全电

压,而且有的空载电压很高,往往达几百伏(如氩原子焊机、等离子弧切割机)、甚至几万至十几万伏(如真空电子束焊机);焊接工作电压可达几十伏,高的则达一二百伏,大都超过安全电压值。

表 14-1 不同条件下的人体电阻

接触电压 V	人 体 电 阻 $\Omega$			
	皮肤干燥 <sup>①</sup>	皮肤潮湿 <sup>②</sup>	皮肤湿 <sup>③</sup>	皮肤浸入水中 <sup>④</sup>
10	7000	3500	1200	660
25	5000	2500	1000	500
50	4000	2000	875	440
100	3000	1500	770	375
250	1500	1000	650	325

- ① 相当干燥场所的皮肤,电流途径为单手至双足。
- ② 相当潮湿场所的皮肤,电流途径为单手至双足。
- ③ 相当有水蒸汽等特别潮湿场所的皮肤,电流途径为双手至双足。
- ④ 相当游泳池或浴池中的情况,基本上为体内电阻。

## 二、电弧辐射

焊接电弧温度高,焊条电弧焊的电弧温度高达 3000℃ 以上,等离子弧的电弧温度其弧柱中心可达 18000~24000℃。在此温度下可产生强烈的弧光,主要是强烈的可见光和不可见的紫外线和红外线。

紫外线是一种波长为 180~400nm 的辐射线,和红外线、可见光线一起均属热线谱。具有明显生物学作用的紫外线是波长为 180~320nm 波段中的短波紫外线。焊条电弧焊电弧形成的紫外线波长一般在 230nm 左右;氩弧焊时紫外线辐射光谱在 390nm 以下,其主要部分集中在 280nm、266nm、238nm、200nm 的几条线谱上。其作用强度,钨极氩弧焊大于焊条电弧焊 5 倍,熔化极氩弧焊大于焊条电弧焊 20~30 倍;等离子弧中的紫外线强度比氩弧焊还高,尤其是产生强烈生物学作用的短波紫外线(290nm 以下)的强度较强。中短波紫外线可以透过人体的皮肤角质层,被深部组织吸收和真皮吸收,产生红斑和轻度烧伤,并能损伤眼结膜和角膜。眼睛短小时内受强烈的紫外线照射会引起电



光性眼炎，长期受紫外线照射会引起水晶体为障眼疾。

红外线的波长为 760~15000nm，焊条电弧焊时可产生全部上述波长的红外线。红外线波段越短，对机体的作用越强。长波红外线可被皮肤表面吸收，使人产生热的感觉。短波红外线可被组织吸收，使血液和深部组织加热，产生灼伤。眼睛在长期接受短波红外线的照射下，可产生红外线白内障和视网膜灼伤。

### 三、焊接烟尘

在焊接切割作业中会产生各种烟尘。烟尘是在焊接切割过程中，被灼接、切割材料与焊接材料熔融过程中产生的金属、非金属及其化合物的微粒。烟尘是烟与尘的统称。其直径小于 0.1 $\mu\text{m}$  的称为烟，直径在 0.1~10 $\mu\text{m}$  之间的称为尘。

几种电弧焊的焊接发尘量见表 14-2。

结构钢焊条烟尘的化学成分见表 14-3。

表 14-2 几种电弧焊的发尘量

焊接方法	焊接材料及直径/mm	每千克焊接材料的发尘量/g
焊条电弧焊	E5015 $\phi 4$	11~16
	E4303 $\phi 4$	6~8
CO <sub>2</sub> 焊	$\phi 1.5$	5~8
氩弧焊	$\phi 1.6$	2~5
埋弧焊	$\phi 5$	0.1~0.3

表 14-3 结构钢焊条烟尘的化学成分 (质量分数) (%)

烟尘成分	焊 条 型 号	
	E4303	E5015
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	48.12	24.93
SiO <sub>2</sub>	17.93	5.62
MnO	7.18	6.30
TiO <sub>2</sub>	2.61	1.22



(续)

烟尘成分	焊 条 型 号	
	E4303	E5015
CaO	0.95	10.34
MgO	0.27	
Na <sub>2</sub> O	6.03	6.39
K <sub>2</sub> O	6.81	--
CaF <sub>2</sub>	-	18.92
KF	-	7.95
NaF	-	13.71

有关现场调查的测定结果表明,在没有局部抽风装置的情况下,室内使用碱性焊条单支焊钳焊接时,空气中焊接烟尘浓度可达 96.6~246mg/m<sup>3</sup>。采用 E4303J422 焊条在通风不良的罐内进行焊接时,空气中烟尘浓度为 186.5~286mg/m<sup>3</sup>,采用 E5015J507 焊条时为 226.4~412.8mg/m<sup>3</sup>。以上数字说明,使用碱性焊条较之酸性焊条、通风不良的罐及舱室较之一般的厂房内空气中的焊接烟尘浓度有明显的增高,而且数值均远远高于“车间空气中电焊烟尘卫生标准”中规定最高允许浓度值:6mg/m<sup>3</sup>。

焊工长期接触焊接烟尘会产生焊工尘肺、金属热和锰中毒等病症。而尘肺是焊接安全卫生工作中影响面最大的一个主要问题。尘肺的发病一般比较缓慢,其症状表现为气短、咳嗽、胸闷和胸痛。也有的尘肺患者有无力、食欲减退、体重减轻等症状。X 射线诊断一期尘肺焊工全肺有较多的中小点状影,同时有较大量的网状影混在。肺纹理明显紊乱,网织状影多时肺纹理增强,结节状影多时肺纹理减弱。

#### 四、有害气体

焊接、切割作业会产生各种有害气体,主要有:臭氧、氮氧化物、一氧化碳、二氧化碳和氟化氢等。国内报导焊接现场有害气体的测量值及 TJ36-79 标准规定的最高允许浓度值见表 14-4。

表 14-4 焊接有害气体测量值

有害物质名称	现场测量值 / (mg/m <sup>3</sup> )	最高允许浓度 (mg/m <sup>3</sup> )
臭氧 (O <sub>3</sub> )	0.13~0.26	0.3
二氧化氮 (换算成 NO <sub>2</sub> )	0.1~1.11	5
一氧化碳 (CO)	4.2~15 <sup>①</sup>	30
二氧化碳 (CO <sub>2</sub> )	—	9000 <sup>②</sup>
氟化氢及氟化物 (换算成 F)	16.75~51.2	1

① 为船舱、锅炉、罐内等通风不良处测定值。

② 为美、日、德国规定值。

臭氧是由于紫外线照射空气,发生光化学作用而产生的。焊接时进行的测定表明,臭氧产生于距离电弧约 1m 远处,而且气体保护焊比焊条电弧焊时产生的臭氧要多得多。当臭氧浓度超过允许值时,往往引起咳嗽、胸闷、乏力、头晕、全身酸痛等,严重时可引起支气管炎。

氮氧化物是由于焊接高温作用下引起空气中的氮、氧分子重新组合而成。电焊烟气中的氮氧化物主要是二氧化氮和一氧化氮。由于一氧化氮不稳定,很容易氧化成为二氧化氮。氮氧化物属于刺激性气体,能引起激烈咳嗽、呼吸困难、全身无力等。

焊接、切割作业产生一氧化碳的原因大体有三种:一是由于二氧化碳与熔化了金属元素发生反应形成的;二是由于二氧化碳在高温电弧作用下分解而产生的;三是气焊时氧气、乙炔气等可燃气体燃烧比例不当而形成的。一氧化碳是一种毒性气体。经呼吸道由肺泡进入血液,与血红蛋白结合成碳氧血红蛋白,而阻碍血液带氧能力,使人体组织缺氧,造成一氧化碳中毒。

二氧化碳气体保护焊及气焊作业都会出现和产生二氧化碳。二氧化碳是一种窒息性气体,人体吸入过量二氧化碳可引起眼睛和呼吸系统的刺激,重者可出现呼吸困难、知觉障碍、肺水肿等。

氟化氢的产生主要是由于碱性焊条药皮中含有的萤石 (CaF<sub>2</sub>),在电弧高温作用下分解形成。氟化氢极易溶于水而形成氢氟酸,具有较强

的腐蚀性。吸入较高浓度的氟化氢，强烈刺激上呼吸道，还可引起眼结膜溃疡以及鼻粘膜、口腔、喉及支气管粘膜的溃疡，严重时可发生支气管炎、肺炎等。

### 五、放射性物质

氩弧焊和等离子弧焊、切割使用钍钨极，这种钍钨极含有氧化钍质量分数为1%~2.5%。钍及其衰变子代为天然放射性元素，其中 $\alpha$ 放射性占90%， $\beta$ 放射性占9%， $\gamma$ 放射性只占1%。烧损的钍钨极以气溶胶的形态扩散到操作现场空气中，常以测量现场空气中长寿命 $\alpha$ 放射性气溶胶浊度和各种物件表面 $\alpha$ 放射性沾污情况来评价其危害程度。钍钨极放射性测量数值见表14-5。

表 14-5 钍钨极放射性测量值

工 艺 方 式	$\alpha$ -放射性气溶胶浓度 / ( $\times 10^{-15}$ Li/L)	钍子体气溶胶浓度 / ( $\times 10^{-11}$ Li/L)
国家卫生标准值	2	3
氩弧焊	—	0.0006~0.0011
等离子弧切割	本底~1.6	本底
等离子弧焊接	3.25	0.00011~0.0008
等离子弧喷涂	本底~0.1	0.007~0.01
钍钨极磨尖	12.5~15.5	1.1
钍钨极贮存室	—	0.041~0.043

从表14-5数值分析看出，在采用钍钨极焊接、切割过程中，虽把放射性物质视为有害因素之一，但从实际检测结果可以认为，焊接、切割时产生的放射性剂量对健康尚不足以造成损害。但钍钨极磨尖时超过卫生标准，大量存放钍钨极也应采取相应的防护措施。人体长期受放射线照射，或放射性物质经常少量进入并积蓄在体内，则可造成中枢神经系统、造血器官和消化系统的疾病。

### 六、噪声

在等离子弧喷枪内，由于气流间压力的起伏、振动和摩擦，并从喷枪口高速喷射出来，就产生了噪声。噪声的强度与成流气体的种类、流

动速度、喷枪的设计以及工艺性能有密切关系。等离子弧喷涂和等离子弧切割因工艺要求有一定的冲击力,因而噪声强度高,等离子弧喷涂时声压级可达123dB(A),常用功率(30kW)等离子弧切割时为111.3dB(A),大功率(150kW)等离子弧切割时则达118.3dB(A)。切割厚度增加,所需功率应提高,因此噪声强度亦有提高。成流气体种类对噪声的影响,以应用双原子气体者较高。而且双原子气体噪声的特点是高频噪声为主,高低频噪声强度的悬殊较大。而单原子气体则低频噪声较强,高低频噪声强度较接近。

以上所述之噪声值均超过国家规定的卫生标准(见表14-6)。

表 14-6 噪声卫生标准

每个工作日接触 噪声时间/h	新建、扩建、改建企业 允许噪声/[dB(A)]	现有企业暂时允许 噪声/[dB(A)]
8	85	90
4	88	93
2	91	96
1	94	99
最高不超过115 [dB(A)]		

噪声对中枢神经系统和血液循环系统都有影响,能引起血压升高、心动过速、厌倦和烦躁等。长期在强噪声环境中工作,会引起听觉障碍。

### 七、高频电磁场

非熔化极氩弧焊和等离子弧焊接、切割等,采用高频振荡器来引弧,此时工作地点产生高频电磁场。经测定电场强度均较高,见表14-7、表14-8,超过参考卫生标准:20V/m。

表 14-7 手工钨极氩弧焊高频电场强度 (V/m)

部 位	头	胸	膝	踝	手
焊工前	58~66	62~76	58~86	58~96	106
焊工后	38	48	48	20	—
焊工前 1m	7.6~20	7.5~20	5~21	0~23	—
焊工后 1m	7.8	7.8	2	0	—
焊工前 2m	0	0	0	0	0
焊工后 2m	0	0	0	0	0

表 14-8 等离子弧高频电场强度

工 艺 方 法	强度值 (V/m)
等离子弧切割	13~38
等离子弧堆焊	4.2~6.0
等离子弧喷涂	30~54

长期接触较强的高频电磁场，能引起人的神经功能紊乱和神经衰弱等疾病。

#### 八、燃烧与爆炸

焊接与切割使用的电石及各种可燃气体均是易燃易爆的物质。可燃气体与空气、氧气混合，形成爆炸性混合物，在爆炸极限范围内使用保管不当会发生燃烧与爆炸。可燃气体爆炸极限范围见表 14-9。

表 14-9 可燃气体爆炸极限范围

可燃气体名称	可燃气体含量 (体积分数) / %	
	在空气中	在氧气中
乙 炔	2.2~81	2.8~93
液化石油气	2~10	3.2~64
丙 烷	2.2~9.5	2.3~55
氢 气	1~75	1.9~95
城市煤气	4~30	10~73.6

#### 1. 电石

电石又称为碳化钙 ( $\text{CaC}_2$ )，与水反应生成乙炔气。当水量不足时，电石分解产生的热量会使反应区的温度上升很高，电石剧烈地过热，导致乙炔与空气混合气的爆炸。一般要求电石与水的比例为 1:5~15 较好。

电石的分解速度主要与电石的粒度有关，见表 14-10。电石块的粒度越小，电石分解速度也越快。为防止电石分解速度太快造成电石过热，乙炔发生器所使用的电石粒度一般为 1~80mm，以 50~80mm 为好。小于 2mm 的电石粒与水作用后立即冒出黄烟，发出高热，因此

表 14-10 电石粒度与分解时间的关系

电石粒度/mm	2~3	8~15	15~50	50~80
完全分解的时间/min	5.5	6.5	10	13

不宜采用。

工业电石一般含有  $w_{CaC_2}$  70%、 $w_{CaO}$  24%，其余为硅铁、磷化钙、硫化钙等杂质。磷化钙与水反应生成磷化氢，当温度为 100℃ 时遇空气会自燃。所以要严格控制电石的质量。国产电石等级标准见表 14-11。

表 14-11 国产电石的等级标准

指标名称	标 准			
	一级	二级	三级	四级
发气量/(L/kg)	300	285	265	235
硫化氢含量 $\varphi_{H_2S}/\%$	0.15	0.15	0.15	0.15
磷化氢含量 $\varphi_{H_3P}/\%$	0.08	0.08	0.08	0.08

## 2. 乙炔

乙炔 ( $C_2H_2$ ) 又名电石气，其分子结构是不饱和的三价共键结构，极不稳定，很容易发生聚合和分解反应，造成燃烧和爆炸事故。乙炔的自燃点为 335℃，在常压下乙炔与空气的混合气 305℃ 时自燃。当压力为 0.15MPa，温度为 580℃ 时就会发生分解爆炸。粉末杂质的存在对乙炔的分解爆炸也有很大影响，这是因为杂质具有催化剂的作用，明显地降低了乙炔分解爆炸的开始温度，见表 14-12。

表 14-12 0.4MPa 压力下杂质对乙炔分解爆炸  
开始温度的影响 (经验数据)

粉末杂质	分解爆炸开始温度/℃	粉末杂质	分解爆炸开始温度/℃
铁屑	520	氢氧化铁	280~300
黄铜屑	500~520	氧化铁	280
纯铜屑	460	氧化铜	240
活性炭	400	氢氧化钾	170



乙炔与固体银接触后,在银的表面生成乙炔银,极易发生爆炸;乙炔与氯化亚铜的氨溶液作用,生成棕红色的乙炔亚铜,易发生爆炸;乙炔与纯铜接触后生成的乙炔铜比较厚,易剥落,受到摩擦或加热时就会因着火而引起爆炸;若铜的质量分数在60%~70%以下,则生成的乙炔铜是一层很薄的膜,覆盖在铜的外表面,一般不易脱落,即使受到冲击和摩擦或者加热也不会着火。

乙炔与次氯酸盐、氯等化合,在日光照射下或受热就会发生爆炸。乙炔和汞盐的溶液接触也会生成爆炸性的乙炔汞,但是乙炔不会直接和金属汞生成乙炔汞。

乙炔中混入与其不发生反应的气体和溶剂,如:氮、甲烷、一氧化碳、水蒸气、丙酮、石油气等,会使乙炔分子间的联系受到破坏,引起爆炸的锁链反应条件变坏,因而乙炔的爆炸性会降低。

### 3. 液化石油气

液化石油气是一种多种成分可燃气体的混合物。它的成分因来源不同而各有差异,但通常的主要成分由质量分数为50%~85%的内烷( $C_3H_8$ )、12%左右的丁烷( $C_4H_{10}$ )及乙烷( $C_2H_6$ )、丁烯( $C_4H_8$ )等碳氢化合物组成。它是石油炼制工业的副产品。

石油气在常压下是以气态存在的,但加上0.8~1.5MPa的压力即可变成液体。

石油气易挥发,以液体流出会扩散成250~300倍体积的气体。闪点低,其主要成分丙烷的挥发点为 $-42^{\circ}C$ ,闪点为 $-20^{\circ}C$ ,所以在低温时易燃性很大。

液化石油气与空气混合形成爆炸性混合气,其爆炸极限范围很窄,比使用乙炔安全得多,但与氧气混合有较宽的爆炸极限范围。

液化石油气比空气的密度大,约为空气的1.8~2.5倍,易于向低处流动而滞留积聚。

液化石油气完全燃烧时的耗氧量约为乙炔的2倍。燃烧速度,在空气中约为乙炔的1/3左右,而在氧气中则为乙炔的1/4左右。因此要求割炬有较大的混合气的喷出截面来降低其流出速度,才能保证良好的燃烧。燃烧时产生的二氧化碳约为乙炔燃烧时产生二氧化碳的1.7倍,

因此工作时要注意室内通风。

液化石油气的火焰燃烧温度比乙炔的火焰温度低，气割时预热时间要稍长。点火时要用明火，先点燃引火物后开气，不可颠倒次序。

液化石油气与乙炔的单位质量发热量是接近的，而单位体积的发热量比乙炔高。液化石油气与乙炔在气割时的主要燃烧特性见表 14-13。

表 14-13 液化石油气与乙炔的主要燃烧特性

可燃气体 种类	氧—燃气 体积比	最低点火 点/℃	燃烧速度 (m/s)	火焰温度 ℃	气态燃烧热	
					/(kJ·m <sup>3</sup> )	(kJ/kg)
液化 石油气	3.5	510	2.0	2100	85767	4731
乙 炔	1.15	305	7.5	3100	52754	49823

#### 4. 氢气

氢气在标准状态下每升只有 0.089g，约为空气质量的 6.9%。所以氢分子运动和扩散的速度比其它所有的物质分子都快，极易泄漏。

氢的化学活性很大，常温下能和氟发生猛烈的爆炸反应；在光的作用下氢能与氯发生燃烧和爆炸；氢与空气混合可形成爆鸣气。

氢是易燃气体，在空气中的自燃点约为 510℃。氢与空气、氧混合均可形成易燃易爆混合气体，遇到明火或其它热源时，就会发生爆炸，并且比一般易燃液体蒸气爆炸时的威力都大。

#### 5. 氧气

氧气本身不会燃烧，但有很强的助燃作用。氧在压缩状态下（压力大于 3MPa）与油脂（一般工业矿物油）接触，油脂会自燃。与有机纤维织物接触亦会发生自燃。液态氧有强烈的氧化性，液态氧滴在手、脸或身体其它部位，会引起烧伤或冻伤。有些物质如炭、炭黑、泥炭、羊毛纤维等，当浸透了液态氧时，在一定的冲击力下，就会发生强烈的爆炸。因此氧气瓶口、管道、接口等部位不得与油脂和有机物接触。

氧气几乎能与所有的可燃气体混合而形成爆炸性混合物，并有较宽的爆炸极限范围。



## 第三节 安全与防护

### 一、焊条电弧焊安全技术

#### (一) 防触电

##### 1. 触电的原因

焊接时触电事故有两种：一是直接接触电，即接触焊接设备正常运行状态下的带电体或靠近高压电网；二是间接触电，即触及意外带电，也就是正常运行状态下不带电，而由于绝缘损坏或设备发生故障而带电的物体。

(1) 直接接触电 焊接作业时，手或身体某部位在更换焊条、焊件时而接触焊钳、焊条等带电部分，而脚或身体的其它部位对地面或金属结构之间绝缘不好。如在容器、管道内，阴雨、潮湿的地方或人体大量出汗的情况下进行焊接，容易发生触电。

手或身体某部位触及裸露而带电的接线头、接线柱、导线而触电。

在靠近高压电网的地方进行焊接，人身虽未触及带电体，而是接近带电体至一定程度，发生击穿放电。

(2) 间接触电 焊接设备漏电，人体触及因漏电而带电的壳体而发生触电。其漏电原因可以是：设备超负荷使用、内部短路发热、腐蚀性物质作用，致使绝缘性能降低而漏电；线圈因雨淋、受潮导致绝缘损坏而漏电；焊接设备受振动、碰击使线圈或引线的绝缘造成机械性损坏，破损的导线与铁心或箱壳相联而漏电；金属物落入设备中，连通带电部位与壳体而漏电等。

人体触及绝缘损坏的电线、电缆、开关等发生触电。

由于利用厂房金属构架、管道、天车轨道等作为焊接二次回路而发生触电。

##### 2. 预防触电的措施

(1) 隔离防护 焊接设备要有良好的隔离防护装置。伸出箱体外的接线端应用防护罩盖好；有插销孔接头的设备，插销孔的导体应隐蔽在绝缘板平面内。设备的一次线应设置在靠墙壁不易接触的地方，且长度一般不宜超过2~3m，当有临时任务需要较长的电源线时，应沿墙

壁或立柱用瓷瓶隔离布置，其高度必须距地面 2.5m 以上，不允许将电源线拖在地面上。各设备之间，以及设备与墙壁之间至少要留 1m 宽的通道。

(2) 采用自动断电装置 为保护设备安全，又能在一定程度上保护人身安全，应装设熔断器、断路器（又称过载保护开关）、触电保安器（也叫漏电开关）。当电焊机的空载电压较高，而又在有触电危险的场所作业时，则对焊机必须采用空载自动断电装置。当焊接引弧时电源开关自动闭合，停止焊接、更换焊条时，电源开关自动断开。这种装置不仅能避免空载时的触电，也减少了设备空载时的电能损耗。

(3) 保护接地或保护接零 为防止人身在接触漏电设备金属外壳时发生触电，应采用保护接地或接零措施。

三相三线制中性点不直接接地的电网中，焊接设备的带电部分意外地与金属外壳相碰时，人与外壳接触，故障电流将通过人体电阻和电网对地绝缘阻抗构成回路，如图 14-1 所示。若电网对地绝缘正常时，故障电流很小，但当电网对地绝缘显著下降时，故障电流可能升到很危险的程度，人体即明显触电。

如将焊接设备外壳可靠地接地，当外壳漏电时，由于接地电阻很小（ $\leq 4\Omega$ ），则电流绝大部分不经过大电阻的人体，而经过接地线构成回路，防止人体触电。而且在接地电阻很小的情况下，一次线电流过载，一次线的熔丝就会熔断，从而切断电源，起到安全保护作用，如图 14-2 所示。

二相四线制中，中性点（即零线）直接接地。若设备不接零线，当某相线碰到焊接设备外壳，人体与外壳接触时，电流就会通过人体而触电。

采用保护接零措施后，当某相线与焊接设备外壳相碰时，通过外壳

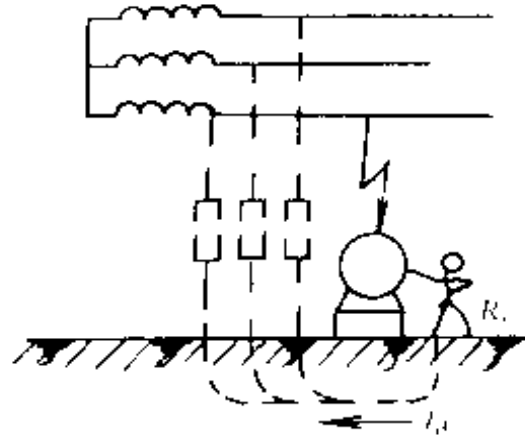


图 14-1 不接地危险性原理图

$R_h$ —人的电阻  $I_d$ —短路电流

形成该相的单相短路,短路电流促使线路上的保护装置迅速动作(如熔断器),从而使故障部分的电源切断,消除外壳带电现象,起到保护作用,如图 14-3 所示。

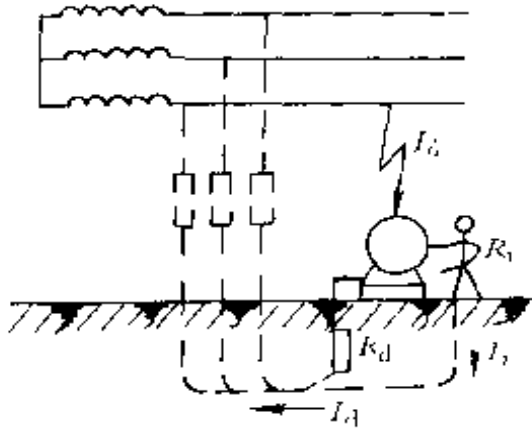


图 14 2 保护接地原理图

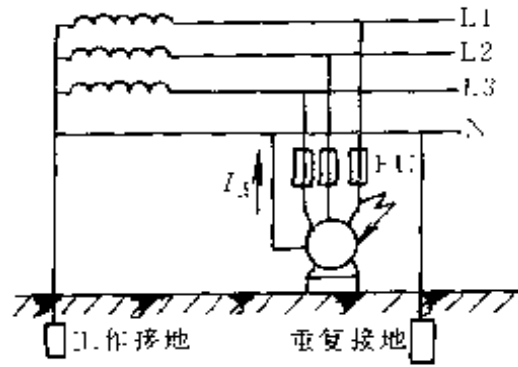


图 14 3 保护接零原理图

采用保护接地或接零措施应注意以下几个问题:

- 1) 在中性点接地的二相四线制电网中,不宜单纯采取保护接地措施。
- 2) 在三相四线制电网中,不允许在零线回路上装设开关和熔断器。
- 3) 在中性点接地的三相四线制电网中,不可以一部分焊接设备接地,另一部分焊接设备接零。

4) 弧焊变压器的二次线圈与焊件相接的一端,也必须接地或接零。因为,当一次线圈与二次线圈的绝缘击穿时,高压出现在二次回路,这种接地或接零就能保证焊工的安全。但是当焊接设备的二次线圈接地或接零时,焊件不应接地或接零(见图 14 4),否则一旦焊接设备二次回路接触不良,则可能有很大的焊接电流通过焊接设备的接地线或接零线,以致将地线或零线熔断,不但使人身安全受到威胁,而且易引起火灾。因此要求,凡是在有接地或接零线的焊件上进行焊接时,应将焊件上的接地或接零线暂时拆除,焊后再恢复。在与大地紧密相连的焊件上进行焊接时,则将焊接设备二次线圈一端的接地线或接零线的接头暂时断开,焊完后再恢复。

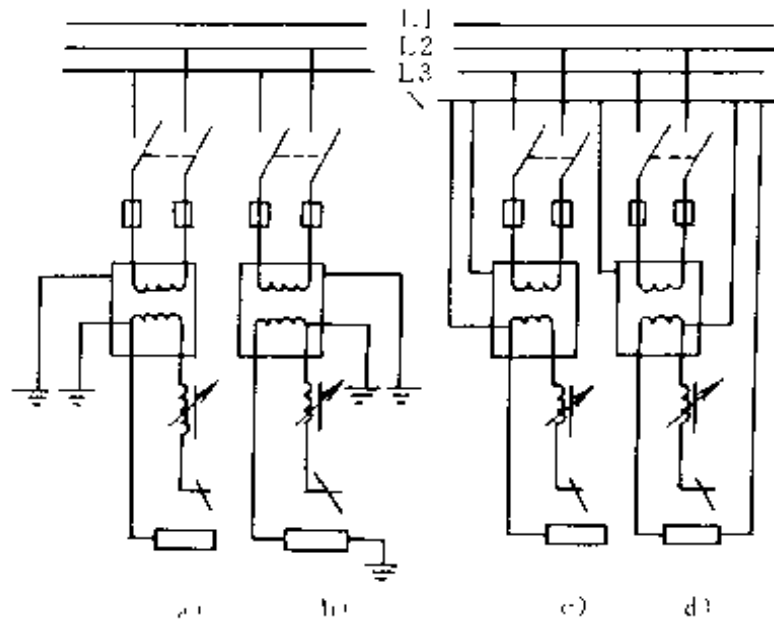


图 14-4 保护接地与接零

a)、c) 正确 b)、d) 错误

5) 焊接设备二次端的焊把线上既不准接地，也不准接零。

6) 接地线或零线时，先接接地体或零干线，后接设备外壳，拆除则反之。

7) 严禁用氧气、乙炔管道等易燃易爆气体管道作为接地装置的自然接地极，防止由于产生电阻热或引弧时冲击电流的作用产生火花而引爆。

(4) 采用合格的电缆线 焊机用的软电缆线应采用多股细铜线电缆，其截面要求应根据焊接需要载流量和长度，按规定选用，见表 14-14。电缆长度一般不宜超过 20~30m。

(5) 焊接电缆要绝缘良好 其绝缘电阻不得小于  $1M\Omega$ 。

(6) 正确处理过热的焊钳 禁止将过热的焊钳浸在水中，热焊钳应空冷后再使用。

(7) 焊工应戴合格的手套 电焊工不得戴有破损和潮湿的手套，在可能导电的焊接场所工作时，所用的手套应该用具有绝缘性能的材料（或附加绝缘层）制成，并经耐电压 5000V 试验合格后方能使用。

表 14-14 焊接电缆截面与电流、电缆长度的关系

电流 /A	电 缆 截 面 积 /mm <sup>2</sup>						
	20m	30m	40m	50m	60m	70m	80m
100	25	25	25	25	25	25	25
150	35	35	35	35	50	50	60
200	55	35	35	50	60	70	70
300	35	50	60	60	70	70	70
400	35	50	60	70	85	85	85
500	50	60	70	85	95	95	95

(8) 焊工应穿合格的防护鞋 电焊工应穿橡胶底的防护鞋, 焊工穿的防护鞋应经耐电压 5000V 试验合格, 在有积水的地面上焊接时, 焊工应穿用经过耐电压 6000V 试验合格的防水橡胶鞋。

(9) 不倚靠带电焊件 身体出汗而衣服潮湿时, 不得靠在带电的焊件上施焊。

(10) 选用合适的导线电缆 禁止利用厂房的金属结构、轨道、管道、暖气设施或其它金属物体搭接起来作焊接导线电缆。

### (二) 通风除尘

焊接通风除尘是防止焊接烟尘和有害气体对人体危害的重要防护措施。其排烟的方式主要有: 全面通风换气、局部排风、小型电焊排烟机组等。

全面机械通风是通过管道及风机等机械的通风系统进行全车间的通风换气的。设计时应按每个焊工通风量不小于  $57\text{m}^3/\text{min}$  来考虑。

当焊接作业室内净高度低于  $3.5\sim 4\text{m}$  或每个焊工工作空间小于  $200\text{m}^3$  时, 以及工作间(室、舱、柜等)内部结构影响空气流动, 而使焊接工作点的焊接烟尘浓度超过  $6\text{mg}/\text{m}^3$ , 有害气体浓度超过表 14-4 规定时, 应采取全面通风换气。

实际应用证明, 采用车间侧墙上安装换气扇通风的方法效果不佳。应采用引射排烟或吹一吸式通风的方式, 如图 14-5、图 14-6 所示。

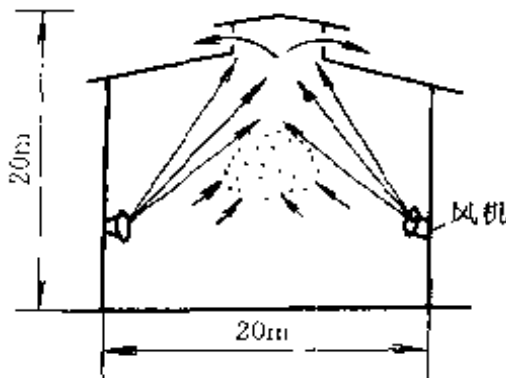


图 14-5 引射排风示意图

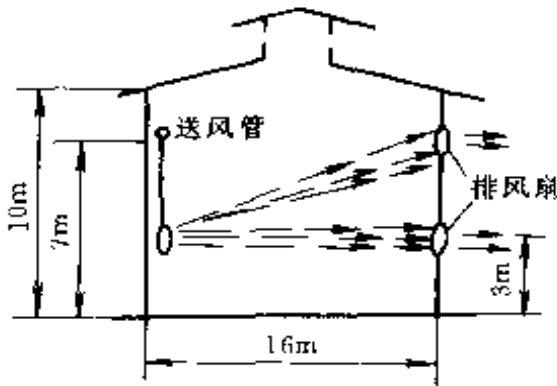


图 14-6 “吹—吸”式通风示意图

局部通风是通过局部排风的方式来实现的。产生出的焊接烟尘和有害气体被排风罩口有效地吸走。采用局部排风时,焊接工作地附近的风速应控制在  $30\text{m}/\text{min}$ , 以保证电弧不受破坏。

局部通风措施有: 排烟罩、轻便小型风机、压缩空气引射器、排烟除尘机组等。排烟机组是由吸烟罩、软管、风机、净化器及控制元件组成的一台便于移动的整体排烟除尘装置, 可以适应焊接移动范围大、作业点分散的特点。其形式可以是供狭小空间使用的手提式小型轻便机组、供单工位使用的移动式轻便机组、供多工位使用的排风量较大的移动式机组、供车间定点悬挂的机组、适用于容器等密闭空间内移动悬挂的机组、供打磨焊道用的吸尘式打磨机组等。

采用局部通风或小型通风机组等换气方式, 其罩口风量、风速应根据罩口至焊接作业点的控制距离及控制风速计算。罩口的控制风速应大于  $0.5\text{m}/\text{s}$ , 并使罩口尽可能接近作业点, 使用固定罩口时的控制风速不少于  $1\sim 2\text{m}/\text{s}$ 。罩口的形式应结合焊接作业点的特点。

采用下抽风式工作台, 使工作台上网格筛板上的抽风量均匀分布, 并保持工作台面积抽风量每平方米大于  $3600\text{m}^3/\text{h}$ 。

当无法采用局部通风措施时, 应用送风呼吸器面具, 也可以使用防尘口罩和防毒面具, 以过滤粉尘或焊接烟尘中的金属氧化物及有害气体。

### (三) 防电焊弧光辐射

光辐射为直线传播, 易于遮挡。辐射强度随至辐射源距离的增加而



减弱。一般在距离电弧 10m 以外，人眼偶然被弧光刺激，其伤害不大。作业时按 LD/T 75—1995《劳动防护用品分类与代码》使用个体防护用品。

防止焊接弧光和火花烫伤的危害，应选择合乎作业条件的遮光镜片，见表 14-15。

表 14-15 焊工护目遮光镜片选用表

工 种	不同焊接电流选用镜片号			
	≤30A	>30~75A	>75~200A	>200~400A
电弧焊工	5~6	7~8	9~10	11~12
焊接辅助工	3~4			

工作场所应设置弧光防护室或护屏。护屏应选用阻燃材料制成，其表面涂上黑色或深灰色油漆，高度不应低于 1.8m，下部留有 25cm 流通空气的空隙。

电焊工不宜穿用合成纤维材料的工作服，而应穿用棉帆布工作服，工作服的颜色为白色。

电焊工使用的手持式或头盔式面罩，其罩体应遮住脸面和耳部，并且无漏光。

为满足防火要求，焊接作业时，可燃、易燃物料与焊接作业点火源距离不应小于 10m。

### 二、埋弧焊安全技术

除遵守焊条电弧焊的有关要求外，还应注意以下几点：

- 1) 埋弧焊机控制箱外壳与接线板上的罩壳必须盖好。
  - 2) 埋弧焊用电缆必须符合焊机额定焊接电流的容量，连接部分要拧紧，并经常检查焊机各部分导线的接触点是否良好，绝缘性是否可靠。
  - 3) 半机械化焊的焊接手把应安放妥当，防止短路。
  - 4) 埋弧焊机发生电气故障时，必须切断电源，由电工修理。
  - 5) 在焊接过程中应保持焊剂连续覆盖，以免焊剂中断，露出电弧。
- 同时，焊接作业时应戴普通防护眼镜。

6) 灌装、清扫、回收焊剂应采取防尘措施,防止焊工吸入焊剂粉尘。如:采用利用压缩空气的吸压式焊剂回收输送机(见图14-7)。

7) 在调整送丝机构及焊机工作时,手不得触及送丝机构的滚轮。

8) 在转胎上施焊的焊件应压紧、卡牢,防止松脱掉下砸伤人。

9) 焊接转胎及其它辅助设备或装置的机械传动部分,应加装防护罩。

10) 清除焊渣时要戴上平光护目镜。

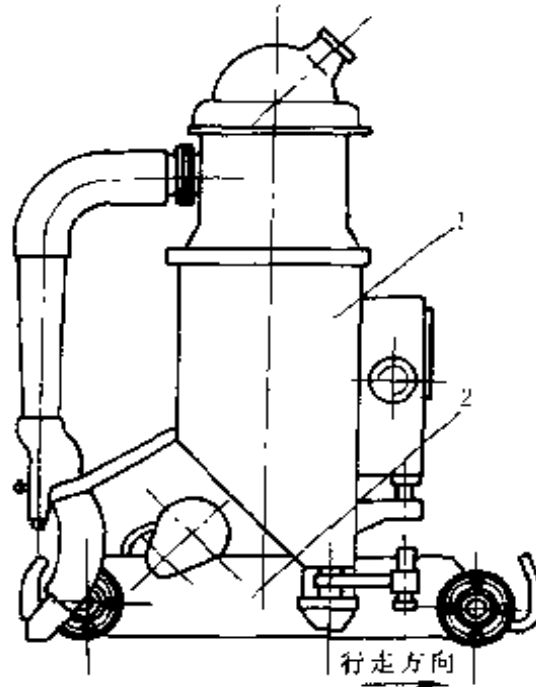


图14-7 吸压式焊剂回收输送机

1—回收输送机 2—机械化焊小车

### 三、气体保护焊安全技术

除遵守焊条电弧焊的有关规定外,还应注意以下几点:

1) 焊机内的接触器、断路器的工工作元件,焊枪夹头的夹紧力以及喷嘴的绝缘性能等,应定期检查。

2) 高频引弧焊机或焊机装有高频引弧装置时,焊接电缆都应有铜网编织屏蔽套,并可靠地接地。根据焊接工艺要求,尽可能使用高压脉冲引弧、稳弧装置,防止高频电磁场的危害。

3) 焊机使用前应检查供气、供水系统,不得在漏水、漏气情况下运行。

4) 磨削钨极棒的砂轮机须设良好的排风装置,并戴口罩操作。钍钨极有放射性危害,推荐使用铈钨极或钇钨极,铈钨极与钇钨极的性能及放射性剂量见表14-16。



表 14 16 不同钨极的性能及放射剂量

牌 号	氧化物质量 分数/%	$\alpha$ 射线剂量 :(Li/kg)	电子逸出功	使用寿命	反复引弧 能力/%
WCe20	1.8~2.2	$2.42 \times 10^{-5}$	低	高	100
WY20	>1.31	$5.25 \times 10^{-8}$	更低	更高	100
WTh15	1.5~2.0	$3.64 \times 10^{-1}$	中	中	65

注：上海郊郊泥土中 $\alpha$ 射线剂量为 $2.0 \sim 4.3 \times 10^{-8}$ Li/kg。

5) 移动焊机时，应取出机内易损电子器件，单独搬运。

6) 盛装保护气体的高压气瓶应小心轻放，竖立固定，防止倾倒。气瓶与热源距离应大于 3m。

7) 采用电热器使二氧化碳气瓶内液态二氧化碳充分气化时，电压应低于 36V，外壳接地可靠。工作结束时立即切断电源和气源。

8) 排除施焊中产生的有害物质，应采取通风或送风措施。

9) 选用粗毛呢或皮革等面料制成的工作服，以防焊工在操作中被烫伤或体温升高。

10) 在氩气中加入质量分数为 0.3% 的一氧化氮，可使臭氧的发生量降低 90% (西欧国家称此混合气为 MiSON 气体，已推广使用)。

#### 四、等离子弧焊接与切割安全技术

除遵守焊条电弧焊、气体保护焊的有关规定外，还应注意以下几点：

1) 等离子弧焊接与切割用电源的空载电压较高，尤其是手工操作时有电击的危险。因此，电源在使用时必须可靠接地。其枪体用手触摸部分必须可靠绝缘。

2) 等离子弧较其它电弧的光辐射强度更大，操作时工人必须带上良好的面罩、手套，颈部也要保护。面罩除具有黑色目镜外，最好加上吸收紫外线的镜片。

3) 焊接、切割工作点应设有工作台，并采用有效的局部排烟和净化装置，或设水浴工作台等。

4) 等离子弧割炬应保持电极与喷嘴同心，要求供气、供水系统密

封严，不漏气、不漏水。

5) 等离子弧易产生高强度、高频率的噪声，尤其是大功率等离子弧切割时，操作者必须戴耳塞，也可以采用水中切割办法，利用水来吸收噪声。

6) 等离子弧焊接和切割都采用高频引弧，要求工件接地可靠。转移弧引燃后，应立即可靠地切断高频振荡器电源。

### 五、电阻焊安全技术

除遵守焊条电弧焊的有关规定外，还应注意以下几点：

1) 装有电容储能装置的电阻焊机，在密封的控制箱门上应有联锁机构，当开门时应使电容短路。手动操作开关亦应有附加电容短路安全措施。

2) 施焊时，焊机控制装置的柜门必须关闭。

3) 控制箱装置的检修与调整应由专业人员进行。

4) 复式、多工位操作的焊机，应在每个工位上装有紧急制动按钮。

5) 焊机的脚踏开关应有牢固的防护罩，防止意外开动。

6) 手提式焊机的构架，应能经受操作中产生的振动，悬挂的变压器应有防坠落的保险装置，并应经常检查。

7) 电阻焊机作业点应设有防止工件火花、飞溅的防护挡板或防护屏。

8) 缝焊作业焊工必须注意电极的转动方向，防止滚轮切伤手指。

9) 焊机放置的场所应保持干燥，地面应铺防滑板。外水冷式焊机的焊工作业时应穿绝缘靴。

10) 焊接工作结束后应切断电源，冷却水应延长10min再关闭。在气温低时还应排除水路内的积水，防止冻结。

### 六、碳弧气刨安全技术

除遵守焊条电弧焊的有关规定外，还应注意以下几点：

1) 气刨时电流较大，要防止焊机过载发热。

2) 气刨时烟尘大，由于碳棒使用沥青粘结而成，表面镀铜，因此，烟尘中含有质量分数为1%~1.5%的铜，并在产生的有害气体中含有毒性较大的苯并(a)芘，所以，操作者宜佩戴送风式面罩。作业场地

必须采取排烟除尘措施，加强通风。为了控制烟尘的污染，可应用水弧气刨。

水弧气刨是在原气刨设备基础上增加一个供水器和供水系统，并对气刨枪稍做改动而成。水弧气刨时，通过合理的供水器获得弥散的水雾，保证气刨枪喷出挺拔的水雾，达到消烟灭尘的目的。

3) 气刨时大量高温液态金属及氧化物从电弧下被吹出，应严防烫伤和火灾。

4) 气刨时噪声较大，操作者应戴耳塞。

### 七、气焊与气割安全技术

气焊与气割的主要危险是火灾与爆炸，因此，防火、防爆是气焊、气割的主要任务。

#### (一) 乙炔发生器与电石的安全技术

1) 中压、低压乙炔发生器都必须设有相应的回火保险器、安全阀、防爆膜以及压力表等安全装置和防止超压爆炸的卸压装置。压力表与安全阀的准确性应定期检查。防爆膜应根据乙炔发生器的技术性能要求来选用，并应定期检查更换。

2) 乙炔发生器电石分解区的最高水温不应超过 95℃，经过冷却的乙炔出口温度不应超过 40℃，当环境温度较高时，允许出口温度高于环境温度 10℃。

3) 乙炔发生器内的活动部件，不得与器内其它结构摩擦、碰撞而产生火花。

4) 乙炔发生器在使用时必须装够规定的水量，及时排除气室积存的灰渣。每班应补充或换新水，保证发气室内冷却良好。工作结束必须排除器内的灰渣和积污。

5) 乙炔发生器新装入电石产气后，应先排放器内及管路中留存的乙炔—空气混合气。

6) 使用中的乙炔发生器与明火、火花点、高压电线等的水平距离不得小于 10m。并应防止曝晒以及来自高处的飞散火花或坠落物件等引起的危害。

7) 移动式乙炔发生器不得放在风机、空气压缩机站、制氧机站等

处的吸气口和避雷针接地引线导体附近，不得放置在电气回路的轨道或金属构件接地体上。

8) 乙炔最高工作压力不得超过 147kPa 表压。

9) 不得使用纯铜、银或铜的质量分数超过 70% 的铜合金制造与乙炔接触的仪表、管子等零件。

10) 乙炔发生器、回火保险器应采取防冻结措施。一旦冻结，应用热水解冻，不得采用明火烘烤或用棍棒敲打解冻。

11) 水封式回火保险器必须设有卸压孔、防爆膜，并且便于检查，易于排除和清洗器内的积污。

12) 水封式回火保险器要竖直安装，与乙炔导管的连接必须严密不漏气，并保持器内规定的水位。

13) 干式回火保险器每月应检查一次，并清洗残留在器内的烟灰和污迹，以保证气流畅通，工作可靠。

14) 每一把焊炬或割炬，都必须与独立的、合格的岗位回火保险器配用。

15) 每班工作前都应先检查回火保险器，保持其密封性良好和逆止阀动作灵活可靠。

16) 禁止使用浮筒式乙炔发生器。

17) 桶装电石应存放在地面干燥、空气流通、不漏雨水的室内，地面应高于路面，以免进水。

18) 不得采用滚滑方式装卸、搬运电石桶，以免电石与桶壁撞击产生火花。

19) 不得在乙炔发生器室、电石室内用铁锤敲打电石。

20) 电石渣坑上口应是敞开的，渣坑内的灰浆和灰水不得排入暗沟。出渣时应防止铁制工具、器件碰撞而产生火花。

#### (二) 气瓶、管路与工具的安全技术

1) 氧气瓶、溶解乙炔气瓶等均应避免放在受阳光曝晒，或受热源直接辐射及受电击的地方。

2) 氧气、溶解乙炔气等气瓶不应放空，气瓶内必须留有不小于 98 ~ 195kPa 表压的余气。

3) 氧气瓶、溶解乙炔气瓶等均应稳固竖立，或装在专用的胶轮车上使用。

4) 气瓶、容器、管道、仪表等连接部位应采用涂抹肥皂水方法检漏，严禁使用明火检漏。

5) 不得使用电磁吸盘，钢绳、链条等吊运各类焊接与切割用气瓶。

6) 气瓶漆色的标志应附合《气瓶安全监察规程》的规定（见表 14-17），不得改动。严禁充装与气瓶漆色标志不符的气体。

表 14 17 气瓶检验要求

名称	表面颜色	表面字样	字样颜色	设计压力 /MPa	水压试验 /MPa	检验周期 /a
氧气瓶	天蓝	氧	黑	15	22.5	3
乙炔气瓶	白	乙炔,不可近火	红	1.55	6.0	3
液化石油气瓶	灰	液化石油气	红	1.6	2.4	2
氢气瓶	深绿	氢	红	15	22.5	3
氮气瓶	黑	氮	黄	15	22.5	3
氩气瓶	灰	氩	绿	15	22.5	5
二氧化碳气瓶	铝白	液化二氧化碳	黑	15	22.5	3
压缩空气瓶	黑	空气	白	15	22.5	3

氧气、乙炔气管道，均应涂上相应气瓶漆色规定的颜色和标明名称，便于识别。

7) 溶解乙炔气瓶搬运、装卸、使用时都应竖立放稳，严禁在地面上卧放并直接使用。一旦要使用已经卧放的溶解乙炔气瓶，必须直立后静止 20min，再连接乙炔减压器后使用。

8) 开启乙炔气瓶阀时应缓慢，不要超过一转半，一般情况只开启 3/4 转。

9) 由汇流排导管引出的每个出口端都应设有回火保险器，以防回火或氧气进入汇流总管内，详见图 14-8、图 14-9。安装在乙炔汇流排室内的干式回火保险器，应具有能自动熄灭火焰并同时切断乙炔气源的安全性能，动作应灵活可靠。

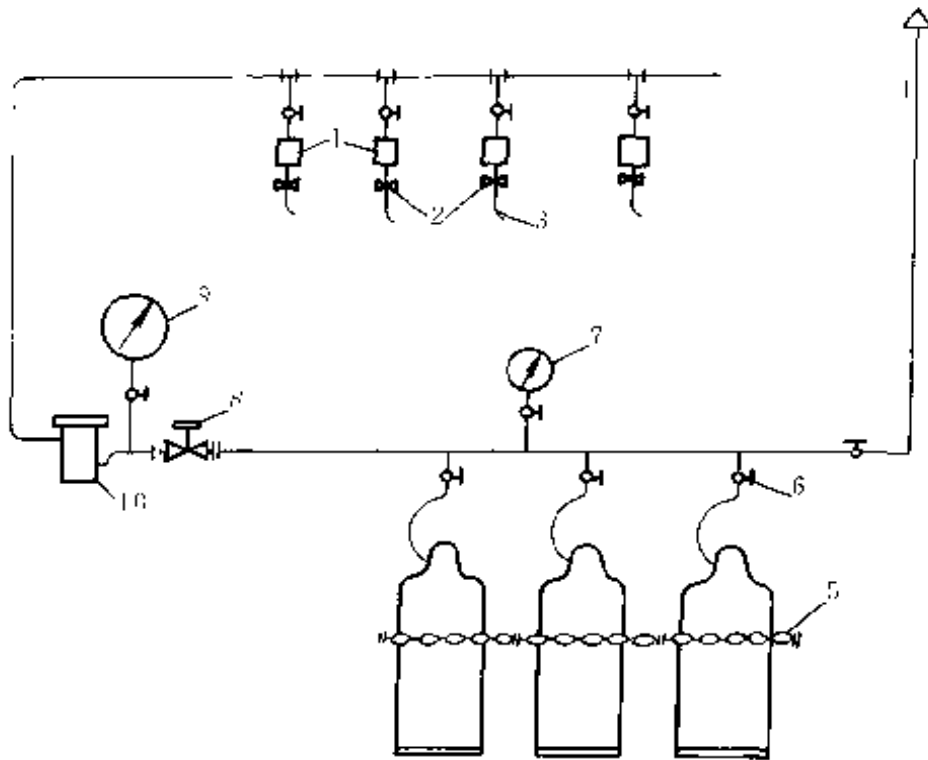


图 14-8 溶解乙炔瓶汇流排供气图

1—岗位回火保险器 2—旋塞 3—工作点乙炔出口 4—乙炔放气管 5—气瓶防护链 6—气阀 7—乙炔汇流管压力表  
8—减压器 9—压力表（出口） 10—中央回火保险器

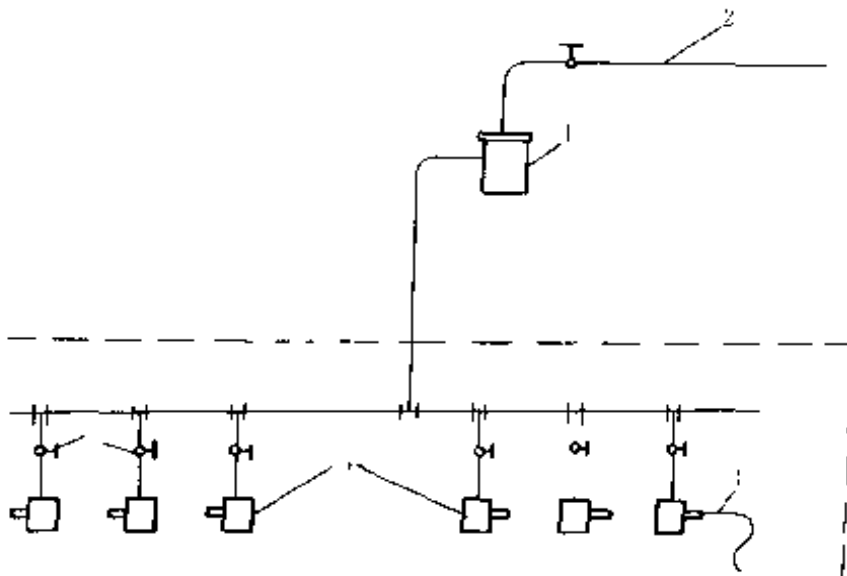


图 14-9 乙炔站集中供气管路图

1—中央回火保险器 2—乙炔站供气管 3—乙炔胶管  
4—岗位回火保险器 5—气阀

10) 在溶解乙炔瓶组的汇流排管路上,应设有压力表、减压器和排放管等。

11) 在液化石油器汇流排总导出管上应装总减压器和回火保险器,见图 14-10。单个液化石油气瓶应在出口处加装减压器。

12) 使用液化石油气的工作间必须设有通风换气孔,使室内下部不滞留液化石油气。室内地面要平整,不应同外界地沟(坑)或地漏孔连通。室内照明必须采用防爆型灯具和开关,严禁明火采暖。

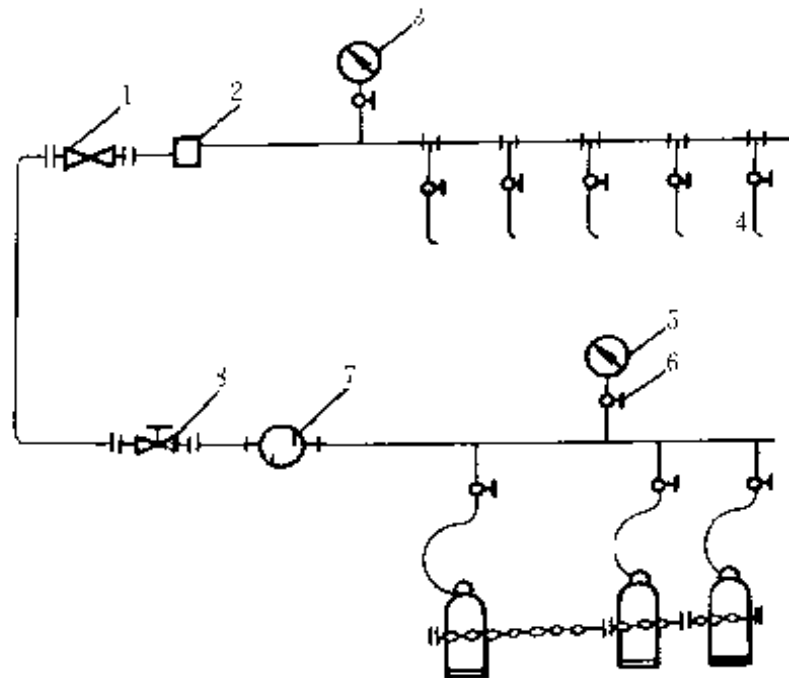


图 14-10 液化石油气瓶集中供气管路图

1—逆止阀 2—回火保险器 3—低压压力表 4—工作点供气  
出口 5—压力表 6—气阀 7—滤清器 8—减压器

13) 液化石油气瓶应严格按有关规定充装,禁止超装。因超量充装 1.5kg, 35℃ 时液化石油气就会充满瓶内整个空间, 40℃ 左右钢瓶就会爆炸。

14) 当液化石油气瓶阀着火时,应立即关闭瓶阀,若无法靠近,则可用大量冷水喷射,使瓶体降温,然后关闭瓶阀,切断气源,灭火,同时防止着火的瓶体倾倒。当不能制止瓶阀泄漏时,应把瓶体移至室外安



全地带，让其气体逸出，直到瓶内气体排尽为止。

15) 液化石油气瓶同明火(火星飞溅、火花)与热源距离必须在5m以上。

16) 氧气汇流排输出的总管上应装有防止可燃气体进入的单向阀。

17) 严禁让粘有油、脂的手套、棉丝和工具等同氧气瓶、瓶阀、减压器及管路等接触。

18) 操作时氧气瓶距离乙炔发生器、明火或热源应大于5m。

19) 不得使用氧气代替压缩空气吹净工作服、乙炔管道，或用作试压和气动工具的气源。禁止用氧气对局部焊接部位通风换气。

20) 各种气体专用的减压器，禁止换用或替用。

21) 不得用棉、麻绳或一般橡胶等易燃物料做为氧气减压器的密封垫圈。

22) 减压器卸压的顺序是：先关闭高压气瓶的瓶阀，然后放出减压器内的全部余气，放松压力调节杆使表针降到零位。

23) 焊接与切割中使用的氧气胶管为黑色，乙炔胶管为红色。氧气胶管与乙炔胶管不能相互换用。不能用其它胶管代替。禁止使用回火烧拟的胶管。

24) 焊工在使用焊炬、割炬前应检查焊炬、割炬的气路畅通、射吸能力、气密性等技术性能，并应定期检查维护。

### (三) 作业现场与防火

1) 焊接、切割现场禁止把焊接电缆、气体胶管、钢绳混绞在一起。

2) 应防止由于焊接、切割中的热能传到结构或设备中，使工程中的易燃保温材料，或滞留的易燃易爆气体发生着火、爆炸。

3) 不得直接在水泥地面上切割金属材料。

4) 对悬挂在起重机吊钩上的工件和设备，禁止电焊或切割。若必须这样做，应采取可靠的安全措施，并经安全技术部门批准，才能进行。

5) 露天作业遇到六级大风或下雨时，应停止焊接、切割工作。

6) 焊接作业时可燃易燃物料与焊接作业点火源距离不应小于10m。



7) 焊接、切制作业时,若附近墙体和地面上留有孔、洞、缝隙以及运输带连通孔口等,都应采取封闭或屏蔽措施。

8) 若需在禁火区内焊接、切割时,应办理动火审批手续并落实安全责任措施后方可进行作业。

9) 焊接、切割车间或工作地区必须配有足够的水源、干砂、灭火工具和灭火器材。并应根据扑救物料的燃烧性能选用灭火器材,见表 14-18。

表 14 18 灭火器性能与使用范围

种类	药剂	用途	注意事项
泡沫 灭火器	碳酸氢钠发沫剂 和硫酸铝溶液	扑灭油类火灾	冬季防冻结,定期 更换
二氧化碳 灭火器	液态二氧化碳	扑灭贵重仪器、设 备,但不能用于钾、钠、 镁、铝等火灾的扑救	防喷嘴堵塞
1211 灭火器	二氟一氯一溴甲烷	扑救各种油类、精密 仪器、高压电器设备火 灾	防受潮、日晒,半 年检查一次充装药剂
干粉 灭火器	小苏打或钾盐干 粉	扑救石油产品、有机 溶剂、电气设备、液化 石油气、溶解乙炔气瓶 等火灾	干燥通风、防潮,半 年称重一次
红卫 912 灭火器	二氟二溴液体	扑救天然气、石油产 品和其它易燃易爆化 工产品等火灾	在高温下分解产生 毒气,注意现场通风 和呼吸道保护

10) 焊接、切割工作完毕应及时清理现场,彻底消除火种,经专人检查确认完全消除着火危险后,方可离开现场。

### 八、容器焊接作业安全技术

除遵守一般焊接作业的规定外,还应注意以下几点:

1) 在封闭容器、罐、桶、舱室中焊接、切割,应先打开施焊工作

物的孔、洞，使内部空气流通，以防焊工中毒、烫伤，必要时应有专人监护。工作完毕和暂停时，焊割炬和胶管等都应随人带出，不得放在工作点。

2) 在狭窄和通风不良的容器、管段、地沟、坑道、检查井、半封闭地段等处进行气焊、气割工作时，应在地面上调试焊割炬混合气，并点好火，禁止在工作地点调试和点火，焊割炬都应随人进、出。焊割具用的胶管、阀门应防止泄露。

3) 容器内作业须使用 12V 灯具照明，灯泡要有金属网罩防护。电焊作业时，身体下面要铺设绝缘垫。容器内潮湿时不应进行电焊作业。

4) 在必要情况下，容器内作业人员应佩戴呼吸器及救生索等。

5) 置换焊补化工容器就是用惰性较强的介质（如、氮气、二氧化碳气、水蒸汽或水）将容器中原有的可燃物或有毒物质彻底排出，然后再焊接。经清洗置换后，容器内的可燃物质含量应低于该物质爆炸下限的 1/3，有毒物含量应符合有关规定。

6) 置换焊补时应将容器内、外壁面进行彻底清洗，并在焊接时随时进行检测。

7) 带压不置换焊补化工容器时，容器中可燃气体的含氧量  $w_{O_2}$  应控制在 1% 以下；被焊补容器必须保持一定的、连续稳定的正压。正压值可视情况控制在 1.5~5kPa。超过规定要求时应立即停止作业。

8) 带压不置换焊补作业时，如发生猛烈喷火，应立即采取灭火措施。火焰熄灭前不得切断容器内燃气源，要保持系统内足够的稳定压力，以防容器内吸入空气形成爆炸性混合气而发生爆炸事故。

9) 置换焊补、带压不置换焊补作业均必须办理动火审批手续，现场安全措施及监督责任落实后方可焊接。

### 九、高处焊割作业安全技术

焊工在坠落高度基准面 2m（含 2m）以上有可能坠落的高处进行焊割作业称为高处焊割作业。高处焊割作业时除遵守一般焊接作业的规定外，还应注意以下几点：

1) 高处焊割作业须设监护人，焊接电源刀开关设在监护人近旁。高处焊割作业不准使用带有高频振荡器的焊接设备。

2) 焊割作业点距高压线一般在 3m 以上, 当高压在 35kV 以上时, 一般应在 5m 以上, 否则停电作业。

3) 作业坠落点地面上, 至少 10m 以内不得存放可燃或易燃易爆物品。

4) 应使用符合标准规定的维纶、锦纶耐热安全带, 不能用耐热差的尼龙安全带。安全带应高挂低用, 固定可靠。

5) 登高梯子必须符合要求, 放置要稳当, 防止滑倒或倾倒。梯子与地面夹角在  $70^{\circ}$  左右, 使用人字梯时, 两梯夹角为  $45^{\circ}$  左右, 并用限跨铁钩挂牢。不准两人同在一个梯子上或在人字梯的同一侧上作业, 不准在梯子的顶档上作业。

6) 严禁将电缆线、乙炔或氧气胶管缠在身上作业。

7) 露天下雪时不宜作业, 下雨或有 5 级大风时禁止高处作业。

## 十、触电急救

人触电后不一定会立即死亡, 往往是呈“假死”状态, 若现场抢救及时, 方法得当, 呈“假死”状态的人就可以获救, 死里回生。统计资料指出: 触电后 1min 开始救治者, 90% 有良好效果; 触电后 6min 开始救治者, 10% 有良好效果; 触电后 12min 开始救治者, 救活的可能性就很小。所以, 抢救时间极为重要。而且要采取正确的抢救步骤和方法。

### (一) 现场抢救要点

(1) 迅速使触电者脱离电源 发现有人触电时切不可惊慌失措, 应采取措施尽快使触电者脱离电源。这是减轻伤害和救护的关键。

(2) 准确实行救治 施行人工呼吸或胸外心脏挤压时, 动作必须准确, 救治才会有效。

(3) 就地进行现场抢救 抢救人员必须在现场或附近就地救治触电者, 千万不能停止救治而长途运送去医院。抢救奏效的关键是迅速, 而迅速又必须是就地救治。

(4) 救治要坚持到底 施行人工呼吸或胸外心脏挤压等救治方法, 要坚持不断, 切不可轻率中止, 即使在运送途中也不能中止。抢救过程中, 若发现触电者皮肤由紫变红, 瞳孔由大变小, 则说明抢救收到

效果：若发现触电者嘴唇稍有开合，或眼皮活动，或喉间有咽东西的动作，则应注意是否有可能自动心脏跳动和自动呼吸。触电者能自己开始呼吸时，即可停止人工呼吸，如果人工呼吸停止后，触电者又不能自己呼吸，则应立即再做人工呼吸。

当被救治者全部具有以下五个征象时，方可停止抢救，否则有一个征象未出现，也应当按“假死”去努力抢救。

- 1) 心跳、呼吸停止（假死）。
- 2) 瞳孔散大。
- 3) 出现尸斑。
- 4) 尸僵。
- 5) 血管硬化或肛门松弛。

### （一）脱离电源

#### 1. 脱离低压（1000V 以下）电源

（1）切断电源 断开电源开关、拔出插头，或按下停电按钮等。这样既可以使触电者脱离电源，又能防止抢救人员再触电。

（2）挑、推开电源 使用绝缘物（干燥的木棒、绳索等）挑、打、拉、或推电线和电气设备，使之与触电者脱离。同时，应防止电线反弹，缠绕到抢救者身上。

（3）拉开触电者 若触电者俯仰在漏电设备上，或电源线压在触电者身下，抢救人员应穿上绝缘鞋，或站在干燥的木板上，用干燥的绳子套在触电者身上，把他拉开，脱离电源。

（4）割断电源 若触电现场远离电源开关、挑不开电线或触电者肌肉收缩紧握电线时，可用有绝缘胶套的钳子剪断电线。

#### 2. 脱离高压（1000V 以上）电源

- 1) 立即通知有关部门停电。
- 2) 抢救者穿绝缘靴、戴绝缘手套，用符合该电源电压等级的绝缘棒或绝缘钳，使触电者脱离电源。
- 3) 用安全方法使线路短路，迫使保护器动作，断开电源。

### （二）对症救治方法

- 1) 对神志清醒、能回答问题，只感到心慌、乏力、四肢发麻的轻

症候触电者，应就地休息 1~2h，以减轻心脏负担，加快恢复，并请医生现场诊断和观察

2) 对神志不清或失去知觉，但呼吸正常的触电者，可抬到附近空气清新的干燥地方，解开衣服，暂不做人工呼吸，并请医生到现场诊治。

3) 对无知觉、无呼吸，但有心脏跳动的触电者，要采用人工呼吸法救治。在几种人工呼吸法中，以口对口呼吸法效果为好。其操作要领如下：

① 使触电者仰卧，首先让其头部侧向一边，掰开嘴巴，清除口中血块和呕吐物等，使呼吸道畅通，然后使其头部尽量后仰，鼻孔朝天，下腭尖部与前胸大致保持在一个水平线上，如图 14-11 所示。救护人在触电者头部一侧，掐住触电者的鼻子，使其嘴巴张开，准备接受吹气。



图 14-11 头部后仰

② 救护人做深吸气后，紧贴触电者的口向内吹气，为时约 2s，并观察触电者的胸部是否膨胀，以确定吹气效果和适度与否，如图 14-12 所示。

③ 救护人吹气完毕换气时，其口应立即离开触电者嘴巴，并放松掐紧的鼻子，让他自行呼气，为时约 3s，如图 14-13 所示。

按照②、③反复循环进行。

4) 触电者的心脏停止跳动，但呼吸未停，应当进行胸外挤压法救治。其操作要领如下：

① 触电者仰卧在比较坚实的地面或木板上，姿势同人工呼吸法。

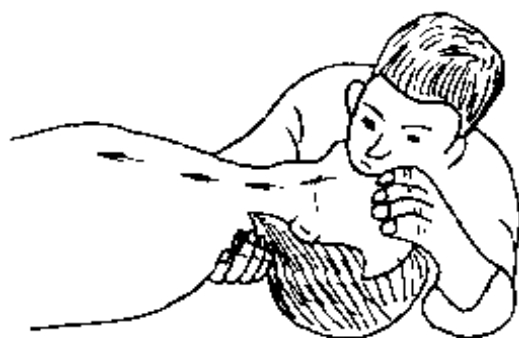


图 14-12 掐鼻吹气，观察效果

② 救护人跪在触电者腰部一侧或骑跪在他身上，两手相叠，手掌

跟部放在心窝稍高一点的地方，即两乳头之间略下一点，胸骨下  $1/3$  处，如图 14-14 所示。

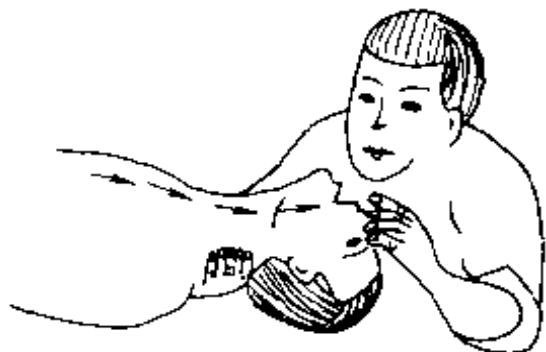


图 14-13 放松换气



图 14-14 心脏正确压点

③ 手掌跟用力向下挤压，压陷  $3\sim 4\text{cm}$ ，压出心脏的血液，如图 14-15 所示。

④ 随后迅速放松，让触电者胸廓自动复原，血液充满心脏，如图 14-16 所示。

按照③、④反复循环进行，每分钟挤压 60 次为宜。

5) 触电者心跳和呼吸均停止了，则人工呼吸与胸外挤压法交替进行。每次对口吹气  $2\sim 3$  次，再进行心脏挤压  $10\sim 15$  次，照此反复循环进行。



图 14-15 向下挤压心脏

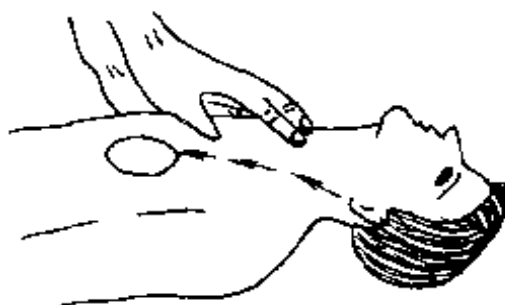


图 14-16 迅速放松

#### 第四节 事故案例

##### 一、焊条电弧焊操作触电

###### 1. 事故经过



××年7月5日,某车间1000kN水压机在检修时发现,地沟内通往操作阀门的一段管路上有裂纹。经机修工乙与电焊工甲商量,采用焊条电弧焊进行焊补。

电焊工甲从地沟口进入地沟,沟内铺了一块草垫,甲卧在草垫上用 $\phi 3\text{mm}$ 焊条焊接。操作过程中,焊钳曾在地沟的铁框上接触短路,产生火花,但未引起甲的重视。

焊工甲出来取 $\phi 5\text{mm}$ 焊条,第二次进入地沟工作。甲的双腿跪在地沟内,其臀部紧靠在地沟口的铁框上,左手在前扶着地面,右手持焊钳举在右侧肩后,低着头正往前钻时,带电的焊钳上夹持的焊条端部不慎触及甲的右侧后颈部,甲当即呼叫一声,便失去知觉。此时,站在地沟口上的乙闻声立即跑到8m远的电焊机旁断开刀开关,当把甲拖出地沟后,经人工呼吸等多方抢救无效死亡。

## 2. 原因分析

电焊工甲使用的焊机空载电压较高,为100V,大大超过安全电压;由于是夏天在狭窄场所作业,首次焊补时身体已出汗,人体电阻会降低;当甲第二次进入地沟时,其臀部紧靠铁框上,而铁框早已意外带电,当焊条触及颈部时,电流正好通过甲的身体,发生触电。由于环境潮湿、人体出汗、电压较高(达100V),此时人体电阻可能降至 $770\Omega$ ,通过人体的电流可达 $130\text{mA}$ ,使心脏瘫痪而死亡。

## 3. 经验教训

在潮湿狭窄的环境下进行电焊作业,必须采取可靠的绝缘措施,并且应由两名焊工轮换作业,互相监护,否则不宜作业;作业中发现异常情况要及时查找原因,消除隐患,如焊钳与铁框接触产生火花能及时排除,也可避免这次事故;电焊机应由专人看管,与焊工及时联系,施焊时合上刀开关,焊后及时切断电源。

## 二、气焊回火爆炸

### 1. 事故概况

××年12月13日,某车间管工组使用浮桶式乙炔发生器,焊接水管法兰盘。因天气较冷,乙炔管内冷凝水结冰堵塞,不能正常工作。焊工甲使用高压氧吹乙炔管内的冰渣,吹通后,工人乙用一木杆将乙炔管

支起,使管内冷凝水很容易流回发生器,防止管内再结冰堵塞。乙尚未离开发生器,甲便点火,乙炔发生器随即爆炸。爆炸冲击波将乙的右耳膜振坏出血

### 2. 原因分析

此发生器未装回火保险器,焊工甲用高压氧吹乙炔管时,乙炔管另一端未从浮桶的出气口拨下,故将大量的氧气吹进了发生器,使乙炔管和发生器内充满了乙炔—空气、乙炔—氧气的混合气;甲又不等混合气排净就点火,使焊炬回火,导致发生器爆炸。

### 3. 经验教训

浮桶式乙炔发生器是极不安全的设备,国家已明令禁止使用,而未装回火保险器是操作中不允许的;乙炔管内有冰渣只能将管子从两端拔下,用压缩空气吹干净;吹完后,将乙炔管插好,开启乙炔气阀门,待管内的空气排净后,再点火。由此看来,加强对职工的安全技术教育,提高安全意识,对防范事故的发生极为重要。



# 附 录

## 附录 A 部分国家钢号近似对照

### A1 碳素结构钢

中 国 GB	Q195 (A1;B1)	Q215A Q215B (A2;C2)	Q235A Q235B Q235C Q235D (A3,C3)	Q255A Q255D (A1,C1)	Q275 (C3)
美 国 UNS	—	-	KO2502	KO2502	
美 国 ASTM	—	-	A570Gr • 33 A570Gr • 36	A570Gr • 40	A570Gr • 50
英 国 BS	—		4360-10B 1350-10C	4360-43B	1350-50B
法 国 NF	A33	A34 A34-2NE	E24-2 E24 2NE	E28-2	A50-2
日 本 JIS	—	SS34	SS34	SM41B	SS50
德 国 DIN	St33	USt34 2 RSt34 2	USt37-2 RSt37-2	St44-2	St50 2
前苏联 ГОСТ	СТ • 0 БСТ • 0	СТ • 2К11 СТ • 21С БСТ • 2К12 БСТ • 21С2	СТ • 3К11 СТ • 31С БСТ • 3К12 БСТ • 31С2	СТ • 4К11 СТ • 41С БСТ • 4К12 БСТ • 41С2	СТ • 51С БСТ • 51С2

## A2 优质碳素结构钢

中国 GB	美国 UNS	美国 AISI	英国 BS	法国 NF	日本 JIS	德国 DIN	前苏联 ГОСТ
05F	G10050	1005	015A03	—	—	D6-2	05K11
08F		M1008	—	—	S9CK	USr4	08K11
08	G10080	1008	040A04	XC6	-	—	08
10F	—	M1010	-	—	—	USr13	10K11
10	G10100	1010	040A10 045A10 060A10	CC10 XC10	S10C	C10 CK10	10
15	G10150	1015	040A15 050A15 060A15	C12 XC15	S15C S15CK	C15 CK15	15
20	G10200	1020	050A20 055M15	CC20 XC20	S20C S20CK	C22 CK22 Cm22	20
25	G10250	1025	060A25 070M26	C25 XC25	S25C	C25 CK25	25
30	G10300	1030	060A30	C30 XC30	S30C	C30 CK30	30
35	G10350	1035	060A35	CC35 XC35	S35C	C35 CK35	35
40	G10400	1040	060A40	XC38 XC42	S40C	C40 CK40	40
45	G10450	1045	060A42 060A47	CC45 XC45	S45C	C45 CK45	45
50	G10500	1050	060A52	C50 XC50 CC50	S50C	C50 Cm50 CK50	50
55	G10550	1055	060A57 070M55	C55 XC55	S55C	CC55 CK55 Cm55	55

(续)

中国 GB	美国 UNS	美国 AISI	英国 BS	法国 NF	日本 JIS	德国 DIN	前苏联 ГОСТ
60	G10600	1060	060A62	XC60 C60	S58C	C60 Cm60 CK60	60
65	G10640 G10650	1064 1065	060A67	XC65 C65	—	C67 CK67 CK65	65
15Mn	G10160	1016	080A15 080A17	12M5	—	15Mn3 14Mn4	15Г
20Mn	G10190 G10220	1019 1022	080A20 080A22	20M5	—	20Mn5 21Mn4 19Mn5	20Г
25Mn	G10260 G15250	1026 1525	080A25 080A27	—	—	26Mn5	25Г
30Mn	G10330	1033	080A30 080M30	32M5	—	31Mn4 30Mn4 30Mn5	30Г
35Mn	G10370	1037	080A35 080M36	35M5	—	35Mn4 36Mn5	35Г
40Mn	G10390	1039	080A40 080M40	40M5	—	40Mn4	40Г
45Mn	G10460	1046	080A47 080M46	45M5	—	46Mn5	45Г
50Mn	G10530 G15510	1053 1551	080A52 080M50	—	—	—	50Г
60Mn	G15610	1561	080A57 080A62	—	—	—	60Г

A3 合金结构钢

中国 GB	美国 UNS	美国 AISI	英国 BS	法国 NF	日本 JIS	德国 DIN	前苏联 ГОСТ
20Mn2	—	1320, 1321	150M19	20M5	SMn420	20Mn6	20Г2
30Mn2	G13300	1330	150M28	32M5	SMn433	28Mn6	30Г2
35Mn2	G13350	1335	150M36	35M5	SMn433	35Mn7 36Mn6	35Г2
40Mn2	G13400 G15410	1340 1541	—	40M5	SMn438	—	40Г2
45Mn2	G13450	1345	—	45M5	SMn443	46Mn7	45Г2
50Mn2	—	—	—	55M5	—	50Mn7	50Г2
Q390 20MnV	—	—	—	—	—	15MnV5 20MnV6	—
42MnV	—	—	—	—	—	42MnV7	—
35SiMn	—	—	—	38MS5	—	37MnSi5	35ГГ
42SiMn	—	—	—	38MS5	—	46MnSi6	42ГГ
40B	—	14B35	—	—	—	35B2	—
45B	—	—	—	—	—	45B2	—

(续)

中国 GB	美国 UNS	美国 AISI	英国 BS	法国 NF	日本 JIS	德国 DIN	前苏联 ГОСТ
40MnB	G50401	15B41	—	38MB5	—	40MnB4	—
15Cr	G51150	5115	523A14 523M15	12C3	SCr415	15Cr3	15N
20Cr	G51200	5120	527A19 527M20	18C3 18C4	SCr420	20Cr4	20N
30Cr	G51300	5130	530A30	32C4	SCr430	28Cr4	30N
35Cr	G51350	5135	530A36	38C4	SCr435	34Cr4	35N
40Cr	G51400	5140	530A40 530M40	42C4	SCr440	41Cr4	40N
45Cr	G51450	5145	—	45C4	SCr445	—	45N
50Cr	G51500	5150	—	50C4	—	—	50N
12CrMo 12CrMoV	—	4119	1501-620 Cr·27	12CD4	—	13CrMo44	12NM 12NM0P
(15CrMo)	—	—	1501-620 Cr·31	15CD4·05	SCM415	15CrMo5	15NM

(续)

中国 GB	美国 UNS	美国 AISI	英国 BS	法国 NF	日本 JIS	德国 DIN	前苏联 ГОСТ
20CrMo	G41180	4118	CDS12	18CD4	SCM420	20CrMo5	20XM
38CrMoAl			905M39	40CAD6·12		41CrAlMo7	38X2MoA
25CrMo				25CD4		25CrMo4	30XM
30CrMo				30CD4	SCM430		
35CrMo	G41350	4135	708A37	35CD4	SCM435	34CrMo4	35XM
35CrMoV			CDS13				35XMΦ
42CrMo	G41400	4140	708M40	42CD4	SCM440	42CrMo4	
25Cr2MoVA							
25Cr2Mo1VA						24CrMoV55	25X2M1Φ
20Cr3MoWVA						21CrVMoW12	9H415
20CrV	G61200	6120				21CrV4	15XΦ
50CrVA	G61500	6150	735A50	50CV4	SUP10	50CrV4	50XΦA
15CrMn	G51150	5115		16MC5		16MnCr5	15XΓ
20CrMn	G51200	5120		20MC5	SMnCr420	20MnCr5	20XΓ

(续)

中国 GB	美国 UNS	美国 AISI	英国 BS	法国 NF	日本 JIS	德国 DIN	前苏联 ГОСТ
20CrMnSi	—	—	—	—	—	—	20X17CA
30CrMnSi	—	—	—	—	SMK1	—	30X17CA
35CrMnSiA	—	—	—	—	SMK2	—	35X17CA
20CrMnMo	—	4119	—	—	—	—	18X17M
40CrMnMo	G41420	4142	708A40	—	—	—	40X17M
20CrMnTi	—	—	—	—	SMK22	30MnCrTi4	18X17T 30X17T
30CrMnTi	—	—	—	—	—	—	—
20CrNi	—	3120	637A16	20NC6	—	20NiCr6	20XH
40CrNi	G31400	3140	640M40	35NC6	SNC236	40NiCr6	40XII
50CrNi	—	—	—	—	—	—	50XH
12CrNi2	—	3215	—	14NC11	SNC415	14NiCr10	12XH2A
12CrNi3	G33106	3310	665A12 665M13	14NC12	SNC815	14NiCr14	12XH3A
20CrNi3	—	—	—	20NC11	—	22NiCr14	20XH3A

(续)

中国 GB	美国 UNS	美国 AISI	英国 BS	法国 NF	日本 JIS	德国 DIN	前苏联 ГОСТ
30CrNi3	—	3435	653M31	30NC11 30NC12	SNC631	31NiCr14	30N113A
12Cr2Ni4	G33106	E3310	659A15 659M15	12NC15	—	14NiCr18	12N2H4A
20Cr2Ni4	—	3320	—	—	—	—	20N2H4A
18Cr2Ni4WA	—	—	—	—	—	—	18N2H4WA
20CrNiMo	G86200 G87200	8620 8720	805M20 805A20	20NC12	SNCM220	20NiCrMo2	20N1M

A4 不锈钢							
中国 GB	美国 UNS	美国 AISI	英国 BS	法国 NF	日本 JIS	德国 DIN	前苏联 ГОСТ
1Cr17Mn6Ni5N	S20100	201	—	—	SUS201	—	12N17M9A111
1Cr18Mn8Ni5N	S20200	202	284S16	—	SUS202	—	12N17M9A114
1Cr17Ni7	S30100	301	301S21	Z12CN17-07	SUS301	X12CrNi17-7	09N17H7R



(续)

中国 GB	美国 UNS	美国 AISI	英国 BS	法国 NF	日本 JIS	德国 DIN	前苏联 ГОСТ
1Cr18Ni9	S30200	302	302S25	Z10CN18·09	SUS302	X12CrNi18·8	12\18H19
1Cr18Ni9Si3	S30215	302B	—	—	SUS302B	X12CrNiSi18·8	—
Y1Cr18Ni9	S30300	303	303S21	Z10CNF18·09	SUS303	X12CrNiSi18·8	—
Y1Cr18Ni9Se	S30323	303Se	303S41	—	SUS303Se	—	12\18H10E
0Cr19Ni9	S30400	304	304S15	Z6CN18·09	SUS304	X5CrNi18·9	08\18H10
00Cr19Ni10	S30403	304L	304S12	Z2CN18·09 Z2CN18·10	SUS304L	X2CrNi18·9	03\18H11
0Cr19Ni9N	S30451	304N	—	—	SUS304N1	—	—
0Cr19Ni10NbN	S30452	XM21	—	—	SUS304N2	—	—
00Cr18Ni10N	S30453	304LN	304S62	Z2CN18·10N	SUS304LN	X2CrNi18·10	—
1Cr18Ni12	S30500	305	305S19	Z8CN18·12	SUS305	X5CrNi19·11	—
0Cr23Ni13	S30908	309S	—	Z15CN24·13	SUS309S	X7CrNi23·14	—
0Cr25Ni20	S31008	310S	310S24	Z12CN25·20	SUS310S	X12CrNi25·21	—
0Cr17Ni12Mo2	S31600	316	316S16	Z6CND17·12	SUS316	X5CrNiMo18·10	08\17H13V21

(续)

中国 GB	美国 UNS	美国 AISI	英国 BS	法国 NF	日本 JIS	德国 DIN	前苏联 ГОСТ
00Cr18Ni12Mo2Ti	S31635	316Ti	320S31	Z6CNDT17·12	—	X10CrNiMoTi18·10	08X17H13M2T
00Cr17Ni14Mo2	S31603	316L	316S11 316S12	Z2CND17·12	SUS316L	X2CrNiMo18·10	03X17H14M2
00Cr17Ni12Mo2N	S31661	316N	—	—	SUS316N	—	—
00Cr17Ni13Mo2N	S31653	316LN	316S61	Z2CND17·12Az Z2CND17·13Az	SUS316LN	X2CrNiMoN18·12	—
0Cr18Ni12Mo2Cu2	—	—	—	—	SUS316J1	—	—
00Cr18Ni14Mo2Cu2	—	—	—	—	SUS316J11	—	—
0Cr19Ni13Mo3	S31700	317	317S16	—	SUS317	X5CrNiMo17·13	08X17H15M3T
1Cr12Ni13Mo2V	—	—	—	Z12CNDV12	—	—	—
1Cr13Ni	—	—	—	Z12CN13	—	—	—
1Cr17Ni13	—	—	—	Z151703	—	—	—
00Cr19Ni13Mo3	S31703	317L	317S12	Z2CND19·15	SUS317L	X2CrNiMo1816	03X16H15M3
1Cr18Ni9Ti	S32100	321	321S20	Z10CNT18·10	SUS321	X12CrNiTi18·9	12X18H9T

(续)

中国 GB	美国		英国 BS	法国 NF	日本 JIS	德国 DIN	前苏联 ГОСТ
	UNS	AISI					
0Cr18Ni11Ti	S32100	321	321S12	Z6CNT18-11	SUS321	X10CrNiTi18-10	08X18H10T
0Cr18Ni11Nb	S34700	347	347S17	Z6CNU18-10	SUS347	X10CrNiNb18-9	08X18H12F
0Cr18Ni16Mo5	—	—	—	—	SUS317J1	—	—
0Cr18Ni9Cu3	S30430	XM7	—	Z6CNU18-10	SUSXM7	X3CrNiCu18-9	—
0Cr18Ni13Si4	S38100	XM15	—	—	SUSXM15J1	—	—
0Cr26Ni5Mo2	S32900	329	—	—	SUS329J1	X8CrNiMo275	—
1Cr18Ni11Si4AlTi	—	—	—	—	—	—	15X18H12C4TiO
0Cr18Al	S40500	405	405S17	Z6CA13	SUS405	X7CrAl13	1X12C0
00Cr12	—	—	—	—	SUS410L	—	—
00Cr18Ni5Mo3Si2	—	—	—	—	—	(瑞士 3RE60)	—
1Cr17	S43000	430	430S15	Z8C17	SUS430	X8Cr17	12X17
00Cr17	—	—	—	—	SUS430LX	—	—
Y1Cr17	S43020	430F	—	Z10CF17	SUS430F	X12CrMoS17	—
00Cr17Mo	—	—	—	—	SUS436L	—	—
1Cr17Mo	S43400	434	434S17	Z8CD17-01	SUS434	X6CrMo17	—

(续)

中国 GB	美国 UNS	美国 AISI	英国 BS	法国 NF	日本 JIS	德国 DIN	前苏联 ГОСТ
00Cr30Mo2	S44700	—	—	—	SUS447J1	—	—
00Cr27Mo	S44625	XM27	—	Z01CD26*1	SUSXM27	X1CrMo261	—
1Cr12	S40300	403	403S17	Z6C13	SUS103	X6C13	08X13
1Cr13	S41000	410	410S21	Z12C13	SUS110	X10Cr13	12X13
1Cr13Mo	—	—	420S29	—	SUS410J1	—	—
Y1Cr13	S41600	416	416S21	Z12CF13	SUS416	X12CrS13	—
2Cr13	S42000	420	420S37	Z20C13	SUS420J1	X20Cr13	20X13
3Cr13	—	—	420S45	Z30C13	SUS420J2	X30Cr13	30X13
(Y)3Cr13	S42020	420F	—	Z30CF13	SUS420F	—	—
3Cr16	—	—	—	—	SUS429J1	—	—
1Cr17Ni2	S43100	431	431S29	Z15CN16*2	SUS431	—	14X17H2
7Cr17	S44002	440A	—	—	SUS440A	X40CrMo15	—
8Cr17	S44003	440B	—	—	SUS440B	—	—
11Cr17	S44004	440C	—	Z100CD17	SUS440C	X105CrMo17	—
(Y)11Cr17	S44020	440F	—	—	SUS440F	—	—

(续)

中国 GB	美国 UNS	美国 AISI	英国 BS	法国 NF	日本 JIS	德国 DIN	前苏联 ГОСТ
0Cr17Ni4Cu4Nb	S17400	630		Z6CNU17.4	SUS630	X5CrNiCuNb17.4	—
0Cr15Ni7Mo2Al	S15700	632		Z8CND15.7	—	X7CrNiMoAl15.7	—
0Cr13	S41008	410S	403S17	Z6C13	SUS410S	X7Cr13	08X13
(Y)1Cr14S	—	—	—	—	—	—	X14(3)1241
1Cr28	—	—	—	—	—	—	15X28
0Cr17Ti	S43036	430Ti	—	—	—	X8CrTi17	08X17T
1Cr17Ti	S43036	430Ti	—	—	SUS430	X8CrTi17	—
1Cr25Ti	S41600	446	—	—	—	X8Cr28	15X25T
1Cr17Mo2Ti	S43400	434	434S17	Z8CD17.11	SUS434	X8CrMo17	—
4Cr13	—	—	—	Z40C13	SUS420J2	X10Cr13	40X13
(Y)2Cr13Ni2	—	—	—	—	—	—	25X13H2
00Cr18Mo2	—	—	—	—	SUS444	—	—
1Cr17Ni7Al	S17700	631	—	Z8CNA15.7	SUS661	X7CrNiAl17.7	09X17H7O
00Cr18Ni10	S30408	304L	304S12	Z2CN18.9	SUS304L	X2CrNi18.9	04X18H10
0Cr18Ni9	S30400	304	304S15	Z6CN18.9	SUS304	X5CrNi18.9	08X18H10

(续)

中国 GB	美国 UNS	美国 AISI	英国 BS	法国 NF	日本 JIS	德国 DIN	前苏联 ГОСТ
2Cr18Ni9	—	—	—	—	—	—	17X18H9 08X18H9
0Cr18Ni9Ti	S32100	321	321S12	Z6CNDI18·10	SUS321	X10CrNiTi18·9	08X18H10T
1Cr18Ni11Nb	S34700	347	347S17	Z6CNNb18·10	SUS347	X10CrNiNb18·9	08X18H12B
2Cr13Mn9Ni4	—	—	—	—	—	—	20X13H4T9
1Cr14Mo14Ni	—	—	—	—	—	—	10X14T14H3
1Cr18Ni12Mo2Ti	S31703	317L	320S17 320S31	Z6CNDT17·12	SUS317L	X10CrNiMoTi18·10	10X17H13M2T
0Cr17Ni14Mo3	S31703	317L	317S12	Z2CND19·15	SUS317L	X2CrNiMo18·16	03X16H15M3
0Cr18Ni12Mo3Ti	S317000	317	317S16	Z6CNDT17·13	SUS317	X5CrNiMo17·13	08X17H15M3T
1Cr18Ni12Mo3Ti	—	—	—	—	—	X10CrNiMoTi18·12	10X17H13M3T
0Cr18Ni18Mo2Cu2Ti	—	—	—	—	—	X5NiCrMoCuTi20·18	07XH20Ni2,12I
0Cr23Ni28Mo3Cu3Ti	—	—	—	—	—	—	06HN28M4T
0Cr21Ni5Ti	—	—	—	—	—	—	08X22H6T
1Cr21Ni5Ti	—	—	—	—	—	—	12X21H5T

(续)

中国	美国	英国	法国	日本	德国	前苏联
GB	UNS	BS	NF	JIS	DIN	GOST
0Cr17Mn13N	—	—	—	—	—	15N17A114
(Y)1Cr3Se	S41623	416S41	—	—	—	—
(Y)1Cr18Ni9Se	S30323	303S41	—	SUS303Se	—	12N18H10C
00Cr25NiMo	S32900	329	—	SUS329J1	—	—

## A5 耐热钢

中国	美国	英国	法国	日本	德国	前苏联
GB	UNS	BS	NF	JIS	DIN	GOST
4Cr14Ni14W2Mo	K66009	331S42	Z35C.NWS11•14	SUH31	X50NiCrWV13•13	45N14H14B2M
0Cr19Ni13Mo3	S31700	317S16	—	SUS317	X5CrNiMo17•13	08N17H15M3T
2Cr25N	S44600	446	—	SUH446	—	—
1Cr5Mo	S50100	501	Z12CD5	—	12CrMo19•5	12N5M
4Cr9Si2	HNV3 (SAE)	401S45	Z45CS9	SUH1	X45CrSi9•3	40N9C2
4Cr10Si2Mo	K64005	—	Z40CSD10	SUH3	X40CrSiMo10•2	40N10C2M

(续)

中国 GB	美国 UNS	美国 AISI	英国 BS	法国 NF	日本 JIS	德国 DIN	前苏联 ГОСТ
8Cr20Si2Ni	K65006	—	443S65	Z80CSN20•02	SUH4	X80CrNiSi20	—
1Cr11MoV	—	—	—	—	—	—	15N11MΦ
2Cr12MoVNbN	—	—	—	Z20CDNbV11	SUH600	X19CrMoVNbN-11•1	—
1Cr12WMoV	—	—	—	—	—	—	15N12BHMΦ
2Cr12NiMoWV	S42200	616	—	—	SUH616	X20CrMoWV12•1	20N12BHMΦ
1Cr15	S42900	429	—	—	SUS429	—	—
1Cr11Ni2W2MoV	—	—	—	—	—	—	11N1112B2MΦ
1Cr13Si3	—	—	—	—	—	X10CrSi13	—
1Cr18Si2	—	—	—	—	—	X10CrSi18	—
1Cr13SiAl	S40500	405	—	—	SUS405	X10CrAl13	10N13CΦ
5Ni12Mn5Cr3Mo	—	—	—	Z50NMC12	—	—	—
1Cr6Si2Mo	—	—	—	—	—	—	16CrM(旧号)
3Cr13Ni7Si2	—	—	—	—	—	—	30N1317C2
1Cr18Ni12Ti	—	—	—	Z10CNT18•11	—	—	12N18H12T



(续)

中国 GB	美国 UNS	美国 AISI	英国 BS	法国 NF	日本 JIS	德国 DIN	前苏联 ГОСТ
1Cr23Ni18	S31000	310	310S24	Z12CN25·20	SUH310	X15CrNiSi25·20 X12CrNi25·21	20N23H18
1Cr20Ni14Si2	—	—	—	Z15CNS20·12	—	X15CrNiSi20·12	20N20H14C2
3Cr18Ni25Si2	—	—	—	—	—	—	36N18H25C2
1Cr15Ni36W3Ti	—	330	316(D, T, D)	Z12NC37·18 Z12NCS35·16	SUH330	X12NiCrSi36·16	МН35BT
4Cr12Ni8Mn8MoVNb	—	—	—	—	—	—	37N12H8MΦ5
2Cr12NiWMoV	S42200	616	—	—	SUH616	X20CrMoWV121	15N12H1MΦ
2Cr12WMoVNbB	—	—	245-420 (BS1503)	—	—	—	18N12BMΦP
16Mo	4520 (SAE)	G45200 (ASTM)	620-440 (BS1503)	—	STBA12	16Mo5	16M
12CrMo	—	—	—	15CD35	—	13CrMo44	12NM

(续)

中国 GB	美国 UNS	美国 AISI	英国 BS	法国 NF	日本 JIS	德国 DIN	前苏联 ГОСТ
25Cr2MoV	—	—	—	—	—	—	25\2MΦA
25Cr2Mo1V	—	—	—	—	—	—	25\2M1ΦA
12Cr1MoV	—	—	—	—	—	—	12\1MΦ
15CrMo	—	—	620-440 (BS3604)	15CD35	STBA22	13CrMo11	15\A
10Cr2Mo1	—	—	622 (BS3604)	—	STBA21	10CrMo910	10\2M
1Cr14Ni3W2VB	—	—	—	—	—	—	13\3- 1103B2ΦP
8Cr20Si2Ni	—	—	443S65	Z80CSN20•02	SUH4	X80CrNiSi20	—
2Cr18Ni8W9	—	—	—	—	—	—	2N18118B2 (旧号)
4Cr18Ni9Si2W	—	—	—	—	—	X13CrNiW189	—
2Cr21Ni12MnSiN	K63017 (ASTM)	—	381S34	—	SUH37	—	—

A6 锅炉、压力容器用钢

中国 GB	美国 ASTM	英国 BS	德国 DIN	法国 NF	日本 JIS	前苏联 ГОСТ
15g	SA414GradeB SA285GradeB	-	HI St35.8	-	S335	15K
-	-	141	-	A37C1	-	-
-	-	151Grade23A	-	A37C2	-	-
-	-	151Grade23B	-	A37P1	-	-
-	-	161Grade23A	-	A37P2	-	-
-	-	161Grade23B	-	-	-	-
-	-	154Grade23	-	-	-	-
-	SA515Grade55	224Grade26B	-	-	-	-
-	SA442Grade55	211Grade26B	-	-	-	-
-	SA414GradeC	221Grade26B	-	-	-	-
-	-	151Grade26A	-	-	-	-
-	SA285	151Grade26B	-	-	-	-

(续)

中国 GB	美国 ASTM	英国 BS	德国 DIN	法国 NF	日本 JIS	前苏联 ГОСТ
—	SA562	161Grade26A 161Grade26B 154Grade26	—	—	—	—
—	SA516Grade55	224Grade26A 211Grade26A 221Grade26A	—	—	—	—
20g	SA515Grade60 SA414GradeD	—	H11	A42C1 A42C2 A42P1 A42P2	SPV24 SCV42 SB42	20K
—	SA516Grade60 SA442Grade(1,2) SA662GradeA	—	— ASt41 —	A42FP1 A42FP2 —	SLA24A SLA24B SLT29	—

(续)

中国 GB	美国 ASTM	英国 BS	德国 DIN	法国 NF	日本 JIS	前苏联 ГОСТ
22g	SA414GradeE	213Grade28B	H111	A48	SB46	22h
	SA515Grade65	228Grade28B			SGV46	
		224Grade28B				
		211Grade28B				
		221Grade28B				
		154Grade28				
		151Grade28A				
		151Grade28B				
		161Grade28A				
		161Grade28B				
Q345g (16Mng)	SA299GradeI	213Grade32B	19Mn5	A52C1	SPV32	—
	SA299Grade2A	223Grade32B		A52C2		
	SA455TypeI	224Grade32B		A52CR1		
	SA455Type2	211Grade32B		A52CR2		
	SA414GradeG	221Grade32B		—		
		BS1623Gradel.				

## A7 桥梁用结构钢

国 家	牌号(屈服点 MPa)	牌号(屈服点 MPa)	牌号(屈服点 MPa)
中国 YB	16q(226)	16Mnq(345)	16MnCuq(345)
美国 ASTM			
英国 BS		10EE(355)	
		Fe510D(355)	
法国 NF		Fe510D(355)	
德国 DIN		Fe510D(355)	
日本 JIS	SM400B(245)	SM490A(365)	SM490A(365)
		SM490B(365)	SM490B(365)
		SM490C(365)	SM490C(365)
	SM400C(245)	SM490YA(365)	SM490YA(365)
		SM490YB(365)	SM490YB(365)
		SM520B(365)	SM520B(365)
		SM520C(365)	SM520C(365)
前苏联 ГОСТ	16Л(225)		

## A8 船体用结构钢

类别	中国 GB	美国 ASTM	英国 LR	日本 JIS	前苏联 ГОСТ	屈服点 (MPa)
一般强度钢	A	A	A	SM400A	A	235
	B	B	B	SM400B	B	235
	D	D	D	SM400B	D	235
	E	E	E	SM400C	E	235
高强度钢	AH32	AH32	AH32	SM490C	A32	315
	DH32	DH32	DH32	SM490B	D32	315
				SM490C		
	EH32	EH32	EH32	SM490B	E32	315
				SM490C		
	AH36	AH36	AH36		A36	355(美国;360)
	DH36	DH36	DH36		D36	355(美国;360)
EH36	EH36	EH36		E36	355(美国;360)	

附录 B 部分国家高温合金牌号近似对照

中国 GB		美国	英国	德国	法国	日本	前苏联
新牌号	旧牌号	AISI	BS	DIN	NF	JIS	ГОСТ
变 形 高 温 合 金							
—	GH13	—	N75	—	—	—	Э113С
—	GH14	Hastelloy X	—	—	—	—	—
GH1015	GH15	—	—	—	—	—	Э118В8
GH1016	GH16	—	—	—	—	—	Э118В8
—	GH17	—	—	—	—	—	—
GH2018	GH18	—	N263	—	—	—	—
—	GH20	Incoloy 800	Incoloy 800	—	NICRAL • C 25NC3520	NCF800B	—
—	GH22	Hastelloy X	HR6	DIN2 • 4672	ATG • E NC 22FeD	—	—
—	GH25	L605	JIS25	DIN2 • 4967	ATG • H KC20WN	—	—
—	GH27	A-286	—	DIN2 • 1951	—	—	—

(续)

中国 GB		美国 AISI	英国 BS	德国 DIN	法国 NF	日本 JIS	前苏联 ГОСТ
新牌号	旧牌号	变 形 高 温 合 金					
GH3030	GH30	—	HR5N75	—	ATG·R NC20J	—	ЭИ1435
GH4033	GH33	—	N80A	—	—	—	ЭИ1437B
GH4133	GH33A	—	N80A	—	—	—	ЭИ1437B
—	GH34	—	—	—	—	—	ЭИ1415
GH1035	GH35	—	—	—	—	—	ЭИ1703
GH2036	GH36	—	—	—	—	—	ЭИ1181
GH4037	GH37	SAE·HEV6	HR2 HR202 N90	DIN2·4969	ATGS1 NC20KTA1	—	ЭИ1617
GH2038	GH38A	—	—	—	—	—	ЭИ1696A
GH3039	GH39	—	—	—	—	—	ЭИ1602
GH1040	GH40	—	—	—	—	—	ЭИ1395
GH4043	GH43	—	—	—	—	—	ЭИ1598



(续)

中国 GB 新牌号		美国 AISI	英国 BS	德国 DIN	法国 NF	日本 JIS	前苏联 ГОСТ
旧牌号		变 形 高 温 合 金					
GH3044	GH44	-	-	-	-	-	Ж11868
GH1049	GH49	-	BS,HR,4 N115	-	NCK15,ATD	-	Ж1929
-	GH50	-	N115	-	-	-	Ж11929
-	GH80A	SAEHEV3	ANC·9 N80A	DIN2·4952	ATGS3 NC20TA	NCF80A	Ж11445
-	GH95	-	-	-	-	-	Ж11824
GH3128	GH128	-	-	-	-	-	Ж11868
GH2130	GH130	-	-	-	-	-	Ж11617
GH1131	GH131	-	-	-	-	-	Ж11126
GH2132	GH132	A-286	DID5026	DIN1·4980	ATVSM6 Z6NCT25	-	Ж11786
GH2135	GH135	-	-	-	-	-	Ж11376

中国 GB		美国 AISI	英国 BS	德国 DIN	法国 NF	日本 JIS	前苏联 ГОСТ
新牌号	旧牌号						
变 形 高 温 合 金							
GH12136	GH136	V-57	—	DIN1·4980	ATVS2 Z5NC125	—	—
—	GH138	—	—	—	—	—	9T1868
—	GH139	—	—	—	—	—	9T1835
—	GH140	—	—	—	—	—	9T1602
—	GH141	Rene41	—	DIN2·4982 DIN2·4973	ATGW2 NC20KDTA	—	—
—	GH143	—	N105 (N108)	—	NCKD20ATr	—	—
—	GH145	Inconelx-75C	—	—	ATGF NC15FeTiNbA	NCF750B	9T1974
—	GH146	Udimet500	NPK25	DIN2·4983	A1GW2 NC20KDTA	—	—
—	GH151	—	—	—	—	—	9T1220

(续)

(续)

中国 GB		美国	英国	德国	法国	日本	前苏联
新牌号	旧牌号	AISI	BS	DIN	NF	JIS	ГОСТ
变 形 高 温 合 金							
—	GH161	—	—	LN2·4650	—	—	3H1813
—	GH163	—	N263 C263	—	ATGW0 NCK20D	—	—
—	GH167	HastelloyR-235	—	LN2·4668	—	—	—
GH4169	GH169	Incone1718	Inco718	—	ATGC1 NC19FeN6	—	—
—	GH170	Haynes188	—	—	KCN22W	—	—
—	GH182	HastelloyC4	BSANC15	LN2·4682	—	—	—
—	GH220	—	NI18	LN2·4610	—	—	3П220
GH2302	GH302	—	—	—	—	—	3M617
—	GH333	RA-333	—	—	ATG33 Z6NCKDW45	—	—
—	GH500	Incone1600	—	DIN2·4640	NICRAL·Z NC15Fe	NCF600B	—

(续)

中国 GB		美国 AISI	英国 BS	德国 DIN	法国 NF	日本 JIS	前苏联 ГОСТ
新牌号	旧牌号	变 形 高 温 合 金					
—	GH698	—	—	—	—	—	Ж1698
—	GH710	Udimet710	—	—	ATGW4 NCK18TDA	—	—
—	GH738	Waspaloy	NPK50	DIN2·4054	ATGW1 NC20K14	—	—
—	GH761	—	—	—	—	—	—
—	GH901	Inconel901	B5HR53 B5HR401	DIN2·4975	Z8NCD	—	Ж1725
—	GH984	Inconel625	—	DIN2·4856	ATGE2 NC22FeDNb	—	—
—	—	AISI665	—	—	ATVS2 Z4NCDT26	—	—
—	—	Incoloy825	—	DIN2·4858	NC21FeDU	—	—
—	—	Inconel700	—	—	ATGS8 NK27CADT	—	—

中国 GB		铸 造 高 温 合 金							(续)
新牌号	旧牌号	美国 AISI	英国 BS	德国 DIN	法国 NF	日本 JIS	前苏联 ГОСТ		
K401	K1						AHB-300		
—	K2	—	—	—	—	—	KC6		
K403	K3	—	—	—	—	—	KC6K		
—	K4	—	—	—	—	—	KC6		
K405	K5	In100	—	—	—	—	KC6KII		
K406	K6	—	—	—	—	—	—		
—	K7	—	—	—	—	—	—		
K409	K9	B 1900	—	—	—	—	—		
—	K10	—	—	—	—	—	JN4		
K211	K11	—	—	—	—	—	DX77-45Y		
K412	K12	—	—	—	—	—	KC3		
K213	K13	—	—	—	—	—	KC3		
K214	K14	—	—	—	—	—	AHB-300		

(续)

中国 GB		美国 AISI	英国 BS	德国 DIN	法国 NF	日本 JIS	前苏联 ГОСТ
新牌号	旧牌号	铸 造 高 温 合 金					
—	K16	In100	—	—	—	—	—
K417	K17	In100	NPK24	LN2 · 4674	ATGM2 NK15CAT	—	—
K417G	K17G	Rene100	—	—	—	—	—
K418	K18	Inco713C	Nimocast713	DIN2 · 4670	ATGS9 NC13AD	—	—
K418B	K18B	Inco713LC	—	—	—	—	—
K419	K19	MM246	—	—	—	—	—
—	K19H	Rene125	NimocastpD16	—	—	—	ЖС6Ф
—	K20	TRW V1A	NimocastpD18	—	—	—	ЖС6У
—	K23	—	C1023	—	NC15K10DAT.	—	—
—	K24	—	—	—	—	—	ВЖЛ-12У
—	K27	FSX-414	—	—	—	—	—

(续)

中国 GB		美国	英国	德国	法国	日本	前苏联
新牌号	旧牌号	AISI	BS	DIN	NF	JIS	ГОСТ
铸造高温合金							
K232	K32	-	-	-	-	-	-
K438	K38	In738	-	-	-	-	-
-	K10	X-40	HS-31	DIN2·4966	KC25NW	-	-
-	K44	FSX 414	-	-	-	-	-
-	K002	MAR-M002	MM002	-	NW12KCATHF	-	-
-	K136	-	-	-	-	-	-
-	DK22	PWAI 522	-	-	-	-	AC63 HIK
-	-	-	C242	-	NC21AK10	-	-
-	-	-	PE10	-	NC20NbDW	-	-
-	-	HastelloyC	BSANC16	DIN2·4602	ARC6015 NC17DWY	-	-
-	-	HastelloyB	BSANC15	DIN7·4800	ARC1628 ND27Fc	-	-

## 附录 C 部分国家铸钢牌号近似对照

## C1 碳素铸钢、合金铸钢、高锰铸钢

中国 GB	美国 UNS	美国 AISI	英国 BS	法国 NF	德国 DIN	日本 JIS	前苏联 ГОСТ
ZG200-400	J01700	—	AW1 CLA9	E20-10M	GS-38 GS-CK16	SC360	15.1
ZG230-450	J03003	—	CLA1Gr·B	E23-45M	GS-32 GS-CK25	SC410	25.1
ZG270-500	J04000	—	A2	—	GS-60 GS-62	SC480	35.1
ZG310-570	J05002	—	A3	—	GS-70	SCC5	45.1
ZG340-640	J05000	—	—	—	—	—	55.1
ZG40Mn	—	—	AW3	—	GS-40Mn5	SCMn3	—
ZG40Cr	—	—	—	—	—	—	40\N.1
ZG20SiMn	J02505	—	—	FB-M	GS-20Mn5	SCW480	20\T.1
ZG35SiMn	—	—	—	—	GS-37MnSi5	SCSiMn2	35\T.1
ZG35CrMo	—	J13048	—	—	GS-34CrMo4	SCCrM3	35\N.1



(续)

中国 GB	美国 UNS	美国 AISI	英国 BS	法国 NF	德国 DIN	日本 JIS	前苏联 ГОСТ
ZG35CrMnSi	—	—	—	—	—	SCMnCr3	35XTC.1
ZGMn13-1	B-4	J91149	—	—	G-X120Mn13	—	—
ZGMn13-2	B-3 B-2	J91139 J91129	BW10	—	G-X120Mn12	—	П13.1
ZGMn13-3	B-1	J91119	—	—	—	SCMnH1 SCMnH2 SCMnH3	100П3.1
—	LC1	J12522	240 B1	FC1 M	GS-22Mo4	SCP111	—
—	WC9	J21890	622 B3	—	GS-12Cr Mo9 10	SCPH32-CP	—
—	B2N B2Q	J22501 J22500	— —	FC2-M	GS-24Ni8	SCPL21	—

C2 不锈钢铸钢和耐热铸钢

中国 GB	美国 ASTM	美国 UNS	英国 BS	法国 NF	德国 DIN	日本 JIS	苏联 ГОСТ
ZG1Cr13	CA-1	J61150	11Cr21	Z12Cr13M	G X7Cr13 G X10Cr13	SCS1	12X13
ZG2Cr13	CA-16	J61201	14Cr26	Z22Cr13M	G X20Cr13	SCS2	14X13
ZG1Cr17					X8Cr18	SCS24	12X17
ZGCr25			17Cr11	Z189Cr25M	G X10Cr17 G X120Cr26		
ZG0Cr18Ni9	CF-3	J92300	304Cr12	Z20Cr18 • 10M	G X20CrNi18 • 9	SCS13	03X18H11
ZG0Cr18Ni9	CF-8	J92600	304Cr15	Z8CrNi18 • 19M Z8CrNi19 • 3M	G X8CrNi18 • 9 G X10CrNi18 • 9	SCS13	07X18H11
ZG1Cr18Ni9			302Cr20	Z10CrNi18 • 9M	G X10CrNi18 • 8	SCS17 SCS13A	10X18H91
ZG0Cr18Ni9Ti	CF-8C	J9271	347Cr17	Z10CrNi19 • 10M	G X10CrNiNb18 • 9	SCS21	08X18H9T
ZG1Cr18Ni9Ti							13X18H9T
ZG0Cr18Ni12Mo2Ti	CF-8M	J92900					

(续)

中国 GB	美国 ACI	美国 UNS	英国 BS	法国 NF	德国 DIN	日本 JIS	前苏联 ГОСТ
ZG1Cr18Ni12Mo2Ti	—	—	318C18	Z4CNDNb18·12-M	G-X5CrNiMoNb1810	SCS22	—
ZG5Cr25Ni2	HC	J92605	452C11	—	G-X16CrNi245	SCH2	—
ZG3Cr18Ni25Si2	—	J91213	3X18H25C2	—	—	SC1119	—
ZG1Cr25Ni20Si2	HK 30	J91203	—	—	G-X15CrNiSi2520	SCH21	16N23118.1
ZG4Cr25Ni20Si2	HK	J91224	310C40	—	G-X16CrNiSi2520	SCH22	—
—	HK 40	J91204	310C45	—	—	—	—
ZG4Cr25Ni35Si2	HP	J95705	—	—	G-X45CrNiSi3525	SCH24	—
—	CA 6M CN 7M	J95150	316C16	Z12CN13-M	G-X12Cr14	SCS14	—
—	—	—	425 C11	Z4CND13·4-M	G-X5CrNi134	SCS5 SCS6	—
—	CF-3 CF-3M	J92700 J92800	—	Z2CND18·12-M Z3CND19·10-M	G-X2CrNiMo1810	—	—
—	CA 15	J91150	405C29	Z6CND13·04-M	G-X5NiCrMo134	—	—

(续)

中国 GB	美国 ACI	美国 UNS	英国 BS	法国 NF	德国 DIN	日本 JIS	前苏联 ГОСТ
—	—	J92810	—	Z4CND19 • 13 M	G-X6CrNiMo18 12	—	—
—	—	J93000	317C16	—	G-X6CrNiMo17 13	—	—
—	—	—	—	Z5CND20 • 10·M	G-X10CrNiMo18 8	SCS14A	—
—	HJ	J94605	—	—	G X40CrNiSi38 18	SCH16 SCH15	—

附录 D 部分国家铸铁与国际标准近似对照

类别	中国 GB	美国	英国	德国	法国	日本	前苏联	ISO
灰 铸 铁	—	60B	Gr • 400	GG40	FGL400	—	CY40	Gr40
	HT350	55B	Gr • 350	GG35	FGL350	FC350	CY36	Gr35
	HT300	50B/45B	Gr • 300	GG30	FGL300	FC300	CY32	Gr30
	—	40B	Gr • 260	—	—	—	CY28	—
	HT250	35B	—	GG25	FGL250	FC250	CY24	Gr25

(续)

类别	中国 GB	美国	英国	德国	法国	日本	前苏联	ISO
灰 铸 铁	HT200	30B/25B	GK220 /GH80	GG20	FGL200	FC200		Gr20
	HT150	20B	Gr150	GG15	FGL150	FC150	СЧ15	Gr15
	HT100	—	—	—	—	FC100	СЧ10	Gr10
球 墨 铸 铁	—	—	—	GGG35·3	—	—	—	—
	—	—	—	GGG40·3	—	—	—	—
	QJ400-18	60-40-18	400/17	GGG40	FGS370-17	FCD400	БЧ40	Gr·370-17
	QT450-10	65-45-12	420/12	—	FGS400-12	FCD450	БЧ45	Gr·420-12
	QT500-7	70 50-05	500/7	GGG50	FGS500-7	FCD500	БЧ50	Gr·500-7
	QT600-3	80-60-03	600/7	GGG60	FGS600-3	FCD600	БЧ60	Gr·600-3
	QT700-2	100-70-03	700/2	GGG70	FGS700-2	FCD700	БЧ70	Gr·700-2
	QT800-2	120-90-02	800/2	GGG80	FGS800-2	FCD800	БЧ80	Gr·800-2
	QT900-2	—	900/2	—	—	—	БЧ100	—

附录 E 部分国家有色金属及其合金牌号近似对照

## E1 铝及铝合金

类别	中 国 GB	美 国 ANSI	英 国 BS	德 国 DIN	法 国 NF	日 本 JIS	前苏联 ГОСТ	ISO
工 业 纯 铝	L1	1070	1A	Al99.7		Al070	Al0	
	L2	1060	—	—	A1 (1200)	Al060	A0	—
	L3	1050	S1B, E1B G1B, T1B	Al99.5	A5 (1050A)	Al050	Al0	
	L4	—	—	—	—	Al100	Al11	—
	L5	1200	S1C, E1C G1C, T1C	Al99	A45 (1100)	Al200	A2	Al99.0Cu
	L5-1	1100	—	—	A45 (1100)	—	—	Al99.0Cu
L6	1100	—	—	A8 (1080A)	—	—	—	

(续)

类别	中国 GB	美国 ANSI	英国 BS	德国 DIN	法国 NF	日本 JIS	前苏联 ГОСТ	ISO
铸 铝	LF1	3040	—	AlMn1Mg1	AMIG (3004)	A3004	—	—
	LF2	5052	N4	AlMg2·5	AG3 (5052)	A5052	AMT	—
	LF3	5254 5154	N5	—	AG3M (5754)	A5154	AMT3	—
	LF4	5083	—	AlMg4·5Mn	—	—	—	—
	LF5	5056	N6	AlMg5	5083	A5056	AMT5	—
	LF5-1	5056	—	—	—	—	—	Al-Mg5
	LF6	—	—	—	—	—	AMT6	—
	LF10	5056	N6	AlMg5	5083	A5056	AMT5П	—
	LF11	5056	—	—	—	A5056	AMT5B	AlMg5
	LF21	3003	N3	AlMnCu AlMn	A-M1 (3003)	A3003 A2003	AMU	Al-Mn1 CuAl-Mn1

(续)

类别	中 国 GB	美 国 ANSI	英 国 BS	德 国 DIN	法 国 NF	日 本 JIS	前 苏 联 ГОСТ	ISO
	LD2	6061	HE20 HG20、HT20	AlMgSi0.5		A6061	AB	—
	LD2-2	6070	—	—	—	—	—	—
	LD5	6351	—	—	A-SGM03 (6081)	—	AK6	—
	LD6	—	—	—	—	—	AK6-1	—
	LD7	2618	H18	—	A-U2GN (2618A)	A2N01FD A2N01FH	AK4	—
	LD8	2618	HF16	—	A-U2N	A2N01FD A2N01FH	AK4	—
	LD9	2018	—	—	A-U4N	A2018FD	AK2	—
	LD10	2014	H15	AlCuSiMn	A-U4SG (2014)	A2014	AK8	—
	LD11	—	—	—	—	—	AK9	—

锻

铝



(续)

类别	中国 GB	美国 ANSI	英国 RS	德国 DIN	法国 NF	日本 JIS	前苏联 ГОСТ	ISO
锻铝	LD30	6061	HF20	—	—	A6061	—	—
	LD31	6063	HF9	—	—	A6030S	—	—
硬铝	LY1	2117	—	AlCu2.5Mg0.5	A-U2G (2117)	A2117	Л18Н	Al-Cu2Mg
	LY2	—	NF4	—	—	—	БЛ1	—
	LY4	—	—	—	—	—	Л19Н	—
	LY6	—	—	—	—	—	Л19	—
	LY8	2017	H14	AlCuMg1	A-U4G (2017A)	A2017	Л1П	Al-Cu4MgSi
	LY9	2024	L97	AlCuMg2	A-U4G1 (2024)	A2024	Л16Н	Al-Cu4Mg1
	LY10	—	A/RS	—	—	—	Б65	—
	LY11	2017	H14	AlCuMg1	A-U4G (2017A)	A2017	Л1	—
	LY12	2024	L97	AlCuMg2	A-U4G (2024)	A2024	Л16	—

(续)

类别	中国 GB	美国 ANSI	英国 BS	德国 DIN	法国 NF	日本 JIS	前苏联 ГОСТ	ISO
硬铝	LY13	—	—	—	—	—	AM	—
	LY16	2219	A/F99	—	—	—	20	—
	LY17	—	A/F99 (RR54)	—	—	—	21	—
	LC3	—	—	—	—	—	B94	—
超硬铝	LC4	7075	—	AlZnMgCu1.5	A Z5GU (7075)	A7075	B95	—
	LC6	7001	—	—	—	—	B96	—
	LF1	4043	N21	SA1S15	—	—	AK	—
铸 造 铝 合 金								
铝硅合金	ZAlSi7Mg (ZL101)	356.0	LM-25	G-AlSi7Mg	A-57G	AC4C	V.19 V.19B	AlSi7Mg
	ZAlSi7MgA (ZL101A)	A356.0	—	—	—	—	—	—

类别	有色金属									
	中国 GB	美国 ANSI	英国 BS	德国 DIN	法国 NF	日本 JIS	前苏联 ГОСТ	ISO	(续)	
铝 铸 合 金	(ZL102) ZAlSi2	A113.0	LM 20	G-AlSi12	AL12	AC3A	AL9 AL10	ALSi12		
	(ZL103)					AC2B	AL3 AL33			
	ZAlSi6Mg (ZL104)	360.0 A360.0	LM 9	G-AlSi10Mg	AL9G AL10G	AC4A	AL11 AL13	ALSi6Mg ALSi10Mg		
	ZAlSi5Cu1Mg (ZL105)	355.0	LM 16	G-AlSi5Cu		AC4D	AL7			
	ZAlSi7Cu1MgA (ZL105A)	C375.0								
	ZAlSi8Cu1Mg (ZL106)	326.0 328.1	LM 24	G-AlSi8Cu3		AC1B	AL13			
	ZAlSi7Cu1 (ZL107)	319.0	LM 1 LM 21	G-AlSi6Cu4		AC2B	AL6 AL71			
					AL5UZ AL593					

(续)

类别	中 国 GB	美 国 ANSI	英 国 BS	德 国 DIN	法 国 NF	日 本 JIS	前 苏 联 ГОСТ	ISO
铝 硅 合 金	ZAlSi12Cu2Mg1 (ZL108)	SC122	LM2	—	—	—	—	—
	ZAlSi12Cu1Mg1Ni1 (ZL109)	336.0 336.1	LM13	—	A-S12UN	AC8A	A.130	AlSiCu
	(ZL110)	—	LM1	G-AlSi(Cu)	—	—	A.110B	—
铝 镁 合 金	ZAlSi9Cu2Mg (ZL111)	354.0	—	—	—	—	A.14M	—
	ZAlMg10 (ZL301)	520.0 520.2	LM10 LM15	G-AlMg10	—	AC7B	A.18	—
	(ZL302)	514.0 514.1	—	G-AlMg5	A-G6 A-G3T	AC7A	A.122	Al-Mg6 Al Mg3
	ZAlMg5Si1 (ZL303)	—	—	—	—	—	A.113	—
	ZAlMg8Zn1 (ZL305)	—	—	—	—	—	—	—

(续)

类别	中 国 GB	美 国 ANSI	英 国 BS	德 国 DIN	法 国 NF	日 本 JIS	前 苏 联 ГОСТ	ISO
铝 铜 合 金	ZAlCu5Mn (ZL201)	—	—	G-AlCu4TiMg	A U5GT	—	A.119	AlCu4MgTi
	ZAlCu10	—	—	—	—	—	高纯 A.119	—
	ZAlCu10 (ZL202)	A360.0	—	—	A U85	—	A.112	Al-Cu8Si
	ZAlCu4 (ZL203)	295.0 B295.0	—	G-AlCu4Ti	A-U5GT	AC1A	A.17	AlCu4MgLi
	ZAlCu5MnCdA (ZL204A)	—	—	—	—	—	—	—
	ZAlCu5MnCdVA (ZL205A)	—	—	—	—	—	—	—
铝 锌 合 金	ZAlZn11Si7 (ZL401)	—	—	—	—	—	A.111	—

(续)

类别	中国 GB	美国 ANSI	英国 BS	德国 DIN	法国 NF	日本 JIS	前苏联 ГОСТ	ISO
铝 锌 合金	ZAlZn6Mg (ZL402)	712.2		—	A Z5G	—	ALZ4	Al-Zn5Mg
	(ZL501)	—	—	—	—	—	ALH1	—

## E2 铜及铜合金

类别	中国 GB	美国 ASTM	英国 BS	德国 DIN	法国 NF	日本 JIS	前苏联 ГОСТ	ISO
T3	—	C104	—	—	—	M2	—	
T4	—	—	C • Cu	—	—	M3	—	
TU1	C10200	C103	OF • Cu	—	C1020	M0B	CuOF	
TU2	C10100	C110	—	—	C1011	M00B	—	

(续)										
类别	中 国 GB	美 国 ASTM	英 国 BS	德 国 DIN	法 国 NF	日 本 JIS	前 苏 联 ГОСТ	ISO		
磷 脱 氧 铜	TP1	C1200	C106	SW-Cu	—	C1201	—	Cu-DLP		
	TP2	C12200	—	—	—	—	M11P	Cu-DHP		
	—	—	—	—	Cu-b2	—	M3P	—		
含银 纯铜	TAg0.1	C13000 C12900	C101	CuAg0.1	—	C1271 PP	BPCP0.1	Cu-FRTP		
	H96	C21000	CZ125	CuZn5	—	C2100	.J96	CuZn5		
普 通 黄 铜	H90	C22000	CZ101	CuZn10	—	C2200	.J90	CuZn10		
	H85	C23000 C23030	CZ102	CuZn15	—	C2300	.J85	CuZn15		
	H80	C24000	CZ103	CuZn20	—	C2400	.J80	CuZn20		
	H70	C26000 C26100	CZ106 CZ126	CuZn30	CuZn30	C2600	.J70	CuZn30		
	HAS68-0.05	—	—	—	—	—	.JML68-0.05	—		
H68	C26200	—	—	CuZn33	—	C2680	.J68	CuZn33		

(续)

类别	中 国 GB	美 国 ASTM	英 国 BS	德 国 DIN	法 国 NF	日 本 JIS	前 苏 联 ГОСТ	ISO	
普通黄铜	H65	C26800 C27000	CZ107	CuZn36	—	C2700	—	—	
	H63	C27400 C27200	CZ108	CuZn37	—	C2720	.163	—	
	H62	C28000	—	CuZn40	Cu-Zn40	C2800	.762	—	
	H60	C28000	CZ109	CuZn40	—	C2801	.160	CuZn40	
铅黄铜	HPb63-3	C34500 C34700	CZ119 CZ124	CuZn36Pb1.5 CuZn36Pb3	—	C3560	.1063-3 .11163-3	CuZn35Pb2 CuZn36Pb3	
	HPb63-0.5	C34800	—	CuZn37Pb0.5	—	—	—	—	
	HPb63-0.1	C34900	—	CuZn37Pb0.5	—	—	—	—	
	HPb62-0.8	C35000 C37000	—	—	—	C3501	—	CuZn36Pb1	
	HPb61-1	C36500 C36700 C37000	CZ123	CuZn39Pb0.5	—	—	C3710	.1060 1	CuZn40Pb



(续)

类别	中国 GB	美国 ASTM	英国 BS	德国 DIN	法国 NF	日本 JIS	前苏联 ГОСТ	ISO
铅 黄 铜	HPb60 2	C36000	CZ120	—	—	C3713	ЛС60 2	CuZn38Pb2
	HPb59-2	C35300	—	—	—	C3771	ЛС59 1В	—
	HPb59 1	C37800	CZ122	CuZn39Pb2	Cu-Zn40Pb	C3710	ЛС59 1	CuZn39Pb2
	HPb58 3	C38000	CZ121	CuZn39Pb3	—	C3603	ЛС59-3	CuZn39Pb3
锡 黄 铜	HSn90 1	C41300 C41100	—	—	—	—	Л090-1	—
	HSn70-1	C44300	CZ111	CuZn28Sn1	CuZn39Sn1	C4430	Л070-1 Л0М70-1-0,05	CuZn28Sn1
	HSn62 1	C46200 C46420	CZ112	—	—	C4622 C4621	Л062-1	CuZn38Sn
	HSn61-0.5	C48200	CZ115	—	—	C6711	—	—
	HSn60-1	C46500 C46400	CZ113	CuZn39Sn	CuZn38Sn1	C4640 C4641	Л060-1	—
	HA177-2	C68700	CZ110	CuZn22Al	CuZn22Al2	C6870 C6872	ЛA177-2 ЛAМ177-2-0,05	CuZn20Al2

(续)

类别	中 国 GB	美 国 ASTM	英 国 BS	德 国 DIN	法 国 NF	日 本 JIS	前 苏 联 ГОСТ	ISO
铝 黄 铜	HA166-6 3-2	C67000	—	—	—	C6872	—	—
	HA166-2.5	—	—	—	—	—	—	—
	HA160-1-1	C67800	—	CuZn37Al	—	C6782	ЗАК60 1 1	—
	HA159-3-2	—	—	—	—	—	ЗАК59-3-2	—
硅 黄 铜	HS180-3	C69400	—	—	—	—	ЗАК80-3	—
	HFe59-1-1	C67820	—	CuZn39Sn	—	C6782	—	CuZn39Al -FeMn
铁 黄 铜	HFe58 1-1	—	CZ114	CuZn40Ni CuZn40Mn	—	—	ЗАК58-1-1	—
	HMn58-2	C67400	—	CuZn40Mn	—	—	ЗАК58 2	—
	HMn57-3-1	—	—	CuZn35Ni	—	—	ЗАК57-3-1	—
锰 黄 铜	HMn55-3-1	—	—	—	—	—	—	—

类别	中国 GB	美国 ASTM	英国 BS	德国 DIN	法国 NF	日本 JIS	前苏联 ГОСТ	ISO
硅青铜	QSi1-3	C64700	DTD498	CuNi2Si CuNi3Si		—	БРКН1-3	CuNi2Si
	QSi3-1	C65500 C65800	CS101	CuSi3Mn		—	БРАМ13-1	CuSi3Mn1
	QSn4-3	—	—	—	—	—	БРО14-3	CuSnZn4
锡青铜	QSn4-4-2.5	—	—	—	—	—	БРОЦА-4-2.5	—
	QSn4-4-4	C54400	—	—	—	C5441	БРОЛК4 4-4	—
	QSn6.5-0.1	—	PB100	—	—	—	БРОФ6 5-0.15	—
	QSn6.5-0.4	C51900	PB103	CuSn6	CuSn6P	C5191	БРОФ6.5-0.4	CuSn6
	QSn7-0.2	C52100	PB104	CuSn8	—	C5212	БРОФ7-0.2 БРОФ8 0.3	CuSn8
	QSn4-0.3	C51100	PB101	CuSn2	—	C5101	БРОФ4-0.25 БРОФ2-2.25	CuSn4

(续)

类别	中国 GB	美国 ASTM	英国 BS	德国 DIN	法国 NF	日本 JIS	前苏联 ГОСТ	ISO
铝青铜	QA15	C60600 C60800	CA101	CuAl5	CuAl6	—	БРА5	CuAl5
	QA17	C61000	CA102	CuAl8	—	—	БРА7	CuAl8
	QA19-2	—	—	CuAl9Mn	—	—	БРАМЦ10-2	CuAl9Mn2
	QA19-4	C61900	CA103 CA106	CuAl8Fe CuAl10Fe	—	—	БРАЖ9-4	CuAl10Fe3
	QA110-3-1.5	—	—	CuAl10Fe	—	C6161	БРАЖМЦ10-3-1.5	—
	QA110-4-4	C63000 C63200	CA104	CuAl10Ni	CuAl9Ni5 -Fe3Mn	C6301	БРАЖН10-4-4	CuAl10 -Fe5Ni5
	QA111-6-6	—	CA105	CuAl11Ni	—	C6280	—	—
	QBe2	C17200 C17300	—	CuBe2	CuBe2	C1720	БРЕ2	CuBe2
	QBe1.9	C17200	—	—	CuBe1.9	—	БРЕНТ1-9	—
	QBe1.7	C17000	CB101	CuBe1.7	CuBe1.7	C1700	БРЕНТ1-7	CuBe1.7
QMn1.5	—	—	CuMn2	—	—	—	—	
QMn5	—	—	CuMn5	—	—	БРЕМЦ5	—	
铍青铜								
锰青铜								

(续)

类别	中国 GB	美国 ASTM	英国 BS	德国 DIN	法国 NF	日本 JIS	前苏联 ГОСТ	ISO
铝青铜	QCz0.5	C18100 C18200 C18400	CC101	CuCr	—	—	БРА	CuCr1
	QCz0.5-0.2-0.1	C18500	—	CuCr	—	—	—	—
	QCz0.2	C15000	—	—	—	—	—	—
锡青铜	QCz0.4	—	—	—	—	—	—	—
	QCd1	C16200 C16201 C16500	C108	CuCd1	—	—	БРА.И	CuCd1
普通白铜	B10	C70600	CN102	—	Cu-Ni10 -Fe1M	—	—	—
	B19	C71000	CN104	CuNi20Fe	Cu-Ni20 -Mn1Fe	C7100	ВН19	CuNi20Mn -1Fe
铁白铜	BFc10-1-1	C70600 C70610	CN102	CuNi10Fe	—	C7060	ВН.К.ВН.10-1-1	CuNi10 -Fe1Mn
	BFc30 1 1	C71630 C71640	CN106 CN107	CuNi30Fe	CuNi30 -Mn1Fe	C7150	ВН.К.ВН.30-1-1	CuNi30 -Mn1Fe

(续)

类别	中 国 GB	美 国 ASTM	英 国 BS	德 国 DIN	法 国 NF	日 本 JIS	前 苏 联 ГОСТ	ISO
锌 白 铜	BZn15-20	C75400	NS105	CuNi12Zn24 CuNi18Zn20	CuNi15Zn22	C7521	MH115 20	CuNi15Zn21
铝 白 铜	BA113-1	—	—	—	—	—	MA13-3	—
锰 白 铜	BMn3-12	—	—	CuMn12Ni	—	—	MHMI-3-12	—
	BMn40-1.5	—	—	—	—	—	MHMI 40-1.5	—
	BMn43-0.5	—	—	CuNi44	—	—	MHMI 43 1.5	CuNi44Mn1
铸 造 锡 青 铜	ZCuSn3Zn11Pb4	—	—	—	—	BC1	БРОЦ3 12 5	—
	ZCuSn3Zn8Pb6Ni1	C81400	LG1	G-CuSn2ZnPb	—	—	БРОЦ11 3 7 5 1	—
	ZCuSn5Pb5Zn5	C83600	LG2	G CuSn5ZnPb	CuPb5Sn5 -Zn5	BC6	БРОЦ5-5-5	CuPb5Sn5 -Zn5
	ZQSn6-6-3	C83800	LG3	G CuSn7ZnPb	CuSn7Pb6 -Zn4	BC7	БРОЦ6-6-3	—
	ZQSn7-0.2	—	PB3	—	—	PBC	—	—
	ZCuSn10Pb1	C90700	PB1	—	—	PBC2	БРОЦ10-1	CuSn10P

(续)

类别	中 国 GB	美 国 ASTM	英 国 BS	德 国 DIN	法 国 NF	日 本 JIS	前苏联 ГОСТ	ISO
铸造锡青铜	ZQSn10-2-1	C92700	LPB1	—	—	—	—	—
	ZCuSn10Zn2	C90500	G1	G-CuSn10Zn	CuSn12	BC3	БФ0Л10-2	CuSn10Zn2
	ZCuSn10Pb5	—	LB2	G-CuPb5Sn	—	LBC2	—	—
铝 青 铜	ZCuAl9Mn2	—	—	—	—	AlBC1	БРАМЛ9-2Л	—
	ZCuAl10Fe3	C95200	—	C-CuAl10Fe	—	—	БРАК9-4Л	CuAl10Fe3
	ZCuAl10Fe3Mn2	—	AB1	—	—	AlBC2	БРАКМЛ10 3-1.5	—
铸造铝青铜	ZQA14-8-3-2	—	CMA2	—	—	—	—	—
	ZCuAl8Mn13Fe3Ni2	C95700	CMA1	—	—	AlBC4	(Heba 60)	—
	ZCuAl9Fe4Ni4Mn2	C95500	AB2	G-CuAl10Ni	—	AlBC3	БРАКМЛ19-4-4-1	—
铸 造 铅 青 铜	ZCuPb10Zn16	C93700	LB2	G-CuPb10Sn	CuPb10Sn10	LBC3	БРОС10-10	CuPb10Sn10
	ZCuPb15Sn8	C94400	LB1	G-CuPb15Sn	—	LBC4	БРОС8-12	CuPb15Sn8
	ZCuPb17Sn4Zn4	C94410	—	G-CuPb20Sn	—	—	БРОС4-4-17	—
	ZQPb24-2	—	—	G-CuPb22Sn	CuPb20Sn5	—	БРОС2-24	—
	ZCuPb20Sn5	C94300	LB1	—	—	LBC5	БРОС5-25	CuPb20Sn5
ZCuPb30	—	—	—	—	—	БРОС30	—	

(续)

类别	中 国 GB	美 国 ASTM	英 国 BS	德 国 DIN	法 国 NF	日 本 JIS	前 苏 联 ГОСТ	ISO
铸造 普通 黄铜	ZCuZn38	—	SCB4	G-CuZn38Al	—	YBSC1	—	—
	ZHSi80-3-3	—	—	—	—	—	ЖК80-3-3	—
	ZHSi80-3	C87400	—	G-CuZn15Si4	—	SZBC1	ЖК80-3	—
铸造 铝黄铜	ZCuZn25Al6Fe3Mn3	C86300	HTH2	—	—	—	ЖАЖМЛ166 -6-3-2	CuZn25Al6 -Fe3-Mn3
	ZCuZn31Al2	—	—	—	—	—	ЖА67 2.5	—
	ZCuZn26Al4Fe3 -Mn3	—	—	—	—	—	—	CuZn26Al4 -Fe3Mn3
铸造 铅黄铜	ZHPb48-3-2-1	—	—	—	—	—	—	—
	ZCuZn40Pb2	C85700	PCB1	G-CuZn37Pb	U-Z40-Y30	YBSC3	ЖС59-1	CuZn40Pb2
铸造 铁黄铜	ZHFe67-5-2-2	—	HTB3	G-CuZn25Al5	—	HBSC3	—	—
	ZHFe59-1-1	C86400	—	—	—	—	ЖАЖ60-1-1	CuZn35Al -FeMn



(续)

类别	中国 GB	美国 ASTM	英国 BS	德国 DIN	法国 NF	日本 JIS	前苏联 ГОСТ	ISO
铸造铁黄铜	ZCuZn40Mn3Fe1	C86500	HTB1	G CuZn25Al1	—	HBSC2	ЖАЛЛХ35-3-1	—
	ZCuZn33Pb2	—	—	—	—	—	—	CuZn33Pb2
	ZCuZn38Mn2Pb2	—	—	—	—	—	ЖМЦ58-2-2	—
	ZCuZn40Mn2	—	—	—	—	—	ЖМЦ58-2	—

E3 钛及钛合金

合金 类型	中国 GB	美国 AMS	英国 BSTA	德国 LW或DIN	法国 AIR	日本 JIS	前苏联 ГОСТ
α	TA1	4902C	2TA2	3·7034	T-40	KS·50TP28	BT1-00
	TA2	4900F	DTD5023	3·7055	T-50	KS·60TP35	BT1-0
	TA3	4901H	2TV7	3·7064	T-60	KS·85TP49	BT1
	TA4	—	—	—	—	—	48-T2
	TA5	—	—	—	—	—	48-OT3
	TA6	—	—	—	—	—	BT5
	TA7	4926F	TA15	3·7114	T-A5E	KS115AS	BT5-1

(续)

合金 类型	中 国 GB	美 国 AMS	英 国 BSTA	德 国 LW或DIN	法 国 AIR	日 本 JIS	前 苏 联 ГОСТ
$\alpha$	TA8	—	—	—	—	—	BT10
	TC1	—	—	—	—	ST-A90	OT4-1
	TC2	—	—	—	—	—	OT4
	TC4	4028H	2TA11	3·7164	T-A6V	KS30AV	BT6
	TC6	—	—	—	—	—	BT3-1
	TC7	—	—	—	—	—	AT6
	TC8	4970D	—	—	T A7D	—	BT8
	TC9	—	—	—	—	—	BT9
	TC10	4979A	—	3·7174	T-A6V6E2	—	—
	—	4975B	—	3·7144	T-A6Zr4DE	—	—
$\beta$	—	4981A	—	—	T1-6246	—	—
	—	—	TA43	3·7154	T-A6ZD	—	—
	—	—	TA45	3·7184	T-A4DE2	—	—
	TB2	—	—	—	—	—	—
	—	4917C	—	—	T-V13CA	—	—

(续)

合金类型	中国 GB	美国 AMS	英国 BSTA	德国 LW或DIN	法国 AIR	日本 JIS	前苏联 ГОСТ
a	—	4972B	—	3.7134	T A8DV	—	—
	—	—	TA22	3.7124	T-TU2	—	—

E4 镍及镍合金							
类别	中国 GB	美国 ASTM	英国 BS	德国 DIN	法国 NF	日本 JIS	前苏联 ГОСТ
原料镍	Ni-01(99.99)	—	—	—	—	—	Н10(99.99)
	Ni-1(99.9)	NiCKc	R99.9(99.9) R99.8(99.8)	H-Ni99.9	—	特1种99.95	Н12(99.8) Н13(99.8)
	Ni-2(99.5)	—	R99.5(99.5)	H Ni99.5	—	—	—
纯镍	Ni-3(99.2)	—	—	—	—	—	—
	N4	—	NA12	Ni99.8	—	NLCB(VCNiB)	Н111
	N6	—	NA111	Ni99.6	—	NNCB(VCNiA)	Н112
	N8	N02200 N02201	—	LC-Ni99	—	VCNi1 2	Н114

(续)

类别	中 国 GB	美 国 ASTM	英 国 BS	德 国 DIN	法 国 NF	日 本 JIS	前 苏 联 ГОСТ
阳 极 镍	NY1	—	—	LC-Ni99.6	—	—	EH1A1
	NY2	—	—	Ni99.4Ni0	—	VNi	III1A1I
	NY3	—	—	Ni99.2	—	—	III1A2
镍 锰 合 金	NMn3	—	—	NiMn2 NiMn3Al	—	—	HM12.5
	NMn5	—	—	NiMn5	—	—	HM15
	NMn2-2-1	—	—	NiMn3Al	—	—	HM1AK2-2-1
	NCu40-2-1	—	—	—	—	—	—
镍 铜 合 金	NCu28 2.5-1.5	NO4405	NA13	NiCu30Fe LC-NiCu30Fe	NiCu32Fe -1.5Mn	NCu	HM1AKML28 -2.5 1.5
	NMg0.1	—	—	Ni99.7Mg0.07	Ni-0.1 Ni-0.2	—	—
镍 硅 合 金	NSi0.2	—	—	—	—	—	HK0.2

(续)

类别	中国 GB	美国 ASTM	英国 BS	德国 DIN	法国 NF	日本 JIS	前苏联 ГОСТ
镍铬合金	NCr10	—	—	NCr10	—	—	ИХ9.5
镍钨合金	NW4 0.2	—	—	—	—	VCNi4	—

## 附录 F 部分国家焊条、焊丝型号近似对照

## F1 碳钢、低合金钢焊条

中国 GB/T	美国 AWS	美国 UNS	英国 BS	德国 DIN	日本 JIS	瑞典 ESAB	前苏联 ГОСТ
E4301	E6019	—	—	—	D4301	—	342
E4303	—	—	—	—	D4303	OK22.65	342
E4311	E6010 E6011	W06010 W06011	—	—	D4311	OK22.45	342
E4313	E6012 F5013	W06012 W06013	E4332R15 E4332RR15 E4333AR25	E4332R3 E4333RR8 E4354AR7	D4313	OK43.32 OK46.00	342

(续)

中 国 GB/T	美 国 AWS	美 国 UNS	英 国 BS	德 国 DIN	日 本 JIS	瑞 典 ESAB	前 苏 联 ГОСТ
E4316	—	—	E4343B10(H)	E4343B10	D431b	—	342A 346A
E4320	E6020	W06020	—	—	D4320	—	342
E4327	E6027	W06027	E4354A15035	E4354AR11160	D4327	OK39.50	346
E5003	—	—	—	—	D5013	—	350
E5015	E7015	W07015	E5154B20(H)	E5155B10	—	—	350A
E5016	E7016	W07016	E5153B24(H) E5154B24(H)	E5113B10	D5016 D5316	OK53.04	350A
E5018	E7018	W07018	E5154B120 16(H)	E5155B10	D5026	OK48.00 OK48.04	350A
E5024	E7024	W07024	E5154B120 16(H)	E5142RR11160	—	OK33.80 OK33.85	350A
E5028	~E7048	~W07048	E5154B160 36(H) E5154B200 46(H)	E5155B(R)12160 E5155B(R)12200	~D5026	~OK53.35	350A

(续)

中国 GB/T	美国 AWS	美国 UNS	英国 BS	德国 DIN	日本 JIS	瑞典 ESAB	前苏联 ГОСТ
E5048	E7048	W07048	E5154B94(H)	E5154B9	D5026	OK53.35	950A
E5515-G	E8016-G	—	—	EY5066NiMoBH5	D5316	OK53.04	955A
E5516-G	E8018-G	—	—	—	D5818	OK53.38 OK73.08	—
E6015-G	E9016-G	—	—	—	D5816	—	—
E6615-G	E9018-G	—	E619H	EY5554BXXH5	D6216	OK74.78	960A
E7015-G	E10015-G	—	—	—	D7016	—	970A
—	E10016-G	—	—	EY6242BXXH5	D7018	—	—
—	E10018-G	—	—	—	—	—	—
E7515-G	E11015-G	—	—	—	—	—	—
—	E11016-G	—	—	EY6942BXXH5	D7518	OK75.75	—
—	E11018-G	—	—	—	—	—	—
E8515-G	E12015-G	—	—	—	—	—	—
—	E12016-G	—	—	EY7953BXXH5	—	—	985A
—	E12018-G	—	—	—	—	—	—

F2 低合金耐热钢焊条

中 国 GB/T	美 国 AWS	美 国 UNS	英 国 BS	德 国 DIN	瑞 典 ESAB	日 本 JIS	前 苏 联 ГОСТ
E5015-A1	E7016-A1	W17016	EMoB	EMoB10+	OK53.68	DT1216	Э-М
E5515-B1	E8016-B1	W51016	—	—	—	—	Э-09МВ
E5515-B2	E8016-B2 E8018-B2	W52016 W52018	E1CrMoB	ECrMo1B10	OK76.18	DT2315 DT2316	Э-09Х1А
E5515-B2-V	E8015-B2	—	—	—	—	DT2315	Э-09N1MΦ
E6015-B3	E9015-B3L E9016-B3L E9018-B3L	W53015 W53016 W53018	E2CrMoB	ECrMo2B10+	OK76.28	DT2415 DT2416	—
E1-5MoV-15	E502-15 E502-16	W50210	E5CrMoB	ECrMo5B10+	—	DT2516	Э-10Х5МΦ
E1-9Mo-15	E505-15 E506-16	W50510	E9CrMoB	ECrMo9B10+	—	—	—



F3 不锈钢焊条

中 国 GB/T	美 国 AWS	美 国 UNS	英 国 BS	德 国 DIN	瑞 典 ESAB	日 本 JIS	前 苏 联 ГОСТ
E410-16 (G202)	E410 16	W41010	—	E13B20+	—	D410	Э-12\13
E430-16 (G302)	E430-16	W43010	17	E17B20 I	—	D430	—
E308L-16 (A102)	E308L 16 E308LC-16	W30813	19·9L	E19 9LR	OK61·30 OK61·33	D308L	Э-02\21H10\2
E308-16 (A102)	E308-16	W30810	19·9R	E19 9R	OK61·51	D308	Э-07\20H9
E308-15 (A107)	E308-15	W30810	19·9B	E19 9B	—	—	Э-07\20H9
E347 16 (A132)	E347 16	W34710	19·9NbR	E19 9NbR	OK61·81 OK62·82	D347	Э-08\20H9\2B
E347-15 (A137)	E347-15	W34710	19·9NbB	E19 9NbB	—	—	Э-08\19H10\2B

(续)

中 国 GB/T	美 国 AWS	美 国 UNS	英 国 BS	德 国 DIN	瑞 典 ESAB	日 本 JIS	前 苏 联 ГОСТ
E316L-16 (A022)	E316L-16	W31613	19·12·3LR	E19 12 3LR	OK63.30 OK63.32 OK63.33	D316L	Э-С2Х20Н14Г2М2
E316-16 (A202)	E316-16	W31610	19·12·3R	E19 12 3R	—	D316	Э-09Х20Н14Г2М2
E317-16 (A242)	E317-16	W31710	19·13·4R	E19 13 4R	—	D317	—
E309L-16 (A062)	E309L-16	W30913	23·12LR	E23 12LR	OK67.60	D309L	—
E309-16 (A302)	E309-16	W30910	23·12R	E23 12R	OK67.62	D309	Э-10Х25Н13Г2
E309Mo 16 (A312)	E309Mo-16	W30920	23·12·2R	E23 12 2R	OK67.70	D309Mo	—
E310-16 (A402)	E310-16	W31010	25·20R	E25 20R	OK67.13	D310	—

(续)

中国	美国 AWS	美国 UNS	英国 BS	德国 DIN	瑞典 ESAB	日本 JIS	前苏联 ГОСТ
GB/T E310 15 (A407)	E310 15	W31010	25.203	E25 20B	OK67.15	D810	—
E310Mo-16 (A412)	E310Mo-16	W31020	—	—	—	D310Mo	—
E330MoMnWNb-15 (A607)	E330 15	—	25.20.2	—	—	D330	—

F4 不锈钢实芯焊丝							
中国	美国 AWS	美国 UNS	英国 BS	德国 DIN	瑞典 ESAB	日本 JIS	前苏联 ГОСТ
H0Cr14	ER410	S41080 W41040	—	X8Cr14	—	Y410	CB 12N15
H1Cr17	ER430	S43080 W43040	—	X8Cr18	—	Y430	CB 10N17T
H0Cr19Ni12Mo2	ER316	S31580 W31640	316S96	X5CrNiMo19 11	—	Y316	~CB-04\19HJ1M3

(续)

中 国 GB	美 国 AWS	美 国 UNS	英 国 BS	德 国 DIN	瑞 典 ESAB	日 本 JIS	前 苏 联 ГОСТ
H00Cr19Ni12Mo2	ER316L	S31683 W31643	316S92	X2CrNiMo19 12	OK16 · 30	Y316L	
H00Cr19Ni12Mo2Cu2	ER316LSi	S31688 W31648	316S93	X2CrNiMo19 12	OK16 · 32	Y316HL	
H00Cr20Ni14Mo3	ER317	S31780 W31740	317S96	—	—	Y317	—
H00Cr20Ni10Nb	ER347	S34780 W34740	347S96	X5CrNiNb19 9	OK16 · 11	Y347	CB-08X19111012H
—	ER317L	W31743	—	~X2CrNiMo 18 16 5	—	Y317L	—
—	ER318	S31980 W31940	318S96	X5CrNiMoNb 19 12	OK16 · 13	—	—
H00Cr20Ni10Ti	ER321	S32180 W32140	—	—	—	Y321	CB-06X19119T

(续)

中 国 GB	美 国 AWS	美 国 UNS	英 国 BS	德 国 DIN	瑞 典 FSAB	日 本 JIS	前 苏 联 ГОСТ
H10Cr21Ni10	ER308	S30880 W30840	308S96	X5CrNi19 9	-	Y308	~(ГБ 01N1919)
H00Cr21Ni10	ER308L	S30883 W30843	308S92	X2CrNi19 9	OK16 · 10	Y308L	GB 01N1919
H1Cr24Ni13	ER309	S30980 W30940	309S94	X12CrNi22 12	~OK 16 · 52	Y309	GB 07N251113
H1Cr21Ni13Mo2	ER309L	S30983 W30943	309S92	X2CrNi24 12	OK16 · 53	Y309L	-
H0Cr25Ni21	-	-	311S94	X2CrNiNb24 12	-	-	-
H1Cr26Ni21	ER310	S31080 W31040	310S94	X12CrNi25 20	-	Y310	GB 13N251118
-	ER312	S31380 W31340	312S94	X10CrNi30 9	-	Y312	-

## F5 堆焊焊条

中 国 GB 焊条型号	美 国 AWS	日 本 JIS	前苏联 ГОСТ	中 国 焊条牌号
EDPMn2-03	-	—	Э-10Г	D102
EDPMn2-16	-	DF2A-300-B	Э-10Г2	D106
EDPMn2-15	—	DF2A-300-B	Э-10Г2	D107
EDPCrMo-Al-03	—	—	Э-30Г2XM	D112
EDPMn3-16	—	-	Э-11Г3	D126
EDPMn3-15	—	-	Э-11Г3	D127
EDPMn4-16	-	—	Э-12Г4	D146
EDPMn6-15	-	-	Э-35Г6	D167
EDPCrMnSi-15	—	—	Э-70X3CMT	D207
EDPCrMoV-Al-15	-	—	Э-35X12B3C	D237
EDMn-A-16	EFeMn-A	DF MnA	瑞典 ESAB: OK86·08	D256
EDMn-B-16	EFeMn-B	DF-MnA		D266
EDCrMn-16	—	DF-MnE	Э-65X25Г13H3	-
EDCrMn-15	-	DF MnE	Э-65X25Г13H3	-
EDD-D-15	-	-	Э-80H18X4Φ	D307
EDRCrMoWV-Al-03	--	-	Э-30B8X3	D322
EDRCrMoWV-Al-15	—	—	Э-30B8X3	D327
EDRCrW-15	-	—	Э-30B8X3	D337
EDRCrMnMo-15	-	-	Э-16Г2XM	D397
EDCr-Al-03	—	DF-4A	Э-20X13	D502
EDCr-Al-15	-	DF-4A	Э-20X13	D507
EDCr-E-03	—	DF 4A	Э-20X13	D512

(续)

中 国 GB 焊条型号	美 国 AWS	日 本 JIS	前 苏 联 ГОСТ	中 国 焊条牌号
EDCr-B-15	—	DF 4A	Φ-20X13	D57
EDCrNi-A-15	—	—	Φ-08X17H8C6F	D547
EDCrNi-B-15	—	—	Φ-08X17H8C6F	D547Mo
EDCrN-C-15	—	—	Φ-13X16H8MC5F4E	D557
EDCrMn-C-15	—	DF ME	—	D577
EDZCr-B-03	—	—	Φ-300X28H4C4	D642
EDZCr-B-16	—	—	Φ-300X28H4C4	D646
EDZCr-C-15	EFeCr-A1	—	Φ-300X28H4C4	D667
EDZ-D-15	—	—	Φ-350X26F2P2CT	D687
EDZ-B2-08	—	—	Φ-90B10X5Φ2	D698
EDCoCr-A-03	ECoCr-A	DF-CoCrA	—	D802
EDCoCr-B-03	ECoCr-B	DF-CoCrB	—	D812
EDCoCr-C-03	ECoCr-C	DF-CoCrC	—	D822
EDCoCr-D-03	—	LF-CoCrD	—	D842

## F6 铸铁焊条

中 国 GB	美 国 AWS	德 国 DIN	日 本 JIS	瑞 典 ESAB
EZNi-1 (Z308)	ENi-C1	ENiG3	DFCNi	OK92.18
EZNiFe-1 (Z408)	EN.Fe-C1	ENiFeG3	DFCNiFe	—
EZNiCu-1 (Z508)	ENiCu-B	ENiCuG3	DFNiCu	—

## F7 低温钢焊条

中 国 GB	美 国 AWS	日 本 JIS
W507	—	D5016-B-0
E5015-G(W607A)	—	D5015-C-0
W707A	—	D5015-C-0
E5015-G(W806A1D)	—	D5015-C-1
E5015-C2L(W107A)	—	DL5016-D-3
E5515 C1(W707Ni)	E8015 C1	
E5515 C2(W907Ni)	E8015-C2	

## F8 镍及镍合金焊条

中 国 GB	美 国 AWS	日 本 JIS
Ni112	ENi-1	DNi 1
Ni307	ENiCrFe-1	DNiCrFe-13-15
Ni307B	ENiCrFe 3	DNiCrFe 3-15
Ni347	ENiCrFe-0	

## F9 铜及铜合金焊条

中 国 GB	美 国 AWS	日 本 JIS
TCu(T107)	ECu	Z3231-76
TCuSn-B(T207)	A5. 6-76	—
TCuSn B(T227)	ECuSn-A	Z3231-76
TCuAl C(T237)	ECuMnNiAl	Z3231-76



## F10 铝及铝合金焊条

中 国	美 国 AWS
TAI(L109)	E1100
TAISi(L209)	E4043
TAIMn(L309)	E3003

## 参 考 文 献

- 1 工人高级操作技能训练辅导丛书编委会编. 电焊工. 第1版. 北京:机械工业出版社,1991
- 2 上海市焊接技术协会编. 电焊工实践. 第1版. 上海:上海科学技术出版社,1990
- 3 大庆油田焊接研究与培训中心编著. 最新手工电弧焊技术培训. 第1版. 北京:机械工业出版社,1995
- 4 俞尚知主编. 焊接工艺人员手册. 第1版. 上海:上海科学技术出版社,1991
- 5 中国机械工程学会焊接学会编. 焊接手册(第1卷). 焊接方法及设备. 第1版. 北京:机械工业出版社,1992
- 6 中国机械工程学会焊接学会编. 焊接手册.(第二卷)材料的焊接. 第1版. 北京:机械工业出版社,1992
- 7 能源部西安热工研究所主编. 热工技术手册(电厂金属). 第1版. 北京:水力电力出版社,1989
- 8 傅积和,孙玉林主编. 焊接数据资料手册. 第1版. 北京:机械工业出版社,1994
- 9 简明焊工手册编写组编. 简明焊工手册. 第2版. 北京:机械工业出版社,1994
- 10 中国焊接协会. 五种国产ZX5-400型晶闸管弧焊机生产试用结果汇报. 1992
- 11 曾乐主编. 现代焊接技术手册. 第1版. 上海:上海科学技术出版社,1993

- 12 王朝前主编. 锅炉压力容器焊工培训与管理. 第一版. 北京:中国劳动出版社,1992
- 13 机械工业部编. 焊接材料产品样本. 北京:机械工业出版社,1997
- 14 机械电子工业部统编. 焊工技能培训理论. 第1版. 北京:机械工业出版社,1990
- 15 徐滨士等. 等离子喷涂及堆焊. 北京:中国铁道出版社,1986
- 16 奚道岩等. 金属结构的电弧焊. 北京:机械工业出版社,1993
- 17 崔信昌. 等离子弧焊接和切割. 北京:国防工业出版社,1980
- 18 姜焕中. 电弧焊及电渣焊. 北京:机械工业出版社,1988(第二版)
- 19 AWS Committee on Thermal Spraying. 热喷涂原理与应用技术. 麻毓璜等译. 成都:四川科学技术出版社,1988
- 20 陈国健等. 工程机械修理手册. 北京:中国铁道出版社,1981
- 21 韦福水等. 热喷涂技术. 北京:机械工业出版社,1986
- 22 庄鸿寿等. 高温钎焊. 北京:国防工业出版社,1989
- 23 赵熹华. 压力焊. 北京:机械工业出版社,1989
- 24 张克华等. 钛及钛合金的焊接. 北京:机械工业出版社,1985
- 25 刘培基. 点焊缝焊质量的控制. 北京:国防工业出版社,1984
- 26 劳动部培训司组织编写. 高级气焊工技能训练. 北京:中国劳动出版社,1994
- 27 张文钺. 焊接传热学. 北京:机械工业出版社,1989
- 28 中国机械工程学会焊接学会焊接结构设计与制造委员会. 焊接结构设计手册. 北京:机械工业出版社,1990
- 29 国家机械工业委员会质量安全监督司编. 焊接质量的检验. 北京:机械工业出版社,1993
- 30 机电工业考评技师复习丛书编审委员会编. 电焊工. 第1版. 北京:机械工业出版社,1990
- 31 史志澄等编. 焊接职业危害的防护. 北京:人民卫生出版社,1981
- 32 林慧国等合编. 袖珍世界代号手册. 第1版. 北京:机械工业出版社,1993
- 33 陈恒庆等编. 中国钢铁材料牌号手册. 第1版. 北京:中国标准

- 出版社,1994
- 34 《机械工程材料性能数据手册》编委会编. 机械工程材料性能数据手册. 第1版. 北京:机械工业出版社,1995
  - 35 工业企业管理纲要编写组. 工业企业管理纲要. 北京:中国经济出版社,1985
  - 36 全国压力容器标准化技术委员会制造分委员会编. 压力容器焊工问答. 北京:机械工业出版社,1989