

焊接材料手册 及 工程应用案例

● 主编 王成文

HANJIECAILIAOSHOUCEJI
GONGCHENGYINGYONGANLI



山西科学技术出版社

<http://www.3dportal.cn/discuz/register.php?fromuid=187027>

焊接材料手册 及 工程应用案例

HANJIECAILIAOSHOUCEJI
CONGCHENGYINGYONGANLI

主 编	王 成 文		
副主编	陈 济 阳	刘 翠 荣	刘 洁
编 委	权 旺 林	吴 志 生	田 文 珍
	陈 培 君	朱 觉 新	刘 明 月
主 审	张 文 杰	王 文 先	

山西科学技术出版社
SHANXI SCIENCE AND TECHNOLOGY PUBLISHING HOUSE

<http://www.3dportal.cn/discuz/register.php?fromuid=187027>

图书在版编目 (CIP) 数据

焊接材料手册及工程应用案例 / 王成文主编. —太原:
山西科学技术出版社, 2004.6

ISBN 7-5377-2366-4

I. 焊... II. 王... III. 焊接材料—中国—手册
IV. TG422-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 050807 号

焊接材料手册及工程应用案例

主 编:	王成文
出版发行:	山西科学技术出版社
社 址:	太原建设南路 15 号
邮 编:	030012
编辑部电话:	0351-4922107
发行部电话:	0351-4922121
E - mail:	sxkjcs@public.ty.sx.cn Info@sxstph.com.cn
网 址:	http://www.sxstph.com.cn
印 刷:	太原兴晋科技印刷厂

开 本:	850 × 1168 毫米 1/32
字 数:	488 千字
印 张:	19.625
版 次:	2004 年 9 月第 1 版
印 次:	2004 年 9 月太原第 1 次印刷
印 数:	1-3 000 册
书 号:	ISBN 7-5377-2366-4/T·375
定 价:	35.00 元

如发现印、装质量问题,影响阅读,请与印厂联系调换。

序

焊接技术作为先进的连接工艺，广泛应用在国民经济建设和人们日常生活中。目前我国电弧焊焊接材料的研究与生产方兴未艾，材料品种发展的多元性、焊接工艺的复杂性，为焊接材料的研究制造与使用提供了良好的背景；焊接产品的高质量要求和焊接自动化的发展趋势，为半自动化、自动化焊接工艺使用的气体保护焊、埋弧自动焊焊接材料提供了良好的市场前景。

该书的作者来自我国重型机械设备制造企业及相关院校，在焊接生产实践中积累了丰富的工作经验。书中结合我国焊接材料标准化、系列化的最新状况，介绍了电弧焊焊接材料的主要技术要求及相关基础知识，同时也对数百种常用的焊条、焊丝、焊剂的性能和用途进行了说明；特别是选取三十多项焊接材料使用实例，讲解了焊接材料选用涉及的焊接工艺问题和注意事项，并在大型机械产品制造和修复工程中得到了验证，具有较强的代表性和实用性。

本书可作为焊接及相关专业教学的辅导资料，起到连接焊接理论教学与焊接工程实践的桥梁作用，该书能对促进焊接新技术的应用与交流、推动焊接材料领域的不断技术进步起到积极的作用。

天津大学教授 张文钱

2004. 4. 26

前 言

焊接是金属材料的主要连接手段，焊接材料的选用是焊接工艺的重要组成部分；焊接材料的合理选用不仅需要一定的焊接理论基础，而且需要在生产实践中不断总结。

本书结合我国焊接材料技术标准的制修订情况，依据我国现行广泛使用的二十多个焊接材料技术标准，介绍了焊条、焊丝、焊剂等电弧焊焊接材料的基本知识，介绍了国产常用电弧焊焊接材料的特点和用途；同时根据我国焊接产品的高质量要求和焊接自动化的发展趋势，大量介绍了气体保护焊、埋弧自动焊工艺使用的焊接材料，包括实芯焊丝、药丝焊丝等连续焊接工艺常用的焊接材料牌号。并且精选了三十余项焊接试验和工程应用案例，进行了分析解释，内容涉及常用金属材料、焊接技术条件和焊接产品形式等知识；这些焊接案例涉及压力容器、起重机、挖掘机、焊接钢结构等大型机械设备，在国家重点工程建设中得到了成功应用，已经产生了良好的经济效益。

本书共分为五章，第一章介绍了焊接材料的基本知识，由刘翠荣副教授、吴志生教授编写；第二章介绍了常用的焊条，由刘洁副教授、权旺林副教授编写；第三章介绍了常用的气体保护焊焊接材料，由陈清阳高工编写；第四章介绍了常用的埋弧焊焊接材料，由王成文高工编写；第五章介绍了焊接材料选用案例及分析，由王成文高工、田文珍高工编写。全书由王成文高工统稿。陈培君、朱觉新、刘明月等同志也参与了部分工作。审稿由张文

杰高工、王文先教授负责。本文作为一本焊接工具书，相信能够对从事焊接的工程技术人员、教师、在校学生、焊工和企业管理人员有所益处，希望在焊接技术进步、加快新技术推广和提高生产实践水平中做出一定的贡献。

在本书的编写过程中，太原重型机械（集团）公司和太原重型机械学院的领导和科技工作者给予了大量支持和帮助，在此表示衷心的感谢。

因编者水平有限，书中难免会有错误及不足之处，愿与读者交流改正。

编者

2004年4月



目 录

第一章 焊接材料的基本知识	1
一、焊接材料的发展过程	1
1. 焊接技术的发展简史	1
2. 我国焊接材料的发展过程	1
3. 我国焊接材料的生产状况和发展方向	2
二、焊接材料的分类和标记	5
1. 焊条的分类和标记	5
(1) 焊条的分类	6
(2) 焊条的型号和牌号	11
2. 焊丝的分类和标记	33
(1) 焊丝的分类	33
(2) 焊丝的型号和牌号	34
3. 焊接用气体的分类和标记	48
(1) 焊接用气体的分类	48
(2) 焊接保护气体的选用	50
4. 埋弧焊焊剂的分类和标记	50
(1) 焊剂的分类	50
(2) 焊剂的型号和牌号	55
三、焊接材料的主要性能与质量检验	61
1. 焊条检验技术	61
(1) 焊条原材料的检验	61
(2) 焊条生产过程中的技术检验	62
(3) 焊条成品的检验	65
(4) 焊条熔敷金属化学成分试验	71

(5) 焊条熔敷金属力学性能试验	74
(6) 焊条 T 型接头角焊缝试验	80
2. 焊丝检验技术	81
(1) 气体保护电弧焊用焊丝的检验	81
(2) 药芯焊丝的检验	84
(3) 埋弧焊用焊丝的检验	95
3. 埋弧焊焊剂检验技术	96
(1) 碳钢和低合金钢埋弧焊用焊剂的试验	96
(2) 不锈钢埋弧焊用焊剂的试验	98
四、焊接材料使用中的相关知识	102
1. 焊接材料的储存与保管	102
(1) 焊接材料的储存与保管条件	102
(2) 焊接材料使用前的烘干	103
2. 焊接材料用量计算	105
(1) 焊接材料用量的计算原理	105
(2) 典型焊接工艺的焊接材料用量的计算	106
(3) 焊接工程中常用的焊接材料消耗定额	107

第二章 焊 条

一、碳钢焊条	113
1. 碳钢焊条选用说明	113
2. 常用的碳钢焊条介绍	116
二、500MPa 等级以上的低合金高强度焊条	134
1. 500MPa 等级以上的低合金高强度焊条 选用说明	134
2. 常用的抗拉强度在 500MPa 等级以上的低合金 高强度焊条介绍	138
三、钼和铬钼耐热钢焊条	159



1. 钼和铬钼耐热钢焊条选用说明	159
2. 常用的钼和铬钼耐热钢焊条介绍	162
四、低温钢焊条	181
1. 低温钢焊条选用说明	182
2. 常用的低温钢焊条介绍	183
五、不锈钢焊条	189
1. 不锈钢焊条选用说明	189
2. 常用的不锈钢焊条介绍	193
六、堆焊焊条	212
1. 堆焊焊条选用说明	212
2. 常用的堆焊焊条介绍	218
七、铸铁焊条	247
1. 铸铁焊条选用说明	247
2. 常用的铸铁焊条介绍	249
八、镍及镍合金焊条	257
1. 镍及镍合金焊条选用说明	257
2. 常用的镍及镍合金焊条介绍	258
九、铜及铜合金焊条	265
1. 铜及铜合金焊条选用说明	265
2. 常用的铜及铜合金焊条介绍	267
十、铝及铝合金焊条	270
1. 铝及铝合金焊条选用说明	270
2. 常用的铝及铝合金焊条介绍	272
第三章 气体保护焊焊接材料	275
一、气体保护焊实芯焊丝	276
1. 常用实芯焊丝的技术条件	276
2. 常用的气体保护焊实芯焊丝介绍	281

二、药芯焊丝	297
1. 常用药芯焊丝的技术条件	297
2. 常用的药芯焊丝介绍	309
三、硬质合金堆焊焊丝	348
1. 国产硬质合金堆焊焊丝的技术条件	348
2. 常用的硬质合金堆焊焊丝介绍	348
四、有色金属及其合金焊丝	355
1. 国产有色金属及其合金焊丝的技术条件	355
(1) 铜及铜合金焊丝技术条件	356
(2) 铝及铝合金焊丝技术条件	358
(3) 镍及镍合金焊丝技术条件	361
2. 常用有色金属及其合金焊丝介绍	364
第四章 埋弧焊焊接材料	371
一、埋弧焊焊丝	371
1. 常用埋弧焊焊丝的技术条件	371
2. 常用的埋弧焊焊丝介绍	381
二、埋弧焊焊剂	405
1. 埋弧焊焊剂技术条件	405
2. 常用的埋弧焊焊剂介绍	410
第五章 焊接材料选用案例分析	451
一、大型桥式起重机箱型结构生产中钢板拼接技术	451
1. 大型桥式起重机钢板拼接的必要性	451
2. 大型桥式起重机钢板拼接工艺要点	452
3. 焊接材料选择说明	454
二、Q345E (16MnD) 钢大型桁架结构制造技术	455
1. Q345E (16MnD) 钢力学性能和焊接性分析	455



2. Q345E (16MnD) 钢焊接材料的选择	456
3. Q345E (16MnD) 钢焊接工艺评定	460
三、硬齿面焊接结构齿轮制造的焊接材料的选择	462
1. 硬齿面焊接结构齿轮的特点	462
2. 硬齿面焊接结构齿轮的焊接材料的选择	463
3. 硬齿面焊接结构齿轮焊接工艺及质量检测要点	466
四、螺旋输料器生产中常用的加工工艺及焊接材料的选择	466
1. 螺旋输料器的主要特点	466
2. 螺旋输料器生产中常用的加工工艺	467
3. 螺旋输料器生产中常用的焊接材料的选择	468
4. 螺旋输料器的实际生产	469
五、西气东输管道工程中 大直径锚固法兰的焊接工艺试验	470
1. 我国油气管道工程焊接技术概况	470
2. 西气东输管道工程中 大直径锚固法兰技术要求	470
3. 西气东输管道工程中 大直径锚固法兰的焊接技术条件	471
4. 西气东输管道工程中 大直径锚固法兰的焊接材料的选择	472
5. 西气东输管道工程中 大直径锚固法兰的焊接工艺试验	473
六、大型钢结构安装施工中的焊接材料的选择	475
1. 钢结构工地焊接的技术要求	475
2. 钢结构工地焊接用焊接材料的选择	475
七、提高焊接结构件动载使用寿命的焊接材料的选择	479
1. 机械式挖掘机焊接结构件早期失效的分析	479
2. 焊接用钢材的性能及改进	480

3. 挖掘机生产中焊接材料的选择	482
4. 在挖掘机焊接结构制造中的应用	484
八、水压机大厚度工作缸的焊接制造	486
1. 水压机大厚度工作缸的技术要求	486
2. 水压机大厚度工作缸焊接方法的选择	487
3. 水压机大厚度工作缸焊接材料的选择	488
4. 水压机大厚度工作缸焊接工艺要点	490
九、13MnNiMoNbR 压力容器用钢的焊接工艺试验	491
1. 13MnNiMoNbR 钢的基本性能	491
2. 13MnNiMoNbR 钢的焊接材料的选择	492
3. 13MnNiMoNbR 钢焊接工艺要点	495
4. 13MnNiMoNbR 钢焊接接头质量检测	496
十、12Cr2Mo1 珠光体耐热钢超高压阀体的焊接工艺	
分析及生产	496
1. 超高压阀体的技术要求	496
2. 12Cr2Mo1 钢焊接性分析	497
3. 12Cr2Mo1 钢焊接方法及焊接材料的选择	498
4. 12Cr2Mo1 钢阀体的焊接工艺	499
5. 12Cr2Mo1 钢阀体焊接接头质量检测及生产	499
十一、20MnMoNb 钢大厚度高压容器的焊接工艺	
试验	500
1. 高压容器的技术条件	500
2. 焊接方法的选择	501
3. 焊接材料的选择及其相关因素试验	501
4. 高压容器专用焊接工艺及焊接试验	502
5. 高压容器的焊接质量检验	505
十二、大厚度珠光体耐热钢 (15CrMoR 钢) 焊接工艺	
分析及应用	505



1. 常用的低合金耐热钢概况	505
2. 15CrMoR 钢的基本性能	505
3. 15CrMoR 钢焊接性能研究	507
4. 15CrMoR 钢焊接接头试验	507
5. 15CrMoR 钢焊接工艺要点	509
十三、不锈钢埋弧焊烧结焊剂的特点及试验	510
1. 不锈钢产品的一般技术要求	510
2. 奥氏体不锈钢的焊接特点和焊接材料	511
3. 不锈钢埋弧焊烧结焊剂 SJ601 的技术特点	511
4. 不锈钢埋弧焊烧结焊剂 SJ601 的试验和 使用要点	512
十四、低合金高强度结构钢的焊接试验及焊接材料的选择	515
1. 低合金高强度结构钢的技术特征	515
2. 低合金高强度结构钢的焊接材料的选择	516
3. StE690 低合金高强度结构钢的焊接试验	517
4. 低合金高强度结构钢在焊接工程中的应用	519
十五、双相不锈钢复合钢板的焊接试验及应用	519
1. 双相不锈钢复合钢板的性能	519
2. 双相不锈钢复合钢板的焊接材料试验	520
3. 双相不锈钢复合钢板的焊接工艺	521
4. 双相不锈钢复合钢板焊接接头的质量检测	523
十六、耐磨高锰钢铸件的焊接工艺分析	523
1. 高锰钢的特点	523
2. 高锰钢的焊接性问题	524
3. 常用的高锰钢焊接材料	525
4. 高锰钢构件及其焊接技术的应用	527
十七、低温环境用铸钢件焊接工艺试验	527



1. 低温环境用铸钢件焊接的必要性	527
2. ZG20CrNi 铸钢的基本性能	527
3. ZG20CrNi 铸钢焊接材料的选择	529
4. ZG20CrNi 铸钢焊接接头试验	530
5. ZG20CrNi 铸钢焊接工艺要点	531
十八、起重机主梁轨道对接焊工艺试验及应用	532
1. 起重机主梁轨道对接焊的必要性	532
2. 起重机钢轨的主要技术条件	532
3. 起重机钢轨的焊接工艺分析	533
4. 起重机钢轨的焊接工艺要点	534
十九、高硬度耐磨钢板的使用及其焊接技术	535
1. 高硬度耐磨钢板的基本概况	535
2. Hardox400 高硬度耐磨钢板的焊接材料的选择	537
3. Hardox400 高硬度耐磨钢板的焊接试验	537
4. 高硬度耐磨钢板的技术特性	539
二十、球磨铸铁阀体与不锈钢密封环的焊接	539
1. 城市污水排放系统中的阀门结构	539
2. 球磨铸铁阀体与不锈钢密封环的焊接工艺 分析	540
3. 球磨铸铁阀体与不锈钢密封环的焊接试验	541
4. 球磨铸铁阀体与不锈钢密封面的焊接生产	542
二十一、铝合金花纹板熔化极惰性气体保护焊焊接 材料的选择	543
1. 铝合金花纹板性能及其焊接方法的选择	543
2. 铝合金花纹板熔化极惰性气体保护焊焊接 材料的选择	545
3. 铝合金花纹板熔化极惰性气体保护焊焊接 工艺要点	547



二十二、火力发电厂输电铝母线对接焊的焊接技术 及施工	548
1. 输电铝母线的材料性能和焊接基本条件	548
2. 输电铝母线的焊接试验及焊接材料的选择	549
3. 输电铝母线的焊接工艺规程及现场施工	550
二十三、低合金锻体表面堆焊奥氏体不锈钢耐蚀层的 焊接材料的选择	551
1. 堆焊奥氏体不锈钢耐蚀层常见的问题	551
2. 堆焊奥氏体不锈钢耐蚀层的焊接材料的选择	552
3. 堆焊奥氏体不锈钢耐蚀层试验	553
4. 合金锻件上堆焊奥氏体不锈钢耐蚀层工艺要点	554
二十四、中硬度高温阀门密封面的堆焊技术	555
1. 中硬度高温阀门密封面堆焊的技术要求	555
2. 中硬度高温阀门密封面堆焊焊接材料的选择	555
3. 中硬度高温阀门密封面的堆焊试验	556
4. 中硬度高温阀门密封面堆焊工艺要点	558
二十五、斗轮式挖掘机复合铲齿堆焊技术分析与应用	558
1. 斗轮式挖掘机铲齿的加工工艺简介	558
2. 斗轮式挖掘机铲齿堆焊技术的特点	559
3. 斗轮式挖掘机铲齿堆焊焊接材料的选择及焊接 工艺试验	559
4. 斗轮式挖掘机铲齿堆焊技术的应用	561
二十六、大型锻压设备活动柱塞表面的预保护堆焊 技术	561
1. 大型锻压设备主要零件的加工特点	561
2. 活动柱塞表面堆焊焊接材料的选择	562
3. 锻压设备活动柱塞表面预保护堆焊工艺的应用	564



二十七、碳素结构钢上堆焊耐磨铝青铜的焊接	
技术	564
1. 铝青铜的特点	564
2. 结构钢上堆焊耐磨铝青铜存在的焊接问题	565
3. 结构钢上堆焊耐磨铝青铜焊接工艺要点	566
4. 结构钢上堆焊耐磨铝青铜实例	567
二十八、连铸辊套表面堆焊耐磨层的试验与应用	567
1. 钢铁企业连铸生产工艺的基本情况	567
2. 连铸辊套的主要技术要求	568
3. 连铸辊套耐磨层堆焊焊接材料的选择	569
4. 连铸辊套耐磨层堆焊加工工艺分析及 生产应用	570
二十九、大型铸铁件的焊接修复技术与工程应用	572
1. 铸铁的分类及其典型材料	572
2. 铸铁的焊接工艺特点及焊接材料的选用	573
3. 铸铁冷焊修复工艺与工程应用实例	575
三十、大型水压机立柱的焊接修复技术	578
1. 大型水压机立柱的技术条件及缺陷状况简介	578
2. 立柱焊接修复中的技术问题及对策	579
3. 立柱焊接修复的工艺要点	581
三十一、ZG5CrMnMo 垫板裂纹的焊接修复实例	581
1. 垫板的缺陷情况	581
2. 垫板修复的焊接性分析	582
3. 垫板修复焊接材料的选择	583
4. 垫板焊接修复时的注意事项	583
三十二、大型矿用挖掘机动臂的焊接修复工艺试验	584
1. 动臂修复中铜材及焊接材料的选择	584
2. 动臂修复的焊接工艺试验	585

3. 大型矿用挖掘机动臂的焊接修复	586
三十三、25 000kN 压机机架顶板焊接修复中焊接	
材料的选择及焊接工艺	588
1. 25 000kN 压机机架顶板开裂情况	588
2. 25 000kN 压机机架顶板修复补强技术措施	588
3. 25 000kN 压机机架顶板焊接修复中焊接材料的 试验与选择	589
4. 25 000kN 压机机架顶板修复采取的工艺	590
5. 25 000kN 压机机架顶板修复工程的实施	591
三十四、铝板板材轧机铸轧辊辊芯的堆焊修复	
技术	591
1. 铝板板材轧机铸轧辊辊芯的工作状况	591
2. 辊芯材料中碳调质钢 42CrMo 的性能	592
3. 辊芯焊接性分析及焊接材料的选择	593
4. 辊芯修复工艺及焊接技术参数	594
三十五、大型挖掘机推压轴的焊接修复及加工工艺	595
1. 大型挖掘机中碳调质钢推压轴焊接修复的 可行性	595
2. 大型推压轴焊接修复的复杂性	596
3. 母材的焊接性分析	596
4. 焊接材料的选择	597
5. 焊接修复方案的选择和工艺要点	599
三十六、大型掘进机刀盘夹持部位的补强焊接	600
1. 大型掘进机刀盘夹持部位的补强焊接问题 的提出	600
2. 大型掘进机刀盘夹持部位的补强焊接技术分析	601
3. 大型掘进机刀盘夹持部位的补强焊接工艺	602
参考文献	605

第一章 焊接材料的基本知识

一、焊接材料的发展过程

1. 焊接技术的发展简史

焊接技术既是一门古老的手艺，也是一项融合多种现代先进技术的工艺方法。考古发现，早在公元前 3000 年，人类就能进行铜-金、铅-锡的焊接。在当今社会随处可见焊接在人们生活、经济建设中的应用。

焊接技术的快速发展，得益于 1802 年彼得洛夫发现电弧现象、1882 年别纳尔多斯发明电弧焊，1910 年生产出厚药皮焊条。在 1930 年至 1960 年期间，气体保护焊、埋弧焊、钨极氩弧焊陆续得到应用，同时在焊接冶金学、材料焊接性、焊接方法与设备、焊接材料、焊接结构等领域取得大量研究成果，形成了系统的焊接理论，同时培养了大批焊接研究及工程技术人员。目前，电弧焊方法已多达 10 余种，相应的焊接材料种类繁多，广泛地应用于机械、冶金、建筑、锅炉和压力容器、桥梁、石油化工、船舶、航空航天和核动力工程等各行各业，焊接技术大大推动了工业发展和经济繁荣。

2. 我国焊接材料的发展过程

在解放前，我国焊接材料的研究开发能力很弱、生产规模很小。新中国成立以来，我国焊接技术飞速发展，从焊接技术人才培养、焊接设备和焊接材料的生产、焊接工艺研究等多方面取得了丰硕的成果，全国焊接标准化技术委员会已经制订了 20 余个焊接材料方面的技术标准。特别是 20 世纪 80 年代以来，随着我国科研开

发能力的提高,结合引进国外先进技术和装备,焊接材料生产的品种和制造规模迅速发展。焊接材料的生产主要以焊条、实芯焊丝、药芯焊丝、埋弧焊焊丝和焊剂为主,满足了常用电弧焊焊接方法的需求,为大型工程的建设做出重大贡献。

我国焊接材料的生产规模发展迅猛,20世纪80年代中期,我国有90余个焊接材料生产企业,1985年焊接材料总产量为34.5万吨,焊接材料品种达到300多个牌号。90年代末,我国已有160余个焊接材料生产企业,1998年焊接材料总产量达到100万吨以上,焊接材料品种达到475个牌号,常用的焊接材料基本上能够满足国内的要求。2001年,我国焊接材料总产量达到120万吨,产值达30多亿元,其中焊条100万吨,占总消耗量的83%;实芯焊丝14万吨,占总消耗量的12%;药芯焊丝1.6万吨,占总消耗量的1.3%;其余为埋弧焊焊接材料。年产焊接材料10万吨以上的大型企业有天津大桥集团有限公司、天津市金桥焊接材料有限公司、四川大西洋焊接材料有限公司,年产量1万吨以上的企业约十五家。在产品质量方面,大、中型企业生产的有些焊接材料已取得了中国船级社的认可,有些还取得了外国船级社的认可。

3. 我国焊接材料的生产状况和发展方向

(1) 我国焊接材料的生产销售状况

目前,我国焊接材料的生产和使用规模都处于世界前列,已成为焊接大国和焊接材料使用大国,焊接材料主要品种有焊条、实芯焊丝、药芯焊丝、埋弧焊焊丝和焊剂等。

1) 焊条

我国焊条生产企业很多,大部分都具有一定的生产条件、检测手段及质量保证体系,生产能力约为120万吨,已经远远超过市场的需求,所以市场竞争激烈、生产企业的效益不均衡。其中碳钢焊条逐渐集中到几家规模较大的焊接材料生产企业,在焊条总产量、市场流通中占有相当大的比例,一些规模较小的企业主要生产低



氢型焊条、不锈钢焊条、堆焊焊条、镍基焊条、铸铁焊条及其他特殊用途焊条。

2) 实芯焊丝

我国实芯焊丝的生产企业有 100 多家,其装备有德国、瑞典、日本等国家引进的各种生产设备 50 余套,国内生产的 100 多套,生产能力达到 20 万吨左右,主要产品品种有 ER50-6、ER49-1 等;但受到冶金企业原材料品种的限制,高强度实芯焊丝和其他合金系列实芯焊丝产量较小,其生产主要集中在一些研究单位,部分品种依赖进口。

3) 药芯焊丝

药芯焊丝的配方品种研究、生产技术开发具有很大的潜力。我国药芯焊丝的生产起步较晚,但发展很快,目前药芯焊丝生产企业有 30 多家,引进和国产的生产线有 40 余条,生产能力为 2 万余吨,主要以 500~600MPa 等级的结构钢药芯焊丝和不锈钢药芯焊丝为主,高强度药芯焊丝、自保护药芯焊丝及其他品种的药芯焊丝以进口为主。

4) 埋弧焊焊丝和焊剂

我国埋弧焊焊丝的状况与实芯焊丝类似,产品主要是各种镀铜焊丝,但品种较少。埋弧焊焊剂生产企业有 30 余家,焊剂品种有 60 余种。焊剂生产能力为 15 万吨左右,其中熔炼焊剂约 12 万吨,烧结焊剂约 3 万吨。

(2) 我国焊接材料的发展方向

我国焊接材料行业存在的主要问题是产品构成不合理,焊接材料的品种和质量与世界先进水平仍有较大的差距,体现在部分焊接材料生产供大于求、技术含量高的焊接材料不能满足国内市场要求、焊接材料的研制能力弱等方面。所以我国焊接材料的发展方向是进行必要的结构调整,适应各种新型材料应用的发展趋势,研制开发环保、节能、高品质的焊接材料,满足高效、自动化焊接的

技术需求。

1) 我国焊接材料行业急需调整产品构成

在我国生产的焊接材料中,自动化、机械化焊接使用的焊接材料所占的比例较低。1985年焊条占焊接材料总产量的90%以上,1998年焊条占焊接材料总产量的78%左右,焊条电弧焊使用的焊条比例过大,而生产效率较高的熔化极气体保护焊、埋弧自动焊使用的实芯焊丝、药芯焊丝、烧结焊剂等焊接材料比例较小。1984年至1999年间,日本的焊接材料年产量在30万~40万吨之间,焊条占焊接材料总产量的比例从1979年的63%下降到1999年的19%;实芯焊丝占焊接材料总产量的比例从1979年的23%上升到1991年的48%,然后产量略有下降,1999年为38.3%;药芯焊丝占焊接材料总产量的比例从1982年的2%上升到1999年的28.7%;埋弧焊焊接材料占焊接材料总产量的12.5%,焊接自动化程度由1984年的48%上升到1999年的80%左右。美国的焊接材料年产量呈下降趋势,由20世纪80年代初的50万吨左右下降到90年代初的40万吨左右,但焊接自动化程度却由51.5%上升到61%左右。欧洲各国的焊接自动化程度约为74%,其中气体保护焊实芯焊丝占焊接材料总产量的53%,药芯焊丝占焊接材料总产量的10%,埋弧焊焊接材料占焊接材料总产量的11%。从焊接材料的进口情况也反映相同的问题,1998年中国从日本进口的焊接材料共4300余吨,其中气体保护焊药芯焊丝为2940吨,埋弧焊焊丝和焊剂为760吨。2001年中国进口的焊接材料中59%为药芯焊丝,35%为实芯焊丝。

2) 我国焊接材料企业将会进行大量的重组,增加生产规模,提高研制能力

虽然我国已有年产焊接材料10万吨以上的大型企业,但其生产规模、研制能力与国外大型焊接材料企业相比还有很大差距,焊接材料品种少、生产规模有限、产品质量不稳定、研制能力弱等问



题,仍是我国焊接材料企业长期面临的难题。与美国林肯及霍伯特公司、奥地利伯乐公司、瑞典伊萨公司、韩国现代公司、日本神户公司等大型跨国公司比较,在市场营销、企业规模、产品品种、制造质量、研制能力上都有一定的不足。

3) 我国主要焊接材料品种的市场分析

① 我国生产的大部分品种的焊条已能够满足市场的需求,但产品质量有待稳定,专门用于焊接修复的焊条还未进行开发。今后焊条的总产量将基本保持稳定,但其中低氢型焊条、不锈钢焊条、堆焊焊条、镍基焊条、铸铁焊条及其他特殊用途焊条的比例和品种将会增加。

② 我国现在生产的气体保护焊实芯焊丝中,常用的 ER50-6 生产能力相对过剩,但高强度及高合金气体保护焊实芯焊丝、低温钢焊丝、耐热钢焊丝及有色金属焊丝的品种不多,规模较小,今后气体保护焊实芯焊丝的产量和品种都会有较大比例的增加。

③ 我国生产的 500MPa 等级结构钢药芯焊丝及不锈钢药芯焊丝已经供应市场,但高强度、高合金及堆焊气体保护焊药芯焊丝的品种不多,规模较小。自保护药芯焊丝刚处于研制阶段,难以满足工程的生产规模和高质量要求,今后药芯焊丝的产量和品种都会有较大比例的增加。

④ 在我国生产的埋弧焊焊接材料中,500 ~ 650MPa 等级埋弧焊焊丝能够满足市场需求,700MPa 等级以上的埋弧焊焊丝品种较少。目前埋弧焊焊剂仍以熔炼焊剂为主,烧结焊剂虽有一定的产量,但生产的品种不多,规模较小,今后埋弧焊烧结焊剂的产量和品种都会有一定比例的增加。

二、焊接材料的分类和标记

1. 焊条的分类和标记

焊条是指在一定长度的金属丝外表层均匀地涂敷一定厚度的

具有特殊作用涂料的电弧焊焊接材料。焊条由焊芯和药皮两部分组成,焊芯主要有传导焊接电流、形成电弧、熔化填充作用;药皮主要有保护电弧、熔池、焊缝,参与焊接冶金反应,保证焊接工艺性能,增加填充金属等作用。焊条的基本要求主要包括具有良好的焊接工艺性能,熔敷金属能够满足一定的力学性能或物理、化学性能,良好的外观质量,以保证焊接操作的顺利进行和焊接接头的使用性能。

(1) 焊条的分类

焊条的分类方法很多,一般根据焊条的用途、熔渣的碱度、焊条药皮的主要成分、焊条性能特征等进行焊条的分类。在实际工程中,因为有些焊条往往具有多种用途,焊条分类的主要目的是为了进行焊条的合理区分、规范焊条制造、有效地指导焊条使用、加强焊接工艺人员和焊工对焊条性能的认识和理解。

1) 根据焊条的用途进行分类

我国现行的焊条技术标准体系是根据焊条的用途进行分类,其中常用的国家标准有 GB/T 5117—1995《碳钢焊条》、GB/T 5118—1995《低合金钢焊条》、GB/T 983—1995《不锈钢焊条》、GB 984—1985《堆焊焊条》、GB 10044—1988《铸铁焊条和焊丝》、GB/T 13814—1992《镍及镍合金焊条》、GB/T 3670—1995《铜及铜合金焊条》、GB 3669—1983《铝及铝合金焊条》等,一般焊条型号分为八类,焊条牌号分为十一类。国内常用的焊条分类见表 1-1。

表 1-1 国内常用焊条分类

焊条型号			焊条牌号	
序号	焊条分类	代号	焊条分类	代号
1	碳钢焊条	E	结构钢焊条	结(J)
2	低合金钢焊条	E	低合金高强度焊条	结(J)
			钼及铬钼耐热钢焊条	热(R)
			低温钢焊条	温(W)

续表 1-1

焊条型号			焊条牌号	
序号	焊条分类	代号	焊条分类	代号
3	不锈钢焊条	E	铬不锈钢焊条	铬(G)
			铬镍不锈钢焊条	奥(A)
4	堆焊焊条	ED	堆焊焊条	堆(D)
5	铸铁焊条	EZ	铸铁焊条	铸(Z)
6	镍及镍合金焊条	ENi	镍及镍合金焊条	镍(Ni)
7	铜及铜合金焊条	TCu	铜及铜合金焊条	铜(T)
8	铝及铝合金焊条	TAI	铝及铝合金焊条	铝(L)
9	—	—	特殊用途焊条	特(TS)

2) 根据焊条熔渣的酸碱性进行分类

主要是根据焊条熔渣的碱度,即根据熔渣中碱性氧化物与酸性氧化物的比例,将焊条分为酸性焊条、碱性焊条。

① 酸性焊条 酸性焊条药皮中含有大量的 TiO_2 、 SiO_2 等酸性造渣剂及一定数量的碳酸盐等,熔渣氧化性强,熔渣碱度小于 1。酸性焊条焊接工艺性能良好,电弧稳定,可交直流两用,飞溅小,熔渣流动性好,脱渣性好,熔渣多呈玻璃状,较疏松,容易脱渣,焊缝成形美观。酸性焊条的药皮中含有较多的二氧化硅、氧化铁及氧化钛,氧化性较强,焊缝金属中的氧含量较高,合金元素烧损较多,合金过渡系数较小,熔敷金属中含氢量也较高,因而其焊缝金属塑性和韧性低于碱性焊条。采用甘油法测定酸性焊条熔敷金属中的扩散氢含量为 17~50ml/100g。

② 碱性焊条 碱性焊条药皮中含有大量的碱性造渣剂(大理石、萤石等),并含有一定数量的脱氧剂和渗合金剂。碱性焊条主要靠碳酸盐(如 $CaCO_3$ 等)分解出 CO_2 作保护气体,弧柱气氛中的氢

分压较低，而且萤石中的氟化钙在高温时与氢结合生成氟化氢(HF)，可以降低焊缝中的含氢量，所以碱性焊条又常称为低氢型焊条。采用甘油法测定碱性焊条熔敷金属中的扩散氢含量为1~8ml/100g。

碱性渣中CaO数量多，熔渣脱硫的能力强，熔敷金属的抗热裂纹的能力较强。而且，碱性焊条由于焊缝金属中氧和氢含量低，非金属夹杂物较少，具有较高的塑性和冲击性能。碱性焊条由于药皮中含有较多的萤石，电弧稳定性差，多采用直流反接；当药皮中含有较多的稳弧剂时，可以采用交直流两用。碱性焊条一般用于较重要的焊接结构，如承受动载荷或刚性较大的结构。

3) 根据焊条药皮中主要成分进行分类

根据焊条药皮中主要成分可以确定焊条药皮的类型，焊条药皮类型见表1-2。由于焊条药皮的配方不同，致使各种药皮类型焊条的熔渣特性、焊接工艺性能以及焊缝金属力学性能有很大差别。即使是同一类型药皮，不同牌号的焊条也因为药皮成分和配比不同，焊条的工艺性能等也会出现明显的差别。焊条药皮类型的主要特点见表1-3。

此外，对于药皮中含有较多铁粉的焊条，可称为铁粉焊条。这时，按照相应焊条药皮的主要成分，又可分为铁粉钛型、铁粉钛钙型、铁粉钛铁矿型、铁粉氧化铁型、铁粉低氢型等，构成了铁粉焊条系列。

表 1-2 焊条药皮类型分类

药皮类型	药皮主要成分	电流种类
氧化钛型	氧化钛 ≥ 35%	交流或直流
氧化钛钙型	氧化钛 30%以上，碳酸盐 20%以下	交流或直流
钛铁矿型	钛铁矿 ≥ 30%	交流或直流
氧化铁型	大量氧化铁及较多的锰铁脱氧剂	交流或直流



续表 1-2

药皮类型	药皮主要成分	电流种类
高纤维素钠型	有机物 15%以上,氧化钛 30%左右	直 流
高纤维素钾型	有机物 15%以上,氧化钛 30%左右	交流或直流
低氢钠型	钙、镁的碳酸盐及萤石	直 流
低氢钾型	钙、镁的碳酸盐及萤石	交流或直流
铁粉低氢型	钙、镁的碳酸盐,萤石和铁粉	交流或直流
石墨型	大量石墨	交流或直流
盐基型	氯化物和氟化物	直 流

表 1-3 焊条药皮类型的主要特点

代号	药皮类型	电流种类	主要特点
0	不属于已规定类型	不规定	在某些焊条中采用氧化锆、金红石等,这些新渣系目前尚未形成系列
1	氧化钛型	交流或直流	含大量氧化钛,焊条工艺性能良好,电弧稳定,再引弧方便,飞溅很小,熔深较浅,熔渣覆盖性较好,脱渣容易,焊缝成形美观,可进行全位置焊接,尤其适宜于薄板焊接,但焊缝塑性和抗裂性稍差。随着药皮中钾、钠及铁粉等用量的改变,可分为高钛钾型、高钛钠型及铁粉钛型等类型
2	氧化钛钙型	交流或直流	药皮中含氧化钛 30%以上,钙、镁的碳酸盐在 20%以下,焊条工艺性能良好,熔渣流动性好,熔深一般,电弧稳定,焊缝成形美观,脱渣容易,可进行全位置焊接,如 E4303 (J422) 即属此类型,是目前碳钢焊条中使用最广泛的一种焊条



续表 1-3

代号	药皮类型	电流种类	主要特点
3	钛铁矿型	交流或直流	药皮中钛铁矿不少于 30%，焊条熔化速度快，熔渣流动性好，熔深较深，脱渣容易，焊缝成形美观，电弧稳定，平焊、平角焊工艺性能好，立焊稍次，焊缝有较好的抗裂性
4	氧化铁型	交流或直流	药皮中含大量的氧化铁和较多的锰铁脱氧剂，熔深大，熔化速度快，焊接生产率较高，电弧稳定，再引弧方便，立焊、仰焊较困难，飞溅稍大，焊缝抗裂性能较好，适用于中厚板焊接。由于电弧吹力大，适于野外操作。若药皮中加入一定量的铁粉，则为铁粉氧化型
5	纤维素型	交流或直流	药皮中含 15% 以上的有机物、30% 左右的氧化铁，焊接工艺性能良好，电弧稳定，电弧吹力大，熔深大，熔渣少，脱渣容易。可作立向下焊、深熔焊和单面焊双面成形焊接。立、仰焊工艺性好，随着药皮中稳弧剂、粘结剂含量的改变，分为高纤维素钠型（采用直流反接）、高纤维素钾型两类
6	低氢钾型	交流或直流	药皮组分以碳酸盐和萤石为主。焊条使用前须经 300 ~ 400℃ 烘焙。短弧操作，焊接工艺性一般，可进行全位置焊接。焊缝有良好的抗裂性和综合力学性能。适用于焊接重要的焊接结构。按照药皮中稳弧剂量、铁粉量和粘结剂的不同，分为低氢钾型、低氢钠型和铁粉低氢型等
7	低氢钠型	直流	
8	石墨型	交流或直流	药皮中含有较多的石墨，通常作为铸铁和堆焊焊条。采用低碳钢焊芯时，焊接工艺性能较差，飞溅较多，烟雾较大，熔渣少，适用于平焊。采用有色金属焊芯时，能改善其工艺性能，但电流不宜过大
9	盐基型	直流	药皮中含有较多氯化物和氟化物，主要作为铝及铝合金焊条。吸潮性强，焊前要烘干。药皮熔点低，熔化速度快。采用直流电源，焊接工艺性较差，短弧操作，熔渣有腐蚀性，焊后需用热水清洗

4) 根据焊条的性能进行分类

根据焊条的特殊使用性能而制造的专用焊条,如超低氢焊条、低尘低毒焊条、立向下焊条、躺焊焊条、打底层焊条、高效铁粉焊条、防潮焊条、水下焊条、重力焊条等。

(2) 焊条的型号和牌号

焊条型号是国家标准规定的反映焊条主要特性的表示符号。焊条牌号是相关行业或生产企业制订的反映焊条产品主要特性的表示符号。由于历史的原因,20世纪80年代国家标准规定的焊条型号开始使用,实际生产中仍经常使用焊条牌号进行技术交流、产品信息传递,所以现阶段焊条型号和牌号都经常使用。

一般焊条型号和牌号包括以下含义:焊条类别、焊条特点(如焊芯金属类型、使用温度、熔敷金属化学成分或抗拉强度等)、药皮类型及使用的焊接电流类型。不同类型焊条的型号和牌号表示方法也不同。

1) 碳钢焊条型号和牌号

① 碳钢焊条型号 根据 GB/T 5117—1995《碳钢焊条》规定,碳钢焊条型号按照熔敷金属的力学性能、药皮类型、焊接位置和焊接电流种类进行划分。碳钢焊条型号及主要特征见表 1-4。

表 1-4 碳钢焊条型号及主要特征

焊条型号	药皮类型	焊接位置	电流种类
E4300	特殊型	平、立、仰、横	交流或直流正、反接
E4301;E5001	钛铁矿型	平、立、仰、横	交流或直流正、反接
E4303;E5003	钛钙型	平、立、仰、横	交流或直流正、反接
E4310;E5010	高纤维素钠型	平、立、仰、横	直流反接
E4311;E5011	高纤维素钾型	平、立、仰、横	交流或直流反接
E4312	高钛钠型	平、立、仰、横	交流或直流正接

续表 1-4

焊条型号	药皮类型	焊接位置	电流种类
E4313	高钛钾型	平、立、仰、横	交流或直流正、反接
E4315;E5015	低氢钠型	平、立、仰、横	直流反接
E4316;E5016	低氢钾型	平、立、仰、横	交流或直流反接
E4320	氧化铁型	平、平角焊	交流或直流正接
E4322	氧化铁型	平	交流或直流正接
E4323;E5023	铁粉钛钙型	平、平角焊	交流或直流正、反接
E4324;E5014; E5024	铁粉钛型	平、平角焊	交流或直流正、反接
E4327;E5027	铁粉氧化铁型	平、平角焊	交流或直流正接
E4328;E5028	铁粉低氢型	平、平角焊	交流或直流反接
E5018	铁粉低氢钾型	平、立、仰、横	交流或直流反接
E5018M	铁粉低氢型	平、立、仰、横	直流反接
E5048	铁粉低氢型	平、仰、横、立向下	交流或直流反接

注：① 焊接位置栏：平—平焊、立—立焊、仰—仰焊、横—横焊、平角焊—水平角焊、立向下一向下立焊。

② 焊接位置栏中立和仰系指适用于立焊和仰焊的直径不大于4.0mm的E5014、E××15、E××16、E5018和E5018M型焊条及直径不大于5.0mm的其他型号焊条。

③ E4322型焊条适宜单道焊。

④ E43××系列焊条熔敷金属抗拉强度 $\geq 420\text{MPa}$ ，E50××系列焊条熔敷金属抗拉强度 $\geq 490\text{MPa}$ 。

碳钢焊条型号编制方法为E××××，如E4315。其中字母“E”表示焊条；前两位××表示熔敷金属抗拉强度的最小值，单位为MPa(kgf/mm²)，如“43”表示熔敷金属抗拉强度的最小值为420MPa；第三位×表示焊条的焊接位置，“0”及“1”表示焊条适用

于全位置焊接(即包括平、立、仰、横等焊接位置),“2”表示焊条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××组合表示药皮类型及焊接电流种类,如“15”表示焊条药皮类型为低氢钠型,采用直流反接。在第四位数字后附加字母表示焊条有特殊的性能,如“R”表示耐吸潮焊条;附加“-1”表示对冲击性能有特殊规定的焊条。

② 碳钢焊条牌号 碳钢焊条是指结构钢焊条中的熔敷金属抗拉强度较低的部分焊条。结构钢焊条牌号编制方法为J×××,如J426(结)。其中字母“J”(汉字“结”汉语拼音的第一个字母)表示结构钢焊条;前两位××表示熔敷金属抗拉强度的最小值,单位为MPa(kgf/mm²),如“42”表示熔敷金属抗拉强度的最小值为420MPa;第三位×表示焊条牌号的药皮类型及焊接电流类型,如“6”表示焊条药皮类型为低氢钾型,交直流两用。

结构钢焊条牌号及其熔敷金属抗拉强度系列见表1-5。焊条牌号的药皮类型及焊接电流类型见表1-6,其中盐基型主要用于有色金属焊条(如铝及铝合金),石墨型主要用于铸铁焊条和个别堆焊焊条。数字后面的字母表示焊条的特殊用途和性能见表1-7。对于任何一种焊条,只要查出字母、数字代表的含义,就可以掌握这种焊条的主要特性。

表 1-5 结构钢焊条牌号及其熔敷金属抗拉强度

焊条牌号	熔敷金属抗拉强度(MPa)	熔敷金属屈服强度(MPa)
J42×	≥420	≥330
J50×	≥490	≥410
J55×	≥540	≥440
J60×	≥590	≥530
J70×	≥690	≥590

续表 1-5

焊条牌号	熔敷金属抗拉强度(MPa)	熔敷金属屈服强度(MPa)
J75X	≥740	≥640
J80X	≥780	—
J85X	≥830	≥740
J10X	≥980	—

表 1-6 焊条牌号的药皮类型及焊接电流类型

焊条牌号	药皮类型	焊接电流类型
XX0	不 规 定	不 规 定
XX1	氧化钛型	交流或直流
XX2	氧化钛钙型	交流或直流
XX3	钛铁矿型	交流或直流
XX4	氧化铁型	交流或直流
XX5	纤维素型	交流或直流
XX6	低氢钾型	交流或直流
XX7	低氢钠型	直 流
XX8	石 墨 型	交流或直流
XX9	盐 基 型	直 流

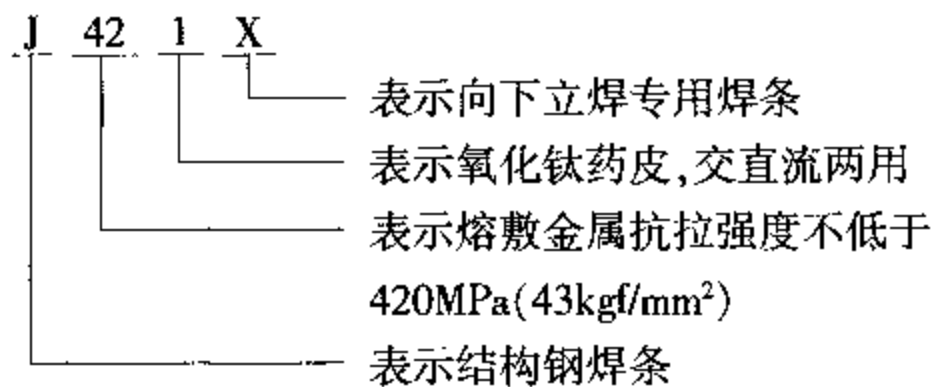
表 1-7 焊条牌号后面加注字母符号的含义

字母符号	表示的含义	字母符号	表示的含义
D	底层焊条	R	压力容器用焊条

续表 1-7

字母符号	表示的含义	字母符号	表示的含义
DF	低 尘	RH	高韧性潮低氢焊条
Fe	铁粉焊条	SL	渗铝钢焊条
Fe13	铁粉焊条,焊条熔敷效率 130%	X	向下立焊用焊条
Fe18	铁粉焊条,焊条熔敷效率 180%	XG	管子用向下立焊焊条
G	高韧性焊条	Z	重力焊条
GM	盖面焊条	Z15	重力焊条,焊条熔敷效率 150%
GR	高韧性压力容器用焊条	CuP	含 Cu 和 P 的抗大气腐蚀焊条
H	超低氢焊条	CrNi	含 Cr 和 Ni 的耐海水腐蚀焊条
LMA	低吸潮焊条	—	—

结构钢焊条牌号举例:



2) 低合金钢焊条型号和牌号

① 低合金钢焊条型号 根据 GB/T 5118—1995《低合金钢焊条》规定,低合金钢焊条型号按照熔敷金属的力学性能、化学成分、药皮类型、焊接位置及电流种类进行划分。低合金钢焊条型号及主要特征见表 1-8。

表 1-8 低合金钢焊条型号及主要特征

焊条型号	药皮类型	焊接位置	电流种类
E5500-X;E6000-X	特殊型	平、立、仰、横	交流或 直流正、反接
E5003-X;E5503-X	钛钙型	平、立、仰、横	交流或 直流正、反接
E5010-X;E5510-X; E6010-X;E7010-X	高纤维素 钠型	平、立、仰、横	直流反接
E5011-X;E5511-X; E6011-X;E7011-X	高纤维素 钾型	平、立、仰、横	交流或 直流反接
E5513-X;E6013-X;E7013-X	高钛钾型	平、立、仰、横	交流或 直流正、反接
E5015-X;E5515-X;E6015-X; E7015-X;E7515-X;E8015-X; E8515-X;E9015-X;E10015-X	低氢钠型	平、立、仰、横	直流反接
E5016-X;E5516-X;E6016-X; E7016-X;E7516-X;E8016-X; E8516-X;E9016-X;E10016-X	低氢钾型	平、立、仰、横	交流或 直流反接
E5018-X;E5518-X;E6018-X; E7018-X;E7518-X;E8018-X; E8518-X;E9018-X;E10018-X	铁粉低氢 钾型	平、立、仰、横	交流或 直流反接
E5020-X	高氧化 铁型	平、平角焊	交流或 直流正接
E5027-X	铁粉氧化 铁型	平、平角焊	交流或 直流正接

注：① 焊接位置栏：平—平焊、立—立焊、仰—仰焊、横—横焊、平角焊—水平角焊、立向下一向下立焊。

② 焊接位置栏中立和仰系指适用于立焊和仰焊的直径不大于 4.0mm 的 E××15-X、E××16-X 和 E5018-X 型及直径不大于 5.0mm 的其他型号焊条。

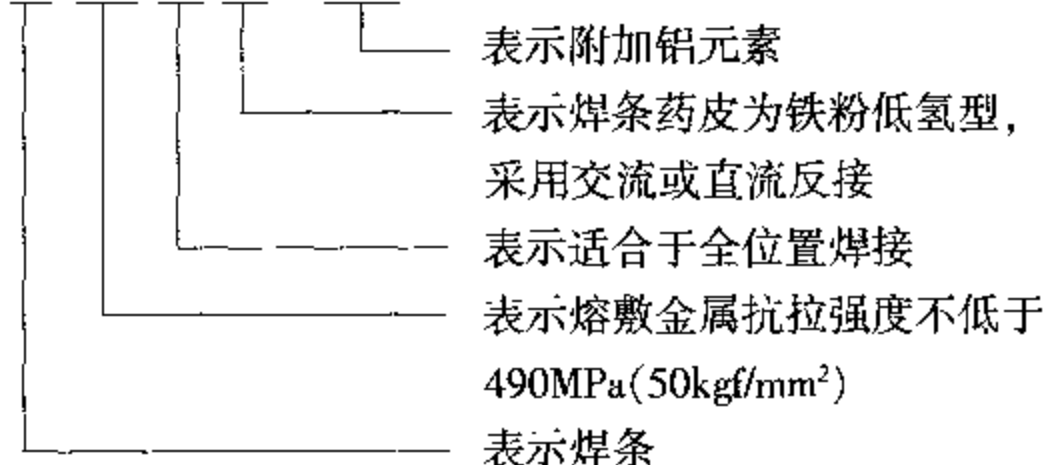
③ 后缀字母×代表熔敷金属化学成分分类代号,如 A1、B1、B2 等。

④ E50××系列焊条熔敷金属抗拉强度 $\geq 490\text{MPa}$, E55××系列焊条熔敷金属抗拉强度 $\geq 540\text{MPa}$, E60××系列焊条熔敷金属抗拉强度 $\geq 590\text{MPa}$, E70××系列焊条熔敷金属抗拉强度 $\geq 690\text{MPa}$, E75××系列焊条熔敷金属抗拉强度 $\geq 740\text{MPa}$, E80××系列焊条熔敷金属抗拉强度 $\geq 780\text{MPa}$, E85××系列焊条熔敷金属抗拉强度 $\geq 830\text{MPa}$, E90××系列焊条熔敷金属抗拉强度 $\geq 880\text{MPa}$, E100××系列焊条熔敷金属抗拉强度 $\geq 980\text{MPa}$ 。

低合金钢焊条型号的编制方法与碳钢焊条型号编制方法基本相同,低合金钢焊条型号编制方法为 E××××-×,如 E5016,“50”表示熔敷金属抗拉强度的最小值为 490MPa,“16”表示焊条药皮类型为低氢钾型,采用交流或直流反接;后缀字母为熔敷金属化学成分的分类代号,并以半字符“-”与前面数字分开。熔敷金属化学成分的具体规定参见 GB/T 5118—1995《低合金钢焊条》。如还有附加化学成分时,附加化学成分直接用元素符号表示,并以半字符“-”与前面后缀字母分开,如 E5018-A1、E5515-B3-VWB 等。对于 E50××-×、E55××-×、E60××-×低氢型焊条的熔敷金属化学成分分类后缀字母或附加化学成分后面加字母“R”时,表示耐吸潮焊条。

低合金焊条型号举例:

E 50 1 8 - A1



② 低合金高强钢焊条牌号 低合金高强钢焊条是指结构钢焊条中熔敷金属抗拉强度较高的部分焊条。低合金高强钢焊条牌号编制方法与结构钢焊条牌号编制方法相同,为 J×××,如 J857(结 857),“85”表示熔敷金属抗拉强度的最小值为 830MPa;“7”表示焊条药皮类型为低氢钠型,直流反接。

结构钢焊条牌号及其熔敷金属抗拉强度系列见表 1-5。焊条牌号的药皮类型及焊接电流类型见表 1-6。数字后面的字母表示焊条的特殊用途和性能见表 1-7。药皮中铁粉含量约为 30%或熔敷效率 105%以上,在牌号末尾加注“Fe”字及两位数字(以效率的 1/10 表示)。有特殊性能和用途的结构钢焊条,在牌号后面加注起主要作用的元素或主要用途的拼音字母(一般不超过两个),如 J507MoV、J507CuP、J506GM 等。

③ 钼和铬钼耐热钢焊条牌号 钼和铬钼耐热钢焊条是指熔敷金属化学成分含有一定的钼或铬钼元素,熔敷金属在高温下具有较好的力学性能,一般用于焊接高温环境使用的耐热钢结构。钼和铬钼耐热钢焊条牌号编制方法为 R×××,如 R347(热 347)。其中字母“R”(汉字“热”汉语拼音的第一个字母)表示钼和铬钼耐热钢焊条;R 后面的第一位×表示熔敷金属主要化学成分等级,见表 1-9;第二位×表示同一熔敷金属类型主要化学成分组成等级中的不同牌号,对于同一药皮类型的焊条,可以有十个序号,按 0、1、2、3……9 顺序编排;第三位×表示药皮类型和焊接电流种类,见表 1-6。

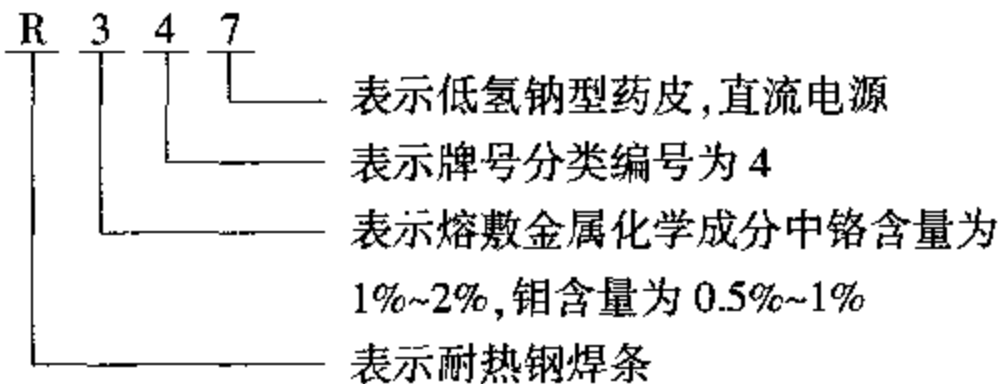
表 1-9 钼和铬钼耐热钢焊条熔敷金属主要化学成分等级

焊条牌号	熔敷金属主要化学成分组成(质量分数)
R1××	含 Mo 量约为 0.5%
R2××	含 Cr 量约为 0.5%,含 Mo 量约为 0.5%
R3××	含 Cr 量为 1%~2%,含 Mo 量为 0.5%~1%

续表 1-9

焊条牌号	熔敷金属主要化学成分组成(质量分数)
R4××	含 Cr 量约为 2.5%, 含 Mo 量约为 1%
R5××	含 Cr 量约为 5%, 含 Mo 量约为 0.5%
R6××	含 Cr 量约为 7%, 含 Mo 量约为 1%
R7××	含 Cr 量约为 9%, 含 Mo 量约为 1%
R8××	含 Cr 量约为 11%, 含 Mo 量约为 1%

钼和铬钼耐热钢焊条牌号举例:



④ 低温钢焊条牌号 低温钢焊条用于焊接低温环境使用的结构。低温钢焊条牌号编制方法为 W×××, 如 W707(温 707)。其中字母“W”(汉字“温”汉语拼音的第一个字母)表示低温钢焊条; 前两位××表示低温钢焊条工作温度等级, 见表 1-10; 第三位×表示药皮类型和焊接电流种类, 见表 1-6。

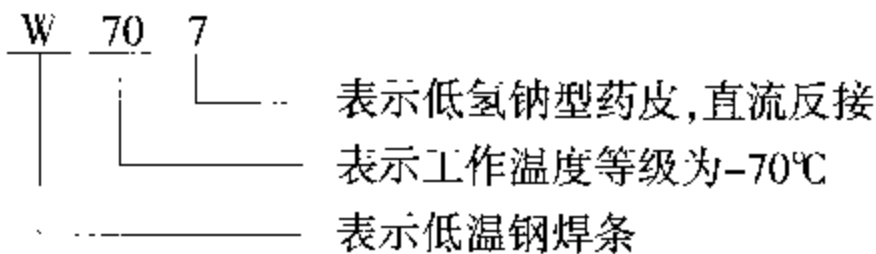
表 1-10 低温钢焊条工作温度等级

焊条牌号	工作温度(℃)
W70×	-70
W90×	-90
W10×	-100

续表 1-10

焊条牌号	工作温度(℃)
W19X	-196
W25X	-253

低温钢焊条牌号举例:



3) 不锈钢焊条型号和牌号

① 不锈钢焊条型号 根据 GB/T 983—1995《不锈钢焊条》规定,不锈钢焊条型号按照熔敷金属的化学成分、药皮类型、焊接位置及焊接电流种类进行划分。

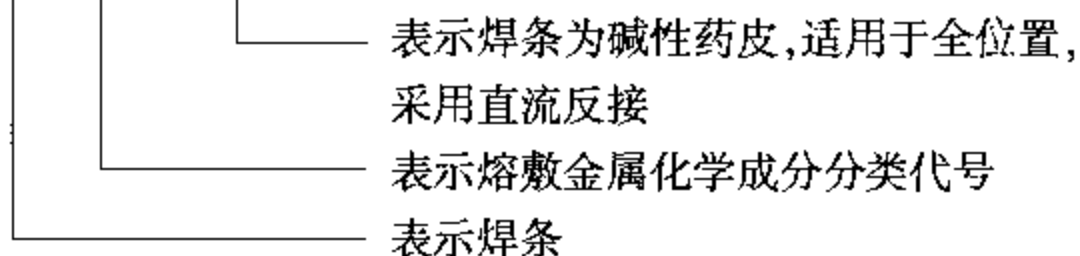
不锈钢焊条型号编制方法为 E×××-××,如 E308-15。其中字母“E”表示焊条;“E”后面前三位×××表示熔敷金属化学成分分类代号,具体内容见 GB/T 983—1995《不锈钢焊条》,有特殊要求的化学成分,该化学成分用元素符号表示放在数字的后面;半字符“-”后面的两位××(15、16、17、25、26)表示焊条药皮类型、焊接位置及焊接电流种类,见表 1-11。

表 1-11 不锈钢焊条药皮类型及焊接电流种类

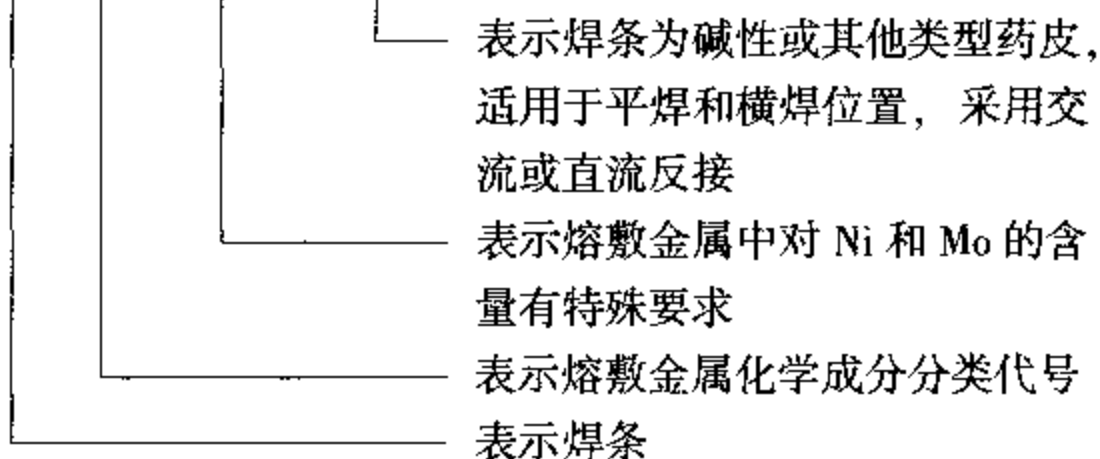
焊条型号	焊接电流种类	焊接位置
E×××(×)-15	直流反接	全位置
E×××(×)-25		平焊、横焊
E×××(×)-16	交流或直流反接	全位置
E×××(×)-17		全位置
E×××(×)-26		平焊、横焊

不锈钢焊条型号举例：

E 308 - 15



E 410 NiMo - 26

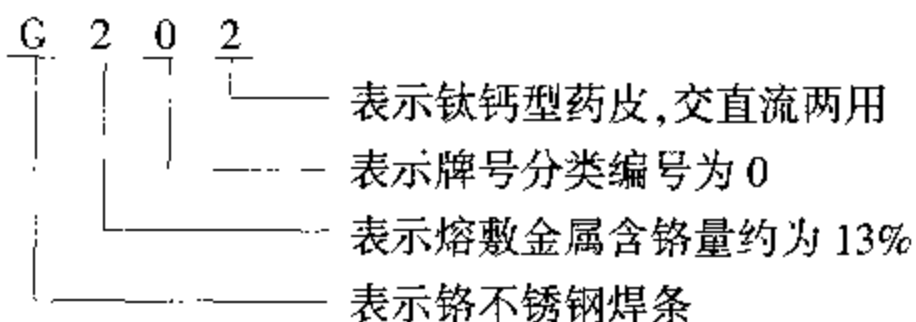


② 不锈钢焊条牌号 不锈钢焊条牌号编制方法为 G×××, 如 G202 (铬 202); 或 A×××, 如 A022 (奥 022)。其中字母“G”(汉字“铬”汉语拼音的第一个字母)、“A”(汉字“奥”汉语拼音的第一个字母) 分别表示铬不锈钢焊条和奥氏体铬镍不锈钢焊条; G 或 A 后面的第一位×表示熔敷金属主要化学成分组成等级, 见表 1-12; 第二位×表示同一熔敷金属主要化学成分组成等级中的不同牌号, 同一药皮类型焊条可以有十个牌号, 按 0、1、2、3……9 顺序编排, 以区别铬镍之外的其他成分; 第三位×表示药皮类型和焊接电流种类, 见表 1-6。

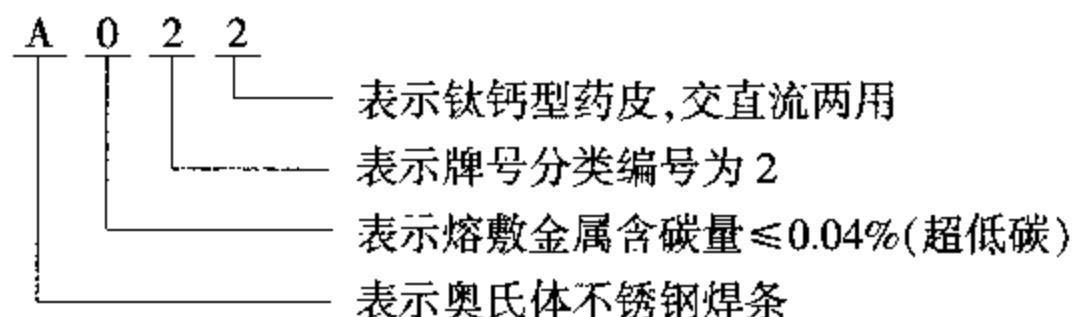
表 1-12 不锈钢熔敷金属主要化学成分组成等级

焊条牌号	熔敷金属主要化学成分组成(质量分数)
G2XX	含 Cr 量约为 13%
G3XX	含 Cr 量约为 17%
A0XX	含 C 量 ≤ 0.04%(超低碳)
A1XX	含 Cr 量约为 19%, 含 Ni 量约为 10%
A2XX	含 Cr 量约为 18%, 含 Ni 量约为 12%
A3XX	含 Cr 量约为 23%, 含 Ni 量约为 13%
A4XX	含 Cr 量约为 26%, 含 Ni 量约为 21%
A5XX	含 Cr 量约 16%, 含 Ni 量约为 25%
A6XX	含 Cr 量约 16%, 含 Mo 量约为 35%
A7XX	铬锰氮不锈钢
A8XX	含 Cr 量约为 18%, 含 Ni 量约为 18%
A9XX	待发展

铬不锈钢焊条牌号举例:



奥氏体不锈钢焊条牌号举例：



4) 堆焊焊条型号和牌号

① 堆焊焊条型号 根据 GB 984—1985《堆焊焊条》标准规定，堆焊焊条型号按照熔敷金属化学成分及药皮类型进行划分。

堆焊焊条型号编制方法为 EDXX-XX，如 EDPCrMo-A1-03。其中型号的第一位字母“E”表示焊条；第二位字母“D”表示堆焊焊条；ED后面的两位XX表示焊条特点，用拼音字母或化学元素符号表示堆焊焊条的型号分类，见表1-13；半字符“-”后面的两位XX表示焊条药皮类型及焊接电源种类，见表1-14。如在同一基本型号内有几个分型号时，可以用字母A、B、C……等标识；如再仔细分可加注下脚数字1、2、3……，如A1、A2等，此时再用半字符“-”与前面的符号分开。

表 1-13 堆焊焊条的型号分类

型号分类	熔敷金属化学成分组成类型
EDPXX-XX	普通低中合金钢
EDRXX-XX	热强合金钢
EDCrXX-XX	高铬钢
EDMnXX-XX	高锰钢
EDCrMnXX-XX	高铬锰钢
EDDXX-XX	高速刀具钢

续表 1-13

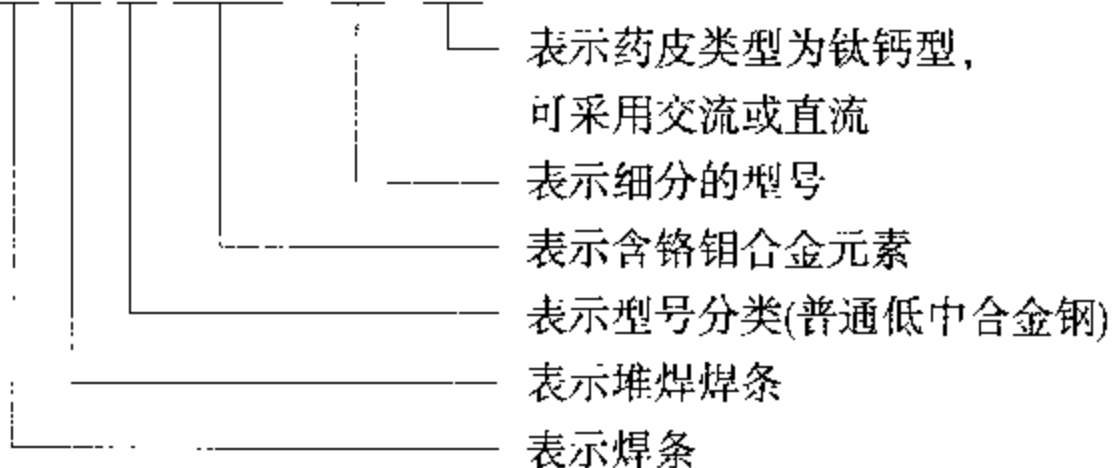
型号分类	熔敷金属化学成分组成类型
EDZ××-××	合金铸铁
EDZCr××-××	高铬铸铁
EDCoCr××-××	钴基合金
EDW××-××	碳化钨
EDT××-××	特殊型

表 1-14 堆焊焊条药皮类型及焊接电流种类

焊条型号	药皮类型	焊接电流种类
ED××-00	特殊型	交流或直流
ED××-03	钛钙型	交流或直流
ED××-15	低氢钠型	直流反接
ED××-16	低氢钾型	交流或直流
ED××-08	石墨型	交流或直流

堆焊焊条型号举例：

E D P CrMo - A₁ - 03



② 堆焊焊条牌号 堆焊焊条牌号编制方法为 D×××，如 D256（堆 256）。其中字母“D”（汉字“堆”汉语拼音的第一个字母）表示堆焊焊条；D 后面的两位××表示堆焊焊条的用途、组织和熔敷金属的主要成分类型，见表 1-15；第三位×表示药皮类型和焊接电流种类，见表 1-6。

表 1-15 堆焊焊条的用途、组织和熔敷金属的主要成分类型

焊条牌号	用途、组织和熔敷金属的主要成分类型
D00× ~ D09×	不规定
D10× ~ D24×	不同硬度的常温堆焊焊条
D25× ~ D29×	常温高锰钢堆焊焊条
D30× ~ D49×	刀具工具有堆焊焊条
D50× ~ D59×	阀门堆焊焊条
D60× ~ D69×	合金铸铁堆焊焊条
D70× ~ D79×	碳化钨堆焊焊条
D80× ~ D89×	钴基合金堆焊焊条
D90× ~ D99×	待发展的堆焊焊条

堆焊焊条牌号举例：

D 25 6

表示低氢钾型药皮，交直流两用
 表示常温高锰钢堆焊焊条
 表示堆焊焊条

5) 铸铁焊条型号和牌号

① 铸铁焊条型号 根据 GB 10044—1988《铸铁焊条及焊丝》标准规定，铸铁焊条型号根据熔敷金属的化学成分及用途划分。

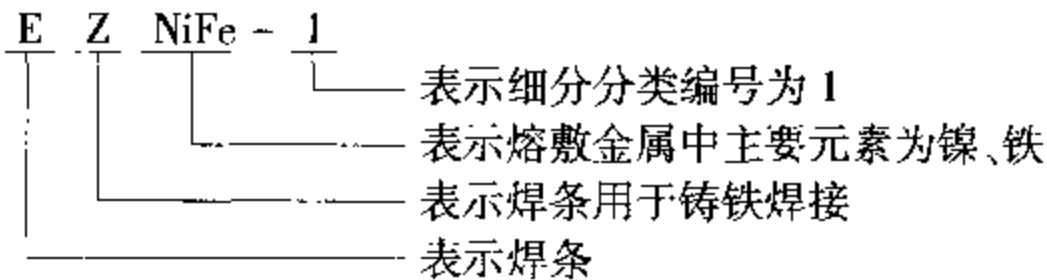
铸铁焊条型号编制方法为 EZ××-×，如 EZNiFe-1。其中字

母“E”表示焊条;“Z”表示用于铸铁焊接;在“EZ”后面的××(若干个字母)表示熔敷金属主要化学元素符号或金属类型代号,见表1-16;半字符“-”后面的×表示细分用数字。

表 1-16 铸铁焊条金属类型及型号

类别	名称	型号
铁基焊条	灰铸铁焊条	EZC
	球墨铸铁焊条	EZCQ
镍基焊条	纯镍铸铁焊条	EZNi
	镍铁铸铁焊条	EZNiFe
	镍铜铸铁焊条	EZNiCu
	镍铁铜铸铁焊条	EZNiFeCu
其他焊条	纯铁及碳钢焊条	EZFe
	高钒焊条	EZV

铸铁焊条型号举例:

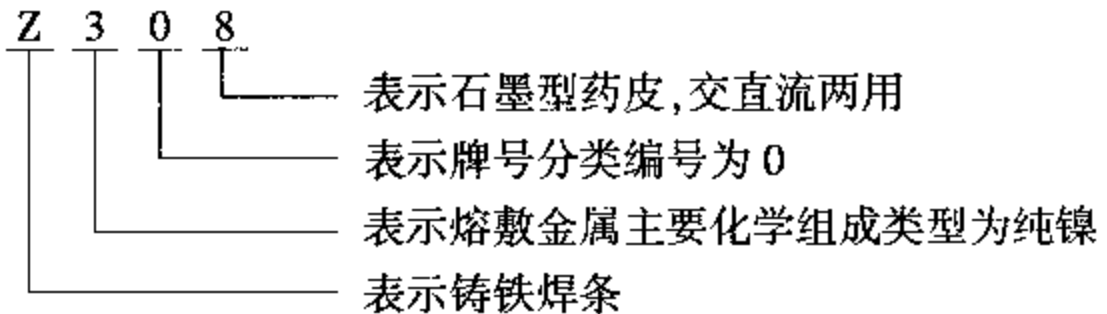


② 铸铁焊条牌号 铸铁焊条牌号编制方法为 Z×××, 如 Z308 (铸 308)。其中字母“Z”(汉字“铸”汉语拼音的第一个字母)表示铸铁焊条;第一位×表示熔敷金属主要化学成分组成,见表1-17;第二位×表示同一熔敷金属主要化学组成类型中的不同序号,同一成分组成类型焊条可以有 10 个牌号,按 0、1、2……9 顺序编排;第三位×表示药皮类型和焊接电流种类,见表 1-6。

表 1-17 铸铁焊条熔敷金属主要化学成分组成类型

焊条牌号	熔敷金属主要化学成分组成类型
Z1××	碳钢或高钒钢
Z2××	铸铁(包括球墨铸铁)
Z3××	纯 镍
Z4××	镍铁合金
Z5××	镍铜合金
Z6××	铜铁合金
Z7××	待 发 展

铸铁焊条牌号举例:



6) 镍及镍合金焊条型号和牌号

① 镍及镍合金焊条型号 根据 GB/T 13814—1992《镍及镍合金焊条》标准规定, 镍及镍合金焊条型号根据熔敷金属化学成分、药皮类型及电流种类划分, 见表 1-18。

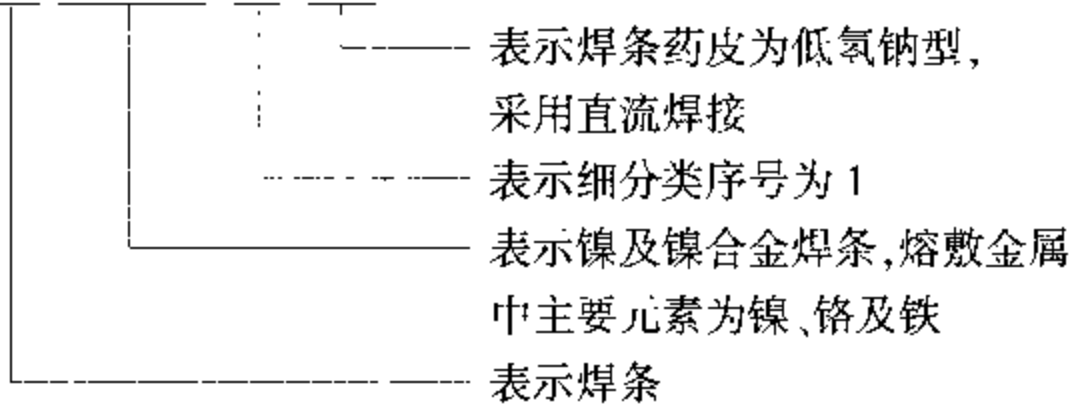
镍及镍合金焊条型号编制方法为 ENi××-×-×, 如 ENiCrFe-1-15。其中字母“E”表示焊条; “Ni”表示镍及镍合金焊条; 在“ENi”后面的几个×(若干个字母)表示熔敷金属主要化学元素符号或金属类型代号; 半字符“-”后面×表示细分用数字; 最后一位×表示药皮类型和焊接电流种类, 见表 1-6。

表 1-18 镍及镍合金焊条熔敷金属化学成分、药皮类型

焊条型号	药皮类型	电流种类
ENi-0; ENi-1	钛钙型药皮	交流
	低氢钠碱性药皮	直流
	低氢钾碱性药皮	交流或直流
ENiCu-7; ENiCrFe-0; ENiCrFe-1; ENiCrFe-2; ENiCrFe-3; ENiCrFe-4; ENiMo-1; ENiMo-3; ENiMo-7; ENiCrMo-0; ENiCrMo-1; ENiCrMo-2; ENiCrMo-3; ENiCrMo-4; ENiCrMo-5; NiCrMo-6; ENiCrMo-7; ENiCrMo-8; ENiCrMo-9	低氢钠碱性药皮	直流
	低氢钾碱性药皮	交流或直流

镍及镍合金焊条型号举例：

E NiCrFe - 1 - 15

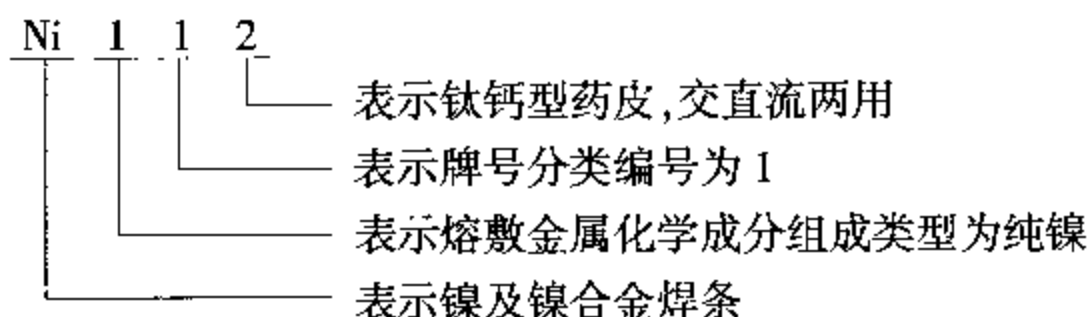


② 镍及镍合金焊条牌号 镍及镍合金焊条牌号编制方法为 Ni×××，如 Ni112（镍 112）。其中字母“Ni”（英文“镍”元素的表示符号）表示镍及镍合金焊条；Ni 后面的第一位×表示熔敷金属化学成分组成类型，见表 1-19；第二位×表示同一熔敷金属主要化学组成类型中的不同序号，同一成分组成类型焊条可以有 10 个牌号，按 0、1、2……9 顺序编排；第三位×表示药皮类型和焊接电流种类，见表 1-6。

表 1-19 镍及镍合金焊条熔敷金属主要化学成分组成类型

焊条牌号	熔敷金属主要化学成分组成类型
Ni1××	纯 镍
Ni2××	镍铜合金
Ni3××	因科镍合金
Ni4××	待 发 展

镍及镍合金焊条牌号举例：



7) 铜及铜合金焊条型号和牌号

① 铜及铜合金焊条型号 根据 GB/T 3670—1995 《铜及铜合金焊条》标准规定, 铜及铜合金焊条的类型根据熔敷金属的化学成分划分, 见表 1-20。

铜及铜合金焊条型号编制方法为 ECu××, 如 ECuAl。其中字母“E”表示焊条; 字母“Cu”表示铜及铜合金焊条; 后面的××表示熔敷金属主要化学元素符号或金属类型代号。

表 1-20 铜及铜合金焊条型号及熔敷金属主要化学成分组成类型

焊条型号	熔敷金属主要化学成分组成类型
ECu	Cu ≥ 99%
ECuSi	含 Si 约 3% 的硅青铜
ECuSnA	含 Sn 约 6% 的磷青铜

续表 1-20

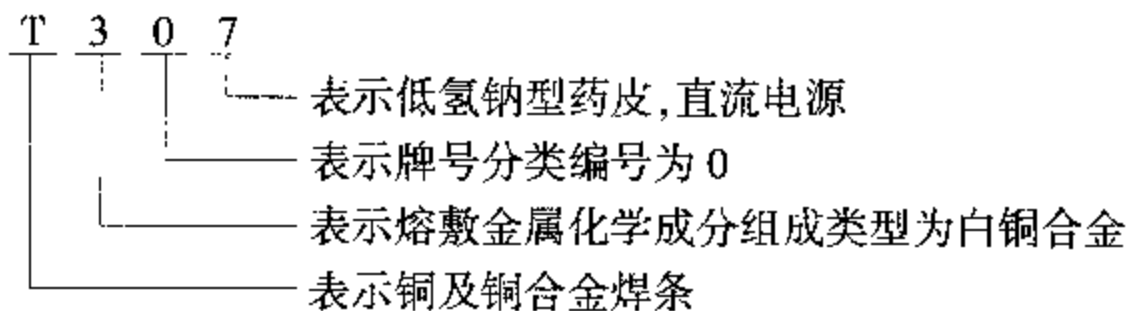
焊条型号	熔敷金属主要化学成分组成类型
ECuSnB	含 Sn 约 8% 的磷青铜
ECuAl	含 Al 约 8% 的铝青铜
ECuMnAl	含 Al 约 6%、含 Mn 约 10% 的铝青铜

② 铜及铜合金焊条牌号 铜及铜合金焊条牌号编制方法为 T×××，如 T307（铜 307）。其中字母“T”（汉字“铜”汉语拼音的第一个字母）表示铜及铜合金焊条；T 后面的第一位×表示熔敷金属化学成分组成类型，见表 1-21；第二位×表示同一熔敷金属主要化学组成类型中的不同序号，同一成分组成类型焊条可以有 10 个牌号，按 0、1、2……9 顺序编排；第三位×表示药皮类型和焊接电流种类，见表 1-6。

表 1-21 铜及铜合金焊条熔敷金属主要化学成分组成类型

焊条牌号	熔敷金属主要化学成分组成类型
T1××	纯 铜
T2××	青铜合金
T3××	白铜合金
T4××	待 发 展

铜及铜合金焊条牌号举例：



8) 铝及铝合金焊条型号和牌号

① 铝及铝合金焊条型号 根据 GB 3670—1983《铝及铝合金焊条》标准规定,铝及铝合金焊条型号根据焊态的焊缝力学性能及焊芯的化学成分划分,见表 1-22。

铝及铝合金焊条型号编制方法为 TAlX, 如 TAlSi。其中字母“T”表示特殊焊条;字母“Al”表示铝及铝合金焊条;后面的X表示熔敷金属主要化学元素符号或金属类型代号。

表 1-22 铝及铝合金焊条型号的划分

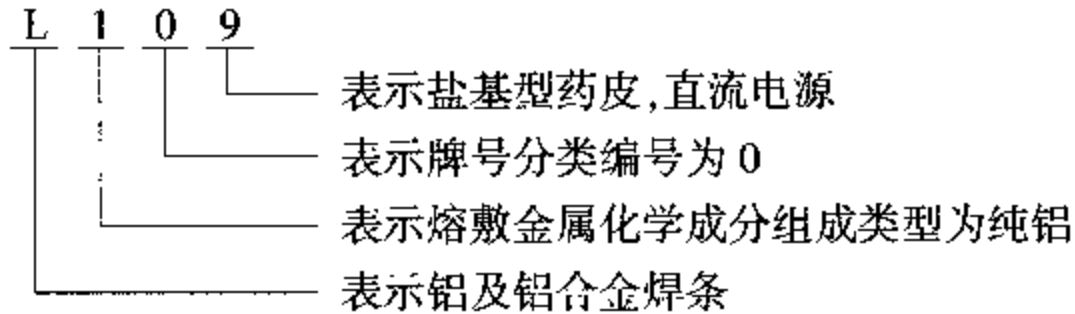
型 号	焊芯化学组成类型	端部颜色
TAl	Al \geq 99.5%	白
TAlSi	含 Si 约 5%的铝硅合金	黄
TAlMn	含 Mn1.0% ~ 1.5%的铝锰合金	蓝

② 铝及铝合金焊条牌号 铝及铝合金焊条牌号编制方法为 LXXX, 如 L109 (铝 109)。其中字母“L” (汉字“铝”汉语拼音的第一个字母) 表示铝及铝合金焊条;L 后面的第一位X表示熔敷金属化学成分组成类型, 见表 1-23; 第二位X表示同一熔敷金属主要化学组成类型中的不同序号, 同一成分组成类型焊条可以有 10 个牌号, 按 0、1、2……9 顺序编排; 第三位X表示药皮类型和焊接电流种类, 见表 1-6。

表 1-23 铝及铝合金焊条熔敷金属主要化学成分组成类型

焊 条 牌 号	熔敷金属主要化学成分组成类型
L1XX	纯 铝
L2XX	铝硅合金
L3XX	铝锰合金
L4XX	待 发 展

铝及铝合金焊条牌号举例：



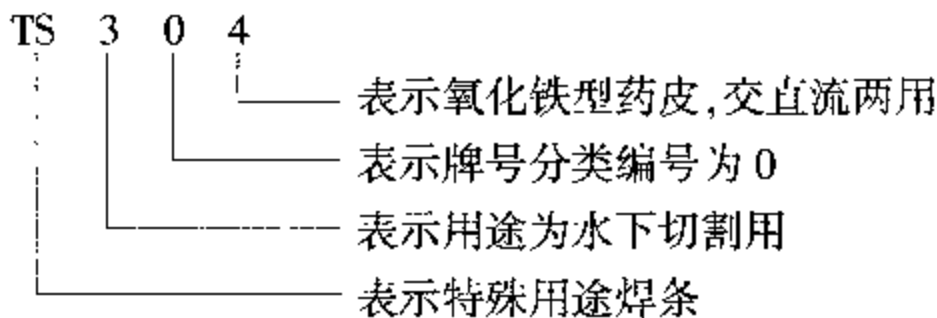
9) 特殊用途焊条牌号

特殊用途焊条牌号编制方法为 TS×××, 如 TS304(特 304)。其中字母“TS”(汉字“特殊”汉语拼音的第一个字母)表示特殊用途焊条; TS 后面的第一位×表示焊条的用途, 见表 1-24; 第二位×表示同一用途焊条的不同牌号, 对同一类型的焊条, 可以有 10 个牌号, 按 0、1、2……9 顺序编排; 第三位×表示药皮类型和焊接电流种类, 见表 1-6。

表 1-24 特殊用途焊条的用途

焊条牌号	用 途
TS2××	水下焊接用
TS3××	水下切割用
TS4××	铸铁件焊补前开坡口用
TS5××	电渣焊用管状焊条
TS6××	铁锰铝焊条
TS7××	高硫堆焊条

特殊用途焊条牌号举例：



2. 焊丝的分类和标记

随着气体保护焊、埋弧自动焊、自保护焊等各种自动焊接技术的迅速发展,焊丝的产量和品种增长很快,尤其以气体保护焊实芯焊丝和药芯焊丝的发展速度最快,使用量也逐年扩大。目前我国自动焊接技术应用的比例,以及焊丝的使用量远低于工业发达国家,但是,随着焊接技术的发展、制造水平的提高,我国将逐步缩小与工业发达国家的差距。

(1) 焊丝的分类

焊丝的分类方法很多,可分别根据使用的焊接方法、母材材料类型、制造方法与焊丝的形状等从不同角度对焊丝进行分类。

1) 根据使用的焊接方法,可分为气保护焊焊丝、埋弧自动焊焊丝、电渣焊焊丝、堆焊焊丝、气焊焊丝等。

2) 根据焊接材料化学成分类型的不同,可分为碳钢焊丝、低合金钢焊丝、不锈钢焊丝、铸铁焊丝和有色金属焊丝等。

3) 根据制造方法与焊丝的形状,可分为实芯焊丝和药芯焊丝。其中药芯焊丝又可分为有缝药芯焊丝和无缝药芯焊丝两种,也可分为气体保护和自保护焊丝两种。

目前较常用的是根据制造方法和使用的焊接方法进行分类,焊丝的分类见图 1-1。

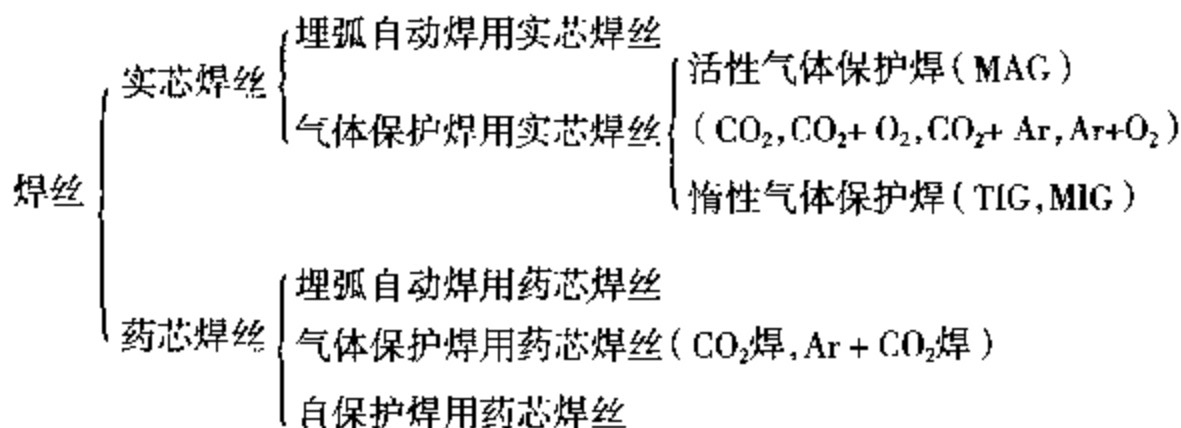


图 1-1 焊丝分类示意图

(2) 焊丝的型号和牌号

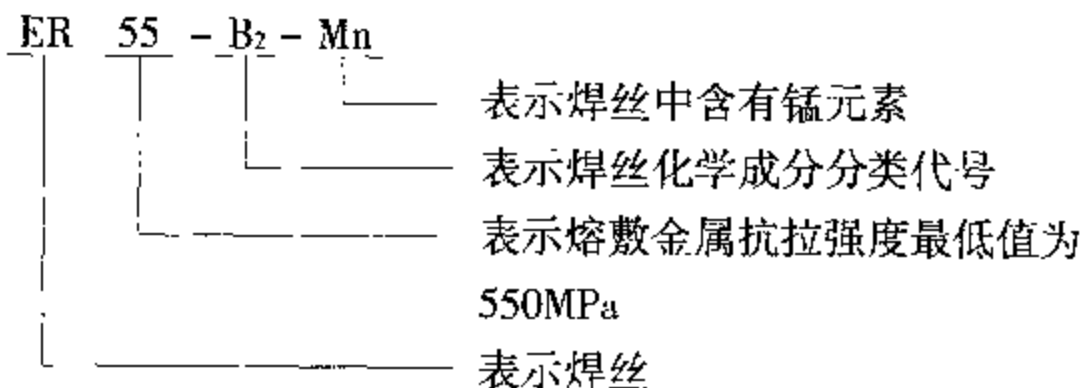
我国现行的焊丝国家标准有 GB/T 8110—1995《气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝》、GB/T 14957—1994《熔化焊用钢丝》、GB/T 14958—1994《气体保护焊用钢丝》、GB 4241—1984《焊接用不锈钢盘条》、GB 4242—1984《焊接用不锈钢丝》、GB/T 17854—1999《埋弧焊用不锈钢焊丝及焊剂》、GB 10044—1988《铸铁焊条和焊丝》、GB/T 10045—2001《碳钢药芯焊丝》、GB/T 17493—1998《低合金钢药芯焊丝》、GB/T 17853—1999《不锈钢药芯焊丝》、GB 9460—1988《铜及铜合金焊丝》、GB 10858—1989《铝及铝合金焊丝》、GB/T 15620—1995《镍及镍合金焊丝》等。

1) 实芯焊丝的型号和牌号

① 气体保护焊用碳钢、低合金钢焊丝型号 根据 GB/T 8110—1995《气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝》标准规定,气体保护焊用碳钢、低合金钢焊丝按化学成分和熔敷金属的力学性能分类。

焊丝型号的表示方法为 ER××-×,其中字母“ER”表示焊丝;ER后面的两位××表示熔敷金属的抗拉强度最低值;半字符“-”后面的×(字母或数字)表示焊丝化学成分分类代号,具体内容见 GB/T 8110—1995《气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝》。如还附加其他化学元素时,直接用元素符号表示,并以半字符“-”与前面数字分开。

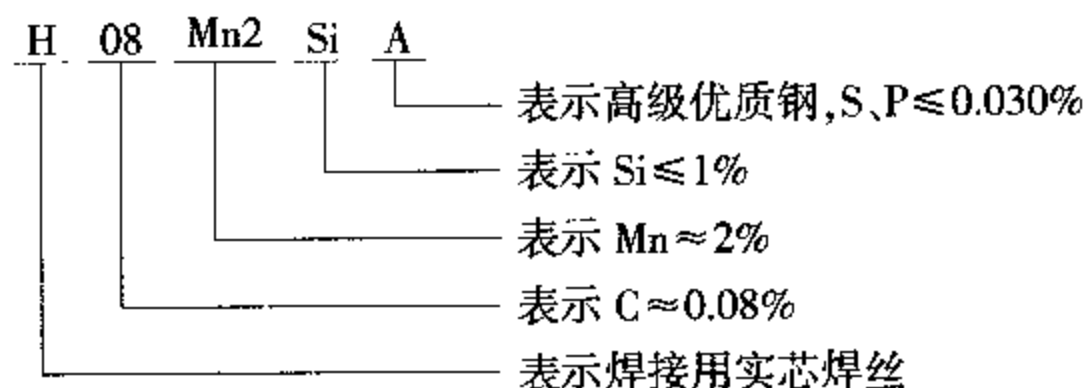
实芯焊丝型号举例:



② 实芯焊丝牌号 根据 GB/T 14957-1994《熔化焊用钢丝》和 GB/T 14958-1994《气体保护焊用钢丝》标准规定,其分类按实芯焊丝化学成分分类。

实芯焊丝牌号的表示方法为 H××××,其中字母“H”表示焊接用实芯焊丝;H 后面的一位或两位数字表示含碳量;再后面的字母或数字表示其他合金元素及其含量,与钢材的表示方法大致相同;牌号尾部的×有时分别是“A”或“E”,“A”表示硫、磷含量要求低的优质钢焊丝,“E”表示硫、磷含量要求特别低的特优质钢焊丝。

实芯焊丝牌号举例:



2) 埋弧焊用不锈钢焊丝

根据 YB/T 5092—1996《焊接用不锈钢丝》标准规定,不锈钢焊丝按焊丝化学成分分类。

埋弧焊用不锈钢焊丝牌号的表示方法为 H×××,其中字母“H”表示焊接用焊丝;H 后面的一位或两位数字表示含碳量;再后面的字母或数字表示其他合金元素及其含量,与钢材的表示方法大致相同,如 H00Cr21Ni10。

3) 铸铁焊丝型号

根据 GB 10044—1988《铸铁焊条及焊丝》标准规定,铸铁焊丝型号根据焊丝的化学成分及用途划分。

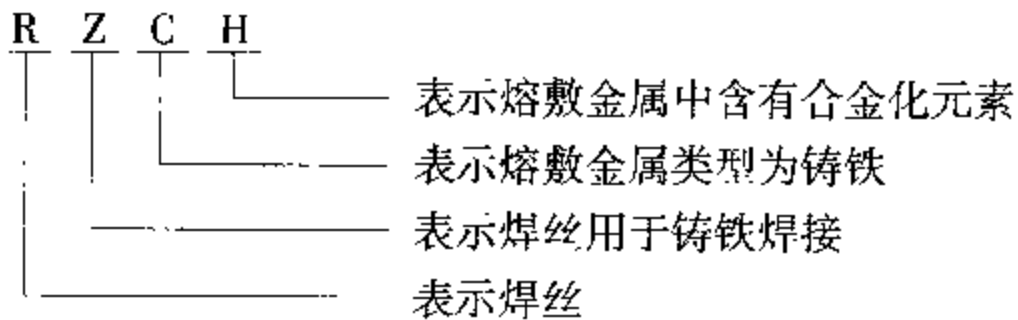
铸铁焊丝型号编制方法为 RZ××-×,如 RZCH。其中字母“R”表示焊丝;“Z”表示用于铸铁焊接;在“RZ”后面的××

(若干个字母)表示焊丝主要化学元素符号或金属类型代号,见表1-25;半字符“-”后面的×表示细分用数字。

表 1-25 铸铁焊丝金属类型及型号

类 型	型 号
灰铸铁焊丝	RZC
合金铸铁焊丝	RZCH
球墨铸铁焊丝	RZCQ

铸铁焊丝型号举例:

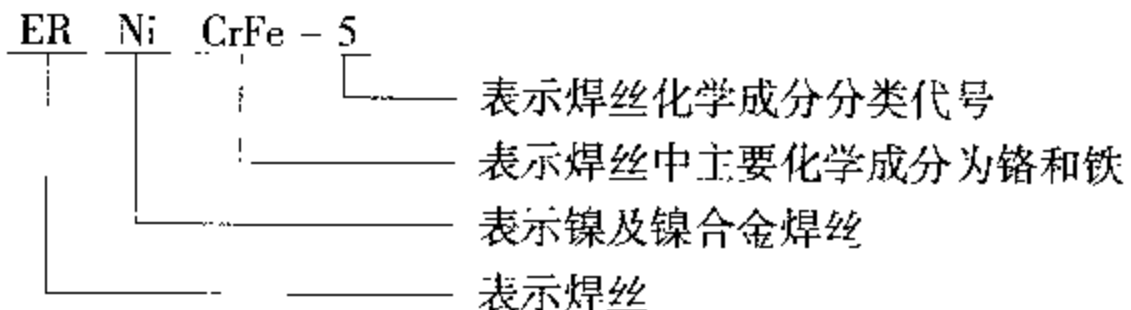


4) 镍及镍合金焊丝

根据 GB/T 15620—1995《镍及镍合金焊丝》标准规定,镍及镍合金焊丝型号根据焊丝的化学成分划分。

镍及镍合金焊丝型号的编制方法为 ERNi××-×,如 ERNiCrFe-5。其中字母“ER”表示焊丝;“Ni”表示为镍及镍合金焊丝;在“ERNi”后面的××(若干个字母)表示焊丝中的其他主要合金元素;半字符“-”后面的×表示焊丝化学成分分类代号。

镍及镍合金焊丝型号举例:



5) 铝及铝合金焊丝

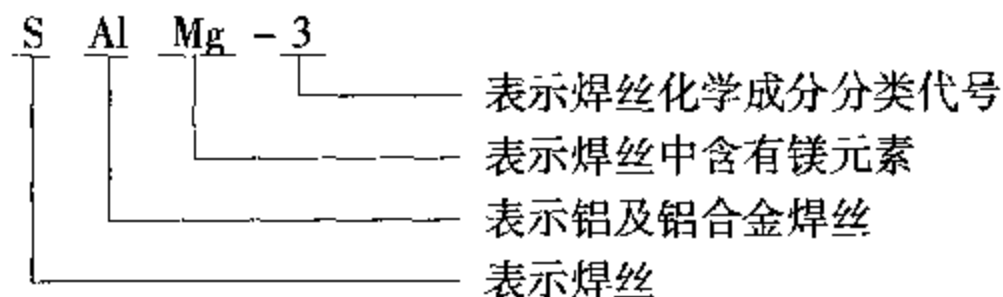
根据 GB 10858—1989《铝及铝合金焊丝》标准规定,铝及铝合金焊丝型号根据焊丝的化学成分划分。

铝及铝合金焊丝型号编制方法为 SAlX-X,如 SAlMg-3。其中字母“S”为汉字“丝”的汉语拼音第一个字母,表示焊丝;“Al”表示铝及铝合金焊丝;在“SAl”后面的X(若干个字母)表示焊丝的主要合金组成,铝及铝合金焊丝的分类及型号见表 1-26;半字符“-”后面的X表示同类焊丝的不同品种。

表 1-26 铝及铝合金焊丝的分类及型号

类 别	型 号
纯 铝	SAl-1
	SAl-2
	SAl-3
铝镁合金	SAlMg-1
	SAlMg-2
	SAlMg-3
	SAlMg-5
铝铜合金	SAlCu
铝锰合金	SAlMn
铝硅合金	SAlSi-1
	SAlSi-2

铝及铝合金焊丝型号举例:



6) 铜及铜合金焊丝

根据 GB 9460—1988《铜及铜合金焊丝》标准规定,铜及铜合金焊丝牌号根据焊丝的化学成分划分。

铜及铜合金焊丝牌号编制方法为 HSCuX-X,如 HSCuZn-1。其中字母“HS”分别为汉字“焊丝”汉语拼音的第一个字母,表示焊丝;“Cu”表示铜及铜合金焊丝;在“HSCu”后面的X(若干个字母)表示焊丝的主要合金组成,铜及铜合金焊丝的分类及牌号见表 1-27;半字符“-”后面的X表示同类焊丝的不同品种。

表 1-27 铜及铜合金焊丝的分类及牌号

类别	名称	牌 号
铜	紫铜丝	HSCu
黄 铜	1号黄铜丝	HSCuZn-1
	2号黄铜丝	HSCuZn-2
	3号黄铜丝	HSCuZn-3
	4号黄铜丝	HSCuZn-4
白 铜	锌白铜丝	HSCuZnNi
	白铜丝	HSCuNi
青 铜	硅青铜丝	HSCuSi
	锡青铜丝	HSCuSn
	铝青铜丝	HSCuAl
	镍铝青铜丝	HSCuAlNi

7) 碳钢药芯焊丝型号和牌号

① 碳钢药芯焊丝型号 根据 GB/T 10045—2001《碳钢药芯焊丝》的规定,碳钢药芯焊丝型号分类的依据是熔敷金属的力学性

能、焊接位置、保护类型、电流类型、渣系特点等。

碳钢药芯焊丝型号的表示方法为 $E \times \times \times T - \times ML$ ，如 $E501T-1ML$ 。其中字母“E”表示焊丝；字母“T”表示药芯焊丝；字母“E”后面的 $\times \times$ （前两位数字）表示熔敷金属的力学性能，见表 1-28；第三位 \times 表示适用的焊接位置，“0”表示用于平焊和横焊，“1”表示用于全位置焊；半字符“-”后的 \times （第四位数字）表示焊丝的类别特点，见表 1-29；字母“M”表示保护气体为（75% ~ 80%） $Ar + CO_2$ ，当无字母“M”时，表示保护气体为 CO_2 或为自保护类型；字母“L”表示焊丝熔敷金属的冲击性能在 $-40^\circ C$ 时，其 V 型缺口冲击功不小于 27J，当无字母“L”时，表示焊丝熔敷金属的冲击性能符合一般要求。其力学性能见表 1-28。

表 1-28 碳钢药芯焊丝熔敷金属的力学性能

型 号	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	V型缺口冲击功	
				试验温度 ($^\circ C$)	A_{KV} (J)
$E50 \times T-1^{①}$; $E50 \times T-1M^{①}$	≥ 480	≥ 400	≥ 22	-20	≥ 27
$E50 \times T-2$; $E50 \times T-2M^{②}$; $E50 \times T-3^{②}$	≥ 480	—	—	—	—
$E50 \times T-4$	≥ 480	≥ 400	≥ 22	—	—
$E50 \times T-5^{①}$; $E50 \times T-5M$ ① ; $E50 \times T-6^{①}$	≥ 480	≥ 400	≥ 22	-30	≥ 27
$E50 \times T-7$	≥ 480	≥ 400	≥ 22	—	—
$E50 \times T-8^{①}$; $E50 \times T-9^{①}$; $E50 \times T-9M^{①}$	≥ 480	≥ 400	≥ 22	-30	≥ 27
$E50 \times T-10^{②}$	≥ 480	—	—	—	—
$E50 \times T-11$	≥ 480	≥ 400	≥ 22	—	—

续表 1-28

型 号	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	V型缺口冲击功	
				试验温度 (°C)	A_{KV} (J)
E50×T-12 ^① ; E50×T-12 M ^①	480~620	≥400	≥22	-30	≥27
E43×T-13 ^②	≥415	—	—	—	—
E50×T-13 ^② ; E50×T-14 ^②	≥480	—	—	—	—
E43×T-G	≥415	≥330	≥22	—	—
E50×T-G	≥480	≥400	≥22	—	—
E43×T-GS ^②	≥415	—	—	—	—
E50×T-GS ^②	≥480	—	—	—	—

注：① 此类焊丝的型号中可能带有字母“L”，其熔敷金属的冲击性能在-40℃时，V型缺口冲击功不小于27J，如E50×T-1L、E50×T-1ML、E50×T-5L、E50×T-5ML、E50×T-6L、E50×T-8L、E50×T-9L、E50×T-9ML、E50×T-12L、E50×T-12ML。

② 此类焊丝主要用于单道焊接而不用于多道焊接，因此只规定了抗拉强度。

表 1-29 碳钢药芯焊丝类别特点

型 号	焊接位置 ^①	外加保护气 ^②	极性 ^③	适用性 ^④
E500T-1	H;F	CO ₂	DCEP	M
E500T-1M	H;F	(75%~80%)Ar + CO ₂	DCEP	M
E501T-1	H;F;VU;OH	CO ₂	DCEP	M
E501T-1M	H;F;VU;OH	(75%~80%)Ar + CO ₂	DCEP	M
E500T-2	H;F	CO ₂	DCEP	S

续表 1-29

型 号	焊接位置 ^①	外加保护气 ^②	极性 ^③	适用性 ^④
E501T-2M	H;F	(75% ~ 80%)Ar + CO ₂	DCEP	S
E501T-2	H;F;VU;OH	CO ₂	DCEP	S
E501T-2M	H;F;VU;OH	(75% ~ 80%)Ar + CO ₂	DCEP	S
E500T-3	H;F	无	DCEP	S
E500T-4	H;F	无	DCEP	M
E500T-5	H;F	CO ₂	DCEP	M
E500T-5M	H;F	(75% ~ 80%)Ar + CO ₂	DCEP	M
E501T-5	H;F;VU;OH	CO ₂	DCEP或 DCEN ^⑤	M
E501T-5M	H;F;VU;OH	(75% ~ 80%)Ar + CO ₂	DCEP或 DCEN ^⑤	M
E500T-6	H;F	无	DCEP	M
E500T-7	H;F	无	DCEN	M
E501T-7	H;F;VU;OH	无	DCEN	M
E500T-8	H;F	无	DCEN	M
E501T-8	H;F;VU;OH	无	DCEN	M
E500T-9	H;F	CO ₂	DCEP	M
E500T-9M	H;F	(75% ~ 80%)Ar + CO ₂	DCEP	M
E501T-9	H;F;VU;OH	CO ₂	DCEP	M
E501T-9M	H;F;VU;OH	(75% ~ 80%)Ar + CO ₂	DCEP	M
E500T-10	H;F	无	DCEN	S
E500T-11	H;F	无	DCEN	M

续表 1-29

型 号	焊接位置 ^①	外加保护气 ^②	极性 ^③	适用性 ^④
E501T-11	H;F;VU;OH	无	DCEN	M
E500T-12	H;F	CO ₂	DCEP	M
E500T-12M	H;F	(75% ~ 80%)Ar + CO ₂	DCEP	M
E501T-12	H;F;VU;OH	CO ₂	DCEP	M
E501T-12M	H;F;VU;OH	(75% ~ 80%)Ar + CO ₂	DCEP	M
E431T-13	H;F;VD;OH	无	DCEN	S
E501T-13	H;F;VD;OH	无	DCEN	S
E501T-14	H;F;VD;OH	无	DCEN	S
E××0T-G	H;F	—	—	M
E××1T-G	H;F;VD 或 VU;OH	—	—	M
E××0T-GS	H;F	—	—	S
E××1T-GS	H;F;VD 或 VU;OH	—	—	S

注：① H为横焊，F为平焊，OH为仰焊，VD为立向下焊，VU为立向上焊。

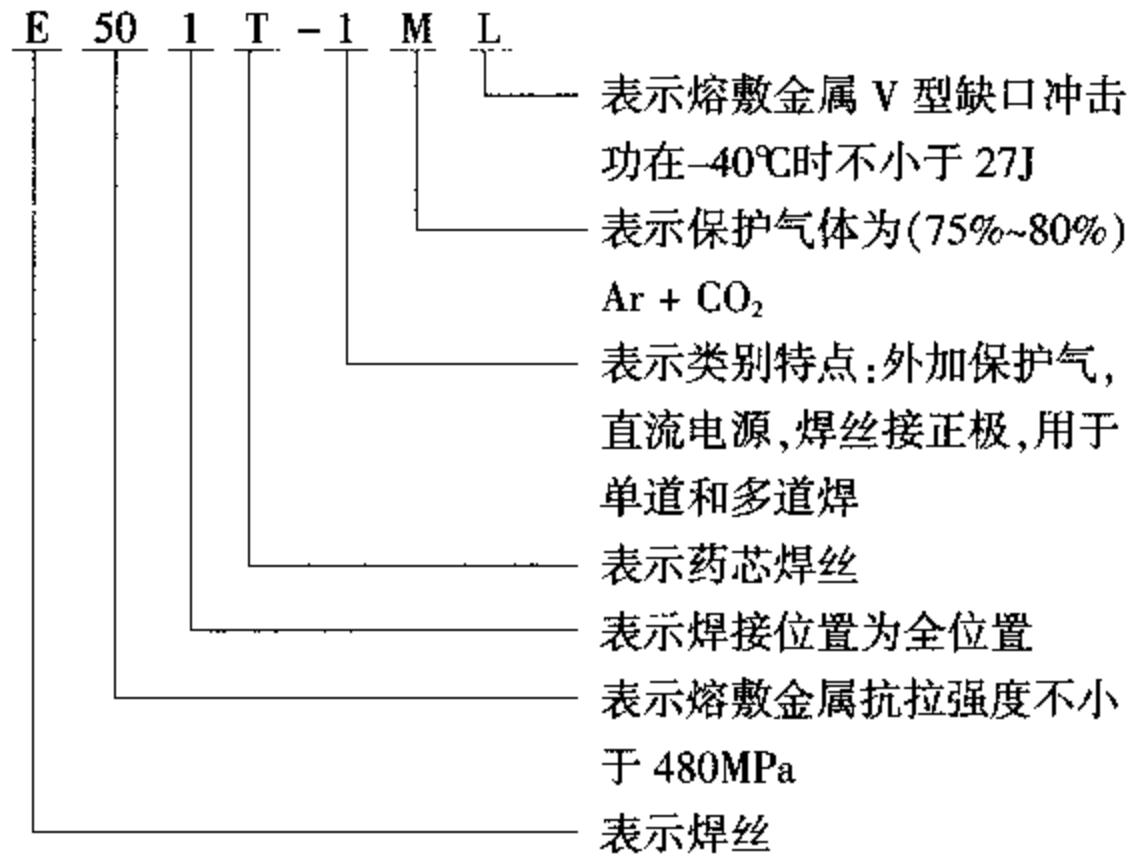
② 对于使用外加保护气的焊丝(E×××T-1,E×××T-1M,E×××T-2,E×××T-2M,E×××T-5,E×××T-5M,E×××T-9,E×××T-9M和E×××T-12,E×××T-12M),其金属的性能随保护气类型不同而变化。

③ DCEP为直流电源,焊丝接正极;DCEN为直流电源,焊丝接负极。

④ M为单道和多道焊,S为单道焊。

⑤ E501T-5和E501T-5M型焊丝可在DCEN极性下使用,以改善不适当位置的焊接性。

碳钢药芯焊丝型号举例：



② 碳钢药芯焊丝牌号 目前国内企业使用的碳钢药芯焊丝牌号比较多，多与企业名称有关，并不统一。典型的碳钢药芯焊丝牌号表示方法为 YJ×××-X，如 YJ422-1。其中字母“Y”表示药芯焊丝；字母“J”表示用于结构钢；数字 YJ 后面的两位××表示熔敷金属抗拉强度的最小值，单位为 MPa(kgf/mm²)，如“42”表示熔敷金属抗拉强度的最小值为 420MPa；第三位×表示药芯焊丝的渣系类型及焊接电流类型，见表 1-6；半字符“-”后面的数字表示焊接时的保护方法，见表 1-30；药芯焊丝有特殊性能和用途时，在牌号后面加注起主要作用的元素符号或主要用途的字母（一般不超过两个）。

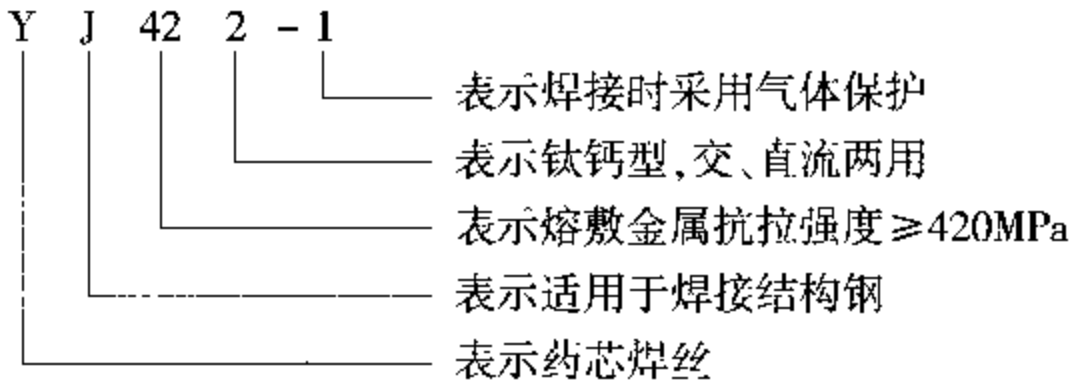
表 1-30 碳钢药芯焊丝焊接时的保护方法

牌 号	焊接时保护方法
YJ×××-1	气体保护

续表 1-30

牌 号	焊接时保护方法
YJJ×××-2	自 保 护
YJ×××-3	气体保护、自保护两用
YJJ×××-4	其他保护形式

碳钢药芯焊丝牌号举例:



8) 低合金钢药芯焊丝型号和牌号

① 低合金钢药芯焊丝型号 根据 GB/T 17493 — 1998 《低合金钢药芯焊丝》的规定,低合金钢药芯焊丝型号分类的依据是熔敷金属的力学性能、焊接位置、保护类型、电流类型、渣系特点、熔敷金属化学成分等。

低合金钢药芯焊丝型号的表示方法为 E×××T×-×,如 E601T1-B3。其中字母“E”表示焊丝;字母“T”表示药芯焊丝;字母“E”后面的××(前两位数字)表示熔敷金属的力学性能,见表 1-31;第三位×表示适用的焊接位置,“0”表示用于平焊和横焊,“1”表示用于全位置焊;T×(字母“T”与第四位×)表示焊丝在渣系、保护类型及电流类型等焊丝类别特点方面的不同,焊丝类别特点的符号说明见表 1-32;半字符“-”后面的×(第五位数字)表示焊丝熔敷金属化学成分分类代号。

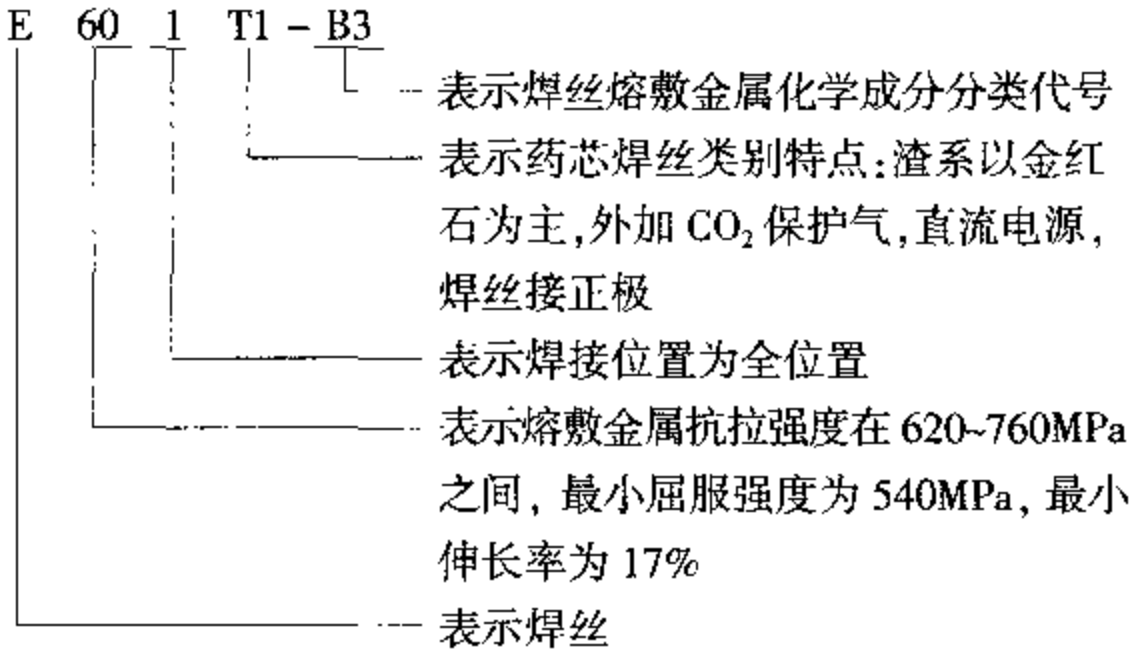
表 1-31 低合金钢药芯焊丝熔敷金属的拉伸性能

型 号	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)
E43×T×-×	410~550	≥340	≥22
E50×T×-×	490~620	≥400	≥20
E55×T×-×	550~690	≥470	≥19
E60×T×-×	620~760	≥540	≥17
E70×T×-×	690~830	≥610	≥16
E75×T×-×	760~900	≥680	≥15
E85×T×-×	830~970	≥750	≥14
E×××T×-G	由供需双方协商		

表 1-32 低合金钢药芯焊丝类别特点的符号说明

型 号	焊丝渣系特点	保护类型	电流类型
E×××T1-×	渣系以金红石为主体,熔滴成喷射或细滴过渡	气保护	直流,焊丝接正极
E×××T4-×	渣系具有强脱硫作用,熔滴成粗滴过渡	自保护	直流,焊丝接正极
E×××T5-×	氧化钙-氟化物碱性渣系,熔滴成粗滴过渡	气保护	直流,焊丝接正极
E×××T8-×	渣系具有强脱硫作用	自保护	直流,焊丝接负极
E×××T×-G	渣系、电弧特性、焊缝成形及极性不作规定		

低合金钢药芯焊丝型号举例：



② 低合金钢药芯焊丝牌号与碳钢药芯焊丝牌号表示方法基本相同。

9) 不锈钢药芯焊丝型号和牌号

① 不锈钢药芯焊丝型号 根据 GB/T 17853—1999《不锈钢药芯焊丝》的规定，不锈钢药芯焊丝型号依据熔敷金属化学成分、焊接位置、保护类型、电流类型进行划分。

不锈钢药芯焊丝型号的表示方法为 E(或 R)×××TX-×，如 E308MoT0-3、R347T1-5。其中字母“E”表示焊丝；字母“R”表示填充焊丝；字母“T”表示药芯焊丝；字母“E(或 R)”后面的×××(前三位或四位数字)表示熔敷金属的化学成分分类代号，具体内容见 GB/T 17853—1999《不锈钢药芯焊丝》，如有特殊要求的化学成分，将其元素符号附加在数字后面，或者用“L”表示碳含量较低，用“H”表示碳含量较高，用“K”表示焊丝应用于低温环境；第四位×表示适用的焊接位置，“0”表示用于平焊和横焊，“1”表示用于全位置焊；半字符“-”后面的×(第五位数字)表示焊接方法、保护气体及焊接电流类型，见表 1-33。

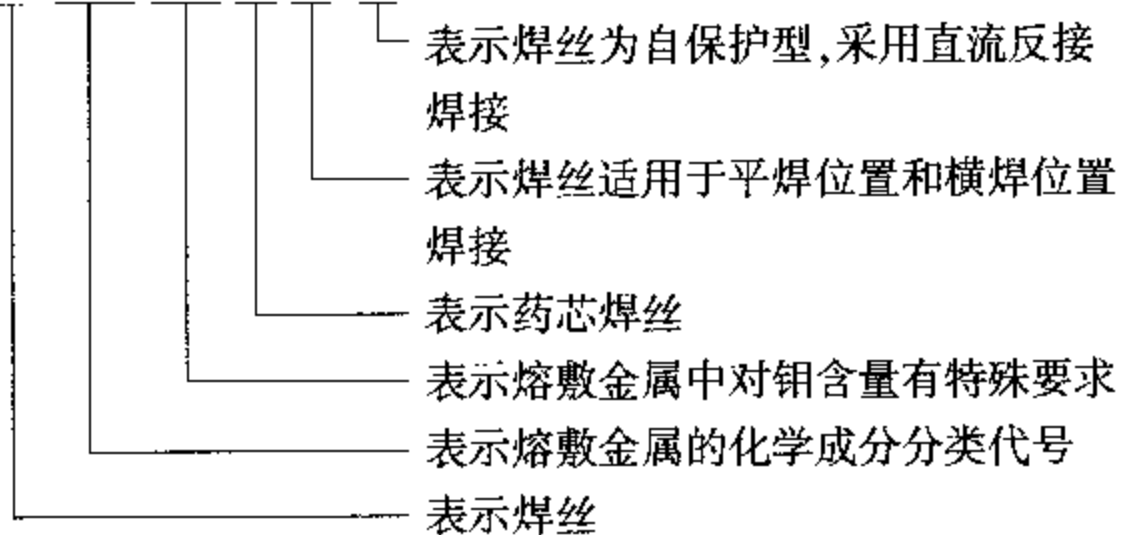
表 1-33 不锈钢药芯焊丝的焊接方法、保护气体及焊接电流类型

型 号	保护气体	焊接电流类型	焊接方法
E×××T×-1	CO ₂	直流反接	FCAW
E×××T×-3	无(自保护)		
E×××T×-4	(75% ~ 80%)Ar + CO ₂		
R×××T1-5	100%Ar	直流正接	GTAW
E×××T×-G	不规定	不规定	FCAW
R×××T1-G			GTAW

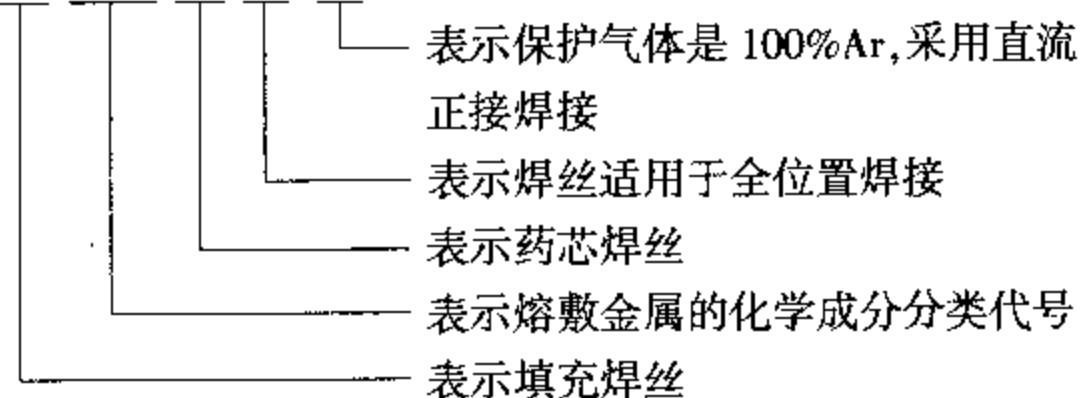
注:FCAW 为药芯焊丝电弧焊,GTAW 为钨极惰性气体保护焊。

不锈钢药芯焊丝型号举例:

E 308 Mo T 0 - 3



R 347 T 1 - 5



② 不锈钢药芯焊丝牌号 目前国内企业使用的不锈钢药芯焊丝牌号比较多,多与企业名称有关,并不统一。典型的不锈钢药芯焊丝牌号表示方法为 YB(或 YA)×××。其中字母“Y”表示药芯焊丝;字母“B”表示不锈钢;字母“A”表示奥氏体不锈钢;字母“YB(或 YA)”后面的×××(三位数字)与不锈钢焊条牌号基本相同。

3. 焊接用气体的分类和标记

(1) 焊接用气体的分类

焊接用气体包括电弧焊方法使用的保护气体、气焊用气体及热切割用气体。此处重点介绍电弧焊方法使用的保护气体,主要包括具有一定氧化性的活性气体和基本不参加焊接冶金反应的惰性气体。

1) 惰性气体

焊接常用的惰性气体主要有氩气和氦气,一般用于不熔化极惰性气体保护焊(TIG)、熔化极惰性气体保护焊(MIG)及激光焊等高能束焊接。

① 氩气 氩气的元素符号为 Ar。焊接用氩气一般执行技术标准 GB 4842—1984《氩气》和 GB 10624—1989《高纯氩》的规定,氩气纯度要求为 99.9%~99.999%。氩气是无色无味的气体,在空气中的体积分数为 0.935%,属于一种稀有气体,是分馏液态空气制取氧气时的副产品。

氩气作为保护气体的电弧焊方法通常称为氩弧焊。氩弧焊具有合金元素烧损少、电弧稳定性好等特点,适用于低合金钢,不锈钢,铝、镁、铜及其合金的焊接和异种材料的焊接。不熔化极惰性气体保护焊(TIG)常用于焊接修复、单面焊双面成形的打底焊等场所。

② 氦气 氦气的元素符号为 He。焊接用氦气一般执行技术标准 GB 4844—1984《氦气》的规定。氦气纯度要求为 99.8%~99.999%,氦气是无色无味的气体,也属于一种稀有气体,生产成本

大大高于氩气。

氦气作为保护气体的电弧焊方法常称为氦弧焊，具有焊接速度快、电弧温度高等特点，这两方面均优于氩弧焊，但电弧稳定性不及氩弧焊。

2) 具有一定氧化性的活性气体

具有一定氧化性的活性气体主要是指 CO_2 、 $\text{Ar} + \text{CO}_2$ 、 $\text{Ar} + \text{CO}_2 + \text{O}_2$ 等气体，一般用于活性气体保护焊(MAG)；因 CO_2 气体保护焊使用量较大，有时将 CO_2 气体保护焊单独列于活性气体保护焊(MAG)之外。

① CO_2 气体 CO_2 是一种常用的氧化性焊接气体，焊接用 CO_2 气体一般执行技术标准 GB 6052—1985 《工业液体二氧化碳技术要求》的规定， CO_2 纯度要求 $\geq 99.5\%$ ，含水量 $\leq 0.05\%$ 。

采用单一 CO_2 气体作为保护气体的电弧焊方法称为 CO_2 气体保护焊，这种方法具有电弧稳定、经济方便等特点，应用比较普遍。焊接用的瓶装 CO_2 大多为液态、气态。由于 CO_2 的沸点为 -78°C ，容积为 40 升的标准钢瓶可装入 25 公斤的液态 CO_2 ，在室温下钢瓶中会形成体积占 80% 的液态 CO_2 ，剩余的 20% 为气态 CO_2 ，气体流量计所显示的压力值，就是这部分气体的饱和压力；只有当钢瓶内液态 CO_2 全部挥发成 CO_2 气体后，钢瓶内的气压才会随 CO_2 气体的消耗而逐渐下降。由于液态 CO_2 挥发成气态 CO_2 需要吸收热量，所以 CO_2 气体流量计一般具有加热、烘干功能。为了保证 CO_2 气体的使用纯度，可采用倒置排水、正置排气的方法，降低 CO_2 气体中的水分、空气等杂质，同时当钢瓶内的压力值低于 0.98MPa (10kgf/cm^2) 仍在使用的焊接时，焊缝就易出现气孔缺陷。

② 焊接用混合气体 主要以氩气和一些氧化性气体机械混合而成，以气态方式供货。常见的焊接用混合气体有 $\text{Ar} + \text{CO}_2$ 、 $\text{Ar} + \text{CO}_2 + \text{O}_2$ 、 $\text{Ar} + \text{O}_2$ 等，如 $20\%\text{Ar} + 80\%\text{CO}_2$ 、 $(99\% \sim 95\%)\text{Ar} + (1\% \sim 5\%)\text{O}_2$ 等。焊接用混合气体具有一定氧化性，却可形成喷射过

渡,具有细化熔滴、克服电弧阴极斑点飘移、增加焊接熔深、减少焊缝凸起、改善焊缝成形、减少焊接飞溅等优点。混合气体成本高于CO₂气体,一般用于焊接质量要求较高的产品。

(2) 焊接保护气体的选用

焊接保护气体的选择主要取决于焊接方法、被焊金属的性质、焊接接头质量要求、焊丝的化学成分、工件厚度和焊接位置。焊接保护气体的选用见表 1-34。

表 1-34 焊接保护气体的选用

被焊金属类型	焊接方法	保护气体
碳钢、普通低合金钢	CO ₂ 焊;MAG 焊	CO ₂ ;Ar + CO ₂ ;Ar + O ₂
高强度结构钢、不锈钢	实心焊丝 MAG 焊	Ar + CO ₂ ;Ar + O ₂ ; Ar + CO ₂ + O ₂
	药芯焊丝 CO ₂ 焊	CO ₂ ;Ar + CO ₂
铝、钛、铜、铅、镍及其合金	TIG焊;MIG 焊	Ar ;He ;Ar + He
碳钢、低合金钢、不锈钢	TIG焊	Ar ;He ;Ar + He

4. 埋弧焊焊剂的分类和标记

焊剂是指焊接时,能够熔化形成熔渣和气体,对熔化金属起保护和冶金处理作用的一种颗粒状物质。在焊接过程中,焊剂的作用类似于焊条药皮,焊剂熔化形成熔渣,对焊接熔池起到保护、冶金处理和改善焊接工艺性能的作用。烧结焊剂还具有加入合金元素的作用。焊剂与焊丝成为埋弧焊方法不可缺少的焊接材料。

(1) 焊剂的分类

焊剂的分类方法有许多种,可分别根据焊剂的用途、制造方法、化学成分、焊接冶金性能等进行分类,也可以根据焊剂的酸碱性、焊剂的颗粒结构进行分类。

1) 根据所焊材料的种类分类

根据所焊材料的种类,埋弧焊焊剂可分为碳钢用焊剂、低合

金钢用焊剂、不锈钢用焊剂、镍及镍合金用焊剂、钛及钛合金用焊剂等。

2) 根据焊剂的制造方法分类

根据焊剂的制造方法,可以把焊剂分成熔炼焊剂和非熔炼焊剂(陶质焊剂、烧结焊剂)两大类。根据不同的使用要求,还可以把熔炼焊剂和烧结焊剂混合起来使用,称为混合焊剂。

① 熔炼焊剂 将各种矿物性原料按配方比例混合配成炉料,然后在电炉或火焰炉中加热到 1300°C 以上熔炼,均匀后出炉经过水冷粒化、烘干、筛选得到的焊剂称为熔炼焊剂。熔炼焊剂采用的原料主要有锰矿、硅砂、铝矾土、镁砂、萤石、生石灰、钛铁矿等矿物性原料,另外还加入冰晶石、硼砂等化工产品。熔炼前所用的原料应进行 $150 \sim 200^{\circ}\text{C}$ 的烘干,以清除原料中的水分。由于熔炼焊剂制造中要经过 1300°C 高温熔炼,所以焊剂中不能加碳酸盐、脱氧剂和合金剂,制造高碱度焊剂也很困难。因为熔炼焊剂熔炼后不可能保持原料的原组分不变,所以熔炼焊剂实质上是各种化合物的组合体。

熔炼焊剂按照其结构又可分为玻璃状焊剂、结晶状焊剂和浮石状焊剂等三种。玻璃状焊剂呈透明状颗粒,结晶状焊剂的颗粒具有结晶体特点,浮石状焊剂是泡沫状颗粒。玻璃状焊剂和结晶状焊剂的结构都较致密,其松装比为 $1.1 \sim 1.8\text{g}/\text{cm}^3$;浮石状焊剂的结构比较疏松,松装比为 $0.7 \sim 1.0\text{g}/\text{cm}^3$ 。

② 非熔炼焊剂 把各种粉末状配料按配方比例混合后加入粘结剂,经搅拌、造粒制成一定粒度的小颗粒,经烘焙或烧结后得到的焊剂,称为非熔炼焊剂。制造非熔炼焊剂所采用的原材料与制造焊条的原材料基本相同,对成分和颗粒大小有严格的要求。按照一定比例配料,混合均匀后加入粘结剂(水玻璃)制成湿料,然后把湿料进行造粒,制成一定尺寸的颗粒(一般为 $0.5 \sim 2\text{mm}$),造粒之后将颗粒状的焊剂送入干燥炉内固化、烘干、去除水分,加热温度为

150 ~ 200℃,最后送入烧结炉内烧结。根据烘焙温度的不同,非熔炼焊剂又分为粘结焊剂和烧结焊剂两种。

粘结焊剂(也称为陶质焊剂或低温烧结焊剂)通常以水玻璃作为粘结剂,经 300 ~ 500℃低温烘焙或烧结得到的焊剂,由于烧结温度低,粘结焊剂具有吸潮倾向大、颗粒强度低等缺点。

烧结焊剂通常在较高的温度(700 ~ 1 000℃)下烧结,烧结后粉碎成一定尺寸的颗粒状即可使用。经高温烧结后,焊剂的颗粒强度明显提高,吸潮性大大降低。

与熔炼焊剂相比,烧结焊剂熔点较高,松装比较小,所以这类焊剂适用于大线能量焊接。烧结焊剂的碱度可以在较大的范围内调节且仍能够保持良好的工艺性能,可以根据母材的需要通过焊剂向焊缝过渡合金元素,而且烧结焊剂适用性强、制造简便,所以近年来发展很快。熔炼焊剂和烧结焊剂的主要特点见表 1-35。

表 1-35 熔炼焊剂和烧结焊剂的主要特点

比较项目		熔炼焊剂	烧结焊剂
一般特点		熔点较低,松装比较大,颗粒不规则,但是强度较高。焊剂的生产中耗电量大,成本较高	熔点较高,松装比较小,颗粒圆滑较规则,但是强度低,可连续生产,成本较低
焊接工艺性能	大规范参数焊接性能	焊道凸凹显著,易粘渣	焊道均匀,容易脱渣
	吸潮性能	不易吸潮,一般不必再烘干	易吸潮,一定时间必须烘干
焊缝金属性能	冲击性能	受焊丝成分和焊剂碱度影响较大	比较容易得到高韧性
	化学成分均匀性	焊接规范变化时成分波动较小	焊接规范变化时成分波动较大
	脱氧性能	较差	较好
	添加合金剂难易程度	十分困难	较易添加

3) 根据化学成分分类

根据焊剂中含有的 SiO_2 、 MnO 、 CaF_2 等主要成分进行分类。

① 根据 SiO_2 的含量分类 焊剂分为高硅焊剂 ($\text{SiO}_2 > 30\%$)、中硅焊剂 ($\text{SiO}_2 = 10\% \sim 30\%$)、低硅焊剂 ($\text{SiO}_2 < 10\%$)、无硅焊剂。

② 根据 MnO 的含量分类 焊剂分为高锰焊剂 ($\text{MnO} > 30\%$)、中锰焊剂 ($\text{MnO} = 15\% \sim 30\%$)、低锰焊剂 ($\text{MnO} = 2\% \sim 15\%$)、无锰焊剂 ($\text{MnO} < 2\%$)。

③ 根据 CaF_2 的含量分类 焊剂分为高氟焊剂 ($\text{CaF}_2 > 30\%$)、中氟焊剂 ($\text{CaF}_2 = 10\% \sim 30\%$)、低氟焊剂 ($\text{CaF}_2 < 10\%$)。

④ 根据 MnO 、 SiO_2 、 CaF_2 的含量进行组合分类 焊剂 431 可以称为高锰高硅低氟焊剂, 焊剂 350 可称为中锰中硅中氟焊剂, 焊剂 250 可称为低锰中硅中氟焊剂。高锰高硅低氟焊剂属于酸性焊剂, 焊接工艺性能良好, 适用于交直流电源, 主要用于焊接低碳钢及对韧性要求不高的低合金钢。中锰中硅中氟焊剂属于中性焊剂, 焊接工艺性能和焊缝韧性均可, 多用于低合金钢焊接结构。无锰低硅高氟焊剂属于碱性焊剂, 焊接工艺性能较差, 仅适用于直流电源; 焊剂的氧化性小, 焊缝韧性高, 可焊接不锈钢等高合金钢。

⑤ 根据焊剂的主要成分与特性分类 这种分类方法直观性强, 易于分辨焊剂的主要成分与特性。我国的烧结焊剂采用这种方法分类。国际焊接学会推荐的焊剂分类方法及焊剂特点见表 1-36。

表 1-36 焊剂分类方法及焊剂特点

焊剂类型代号	焊剂类型	主要成分	焊 剂 特 点
MS	锰-硅型	$\text{MnO} + \text{SiO}_2 > 50\%$	与含锰量较少的焊丝配合, 可以向焊缝过渡适量的锰与硅
CS	钙-硅型	$\text{CaO} + \text{MgO} + \text{SiO}_2 > 60\%$	由于焊剂中含有较多的 SiO_2 , 即使采用含硅量低的焊丝仍可得到含硅量较高的焊缝金属, 适用于大电流焊接
AR	铝-钛型	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2 > 45\%$	适于多丝焊接和高速焊接

续表 1-36

焊剂类型 代号	焊剂类型	主要成分	焊 剂 特 点
FB	氟-碱型	CaO + MgO + MnO + CaF ₂ > 50% SiO ₂ ≤ 20%, CaF ₂ ≥ 15%	SiO ₂ 含量低减少了硅的过渡, 焊缝金属冲击值高
AB	铝-碱型	Al ₂ O ₃ + CaO + MgO > 45% (Al ₂ O ₃ ≈ 20%)	性能介于铝-钛和氟 -碱型焊剂之间
ST	特殊型	不规定	—

4) 根据焊剂的氧化性分类

① 氧化性焊剂 焊剂对焊缝金属有较强的氧化作用。有两种类型的氧化性焊剂,一种是含有大量 SiO₂、MnO 的焊剂,另一种是含有较多 FeO 的焊剂。

② 弱氧化性焊剂 焊剂中含有较少的 SiO₂、MnO、FeO 等活性氧化物,焊剂对焊缝金属有较弱的氧化作用,焊缝金属含氧量较低。

③ 惰性焊剂(或称中性焊剂) 焊剂是由 Al₂O₃、CaO、MgO 及 CaF₂ 等化合物组成,基本不含 SiO₂、MnO、FeO 等氧化物,焊剂对焊缝金属基本没有氧化作用。

5) 根据熔渣的碱度分类

碱度是表征熔渣碱性强弱的一个量,计算方法有多种,对焊接工艺性能和焊缝金属的力学性能有很大的影响。国际焊接学会(IIW)采用的公式如下:

$$\text{碱度}(B) = (\sum \text{碱性氧化物}\%) / (\sum \text{酸性氧化物}\%)$$

式中碱性氧化物计算为 CaO + MgO + BaO + Na₂O + K₂O + CaF₂ + 0.5 (MnO + FeO), 酸性氧化物计算为 SiO₂ + 0.5 (Al₂O₃ + TiO₂ + ZrO₂), 各组分的含量按照质量分数计算,根据计算结果进行分类。

① 酸性焊剂(B < 1.0) 具有良好的焊接工艺性能,焊缝成型美观,但是焊缝金属含氧量高,冲击值较低。

② 中性焊剂($B = 1.0 \sim 1.5$) 熔敷金属的化学成分与焊丝的化学成分相近,焊缝含氧量较低。

③ 碱性焊剂($B > 1.5$) 采用碱性焊剂得到的熔敷金属含氧量低,可以获得较高的焊缝冲击性能,抗裂性能好,但是焊接工艺性能较差。随着碱度的提高,焊道形状变得窄而高,并容易产生咬边、夹渣等缺陷。

常用焊剂的碱度值见表 1-37。

表 1-37 常用焊剂的碱度值

焊剂牌号	130	131	150	172	230	250	251
碱度值	0.78	1.46	1.30	2.68	0.80	1.75	1.68
焊剂牌号	260	330	350	360	430	431	433
碱度值	1.11	0.81	1.0	0.94	0.78	0.79	0.67

(2) 焊剂的型号和牌号

焊剂型号是根据国家标准的规定进行划分的,焊剂牌号是由生产企业依据一定的规则来编排的,同一型号中可以包括多种焊剂牌号。

1) 焊剂型号

目前我国有关焊剂型号的国家标准有 GB/T 5293—1999《埋弧焊用碳钢焊丝和焊剂》、GB 12470—1990《低合金钢埋弧焊用焊剂》和 GB/T 17854—1999《埋弧焊用不锈钢焊丝和焊剂》。

① 埋弧焊用碳钢焊剂型号 GB/T 5293—1999《埋弧焊用碳钢焊丝和焊剂》中规定了焊剂型号的编制方法。碳钢焊剂型号是根据焊丝与焊剂组合的熔敷金属力学性能、热处理状态进行划分的。将焊剂与焊丝组合编写在同一起,从而可以更加全面地理解焊丝、焊剂与熔敷金属力学性能的关系。

焊丝与焊剂组合的型号编制方法为 $F \times \times \times - H \times \times \times$,如 F4A0-H08A。其中字母“F”表示焊剂;“F”后面的第一位×表示

焊丝与焊剂组合的熔敷金属抗拉强度的最小值,见表 1-38。第二位×表示试件的热处理状态,“A”表示焊态,“P”表示焊后热处理状态,焊后热处理按照以下工艺参数进行:试件装炉时炉温不高于 300℃,然后以不大于 200℃/h 的升温速度加热到 600 ± 15℃,保温 1 小时,保温后以不大于 190℃/h 的冷却速度冷却到 320℃,然后炉冷或空冷至室温,也可以根据供需双方的协议,采用其他热处理规范;第三位×表示熔敷金属冲击吸收功不小于 27J 时的最低试验温度,见表 1-39。半字符“-”后面表示焊丝的牌号;其中“H”表示焊丝;字母 H 后面的两位××表示焊丝中平均碳含量,如有其他化学成分,在字母的后面用元素符号表示;牌号最后的 A、E、C 分别表示 S、P 杂质含量的等级。

表 1-38 熔敷金属抗拉强度的最小值

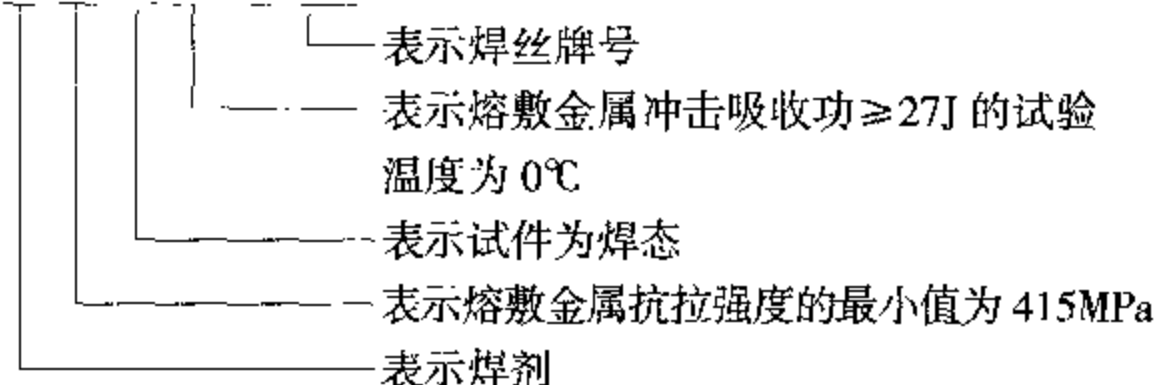
焊剂型号	R_m (MPa)	R_{el} (MPa)	A (%)
F4××-H×××	415 ~ 550	≥330	≥22
F5××-H×××	480 ~ 650	≥400	≥22

表 1-39 熔敷金属冲击吸收功不小于 27J 时的最低试验温度

焊剂型号	F××0	F××1	F××2	F××3	F××4	F××5
	-H×××	-H×××	-H×××	-H×××	-H×××	-H×××
试验温度(℃)	0	-20	-30	-40	-50	-60

埋弧焊用碳钢焊剂型号举例:

F 4 A 0 - H08A



这种焊剂型号表示方法有以下特点：每种型号的焊剂不特别规定其制造方法，可以是熔炼型，也可以是非熔炼型；每一种型号的焊剂是按照焊缝金属的力学性能划分的，不是根据焊剂的化学成分或焊缝金属的化学成分来划分的，但对 S、P 含量有所控制 ($S \leq 0.06\%$, $P \leq 0.08\%$)。

② 合金钢埋弧焊用焊剂型号 根据 GB 12470—1990《低合金钢埋弧焊用焊剂》的规定，低合金钢埋弧焊用焊剂型号是根据熔敷金属力学性能和焊剂渣系来划分的。

焊丝与焊剂组合的型号编制方法为 $F \times \times \times \times - H \times \times \times$ ，如 F5121-H08MnMoA。其中字母“F”表示低合金钢埋弧焊用焊剂；F 后的第一位 \times 表示熔敷金属拉伸性能，分为 5、6……10 类别，每类均规定了抗拉强度、屈服强度及伸长率三项指标，见表 1-40；第二位 \times 表示试样状态，用“0”或“1”表示，“0”表示焊态，“1”表示焊后热处理态；第三位 \times 分为 0、1、2、3……6、8、10，表示熔敷金属冲击吸收功 $\geq 27\text{J}$ 的试验温度，见表 1-41；第四位 \times 分为 1、2……6，表示焊剂渣系，见表 1-42；尾部“H $\times \times \times$ ”表示试件焊接时所用的焊丝牌号，按 GB 1300 之规定。

表 1-40 熔敷金属拉伸性能代号及要求

熔敷金属拉伸性能代号	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)
5	480 ~ 650	≥ 380	≥ 22
6	550 ~ 690	≥ 460	≥ 20
7	620 ~ 760	≥ 540	≥ 17
8	690 ~ 820	≥ 610	≥ 16
9	760 ~ 900	≥ 680	≥ 15
10	820 ~ 970	≥ 750	≥ 14

表 1-41 熔敷金属冲击吸收功的分级代号及要求

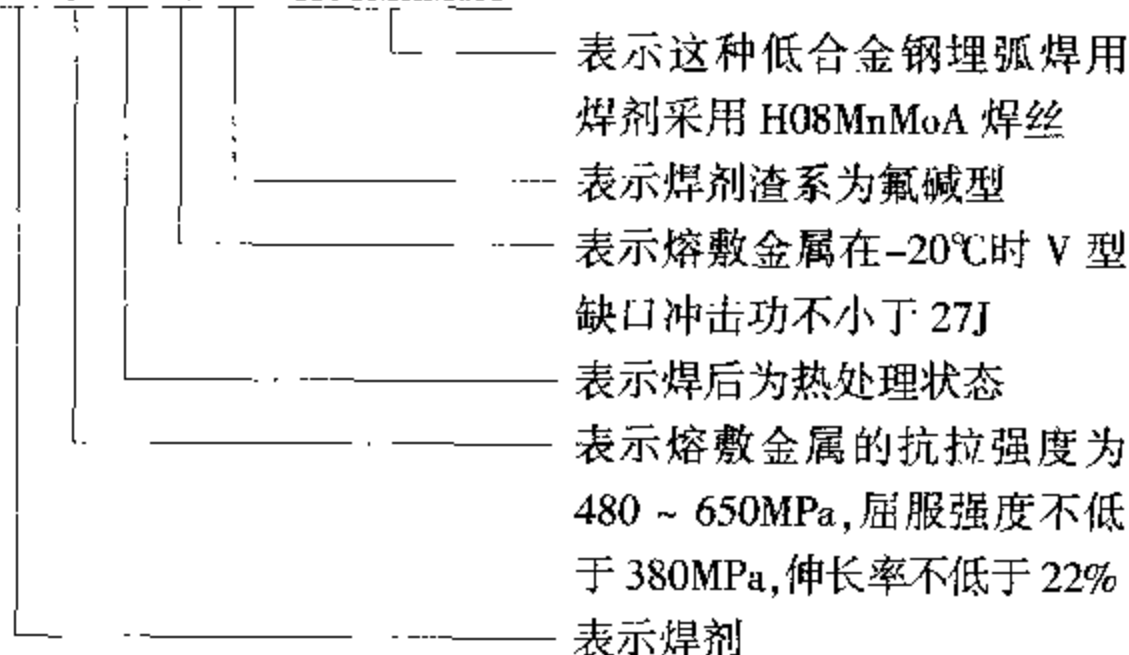
冲击吸收功代号	0	1	2	3	4	5	6	8	10
试验温度(°C)	—	0	-20	-30	-40	-50	-60	-80	-100
冲击吸收功 (J)	无 要求	≥ 27	≥ 27	≥ 27	≥ 27	≥ 27	≥ 27	≥ 27	≥ 27

表 1-42 焊剂渣系分类及组分

渣系代号	主要组分	渣系
1	$\text{CaO} + \text{MgO} + \text{MnO} + \text{CaF}_2 > 50\%$, $\text{SiO}_2 \leq 20\%$, $\text{CaF}_2 \geq 15\%$	氟碱型
2	$(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO}) > 45\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 20\%$	高铝型
3	$\text{CaO} + \text{MgO} + \text{SiO}_2 > 60\%$	硅钙型
4	$\text{MnO} + \text{SiO}_2 > 50\%$	硅锰型
5	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2 > 45\%$	铝钛型
6	不作规定	其他型

低合金钢埋弧焊用焊剂型号举例:

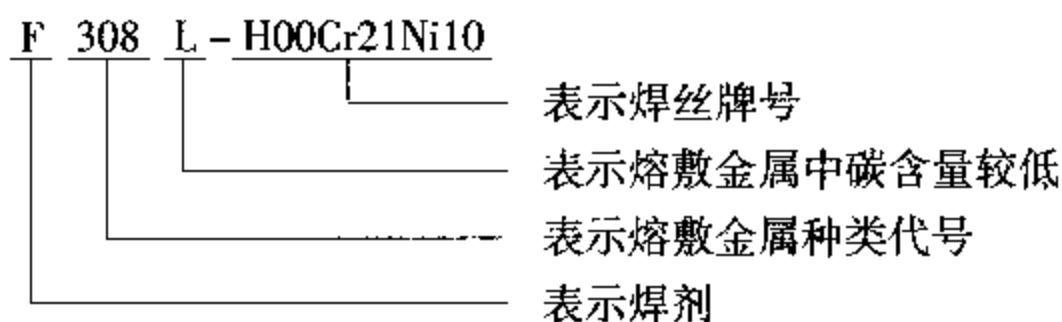
F 5 1 2 1 - H08MnMoA



③ 埋弧焊用不锈钢焊剂型号 根据 GB/T 17854—1999《埋弧焊用不锈钢焊丝和焊剂》的规定,焊丝和焊剂的型号分类是根据焊丝与焊剂组合的熔敷金属化学成分、力学性能进行划分的。埋弧焊用不锈钢焊丝和焊剂的熔敷金属中铬含量应不小于 11%, 镍含量应不小于 8%。

埋弧焊用不锈钢焊剂型号编制方法为 F×××(L)-H××, 如 F308L-H00Cr21Ni10。其中字母“F”表示焊剂;“F”后面的×××(三位数字)表示熔敷金属种类代号;“L”表示熔敷金属中碳含量较低,如果有特殊要求的化学成分,该化学成分用元素符号表示。半字符“-”后面的 H××表示焊丝的牌号;其中“H”表示焊丝;H 后面的两位××表示焊丝中化学成分和含量。

埋弧焊用不锈钢焊剂型号举例:



2) 焊剂牌号

熔炼焊剂牌号常用“HJ×××”表示,烧结焊条牌号常用“SJ×××”表示。

① 熔炼焊剂牌号 熔炼焊剂牌号的编制方法为 HJ×××, 如 HJ431、HJ431X。其中字母“HJ”表示埋弧焊用熔炼焊剂; HJ 后面的第一位×表示焊剂中 MnO 的含量, 见表 1-43; 第二位×表示焊剂中 SiO₂、CaF₂ 的含量, 见表 1-44; 第三位×表示同一类型熔炼焊剂的不同牌号, 按 0、1、2……9 顺序排列; 对同一牌号熔炼焊剂生产两种颗粒度时, 在细颗粒焊剂牌号后加“X”区分。焊剂颗粒度一般分为两种: 普通颗粒度焊剂的粒度为 40~8

目，细颗粒度焊剂的颗粒度为 60~14 目。

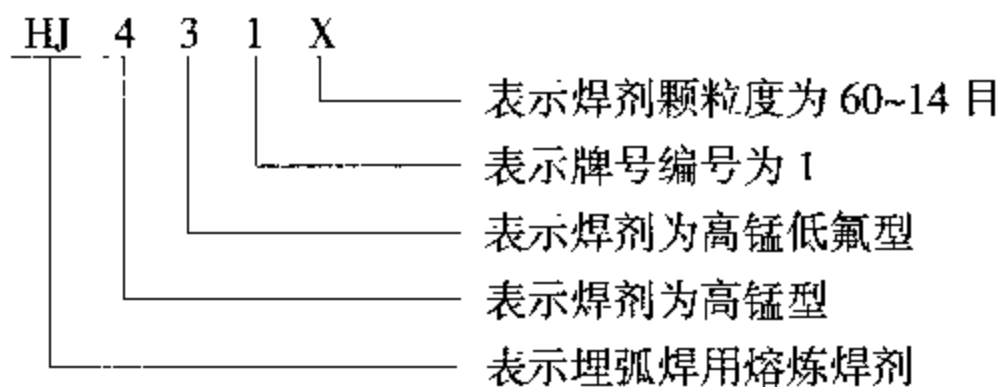
表 1-43 熔炼焊剂中 MnO 的含量(质量分数)及分级代号

熔炼焊剂牌号	HJ1××	HJ2××	HJ3××	HJ4××
焊剂类型	无 锰	低 锰	中 锰	高 锰
MnO (%)	< 2	2 ~ 15	16 ~ 30	> 30

表 1-44 熔炼焊剂中 SiO₂、CaF₂ 的含量(质量分数)及分级代号

熔炼焊剂 牌号	HJ×1×	HJ×2×	HJ×3×	HJ×4×	HJ×5×
焊剂类型	低硅低氟	中硅低氟	高硅低氟	低硅中氟	中硅中氟
SiO ₂ (%)	< 10	10 ~ 30	> 30	< 10	10 ~ 30
CaF ₂ (%)	< 10	< 10	< 10	10 ~ 30	10 ~ 30
熔炼焊剂 牌号	HJ×6×	HJ×7×	HJ×8×	HJ×9×	
焊剂类型	高硅中氟	低硅高氟	中硅高氟	其他	
SiO ₂ (%)	> 30	< 10	10 ~ 30	不规定	
CaF ₂ (%)	10 ~ 30	> 30	> 30	不规定	

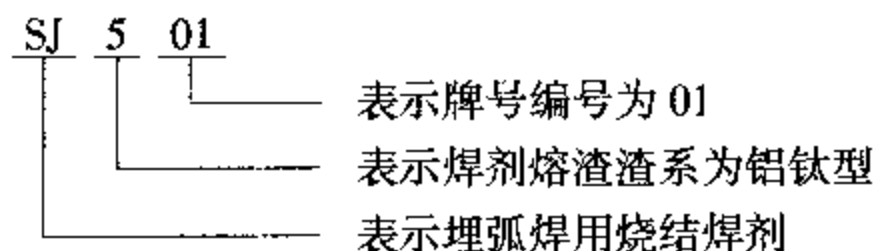
熔炼焊剂牌号举例：



② 烧结焊剂牌号 烧结焊剂牌号的编制方法为 SJ×××，如

SJ501。其中字母“SJ”表示埋弧焊用烧结焊剂;SJ后面的第一位×表示焊剂熔渣的渣系代号,见表1-42;后两位××表示同一渣系类型的烧结焊剂不同牌号,按01、02……09顺序排列。

烧结焊剂牌号举例:



三、焊接材料的主要性能与质量检验

1. 焊条检验技术

(1) 焊条原材料的检验

焊条生产中所用的原材料品种繁多,例如,多种牌号的焊芯,以及矿石粉、铁合金、各种金属粉末、化工原料和水玻璃等。原材料质量的优劣直接影响焊条的生产和产品的质量,因此必须对原材料进行严格的检验。

1) 化学成分的检验

各种原材料进厂后,必须对其进行化学成分分析。在进行化学成分检验时,所抽取的样品必须有代表性。一般情况下,对焊芯或盘条应按炉号抽取,并应从每盘的两端取样。对各种粉料,按同一产地、同一批进厂的原料,在不同部位抽取样品,将其混合均匀后,再抽取样品进行化学成分分析。化学成分分析按照不同的品种,采用不同的分析方法,分析结果应符合焊条的原材料标准规定。

2) 物理性能的检验

焊条原材料的物理性能是指其体积、质量、密度、颗粒度及其分布、物相结构、颜色、导电性和线胀系数等。

焊条的压涂性及产品质量不仅与原材料的化学成分有关,而且与原材料的颗粒度、表面状况及体积、质量和物相结构等有关。在实际生产中,经常遇到如钛白粉、白泥、云母等化学成分虽都符合技术要求,但由于产地不同、物理性能有异,致使焊条压涂性能有很大差异。为确保焊条生产和产品质量的稳定,各焊条生产厂都力求对原材料做到定点供应,而且每批进料都应带有质量保证书。当原材料产地有变更或原材料成分波动范围较大时,应做原材料更换试验,即把需要更换的原材料代替原来的材料,在配方和制造工艺不变的条件下,通过压涂、烘干和对理化性能及工艺性能的检测,决定该材料是否可代用原来的材料投产。

(2) 焊条生产过程中的技术检验

焊条生产过程中的技术检验,主要是指半成品检验。其检验步骤、方法、采用工具、标准等,一般在焊条制造工艺中有详细的规定。严格地执行工艺要求,遵守操作规程,是确保半成品和产品质量的重要环节。

1) 焊芯制造过程中的检验

① 剥壳与酸洗挂灰 投产前查清焊条用盘条或成品焊丝的牌号、规格、产地、炉号等是否符合工艺卡中的规定和生产指令的要求。当盘条剥壳时,发现有异常现象(如过硬、过软等),应停止使用。定期测定酸池中酸液的浓度、温度和铁盐含量,检查灰池温度及灰浆配比等。盘条经过酸洗、中和挂灰、烘干后,检查有无明显的氧化铁皮和黄锈存在,是否有欠酸洗和过酸洗现象。对无酸拔丝,应检查氧化铁皮的去除是否干净一致。

② 拔丝与切丝 经拉拔的成品焊丝(钢丝)外观质量不应有毛丝、拉伤、锈迹、黑斑和油污等,焊芯直径尺寸应符合有关标准规定。凡经油封的焊丝,应检查其清洗质量。切丝应平直,其弯曲度不大于1mm,切口应大于 80° ,长度误差为 $\pm 1\text{mm}$ 。经剪切的焊芯表面,不允许有划痕、油污、油条丝及明显的毛刺等。

2) 配粉和涂料制备过程中的检验

① 凡进入配粉车间的粉料必须按送料单和配方通知单中的有关规定,检查粉料的品种、牌号、批号,以及外观质量等是否符合要求,不合格的原料不得进入配粉场地。

② 对需进行钝化处理的铁合金,配粉前应检验钝化处理质量,不符合钝化质量要求的应重新进行钝化。

③ 配粉使用的计量器具,应按期进行计量部门的鉴定、认可,否则不准在生产中使用。

④ 严格按焊条配方和制造工艺规程进行配粉工作。由于配方设计不同、原料不一、配粉称量方式及压涂生产方法等不同,配粉重量误差的要求也不同,一般说酸性焊条配粉误差为 $\pm 1\%$,碱性焊条配粉误差为 $\pm 0.5\%$ 。

⑤ 拌粉应保证混料的均匀性,保证搅拌时间。E4303 焊条干拌不少于 20 分钟;低氢型及特殊类型焊条,干拌不少于 25 分钟。

⑥ 水玻璃的种类、模数、浓度、粘度等,必须符合有关技术要求。对于久存或低温下(如 5°C 以下)存放的水玻璃,必须复查浓度和粘度。水玻璃使用前必须搅拌均匀。对温度低于 5°C 的水玻璃,使用前应将其加热至 15°C 以上才能使用。

⑦ 严格按照配方和制造工艺规程,将符合要求的水玻璃,按一定量加入搅拌机中进行湿拌,湿拌应均匀,并满足焊条压涂机(螺旋式或油压式)压涂性能的要求。

⑧ 需加回用粉时,回用粉中不得有杂质、硬块、大颗粒等,最大的加入量一般不超过总料的 5% 。

3) 焊条压涂过程中的检验

① 焊条压涂前,应严格按制造工艺规程的要求,用千分卡尺或标准塞规检查涂粉模的直径尺寸,并检查涂料及焊芯是否符合相应焊条的要求。

② 压出的焊条,应检查焊条药皮的外径尺寸、焊条外观质量

情况以及磨头、磨尾尺寸等。

③ 检查焊条的偏心度是否符合技术标准,并随时观察在压涂过程中焊条偏心的波动情况,对焊条偏心度必须实行质量控制。焊条偏心度的技术要求见表 1-45。

表 1-45 焊条偏心度的技术要求

焊条直径 (mm)	偏心度 (%)	
	国家标准	企业标准 (压涂时)
≤2.5	≤7	≤5
3.2~4.0	≤5	≤4
≥5	≤4	≤3

4) 焊条烘干中的检验

① 焊条在烘干过程中,应严格检查烘干温度、升温速度、保温及冷却过程中是否符合焊条制造工艺规程的要求。

② 烘干后的焊条,应检验焊条的表面质量,有无开裂、起泡、锈迹和颜色变化等。

③ 焊条药皮应具有足够的强度,满足国家标准中规定的跌落试验要求,以保证焊条在正常搬运或使用过程中不致损坏。

④ 焊条药皮应具有一定的耐潮性,在一般情况下,应满足国标中规定的在水中浸泡的试验要求;特殊情况下,可按焊条设计时的特殊要求进行检验。

⑤ 检验焊条的印字、涂色标志是否正确。

5) 焊条的包装检验

① 检查焊条包装(每包、每箱)外面的标记(牌号、型号、国标号、规格、数量、批号、制造厂名及商标、厂址、出厂日期、检验标记、生产许可证号等)是否完整、准确,最后盖上检验号。

② 批量划分必须符合国家标准中的有关规定。

③ 检验焊条的包装物是否牢固、防潮，包装内必须带有相应焊条的使用说明书。

(3) 焊条成品的检验

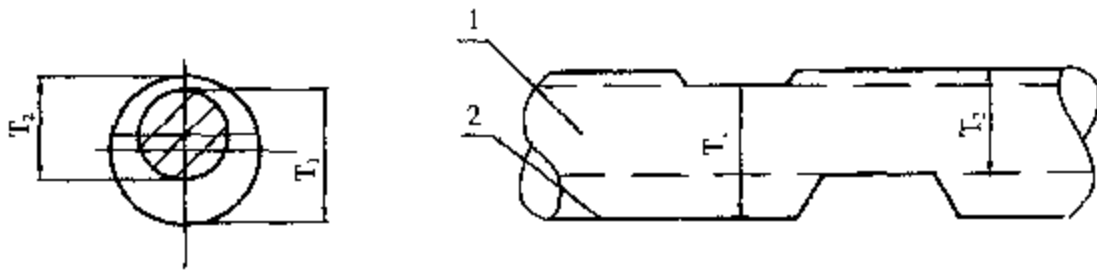
焊条成品检验主要分为外观质量检验、工艺性能检验、理化性能检验或其他特殊性能检验，检验的主要依据是相应的国家标准。没有国家标准的品种，可按企业标准或制造企业与用户所签署的协议进行检验。

焊条成品检验和产品质量分等所依据的标准有：GB/T 5117—1995《碳钢焊条》、GB/T 5118—1995《低合金钢焊条》、GB/T 983—1995《不锈钢焊条》、GB 984—1985《堆焊焊条》、GB 10044—1988《铸铁焊条和焊丝》、GB/T 13814—1992《镍及镍合金焊条》、GB/T 3670—1995《铜及铜合金焊条》、GB 3669—1983《铝及铝合金焊条》等。

1) 焊条外观质量的检验

焊条外观质量不仅直接反应焊条制造的综合技术水平，还直接影响焊条的使用性能和焊接质量。焊条的外观质量检验主要包括焊条偏心度、焊条直径、焊条长度、药皮强度、耐潮性、裂纹、起泡、竹节、损伤、破头、包头、磨尾长度和印字等。

① 焊条偏心度的检验 焊条偏心度是指焊条断面药皮中心与焊芯中心的偏移。焊条偏心的示意图见图 1-2。焊条偏心度的检测主要采用铁磁性偏心测定仪（对具有铁磁性的焊条）或无磁性偏心测定仪（无磁性焊条）等器材。焊条偏心度的测量方法，采用在同一根焊条上至少应测量两处，两处的距离应大于 100mm，距焊条端头应大于 25mm，以数据较大者计算为该焊条的偏心度。每批焊条一般应检测 100 根，当采用破坏性检查时为 20 根。



1—焊芯 2—药皮

图 1-2 焊条偏心示意图

焊条偏心度计算方法为：

$$\text{焊条偏心度} = \left\{ \frac{(T_1 - T_2)}{[0.5(T_1 + T_2)]} \right\} \times 100\%$$

式中： T_1 ——焊条断面药皮最大厚度 + 焊芯直径(mm)；

T_2 ——焊条断面药皮最小厚度 + 焊芯直径(mm)。

对碳钢焊条、低合金钢焊条、不锈钢焊条、铸铁焊条和堆焊焊条等，凡冷拔加工焊芯的焊条，焊条偏心度应符合表 1-46 的规定。

表 1-46 几种焊条偏心度要求 (%)

焊芯类型	焊条类型	焊条直径 (mm)			
		≤2.5	3.2 ~ 4.0	5.0 ~ 6.0	≥8.0
冷拔焊芯	碳钢焊条； 低合金钢焊条； 不锈钢焊条	≤7	≤5	≤4	
	堆焊焊条	≤7		≤5	
非冷拔焊芯 (如铸芯、锻造芯)	铸铁焊条	≤15	≤10	≤7	
	堆焊焊条	≤10			

② 焊条药皮强度的检验 检验的目的是掌握焊条药皮的连接强度。试验方法是：将焊条水平横置，并自由降落到厚度不小于 14mm、水平放置、光滑平整的钢板上，被检焊条只允许在焊条两端的药皮处有破裂，降落高度及破裂总长度的允许值见表 1-47。

表 1-47 降落高度及破裂总长度的允许值

焊条类型	焊条直径(mm)	降落高度(m)		焊条破裂总长度(mm)
碳钢焊条; 低合金钢焊条; 不锈钢焊条	< 4	1		≤30
	≥4	0.5		≤40
铸铁焊条	< 4	0.7		≤30
	4 ~ 5	0.5		
	≥5	0.3		
堆焊焊条	< 4	D/d ≤ 1.7	D/d > 1.7	≤30
		1	0.7	
	≥4	0.5	0.3	

注: D 为焊条药皮外径 (mm), d 为焊芯直径 (mm)。

③ 焊条药皮的耐潮性检验 将焊条浸在 15~20℃ 的水中, 两小时(铸铁焊条 0.5 小时)后观察, 药皮不应有胀开或剥落现象。

④ 焊条尺寸的检验 焊条尺寸一般包括焊条长度、焊条直径、夹持端长度。碳钢焊条的尺寸要求见表 1-48。允许制造直径 2.4mm 或 2.6 mm 焊条代替 2.5 mm 焊条, 直径 3.0mm 焊条代替 3.2mm 焊条, 直径 4.8mm 焊条代替 5.0mm 焊条, 直径 5.8mm 焊条代替 6.0mm 焊条。当焊条直径 ≤ 4.0mm 时, 焊条夹持端长度为 10 ~ 30mm; 当焊条直径 ≥ 5.0mm 时, 焊条夹持端长度为 15 ~ 35mm。低合金钢焊条、不锈钢焊条、堆焊焊条等其他类型的焊条也有各自的规定。

表 1-48 碳钢焊条的尺寸要求 (mm)

焊条直径		焊条长度	
基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差
1.6	± 0.06	200 ~ 250	± 2.0
2.0; 2.5		250 ~ 350	

续表 1-48

焊条直径		焊条长度	
基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差
3.2; 4.0; 5.0	± 0.06	350 ~ 450	± 2.0
5.6; 6.0; 6.4; 8.0		450 ~ 700	

⑤ 焊条弯曲度的检验 一般焊条弯曲的最大挠度不大于 1mm, 但对非冷拔焊芯的铸铁焊条、堆焊焊条可不大于 1.5mm。

⑥ 焊条药皮表面的杂质要求 焊条药皮表面不允许存在木屑、竹片、细钢丝头等杂质, 同时涂料颗粒过大也算杂质, 不允许存在。

⑦ 焊条药皮裂纹 凡属下列情况之一者, 可判为该项不合格: 纵向裂纹或龟裂纹, 总长度大于 20mm; 横向裂纹长度超过焊条半圆周。

⑧ 损伤 凡属下列情况之一者, 可判为该项不合格: 擦伤宽度和长度大于焊芯直径; 擦伤宽度大于 1mm, 1 处长度大于 30mm, 或总长度大于 40mm, 或长度大于 2mm 而深度大于 1/2 药皮厚度; 擦伤宽度大于或等于 1mm, 总长度大于 200mm; 药皮表面的凹坑尺寸大于 2mm 超过 1 处, 或凹坑尺寸大于或等于 1mm 超过两处; 除磨头、磨尾部分外, 药皮表面露焊芯者 (焊条的压痕可按擦伤处理)。

2) 焊条的焊接工艺性能的检验

焊条的工艺性能是指焊条在整个焊接过程中所表现的各种特性, 如电弧稳定性, 再引弧性, 熔渣的流动性、覆盖性、脱渣性, 飞溅大小, 焊缝成形, 全位置焊接的适用性, 焊接烟尘大小等。

① 电弧稳定性 可采用 8 线或 16 线示波器或数字式电弧电压分析仪等来测定。较为简便直观的方法是采用断弧长度和断弧

次数来确定。

断弧长度的测定是将焊条垂直装夹在特制的支架上，焊条下方放置一块钢板，焊条与钢板分别为电源的两极。接通电源后，用碳棒引燃电弧，随着焊条的熔化，电弧长度逐渐增加，当达到一定长度时，电弧自行熄灭。待断电后测量从焊缝顶端至焊芯端头间的距离，这个距离即为断弧长度。断弧长度越大，表明电弧稳定性越好。

断弧次数的测定是在相同试验条件下，将焊条与钢板倾斜约70°夹角，以直线运条，施焊一整根焊条，观察记录灭弧、喘息的次数，以平均断弧次数的多少来评定电弧的稳定性。断弧次数越多，电弧稳定性越差。

② 再引弧性能 在同等试验条件下，将数种焊条分别在试板上施焊，当焊至1/2处时，立即断弧，并停弧一定时间（如1秒、2秒、3秒……）后，再将焊条分别在另一块冷钢板上轻轻接触，观察电弧能否再引燃。不断地延长停弧时间，继续试验，直到不能再引弧为止（不超过30秒）。断弧间隔时间越长，仍能引燃，表明引弧性能越好。

③ 焊条飞溅的大小 焊条焊接时的飞溅大小，以飞溅率表示，可按下式进行计算：

$$\text{飞溅率} = \left[\frac{\text{飞溅物质量}}{\text{焊前焊条的质量} - \text{焊后焊条的质量}} \right] \times 100\%$$

测定飞溅率的方法是将与焊条相匹配的试板（250mm × 30mm × 20mm），垂直放置在厚度5mm的纯铜板上，周围用1mm的纯铜皮围成高300mm的椭圆形屏壁，以利于收集飞溅物。在同等试验条件下在试板表面进行整根焊条平焊，当焊条剩余约50mm时停止焊接，收集飞溅物，并称取焊条焊前质量、焊后剩余部分质量和飞溅物质量，即可计算出飞溅率。试验时通常以3根焊条的平均值计算。

④ 熔渣的流动性与焊缝成形 熔渣的熔点、凝固温度区间的大小、粘度、表面张力、体积质量等均与熔渣的流动性有直接的关系,将会直接影响熔渣覆盖的均匀性和焊缝金属的形成。为了观察焊缝金属的流动性和焊缝成形,通常采用上坡焊、下坡焊或宽坡焊来评定。

⑤ 脱渣性 在同等试验条件下,采用与焊条匹配的试板(400mm × 110mm × 14mm)开 70°坡口进行焊接,试板的两端不焊。焊缝长度为 250 ~ 300mm。每焊完一层后,停止 1 分钟开始做锤击试验,即采用 1kg 的钢球,置于高度 2m 的支架上,使钢球自由落跌到已焊试板的背面,可连续锤击预定的次数(一般为 10 次/分钟),观察并测量脱渣情况,然后按下式计算脱渣率:

$$\text{脱渣率} = \{ (\text{焊缝总长度} - \text{未脱渣的焊缝长度}) / \text{焊缝总长度} \} \times 100\%$$

采用同样方法可以测定第二层焊缝的脱渣率。脱渣率越大,表明焊条的脱渣性越好。

⑥ 抗气孔性能试验 在正常施焊条件下,焊条不应产生影响焊接质量的气孔。在实际焊接生产中,影响产生气孔的因素很多,如焊接工艺参数的选择、焊条受潮、焊工操作技术等。对焊条产品出厂检验来讲,应按照产品说明书所推荐的焊接电流最小值和最大值分别做抗气孔性能试验,即在最小值和最大值的条件下均不应产生有影响焊缝质量的气孔。

⑦ 焊条熔敷效率的测定 焊条的熔敷效率是反映焊接生产率的重要因素之一。根据 GB 3731—83《涂料焊条效率、金属回收率和熔敷系数的测定》的规定,熔敷效率是指焊条在标准规范下熔敷金属质量与所熔化的焊条质量之比。一般在标准规范下,应测试 3 根或 5 根焊条,计算时取平均值,试板尺寸为 300mm × 75mm × 12mm。

⑧ 焊接烟尘发尘量的测定 焊接烟尘多少及其有害成分的含

量是焊条焊接时污染环境、危害身体健康的主要卫生指标,我国一般采用抽气捕尘法测定焊接烟尘的发生量。

(4) 焊条熔敷金属化学成分试验

焊条熔敷金属化学成分是考核焊条产品质量基本的条件,因而化学成分的分析必须准确可靠,其影响因素有焊接工艺参数、取样及分析方法等。各种焊条所采用的化学成分试验方法并不完全相同,但均应符合相应标准的有关规定。施焊方法通常在平焊位置进行堆焊,焊接电源与焊条种类有关。取样采用切削加工方法,但切削速度不宜过快,不能夹带油污等杂质。

1) 碳钢焊条熔敷金属化学成分试验

用于熔敷金属化学分析的试板应进行多层堆焊,每道焊缝的宽度为焊芯直径的 1.5 ~ 2.5 倍;每层焊完后,应将试板在水中冷却约 30 秒;在焊接下一道前,应予以干燥并清除熔渣。焊条熔敷金属化学成分分析取样应符合表 1-49 的规定。化学分析试样也可从其他熔敷金属上制取,但仲裁试验的试样则必须从堆焊金属上制取。熔敷金属化学成分分析试验,可采用供需双方同意的任何适宜的方法,但仲裁试验应按国家标准 GB 223《钢铁及合金化学分析方法》进行。碳钢焊条熔敷金属化学成分应符合 GB/T 5117—1995《碳钢焊条》中,焊条对应型号的熔敷金属化学成分的规定。

表 1-49 碳钢焊条熔敷金属化学成分分析取样规定 (mm)

焊条直径	堆焊金属最小尺寸	取样位置距试板表面最小距离
≤2.5	25 × 25 × 13	6
3.2 ~ 5.0	40 × 40 × 16	8
> 5.0	50 × 50 × 20	10

2) 低合金钢焊条熔敷金属化学成分试验

低合金钢焊条熔敷金属化学分析方法与碳钢焊条基本相同，但低合金钢焊条熔敷金属化学成分应符合 GB/T 5118—1995《低合金钢焊条》中，焊条对应型号的熔敷金属化学成分的规定。

3) 不锈钢焊条熔敷金属化学成分试验

不锈钢焊条熔敷金属化学分析方法与碳钢焊条基本相同，但不锈钢焊条熔敷金属化学分析的母材可为碳钢、低合金钢或不锈钢，焊接预热温度不得低于 16℃。一般熔敷金属含碳量不大于 0.04% 的焊条及 E630 型焊条化学分析用的试板最高含碳量为 0.03%，其余所有型号焊条化学分析用的试板最高含碳量为 0.25%。不锈钢焊条熔敷金属化学成分分析取样应符合表 1-50 的规定。不锈钢焊条熔敷金属化学成分应符合 GB/T 983—1995《不锈钢焊条》中，焊条对应型号的熔敷金属化学成分的规定。

表 1-50 不锈钢焊条熔敷金属化学成分分析取样规定 (mm)

焊条直径	堆焊金属最小尺寸	取样位置距试板表面最小距离
1.6; 2.0; 2.5	38 × 13 × 13	10
3.2; 4.0; 5.0	50 × 13 × 16	13
6.0	63 × 13 × 20	16

4) 堆焊焊条熔敷金属化学成分试验

堆焊焊条熔敷金属化学成分分析的试板应进行多层堆焊或利用硬度试验的试样制取，取样位置距试板表面最小距离与焊条直径有关，当焊条直径小于 6mm 时，取样位置距试板表面最小距离为 8mm；当焊条直径等于或大于 6mm 时，取样位置距试板表面最小距离为 10mm。熔敷金属化学成分应符合 GB 984—1985《堆焊焊条》中相应焊条型号有关化学成分的要求。

5) 其他焊条熔敷金属化学成分试验

① 铸铁焊条熔敷金属化学成分分析的试板应进行多层多道堆焊，试板材料可以采用碳钢或铸铁，试板尺寸和熔敷金属尺寸规定见表 1-51。镍基焊条层间温度不大于 120℃，铁基铸铁焊条层间温度可大于 120℃，试块允许退火处理后取样。铸铁焊条熔敷金属化学成分分析取样应符合表 1-52。铸铁焊条熔敷金属化学成分应符合 GB 10044—1988《铸铁焊条和焊丝》的要求。

表 1-51 试板尺寸和熔敷金属尺寸规定 (mm)

类 型	焊条直径	熔敷金属最小尺寸	试块最小尺寸
铸造焊芯	4.0; 5.0	50 × 25 × 25	80 × 50 × 16
	6.0; 8.0; 10.0	60 × 30 × 25	
冷拔焊芯	2.5; 3.2; 4.0	40 × 15 × 25	60 × 40 × 10
	5.0; 6.0	40 × 20 × 25	

表 1-52 铸铁焊条熔敷金属化学成分分析取样规定 (mm)

焊条直径	取样位置距试板表面最小距离
≤ 3.2	8
4.0; 5.0	10
> 5.0	15

② 铝及铝合金焊条焊芯化学成分应符合 GB 3669—1983《铝及铝合金焊条》的要求。

③ 铜及铜合金焊条熔敷金属化学成分分析的试板采用碳钢板，试板尺寸为 80mm × 50mm × 12mm，焊接位置为平焊。从第四层开始，应注意控制层间温度；焊道超过六层以上时，熔敷金属尺寸应达到 70mm × 40mm × 15mm。取样部位距试件的母材表面不得少于 10mm，取样方法一般采用钻削法或车削法。铜及

铜合金焊条熔敷金属化学成分应符合 GB 3670—1983《铜及铜合金焊条》的要求。

(5) 焊条熔敷金属力学性能试验

1) 焊条熔敷金属力学性能试板的焊接

① 碳钢焊条熔敷金属力学性能试板的长度 $\geq 250\text{mm}$ (长度大于 450mm 的焊条, 试板的长度 $\geq 500\text{mm}$), 每侧宽度 $\geq 100\text{mm}$, 厚度与焊条直径等因素有关。碳钢焊条熔敷金属力学性能试板主要参数见表 1-53, 其示意图见图 1-3。试板应先与垫板进行定位焊, 并预置反变形或拘束, 以防止产生过大的角变形, 试板焊接角变形应控制在 5° 以内, 角变形大于 5° 的试板应予报废, 焊后试板不允许进行矫正。焊前试板预热温度不低于 105°C , 道间温度应控制在 $110 \sim 180^\circ\text{C}$ 之间。焊层数和每层焊道数见表 1-53, 每一焊道在射线探伤区至少有一个熄弧点和起弧点。焊后的焊缝金属至少与试板表面齐平。

表 1-53 碳钢焊条熔敷金属力学性能试板主要参数

焊条直径 (mm)	最小板厚 (mm)	根部间隙 (mm)	每层焊道数	焊层数
2.5	12	10	2	—
3.2		13		5 ~ 7
4.0	20	16		7 ~ 9
5.0		20		6 ~ 8
5.6; 6.0		23		
6.4	25	25		9 ~ 11
8.0	32	28		10 ~ 12

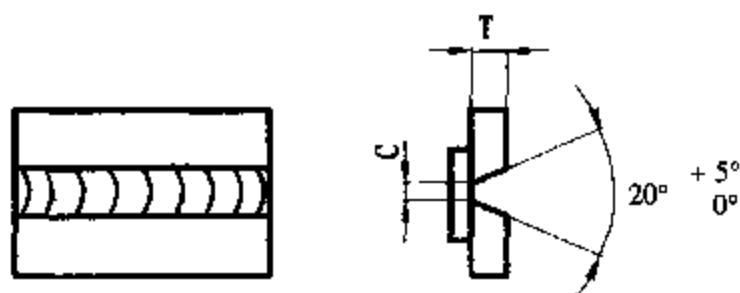


图 1-3 焊条熔敷金属力学性能试板示意图

② 低合金钢焊条熔敷金属力学性能试板采用与试验焊条熔敷金属化学成分相当的低合金钢，如果母材化学成分与试验焊条熔敷金属化学成分不相当，应先用试验焊条在坡口面及垫板表面堆焊隔离层，隔离层厚度加工后不小于 3mm；在确保熔敷金属不受母材影响的情况下，也可采用其他方法。低合金钢焊条熔敷金属力学性能试板尺寸与碳钢焊条基本相同，低合金钢焊条熔敷金属力学性能试板主要参数见表 1-54，其示意图见图 1-3。试板应先预置反变形或拘束，以防止产生过大的角变形，试板角变形大于 5°的试板应予报废，焊后试板不允许进行矫正。试板焊接过程的预热温度、道间温度及热处理温度见表 1-55。

表 1-54 低合金钢焊条熔敷金属力学性能试板主要参数

焊条直径 (mm)	最小板厚 (mm)	根部间隙 (mm)	垫板厚度 (mm)	全摆动焊层	不全摆动焊层		
					焊层	每层焊道数	焊层数
2.0; 2.5	12	6	6	—	—	2	—
3.2				1	2 ~ 顶层		5 ~ 7
4.0	20	13	10	1 ~ 2	3 ~ 顶层	2	7 ~ 9
5.0; 5.6				1 ~ 2	3 ~ 顶层		6 ~ 8
6.0; 6.4	25		12	1 ~ 3	4 ~ 顶层	2	9 ~ 11
8.0	32	1 ~ 3		4 ~ 顶层	10 ~ 12		

表 1-55 低合金钢焊条熔敷金属力学性能试板焊接过程的温度 (°C)

焊条型号	预热及道间温度	热处理温度
E5010-X;E5011-X;E5015-X; E5016-X;E5018-X; E5020-X;E5027-X;E5515-X; E5516-X;E5518-X; E6015-X;E6016-X;E6018-X; E7015-X;E7016-X; E7018-X;E7515-X;E7516-X; E7518-X;E8015-X; E8016-X;E8018-X;E8515-X; E8516-X;E8518-X	90 ~ 110	620 ± 15
E5003-X;E5500-X;E5503-X; E5510-X;E5511-X;E5513-X; E6010-X;E6011-X;E6013-X; E7010-X;E7011-X;E7013-X	160 ~ 220	620 ± 15
E5515-B2L;E5510-B2; E5511-B2;E5513-B2; E5515-B2;E5516-B2; E5518-B2;E5518-B2L		690 ± 15
E5500-B2-V;E5515-B2-V; E5515-B2-VW; E5515-B2-VNb;E5515-B3-VNb	250 ~ 300	720 ± 15
E5515-B3-VWB	320 ~ 360	760 ± 15
E6000-B3;E6015-B2L;E6015-B3; E6016-B3; E6018-B3;E6018-B3L;E5515-B4L; E5516-B5	160 ~ 200	690 ± 15
E5018-W;E5516-C3;E5518-C3; E5518-NM;E5518-C3	90 ~ 110	
E8518-M1	110 ~ 140	

③ 不锈钢焊条熔敷金属力学性能试板采用与试验焊条熔敷金属化学成分相当的不锈钢,也可使用碳钢母材,但应在坡口面及垫板表面堆焊隔离层。不锈钢焊条熔敷金属力学性能试板尺寸见表 1-56,其示意图见图 1-4。试板应先预置反变形或拘束,以防止产生过大的角变形,试板角变形大于 5° 的试板应予以报废,焊后试板不允许进行矫正。不锈钢焊条熔敷金属力学性能试板焊接过程的道间温度见表 1-57。

表 1-56 不锈钢焊条熔敷金属力学性能试板尺寸 (mm)

焊条直径	试板厚度	试板长度	根部间隙	垫板厚度	试板长度的每侧废弃段
3.2	≥ 12	≥ 80	13	5	≥ 7
4.0 ~ 6.0	≥ 20	≥ 120	13	6	≥ 7

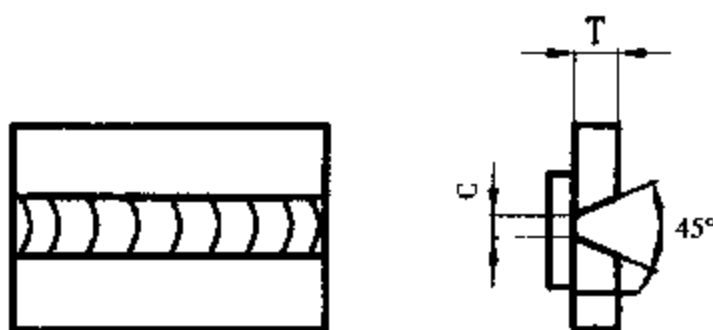


图 1-4 不锈钢焊条熔敷金属力学性能试板示意图

表 1-57 试板焊接过程的道间温度

焊条型号	试件温度($^{\circ}\text{C}$)
E4XX (E410 除外); E5XX; E7Cr	150 ~ 260
F410	210 ~ 315
E11MoVNi; E11MoVNiW	350 ~ 450
其他型号	16 ~ 150

④ 堆焊焊条熔敷金属硬度试板采用低碳钢材料，试板厚度 $\geq 16\text{mm}$ ，长度尺寸 100mm ，宽度尺寸 50mm ，在平焊位置进行堆焊，堆焊至少四层，每道焊缝宽度不得大于焊条直径的4倍。堆焊时，每焊完一道，焊缝应冷却至 $100 \pm 10^\circ\text{C}$ 再开始焊下一道焊缝。对于要求预热焊接或焊后需要热处理的焊条，按焊条说明书推荐的预热规范或焊后热处理规范进行。堆焊金属顶面尺寸不得小于 $15 \times 70\text{mm}$ 。

2) 焊条熔敷金属拉伸试验

焊接材料(包括焊条、焊丝)熔敷金属拉伸试验应执行 GB 2652—1989《焊缝及熔敷金属拉伸试验方法》和 GB/T 228—2002《金属材料 室温拉伸试验方法》。一般碳钢焊条、低合金钢焊条和不锈钢焊条需要进行熔敷金属拉伸试验，试件从熔敷金属力学性能试板上焊缝区域内制取，试件数量为一件。焊接材料熔敷金属拉伸试样示意图见图 1-5，相关尺寸见表 1-58，熔敷金属拉伸试验得到的主要性能参数见表 1-59。

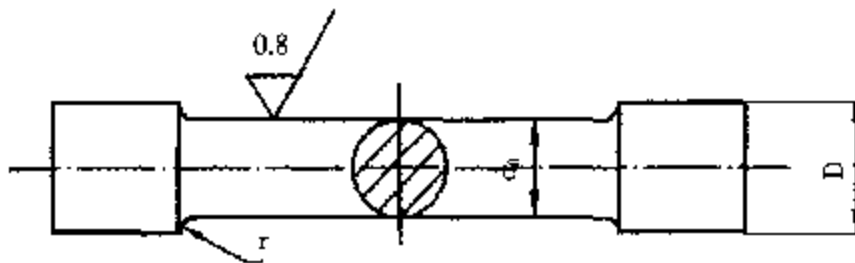


图 1-5 焊接材料熔敷金属拉伸试样示意图

表 1-58 焊接材料熔敷金属拉伸试样相关尺寸 (mm)

焊条直径	试样直径 d_0	夹持端 直径 D	过渡弧 半径 r	原始标距 L_0	平行长度 L_e
≤ 3.2	6 ± 0.1	12	5	30	36
≥ 4.0	10 ± 0.2	16	10	50	60

表 1-59 熔敷金属拉伸试验得到的主要性能参数

新标准			旧标准		
性能名称	符号	计量单位	性能名称	符号	计量单位
抗拉强度	R_m	MPa	抗拉强度	σ_b	MPa; kgf/mm ²
屈服强度	—	—	屈服点	σ_s	MPa; kgf/mm ²
上屈服强度	R_{eH}	MPa	上屈服点	σ_{sU}	MPa; kgf/mm ²
下屈服强度	R_{eL}	MPa	下屈服点	σ_{sL}	MPa; kgf/mm ²
断后伸长率	A $A_{11.3}$	%	断后伸长率	δ_5 δ_{10}	%
断面收缩率	Z	%	断面收缩率	Ψ	%

3) 焊条熔敷金属 V 型缺口冲击试验

焊接材料(包括焊条、焊丝)熔敷金属 V 型缺口冲击试验应执行 GB 2650—1989《焊接接头冲击试验方法》。一般碳钢焊条、低合金钢焊条和部分不锈钢焊条需要进行熔敷金属 V 型缺口冲击试验。焊接材料熔敷金属 V 型缺口冲击试样示意图见图 1-6。试件从熔敷金属力学性能试板上制取,试件数量为五件。数据处理以五个冲击试样的冲击吸收功为基础,舍去其中的最大值和最小值,并计算该焊接材料其余 3 个试验数值的平均值,在工程实际中对焊接材料的 V 型缺口冲击试验数据的平均值和最小值都有要求。进行熔敷金属 V 型缺口冲击试验时,一般应同时记录试样热处理状况、冲击试验温度和冲击吸收功。低温冲击试验的试样冷却介质,通常采用干冰或在酒精中倒入液氮来获取低温条件。熔敷金属 V 型缺口冲击试验结果与焊接工艺参数、运条方法、层间温度、焊层的厚薄、焊接线能量等因素有关。

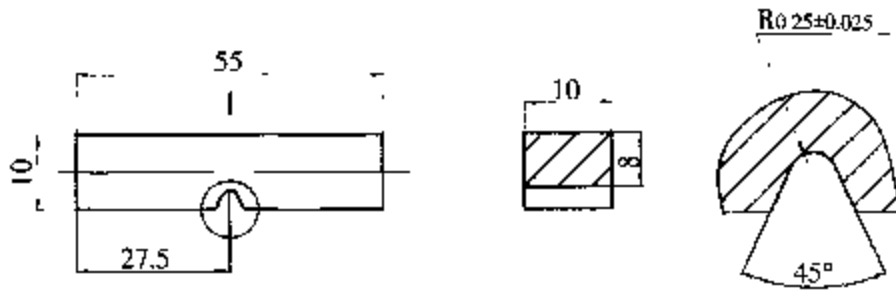


图 1-6 熔敷金属夏比 V 型缺口冲击试样

4) 焊条熔敷金属硬度试验

一般堆焊焊条和部分铜及铜合金焊条需要进行熔敷金属硬度试验,硬度试验执行 GB 2654—1989《焊接接头及堆焊金属硬度试验方法》,可根据所用标准或技术条件要求,分别选用布氏、洛氏或维氏硬度计进行测定。试样的测试面与支承面应加工磨平,使试样的测试面与支承面相互平行,表面状况符合相应要求。如果测试点有焊接缺陷时,则该点试验结果无效。堆焊焊条熔敷金属硬度试验需要制取一个试样,测定洛氏硬度时取 5 至 10 点,测定布氏硬度时取 5 点。

(6) 焊条 T 型接头角焊缝试验

T 型接头角焊缝试板是由立板和底板组成,立板和底板的结合面应采用切削加工;底板应平直、光洁,以保证两板结合处无明显缝隙。T 型接头角焊缝试板示意图见图 1-7。根据焊条的适用位置,该焊条每个焊接位置制备一套试板。焊后应肉眼检查试板角焊缝表面,应无裂纹、焊瘤、夹渣及表面气孔,允许有个别短而且深度小于 1mm 的咬边。并在图 1-7 所示的试板中部截取一个宏观金相试件,其两截面的任意一面均可用于检验。断面经抛光和腐蚀后,测量焊角尺寸、焊角及凸形角焊缝的凸度,焊角尺寸要求与焊条直径、试板厚度、试板长度、焊接位置等因素有关,测量误差精确到 0.1mm。剩余的两块接头按图 1-8 所示的折断方向沿整个角焊缝

纵向折断,检查断裂表面。如果断在母材上不能认为焊缝金属不合格,应重新试验。一般碳钢焊条、低合金钢焊条和不锈钢焊条需要进行T型接头角焊缝试验,T型接头角焊缝试板数量为一件。

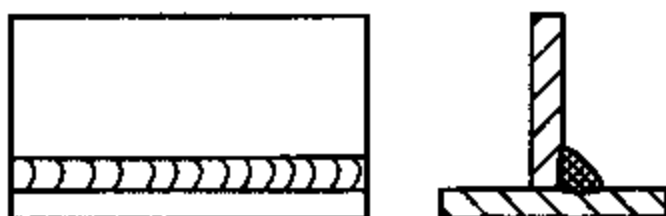


图 1-7 T型接头角焊缝试板示意图

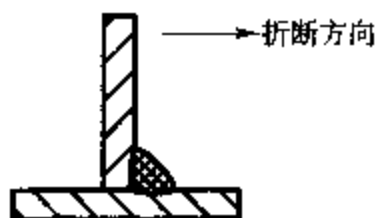


图 1-8 T型接头角焊缝纵向折断方向

2. 焊丝检验技术

(1) 气体保护电弧焊用焊丝的检验

1) 气体保护电弧焊用焊丝的化学成分

焊丝的化学成分试样一般从成品焊丝上截取 $\leq 1\text{mm}$ 的焊丝段,并需要根据检测的焊丝化学元素种类和试验方法,确定焊丝的化学成分试样质量,同时应备有足够的重复试验的试样。

2) 焊丝的尺寸及允许偏差

① 主要检查焊丝的直径是否符合响应规格的要求及是否在允许偏差范围内,一般焊丝直径在 $0.8 \sim 1.6\text{mm}$ 时,其允许偏差为

+ 0.01 ~ - 0.04mm。

② 焊丝的挺度应能使焊丝均匀连续送进,不同直径焊丝的抗拉强度要求不同,其中焊丝直径在 0.8 ~ 1.2mm 时,焊丝的抗拉强度应 $\geq 930\text{MPa}$ 。

③ 焊丝的松弛直径和翘距应在规定的范围内,当焊丝盘外径 $\geq 200\text{mm}$ 时,松弛直径应 $\geq 250\text{mm}$,翘距应 \leq 松弛直径/10。

3) 焊丝的表面质量要求

① 焊丝表面必须光滑平整,不应有毛刺、划痕、锈蚀和氧化皮等,也不应有其他对焊接性能或焊接设备操作性能不良影响的缺陷。

② 焊丝的镀铜层要均匀牢固,用缠绕法检查镀铜层的结合力时,应不出现起鳞与剥离现象。一般焊丝直径在 1.0 ~ 1.6mm 时,被缠绕金属棒直径为 6mm。

4) 焊丝的拉伸试验

焊丝拉伸试验的试样取自成品焊丝,试样长度为 200 ~ 250mm,焊丝的拉伸试验仅测取焊丝的抗拉强度。气体保护电弧焊用焊丝的抗拉强度要求见表 1-60。

表 1-60 气体保护电弧焊用焊丝的抗拉强度要求

焊丝直径(mm)	0.8; 1.0; 1.2	1.4; 1.6; 2.0	2.5; 3.0; 3.2
焊丝抗拉强度(MPa)	≥ 930	≥ 860	≥ 550

5) 气体保护电弧焊用焊丝熔敷金属力学性能试验

① 气体保护电弧焊用焊丝熔敷金属力学性能试板的长度 $\geq 250\text{mm}$,每侧宽度 $\geq 125\text{mm}$,厚度为 20mm,其余要求与碳钢焊条熔敷金属力学性能试板相同。熔敷金属力学性能试板焊接的主要温度参数见表 1-61,熔敷金属力学性能试板焊接规范参数见表 1-62。

表 1-61 熔敷金属力学性能试板焊接的主要温度参数

焊丝型号	预热温度 (°C)	道间温度 (°C)	焊后热处理温度 (°C)
ER 49-1;ER 50-2;ER 50-3; ER 50-4; ER 50-5;ER 50-6;ER 50-7	不需要	150 ± 15	焊态
ER 55-D2-Ti;ER 55-D2	150 ± 15		520 ± 15
ER 55-B2;ER 55-B2L			730 ± 15
ER 55-B2-MnV			700 ± 15
ER 55-B2-Mn			620 ± 15
ER 55-C1;ER 55-C2; ER 55-C3			
ER 62-B3;ER 62-B3L	200 ± 15	200 ± 15	690 ± 15
ER 69-1;ER 69-2;ER 69-3; ER 76-1;ER 83-1	150 ± 15	150 ± 15	焊 态
ER××-G	供需双方协商		

表 1-62 熔敷金属力学性能试板焊接规范参数

焊丝直径 (mm)	送丝速度 (mm/s)	焊接电流 (A)	焊接电压 (V)	电极端与工件距离 (mm)	焊接速度 (mm/s)
1.2	190 ± 10	260 ~ 290	27 ~ 31	19 ± 3	5.5 ± 0.5
1.6	102 ± 5	330 ~ 360	26 ~ 30		

② 不同型号焊丝的力学性能试验及射线探伤试验的规定不同,大部分的碳钢焊丝、铬钼焊丝、镍钢焊丝、锰钼钢焊丝及其他低合金钢焊丝要求进行射线探伤试验、熔敷金属拉伸试验、V型缺口冲击试验,而有些型号的碳钢焊丝、铬钼焊丝不需要进行V型缺口冲击试验。

气体保护电弧焊用焊丝熔敷金属力学性能试板焊缝射线探伤应符合 GB/T 3323—1987《钢熔化焊对接接头射线照相和质量分级》中的Ⅱ级规定,试板射线探伤前应去掉垫板,在评定焊缝射线探伤底片时,试件两端 25mm 应不予考虑。

气体保护电弧焊用焊丝熔敷金属拉伸试验方法、试样形式与焊条熔敷金属拉伸试验相同,试样数量为一件。气体保护电弧焊用焊丝熔敷金属 V 型缺口冲击试验方法、试样形式与焊条熔敷金属 V 型缺口冲击试验相同,但不同型号焊丝的熔敷金属 V 型缺口冲击试验温度及试验数值要求却不一定相同,具体要求见 GB/T 8110—1995《气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝》。

(2) 药芯焊丝的检验

1) 碳钢药芯焊丝的检验

多道焊碳钢药芯焊丝的检验一般需要进行熔敷金属化学成分试验、拉伸性能试验、冲击性能试验、力学性能试板的射线探伤试验、角焊缝试验,单道焊碳钢药芯焊丝的检验一般需要进行对接接头横向拉伸性能试验、纵向弯曲试验、角焊缝试验。碳钢药芯焊丝中单道焊、多道焊的类别及型号见表 1-29。试板材料应选用 GB/T 700 中规定的 Q235A 级、Q235B 级、Q255A 级、Q255B 级或 GB 712、GB 713 中抗拉强度或化学成分与试验焊丝熔敷金属相当的板材。

① 碳钢药芯焊丝的熔敷金属化学成分试验 熔敷金属化学成分分析的试件应在平焊位置多层堆焊制备,堆焊的熔敷金属最小尺寸为 40mm × 13mm × 13mm,试件表面应干净,试件的焊前温度应不低于 16℃,试件堆焊的道间温度应不超过 165℃,如试板温度较高可用水冷或空冷进行降温。化学成分试样从试件上制取,取样处至堆焊金属母材表面的距离应不少于 10mm,其他要求与碳钢焊条熔敷金属化学成分试验相同。

② 碳钢药芯焊丝熔敷金属力学性能试验及射线探伤试验的

试板制备与气体保护电弧焊用焊丝熔敷金属力学性能试板组装方式和对试板角变形要求等相同。碳钢药芯焊丝试板的焊接道数和层数规定见表 1-63。

表 1-63 碳钢药芯焊丝试板的焊接道数和层数规定

型 号	焊丝直径 (mm)	总道数	每层推荐道数		推荐 层数
			第一层	第二层 以上	
E50×T-1; E50×T-1M; E50×T-5; E50×T-5M; E50×T-9; E50×T-9M; E50×T-12; E50×T-12M	0.8; 1.0; 1.2	12 ~ 19	1或2	2或3	6 ~ 9
	1.4; 1.6; 2.0	10 ~ 17	1或2	2或3	5 ~ 8
	2.4; 2.8; 3.2	7 ~ 14	1或2	2或3	4 ~ 7
E50×T-4; E50×T-6; E50×T-7	2.4	7 ~ 11	1	2	4 ~ 6
E50×T-8	2.4	12 ~ 17	1	2或3	6 ~ 9
E50×T-11	2.4	7 ~ 11	1	2	4 ~ 6
	≤1.2	18 ~ 27	2	3	6 ~ 9
E43×T- G; E50×T- G	无规定, 要求记录				

注: 实际焊接道数、焊丝直径、送丝速度、焊接电流、电弧电压、焊接速度、焊丝伸出长度都应做记录。

③ 碳钢药芯焊丝的焊缝射线探伤要求与气体保护电弧焊用焊丝检验相同。

④ 碳钢药芯焊丝的熔敷金属力学性能试验(包括熔敷金属拉伸试验和 V 型缺口冲击试验)与碳钢焊条、气体保护电弧焊用焊丝熔敷金属力学性能试验方法、试样形式相同, 拉伸试样数量为一件, V 型缺口冲击试样为五件。碳钢药芯焊丝的熔敷金属力学性能试验数值要求见表 1-28。

⑤ 碳钢药芯焊丝的角焊缝试验与焊条 T 型接头角焊缝试验的试验方法、型式、要求基本相同。T 型接头角焊缝试板的立板和底板结合处应没有明显缝隙，T 型接头角焊缝试板焊后应肉眼检查试板焊角尺寸及角焊缝的凸度，测量误差精确到 0.1mm。剩余的两块接头沿整个角焊缝纵向折断，检查断裂表面。如果断在母材上不能认为焊缝金属不合格，若断在母材上的总长度小于焊缝总长度的 1/2 时，可认为试验通过，否则应重新试验但不必加倍复验。对于 E××0T-×型焊丝，应在平角焊位置焊接一件角焊缝试板。对于 E××1T-×型焊丝，应在焊接两件角焊缝试板，焊接位置分别为立焊位置和仰焊位置。

2) 低合金钢药芯焊丝的检验

低合金钢药芯焊丝的检验一般需要进行熔敷金属化学成分试验、拉伸性能试验、冲击性能试验、力学性能试板的射线探伤试验、角焊缝试验。试板材料应选用 GB/T 700、GB 712、GB/T 1591 或 GB 3077 中抗拉强度或化学成分与试验焊丝相近的钢材，也可采用在试板坡口及垫板表面堆焊过渡层的方法，过渡层厚度不小于 3mm。

① 低合金钢药芯焊丝的熔敷金属化学成分试验与碳钢药芯焊丝的熔敷金属化学成分试验相同。

② 低合金钢药芯焊丝熔敷金属的力学性能试板的制备与气体保护电弧焊用焊丝相同。低合金钢药芯焊丝类别见表 1-32；低合金钢药芯焊丝试板的焊接道数和层数规定见表 1-64；低合金钢药芯焊丝试板焊接的主要温度参数见表 1-65，其中焊后热处理可在射线探伤前或后，但必须在冲击试样和拉伸试样加工以前进行。热处理的升温速度不超过 280℃/h，保温时间为 1 小时，然后以不超过 195℃/h 的速度冷却；当冷却至 320℃时，可从炉中取出试件。

表 1-64 低合金钢药芯焊丝试板的焊接道数和层数规定

型 号	焊丝直径 (mm)	总道数	每层推荐道数		推荐 层数
			第一层	第二层以上	
E×××T1-×; E×××T5-×	1.2	13 ~ 19	1或2	2或3	6 ~ 7
	1.4	12 ~ 18	1或2	2或3	6 ~ 7
	1.6	11 ~ 16	1或2	2或3	6
	2.0	10 ~ 16	1或2	2或3	6
	2.4	9 ~ 14	1或2	2或3	5 ~ 6
	2.8	9 ~ 13	1或2	2或3	5
	3.2	7 ~ 12	1或2	2或3	4 ~ 5
E×××T4-×	—	7 ~ 14	1	2	4 ~ 6
E×××T8-×	—	10 ~ 17	1	2或3	6 ~ 9
E×××TX-G	无规定,要求记录				

注:实际焊接道数、焊丝直径、送丝速度、焊接电流、电弧电压、焊接速度、焊丝伸出长度、保护气体均应做记录。

表 1-65 低合金钢药芯焊丝试板焊接的主要温度参数 (°C)

焊 丝 型 号	预热及 道间温度	焊后热 处理温度
E500T5-A1; E550T1-A1; E551T1-A1; E550T5-Ni1; E550T5-Ni2; E550T5-Ni3; E600T5-Ni3; E600T5-D2; E700T5-D2	150 ± 15	620 ± 15
E551T1-B1; E550T1-B2; E551T1-B2; E550T5-B2; E550T1-B2H; E550T5-B2L; E600T1-B3; E601T1-B3; E600T5-B3; E700T1-B3; E600T1-B3H; E600T1-B3L	175 ± 15	690 ± 15

续表 1-65

焊丝型号	预热及 道间温度	焊后热 处理温度
E501T8-Ni1; E550T1-Ni1; E551T1-Ni1; E501T8-Ni2; E550T1-Ni2; E551T1-Ni2; E600T1-Ni2; E601T1-Ni2; E601T1-D1; E600T1-D3; E550T5-K1; E500T4-K2; E501T8-K2; E550T1-K2; E550T5-K2; E600T1-K2; E601T1-K2; E600T5-K2; E700T1-K3; E700T5-K3; E750T1-K3; E750T5-K3; E751T1-K4; E750T5-K4; E850T5-K4; E850T1-K5; E431T8-K6; E501T8-K6; E550T1-W	150 ± 15	无
E×××T×-G	由供需双方协商	

③ 低合金钢药芯焊丝的焊缝射线探伤要求与气体保护电弧焊用焊丝检验相同。

④ 低合金钢药芯焊丝的熔敷金属力学性能试验(包括熔敷金属拉伸试验和 V 型缺口冲击试验)与碳钢焊条、气体保护电弧焊用焊丝熔敷金属力学性能试验方法、试样形式相同,拉伸试样数量为一件, V 型缺口冲击试样为五件。低合金钢药芯焊丝熔敷金属的拉伸性能试验数值要求见表 1-31; 如果试板为焊态条件(指焊后未进行热处理)时,切削加工拉伸试样前,应在 90 ~ 105℃范围内进行 48 小时或在 240 ~ 260℃范围内进行 7 小时的处理。低合金钢药芯焊丝熔敷金属的 V 型缺口冲击试验温度见表 1-66。

表 1-66 低合金钢药芯焊丝熔敷金属的 V 型缺口冲击试验温度

型 号	试件状态	试验温度 (℃)	冲击吸收功 (J)
E550T1-A1; E551T1-A1	PWHT	不要求	
E500T5-A1	PWHT	-30	≥27

续表 1-66

型 号	试件状态	试验温度 (℃)	冲击吸收功 (J)
E551T1-B1; E551T1-B2; E550T1-B2; E550T5-B2; E550T1-B2H; E550T5-B2L; E600T1-B3; E601T1-B3; E600T5-B3; E700T1-B3; E600T1-B3L; E600T1-B3H;	PWHT		不要求
E501T8-Ni1; E550T1-Ni1; E551T1-Ni1;	AW	- 30	≥27
E550T5-Ni1	PWHT	- 50	≥27
E501T8-Ni2	AW	- 30	≥27
E550T1-Ni2; E551T1-Ni2	AW	- 40	≥27
E550T5-Ni2	PWHT	- 60	≥27
E600T1-Ni2; E601T1-Ni2	AW	- 40	≥27
E550T5-Ni3; E600T5-Ni3	PWHT	- 70	≥27
E601T1-D1	AW	- 40	≥27
E600T5-D2	PWHT	- 50	≥27
E700T5-D2	PWHT	- 40	≥27
E600T1-D3	AW	- 30	≥27
E550T5-K1	AW	- 40	≥27
E500T4-K2	AW	- 20	≥27
E501T8-K2; E550T1-K2	AW	- 30	≥27
E600T1-K2; E601T1-K2	AW	- 20	≥27

续表 1-66

型 号	试件状态	试验温度 (°C)	冲击吸收功 (J)
E550T5-K2	AW	- 30	≥27
E600T5-K2	AW	- 50	≥27
E700T1-K3; E750T1-K3	AW	- 20	≥27
E700T5-K3; E750T5-K3; E750T5-K4; E751T1-K4; E850T5-K4	AW	- 50	≥27
E850T1-K5	AW	不要求	
E431T8-K6; E501T8-K6	AW	- 30	≥27
E701T1-K6	AW	- 50	≥27
E550T1-W	AW	- 30	≥27

⑤ 低合金钢药芯焊丝的角焊缝试验与焊条 T 型接头角焊缝试验要求相同。要求焊接两件角焊缝试板,焊接位置分别为立焊位置和仰焊位置。如果断在母材上不能认为焊缝金属不合格,应重新试验。

3) 不锈钢药芯焊丝的检验

不锈钢药芯焊丝的检验一般需要进行焊丝的外观尺寸检验、熔敷金属化学成分试验、拉伸性能试验、焊缝射线探伤试验、焊接接头弯曲试验。所有试验用碳钢、低合金钢或不锈钢应分别符合 GB/T 700、GB/T 1591、GB/T 4237 的规定。

① 不锈钢药芯焊丝的外观尺寸检验要求见表 1-67。焊丝表面应光滑,不应有毛刺、凹坑、划痕、锐弯、打结、油污及对焊接性能或焊接设备操作性能有不良影响的其他缺陷及接头等。焊丝应能在自动或半自动焊接设备上均匀、连续地送进。

表 1-67 不锈钢药芯焊丝的外观尺寸检验要求 (mm)

型 号	E×××TX-X		R×××TX-X
直 径	1.0; 1.2; 1.4; 1.6	2.0; 2.4; 2.8; 3.2; 4.0	2.0; 2.2; 2.4
偏 差	± 0.05	± 0.08	± 0.08

注: R×××TX-X型焊丝长度为 1000 mm ± 10 mm。

② 不锈钢药芯焊丝的熔敷金属化学成分试验 熔敷金属化学成分试验的母材可以是碳钢、低合金钢或不锈钢。熔敷金属碳当量大于 0.04%的焊丝, 采用碳当量不大于 0.25%的母材; 熔敷金属碳当量不大于 0.04%的焊丝, 采用碳当量不大于 0.03%的母材。熔敷金属化学成分分析的试件应在平焊位置多层堆焊的焊缝上制备, 试件堆焊的预热温度应不低于 16℃, 如试板温度较高可用水冷进行降温。化学成分试样从试件上制取前, 应清理试件的焊缝表面, 以保证试样无缺陷, 取样取自第三层以上的堆焊金属, 取样位置见表 1-68。熔敷金属化学成分分析方法按照 GB/T 223.1~ GB/T 223.78 进行。

表 1-68 堆焊金属尺寸及取样位置 (mm)

型 号	焊丝直径	堆焊金属 最小尺寸 长×宽×高	取样部位距 母材上表面 最小距离
E×××TX-X	1.0; 1.2; 1.4; 1.6; 2.0	75 × 25 × 15	10
	2.4; 2.8; 3.2; 4.0	75 × 25 × 20	15
R×××T1-5	2.0; 2.2; 2.4	75 × 25 × 10	7

③ 不锈钢药芯焊丝熔敷金属的力学性能试板制备与气体保护电弧焊用焊丝相似, 不锈钢药芯焊丝试板母材应是与熔敷金属

化学成分相当的不锈钢板，不锈钢药芯焊丝试板尺寸参数见表 1-69，试件长度应 $\geq 150\text{mm}$ ，每侧宽度应 $\geq 100\text{mm}$ ，其中 0Cr19Ni9 型不锈钢板可用于任何一种 E3X \times TX-X 焊丝。当母材化学成分与熔敷金属化学成分不相当时，应在坡口面和垫板面预堆过渡层，过渡层应使用试验焊丝以窄焊道焊接，加工后过渡层厚度不小于 3mm。不锈钢药芯焊丝试板焊接的主要温度参数见表 1-70，如果焊接过程中试板温度太高，不允许在水中冷却，应在空气中冷却到规定的温度范围。

表 1-69 不锈钢药芯焊丝试板尺寸参数

型 号	焊丝直径 (mm)	最小 板厚 T (mm)	根部 间隙 C (mm)	每层焊道数		焊 层 数
				第 1、 2 层	第 3 层 ~ 顶层	
E \times \times \times T \times - \times	1.0	12	10	1 ~ 2	2 ~ 4	6 ~ 9
	1.2; 1.4; 1.6; 2.0; 2.4	20			2 ~ 3	5 ~ 8
	2.8; 3.2; 4.0				(顶层可 以是 4 层)	4 ~ 8
R \times \times \times T1-5	2.0; 2.2; 2.4	12	6		5 ~ 8	

表 1-70 不锈钢药芯焊丝试板焊接的主要温度参数

型 号	预热温度及道间温度 (°C)
E2 \times \times T \times - \times	16 ~ 150
E3 \times \times T \times - \times	
R3 \times \times T1-5	
E4 \times \times T \times - \times (E410T \times - \times 除外)	150 ~ 260
E5 \times \times T \times - \times	
E410T \times - \times	200 ~ 320

④ 不锈钢药芯焊丝的焊缝射线探伤要求与气体保护电弧焊用焊丝检验相同。

⑤ 不锈钢药芯焊丝的熔敷金属拉伸试验 拉伸试样从射线探伤的试板上制取,试样数量为一件,与碳钢焊条、气体保护电弧焊用焊丝熔敷金属拉伸性能试验方法、试样形式相同。不锈钢药芯焊丝熔敷金属的拉伸性能试验数值要求见表 1-71。

表 1-71 不锈钢药芯焊丝熔敷金属的拉伸性能试验数值要求

型 号	抗拉强度 R_m (MPa)	伸长率 A (%)	焊后热处理
E307T×-×	590	30	—
E308T×-×	550	35	—
E308LT×-×	520	35	—
E308HT×-×	550	35	—
E308MoT×-×	550	35	—
E308LMoT×-×	520	35	—
E309T×-×	550	25	—
E309LNbT×-×	520	25	—
E309LT×-×	520	25	—
E309MoT×-×	520	25	—
E309LMoT×-×	520	25	—
E309LNiMoT×-×	520	25	—
E310T×-×	550	25	—
E312T×-×	660	22	—
E316T×-×	520	30	—
E316LT×-×	485	30	—

续表 1-71

型 号	抗拉强度 R_m (MPa)	伸长率 A (%)	焊后热处理
E317LT×-×	520	20	—
E347T×-×	520	25	—
E409T×-×	450	15	—
E410T×-×	520	20	加热到 730 ~ 760℃ × 1h, 以 ≤55℃/h 炉冷至 315℃, 出炉 空冷至室温
E410NiMoT×-×	760	15	加热到 595 ~ 620℃ × 1h, 出炉空冷至室温
E410NiTiT×-×	760	15	
E430T×-×	450	20	加热到 760 ~ 790℃ × 4h, 以 ≤55℃/h 炉冷至 590℃, 出炉 空冷至室温
E502T×-×	415	20	加热到 840 ~ 870℃ × 2h, 以 ≤55℃/h 炉冷至 590℃, 出炉 空冷至室温
E505T×-×	415	20	
E308HMoT0-3	550	30	—
E316LKT0-3	485	30	—
E2209T0-×	690	20	—
E2553T0-×	760	15	—
E×××T×-G	不规定		
R308LT1-5	520	35	—
R309LT1-5	520	30	—
R316LT1-5	485	30	—
R347T1-5	520	30	—

注:除另外注明外,表中所列单个值均为最小值。

⑥ 不锈钢药芯焊丝焊接接头的弯曲试验 E3××TX-X系列的不锈钢药芯焊丝焊接接头要求进行纵向正弯。R×××T1-5系列的不锈钢药芯焊丝焊接接头要求进行纵向背弯。纵向正弯试验或纵向背弯试验均应按 GB/T 2653 进行，压头直径为 40mm，弯曲角度为 180°，试样数量为一件；焊接接头纵向正弯或纵向背弯试样经弯曲后，在焊缝上不应有大于 3mm 的裂纹等缺陷。

⑦ 不锈钢药芯焊丝熔敷金属耐腐蚀性能试验按 GB/T 4334.5 或按供需双方协商的方法进行。不锈钢药芯焊丝熔敷金属铁素体含量试验按 GB/T 1954 或按供需双方协商的方法进行。

(3) 埋弧焊用焊丝的检验

埋弧焊用焊丝的检验根据 GB/T 14957—1994《熔化焊用钢丝》和 GB/T 17854—1999《埋弧焊用不锈钢焊丝和焊剂》的规定，主要检测焊丝外观尺寸、化学成分、表面质量等内容。

1) 埋弧焊用焊丝外观尺寸的检验

① 埋弧焊用焊丝直径及其允许尺寸偏差(见表 1-72)

表 1-72 焊丝直径及其允许尺寸偏差 (mm)

公称直径	允许偏差	
	普通精度	较高精度
1.6; 2.0; 2.5; 3.0	- 0.10	- 0.06
3.2; 4.0; 5.0; 6.0	- 0.12	- 0.08

② 焊丝的不圆度不大于直径公差的一半。

③ 焊丝的捆(盘)应规整,不得散乱或呈“∞”字形。

2) 埋弧焊用焊丝化学成分(见表 4-2)

① 制造焊丝用盘条应符合 GB 3429《焊接用钢盘条》的规定。

② 根据供需双方协议，焊丝 H08A、H08E、H08C 非沸腾钢允许硅含量不大于 0.10%。

3) 埋弧焊用焊丝的表面质量

① 焊丝表面应光滑,不得有肉眼可见的裂纹、折叠、结疤、氧化铁皮和锈蚀等有害缺陷存在。

② 焊丝表面允许有不超出直径允许偏差一半的划伤及不超出直径偏差的局部缺陷存在。

③ 根据供需双方协议,可供给镀铜焊丝,其镀铜表面应光滑,不得有肉眼可见的裂纹、麻点和锈蚀。

3. 埋弧焊焊剂检验技术

埋弧焊焊剂的检验根据 GB/T 5293—1999《埋弧焊用碳钢焊丝和焊剂》、GB 12470—1990《低合金钢埋弧焊用焊剂》和 GB/T 17854—1999《埋弧焊用不锈钢焊丝和焊剂》的规定,主要检测熔敷金属的拉伸性能、熔敷金属 V 型缺口冲击吸收功、渣系主要成分、焊接试件射线探伤、焊剂颗粒度、焊剂抗潮性、焊剂机械夹杂物、焊剂的焊接工艺性能、焊剂的硫磷含量等内容。

(1) 碳钢和低合金钢埋弧焊用焊剂的试验

1) 碳钢和低合金钢埋弧焊用焊剂熔敷金属力学性能试板的制备
碳钢和低合金钢埋弧焊用焊剂熔敷金属的力学性能是通过焊剂与焊丝的组合焊接试板进行测试的,焊剂与焊丝的共同作用决定了熔敷金属的力学性能。

① 熔敷金属力学性能试板应采用与焊缝强度级别相当的钢板,试板尺寸为 $300\text{mm} \times 150\text{mm} \times 25\text{mm}$,试板应留有引弧板和收弧板。

② 试板应先与垫板(厚度为 12mm)进行定位焊,并预置反变形或加以拘束,试板焊接角变形应控制在 5° 以内,角变形大于 5° 的试板应予报废,试板不允许进行矫正。

③ 一般采用的焊丝直径为 $\Phi 4\text{mm}$,选用的焊接规范参数:焊接电流 550A ,电弧电压 32V ,焊接速度 25m/h ,干伸长 $25 \sim 38\text{mm}$,预热及层间温度 $150 \pm 15^\circ\text{C}$ 。

④ 采用多层多道焊,第一层可焊 $1 \sim 2$ 道,最后一层可焊

3~4道,其余中间各层可焊2~3道,焊缝与母材之间要平滑过渡,余高要均匀,且不得超过2.4mm。

⑤按熔敷金属焊态力学性能标记型号的焊剂,试件不进行焊后热处理;按熔敷金属焊后热处理状态力学性能标记型号的焊剂,试件或样坯的焊后热处理规范参数为:装炉时炉温不得高于300℃,升温速度不得大于220℃/h,保温温度 620 ± 15 ℃,保温时间1小时,炉冷速度不得大于175℃/h,300℃以下炉冷或空冷均可。

2) 碳钢和低合金钢埋弧焊用焊剂的焊缝射线探伤要求

试板射线探伤前应采用切削加工方法去掉垫板,并在切取力学性能试样前进行焊缝射线探伤,应符合GB/T 3323—1987《钢熔化焊对接接头射线照相和质量分级》中的Ⅱ级规定;在评定焊缝射线探伤底片时,试件两端25mm应不予考虑。

3) 碳钢和低合金钢埋弧焊用焊剂熔敷金属力学性能试验

碳钢和低合金钢埋弧焊用焊剂熔敷金属力学性能试验(包括熔敷金属拉伸试验和V型缺口冲击试验)与碳钢焊条、气体保护电弧焊用焊丝熔敷金属力学性能试验方法、试样形式相同,拉伸试样数量为一件,V型缺口冲击试样为五件。碳钢和低合金钢埋弧焊用焊剂熔敷金属的拉伸性能试验数值要求和V型缺口冲击性能试验数值要求分别见表1-38、表1-39、表1-40、表1-41。

4) 碳钢和低合金钢埋弧焊用焊剂渣系主要成分及硫磷含量测量执行GB 5292.1~GB 5292.12,其中焊剂中的硫含量应 $\leq 0.060\%$,磷含量应 $\leq 0.080\%$ 。

5) 碳钢和低合金钢埋弧焊用焊剂颗粒度要求

焊剂颗粒度一般分为两种:一种是普通颗粒度,粒度为0.45mm(40目)~2.50mm(8目);另一种是细颗粒度,粒度为0.28mm(60目)~2.00mm(10目)。

检查普通颗粒度的焊剂,把0.45mm(40目)筛下和2.50mm(8目)筛下的焊剂分别称量,并分别计算出其占试验焊剂总质量的百

分比,普通颗粒度的焊剂中颗粒度小于 0.45mm(40 目)的质量百分含量不得大于 5%,颗粒度大于 2.50mm(8 目)的不得大于 2%。对于细颗粒度的焊剂,颗粒度小于 0.28mm(60 目)的重量百分含量不得大于 5%,颗粒度大于 2.00mm(10 目)的不得大于 2%。

6) 碳钢和低合金钢埋弧焊用焊剂抗潮性试验

把试验焊剂放在温度 $350 \pm 15^{\circ}\text{C}$ 的炉中烘干 1 小时,从炉中取出后放入干燥器中冷却到室温后,准确称量,然后装入壁高 $\leq 20\text{mm}$,直径 $\geq 85\text{mm}$ 的玻璃器皿中,放入恒温恒湿箱中进行试验;在 25°C 、相对湿度 70% 的条件下放置 25 小时后,立即取出称重,从取样到称完应在 10 秒内完成,并计算焊剂吸潮率,焊剂吸潮率不得大于 0.15%。

7) 碳钢和低合金钢埋弧焊用焊剂机械夹杂物试验

用目测法分别调选出焊剂中的碳粒、铁屑、原材料颗粒、铁合金凝珠及其他杂质,并分别称量,计算出全部机械夹杂物的质量及其占试验焊剂质量的百分比。

8) 碳钢和低合金钢埋弧焊用焊剂焊接工艺性能试验

在进行熔敷金属力学性能试件的焊接时,可以同时进行焊接工艺性能试验,即逐道观察脱渣性能、焊道熔合、焊道成形及咬边情况。

(2) 不锈钢埋弧焊用焊剂的试验

1) 不锈钢埋弧焊用焊剂熔敷金属化学成分试验

① 不锈钢埋弧焊用焊剂熔敷金属化学成分试板应采用与熔敷金属化学成分相当的不锈钢板,也可采用与熔敷金属化学成分不相当的不锈钢、碳钢或低合金钢板。

② 不锈钢埋弧焊用焊剂熔敷金属化学成分试板应在不小于 $150\text{mm} \times 75\text{mm} \times 18\text{mm}$ 的试板上进行堆焊。

③ 焊接位置为平焊,道间温度为 150°C 以下。

④ 当母材采用与熔敷金属化学成分相当的不锈钢板时,熔敷金属化学成分试样应取自四层以上;当母材采用与熔敷金属化学



成分不相当的不锈钢、碳钢或低合金钢板时,熔敷金属化学成分试样应取自五层以上。

⑤ 不锈钢埋弧焊用焊剂与焊丝组合的熔敷金属化学成分要求,见表 1-73。

表 1-73 不锈钢埋弧焊用焊剂与焊丝组合的
熔敷金属化学成分要求 (质量分数)(%)

型 号	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	其 他
F308-H×××	0.08	0.50 ~2.50	1.0	0.03	0.04	18.0 ~21.0	9.0 ~11.0	—	—
F308L-H×××	0.04	0.50 ~2.50	1.0	0.03	0.04	18.0 ~21.0	9.0 ~11.0	—	—
F309-H×××	0.15	0.50 ~2.50	1.0	0.03	0.04	22.0 ~25.0	12.0 ~14.0	—	—
F309Mo -H×××	0.12	0.50 ~2.50	1.0	0.03	0.04	22.0 ~25.0	12.0 ~14.0	2.0 ~3.0	—
F310-H×××	0.20	0.50 ~2.50	1.0	0.03	0.04	25.0 ~28.0	20.0 ~22.0	—	—
F316-H×××	0.08	0.50 ~2.50	1.0	0.03	0.04	17.0 ~20.0	11.0 ~14.0	2.0 ~3.0	—
F316L -H×××	0.04	0.50 ~2.50	1.0	0.03	0.04	17.0 ~20.0	11.0 ~14.0	2.0 ~3.0	—
F316CuL -H×××	0.04	0.50 ~2.50	1.0	0.03	0.04	17.0 ~20.0	11.0 ~14.0	1.20 ~2.75	Cu1.00 ~2.50
F317-H×××	0.08	0.50 ~2.50	1.0	0.03	0.04	18.0 ~21.0	12.0 ~14.0	3.0 ~4.0	—
F347-H×××	0.08	0.50 ~2.50	1.0	0.03	0.04	18.0 ~21.0	9.0 ~11.0	—	Nb8xC ~1.00
F410-H×××	0.12	1.2	1.0	0.03	0.04	11.0 ~13.5	0.60	—	—
F430-H×××	0.10	1.2	1.0	0.03	0.04	15.0 ~18.0	0.60	—	—

注: ① 除另外注明外, 表中所列单个值均为最大值。

② 焊剂型号中的字母 L 表示碳含量较低。

2) 不锈钢埋弧焊用焊剂熔敷金属的力学性能试板的制备

① 不锈钢埋弧焊用焊剂熔敷金属力学性能试板采用与熔敷金属化学成分相当的不锈钢板，也可采用与熔敷金属化学成分不相当的不锈钢、碳钢或低合金钢板，但应在坡口面及垫板表面堆焊与熔敷金属化学成分相当的隔离层。隔离层厚度加工后不得小于 3mm。

② 不锈钢埋弧焊用焊剂熔敷金属力学性能试板尺寸应不小于 150mm × 150mm × 20mm，垫板尺寸应不小于 150mm × 50mm × 12mm，焊接坡口根部间隙为 15mm，坡口面夹角之和为 30°。

③ 试板应先预置反变形或拘束，以防止产生过大的角变形，试板角变形大于 5° 的试板应予报废，焊后试板不允许进行矫正。

④ 不锈钢埋弧焊用焊剂熔敷金属力学性能试板焊接的预热及道间温度，对于 F410、F430 型为 150~250℃，其他为 15~150℃。

⑤ 不锈钢埋弧焊用焊剂熔敷金属力学性能试板焊接规范参数见表 1-74，焊接位置为平焊；若需方无特殊要求时，试验焊丝采用的直径为 4.0mm 或 3.2mm。采用其他直径的焊丝时，焊接规范参数由供需双方协议确定。

表 1-74 不锈钢埋弧焊用焊剂熔敷金属力学性能试板焊接规范参数

焊丝直径 (mm)	焊接电流 (A)	焊接电压 (V)	电流种类	焊接速度 (m/h)	焊丝干伸长 (mm)
3.2	500	±20	交流或 直流	23	22~35
4.0	550			25	

⑥ 采用多层多道焊，第一层焊 1~2 道，焊接电流可比表 1-74 中的规定值稍低，最后一层焊 3~4 道，其余各层焊 2~3 道。焊缝与母材之间应平滑过渡，余高要均匀，其高度不得超过 3mm。

3) 不锈钢埋弧焊用焊剂熔敷金属力学性能试验

不锈钢埋弧焊用焊剂熔敷金属力学性能试验只进行熔敷金属

拉伸性能试验,与碳钢焊条、气体保护电弧焊用焊丝熔敷金属拉伸性能试验方法、试样形式相同,熔敷金属拉伸试验按 GB/T 2652 进行,试样数量为一件。不锈钢埋弧焊用焊剂熔敷金属的拉伸性能试验数值要求见表 1-75。

表 1-75 不锈钢埋弧焊用焊剂熔敷金属的拉伸性能试验数值要求

焊剂型号	抗拉强度 (MPa)	伸长率 (%)	备 注
F308-H×××	≥520	≥30	—
F308L-H×××	≥480	≥25	—
F309-H×××	≥520	≥25	—
F309Mo-H×××	≥550	≥25	—
F310-H×××	≥520	≥25	—
F316-H×××	≥520	≥25	—
F316L -H×××	≥480	≥30	—
F316CuL -H×××	≥480	≥30	—
F317-H×××	≥520	≥25	—
F347-H×××	≥520	≥25	—
F410-H×××	≥440	≥20	试样加工前经 840 ~ 870℃ 加热 2 小时后,以小于 55℃/h 的冷却速度炉冷至 590℃,出炉空冷
F430-H×××	≥450	≥17	试样加工前经 760 ~ 785℃ 加热 2 小时后,以小于 55℃/h 的冷却速度炉冷至 590℃,出炉空冷

4) 不锈钢埋弧焊用焊剂熔敷金属耐腐蚀性能试验按 GB/T 4334.5—2000《不锈钢硫酸-硫酸铜腐蚀试验方法》进行,熔敷金属铁素体含量测量按 GB/T 1954—1990《铬镍奥氏体不锈钢焊缝铁素体含量测量方法》进行。

5) 不锈钢埋弧焊用焊剂渣系主要成分及硫磷含量测量执行 GB 5292.1 ~ GB 5292.12,其中焊剂中的硫含量应 $\leq 0.060\%$,磷含量应 $\leq 0.080\%$ 。

6) 不锈钢埋弧焊用焊剂颗粒度要求与碳钢焊剂颗粒度要求相同。

7) 不锈钢埋弧焊用焊剂机械夹杂物试验与碳钢试验方法相同,不锈钢埋弧焊用焊剂机械夹杂物的质量百分比含量应 $\leq 0.30\%$ 。

8) 不锈钢埋弧焊用焊剂焊接工艺性能试验

在进行熔敷金属力学性能试件的焊接时,可以同时进行焊接工艺性能试验,并逐道观察脱渣性能、焊道熔合、焊道成形及咬边情况。

四、焊接材料使用中的相关知识

1. 焊接材料的储存与保管

焊接材料的储存与保管状况对焊接质量有直接的影响,从事焊接工作的人员应该掌握焊接材料的储存、保管的基本知识。

(1) 焊接材料的储存与保管条件

1) 新购买的焊接材料必须包装完好,外包装标记(焊接材料的型号、牌号、规格、重量、生产厂家等)应与订货单相符。同时产品说明书、合格证和质量保证书等供货文件齐全,必要时可依据相关的国家标准或订货技术协议进行复验,检验手续齐全后方可办理入库手续。

2) 在仓库管理中各种焊接材料必须分类、分牌号堆放,定置管理,避免造成混乱。

3) 焊接材料仓库的基本条件

① 仓库内应做到干燥、通风良好,不允许放置有害气体和腐蚀性介质,并保持清洁。

② 焊接材料应存放在架子上,放置部位离地面高度距离不小于 300mm,离墙壁距离不小于 300mm。架子下应放置干燥剂,防止焊接材料受潮。

③ 仓库内应设置温度计、湿度计,一般温度应在 10℃以上,相对空气湿度低于 60%。

4) 焊接材料储存与保管的注意事项

① 避免焊接材料的机械损伤 焊接材料中的焊条药皮、实芯焊丝的塑料盘、埋弧焊焊剂外包装等均可能因为不当的机械损伤影响焊接材料的正常使用,所以要求焊接材料的搬运、装卸过程中要小心轻放。

② 注意防止焊接材料吸潮 当焊条药皮、药芯焊丝中药粉、埋弧焊焊剂含有太多的水分时对焊接质量影响很大,极易产生气孔等焊接缺陷。以上几种焊接材料在空气中能够吸收水分,在相对湿度为 90%时,吸收水分很快,碱性焊接材料在空气中 24 小时就严重受潮,甚至相对湿度为 70%时水分增加也较快。在一般情况下焊接材料由塑料袋和纸盒包装,为了防止吸潮,在使用前,不要随意拆开。

③ 一般焊接材料从生产日期起 6 个月内可以保证使用,所以焊接材料最好逐批顶替,减少库存时间,及早投入使用。

④ 一般焊接材料一次出库量不能超过两天的用量,已经出库的焊接材料,焊工必须保管好。

(2) 焊接材料使用前的烘干

焊接材料使用前的烘干主要指焊条和焊剂的烘干。出厂的焊

接材料一般都经过高温烘干,并用防潮材料(如塑料袋、纸盒等)加以包装,在一定程度上可以防止焊接材料的吸潮,但为确保焊接质量,一般在焊接材料使用前仍需要进行再烘干。

1) 一般焊接材料的烘干可以根据产品说明书进行,如果产品说明书无特殊规定,酸性焊接材料视受潮情况在 75 ~ 150℃烘干 1 ~ 2 小时,碱性焊接材料应在 350 ~ 400℃烘干 1 ~ 2 小时。使用时注意保持干燥,一般烘干后的焊条应放在 100 ~ 150℃的保温筒(箱)内随用随取。常见焊条烘干规范见表 1-76。

2) 低氢型焊接材料一般在常温下超过 4 小时,应重新烘干。重复烘干次数不宜超过三次。

3) 烘干焊条时,焊条不应成垛或成捆地堆放,应铺放成层状,每层焊条堆放不能太厚(一般为 1~3 层),避免焊条烘干时受热不均和潮气不易排除。

表 1-76 常见焊条烘干规范

焊条类别	药皮类型	烘干温度 (℃)	保温时间 (min)	烘后允许 存放时间(h)
碳钢焊条	纤维素型	70 ~ 100	30 ~ 60	6
	钛型 钛钙型 钛铁矿型	70 ~ 150	30 ~ 60	8
	低氢型	300 ~ 350	30 ~ 60	4
	低合金焊条 (含高强度钢、 耐热钢、低温钢)	非低氢型	75 ~ 150	30 ~ 60
铬不锈钢焊条	低氢型	300 ~ 350	30 ~ 60	4
	钛钙型	200 ~ 250		
奥氏体 不锈钢焊条	低氢型	250 ~ 300	30 ~ 60	4
	钛型、钛钙型	150 ~ 250		

续表 1-76

焊条类别	药皮类型	烘干温度 (℃)	保温时间 (min)	烘后允许 存放时间(h)
堆焊焊条	钛钙型	150 ~ 250	30 ~ 60	4
	低氢型 (碳钢芯)	300 ~ 350		
	低氢型 (合金钢芯)	150 ~ 250		
堆焊焊条	石墨型	75 ~ 150	30 ~ 60	4
铸铁焊条	低氢型	300 ~ 350		
	石墨型	70 ~ 120		
铜、镍 及其合金焊条	钛钙型	200 ~ 250	30 ~ 60	4
	低氢型	300 ~ 350		
铝及铝合金焊条	盐基型	150	30 ~ 60	4

注：一般情况下，大规格的焊条应选上限烘干温度及保温时间。

2. 焊接材料用量计算

在焊接施工中正确地估算焊接材料的用量具有实用意义。焊接材料用量计算是搞好工程预算、做好生产准备和制定焊接材料消耗定额等所必需的工作。

焊接方法种类较多，但焊接材料用量计算却大致相同，焊接材料的品种有焊条电弧焊的焊条、气体保护焊的实芯焊丝或药芯焊丝、埋弧焊的焊丝和焊剂。

(1) 焊接材料用量的计算原理

焊接材料用量一般是以焊缝熔敷金属重量（或焊剂的消耗量），加上焊接过程中的必要消耗，如烧损、飞溅、烬头等计算，计算方法见表 1-77。同时焊接材料用量与焊接方法及使用的焊接材料

效率有关,对于药芯焊丝用量为熔敷金属重量除以 0.8,实芯焊丝用量为熔敷金属重量除以 0.9 进行计算。

表 1-77 焊接材料用量计算方法

计算公式	备 注
$C_x = P_f K_h L_h$	C_x —— 焊接材料消耗定额(g);
$C_x = P_t L_h$	P_f —— 每米焊缝熔敷金属重量(g/m);
$P_f = F_h \rho$	K_h —— 定额计算系数;
$K_h = 1 / (1 - \alpha_{sf} - \alpha_j)$	L_h —— 焊件焊缝长度(m);
$\alpha_{sf} = (P_r - P_f) / P_r$	P_t —— 每米焊缝焊接材料消耗量(g/m);
$\alpha_j = P_j / P_h$	F_h —— 焊缝熔敷金属横截面面积(mm ²);
	ρ —— 熔敷金属的密度(g/m ³);
	α_{sf} —— 焊接材料的烧损、飞溅损耗率(%);
	α_j —— 焊接材料的炆头损耗率(%);
	P_r —— 每米焊缝熔化焊接材料重量(g/m);
	P_j —— 焊接材料的炆头重量;
	P_h —— 焊接材料的重量

(2) 典型焊接工艺的焊接材料用量的计算

1) 不开坡口对接焊缝双面自动焊工艺焊接材料用量的计算
(见表 1-78)

表 1-78 不开坡口对接焊缝双面自动焊工艺焊接材料用量的计算

焊缝截面计算公式		$F_h = \delta \cdot b + 1.333 e \cdot h$	
板厚 δ (mm)	坡口间隙 b (mm)	焊缝宽度 e (mm)	焊缝余高 h (mm)
4	1	10	2
5	1.5	10	2.5
6-8	2	12-14	2.5
10-12	2.5-3	16	2.5

2) 不封底双边 V 形坡口对接焊缝单面 CO₂ 半自动焊工艺焊接材料用量的计算(见表 1-79)。

表 1-79 不封底双边 V 形坡口对接焊缝单面 CO₂ 半自动焊工艺焊接材料用量的计算

焊缝截面计算公式		$F_h = \delta \cdot b + (\delta - p)^2 \operatorname{tg}(\beta/2) + 0.667 c \cdot h$			
板厚 δ (mm)	坡口间隙 b (mm)	坡口钝边 p (mm)	焊缝宽度 c (mm)	焊缝余高 h (mm)	坡口夹角 β (度)
6 ~ 8	1	1	12 ~ 14	1~1.5	70°
10 ~ 14	2	2	16 ~ 20	1.5	60°
16 ~ 18	2	2	22 ~ 26	2	60°
20 ~ 30	2	2	28 ~ 40	2	60°
32 ~ 40	2	2	42 ~ 50	2	60°

(3) 焊接工程中常用的焊接材料消耗定额

在实际生产中，一般通过生产经验分别确定各种焊接方法的定额计算系数 (K_h)、每米焊缝熔敷金属重量 (P_f) 和每米焊缝焊接材料消耗量 (P_t)，然后再按公式计算各种焊接方法的焊接材料消耗定额。

焊条电弧焊电焊条损耗率和定额消耗系数见表 1-80，埋弧自动焊每米焊缝的焊丝、焊剂消耗量见表 1-81，焊条电弧焊每米对接焊缝的熔敷金属重量和电焊条消耗量见表 1-82，焊条电弧焊每米角焊缝的电焊条消耗量见表 1-83。

表 1-80 焊条电弧焊电焊条损耗率和定额消耗系数

种 类	烧损、飞溅损耗率 α_{sf} (%)	熔头损耗率 α_j (%)	定额计算系数 K_h
电焊条	0.24 ~ 0.32	0.10 ~ 0.16	1.71

表 1-81 埋弧自动焊每米焊缝的焊丝、焊剂消耗量

焊件厚度 (mm)	角焊缝		对接焊	
	焊丝消耗量 P_1 (g/m)	焊剂消耗量 P_1 (g/m)	焊丝消耗量 P_1 (g/m)	焊剂消耗量 P_1 (g/m)
3	80	75	80	70
4	100	90	100	90
6	200	150	200	180
8	300	250	300	220
10	500	350	350	250
12	700	425	400	280
14	1000	620	500	300
16	1300	800	600	350
18	—	—	900	500

表 1-82 焊条电弧焊每米对接焊缝的熔敷金属重量和电焊条消耗量

焊接接头 种类	焊件厚度 (mm)	焊缝熔敷金属 横截面面积 F_h (mm ²)	焊缝熔敷 金属重量 P_f (g/m)	焊条 消耗量 P_t (g/m)
不开坡口 对接焊	1.0	5.0	39	67
	1.5	5.5	43	74
	2.0	7.0	55	94
	2.5	9.5	75	128
	3.0	12.1	95	162
V形坡口 对接焊	3.0	17	133	227
	4.0	24	188	322

续表 1-82

焊接接头 种类	焊件厚度 (mm)	焊缝熔敷金属 横截面面积 F_h (mm ²)	焊缝熔敷 金属重量 P_f (g/m)	焊条 消耗量 P_t (g/m)
V形坡口 对接焊	5.0	32	251	429
	6.0	40	314	536
	7.0	48	377	645
	8.0	58	455	778
	9.0	69	542	927
	10.0	80	628	1074
	12.0	110	864	1477
	14.0	146	1146	1960
	16.0	182	1429	2444
	18.0	234	1837	3141
双面 V 形 坡口 对接焊	12.0	84	660	1129
	14.0	96	750	1289
	16.0	126	989	1690
	18.0	140	1099	1879
	20.0	176	1382	2363
	22.0	192	1507	2577
	24.0	234	1837	3141
	26.0	252	1978	3382
	28.0	286	2245	3839
搭接焊	1.0	4.3	34	58
	1.5	6.7	53	91

续表 1-82

焊接接头种类	焊件厚度 (mm)	焊缝熔敷金属横截面面积 F_b (mm ²)	焊缝熔敷金属重量 P_f (g/m)	焊条消耗量 P_t (g/m)
搭接焊	2.0	10.8	85	145
	2.5	11.7	92	157
	3.0	14.8	116	198
	4.0	21.6	170	291

表 1-83 焊条电弧焊每米角焊缝的电焊条消耗量

焊角高度 K (mm)	坡口间隙 b (mm)	焊缝面积 F_b (mm ²)	熔敷金属重量 P_f (g/m)	焊条消耗量 P_t (g/m)		
				$\Phi 3$ (mm)	$\Phi 4$ (mm)	$\Phi 5$ (mm)
2	0~1	8	35	61	—	—
3	0~1	12.5	63	109	—	—
4	0~1	18	98	170	—	—
5	0~1	24.5	141	—	244	—
6	0~1	32	192	—	333	—
7	0~2	40.5	251	—	—	435
8	0~2	50	318	—	—	550
9	0~2	60.5	393	—	—	679
10	0~2	72	475	—	—	822
12	0~2	98	663	—	—	1148
14	0~2	128	883	—	—	1528
15	0~2	144.5	1005	—	—	1739

续表 1-83

焊角高度 K(mm)	坡口间隙 b(mm)	焊缝面积 F_h (mm ²)	熔敷金属 重量 P_f (g/m)	焊条消耗量 P_l (g/m)		
				$\Phi 3$ (mm)	$\Phi 4$ (mm)	$\Phi 5$ (mm)
16	0 ~ 2	162	1134	—	—	1962
18	0 ~ 2	200	1417	—	—	2451
20	0 ~ 2	242	1731	—	—	2995
22	0 ~ 2	288	2076	—	—	3592
24	0 ~ 2	338	2453	—	—	4244
25	0 ~ 2	364.5	2653	—	—	4590
26	0 ~ 2	392	2861	—	—	4590
28	0 ~ 2	450	3300	—	—	5710
30	0 ~ 2	512	3778	—	—	6525

注：① K 值由设计者选定，K+3 为焊接最大允许量。

② 焊缝面积按 K+2 计算。

③ K 值计算按 K+1 折算熔敷金属

第二章 焊 条

焊条是最早发明的焊接材料，在焊接生产中使用时间最长，并且得到广泛应用。目前我国的焊条生产量和使用量均在国际上处于领先地位，我国焊条分为碳钢焊条、低合金钢焊条、钼和铬钼耐热钢焊条、低温钢焊条、不锈钢焊条、堆焊焊条、铸铁焊条、镍及镍合金焊条、铜及铜合金焊条、铝及铝合金焊条及特殊用途焊条。

一、碳钢焊条

碳钢焊条的生产、验收执行 GB/T 5117—1995 《碳钢焊条》，该标准规定了碳钢焊条型号分类、技术要求、试验方法及检验规则等内容。

1. 碳钢焊条选用说明

碳钢焊条的选择通常根据钢板的化学成分、力学性能、抗裂性能等方面要求，综合考虑焊接结构形状尺寸、工作条件、受力情况和焊接设备等方面因素，必要时还需进行焊接性试验来确定焊条及相应采取的工艺措施。

(1) 制订焊接工艺时，一般依据钢材的强度等级来选用相应级别的焊条；同时还需综合考虑钢材焊接性，母材化学成分的过渡，焊接结构尺寸、形状、坡口和受力情况等因素。当焊缝冷却速度较大时，易使焊缝强度增高；在焊接接头容易产生裂纹的情况下，往往可选用比母材强度低一些的焊条，形成低匹配接头；如遇厚板多层焊或焊后进行正火处理等情况，就应该注意防

止焊缝强度过低。

(2) 在选择同一强度等级的酸性焊条或碱性焊条时，主要考虑焊接件的结构形式（简单或复杂）、钢板厚度（刚度小或大）、工作条件（静载荷或动载荷）和钢材的抗裂性能等方面。通常在要求塑性好、冲击性能高、低温性能好、抗裂能力强的场所，选用碱性焊条；如直流电源有困难，可选用交直流两用的碱性焊条。

(3) 当焊接接头的母材强度不同时，如低碳钢与低合金钢之间的焊接，一般以强度等级较低的钢材为基准，选用相应级别的焊条。

(4) 中碳钢焊接时，不仅要考虑钢材的强度，而且由于钢材含碳量较高，增大了发生焊接冷裂纹的可能性，可选用低氢型焊条或使焊缝金属具有良好塑性及高韧性的焊条，并对焊件进行焊前预热和焊后缓冷处理。

(5) 非合金钢铸、锻件焊接时，一般由于其含碳量都较高，而且厚度较大，形状复杂，极易产生焊接裂纹，所以一般可选用低氢型焊条，并采取预热和合适的焊接工艺等措施；焊后进行切削加工的非合金钢铸、锻件补焊修复时，更应引起注意。

(6) 对使用条件特殊的钢种和焊接结构，可选用专用焊条。

(7) 当焊条的牌号和规格确定后，应根据相应的要求进行烘干。在调节焊接规范参数时，应注意以下条件的变化：如工件需要进行焊前预热，焊接时可比正常的焊接电流减少 5% ~ 15%；当采用直流电源焊接时，焊接电流比交流电源减少 10% 左右；当采用立焊及仰焊位置施焊时，焊接电流比平焊位置的焊接电流减少 10% ~ 15%。

国内常用的碳钢焊条的牌号见表 2-1。

表 2-1 国内常用的碳钢焊条牌号

牌 号	焊条型号		
	中国(GB)	美国(AWS)	日本(JIS)
J350 ;J357	—	—	—
J420G	E4300	—	—
J421;J421X;J421Fe	E4313	E6013	D4313
J421Fe13	E4324	E6024	D4324
J421Fe16;J421Fe18;J421Z	E4324	E6024	—
J422;J422GM; J422Fe	E4303	—	D4303
J422Y;J422CrCu; J422CuCrNi	E4303	—	—
J422Fe13	E4323	—	D4324
J422Fe16;J422Fe18;J422Z	E4323	—	—
J423	E4301	—	D4301
J424	E4320	E6020	—
J424Fe14;J424Fe16;J424Fe18	E4327	E6027	D4327
J425	E4311	E6011	D4311
J425G	E4310	E6010	—
J426;J426X; J426H; J426DF	E4316	E6016	—
J426Fe13	E4328	E6028	—
J427;J427X; J427Ni	E4315	E6015	—
J501Fe	E5014	E7014	—
J501Fe15; J501Fe18;J501Z	E5024	E7024	—

续表 2-1

牌 号	焊条型号		
	中国(GB)	美国(AWS)	日本(JIS)
J502;J502Fe	E5003	—	D5003
J502Fe16;J502Fe18	E5023	E7023	—
J503	E5001	E7001	—
J504Fe;J504Fe14	E5027	E7027	—
J505;J505MoD	E5011	E7011	—
J506;J506X	E5016	E7016	D5016
J506H	E5016-1	E5016-1	D5016
J506D;J506DF;J506GM	E5016	E7016	—
J506LMA;J506Fe	E5018	E7018	—
J506 Fe-1	E5018-1	E7018-1	—
J506Fe16;J506Fe18	E5028	E7028	—
J507;J507H;507X; J507D;J507DF;J507XC	E5015	E7015	D5015
J507Fe	E5018	E7018	—
J507Fe16	E5028	E7028	D5026

2. 常用的碳钢焊条介绍

(1) J350; J357

说明:J350、J357 是低氢型药皮的微碳纯铁焊芯碳钢焊条,采用直流反接,平焊、平角焊操作性能良好,成形美观,清渣容易,但微碳纯铁由于含碳量极低,熔点较高,焊条的电弧吹力小,熔深较

浅。焊缝金属具有良好的抗裂性能。焊前须经 350℃烘干 1 小时。

用途：适用于制造镀锌容器、合成氨塔内构件，也可用于预防裂纹的打底层焊接。

J350、J357 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-2、表 2-3。

表 2-2 J350、J357 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Al	S	P
保证值	≤0.03	0.20 ~ 0.50	0.20 ~ 0.50	≤0.05	≤0.015	≤0.015

表 2-3 J350、J357 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	A (%)	室温 A_{KV} (J)
保证值	≥340	≥22	≥80

(2) J420G

说明：J420G 是高温、高压电站碳钢管道全位置焊接专用碳钢焊条，可交直流两用。J420G 具有良好的抗气孔性能和冷弯性能，X 射线探伤合格级别 II 级。

用途：适用于焊接质量要求较高的碳钢管道，如电站中工作温度小于 450℃、工作压力 3.9~18.0MPa 的碳钢管道焊接。

J420G 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-4、表 2-5。

表 2-4 J420G 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P
保证值	≤0.12	0.35 ~ 0.70	≤0.30	≤0.035	≤0.040

表 2-5 J420G 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	0℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥420	≥330	≥22	≥27
一般值	500	340	25	80

(3) J421; J421X

说明: J421、J421X 是氧化钛型药皮的碳钢焊条, 交直流两用, 可进行全位置焊接, 操作性能良好, 成形美观, 脱渣性好, 引弧和再引弧容易。421X 是立向下操作的专用碳钢焊条。X 射线探伤合格级别 II 级。

用途: J421 适用于焊接低碳钢结构, 特别适用于薄板小件及短焊缝的间断焊和要求表面光洁的盖面焊。J421X 适用于焊接一般船用碳钢、镀锌钢板及管道焊接, 特别适用于薄板立向下焊及间断焊。

J421、J421X 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-6、表 2-7。

表 2-6 J421、J421X 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	牌号	C	Mn	Si	S	P
保证值	J421	≤0.12	0.30 ~ 0.60	≤0.35	≤0.035	≤0.040
	J421X	≤0.08	≤0.50	≤0.25	≤0.035	≤0.040

表 2-7 J421、J421X 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	A_{KV} (J)
保证值	≥420	≥330	≥17	—
一般值	J421	460 ~ 540	≥340	常温 50 ~ 75
	J421X	460 ~ 510	370 ~ 420	0℃时 70

(4) J421Fe; J421Fe13

说明：J421Fe、J421Fe13 是钛型药皮的铁粉碳钢焊条，交直流两用，可进行全位置焊接，焊接工艺性能良好，飞溅少，成形美观，再引弧容易。J421Fe13 熔敷效率可达 125% ~ 135%。X 射线探伤合格级别 II 级。

用途：J421Fe、J421Fe13 适用于一般低碳钢结构的焊接，特别是薄板小件及短焊缝的间断焊和要求表面光洁的盖面焊。J421Fe13 常用于平焊、平角焊。

J421Fe、J421Fe13 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-8、表 2-9。

表 2-8 J421Fe、J421Fe13 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P
保证值	≤0.12	0.30 ~ 0.60	≤0.35	≤0.035	≤0.040

表 2-9 J421Fe、J421Fe13 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	常温 A_{KV} (J)
保证值	≥420	≥330	≥17	—
一般值	460 ~ 540	≥340	18 ~ 26	50 ~ 75

(5) J422; J422Fe13

说明：J422、J422Fe13 是钛钙型药皮的碳钢焊条，具有优良的焊接工艺性能，电弧稳定，成形美观，飞溅少，交直流两用，可进行全位置焊接。J422 在实际生产中经常使用，国内销量最大。J422Fe13 熔敷效率达 125% ~ 135%。X 射线探伤合格级别 II 级。

用途：J422、J422Fe13 适用于焊接较重要的低碳钢（如

Q235) 和较低强度等级的低合金钢 (如 Q295)。J422Fe13 用于平焊和平角焊。

J422、J422Fe13 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-10、表 2-11。

表 2-10 J422、J422Fe13 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P
保证值	≤0.12	0.30 ~ 0.60	≤0.25	≤0.035	≤0.040

表 2-11 J422、J422Fe13 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	0℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥420	≥330	≥22	≥27
一般值	440 ~ 500	≥340	22 ~ 32	70 ~ 115

(6) J423

说明: J423 是钛铁矿型药皮的碳钢焊条, 可交直流两用, 平焊、平角焊工艺性能良好, 立焊操作性能稍次于 J422 焊条, 生产成本低廉。X 射线探伤合格级别 II 级。

用途: 适用于焊接较重要的低碳钢结构。

J423 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-12、表 2-13。

表 2-12 J423 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P
保证值	≤0.12	0.35 ~ 0.60	≤0.20	≤0.035	≤0.040
一般值	0.11	0.35 ~ 0.55	0.20	0.025	0.030

表 2-13 J423 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	0℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥420	≥330	≥22	≥27
一般值	440 ~ 500	≥340	22 ~ 30	60 ~ 110

(7) J424; J424Fe14

说明：J424 是氧化铁型药皮的碳钢焊条。J424Fe14 是铁粉氧化铁型药皮的低碳钢高效焊条，熔敷效率为 140%。J424、J424Fe14 可交直流两用，其特点是熔深大，熔化速度快。由于焊缝中含锰量较高，抗热裂性能良好。J424Fe14 焊前焊条须经 100~200℃烘干 1 小时。X 射线探伤合格级别 II 级。

用途：适用于较重要低碳钢结构的平焊和平角焊。

J424、J424Fe14 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-14、表 2-15。

表 2-14 J424、J424Fe14 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P
保证值	≤0.12	0.50 ~ 0.90	≤0.25	≤0.035	≤0.040

表 2-15 J424、J424Fe14 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	A_{KV} (J)	
保证值	≥420	≥330	≥22	≥27	
一般值	J424	440 ~ 500	≥340	22 ~ 30	常温 60 ~ 110
	J424Fe14	430 ~ 460	340 ~ 380	22 ~ 26	-30℃时 30 ~ 80

(8) J425

说明：J425 是纤维素型药皮的立向下焊碳钢焊条，交直流两用。向下立焊时成形美观，焊接效率高。焊条摆动不宜过宽，并控制电弧长度。X 射线探伤合格级别 II 级。

用途：适用于薄板结构的对接、角接及搭接焊；用于制造电站烟道、风道，变压器的油箱，船体和车辆外板等结构。

J425 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-16、表 2-17。

表 2-16 J425 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P
保证值	≤0.20	0.30 ~ 0.60	≤0.30	≤0.035	≤0.040

表 2-17 J425 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	-30℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥420	≥330	≥22	≥27
一般值	480 ~ 580	≥340	22 ~ 26	100 ~ 130

(9) J426; J426X; J426Fe13

说明：J426 是低氢钾型药皮的碳钢焊条。426X 是低氢钾型药皮的立向下角焊缝专用焊条。J426Fe13 是铁粉低氢钾型药皮的碳钢焊条。J426、J426X、J426Fe13 交直流两用，焊接操作须用短弧，以窄焊道为宜。焊前须经 300~350℃烘干 1 小时，随烘随用。X 射线探伤合格级别 I 级。J426 可进行全位置焊接，具有良好的力学性能和抗裂性能，扩散氢含量 ≤8ml/100g。J426X 在施焊过程中运条从上向下进行，焊缝均匀，成形美观。

用途：J426、J426Fe13 适用于焊接较重要的低碳钢（如

Q235)和较低强度等级的低合金钢(如 Q295)。J426X 适用于碳纲及低合金钢的立向下角焊缝的焊接。

J426、426X、J426Fe13 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-18、表 2-19。

表 2-18 J426、J426X、J426Fe13 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P
保证值	≤0.12	≤1.25	≤0.90	≤0.035	≤0.040
一般值	0.10	0.50~0.90	0.50	0.020	0.030

表 2-19 J426、J426X、J426Fe13 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	-30℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥420	≥330	≥22	≥27
一般值	460 ~ 540	≥340	25 ~ 33	80 ~ 180

(10) J427; J427X

说明：J427 是低氢钠型药皮的碳钢焊条。J427X 是低氢钠型药皮的立向下角焊缝专用焊条。J427、J427X 采用直流反接，可进行全位置焊接。焊接操作须用短弧，以窄焊道为宜。焊前须经 350℃烘干 1 小时，随烘随用。X 射线探伤合格级别 I 级。J427 具有优良的塑性、冲击性能及抗裂性能，扩散氢含量 ≤8ml/100g。J427X 具有良好的焊接工艺性能，在施焊过程中运条从上向下进行，焊缝均匀，成形美观。

用途：J427 适用于焊接较重要的低碳钢（如 Q235）和较低强度等级的低合金钢（如 Q295）。J427X 适用于碳纲及低合金钢的立向下角焊缝的焊接。

J427、J427X 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-20、表 2-21。

表 2-20 J427、J427X 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P
保证值	≤0.12	≤1.25	≤0.90	≤0.035	≤0.040
一般值	0.10	0.50 ~ 0.90	0.50	0.020	0.030

表 2-21 J427、J427X 熔敷金属力学性能

试验项目		R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	-30℃时 A_{KV} (J)
保证值		≥420	≥330	≥22	≥27
一般值	J427	460 ~ 540	≥340	25 ~ 33	80 ~ 180
	J427X	440 ~ 520	≥340	22 ~ 32	70 ~ 115

(11) J501Fe

说明：J501Fe 是氧化钛型药皮的铁粉碳钢焊条，熔敷效率为 110%，交直流两用，可进行全位置焊接。X 射线探伤合格级别 II 级。

用途：适用于焊接碳钢和低合金钢（如 Q345），用于制造船舶、车辆等结构。

J501Fe 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-22、表 2-23。

表 2-22 J501Fe 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Mo	V	Ni	Cr	S	P
保证值	≤0.12	≤1.25	≤0.90	≤0.30	≤0.08	≤0.30	≤0.20	≤0.035	≤0.040

表 2-23 J501Fe 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	0℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥490	≥400	≥17	≥27
一般值	520 ~ 580	≥410	17 ~ 26	50 ~ 100

(12) J502

说明: J502 是氧化钛钙型药皮的碳钢焊条, 交直流两用, 可进行全位置焊接。X 射线探伤合格级别 II 级。

用途: 适用于焊接 Q345B 等低合金钢。

J502 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-24、表 2-25。

表 2-24 J502 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P
保证值	≤0.12	≤1.60	≤0.30	≤0.035	≤0.040

表 2-25 J502 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	0℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥490	≥400	≥22	≥27
一般值	520 ~ 580	≥410	20 ~ 30	60 ~ 110

(13) J502Fe16

说明: J502 Fe16 钛钙型药皮的铁粉碳钢焊条, 熔敷效率达 155% ~ 165%, 交直流两用。X 射线探伤合格级别 II 级。

用途: 适用于 Q345B 等低合金钢的平焊和平角焊。

J502 Fe16 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-26、表 2-27。

表 2-26 J502Fe16 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Mo	S	P
保证值	≤0.12	≤1.25	≤0.90	≤0.50	≤0.035	≤0.040

表 2-27 J502Fe16 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	0℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥490	≥400	≥22	≥27
一般值	520 ~ 580	410 ~ 480	22 ~ 28	≥27

(14) J503

说明：J503 是钛铁矿型药皮的碳钢焊条，交直流两用，其立焊操作性能稍次于 J502 焊条。X 射线探伤合格级别 II 级。

用途：适用于 Q345 等低合金钢的平焊和平角焊。

J503 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-28、表 2-29。

表 2-28 J503 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P
保证值	≤0.12	0.50 ~ 0.90	≤0.30	≤0.035	≤0.040

表 2-29 J503 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	0℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥490	≥400	≥20	≥27
一般值	530 ~ 570	≥420	20 ~ 30	60 ~ 110

(15) J504Fe14

说明：J504Fe14 是氧化铁型药皮的铁粉碳钢焊条，熔敷效率达 140%，交直流两用，电弧稳定，熔深大，熔化速度快，由于焊缝中含锰量较高，抗热裂性较好。焊前须经 150 ~ 200℃烘干 1 小时，焊接时须用短弧操作。X 射线探伤合格级别 II 级。

用途：适用于碳钢及低合金钢重要结构的平焊和平角焊。

J504Fe14 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-30、表 2-31。

表 2-30 J504Fe14 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P
保证值	≤0.12	0.50 ~ 1.10	≤0.50	≤0.035	≤0.040

表 2-31 J504Fe14 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	-30℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥490	≥400	≥22	≥27
一般值	500 ~ 620	≥410	22 ~ 26	30 ~ 80

(16) J505

说明：J505 是高纤维素钾型药皮的立向下焊碳钢焊条，交直流两用。下行焊时，铁水及熔渣不下淌，电弧吹力大，熔深大，打底焊可双面成形，焊接效率高。焊接时使用电流不易过大，一般情况焊条不用烘干，受潮时可经 70 ~ 90℃烘干 1 小时。X 射线探伤合格级别 II 级。

用途：适用于焊接碳钢及 Q345B(16Mn)、Q420C(15MnVN) 等低合金钢。

J505 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-32、表 2-33。

表 2-32 J505 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P
保证值	≤0.20	0.40 ~ 0.60	≤0.20	≤0.035	≤0.040

表 2-33 J505 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	-30℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥490	≥400	≥20	≥27
一般值	500 ~ 620	410 ~ 480	20 ~ 26	50 ~ 100

(17) J506; J506D

说明：J506 是低氢钾型药皮的碳钢焊条 J506D 是低氢钾型药皮的打底焊碳钢焊条。J506、J506D 交直流两用，可全位置焊接，焊接操作须用短弧，以窄焊道为宜，电弧稳定，成形美观。扩散氢含量 ≤8ml / 100g。焊前须经 350 ~ 380℃烘干 1 小时，随烘随用。X 射线探伤合格级别 I 级。J506 具有良好的力学性能和抗裂性能。J506D 打底焊时可以实现单面焊双面成形。

用途：J506 适用于焊接中碳钢和低合金钢，如 Q345C 等材料。J506D 适用于大坡口焊缝的打底焊，避免了铲底和封底焊，可提高工作效率和改善工作条件。

J506、J506D 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-34、表 2-35。

表 2-34 J506、J506D 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	S	P
保证值	≤0.12	≤1.60	≤0.75	≤0.30	≤0.20	≤0.30	≤0.035	≤0.040
一般值	0.10	0.80 ~ 1.25	0.65	0.20	0.10	0.20	0.020	0.030

表 2-35 J506、J506D 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	-20℃时 A_{KV} (J)	-30℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥490	≥400	≥22	≥47	≥27
一般值	520 ~ 600	≥410	25 ~ 33	60 ~ 230	55 ~ 205

(18) J506H

说明：J506H 是低氢钾型药皮的超低氢碳钢焊条，扩散氢含量极低，≤1.5ml/100g。塑性、低温冲击性能、抗裂性良好。交直流两用，可全位置焊接，焊接操作须用短弧，以窄焊道为宜。焊前须经 350 ~ 400℃烘干 1 小时，随烘随用。X 射线探伤合格级别 I 级。

用途：适用于焊接重要的碳钢、低合金钢结构。

J506H 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-36、表 2-37。

表 2-36 J506H 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P
保证值	≤0.12	≤1.60	≤0.70	≤0.035	≤0.035

表 2-37 J506H 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	-40℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥490	≥400	≥22	≥27

(19) J506GM

说明：J506GM 是低氢钾型药皮的盖面层碳钢焊条，交直流两用，可全位置焊接，焊接操作须用短弧，脱渣容易，成形较

好。具有良好的焊接工艺性能和力学性能。焊前须经 380℃烘干 1 小时，随烘随用。X 射线探伤合格级别 I 级。

用途：适用于焊接碳钢、低合金钢，用于制造压力容器、石油管道、船舶等结构，可进行多层焊缝表面的盖面层。

J506GM 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-38、表 2-39。

表 2-38 J506GM 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P
保证值	≤0.09	≤1.60	≤0.60	≤0.030	≤0.030

表 2-39 J506GM 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	-40℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥490	≥400	≥22	≥47

(20) J506Fe; J506Fe16

说明：J506Fe、J506Fe16 是低氢钾型药皮的铁粉碳钢焊条，药皮含有铁粉，可减少焊接层数。交直流两用，用直流电源时，焊条接正极。可全位置焊接，焊接操作采用短弧，以窄焊道为宜。扩散氢含量 ≤8ml/100g。焊前须经 350℃烘干 1 小时，随烘随用。J506Fe16 熔敷效率可达 160%。J506Fe X 射线探伤合格级别 I 级，J506Fe16 X 射线探伤合格级别 II 级。

用途：J506Fe 适用于焊接碳钢及低合金钢。J506Fe16 适用于焊接碳钢及低合金钢（如 Q345C）的平焊和平角焊。

J506Fe、J506Fe16 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-40、表 2-41。

表 2-40 J506Fe、J506Fe16 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P
保证值	≤0.12	≤1.60	≤0.75	≤0.035	≤0.040

表 2-41 J506Fe、J506Fe16 熔敷金属力学性能

试验项目		R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	-30℃时 A_{KV} (J)
保证值		≥490	≥400	≥22	≥27
一般值	J506Fe	520 ~ 580	≥410	24 ~ 30	50 ~ 180
	J506Fe16	520 ~ 580	≥410	≥23	≥47

(21) J507

说明：J507 是低氢钠型药皮的碳钢焊条，采用直流反接，可进行全位置焊接，焊接操作须用短弧，以窄焊道为宜。焊缝金属具有良好的塑性、冲击性能及抗裂性能。扩散氢含量 ≤8ml/100g。焊前须经 350℃烘干 1 小时，随烘随用。X 射线探伤合格级别 I 级。

用途：适用于焊接中碳钢和 Q295、Q345 等低合金钢。

J507 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-42、表 2-43。

表 2-42 J507 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	S	P
保证值	≤0.12	≤1.60	≤0.75	≤0.30	≤0.20	≤0.30	≤0.035	≤0.040
一般值	0.10	0.85 ~ 1.25	0.65	0.20	0.15	0.20	0.025	0.030

表 2-43 J507 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	-20℃时 A_{KV} (J)	-30℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥490	≥400	≥22	≥47	≥27
一般值	520~580	≥410	24~32	60~230	55~200

(22) J507H

说明: J507H 是低氢钠型药皮的超低氢焊条, 熔敷金属扩散氢含量很低, $\leq 1.5\text{ml}/100\text{g}$ 。焊缝金属具有优良的塑性、低温冲击性能、抗裂性能。电弧稳定, 脱渣容易, 飞溅小, 成形美观。采用直流反接, 可进行全位置焊接, 焊接操作须用短弧, 以窄焊道为宜。焊前须经 400℃烘干 1 小时, 随烘随用。X 射线探伤合格级别 I 级。

用途: 适用于制造海洋平台、船舶、压力容器等重要的焊接结构。

J507H 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-44、表 2-45。

表 2-44 J507H 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P
保证值	≤0.12	≤1.60	≤0.75	≤0.035	≤0.040

表 2-45 J507H 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	-30℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥490	≥400	≥22	≥27
一般值	510~580	410~450	24~34	55~200

(23) J507DF

说明: J507DF 是低氢钠型药皮的低尘碳钢焊条, 采用直流电

源，焊条接正极，可进行全位置焊接，焊接操作须用短弧，以窄焊道为宜。焊缝金属具有良好的力学性能和抗裂性能。焊接烟尘发生量 $\leq 10\text{g/kg}$ ，尘中可溶性氟化物含量 $\leq 10\%$ ，比一般低氢焊条更低。熔敷金属扩散氢含量 $\leq 8\text{ml}/100\text{g}$ 。焊前须经 350°C 烘干1小时，随烘随用。X射线探伤合格级别I级。

用途：适用于在密闭容器及通风不良场合，用于焊接Q295(09Mn2Si、09Mn2)、Q345(16Mn)低合金钢和中碳钢等钢材。

J507DF熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表2-46、表2-47。

表 2-46 J507DF 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P
保证值	≤ 0.12	≤ 1.60	≤ 0.75	≤ 0.035	≤ 0.040

表 2-47 J507DF 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	-20 $^\circ\text{C}$ 时 A_{KV} (J)	-30 $^\circ\text{C}$ 时 A_{KV} (J)
保证值	≥ 490	≥ 400	≥ 22	≥ 47	≥ 27
一般值	520 ~ 580	≥ 410	24 ~ 32	60 ~ 200	60 ~ 150

(24) J507Fe; J507Fe16

说明：J507Fe、J507Fe16是铁粉低氢钠型药皮的碳钢焊条，采用直流反接，当空载电压大于70伏时，也可采用交流电源施焊。可进行全位置焊接。焊接操作须用短弧，以窄焊道为宜。焊缝成形美观，飞溅少，熔深适中。熔敷金属扩散氢含量 $\leq 8\text{ml}/100\text{g}$ 。焊前须经 $350 \sim 380^\circ\text{C}$ 烘干1小时，随烘随用。J507Fe X射线探伤合格级别I级。J507Fe16熔敷效率可达160%，X射线探伤合格级别II级。

用途：J507Fe 适用于焊接重要的低碳钢和低合金钢。
J507Fe16 适用于碳钢和低合金钢的平焊和平角焊。

J507Fe、J507Fe16 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-48、表 2-49。

表 2-48 J507Fe、J507Fe16 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P
保证值	≤0.12	≤1.60	≤0.75	≤0.035	≤0.040

表 2-49 J507Fe、J507Fe16 熔敷金属力学性能

试验项目		R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	-30℃时 A_{KV} (J)
保证值		≥490	≥400	≥22	≥27
一般值	J507Fe	520 ~ 580	≥410	24 ~ 30	50 ~ 200
	J507Fe16	520 ~ 580	≥410	24 ~ 30	—

二、500MPa 等级以上的低合金高强钢焊条

低合金钢焊条包括抗拉强度在 500MPa 等级以上的低合金高强钢焊条、耐热钢焊条和低温钢焊条。抗拉强度在 500MPa 等级以上的低合金高强钢焊条的生产、验收执行 GB/T 5118—1995《低合金钢焊条》，该标准规定了低合金钢焊条型号分类、技术要求、试验方法及检验规则等内容。

1. 500MPa 等级以上的低合金高强钢焊条选用说明

抗拉强度在 500MPa 等级以上低合金高强钢焊条的选用通常是根据母材的化学成分、力学性能、抗裂性能等要求，综合考虑焊接结构形状尺寸、工作条件、受力情况、焊工技能和焊接设备

等方面的因素，必要时还需进行焊接性试验来确定焊条和采取的焊接工艺措施。

(1) 抗拉强度在 500MPa 等级以上的低合金高强钢焊条选用的主要依据是母材的抗拉强度等级；同时还要兼顾母材的焊接性，母材成分的过渡，焊接结构形状尺寸、坡口形式，使用环境温度 and 受力情况等方面的影响因素。

低合金高强钢焊条的选用可以分为低强度匹配和等强度匹配。为了提高焊接接头抗冷裂能力，可以选用比母材强度低一些的焊条，称为低强度匹配。低合金高强钢焊条熔敷金属抗拉强度与母材的抗拉强度基本相当时，称为等强度匹配；多用在厚板多层焊或焊后进行正火处理等情况下，以避免出现焊缝强度过低的现象。

(2) 抗拉强度在 500 ~ 550MPa 之间的低合金高强钢焊条有酸性焊条和碱性焊条，应根据焊接件的结构形状（简单或复杂）、钢板厚度（刚度小或大）、工作条件（静载荷或动载荷）和钢材的抗裂性能等方面的影响因素，选用酸性焊条或碱性焊条。通常在要求抗冷裂能力强、低温冲击性能好的场所，应选用碱性焊条；如直流电源有困难，可选用交直流两用的碱性焊条。抗拉强度在 550MPa 等级以上的低合金高强钢焊条一般都是碱性焊条，主要考虑焊接接头必须具有较好的抗冷裂能力，降低熔敷金属的扩散氢含量。本书扩散氢含量数据采用甘油法的测试结果。

(3) 对于两种不同强度等级低合金高强钢的焊接接头，一般根据抗拉强度等级较低的低合金高强钢，选用相应抗拉强度等级的焊条。

(4) 对于中碳钢、高碳钢以及合金元素含量较多的铸锻件焊接，由于母材碳当量较高，增加了产生焊接裂纹的可能性，可选用低氢型焊条，并采取焊前预热、后热处理、焊接消应力热处理及其他焊接工艺措施。

(5) 抗拉强度在 550 ~ 850MPa 之间的低合金高强钢焊条, 其熔敷金属力学性能试验结果一般经过焊后热处理。热处理工艺中的升温速度、保温温度和保温时间、冷却速度及出炉温度应进行控制。

(6) 对使用条件特殊的钢种和焊接结构, 可选用专用焊条。

(7) 不同牌号焊条使用的焊接电流范围, 一般仅供参考。如工件需要进行焊前预热, 焊接时可比正常的焊接电流减少 5% ~ 15%; 当采用直流电源焊接时, 焊接电流比交流电源减少 10% 左右; 当采用立焊及仰焊位置施焊时, 焊接电流比平焊位置的焊接电流减少 10% ~ 15%。

(8) 施焊前必须对工件进行表面铁锈、油污及水分的清除, 以保证焊接质量。

国内常用的抗拉强度在 500MPa 等级以上的低合金高强钢焊条牌号见表 2-50。

表 2-50 国内常用的抗拉强度在 500MPa 等级以上的
低合金高强钢焊条牌号

牌 号	焊条型号		
	中国(GB)	美国(AWS)	日本(JIS)
J502CuP	—	—	—
J502NiCu; J502CuCrNi	E5003-G	—	DW5003B
J502WCu	E5003-G	—	DW5003A
J505G	E5010-G	E7010-G	—
J506WCu	F5016-G	—	—
J506R; J506RK; J506RH	E5016-G	E7016-G	D5016
J506NiCu; J506NiCrCu	E5016-G	—	DW5016B

续表 2-50

牌 号	焊条型号		
	中国(GB)	美国(AWS)	日本(JIS)
J507R; J507 NiCuP; J507RH; J507Mo; J507MoW NbB; J507NiTiB; J507MoW; J507SLA; J507SLB	E5015-G	E7015-G	—
J507 NiCu; J507 WCu; J507MoNb; J507CrNi; J507CuP	E5015-G	—	—
J507FeNi	E5018-G	E7018-G	D5016
J553	—	—	—
J555	E5511-G	E8011-G	—
J555G	E5510-G	E8010-G	—
J556; J556RH; J556CuCrMo	E5516-G	E8016-G	—
J556XC	E5516-G	—	—
J557; J557MoV; J557SLA; J507SLB	E5515-G	E8015-G	—
J557Mo	E5515-D3	E8015-D3	—
J606	E6016-D1	E9016-D1	D5816
J606RH	E6016-G	—	—
J557; J557MoV; J557SLA; J507SLB	E5515-G	E8015-G	—
J557Mo	E5515-D3	E8015-D3	—
J557; J557MoV; J557SLA; J507SLB	E5515-G	E8015-G	—

续表 2-50

牌 号	焊条型号		
	中国 (GB)	美国 (AWS)	日本 (JIS)
J557Mo	E5515-D3	E8015-D3	—
J557; J557MoV; J557SLA; J507SLB	E5515-G	E8015-G	—
J557Mo	E5515-D3	E8015-D3	—
J606	E6016-D1	E9016-D1	D5816
J606RH	E6016-G	—	—
J607	E6015-D1	E9015-D1	—
J607Ni; J607RH	E6015-G	E9015-G	—
J707	E7015-D2	E10015-D2	—
J707Ni; J707RH	E7015-G	E10015-G	D7015
J707NiW	E7015-G	—	—
J757; J757Ni	E7515-G	E11015-G	—
J807	E8015-G	—	—
J807RH	E8015-G	E11015-G	D8015
J857; J857Cr; J857CrNi	E8515-G	E12015-G	—
J907; J907Cr	E9015-G	—	—
J107; J107Cr	E10015-G	—	—

2. 常用的抗拉强度在 500MPa 等级以上的低合金高强度钢焊条介绍

(1) J502CuP; J502NiCu; J502WCu

说明: J502CuP、J502NiCu、J502WCu 是钛钙型药皮的低合

金耐候钢焊条，交直流两用，可进行全位置焊接。X射线探伤合格级别Ⅱ级。J502CuP焊缝金属具有耐大气腐蚀和耐海水腐蚀的性能。J502NiCu、J502WCu焊缝金属具有耐大气腐蚀的性能。

用途：J502CuP适用于焊接10MnPNbRE、08MnP、09MnCuPTi等铜磷合金系统的钢材，用于制造耐大气腐蚀、耐海水腐蚀的结构。J502NiCu、J502WCu适用于焊接09MnCuPTi等耐候钢，用于制造铁路车辆。

J502CuP、J502NiCu、J502WCu熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表2-51、表2-52。

表2-51 J502CuP、J502NiCu、J502WCu熔敷金属化学成分
(质量分数) (%)

试验项目		C	Mn	Si	Cr	Ni	W	Cu	S	P
保 证 值	J502CuP	≤ 0.12	0.50 ~0.90	≤ 0.30	—	—	—	0.20 ~0.50	≤ 0.035	0.06 ~0.12
	J502NiCu	≤ 0.10	0.30 ~0.80	≤ 0.30	0.20 ~0.30	0.20 ~0.50	—	0.15 ~0.40	≤ 0.035	≤ 0.035
	J502WCu	≤ 0.12	0.50 ~0.90	≤ 0.30	—	—	0.20 ~0.50	0.20 ~0.50	≤ 0.030	≤ 0.030

表2-52 J502CuP、J502NiCu、J502WCu熔敷金属力学性能

试验项目		R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	-30℃时 A_{KV} (J)
保 证 值	J502CuP	≥490	≥345	≥16	常温 ≥35
	J502NiCu; J502WCu	≥490	≥390	≥20	0℃时 ≥27
一 般 值	J502CuP	520 ~ 560	≥350	18 ~ 22	常温 35 ~ 85
	J502NiCu	550 ~ 600	400 ~ 450	24 ~ 26	0℃时 80 ~ 150; -40℃时 50 ~ 120
	J502WCu	500 ~ 560	≥400	22 ~ 30	常温 50 ~ 70; -20℃时 30 ~ 50

(2) J506RH

说明：J506RH 是低氢钾型药皮的高韧性超低氢低合金钢焊条，扩散氢含量 $\leq 1.5\text{ml}/100\text{g}$ 或药皮含水量 $\leq 0.10\%$ 。焊缝金属具有优良的塑性、低温冲击性能、抗裂性能。交直流两用，可进行全位置焊接，焊接须用短弧操作，以窄焊道为宜。焊前须经 $350 \sim 400^\circ\text{C}$ 烘干 1 小时，随烘随用。X 射线探伤合格级别 I 级。

用途：适用于焊接碳钢、低合金钢等材料，用于制造海洋平台、船舶、压力容器等结构。

J506RH 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-53、表 2-54。

表 2-53 J506RH 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Ni	S	P
保证值	≤ 0.10	≤ 1.60	≤ 0.50	0.35 ~ 0.80	≤ 0.025	≤ 0.025

表 2-54 J506RH 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	-30°C 时 A_{KV} (J)
保证值	≥ 490	≥ 390	≥ 22	≥ 34
一般值	500 ~ 600	420 ~ 450	23 ~ 30	100 ~ 150

(3) J507NiCuP

说明：J507NiCuP 是低氢钠型药皮的低合金钢焊条，采用直流反接，焊接工艺性能良好，可进行全位置焊接，焊接操作须用短弧，以窄焊道为宜。扩散氢含量 $\leq 6\text{ml}/100\text{g}$ 或药皮含水量 $\leq 0.30\%$ 。焊前须经 400°C 烘干 1 小时，随烘随用。X 射线探伤合格级别 I 级。

用途：适用于焊接 10MnSiCu、09MnCuPTi、10NiCuP 等耐海

水腐蚀和耐大气腐蚀的相应钢材。

J507NiCuP 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-55、表 2-56。

表 2-55 J507NiCuP 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Ni	Cu	S	P
保证值	≤0.12	0.60~1.60	≤0.45	0.55~0.75	0.40~0.60	≤0.030	0.06~0.10

表 2-56 J507NiCuP 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	-30℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥490	≥390	≥22	≥27

(4) J507R

说明：J507R 是低氢钠型药皮的高韧性低合金钢焊条，采用直流反接，可进行全位置焊接，焊接操作须用短弧，以薄焊道为宜。焊后经 620℃ × 10 小时消应力处理，其抗拉强度不低于 490MPa。扩散氢含量 ≤6ml/100g 或药皮含水量 ≤0.30%。焊前须经 350 ~ 400℃ 烘干 1 小时，随烘随用。X 射线探伤合格级别 I 级。

用途：适用于焊接 Q345、16MnR、16Mng 等钢材，用于制造压力容器及其他重要的低合金钢结构。

J507R 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-57、表 2-58。

表 2-57 J507R 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Ni	S	P
保证值	≤0.12	≤1.60	≤0.70	≤0.70	≤0.035	≤0.035

表 2-58 J507R 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	-30℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥490	≥390	≥22	≥47
一般值	500 ~ 580	400 ~ 480	24 ~ 34	100 ~ 200

(5) J507MoNb

说明：J507MoNb 是低氢钠型药皮的低合金钢焊条，在硫化氢、氢、氮、氨及氢介质中具有较好的耐腐蚀性能。采用直流反接，可进行全位置焊接，焊接操作须用短弧，以薄焊道为宜。焊缝金属具有良好的塑性、韧性及抗裂性能。扩散氢含量≤6ml/100g 或药皮含水量≤0.30%。焊前须经 350 ~ 400℃烘干 1 小时，随烘随用。X 射线探伤合格级别 I 级。

用途：适用于焊接 12SiMoVNb、15MoV 等石油化工用钢。

J507 MoNb 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-59、表 2-60。

表 2-59 J507MoNb 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Mo	Nb	S	P
保证值	≤0.12	0.60 ~ 1.20	≤0.65	0.30 ~ 0.60	0.03 ~ 0.15	≤0.035	≤0.035

表 2-60 J507MoNb 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	-30℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥490	≥390	≥22	≥27
一般值	520 ~ 600	≥400	22 ~ 28	50 ~ 100

(6) J507MoW

说明：J507MoW 是低氢钠型药皮的低合金钢焊条，在氢、氮、氨介质中具有较好的耐腐蚀性能。采用直流反接，可进行全位置焊接，焊接操作须用短弧，以薄焊道为宜，焊接工艺性能良好。焊接中厚工件时，焊前预热 150℃，焊后进行 740℃回火处理。扩散氢含量 $\leq 6\text{ml}/100\text{g}$ 或药皮含水量 $\leq 0.30\%$ 。焊前须经 350℃烘干 1 小时，随烘随用。X 射线探伤合格级别 I 级。

用途：适用于焊接含有钼、钨、钒、铌等元素的低合金钢，如抗高温高压氢腐蚀的 10MoWVNb 钢及其他抗高温高压氢、氮、氨腐蚀用钢。

J507MoW 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-61、表 2-62。

表 2-61 J507MoW 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Mo	W	V	Nb	S	P
保证值	≤ 0.10	≤ 0.80	≤ 0.50	0.50 ~ 0.90	0.50 ~ 0.90	≤ 0.20	≤ 0.12	≤ 0.035	≤ 0.035

表 2-62 J507MoW 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	-30℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥ 490	≥ 390	≥ 22	≥ 27
一般值	520 ~ 600	≥ 400	22 ~ 28	50 ~ 100

(7) J507FeNi

说明：J507FeNi 是低氢型药皮的铁粉低合金钢焊条，采用直流反接，可进行全位置焊接。具有较低的扩散氢含量和优良的低温冲击韧性，扩散氢含量 $\leq 4\text{ml}/100\text{g}$ 或药皮含水量 $\leq 0.30\%$ 。焊前须经 350℃烘干 1 小时，随烘随用。X 射线探伤合格级别 I 级。

用途：适用于焊接中碳钢、低温钢，如 Q345E、16MnDR 等钢材，制造压力容器等结构。

J507FeNi 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-63、表 2-64。

表 2-63 J507FeNi 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Ni	S	P
保证值	≤0.08	0.80 ~ 1.30	≤0.65	1.20 ~ 2.00	≤0.030	≤0.030

表 2-64 J507FeNi 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	-40℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥490	≥390	≥22	≥47
一般值	500 ~ 550	400 ~ 450	23 ~ 28	75 ~ 200

(8) J507MoWNbB

说明：J507MoWNbB 是低氢钠型药皮的低合金钢焊条，采用直流反接，可进行全位置焊接，工艺性能良好。焊接中厚工件时，焊前预热 150℃，焊后进行 740℃回火处理。扩散氢含量 ≤ 6ml/100g 或药皮含水量 ≤ 0.30%。焊前须经 350 ~ 400℃烘干 1 ~ 2 小时，随烘随用。X 射线探伤合格级别 I 级。

用途：适用于焊接 12SiMoVNb 等钢材，用于制造耐氢、氮、氨介质腐蚀的中温 (≤400℃) 高压条件的结构。

J507MoWNbB 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-65、表 2-66。

表 2-65 J507MoWNbB 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Mo	W	Nb	B	S	P
保证值	≤0.10	≤0.85	≤0.45	0.40 -0.60	0.10 -0.20	0.01 -0.04	0.0005 -0.0015	≤0.035	≤0.035

表 2-66 J507MoWNbB 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	常温 A_{KV} (J)
保证值	≥ 490	≥ 390	≥ 22	≥ 27
一般值	≥ 500	≥ 400	22 ~ 28	≥ 47

(9) J555

说明：J555 是高纤维钾钠型药皮的立向下焊低合金钢焊条，交直流两用。下行焊时，铁水及熔渣不下淌，电弧吹力大，熔深大；打底层焊接时可实现单面焊双面成形，有较高的焊接速度。焊前须经 70 ~ 90℃ 烘干 1 小时，烘干温度不宜过高，否则药皮中的纤维素组织可能烧损。

用途：适用于焊接低合金钢管路。

J555 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-67、表 2-68。

表 2-67 J555 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P
保证值	≤ 0.20	≥ 1.00	≤ 0.50	≤ 0.035	≤ 0.040

注：当 Mn $\leq 1.00\%$ 时，允许加入适量的 Mo 或 Ni。

表 2-68 J555 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	-30℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥ 540	≥ 440	≥ 17	≥ 27

(10) J556

说明：J556 是低氢钾型药皮的低合金钢焊条，交直流两用。使用直流电源时，焊条接正极，可进行全位置焊接，焊接操作须用短

弧,以窄焊道为宜。扩散氢含量 $\leq 6\text{ml}/100\text{g}$ 或药皮含水量 $\leq 0.30\%$ 。焊前须经 350°C 烘干1小时,随烘随用。X射线探伤合格级别I级。

用途:适用于焊接中碳钢和Q390C(15MnTi、15MnV)等低合金结构钢。

J556熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表2-69、表2-70。

表 2-69 J556 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P
保证值	≤ 0.12	≥ 1.00	0.30 ~ 0.70	≤ 0.035	≤ 0.035

表 2-70 J556 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	常温 A_{KV} (J)
保证值	≥ 540	≥ 440	≥ 17	≥ 27
一般值	560 ~ 620	≥ 450	22 ~ 32	—

(11) J556RH

说明: J556RH是低氢钾型药皮的高韧性超低氢低合金钢焊条,扩散氢含量 $\leq 1.5\text{ml}/100\text{g}$ 或药皮含水量 $\leq 0.10\%$ 。焊缝金属具有优良的塑性、低温冲击性能、抗裂性能。交直流两用,可全位置焊接,焊接操作须用短弧,以窄焊道为宜。焊前须经 400°C 烘干1小时,随烘随用。X射线探伤合格级别I级。

用途:用于焊接制造海洋采油平台、船舶、压力容器等低合金钢重要结构。

J556RH熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表2-71、表2-72。

表 2-71 J556RH 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Ni	S	P
保证值	≤0.12	≥1.00	0.30 ~ 0.70	≤0.85	≤0.035	≤0.035

表 2-72 J556RH 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	-40℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥540	≥440	≥17	≥34
一般值	550 ~ 620	≥450	27 ~ 30	120 ~ 180

(12) J557; J557MoV

说明: J557、J557MoV 是低氢钠型药皮的低合金钢焊条, J557MoV 与 J557 焊条相比较, 主要特点是抗裂性能有显著的提高。采用直流反接。可进行全位置焊接, 焊接操作须用短弧, 以窄焊道为宜。扩散氢含量 ≤6ml/100g 或药皮含水量 ≤0.30%。焊前须经 350 ~ 400℃ 烘干 1 ~ 2 小时, 随烘随用。X 射线探伤合格级别 I 级。

用途: J557 适用于焊接中碳钢和 Q390C 等低合金钢。J557MoV 适用于大型水轮机涡壳 (R_{eL} ≥440MPa 的 14MnMoVN 中厚板) 现场装焊, 也适于焊接抗裂性要求较高的 Q390C (15MnV) 和 Q420C (15MnVN) 等低合金钢制造的大型工矿车辆和化工容器等结构。

J557、J557MoV 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-73、表 2-74。

表 2-73 J557、J557MoV 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Mo	V	S	P	
保证值	J557	≤0.12	≥1.00	0.30 ~ 0.70	—	—	≤0.035	≤0.035

续表 2-73

试验项目		C	Mn	Si	Mo	V	S	P
保证值	J557MoV	≤0.10	0.80 ~1.30	≤0.25	0.20 ~0.35	0.03 ~0.05	≤ 0.035	≤ 0.035

表 2-74 J557、J557MoV 熔敷金属力学性能

试验项目		R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	A_{KV} (J)
保证值	J557	≥540	≥440	≥17	-20℃时 ≥27
	J557MoV	≥540	≥440	≥17	-40℃时 ≥27
一般值		550 ~ 620	≥450	22 ~ 32	50 ~ 200

(13) J557SLA; J557SLB

说明：J557SLA、J557SLB 是低氢钠型药皮的渗铝钢焊条，采用直流电源，焊条接正极，短弧操作，可进行全位置焊接。J557SLA 焊前不用去除坡口表面渗铝层，直接进行焊接。J557SLB 焊前应去除坡口表面渗铝层。J557SLA、J557SLB 焊前须经 350℃烘干 1 小时，随烘随用。

用途：适用于焊接工作温度在 540℃以下，在硫化氢、硫、氨、碳铵及氢、氮腐蚀介质下使用的渗铝钢，用于制造锅炉管道、石油精炼设备、化肥设备和蒸汽管道等结构。

J557SLA、J557SLB 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-75、表 2-76。

表 2-75 J557SLA、J557SLB 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Mo	Cr	Al	S	P
保证值	≤0.12	0.50 ~0.90	≤0.50	≥0.20	≤0.80	≤ 0.055	≤ 0.035	≤ 0.035

表 2-76 J557SLA、J557SLB 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	常温 A_{KV} (J)
保证值	≥540	≥440	≥17	≥47

(14) J606

说明：J606 是低氢钾型药皮的低合金钢焊条，交直流两用，可进行全位置焊接，焊接操作须用短弧，以窄焊道为宜。当工件较厚时，焊前预热 150℃，焊后缓冷。扩散氢含量 ≤4ml/100g 或药皮含水量 ≤0.15%。焊前须经 350℃ 烘干 1 小时，随烘随用。X 射线探伤合格级别 I 级。

用途：适用于焊接中碳钢及相应强度的低合金高强钢，如 Q420D (15MnVN) 等。

J606 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-77、表 2-78。

表 2-77 J606 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Mo	S	P
保证值	≤0.12	1.25 ~ 1.75	≤0.60	0.25 ~ 0.45	≤0.035	≤0.035

表 2-78 J606 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	-30℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥590	≥490	≥15	≥27
一般值	620 ~ 680	≥500	20 ~ 28	≥27

(15) J606RH

说明：J606RH 是低氢钾型药皮的、压力容器用 590MPa 等级无裂纹钢使用的超低氢高韧性低合金钢焊条，具有良好的 V 型

缺口冲击性能和抗裂性能，采用直流反接，可进行全位置焊接。扩散氢含量 $\leq 1.5\text{ml}/100\text{g}$ 或药皮含水量 $\leq 0.10\%$ 。焊前须经 $350 \sim 430^\circ\text{C}$ 烘干 1 小时，随烘随用。X 射线探伤合格级别 I 级。

用途：适用于焊接等强度匹配的 CF60 (CF62) 钢，用于制造压力容器、桥梁、水电站下降管及海洋工程等重要结构。

J606RH 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-79、表 2-80。

表 2-79 J606RH 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Ni	Mo	S	P
保证值	≤ 0.10	≥ 1.00	≤ 0.80	0.60~1.20	0.10~0.40	≤ 0.025	≤ 0.025

表 2-80 J606RH 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	-40°C 时 A_{KV} (J)
保证值	≥ 610	≥ 490	≥ 17	≥ 47

(16) J607; J607Ni

说明：J607、J607Ni 是低氢钠型药皮的低合金钢焊条，采用直流反接，可进行全位置焊接，焊接操作须用短弧，以窄焊道为宜。扩散氢含量 $\leq 4\text{ml}/100\text{g}$ 或药皮含水量 $\leq 0.15\%$ 。焊前须经 $350 \sim 430^\circ\text{C}$ 烘干 1 小时，放在 $100 \sim 150^\circ\text{C}$ 恒温箱内，随烘随用。X 射线探伤合格级别 I 级。J607Ni 熔敷金属在 350°C 以下能保持焊态强度，在 375°C 以上开始明显软化，具有良好的抗再热裂纹性能。

用途：J607 适用于焊接中碳钢及相应强度的低合金高强钢，如 Q420D (15MnVN) 等。J607Ni 适用于相应强度等级，并有再热裂纹倾向的钢材焊接，用于制造核反应堆壳体、锅炉汽包、化

工容器、贮藏等结构及其焊接修复。

J607、J607Ni 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-81、表 2-82。

表 2-81 J607、J607Ni 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目		C	Mn	Si	Ni	Mo	S	P
保证值	J607	≤0.12	1.25 ~ 1.75	≤0.60	—	0.25 ~ 0.45	≤ 0.035	≤ 0.035
	J607Ni	≤0.10	≥1.00	≤0.80	1.20 ~ 1.50	—	≤ 0.035	≤ 0.035

表 2-82 J607、J607Ni 熔敷金属力学性能

试验项目		R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	A_{KV} (J)
保证值	J607	≥590	≥490	≥15	-30℃时 ≥27
	J607Ni	≥590	≥490	≥15	-40℃时 ≥34
一般值	J607	620 ~ 680	≥500	20 ~ 28	-30℃时 ≥27
	J607Ni	692	≥588	23	-40℃时 75

(17) J607RH

说明：J607RH 是压力容器用 590MPa 等级无裂纹钢使用的超低氢钠型高韧性低合金钢焊条，具有良好的 V 型缺口冲击性能和抗裂性能，采用直流反接，可进行全位置焊接。扩散氢含量 ≤1.5ml/100g 或药皮含水量 ≤0.10%。焊前须经 350 ~ 430℃ 烘干 1 小时，随烘随用。X 射线探伤合格级别 I 级。

用途：适用于焊接等强匹配的 CF60(CF62) 钢，用于制造压力容器、桥梁、水电站下降管及海洋工程等重要结构。

J607RH 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-83、表 2-84。

表 2-83 J607RH 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Ni	Mo	S	P
保证值	≤0.10	≥1.00	≤0.80	0.60 ~ 1.20	0.10 ~ 0.40	≤0.025	≤0.025

表 2-84 J607RH 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	-50℃时 A_{KV} (J)	-60℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥610	≥490	≥17	≥47	—
一般值	638	523	26	116	82

(18) J707; J707Ni

说明：J707、J707Ni 是低氢钠型药皮的低合金钢焊条。采用直流反接,可进行全位置焊接,焊接操作须用短弧,以窄焊道为宜。扩散氢含量 ≤4ml/100g 或药皮含水量 ≤0.15%。焊前须经 350℃烘干 1 小时,随烘随用。X 射线探伤合格级别 I 级。J707Ni 熔敷金属具有良好的综合力学性能,与 J707 焊条比较,主要特点是低温冲击性能和抗裂性能有显著提高。

用途：J707 适用于焊接 15MnMoV、14MnMoVB、18MnMoNb 等低合金钢,制造的焊接结构可以根据工艺要求在焊态或在 550 ~ 650℃回火状态下使用。J707 Ni 适用于焊接相应强度等级的低合金高强度钢,如 14MnMoVB、Wel-ten70 等低合金高强度钢。

J707、J707Ni 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-85、表 2-86。

表 2-85 J707、J707Ni 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Ni	Mo	Cr	S	P	
保证值	J707	≤0.15	1.65 ~ 2.00	≤0.60	—	0.25 ~ 0.45	—	≤0.035	≤0.035

续表 2-85

试验项目		C	Mn	Si	Ni	Mo	Cr	S	P
保证值	J707Ni	≤ 0.10	≥ 1.00	≤ 0.60	1.80 ~ 2.20	0.40 ~ 0.60	≤ 0.20	≤ 0.030	≤ 0.030
一般值	J707	0.073	1.68	0.54	—	0.40	—	0.011	0.018

表 2-86 J707、J707Ni 熔敷金属力学性能

试验项目		R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	A_{KV} (J)
保证值	J707	≥690	≥590	≥15	-30℃时 ≥27
	J707Ni	≥690	≥590	≥15	-40℃时 ≥34
一般值	J707	720	610	18	-30℃时 36
	J707Ni	760	630	23	-40℃时 140

(19) J707RH

说明：J707RH 是低氢钠型药皮的超低氢高韧性低合金钢焊条，采用直流反接，可进行全位置焊接，焊接操作须用短弧，以窄焊道为宜。焊接工艺性能良好。焊缝金属具有良好的塑性和 V 型缺口冲击性能，焊接接头具有良好的冷弯性能、抗裂性能。扩散氢含量 ≤1.5ml/100g 或药皮含水量 ≤0.10%。焊前须经 400℃ 烘干 1 小时，随烘随用。X 射线探伤合格级别 I 级。

用途：适用于焊接 $R_{eL} \geq 590\text{MPa}$ 的低合金高强度钢，用于制造船体结构。

J707RH 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-87、表 2-88。

表 2-87 J707RH 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	S	P
保证值	≤ 0.08	1.20 ~ 1.60	0.30 ~ 0.60	0.08 ~ 0.20	1.40 ~ 2.00	0.25 ~ 0.50	≤ 0.020	≤ 0.020

表 2-88 J707RH 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	-50℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥690	≥590	≥15	≥34

(20) J757; J757Ni

说明: J757、J757Ni 是低氢钠型药皮的低合金钢焊条, 采用直流反接, 可进行全位置焊接, 焊接操作须用短弧, 以窄焊道为宜。扩散氢含量 ≤4ml/100g 或药皮含水量 ≤0.15%。焊前须经 350℃ 烘干 1 小时, 随烘随用。X 射线探伤合格级别 I 级。J757Ni 熔敷金属具有良好的综合力学性能, 尤其是具有较好的低温冲击性能和优良的抗裂性能。

用途: J757 适用于焊接强度等级为 740MPa 的低合金高强度钢。J757Ni 适用于焊接相应强度等级的低合金高强度钢, 如 14MnMoNbB 和 Wel-ten80 等钢材。

J757、J757Ni 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-89、表 2-90。

表 2-89 J757、J757Ni 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Ni	Mo	Cr	S	P	
保证值	J757	≤ 0.20	≥ 1.00	≤ 0.60	—	≤ 1.00	—	≤ 0.030	≤ 0.030
	J757Ni	≤ 0.10	≥ 1.00	≤ 0.60	2.00 ~ 2.60	0.40 ~ 0.70	≤ 0.20	≤ 0.030	≤ 0.030

表 2-90 J757、J757Ni 熔敷金属力学性能

试验项目		R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	-40℃时 A_{KV} (J)
保证值	J757	≥740	≥640	≥13	—
	J757Ni	≥740	≥640	≥13	≥27
一般值	J757	780 ~ 880	650	15 ~ 21	—
	J757Ni	860	710	24	88

(21) J807

说明：J807 是低氢钠型药皮的低合金钢焊条，采用直流反接，可进行全位置焊接，焊接操作须用短弧，焊缝不易太宽，以焊条直径的 2 ~ 3 倍为宜。J807 具有优良的焊接工艺性能和抗裂性能。扩散氢含量 ≤4ml/100g 或药皮含水量 ≤0.15%。焊前须经 400℃烘干 1 ~ 2 小时，随烘随用。X 射线探伤合格级别 I 级。

用途：适用于焊接 14MnMoNbB 钢及其他相应强度等级的低合金高强度钢。

J807 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-91、表 2-92。

表 2-91 J807 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Mo	S	P
保证值	≤0.09	≤2.00	≤0.40	0.80 ~ 1.00	≤0.030	≤0.030

表 2-92 J807 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	-40℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥780	≥690	≥14	≥34

(22) J807RH

说明：J807RH 是低氢钠型药皮的超低氢高韧性低合金钢焊条，采用直流反接，可进行全位置焊接，焊接操作须用短弧，较小规范，以窄焊道为宜。焊接工艺性能良好，熔敷金属具有良好的综合力学性能，并且具有良好的低温冲击性能和优良的抗裂性能。焊前须经 350 ~ 400℃ 烘干 1 小时，然后在 100 ~ 150℃ 之间保温，随烘随用。X 射线探伤合格级别 I 级。

用途：适用于焊接 ASTM A514、ASTM A517、CF80 及其他相应强度等级的低合金高强钢，用于制造水电站下降管、压力容器、桥梁、海洋平台等结构。

J807RH 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-93、表 2-94。

表 2-93 J807RH 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	S	P
保证值	≤0.10	1.30~1.80	≤0.50	≤0.60	1.40~2.00	0.30~0.60	≤0.020	≤0.020

表 2-94 J807RH 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	-40℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥785	≥685	≥15	≥34
一般值	800 ~ 880	≥690	17 ~ 24	47 ~ 80

(23) J857; J857Cr

说明：J857、J857Cr 是低氢钠型药皮的低合金钢焊条，采用直流反接，可进行全位置焊接。扩散氢含量 ≤ 2ml/100g 或药皮含水量 ≤ 0.15%。工件焊前一般需要预热 200℃，焊后消应力热处理，一般为 600 ~ 650℃ 回火。焊前须经 350 ~ 400℃ 烘干 1 小

时，随烘随用。X射线探伤合格级别 I 级。

用途：J857 适用于焊接强度等级为 830MPa 的低合金高强度钢。J857Cr 适用于焊接 14CrMnMoVB、30CrMo、35CrMo 等钢材及其他抗拉强度为 830MPa 左右的低合金高强度钢，用于制造压力容器和其他结构。

J857、J857Cr 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-95、表 2-96。

表 2-95 J857、J857Cr 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目		C	Mn	Si	Cr	Mo	V	S	P
保证值	J857	≤ 0.15	≥ 1.00	0.40 ~0.80	—	0.60 ~1.20	—	≤ 0.035	≤ 0.035
	J857Cr	≤ 0.15	≥ 1.00	≤ 0.60	0.70 ~1.10	0.50 ~1.00	0.05 ~0.15	≤ 0.035	≤ 0.035

表 2-96 J857、J857Cr 熔敷金属力学性能

试验项目		R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	A_{KV} (J)
保证值	J857	≥830	≥740	≥12	-40℃时 ≥27
	J857Cr	≥830	≥740	≥12	常温 ≥27
一般值		860 ~ 950	≥750	12 ~ 18	—

(24) J907

说明：J907 是低氢钠型药皮的低合金钢焊条，采用直流电源，焊条接正极，可进行全位置焊接。扩散氢含量 ≤2ml/100g 或药皮含水量 ≤0.15%。工件焊前一般需要预热 200℃，焊后消应力热处理，一般为 600 ~ 650℃回火。焊前须经 400℃烘干 1 小时，随烘随用。X 射线探伤合格级别 I 级。

用途：适用于焊接抗拉强度为 880MPa 左右的低合金高强度钢。

J907 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-97、表 2-98。

表 2-97 J907 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Mo	S	P
保证值	≤0.20	1.40 ~ 2.00	0.40 ~ 0.80	0.80 ~ 1.20	≤0.035	≤0.035

表 2-98 J907 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)
保证值	≥880	≥780	≥12
一般值	900 ~ 1000	≥800	12 ~ 20

(25) J107; J107Cr

说明：J107、J107Cr 是低氢钠型药皮的低合金钢焊条，采用直流电源，焊条接正极，可进行全位置焊接，焊接操作须用短弧，以窄焊道为宜。扩散氢含量 ≤2ml/100g 或药皮含水量 ≤0.15%。焊前须经 350 ~ 400℃ 烘干 1 小时，随烘随用。X 射线探伤合格级别 I 级。J107 工件焊前一般需要预热 200 ~ 300℃，焊后消应力热处理，一般为 500℃ 回火。J107Cr 工件焊前一般需要预热 300℃，焊后应进行调质处理（880℃ 油淬 + 520℃ 回火空冷），以消除工件的焊接残余应力，并促使组织的均匀化。

用途：J107 适用于焊接抗拉强度为 980MPa 的低合金高强度钢。J107Cr 适用于焊接 30CrMnSi、35CrMo 等钢材及其他抗拉强度大于 980MPa 的低合金高强度钢。

J107、J107Cr 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-99、表 2-100。

表 2-99 J107、J107Cr 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目		C	Mn	Si	Cr	Mo	V	S	P
保证值	J107	≤ 0.20	≥ 1.00	0.30 ~0.80	—	0.30 ~0.60	—	≤ 0.035	≤ 0.035
	J107Cr	≤ 0.15	≥ 1.00	0.30 ~0.70	1.50 ~2.20	0.40 ~0.80	0.08 ~0.16	≤ 0.035	≤ 0.035

表 2-100 J107、J107Cr 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	常温 A_{KV} (J)
保证值	≥980	≥880	≥12	—
一般值	1000 ~ 1100	≥900	12 ~ 20	≥27

三、钼和铬钼耐热钢焊条

钼和铬钼耐热钢焊条的生产、验收执行 GB/T 5118—1995《低合金钢焊条》和 GB/T 983—1995《不锈钢焊条》，标准规定了相应的钼和铬钼耐热钢焊条型号分类、技术要求、试验方法及检验规则等内容。

1. 钼和铬钼耐热钢焊条选用说明

钼和铬钼耐热钢焊条的选用通常是根_据耐热钢母材的化学成分、常温和高温力学性能、抗裂性能等要求，综合考虑焊接结构形状尺寸、工作条件、受力情况、焊工技能和焊接设备等方面的因素，必要时还需进行焊接性试验来确定焊条和采取的焊接工艺措施。

(1) 钼和铬钼耐热钢焊条选用主要依据是耐热钢母材的高温力学性能和化学成分合金系列，同时还要兼顾母材的焊接性、焊接结构形状尺寸、坡口形式、使用工作温度和受力情况等方面的影响因素。

钼和铬钼耐热钢焊条的选用一般与耐热钢母材中的合金元素化学成分相对应,高温力学性能(包括强度、硬度)实现等强度匹配,尽可能实现焊缝金属的常温力学性能和高温力学性能都与耐热钢母材形成匹配。

(2) 钼和铬钼耐热钢焊条有酸性焊条和碱性焊条,应根据焊接件的结构形状(简单或复杂)、钢板厚度(刚度小或大)、工作温度、工作介质和钢材的抗裂性能等方面的影响因素,选用相应的焊条。焊接薄壁管时,可采用氩弧焊打底焊、酸性焊条电弧焊盖面的工艺。在全部使用焊条或焊接厚壁管时,应选择低氢型药皮的耐热钢碱性焊条。

(3) 珠光体耐热钢中常有铬、镍、钼、钒、铌、钨等合金元素,由于碳和合金元素的共同作用,使其在焊接时极易形成淬硬组织,焊接性较差。为此,珠光体耐热钢一般焊前进行预热,焊后进行回火处理。

对于两种珠光体耐热钢焊接时,一般选用与中间成分相应的焊接材料,并应根据其中焊接性差的材料,选用合适的预热温度和焊后热处理条件。

(4) 马氏体耐热钢包括含铬 5%~9%的中铬钢和含铬 12%的高铬钢,此类钢淬硬倾向大,焊后易得到高硬度的马氏体和贝氏体组织,使脆性增加,残余应力也较大,容易产生冷裂纹。其焊条的选用一般要与马氏体耐热钢母材的化学成分合金系列相对应。故一般焊前必须进行预热及层间保温,焊后尚未冷却前进行高温回火,热处理工艺中的升温速度、保温温度和保温时间、冷却速度及出炉温度应进行控制。焊前必须清除工件表面的铁锈、油污、水分等杂质。

国内常用的钼和铬钼耐热钢焊条牌号见表 2-101。

表 2-101 国内常用的钼和铬钼耐热钢焊条牌号

牌 号	焊条型号		
	中国(GB)	美国(AWS)	日本(JIS)
R102	E5003-A1	—	—
R106Fe	E5018- A1	E7018- A1	—
R107	E5015- A1	E7015- A1	—
R200	E5500-B1	—	—
R202	E5503-B1	—	—
R207	E5515-B1	E8015- B1	—
R302	E5503-B2	—	—
R306Fe	E5518- B2	E8018- B2	—
R307	E5515-B2	E8015- B2	DT2315
R307H	E5515-B2	—	—
R310	E5500-B2-V	—	—
R312	E5503-B2-V	—	—
R316Fe	E5518- B2-V	—	—
R317	E5515-B2-V	—	—
R327	E5515-B2-VW	—	—
R337	E5515-B2-VNb	—	—
R340	E5500-B3-VWB	—	—
R347	E5515-B3-VWB	—	—
R400; R402	E6000-B3	—	—
R406Fe	E6018-B3	E9018-B3	—

续表 2-101

牌 号	焊条型号		
	中国(GB)	美国(AWS)	日本(JIS)
R407	E6015-B3	E9015-B3	—
R417; R427	E5515-B3-VNb	—	—
R507	E5MoV-15	—	—
R517A	—	—	—
R707	E9Mo-15	—	—
R717	—	—	—
R717A	—	—	—
R802	E11MoVNi-16	—	—
R807	E11MoVNi-15	—	—
R817	E11MoVNiW-15	—	—
R827	—	—	—

2. 常用的钼和铬钼耐热钢焊条介绍

(1) R102

说明: R102 是钛钙型药皮的含钼珠光体耐热钢焊条, 焊接工艺性能优良, 交直流两用, 可进行全位置焊接。焊前工件预热 90 ~ 110℃, 焊后进行 620℃回火处理。焊前焊条须经 150 ~ 200℃烘干 1 小时。X 射线探伤合格级别 II 级。

用途: 适用于焊接使用温度在 510℃以下、含 0.5%Mo 的耐热钢(如 15Mo)和一般的低合金高强度钢, 用于在锅炉管道的氩弧焊打底焊后进行盖面焊。

R102 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-

102、表 2-103。

表 2-102 R102 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Mo	S	P
保证值	≤0.12	≤0.60	≤0.40	0.40 ~ 0.65	≤0.035	≤0.035

表 2-103 R102 熔敷金属力学性能(焊后进行 620℃×1 小时回火处理)

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	常温 A_{KV} (J)
保证值	≥490	≥390	≥20	—
一般值	530	420	27	60

(2) R106Fe

说明: R106Fe 是低氢型药皮的含钼珠光体耐热钢铁粉焊条, 交直流两用, 可全位置焊接。焊前工件预热 90 ~ 110℃, 焊后进行 620℃回火处理。焊前焊条须经 350℃烘干 1 小时, 随烘随用。

用途: 适用于焊接使用温度在 510℃以下、含 0.5%Mo 的锅炉管道, 也可焊接一般的低合金钢。

R106Fe 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-104、表 2-105。

表 2-104 R106Fe 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Mo	S	P
保证值	≤0.12	0.50 ~ 0.90	≤0.50	0.40 ~ 0.65	≤0.035	≤0.035

表 2-105 R106Fe 熔敷金属力学性能(焊后进行 620℃×1 小时回火处理)

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	常温 A_{KV} (J)
保证值	≥490	≥390	≥22	≥47
一般值	510 ~ 570	400 ~ 450	22 ~ 28	110 ~ 160

(3) R107

说明:R107 是低氢型药皮的含钼珠光体耐热钢焊条,采用直流反接,可全位置焊接,焊前工件预热 90 ~ 110℃,焊后进行 620℃回火处理。焊前焊条须经 350℃烘干 1 小时,随烘随用。X 射线探伤合格级别 I 级。

用途:适用于焊接使用温度在 510℃以下、含 0.5%Mo 的锅炉管道,也可焊接一般的低合金钢。

R107 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-106、表 2-107。

表 2-106 R107 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Mo	S	P
保证值	≤0.12	0.50 ~ 0.90	≤0.50	0.40 ~ 0.65	≤0.035	≤0.035

表 2-107 R107 熔敷金属力学性能(焊后进行 620℃×1 小时回火处理)

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	常温 A_{KV} (J)
保证值	≥490	≥390	≥22	≥47
一般值	520 ~ 580	≥400	22 ~ 28	115 ~ 165

(4) R200

说明:R200 是氧化钛氧化铁型药皮的铬钼珠光体耐热钢焊条,交直流两用,可全位置焊接。可满足高压管道焊接的各项技术要求,具有良好的抗气孔性能及冷弯塑性。焊前工件预热 160 ~ 200℃,焊后进行 620℃回火处理。X 射线探伤合格级别 I 级。

用途:适用于焊接使用温度在 510℃以下、含 0.5%Cr-0.5%Mo 的珠光体耐热钢,用于制造蒸汽管道及过热器管道等结构。

R200 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-108、表 2-109。

表 2-108 R200 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Mo	S	P
保证值	≤0.12	0.50~0.90	≤0.50	0.40~0.65	0.40~0.65	≤0.035	≤0.035

表 2-109 R200 熔敷金属力学性能(焊后进行 620℃×1 小时回火处理)

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)
保证值	≥540	≥440	≥16

(5) R202

说明:R202 是钛钙型药皮的铬钼珠光体耐热钢焊条, 交直流两用, 可全位置焊接。可满足高压管道焊接的各项技术要求, 具有良好的抗气孔性能及冷弯塑性。焊前工件预热 160 ~ 200℃, 焊后进行 620℃回火处理。X 射线探伤合格级别 II 级。

用途:适用于焊接使用温度在 510℃以下、含 0.5%Cr-0.5%Mo 的珠光体耐热钢(如 12CrMo 钢), 用于制造蒸汽管道及过热器管道等结构。

R202 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-110、表 2-111。

表 2-110 R202 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Mo	S	P
保证值	≤0.12	0.50~0.90	≤0.50	0.40~0.65	0.40~0.65	≤0.035	≤0.035

表 2-111 R202 熔敷金属力学性能(焊后进行 620℃×1 小时回火处理)

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)
保证值	≥540	≥440	≥16

(6) R207

说明:R207 是低氢型药皮的铬钼珠光体耐热钢焊条, 直流反接, 可全位置焊接。焊前工件预热 $90 \sim 110^{\circ}\text{C}$, 焊后进行 620°C 回火处理。焊前焊条须经 350°C 烘干 1 小时, 随烘随用。X 射线探伤合格级别 I 级。

用途:适用于焊接使用温度在 510°C 以下、含 $0.5\%\text{Cr}-0.5\%\text{Mo}$ 的珠光体耐热钢(如 12CrMo 钢)和高温、高压的管道、化工容器等相应钢材。

R207 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-112、表 2-113。

表 2-112 R207 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Mo	S	P
保证值	≤ 0.12	0.50~0.90	≤ 0.50	0.40~0.65	0.40~0.65	≤ 0.035	≤ 0.035

表 2-113 R207 熔敷金属力学性能(焊后进行 $620^{\circ}\text{C} \times 1$ 小时回火处理)

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	常温 A_{KV} (J)
保证值	≥ 540	≥ 440	≥ 16	≥ 27
一般值	550 ~ 620	≥ 450	20 ~ 25	100 ~ 140

(7) R302

说明:R302 是钛钙型药皮的铬钼珠光体耐热钢焊条, 交直流两用, 可全位置焊接, 焊缝成形美观。焊前工件预热和层间温度为 $150 \sim 250^{\circ}\text{C}$, 焊后进行 690°C 回火处理。焊前焊条须经 200°C 烘干 1 小时, 随烘随用。X 射线探伤合格级别 II 级。

用途:适用于焊接使用温度在 520°C 以下、含 $1.0\%\text{Cr}-0.5\%\text{Mo}$ 的珠光体耐热钢(如 15CrMo 钢), 用于在锅炉受热面管子的氩弧

焊打底焊后进行盖面焊。

R302 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-114、表 2-115。

表 2-114 R302 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Mo	S	P
保证值	≤0.12	≤0.90	≤0.50	1.00~1.50	0.40~0.60	≤0.035	≤0.035

表 2-115 R302 熔敷金属力学性能(焊后进行 690℃×1 小时回火处理)

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)
保证值	≥540	≥440	≥16
一般值	570	470	22

(8) R306Fe

说明:R306Fe 是低氢钾型药皮的铬钼珠光体耐热钢铁粉焊条,交直流两用,短弧操作,可进行全位置焊接。焊前工件预热和层间温度为 160~250℃,焊后进行 690℃回火处理。焊前焊条须经 350℃烘干 1 小时。

用途:适用于焊接含 1.2%Cr-0.5%Mo 的珠光体耐热钢,用于制造使用温度在 550℃以下的锅炉受热面管子和使用温度在 520℃以下的蒸汽管道、高压容器等结构,也可焊接 ZG30CrMnSi 铸钢件。

R306Fe 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-116、表 2-117。

表 2-116 R306Fe 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Mo	S	P
保证值	≤0.12	0.50~0.90	≤0.50	1.00~1.50	0.40~0.65	≤0.035	≤0.035

表 2-117 R306Fe 熔敷金属力学性能(焊后进行 690℃×1 小时回火处理)

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	常温 A_{KV} (J)
保证值	≥540	≥440	≥17	≥47
一般值	550 ~ 640	≥450	20 ~ 28	105 ~ 150

(9) R307; R307H

说明：R307 是低氢钠型药皮的铬钼珠光体耐热钢焊条。R307H 是低氢钠型药皮的超低氢低合金耐热钢焊条，熔敷金属具有高韧性、优良的抗裂性能。R307、R307H 采用直流反接，短弧操作，可进行全位置焊接。焊前工件预热 160 ~ 200℃，焊后进行 690℃回火处理。焊前焊条须经 350 ~ 400℃烘干 1 小时，随烘随用。X 射线探伤合格级别 I 级。

用途：适用于焊接使用温度在 520℃以下、含 1%Cr-0.5%Mo 和 1.25%Cr-0.5%Mo 的珠光体耐热钢（如 15CrMo 钢），用于制造加氢反应器、换热器、锅炉管道、高压容器等结构，也可焊接 ZG30CrMnSi 铸钢件。

R307、R307H 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-118、表 2-119。

表 2-118 R307、R307H 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目		C	Mn	Si	Cr	Mo	Ni	Cu	S	P
保证值	R307	≤ 0.12	0.50 ~0.90	≤ 0.50	0.80 ~1.50	0.40 ~0.65	—	—	≤ 0.035	≤ 0.035
	R307H	≤ 0.12	0.50 ~1.05	≤ 0.50	1.00 ~1.50	0.40 ~0.65	≤ 0.20	≤ 0.20	≤ 0.025	≤ 0.025

表 2-119 R307、R307H 熔敷金属力学性能
(焊后进行 690℃ × 1 小时回火处理)

试验项目		R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	A_{KV} (J)
保证值	R307	≥540	≥440	≥17	常温 ≥47
	R307H	450 ~ 685	≥275	≥22	10℃时 ≥47
一般值	R307	580 ~ 650	≥450	20 ~ 25	常温 85 ~ 145

(10) R310

说明：R310 是特殊型药皮的铬钼钒珠光体耐热钢焊条，交直流两用，可进行全位置焊接，具有良好的抗气孔性能和冷弯塑性。焊前工件须预热 250 ~ 300℃，焊后进行 730℃回火处理。焊前焊条须经 350℃烘干 1 小时，随烘随用。X 射线探伤合格级别 II 级。

用途：适用于焊接使用温度在 540℃以下、含 1%Cr-0.5%Mo-V 的珠光体耐热钢（如 12CrMoV），用于制造高温高压锅炉管道、石油裂化设备、高温合成化工机械等结构。

R310 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-120、表 2-121。

表 2-120 R310 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Mo	V	S	P
保证值	≤ 0.12	0.50 ~ 0.90	≤ 0.50	1.00 ~ 1.50	0.40 ~ 0.65	0.10 ~ 0.35	≤ 0.035	≤ 0.035

表 2-121 R310 熔敷金属力学性能(焊后进行 730℃ × 2 小时回火处理)

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)
保证值	≥540	≥440	≥16

(11) R312

说明:R312 是钛钙型药皮的铬钼钒珠光体耐热钢焊条, 交直流两用, 可进行全位置焊接。焊前工件须预热 250 ~ 300℃, 焊后进行 730℃回火处理。焊前焊条须经 200℃烘干 1 小时, 随烘随用。X 射线探伤合格级别 II 级。

用途: 适用于焊接使用温度在 540℃以下、含 1%Cr-0.5%Mo-V 的珠光体耐热钢(如 12CrMoV), 可进行锅炉管道的盖面焊。

R312 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-122、表 2-123。

表 2-122 R312 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Mo	V	S	P
保证值	≤ 0.12	≤ 0.90	≤ 0.50	1.00 ~ 1.50	0.40 ~ 0.65	0.10 ~ 0.35	≤ 0.035	≤ 0.035

表 2-123 R312 熔敷金属力学性能(焊后进行 730℃×2 小时回火处理)

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)
保证值	≥540	≥440	≥16

(12) R316Fe

说明: R316Fe 是铁粉低氢钾型药皮的铬钼钒珠光体耐热钢焊条, 交直流两用, 可全位置焊接。焊前工件须预热 250 ~ 300℃, 焊后进行 730℃回火处理。

用途: 适用于焊接使用温度在 580℃以下、含 1.2%Cr-0.5%Mo-V 的珠光体耐热钢(如 12CrMoV), 用于制造锅炉受热面管子、蒸汽管道、石油裂化设备、高温合成化工机械等结构, 也可用于相应强度等级的低合金钢结构。

R316Fe 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-

124、表 2-125。

表 2-124 R316Fe 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Mo	V	S	P
保证值	≤ 0.12	0.50 ~ 0.90	≤ 0.50	1.00 ~ 1.50	0.40 ~ 0.65	0.10 ~ 0.35	≤ 0.035	≤ 0.035

表 2-125 R312 熔敷金属力学性能(焊后进行 730℃ × 1 小时回火处理)

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	常温 A_{KV} (J)
保证值	≥540	≥440	≥17	≥47

(13) R317

说明：R317 是低氢钠型药皮的铬钼钒珠光体耐热钢焊条，直流反接，短弧操作，可进行全位置焊接。焊前工件预热 250 ~ 300℃，焊后进行 730℃回火处理。焊前焊条须经 350℃烘干 1 小时，随烘随用。焊前必须清除工件表面的铁锈、油污、水分等杂物。X 射线探伤合格级别 I 级。

用途：适用于焊接使用温度在 540℃以下、含 1%Cr-0.5% Mo-V 的珠光体耐热钢（如 12CrMoV），用于制造高温高压锅炉管道、石油裂化设备、高温合成化工机械等结构。

R317 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-126、表 2-127。

表 2-126 R317 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Mo	V	S	P
保证值	≤ 0.12	0.50 ~ 0.90	≤ 0.50	1.00 ~ 1.50	0.40 ~ 0.65	0.10 ~ 0.35	≤ 0.035	≤ 0.035

表 2-127 R317 熔敷金属力学性能(焊后进行 730℃×2 小时回火处理)

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	常温 A_{KV} (J)
保证值	≥540	≥440	≥17	≥47
一般值	600 ~ 680	≥450	18 ~ 22	105 ~ 150

(14) R327

说明: R327 是低氢钠型药皮的铬钼钒钨珠光体耐热钢焊条, 直流反接, 短弧操作, 可进行全位置焊接。焊前工件预热 250 ~ 300℃, 焊后进行 730℃回火处理。焊前焊条须经 350℃烘干 1 小时, 随烘随用。焊前必须清除工件表面的铁锈、油污、水分等杂物 X 射线探伤合格级别 I 级。

用途: 适用于焊接使用温度在 570℃以下的 15CrMoV 等珠光体耐热钢。

R327 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-128、表 2-129。

表 2-128 R327 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Mo	V	W	S	P
保证值	≤ 0.12	0.70 ~1.10	≤ 0.50	1.00 ~1.50	0.70 ~1.00	0.20 ~0.35	0.25 ~0.50	≤ 0.035	≤ 0.035

表 2-129 R327 熔敷金属力学性能(焊后进行 730℃×5 小时回火处理)

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	常温 A_{KV} (J)
保证值	≥540	≥440	≥17	≥47

(15) R337

说明: R337 是低氢钠型药皮的铬钼钒铌的珠光体耐热钢焊

条,直流反接,短弧操作,可进行全位置焊接。焊前工件预热 250 ~ 300℃,焊后进行 730 ± 15℃回火处理。焊前焊条须经 350℃烘干 1 小时,随烘随用。焊前必须清除工件表面的铁锈、油污、水分等杂物。X 射线探伤合格级别 I 级。

用途:适用于焊接工作温度在 570℃以下的 15CrMoV 等珠光体耐热钢。

R337 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-130、表 2-131。

表 2-130 R337 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Mo	V	Nb	S	P
保证值	≤ 0.12	0.50 ~1.00	≤ 0.50	1.00 ~1.50	0.70 ~1.00	0.15 ~0.40	0.10 ~0.25	≤ 0.035	≤ 0.035

表 2-131 R337 熔敷金属力学性能(焊后进行 730℃×5 小时回火处理)

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	常温 A_{KV} (J)
保证值	≥540	≥440	≥17	≥47

(16) R340

说明:R340 是氧化钛氧化铁型药皮的铬钼钒钨硼珠光体耐热钢焊条,交直流两用,可进行全位置焊接。引弧容易,电弧稳定,飞溅小,各项性能符合高温高压管道焊接的技术要求。焊前工件预热 320 ~ 360℃,焊后进行 760℃回火处理(炉内缓冷)。焊前焊条须经 200℃烘干 1 小时,随烘随用。焊前必须清除工件表面的铁锈、油污、水分等杂物。X 射线探伤合格级别 II 级。

用途:适用于焊接使用温度在 620℃以下的珠光体耐热钢,用于制造高温高压汽轮发电机组、锅炉管道等结构,也可用于相应材料管道的根部焊接。

R340 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-132、表 2-133。

表 2-132 R340 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Mo	V	W	B	S	P
保证值	≤ 0.12	0.50 ~1.00	≤ 0.50	1.50 ~2.50	0.30 ~0.80	0.20 ~0.60	0.20 ~0.60	0.001 ~0.003	≤ 0.035	≤ 0.035

表 2-133 R340 熔敷金属力学性能(焊后进行 760℃×2 小时回火处理)

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)
保证值	≥540	≥440	≥17

(17) R347

说明：R347 是低氢钠型药皮的铬钼钒钨硼珠光体耐热钢焊条，直流反接，短弧操作，可进行全位置焊接。焊前工件预热 320 ~ 360℃，焊后进行 760℃回火处理(炉内缓冷)。焊前焊条须经 350℃烘干 1 小时，随烘随用。焊前必须清除工件表面的铁锈、油污、水分等杂物。X 射线探伤合格级别 I 级。

用途：适用于焊接使用温度在 620℃以下的珠光体耐热钢，制造高温高压汽轮发电机组、锅炉管道等结构。

R340 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-134、表 2-135。

表 2-134 R347 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Mo	V	W	B	S	P
保证值	≤ 0.12	0.50 ~0.90	≤ 0.50	1.50 ~2.50	0.30 ~0.80	0.20 ~0.60	0.20 ~0.60	0.001 ~0.003	≤ 0.035	≤ 0.035

表 2-135 R347 熔敷金属力学性能(焊后进行 760℃×2 小时回火处理)

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	常温 A_{KV} (J)
保证值	≥540	≥440	≥17	≥47

(18) R400

说明:R400 是氧化钛氧化铁型药皮的铬钼珠光体耐热钢焊条,交直流两用,可进行全位置焊接。各项性能符合合金钢高压管道焊接的技术要求,具有良好的抗气孔性能和冷弯性能。焊前工件预热 160 ~ 200℃,焊后进行 690℃回火处理。焊前必须清除工件表面的铁锈、油污、水分等杂物。X 射线探伤合格级别 II 级。

用途:适用于焊接使用温度在 550℃以下的、含 2.5%Cr-1%Mo 类型的珠光体耐热钢,用于制造高温高压管道、合成化工机械、石油裂化设备等结构。

R400 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-136、表 2-137。

表 2-136 R400 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Mo	S	P
保证值	≤0.12	0.50~0.90	≤0.50	2.00~2.50	0.90~1.20	≤0.035	≤0.035

表 2-137 R400 熔敷金属力学性能(焊后进行 690℃×1 小时回火处理)

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	常温 A_{KV} (J)
保证值	≥590	≥530	≥14	≥27

(19) R402

说明:R402 是钛钙型药皮的铬钼珠光体耐热钢焊条,交直流两用,可进行全位置焊接。焊前工件预热 160~200℃,焊后进行

690℃回火处理。焊前焊条须经 200℃烘干 1 小时,随烘随用。焊前必须清除工件表面的铁锈、油污、水分等杂物。X 射线探伤合格级别 II 级。

用途:适用于焊接使用温度在 550℃以下的、含 2.5%Cr-1%Mo 类型的珠光体耐热钢,用于在高温高压管道氩弧焊打底焊后进行盖面焊。

R402 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-138、表 2-139。

表 2-138 R402 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Mo	S	P
保证值	≤0.12	≤0.90	≤0.50	2.00-2.50	0.90-1.20	≤0.035	≤0.035

表 2-139 R402 熔敷金属力学性能(焊后进行 690℃×1 小时回火处理)

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	常温 A_{KV} (J)
保证值	≥590	≥490	≥14	≥27
一般值	680	580	33	—

(20) R406

说明: R406 是低氢钾型药皮的铬钼珠光体耐热钢焊条,交直流两用,可进行全位置焊接。焊前工件预热 160 ~ 200℃,焊后进行 690℃回火处理。X 射线探伤合格级别 II 级。

用途:适用于焊接使用温度在 550℃以下的、含 2.5%Cr-1%Mo 类型的珠光体耐热钢,用于制造高温高压管道、合成化工机械、石油裂化设备等结构。

R406 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-140、表 2-141。

表 2-140 R406 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Mo	S	P
保证值	≤0.12	0.50 ~0.90	≤0.50	2.00 ~2.50	0.90 ~1.20	≤ 0.035	≤ 0.035

表 2-141 R406 熔敷金属力学性能(焊后进行 690℃ × 1 小时回火处理)

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	常温 A_{KV} (J)
保证值	≥590	≥490	≥15	≥47

(21) R407

说明：R407 是低氢钠型药皮的铬钼珠光体耐热钢焊条，直流反接，可进行全位置焊接。焊前工件预热 160 ~ 200℃，焊后进行 690℃回火处理。焊前焊条须经 350℃烘干 1 小时，随烘随用。焊前必须清除工件表面的铁锈、油污、水分等杂物。X 射线探伤合格级别 I 级。

用途：适用于焊接使用温度在 550℃以下的、含 2.5%Cr-1%Mo 类型的珠光体耐热钢，用于制造高温高压管道、合成化工机械、石油裂化设备等结构。

R407 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-142、表 2-143。

表 2-142 R407 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Mo	S	P
保证值	≤ 0.12	0.50 ~0.90	≤ 0.50	2.00 ~2.50	0.90 ~1.20	≤ 0.035	≤ 0.035

表 2-143 R407 熔敷金属力学性能(焊后进行 690℃ × 1 小时回火处理)

试验项目	R_m (MPa)	R_{el} (MPa)	A (%)	常温 A_{KV} (J)
保证值	≥590	≥490	≥15	≥47
一般值	600 ~ 680	500	18 ~ 21	—

(22) R417Fe

说明:R417 是低氢钠型药皮的铬钼钒铌珠光体耐热钢焊条,直流反接,可全位置焊接。焊前工件预热 250 ~ 300℃,焊后进行 730℃回火处理。焊前焊条须经 350℃烘干 1 小时,随烘随用。焊前必须清除工件表面的铁锈、油污、水分等杂物。X 射线探伤合格级别 I 级。

用途:适用于焊接使用温度在 620℃以下的 12Cr3MoVSiTiB 类珠光体耐热钢,用于制造高温高压锅炉管道等结构。

R417 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-144、表 2-145。

表 2-144 R417Fe 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Mo	V	Nb	S	P
保证值	≤ 0.12	0.50 ~0.90	≤ 0.50	2.40 ~3.00	0.70 ~1.00	0.25 ~0.50	0.35 ~0.65	≤ 0.035	≤ 0.035

表 2-145 R417Fe 熔敷金属力学性能(焊后进行 730℃ × 4 小时回火处理)

试验项目	R_m (MPa)	R_{el} (MPa)	A (%)	常温 A_{KV} (J)
保证值	≥540	≥440	≥17	≥47

(23) R507

说明:R507 是低氢钠型药皮的铬钼耐热钢焊条,具有高温抗

氢侵蚀性能。直流反接,短弧操作,可进行全位置焊接。焊前工件预热 300 ~ 400℃(整个焊接过程中必须保持此温度),焊后进行 750℃回火处理。焊前焊条须经 350℃烘干 1 小时,随烘随用。焊前必须清除工件表面的铁锈、油污、水分等杂物。

用途:适用于焊接使用温度在 400℃以下的 5%Cr-Mo 类型耐热钢,用于制造抗氢腐蚀管道。

R507 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-146、表 2-147。

表 2-146 R507 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Mo	V	S	P
保证值	≤ 0.12	0.50 ~ 0.90	≤ 0.50	4.50 ~ 6.00	0.40 ~ 0.70	0.10 ~ 0.35	≤ 0.035	≤ 0.035

表 2-147 R507 熔敷金属力学性能(焊后进行 750℃×4 小时回火处理)

试验项目	R_m (MPa)	A (%)
保证值	≥520	≥14

(24) R707

说明: R707 是低氢钠型药皮的铬钼耐热钢焊条,直流反接,短弧操作,可进行全位置焊接。焊前工件预热 300 ~ 400℃,焊后进行 740℃回火处理。焊前焊条须经 350℃烘干 1 小时,随烘随用。焊前必须清除工件表面的铁锈、油污、水分等杂物。

用途:适用于焊接 9%Cr-1%Mo 耐热钢结构及过热管道等。

R707 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-148、表 2-149。

表 2-148 R707 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Mo	S	P
保证值	≤ 0.15	0.50 ~ 1.00	≤ 0.50	8.50 ~ 10.00	0.70 ~ 1.00	≤ 0.030	≤ 0.030

表 2-149 R707 熔敷金属力学性能(焊后进行 740℃×4 小时回火处理)

试验项目	R_m (MPa)	A (%)
保证值	≥ 590	≥ 16

(25) R802

说明: R802 是钛钙型药皮的铬钼镍钒耐热钢焊条, 交直流两用, 可进行全位置焊接。焊前工件预热 350 ~ 400℃, 焊后进行 740℃回火处理。焊前焊条须经 350℃烘干 1 小时, 随烘随用。

用途: 适用于焊接使用温度在 565℃以下的 Cr11MoNiV 类型耐热钢。

R802 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-150、表 2-151。

表 2-150 R802 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Mo	Ni	V	S	P
保证值	≤ 0.15	0.50 ~1.00	≤ 0.50	9.50 ~11.50	0.60 ~0.90	0.60 ~0.90	0.20 ~0.40	≤ 0.030	≤ 0.035

表 2-151 R802 熔敷金属力学性能(焊后进行 740℃×4 小时回火处理)

试验项目	R_m (MPa)	A (%)
保证值	≥ 730	≥ 15

(26) R807; R817

说明:R807 是低氢钠型药皮的铬钼镍钒耐热钢焊条。R817 是低氢钠型药皮的铬钼镍钒钨耐热钢焊条。R807、R817 焊条直流反接,可进行全位置焊接。焊前工件预热 350 ~ 400℃,焊后进行 740℃回火处理。焊前焊条须经 350℃烘干 1 小时,随烘随用。

用途:R807 适用于焊接使用温度在 565℃以下的 Cr11MoNiV 类型耐热钢,用于制造高压汽轮机的变速叶片。R817 适用于焊接使用温度在 580℃以下的 Cr11MoNiVW 类型热强钢,用于制造过热器及蒸汽管道等结构。

R807、R817 焊条熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-152、表 2-153。

表 2-152 R807、R817 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Mo	Ni	V	W	S	P	
保证值	R807	≤ 0.15	0.50 ~1.00	≤ 0.50	9.50 ~11.50	0.60 ~0.90	0.60 ~0.90	0.20 ~0.40	—	≤ 0.030	≤ 0.035
	R817	≤ 0.19	0.50 ~1.00	≤ 0.50	9.50 ~12.00	0.80 ~1.10	0.40 ~1.10	0.20 ~0.40	0.40 ~0.70	≤ 0.030	≤ 0.035

表 2-153 R807、R817 熔敷金属力学性能(焊后进行 740℃×4 小时回火处理)

试验项目	R_m (MPa)	A (%)
保证值	≥730	≥15

四、低温钢焊条

低温钢焊条的生产、验收执行 GB/T 5118—1995《低合金钢焊条》和 GB/T 983—1995《不锈钢焊条》,标准规定了低温钢焊条型

号分类、技术要求、试验方法及检验规则等内容。

1. 低温钢焊条选用说明

低温钢一般是指在 $-40 \sim -253^{\circ}\text{C}$ 低温环境下使用的结构用钢。根据低温钢的使用温度分为 -40°C 、 -60°C 、 -70°C 、 -80°C 、 -90°C 、 -100°C 、 -196°C 、 -253°C 等级别。 -40°C 、 -60°C 级别的低温钢通常是一些低温性能较好的合金结构钢； -70°C 、 -80°C 、 -90°C 、 -100°C 级别的低温钢通常是一些含镍的高合金钢； -196°C 、 -253°C 级别的低温钢国内大多使用奥氏体型不锈钢。

低温钢主要适用于能源、石油、化工工业产品的生产、储存和运输各类液化气体，以及各种低温下工作的压力容器管道和设备。低温钢必须具有良好的低温性能，主要指低温抗脆断性能。

低温钢焊条的选用通常是依据低温钢母材的化学成分、常温和低温力学性能、抗裂性能等要求，综合考虑焊接结构形状尺寸、工作条件、受力情况、焊工技能和焊接设备等方面的因素，必要时还需进行焊接性试验来确定焊条和采取的焊接工艺措施。

(1) 当低温钢的使用条件在 -45°C 以上时，可选用高韧性的低氢型焊条。

(2) 当低温钢的使用条件在 -60°C 时，一般选用含镍的低温钢焊条。

(3) 当低温钢的使用条件在 -100°C 左右，通常选用含 3.5% Ni、5.5% Ni 或含镍量更高并含一定量钼的低温钢焊条。

(4) 当低温钢的使用条件在 -196°C 、 -253°C 时，通常选用奥氏体型不锈钢焊条。

国内常用的低温钢焊条牌号见表 2-154。

表 2-154 国内常用的低温钢焊条牌号

牌 号	焊条型号	
	中国(GB)	美国(AWS)
W607	E5015-G	—
W607H	E5515-C1	E8015-C1
W707	—	—
W707Ni	E5515-C1	E8015-C1
W807	E5515-G	—
W907Ni	E5515-C2	E8015-C2
W107	E5015-C2L	E7015-C2L
W107Ni	—	—

2. 常用的低温钢焊条介绍

(1) W607

说明：W607 是低氢钠型药皮的含镍低温钢焊条，直流反接，可进行全位置焊接。在 -60°C 时，熔敷金属具有良好的冲击性能。扩散氢含量 $\leq 6\text{ml}/100\text{g}$ 。焊前焊条须经 350°C 烘干1小时，随烘随用。X射线探伤合格级别I级。

用途：适用于使用温度在 -60°C 的13MnSi63、09MnNiNb、E36等低温钢。

W607 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-155、表 2-156。

表 2-155 W607 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Ni	Ti	B	S	P
保证值	≤ 0.07	1.20 ~ 1.70	≤ 0.50	0.60 ~ 1.00	≤ 0.030	≤ 0.003	≤ 0.035	≤ 0.035

表 2-156 W607 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	-60℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥490	≥390	≥22	≥47

(2) W607H

说明:W607H 是低氢钠型药皮的超低氢低温钢焊条, 可进行全位置焊接, 焊接操作须用短弧, 焊接工艺优良。焊接时应严格控制热输入, 严格控制层间温度, 焊后进行 620℃回火处理, 在-60℃时熔敷金属具有良好的冲击性能。扩散氢含量≤4ml/100g。焊前焊条须经 400℃烘干 1 小时, 随烘随用。X 射线探伤合格级别 I 级。

用途:适用于焊接铝镇静低温钢和含 2.5%Ni 的低温钢, 用于制造低温压力容器和焊接结构。

W607H 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-157、表 2-158。

表 2-157 W607H 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Ni	S	P
保证值	≤0.12	≤1.25	≤0.60	2.00 ~ 2.75	≤0.035	≤0.035

表 2-158 W607H 熔敷金属力学性能(焊后进行 620℃×1 小时回火处理)

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	-60℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥540	≥440	≥17	≥27
一般值	570	470	28	90

(3) W707

说明:W707 是低氢钠型药皮的低温钢焊条, 直流反接, 可进行

全位置焊接，焊接操作须用短弧，以窄焊道为宜。控制层间温度在 200℃以下，焊后进行 620℃回火处理，在 -70℃时熔敷金属具有良好的冲击性能。扩散氢含量 $\leq 6\text{ml}/100\text{g}$ 或药皮含水量 $\leq 0.20\%$ 。焊前焊条须经 350℃烘干 1 小时，随烘随用。X 射线探伤合格级别 I 级。

用途：适用于焊接 -70℃使用的 Q295、09MnTiCuXE 等低温钢。

W707 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-159、表 2-160。

表 2-159 W707 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Ni	S	P
保证值	≤ 0.10	≤ 2.0	≤ 0.20	≤ 0.70	≤ 0.035	≤ 0.040

表 2-160 W707 熔敷金属力学性能(焊后进行 620℃×1 小时回火处理)

试验项目	R_m (MPa)	A (%)	-70℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥ 490	≥ 18	≥ 27

(4) W707Ni

说明：W707Ni 是低氢钠型药皮的含镍低温钢焊条，直流反接，可进行全位置焊接，焊接操作须用短弧，以窄焊道为宜。控制层间温度在 200℃以下，焊后进行 620℃回火处理，在 -70℃时熔敷金属具有良好的冲击性能。扩散氢含量 $\leq 6\text{ml}/100\text{g}$ 或药皮含水量 $\leq 0.20\%$ 。焊前焊条须经 350℃烘干 1 小时，随烘随用。X 射线探伤合格级别 I 级。

用途：适用于焊接 -70℃使用的 3.5% Ni 低温钢。

W707Ni 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-161、表 2-162。

表 2-161 W707Ni 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Ni	S	P
保证值	≤0.12	≤1.25	≤0.60	2.00 ~ 2.75	≤0.035	≤0.035
一般值	0.06	0.90	0.25	2.40	0.010	0.015

表 2-162 W707Ni 熔敷金属力学性能(焊后进行 620℃×1 小时回火处理)

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	-70℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥540	≥440	≥17	≥27
一般值	600	490	25	40

(5) W807

说明:W807 是低氢钠型药皮的含镍低温钢焊条,直流反接,可进行全位置焊接。在-80℃时熔敷金属具有良好的冲击性能。焊前焊条须经 350℃烘干 1 小时,随烘随用。

用途:适用于焊接-80℃使用的 1.5% Ni 低温钢。

W807 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-163、表 2-164。

表 2-163 W807 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Ni	S	P
保证值	≤0.07	1.10 ~ 1.40	≤0.50	1.20 ~ 1.60	≤0.035	≤0.035

表 2-164 W807 熔敷金属力学性能(焊后进行 620℃×1 小时回火处理)

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	-80℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥490	≥390	≥22	≥27

(6) W907Ni

说明：W907Ni 是低氢钠型药皮的含镍低温钢焊条，直流反接，可进行全位置焊接，焊接操作须用短弧，以窄焊道为宜。焊前工件预热 150℃，以防止产生裂纹，控制层间温度在 200℃以下；工件如需焊后清除应力，可进行 600 ~ 650℃的回火处理。在 -90℃时熔敷金属具有良好的冲击性能。扩散氢含量 $\leq 6\text{ml}/100\text{g}$ 或药皮含水量 $\leq 0.20\%$ 。焊前焊条须经 350℃烘干 1 小时，随烘随用。X 射线探伤合格级别 I 级。

用途：适用于焊接 -90℃使用的 3.5%Ni 低温钢。

W907Ni 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-165、表 2-166。

表 2-165 W907Ni 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Ni	S	P
保证值	≤ 0.12	≤ 1.25	≤ 0.60	3.00 ~ 3.75	≤ 0.035	≤ 0.035
一般值	0.06	0.90	0.25	3.30	0.010	0.015

表 2-166 W907Ni 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	-90℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥ 540	≥ 440	≥ 17	≥ 27
一般值	620	520	25	38

(7) W107

说明：W107 是低氢钠型药皮的含镍低温钢焊条，直流反接，可进行全位置焊接。焊接时尽量采用中小规范，多层多道焊，层间温度控制在 200℃以下。在 -100℃时熔敷金属具有良好的冲击性能。焊前焊条须经 350℃烘干 1 小时，随烘随用。

用途：适用于焊接-100℃使用的 3.5%Ni 低温钢。

W107 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-167、表 2-168。

表 2-167 W107 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Ni	Mo	S	P
保证值	≤0.05	0.50-1.00	≤0.50	3.10-3.70	≤0.20	≤0.030	≤0.030

表 2-168 W107 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	-100℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥490	≥390	≥22	≥27

(8) W107Ni

说明：W107Ni 是低氢钠型药皮的含镍低温钢焊条，直流反接，可进行全位置焊接，焊接操作须用短弧，以窄焊道为宜。焊接时尽量采用中小规范，多层多道焊，层间温度控制在 200℃以下。由于熔敷金属含有较高的镍，因此具有良好的回火稳定性，且具有良好的低温冲击性能。扩散氢含量 ≤4ml/100g 或药皮含水量 ≤0.15%。焊前焊条须经 350℃烘干 1 小时。X 射线探伤合格级别 I 级。

用途：适用于焊接-100℃使用的 06AlNbCuN、06MnNb 及 3.5% Ni 低温钢。

W107Ni 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-169、表 2-170。

表 2-169 W107Ni 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Ni	Mo	Cu	S	P
保证值	≤0.08	≤0.50	≤0.30	4.00-5.50	≤0.30	≤0.50	≤0.020	≤0.020
一般值	0.06	0.50	0.20	5.20	≤0.30	≤0.30	≤0.010	≤0.015

表 2-170 W107Ni 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	-100℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥490	≥340	≥16	≥27
一般值	750	—	20	38

五、不锈钢焊条

不锈钢焊条的生产、验收执行 GB/T 983—1995 《不锈钢焊条》，标准规定了不锈钢焊条型号分类、技术要求、试验方法及检验规则等内容。不锈钢焊条可分为铬不锈钢焊条和铬镍不锈钢焊条。

1. 不锈钢焊条选用说明

(1) 铬不锈钢焊条选用说明

铬不锈钢具有一定的耐蚀(氧化性酸、有机酸、气蚀)、耐热和耐磨性能,常常用于制造电站、化工、石油等行业的机械设备。但铬不锈钢一般焊接性较差,应综合考虑焊接工艺、热处理条件,并选用合适的电焊条。

1) Cr13 系列不锈钢 此类铬不锈钢属于马氏体不锈钢,焊缝及热影响区淬硬倾向较大,容易产生裂纹;若采用同类型的马氏体组织铬不锈钢焊条(G202、G207)焊接,则工件应焊前预热 300℃以上,焊后进行 700℃回火处理;若工件不能进行焊后热处理,则应采用铬镍不锈钢焊条焊接。

2) Cr17 系列不锈钢 此类铬不锈钢属于铁素体不锈钢,通常为改善耐蚀性能及焊接性能而加适量的稳定性元素(如钛、铌、钼等),其焊接性优于 Cr13 系列不锈钢。可采用同类型的铬不锈钢焊条(G302、G307)焊接。焊前工件应预热 200℃,焊后进行 800℃的回火处理。若工件不能进行焊后热处理,则应采用铬镍

不锈钢焊条焊接。

(2) 铬镍不锈钢焊条选用说明

铬镍不锈钢焊条具有良好的耐腐蚀性和抗氧化性，它被广泛地应用于化工、化肥、石油、医疗器械、食品行业等设备的制造。铬镍不锈钢在焊接时，受到重复加热，会析出碳化物，从而使耐腐蚀性和力学性能降低，因此铬镍不锈钢的焊接应根据设备的工作条件(工作温度及介质种类等)妥善选择焊条。

铬镍不锈钢焊条的熔敷金属一般为奥氏体或奥氏体 + 铁素体组织，在使用时应注意以下事项。

1) 铬镍不锈钢焊条的药皮通常有钛钙型和低氢型两种。钛钙型药皮的焊条可交直流两用，但交流焊时熔深较浅，同时交流焊时比直流焊时焊芯容易发红，应尽可能采用直流电源。当焊条的直径为 $\Phi 4\text{mm}$ 或小于 $\Phi 4\text{mm}$ 时，可全位置焊接，直径达到 $\Phi 5\text{mm}$ 以上时只适于平焊或平角焊。

2) 铬镍不锈钢焊条在使用时应保持干燥。钛钙型药皮的焊条烘干温度 150°C ，保温 1 小时；低氢型药皮的焊条烘干温度 $200 \sim 250^{\circ}\text{C}$ ，保温 1 小时（不能多次重复烘干，否则药皮容易开裂剥落）。应防止焊条药皮粘上油及其他杂物，以免增加焊缝的含碳量，影响焊接质量。

3) 铬镍不锈钢焊接时，为了防止焊接热输入过大，避免产生焊接接头的晶间腐蚀，焊接时电流不宜过大，一般比碳钢焊条应低 20% 左右，同时电弧不要过长，以窄焊道为宜，并控制层间温度不能太高。

4) 由于不锈钢焊条品种较多，为便于用户在使用过程中的管理及识别，一般在焊条尾部药皮上有焊条牌号或型号的标记，此外，还可在焊芯尾端涂上不同颜色的油漆进行标记。

国内常用的不锈钢焊条牌号见表 2-171。

表 2-171 国内常用的不锈钢焊条牌号

牌 号	焊条型号		
	中国(GB)	美国(AWS)	日本(JIS)
G202	E410-16	E410-16	—
G207; G217	E410-15	E410-15	—
G302	E430-16	E430-16	—
G307	E430-15	E430-15	—
A001G15	E308L-15	E308L-15	—
A002	E308L-16	E308L-16	—
A002A	E308L-17	E308L-17	—
A012Si	—	—	—
A002Nb	—	—	E347-16
A002Mo	E308MoL-16	—	—
A022Si	E316L-16	—	—
A032	E317MoCuL-16	—	—
A042	E309MoL-16	—	—
A042Si	—	—	—
A042Mn	—	—	—
A052	—	—	—
A062	E309L-16	E309L-16	—
A072	—	—	—
A082	—	—	—
A101; A102; A102T	E308-16	E308-16	—

续表 2-171

牌 号	焊条型号		
	中国(GB)	美国(AWS)	日本(JIS)
A102 A	E308-17	E308-17	—
A107	E308-15	E308-15	—
A112	—	—	—
A117	—	—	—
A122	—	—	—
A132	E347-16	E347-16	—
A132 A	E347-17	E347-17	—
A137	E347-15	E347-15	—
A146	—	—	—
A172	E307-16	E307-16	—
A201; A202; A201NE	E316-16	E316-16	—
A207	E316-15	E316-15	—
A212	E318-16	E318-16	—
A222	E317MoCu-16	—	—
A232	E318V-16	—	—
A237	E318V-15	—	—
A242	E317-16	E317-16	—
A301; A302	E309-16	E309-16	—
A307	E309-15	E309-15	—
A312; A312SL	E309Mo-16	E309Mo-16	—

续表 2-171

牌 号	焊条型号		
	中国(GB)	美国(AWS)	日本(JIS)
A317	E309Mo-15	E309Mo-15	—
A402	E310-16	E310-16	—
A407	E310-15	E310-15	—
A412	E310Mo-16	E310Mo-16	—
A422	—	—	—
A427	—	—	—
A432	E310H-16	E310H-16	—
A462	—	—	—
A502	E16-25MoN-16	—	—
A507	E16-25MoN-15	—	—
A512	E16-8-2-16	—	—
A607	E330MoMnWNb-15	—	—
A707	—	—	—
A717	—	—	—
A802	—	—	—
A902	E320-16	E320-16	—

2. 常用的不锈钢焊条介绍

(1) G202; G207

说明:G202 是钛钙型药皮的含铬不锈钢焊条,交直流两用,焊前焊条须经 150℃烘干 1 小时。G207 是低氢型药皮的含铬不锈钢

焊条,直流反接,可进行全位置焊接,焊前焊条须经 250℃烘干 1 小时。焊前工件均应预热 250 ~ 350℃。

用途:适用于焊接 0Cr13 及 1Cr13 不锈钢,也可用于耐蚀、耐磨的表面堆焊。

G202、G207 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-172、表 2-173。

表 2-172 G202、G207 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Cu	S	P
保证值	≤ 0.12	≤ 1.00	≤ 0.90	11.0 ~13.5	≤ 0.70	≤ 0.75	≤ 0.75	≤ 0.030	≤ 0.040

表 2-173 G202、G207 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	A (%)
保证值	≥450	≥20

注:试件在 730 ~ 760℃保温 1 小时,以不超过 60℃/h 的速度随炉冷至 315℃,然后空冷。

(2) G302; G307

说明:G302 是钛钙型药皮的含铬不锈钢焊条,交直流两用,焊前焊条须经 150℃烘干 1 小时。G307 是低氢型药皮的含铬不锈钢焊条,直流反接,可进行全位置焊接,焊前焊条须经 200 ~ 300℃烘干 1 小时。焊前工件预热 200℃。

用途:适用于焊接耐蚀(硝酸)、耐热的 17%Cr 型不锈钢。

G302、G307 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-174、表 2-175。

表 2-174 G302、G307 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Cu	S	P
保证值	≤ 0.10	≤ 1.00	≤ 0.90	15.0 ~18.0	≤ 0.60	≤ 0.75	≤ 0.75	≤ 0.030	≤ 0.040

表 2-175 G302、G307 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	A (%)
保证值	≥450	≥20

注：试件在 760 ~ 790℃保温 2 小时，以不超过 55℃/h 的速度随炉冷至 595℃，然后空冷。

(3) A002; A002Nb; A002Mo

说明：A002 是钛钙型药皮的超低碳铬镍奥氏体不锈钢焊条。A002Nb 是钛钙型药皮的超低碳含铌不锈钢焊条。A002Mo 是钛钙型药皮的超低碳含钼不锈钢焊条，其熔敷金属具有良好的耐腐蚀及抗裂性能。A002、A002Nb、A002Mo 熔敷金属含碳量 ≤ 0.04%，具有良好的抗晶间腐蚀性能。交直流两用，有良好的操作工艺性能，尽可能采用直流电源，电流不宜过大，以免焊条发红。焊前焊条须经 150 ~ 200℃烘干 1 小时。

用途：A002 适用于焊接超低碳的 19%Cr-10%Ni 类型不锈钢，主要用于制造合成纤维、化肥、石油等机械设备，也可用于制造钢材为 0Cr19Ni11Ti、工作温度低于 300℃、耐腐蚀的不锈钢结构。A002Nb 适用于焊接耐腐蚀的超低碳 19%Cr-10%Ni-Nb 类型不锈钢。A002Mo 适用于焊接超低碳不锈钢，也可以用于 0Cr18Ni9Ti 与碳钢的焊接，用于制造合成纤维、石油、化肥等机械设备中的不锈钢结构。

A002、A002Nb、A002Mo 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性

能分别见表 2-176、表 2-177。

表 2-176 A002、A002Nb、A002Mo 熔敷金属化学成分 (质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Cu	S	P
保证值	≤ 0.04	0.50 ~2.50	≤ 0.90	18.0 ~21.0	9.0 ~11.0	≤ 0.75	≤ 0.75	≤ 0.030	≤ 0.040

注: A002Nb 含 Nb 量 (8×C ~ 1.0)%, A002Mo 含 Mo 量 (2.0 ~ 3.0)%。

表 2-177 A002、A002Nb、A002Mo 熔敷金属力学性能

试验项目		R_m (MPa)	A (%)
保证值	A002; A002Mo	≥520	≥35
	A002Nb	≥510	≥30

(4) A022

说明: A022 是钛钙型药皮的超低碳不锈钢焊条。熔敷金属含碳量 ≤0.04%, 有良好的耐热、耐腐蚀及抗裂性能。交直流两用, 有良好的操作工艺性能, 尽可能采用直流电源, 电流不宜过大。焊前焊条须经 150℃ 烘干 1 小时。

用途: 适用于焊接超低碳的 18%Cr-12%Ni-2%Mo 类型不锈钢, 用于制造尿素、合成纤维等机械设备, 也可用于焊后不能进行热处理的铬不锈钢以及复合钢和异种钢等材料的焊接。

A022 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-178、表 2-179。

表 2-178 A022 熔敷金属化学成分 (质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Cu	S	P
保证值	≤ 0.04	0.50 ~2.50	≤ 0.90	17.0 ~20.0	11.0 ~14.0	2.0 ~3.0	≤ 0.75	≤ 0.030	≤ 0.040

表 2-179 A022 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	A (%)
保证值	≥ 490	≥ 30

(5) A032

说明: A032 是钛钙型药皮的超低碳不锈钢焊条, 因熔敷金属中含有钼和铜, 在硫酸介质中具有较高的抗腐蚀性能。交直流两用, 尽可能采用直流电源, 因交流焊接时, 熔深较浅, 电流不宜过大, 以免焊条发红。焊前焊条须经 150℃ 烘干 1 小时。

用途: 适用于焊接超低碳的 18%Cr-12%Ni-2%Mo-2%Cu 类型不锈钢, 用于制造在稀、中浓度硫酸介质中使用的合成纤维等机械设备, 也可焊接 10%Cr-3%Si 类型的耐酸钢。

A032 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-180、表 2-181。

表 2-180 A032 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Cu	S	P
保证值	≤ 0.04	0.50 ~2.50	≤ 0.90	18.0 ~21.0	12.0 ~14.0	2.0 ~2.5	≤ 2.00	≤ 0.030	≤ 0.035

表 2-181 A032 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	A (%)
保证值	≥ 540	≥ 25

(6) A042

说明: A042 是钛钙型药皮的超低碳不锈钢焊条。由于焊缝中加入适量的钼, 故提高了焊缝金属的抗裂性能及耐腐蚀性能。交直

流两用,尽可能采用直流电源,因交流焊接时,熔深较浅,电流不宜过大,以免焊条发红。焊前焊条须经 150℃烘干 1 小时。

用途:适用于焊接超低碳的 23%Cr-13%Ni-2%Mo 类型不锈钢,用于制造尿素合成塔衬里,也可用于异种钢焊接。

A042 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-182、表 2-183。

表 2-182 A042 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Cu	S	P
保证值	≤ 0.04	0.50 ~2.50	≤ 0.90	22.0 ~25.0	12.0 ~14.0	2.0 ~3.0	≤ 0.75	≤ 0.030	≤ 0.040

表 2-183 A042 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	A (%)
保证值	≥540	≥25

(7) A062

说明:A062 是钛钙型药皮的超低碳不锈钢焊条。由于含碳量低,在不含铌、钛等稳定剂时,也能防止产生晶间腐蚀。交直流两用,尽可能采用直流电源,电流不宜过大,以免焊条发红。焊前焊条须经 150℃烘干 1 小时。

用途:适用于焊接超低碳的 23%Cr-13%Ni 类型的不锈钢,用于制造合成纤维、石油化工等机械设备中的不锈钢、复合钢和异种钢结构件,也可用于核反应堆压力容器内壁过渡层堆焊和塔内构件的焊接。

A062 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-184、表 2-185。

表 2-184 A062 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Cu	S	P
保证值	≤ 0.04	0.50 ~2.50	≤ 0.90	22.0 ~25.0	12.0 ~14.0	≤ 0.75	≤ 0.75	≤ 0.030	≤ 0.040

表 2-185 A062 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	A (%)
保证值	≥520	≥25

(8) A101; A102; A107

说明: A101 是氧化钛型药皮的不锈钢焊条, 施焊时药皮不发红、不开裂, 焊前焊条须经 250℃ 烘干 1 小时。A102 是钛钙型药皮的低碳不锈钢焊条, 特别适宜于薄板平焊, 焊前焊条须经 150℃ 烘干 1 小时。A101、A102 熔敷金属具有良好的力学性能及抗晶间腐蚀性能, 交直流两用, 尽可能采用直流电源, 电流不宜过大, 以免焊条发红。A107 是低氢型药皮的低碳不锈钢焊条, 熔敷金属具有良好的力学性能及抗晶间腐蚀性能, 直流反接, 可进行全位置焊接, 焊前焊条须经 250℃ 烘干 1 小时。

用途: A101、A102、A107 适用于焊接低碳的 19%Cr-10%Ni 类型不锈钢, 如 0Cr19Ni9、0Cr19Ni11Ti, 用于制造使用温度低于 300℃ 的耐腐蚀不锈钢结构。A107 也可焊接一些可焊性较差的钢材 (如高铬钢等) 以及堆焊不锈钢表面层。

A101、A102、A107 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-186、表 2-187。

表 2-186 A101、A102、A107 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Cu	S	P
保证值	≤ 0.08	0.50 ~2.50	≤ 0.90	18.0 ~21.0	9.0 ~11.0	≤ 0.75	≤ 0.75	≤ 0.030	≤ 0.040

表 2-187 A101、A102、A107 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	A (%)
保证值	≥ 550	≥ 35

(9) A132; A137

说明:A132 是钛钙型药皮的低碳含铌不锈钢焊条,具有优良的抗晶间腐蚀性能,交直流两用,有良好的操作工艺性能,尽可能采用直流电源,电流不宜过大,以免焊条发红,焊前焊条须经 150℃ 烘干 1 小时。A137 是低氢型药皮的低碳含铌不锈钢焊条,具有优良的抗晶间腐蚀性能,直流反接,可进行全位置焊接,焊前焊条须经 250℃ 烘干 1 小时。

用途:适用于焊接耐腐蚀含钛稳定剂的低碳 19%Cr-10%Ni 类型不锈钢。

A132、A137 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-188、表 2-189。

表 2-188 A132、A137 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Cu	Nb	S	P
保证值	≤ 0.08	0.50 ~2.50	≤ 0.90	18.0 ~21.0	9.0 ~11.0	≤ 0.75	≤ 0.75	8xC ~1.00	≤ 0.030	≤ 0.040

表 2-189 A132、A137 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	A (%)
保证值	≥ 520	≥ 25

(10) A172

说明:A172 是钛钙型药皮不锈钢焊条。焊缝金属具有优良的

抗裂性能。交直流两用。尽可能采用直流电源,电流不宜过大,以免焊条发红。焊前焊条须经 150℃ 烘干 1 小时。

用途:适用于焊接高锰钢等异种钢,也可用于淬硬钢过渡层的堆焊。

A172 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-190、表 2-191。

表 2-190 A172 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Cu	S	P
保证值	0.04 ~0.14	3.30 ~4.75	≤ 0.90	18.0 ~21.5	9.0 ~11.0	0.50 ~1.50	≤ 0.75	≤ 0.030	≤ 0.040

表 2-191 A172 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	A (%)
保证值	≥590	≥30

(11) A202; A207

说明: A202 是钛钙型药皮的低碳不锈钢焊条,交直流两用,有良好的操作工艺性能,尽可能采用直流电源,因交流焊接时,熔深较浅,电流不宜过大,以免焊条发红,焊前焊条须经 150℃ 烘干 1 小时。A207 是低氢型药皮的低碳不锈钢焊条,直流反接,可进行全位置焊接,焊前焊条须经 250℃ 烘干 1 小时。由于 A202、A207 熔敷金属中含有钼,具有良好的耐蚀、耐热及抗裂性能,可以防止氯离子点蚀。

用途: A202、A207 适用于焊接在有机和无机酸(非氧化性酸)介质中使用的低碳 18%Cr-12%Ni-2%Mo 类型不锈钢,如 0Cr18Ni12Mo2 不锈钢或异种钢的焊接。A207 也可焊接要求焊后不进行热处理的 13%Cr、17%Cr 等高铬钢。

A202、A207 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-192、表 2-193。

表 2-192 A202、A207 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Cu	S	P
保证值	≤ 0.08	0.50 ~2.50	≤ 0.90	17.0 ~20.0	11.0 ~14.0	2.00 ~3.00	≤ 0.75	≤ 0.030	≤ 0.040

表 2-193 A202、A207 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	A (%)
保证值	≥520	≥30

(12) A212

说明：A212 是钛钙型药皮的低碳含铌不锈钢焊条，其熔敷金属比 A202、A207 具有更好的抗晶间腐蚀性能，交直流两用，有良好的操作工艺性能。尽可能采用直流电源，因交流焊接时，熔深较浅，电流不宜过大，以免焊条发红。焊前焊条须经 150℃ 烘干 1 小时。

用途：适用于焊接耐腐蚀含钛稳定剂的低碳 18%Cr-12%Ni-2%Mo 类型不锈钢，如 0Cr18Ni12Mo、超低碳的 Cr17Ni14Mo2 等，用于制造尿素合成塔、纺织设备等接触强腐蚀介质的部件。

A212 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-194、表 2-195。

表 2-194 A212 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Nb	Cu	S	P
保证值	≤ 0.08	0.50 ~2.50	≤ 0.90	17.0 ~20.0	11.0 ~14.0	2.00 ~3.00	8×C ~1.00	≤ 0.75	≤ 0.030	≤ 0.040

表 2-195 A212 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	A (%)
保证值	≥ 540	≥ 25

(13) A222

说明：A222 是钛钙型药皮的低碳不锈钢焊条。由于熔敷金属含有铜，在硫酸介质中具有更好的耐腐蚀性能。交直流两用，有良好的操作工艺性能。尽可能采用直流电源，因交流焊接时，熔深较浅，电流不宜过大，以免焊条发红。焊前焊条须经 150℃ 烘干 1 小时。

用途：适用于焊接低碳含铜的 19%Cr-13%Ni-2%Mo 类型不锈钢。

A222 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-196、表 2-197。

表 2-196 A222 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Cu	S	P
保证值	≤ 0.08	0.50 ~2.50	≤ 0.90	18.0 ~21.0	12.0 ~14.0	2.00 ~2.50	≤ 2.00	≤ 0.030	≤ 0.040

表 2-197 A222 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	A (%)
保证值	≥ 540	≥ 25

(14) A232; A237

说明：A232 是钛钙型药皮的低碳不锈钢焊条，交直流两用，有良好的操作工艺性能，尽可能采用直流电源，因交流焊接时，

熔深较浅，电流不宜过大，以免焊条发红。焊前焊条须经 150℃ 烘干 1 小时。A237 是低氢型药皮的低碳不锈钢焊条，直流反接，可进行全位置焊接，焊前焊条须经 250℃ 烘干 1 小时。由于 A232、A237 熔敷金属含有钒，具有良好的耐热性能和抗裂性能。

用途：适用于焊接耐热、耐蚀的 0Cr19Ni10 及 0Cr18Ni12Mo2 不锈钢。

A232、A237 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-198、表 2-199。

表 2-198 A232、A237 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	V	Cu	S	P
保证值	≤ 0.08	0.50 ~2.50	≤ 0.90	17.0 ~20.0	11.0 ~14.0	2.00 ~2.50	0.30 ~0.70	≤ 0.50	≤ 0.030	≤ 0.035

表 2-199 A232、A237 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	A (%)
保证值	≥540	≥25

(15) A242

说明：A242 是钛钙型药皮的低碳不锈钢焊条，其熔敷金属比 A202 具有更高的含钼量，在非氧化性酸，如硫酸、亚硫酸、磷酸以及有机酸硫酸介质中具有更好的耐腐蚀性能，可以防止点状腐蚀。交直流两用，有良好的操作工艺性能。尽可能采用直流电源，因交流焊接时，熔深较浅，电流不宜过大，以免焊条发红。焊前焊条须经 150℃ 烘干 1 小时。

用途：适用于焊接低碳的 19%Cr-13%Ni-3%Mo 类型不锈钢以及复合钢、异种钢。

A242 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-

200、表 2-201。

表 2-200 A242 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Cu	S	P
保证值	≤ 0.08	0.50 ~2.50	≤ 0.90	18.0 ~21.0	12.0 ~14.0	3.00 ~4.00	≤ 0.75	≤ 0.030	≤ 0.040

表 2-201 A242 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	A (%)
保证值	≥550	≥25

(16) A302; A307

说明：A302 是钛钙型药皮的不锈钢焊条，熔敷金属有良好的抗裂性能及抗氧化性能，交直流两用，有良好的操作工艺性能；尽可能采用直流电源，因交流焊接时，熔深较浅，电流不宜过大，以免焊条发红；焊前焊条须经 150℃ 烘干 1 小时。A307 是低氢型药皮的不锈钢焊条，熔敷金属有良好的抗裂性能及抗氧化性能，直流反接，可进行全位置焊接，焊前焊条须经 250℃ 烘干 1 小时。

用途：适用于焊接 23%Cr-13%Ni 类型不锈钢、异种钢（不锈钢与碳钢）、高铬钢、高锰钢等钢材。

A302、A307 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-202、表 2-203。

表 2-202 A302、A307 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Cu	S	P
保证值	≤ 0.15	0.50 ~2.50	≤ 0.90	22.0 ~25.0	12.0 ~14.0	≤ 0.75	≤ 0.75	≤ 0.030	≤ 0.040

表 2-203 A302、A307 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	A (%)
保证值	≥ 550	≥ 25

(17) A312; A317

说明: A312 是钛钙型药皮的不锈钢焊条, 交直流两用, 有良好的操作工艺性能; 尽可能采用直流电源, 因交流焊接时, 熔深较浅, 电流不宜过大, 以免焊条发红, 焊前焊条须经 150℃ 烘干 1 小时。A317 是低氢型药皮的不锈钢焊条, 直流反接, 可进行全位置焊接, 焊前焊条须经 250℃, 烘干 1 小时。由于 A312、A317 熔敷金属含有钼, 比 A302 有更好的耐蚀性能、抗裂性能及抗氧化性能。

用途: 适用于焊接耐硫酸介质 (硫氨) 腐蚀的 23%Cr-13%Ni-2%Mo 类型不锈钢、复合钢板、异种钢等钢材。

A312、A317 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-204、表 2-205。

表 2-204 A312、A317 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Cr	S	P
保证值	≤ 0.12	0.50 ~2.50	≤ 0.90	22.0 ~25.0	12.0 ~14.0	2.0 ~3.0	≤ 0.75	≤ 0.030	≤ 0.040

表 2-205 A312、A317 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	A (%)
保证值	≥ 550	≥ 25

(18) A402; A407

说明: A402 是钛钙型药皮的纯奥氏体不锈钢焊条, 交直流

两用，有良好的操作工艺性能；尽可能采用直流电源，因交流焊接时，熔深较浅，电流不宜过大，以免焊条发红，焊前焊条须经 150℃ 烘干 1 小时。A407 是低氢型药皮的纯奥氏体不锈钢焊条，直流反接，可进行全位置焊接，焊前焊条须经 250℃ 烘干 1 小时。A402、A407 熔敷金属在 900 ~ 1100℃ 高温条件下，具有优良的抗氧化性能；由于焊缝为纯奥氏体，抗热裂性能不及双相组织的不锈钢焊条 (A302)。

用途：适用于焊接在高温条件下使用的 26%Cr-21%Ni 类型耐热不锈钢，也可以焊接淬硬倾向较大的 5%Cr-Mo、9%Cr-Mo、13%Cr、28%Cr 等铬钢以及异种钢。

A402、A407 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-206、表 2-207。

表 2-206 A402、A407 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Cu	S	P
保证值	0.08 ~0.20	1.00 ~2.50	≤ 0.75	25.0 ~28.0	20.0 ~22.5	≤ 0.75	≤ 0.75	≤ 0.030	≤ 0.030

表 2-207 A402、A407 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	A (%)
保证值	≥550	≥25

(19) A412

说明：A412 是钛钙型药皮的纯奥氏体不锈钢焊条。由于熔敷金属含有较多的铝，比 A402、A407 有更好的耐蚀性能、耐热性能、抗裂性能。交直流两用，有良好的操作工艺性能。尽可能采用直流电源，因交流焊接时，熔深较浅，电流不宜过大，以免焊条发红。焊前焊条须经 150℃ 烘干 1 小时。

用途:适用于焊接在高温条件下使用的 26%Cr-21%Ni -2%Mo 类型耐热不锈钢,也可以焊接异种钢等钢材。在焊接淬硬性高的碳钢、低合金钢时冲击性能极好。

A412 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-208、表 2-209。

表 2-208 A412 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Cu	S	P
保证值	≤ 0.12	1.00 ~2.50	≤ 0.75	25.0 ~28.0	20.0 ~22.0	2.0 ~3.0	≤ 0.75	≤ 0.030	≤ 0.030

表 2-209 A412 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	A (%)
保证值	≥550	≥25

(20) A502; A507

说明: A502 是钛钙型药皮的纯奥氏体 16%Cr-25%Ni-6%Mo 类型不锈钢焊条,交直流两用;尽可能采用直流电源,因交流焊接时,电流不宜过大,以免焊条发红,焊前焊条须经 150℃烘干 1 小时。A507 是低氢型药皮的纯奥氏体 16%Cr-25%Ni-6%Mo 类型不锈钢焊条,直流反接,可进行全位置焊接,焊前焊条须经 250℃烘干 1 小时。

用途:适用于焊接淬火状态的低合金钢和中合金钢异种钢及相应的热强钢等,如淬火状态的 30CrMnSi 以及不锈钢、碳钢、铬钢及异种钢,用于制造刚性较大的焊接结构。

A502、A507 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-210、表 2-211。

表 2-210 A502、A507 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	N	Cu	S	P
保证值	≤ 0.12	0.50 ~2.50	≤ 0.90	14.0 ~18.0	22.0 ~27.0	5.0 ~7.0	≥ 0.1	≤ 0.50	≤ 0.030	≤ 0.040

表 2-211 A502、A507 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	A (%)
保证值	≥610	≥30

(21) A512

说明：A512 是钛钙型药皮的不锈钢焊条，熔敷金属铁素体含量一般在 5FN 以下，熔敷金属在较大拘束条件下仍具有较强抗裂能力。交直流两用，尽可能采用直流电源，电流不宜过大，以免焊条发红。焊前焊条须经 150℃ 烘干 1 小时。

用途：适用于焊接高温高压的不锈钢管路。

A512 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-212、表 2-213。

表 2-212 A512 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Cu	S	P
保证值	≤ 0.10	0.50 ~2.50	≤ 0.60	14.5 ~16.5	7.5 ~9.5	1.0 ~2.0	≤ 0.75	≤ 0.030	≤ 0.030

表 2-213 A512 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	A (%)
保证值	≥550	≥35

(22) A607

说明：A607 焊条是低氢型药皮的奥氏体耐热不锈钢焊条，因焊条药皮内加入强化元素，具有良好的高温性能。直流反接，可进行全位置焊接。焊前焊条须经 250℃ 烘干 1 小时。

用途：适用于焊接在 850 ~ 900℃ 高温条件下使用的 16%Cr-35%Ni 类型不锈钢，如 Cr17Ni32 和 Cr18Ni37，用于制造制氢转化炉中集合管和膨胀管等部件。

A607 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-214、表 2-215。

表 2-214 A607 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	W	Nb	Cu	S	P
保证值	≤ 0.20	≤ 3.50	≤ 0.70	15.0 ~17.0	33.0 ~37.0	2.0 ~3.0	2.0 ~3.0	1.0 ~2.0	≤ 0.50	≤ 0.030	≤ 0.035

表 2-215 A607 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	A (%)
保证值	≥ 590	≥ 25

(23) A707

说明：A707 是低氢型药皮的不锈钢焊条，直流反接，可进行全位置焊接。焊前焊条须经 250℃ 烘干 1 小时。

用途：适用于焊接 17%Cr-13%Mn-Mo 类型耐热不锈钢，用于制造醋酸、维尼纶、尿素等机械设备中的部件。

A707 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-216、表 2-217。

表 2-216 A707 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Mo	N	S	P
保证值	≤ 0.15	11.0 ~14.0	≤ 1.00	16.0 ~18.0	1.0 ~2.0	0.17 ~0.30	≤ 0.030	≤ 0.035

表 2-217 A707 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	A (%)
保证值	≥690	≥30

(24) A802

说明：A802 是钛钙型药皮的 18%Cr-18%Ni-4%Mo-2%Cu 类型不锈钢焊条。熔敷金属含有钼铜，在硫酸介质中具有较好的耐腐蚀性能。交直流两用，尽可能采用直流电源，电流不宜过大，以免焊条发红。焊前焊条须经 150℃ 烘干 1 小时。

用途：适用于焊接 Cr18Ni18Mo4Cu2Ti 不锈钢，用于制造硫酸浓度 50%、高温高压的合成橡胶机械设备中的管道。

A802 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-218、表 2-219。

表 2-218 A802 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Cu	S	P
保证值	≤ 0.10	≤ 2.50	≤ 1.00	18.0 ~21.0	17.0 ~19.0	3.0 ~5.0	1.50 ~2.50	≤ 0.030	≤ 0.035

表 2-219 A802 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	A (%)
保证值	≥540	≥25

(25) A902

说明：A902 是钛钙型药皮的不锈钢焊条，具有优良的耐腐蚀性和较强的抗氧化性能。交直流两用，尽可能采用直流电源，电流不宜过大，以免焊条发红。焊前焊条须经 150℃ 烘干 1 小时。

用途：适用于焊接使用介质为硫酸、硝酸、磷酸的镍合金，用于制造化工、石油和制氢设备的部件。

A902 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-220、表 2-221。

表 2-220 A902 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Nb	Cu	S	P
保证值	≤ 0.07	0.5 ~2.5	≤ 0.60	19.0 ~21.0	32.0 ~36.0	2.0 ~3.0	8×C ~1.00	3.00 ~4.00	≤ 0.030	≤ 0.040

表 2-221 A902 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	A (%)
保证值	≥550	≥30

六、堆焊焊条

堆焊焊条的生产、验收执行 GB 984—1985《堆焊焊条》，该标准规定了堆焊焊条型号分类、技术要求、试验方法及检验规则等内容。

1. 堆焊焊条选用说明

堆焊是使用常用的焊接工艺方法，在工件表面的某些部位焊接具有特殊性能的金属，主要用于异种材料焊接的过渡层、制造多种金属复合材料，也用于修复外形尺寸磨损的不合格工件，进行使用条件恶劣的工件预保护，其主要目的是提高工件表面的耐

磨、耐腐蚀及耐热等性能，增加工件的寿命周期，降低生产成本。

一般需要堆焊的工件使用条件比较复杂，制订堆焊工艺时，应该根据工件不同的使用性能要求、现有的生产条件选用合适的焊条，堆焊焊条的选用通常还与堆焊金属类型和硬度、堆焊层的厚度、接触介质及磨损机理、工件母材的化学成分、焊后是否进行热处理及切削加工等因素有关。堆焊焊条的实际选用应遵循以下几个原则：

(1) 根据堆焊的工件使用条件，确定堆焊金属类型及其使用性能的类型（耐磨、耐腐蚀及耐热等），选出相应的焊条。根据堆焊焊条的用途将堆焊焊条分为九类，见表 2-222。

表 2-222 堆焊焊条的分类

焊条类型	不规定	常温堆焊焊条	高锰钢堆焊焊条	刀具工具堆焊焊条	阀门堆焊焊条	铸铁堆焊焊条	碳化钨堆焊焊条	钴基合金堆焊焊条	待发展堆焊焊条
焊条牌号	D00X ~D09X	D10X ~D24X	D25X ~D29X	D30X ~D49X	D50X ~D59X	D60X ~D69X	D70X ~D79X	D80X ~D89X	D90X ~D99X

(2) 为了保证堆焊金属与母材的可靠连接，防止堆焊金属的剥离、开裂，要对母材和堆焊金属的焊接性问题进行分析。堆焊工艺中的防止剥离、开裂的常用方法是工件焊前预热、焊后缓冷，有时还要采取焊后热处理等技术措施。工件焊前预热温度主要取决于母材的含碳量和合金元素，依据经验公式按照碳当量进行估算。常用碳钢和低合金钢钢材的焊前预热温度见表 2-223。

表 2-223 常用碳钢和低合金钢的焊前预热温度

钢材碳当量(%)	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80
预热温度(℃)	100	150	200	250	300

(3) 堆焊焊条熔敷金属的硬度和化学成分数据是通过试验方法获得的,一般堆焊层数不少于三层。有些堆焊焊条熔敷金属采用不同的热处理方法可以得到不同的硬度,实际使用时,应考虑合金元素在焊接冶金反应中的烧损情况,控制焊接规范参数。

(4) 堆焊金属的切削加工性能与堆焊金属类型和硬度有直接关系,当堆焊金属硬度 \leq HRC45时,具有较好切削加工性能;当堆焊金属硬度 \geq HRC45时,切削加工性能较差。

(5) 由于堆焊焊条中往往加入了一些合金元素,实际选用时要兼顾使用功能和生产成本。

国内常用的堆焊焊条牌号见表 2-224。

表 2-224 国内常用的堆焊焊条牌号

牌 号	焊条型号		
	中国 (GB)	美国 (AWS)	日本 (JIS)
D102	EDPMn2-03	—	—
D106	EDPMn2-16	—	—
D107	EDPMn2-15	—	—
D112	EDPCrMo-A1-03	—	—
D126	EDPMn3-16	—	—
D127	EDPMn3-15	—	—
D132	EDPCrMo-A2-03	—	—
D146	EDPMn4-16	—	—
D156	—	—	—
D167	EDPMn6-15	—	—
D172	EDPCrMo-A3-03	—	—
D177SL	—	—	—

续表 2-224

牌 号	焊条型号		
	中国(GB)	美国(AWS)	日本(JIS)
D202A	—	—	—
D202B	—	—	—
D207	EDPCrMnSi-15	—	—
D212	EDPCrMo-A4-03	—	—
D217A	EDPCrMo-A3-15	—	—
D227	EDPCrMoV-A2-15	—	—
D237	EDPCrMoV-A1-15	—	—
D246	EDPCrSi-B	—	—
D256	EDMn-A-16	EFeMn-A	DF-MA
D266	EDMn-B-16	EFeMn-B	DF-MA
D276	EDCrMn-B-16	—	DF-ME
D277	EDCrMn-B-15	—	DF-ME
D307	EDD-D-15	—	—
D317	EDRCrMoWV-A3-15	—	—
D322	EDRCrMoWV-A1-03	—	—
D327	EDRCrMoWV-A1-15	—	—
D327A	EDRCrMoWV-A2-15	—	—
D337	EDRCrW-15	—	—
D392	EDRCrMnMo-03	—	—
D397	EDRCrMnMo-15	—	—

续表 2-224

牌 号	焊条型号		
	中国(GB)	美国(AWS)	日本(JIS)
D406	EDRCrMoWCo-A	—	—
D417	EDD-B-15	EFe5-B	—
D502	EDCr-A1-03	—	DF-4A
D507	EDCr-A1-15	—	DF-4A
D507Mo	EDCr-A2-15	—	—
D507 MoNb	EDCr-A1-15	—	—
D512	EDCr-B-03	—	DF-4A
D516M	—	—	—
D516F	—	—	—
D516MA	EDCrMn-A-16	—	—
D517	EDCr-B-15	—	DF-4A
D547	EDCrNi-A-15	—	—
D547 Mo	EDCrNi-B-15	—	—
D557	EDCrNi-C-15	—	—
D567	EDCrMn-D-15	—	—
D577	EDCrMn-C-15	—	DF-ME
D582	—	—	—
D608	EDZ-A1-08	—	—
D618	—	—	—
D628	—	—	—

续表 2-224

牌 号	焊条型号		
	中国(GB)	美国(AWS)	日本(JIS)
D632A	—	—	—
D638	—	—	—
D638Nb	—	—	—
D642	EDZCr-B-03	—	—
D646	EDZCr-B-16	—	—
D656	EDZ-A2-16	—	—
D658	—	—	—
D667	EDZCr-C-15	EFeCr-A1	—
D678	EDZ-B1-08	—	—
D687	EDZCr-D-15	—	—
D698	EDZ-B2-08	—	—
D707	EDW-A-15	—	—
D707Ni	—	—	—
D717; D717A	EDW-B-15	—	—
D802	EDCrCo-A-03	EDCrCo-A	DF-CrCoA
D812	EDCrCo-B-03	EDCrCo-B	DF-CrCoB
D822	EDCrCo-C-03	EDCrCo-C	DF-CrCoC
D842	EDCrCo-D-03	—	DF-CrCoD
D916	—	—	—
D007	EDTV-15	—	—

续表 2-224

牌 号	焊条型号		
	中国(GB)	美国(AWS)	日本(JIS)
D017	—	—	—
D022	—	—	—
D027	—	—	—
D036	—	—	—
D047	—	—	—

2. 常用的堆焊焊条介绍

(1) D102; D106; D107

说明：D102 是钛钙型药皮的普通锰型堆焊焊条，交直流两用，焊前焊条须经 250℃ 烘干 1 小时。D106 是低氢钾型药皮的普通锰型堆焊焊条，交直流两用。D107 是低氢钠型药皮的普通锰型堆焊焊条，直流反接。D106、D107 焊前焊条须经 300 ~ 350℃ 烘干 1 小时。D102、D106、D107 在堆焊大型工件时，工件焊前预热 200℃。

用途：适用于堆焊或修复低碳钢、中碳钢及低合金钢磨损件的表面，如车轴、齿轮和搅拌机叶片等。堆焊层硬度 \geq HRC22。

D102、D106、D107 熔敷金属化学成分见表 2-225。

表 2-225 D102、D106、D107 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn
保证值	≤ 0.20	≤ 3.50

(2) D112

说明: D112 是钛钙型药皮的铬钼型堆焊焊条, 交直流两用。焊前焊条须经 150℃ 烘干 1 小时。在堆焊大型工件时, 焊前预热 200℃。

用途: 适用于受磨损的低碳钢、中碳钢或低合金钢机件表面, 特别适用于矿山机械与农业机械的堆焊与焊接修复。堆焊层硬度 \geq HRC22。

D112 熔敷金属化学成分见表 2-226。

表 2-226 D112 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Cr	Mo	其他元素总量
保证值	≤ 0.20	≤ 2.00	≤ 1.50	≤ 2.00

(3) D126; D127

说明: D126 是低氢钾型药皮的普通锰型堆焊焊条, 交直流两用。D127 是低氢钠型药皮的普通锰型堆焊焊条, 直流反接。D126、D127 焊前焊条须经 300 ~ 350℃ 烘干 1 小时。在堆焊大型工件时, 焊前预热 300℃。

用途: 适用于堆焊受磨损的低碳钢、中碳钢或低合金钢的表面, 如车轴、齿轮、搅拌机叶片、行走主动轮等。堆焊层硬度 \geq HRC28。

D126、D127 熔敷金属化学成分见表 2-227。

表 2-227 D126、D127 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn
保证值	≤ 0.20	≤ 4.20

(4) D132

说明: D132 是钛钙型药皮的铬钼型堆焊焊条, 交直流两用。

堆焊时电弧稳定，脱渣容易。焊前焊条须经 150℃烘干 1 小时。在堆焊大型工件时，焊前预热 300℃，并将堆焊表面的铁锈和油污清除干净。

用途：适用于受磨损的低碳钢、中碳钢或低合金钢工件表面，常用于矿山机械与农业机械磨损件的堆焊与焊接修复。堆焊层硬度 \geq HRC30。

D132 熔敷金属化学成分见表 2-228。

表 2-228 D132 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Cr	Mo
保证值	≤ 0.50	≤ 3.00	≤ 1.50

(5) D146

说明：D146 是钛钙型药皮的铬钼型堆焊焊条，交直流两用。焊前焊条须经 300 ~ 350℃烘干 1 小时。堆焊前将堆焊表面的铁锈和油污清除干净。

用途：适用于堆焊各种受磨损的碳钢工件表面及碳钢管道。堆焊层硬度 \geq HRC30。

D146 熔敷金属化学成分见表 2-229。

表 2-229 D146 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	其他元素总量
保证值	≤ 0.20	≤ 4.50	≤ 2.00

(6) D156

说明：D156 是低氢钾型药皮的铬锰型堆焊焊条，具有较高的抗冲击载荷和金属间摩擦磨损性能。交直流两用(交流时空载电压大于 70V)，电弧稳定，脱渣容易，飞溅较小，焊缝成形美观。焊前焊

条须经 300 ~ 350℃ 烘干 1 小时。堆焊前将堆焊表面的铁锈和油污清除干净。

用途:适用于槽滚轧机、铸钢的大齿轮、拖拉机驱动轮、支重轮和链轨节的堆焊。堆焊层硬度 \geq HRC31。

D156 熔敷金属化学成分见表 2-230。

表 2-230 D156 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Cr	Si
保证值	≤ 0.10	≤ 0.70	≤ 3.20	≤ 0.50

(7) D167

说明: D167 是低氢钠型药皮的锰硅型堆焊焊条, 直流反接。焊前焊条须经 300 ~ 350℃ 烘干 1 小时。在堆焊大型工件时, 焊前预热 300℃, 并将堆焊表面的铁锈和油污清除干净。

用途:适用于大型推土机、动力铲的滚轮、汽车环链等农业、建筑机械的磨损件堆焊。堆焊层硬度 \geq HRC50。

D167 熔敷金属化学成分见表 2-231。

表 2-231 D167 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si
保证值	≤ 0.45	≤ 6.50	≤ 1.00

(8) D172

说明: D172 是钛钙型药皮的铬钼型堆焊焊条, 交直流两用。堆焊时电弧稳定, 脱渣容易。焊前焊条须经 150℃ 烘干 1 小时。在堆焊大型工件时, 焊前预热 300℃, 并将堆焊表面的铁锈和油污清除干净。

用途:适用于齿轮、挖泥斗、拖拉机刮板、深耕铧犁等矿山机械的磨损件堆焊。堆焊层硬度 \geq HRC40。

D172 熔敷金属化学成分见表 2-232。

表 2-232 D172 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Cr	Mo
保证值	≤0.50	≤2.50	≤2.50

(9) D177SL

说明: D177SL 是低氢型药皮的渗铝钢系列堆焊焊条, 直流反接。短弧操作焊前焊条须经 250℃ 烘干 1 小时。在堆焊大型工件时, 焊前预热 300℃, 并将堆焊表面的铁锈和油污清除干净。

用途: 适用于焊接磨损条件下使用的渗铝钢或非渗铝钢焊接, 用于单层或多层堆焊电站渗铝钢炉及煤气管等渗铝钢磨损件。堆焊层硬度 ≥HRC40。

D177SL 熔敷金属化学成分见表 2-233。

表 2-233 D177SL 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Cr	Mo
保证值	≤0.20	≤2.50	≤2.50

(10) D202A; D202B

说明: D202A、D202B 是钛钙型药皮的铁基堆焊焊条, 交直流两用, 操作性能极好。D202A 堆焊层硬度适中, 具有较好的塑性和耐冲击性能。D202B 堆焊金属为马氏体组织, 有较好的耐金属间磨损、耐冲击、耐磨料磨损和耐冷热疲劳性能。D202A、D202B 焊前焊条须经 250℃ 烘干 1 小时。在堆焊大型工件时, 焊前预热 300℃。

用途: D202A 用于槽滚轧机、铸钢的大齿轮等碳钢和低合金钢的零件焊接修复, D202A 堆焊层硬度 HRC26 ~ HRC30。D202B 用于齿轮、挖斗等矿山机械受磨损件表面的单层或多层堆焊, D202B

堆焊层硬度 HRC54 ~ HRC58。

D202A、D202B 熔敷金属化学成分见表 2-234。

表 2-234 D202A、D202B 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Cr	Mn	Si	S	P
D202A	≤0.15	1.80~2.30	0.50~0.90	0.20~0.40	≤0.040	≤0.040
D202B	0.50~0.70	4.40~5.00	0.60~1.00	0.30~0.50	≤0.040	≤0.040

(11) D207

说明：D207 是低氢钠型药皮的锰硅型堆焊焊条，直流反接。焊前焊条须经 300 ~ 350℃ 烘干 1 小时。在堆焊大型工件时，焊前预热 300℃，并将堆焊表面的铁锈和油污清除干净。

用途：用于堆焊推土机刀片、螺旋桨等磨损零件。堆焊层硬度 ≥ HRC50。

D207 熔敷金属化学成分见表 2-235。

表 2-235 D207 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Cr	Si	其他元素总量
保证值	0.50~1.00	≤2.50	≤3.50	≤1.00	≤1.00

(12) D212

说明：D212 是钛钙型药皮的铬钼型堆焊焊条，交直流两用。堆焊时电弧稳定，脱渣容易。焊前焊条须经 150℃ 烘干 1 小时。在堆焊大型工件时，焊前预热 300℃，并将堆焊表面的铁锈和油污清除干净。

用途：适用于齿轮、挖斗等矿山机械磨损件的堆焊。堆焊层硬度 ≥ HRC50。

D212 熔敷金属化学成分见表 2-236。

表 2-236 D212 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Cr	Mo
保证值	0.30 ~ 0.60	≤5.00	≤4.00

(13) D217A

说明: D217A 是低氢钠型药皮的铬锰钼型堆焊焊条, 直流反接。焊前焊条须经 350 ~ 400℃ 烘干 1 小时。在堆焊大型工件时, 焊前预热 200 ~ 300℃, 并将堆焊表面的铁锈和油污清除干净。

用途: 适用于堆焊 30CrMnSi、35CrMnSi 材料的冶金轧辊等耐磨零件, 可用于焊接修复矿石破碎机部件、挖掘机斗齿等机械磨损件。堆焊层硬度 ≥ HRC40。

D217A 熔敷金属化学成分见表 2-237。

表 2-237 D217A 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Cr	Mo
保证值	≤0.20	≤2.50	≤2.50

(14) D227

说明: D227 是低氢钠型药皮的铬钼钒型堆焊焊条, 直流反接。堆焊层为马氏体基体加入一定数量的高硬度碳化物, 抗磨粒磨损性能较高, 堆焊金属具有良好的抗裂性能。堆焊层加工切削比较困难, 必要时可经 860℃ 等温退火软化。焊前焊条须经 300 ~ 350℃, 烘干 1 小时。在堆焊大型工件时, 焊前预热 300℃, 并将堆焊表面的铁锈和油污清除干净。

用途: 适用于承受一定冲击载荷的耐磨件表面堆焊, 如掘进机盘形滚刀的接触表面。堆焊层硬度 ≥ HRC55。

D227 熔敷金属化学成分见表 2-238。

表 2-238 D227 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Cr	Mo	V
保证值	0.45 ~ 0.65	4.00 ~ 5.00	2.00 ~ 3.00	4.00 ~ 5.00

(15) D237

说明: D237 是低氢钠型药皮的铬钼钒型堆焊焊条, 直流反接, 焊前焊条须经 300 ~ 350℃ 烘干 1 小时。在堆焊大型工件时, 焊前预热 300℃, 并将堆焊表面的铁锈和油污清除干净。

用途: 适用于堆焊受泥沙磨损和气蚀破坏的水力机械、挖泥斗等机械零件。堆焊层硬度 \geq HRC50。

D237 熔敷金属化学成分见表 2-239。

表 2-239 D237 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Cr	Mo	V	其他元素总量
保证值	0.30~0.60	8.00~10.00	\leq 3.00	0.50~1.00	\leq 4.00

(16) D246

说明: D246 是低氢钾型药皮的堆焊焊条, 交直流两用, 焊前焊条须经 300 ~ 350℃ 烘干 1 小时。

用途: 适用于在常温及非腐蚀条件环境中, 承受冲击载荷、磨粒磨损的矿山机械、农业机械、水泥机械、水力机械等机械设备易磨损件堆焊。堆焊层硬度 \geq HRC60。

D246 熔敷金属化学成分见表 2-240。

表 2-240 D246 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	B	S	P
保证值	\leq 1.00	\leq 0.80	1.50 ~ 3.00	6.50 ~ 8.50	0.50 ~ 0.90	\leq 0.03	\leq 0.03

(17) D256; D266

说明：D256、D266 是低氢钾型药皮的高锰钢堆焊焊条，堆焊金属为奥氏体高锰钢，具有加工硬化、坚韧和耐磨的特点。交直流两用（交流焊时，空载电压不低于 70V），堆焊时宜采用小电流，窄焊道，趁焊缝红热时立即锤击或水淬，以减少裂缝倾向。堆焊已磨损的高锰钢工件，应先将疲劳层铲除或经水韧处理或用铬锰钢焊条（如 D277 等）打底焊。堆焊时烟尘较大，应注意环境通风。焊前焊条须经 300 ~ 350℃ 烘干 1 小时。D266 与 D256 的相比，在熔敷金属中添加了钼，从而提高了抗裂性能和耐磨性能。

用途：适用于各种破碎机、高锰钢轨、推土机铲斗等受冲击而易磨损部分的堆焊。堆焊层硬度 \geq HBS170。

D256、D266 熔敷金属化学成分见表 2-241。

表 2-241 D256、D266 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目		C	Mn	Si	Mo	其他元素总量
保证值	D256	≤ 1.10	11.00~16.00	≤ 1.30	—	≤ 5.00
	D266	≤ 1.10	11.00~18.00	0.30~1.30	≤ 2.50	≤ 1.00

(18) D276; D277

说明：D276、D277 是低氢型药皮的高铬锰钢耐气蚀堆焊焊条。D277 采用直流反接，D276 可以交直流两用（交流时空载电压大于 70V）。D276、D277 焊缝金属能加工硬化，耐气蚀，并有良好的抗裂纹性能。堆焊时烟尘较大，应注意环境通风。焊前焊条须经 300 ~ 350℃ 烘干 1 小时。

用途：适用于堆焊水轮机受气蚀破坏的零件，如水轮机的叶片、导水叶等；同时也适用于要求耐磨性及高韧性的高锰钢工件的堆焊，如铁路道岔、螺旋输送机构、推土机刀片、抓斗、破碎刃等。堆焊层硬度 \geq HRC20。

D276、D277 熔敷金属化学成分见表 2-242。

表 2-242 D276、D277 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	其他元素总量
保证值	≤0.80	11.00~16.00	≤0.80	13.00~17.00	≤4.00

(19) D307

说明：D307 是低氢钠型药皮的堆焊焊条，直流反接。在堆焊小型工件时，焊前预热 300℃；在堆焊大型工件时，焊前预热 600℃。刀具堆焊后的热处理规范与 W18Cr4V 高速钢的热处理相同。焊前焊条须经 300 ~ 350℃烘干 1 小时。

用途：适用于在 45、45Mn 等中碳钢刀具毛坯上堆焊刃口，以代替整体高速钢刀具，还可用来堆焊修复磨损的刀具及其他工具。焊后经 540℃回火，堆焊层硬度 ≥HRC55。

D307 熔敷金属化学成分见表 2-243。

表 2-243 D307 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Cr	W	V	S	P	其他元素总量
保证值	0.70 ~ 1.00	3.80 ~ 4.50	17.00 ~ 19.50	1.00 ~ 1.50	≤0.035	≤0.040	≤1.50

(20) D317

说明：D317 是低氢钠型药皮的铬钨钒钼冲模堆焊焊条，直流反接。堆焊前预热 300℃。焊前焊条须经 300 ~ 350℃烘干 1 小时。用途：适用于堆焊冲模和一般切削刀具。焊后空冷堆焊层硬度 ≥HRC50。

D317 熔敷金属化学成分见表 2-244。

表 2-244 D317 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Cr	Mo	W	V	S	P	其他元素 总量
保证值	0.70 ~ 1.00	3.00 ~ 4.00	3.00 ~ 5.00	4.50 ~ 6.00	1.50 ~ 3.00	≤ 0.035	≤ 0.040	≤ 1.50

(21) D322; D327

说明: D322 是钛钙型药皮的铬钨钼钒冲模堆焊条, 交直流两用, 堆焊时电弧稳定, 脱渣容易, 焊前焊条须经 250℃ 烘干 1 小时。D327 是低氢型药皮的铬钨钼钒冲模堆焊好条, 直流反接, 焊前焊条须经 300 ~ 350℃ 烘干 1 小时。D322、D327 堆焊前工件预热 300℃。

用途: 适用于堆焊各种冲模和切削刀具, 也用于修复要求耐磨损性能较高的机械零件。焊后空冷堆焊层硬度 ≥ HRC55。

D322、D327 熔敷金属化学成分见表 2-245。

表 2-245 D322、D327 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Cr	Mo	W	V	S	P
保证值	≤ 0.50	≤ 5.00	≤ 2.50	7.00~10.00	≤ 1.00	≤ 0.035	≤ 0.040

(22) D327A

说明: D327A 是低氢型药皮的铬钨钼钒冲模堆焊条, 直流反接。焊前焊条须经 300 ~ 350℃ 烘干 1 小时。堆焊前工件预热 300℃。

用途: 适用于堆焊各种冲模和切削刀具, 也用于修复要求耐磨损性能较高的机械零件。焊后空冷堆焊层硬度 ≥ HRC50。

D327A 熔敷金属化学成分见表 2-246。

表 2-246 D327A 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Cr	Mo	W	V	S	P
保证值	0.30 ~0.50	5.00 ~6.50	2.00 ~3.00	2.00 ~3.50	1.00 ~3.00	≤ 0.035	≤ 0.040

(23) D337

说明: D337 是低氢型药皮的铬钨热锻模堆焊条, 直流反接。焊前焊条须经 300 ~ 350℃ 烘干 1 小时。堆焊前工件预热 300 ~ 400℃, 焊后缓冷。

用途: 适用于堆焊铸钢或锻钢毛坯的锻模, 也可用于锻模的修复。焊后空冷堆焊层硬度 ≥ HRC48, 再经过不同的热处理可以得到不同的堆焊层硬度, 如 860 ~ 890℃ 退火后 HRC28, 1050 ~ 1100℃ 油淬后 HRC55, 300℃ 回火后 HRC49, 400℃ 回火后 HRC47, 500℃ 回火后 HRC45。

D337 熔敷金属化学成分见表 2-247。

表 2-247 D337 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Cr	W	S	P	其他元素总量
保证值	0.25~0.55	2.00~3.50	7.00~10.00	≤0.035	≤0.040	≤1.00

(24) D392; D397

说明: D392 是钛钙型药皮的铬锰钼热锻模堆焊条, 交直流两用, 堆焊层组织为马氏体 + 残余奥氏体, 焊前焊条须经 250℃ 烘干 1 小时。D397 是低氢型药皮的铬锰钼热锻模堆焊条, 直流反接, 焊前焊条须经 350℃ 烘干 1 小时。D392、D397 具有耐金属间磨损及磨粒磨损性能。堆焊前工件预热 250℃, 焊后缓冷。

用途: 适用于堆焊铸钢或锻钢毛坯的热锻模, 也可用于旧锻模的修复。焊后空冷堆焊层硬度 ≥ HRC44, 再经过不同的热处理可以

得到不同的堆焊层硬度，如 810 ~ 840℃退火后 HRC27, 820 ~ 850℃淬火后 HRC55, 500℃回火（炉冷）后 HRC42, 600℃回火（炉冷）后 HRC37。

D392、D397 熔敷金属化学成分见表 2-248。

表 2-248 D392、D397 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Cr	Mo	Mn	Si	S	P
保证值	≤0.60	≤2.00	≤1.00	≤2.50	≤1.00	≤0.035	≤0.040

(25) D406

说明：D406 是低氢型药皮的耐磨堆焊焊条，交直流两用，堆焊层金相组织为 α 固溶体 + 奥氏体 + 马氏体，具有较好的红硬性、抗裂性和耐热疲劳性。焊前焊条须经 350℃烘干 1 小时。

用途：适用于堆焊热剪切刀刃口等高温刀具、模具。焊后空冷堆焊层硬度 ≥ HRC50。

D406 熔敷金属化学成分见表 2-249。

表 2-249 D406 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Mo	W	V	Co	其他元素总量
保证值	≤0.50	≤2.0	≤2.0	≤6.0	≤5.0	≤10.0	≤2.0	≤12.0	≤2.0

(26) D417

说明：D417 是低氢型药皮的钨铬钨钒堆焊焊条，直流反接，具有良好的工艺性能、耐磨性能、抗裂性能，堆焊前工件预热 250℃。焊前焊条须经 350℃烘干 1 小时。

用途：适用于堆焊破碎机、叶片、高炉料等承受强烈冲击、磨损、磨蚀、气蚀的工件，也可用于堆焊各种冲压模具。焊后空冷堆焊层硬度 ≥ HRC55。

D417 熔敷金属化学成分见表 2-250。

表 2-250 D417 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Mo	W	V	S	P	其他元素总量
保证值	0.50 ~0.90	≤ 0.60	≤ 0.80	3.00 ~5.00	5.00 ~9.50	1.00 ~2.50	0.80 ~1.30	≤ 0.030	≤ 0.040	≤ 1.00

(27) D502; D507

说明: D502 是钛钙型药皮的 1Cr13 型阀门堆焊好条, 交直流两用, 焊接工艺性能良好。D502 焊前焊条须经 150℃ 烘干 1 小时。D507 是低氢钠型药皮的 1Cr13 型阀门堆焊好条, 直流反接, D507 焊前焊条须经 300 ~ 350℃ 烘干 1 小时。D502、D507 堆焊前工件预热 300℃, 堆焊层具有空淬特性, 一般不进行热处理, 硬度均匀, 可在 750 ~ 800℃ 退火软化。当加热到 900 ~ 1000℃ 空冷或油淬, 可重新硬化。

用途: 适用于堆焊使用温度 450℃ 以下的碳钢或合金钢轴及阀门等工件。焊后空冷堆焊层硬度 ≥ HRC40。

D502、D507 熔敷金属化学成分见表 2-251。

表 2-251 D502、D507 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Cr	S	P	其他元素总量
保证值	≤0.15	10.00~16.00	≤0.030	≤0.040	≤2.50

(28) D507Mo; D507MoNb

说明: D507Mo、D507MoNb 是低氢型药皮的 1Cr13 型阀门堆焊好条, 直流反接, 焊前焊条须经 300 ~ 350℃ 烘干 1 小时。D507Mo 堆焊层具有空淬特性, 堆焊层厚度应在 5mm 以上, 以保证硬度和成分的稳定, 堆焊金属具有较高的中温硬度、良好的热稳定性、抗

冲蚀性,如与 D577 焊条配合使用能获得较好的抗擦伤性能;堆焊工艺简单,焊前不预热,焊后不处理。D507MoNb 由于药皮中加入适量的钼、铌等强化稳定性元素,故堆焊金属具有较好的抗氧化性能和抗裂性能。

用途: D507Mo 适用于堆焊使用温度在 510℃ 以下的中温高压截止阀密封面, D507Mo 配合 D577 可以堆焊闸阀密封面 (阀座与阀瓣分别使用两种焊条)。D507MoNb 适用于堆焊使用温度在 450℃ 以下的中、低压阀门密封面。焊后空冷堆焊层硬度 \geq HRC37。

D507Mo、D507MoNb 熔敷金属化学成分见表 2-252。

表 2-252 D507Mo、D507MoNb 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目		C	Cr	Mo	Ni	W	Nb	S	P	其他元素总量
保证值	D507Mo	\leq 0.20	10.00 ~16.00	\leq 2.50	\leq 6.00	\leq 2.00	—	\leq 0.030	\leq 0.040	\leq 2.50
	D507MoNb	\leq 0.15	10.00 ~16.00	\leq 2.50	—	—	\leq 0.50	\leq 0.030	\leq 0.040	\leq 2.50

(29) D512; D517

说明: D512 是钛钙型药皮的 2Cr13 型阀门堆焊好条,交直流两用,焊接工艺性能良好;D512 堆焊层比 D502 更硬、更耐磨,较难加工,焊前焊条须经 150℃ 烘干 1 小时。D517 是低氢型药皮的 2Cr13 型阀门堆焊好条,直流反接,D517 堆焊层比 D507 更硬、更耐磨,较难加工,焊前焊条须经 300 ~ 350℃ 烘干 1 小时。D512、D517 堆焊金属为马氏体高铬钢,堆焊前工件预热 300℃,焊后进行不同的热处理可获得相应的硬度。堆焊层具有空淬特性,一般不进行热处理,硬度均匀,可在 750 ~ 800℃ 退火软化。当加热到 900 ~ 1000℃ 空冷或油淬,可重新硬化。

用途:适用于堆焊碳钢或低合金钢的轴、过热蒸气用阀件、搅

拌机浆、螺旋输送机叶片等。焊后空冷堆焊层硬度 \geq HRC45(耐软化至 500℃)。

D512、D517 熔敷金属化学成分见表 2-253。

表 2-253 D512、D517 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Cr	其他元素总量
保证值	≤ 0.25	10.00 ~ 16.00	≤ 5.00

(30) D516M; D516MA; D516F

说明: D516M、D516MA、D516F 是低氢钾型药皮的高铬锰堆焊焊条。堆焊层具有良好的耐磨、耐热、耐蚀以及抗热裂性能。堆焊工艺简单,焊前不预热,焊后不用热处理,堆焊层可以切削加工。焊前焊条须经 300 ~ 350℃烘干 1 小时,焊前应将工件上的油污等杂质清理干净。D516M 为 H08 钢芯,D516MA 为 1Cr13 钢芯。

用途:适用于堆焊使用温度在 450℃以下的高、中压阀门密封面。焊后空冷堆焊层硬度 \geq HRC38 ~ HRC48。

D516M、D516MA、D516F 熔敷金属化学成分见表 2-254。

表 2-254 D516M、D516MA、D516F 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目		C	Mn	Cr	Si
保证值	D516M;D516MA	≤ 0.25	6.00 ~ 8.00	10.00 ~ 16.00	≤ 5.00
	D516F	≤ 0.25	8.00 ~ 10.00	12.00 ~ 14.00	≤ 1.00

(31) D547

说明: D547 是低氢钠型药皮、合金钢芯的铬镍硅型阀门堆焊焊条,直流反接,堆焊金属依靠硅进行强化,得到具有一定铁素体含量的奥氏体组织,具有良好的抗擦伤、耐腐蚀、抗氧化等性能,堆焊层以 3 ~ 4 层为宜。焊前焊条须经 300 ~ 350℃烘干 1 小时。

用途:适用于堆焊 570℃以下使用的、电站高压锅炉阀门密封面及其他密封零件。堆焊层硬度 \geq HBS270 ~ HBS320。

D547 熔敷金属化学成分见表 2-255。

表 2-255 D547 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Ni	S	P
保证值	\leq 0.18	0.60 ~ 2.00	4.80 ~ 6.40	15.00 ~ 18.00	7.00 ~ 9.00	\leq 0.035	\leq 0.040

(32) D547Mo

说明:D547Mo 是低氢钠型药皮的铬镍硅钼型阀门堆焊焊条,直流反接,堆焊金属具有良好的高温抗擦伤、抗冲蚀等性能,有较高的高温硬度、良好的热稳定性和抗热疲劳性。堆焊金属时效强化效果显著,随着时效时间的增加,硬度和抗擦伤性能有进一步提高。堆焊大件时,需要焊前预热,焊后缓冷。堆焊时连续施焊 3 ~ 4 层,不得间断,堆焊层高度加工应不小于 5mm,以保证硬度和化学成分稳定;但堆焊过高时,易产生裂纹。焊前焊条须经 300 ~ 350℃ 烘干 1 小时。

用途:适用于堆焊使用温度低于 600℃ 的高压阀门密封面。堆焊层硬度 \geq HRC37。

D547Mo 熔敷金属化学成分见表 2-256。

表 2-256 D547Mo 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Nb	S	P	其他元素总量
保证值	\leq 0.18	0.60 ~2.00	3.80 ~6.50	14.00 ~21.00	6.50 ~12.00	3.50 ~7.00	0.50 ~1.20	\leq 0.030	\leq 0.040	\leq 2.50

(33) D557

说明:D557 是低氢钠型药皮的铬镍硅型阀门堆焊焊条,直流

反接,尽量采用短弧小电流。堆焊金属依靠大量的硅进行强化,得到奥氏体 + 铁素体组织;随着时效时间的增长,硬度和抗擦伤性能有进一步的提高。堆焊金属具有良好的抗侵蚀、抗氧化和抗腐蚀性能。由于堆焊金属的硬度较高,所以根据堆焊工件的大小、形状,采取预热和缓冷措施,一般预热为 300 ~ 450℃。焊前焊条须经 300 ~ 350℃烘干 1 小时。

用途:适用于堆焊使用温度低于 600℃的高压阀门密封面。堆焊层硬度 \geq HRC37。

D557 熔敷金属化学成分见表 2-257。

表 2-257 D557 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Ni	S	P
保证值	\leq 0.20	2.00 ~ 3.00	5.00 ~ 7.00	18.00 ~ 20.00	7.00 ~ 10.00	\leq 0.030	\leq 0.040

(34) D567; D577

说明: D567、D577 是低氢钠型药皮、合金钢芯的铬锰型球墨铸铁阀门堆焊焊条,直流反接,堆焊金属为高铬锰型奥氏体钢,故冷作硬化效果明显,具有优良的抗擦伤性能,堆焊工艺简单,无需预热和缓冷。D567 堆焊层有一定的硬度,可以切削加工,抗裂性较好;堆焊阀门密封面,一定要采用小电流、连续堆焊三层的工艺。D577 堆焊层有有一定的中温硬度,有较好的热稳定性,如与 D507Mo 配合使用,可获得良好的抗擦伤性能、抗裂性能、切削加工性能;堆焊金属加工后高度应在 5mm 以上,以保证化学成分和硬度均匀。焊前焊条须经 300 ~ 350℃烘干 1 小时。

用途: D567 适用于堆焊使用温度在 350℃以下的中温中压球墨铸铁阀门密封面,堆焊层硬度 \geq HBS210;在球墨铸铁上堆焊,堆焊层有效厚度 3mm 时,硬度 \geq HRC25。D577 适用于堆焊使用温度在 510℃以下的中温高压阀门密封面,如与 D507Mo 配合堆焊

阀,使用寿命更高,堆焊层硬度 \geq HRC28;在球墨铸铁上堆焊,堆焊层有效厚度 3mm 时,硬度 \geq HRC25。

D567、D577 熔敷金属化学成分见表 2-258。

表 2-258 D567、D577 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目		C	Cr	Mn	Mo	Si	Ni	其他元素 总量
保证 值	D567	0.50 ~0.80	9.50 ~12.50	24.00 ~27.00	—	\leq 1.30	—	—
	D577	\leq 1.10	12.00 ~18.00	12.00 ~18.00	\leq 4.00	\leq 2.00	\leq 6.00	\leq 3.00

(35) D582

说明: D582 是钛钙型药皮的阀门密封面高效不锈钢堆焊焊条,熔敷效率大于 120%,交直流两用,因交流焊时熔深较浅,尽可能采用直流电源,适宜于平焊、平角焊,操作性能好,可大电流使用(比普通不锈钢焊条提高 15%~20%),无药皮发红开裂现象,有良好的抗晶间腐蚀性能。焊前焊条须经 200~250℃ 烘干 1 小时。

用途:适用于堆焊阀门密封面。堆焊层硬度 \geq HBS170。

D582 熔敷金属化学成分见表 2-259。

表 2-259 D582 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Ni	S	P
保证值	\leq 0.10	\leq 2.50	\leq 1.00	\geq 18.00	\geq 8.00	\leq 0.030	\leq 0.035

(36) D608

说明: D608 是石墨型药皮的铬钼铸铁堆焊焊条,交直流两用,尽可能采用直流电源。由于堆焊金属为铸铁组织的铬、钼碳化物,因此堆焊层具有较高的硬度和耐磨性,对泥沙及矿石的磨耗有良

好的抵抗能力。堆焊层不能进行切削加工,只能磨削加工。在堆焊工件时,焊前预热 400 ~ 500℃,或先用 J507 焊条堆焊过渡层,再趁热堆焊,焊后缓冷。焊前焊条须经 250℃烘干 1 小时。

用途:适用于堆焊农业机械、矿山设备等承受沙粒磨损与轻微冲击的零件。堆焊层硬度 \geq HRC55。

D608 熔敷金属化学成分见表 2-260。

表 2-260 D608 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Cr	Mo
保证值	≤ 1.10	≥ 18.00	3.00 ~ 5.00

(37) D618; D628

说明: D618、D628 是石墨型药皮的抗磨粒磨损高碳高铬铸铁堆焊焊条,交直流两用。堆焊层为高碳高铬弥散碳化物的铸铁组织,堆焊层硬度高,但脆性较大,受压力和冲击载荷的能力较低。为了保证抗磨粒磨损性能,应尽可能采用较小电流,以利于堆焊层碳化物的排列。堆焊的焊道长度不应超过 70mm。工件焊前预热 400 ~ 600℃,并清理工件表面的铁锈、油污,焊后应进行 600 ~ 700℃回火、缓冷。焊前焊条须经 200℃烘干 1 小时。

用途:适用于堆焊承受较轻微的冲击载荷、抗磨粒磨损性能良好的锤击式磨煤机锤头、风扇式磨煤机冲击板等耐磨表面。D618 堆焊层硬度 \geq HRC58, D628 堆焊层硬度 \geq HRC60。

D618、D628 熔敷金属化学成分见表 2-261。

表 2-261 D618、D628 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目		C	Cr	Mo	V	W
保证值	D618	≤ 3.00	15.00~20.00	1.00~2.00	≤ 1.00	10.00~20.00
	D628	3.00~5.00	20.00~35.00	4.00~6.00	≤ 1.00	—

(38) D632A

说明: D632A 是钛钙型药皮的高铬铸堆焊焊条, 交直流两用, 堆焊层具有良好的抗磨粒磨损性能及高温耐磨耐腐蚀性能。尽量采用单层焊, 多层焊时, 可用韧性好的奥氏体不锈钢钢焊条打底焊。在堆焊碳当量较高的工件时, 焊前预热 400 ~ 500℃。焊前焊条须经 150℃ 烘干 1 小时。

用途: 适用于堆焊要求抗磨粒磨损或常温、高温耐磨耐腐蚀的工件表面, 如喷粉机、掘沟机、碾路机等。堆焊层硬度 \geq HRC55。

D632A 熔敷金属化学成分见表 2-262。

表 2-262 D632A 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Cr
保证值	2.50 ~ 5.00	25.00 ~ 40.00

(39) D638; D638Nb

说明: D618、D628Nb 是石墨型药皮的高铬铸铁堆焊焊条, 堆焊层具有良好的耐磨粒磨损性能, 交直流两用, 电弧稳定, 飞溅小, 基本无渣, 具有较高的熔敷效率。尽量采用单层焊, 多层焊时, 可用韧性好的奥氏体不锈钢钢焊条打底焊。在堆焊碳当量较高的工件时, 焊前预热 300 ~ 400℃。焊前焊条须经 250℃ 烘干 1 小时。

用途: D638 适用于堆焊承受抗磨粒磨损的料斗、铲刀、泥浆泵、粉碎机、锤头等耐磨表面。D638Nb 适用于堆焊承受严重磨粒磨损的部件及高温磨损部件的修复。D638、D638Nb 堆焊层硬度 \geq HRC60。

D638、D638Nb 熔敷金属化学成分见表 2-263。

表 2-263 D638、D638Nb 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目		C	Cr	Nb
保证值	D638	3.00 ~ 6.50	25.00 ~ 40.00	—

续表 2-263

试验项目		C	Cr	Nb
保证值	D638Nb	3.00 ~ 5.00	20.00 ~ 35.00	4.00 ~ 8.50

(40) D642; D646

说明：D642 是钛钙型药皮的高铬铸铸铁焊条，交直流两用，焊前焊条须经 250℃ 烘干 1 小时。D646 是低氢钾型药皮的高铬铸铸铁堆焊焊条，交直流两用（交流焊时，空载电压不得低于 70V），焊前焊条须经 350℃ 烘干 1 小时。D642、D646 堆焊层具有良好的抗气蚀能力，根据被焊工件的材质与刚度，采用相应的预热温度和工艺措施。

用途：D642 适用于堆焊承受常温或高温耐磨耐腐蚀的水轮机叶片、高压泵零件、高炉料钟等表面。D646 适用于堆焊承受中温和高温耐磨耐腐蚀的水轮机叶片、高压泵零件、高炉料钟等表面。D642、D646 堆焊层硬度 \geq HRC45。

D642、D646 熔敷金属化学成分见表 2-264。

表 2-264 D642、D646 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Cr	其他元素总量
保证值	1.50 ~ 3.50	\leq 1.00	22.00 ~ 32.00	\leq 7.00

(41) D656

说明：D656 是低氢钾型药皮的堆焊焊条，交直流两用，堆焊层硬度高，具有良好的抗磨料磨损性能、抗冲击性能、抗氧化性能及耐气蚀性能，焊前焊条须经 300 ~ 350℃ 烘干 1 小时。

用途：适用于堆焊承受中等冲击、受磨粒磨损的混凝土搅拌机、高速混砂机、螺旋送料机等以及工作温度不超过 500℃ 的高炉料

钟、矿石破碎机、煤孔挖掘器等设备耐磨耐蚀件。堆焊层硬度 \geq HRC60。

D656 熔敷金属化学成分见表 2-265。

表 2-265 D656 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Mo	其他元素总量
保证值	3.00~4.00	≤ 1.50	≤ 2.50	26.00~34.00	2.00~3.00	≤ 3.00

(42) D658

说明:D658 是石墨型药皮的高铬铸铁堆焊焊条, 具有优良的耐磨粒磨损性能, 使用温度可达 650℃, 交直流两用。尽量采用单层焊, 多层焊时, 可用韧性好的奥氏体不锈钢钢焊条打底焊。在堆焊碳当量较高的工件时, 焊前预热 300 ~ 400℃。焊前焊条须经 250℃ 烘干 1 小时。

用途: 适用于堆焊磨损严重部件及高温磨损部件。堆焊层硬度 \geq HRC60。

D658 熔敷金属化学成分见表 2-266。

表 2-266 D658 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Cr	Nb	Mo	V	W
保证值	3.00 ~ 6.50	20.00 ~ 35.00	4.00 ~ 8.50	4.00 ~ 9.50	0.50 ~ 2.50	2.50 ~ 7.50

(43) D667; D687

说明:D667 是低氢钠型药皮、铸造索尔马依特合金焊芯的高铬铸铁堆焊焊条。D687 是低氢钠型药皮、铸造含硼高铬合金铸铁焊芯的铸铁堆焊焊条。直流反接, 电弧稳定, 飞溅少, 脱渣容易。D667 堆焊层在 500℃ 以下具有良好的耐磨损、耐腐蚀和耐气蚀性能, 超过此温度则堆焊层硬度剧降。D687 堆焊层使用硬质合金

刀具也难以进行切削加工,只能研磨,金相组织为马氏体和粗大复合碳化物。D667、D687 焊前焊条须经 300 ~ 350℃ 烘干 1 小时。堆焊前工件预热 500 ~ 600℃,并将工件表面的氧化物等清理干净,堆焊焊道长度不宜超过 75mm,工件焊后应进行 600 ~ 700℃ 回火,缓冷。

用途: D667 适用于堆焊要求耐强烈磨损、耐腐蚀或耐气蚀的工件,如石油设备的离心裂化泵轴套、矿山破碎机部件及柴油引擎上的气门盖等,堆焊层硬度 \geq HRC48。D687 适用于堆焊要求强烈耐磨损的场合,如牙轮钻头小轴、煤孔挖掘机、提升戽斗、破碎机辊、泵框筒、混合器叶片等,堆焊层硬度 \geq HRC58。

D667、D687 熔敷金属化学成分见表 2-267。

表 2-267 D667、D687 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目		C	Mn	Si	Cr	Ni	B	其他元素 总量
保 证 值	D667	2.50 ~5.00	\leq 8.00	1.00 ~4.80	25.00 ~32.00	3.00 ~5.00	—	\leq 2.00
	D687	3.00 ~4.00	1.50 ~3.50	\leq 3.00	22.00 ~32.00	—	0.50 ~2.50	\leq 6.00

(44) D678

说明: D678 是石墨型药皮的含钨铸铁堆焊焊条,交直流两用。堆焊金属含碳量及合金含量较高,应采取适当的预热和焊后缓冷措施。在堆焊碳当量较高的工件时,焊前预热 300 ~ 400℃。焊前焊条须经 250℃ 烘干 1 小时。

用途: 适用于堆焊承受磨粒磨损的矿山和破碎机零件。堆焊层硬度 \geq HRC50。

D678 熔敷金属化学成分见表 2-268。

表 2-268 D678 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mo	其他元素总量
保证值	1.50 ~ 2.20	8.00 ~ 10.00	≤1.00

(45) D698

说明: D698 是石墨型药皮的含铬钨铸铁堆焊焊条, 交直流两用。堆焊金属含碳量及合金含量较高, 应采取适当的预热和焊后缓冷措施。焊前焊条须经 250℃ 烘干 1 小时。

用途: 适用于堆焊矿山机械和泥浆泵等。堆焊层硬度 ≥ HRC60。

D698 熔敷金属化学成分见表 2-269。

表 2-269 D698 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Cr	W	其他元素总量
保证值	≤3.00	4.00 ~ 6.00	8.50 ~ 14.00	≤3.00

(46) D707; D707Ni

说明: D707 是低氢钠型药皮、碳钢焊芯的碳化钨堆焊焊条, 药皮中含有碳化钨合金, 堆焊金属含钨量达 40% ~ 50%; 由于药皮较厚、焊条套管较长、直流反接, 宜使用较小电流, 防止焊条发红后药皮产生小块脱落。D707 堆焊碳钢工件时预热温度为 300℃, 堆焊低合金钢工件时预热温度为 400 ~ 500℃, 堆焊马氏体不锈钢工件时预热温度为 600 ~ 650℃, 低合金钢及马氏体不锈钢工件焊后须经 700℃ 退火。D707Ni 是低氢钠型药皮、纯镍焊芯的碳化钨堆焊焊条, 药皮中含有碳化钨合金, 具有较好的抗裂性及抗氧化性, 在堆焊大型工件时, 焊前预热 150℃。D707、D707Ni 采用直流反接, 焊前焊条须经 300 ~ 350℃ 烘干 1 小时。

用途: D707 适用于堆焊耐岩石强烈磨损的混凝土搅拌叶片、推土机和挖泥机铲齿、高速混砂箱等机械零件, 堆焊层硬度 \geq HRC60。D707Ni 适用于堆焊高温抗氧化、耐磨粒磨损的高炉钟头、烧结扒齿等机械零件, 堆焊层硬度 \geq HRC45。

D707、D707Ni 熔敷金属化学成分见表 2-270。

表 2-270 D707、D707Ni 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	WC	Mn	Ni	W	Si	其他元素 总量	
保证值	D707	1.50~3.00	—	≤ 2.00	—	40.00~50.00	≤ 4.00	—
	D707Ni	—	≤ 55.00	—	余量	—	—	5.00~10.00

(47) D717; D717A

说明: D717 是碳化钨堆焊焊条, 类似在有缝药芯焊丝外涂碱性低氢型药皮, 轧制钢带为 H08A, 直径为 $\Phi 3.2\text{mm}$, 内装粉末为粒度 60 ~ 80 目、重量 60% 以上的铸造碳化钨粉末, 直流反接, 具有良好焊接工艺性能, 脱渣方便, 电弧稳定, 宜使用较小电流。D717A 为无缝管状焊条。焊前焊条须经 300 ~ 350 $^{\circ}\text{C}$, 烘干 1 小时。堆焊结构复杂或尺寸较大零件时须预热。

用途: 适用于堆焊承受岩石强烈磨损的牙轮钻头的牙爪背部、鼓风机叶片、强力采煤滚筒、榨糖机轧辊、混凝土搅拌机叶片等机械零件, 堆焊层硬度 \geq HRC60。

D717、D717A 熔敷金属化学成分见表 2-271。

表 2-271 D717、D717A 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	W	其他元素 总量
保证值	1.50 ~4.00	≤ 3.00	≤ 4.00	≤ 3.00	≤ 3.00	≤ 7.00	50.00 ~70.00	≤ 3.00

(48) D802; D812; D822

说明: D802、D812、D822 是钛钙型药皮、钴铬钨合金焊芯的钴基堆焊焊条, 直流反接, 小电流、短弧操作, 堆焊金属在 650℃ 仍具有良好的耐磨性和耐蚀性。根据工件的大小和母材的种类, 焊前预热 300 ~ 600℃, 焊后 600 ~ 700℃ 回火、缓冷。焊前焊条须经 150℃ 烘干 1 小时。

用途: D802 适用于堆焊使用温度 650℃、要求具有良好耐磨性能和耐腐蚀性能的高温高压阀门、热剪切刀刃等零件, 堆焊层硬度 \geq HRC40。D812 适用于堆焊高温高压阀门、高压泵的轴套筒和内衬套筒以及化纤设备的斩刀刃口等零件, 堆焊层硬度 \geq HRC44。D812 适用于堆焊牙轮钻头、锅炉的旋转叶轮、粉碎机刃口、螺旋送料机等零件的磨损部位, 堆焊层硬度 \geq HRC53。

D802、D812、D822 熔敷金属化学成分见表 2-272。

表 2-272 D802、D812、D822 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	W	Fe	Co	其他元素总量	
保证值	D802	0.70 ~1.40	\leq 2.00	\leq 2.00	25.00 ~32.00	3.00 ~6.00	\leq 5.00	余量	\leq 4.00
	D812	1.00 ~1.70	\leq 2.00	\leq 2.00	25.00 ~32.00	7.00 ~10.00	\leq 5.00	余量	\leq 4.00
	D822	1.75 ~3.00	\leq 2.00	\leq 2.00	25.00 ~33.00	11.00 ~19.00	\leq 5.00	余量	\leq 4.00

(49) D842

说明: D842 是钛钙型药皮、低碳钴铬钨合金焊芯的钴基堆焊焊条, 直流反接, 小电流、短弧操作, 堆焊金属在 800℃ 仍具有良好的抗热疲劳性和耐蚀性。根据工件的大小和母材的种类, 焊前预热 200 ~ 400℃, 焊后缓冷, 焊道长度不宜超过 70mm。焊前焊条须经 150℃ 烘干 1 小时。

用途:适用于堆焊高温使用、受冲击和冷热交错的热锻模、阀门密封面等工件,堆焊层硬度 HRC28 ~ HRC35。

D842 熔敷金属化学成分见表 2-273。

表 2-273 D842 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	W	Fe	Co	其他元素总量
保证值	0.20~0.50	≤2.00	≤2.00	23.00~32.00	≤9.50	≤5.00	余量	≤7.00

(50) D916

说明:D916 是含碳化硼的耐磨粒磨损堆焊焊条,交直流两用,具有良好的抗磨粒磨损性能。当焊接结构复杂部件或厚大件时,焊前应进行预热。焊前焊条须经 300 ~ 350℃烘干 1 小时。

用途:适用于堆焊承受剧烈磨粒磨损的排风机叶轮、泥浆泵、煤矿溜槽等工件,堆焊层硬度 ≥HRC64。

D916 熔敷金属化学成分见表 2-274。

表 2-274 D916 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Cr	B	其他元素总量
保证值	2.00 ~ 3.00	≤5.00	1.50 ~ 2.50	≤5.00

(51) D007; D017; D027

说明:D007、D017、D027 是模具堆焊焊条,具有优良的焊接工艺性能,电弧稳定。D007 焊缝金属为铁素体 + 碳化物弥散组织,具有优良的抗裂性能。D017 焊缝金属为马氏体 + 碳化物弥散组织,有良好的抗裂纹性能。D027 堆焊时尽量采用短弧小电流。D007、D017、D027 焊前焊条须经 300 ~ 350℃烘干 1 小时。一般工件焊前不用预热,焊前必须清除工件上的铁锈、油污、水分等杂物。

用途:D007 适用于焊接灰铸铁、球墨铸铁、合金铸铁,多用于

大型铸铁压延模、铸铁成型模及其他铸铁模具的堆焊、补焊,堆焊层硬度 \geq HBS180。D017 适用于灰铸铁、球墨铸铁、合金铸铁切边模具刃口的堆焊及补焊,堆焊层硬度 \geq HRC53。D027 适用于各种大中型冲裁修边模的剪切刃口的堆焊和修复,堆焊层硬度 \geq HRC55。

D007、D017、D027 熔敷金属化学成分见表 2-275。

表 2-275 D007、D017、D027 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Cr	Si	Mn	Mo	V	B	S	P	
保证值	D007	\leq 0.25	—	\leq 1.00	2.00 ~3.00	2.00 ~3.00	5.00 ~8.00	\leq 0.15	\leq 0.030	\leq 0.030
	D017	2.00 ~3.00	0.28 ~0.35	5.50 ~7.50	1.00 ~2.00	0.60 ~1.50	—	—	—	\leq 0.040
	D027	\leq 0.45	\leq 5.50	\leq 2.80	—	\leq 0.50	\leq 0.50	—	—	—

(52) D036

说明: D036 是低氢钾型药皮的冲模刃口堆焊焊条, 交直流两用。具有优良的焊接工艺性能,堆焊层组织及硬度稳定性良好,堆焊工艺简单,焊前不预热,焊后不需热处理,层间温度控制在 200℃ 以下。堆焊时不采用多层连续焊,避免摆动太宽,收弧时必须填满弧坑。焊前焊条须经 300 ~ 350℃,烘干 1 小时。

用途:适用于制造和修复冲模(在碳钢基体上堆焊形成冲模刃口),并可修复要求耐磨性能较好的机械零件。焊后空冷堆焊层硬度 \geq HRC55。

D036 熔敷金属化学成分见表 2-276。

表 2-276 D036 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Cr	Si	Mn	Mo	V
保证值	0.50~0.70	5.00~6.00	0.60~0.80	0.60~0.90	1.50~2.00	\leq 0.50

(53) D047

说明: D047 是低氢钠型药皮的辊压机硬面堆焊焊条, 直流反接, 具有良好的焊接工艺性能, 可不预热焊接, 堆焊金属具有优良的抗裂性能、抗挤压性能和抗磨粒磨损性能。焊前焊条须经 300 ~ 350℃ 烘干 1 小时。焊前须清除工件表面疲劳层及其他杂质。

用途: 适用于堆焊辊压机挤压辊及其他耐挤压磨损的机械零件。堆焊层硬度 \geq HRC55。

D047 熔敷金属化学成分见表 2-277。

表 2-277 D036 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Cr	Si	Mo	其他元素总量
保证值	≤ 1.70	4.00 ~ 7.00	≤ 3.00	1.50 ~ 3.00	≤ 10.00

七、铸铁焊条

铸铁焊条的生产、验收执行 GB 10044—1988《铸铁焊条和焊丝》，该标准规定了堆焊焊条型号分类、技术要求、试验方法及检验规则等内容。

1. 铸铁焊条选用说明

铸铁是含碳量大于 2% 的铁碳合金。由于铸铁的含碳量高, 其组织不均匀、塑性低、焊接性差, 在焊接过程中极易产生白口组织、裂纹和气孔等缺陷, 因此铸铁焊接一般应采取必要的技术措施, 对焊工操作技能也有较高的要求。焊接铸铁的常用工艺有热焊法和冷焊法。

(1) 铸铁焊条的选用主要根据被焊铸铁材料类型、工件的质量要求、不同的切削加工要求、焊接生产条件、经济性等多方面因素进行选择。

1) 铸铁热焊和铸铁半热焊可以选用铸铁芯的同质焊缝焊接

材料，如 EZC (Z248)、EZCQ (Z258) 焊条；也可选用低碳钢芯的异质焊缝焊接材料，如 EZFe-2 (Z100)、EZC (Z208)、EZCQ (Z238) 焊条。

2) 铸铁冷焊一般采用异质焊缝焊接材料，即焊缝化学成分与母材成分不相同，包括钢基、镍基和铜基三类焊接材料。如钢基焊条 EZV (Z116、Z117)、EZFe-2 (Z122Fe)，镍基焊条 EZNi-1 (Z308)、EZNiFe-1 (Z408)，铜基焊条 EZNiCu-1 (Z508)。

镍基焊条的焊缝硬度低，半熔化区白口组织薄，且呈断续分布；镍基焊缝的颜色与铸铁母材接近，使用比较广泛，但采用镍基焊条生产成本高。

(2) 铸铁的焊接应采用以下焊接措施：

1) 清除焊接部位的油锈、泥砂、水等污物，并视缺陷类型制备坡口、钻止裂孔及栽丝等准备措施。

2) 采用铸铁热焊工艺，应将工件预热 500 ~ 600℃ 之间，选用适当电流，连续施焊，并合理控制焊接过程中的层间温度，焊后趁红热状态覆盖石棉粉或其他保温材料，进行缓慢冷却，以利于石墨析出。

3) 采用铸铁冷焊工艺，为避免母材熔化过多，减少白口组织区域，尽量采用小电流、短弧操作、窄焊道、短焊道（每段焊道长度一般不超过 50mm）、断续焊、分散焊等措施，及时锤击焊缝，控制焊接过程中的层间温度低于 60℃。

4) 收弧时注意填满弧坑，防止出现弧坑裂纹。

5) 选择合理的焊接方向和顺序。

6) 可使用镶块焊接法，即在裂纹密集处或焊接填充量较大位置，可以将该部位清除，并镶入低碳钢板或其他焊接性能较好的材料，改变焊缝分布位置。

7) 可在焊接坡口面使用栽丝法，就是在母材坡口面上钻孔、攻丝，将低碳钢螺钉拧入，以螺钉为中心进行焊接，可以防止焊

缝从母材上剥离,并提高承受冲击载荷的能力,多用于厚大铸铁件焊接。

国内常用的铸铁焊条的牌号见表 2-278。

表 2-278 国内常用的铸铁焊条牌号

牌 号	焊条型号		
	中国(GB)	美国(AWS)	日本(JIS)
Z122Fe	EZFe-2	—	—
Z116; Z117	EZV	—	—
Z208	EZC	EC1	DFCC1
Z208DF; Z248	EZC	—	—
Z238; Z238DF; Z238SnCu; Z258; Z238F; Z268	EZCQ	—	—
Z308	EZNi-1	ENi-C1	DFCNi
Z408	EZNiFe-1	ENiFe-C1	DFCNiFe
Z408A	EZNiFeCu	—	—
Z438	EZNiFe-1	—	—
Z508	EZNiCu-1	ENiCu-B	DFCNiCu
Z607	—	—	—
Z612	—	—	—

2. 常用的铸铁焊条介绍

(1) Z116; Z117

说明: Z116、Z117 是低氢钠型药皮、低碳钢芯的高钒铸铁焊条,焊缝组织为铁素体 + 弥散状钒碳化物,属于钢类型,具有较好的抗裂性能,焊前工件不用预热,焊后可以进行切削加

工，但加工性能不如 Z308 Z408 Z508。Z116 交直流两用，Z117 采用直流反接。采用小电流、多层焊。焊条焊前须经 300℃ 烘干 1 小时。

用途：适用于焊接修复汽车缸体 机架齿轮箱等铸铁零件的缺陷，焊接高强度铸铁及球墨铸铁。

Z116、Z117 熔敷金属化学成分见表 2-279。

表 2-279 Z116、Z117 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	V	S	P	Fe
保证值	≤0.25	≤1.50	≤0.70	8.0~13.0	≤0.040	≤0.040	余量

(2) Z122Fe

说明：Z122Fe 是钛钙型药皮、低碳钢芯的铁粉冷焊铸铁焊条，交直流两用，电弧稳定，飞溅少，脱渣容易，焊缝成形美观，具有良好的抗裂性能和工艺性能。药皮加入大量铁粉，采用冷焊工艺，焊缝与铸铁熔合较好，但熔合区硬度高。焊条焊前须经 150℃ 烘干 1 小时。

用途：适用于焊接修复各种灰铸铁件非加工面。熔敷金属硬度 ≤HBS350。

(3) Z208

说明：Z208 是强石墨化型药皮、低碳钢芯的铸铁焊条，交直流两用。焊缝缓冷时可形成灰铸铁，但抗裂性能较差。焊条焊前须经 150℃ 烘干 1 小时。刚性不大的小型铸铁件焊接时，可以不预热，而一般铸铁件焊接时，预热 400℃，焊后保温缓冷。对于承受压力及冲击的重要铸件结构，不宜采用此焊条。

用途：适用于焊接修复灰铸铁工件。

Z208 熔敷金属化学成分见表 2-280。

表 2-280 Z208 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P	Fe
保证值	2.00~4.00	≤0.75	2.50~6.50	≤0.040	≤0.040	余量

(4) Z208DF

说明:Z208DF 是强石墨化型药皮、低碳钢芯的铸铁焊条,交直流两用。焊缝易形成铁素体,采用冷焊工艺时焊接接头具有优良的抗裂性能和切削加工性。焊条焊前须经 250℃烘干 1 小时。对于大尺寸缺陷可采用分区焊接法。

用途:适用于冷焊、半热焊或热焊工艺,焊接修复灰铸铁件中加工面和非加工面的各类缺陷。

Z208DF 熔敷金属化学成分见表 2-281。

表 2-281 Z208DF 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P	Fe	其他元素总量
保证值	3.50 ~ 4.00	0.40 ~ 0.75	3.50 ~ 4.00	≤ 0.020	≤ 0.050	余量	≤ 1.00

(5) Z238; Z238DF; Z238SnCu

说明:Z238、Z238DF、Z238SnCu 是强石墨化型药皮、低碳钢芯的球墨铸铁焊条,可交直流两用,焊条焊前须经 250℃烘干 1 小时。

Z238 由于加入一定量的球化剂,在缓冷过程中熔敷金属的石墨呈球状析出。焊前工件预热 500℃左右,焊后保温缓冷,焊接部位有可能进行切削加工。工件正火处理规范:加热 900 ~ 920℃,炉冷至 730 ~ 750℃,出炉空冷。工件退火处理规范:加热 900 ~ 920℃,炉冷至 100℃以下。

Z238DF 采用冷焊工艺, 加入特殊球化剂和强铁素体化元素, 具有良好的抗裂性和力学性能。用气割或切削加工方法清理铸件缺陷时, 应将缺陷区扩大到 $\Phi 30\text{mm}$ 以上, 连续焊满, 焊后锤击焊接区。工件正火处理规范: 加热 $900 \sim 920^{\circ}\text{C}$, 炉冷至 $730 \sim 750^{\circ}\text{C}$, 出炉空冷。工件退火处理规范: 加热 $900 \sim 920^{\circ}\text{C}$, 炉冷至 100°C 以下。

Z238SnCu 由于加入一定量的球化剂及锡铜强化元素, 熔敷金属具有球化稳定、力学性能高等特点, 大型构件焊前应预热, 焊后保温缓冷, 采用分段焊。工件正火处理规范: 加热 920°C , 炉冷至 $850 \sim 880^{\circ}\text{C}$ 。工件退火处理规范: 加热 920°C , 炉冷至 $600 \sim 750^{\circ}\text{C}$ 。

用途: Z238 适用于焊接修复球墨铸铁件。Z238DF 适用于冷焊各类球墨铸铁件加工面和非加工面。Z238SnCu 适用于焊接修复球墨铸铁、蠕墨铸铁、合金铸铁、可锻铸铁及灰铸铁。

Z238、Z238DF、Z238SnCu 熔敷金属化学成分见表 2-282。

表 2-282 Z238、Z238DF、Z238SnCu 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P	Fe	球化剂	其他元素总量	
保证值	Z238	3.20 ~4.20	\leq 0.80	3.20 ~4.00	\leq 0.10	\leq 0.15	余量	0.04 ~0.15	\leq 1.00
	Z238DF	3.20 ~4.20	\leq 0.80	3.20 ~4.00	\leq 0.02	\leq 0.06	余量	0.04 ~0.15	\leq 1.00
	Z238SnCu	3.50 ~4.00	\leq 0.80	\leq 3.50	\leq 0.02	\leq 0.05	余量	—	—

(6) Z248

说明: Z248 是强石墨化型药皮、铸铁芯的铸铁焊条, 交直流两用。由于石墨化能力较强, 熔敷金属与母材在组织上、性能上、颜色上基本相同。焊条焊前须经 200°C 烘干 1 小时。采用冷焊工艺时, 应将缺陷清除干净, 较大电流连续施焊, 焊缝高出母材

表面 5 ~ 8mm, 并趁红热状态覆盖保温材料, 使焊接区缓冷, 以防止开裂及白口组织产生。对于大尺寸缺陷可采用预热焊或加热减应焊法。

用途: 适用于焊接修复灰铸铁工件。

Z248 熔敷金属化学成分见表 2-283。

表 2-283 Z248 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P	Fe
保证值	2.00~4.00	≤0.75	2.50~6.50	≤0.10	≤0.15	余量

(7) Z258

说明: Z258 是强石墨化型药皮、铸铁芯的球墨铸铁焊条, 交直流两用。采用钇稀土或镁进行球化, 球化能力较强, 熔敷金属与母材在组织上、性能上、颜色上基本相同。焊条焊前须经 200℃ 烘干 1 小时。采用冷焊工艺时, 应将缺陷清除干净, 较大电流连续施焊, 焊缝高出母材表面, 并趁红热状态覆盖保温材料, 使焊接区缓冷, 以防止开裂及白口组织产生。对于大尺寸缺陷可采用预热焊或加热减应焊法。

用途: 适用于焊接修复球墨铸铁工件。

Z258 熔敷金属化学成分见表 2-284。

表 2-284 Z258 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P	Fe	球化剂	其他元素总量
保证值	3.20 ~ 4.20	≤ 0.80	3.20 ~ 4.00	≤ 0.10	≤ 0.15	余量	0.04 ~ 0.15	≤ 1.00

(8) Z238F; Z268

说明: Z238F、Z268 是强石墨化型药皮、低碳钢芯的球墨铸

铁焊条，交直流两用。加入特殊球化剂，熔敷金属具有较好的抗裂性能和力学性能，其颜色、硬度与母材相似。焊条焊前须经 250 ~ 300℃ 烘干 1 小时。采用冷焊工艺时，应将缺陷清除干净，较大电流连续施焊，焊缝高出母材表面，并趁红热状态覆盖保温材料，使焊接区缓冷，以防止开裂及白口组织产生。对于大尺寸缺陷可采用预热焊或加热减应焊法。采用大电流，摆动操作，连续施焊，并高出母材表面，焊补处高出母材 5mm。对于刚性较大的部件，应采取局部预热焊及加热减应焊法，焊后保温缓冷等措施。

用途：适用于焊接各种球墨铸铁、高强度灰铸铁。

Z238F、Z268 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-285、表 2-286。

表 2-285 Z238F、Z268 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P	Fe	球化剂
保证值	≤3.20	≤0.50	≤4.00	≤0.02	≤0.05	余量	适量

表 2-286 Z238F、Z268 熔敷金属力学性能

试验项目	热处理状态	R_m (MPa)	A (%)	硬度 (HBS)
保证值	正火	≥590	≥2	200 ~ 250
	退火	≥410	≥10	160 ~ 230
	焊态	≥490	≥1	180 ~ 280

(9) Z308

说明：Z308 是强还原性石墨化型药皮、纯镍焊芯的铸铁焊条，交直流两用。采用冷焊工艺时，工件不预热，熔敷金属具有良好的抗裂性能和加工性能；镍价格昂贵，一般在其他焊条不能满足要求时选用。通过锤击焊缝消除焊接区应力，避免裂纹。焊条焊前须经 150℃ 烘干 1 小时。

用途:适用于焊接铸铁薄件及加工要求的工件,如汽缸盖、发动机座、齿轮箱以及机床导轨等重要灰铸铁件。

Z308 熔敷金属化学成分见表 2-287。

表 2-287 Z308 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P	Fe	其他元素总量
保证值	≤2.00	≤1.00	≤2.50	≤0.030	≥90.0	≤8.0	≤1.00

(10) Z408; Z408A

说明: Z408 是强还原性石墨化型药皮、镍铁合金焊芯的铸铁焊条。Z408A 是强还原性石墨型药皮、镍铁铜合金焊芯的铸铁焊条。Z408、Z408A 交直流两用,电弧稳定,具有强度高、塑性好、线膨胀系数、低母材的熔合性能好等特点。Z408 焊接灰铸铁时抗裂性与 Z308 相当,焊接球墨铸铁时抗裂性比 Z308 好。Z408 与 Z408A 的切削加工性能相近,稍差于 Z308 和 Z508。用于不预热或低温预热 (≤200℃) 焊接灰铸铁及球墨铸铁。焊条焊前须经 150℃ 烘干 1 小时。

用途:适用于焊接汽缸、发动机座、齿轮等重要的高强度灰铸铁及球墨铸铁。

Z408、Z408A 熔敷金属化学成分见表 2-288。

表 2-288 Z408、Z408A 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	Cu	Ni	Fe	其他元素总量
保证值	≤2.00	≤1.80	≤2.50	≤0.030	—	45.0~60.0	余量	≤1.00
	≤2.00	≤1.50	≤2.00	≤0.030	4.0~10.0	45.0~60.0	余量	≤1.00

(11) Z438

说明: Z438 是石墨化型药皮、镍铁合金焊芯的铸铁焊条,交直

流两用。由于加入一定量球化剂,熔敷金属具有良好的抗裂性能和加工性能。焊后锤击焊接区,以降低应力。焊条焊前须经 250℃烘干 1 小时。

用途:适用于焊接球墨铸铁、高强度灰铸铁工件的加工面和非加工面。

Z438 熔敷金属化学成分见表 2-289。

表 2-289 Z438 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	Ni	球化剂
保证值	≤2.50	≤1.80	≤3.00	≤0.035	45.0~60.0	适量

(12) Z508

说明: Z508 是强还原性石墨化型药皮、镍铜合金(蒙乃尔)焊芯的铸铁焊条,交直流两用,电弧稳定。其焊接工艺性能及切削加工性能与 Z308 相近,但由于收缩率较大,抗裂性能差。焊接接头强度较低,所以不宜用于受力部位的焊接。可用于常温或低温预热(至 300℃左右)的灰口铸铁的焊接。焊接操作以窄焊道为宜,每次焊缝的长度不宜超过 50mm,焊后立即锤击焊缝,以消除焊接区应力。焊条焊前须经 150℃烘干 1 小时。

用途:适用于焊接强度要求不高的灰铸铁件。

Z508 熔敷金属化学成分见表 2-290。

表 2-290 Z508 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	Ni	Cu	Fe	其他元素总量
保证值	≤1.00	≤2.50	≤0.80	≤0.025	60.0~70.0	24.0~35.0	≤6.0	≤1.00

(13) Z607; Z612

说明: Z607 是低氢型药皮、紫铜焊芯的铸铁焊条。Z612 是钛钙

型药皮、铜包钢焊芯的铸铁焊条。Z607、Z612 交直流两用,抗裂性良好,焊后应锤击焊缝,单层焊与铸铁熔合较好,但熔敷金属硬度不均匀,半熔化区硬度高,不宜进行多层焊。焊条焊前须经 120℃烘干 1 小时。Z607 焊缝不能进行切削加工。Z612 切削加工性能一般。

用途:适用于焊接修复汽缸体等一般灰铸铁非加工面。

Z607、Z612 熔敷金属化学成分见表 2-291。

表 2-291 Z607、Z612 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	Fe	Cu
保证值	≤30.0	余量

八、镍及镍合金焊条

镍及镍合金焊条的生产、验收执行 GB/T 13814—1992《镍及镍合金焊条》规定,标准规定了相应的镍及镍合金焊条型号分类、技术要求、试验方法及检验规则等内容。

1. 镍及镍合金焊条选用说明

(1) 镍及镍合金焊条主要用于焊接镍及高镍合金,也可用于异种金属的焊接及堆焊,焊接接头的坡口尺寸及焊接工艺接近镍铬奥氏体钢。镍及镍合金焊条的选用主要根据被焊材料类型、工件的质量要求、焊接生产条件、经济性等多方面因素进行选择。

(2) 镍及镍合金的焊接时应注意以下问题,并采用相应的焊接措施:

1) 镍及镍合金的导热性差,焊接时容易过热引起晶粒长大,因此焊接操作时应选用较小的焊接电流,焊接操作不做横行摆动,注意填满焊接弧坑,控制较低的层间温度。

2) 镍非常容易被硫和铅脆化,形成热裂纹,所以必须严格控制焊条的硫、铅等含量,同时焊前应认真清理母材表面的油污、油

漆、灰尘等杂物。

3) 镍及镍合金焊接时气孔敏感性强,因此焊条中含有适量的铝、钛、锰、镁等脱氧剂,操作时注意控制电弧的长度。

国内常用的镍及镍合金焊条的牌号见表 2-292。

表 2-292 国内常用的镍及镍合金焊条牌号

牌 号	焊条型号		
	中国 (GB)	美国 (AWS)	日本 (JIS)
Ni102	ENi-0	—	—
Ni112	ENi-0	ENi-1	DNi-1
Ni202;Ni207	ENiCu-7	ENiCu-7	—
Ni307	ENiCrMo-0	—	—
Ni307A;Ni307B	ENiCrFe-3	ENiCrFe-3	DNiCrFe-3-15
Ni317	—	—	—
Ni327	—	—	—
Ni337	—	—	—
Ni347	ENiCrFe-0	—	—
Ni357	ENiCrFe-2	ENiCrFe-2	—

2. 常用的镍及镍合金焊条介绍

(1) Ni102

说明: Ni102 是钛钙型药皮的纯镍焊条,交直流两用,与母材具有良好的熔合性能,焊缝金属具有较好的抗裂性能、力学性能及耐热、耐蚀性能。焊条焊前须经 150℃ 烘干 1 小时。X 射线探伤合格级别 II 级。

用途:适用于焊接化工设备、食品工业、医疗器材中的镍基合

金和双金属,也可作为异种金属的过渡层焊条。

Ni102 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-293、表 2-294。

表 2-293 Ni102 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Ni	Fe	Ti	Nb	Al	S	P
保证值	≤0.06	≤2.50	≤1.50	≥92.0	≤4.50	≤1.50	≤2.50	≤0.50	≤0.015	≤0.015

表 2-294 Ni102 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	A (%)
保证值	≥410	≥20

(2) Ni112

说明: Ni112 是钛钙型药皮的纯镍焊条,交直流两用,与母材具有良好的熔合性能,焊缝金属具有较好的抗裂性能、力学性能及耐热、耐蚀性能。焊条焊前须经 150℃烘干 1 小时。

用途:适用于焊接化工设备、食品工业、医疗器材中的镍基合金和双金属,也可作为异种金属的过渡层焊条。

Ni112 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-295、表 2-296。

表 2-295 Ni112 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Ni	Fe	Ti	Nb	S	P
保证值	≤0.04	≤1.50	≥92.0	≤3.00	≤0.50	≤1.00	≤0.005	≤0.005

表 2-296 Ni112 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)
保证值	≥410

(3) Ni202

说明: Ni202 是钛钙型药皮的镍铜合金焊条, 交直流两用。由于熔敷金属含有适量的锰、铌等合金元素, 具有良好的抗裂性能。焊条焊前须经 150℃ 烘干 1 小时。X 射线探伤合格级别 II 级。

用途: 适用于焊接镍铜合金与异种钢, 也可用作过渡层堆焊材料。

Ni202 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-297、表 2-298。

表 2-297 Ni202 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Ni	Fe	Ti	Nb	Al	Cu	S	P
保证值	≤ 0.15	≤ 4.00	≤ 1.50	62.0 ~69.0	≤ 2.50	≤ 1.00	≤ 2.50	≤ 0.75	余量	≤ 0.015	≤ 0.020
一般值	0.04	2.10	0.48	65.0	2.41	0.17	1.98	0.50	28.1	0.004	0.004

表 2-298 Ni202 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	A (%)
保证值	≥480	≥30

(4) Ni207

说明: Ni207 是低氢型药皮的蒙乃尔合金焊条, 直流反接, 焊接工艺性能良好。焊缝金属具有良好的抗裂性能。焊条焊前须经 300℃ 烘干 2 小时。X 射线探伤合格级别 II 级。

用途: 适用于焊接蒙乃尔合金或异种钢, 也可用作过渡层堆焊材料。

Ni207 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-299、表 2-300。

表 2-299 Ni207 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Ni	Fe	Nb	Cu	S	P
保证值	≤ 0.15	≤ 4.00	≤ 1.50	62.0 ~69.0	≤ 2.50	≤ 2.50	余量	≤ 0.015	≤ 0.020
一般值	0.05	3.00	0.60	65.0	2.50	1.90	28.0	0.010	0.005

表 2-300 Ni207 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	A (%)
保证值	≥480	≥30

(5) Ni307

说明：Ni307 是低氢型药皮的镍铬耐热耐蚀合金焊条，直流反接。由于熔敷金属中有一定量钼、铌等合金元素，具有较好的抗裂性能。焊条焊前须经 250℃ 烘干 1 小时。

用途：适用于焊接耐热、耐蚀的镍基合金，也可用于一些难焊合金、异种钢的焊接及堆焊。

Ni307 熔敷金属化学成分、力学性能分别见表 2-301、表 2-302。

表 2-301 Ni307 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Ni	Cr	Mo	Fe	Nb
保证值	≤0.05	≤70.0	≤15.0	≤7.00	2.0 ~ 6.0	3.0 ~ 5.0

表 2-302 Ni307 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	A (%)
保证值	≥620	≥20

(6) Ni307A; Ni307B

说明: Ni307A、Ni307B 是低氢型药皮的镍铬耐热耐蚀合金焊条, 直流反接。由于熔敷金属中有一定量锰、铌等合金元素, 具有较好的抗裂性能。Ni307A 焊条焊前须经 300℃ 烘干 1 小时。Ni307B 焊条焊前须经 250℃ 烘干 1 小时。

用途: 适用于焊接耐热、耐蚀的镍基合金, 也可用于一些难焊合金、异种钢的焊接及堆焊。

Ni307A、Ni307B 熔敷金属化学成分、力学性能分别见表 2-303、表 2-304。

表 2-303 Ni307A、Ni307B 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Ni	Cr	Fe	Cu	Ti	Nb	S	P	其他元素总量
保证值	≤ 0.10	5.0~9.5	≤ 1.0	≥ 59.0	13.0~17.0	≤ 10.0	≤ 0.50	≤ 1.0	1.0~2.5	≤ 0.015	≤ 0.030	≤ 0.50

表 2-304 Ni307A、Ni307B 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	A (%)
保证值	≥ 550	≥ 30

(7) Ni317

说明: Ni317 是低氢型药皮的镍铬钼合金焊条, 直流反接。由于熔敷金属中含有较高的钼元素, 具有较好的抗裂性能。焊条焊前须经 250℃ 烘干 1 小时。

用途: 适用于焊接镍基合金及铬镍奥氏体钢, 也可用于异种钢焊接。

Ni317 熔敷金属化学成分、力学性能分别见表 2-305、表 2-306。

表 2-305 Ni317 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Nb	S	P
保证值	≤ 0.07	0.50 ~1.70	≤ 0.50	13.5 ~16.5	68.0 ~78.0	8.5 ~11.0	0.20 ~0.80	≤ 0.012	≤ 0.020

表 2-306 Ni317 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	A (%)
保证值	≥600	≥28

(8) Ni327

说明: Ni327 是低氢型药皮的镍铬耐热合金焊条, 采用直流反接。由于熔敷金属中含有一定量钼、铌等合金元素, 具有较好的抗裂性能。焊条焊前须经 250℃烘干 1 小时。X 射线探伤合格级别 II 级。

用途: 适用于焊接耐热、耐蚀镍基合金, 也可用于异种钢的焊接及堆焊。

Ni327 熔敷金属化学成分、力学性能分别见表 2-307、表 2-308。

表 2-307 Ni327 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Fe	Nb+Ta	S	P	其他元素总量
保证值	≤ 0.05	1.00 ~5.00	≤ 0.75	13.0 ~17.0	余量	3.0 ~7.5	4.0 ~8.0	1.50 ~5.50	≤ 0.015	≤ 0.040	≤ 0.50

表 2-308 Ni327 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	A (%)
保证值	≥620	≥20

(9) Ni337; Ni347

说明: Ni337、Ni347 是低氢型药皮的镍铬耐热耐蚀合金焊条, 直流反接, 焊接工艺性能良好, 焊接操作采用窄道焊, 不摆动。熔敷金属中含有一定的钼、铌等合金元素, 具有较好的抗裂性及耐磨、耐蚀性能。焊条焊前须经 250~280℃ 烘干 1~2 小时。焊前须清除工件表面的水分、油污、氧化物等杂质。层间温度控制在 100~150℃。

用途: Ni337 适用于核反应堆压力容器密封面堆焊及塔内结构件焊接。Ni347 适用于核电站稳压器、蒸发器管板接头的焊接。Ni337、Ni347 也可用于复合钢、异种钢以及同类型的镍基合金的焊接。

Ni337、Ni347 熔敷金属化学成分、力学性能分别见表 2-309、表 2-310。

表 2-309 Ni337、Ni347 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Fe	Nb	Co	Al	S	P	
一般值	Ni337	0.035	2.30	0.28	15.76	余量	4.80	6.28	3.72	0.03	—	0.005	0.005
	Ni347	0.04	4.65	0.13	18.55	余量	—	5.92	2.58	0.02	0.06	0.003	0.004

表 2-310 Ni337、Ni347 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	A (%)	硬度 (HBS)	焊后热处理
一般值	Ni337	—	248	530℃ × 2h 炉冷
	Ni347	38	—	+ 610℃ × 2h 空冷

(7) Ni357

说明: Ni357 是低氢型药皮的镍铬合金焊条, 采用直流反接。由于熔敷金属中含有一定量的锰、钼和铌等合金元素, 具有较好的

抗裂性能。焊条焊前须经 250℃烘干 1 小时。

用途：适用于焊接耐热、耐蚀的镍基合金，也可用于异种钢焊接或过渡层堆焊。

Ni357 熔敷金属化学成分、力学性能分别见表 2-311、表 2-312。

表 2-311 Ni357 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Fe	Nb+Ta	Cu	S	P
保证值	≤ 0.10	1.00 ~3.50	≤ 0.75	13.0 ~17.0	≥ 62.0	0.5 ~2.5	≤ 12.0	0.50 ~3.00	≤ 0.50	≤ 0.020	≤ 0.030

表 2-312 Ni357 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	A (%)	冷弯 (d=2a $\alpha=180^\circ$)
保证值	≥550	≥30	合格

九、铜及铜合金焊条

铜及铜合金焊条的生产、验收执行 GB 3670—1983《铜及铜合金焊条》，标准规定了相应的铜及铜合金焊条型号分类、技术要求、试验方法及检验规则等内容。

1. 铜及铜合金焊条选用说明

(1) 铜及铜合金焊条的使用特点

1) 纯铜焊条仅用于焊接纯铜，铜合金焊条主要用于焊接化学成分相对应的铜合金。

2) 常用青铜类焊条焊接各种铜及铜合金、铜与钢的异种材料等。

3) 由于铜合金具有优良的耐磨性，常用于堆焊承受金属间摩擦磨损的轴承、锤杆、轴瓦、滑块等零件。

4) 由于铜合金具有良好的耐蚀性,也常用于堆焊耐海水或其他介质腐蚀的水处理设备零件。

5) 铜合金焊条也可用于焊接铸铁、镍基合金等金属。

(2) 铜及铜合金的焊接时,易产生金属氧化、合金元素蒸发,以及气孔、裂纹、变形等缺陷,应注意以下问题,并采用相应的焊接措施。

1) 铜的热膨胀系数大,在凝固过程中会产生较大的收缩应力,造成裂纹和变形,所以装配间隙和坡口角度都比较大,还可以采取多点定位焊。

2) 由于铜及铜合金的导热系数特别高,焊前须预热并采用较大的焊接电流。

3) 焊接铜及铜合金时,应保证施工环境的空气流通,或者采用人工通风换气,防止重金属的中毒。

4) 铜及铜合金焊接后,焊接接头晶粒粗大。焊后应对焊缝进行锤击,降低焊接应力,使焊缝致密、晶粒细化。

5) 铜及铜合金非常容易氧化,为了获得质量优良的焊缝,焊前应清除母材焊接区域的氧化物、油脂及其他污物。

6) 铜及铜合金焊条焊前须经 200 ~ 350℃烘干 1 ~ 2 小时。

国内常用的铜及铜合金焊条的牌号见表 2-313。

表 2-313 国内常用的铜及铜合金焊条牌号

牌 号	焊条型号		
	中国(GB)	美国(AWS)	日本(JIS)
T107	ECu	ECu	ECu
T207	ECuSi-B	ECuSi	DCuSiB
T227	ECuSn-B	ECuSn-C	DCuSnB
T237	ECuAl-C	—	DCuAl
T307	ECuNi-B	ECuNi	DCuNi-3

2. 常用的铜及铜合金焊条介绍

(1) T107

说明：T107 是低氢型药皮的纯铜焊条，直流反接，电弧稳定。焊接操作采用短弧和往复直线运条，焊缝成形美观，焊缝金属具有较好的力学性能和良好的耐大气、耐海水腐蚀能力。焊条焊前须经 200℃ 烘干 1 小时。工件预热温度在 400 ~ 500℃ 之间，焊前清除表面的水分、油污、氧化物等杂物，多层焊时及时清渣，焊后锤击焊缝。

用途：适用于焊接导电铜排、铜制热交换器、船舶用海水导管等铜和铜合金结构，也用于堆焊耐海水腐蚀的碳钢零件。不宜焊接含氧铜及电解铜等材料。

T107 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-314、表 2-315。

表 2-314 T107 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	Cu	Mn	Si	P	Pb	Fe + Al + Ni + Zn
保证值	≥95.0	≤3.00	≤0.50	≤0.30	≤0.02	≤0.50

表 2-315 T107 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	A (%)
保证值	≥170	≥20

(2) T207

说明：T207 是低氢型药皮的硅青铜焊条，直流反接，电弧稳定，焊缝成形美观，焊缝金属具有较好的力学性能，良好的耐无机酸（硝酸除外）、耐大部分有机酸及耐海水腐蚀能力。焊条焊前须经 350℃ 烘干 1 ~ 2 小时。焊接硅青铜或在钢上堆焊时，不需预热，焊接纯铜预热 450℃，焊接黄铜预热 300℃，焊前清

除表面的水分、油污、氧化物等杂物，多层焊时及时清渣，焊后锤击焊缝。

用途：适用于焊接纯铜、硅青铜及黄铜等材料，也用于堆焊化工机械的管道内衬。

T207 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-316、表 2-317。

表 2-316 T207 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	Cu	Mn	Si	P	Pb	Al + Ni + Zn
保证值	≥92.0	≤3.00	2.50~4.00	≤0.30	≤0.02	≤0.50

表 2-317 T207 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	A (%)
保证值	≥270	≥20

(3) T227

说明：T227 是低氢型药皮的锡磷青铜焊条，直流反接，焊接工艺性能良好，电弧稳定。焊缝金属具有较好的力学性能，同时具有耐冲击、耐磨损及耐腐蚀性能，通用性强。焊条焊前须经 200℃ 烘干 1 小时。焊接磷青铜预热 150 ~ 250℃，焊接纯铜预热 450℃，焊接碳钢预热 200℃，焊前清除表面的水分、油污、氧化物等杂物，焊后锤击焊缝。

用途：适用于焊接纯铜、黄铜、磷青铜等材料，也用于堆焊磷青铜轴衬、船舶推进器叶片，焊接修复铸铁件。

T227 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-318、表 2-319。

表 2-318 T227 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	Sn	P	Pb	Cu	Si + Mn + Fe + Al + Ni + Zn
保证值	7.0~9.0	≤0.30	≤0.02	余量	≤0.50

表 2-319 T227 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	A (%)
保证值	≥270	≥12

(4) T237

说明:T237 是低氢型药皮的铝锰青铜焊条,直流反接,焊缝金属具有优良的耐磨性及耐蚀性。焊条焊前须经 200℃烘干 1 小时。焊接铝青铜或在碳钢上的堆焊,薄件不需预热,厚件须预热 200℃,焊前清除工件表面的水分、油污、氧化物等杂物。

用途:适用于焊接铝青铜及其他铜合金等材料,用于制造各种化工机械、海水散热器、阀门;也用于铜合金与钢的焊接、铸铁的焊接修复,如水泵、汽缸的堆焊及船舶螺旋桨的焊接修复。

T237 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-320、表 2-321。

表 2-320 T237 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	Al	Mn	Si	Fe	Cu	Ni	Pb	Zn + Pb
保证值	6.5~10.0	≤2.0	≤1.0	≤1.50	余量	≤0.50	≤0.02	≤0.50

表 2-321 T237 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	A (%)
保证值	≥390	≥15

(5) T307

说明：T307 是低氢型药皮的铜镍合金焊条，直流反接，焊接操作采用短弧，电弧稳定，焊缝成形美观。焊条焊前须经 300℃ 烘干 1 小时。焊前工件若不预热，层间温度应低于 150℃。焊前清除工件表面的水分、油污、氧化物等杂物。

用途：适用于焊接 70%Cu-30%Ni 铜镍合金及异种材料。

T307 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-322、表 2-323。

表 2-322 T307 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	Ni	Mn	Si	Fe	Ti	P	Cu
保证值	29.0~33.0	≤2.50	≤0.5	≤2.50	≤0.5	≤0.020	余量

表 2-323 T307 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	A (%)
保证值	≥350	≥20

十、铝及铝合金焊条

铝及铝合金焊条的生产、验收执行 GB 3669—1983《铝及铝合金焊条》，标准规定了相应的铝及铝合金焊条型号分类、技术要求、试验方法及检验规则等内容。

1. 铝及铝合金焊条选用说明

(1) 铝及铝合金焊条的使用特点

1) 铝及铝合金焊条主要用于纯铝、铝锰、铸铝及部分铝镁合金结构的焊接。

2) 纯铝焊条主要用于焊接接头力学性能要求不高的铝及铝

合金。

3) 铝硅焊条的焊缝有较高的抗热裂性能,可用于焊接各种常见的铝及铝合金。

4) 铝锰焊条有较好的耐蚀性。

(2) 铝及铝合金的焊接时,易产生金属氧化、合金元素蒸发,以及气孔、裂纹等缺陷,应注意以下问题,并采用相应的焊接措施。

1) 由于铝及铝合金焊条的药皮主要由碱金属和碱土金属的氯化盐和氟化盐组成,电弧稳定性差,飞溅大,极易吸潮,焊前须经 150°C 烘干1~2小时。不用时焊条也要求储存在干燥密封容器内,以免药皮受潮、锈蚀、变质。

2) 由于铝及铝合金表面易形成熔点较高的氧化膜,焊前应清理坡口及其周围区域的氧化物、油脂及其他污物,可采用化学法清洗或机械法清除氧化膜,并在24小时内使用。焊缝上残留的熔渣必须用蒸气或热水洗刷干净,以免产生腐蚀。

3) 由于铝及铝合金焊条焊芯导热性能好,焊条熔化速度快,焊接速度比碳钢焊条高三倍左右,焊接操作有短弧快速的特点,对焊工的操作技能要求较高。

4) 由于铝及铝合金的高温强度很低,焊缝及其周围金属容易下塌,为了保证焊透而又不致塌陷,在焊接时应采用石墨、不锈钢或碳钢垫板,使熔化金属强制成形。

5) 为了保证与母材的熔合,铝及铝合金焊接坡口的装配间隙和坡口角度都比较大,当板厚小于3mm时,采用I型坡口,大于3mm时应开V型或X型坡口,坡口角度应大于 70° 。并可根据工件厚度,焊前预热 $200\sim 300^{\circ}\text{C}$,然后施焊。

6) 采用直流电源焊接时,焊条接正极,即直流反接。施焊过程中,焊条应垂直工件表面,电弧应尽量短。

国内常用的铝及铝合金焊条的牌号见表2-324。

表 2-324 国内常用的铝及铝合金焊条牌号

牌 号	焊条型号		
	中国(GB)	美国(AWS)	日本(JIS)
L109	TA1	E1100	—
L209	EAlSi	E4043	—
L309	EAlMn	E3003	—

2. 常用的铝及铝合金焊条介绍

(1) L109

说明:L109 是盐基型药皮的纯铝焊芯铝焊条,直流反接,焊接操作采用短弧、快速施焊。焊条焊前须经 150℃烘干 1 小时。可采用垫板,工件预热温度在 200 ~ 300℃之间,焊前清除表面的水分、油污、氧化物等杂物,并用蒸气或热水冲刷干净。

用途:适用于焊接铝板、纯铝容器。

L109 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-325、表 2-326。

表 2-325 L109 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	Si	Fe	Cu	Mn	Zn	Al	其他元素 总量
保证值	≤0.50	≤0.50	≤0.20	≤0.05	≤0.10	≥99.5	≤0.15

表 2-326 L109 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)
保证值	≥64

(2) L209

说明：L209 是盐基型药皮的铝硅合金焊芯铝合金焊条，直流反接，焊接操作采用短弧、快速施焊。该焊条应用广泛，焊缝金属具有良好的抗裂性能和一定的力学性能，焊条焊前须经 150℃ 烘干 1 小时。可采用垫板，工件预热温度在 200 ~ 300℃ 之间，焊前清除表面的水分、油污、氧化物等杂物，并用蒸气或热水冲刷干净。

用途：适用于焊接铝板、铝硅铸件、一般铝合金及锻铝、硬铝等材料，但不宜焊接铝镁合金。

L209 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-327、表 2-328。

表 2-327 L209 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	Si	Fe	Cu	Mn	Zn	Al	其他元素 总量
保证值	4.50~6.00	≤0.80	≤0.30	≤0.05	≤0.10	余量	≤0.15

表 2-328 L209 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)
保证值	≥118

(3) L309

说明：L309 是盐基型药皮的铝锰合金焊芯铝合金焊条，直流反接，焊接操作采用短弧、快速施焊。焊缝金属抗拉强度高于纯铝，耐蚀性能与纯铝接近。焊条焊前须经 150℃ 烘干 1 小时。可采用垫板，工件预热温度在 200 ~ 300℃ 之间，焊前清除表面的水分、油污、氧化物等杂物，并用蒸气或热水冲刷干净。

用途：适用于焊接铝锰合金、纯铝及其他铝合金。

L309 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 2-329、表 2-330。

表 2-329 L309 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	Si	Fe	Cu	Mn	Zn	Al	其他元素 总量
保证值	≤0.50	≤0.50	≤0.20	1.00 ~1.50	≤0.10	余量	≤0.15

表 2-330 L309 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)
保证值	≥118

第三章 气体保护焊焊接材料

气体保护焊是利用外加气体作为保护介质的一种电弧焊方法，其优点是电弧和熔池的可见性好，操作方便。根据在焊接过程中电极是否熔化，气体保护焊通常分为不熔化极气体保护焊和熔化极气体保护焊。

不熔化极气体保护焊采用惰性气体（一般为氩气、氮气）作为保护气体，利用钨极与被焊母材之间产生的电弧作为热源来熔化母材和填充材料（也可以不加填充材料）形成焊缝的一种焊接方法，钨极氩弧焊（TIG）是最常用的不熔化极气体保护焊。

熔化极气体保护焊（GMAW）是利用可熔化的焊丝与被焊母材之间产生的电弧作为热源来熔化焊丝与母材金属，同时利用焊接区的保护气体使电弧、熔化的焊丝、熔池及附近的母材金属免受周围空气的有害作用，实现焊丝连续送进、熔化并过渡到熔池，与熔化的母材金属共同熔合形成焊缝金属的一种焊接方法。熔化极气体保护焊保护气体有 CO_2 、Ar、He 及 Ar + He、Ar + O_2 、Ar + CO_2 、 CO_2 + O_2 、Ar + CO_2 + O_2 等类型，并可根据保护气体种类的不同，熔化极气体保护焊又可分为熔化极惰性气体保护电弧焊（MIG）、 CO_2 气体保护电弧焊、氧化性混合气体保护电弧焊（MAG）、药芯焊丝气体保护电弧焊（FCAW）。

气体保护焊的焊接材料包括焊丝和保护气体，由于不同的焊接材料焊接冶金反应不同，焊丝的合金元素烧损也不同，最终形成的焊缝金属和焊接接头力学性能也就不同，所以，对于不同的焊接方法、不同的母材和不同的焊接接头性能要求，焊接材料的

选择也不相同。由于熔化极气体保护焊方法具有较高的生产效率和自动化水平较高,所以应用场所越来越多,气体保护焊焊接材料的使用量在焊接材料中的比例越来越大,气体保护焊焊丝已成为主要的焊接材料之一。

气体保护焊焊丝一般分为气体保护焊实芯焊丝和气体保护焊药芯焊丝两大类,其生产技术条件和制造工艺有较大差别,使用特点也各不相同。

一、气体保护焊实芯焊丝

1. 常用实芯焊丝的技术条件

气体保护焊实芯焊丝主要依据 GB/T 8110—1995《气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝》、GB/T 14957—1994《熔化焊用钢丝》标准,适用于焊接碳钢、低合金钢的气体保护焊实芯焊丝或用于钨极氩弧焊的填充焊丝。气体保护焊不锈钢实芯焊丝主要依据 GB 4241—84《焊接用不锈钢盘条》、GB 4242—84《焊接用不锈钢丝》等标准。

对于超出 GB/T 8110—1995《气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝》、GB/T 14957—1994《熔化焊用钢丝》、GB 4241—84《焊接用不锈钢盘条》、GB 4242—84《焊接用不锈钢丝》等标准要求的低合金高强钢实芯焊丝、耐热钢实芯焊丝、不锈钢实芯焊丝等产品,既有参照美国 AWS A5.9、AWS A5.18 和 AWS A5.28 进行制造的,也有国内自行开发研制的。

国内常用的气体保护焊实芯焊丝见表 3-1。

表 3-1 国内常用的气体保护焊实芯焊丝

牌 号	实芯焊丝型号		
	中国(GB)	美国(AWS)	日本(JIS)
H08Mn2SiA; THQ-50A; CHS49-1; JQ MG49-1; CHW-50C	ER49-1	—	—
JM-53; JQ MG50-3; TM-53; CHG-53	ER50-3	ER70S-3	YGW16
JM-54; CHS50-4; THQ-50D; JQ MG50-4; TM-54	ER50-4	ER70S-4	YGW12
ER50-6; JM-56; CHS50-6; THQ-50C; JQ MG50-6; TM-56; CHG-56	ER50-6	ER70S-6	YGT50
JM-58; HS-50T; JQ MG50-G; GHS-50; TM-58; CHG-52T	ER50-G	ER70S-G	YGW11
CHW-40C	—	—	—
CHS55-B ₂ ; BH-ER55S-B ₂ ; GHS-CM	ER55-B ₂	ER80S-B ₂	—
CHS55-D ₂ ; BH-ER55S-D ₂ ; GHS-M	ER55-D ₂	ER80S-D ₂	YGW23
HS-60; GHS-60; TM-60; CHW-60C	ER55-D ₂ -Ti	ER80S-G	YGW21
CHS62-B ₃ ; BH-ER62S-B ₃ ; GHS-2CM	ER62-B ₃	ER90S-B ₃	—
CHS69-1	ER69-1	—	—
BH-ER69S-3; HS-70A; GHS-70	ER69-3	ER100S-G	—
GHS-80B; GHQ80	—	ER110S-G	—
BH-ER55S-MnV; HS-1LMF	ER55-B ₂ -MnV	—	—
TG50RE; TG50	ER50-4	—	—

续表 3-1

牌 号	实芯焊丝型号		
	中国(GB)	美国(AWS)	日本(JIS)
TGR50M;TGR50ML	—	—	—
TGR55CM	ER55-B ₂	—	—
TGR55CML	ER55-B ₂ L	—	—
TGR55V;TGR55VL	ER55-B ₂ -MnV	—	—
TGR55WB;TGR55WBL	—	—	—
TGR59C ₂ M	ER62-B ₃	—	—
TGR59C ₂ ML	ER62-B ₃ L	—	—
MIG-307	—	ER307	—
MIG-307Si	—	—	—
HS308;MIG-308;CHM-308	H0Cr21Ni10	ER308	—
HS308L;AT-ER308L; MIG-308L;CHM-308L	H100Cr21Ni10	ER308L	—
MIG-308LSi;CHM-308LSi	—	ER308LSi	—
HS309;MIG-309;CHM-309	H0Cr24Ni13	ER309	—
MIG-309Mo;CHM-309 Mo	—	—	—
HS309L;AT-ER309L; MIG-309L;CHM-309L	—	ER309L	—
HS309LMo;AT-ER309LMo	—	ER309MoL	—
AT-ER309LNb	—	—	—
MIG-309LSi;CHM-309LSi	—	ER309LSi	—
HS307A	—	—	—
HS310;AT-ER310;MIG-310	H0Cr26Ni21	ER310	—

续表 3-1

牌 号	实芯焊丝型号		
	中国 (GB)	美国 (AWS)	日本 (JIS)
MIG-310HC	—	—	—
MIG-312	—	—	—
MIG-316; HS257; CHM-316	—	ER316	—
HS316L; AT-ER316L; MIG-316L; CHM-316L	H00Cr19Ni12 Mo2	ER316 L	—
AT-ER316LCu	H00Cr19Ni12 Mo2Cu2	—	—
MIG-316LSi; CHM-316LSi	—	ER316 LSi	—
MIG-317; CHM-317	—	ER317	—
HS317L; MIG-317L	—	ER317L	—
MIG-318	—	ER318	—
HS321	—	ER321	—
MIG-347	—	ER347	—
HS347L; AT-ER347L	—	—	—
HS367L	—	—	—
AT-ER385L	—	—	—
HS410; AT-ER410; MIG-410; CHM-410	—	ER410	—
AT-ER430; MIG-430	H1Cr17	ER430	—
MIG-630	—	ER630	—
HS0Cr21Ni10Mn6	H0Cr21Ni10 Mn6	—	—
AT-H1Cr13	H1Cr13	—	—
AT-H2Cr13	H2Cr13	—	—

在焊接过程中，为了保证焊丝能够满足使用要求，焊丝表面必须光滑平整，不应有毛刺、划痕、锈蚀和氧化皮等，也不允许有其他对焊接性能或焊接设备操作性能有不良影响的缺陷；焊丝表面进行镀铜处理的镀铜层要均匀牢固，不应出现起鳞或剥离现象；同时焊丝本身的挺度也应能使焊丝均匀连续送进。根据以上要求，焊丝直径及允许偏差应满足表 3-2 的要求，焊丝抗拉强度应符合表 3-3 的要求，焊丝松弛直径和翘距应符合表 3-4。

表 3-2 焊丝直径及允许偏差 (mm)

焊丝直径	0.5; 0.6	0.8; 1.0; 1.2; 1.4; 1.6; 2.0; 2.5	3.0; 3.2
允许偏差	+ 0.01 - 0.03	+ 0.01 - 0.04	+ 0.01 - 0.07

表 3-3 焊丝抗拉强度

焊丝直径 (mm)	0.8; 1.0; 1.2	1.4; 1.6; 2.0	2.5; 3.0; 3.2
焊丝抗拉强度 (MPa)	≥ 930	≥ 860	≥ 550

注：焊丝抗拉强度只适用于绕成直径大于 200mm 焊丝盘、焊丝卷和焊丝筒的焊丝。

表 3-4 焊丝松弛直径和翘距 (mm)

焊丝直径	焊丝盘(卷)外径	松弛直径	翘距
0.5 ~ 3.2	100	≥ 100	≤ 松弛直径 / 5
	200	≥ 250	≤ 松弛直径 / 10
	300	≥ 350	
	≥ 350	≥ 400	

2. 常用的气体保护焊实芯焊丝介绍

(1) H08Mn2SiA; THQ-50A; CHS49-1; JQ MG49-1; CHW-50C

说明：该类焊丝是根据我国实际情况研制生产的 CO₂ 气体保护焊实芯焊丝，应用时间最早、范围最广。它采用 H08Mn2SiA 盘条经多道拉拔和表面镀铜处理加工而成，常用于生产 Φ1.2mm、Φ1.6mm 规格的 CO₂ 气体保护焊焊丝，依靠焊丝中的锰、硅元素联合脱氧，有效地防止了焊缝中出现气孔和夹渣，飞溅较少，并提高了焊缝金属的抗裂性能。可进行全位置焊接。

用途：适用于焊接低碳钢、低合金钢等结构钢，如 Q345B (16Mn)、Q390C (15MnV)。

焊丝化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 3-5、表 3-6。

表 3-5 焊丝化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P	Ni	Cr	Cu
保证值	≤0.11	1.80 ~2.10	0.65 ~0.95	≤ 0.030	≤ 0.030	≤0.30	≤0.20	≤0.50
一般值	0.09	2.00	0.86	0.021	0.018	—	—	—

表 3-6 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	0℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥490	≥372	≥20	≥47
一般值	517	416	30	52

(2) JM-53; JQ MG50-3; TM-53; CHG-53

说明：该类焊丝是气体保护焊实芯焊丝，采用 CO₂ 或 (80% ~ 95%) Ar + (5% ~ 20%) CO₂ 混合气体作为保护气体，电弧稳定，飞溅少，熔敷效率高。采用短路过渡形式，可进行全位置焊接和薄钢板的高速焊接。

用途：适用于焊接低碳钢、低合金钢，用于制造车辆、电机等结构。

焊丝化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 3-7、表 3-8。

表 3-7 焊丝的化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P	Cu	其他元素总量
保证值	0.06 ~0.15	0.90 ~1.40	0.45 ~0.75	≤ 0.035	≤ 0.025	≤ 0.50	≤ 0.50

表 3-8 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	-18℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥500	≥420	≥22	≥47

(3) JM-54; CHS50-4; THQ-50D; JQ MG50-4; TM-54

说明：该类焊丝是 CO₂ 气体保护焊实芯焊丝，焊接时电弧稳定，飞溅较少，适合小电流焊接，可进行立向下焊和薄板的高速焊接。采用(80% ~ 95%)Ar + (5% ~ 20%)CO₂ 混合气体保护焊时，焊缝金属强度较高。

用途：适用于焊接碳素钢，也用于薄板(管)的高速焊接。

焊丝化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 3-9、表 3-10。

表 3-9 焊丝化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P	Cu	其他元素总量
保证值	0.07 ~0.15	1.00 ~1.50	0.65 ~0.85	≤ 0.035	≤ 0.025	≤ 0.50	≤ 0.50

表 3-10 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	保护气体
保证值	≥500	≥420	≥22	CO ₂

(4) ER50-6; JM-56; CHS50-6; THQ-50C; JQ MG50-6; TM-56; CHG-56

说明:该类焊丝是气体保护焊实芯焊丝,采用 CO₂ 或(80% ~ 95%)Ar +(5% ~ 20%)CO₂ 混合气体作为保护气体时,焊接工艺性能良好,可进行全位置焊接。焊丝熔化速度快,适合大电流焊接,熔敷效率高,电弧稳定,飞溅很少,焊缝成形美观,熔敷金属抗氧化、抗锈蚀能力强,气孔敏感性小。近年来,因其销售价格低于 H08Mn2SiA,降低了生产成本,应用越来越广泛,已经成为主要的气体保护焊焊丝。

用途:适用于焊接低碳钢及 500MPa 强度等级的低合金钢,如 Q345B(16Mn)、Q390C(15MnV)等,用于制造车辆、船舶、桥梁、工程机械、压力容器等产品,也可用于薄板(管)的高速焊接。

焊丝化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 3-11、表 3-12。

表 3-11 焊丝化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P	Cu	其他元素总量
保证值	0.06~0.15	1.40~1.85	0.80~1.15	≤0.035	≤0.025	≤0.50	≤0.50
一般值	0.09	1.54	0.86	0.022	0.014	0.14	—

表 3-12 熔敷金属的力学性能

试验项目	R _m (MPa)	R _{eL} (MPa)	A(%)	-29℃时 A _{KV} (J)
保证值	≥500	≥420	≥22	≥47
一般值	560	440	33	75

(5) JM-58; HS-50T; JQ MG50-C; GHS50; TM-58; CHG-52T

说明:该类焊丝是气体保护焊实芯焊丝,采用 CO₂ 或 80%Ar + 20% CO₂ 混合气体作为保护气体,熔敷效率高、熔深大。适合大电

流焊接,电弧稳定,飞溅极少。由于焊丝中含有适量的钛元素,熔敷金属具有良好的焊接性能和冲击性能。

用途:适用于焊接低碳钢及 500MPa 等级低合金钢,用于制造建筑、船舶、桥梁、工程机械、压力容器等结构。

焊丝化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 3-13、表 3-14。

表 3-13 焊丝化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P	Ti
保证值	≤0.15	0.85~1.60	0.40~1.00	≤0.030	≤0.030	适 量
一般值	0.08	1.10	0.45	0.015	0.019	—

表 3-14 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	-29℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥500	≥420	≥22	≥27
一般值	520	430	25	56

(6) CHW-40C

说明:该焊丝是气体保护焊低合金耐候钢实芯焊丝,熔敷金属具有良好的低温冲击性能和耐大气腐蚀性能,电弧稳定,飞溅少。

用途:适用于焊接 09CuPTiRE、09CuPCrNi 和相同级别的耐候钢,用于制造船舶、桥梁等结构。

焊丝化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 3-15、表 3-16。

表 3-15 焊丝化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P	Cr	Cu	Ni
保证值	≤0.10	1.00~1.20	0.50~0.80	≤0.030	≤0.030	0.10~0.40	0.20~0.50	0.20~0.50

表 3-16 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	-40℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥440	≥340	≥22	≥27

(7) CHS55-B2; BH-ER55S-B2; GHS-CM

说明:该类焊丝是铬钼型耐热钢气体保护焊实芯焊丝,保护气体可采用纯氩、(95% ~ 99%)Ar + (1% ~ 5%)O₂ 或 80%Ar + 20%CO₂,电弧稳定,飞溅少。

用途:适用于焊接 1.25%Cr-Mo 类型耐热钢(如 15CrMo、13CrMo44),也可以用于 30CrMnSi 铸钢件的焊接修复。

焊丝化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 3-17、表 3-18。

表 3-17 焊丝化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P	Ni	Cr	Mo	Cu	其他元素总量
保证值	0.07 ~0.12	0.40 ~0.80	0.40 ~0.70	≤ 0.025	≤ 0.025	≤ 0.20	1.20 ~1.50	0.40 ~0.65	≤ 0.35	≤ 0.50
一般值	0.08	0.78	0.42	0.010	0.011	—	1.24	0.52	—	—

表 3-18 熔敷金属力学性能(焊后进行 620℃ × 1 小时热处理)

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	保护气体
保证值	≥550	≥470	≥19	95%Ar + 5%O ₂
一般值	680	548	20	

(8) CHS55-D₂; BH-ER55S-D₂; GHS-M

说明:该类焊丝是含钼型耐热钢气体保护焊实芯焊丝,保护气体一般采用 CO₂ 气体,电弧稳定,飞溅少。采用 80%Ar + 20%CO₂ 混合气体保护焊接时,焊缝金属强度略有提高。

用途:适用于焊接 0.5%Mo 类型耐热钢(如 15Mo3、16Mo)。

焊丝化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 3-19、表 3-20。

表 3-19 焊丝化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P	Ni	Mo	Cu	其他元素总量
保证值	0.07 ~0.12	1.60 ~2.10	0.50 ~0.80	≤ 0.025	≤ 0.025	≤ 0.15	0.40 ~0.60	≤ 0.35	≤ 0.50

表 3-20 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	-29℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥550	≥470	≥17	≥27
一般值	620	485	20	—

(9) HS-60; GHS60; TM-60; CHW-60C

说明:该类焊丝是锰钼型气体保护焊实芯焊丝,保护气体一般采用 CO₂ 气体,电弧稳定,飞溅少。采用 80%Ar + 20%CO₂ 混合气体保护焊接时,焊缝金属强度略有提高。

用途:适用于焊接 590MPa 强度等级的锰钼钢。

焊丝化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 3-21、表 3-22。

表 3-21 焊丝化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P	Mo	Ti	Cu	其他元素总量
保证值	≤ 0.12	1.20 ~1.90	0.40 ~0.80	≤ 0.025	≤ 0.025	0.20 ~0.50	≤ 0.20	≤ 0.50	≤ 0.50
一般值	0.08	1.20	0.56	0.010	0.011	0.30	—	—	—

表 3-22 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	-29℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥550	≥470	≥17	≥27
一般值	620	523	24	52

(10) CHS62-B₃; BH-ER62S-B₃; GHS-2CM

说明:该焊丝是高铬钼型耐热钢气体保护实芯焊丝,保护气体采用纯氩、(95%~99%)Ar+(1%~5%)O₂或80%Ar+20%CO₂,电弧稳定,飞溅少。

用途:适用于焊接2.25%Cr-1%Mo类型耐热钢。

焊丝化学成分、熔敷金属力学性能分别见表3-23、表3-24。

表 3-23 焊丝化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P	Ni	Cr	Mo	Cu	其他元素总量
保证值	0.07 ~0.12	0.40 ~1.00	0.40 ~0.70	≤ 0.025	≤ 0.025	≤ 0.20	2.30 ~2.70	0.90 ~1.20	≤ 0.35	≤ 0.50
一般值	0.08	0.80	0.42	0.010	0.011	—	2.36	0.90	—	—

表 3-24 熔敷金属力学性能(焊后进行690℃×1小时热处理)

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	保护气体
保证值	≥620	≥540	≥17	95%Ar+5%O ₂
一般值	670	550	18	

(11) CHS69-1

说明:该焊丝是锰镍钼型高强度钢气体保护焊实芯焊丝,采用98%Ar+2%O₂或80%Ar+20%CO₂作为保护气体,电弧稳定,飞

飞溅少,熔敷金属具有较好的低温冲击性能。

用途:适用于焊接 690MPa 强度等级的低合金高强钢,用于制造工程机械、船舶、桥梁及压力容器等结构。

焊丝化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 3-25、表 3-26。

表 3-25 焊丝化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P	Ni	Cr	Mo	V	Cu	其他元素总量
保证值	≤ 0.08	1.25 ~1.80	0.20 ~0.50	≤ 0.010	≤ 0.010	1.40 ~2.10	≤ 0.30	0.25 ~0.55	≤ 0.05	≤ 0.25	≤ 0.50

表 3-26 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{el} (MPa)	A (%)	-51℃时 A_{KV} (J)	保护气体
保证值	≥690	≥610	≥16	≥68	98%Ar + 2%O ₂

(12) BH-ER69S-3; HS-70A; GHS70

说明:该焊丝是锰镍铜型高强钢气体保护焊实芯焊丝,保护气体一般采用 80%Ar + 20%CO₂ 混合气体,电弧稳定,飞溅少,熔敷金属具有较好的低温冲击性能。

用途:适用于焊接 690MPa 强度等级的低合金高强钢,用于制造工程机械、起重机械、桥梁、船舶及压力容器等结构。

焊丝化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 3-27、表 3-28。

表 3-27 焊丝化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P	Ni	Mo	Ti	Al	Cu	其他元素总量
保证值	≤ 0.12	1.25 ~1.80	0.40 ~0.80	≤ 0.020	≤ 0.020	0.50 ~1.00	0.20 ~0.55	≤ 0.20	≤ 0.10	≤ 0.35	≤ 0.50

表 3-28 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	-20°C时 A_{KV} (J)
保证值	≥690	≥610	≥16	≥35
一般值	749	680	21	80

(13) GHS-80B; GHQ80

说明:该类焊丝是高镍铬钼型高强度钢气体保护焊实芯焊丝,保护气体一般采用 80%Ar + 20%CO₂ 混合气体,电弧稳定,飞溅少,熔敷金属具有优良的力学性能。

用途:适用于焊接 800MPa 强度等级的高强度钢,用于制造工程机械、起重机械、矿山机械、船舶及压力容器等重要结构。

焊丝化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 3-29、表 3-30。

表 3-29 焊丝化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P	Ni	Cr	Mo	Ti	Cu	其他元素总量
保证值	≤0.09	1.40~1.80	0.20~0.55	≤0.020	≤0.020	1.90~2.60	≤1.00	0.25~0.55	≤0.20	≤0.35	≤0.50
一般值	0.07	1.50	0.43	0.008	0.011	2.50	0.78	0.48	—	—	—

表 3-30 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	-50°C时 A_{KV} (J)
保证值	≥760	660~740	≥15	≥68
一般值	836	735	20	72

(14) BH-ER55S-MnV; HS-1LMF

说明:该类焊丝是珠光体耐热钢气体保护焊实芯焊丝,保护气体采用 80%Ar + 20%CO₂,具有优良的焊接工艺性能。

用途:适用于焊接铬钼钒型耐热钢容器和管道的打底焊。

焊丝化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 3-31、表 3-32。

表 3-31 焊丝化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P	Ni	Cr	Mo	V	Cu	其他元素总量
保证值	0.06 ~0.10	1.20 ~1.60	0.60 ~0.90	≤ 0.025	≤ 0.030	≤ 0.25	1.00 ~1.30	0.50 ~0.70	0.20 ~0.40	≤ 0.35	≤ 0.50

表 3-32 熔敷金属力学性能(焊后进行 730℃×1 小时热处理)

试验项目	R_m (MPa)	R_{el} (MPa)	A (%)	0℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥550	≥440	≥19	≥27

(15) TG50RE; TG50

说明:该类焊丝是低碳钢钨极氩弧焊焊丝,焊缝金属具有良好的抗裂性能、塑性和低温冲击性能。

用途:适用于焊接低碳钢和某些低合金钢,如 Q295 (09Mn2V)、Q345B (16Mn)、09Mn2Si 等钢材,也用于各种位置管子的手工钨极氩弧焊打底焊及填充焊。

焊丝化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 3-33、表 3-34。

表 3-33 焊丝化学成分(质量分数) (%)

试验项目	牌 号	C	Mn	Si	Cu	S	P	Re
保证值	TG50RE	0.06~0.12	1.20	0.60	≤	≤	≤	微量
	TG50	≤0.07	~1.50	~0.85	0.30	0.025	0.025	—

表 3-34 熔敷金属力学性能

试验项目	牌 号	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	-30℃时 A_{KV} (J)
保证值	TG50RE	≥490	≥410	≥22	≥27
	TG50		≥390		

(16) TGR50M; TGR50ML

说明:该类焊丝是含钼型珠光体耐热钢的钨极氩弧焊焊丝,用于打底焊。工件预热温度和层间温度为 90 ~ 110℃,焊后需进行 620℃回火处理。

用途:适用于焊接使用温度在 510℃以下的锅炉受热面管子及 450℃以下的蒸汽管道,可焊接 15Mo3、16Mo 类型耐热钢,也可以用来焊接一般的低合金高强度钢。

焊丝化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 3-35、表 3-36。

表 3-35 焊丝化学成分(质量分数) (%)

试验项目	牌 号	C	Mn	Si	Mo	Cu	S	P
保证值	TGR50M	0.06~0.12	0.75	0.45	0.45	≤	≤	≤
	TG50ML	≤0.07	~1.05	~0.70	~0.65	0.30	0.025	0.025

表 3-36 熔敷金属力学性能(焊后进行 620℃×1 小时热处理)

试验项目	牌 号	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	0℃时 A_{KV} (J)
保证值	TGR50M	≥490	≥390	≥22	≥27
	TGR50ML		≥370		

(17) TGR55CM; TGR55CML

说明:该类焊丝是铬钼型珠光体耐热钢钨极氩弧焊焊丝,可进行全位置焊接,用于打底焊。工件预热温度和层间温度为 160

~ 200℃, 焊后需进行 690℃的回火处理。

用途: 适用于焊接使用温度在 550℃以下的锅炉受热面管子和使用温度在 520℃以下的蒸汽管道、高压容器和石油精练设备, 焊接 15CrMo、13CrMo44 耐热钢, 也可用于 30CrMoSi 铸钢件的焊接修复。

焊丝化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 3-37、表 3-38。

表 3-37 焊丝化学成分(质量分数) (%)

试验项目	牌 号	C	Mn	Si	Cr	Mo	Cu	S	P
保证值	TGR55CM	0.06~0.12	0.75	0.45	1.10	0.45	≤	≤	≤
	TGR55CML	≤0.07	~1.05	~0.70	~1.40	~0.65	0.30	0.025	0.025

表 3-38 熔敷金属力学性能(焊后进行 690℃×1 小时热处理)

试验项目	牌 号	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	0℃时 A_{KV} (J)
保证值	TGR55CM	≥540	≥440	≥17	≥47
	TGR55CML		≥410		

(18) TGR55V; TGR55VL

说明: 该类焊丝是铬钼钒型珠光体耐热钢钨极氩弧焊焊丝, 焊接 12Cr1MoV 钢时预热温度和层间温度在 250 ~ 300℃之间, 焊后需进行 730℃的回火处理。

用途: 适用于焊接使用温度在 580℃以下的锅炉受热面管子和使用温度在 540℃以下的蒸汽管道、石油裂化设备、高温合成化工机械等结构的打底焊。

焊丝化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 3-39、表 3-40。

表 3-39 焊丝化学成分(质量分数) (%)

试验项目	牌 号	C	Mn	Si	Cr	Mo	V	Cu	S	P
保证值	TGR55V	0.06~0.12	0.75	0.45	1.10	0.45	0.20	≤	≤	≤
	TGR55VL	≤0.07	~1.05	~0.70	~1.40	~0.65	~0.35	0.30	0.025	0.025

表 3-40 熔敷金属力学性能(焊后进行 730℃×2 小时热处理)

试验项目	牌 号	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	0℃时 A_{KV} (J)
保证值	TGR55V	≥540	≥440	≥17	≥47
	TGR55VML		≥410		

(19) TGR55WB; TGR55WBL

说明:该类焊丝是铬钼钒钨硼耐热钢钨极氩弧焊焊丝,可进行全位置焊接,用于打底焊。焊接 12Cr2MoWVB 钢时预热温度和层间温度在 320~360℃之间,焊后需进行 760℃的回火处理。

用途:适用于耐热钢结构手工钨极氩弧焊打底焊,用于制造使用温度在 620℃以下的高温高压锅炉中的蒸汽管道、过热器管子。

焊丝化学成分、熔敷金属力学性能见表 3-41、表 3-42。

表 3-41 焊丝化学成分(质量分数) (%)

试验项目	牌 号	C	Mn	Si	Cr	Mo	V	W	B	S	P
保证值	TGR 55WB	0.06~0.12	0.07	0.40	1.80	0.50	0.25	0.30	0.003	≤	≤
	TGR 55WBL	≤0.07	~1.00	~0.70	~2.20	~0.70	~0.45	~0.50	~0.005	0.025	0.025

表 3-42 熔敷金属力学性能(焊后进行 760℃×2 小时热处理)

试验项目	牌 号	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	0℃时 A_{KV} (J)
保证值	TGR55WB	≥540	≥440	≥17	≥47

续表 3-42

试验项目	牌 号	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	0°C时 A_{KV} (J)
保证值	TGR55WBL	≥540	≥410	≥17	≥47

(20) TGR59C2M; TGR59C2ML

说明:该类焊丝是高铬钼型珠光体耐热钢钨极氩弧焊焊丝,可进行全位置焊接,用于打底焊。焊接 10CrMo910 钢时预热温度和层间温度为 160 ~ 200°C,焊后需进行 690°C 的回火处理。

用途:适用于焊接 2.25%Cr-1%Mo 类型珠光体耐热钢。

焊丝化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 3-43、表 3-44。

表 3-43 焊丝化学成分(质量分数) (%)

试验项目	牌 号	C	Mn	Si	Cr	Mo	Cu	S	P
保证值	TGR59C ₂ M	0.06~0.12	0.75	0.45	2.20	0.95	≤	≤	≤
	TGR59C ₂ ML	≤0.07	~1.05	~0.70	~2.50	~1.25	0.30	0.025	0.025

表 3-44 熔敷金属力学性能

试验项目	牌 号	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	0°C时 A_{KV} (J)	焊后 热处理
保证值	TGR59C ₂ M	≥590	≥490	≥15	≥47	690°C 保温 2小时
	TGR59C ₂ ML		≥440			

(21) 不锈钢气体保护焊实芯焊丝

说明:不锈钢实芯焊丝采用熔化极气体保护焊,可进行全位置焊接。保护气体中应加入一定的活性气体,如 80%Ar + 20%CO₂ 或 95%Ar + 5%CO₂ 类型混合气体,焊缝成形美观,内部质量良好。

用途:适用于焊接相应成分的不锈钢、耐热钢或异种钢、低温

钢等材料。

不锈钢实芯焊丝化学成分及熔敷金属力学性能见表 3-45。

表 3-45 不锈钢实芯焊丝化学成分(质量分数)及熔敷金属力学性能

牌 号	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	R_m (MPa)	A (%)
MIG-307	0.081	4.52	0.46	20.00	9.50	0.95	598	42
MIG-307Si	0.073	6.76	0.70	18.81	8.94	0.12	600	41
HS308; MIG-308; CHM-308	0.06	1.68	0.52	20.30	10.20	—	≥ 550	≥ 35
HS308L; AT-ER308L; MIG-308L; CHM-308L	\leq 0.030	1.00 ~2.50	\leq 0.60	19.50 ~22.0	9.0 ~11.0	\leq 0.75	≥ 520	≥ 35
MIG-308LSi; CHM-308LSi	0.025	2.25	0.78	19.80	10.51	—	588	41
HS309; MIG-309; CHM-309	0.05	1.72	0.46	24.30	13.10	—	≥ 550	≥ 30
MIG-309Mo; CHM-309 Mo	0.094	1.82	0.46	23.81	13.12	2.54	617	42
HS309L; AT-ER309L; MIG-309L; CHM-309L	\leq 0.030	1.00 ~2.50	\leq 0.60	23.0 ~25.0	12.0 ~14.0	\leq 0.75	≥ 550	≥ 30
HS309LMo; AT-ER309LMo	\leq 0.030	1.00 ~2.50	\leq 0.60	22.0 ~25.0	12.0 ~15.0	2.0 ~3.0	≥ 520	≥ 30
AT-ER309LNb	\leq 0.030	1.00 ~2.50	\leq 0.60	23.0 ~25.0	12.0 ~14.0	Nb ≤ 1.0	≥ 520	≥ 30
MIG-309LSi; CHM-309LSi	0.024	2.35	0.74	23.91	13.81	—	598	38
HS307A	0.08	6.25	0.39	19.7	9.8	—	≥ 550	≥ 30

续表 3-45

牌 号	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	R_m (MPa)	A(%)
HS310; AT-ER310; MIG-310; CHM-310	0.08 ~0.15	1.00 ~2.50	0.30 ~0.65	25.0 ~28.0	20.0 ~22.5	≤ 0.75	≥550	≥30
MIG-310HC	0.12	1.98	0.62	27.10	21.20	—	774	22
MIG-312	0.13	1.62	0.49	29.57	8.69	—	705	26
MIG-316; HS257; CHM-316	0.08	1.73	0.45	19.2	12.8	2.31	≥520	≥30
HS316L; AT-ER316L; MIG-316L; CHM-316L	≤ 0.030	1.00 ~2.50	≤ 0.60	18.0 ~20.0	11.0 ~14.0	2.0 ~3.0	≥520	≥30
AT-ER316LCu	≤ 0.030	1.00 ~2.50	≤ 0.70	17.0 ~20.0	12.0 ~16.0	2.0 ~3.0	≥520	≥30
MIG-316LSi; CHM-316LSi	0.023	1.60	0.74	19.03	12.41	2.3	578	39
MIG-317; CHM-317	0.048	1.86	0.45	19.41	14.23	3.51	598	42
HS317L; MIG-317L	0.03	1.56	0.50	19.3	13.8	3.35	≥520	≥30
MIG-318	0.060	1.84	0.49	19.00	11.36	2.53	598	42
HS321	0.04	1.55	0.50	19.5	9.8	Ti0.39	≥550	≥30
MIG-347; CHM-347	0.030	1.61	0.41	20.37	9.90	Nb0.80	598	42
HS347L; AT-ER347L	≤ 0.030	1.00 ~2.50	≤ 0.60	19.0 ~21.5	9.0 ~11.0	Nb ≤1.0	≥520	≥30
HS367L	0.03	1.0	0.50	17.5	6.0	—	≥750	≥15
AT-ER385L	≤ 0.025	1.00 ~2.50	≤ 0.60	19.5 ~21.5	24.0 ~26.0	4.2 ~5.2	≥520	≥30

续表 3-45

牌 号	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	$R_m(\text{MPa})$	$A(\%)$
HS410; AT-ER410; AT-H1Cr13; MIG-410; CHM-410	≤ 0.12	≤ 0.60	≤ 0.50	11.5 ~13.5	≤ 0.60	≤ 0.75	≥ 450	≥ 20
AT-ER430; MIG-430	≤ 0.10	≤ 0.60	≤ 0.50	15.5 ~17.0	≤ 0.60	≤ 0.75	468	36
MIG-630	0.035	0.52	0.37	16.53	4.61	—	990	10
HS0Cr21Ni10Mn6	0.10	5.56	0.38	20.3	10.1	—	≥ 550	≥ 30
AT-H2Cr13	0.13 ~0.21	≤ 0.60	≤ 0.60	12.0 ~14.0	≤ 0.60	≤ 0.75	≥ 450	≥ 20

二、药芯焊丝

1. 常用药芯焊丝的技术条件

药芯焊丝作为一种新型焊接材料,在我国发展已有十余年的历史,它的特点逐渐被人们所认识,药芯焊丝具有实芯焊丝和焊条无法比拟的优越性,如焊接生产率高、焊接工艺性能好、节约能源、易实现焊丝品种多样化和系列化等。药芯焊丝分为气体保护药芯焊丝和自保护电弧焊药芯焊丝,本章主要介绍气体保护药芯焊丝。

GB/T 10045—2001《碳钢药芯焊丝》、GB/T 17493—1998《低合金钢药芯焊丝》和 GB/T 17853—1999《不锈钢药芯焊丝》规定了药芯焊丝的分类、型号、技术要求、试验方法、检测规则及包装要求,适用于气体保护焊及自保护电弧焊药芯焊丝。

碳钢药芯焊丝的熔敷金属化学成分见表 3-46,低合金钢药芯焊丝的熔敷金属化学成分见表 3-47,不锈钢药芯焊丝的熔敷金属

化学成分见表 3-48。

表 3-46 碳钢药芯焊丝的熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

型号	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	V	Al	Cu
E50×T-1; E50×T-1M; E50×T-5; E50×T-5M; E50×T-9; E50×T-9M	0.18	1.75	0.90	0.03	0.03	0.20	0.50	0.30	0.08	—	0.35
E50×T-4; E50×T-6; E50×T-7; E50×T-8; E50×T-11	—	1.75	0.60	0.03	0.03	0.20	0.50	0.30	0.08	1.8	0.35
E×××T-G	—	1.75	0.90	0.03	0.03	0.20	0.50	0.30	0.08	1.8	0.35
E50×T-12; E50×T-12M	0.15	1.60	0.90	0.03	0.03	0.20	0.50	0.30	0.08	—	0.35
E50×T-2; E50×T-2M; E50×T-3; E50×T-10; E43×T-13; E50×T-13; E50×T-14; E×××T-GS	无规定										

注：表中单值均为最大值。

表 3-47 低合金钢药芯焊丝的熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

型号	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	V	Al
E500T5-A1; E550T1-A1; E551T1-A1	0.12	1.25	0.80	0.03	0.03	—	—	0.45 ~0.65	—	—

续表 3-47

型号	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	V	Al
E500T5-A1; E550T1-A1; E551T1-A1	0.12	1.25	0.80	0.03	0.03	—	—	0.45 ~0.65	—	—
E551T1-B1	0.12	1.25	0.80	0.03	0.03	0.45 ~0.65	—	0.45 ~0.65	—	—
E550T5-B2L	0.05	1.25	0.80	0.03	0.03	1.00 ~1.50	—	0.45 ~0.65	—	—
E550T1-B2; E551T1-B2; E550T5-B2	0.12	1.25	0.80	0.03	0.03	1.00 ~1.50	—	0.45 ~0.65	—	—
E550T1-B2H	0.10 ~0.15	1.25	0.80	0.03	0.03	1.00 ~1.50	—	0.45 ~0.65	—	—
E600T1-B3L	0.05	1.25	0.80	0.03	0.03	2.00 ~2.50	—	0.90 ~1.20	—	—
E600T1-B3; E601T1-B3; E600T5-B3; E700T1-B3	0.12	1.25	0.80	0.03	0.03	2.00 ~2.50	—	0.90 ~1.20	—	—
E600T1-B3H	0.10 ~0.15	1.25	0.80	0.03	0.03	2.00 ~2.50	—	0.90 ~1.20	—	—
E501T8-Ni1; E550T1-Ni1; E551T1-Ni1; E550T5-Ni1	0.12	1.50	0.80	0.03	0.03	0.15	0.80 ~1.10	0.35	0.05	1.8
E501T8-N2; E550T1-Ni2; E551T1-Ni2; E550T5-Ni2; E600T1-Ni2; E601T1-Ni2	0.12	1.50	0.80	0.03	0.03	—	1.75 ~2.75	—	—	1.8
E550T5-Ni3; E600T5-Ni3	0.12	1.50	0.80	0.03	0.03	—	2.75 ~3.75	—	—	—

续表 3-47

型号	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	V	Al
E601T1-D1	0.12	1.25 ~2.00	0.80	0.03	0.03	—	—	0.25 ~0.55	—	—
E600T5-D2; E700T5-D2	0.15	1.65 ~2.25	0.80	0.03	0.03	—	—	0.25 ~0.55	—	—
E600T1-D3	0.12	1.00 ~1.75	0.80	0.03	0.03	—	—	0.45 ~0.65	—	—
E550T5-K1	0.15	0.80 ~1.40	0.80	0.03	0.03	0.15	0.80 ~1.10	0.20 ~0.65	0.05	—
E500T4-K2; E501T8-K2; E550T1-K2; E600T1-K2; E601T1-K2; E550T5-K2; E600T5-K2	0.15	0.50 ~1.75	0.80	0.03	0.03	0.15	1.00 ~2.00	0.35	0.05	1.8
E700T1-K3; E750T1-K3; E700T5-K3; E750T5-K3	0.15	0.75 ~2.25	0.80	0.03	0.03	0.15	1.25 ~2.60	0.25 ~0.65	0.05	—
E750T5-K4; E751T1-K4; E850T5-K4	0.15	1.20 ~2.25	0.80	0.03	0.03	0.20 ~0.60	1.75 ~2.60	0.30 ~0.65	0.05	—
E850T1-K5	0.10 ~0.25	0.60 ~1.60	0.80	0.03	0.03	0.20 ~0.70	0.75 ~2.00	0.15 ~0.55	0.05	—
E431T8-K6; E501T8-K6	0.15	0.50 ~1.50	0.80	0.03	0.03	0.15	0.40 ~1.10	0.15	0.05	1.8
E701T1-K7	0.15	1.00 ~1.75	0.80	0.03	0.03	—	2.00 ~2.75	—	—	—
E550T1-W	0.12	0.50 ~1.30	0.35 ~0.80	0.03	0.03	0.45 ~0.70	0.40 ~0.80	—	—	Cu0.30 ~0.75
EX×× TX-G	—	≥ 1.00	≥ 0.80	0.03	0.03	≥ 0.30	≥ 0.50	≥ 0.20	≥ 0.10	1.8

注：1) 除另外注明外，表中所列单个值均为最大值。

2) Al 只用于自保护焊丝。

3) 对 E×××TX-G 型号，只要列出的元素中有任何一个满足最小值要求，即符合该型号要求。

表 3-48 不锈钢药芯焊丝的熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

型 号	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	Cu	其他
E307TX-X	0.13	3.30 ~4.75	1.0	0.03	0.04	18.0 ~20.5	9.0 ~10.5	0.5 ~1.5	0.5	—
E308TX-X	0.08	0.50 ~2.50	1.0	0.03	0.04	18.0 ~21.0	9.0 ~11.0	0.5	0.5	—
E308LTX-X	0.04	0.50 ~2.50	1.0	0.03	0.04	18.0 ~21.0	9.0 ~11.0	0.5	0.5	—
E308HTX-X	0.04 ~0.08	0.50 ~2.50	1.0	0.03	0.04	18.0 ~21.0	9.0 ~11.0	0.5	0.5	—
E308MoTX-X	0.08	0.50 ~2.50	1.0	0.03	0.04	18.0 ~21.0	9.0 ~11.0	2.0 ~3.0	0.5	—
E308LMoTX-X	0.04	0.50 ~2.50	1.0	0.03	0.04	18.0 ~21.0	9.0 ~11.0	2.0 ~3.0	0.5	—
E309TX-X	0.10	0.50 ~2.50	1.0	0.03	0.04	22.0 ~25.0	12.0 ~14.0	0.5	0.5	—
E309LNbTX-X	0.04	0.50 ~2.50	1.0	0.03	0.04	22.0 ~25.0	12.0 ~14.0	0.5	0.5	Nb+Ta 0.70 ~1.00
E309LTX-X	0.04	0.50 ~2.50	1.0	0.03	0.04	22.0 ~25.0	12.0 ~14.0	0.5	0.5	—
E309MoTX-X	0.12	0.50 ~2.50	1.0	0.03	0.04	21.0 ~25.0	12.0 ~16.0	2.0 ~3.0	0.5	—
E309LMo TX-X	0.04	0.50 ~2.50	1.0	0.03	0.04	21.0 ~25.0	12.0 ~16.0	2.0 ~3.0	0.5	—
E309LNiMo TX-X	0.04	0.50 ~2.50	1.0	0.03	0.04	21.0 ~25.0	12.0 ~16.0	2.0 ~3.0	0.5	—
E310TX-X	0.20	1.0 ~2.5	1.0	0.03	0.04	25.0 ~28.0	20.0 ~22.5	0.5	0.5	—

续表 3-48

型号	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	Cu	其他
E312TX-X	0.15	0.5 ~2.5	1.0	0.03	0.04	28.0 ~32.0	8.0 ~10.5	0.5	0.5	—
E316TX-X	0.08	0.5 ~2.5	1.0	0.03	0.04	17.0 ~20.0	11.0 ~14.0	2.0 ~3.0	0.5	—
E316LTX-X	0.04	0.5 ~2.5	1.0	0.03	0.04	17.0 ~20.0	11.0 ~14.0	2.0 ~3.0	0.5	—
E317LTX-X	0.04	0.5 ~2.5	1.0	0.03	0.04	18.0 ~21.0	12.0 ~14.0	3.0 ~4.0	0.5	—
E347TX-X	0.08	1.0 ~2.5	1.0	0.03	0.04	18.0 ~21.0	9.0 ~11.0	0.5	0.5	Nb+Ta 8xC ~1.00
E409TX-X	0.10	0.80	1.0	0.03	0.04	10.5 ~13.5	0.60	0.5	0.5	Ti 10xC ~1.5
E410TX-X	0.12	1.2	1.0	0.03	0.04	11.0 ~13.5	0.60	0.5	0.5	—
E410NiMo TX-X	0.06	1.0	1.0	0.03	0.04	11.0 ~12.5	4.0 ~5.0	0.4 ~0.7	0.5	—
E410NiTiTX-X	0.04	0.70	0.5	0.03	0.03	11.0 ~12.0	3.6 ~4.5	0.5	0.5	Ti 10xC ~1.5
E410TX-X	0.12	1.2	1.0	0.03	0.04	11.0 ~13.5	0.60	0.5	0.5	—
E430TX-X	0.10	1.2	1.0	0.03	0.04	15.0 ~18.0	0.60	0.5	0.5	—
E502TX-X	0.10	1.2	1.0	0.03	0.04	4.0 ~6.0	0.40	0.45 ~0.65	0.5	—
E505TX-X	0.10	1.2	1.0	0.03	0.04	8.0 ~10.5	0.40	0.85 ~1.20	0.5	—
E307T0-3	0.13	3.30 ~4.75	1.0	0.03	0.04	19.5 ~22.0	9.0 ~10.5	0.50 ~1.50	0.5	—

续表 3-48

型 号	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	Cu	其他
E308T0-3	0.08	0.5 ~2.5	1.0	0.03	0.04	19.5 ~22.0	9.0 ~11.0	0.50	0.5	—
E308LT0-3	0.03	0.5 ~2.5	1.0	0.03	0.04	19.5 ~22.0	9.0 ~11.0	0.50	0.5	—
E308HT0-3	0.03 ~0.08	0.5 ~2.5	1.0	0.03	0.04	19.5 ~22.0	9.0 ~11.0	0.50	0.5	—
E308MoT0-3	0.08	0.5 ~2.5	1.0	0.03	0.04	18.0 ~21.0	9.0 ~11.0	2.0 ~3.0	0.5	—
E308LMoT0-3	0.03	0.5 ~2.5	1.0	0.03	0.04	18.0 ~21.0	9.0 ~12.0	2.0 ~3.0	0.5	—
E308HMoT0-3	0.07 ~0.12	1.25 ~2.25	0.25 ~0.8	0.03	0.04	19.0 ~21.5	9.0 ~10.7	1.8 ~2.4	0.5	—
E309T0-3	0.10	0.5 ~2.5	1.0	0.03	0.04	23.0 ~25.5	12.0 ~14.0	0.50	0.5	—
E309LT0-3	0.03	0.5 ~2.5	1.0	0.03	0.04	23.0 ~25.5	12.0 ~14.0	0.50	0.5	—
E309LNbT0-3	0.03	0.5 ~2.5	1.0	0.03	0.04	23.0 ~25.5	12.0 ~14.0	0.50	0.5	Nb+Ta 0.70 ~1.00
E309MoT0-3	0.12	0.5 ~2.5	1.0	0.03	0.04	21.0 ~25.0	12.0 ~16.0	2.0 ~3.0	0.5	—
E309LMoT0-3	0.04	0.5 ~2.5	1.0	0.03	0.04	21.0 ~25.0	12.0 ~16.0	2.0 ~3.0	0.5	—
E310T0-3	0.20	1.0 ~2.5	1.0	0.03	0.03	25.0 ~28.0	20.0 ~22.5	0.50	0.5	—
E312T0-3	0.15	0.5 ~2.5	1.0	0.03	0.04	28.0 ~32.0	8.0 ~10.5	0.50	0.5	—
E316T0-3	0.08	0.5 ~2.5	1.0	0.03	0.04	18.0 ~20.5	11.0 ~14.0	2.0 ~3.0	0.5	—
E316LT0-3	0.03	0.5 ~2.5	1.0	0.03	0.04	18.0 ~20.5	11.0 ~14.0	2.0 ~3.0	0.5	—

续表 3-48

型号	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	Cu	其他
E316LKT0-3	0.04	0.5 ~2.5	1.0	0.03	0.04	17.0 ~20.0	11.0 ~14.0	2.0 ~3.0	0.5	—
E317LT0-3	0.03	0.5 ~2.5	1.0	0.03	0.04	18.5 ~21.0	13.0 ~15.0	3.0 ~4.0	0.5	—
E347T0-3	0.08	0.5 ~2.5	1.0	0.03	0.04	19.0 ~21.5	9.0 ~11.0	0.5	0.5	Nb+Ta 8×C ~1.00
E409T0-3	0.10	0.8	1.0	0.03	0.04	10.5 ~13.5	0.60	0.5	0.5	Ti 10×C ~1.5
E410T0-3	0.12	1.0	1.0	0.03	0.04	11.0 ~13.5	0.60	0.5	0.5	—
E410NiMoT0-3	0.06	1.0	1.0	0.03	0.04	11.0 ~12.5	4.0 ~5.0	0.40 ~0.70	0.5	—
E410NiTiT0-3	0.04	0.70	0.50	0.03	0.03	11.0 ~12.0	3.6 ~4.5	0.5	0.5	Ti 10×C ~1.5
E430T0-3	0.10	1.0	1.0	0.03	0.04	15.0 ~18.0	0.60	0.5	0.5	—
E2209T0-×	0.04	0.50 ~2.00	1.0	0.03	0.04	21.0 ~24.0	7.5 ~10.0	2.5 ~4.0	0.5	N 0.08 ~2.00
E2553T0-×	0.04	0.50 ~1.50	0.75	0.03	0.04	24.0 ~27.0	8.5 ~10.5	2.9 ~3.9	1.5 ~1.5	N 0.08 ~2.00
EX××TX-G	不规定									
R308LT1-5	0.03	0.50 ~2.50	1.2	0.03	0.04	18.0 ~21.0	9.0 ~11.0	0.5	0.5	—
R309LT1-5	0.03	0.50 ~2.50	1.2	0.03	0.04	22.0 ~25.0	12.0 ~14.0	0.5	0.5	—
R316LT1-5	0.03	0.50 ~2.50	1.2	0.03	0.04	17.0 ~20.0	11.0 ~14.0	2.0 ~3.0	0.5	—

续表 3-48

型号	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	Cu	其他
R347T1-5	0.08	0.50 ~2.50	1.2	0.03	0.04	18.0 ~21.0	9.0 ~11.0	0.5	0.5	Nb+Ta 8×C ~1.00

注: 1) 除另外注明外,表中所列单个值均为最大值。

2) 除表中所列元素外,其他元素(Fe除外)总量不得超过 0.50%。

对于超出 GB/T10045—2001、GB/T17493—1998 和 GB/T 17853—1999 范围要求的低合金高强钢药芯焊丝、耐热钢药芯焊丝、不锈钢药芯焊丝及堆焊用药芯焊丝等产品,既有参照美国 AWS A5.20、AWS A5.22、AWS A5.26 和 AWS A5.29,日本 JIS Z3313、JIS Z3320、JIS Z3323 和 JIS Z3326 标准进行制造的,也有国内自行开发研制的。

国内常用的药芯焊丝牌号见表 3-49。

表 3-49 国内常用的药芯焊丝牌号

牌 号	药芯焊丝型号		
	中国(GB)	美国(AWS)	日本(JIS)
RD-YJ501(Q);SQJ500MX	E500 T-1	E70T-1	YFW-C50DR
GL-YJ502(Q);JQYJ501-1; SF50A;AT-YJ502 Q; TY-YJ502(Q);SQJ501; RD-YJ502(Q);GFA501;HR-YJ501	E501 T-1	E71T-1	YFW-C50DR
PK-YJ502;RD-YJ501(Q); SF50;HR-YJ50(Q)	E500 T-1	E70T-1	YFW-C50DR
PK-YJ502(C)	—	E70T-1	—
SM500;TWE-715	—	E70T-5	—
SQJ501Ni	—	E71T-9	YFW24

续表 3-49

牌 号	药芯焊丝型号		
	中国(GB)	美国(AWS)	日本(JIS)
GL-YJ502Ni(Q); RD-YJ502Ni(Q); GFA-551Ni; JQ YJ501Ni-1	E501 T1-Ni1	—	YF1-C504R
GL-YJ502CrNiCu; AT-YJ502D; JQ YJ502CrNiCu-1; SQJ501CrNiCu; TY-YJ502CrNiCu; GFA-501NiCrCu; RD-YJ502CrNiCu; HR-YJ502NiCrCu	E501 T1-G	E71T-1W	YFA-50W
GL-YJ507(Q); PK-YJ507; GFB-507; AT-YJ507P; TY-YJ507(Q); RD-YJ507(Q); HR-YJ507(Q)	E500 T-5	E70T-5	YFW-C503B
PK-YJ507Ni	—	—	—
PK-YJ507(C)	—	E70T-5	—
PK-YJ507TiB; HR-YJ507 TiB(Q)	—	E70T-5	YFW24
SQJ507	—	E71T-5	—
SQJ50MX; TY-MCJ500(Q)	—	E70T-G	YFW-C50DR
GL-YJ507(Q)L; AT-YJEG50A	—	EG70T-2	YFEG-22-C
GL-YJ507(Z); JQ YJ507-2; TY-YJ500(Z); GFS-50	E501T8-K6	E71T8-K6	—
GL-YJ507(Z)L	—	EG70T-6	—
GL-YJ602(Q); SQJ601; HR-YJ602E; JQ YJ601-1; AT-YJ602 Q; RD-YJ602(Q); GFA601	E601 T1-K1	E81T1-Ni1	YFW-C603R

续表 3-49

牌 号	药芯焊丝型号		
	中国(GB)	美国(AWS)	日本(JIS)
GL-YJ602CrNiCu(Q); AT-YJ602 D; JQ YJ602CrNiCu-1; GFA-551NiCrCu; RD-YJ602CrNiCu(Q)	E551T1-W	E80T1-W	YFA-58W
SQJ607NiMo; PK-YJ607; GFB-607; TY-YJ607(Q)	E600 T5-K2	E80T5-K2	—
PK-YJ607(C)	—	—	—
SQJ707CrNiMo; PK-YJ707; GFB-707; HR-YJ707(Q)	E700 T5-K3	E90T5-K 3	—
RD-YR102(Q)	E551T1-A1	E81T1-A1	YFM-C
RD-YR202(Q); SQR202	E551T1-B 1	E81T1-B 1	YFCM-C
GL-YR302(Q); SQR302; HR-YR302; RD-YR302(Q); JQ YR302-1; AT-YR302 Q; TWE-811B2	E551T1-B2	E81T1-B2	YF1CM-C
PK-YR307; SQR307	E550T5-B2I.	E80T5-B2	—
RD-YR312(Q)	—	—	—
GL-YR402(Q); SQR402; HR-YR402; RD-YR402(Q); JQ YR402-1; AT-YR402 Q; TWE-911B3	E601T1-B3	E90T1-B3	YF2CM-C
GL-YA102(Q); SQA308; AT-Y308; RD-YA308(Q)	E308T1-1	E308T-1	YF308-C
PK-YB102	—	E308T-1	YF308-C
PK-YB107	—	E308T-1	—
PK-YB132(W); SQA308-T; TY-YB132(W)	—	R308 T1-5	TGX-347

续表 3-49

牌 号	药芯焊丝型号		
	中国(GB)	美国(AWS)	日本(JIS)
GL-YA002(Q);SQA308L; AT-Y308 L;TY-YB102 L(Q); RD-YA308 L(Q);GDQA308L	E308LT1-1	E308LT-1	YF308L-C
GL-YA302(Q);AT-Y309; RD-YA309(Q);PK-YB309	E309T1-1 E309T0-1	E309T-1	YF309-C
GL-YA062(Q);SQA309L; AT-Y309 L; RD-YA309 L(Q);GDQA309L	E309LT1-1 E309LT0-1	E309LT-1	YF309L-C
GL-YA202(Q);SQA316; AT-Y316;RD-YA316(Q)	E316T0-1	E316T-1	YF316-C
PK-YB217(W);SQA316-T	—	R316 T1-5	—
GL-YA022(Q);SQA316L; AT-Y316L;RD-YA316L(Q); GDQA316L;TFW-316L	E316LT0-1	E316LT-1	YF316L-C
PK-YBG317	—	—	—
PK-YB132	—	E347T-1	—
GL-YA132(Q);SQA347; AT-Y347;TY-YB132(Q); RD-YA347(Q)	—	—	—
RD-YA410(Q);GDQA410Nb	E410T0-1	E410T-1	YF410-C
SQD20-1;JQYD112-1	EDPCrMo-A1-03	—	—
RD-YD250(Q);JQ YD132-1	EDPCrMo-A2-03	—	—
SQD30;PK-YD127;GDQD30	EDPMn3-16-15	—	—
RD-YD350(Q);GL-YD350(Q); AT-YD172;JQ YD172-1; SQD40-1;GDQD35	EDPCrMo-A3-03	—	YF2A-C-350

续表 3-49

牌 号	药芯焊丝型号		
	中国(GB)	美国(AWS)	日本(JIS)
RD-YD450(Q);GL-YD450(Q); AT-YD182;GDQD45	—	—	YF3B-C-450
PK-YD212;JQ YD212-1; GDQD55	EDPCrMo-A4-03	—	—
SQD17	EDMn-B-16	—	—
SQD20-2	EDPCrMn-B-16	—	—
RD-YD600(Q)	—	—	—
RD-YD800(Q)	—	—	—
RD-YD30(Q)	—	—	—
SQD50-1	EDPCrMo V-A1-15	—	—
SQD55;JQYD322-1	EDRCrMo WV-A1-03	—	—
SQD50-2;GDQD50;PK-YD3Cr2W8	EDRCrW-15	—	—
SQD40-2;JQYD502-1	EDCr-A1-03	—	—
SQD45;JQYD512-1	EDCr-B-15	—	—
PK-YD5Cr6MnMo	—	—	—
PK-YD5Cr8Si3	—	—	—

2. 常用的药芯焊丝介绍

(1) RD-J501(Q); SQJ500MX

说明:该类焊丝是金属粉芯型 CO₂ 气体保护焊药芯焊丝,焊接工艺性能优良,熔敷率高,可进行全位置焊接,电弧稳定,飞溅小,

熔渣少,可以连续多层多道焊接,熔深大,抗气孔能力强。

用途:适用于焊接低碳钢和低合金高强度钢,用于制造建筑机械、机床、钢结构等产品。

焊丝熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 3-50、表 3-51。

表 3-50 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P
保证值	≤0.18	≤1.75	≤0.90	≤0.030	≤0.030
一般值	0.06	1.35	0.62	0.011	0.014

表 3-51 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	0℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥510	≥410	≥22	≥47
一般值	580	510	30	88

(2) GL-YJ502(Q); JQ YJ501-1; SF50A; AT-YJ502 Q; TY-YJ502(Q); SQJ501; RD-YJ502(Q); CFA501; HR-YJ501

说明:该类焊丝是氧化钛型渣系的 CO_2 气体保护药芯焊丝,焊接工艺性能优良,电弧稳定,脱渣容易,烟尘量少,焊缝成形美观,焊接效率高,可进行包括向下立焊在内的全位置焊接,一般熔敷金属扩散氢含量为 5ml/100g。

用途:适用于焊接低碳钢和 500MPa 强度等级的低合金钢,用于制造冶金设备、船舶、桥梁、建筑、锅炉压力容器、重型机械、集装箱等结构。

焊丝熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 3-52、表 3-53。

表 3-52 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P
保证值	≤0.10	≤1.60	≤0.60	≤0.030	≤0.030
一般值	0.07	1.25	0.36	0.010	0.017

表 3-53 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	0℃时 A_{KV} (J)	-20℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥500	≥410	≥22	≥47	≥27
一般值	570	490	28	120	90

(3) PK-YJ502; RD-YJ501(Q); SF50; HR-YJ50(Q)

说明:该类焊丝是氧化钛钙型 CO₂ 气体保护焊药芯焊丝,工艺性能优良,加入微量合金,使熔敷金属力学性能稳定,冲击性能好,可进行全位置焊接,电弧稳定,飞溅小,脱渣容易。

用途:适用于焊接重要低碳钢和低合金高强钢,用于制造石油化工、起重机械、船舶、海洋平台等重要结构。

焊丝熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 3-54、表 3-55。

表 3-54 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P
保证值	≤0.12	≤1.60	≤0.60	≤0.030	≤0.030
一般值	0.06	1.20	0.49	0.009	0.013

表 3-55 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	0℃时 A_{KV} (J)	-40℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥490	≥410	≥22	≥47	≥27
一般值	550	450	28	90	70

(4) PK-YJ502(C)

说明:该焊丝是氧化钛钙型渣系的 CO₂ 气体保护药芯焊丝,焊接效率高,工艺性能优良,焊缝质量稳定。

用途:适用于焊接船舶工业的低碳钢及相应强度等级的低合金结构钢。

焊丝熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 3-56、表 3-57。

表 3-56 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P
保证值	≤0.10	≤1.75	≤0.50	≤0.030	≤0.030

表 3-57 熔敷金属力学性能

试验项目	R _m (MPa)	R _{eL} (MPa)	A(%)	-30℃时 A _{KV} (J)
保证值	≥500	≥410	≥22	≥27

(5) SM500; TWE-715

说明:该类焊丝是氧化钙和氟化物渣系的 CO₂ 气体保护药芯焊丝,具有飞溅小、含渣量较少、焊道成形美观等特点。可以焊接 2~3 层再清理熔渣,具有很高的熔敷速度和焊接效率,抗气孔能力强。

用途:适用于焊接 500MPa 强度等级的低合金结构钢,采用小坡口,用于制造船舶、工程机械、压力容器等大型构件。

焊丝熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 3-58、表 3-59。

表 3-58 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P
保证值	≤0.10	≤1.20	≤0.50	≤0.030	≤0.030

表 3-59 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	20℃时 A_{KV} (J)	-40℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥500	≥410	≥22	≥47	≥27

(6) SQJ501Ni

说明:该焊丝是 CO₂ 气体保护药芯焊丝,焊接工艺性能优良,可进行全位置焊接。电弧稳定,飞溅少,脱渣容易,熔敷金属中含有少量的镍,低温冲击性能好。

用途:适用于焊接在室外低温环境使用的碳钢和 500MPa 强度等级的低合金钢,用于制造船舶、桥梁、建筑机械等结构。

焊丝熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 3-60、表 3-61。

表 3-60 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P	Ni
保证值	≤0.10	≤1.60	≤0.60	≤0.030	≤0.030	≤0.60
一般值	0.06	1.45	0.46	0.010	0.010	0.30

表 3-61 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	0℃时 A_{KV} (J)	-20℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥500	≥410	≥22	≥47	≥27
一般值	580	480	28	120	120

(7) GL-YJ502Ni(Q);RD-YJ502Ni(Q);GFA-551Ni;JQ YJ501Ni-1

说明:该类焊丝是氧化钛型渣系 CO₂ 气体保护药芯焊丝,焊接工艺性能良好,具有较高的焊接效率,可进行全位置焊接。电弧稳定,飞溅少,脱渣容易,熔敷金属中含有少量的镍,-20℃以上冲击性能良好。

用途：适用于焊接在室外低温环境使用的低碳钢和 500MPa 强度等级的低合金钢，用于船舶、桥梁、海洋平台等结构件的对接和角接焊缝。

焊丝熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 3-62、表 3-63。

表 3-62 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P	Ni
保证值	≤0.10	≤1.60	≤0.60	≤0.030	≤0.030	0.75 ~ 1.25
一般值	0.07	1.23	0.37	0.012	0.018	0.88

表 3-63 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	-40℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥500	≥410	≥22	≥27
一般值	570	510	27	58

(8)GL-YJ502CrNiCu; AT-YJ502D; JQ YJ502CrNiCu-1; SQJ501CrNiCu; TY-YJ502CrNiCu; GFA-501NiCrCu; RD-YJ502CrNiCu; HR-YJ502NiCrCu

说明：该类焊丝是氧化钛型渣系 CO₂ 气体保护耐候钢药芯焊丝，焊接工艺性能良好，可进行全位置焊接。电弧稳定，飞溅少，脱渣容易，熔敷金属中含有少量的铬、镍、铜，具有良好的耐大气腐蚀性能。

用途：适用于焊接在室外环境使用的碳钢和 500MPa 强度等级的低合金钢，如 09CuPCrNi、09CuTiRe、09CuPRe，用于船舶、桥梁、海洋结构、建筑结构、耐候钢集装箱、输电线塔架等耐大气腐蚀钢材的对接和角接焊缝。

焊丝熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 3-64、表 3-65。

表 3-64 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu
保证值	≤ 0.10	≤ 1.60	≤ 0.60	≤ 0.030	≤ 0.030	0.25 ~0.50	0.30 ~0.60	0.25 ~0.45
一般值	0.07	1.11	0.34	0.012	0.017	0.44	0.42	0.39

表 3-65 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	0℃时 A_{KV} (J)	-40℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥490	≥410	≥22	≥47	≥27
一般值	580	512	27	114	73

(9)GL-YJ507(Q); PK-YJ507; GFB-507; AT-YJ507P; TY-YJ507(Q); RD-YJ507(Q); HR-YJ507(Q)

说明:该类焊丝是碱性渣系 CO_2 气体保护药芯焊丝,属于低氢型焊接材料,直流反接,扩散氢含量低。焊接工艺性能优良,电弧稳定,脱渣容易,成形美观,焊缝质量稳定,焊缝金属具有良好的抗裂性能和力学性能。

用途:适用于焊接重要的低碳钢和 500MPa 强度等级的低合金结构钢,用于制造工程机械、锅炉压力容器、石油化工、船舶、桥梁、管道等结构。

焊丝熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 3-66、表 3-67。

表 3-66 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P	Ni
保证值	≤0.10	≤1.60	≤0.60	≤0.030	≤0.030	≤0.50
一般值	0.07	1.28	0.33	0.010	0.015	0.40

表 3-67 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	0°C时 A_{KV} (J)	-40°C时 A_{KV} (J)
保证值	≥ 500	≥ 400	≥ 22	≥ 47	≥ 27
一般值	560	481	28	112	58

(10) PK-YJ507Ni

说明：该焊丝是在 PK-YJ507 基础上研制的低氢型 CO_2 气体保护药芯焊丝，焊缝金属具有良好的塑性、冲击性能及抗裂性能。

用途：适用于焊接重要的低碳钢及相应强度级别的低合金结构钢，用于制造船舶、工程机械、压力容器、石油化工等重要结构。

焊丝熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 3-68、表 3-69。

表 3-68 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Ni	S	P
保证值	≤ 0.12	≤ 1.60	≤ 0.75	0.30-0.50	≤ 0.030	≤ 0.035

表 3-69 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	-30°C时 A_{KV} (J)
保证值	≥ 500	≥ 410	≥ 22	≥ 47

(11) PK-YJ507(C)

说明：该焊丝是船舶用低氢型 CO_2 气体保护焊药芯焊丝，焊接效率高，工艺性能优良，焊缝质量稳定。

用途：适用于焊接船舶工业的低碳钢及相应强度级别的低合金结构钢。

焊丝熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 3-70、表 3-71。

表 3-70 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P
保证值	≤0.10	≤1.75	≤0.50	≤0.030	≤0.030

表 3-71 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	-30℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥500	≥410	≥22	≥47

(12) PK-YJ507TiB; HR-YJ507TiB(Q)

说明:该类焊丝是碱性渣系高韧性 CO₂ 气体保护药芯焊丝,熔敷金属含镍、钛、硼元素,具有优良的低温冲击性能和断裂韧性。

用途:适用于焊接重要的低合金结构钢,用于制造低温性能要求较高的桥梁、船舶、车辆等重要结构。

焊丝熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 3-72、表 3-73。

表 3-72 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P	Ni	Ti	B
保证值	≤0.12	≤1.60	≤0.75	≤0.035	≤0.040	0.35~1.00	≤0.040	≤0.005

表 3-73 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	-40℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥500	≥410	≥22	≥47

(13) SQJ507

说明：该焊丝是抗拉强度为 500MPa 等级的碱性渣系 CO₂ 气体保护药芯焊丝，力学性能优良，扩散氢含量低，抗裂性能好，飞溅小，脱渣容易。

用途：适用于大厚度重要钢结构的焊接。用于制造船舶、石油化工、压力容器、机械制造、机车车辆、水电设备等结构。

焊丝熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 3-74、表 3-75。

表 3-74 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P
保证值	≤0.10	≤1.80	≤0.60	≤0.030	≤0.030
一般值	0.06	1.45	0.46	0.010	0.010

表 3-75 熔敷金属力学性能

试验项目	R _m (MPa)	R _{eL} (MPa)	A (%)	0℃时 A _{KV} (J)	-20℃时 A _{KV} (J)
保证值	≥490	≥420	≥22	≥47	≥47
一般值	520	440	28	130	70

(14) SQJ50MX; TY-MCJ500(Q)

说明：该类焊丝是金属粉芯 CO₂ 气体保护药芯焊丝，焊接工艺性能优良，飞溅少，电弧稳定，造渣量和实芯焊丝相当，渣薄容易清理，对底漆、铁锈等不敏感，抗气孔能力强，可不清渣连续进行 3~4 道的焊接操作。

用途：适用于大厚度低碳钢和抗拉强度为 500MPa 等级低合金钢大型钢结构的高速自动焊焊接，用于建筑机械、船舶、桥梁、车辆制造等钢结构的对接焊、角接焊。

焊丝熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 3-76、表 3-77。

表 3-76 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P
保证值	≤0.10	≤1.60	≤0.60	≤0.030	≤0.030
一般值	0.05	1.41	0.50	0.010	0.015

表 3-77 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	0°C时 A_{KV} (J)
保证值	≥500	≥420	≥22	≥47
一般值	590	510	29	100

(15) GL-YJ507(Q)L; AT-YJEG50A

说明:该类焊丝是气体保护气电立焊用药芯焊丝,焊接工艺性能好,电弧稳定,飞溅少。保护气体流量为 30 ~ 35 l/min,焊丝伸出长度为 30 ~ 35mm,在有风环境(风速在 2m/s 以上)焊接时应采取防风措施。

用途:适用于焊接船舶的外壳板及各种内部构件、贮罐侧板、桥梁等钢结构的对接焊缝。

焊丝熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 3-78、表 3-79。

表 3-78 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P	Ni	Mo
保证值	≤0.10	≤2.00	≤0.90	≤0.030	≤0.030	≤0.30	≤0.35
一般值	0.08	1.31	0.32	0.011	0.018	0.20	0.21

表 3-79 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	-20℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥500	≥410	≥22	≥27
一般值	580	480	26	60

(16) GL-YJ507(Z); JQ YJ507-2; TY-YJ500(Z); GFS-50

说明:该类焊丝是氧化钙氟化物渣系的自保护药芯焊丝,电弧穿透力大,呈喷射状,直流正接,焊接工艺性能优良,电弧稳定,飞溅少,脱渣容易,焊丝伸出长度为 30 ~ 35mm,具有较高的抗风能力,适合野外现场施工的焊接作业。

用途:适用于焊接低碳钢、船舶用钢(A、B、D 或 E 级)以及低合金高强钢,用于制造高层建筑、海上钻井平台、桥梁、冶金建筑、石油化工等重要的室外钢结构。

焊丝熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 3-80、表 3-81。

表 3-80 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P	Al	Ni	Cr	Mo	V
保证值	≤ 0.15	≤ 1.00	≤ 0.30	≤ 0.030	≤ 0.030	≤ 1.0	≤ 0.7	≤ 0.1	≤ 0.15	≤ 0.03
一般值	0.09	0.8	0.20	0.011	0.020	0.8	0.5	0.02	0.14	0.015

表 3-81 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	-20℃时 A_{KV} (J)	-40℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥500	≥410	≥22	≥47	≥27
一般值	540	443	29	121	66

(17) GL-YJ507(Z)L

说明：该焊丝是双层自保护型强制成形用药芯焊丝，焊接工艺性能优良，电弧稳定，飞溅少，垂直立焊时有较高的效率，熔敷金属具有良好的力学性能。

用途：适用于焊接低碳钢、船舶用钢(A、B、D或E级)及低合金高强钢，用于大型船舶、贮存容器、油罐、球罐等钢结构的垂直立焊。

焊丝熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表3-82、表3-83。

表 3-82 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P
保证值	≤0.10	≤1.50	≤0.50	≤0.030	≤0.030
一般值	0.08	1.38	0.40	0.011	0.017

表 3-83 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	0℃时 A_{KV} (J)	-20℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥500	≥410	≥22	≥47	≥27
一般值	590	480	26	130	90

(18) GL-YJ602 (Q); SQJ601; HR-YJ602E; JQ YJ601-1; AT-YJ602Q; RD-YJ602 (Q); GFA601

说明：该类焊丝是氧化钛型 CO₂ 气体保护焊药芯焊丝，焊接工艺性能良好，可进行全位置焊接，电弧稳定，飞溅少，脱渣容易，焊缝成形美观。熔敷金属力学性能好，冲击功高，抗裂性能好。

用途：适用于焊接 600MPa 强度等级的低合金高强钢，用于石油化工、建筑机械、造船、桥梁、起重机械等重要结构的对接焊和角接焊，必要时工件应预热 100~150℃。

焊丝熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 3-84、表 3-85。

表 3-84 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P	Ni	Mo
保证值	≤0.12	≤1.60	≤0.60	≤0.030	≤0.030	0.70~1.20	0.10~0.35
一般值	0.08	1.30	0.39	0.013	0.017	0.86	0.16

表 3-85 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{pL} (MPa)	A (%)	0℃时 A_{KV} (J)	-30℃时 A_{KV} (J)
保证值	550~690	≥490	≥19	≥47	≥27
一般值	635	560	25	112	68

(19) GL-YJ602CrNiCu (Q); JQ YJ602CrNiCu-1; AT-YJ602D; RD-YJ602CrNiCu (Q); GFA551NiCrCu

说明:该类焊丝是氧化钛型渣系 CO₂ 气体保护药芯焊丝,焊接工艺性能良好,可进行全位置焊接。电弧稳定,飞溅少,脱渣容易,熔敷金属中含有少量的铬、镍、铜,具有良好的耐大气腐蚀性能。

用途:适用于焊接在室外环境使用的碳钢和 600MPa 强度等级的耐大气腐蚀钢(如 ASTM A588),用于船舶、桥梁、海洋结构、建筑结构等的对接焊和角接焊。

焊丝熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 3-86、表 3-87。

表 3-86 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu
保证值	≤0.10	≤1.60	≤0.60	≤0.030	≤0.030	0.45~0.8	0.4~0.8	0.30~0.75
一般值	0.08	1.21	0.38	0.011	0.018	0.51	0.48	0.39

表 3-87 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	-50℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥560	≥470	≥19	≥47
一般值	610	530	26	82

(20) SQJ607NiMo; PK-YJ607; GFB-607; TY-YJ607(Q)

说明:该类焊丝是碱性渣系的低合金钢药芯焊丝,属于低氢型焊接材料,采用 CO₂ 气体保护,焊接工艺性能优良,焊缝成形美观,烟尘小,焊接效率高,是 J607 焊条的 4 ~ 5 倍,熔敷金属扩散氢含量 ≤5 ml/100mg。

用途:适用于焊接中碳钢及相应级别结构钢,如 Q390 (15MnV)、Q420(15MnVN)、HQ60 等,用于制造重型工程机械、车辆、桥梁等结构。

焊丝熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 3-88、表 3-89。

表 3-88 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Mo	S	P
保证值	≤0.12	1.25~1.75	≤0.60	0.25~0.45	≤0.030	≤0.030

表 3-89 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	-50℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥590	≥510	≥17	≥47

(21) PK-YJ607(C)

说明:该焊丝是一种气电垂直自动焊药芯焊丝,采用 CO₂ 气体保护,熔敷效率高,是同类焊条的 10 倍,电渣焊的 2.5 倍。

用途:适用于焊接大型船舶的垂直位置焊缝及油槽垂直立焊

焊缝。

焊丝熔敷金属化学成分、力学性能分别见表 3-90、表 3-91。

表 3-90 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Mo	Ni	S	P
保证值	0.06~0.10	1.30~1.80	0.30~0.50	0.30~0.50	0.40~0.60	≤0.025	≤0.030

表 3-91 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A(%)	-50℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥690	≥610	≥16	≥47

(22) SQJ707CrNiMo; PK-YJ707; GFB-707; HR-YJ707(Q)

说明:该类焊丝是碱性渣系的低合金高强度药芯焊丝,属于低氢型焊接材料,采用 CO₂ 气体保护,焊接工艺性能优良,熔敷金属具有良好的力学性能。熔化速度快,焊接效率是同类焊条的 4~5 倍。

用途:可以焊接 15MnMoVN、14MnMoVB、15MnMoV、18MnMoVb 及相应级别的低合金高强度钢,用于制造重型矿山运输车辆、大吨位汽车起重机、大型推土机等结构。

焊丝熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 3-92、表 3-93。

表 3-92 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Mo	Ni	S	P
保证值	≤0.15	1.20~1.70	0.30~0.60	0.20~0.70	1.90~2.70	≤0.030	≤0.030

表 3-93 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A(%)	-50℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥690	≥610	≥16	≥47

(23) RD-YR102(Q)

说明:该焊丝是氧化钛型渣系的低合金耐热钢药芯焊丝,采用CO₂气体保护,焊接工艺性能优良,电弧稳定,飞溅少,脱渣容易,焊缝成形美观,可进行全位置焊接。

用途:适用于焊接使用温度在450℃以下的0.5%Mo低合金耐热钢(如15Mo3),用于制造锅炉管道等结构。

焊丝熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表3-94、表3-95。

表 3-94 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P	Mo
保证值	≤0.12	≤1.25	≤0.80	≤0.030	≤0.030	0.40 ~ 0.65
一般值	0.07	0.98	0.46	0.010	0.009	0.47

表 3-95 熔敷金属力学性能

试验项目	R _m (MPa)	R _{eL} (MPa)	A(%)	0℃时 A _{KV} (J)
保证值	550 ~ 690	≥470	≥19	≥27
一般值	640	530	27	69

(24) RD-YR202(Q); SQR202

说明:该类焊丝是钛钙型渣系的低合金耐热钢药芯焊丝,采用CO₂气体保护,焊接工艺性能优良,电弧稳定,飞溅少,脱渣容易,焊缝成形美观,可进行全位置焊接。

用途:适用于焊接使用温度在510℃以下的0.5%Cr-0.5%Mo(如12CrMo)的低合金耐热钢,用于制造锅炉管道、压力容器、石油精练设备等结构。

焊丝熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表3-96、

表 3-97。

表 3-96 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P	Cr	Mo
保证值	≤0.12	≤1.25	≤0.80	≤0.030	≤0.030	0.40 ~ 0.65	0.40 ~ 0.65
一般值	0.07	0.97	0.37	0.009	0.009	0.53	0.52

表 3-97 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	0℃时 A_{KV} (J)
保证值	550 ~ 690	≥470	≥19	≥27
一般值	600	510	25	78

(25) GL-YR302 (Q); SQR302; HR-YR302; RD-YR302 (Q); JQ YR302-1; AT-YR302Q; TWE-811B2

说明:该焊丝是钛钙型渣系的低合金耐热钢药芯焊丝,CO₂ 气体保护,焊接工艺性能优良,电弧稳定,飞溅少,脱渣容易,焊缝成形美观,可进行全位置焊接,熔敷金属具有良好的力学性能。焊前工件应预热 150 ~ 250℃,焊后需经 690℃回火处理。

用途:适用于焊接使用温度在 520℃以下的 1%Cr-0.5%Mo 和 1.25%Cr-0.5%Mo 低合金耐热钢(如 15CrMo),用于制造锅炉管道、压力容器、石油精炼设备等结构。

焊丝熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 3-98、表 3-99。

表 3-98 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P	Cr	Mo
保证值	≤0.12	≤1.25	≤0.80	≤0.030	≤0.030	1.00~1.50	0.40~0.65
一般值	0.08	0.80	0.32	0.011	0.015	1.20	0.47

表 3-99 熔敷金属力学性能 (焊后进行 690℃ × 1 小时回火处理)

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	0℃时 A_{KV} (J)
保证值	550~690	≥470	≥19	≥27
一般值	620	540	25	88

(26) RD-YR312(Q)

说明: 该焊丝是钛钙型渣系的低合金耐热钢药芯焊丝, 采用 CO₂ 气体保护, 焊接工艺性能优良, 电弧稳定, 飞溅少, 脱渣容易, 焊缝成形美观, 可进行全位置焊接, 熔敷金属具有良好的力学性能。焊前工件应预热, 焊后需进行回火处理。

用途: 适用于焊接使用温度在 520℃ 以下的 1%Cr-0.5%Mo-V 珠光体耐热钢 (如 12CrMoV), 用于制造锅炉管道、石油精炼设备等结构。

焊丝熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 3-100、表 3-101。

表 3-100 熔敷金属化学成分 (质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P	Cr	Mo	V
保证值	≤ 0.12	0.80 ~1.90	≤ 0.80	≤ 0.030	≤ 0.030	1.00 ~1.50	0.40 ~0.65	0.10 ~0.35
一般值	0.07	0.97	0.56	0.011	0.015	1.20	0.47	0.18

表 3-101 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	0℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥560	≥470	≥19	≥27
一般值	620	540	25	88

(27) PK-YR307; SQR307

说明:该类焊丝是碱性渣系的低合金耐热钢药芯焊丝,属于低氢型焊接材料,采用 CO₂ 气体保护,电弧稳定,飞溅少,脱渣容易。焊前工件应预热 250 ~ 300℃,焊后需经 680 ~ 720℃回火处理。

用途:适用于焊接使用温度在 520℃以下的 1%Cr-0.5%Mo 低合金耐热钢(如 15CrMo),用于制造锅炉管道、高压容器、石油精练设备等结构。

焊丝熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 3-102、表 3-103。

表 3-102 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Mo	S	P
保证值	0.05~0.12	≤0.90	≤0.60	1.00~1.50	0.40~0.65	≤0.035	≤0.035

表 3-103 熔敷金属力学性能

试验项目	R _m (MPa)	R _{eL} (MPa)	A (%)	0℃时 A _{KV} (J)
保证值	≥540	≥440	≥17	≥27

(28) GL-YR402 (Q); SQR402; HR-YR402; RD-YR402 (Q); JQ YR402-1; AT-YR402Q; TWE-911B3

说明:该类焊丝是氧化钛型低合金耐热钢药芯焊丝,采用 CO₂ 气体保护,焊接工艺性能优良,电弧稳定,飞溅少,脱渣容易,焊缝成形美观,可进行全位置焊接。焊前工件应预热 200 ~ 300℃,焊后需进行回火处理。

用途:适用于焊接使用温度在 550℃以下的 2.25%Cr-1%Mo 类型低合金耐热钢,用于制造锅炉管道、压力容器、石油精练设备等结构。

焊丝熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 3-104、

表 3-105。

表 3-104 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P	Cr	Mo
保证值	≤0.12	≤1.25	≤0.60	≤0.030	≤0.030	2.00 ~ 2.50	0.90 ~ 1.20
一般值	0.10	0.85	0.30	0.011	0.016	2.21	0.98

表 3-105 熔敷金属力学性能(焊后进行 690℃ × 1 小时回火处理)

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	0℃时 A_{KV} (J)
保证值	620 ~ 760	≥540	≥17	≥27
一般值	660	570	22	78

(29) GL-YA102(Q); SQA308; AT-Y308; RD-YA308(Q)

说明: 该类焊丝是氧化钛型渣系活性气体保护不锈钢药芯焊丝, 可进行全位置焊接。焊接工艺性能良好, 电弧稳定, 飞溅少, 脱渣容易, 焊缝成形美观。熔敷金属中奥氏体组织含有适量的铁素体, 裂纹敏感性低, 焊态下熔敷金属具有优良的耐蚀性和力学性能。

用途: 适用于焊接 18%Cr-9%Ni 类型的不锈钢(SUS304), 用于制造石油化工、压力容器等设备。

焊丝熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 3-106、表 3-107。

表 3-106 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo
保证值	≤0.08	0.50~2.50	≤1.00	≤0.030	≤0.040	18.0~21.0	9.0~11.0	≤0.50
一般值	0.058	1.31	0.58	0.011	0.021	19.80	9.80	—

表 3-107 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	A (%)
保证值	≥ 550	≥ 35
一般值	578	40

(30) PK-YB102

说明:该焊丝是钛钙型渣系的 CO_2 气体保护不锈钢药芯焊丝,直流反接,焊接工艺性能良好,焊接效率高。焊缝金属具有良好的力学性能和抗晶间腐蚀性能,焊缝质量稳定可靠。

用途:适用于焊接使用温度低于 $300^\circ C$ 的耐腐蚀 0Cr18Ni9、0Cr18Ni9Ti 不锈钢以及不锈钢堆焊。

焊丝熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 3-108、表 3-109。

表 3-108 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Ni	S	P
保证值	≤ 0.08	1.20~2.50	≤ 1.0	18.0~21.0	9.0~11.0	≤ 0.030	≤ 0.040

表 3-109 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	A (%)
保证值	≥ 550	≥ 35

(31) PK-YB107

说明:该焊丝是低氢型 CO_2 气体保护药芯焊丝,直流反接,焊接工艺性能良好,焊接效率高,焊缝金属具有良好的力学性能和抗晶间腐蚀性能,焊缝质量稳定可靠。

用途:适用于焊接工作温度在 $300^\circ C$ 以下的 0Cr18Ni9、

0Cr18Ni9Ti 耐腐蚀不锈钢结构及不锈钢堆焊。

焊丝熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 3-110、表 3-111。

表 3-110 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Ni	S	P
保证值	≤ 0.08	1.00 ~ 2.50	≤1.0	18.0 ~ 21.0	9.0 ~ 11.0	≤ 0.030	≤ 0.040

表 3-111 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	A (%)
保证值	≥550	≥35

(32) PK-YB132(W); SQA308-T; TY-YB132(W)

说明:该类焊丝是酸性渣系(含铈稳定剂)的不锈钢钨极氩弧焊填充用药芯焊丝。焊接工艺性能良好,焊缝成形美观;在进行管子打底焊时,焊缝背面不用充氩保护,就可以获得单面焊双面成形的焊接效果。熔敷金属中铁素体含量 5% ~ 8%,具有优良的力学性能和抗晶间腐蚀性能。

用途:适用于焊接 18%Cr-9%Ni-Ti 类型的奥氏体不锈钢(如 0Cr18Ni9Ti)的管子打底焊。

焊丝熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 3-112、表 3-113。

表 3-112 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Ni	Nb	S	P
保证值	≤ 0.08	1.00 ~2.50	≤ 1.0	18.0 ~21.0	9.0 ~11.0	8×C ~1.0	≤ 0.030	≤ 0.040

表 3-113 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	A (%)
保证值	≥ 515	≥ 30

(33) GL-YA002 (Q); SQA308L; AT-Y308L; TY-YB102 L (Q); RD-YA308 L (Q); GDQA308L

说明：该类焊丝是氧化钛型渣系活性气体保护超低碳不锈钢药芯焊丝，可进行全位置焊接。焊接工艺性能良好，电弧稳定，飞溅少，脱渣容易，焊缝成形美观。熔敷金属为奥氏体组织中含有适量的铁素体，裂纹敏感性低，焊接性优良，焊态下熔敷金属具有优良的耐蚀性和力学性能。

用途：适用于焊接 18% Cr -9% Ni 类型超低碳不锈钢 (00Cr18Ni9、00Cr18Ni9Ti)，以及压力容器内壁耐蚀层的堆焊。

焊丝熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 3-114、表 3-115。

表 3-114 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo
保证值	≤ 0.04	0.50 ~2.50	≤ 1.0	≤ 0.030	≤ 0.040	18.0 ~21.0	9.0 ~11.0	≤ 0.50
一般值	0.030	1.31	0.60	0.010	0.021	20.20	10.30	—

表 3-115 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	A (%)
保证值	≥ 515	≥ 35
一般值	530	40

(34) GL-YA302(Q); AT-Y309; RD-YA309(Q); PK-YB309

说明: 该类焊丝是氧化钛型渣系活性气体保护不锈钢药芯焊丝, 可进行全位置焊接。焊接工艺性能良好, 电弧稳定, 飞溅少, 脱渣容易, 焊缝成形美观。熔敷金属中奥氏体组织含有较多的铁素体, 裂纹敏感性低, 焊接性优良, 焊态下熔敷金属具有优良的耐热性和耐蚀性。

用途: 适用于焊接 25%Cr-13%Ni 类型不锈钢, 用于与低碳钢、低合金钢异种材料焊接, 也可用于不锈钢复合钢板过渡层的打底焊, 或在低碳钢、低合金钢上堆焊不锈钢时的打底焊。

焊丝熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 3-116、表 3-117。

表 3-116 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo
保证值	≤ 0.08	0.50 ~2.50	≤ 1.0	≤ 0.030	≤ 0.040	22.0 ~25.0	12.0 ~14.0	≤ 0.50
一般值	0.05	1.31	0.54	0.010	0.021	24.0	12.61	—

表 3-117 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	A (%)
保证值	≥550	≥30
一般值	600	33

(35) GL-YA062 (Q); SQA309L; AT-Y309L; RD-YA309L (Q); GDQA309L

说明: 该类焊丝是氧化钛型渣系活性气体保护超低碳不锈钢药芯焊丝, 可进行全位置焊接。焊接工艺性能良好, 电弧稳定, 飞溅少, 脱渣容易, 焊缝成形美观。熔敷金属具有优良的抗晶间

腐蚀性能。

用途：适用于焊接超低碳 25%Cr-13%Ni 类型不锈钢，用于焊接复合钢板或异种钢，也可用于核反应堆压力容器内壁过渡层堆焊及其内部结构焊接。

焊丝熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 3-118、表 3-119。

表 3-118 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo
保证值	≤ 0.040	0.50 ~2.50	≤ 1.00	≤ 0.030	≤ 0.040	22.0 ~25.0	12.0 ~14.0	≤ 0.50
一般值	0.032	1.32	0.58	0.011	0.019	24.10	12.60	—

表 3-119 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	A (%)
保证值	≥515	≥30
一般值	570	33

(36) GL-YA202(Q); SQA316; AT-Y316; RD-YA316(Q)

说明：该类焊丝是氧化钛型渣系活性气体保护不锈钢药芯焊丝，可进行全位置焊接。焊接工艺性能良好，电弧稳定，飞溅少，脱渣容易，焊缝成形美观。熔敷金属的奥氏体组织中含有适量的铁素体，裂纹敏感性低，熔敷金属具有优良的稀硫酸耐蚀性能。

用途：适用于焊接 18%Cr-12%Ni-2%Mo 类型不锈钢（如 SUS316）。

焊丝熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 3-120、表 3-121。

表 3-120 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo
保证值	≤ 0.080	0.50 ~2.50	≤ 1.00	≤ 0.030	≤ 0.040	17.0 ~20.0	11.0 ~14.0	2.0 ~3.0
一般值	0.049	1.58	0.58	0.011	0.022	19.50	12.40	2.40

表 3-121 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	A (%)
保证值	≥515	≥30
一般值	560	40

(37) PK-YB217(W); SQA316-T

说明:该类焊丝是不锈钢钨极氩弧焊填充用药芯焊丝,焊接工艺性能良好。在进行管子打底焊时,焊缝背面不用充氩保护,可以获得单面焊双面成形的焊缝。熔敷金属具有优良的力学性能和抗晶间腐蚀性能。

用途:适用于 18%Cr-12%Ni-2%Mo 类型不锈钢(如 SUS316)管子打底焊。

焊丝熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 3-1212 和表 3-123。

表 3-122 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Nb	S	P
保证值	≤ 0.08	0.50 ~2.50	≤ 0.90	17.0 ~20.0	11.0 ~14.0	2.0 ~2.5	6 × C ~1.0	≤ 0.030	≤ 0.035

表 3-123 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	A (%)
保证值	≥550	≥25

(38)GL-YA022 (Q); SQA316L; AT-Y316L; RD-YA316 L (Q); GDQA316L; TFW-316 L

说明：该类焊丝是氧化钛型渣系活性气体保护超低碳不锈钢药芯焊丝，可进行全位置焊接。焊接工艺性能良好，电弧稳定，飞溅少，脱渣容易，焊缝成形美观。熔敷金属的奥氏体组织中含有适量的铁素体，裂纹敏感性低，熔敷金属具有良好的稀硫酸耐蚀性能和抗晶间腐蚀性能。

用途：适用于焊接 18%Cr-12%Ni-2%Mo 类型超低碳不锈钢（如 SUS316L）。

焊丝熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 3-124 和表 3-125。

表 3-124 熔敷金属化学成分（质量分数） (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo
保证值	≤ 0.040	0.50 ~2.50	≤ 1.00	≤ 0.030	≤ 0.040	17.0 ~20.0	11.0 ~14.0	2.0 ~3.0
一般值	0.030	1.60	0.58	0.011	0.021	19.60	12.30	2.40

表 3-125 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	A (%)
保证值	≥485	≥30
一般值	550	40

(39) PK-YBG317

说明：该焊丝是低氢型的 CO₂ 气体保护药芯焊丝，直流反接，焊接工艺性能良好，焊接效率高，焊缝金属强度高，具有优良的抗裂性能。

用途:适用于焊接同类型铬镍不锈钢(如 0Cr16Ni5Mo),也可用于耐蚀、耐磨场合的表面堆焊。

焊丝熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 3-126、表 3-127。

表 3-126 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	S	P
保证值	≤ 0.06	≤ 0.90	≤ 1.50	15.5 ~17.5	5.0 ~6.5	0.30 ~1.50	≤ 0.030	≤ 0.035

表 3-127 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	A (%)	0°C时 A_{KV} (J)
保证值	≥785	≥15	≥40

(40) PK-YB132

说明:该焊丝是钛钙型渣系(含铌稳定剂)的 CO₂ 气体保护药芯焊丝,直流反接,焊接工艺性能良好,焊接效率高,熔敷金属具有优良的抗晶间腐蚀性能,焊缝质量稳定。

用途:适用于焊接重要的耐腐蚀含钛稳定剂 18%Cr-9%Ni-Ti 类型不锈钢(如 0Cr18Ni9Ti)。

焊丝熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 3-128、表 3-129。

表 3-128 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Ni	Nb	S	P
保证值	≤ 0.08	1.00 ~2.50	≤ 1.00	18.0 ~21.0	9.0 ~11.0	8×C ~1.0	≤ 0.030	≤ 0.040

表 3-129 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	A (%)
保证值	≥ 515	≥ 30

(41) GL-YA132 (Q); SQA347; AT-Y347; TY-YB132 (Q); RD-YA347 (Q)

说明: 该类焊丝是氧化钛型渣系活性气体保护不锈钢药芯焊丝, 可进行全位置焊接。焊接工艺性能良好, 电弧稳定, 飞溅少, 脱渣容易, 焊缝成形美观。熔敷金属具有良好的抗晶间腐蚀性能。

用途: 适用于焊接 18%Cr-8%Ni-Nb 类型不锈钢(如 SUS347) 和 18%Cr-8%Ni-Ti 类型不锈钢(如 SUS321), 可用于进行加氢裂化器及加氢精制反应器的堆焊。

焊丝熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 3-130、表 3-131。

表 3-130 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	Nb
保证值	≤ 0.08	0.50 ~2.50	≤ 1.00	≤ 0.030	≤ 0.040	18.0 ~21.0	9.0 ~11.0	≤ 0.50	8 × C ~1.0
一般值	0.04	1.34	0.40	0.010	0.020	19.6	10.2	—	0.52

表 3-131 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	A (%)
保证值	≥ 515	≥ 30
一般值	570	40

(42) RD-YA410(Q); CDQA410Nb

说明: 该类焊丝是活性气体保护不锈钢药芯焊丝, 可进行全位

置焊接。焊接工艺性能良好,电弧稳定,飞溅少,脱渣容易,焊缝成形美观,熔敷率高。熔敷金属应进行 850℃回火处理,炉冷至 600℃出炉空冷。

用途:适用于焊接 13%Cr 和 13%Cr-Al 类型不锈钢的打底层。

焊丝熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 3-132、表 3-133。

表 3-132 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P	Cr	Nb
保证值	≤0.12	≤1.20	≤1.00	≤0.030	≤0.040	11.00~13.50	—
一般值	0.06	0.61	0.52	0.006	0.021	12.71	0.59

表 3-133 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	A (%)
一般值	560	40

(43) SQD20-1; JQ YD112-1

说明:该类焊丝是 CO₂ 气体保护堆焊药芯焊丝。电弧稳定,脱渣容易,堆焊金属具有较好的耐磨性能,可进行切削加工,一般工件焊前需预热 200℃。

用途:适用于堆焊受磨损的低碳钢、中碳钢或低合金钢,进行矿山机械、农业机械中车轴、齿轮、搅拌机叶片等部件的堆焊和焊接修复。堆焊层硬度 ≥HRC20(≥HV237)。

焊丝熔敷金属化学成分见表 3-134。

表 3-134 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Cr	Mo	其他元素总量
保证值	≤0.25	3.60	≤2.00	≤1.50	≤2.00

(44) RD-YD250(Q); JQ YD132-1

说明:该类焊丝是 CO₂ 气体保护堆焊药芯焊丝,电弧稳定,脱渣容易,熔敷金属为珠光体组织,用于承受金属间的磨损,可采用高速钢刀具进行切削加工,一般工件焊前预热 300℃。

用途:适用于堆焊受磨损的低碳钢、中碳钢、低合金钢或调质钢、高硬度堆焊的过渡层,可用于矿山机械、农业机械中车轴、齿轮、搅拌机叶片等部件的修复。堆焊层硬度 \geq HRC30 (\geq HV289)。

焊丝熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 3-135、表 3-136。

表 3-135 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Cr	Mo
保证值	≤ 0.50	≤ 3.00	≤ 1.50
一般值	0.086	0.92	0.48

表 3-136 熔敷金属力学性能

试验项目	焊 态	焊后热处理 600℃ × 2 小时
一般值	HV 297	HV 286

(45) SQD30(SQD127); PK-YD127; GDQD30

说明:该类焊丝是 CO₂ 气体保护堆焊药芯焊丝。电弧稳定,脱渣容易,用于承受金属间的磨损部件,可进行切削加工。

用途:适用于堆焊受磨损的低碳钢、中碳钢、低合金钢,可用于矿山机械、农业机械中车轴、齿轮、搅拌机叶片等部件的修复。堆焊层硬度 \geq HRC30。

焊丝熔敷金属化学成分见表 3-137。

表 3-137 熔敷金属化学成分(质量分数)

(%)

试验项目	C	Mn	Si	其他元素总量
保证值	0.10 ~ 0.20	2.50 ~ 4.50	0.30 ~ 0.50	≤1.00

(46) RD-YD350 (Q); GL-YD350 (Q); AT-YD172; JQ YD172-1; SQD40-1; GDQD35

说明:该类焊丝是氧化钛型 CO₂ 气体保护堆焊药芯焊丝,熔敷金属为珠光体组织,用于承受金属间磨损和轻度泥沙磨损的部件,可采用高速钢刀具进行切削加工,加工后能够淬火,一般工件焊前预热和层间温度在 350℃以上。

用途:适用于堆焊过渡层和调质钢的焊接修复,如矿山机械、农业机械中齿轮、挖泥斗等部件的修复。堆焊层硬度 ≥HRC40;焊后热处理 600℃ × 2 小时,一般可达到 HV297。

焊丝熔敷金属化学成分见表 3-138。

表 3-138 熔敷金属化学成分(质量分数)

(%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Mo
保证值	≤0.50	≤2.30	≤1.00	≤2.50	≤2.50
一般值	0.11	1.90	0.64	1.48	0.49

(47) RD-YD450(Q); GL-YD450(Q); AT-YD182; GDQD45

说明:该类焊丝是氧化钛型 CO₂ 气体保护堆焊药芯焊丝,熔敷金属为马氏体组织,用于承受金属间磨损和泥沙磨损的部件,抗回火软化性较强,必须采用超硬类工具进行加工。一般工件焊前预热和层间温度为 200℃。

用途:适用于堆焊过渡层和调质钢的焊接修复,如矿山机械、农业机械中齿轮、挖泥斗等部件的修复。

焊丝熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 3-139、表 3-140。

表 3-139 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Mo	V
一般值	0.10	1.40	0.57	3.40	0.47	0.25

表 3-140 熔敷金属力学性能

试验项目	焊 态	焊后热处理 600℃ × 2 小时
一般值	HV 420	HV 384

(48) PK-YD212; JQ YD212-1; GDQD55

说明:该类焊丝是钛钙型渣系的 CO₂ 气体保护堆焊药芯焊丝,堆焊时电弧稳定,飞溅小,脱渣容易,大型工件焊前预热 300℃。

用途:适用于堆焊各种受磨料磨损和粘着磨损的机械零件表面耐磨层,如齿轮、挖斗、矿山机械等。堆焊层硬度 ≥ HRC50(≥ HV509)。

焊丝熔敷金属化学成分见表 3-141。

表 3-141 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Cr	Mo
保证值	0.30 ~ 0.60	≤ 5.00	≤ 4.0

(49) SQD17

说明:该焊丝是高锰钢类型 CO₂ 气体保护堆焊药芯焊丝,熔敷金属为奥氏体组织,用于具有加工硬化并承受磨损的部件,熔敷金属焊态硬度 ≥ HBS170,加工硬化后硬度 ≥ HRC50。

用途:适用于堆焊破碎机、高锰钢钢轨、道岔、推上机铲斗等部件。

焊丝熔敷金属化学成分见表 3-142。

表 3-142 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Mo	其他元素总量
一般值	≤1.00	10.00 ~ 18.00	0.30 ~ 1.50	≤3.00	≤2.00

(50) SQD20-2

说明:该焊丝是高锰钢类型 CO₂ 气体保护堆焊药芯焊丝。熔敷金属为奥氏体组织,用于具有加工硬化并承受磨损的部件。

用途:适用于堆焊水轮机叶片等耐气蚀及高锰钢道岔等耐冲击部件。

焊丝熔敷金属化学成分见表 3-143。

表 3-143 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	其他元素总量
一般值	≤0.85	10.00 ~ 17.00	13.00 ~ 17.00	≤2.00

(51) RD-YD600(Q)

说明:该焊丝是 CO₂ 气体保护堆焊药芯焊丝,熔敷金属为马氏体组织,用于承受泥沙磨损的部件,一般工件焊前预热 350℃。

用途:适用于堆焊矿山机械、农业机械中齿轮、挖泥斗等部件。

焊丝熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 3-144、表 3-145。

表 3-144 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Mo
一般值	0.45	1.21	0.55	4.11	0.48

表 3-145 堆焊熔敷金属力学性能

试验项目	焊 态	焊后热处理 600℃ × 2 小时
一般值	HV 574	HV 398

(52) RD-YD800(Q)

说明:该焊丝是 CO₂ 气体保护堆焊药芯焊丝,熔敷金属为高硬度马氏体组织,有分散析出的碳化物、硼化物,用于承受强烈的泥沙磨损的部件,一般工件焊前应进行预热。

用途:适用于堆焊不承受较大冲击力的部件。

焊丝熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 3-146、表 3-147。

表 3-146 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	W	B
一般值	1.10	2.00	0.76	3.87	1.88	0.54

表 3-147 熔敷金属力学性能

试验项目	焊 态	焊后热处理 600℃×2 小时
一般值	HV 817	HV 612

(53) RD-YD30(Q)

说明:该焊丝是 CO₂ 气体保护堆焊药芯焊丝,熔敷金属为 30% 铬高硬度铸铁组织,用于砂土、砂石、焦炭、烧结矿石等硬质颗粒的划痕磨损及冲击磨损的部件,工件焊前应预热。

用途:适用于堆焊炼铁厂制备原料的各种衬板、料斗、挡板、破碎机等部件,焊态堆焊层硬度一般为 HV710。

焊丝熔敷金属化学成分见表 3-148。

表 3-148 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	B
一般值	3.16	0.12	0.88	24.27	0.26

(54) SQD50-1

说明:该焊丝是低氢钠型 CO₂ 气体保护堆焊药芯焊丝,堆焊硬度均匀,用于承受泥沙磨损的部件。

用途:适用于耐气蚀和泥沙磨损的水利机械、矿山机械中挖泥斗等部件的焊接修复。堆焊层硬度≥HRC50。

焊丝熔敷金属化学成分见表 3-149。

表 3-149 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Cr	Mo	V	其他元素总量
一般值	0.30~0.60	0.50~1.50	8.00~10.00	≤3.00	0.50~1.00	≤3.00

(55) SQD55; JQYD322-1

说明:该类焊丝是钛钙型渣系 CO₂ 气体保护堆焊药芯焊丝,堆焊时焊接效率高,是焊条的 5~8 倍,工件焊前需预热 350℃左右。

用途:适用于在铸钢或锻钢基体上堆焊冷冲模、切削刀具等部件,用于焊接修复耐磨性能要求较高的锻模等机械零件。堆焊层硬度≥HRC55(≥HV599)。

焊丝熔敷金属化学成分见表 3-150。

表 3-150 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Cr	Mo	S	P	W	其他元素总量
保证值	≤0.50	≤5.00	≤3.00	≤0.040	≤0.040	7.00~11.00	≤4.00

(56) SQD50-2; GDQD50; PK-YD3Cr2W8

说明:该类焊丝是 CO₂ 气体保护堆焊药芯焊丝,堆焊硬度均

匀,用于承受高温磨损的部件。

用途:适用于堆焊热锻模、热轧辊、热剪刀刃等热加工工模具部件,可用于修复要求高温耐磨性能的机械零件。堆焊层硬度 \geq HRC48。

焊丝熔敷金属化学成分见表 3-151。

表 3-151 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Cr	S	P	W	其他元素总量
保证值	0.20~0.60	2.00~4.00	≤ 0.040	≤ 0.040	7.00~11.00	≤ 2.00

(57) SQD40-2; JQ YD502-1

说明:该类焊丝是 CO₂ 气体保护堆焊药芯焊丝。堆焊层具有空淬特性,抗回火软化性能较强,能够得到稳定的硬度。如在 750 ~ 800℃退火软化,可再加热 900 ~ 1 000℃进行空冷或油淬,重新实现硬化。

用途:适用于堆焊工作温度在 450℃以下的碳钢或合金钢轴、阀门密封面等部件,可用于修复要求高温耐磨性能的机械零件。堆焊层硬度 \geq HRC40(\geq HV377)。

焊丝熔敷金属化学成分见表 3-152。

表 3-152 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Cr	S	P	其他元素总量
保证值	≤ 0.15	11.00~16.00	≤ 0.040	≤ 0.040	≤ 3.50

(58) SQD45; JQ YD512-1

说明:该类焊丝是 CO₂ 气体保护堆焊药芯焊丝。堆焊层属于 2Cr13 马氏体高铬钢,具有空淬特性,抗回火软化性能较强,能够得到稳定的硬度。如在 750 ~ 800℃退火软化,可再加热至 900 ~

1 000℃空冷或油淬，重新实现硬化，工件焊前需预热 350℃左右。

用途：适用于堆焊工作温度在 450℃以下的碳钢或合金钢轴、过热阀门密封面、螺旋输送机叶片、搅拌机叶片等部件。堆焊层硬度 \geq HRC45 (\geq HV436)。

焊丝熔敷金属化学成分见表 3-153。

表 3-153 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Cr	其他元素总量
保证值	≤ 0.25	10.00 ~ 16.00	≤ 6.00

(59) PK-YD5Cr6MnMo

说明：该焊丝是钛钙型渣系的 CO₂ 气体保护堆焊药芯焊丝。堆焊时电弧稳定，脱渣容易，焊接效率高。

用途：适用于制造或修复冷轧辊、冷锻模等高硬度、高耐磨的部件。堆焊层硬度 HRC55 ~ HRC60。

焊丝熔敷金属化学成分见表 3-154。

表 3-154 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Cr	Mn	Mo
保证值	≤ 0.6	5.0 ~ 7.0	1.5 ~ 2.5	1.5 ~ 2.5

(60) PK-YD5Cr8Si3

说明：该焊丝是钛钙型渣系的 CO₂ 气体保护堆焊药芯焊丝。堆焊时电弧稳定，脱渣容易，焊接效率高。

用途：适用于堆焊各种受磨损的机械零件表面。堆焊层硬度 HRC55 ~ HRC60。

焊丝熔敷金属化学成分见表 3-155。

表 3-155 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Cr	Si
保证值	≤0.7	7.0 ~ 9.0	2.0 ~ 3.0

三、硬质合金堆焊焊丝

1. 国产硬质合金堆焊焊丝的技术条件

目前国内常用的硬质合金焊丝包括高铬合金铸铁(索尔玛依特)、钴基(司太立)合金和镍基合金三种焊丝。这类焊丝因为不宜使用锻、轧、拉拔等工艺制造,所以硬质合金焊丝的供货状态一般为铸造焊棒,直径为 $\Phi 4 \sim 6\text{mm}$ 。

硬质合金堆焊焊丝可采用氧乙炔、气电焊、氩弧焊等方法进行堆焊。

2. 常用的硬质合金堆焊焊丝介绍

(1) HHS101

说明:该焊丝是碳铬镍硅合金系列的铁基高铬铸铁堆焊焊丝,相当于索尔玛依特 1 号合金。它具有优良的抗氧化和耐气蚀性能,硬度较高,耐磨性好;但使用温度不宜超过 500°C ,超过此温度,则堆焊层硬度急剧降低。堆焊层可使用硬质合金刀具进行切削加工,但比较困难。金相组织为铁素体基体中分散析出的铬碳化物。

用途:适用于要求耐磨损、抗氧化或耐气蚀的场合,如铲斗斗齿、泵套、柴油机的气门、排汽叶片等工件的堆焊。

焊丝化学成分、堆焊金属硬度分别见表 3-156、表 3-157。

表 3-156 焊丝化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Ni	Fe
保证值	2.5 ~ 3.3	0.5 ~ 1.5	2.8 ~ 4.2	25 ~ 31	3.0 ~ 5.0	余量

表 3-157 堆焊金属硬度

试验项目	常温硬度 (HRC)	高温硬度 (HV)			
		300℃	400℃	500℃	600℃
保证值	48 ~ 54	483	473	460	289

(2) HS103

说明:该焊丝是含有硼的高铬合金铸铁堆焊焊丝。堆焊层具有优良的抗氧化性能,硬度高,耐磨性优良,但抗冲击性能较差。堆焊层难以用硬质合金刀具进行切削加工,只能采用研磨加工。金相组织为马氏体和粗大复合碳化物。

用途:适用于有强烈耐磨损要求的场合,如牙轮钻头小轴、煤孔挖掘器、提升铲斗、破碎机辊、泵框筒、混合叶片等工件的堆焊。

焊丝化学成分、堆焊金属硬度分别见表 3-158、表 3-159。

表 3-158 焊丝化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Co	B	Fe
保证值	3.4 ~ 4.0	≤3.0	≤3.0	25 ~ 32	4.0 ~ 6.0	0.5 ~ 1.0	余量

表 3-159 堆焊金属硬度

试验项目	常温硬度 (HRC)	高温硬度 (HV)			
		300℃	400℃	500℃	600℃
保证值	58 ~ 64	857	848	798	520

(3) HS111(相当于 AWS RCoCr-A)

说明:该焊丝是钴基铸造低碳钴铬钨(司太立)合金堆焊焊丝。在钴铬钨堆焊合金中碳及钨含量最低、韧性最好,能够承受在冷、热条件下的冲击载荷,而且产生裂纹的可能性也较小。堆焊层具有

良好的耐蚀、耐热、耐磨性能,在 650℃的高温下也能保持这些特性。用硬质合金刀具易进行切削加工,金相组织为含钨、铬的钴基固溶体(奥氏体)和固溶体与铬钨复合碳化物共晶。

用途:适用于要求在高温使用时能具有良好的耐磨性及耐腐蚀性的场合,如堆焊高温高压阀门、热剪切刀刃、热锻模等冲击载荷和加热温度变化较大的工件,具有良好的热疲劳性能。

焊丝化学成分、堆焊金属硬度分别见表 3-160、表 3-161。

表 3-160 焊丝化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	W	Fe	Co
保证值	0.9 ~ 1.4	≤1.0	0.4 ~ 2.0	26.0 ~ 32.0	3.5 ~ 6.0	≤2.0	余量

表 3-161 堆焊金属硬度

试验项目	常温硬度 (HRC)	高温硬度(HV)					
		300℃	400℃	500℃	600℃	700℃	800℃
保证值	40 ~ 45	437	403	382	310	274	250

(4) HS112(相当于 AWS RCoCr-B)

说明:该焊丝是钴基铸造中碳钴铬钨(司太立)合金堆焊焊丝。在钴铬钨堆焊合金中具有中等硬度,耐磨性比 HS111 好,但塑性比 HS111 稍差。堆焊层具有良好的耐蚀、耐热、耐磨性能,在 650℃的高温下也能保持这些特性。用硬质合金刀具可进行切削加工,金相组织为含钨、铬的钴基固溶体(奥氏体)和固溶体与铬钨复合碳化物共晶。

用途:适用于堆焊高温高压阀门、内燃机阀、化纤剪刀刃口、高压泵的轴套筒和内衬套筒、热轧辊孔型等工件。

焊丝化学成分、堆焊金属硬度分别见表 3-162、表 3-163。

表 3-162 焊丝化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	W	Fe	Co
保证值	1.2 ~ 1.7	≤1.0	0.4 ~ 2.0	26.0 ~ 32.0	7.0 ~ 9.5	≤2.0	余量

表 3-163 堆焊金属硬度

试验项目	常温硬度 (HRC)	高温硬度(HV)			
		500℃	600℃	700℃	800℃
保证值	45 ~ 50	410	390	360	295

(5) HS113

说明:该焊丝是钴基铸造高碳钴铬钨(司太立)合金堆焊焊丝。在钴铬钨堆焊合金中的碳和钨含量最高,堆焊层硬度高,耐磨性非常好,但抗冲击性能较差,同时堆焊时也容易产生裂纹。堆焊层具有良好的耐蚀、耐热、耐磨性能,在 650℃的高温下也能保持这些特性。堆焊合金就是使用硬质合金刀具也不易切削加工,金相组织为共晶体和粗大复合碳化物。

用途:适用于堆焊牙轮钻头轴承、锅炉的旋转叶片、粉碎机刃口、螺旋送料机等磨损部件。

焊丝化学成分、堆焊金属硬度分别见表 3-164、表 3-165。

表 3-164 焊丝化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	W	Fe	Co
保证值	2.5~3.3	≤1.0	0.4~2.0	27.0~33.0	15.0~19.0	≤2.0	余量

表 3-165 堆焊金属硬度

试验项目	常温硬度 (HRC)	高温硬度(HV)			
		500℃	600℃	700℃	800℃
保证值	55 ~ 60	623	555	485	320

(6) HS113G

说明:该焊丝是钴基合金堆焊焊丝,堆焊层具有优良的耐磨料磨损和耐热、耐腐蚀性能,在 800℃的高温下也能保持这些特性。但抗冲击性能较差,而且对堆焊过程中层间温度较敏感。金相组织为共晶体和粗大的复合碳化物。一般工件预热 400 ~ 500℃,层间温度控制在 400℃,堆焊后应立即进行消应力处理。

用途:适用于堆焊泵的套筒和旋转密封环、磨损面板、轴承套筒、螺旋送料机、高温热轧辊、油田钻头等工件。

焊丝化学成分、堆焊金属硬度分别见表 3-166、表 3-167。

表 3-166 焊丝化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Cr	W	Mn	Si	Fe	Co
保证值	3.20~3.55	24.0~28.0	12.0~16.0	≤1.0	0.5~1.1	≤2.5	余量

表 3-167 堆焊金属硬度

试验项目	堆焊方法	常温硬度 (HRC)	高温硬度(HV)			
			427℃	538℃	649℃	760℃
保证值	气焊	≥54	475	440	380	260
	氩弧焊		510	465	390	230

(7) HS113Ni

说明:该焊丝是钴基合金堆焊焊丝,通过降低碳含量和加入镍及铁等合金元素,提高了堆焊层的韧性和综合力学性能。一般工件预热 350℃左右,层间温度控制在 300℃。堆焊后应进行消除应力处理。

用途:适用于堆焊耐气蚀、耐腐蚀性能要求较高的内燃机气门、排气阀等工件。

焊丝化学成分、堆焊金属力学性能见表 3-168、表 3-169。

表 3-168 焊丝化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Cr	Si	W	Fe	Ni	Co
保证值	1.5~2.0	24.0~27.0	0.9~1.3	11.5~13.0	0.85~1.35	21.0~24.0	余量

表 3-169 堆焊金属硬度

试验项目	常温硬度 (HRC)	高温硬度(HV)			
		427℃	538℃	649℃	760℃
保证值	37~40	275	265	250	195

(8) HS114

说明：该焊丝是高碳钴铬钨合金堆焊焊丝，具有较好的耐磨性，但抗冲击性能较差。在 600℃左右具有良好的耐蚀、耐热、耐磨性能。堆焊合金用硬质合金刀具也不易加工。金相组织为共晶体和粗大的复合碳化物。

用途：适用于堆焊牙轮钻头轴承、锅炉的旋转叶片、粉碎机刃口、螺旋送料机等磨损部件。

焊丝化学成分、堆焊金属硬度分别见表 3-170、表 3-171。

表 3-170 焊丝化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	W	Fe	Co
保证值	2.4~3.0	≤1.0	≤2.0	27.0~33.0	11.0~14.0	≤2.0	余量

表 3-171 堆焊金属硬度

试验项目	常温硬度 (HRC)	高温硬度(HV)			
		500℃	600℃	700℃	800℃
保证值	≥53	623	530	485	320

(9) HS115

说明:该焊丝是铬钼强化的低碳钴基合金堆焊焊丝。堆焊层在室温下硬度较低,具有良好的耐高温腐蚀、耐冲击性能和高温强度。堆焊时根据实际情况选择适当的预热温度。

用途:适用于堆焊各种液体阀门、阀座、水轮机叶片、铸模、挤压模及具有优良的综合力学性能的各种热模具。

焊丝化学成分、堆焊金属硬度分别见表 3-172、表 3-173。

表 3-172 焊丝化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Cr	Mo	Ni	Co
一般值	0.15 ~ 0.35	25.5 ~ 29.0	5.0 ~ 6.0	1.75 ~ 3.25	余量

表 3-173 堆焊金属硬度

试验项目	常温硬度 (HRC)	高温硬度(HV)				焊接方法
		427℃	538℃	649℃	760℃	
保证值	≥27	130	135	140	110	钨极氩弧焊

(10) HS116

说明:该焊丝是钴基合金堆焊焊丝。堆焊金属具有较高的耐磨损性和高温强度,但抗冲击性能较差。在耐硫酸、磷酸、硝酸腐蚀工况条件下,具有优良的耐蚀性能。一般工件预热温度≥350℃,层间温度 300℃。堆焊后应立即进行消应力处理。

焊丝化学成分、堆焊金属硬度分别见表 3-174、表 3-175。

表 3-174 焊丝化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Cr	W	Si	Mn	Fe	Co
保证值	0.70 ~ 1.20	30.0 ~ 34.0	12.5 ~ 15.5	≤1.0	≤0.5	≤1.0	余量

表 3-175 堆焊金属硬度

试验项目	常温硬度 (HRC)	高温硬度 (HV)			
		427℃	538℃	649℃	760℃
保证值	46 ~ 50	475	430	370	290

(11) HS117

说明：该焊丝是钴基合金堆焊焊丝。堆焊层具有优良的耐磨料磨损和耐腐蚀性能，在 800℃高温时也能保持这些特性，但冲击性能较差，而且对堆焊过程中层间温度较敏感。堆焊时一般工件预热 400 ~ 500℃，层间温度 400℃。堆焊后应立即进行消应力处理。

焊丝化学成分、堆焊金属硬度分别见表 3-176、表 3-177。

表 3-176 焊丝化学成分 (质量分数) (%)

试验项目	C	Cr	W	Si	Mn	Ni	Co
保证值	2.30~2.65	31.0~34.0	16.0~18.0	≤1.0	≤0.50	≤3.0	余量

表 3-177 堆焊金属硬度

试验项目	常温硬度 (HRC)	高温硬度(HV)				焊接方法
		427℃	538℃	649℃	760℃	
保证值	≥53	528	435	355	248	钨极氩弧焊

四、有色金属及其合金焊丝

1. 国产有色金属及其合金焊丝的技术条件

有色金属及其合金焊丝包括铜及铜合金焊丝、铝及铝合金焊

丝和镍及镍合金焊丝。

(1) 铜及铜合金焊丝技术条件

GB 9460《铜及铜合金焊丝》标准适用于熔化极惰性气体保护焊、钨极惰性气体保护焊和气焊等焊接工艺方法用的铜及铜合金焊丝。铜及铜合金焊丝牌号分类及化学成分见表 3-178。铜及铜合金焊丝牌号见表 3-179。

在焊接过程中,为了保证焊丝能满足使用要求,焊丝表面必须光洁,不应有锈蚀斑点、氧化皮及影响焊接性能的夹杂物,酸洗后表面出现轻微的氧化色可不作为报废的依据,同时,焊丝表面不允许有超过直径允许偏差一半的划痕、缩孔、压痕和重皮等局部缺陷。表 3-180 和表 3-181 分别是以直焊丝和圈状焊丝供货时的焊丝尺寸及允许偏差值。

表 3-178 铜及铜合金焊丝牌号及化学成分(质量分数) (%)

牌 号	Cu	Zn	Sn	Si	Mn	Ni	
HSCu	≥98.0	—	≤1.0	≤0.50	≤0.50	—	
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	0.01~0.05	—	
HSCuZn-3	56.0~62.0		0.5~1.5	0.10~0.50	≤1.00	≤1.5	
HSCuZn-4	61.0~63.0		—	0.30~0.70	—	—	
HSCuZnNi	46.0~50.0		—	—	≤0.25	—	9.0~11.0
HSCuNi	—		—	—	≤0.15	≤1.00	29.0~32.0
HSCuSi	余量	≤1.50	≤1.1	2.80~4.00	≤1.50	—	
HSCuSn		—	6.0~9.0	—	—	—	
HSCuAl		—	—	—	—	≤2.00	—
HSCuAlNi		≤0.10	—	—	≤0.10	—	—
		—	—	—	—	0.50~3.00	0.5~3.0

续表 3-178

牌 号	Fe	P	Pb	Al	Ti	S	其他元 素总量
HSCu	—	≤0.15	≤0.15	≤0.01	—	—	≤0.50
HSCuZn-1		—	≤0.05	—			
HSCuZn-2	0.25~1.20			—	—		
HSCuZn-3	≤0.50	—	≤0.01				
HSCuZn-4	—		—	—			
HSCuZnNi		≤0.25		≤0.05	≤0.02		
HSCuNi	0.40~0.75	≤0.02	≤0.20	—	0.2~0.5	≤0.01	
HSCuSi	≤0.50	—		≤0.01	—	—	
HSCuSn	—	0.10 ~0.35	≤0.20	≤0.01	—	—	
HSCuAl	—	—		7.0~9.0			
HSCuAlNi	≤2.00	—	—	—	—	—	

注：① 其他元素总量 ≤0.50%。

② HSCuNi 中 Ti:0.2%~0.5%，S: ≤0.01%。

表 3-179 铜及铜合金焊丝牌号

牌 号	焊丝型号		
	中国(GB)	美国(AWS)	日本(JIS)
HS201	HSCu	相当 ERCu	—
HS202	—	—	—
HS211	—	相当 ERCuSi-A	—
HS220	HSCuZn-1	—	相当 ZYCuZnSn

续表 3-179

牌 号	焊丝型号		
	中国(GB)	美国(AWS)	日本(JIS)
HS221	HSCuZn-3	相当 ERCuSn-A	相当 ZYCuSn
HS222	HSCuZn-2	—	—
HS224	HSCuZn-4	—	—

表 3-180 直焊丝尺寸及允许偏差 (mm)

直 径	3.0	4.0	5.0	6.0
直径允许偏差	± 0.05			
长 度	1 000			
长度允许偏差	± 5			

表 3-181 圈状焊丝尺寸及允许偏差 (mm)

直 径	1.0	1.5	2.0	2.5
直径允许偏差	± 0.03	± 0.05		

(2) 铝及铝合金焊丝技术条件

GB 10858—89《铝及铝合金焊丝》标准规定了铝及铝合金焊丝的分类、型号、技术要求及检验规则,适用于惰性气体保护焊、等离子弧焊、气焊等焊接方法。

铝及铝合金焊丝的型号分类及化学成分见表 3-182。铝及铝合金焊丝牌号见表 3-183。

表 3-182 铝及铝合金焊丝的型号分类及化学成分(质量分数) (%)

类别	型号	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr
纯铝	SAI-1	Fe + Si ≤ 1.00		≤ 0.05	≤ 0.05	—	—
	SAI-2	≤ 0.20	≤ 0.25	≤ 0.40	≤ 0.03	≤ 0.03	
	SAI-3	≤ 0.30	≤ 0.30	—	—	—	
铝镁	SAlMg-1	≤ 0.25	≤ 0.40	≤ 0.10	0.50~1.00	2.40~3.00	0.05~0.20
	SAlMg-2	Fe + Si ≤ 0.45		≤ 0.05	≤ 0.01	3.10~3.90	0.15~0.35
	SAlMg-3	≤ 0.40	≤ 0.40	≤ 0.10	0.50~1.00	4.30~5.20	0.05~0.25
	SAlMg-5	≤ 0.40	≤ 0.40	—	0.20~0.60	4.70~5.70	
铝铜	SAlCu	≤ 0.20	≤ 0.30	5.80~6.80	0.20~0.40	≤ 0.02	
铝锰	SAlMn	≤ 0.60	≤ 0.70	—	1.00~1.60	—	
铝硅	SAlSi-1	4.50 ~6.00	≤ 0.80	≤ 0.30	≤ 0.05	≤ 0.05	
	SAlSi-2	11.00 ~13.00	≤ 0.80	≤ 0.30	≤ 0.15	≤ 0.10	
类别	型号	Zn	Ti	V	Zr	Al	其他元素总量
纯铝	SAI-1	≤ 0.10	≤ 0.05	—	—	≥ 99.0	—
	SAI-2	≤ 0.04	≤ 0.03			≥ 99.7	
	SAI-3	—	—			≥ 99.5	
铝镁	SAlMg-1	—	0.05~0.20	—	—	余量	≤ 0.15
	SAlMg-2	≤ 0.20	0.05~0.15				
	SAlMg-3	≤ 0.25	≤ 0.15				
	SAlMg-5	—	0.05~0.20				
铝铜	SAlCu	≤ 0.10	0.10~0.25	0.05~0.15	0.10~0.25		

续表 3-182

类别	型号	Zn	Ti	V	Zr	Al	其他元素总量
铝锰	SAlMn	—	—	—	—	余量	≤0.15
铝硅	SAlSi-1	≤0.10	≤0.20	—	—		
	SAlSi-2	≤0.20	≤0.20	—	—		

注：① 其他元素总量 ≤0.15%。

② SAICu 中 V: 0.05% ~ 0.15%; Zr: 0.10% ~ 0.25%。

表 3-183 铝及铝合金焊丝牌号

牌 号	符合标准的焊丝型号	
	中国(GB)	美国(AWS)
HS301	SAI-3	相当于 FR1100
HS311	相当于 SAlSi-1	相当于 ER4003
HS321	SAlMn	—
HS331	SAlMg-5	—

为了保证在焊接过程中,焊丝能够满足用户的使用要求,焊丝表面应光滑,不应有裂纹、毛刺、凹陷、划痕及影响焊接性能的夹杂物存在。盘装焊丝必须是连续的,以保证在自动焊或半自动焊时能够连续进行而且均匀送进。纯铝焊丝以硬态供货,其他型号焊丝以半硬态供货。表 3-184、表 3-185 和表 3-186 分别是直棒状焊丝、卷状焊丝和盘装焊丝的直径及其偏差。

表 3-184 直棒状焊丝的直径及其偏差 (mm)

直 径	3.0; 4.0	5.0; 6.0
偏 差	± 0.04	± 0.05

表 3-185 卷状焊丝的直径及其偏差 (mm)

直 径	1.0; 1.5	2.0; 2.5; 3.0; 4.0	5.0; 6.0
偏 差	± 0.03	± 0.04	± 0.05

表 3-186 盘装焊丝的直径及其偏差 (mm)

直 径	0.8	1.0; 1.2; 1.6; 2.0	2.4; 3.2; 4.0; 4.8; 5.6; 6.4
偏 差	± 0.02	± 0.03	± 0.04

(3) 镍及镍合金焊丝技术条件

GB/T 15620—1995《镍及镍合金焊丝》标准规定了镍及镍合金焊丝（包括镍含量超过其他任一元素含量的焊丝）的型号分类、技术要求、试验方法、检验规则等内容，适用于气体保护电弧焊、钨极氩弧焊、等离子弧焊等方法中使用的镍及镍合金焊丝。

镍及镍合金焊丝型号分类及对应的化学成分见表 3-187。

为了充分保证焊丝在使用过程中能满足用户的要求，焊丝表面不应有影响焊缝性能或焊接操作性能的毛刺、划痕、外来杂质等缺陷。焊丝的直径及允许偏差见表 3-188，焊丝的松弛直径和翘距见表 3-189。

表 3-187 镍及镍合金焊丝型号分类及化学成分(质量分数) (%)

焊丝 型号	C	Mn	Fe	P	S	Si	Cu	Ni	Co	Al	Ti	Cr	Nb +Ta	Mo	V	W	其他元 素含量
ERNi-1	≤	≤ 1.00	≤ 1.0	≤ 0.030		≤ 0.75	≤ 0.25	≥ 93.0		≤ 1.50	2.00 ~3.50						
	0.15	≤ 4.00	≤ 2.5	≤ 0.020		≤ 1.25	余量	62.0 ~69.0		≤ 1.25	1.50 ~3.00						
ERNiCr-3	≤	2.50 ~3.50	≤ 3.0		≤	≤		≥ 67.0			≤	18.0 ~22.0	2.00 ~3.00	—			
	0.10		6.0 ~10.0	≤ 0.030	≤ 0.015	0.50	≤ 0.05	≥ 70.0			—	14.0 ~17.0	1.50 ~3.00				≤ 0.50
ERNiCrFe-6	≤	1.00 ~2.70	≤ 8.0			≤ 0.35		≥ 67.0			2.50 ~3.50						
	0.08	2.00	≤ 0.030														
ERNiFeCr-1	≤	≤ 1.00	≥ 22.0		≤	≤	1.50 ~3.00	38.0 ~46.0		≤ 0.20	0.60 ~1.20	19.5 ~23.5		2.5 ~3.5			
	0.05	1.00	22.0		0.030	0.50				0.20							
ERNiFeCr-2	≤	≤ 0.35	余量	≤ 0.015	≤	≤	≤ 0.30	50.0 ~55.0		0.20 ~0.80	0.65 ~1.15	17.0 ~21.0	4.75 ~5.50	2.8 ~3.3			
	0.08	0.35	余量	0.015	0.015	0.35	0.30										
ERNiMo-1	≤		4.0 ~7.0	≤ 0.025	≤ 0.030	≤ 1.00			≤			≤		26.0 ~30.0	0.20 ~0.40	≤ 1.00	
	0.08								2.50			0.1					
ERNiMo-2	≤	≤ 1.00	≤ 5.0	≤ 0.015	≤ 0.020	≤ 0.50		余量	≤			6.0 ~8.0		15.0 ~18.0	≤ 0.50	≤ 0.50	≤ 0.50
	0.04 ~0.08	1.00	5.0	0.015	0.020	≤ 1.00	≤ 0.50		0.20			4.0 ~6.0			≤ 0.50	≤ 0.50	≤ 0.50
ERNiMo-3	≤		4.0 ~7.0	≤ 0.040	≤ 0.030	≤ 1.00			≤			4.0 ~6.0		23.0 ~26.0	≤ 0.60	≤ 1.00	
	0.12								2.50								

续表 3-187

焊丝 型号	C	Mn	Fe	P	S	Si	Cu	Ni	Co	Al	Ti	Cr	Nb +Ta	Mo	V	W	其他元 素含量
ERNiMo-7	≤ 0.02	≤ 1.00	≤ 2.0	≤ 0.040	≤ 0.030	≤ 1.00	≤ 0.50	余量	≤ 1.00	—	—	≤ 0.1	—	26.0 ~30.0	—	≤ 1.00	≤ 0.50
ERNiCrMo-1	≤ 0.050	1.00 ~2.00	18.0 ~21.0	≤ 0.040	≤ 0.030	≤ 1.00	1.50 ~2.50	余量	≤ 2.5 0.5 ~2.5	—	—	21.0 ~23.5	1.75 ~2.50	5.5 ~7.5	—	≤ 1.00	≤ 0.50
ERNiCrMo-2	0.050 ~0.150	≤ 1.00	17.0 ~20.0	0.040	0.030	1.00	≤ 0.50	≥ 58.0	—	≤ 0.40	≤ 0.40	20.5 ~23.0	—	8.0	—	0.20 ~1.00	≤ 0.50
ERNiCrMo-3	≤ 0.100	≤ 0.50	≤ 5.0	≤ 0.020	≤ 0.015	≤ 0.50	0.50	≥ 58.0	—	≤ 0.40	≤ 0.40	22.0 ~23.0	3.15 ~4.15	~10.0	—	—	—
ERNiCrMo-4	≤ 0.020	≤ 1.00	4.0 ~7.0	≤ 0.040	≤ 0.030	≤ 0.08	≤ 0.50	余量	≤ 2.5	—	—	14.5 ~16.5	—	15.0 ~17.0	≤ 0.35	≤ 3.00 ~4.50	—
ERNiCrMo-7	≤ 0.015	≤ 1.00	≤ 3.0	≤ 0.040	≤ 0.030	≤ 0.08	0.50	余量	≤ 2.0	—	≤ 0.70	14.0 ~18.0	—	14.0 ~18.0	—	≤ 0.50	≤ 0.50
ERNiCrMo-8	≤ 0.030	—	余量	≤ 0.030	0.030	≤ 1.00	0.70 ~1.20	47.0 ~52.0	—	—	0.70 ~1.50	23.0 ~26.0	—	5.0 ~7.0	—	—	≤ 0.50
ERNiCrMo-9	≤ 0.015	—	18.0 ~21.0	≤ 0.040	—	1.00	1.50 ~2.50	余量	≤ 5.0	—	—	21.0 ~23.5	≤ 0.50	6.0 ~8.0	—	≤ 1.50	≤ 0.50

注：① ERNiCr-3、ERNiCrFe-5 型号焊丝，当有规定时，钨的含量不应超过 0.12%，钼的含量不应超过 0.30%。

② ERNiCrFe-2 型焊丝，硼的含量不应超过 0.006%。

表 3-188 焊丝的直径及允许偏差

(mm)

包装形式	焊丝直径	允许偏差
直棒焊丝及卷状焊丝	1.6; 2.0; 2.5; 3.0; 3.2; 4.0; 5.0; 6.0	± 0.05
盘装焊丝	0.6	+0.01 -0.03
	0.8; 1.0; 1.2; 1.6	+0.01 -0.04

表 3-189 焊丝的松弛直径和翘距

(mm)

焊丝直径	焊丝盘外径	松弛直径	翘距
0.6~1.6	100	65 ~ 380	≤ 15
	200	250 ~ 900	≤ 20
	300	380 ~ 1300	≤ 25

2. 常用有色金属及其合金焊丝介绍

(1) HS201

说明: 该焊丝是含有少量硅、锰、磷等脱氧元素的紫铜焊丝, 通过加入锡改善了熔融铜的流动性。焊接工艺性能优良, 焊缝成形良好, 焊缝金属具有良好的力学性能及抗裂性能。当板厚小于 3mm 时, 预热温度为 150 ~ 300℃; 当板厚大于 3mm 时, 预热温度为 350 ~ 500℃。

用途: 适用于紫铜氩弧焊及氧-乙炔气焊。

焊丝化学成分、焊接接头力学性能分别见表 3-190、表 3-191。

表 3-190 焊丝化学成分(质量分数)

(%)

试验项目	Sn	Si	Mn	P	Pb	Al	Cu
保证值	≤ 1.0	≤ 0.50	≤ 0.50	≤ 0.15	≤ 0.02	≤ 0.01	≥ 98.0

表 3-191 焊接接头力学性能

试验项目	R_m (MPa)	冷弯角	备注
保证值	196	120°	试板为无氧铜或脱氧铜, 氩弧焊

(2) HS211(相当于 AWS ERCuSi-A)

说明: 该焊丝是含有少量锰的硅青铜焊丝, 熔点约 910 ~ 1025℃, 塑性好。由于锰元素的加入, 焊接接头具有良好的力学性能、抗腐蚀性能和耐磨性能, 焊接工艺性能良好。

用途: 适用于硅青铜、紫铜、黄铜及铝青铜的氩弧焊, 也可用于铜和铸铁的氩弧焊及堆焊、铜与钢的焊接。如汽车门柜、摩托车零件的氩弧钎焊, 机车车辆、重型机器摩擦面的堆焊。

焊丝化学成分见表 3-192。

表 3-192 焊丝化学成分(质量分数) (%)

试验项目	Si	Mn	Cu
保证值	2.8 ~ 4.0	0.50 ~ 1.50	余量

(3) HS220

说明: 该焊丝是含有少量锡的黄铜焊丝, 熔点约 886℃。通过加入锡, 提高了液态熔敷金属的流动性、焊缝金属的强度和抗腐蚀性。一般工件需预热 400 ~ 500℃。

用途: 适用于黄铜的氧-乙炔气焊、惰性气体保护焊, 也可用于铜、铜合金和铜镍合金的钎焊。

焊丝化学成分见表 3-193。

表 3-193 焊丝化学成分(质量分数) (%)

试验项目	Cu	Sn	Zn	Pb	其他元素总量
保证值	57.0 ~ 61.0	0.50 ~ 1.50	余量	≤0.05	≤0.50

(4) HS221

说明：该焊丝是含有少量锡、硅的特殊黄铜焊丝，熔点约为 890℃。通过加入锡，提高了焊丝的流动性、焊缝的强度和抗腐蚀性。而硅的加入，可有效地控制锌的蒸发、消除气孔和得到满意的力学性能。一般工件预热 400 ~ 500℃。

用途：适用于黄铜的氧-乙炔焊、碳弧焊及氩弧焊；也用于铜、钢、铜镍合金，灰铸铁及镶嵌硬质合金刀具等的钎焊，用途很广。

焊丝化学成分见表 3-194。

表 3-194 焊丝化学成分(质量分数) (%)

试验项目	Cu	Sn	Si	Zn	Al	Pb	其他元素总量
保证值	56.0~62.0	0.50~1.50	0.10~0.50	余量	≤0.01	≤0.05	≤0.50

(5) HS222(相当于 AWS RBCuZn-C)

说明：该焊丝是含有少量铁、锡、硅、锰等元素的特殊黄铜焊丝，熔点约为 880℃。锡的加入提高了焊丝的流动性；而硅的加入，可有效地控制锌的蒸发、消除气孔和得到满意的力学性能。一般工件预热 400 ~ 500℃。

用途：适用于黄铜的氧-乙炔焊、碳弧焊和氩弧焊；也可用于铜、钢、铜镍合金，灰口铸铁以及镶嵌硬质合金刀具等的钎焊。焊丝化学成分见表 3-195。

表 3-195 焊丝化学成分(质量分数) (%)

试验项目	Cu	Sn	Si	Mn	Fe	Zn
保证值	56.0~60.0	0.80~1.10	0.04~0.15	0.01~0.50	0.25~1.20	余量

(6) HS224

说明：该焊丝是含有少量硅的特殊黄铜焊丝，熔点约为 905℃。

通过加入硅,在熔池表面形成一层致密的氧化膜,减少锌的蒸发和氧化,并有效地防止氢的溶入而造成气孔。焊接时,一般工件预热 400 ~ 500℃。

用途:适用于黄铜的氧-乙炔气焊、碳弧焊和氩弧焊,也可用于铜、钢、铜镍合金,灰口铸铁以及镶嵌硬质合金刀具等的钎焊。

焊丝化学成分见表 3-196。

表 3-196 焊丝化学成分(质量分数) (%)

试验项目	Cu	Si	Zn
保证值	61.0 ~ 63.0	0.3 ~ 0.7	余量

(7) HS301

说明:该焊丝是含铝大于 99.5%的纯铝焊丝,具有良好的可焊性和耐蚀性,以及优良的塑性和韧性,但强度较低。

用途:适用于纯铝及铝合金的氩弧焊、氧-乙炔气焊,用于制造化学工业铝制设备。

焊丝化学成分见表 3-197。

表 3-197 焊丝化学成分(质量分数) (%)

试验项目	Si	Fe	Al
保证值	≤0.30	≤0.30	≥99.50

(8) HS311

说明:该焊丝是一种通用性较强的铝硅合金焊丝,焊缝金属具有优良的抗热裂性能和一定的力学性能。但是在进行阳极化处理的场合,焊缝金属与母材颜色不同。焊接铝镁合金时在焊缝中易生成脆性 Mg_2Si ,使接头的塑性和耐蚀性降低。

用途:适用于除铝镁合金以外的所有铝合金工件,作为铸件氩

弧焊及氧-乙炔气焊时的填充材料;用于焊接易产生热裂纹的热处理强化铝合金,可获得较好的效果。

焊丝化学成分见表 3-198。

表 3-198 焊丝化学成分(质量分数) (%)

试验项目	Si	Fe	Al
保证值	4.5 ~ 6.0	≤0.60	余量

(9) HS321

说明:该焊丝是铝锰合金焊丝,焊缝金属不仅具有良好的耐腐蚀性能和焊接性能,塑性也很好,抗拉强度高于纯铝。

用途:适用于铝锰及其他铝合金的氩弧焊及氧-乙炔气焊。

焊丝化学成分见表 3-199。

表 3-199 焊丝化学成分(质量分数) (%)

试验项目	Mn	Si	Fe	Al
保证值	1.0 ~ 1.6	≤0.60	≤0.70	余量

(10) HS331

说明:该焊丝是含有少量钛的铝镁合金焊丝,具有较好的耐腐蚀性能和抗热裂性,强度高。

用途:适用于铝镁合金的氩弧焊及氧-乙炔气焊,也用于铝锌镁合金的焊接及铝镁铸件的焊接修复。

焊丝化学成分见表 3-200。

表 3-200 焊丝化学成分(质量分数) (%)

试验项目	Mg	Mn	Si	Fe	Ti	Al
保证值	4.70~5.70	0.20~0.60	≤0.40	≤0.40	0.05~0.20	余量

(11) HS501

说明：该焊丝是含有适量钛的纯镍焊丝。通过加入一定量的钛进行脱氧可以有效防止焊缝金属产生气孔，并能改善组织，从而获得优良的焊接接头。

用途：适用于工业纯镍的氩弧焊，也适用于镍复合钢板的焊接，还可用于铜合金、不锈钢、高镍合金与纯镍的异种金属焊接。

焊丝化学成分见表 3-201。

表 3-201 焊丝化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Ti	Al	Si	S	P	Ni
保证值	≤0.15	2.00-3.50	≤1.50	≤0.75	≤0.015	≤0.030	≥93.0

第四章 埋弧焊焊接材料

埋弧焊是一种常用电弧焊方法,它是利用在焊剂层下燃烧的焊接电弧热量熔化焊丝、焊剂和母材,凝固结晶形成焊缝。埋弧焊具有焊接生产率高、焊接质量稳定、劳动条件好、自动化程度高等特点,广泛用于锅炉、压力容器、桥梁、起重机、船舶、矿山机械、冶金设备等大、中型焊接结构制造。

埋弧焊焊接材料是焊接材料的重要组成部分,埋弧焊焊接材料包括焊丝(焊带)和焊剂。国内、外现有的焊丝与焊剂种类很多,为了达到一定的产品技术要求,焊丝和焊剂需要配合使用,因此掌握每种焊丝和焊剂的性能,是正确制订埋弧焊工艺的基础条件之一。焊丝和焊剂选择的正确与否,对焊接产品质量有着极大影响。

一、埋弧焊焊丝

埋弧焊焊丝按外观形状可分为焊丝(圆柱状)和焊带(板带状)两种,因为焊丝占其中绝大多数,所以统称为埋弧焊焊丝。焊带仅用于大面积堆焊时使用,这里不做重点介绍。

埋弧焊焊丝根据其横截面形状,又可分为实芯焊丝和药芯焊丝,与气体保护焊焊丝分类有相似之处,其原理、特点等不再重复介绍,仅在每种焊丝的介绍中加以注明。

1. 常用埋弧焊焊丝的技术条件

埋弧焊焊丝主要依据 GB 1300—1977 《焊接用钢丝》、GB

3429—1982《碳素焊条钢盘条》、GB/T 14957—1994《熔化焊用钢丝》、GB 4241—1984《焊接用不锈钢盘条》、GB 4242—1984《焊接用不锈钢丝》、YB/T 5092—1996《焊接用不锈钢丝》等标准,进行盘条选购、焊丝拉拔及质量检测等工作,主要检测焊丝的外观尺寸、化学成分、表面质量等内容。

焊丝直径及其允许尺寸偏差应符合表 4-1,常用埋弧焊焊丝规格主要有 $\Phi 2.5\text{mm}$ 、 $\Phi 3.0\text{mm}$ 、 $\Phi 4.0\text{mm}$ 、 $\Phi 5.0\text{mm}$ 、 $\Phi 6.0\text{mm}$ 等。

表 4-1 埋弧焊焊丝直径及其允许尺寸偏差 (mm)

公称直径		1.6; 2.0; 2.5; 3.0	3.2; 4.0; 5.0; 6.0
允许偏差	普通精度	-0.10	-0.12
	较高精度	-0.06	-0.08

埋弧焊焊丝依据其化学成分又可分为碳素结构钢、合金结构钢、不锈钢及其他类型,焊丝牌号与其含有的各种组成元素有关,埋弧焊常用焊丝化学成分见表 4-2。也可经用户同意,在符合焊丝其他技术要求的情况下,允许焊丝化学成分与表 4-2 有较小的偏差,其数值见表 4-3。制造焊丝用的盘条化学成分所允许偏差应符合 GB 222—1984《钢的化学分析试样取样法及成品化学成分允许偏差》中的有关规定,此类盘条多以热轧状态供货。

表 4-2 埋弧焊常用焊丝化学成分 (%)

钢号	钢号		化学成分(质量分数)										
	牌号	代号	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	V	其他	S	P	
碳素结构钢	1	焊08	H08	≤0.10	0.40~0.55	≤0.03	≤0.20	≤0.30	—	—	0.040	0.040	
	2	焊08高	H08A	≤0.10	0.30~0.55	≤0.03	≤0.20	≤0.30	—	—	0.030	0.030	
	3	焊08特	H08E	≤0.10	0.30~0.55	≤0.03	≤0.20	≤0.30	—	—	0.025	0.025	
	4	焊08锰	H08Mn	≤0.10	0.80~1.10	≤0.07	≤0.20	≤0.30	—	—	0.040	0.040	
	5	焊08锰高	H08MnA	≤0.10	0.80~1.10	≤0.07	≤0.20	≤0.30	—	—	0.030	0.030	
合金结构钢	6	焊15高	H15A	0.11~0.18	0.35~0.65	≤0.30	≤0.20	≤0.30	—	—	0.030	0.030	
	7	焊15锰	H15Mn	0.11~0.18	0.80~1.10	≤0.30	≤0.20	≤0.30	—	—	0.040	0.040	
	8	焊10锰2	H10Mn2	≤0.12	1.50~1.90	≤0.07	≤0.20	≤0.30	—	—	0.040	0.040	
	9	焊08锰2硅	H08Mn2Si	≤0.11	1.70~2.10	0.65~0.95	≤0.20	≤0.30	—	—	0.040	0.040	
	10	焊08锰2硅高	H08Mn2SiA	≤0.11	1.80~2.10	0.65~0.95	≤0.20	≤0.30	—	—	0.030	0.030	
	11	焊10锰硅	H10MnSi	≤0.14	0.80~1.10	0.60~0.90	≤0.20	≤0.30	—	—	0.030	0.040	
	12	焊10锰硅钼	H10MnSiMo	≤0.14	0.90~1.20	0.70~1.10	≤0.20	≤0.30	0.20~0.40	—	0.030	0.040	

续表 4-2

序号	钢号		化学成分(质量分数)										
	牌号	代号	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	V	其他	S	P	
13	焊10锰硅 钼钛高	H10MnSi MoTiA	0.08~0.12	1.00~1.30	0.40~0.70	≤0.20	≤0.30	0.20~0.40	—	—	0.025	0.030	
14	焊08锰 钼高	H08Mn MoA	≤0.10	1.20~1.60	≤0.25	≤0.20	≤0.30	0.30~0.50	—	Ti≤ 0.15	0.030	0.030	
15	焊08锰2 钼高	H08Mn2 MoA	0.06~0.11	1.60~1.90	≤0.25	≤0.20	≤0.30	0.50~0.70	—	Ti≤ 0.15	0.030	0.030	
16	焊10锰2 钼高	H10Mn2 MoA	0.08~0.13	1.70~1.90	≤0.40	≤0.20	≤0.30	0.60~0.80	—	Ti≤ 0.15	0.030	0.030	
17	焊08锰2 钼钒高	H08Mn2 MoVA	0.06~0.11	1.60~1.90	≤0.25	≤0.20	≤0.30	0.50~0.70	0.06 ~1.12	Ti≤ 0.15	0.030	0.030	
18	焊10锰2 镍钼高	H10Mn2 NiVA	0.08~0.13	1.70~2.00	≤0.40	≤0.20	≤0.30	0.60~0.80	0.06 ~1.12	Ti≤ 0.15	0.030	0.030	
19	焊10锰2镍 钼高	H10Mn2 NiMoA	0.08~0.13	1.80~2.20	0.20~0.50	≤0.20	0.80 ~1.20	0.40~0.70	—	Nb 0.02	0.025	0.030	
20	焊08铬钼高	H08CrMoA	≤0.10	0.40~0.70	0.15~0.35	0.80 ~1.10	≤0.30	0.40~0.60	—	—	0.030	0.030	
21	焊13铬钼高	H13CrMoA	0.15~0.22	0.40~0.70	0.15~0.35	0.80 ~1.10	≤0.30	0.40~0.60	—	—	0.030	0.030	

合金结构钢

续表 4-2

钢号	钢号		化学成分(质量分数)										
	牌号	代号	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	V	其他	S	P	
22	焊 18 铬钼高	H18CrMoA	0.15 ~0.22	0.40 ~0.70	0.15 ~0.35	0.80 ~1.10	≤0.30	0.15 ~0.25	—	—	0.025	0.030	
23	焊 08 铬钼钒高	H08CrMoVA	≤0.10	0.40 ~0.70	0.15 ~0.35	1.10 ~1.30	≤0.30	0.50 ~0.70	0.15 ~0.35	—	0.030	0.030	
24	焊 08 铬镍 2 钼高	H08CrNi2MoA	0.05 ~0.10	0.50 ~0.85	0.10 ~0.30	0.70 ~1.00	1.40 ~1.80	0.20 ~0.40	—	—	0.025	0.030	
25	焊 30 铬锰硅高	H30CrMnSiA	0.25 ~0.35	0.80 ~1.10	0.90 ~1.20	0.80 ~1.10	≤0.30	—	—	—	0.025	0.025	
26	焊 10 钼铬高	H10MoCrA	≤0.12	0.40 ~0.70	0.15 ~0.35	0.45 ~0.65	≤0.30	0.40 ~0.60	—	—	0.030	0.030	
27	焊 1 铬 5 钼	H1Cr5Mo	≤0.12	0.40 ~0.70	0.15 ~0.35	4.00 ~6.00	≤0.30	0.40 ~0.60	—	—	0.030	0.030	
28	焊 1 铬 13	H1Cr13	≤0.15	0.30 ~0.60	0.30 ~0.60	12.00 ~14.00	≤0.60	—	—	—	0.030	0.030	
29	焊 2 铬 13	H2Cr13	0.16 ~0.24	0.30 ~0.60	0.30 ~0.60	12.00 ~14.00	≤0.60	—	—	—	0.030	0.030	
30	焊 0 铬 14	H0Cr14	≤0.06	0.30 ~0.70	0.30 ~0.70	13.00 ~15.00	≤0.60	—	—	—	0.030	0.030	

合金结构钢

不锈钢

续表 4-2

钢号	钢号		化学成分(质量分数)										
	牌号	代号	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	V	其他	S	P	
31	焊1铬17	H1Cr17	≤0.10	≤0.06	≤0.50	15.00 ~17.00	—	—	—	—	0.020	0.030	
32	焊0铬21镍10	H0Cr21Ni10	≤0.06	1.00 ~2.50	≤0.06	19.50 ~22.00	9.00 ~11.00	—	—	—	0.020	0.030	
33	焊00铬21 镍10	H00Cr21Ni10	≤0.03	1.00 ~2.50	≤0.06	19.50 ~22.00	9.00 ~11.00	—	—	—	0.020	0.030	
34	焊1铬19镍9	H1Cr19Ni9	≤0.14	1.00 ~2.00	0.50 ~1.00	18.00 ~20.00	8.00 ~10.00	—	—	—	0.020	0.030	
35	焊0铬19镍9 硅2	H0Cr19Ni9Si2	≤0.06	1.00 ~2.00	2.00 ~2.75	18.00 ~20.00	8.00 ~10.00	—	—	—	0.020	0.030	
36	焊1铬24镍13	H1Cr24Ni13	≤0.12	1.00 ~2.50	≤0.06	23.00 ~25.00	12.00 ~14.00	—	—	—	0.020	0.030	
37	焊1铬24镍13 钼2	H1Cr24Ni13 Mo2	≤0.12	1.00 ~2.50	≤0.06	23.00 ~25.00	12.00 ~14.00	2.00 ~3.00	—	—	0.020	0.030	
38	焊1铬26镍21	H1Cr26Ni21	≤0.15	1.00 ~2.50	0.20 ~0.59	25.00 ~28.00	20.00 ~22.50	—	—	—	0.020	0.030	
39	焊0铬26镍21	H0Cr26Ni21	≤0.08	1.00 ~2.50	≤0.06	25.00 ~28.00	20.00 ~22.50	—	—	—	0.020	0.030	

不 锈 钢

续表 4-2

钢号	钢号		化学成分(质量分数)										
	牌号	代号	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	V	其他	S	P	
40	焊0铬19 镍12钼2	H0Cr19 Ni12Mo2	≤0.08	1.00 ~2.50	≤0.06	18.00 ~20.00	11.00 ~14.00	2.00 ~3.00	—	—	0.020	0.030	
41	焊00铬19 镍12钼2	H00Cr19 Ni12Mo2	≤0.03	1.00 ~2.50	≤0.60	18.00 ~20.00	11.00 ~14.00	2.00 ~3.00	—	—	0.020	0.030	
42	焊00铬19 镍12钼2铜2	H00Cr19 Ni12Mo2Cu2	≤0.03	1.00 ~2.50	≤0.60	18.00 ~20.00	11.00 ~14.00	2.00 ~3.00	—	Cu1.00 ~2.50	0.020	0.030	
43	焊0铬20 镍14钼3	H0Cr20 Ni14Mo3	≤0.06	1.00 ~2.50	≤0.60	18.50 ~20.50	13.00 ~15.00	3.00 ~4.00	—	—	0.020	0.030	
44	焊0铬20 镍10钛	H0Cr20 Ni10Ti	≤0.06	1.00 ~2.50	≤0.60	18.50 ~20.50	9.00 ~10.50	—	—	—	0.020	0.030	
45	焊0铬20 镍10铌	H0Cr20 Ni10Nb	≤0.08	1.00 ~2.50	≤0.60	19.00 ~21.50	9.00 ~11.00	—	—	—	0.020	0.030	
46	焊0铬21 镍10锰6	H1Cr21 Ni10Mn6	≤0.10	5.00 ~7.00	0.20 ~0.6	20.00 ~22.00	9.00 ~11.00	—	—	—	0.020	0.030	
47	焊1铬20镍7 锰6硅2	H1Cr20 Ni7Mn6Si2	≤0.12	5.00 ~7.00	1.80 ~2.6	18.00 ~21.00	6.50 ~8.00	—	—	—	0.030	0.050	
48	焊1铬25钼3 钒2钛	H1Cr25 Mo3V2Ti	≤0.15	0.40 ~0.70	0.60 ~1.0	24.00 ~26.00	≤0.60	2.40 ~2.60	2.00 ~2.5	Ti0.20 ~0.30	0.030	0.030	

不 锈 钢

表 4-3 焊丝化学成分允许的偏差(质量分数) (%)

化学元素	含量范围	允许偏差	化学元素	含量范围	允许偏差
C	≤0.05	± 0.005	Cr	0.2 ~ 1.1	± 0.05
	0.05 ~ 0.20	± 0.008		1.1 ~ 7.0	± 0.10
	≥0.20	± 0.01		≥7.0	± 0.25
Mn	—	± 0.05	Mo	≤1.0	± 0.01
Si	≥0.10	± 0.05		≥1.0	± 0.03
Ni	≥0.6	± 0.25			

焊丝表面不允许有裂纹、折叠、结疤、夹杂、锈蚀和氧化皮等缺陷，经热处理的焊丝允许有氧化色。不锈钢焊丝（除 H0Cr14、H1Cr17、H1Cr13、H2Cr13 钢以外）应经热处理、酸洗、清理后供应用户。盘条验收按 GB 2101—1980《型钢验收、包装、标志及质量证明书的一般规定》逐盘进行尺寸、表面检查，抽查横截面低倍组织。不锈钢焊丝包装应注明焊丝盘内径、重量、焊丝交货状态是冷态还是软态。H0Cr14、H1Cr17、H1Cr13、H1Cr5Mo 焊丝应涂防锈油，其他不锈钢焊丝不涂油，允许涂一层薄石灰。

国内常用的埋弧焊焊丝牌号见表 4-4。对于超出 GB 1300—1977《焊接用钢丝》、GB 3429—1982《碳素焊条钢盘条》、GB/T 14957—1994《熔化焊用钢丝》、GB 4241—1984《焊接用不锈钢盘条》、GB 4242—1984《焊接用不锈钢丝》、YB/T 5092—1996《焊接用不锈钢丝》等标准要求的埋弧焊焊丝产品，既有参照美国 AWS A5.17、AWS A5.21 和 AWS A5.23 进行制造的，也有国内自行开发研制的。

表 4-4 国内常用的埋弧焊焊丝牌号

牌 号	符合标准的焊丝型号		
	中国(GB)	美国(AWS)	日本(JIS)
H08A;H08E	H08A;H08E	EL8	W11
H08MnA	H08MnA	EM12	W11
H10Mn2	H10Mn2	EH14	W41
H10MnSi	H10MnSi	EM13K	—
H08MnMoA	H08MnMoA	—	—
H08Mn2MoA	H08Mn2MoA	—	—
H10Mn2NiMoA	—	—	—
H08MnMoTi	—	—	—
H06MnNiMoA	—	—	—
H05Ni3A	—	—	—
H06Mn2NiCrMoA	—	—	—
H08Mn2Ni2CrMoA	—	—	—
H08CrMoA	H08CrMoA	F9P2-EG-G	S641-1CM
H13CrMoA	H13CrMoA	EB2	—
H11CrMo45A	—	F9P2-EG-B2	S641-2CM
H13Cr2Mo1A	—	F9P2-EG-B3	S642-2CM
H12Cr5MoA	—	F7P2-EG-B6	—
H0Cr20Ni10Ti	—	—	—
D00Cr20Ni10	—	—	—
D00Cr24Ni13Nb	—	—	—

续表 4-4

牌 号	符合标准的焊丝型号		
	中国(GB)	美国(AWS)	日本(JIS)
D00Cr24Ni13	—	—	—
D00Cr20Ni10Nb	—	—	—
D00Cr18Ni12Mo2	—	—	—
D00Cr25Ni22 Mn4Mo2N	—	—	—
HR-MD30	—	—	—
H1Cr13;H2Cr13	—	—	—
HYD047	—	—	—
HYD057	—	—	—
HYD707	—	—	—
TY-YD5 Cr6MnMo(M); PK-YD5 Cr6MnMo(M)	—	—	—
JL-8100MD	—	—	—
JL-8111MD	—	—	—
JL-9401MD	—	—	—
JL-9404MD	—	—	—
JL-9406MD	—	—	—
JL-9501MD	—	—	—
JL-9503MD	—	—	—
HYD117Mn	—	—	—
HYD616Nb	—	—	—

2. 常用的埋弧焊焊丝介绍

(1) H08A、H08E

说明：H08A 及 H08E 是最常见的低碳结构钢埋弧焊焊丝，在埋弧焊焊丝中的使用量最大，焊丝表面经过镀铜或钝化处理。

用途：配合 HJ430、HJ431、HJ433 焊剂，焊接低碳钢及部分低合金钢，如 Q235(A3)、Q295(09Mn2)、Q345(16Mn、16MnCu) 等材料，用于制造锅炉、压力容器、船舶、重型机械等结构。

H08A 和 H08E 焊丝化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 4-5、表 4-6。

表 4-5 焊丝化学成分(质量分数) (%)

试验项目	牌号	C	Mn	Si	Cr	Ni	S	P
保证值	H08A	≤0.10	0.30~0.55	≤0.03	≤0.20	≤0.30	≤0.030	≤0.030
	H08E	≤0.10	0.30~0.55	≤0.03	≤0.20	≤0.30	≤0.025	≤0.025

表 4-6 熔敷金属力学性能(按 GB 5293 配合 HJ431)

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	0℃时 A_{KV} (J)
保证值	410 ~ 550	≥330	≥22	≥27
一般值	≥450	350	28	60

(2) H08MnA

说明：H08MnA 是常用的碳素钢埋弧焊焊丝，配合相应的焊剂，其熔敷金属具有优良的力学性能。采用相同的焊剂，其熔敷金属强度比 H08A、H08E 更高。焊丝表面经过镀铜或钝化处理。

用途：配合 HJ431、HJ350、SJ301 焊剂，焊接低碳钢和相应强度级别的低合金钢，如 Q345(16Mn)、SM50B 等，用于制造锅炉、压力容器、船舶、重型机械等结构。

H08MnA 焊丝化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 4-7、表 4-8。

表 4-7 焊丝化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Ni	S	P
保证值	≤0.10	0.80 ~ 1.10	≤0.07	≤0.20	≤0.30	≤0.030	≤0.030

表 4-8 熔敷金属力学性能(按 GB 5293 配合 HJ431)

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	0℃时 A_{KV} (J)
保证值	410 ~ 550	≥330	≥22	≥27

(3) H10Mn2

说明: H10Mn2 是镀铜的低合金钢埋弧焊焊丝, 配合 HJ130、HJ330、HJ350 焊剂, 熔敷金属具有优良的力学性能。

用途: 配合 HJ130、HJ330、HJ350 焊剂, 主要焊接低合金钢, 如 Q345(16Mn、14MnNb)、Q390(15MnV) 等材料, 用于制造锅炉、压力容器等重要的焊接结构。

H10Mn2 焊丝化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 4-9、表 4-10。

表 4-9 焊丝化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Ni	S	P
保证值	≤0.12	1.50 ~ 1.90	≤0.07	≤0.20	≤0.30	≤0.040	≤0.040

表 4-10 熔敷金属力学性能(按 GB 5293 配合 HJ350)

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)
保证值	410 ~ 550	≥330	≥22

(4) H10MnSi

说明: H10MnSi 是镀铜的低合金钢埋弧焊焊丝, 配合相应的焊剂, 熔敷金属具有优良的力学性能。其焊接生产率高, 焊接质量稳定。

用途: 配合相应的焊剂, 焊接重要的低合金钢, 用于制造锅炉、化工容器、核电站容器、桥梁、船舶等结构。

H10MnSi 焊丝化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 4-11、表 4-12。

表 4-11 焊丝化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Ni	S	P	Cu
保证值	≤0.14	0.80~1.10	0.60~0.90	≤0.20	≤0.30	≤0.030	≤0.040	≤0.35

表 4-12 熔敷金属力学性能(按 GB 5293 配合 HJ431)

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	0℃时 A_{KV} (J)
保证值	410 ~ 550	≥330	≥22	≥27

(5) H08MnMoA

说明: H08MnMoA 是镀铜的低合金钢埋弧焊焊丝, 配合中性焊剂, 焊缝金属晶粒度小, 熔敷金属具有较高的强度、良好的塑性和冲击韧性。

用途: 配合 HJ350、HJ431、SJ301 焊剂, 可焊接重要的低合金钢, 如 19Mn6、Q390(15MnV)、13MnNiMoNbR 等材料, 用于制造锅炉、化工容器、核电站容器等重要结构。

H08MnMoA 焊丝化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 4-13、表 4-14。

表 4-13 焊丝化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Ti	S	P
保证值	≤ 0.10	1.20 ~1.60	≤ 0.25	≤ 0.20	≤ 0.30	0.30 ~0.50	≤ 0.15	≤ 0.030	≤ 0.030

表 4-14 熔敷金属力学性能分(按 GB 5293 配合 HJ431)

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	0℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥600	≥500	≥15	≥27

(6) H08Mn2MoA

说明: H08Mn2MoA 是低合金高强度钢埋弧焊焊丝, 配合 HJ250、SJ101 焊剂, 采用直流反接。熔敷金属具有较好的抗裂性和优良的冲击韧性, 焊后需经 550 ~ 650℃消应力退火处理。

用途: 配合 HJ250、SJ101 焊剂, 主要焊接 13MnNiMoNbR、BHW35、15MnMoV、14MnMoVB、18MnMoNb 等低合金高强钢。

H08Mn2MoA 焊丝化学成分、熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 4-15、表 4-16、表 4-17。

表 4-15 焊丝化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Ti	S	P
保证值	0.08 ~0.13	1.70 ~2.00	≤ 0.40	≤ 0.20	≤ 0.30	0.60 ~0.80	≤ 0.15	≤ 0.030	≤ 0.030

表 4-16 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Mo	S	P
保证值	≤0.08	1.70 ~2.00	≤0.50	0.50 ~0.70	≤0.030	≤0.030

表 4-17 熔敷金属力学性能(按 GB 5293 配合 HJ250)

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	-50℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥690	≥590	≥15	≥27
一般值	690~750	590	20~28	40~80

(7) H10Mn2NiMoA

说明:H10Mn2NiMoA 是高强度合金结构钢埋弧焊焊丝,配合中性、碱性焊剂,熔敷金属具有高强度、高韧性等力学性能,焊缝抗裂性好,质量优良。焊缝质量检查方面主要有表面裂纹检查及 X 光射线、超声波探伤等项目的技术要求,焊接规范要求严格,应控制焊接热输入,制造焊接结构件时大多需要采取预热、后热、消应力退火处理等工艺措施。焊丝直径大多为 $\Phi 3\text{mm}$ 、 $\Phi 4\text{mm}$ 。

用途:配合 HJ350、HJ250、SJ101 焊剂,主要焊接 SA-299、15MnMoVN、14MnMoVN 等高强度调质钢等材料。

H10Mn2NiMoA 焊丝化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 4-18、表 4-19。

表 4-18 焊丝化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Nb	S	P
保证值	0.08 ~0.13	1.80 ~2.20	0.20 ~0.50	≤ 0.20	0.80 ~1.20	0.40 ~0.70	≤ 0.02	≤ 0.025	≤ 0.030

表 4-19 熔敷金属力学性能(按 GB 5293 配合 HJ350)

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	-20℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥650	≥550	≥15	≥47

(8) H08MnMoTi

说明:H08MnMoTi 是低合金钢埋弧焊焊丝,配合 SJ101、SJ104

焊剂,采用直流反接,熔敷金属具有较好的力学性能。

用途:配合碱性焊剂主要焊接抗拉强度 590MPa 级别的细晶粒结构钢、焊接低合金调质钢(如 HQ60、WCF60、Wel-ten60C 等),用于制造工程机械等结构。

H08MnMoTi 焊丝化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 4-20、表 4-21。

表 4-20 焊丝化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Ti	S	P
保证值	≤ 0.10	1.20 ~1.60	≤ 0.25	≤ 0.20	≤ 0.30	0.30 ~0.50	≤ 0.15	≤ 0.030	≤ 0.030

表 4-21 熔敷金属力学性能(配合 SJ101)

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	-20℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥630	≥550	≥20	≥47

(9) H06MnNiMoA

说明:H06MnNiMoA 是低合金钢埋弧焊焊丝,配合 SJ101、SJ603 焊剂,采用直流反接,熔敷金属具有良好的焊接性和低温冲击性能。为了提高焊接接头抗脆性破坏能力,应严格控制焊接热输入,焊丝直径大多是 $\Phi 3\text{mm}$ 、 $\Phi 4\text{mm}$ 。

用途:配合碱性烧结焊剂,焊接 -40℃ 以上使用的 Q345E (16MnDR) 钢材,用于制造压力容器等低温结构。

H06MnNiMoA 焊丝化学成分、熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 4-22、表 4-23、表 4-24。

表 4-22 焊丝化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	S	P
保证值	0.05 ~0.07	1.20 ~1.60	0.20 ~0.50	≤ 0.20	0.80 ~1.20	0.40 ~0.70	≤ 0.025	≤ 0.030

表 4-23 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo
保证值	0.05~0.07	1.20~1.60	0.15~0.35	≤0.20	0.40~0.70	0.10~0.20

表 4-24 熔敷金属力学性能(配合 SJ101)

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	-40℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥490	≥340	≥22	≥27

(10) H05Ni3A

说明:H05Ni3A 是低合金钢埋弧焊焊丝,配合 SJ603 焊剂,采用直流反接,焊缝金属具有特别优良的低温冲击性能。焊丝直径多为 $\Phi 3\text{mm}$ 、 $\Phi 4\text{mm}$ 。

用途:配合高碱度烧结焊剂用于焊接在-100℃以上使用的 3.5% Ni 钢等钢材,用于制造压力容器等低温结构。

H05Ni3A 配合碱性烧结焊剂 SJ603 的熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 4-25、表 4-26。

表 4-25 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Ni
保证值	≤0.04	≤0.50	≤0.20	≤0.20	≤3.5

表 4-26 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	-100℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥530	≥430	≥26	≥60

(11) H06Mn2NiCrMoA

说明:H06Mn2NiCrMoA 是低合金高强度结构钢埋弧焊焊丝,

具有较高的强度和良好的冲击性能。

用途：配合中性焊剂 HJ350 或碱性焊剂 SJ101，焊接抗拉强度 660MPa 等级高强度钢（如 12MnNiCrMoVCu 钢），用于制造大型船舶等结构。

H06Mn2NiCrMoA 配合中性焊剂 HJ350 焊接时的熔敷金属化学成分、力学性能分别见表 4-27、表 4-28。

表 4-27 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo
保证值	0.09	1.02	0.42	0.6	1.3	0.5

表 4-28 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	-40℃时 A_{KV} (J)
保证值	720	610	18	40

(12) H08Mn2Ni2CrMoA

说明：H08Mn2Ni2CrMoA 是低合金高强度结构钢埋弧焊焊丝，焊缝金属具有较高的强度和良好的冲击性能。

用途：配合中性焊剂 HJ350 或碱性焊剂 SJ101，焊接抗拉强度 750MPa 等级高强度钢（如 14MnMoNbB、Wel-ten80C、HQ70 等），用于制造压力容器、工程机械、矿山机械等结构。

H08Mn2Ni2CrMoA 配合中性焊剂 HJ350 的熔敷金属化学成分、力学性能分别见表 4-29、表 4-30。

表 4-29 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo
一般值	0.08	1.50	0.36	0.50	1.60	0.60

表 4-30 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	-40℃时 A_{KV} (J)
保证值	780	660	20	≥27

(13) H08CrMoA

说明：H08CrMoA 是常见的优质耐热钢埋弧焊焊丝，配合中性焊剂 HJ250 或超低氢高碱度焊剂 SJ603 进行多层埋弧焊时，熔敷金属具有优良的抗裂性和力学性能。一般预热、层间温度为 150 ~ 250℃，焊后进行 630 ~ 680℃ 热处理，焊接热输入量应控制在 40 kJ/cm 以下。

用途：配合中性或碱性焊剂，焊接 12CrMo、ASTM A387Cr12、JIS SCMV-2 等耐热钢材料，用于制造压力容器、加氢精制反应器、换热器、蒸汽管道等结构。配合焊剂 SJ115 进行低合金辊及磨损辊的焊接修复。

H08CrMoA 焊丝化学成分、熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 4-31、表 4-32、表 4-33。

表 4-31 焊丝化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	S	P
保证值	≤ 0.10	0.40 ~0.70	0.15 ~0.35	0.80 ~1.10	≤ 0.30	0.40 ~0.60	≤ 0.030	≤ 0.030

表 4-32 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Mo	S	P
保证值	≤0.10	0.80~1.20	0.20~0.40	0.50~1.00	0.40~0.65	≤0.020	≤0.020

表 4-33 熔敷金属力学性能(配合 HJ250)

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)
保证值	450 ~ 585	≥275	≥22

(14) H13CrMoA

说明：H13CrMoA 是常用的优质耐热钢埋弧焊焊丝，配合超低氢高碱度烧结焊剂 SJ603 进行多层埋弧自动焊，熔敷金属具有优良的抗裂性能和良好的力学性能。一般预热、层间温度为 150 ~ 250℃，焊后进行 640 ~ 700℃热处理，焊接热输入量应控制在 30kJ/cm 以下。

用途：配合超低氢高碱度烧结焊剂 SJ603，焊接使用温度在 520℃以下的低合金耐热钢（如 15CrMo、ASTM A387Cr11、ASTM A387Cr12、JIS SCMV-2 等），用于制造加氢裂化器、加氢精制反应器、换热器以及高温、高压管道等结构。

H13CrMoA 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 4-34、表 4-35。

表 4-34 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Mo	S	P
保证值	0.08 ~0.12	0.50 ~1.20	0.20 ~0.40	1.00 ~1.50	0.40 ~0.65	≤ 0.015	≤ 0.015

表 4-35 熔敷金属力学性能(配合 SJ603)

试验项目	R_m (MPa)	20℃时 R_{eL} (MPa)	410℃时 R_{eL} (MPa)	A (%)	10℃时 A_{KV} (J)
保证值	515 ~ 690	≥310	≥180	≥22	≥54
一般值	550 ~ 580	470 ~ 510	300	24	150

(15) H11CrMo45A

说明：H11CrMo45A 是优质耐热钢埋弧焊焊丝，配合超低氢高碱度烧结焊剂 SJ603 进行多层埋弧自动焊，焊缝金属具有优良的抗裂性能和力学性能。一般预热、层间温度为 150 ~ 250℃，焊后进

行 650 ~ 730℃ 热处理, 焊接热输入量控制在 30kJ/cm 以下。采用直流反接, 焊缝以窄焊道为宜。焊前必须清除工件表面的铁锈、油污、水分等杂物。

用途: 配合超低氢高碱度烧结焊剂 SJ603, 焊接使用温度在 520℃ 以下的低合金耐热钢(如 ASTM A387Cr11、ASTM A387Cr12、JIS SCMV-2、1%~1.25%Cr-0.5%Mo)等材料, 用于制造加氢裂化、加氢精制反应器、换热器以及高温、高压管道及火力发电装置等结构。

H11CrMo45A 配合烧结焊剂 SJ603 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 4-36、表 4-37。

表 4-36 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Mo	S	P
保证值	0.05 ~ 0.12	0.50 ~ 1.50	≤ 0.50	1.00 ~ 1.50	0.40 ~ 0.65	≤ 0.025	≤ 0.025

表 4-37 熔敷金属力学性能(配合 SJ603)

试验项目	R_m (MPa)	20℃时 R_{eL} (MPa)	410℃时 R_{eL} (MPa)	A (%)	10℃时 A_{KV} (J)
保证值	450 ~ 585	≥ 275	≥ 180	≥ 22	≥ 54
一般值	510 ~ 530	470 ~ 510	300	24	150

(16) H13Cr2Mo1A (相当 AWS F9P2-EG-B3)

说明: H13Cr2Mo1A 是优质耐热抗氢钢埋弧焊焊丝, 配合超低高碱度烧结焊剂 SJ603 焊接 12Cr2Mo1R 钢 (ASTM A387Cr22、JIS SCWV-4), 熔敷金属在较大回火参数热处理后, 具有优良的低温性能和高温强度、极低的回火脆化敏感性。一般预热、层间温度为 150 ~ 300℃, 焊后进行 675 ~ 730℃ 热处理, 焊接热输入量应控制

在 40kJ/cm 以下,熔敷金属扩散氢含量(甘油法)为 1.5ml/100g。

用途:配合超低高碱度烧结焊剂 SJ603,焊接使用温度为 375 ~ 485℃的 2.25%Cr-1%Mo 钢等钢材,用于制造加氢裂化精制反应器、换热器、高温高压管道等结构。

H13Cr2Mo1A 配合烧结焊剂 SJ603 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 4-38、表 4-39。

表 4-38 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Mo	S	P
保证值	0.08 ~ 0.12	0.70 ~ 1.20	≤ 0.12	2.00 ~ 2.70	0.90 ~ 1.20	≤ 0.015	≤ 0.012

表 4-39 熔敷金属力学性能(配合 SJ603)

试验项目	R_m (MPa)	20℃时 R_{eL} (MPa)	450℃时 R_{eL} (MPa)	A (%)	10℃时 A_{KV} (J)
保证值	520 ~ 690	≥310	≥231	≥19	≥61
一般值	608	518	426	24	150

(17) H12Cr5MoA

说明:H12Cr5MoA 是优质耐热钢埋弧焊焊丝,配合超低氢高碱度烧结焊剂 SJ603 进行埋弧自动焊,焊缝金属具有优良的抗裂性能和力学性能。一般预热、层间温度为 200 ~ 250℃,焊后进行 710 ~ 760℃热处理,焊接热输入量应控制在 40kJ/cm 以下。

用途:配合超低氢高碱度烧结焊剂,焊接 ASTM A387Cr15、JIS SCMV-6 等 5%Cr-0.5%Mo 类型钢材,用于制造高温高压抗氢腐蚀压力容器管道、电站设备等结构。

H12Cr5MoA 配合 SJ603 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 4-40、表 4-41。

表 4-40 熔敷金属化学成分

(%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Mo	S	P
保证值	≤0.12	0.40~0.70	≤0.25	4.50~6.50	0.50~0.65	≤0.020	≤0.020

表 4-41 熔敷金属力学性能(配合 SJ603)

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	10℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥590	460	≥32	170

(18) H0Cr20Ni10Ti

说明: H0Cr20Ni10Ti 是奥氏体组织的不锈钢埋弧焊焊丝, 焊缝金属具有良好的力学性能和抗裂性能、优良的抗晶间腐蚀能力、较好的焊接工艺性能。

用途: 配合不锈钢烧结焊剂 SJ601 或熔炼焊剂 HJ260, 用于制造耐高温、耐腐蚀、耐低温的压力容器、吸收塔、储罐、管道等化工设备及其他设备, 该类设备可以在 -250 ~ 700℃ 温度之间的环境下使用。

H0Cr20Ni10Ti 焊丝化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 4-42、表 4-43。

表 4-42 焊丝化学成分(质量分数)

(%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Ni	Ti	S	P
保证值	≤ 0.06	1.00 ~2.50	≤ 0.60	18.50 ~20.50	9.00 ~10.50	9×C ~1.00	≤ 0.020	≤ 0.030

表 4-43 熔敷金属力学性能(配合 SJ601)

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	20℃时 A_{KV} (J)	-103℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥500	≥320	≥35	≥75	≥47

(19) D00Cr20Ni10

说明: D00Cr20Ni10 是超低碳双相组织不锈钢埋弧焊焊带, 配合焊剂 HJ107 进行大面积堆焊, 堆焊金属金相组织为奥氏体 + (5% ~ 10%) 铁素体, 具有良好的耐腐蚀性能。

用途: 适用于堆焊核电压力容器内衬耐腐蚀层(第二层)。

D00Cr20Ni10 配合焊剂 HJ107 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 4-44、表 4-45。

表 4-44 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Ni	S	P
保证值	≤ 0.020	1.00 ~ 2.50	≤ 0.60	18.5 ~ 20.5	9.0 ~ 11.0	≤ 0.030	≤ 0.030

表 4-45 熔敷金属力学性能(配合 HJ107)

试验项目	R_m (MPa)	A (%)	20℃时 A_{KV} (J)
保证值	550	45	100

(20) D00Cr24Ni13Nb

说明: D00Cr24Ni13Nb 是超低碳不锈钢带极埋弧焊用焊带, 具有良好的抗裂性能和耐腐蚀性能。

用途: 配合焊剂 HJ107Nb, 用于堆焊核电压力容器过渡层、热壁加氢反应器内壁表层。

D00Cr24Ni13Nb 配合焊剂 HJ107Nb 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 4-46、表 4-47。

表 4-46 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Ni	Nb + Ta	S	P
保证值	≤ 0.020	1.00 ~ 2.50	≤ 0.60	23.0 ~ 25.0	12.0 ~ 14.0	8 × C ~ 1.00	≤ 0.020	≤ 0.030

表 4-47 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	A (%)	20℃时 A_{KV} (J)
一般值	580	35	80

(21) D00Cr24Ni13

说明: D00Cr24Ni13 是超低碳不锈钢带极埋弧焊用焊带, 堆焊过渡层可以有效控制材料稀释率, 具有良好的焊接工艺性能和抗裂性能。

用途: 配合焊剂 HJ107, 用于堆焊核电压力容器、热壁加氢反应器、化肥用尿素塔等压力容器内衬里过渡层(第一层)。

(22) D00Cr20Ni10Nb

说明: D00Cr20Ni10Nb 是超低碳双相不锈钢带极堆焊用焊带, 堆焊金属金相组织为奥氏体+(5%~10%)铁素体, 具有较好的耐腐蚀性能。

用途: 配合焊剂 HJ107Nb, 用于堆焊核电压力容器热壁加氢反应器耐蚀层(第二层堆焊)。

D00Cr20Ni10Nb 配合焊剂 HJ107Nb 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 4-48、表 4-49。

表 4-48 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Ni	Nb + Ta	S	P
保证值	≤ 0.020	1.00 ~2.50	≤ 0.60	18.5 ~20.5	9.0 ~11.0	8 × C ~1.00	≤ 0.020	≤ 0.030

表 4-49 熔敷金属力学性能(配合 HJ107Nb)

试验项目	R_m (MPa)	A (%)	20℃时 A_{KV} (J)
一般值	550	42	88

(23) D00Cr18Ni12Mo2

说明: D00Cr18Ni12Mo2 是超低碳双相不锈钢带极堆焊用焊带,堆焊金属金相组织为奥氏体+(5%~10%)铁素体的双相组织,具有较好的耐腐蚀性能和力学性能。

用途:配合焊剂 HJ107,用于堆焊化肥反应塔等压力容器耐蚀层(第二层)。

D00Cr18Ni12Mo2 配合焊剂 HJ107 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 4-50、表 4-51。

表 4-50 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	S	P
保证值	≤ 0.020	1.00 ~ 2.50	≤ 0.50	17.0 ~ 19.0	11.0 ~ 14.0	2.0 ~ 3.0	≤ 0.020	≤ 0.030

表 4-51 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	A (%)	20℃时 A_{KV} (J)
一般值	530	45	82

(24) D00Cr25Ni22Mn4Mo2N

说明: D00Cr25Ni22Mn4Mo2N 是超低碳奥氏体不锈钢埋弧带极堆焊用焊带,配合焊剂 HJ107 熔敷金属具有良好的力学性能,耐腐蚀性能可以达到国家标准要求。

用途:配合焊剂 HJ107,用于堆焊尿素塔内衬里耐蚀层。

D00Cr25Ni22Mn4Mo2N 配合焊剂 HJ107 熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 4-52、表 4-53。

表 4-52 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Ni	N	Mo	S	P
保证值	≤ 0.020	4.0 ~6.0	≤ 0.20	24.0 ~26.0	21.0 ~23.0	0.10 ~0.15	2.0 ~2.5	≤ 0.020	≤ 0.030

表 4-53 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	A (%)	20℃时 A_{KV} (J)
一般值	620	44	80

(25) HR-MD30

说明:HR-MD30 是埋弧自动堆焊药芯焊丝,配合烧结焊剂 SJ101、SJ301 进行埋弧堆焊,焊接工艺性能良好。其熔敷金属具有与母材匹配的强度和硬度、良好的耐磨性。一般工件预热温度为 200 ~ 250℃,并要清除工件表面的油污、铁锈等。

用途:适用于铁路货车车轮、天车车轮表面堆焊。

焊丝熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 4-54、4-55。

表 4-54 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Mo	V	S	P
保证值	0.06 ~0.10	1.60 ~2.20	0.60 ~0.90	0.60 ~0.80	0.40 ~0.70	0.20 ~0.40	≤ 0.030	≤ 0.030

表 4-55 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	A (%)	10℃时 A_{KV} (J)	HRC
保证值	≥850	≥10	≥20	27 ~ 33
一般值	1000	18	44	30

(26) H1Cr13; H2Cr13

说明:H1Cr13、H2Cr13 为马氏体组织的不锈钢埋弧焊焊丝。配合焊剂 SJ101、HJ260,堆焊金属具有良好抗裂性能,并具有一定硬度、耐高温性能、耐磨损性能,焊接时应采取预热、后热、消应力热

处理等工艺措施。

用途：适用于连铸辊、搅拌叶轮、阀座、蒸汽轮机零件、水压机柱塞、热输送滚道辊、初轧开坯辊等耐蚀、耐磨零件的表面堆焊。

H2Cr13 焊丝化学成分、熔敷金属力学性能、焊丝直径和焊接电流分别见表 4-56、表 4-57、表 4-58。

表 4-56 焊丝化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Ni	S	P
保证值	0.16 ~0.24	0.30 ~0.60	0.30 ~0.60	12.00 ~14.00	≤ 0.60	≤ 0.030	≤ 0.030

表 4-57 熔敷金属力学性能(配合 SJ101)

试验项目	R_m (MPa)	A (%)	HRC
一般值	≥450	≥20	40~45

表 4-58 焊丝直径和焊接电流

焊丝直径 (mm)	3.0	4.0	5.0
焊接电流(A)	350~450	450~500	500~600

(27) HYD047

说明：HYD047 属无缝药芯焊丝，表面可以镀铜，配合焊剂 HJ107 进行埋弧堆焊，熔敷金属具有良好的抗挤压磨粒磨损性能和抗裂性能，冷焊无裂纹。焊接工艺性能良好，电弧稳定。

用途：适用于辊压机挤压辊表面的堆焊。

HYD047 配合焊剂 HJ107 焊接，熔敷金属化学成分见表 4-59。堆焊层硬度 ≥HRC55。

表 4-59 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Cr	Mo	Ni	其他元素总量
保证值	≤1.7	4.0 ~ 7.0	1.5 ~ 3.0	≤3.0	≤10.0

(28) HYD057

说明:HYD057 为埋弧焊无缝药芯焊丝,配合焊剂 HJ260,因焊丝中加入稳弧剂,焊接操作简单,焊接工艺性能优良。

用途:适用于热轧辊、开坯辊、支撑辊的制造和焊接修复。

HYD057 配合焊剂 HJ260,熔敷金属化学成分见表 4-60。堆焊层焊态硬度 HRC44 ~ HRC46, 550℃回火处理后硬度 HRC47 ~ HRC49。

表 4-60 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Cr	Mo	V	其他元素总量
保证值	0.2 ~ 0.5	4.0 ~ 6.0	0.50 ~ 1.50	≤1.0	≤6.0

(29) HYD707

说明:HYD707 是碳化钨堆焊药芯焊丝,直流电源,电弧稳定。配合焊剂 HJ260,脱渣性能好,堆焊后具有较高的硬度和耐磨性。工件预热 300℃以上,焊后保温缓冷。

用途:适用于耐磨料磨损零件堆焊,如矿山机械、推土机等零件的堆焊。

HYD707 配合焊剂 HJ260,熔敷金属化学成分见表 4-61。堆焊层焊态硬度 ≥HRC60。

表 4-61 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	W	Mn	Si	其他元素总量
保证值	2.0 ~ 3.0	40.0 ~ 50.0	≤2.0	≤1.0	≤4.0

(30) TY-YD5Cr6MnMo(M); PK-YD5Cr6MnMo(M)

说明:该类焊丝是中碳中合金钢埋弧堆焊药芯焊丝,配合焊剂 HJ260,焊接工艺性能优良,电弧稳定,脱渣性能好,堆焊层具有较高的硬度和耐磨性,硬度 HRC55 ~ HRC60。

用途:用于制造和焊接修复受中等冲击的高硬度、高耐磨零件,如冷轧辊、冷锻模或冲模、齿轮、轴类等。

焊丝配合焊剂 HJ260,熔敷金属化学成分见表 4-62。

表 4-62 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Cr	Mo
保证值	≤0.60	1.50 ~ 2.50	5.0 ~ 7.0	1.50 ~ 2.50

(31) JL-8100MD

说明:该焊丝是埋弧堆焊药芯焊丝,配合焊剂 HJ260,焊接工艺性能优良,电弧稳定,脱渣性能好,焊接效率高,堆焊层具有良好的抗热疲劳和耐磨性能。一般工件焊前预热 350℃,焊后热处理 500℃ × 6 小时。

用途:适用于热轧辊、热轧支撑辊及卷曲辊等轴类、热轧工具的堆焊。

焊丝配合焊剂 HJ260,熔敷金属化学成分、抗回火稳定性能分别见表 4-63、表 4-64。

表 4-63 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Cr	W	其他元素总量
保证值	0.30 ~ 0.40	≤2.0	3.0 ~ 5.0	≤8.0	≤3.0

表 4-64 熔敷金属抗回火稳定性能

温度(℃)	20	500	550	600
硬度(HS)	63	68	71	75

(32) JL-8111MD

说明:该焊丝是铬钼钨钒合金类型埋弧堆焊药芯焊丝,焊接工艺性能优良,电弧稳定,脱渣性能好,焊接效率高,堆焊层具有较高的强度、优良的耐冷、热疲劳和耐磨性能。一般工件焊前预热 350℃,焊后热处理 500℃ × 6 小时。

用途:适用于轴类、热轧工具、水泥磨磨辊的堆焊及热轧平面轧辊的焊接修复。

焊丝熔敷金属化学成分、抗回火稳定性能分别见表 4-65、表 4-66。

表 4-65 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Cr	W	V	Ni	Mo	其他元素总量
一般值	0.35	1.5	3.0	9.5	0.4	1.3	0.85	1.0

表 4-66 熔敷金属抗回火稳定性能

温度(℃)	20	500	560	570	600	620
硬度(HRC)	56	57	60	63	59	55

(33) JL-9401MD

说明:该焊丝是铬镍钼合金 1Cr13 类型埋弧堆焊药芯焊丝,配合焊剂 HJ260,焊接工艺性能优良,电弧稳定,脱渣性能好,焊接效率高,堆焊层具有较高的强度及韧性、优良的耐冷、热疲劳。一般工件焊前预热 350℃,焊后热处理 450℃ × 6 小时。

用途:适用于连铸机轧辊的堆焊。堆焊层硬度 ≥ HRC38。

焊丝熔敷金属化学成分见表 4-67。

表 4-67 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Cr	Mo	Ni	其他元素总量
保证值	0.12	2.70	13.2	1.0	1.4	2.0

(34) JL-9404MD

说明:该焊丝是铬钼钒合金类型埋弧堆焊药芯焊丝,配合焊剂 HJ260,焊接工艺性能优良,电弧稳定,脱渣性能好,焊接效率高,堆焊层具有较高的强度及韧性、优良的耐冷、热疲劳。JL-9404MD 是实芯焊丝 H25Cr3Mo2MnVA 的替代产品。一般工件焊前预热 350℃,焊后热处理 500℃ × 6 小时。

用途:适用于热轧工作辊、支撑辊、开坯辊的堆焊。堆焊层硬度 HS55 ~ HS65。

焊丝熔敷金属化学成分见表 4-68。

表 4-68 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Mo	V
一般值	0.28	1.00	0.70	4.00	1.50	0.75

(35) JL-9406MD

说明:该焊丝是铬钼钨钽钒钛合金类型埋弧堆焊药芯焊丝,配合焊剂 HJ107,焊接工艺性能优良,电弧稳定,脱渣性能好,焊接效率高;堆焊层为高铬铸铁组织,硬度高,红硬性好,高温耐磨性能优良。一般工件焊前预热 350℃,焊后保温缓冷。

用途:适用于制造与焊接修复布料溜槽、高炉料钟等,用于在高温环境下冲刷磨损的工件及严重磨损工件。堆焊层硬度 ≥ HRC60。

焊丝熔敷金属化学成分见表 4-69。

表 4-69 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mo	Nb	W	Cr	V	Ti	其他元素总量
一般值	4.0	6.9	6.7	1.45	20.0	0.5	0.15	3.0

(36) JL-9501MD

说明:该焊丝是铬锰钼合金类型埋弧堆焊药芯焊丝,配合焊剂 HJ260,焊接工艺性能优良,电弧稳定,脱渣性能好,焊接效率高,堆焊层具有良好的耐热疲劳和耐磨性能。一般工件焊前预热 350℃,焊后热处理 500℃ × 6 小时。

用途:适用于天车轮、热轧支撑辊等轴类、热轧工具的堆焊。

焊丝熔敷金属化学成分、抗回火稳定性能分别见表 4-70、表 4-71。

表 4-70 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Cr	Mo	其他元素总量
保证值	0.25	2.25	5.0	1.0	2.0

表 4-71 熔敷金属抗回火稳定性能

温度(℃)	20	500	550	600
硬度(HS)	57 ~ 63	61 ~ 66	50 ~ 60	40 ~ 46

(37) JL-9503MD

说明:该焊丝是铬钼镍合金类型埋弧堆焊药芯焊丝,配合焊剂 HJ107,焊接工艺性能优良,电弧稳定,脱渣性能好,焊接效率高,堆焊层具有较高的强度及冲击韧性、优良的耐冷、热疲劳。一般工件焊前预热 350℃,焊后热处理 500℃ × 6 小时。

用途:适用于冷轧支撑辊、校直辊、夹送辊的堆焊。堆焊层硬度 ≥ HS67。

焊丝熔敷金属化学成分见表 4-72。

表 4-72 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Cr	Mo	Ni
一般值	0.37	2.90	6.20	1.62	0.93

(38) HYD117Mn

说明:HYD117Mn 是埋弧堆焊用药芯焊带,采用直流反接,焊接工艺性能优良。堆焊层可以进行切削加工。焊前工件预热 90 ~ 150℃,并清除工件表面的油污、铁锈等。

用途:配合焊剂 HJ431 堆焊过渡层,多用于焊丝 HYD616Nb 做堆焊前的打底焊,焊接修复承受严重磨粒磨损的耐磨件。堆焊层焊态硬度 \geq HRC30。

HYD117Mn 配合焊剂 HJ431,熔敷金属化学成分、焊接规范参数分别见表 4-73 和表 4-74。

表 4-73 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Cr + Mo	其他元素总量
保证值	≥ 0.10	1.20 ~ 1.60	1.50 ~ 2.50	≤ 2.0

表 4-74 焊接规范参数

焊带规格(宽×厚)	电流(A)	电压(V)	焊接速度(cm/min)
25 mm × 1 mm	450 ~ 500	30 ~ 40	50

(39) HYD616Nb

说明:HYD616Nb 是埋弧堆焊用药芯焊带,配用焊剂 HJ151,采用直流反接,焊接熔深浅,堆焊层硬度稳定,焊接工艺性能优良,堆焊层不能进行切削加工。预热温度 90 ~ 150℃,应清除工件堆焊区表面的油污、铁锈等。

用途:适用于堆焊或焊接修复承受严重磨料磨损和轻冲击载荷的水泥碾辊、电厂磨煤机碾辊、铸造式磨辊表面。堆焊层硬度(焊后缓冷) \geq HRC30。

HYD616Nb 配合焊剂 HJ151,熔敷金属化学成分、焊接规范参数分别见表 4-75 和表 4-76。

表 4-75 熔敷金属化学成分(质量分数)

(%)

试验项目	C	Mn	Si + Nb	Cr	其他元素总量
保证值	1.0 ~ 2.0	0.30 ~ 0.50	5.5 ~ 7.0	10.0 ~ 15.0	≤2.0

表 4-76 焊接规范参数

焊带规格(宽×厚)	电流(A)	电压(V)	焊接速度(cm/min)
25 mm × 1 mm	450 ~ 500	30 ~ 40	50

二、埋弧焊焊剂

埋弧焊焊剂按其制造方法分为三类：熔炼型焊剂、烧结型焊剂、陶质型焊剂。熔炼型焊剂是将各种配料按比例混合，并在电弧炉或火炉中熔炼，在 1 300℃ 高温熔融、低温冷凝，再粉碎制成颗粒。烧结型焊剂是在粉末状配料中加入粘接剂，经搅拌、造粉并经 500 ~ 1 000℃ 的烘焙而成。陶质型焊剂加工方法与烧结型焊剂基本相同，只是烘焙温度为 350 ~ 500℃。

1. 埋弧焊焊剂技术条件

目前国内埋弧焊焊剂的技术标准主要有 GB 5293—1999《碳素钢埋弧焊用焊剂》、GB 12470—1990《低合金钢埋弧焊用焊剂》、GB/T 17854—1999《埋弧焊用不锈钢焊丝和焊剂》、GB 5292.1~5292.12《熔炼焊剂化学分析方法》等标准。埋弧焊焊剂技术要求有：熔敷金属拉伸性能和 V 型缺口冲击吸收功；渣系主要成分；焊接试件射线探伤；焊剂颗粒度；焊剂抗潮性；焊剂含水量；焊剂机械夹杂物；焊剂的焊接工艺性能；焊剂的硫、磷含量；焊缝扩散氢含量等内容。

常用国产埋弧焊焊剂牌号(见表 4-77)。

4-77 常用国产埋弧焊焊剂牌号

种类	序号	牌 号	焊剂型号		
			中国(GB)	美国(AWS)	日本(JIS)
熔 炼 焊 剂	1	HJ130	—	F6AZ-EH14	—
	2	HJ131	—	—	—
	3	HJ150	—	—	—
	4	HJ151	—	—	—
	5	HJ152	—	—	—
	6	HJ172	—	—	—
	7	HJ107	—	—	—
	8	HJ211	F5042-H10Mn2	F7A4-EH14	YSF53-W41
	9	HJ230	—	F6AZ-EM12	—
	10	HJ250	—	—	—
	11	HJ251	—	—	—
	12	HJ252	—	—	—
	13	HJ260	—	—	—
	14	HJ330	—	—	YSF42-W41
	15	HJ331	F5024-H10Mn2G	F7A2-EH14	YSF53-W41
	16	HJ350	—	F6A0-EH14	YSF43-W41
	17	HJ351	—	F6A0-EH14	YSF43-W41
	18	HJ380	F5121-H10MnNiA	—	—
	19	HJ430	—	F6A2-EL12	YSF42-W11
	20	HJ431	—	F6A2-EL12	YSF42-W11

续表 4-77

种类	序号	牌 号	焊剂型号		
			中国(GB)	美国(AWS)	日本(JIS)
熔 炼 焊 剂	21	HJ433	—	F6A2-EL12	YSF42-W11
	22	HJ434	—	F6A2-EL12	YSF42-W11
	23	HJ514	—	—	—
	24	HJ525	—	—	—
	25	HJ534	—	—	—
	26	HJ570N	—	—	—
烧 结 焊 剂	27	SJ101	F4A4-H08MnA	F6A4-EM12	YSF43-W21
			F5A4-H10Mn2	F7A0-EA2-A2	—
	28	SJ102	F5A4-H10Mn2	F7A4-EH12; F8A4-EA2-A2	—
	29	SJ103	—	—	—
	30	SJ104	—	—	—
	31	SJ105	—	—	—
	32	SJ106	—	—	—
	33	SJ107	F5A4-H10Mn2	F7A4-EH14	YSF53-W41
				F8A4-EA2-A2	—
	34	SJ108	—	—	—
	35	SJ110	—	—	—
	36	SJ112	—	—	—
37	SJ201	F5A4-H10Mn2	F6A4-EH14	YSF53-W41	
38	SJ202	—	—	—	

续表 4-77

种类	序号	牌 号	焊剂型号		
			中国(GB)	美国(AWS)	日本(JIS)
烧 结 焊 剂	39	SJ203	—	—	—
	40	SJ301	F4A2-H08MnA	F6A0-EL12	YSF43-W21
				F7A0-EM12K	—
	41	SJ302	—	F6A0-EL8	YSF43-W11
				F6A0-EM12	YSF43-W11
	42	SJ303	—	—	—
	43	SJ401	F4A0-H08A	—	YSF42-W11
	44	SJ402	—	—	—
	45	SJ403	—	—	YSF42-W11
	46	SJ501	F4A0-H08A	F7A2-EL12	YSF42-W11
				F7A0-EM12	—
	47	SJ502	F5A0-H08A	—	—
	48	SJ504	F5A0-H08A	—	—
	49	SJ503	—	F7A2-EM12K	YSF53-W21
	50	SJ512	F5041-H10Mn2	—	—
	51	SJ522	—	—	—
	52	SJ524	—	—	—
53	SJ570	—	—	—	
54	SJ601	F308L; F308; F309	—	—	
55	SJ602	—	—	—	

续表 4-77

种类	序号	牌 号	焊剂型号		
			中国(GB)	美国(AWS)	日本(JIS)
烧 结 焊 剂	56	SJ603	—	—	—
	57	SJ604	—	—	—
	58	SJ605	F6126-H10MnNiMoA	—	—
	59	SJ606	—	—	—
	60	SJ607	—	—	—
	61	SJ608	—	—	—
	62	SJ608A	—	—	—
	63	SJ641	—	—	—
	64	SJ671	—	—	—
	65	SJ701	—	—	—

使用焊剂应注意以下问题:

(1) 焊剂应存放在干燥的库房内,防止受潮影响焊接质量。应妥善运输焊剂,防止包装破损。

(2) 焊剂使用前,应按产品说明书所规定的温度、时间参数进行烘干,熔炼焊剂通常在 250 ~ 300℃烘干 2 小时;烧结焊剂通常在 300 ~ 400℃烘干 2 小时。烘干时,焊剂应散放,厚度不应超过 5cm。

(3) 焊前准备时,应去除焊接区铁锈、油污、水分等杂质。

(4) 使用回收的焊剂,应清除其中的渣壳、碎粉及其他杂物,与未使用的焊剂按一定比例混合均匀后使用。

(5) 使用直流电源时,一般均采用直流反接,即焊丝接正极。

2. 常用的埋弧焊焊剂介绍

(1) HJ130

说明: HJ130 是熔炼型无锰高硅低氟焊剂, 属 $\text{CaO-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ 渣系, 加入 TiO_2 后不仅改善了工艺性能, 同时使 SiO_2 活性增加, 提高了抗气孔性能。HJ130 是黑色的半浮石状颗粒, 粒度为 $2.5 \sim 0.45\text{mm}$ (8 ~ 40 目)。交直流两用, 直流焊时焊丝接正极, 焊接工艺性能良好, 脱渣容易。焊前焊剂须经 250°C 烘干 2 小时。

用途: 配合 H10Mn2 焊丝或其他低合金钢焊丝, 用于焊接低碳钢或其他低合金钢 (如 Q345 等) 结构。

HJ130 焊剂成分、熔敷金属力学性能分别见表 4-78、4-79。

表 4-78 焊剂成分(质量分数) (%)

试验项目	SiO_2	Al_2O_3	CaF_2	TiO_2	CaO	MgO	FeO	S	P
保证值	35~40	12~16	4~7	7~11	10~18	14~19	≤ 2.0	≤ 0.050	≤ 0.050

表 4-79 熔敷金属力学性能(配合焊丝 H10Mn2)

试验项目	R_m (MPa)	R_{el} (MPa)	A (%)
保证值	410 ~ 550	≥ 300	≥ 22

(2) HJ131

说明: HJ131 是熔炼型无锰高硅低氟焊剂, 为白色至灰色浮石状颗粒, 粒度为 $2.0 \sim 0.28\text{mm}$ (10 ~ 60 目)。交直流两用, 焊接工艺性能优良。焊前焊剂须经 250°C 烘干 2 小时。

用途: 配合镍基焊丝焊接镍基合金薄板结构。

HJ131 焊剂成分见表 4-80。

表 4-80 焊剂成分(质量分数) (%)

试验项目	SiO_2	CaO	CaF_2	Al_2O_3	$\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$	FeO	S	P
保证值	34 ~ 38	48 ~ 55	2 ~ 5	6 ~ 9	≤ 3	≤ 1.0	≤ 0.05	≤ 0.08

(3) HJ150

说明: HJ150 是熔炼型无锰中硅中氟焊剂, 为灰色至天蓝色玻璃状或白色浮石状颗粒, 粒度为 2.5 ~ 0.45mm(8 ~ 40 目)。玻璃状时松装比为 1.3 ~ 1.1g/cm³, 适用于小电流。浮石状时松装比为 0.8~1.0 g/cm³, 适用于大电流(≥1 000A)。采用直流电源, 焊丝接正极。焊接工艺性能良好, 脱渣容易。焊前焊剂须经 300 ~ 450℃烘干 2 小时。

用途: HJ150 适用于合金钢、高合金钢的焊接和堆焊, 用于焊接修复轧辊及高炉料钟等易磨损零件。配合焊丝 H2Cr13、H3Cr2W8 等可堆焊轧辊, 也可用于铜的焊接。

HJ150 焊剂成分见表 4-81。

表 4-81 焊剂成分(质量分数)

(%)

试验项目	SiO ₂	CaF ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	FeO	Na ₂ O+K ₂ O	S	P
保证值	21~23	25~33	28~32	3~7	9~13	≤1.0	≤3	≤0.080	≤0.080

(4) HJ151

说明: HJ151 是熔炼型无锰中硅中氟焊剂, 为蓝灰色至深灰色浮石状颗粒, 粒度为 2.0 ~ 0.28mm(10 ~ 60 目)。采用直流电源, 焊丝或焊带接正极。焊接工艺性能良好, 脱渣容易。焊接奥氏体不锈钢时, 具有增碳少和铬烧损少的特点。焊前焊剂须经 300 ~ 450℃烘干 2 小时。配合过渡层焊带 H00Cr26Ni12、表面层焊带 H00Cr21Ni10 在 18MnMoNb 钢上堆焊, 堆焊层增碳 ≤0.01%, 铬烧损 ≤1.5%, $R_m \geq 510$ MPa, $A \geq 35.0\%$ 。晶间腐蚀试样经敏化处理后通过 GB 4334.5《不锈钢硫酸-硫酸铜腐蚀试验方法》的检验。

用途: 配合奥氏体不锈钢焊丝或焊带(如 H0Cr21Ni10、H0Cr20Ni10Ti、H00Cr24Ni12Nb、H00Cr21Ni10Nb、H00Cr26Ni12、H00Cr21Ni10 等)进行带极堆焊或焊接, 用于制造核容器及石油化

工设备耐腐蚀层。配合焊丝 H0Cr16Mn16 可用于高锰钢焊接修复。配方中若加入适量氧化铈还可解决含铈不锈钢脱渣难的问题。

HJ151 焊剂成分见表 4-82。

表 4-82 焊剂成分(质量分数) (%)

试验项目	SiO ₂	CaF ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	FeO	S	P
保证值	24 ~ 30	18 ~ 24	22 ~ 30	13 ~ 20	≤6	≤1.0	≤0.070	≤0.080

(5) HJ152

说明:HJ152 是无锰型焊剂,呈深灰色玻璃状颗粒,粒度为 2.0 ~ 0.28(10 ~ 60 目)。用直流电源,焊接工艺性能良好,焊缝成形美观,高温脱渣性能极佳。焊前焊剂须经 350℃烘干 2 小时。

用途:配用高碳高铬合金管状焊丝,堆焊高铬铸铁磨辊,堆焊层硬度 HRC55 ~ HRC65。适用于磨煤机磨辊堆焊,也可用于高碳高铬耐磨合金的堆焊。

HJ152 焊剂成分见表 4-83。

表 4-83 焊剂成分(质量分数) (%)

试验项目	Al ₂ O ₃ + CaF ₂	CaO + SiO ₂ + K ₂ O	其他元素总量
保证值	30 ~ 60	20 ~ 50	10

(6) HJ172

说明:HJ172 是熔炼型无锰低硅高氟焊剂,为白色至浅灰色半透明玉石状颗粒,粒度为 2.0 ~ 0.28mm(10 ~ 60 目)。用直流电源,焊丝接正极。焊接工艺性能良好,焊接含铈或钛的铬镍不锈钢时不粘渣。熔渣氧化物很弱,合金元素不易烧损,焊缝含氧量低,熔敷金属具有较高的塑性和冲击性能。因为焊剂碱度高,抗气孔能力较差,焊前须清除工件表面的油污、水分等杂物。焊前焊剂须

经 300 ~ 400℃ 烘干 2 小时。

用途：适用于焊接高铬马氏体热强钢，如 15Cr12MoWV 及含铌的铬镍不锈钢。

HJ172 焊剂成分见表 4-84。

表 4-84 焊剂成分(质量分数) (%)

试验项目	MnO	SiO ₂	CaF ₂	Al ₂ O ₃	NaF	CaO	ZrO ₂	FeO	Na ₂ O +K ₂ O	S	P
保证值	1 ~ 2	3 ~ 6	45 ~ 55	28 ~ 35	2 ~ 3	2 ~ 5	2 ~ 4	≤ 0.8	≤ 3	≤ 0.060	≤ 0.050

(7) HJ107

说明：HJ107 是熔炼型无锰中硅中氟焊剂，呈灰黑色，是一种浮石状焊剂，松装比为 0.9g/cm³，为普通焊剂的 65% 左右。使用直流电源焊接时，熔深较浅，电弧稳定，焊缝成形美观。焊剂使用量少，渣壳能自动翘起。由于焊剂中含有较多的 CaF₂，又加入 Na₃AlF₆（冰晶石），抗气孔和抗裂纹能力均有改善。在焊剂中加入 Cr₂O₃，还可以减少不锈钢焊接过程中铬的损失。

用途：HJ107 可用于不锈钢埋弧焊和不锈钢复合层的堆焊，进行含铌不锈钢衬里的带极自动堆焊。配合 H0Cr16Mn16 焊丝可用于高锰钢道岔的埋弧堆焊。

HJ107 焊剂成分见表 4-85。

表 4-85 焊剂成分(质量分数) (%)

试验项目	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaF ₂	MgO	Cr ₂ O ₃	CaO	Na ₃ AlF ₆
保证值	26 ~ 30	24 ~ 30	22 ~ 26	13 ~ 17	≤ 4.5	≤ 4	≤ 3

(8) HJ211

说明：HJ211 是低锰中硅含钛硼焊剂，呈灰黑色颗粒，粒度为 1.6 ~ 0.25mm (12 ~ 65 目)。交直流两用，直流焊时焊丝接正极，焊

接工艺性能良好,脱渣性好,扩散氢含量低。焊前焊剂须经 350℃ 烘干 1 小时,并清除工件表面的铁锈、油污、水分等杂物,焊接线能量应控制在 35kJ/cm 以下,层间温度 $\leq 150^{\circ}\text{C}$,电弧电压 ≤ 35 伏。

用途:配合焊丝 EH14、H10Mn2A,适用于焊接海洋平台、船舶、压力容器等重要结构。焊接平台钢 E36、WFG36E 时,采用多道焊工艺。焊接 Q345E(16MnR)时,焊缝金属 -40°C 冲击性能能够满足压力容器技术要求。

HJ211 焊剂成分、熔敷金属力学性能分别见表 4-86、表 4-87。

表 4-86 焊剂成分(质量分数) (%)

试验项目	$\text{SiO}_2 + \text{TiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{CaO} + \text{MgO} + \text{BaO}$	CaF_2	碱度
保证值	51 ~ 58	24 ~ 28	≤ 15	1.28

表 4-87 熔敷金属力学性能(配合 H10Mn2A)

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	-40°C 时 A_{KV} (J)
保证值	480 ~ 650	≥ 380	≥ 22.0	≥ 27

(9) HJ230

说明:HJ230 是熔炼型低锰高硅低氟焊剂,为青灰色玻璃状颗粒,粒度为 2.5 ~ 0.45 mm(8 ~ 40 目)。交直流两用,直流焊接时,焊丝接正极。焊接工艺性能良好,焊缝成形美观。焊前焊剂须经 250℃ 烘干 2 小时。

用途:配合 H08MnA、H10Mn2 焊丝及某些低合金钢焊丝,焊接低碳钢及某些低合金钢 Q345(16Mn)等钢材。

HJ230 焊剂成分、熔敷金属力学性能分别见表 4-88、表 4-89。

表 4-88 焊剂成分(质量分数) (%)

试验项目	MnO	SiO_2	CaF_2	Al_2O_3	MgO	CaO	FeO	S	P
保证值	5~10	40~46	7~11	10~17	10~14	8~14	≤ 1.5	≤ 0.060	≤ 0.050

表 4-89 熔敷金属力学性能(配合 H08MnA)

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)
保证值	410 ~ 550	≥ 300	≥ 22.0

(10) HJ250

说明:HJ250 是熔炼型低锰中硅中氟焊剂,为淡黄色至浅绿色玉石状颗粒,粒度为 2.5 ~ 0.28 mm(8 ~ 60 目)。采用直流电源,焊丝接正极,焊缝成形较好。适用于厚度大、刚性大或对塑性、冲击性能要求较高的结构。焊前焊剂须经 300 ~ 350℃烘干 2 小时。该焊剂也可用于电渣焊。

用途:配合焊丝 H08MnMoA、H08Mn2MoA、H08Mn2MoVA 可焊接低合金钢 Q390C、14MnMoV、18MnMoNb、14MnMoVB。配合焊丝 H08Mn2MoVA 可焊接-70℃低温环境用钢 09Mn2V,具有较好的低温冲击韧性。配合焊丝 H10CrMo、H18CrMoA、H08CrNi2Mo、H08CrMoV、H08CrMnSiMoVA、H15Cr2MnSiNi2MoV 可焊接 12CrMoV、25CrMoV 等耐热钢。

HJ250 焊剂成分、熔敷金属力学性能分别见表 4-90、表 4-91。

表 4-90 焊剂成分(质量分数) (%)

试验项目	MnO	SiO ₂	GaF ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	FeO	Na ₂ O + K ₂ O	S	P
保证值	5~8	18~22	23~30	18~23	12~16	4~8	≤ 1.5	≤ 3	≤ 0.050	≤ 0.050

表 4-91 熔敷金属力学性能

试验项目	配用焊丝	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	20℃时 A_{KV} (J)
保证值	H08Mn2MoA	685	568	≥ 19	118
	H06Mn2NiCrMoA	735	627	≥ 20	141

(11) HJ251

说明:HJ251 是熔炼型低锰中硅中氟焊剂,为淡黄色至浅绿色玉石状颗粒,粒度 2.0 ~ 0.28mm(10 ~ 60 目)。采用直流电源,焊丝接正极,焊接工艺性能良好。焊前焊剂须经 300 ~ 350℃烘干 2 小时。

用途:配合铬钼钢焊丝焊接珠光体耐热钢,用于制造汽轮机转子,也可用于焊接低合金钢。

HJ251 焊剂成分见表 4-92。

表 4-92 焊剂成分(质量分数) (%)

试验项目	MnO	SiO ₂	CaF ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	FeO	S	P
保证值	7~10	18~22	23~30	18~23	14~17	3~6	≤1.0	≤0.080	≤0.050

(12) HJ252

说明:HJ252 是熔炼型低锰中硅中氟焊剂,为浅灰色至灰色玉石状颗粒,粒度为 2.0 ~ 0.28 mm(10 ~ 60 目)。采用直流电源,焊丝接正极,焊接工艺性能良好,在较窄的深坡口内多层焊接时,脱渣性能良好。焊前焊剂须经 350℃烘干 2 小时。此焊剂也可用于电渣焊。

用途:配合适当的焊丝(如 H10Mn2、H08Mn2MoA、H06Mn2NiMoA)可焊接低合金钢(如 Q345B、Q390C、14MnMoV、18MnMoNb 等),焊缝具有良好的抗裂性能和较好的低温冲击性能,用于制造核容器、石油化工、压力容器等结构。

HJ252 焊剂成分、熔敷金属力学性能分别见表 4-93、表 4-94。

表 4-93 焊剂成分(质量分数) (%)

试验项目	MnO	SiO ₂	CaF ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	FeO	S	P
保证值	2~5	18~22	18~24	22~28	17~23	2~7	≤1.0	≤0.070	≤0.080

表 4-94 熔敷金属力学性能 (配合 H06Mn2NiMoA)

试验项目	R_m (MPa)	A (%)	-20℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥590	≥18.0	≥47

(13) HJ260

说明: HJ260 是熔炼型低锰高硅中氟焊剂, 为灰色玻璃状颗粒, 粒度为 2.0 ~ 0.28mm (10 ~ 60 目)。采用直流电源, 焊丝接正极, 焊接电弧稳定, 成形美观。焊前焊剂须经 300 ~ 400℃ 烘干 2 小时。

用途: 配合 H0Cr21Ni20、H0Cr20Ni10Ti 奥氏体不锈钢焊丝, 可焊接相应的耐酸不锈钢结构, 也可用于轧辊堆焊。

HJ260 焊剂成分见表 4-95。

表 4-95 焊剂成分(质量分数) (%)

试验项目	MnO	SiO ₂	CaF ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	FeO	S	P
保证值	2~4	29~34	20~25	19~24	15~18	4~7	≤1.0	≤0.070	≤0.070

(14) HJ330

说明: HJ330 是熔炼型中锰高硅低氟焊剂, 为棕红色玻璃状颗粒, 粒度为 2.5 ~ 0.45mm (8 ~ 40 目)。交直流两用, 直流焊接时, 焊丝接正极。焊接工艺性能良好, 脱渣容易。焊前焊剂须经 250℃ 烘干 2 小时。

说明: 配合 H08MnA、H08Mn2SiA、H10MnSi 等焊丝, 可焊接低碳钢和某些低合金钢 (如 Q345B、Q390C 等), 用于制造锅炉、压力容器等结构。

HJ330 焊剂成分、熔敷金属力学性能分别见表 4-96、表 4-97。

表 4-96 焊剂成分(质量分数) (%)

试验项目	MnO	SiO ₂	CaF ₂	MgO	Al ₂ O ₃	CaO	FeO	Na ₂ O + K ₂ O	S	P
保证值	22~26	44~48	3~6	16~20	≤4	≤3	≤1.5	≤1	≤0.060	≤0.080

表 4-97 熔敷金属力学性能(配合 H10Mn2)

试验项目	R _m (MPa)	R _{eL} (MPa)	A (%)	0℃时 A _{KV} (J)
保证值	410 ~ 550	≥330	≥22.0	≥27

(15) HJ331

说明: HJ331 为中锰高硅低氟中性焊剂, 呈褐绿色玻璃状, 粒度为 1.6 ~ 0.25mm(12 ~ 65 目)。交直流两用, 坡口内脱渣容易, 适用大电流、较快焊接速度(~ 60m/h)。焊缝金属具有良好的抗裂性能和低温冲击性能。焊前焊剂须经 300℃烘干 2 小时。

用途: 适用于焊接低碳钢、低合金钢, 用于制造船舶、压力容器、桥梁等结构。

HJ331 焊剂成分、熔敷金属力学性能分别见表 4-98、表 4-99。

表 4-98 焊剂成分(质量分数) (%)

试验项目	SiO ₂ + TiO ₂	CaO + MgO	MnO + Al ₂ O ₃	CaF ₂ + 其他焊剂成分
一般值	40	25	23	10

表 4-99 熔敷金属力学性能

试验项目	焊接材料	R _m (MPa)	R _{eL} (MPa)	A (%)	0℃时 A _{KV} (J)
保证值	HJ402-H08A	410 ~ 550	≥330	≥22.0	≥27
	HJ502-H10Mn2G	490 ~ 650	≥400	≥22.0	≥27
一般值	HJ502-H10Mn2G	545	420	32	50

(16) HJ350

说明: HJ350 是熔炼型中锰中硅中氟焊剂, 棕色至浅黄色的玻璃状颗粒, 自动焊时的焊剂粒度为 2.5 ~ 0.45mm(8 ~ 40 目), 半自动焊时或细丝焊时的焊剂粒度为 1.18 ~ 0.18mm(14 ~ 80 目)。交直流两用, 直流时焊丝接正极, 焊接工艺性能良好, 脱渣容易, 焊缝成形美观。熔敷金属扩散氢含量较低, 焊接低合金高强度钢时抗冷裂纹性能良好。焊前焊剂须经 300 ~ 400℃烘干 2 小时。

用途: 配合焊丝 H10Mn2、H10MnSiMoTi 可以焊接低合金钢(如 Q345B、Q390C、Q420C)等钢材, 用于制造船舶、锅炉、高压容器等重要结构。细粒度焊剂可用于细丝埋弧焊, 焊接薄板结构。

HJ350 焊剂成分、熔敷金属力学性能分别见表 4-100、表 4-101。

表 4-100 焊剂成分(质量分数) (%)

试验项目	MnO	SiO ₂	CaF ₂	Al ₂ O ₃	CaO	FeO	S	P
保证值	14 ~ 19	30 ~ 35	14 ~ 20	13 ~ 18	10 ~ 18	≤1.0	≤0.060	≤0.070

表 4-101 熔敷金属力学性能(配合 H10Mn2)

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	-20℃时 A_{KV} (J)
保证值	410 ~ 550	≥330	≥22.0	≥27

(17) HJ351

说明: HJ351 是熔炼型中锰中硅中氟焊剂, 为棕色至浅黄色玻璃状颗粒。粒度为 2.5 ~ 0.45mm(8 ~ 40 目)和 1.18 ~ 0.18mm(14 ~ 80 目)。交直流两用, 焊接工艺性能良好, 脱渣容易。焊前焊剂须经 300 ~ 400℃烘干 2 小时。

用途: 适用于焊接锰钼、锰硅及含镍的低合金钢, 用于制造船舶、锅炉、高压容器等重要结构。细粒度焊剂用于焊接薄板结构。

HJ351 焊剂成分、熔敷金属力学性能分别见表 4-102、表 4-103。

表 4-102 焊剂成分(质量分数) (%)

试验项目	MnO	SiO ₂	CaF ₂	Al ₂ O ₃	CaO	TiO ₂	FeO	S	P
保证值	14~19	30~35	14~20	13~18	10~18	2~4	≤1.0	≤0.040	≤0.050

表 4-103 熔敷金属力学性能(配合 H10Mn2)

试验项目	R _m (MPa)	R _{eL} (MPa)	A (%)	-20℃时 A _{KV} (J)
保证值	410 ~ 550	≥330	≥22.0	≥27

(18) HJ380

说明：HJ380 是中锰中硅高氟焊剂，为棕红色至浅绿色玻璃状颗粒，粒度为 2.0 ~ 0.25mm (10 ~ 65 目)。直流反接，焊接工艺性能良好，脱渣容易，焊接线能量应控制在 22 ~ 29kJ/cm 之间，焊缝金属具有良好的抗裂性能和力学性能。熔敷金属扩散氢含量 ≤3ml/100g(甘油法)。焊前焊剂须经 300 ~ 350℃烘干 2 小时。

用途：配合 H10MnNiA 焊丝焊接核 II 级容器用钢 15MnNi 等钢材，用于制造核电工程结构，也可用于其他锰镍系列钢材的焊接。

HJ380 焊剂成分、熔敷金属力学性能分别见表 4-104、表 4-105。

表 4-104 焊剂成分(质量分数) (%)

试验项目	Al ₂ O ₃ + SiO ₂	MnO + MgO + CaO	CaF ₂	其他焊剂成分	碱度
保证值	≤40	≤30	≤20	≤10	1.13

表 4-105 熔敷金属力学性能(配合 H10MnNiA)

试验项目	R _m (MPa)	R _{eL} (MPa)	A (%)	-20℃时 A _{KV} (J)
保证值	480 ~ 650	≥380	≥22.0	≥27

(19) HJ430

说明: HJ430 是熔炼型高锰高硅低氟焊剂, 为棕色到褐绿色的玻璃状颗粒, 普通粒度为 2.5 ~ 0.45mm(8 ~ 40 目), 细颗粒度为 1.18 ~ 0.18mm(14 ~ 80 目)。交直流两用, 直流焊时焊丝接正极。焊接工艺性能良好, 抗气孔性能优良, 抗锈能力较强。焊前须经 250℃ 烘干 2 小时。

用途: 配合 H08A、H08MnA、H10MnSi 等焊丝, 可焊接低碳钢及某些低合金钢(如 Q345B、Q390C)等钢材, 用于制造锅炉、船舶、压力容器、管道等结构。采用细颗粒焊剂进行细丝埋弧焊, 可以焊接薄板结构。

HJ430 焊剂成分、熔敷金属力学性能分别见表 4-106、表 4-107。

表 4-106 焊剂成分(质量分数) (%)

试验项目	MnO	SiO ₂	CaF ₂	CaO	Al ₂ O ₃	FeO	S	P
保证值	38 ~ 47	38 ~ 45	5 ~ 9	≤6	≤5	≤1.8	≤0.060	≤0.080

表 4-107 熔敷金属力学性能(配合 H08A)

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	0℃时 A_{KV} (J)
保证值	410 ~ 550	≥330	≥22.0	≥27

(20) HJ431

说明: HJ431 是熔炼型高锰高硅低氟焊剂, 目前在国内使用量最大, 为红棕色至浅黄色的玻璃状颗粒, 粒度为 2.5 ~ 0.45mm(8 ~ 40 目), 交直流两用, 直流焊时焊丝接正极。焊接工艺性能良好, 抗气孔能力强, 表面成形美观, 脱渣性能好。焊前焊剂须经 250℃ 烘干 2 小时。

用途: 配合 H08A、H08MnA、H10MnSi 等焊丝, 可焊接低碳钢及 Q345B(16Mn)、Q390C(15MnV)等低合金钢, 用于制造锅炉、船

船、压力容器等结构,也可以用于电渣焊及铜的焊接。

HJ431 焊剂成分、熔敷金属力学性能分别见表 4-108、表 4-109。

表 4-108 焊剂成分(质量分数) (%)

试验项目	MnO	SiO ₂	CaF ₂	MgO	CaO	Al ₂ O ₃	FeO	S	P
保证值	32 ~ 38	40 ~ 44	3 ~ 7	5 ~ 8	≤8	≤6	≤1.8	≤0.060	≤0.080

表 4-109 熔敷金属力学性能(配合 H08A)

试验项目	R _m (MPa)	R _{eL} (MPa)	A(%)	0℃时 A _{KV} (J)
保证值	410 ~ 550	≥330	≥22.0	≥27
一般值	453	359	32	110

(21) HJ433

说明:HJ433 是熔炼型高锰高硅低氟焊剂,为棕色至浅褐色的玻璃状颗粒,粒度为 2.5 ~ 0.45mm (8 ~ 40 目),交直流两用,直流焊时焊丝接正极。电弧稳定,能自动脱渣,可多层多道连续焊。有较高的熔化温度及粘度,适宜快速焊接。焊前焊剂须经 250℃烘干 2 小时。

用途:配合焊丝 H08A、H08MnA、H10MnSi 可焊接低碳钢、低合金钢,用于制造锅炉、压力容器、管道等结构,也可用于输油输气的螺旋焊管的高速焊接。

HJ433 焊剂成分、熔敷金属力学性能分别见表 4-110、表 4-111。

表 4-110 焊剂成分(质量分数) (%)

试验项目	MnO	SiO ₂	CaF ₂	CaO	Al ₂ O ₃	FeO	Na ₂ O + K ₂ O	S	P
保证值	44 ~ 47	42 ~ 45	2 ~ 4	≤4	≤3	≤1.8	≤0.5	≤0.060	≤0.080

表 4-111 熔敷金属力学性能(配合 H08A)

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	0℃时 A_{KV} (J)
保证值	410 ~ 550	≥330	≥22.0	≥27

(22) HJ434

说明:HJ434 是熔炼型高锰高硅低氟焊剂,为棕色至褐绿色的玻璃状颗粒,粒度为 2.5 ~ 0.45mm(8 ~ 40 目),交直流两用,直流焊时焊丝接正极。焊接工艺性能良好,脱渣容易,抗锈能力强。焊前焊剂须经 300℃烘干 2 小时。

用途:配合 H08A、H08MnA、H10MnSi 等焊丝,可焊接低碳钢及某些低合金钢,用于制造管道、锅炉、压力容器、桥梁等结构。

HJ434 焊剂成分、熔敷金属力学性能分别见表 4-112、表 4-113。

表 4-112 焊剂成分(质量分数) (%)

试验项目	MnO	SiO ₂	CaF ₂	CaO	TiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	FeO	S	P
保证值	35~40	44~50	4~8	3~9	1~8	≤6	≤5	≤1.5	≤0.050	≤0.050

表 4-113 熔敷金属力学性能(配合 H08A)

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	0℃时 A_{KV} (J)
保证值	410 ~ 550	≥330	≥22.0	≥27

(23) HJ514

说明:HJ514 是碱性($B \approx 2.0$)陶质焊剂,粒度为 2.0 ~ 0.28mm(10 ~ 60 目),直流反接,脱渣容易,焊道成形美观。焊剂中含有脱氧剂,因此焊丝中合金元素烧损少,熔敷金属中硫、磷及氧化物等杂质含量极低。焊前焊剂须经 350℃烘干 2 小时。

用途:配合 H30CrMnSi、H25Cr3Mo2MnV、H15CrMo、H20CrMo、

HCr5Mo、H08A 等焊丝可焊接低合金高强度钢。配合 H25Cr3Mo2MoV 焊丝可进行高温耐磨件的表面堆焊，堆焊金属消除应力处理后的硬度为 HRC 50，在 650℃时为 HV340。

HJ514 焊剂成分见表 4-114。

表 4-114 焊剂成分(质量分数) (%)

试验项目	CaO + MgO	CaF ₂ + Al ₂ O ₃	TiO ₂ + SiO ₂	其他焊剂成分
一般值	40	40	15	5

(24) HJ525

说明：HJ525 是高碱度、铬钢系列材料带极埋弧自动堆焊用陶质焊剂，直流反接，平特性电源和下降特性电源均可使用。适用带极尺寸为 30mm × 0.5mm、50mm × 0.4mm、60mm × 0.5mm。焊接熔深浅，熔合线平直，焊道成形美观，脱渣容易。堆焊金属中硫、磷含量低。焊前焊剂须经 350℃烘干 2 小时。

用途：配合铬钢系列带极材料可用于各类大型轧辊及连铸辊等圆柱体外表面的堆焊，也可用于各种容器防腐衬里内表面的堆焊，平板上堆焊效果更佳。

HJ525 焊剂成分见表 4-115。

表 4-115 焊剂成分(质量分数) (%)

试验项目	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	SiO ₂	CaF ₂	金属粉和铁合金	其他焊剂成分
保证值	2~15	20~35	10~30	2~15	5~25	20~35	3~5

(25) HJ534

说明：HJ534 是碱性(B ≈ 2.5)陶质焊剂，为深灰色球形颗粒，粒度为 2.0 ~ 0.28mm(10 ~ 60 目)。直流反接，熔敷金属中硫、磷等元素含量极低，合金元素烧损少，焊缝成形美观，容易脱渣。焊前焊

剂须经 350℃烘干 2 小时。

用途:配合 3Cr2W8V 焊丝,适用于使用温度在 700℃以下、承受磨损的工件表面埋弧自动堆焊,堆焊金属焊态硬度为 HRC47~HRC54,消除应力处理后为 HRC54~HRC57,在 650℃下为 HV370。

HJ434 焊剂成分、熔敷金属化学成分分别见表 4-116、表 4-117。

表 4-116 焊剂成分(质量分数) (%)

试验项目	CaO+MnO	CaF ₂ + Al ₂ O ₃	TiO ₂ + SiO ₂	金属粉 + 铁合金	其他焊剂 成分
保证值	35	30	20	10	5

表 4-117 配合 3Cr2W8V 焊丝堆焊熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Si	Mn	Cr	W	V
一般值	0.40	0.15	0.27	4.12	7.34	0.27

(26) HJ570N

说明:HJ570N 是专用于各种镍基合金焊接的陶质焊剂,焊剂碱度高,熔敷金属中有害杂质含量极低,直流反接,焊缝成形美观,有良好的高温脱渣性能。焊前焊剂须经 350℃烘干 2 小时。

用途:可与各种镍基合金焊丝相匹配,进行埋弧自动焊或表面堆焊。

HJ525 焊剂成分见表 4-118。

表 4-118 焊剂成分(质量分数) (%)

试验项目	CaO + MgO	CaF ₂ + Al ₂ O ₃	SiO ₂	其他焊剂成分
一般值	40	30	10	20

(27) SJ101

说明: SJ101 是氟碱型烧结焊剂,碱度值为 1.8,为灰色圆形颗

粒,粒度为 2.0 ~ 0.28mm(10 ~ 60 目)。交直流两用,直流焊时焊丝接正极,最大电流可达 1200A。电弧稳定,脱渣容易,焊缝成形美观,焊缝金属具有较高的低温冲击性能。焊剂具有较好的抗吸潮性,颗粒强度高,焊剂松装比重较小,焊接过程中焊剂耗用量少。焊前焊剂须经 300 ~ 350℃烘干 2 小时,并应清除工件表面的铁锈、油污、水分等杂质。

用途:配合焊丝 H08MnA、H10Mn2、H08MnMoA、H08Mn2MoA 可焊接多种低合金结构钢,可采用多层焊、双面单道焊、多丝焊和窄间隙埋弧焊等形式,用于制造锅炉、压力容器、船舶、管道等产品中重要的受压件和主要受力件。

SJ101 焊剂成分、熔敷金属化学成分分别见表 4-119、表 4-120。

表 4-119 焊剂成分(质量分数) (%)

试验项目	SiO ₂ + TiO ₂	CaO+MgO	Al ₂ O ₃ +MnO	CaF ₂	S	P
一般值	20 ~ 30	20 ~ 30	15 ~ 30	15 ~ 25	≤0.060	≤0.080

表 4-120 熔敷金属力学性能

试验项目	配用焊丝	R _m (MPa)	R _{eL} (MPa)	A (%)	A _{KV} (J)			
					20℃	0℃	-20℃	-40℃
保证值	H08MnA	450 ~ 550	≥360	≥24	≥150	≥110	≥80	≥34
	H10Mn2	500 ~ 600	≥400	≥24	≥150	≥110	≥80	≥34
	H08MnMoA	550 ~ 650	≥430	≥20	≥90	≥70	≥34	—
	H08Mn2MoA	620 ~ 750	≥500	≥20	≥90	≥70	≥34	—

(28) SJ102; SJ102DR; SJ102M

说明: SJ102、SJ102DR、SJ102M 是氟碱型高碱度烧结焊剂,碱度值为 3.5,球形颗粒,粒度 2.0 ~ 0.28mm(10 ~ 60 目)。直流反接,

焊丝接正极,焊接工艺性能优良,电弧稳定,焊道成形美观,脱渣性能优异。焊前须经 300 ~ 350℃ 烘干 2 小时。

用途: SJ102 配合 H08MnA、H10Mn2、H08MnMoA 等焊丝,可焊接低合金结构钢,用于制造高强度的船体结构、压力容器、厚板结构。SJ102DR 配合焊丝 H10Mn2DR 用于制造低温槽车、储罐、压力容器等结构。SJ102M 配合 H08Cr1MoJQ、H10CrMoJQ 焊丝可分别焊接 1.25%Cr-0.5%Mo、2.25%Cr-1%Mo 类型的耐热钢。

SJ102 焊剂成分、熔敷金属化学成分分别见表 4-121、表 4-122。

表 4-121 焊剂成分(质量分数) (%)

试验项目	SiO ₂ + TiO ₂	CaO + MgO	Al ₂ O ₃ + MnO	CaF ₂	S	P
保证值	10 ~ 15	34 ~ 45	15 ~ 25	20 ~ 30	≤0.060	≤0.080

表 4-122 熔敷金属力学性能

配用焊丝	R _m (MPa)	R _{eL} (MPa)	A (%)	A _{KV} (J)			
				0℃	-20℃	-40℃	-60℃
H08MnA	490 ~ 560	≥400	≥24	≥120	≥90	≥40	—
H10Mn2	540 ~ 660	≥450	≥24	≥120	≥90	≥60	≥40
H08MnMoA	580 ~ 690	≥500	≥20	≥100	≥80	≥60	≥40

(29) SJ103

说明: SJ103 是高碱度烧结焊剂,呈椭圆形颗粒,粒度为 2.0 ~ 0.15mm(10 ~ 100 目),直流反接,电弧稳定,高温脱渣性好。在 SJ103 焊剂的化学成分中 S ≤ 0.030%、P ≤ 0.030%,焊缝金属扩散氢含量 ≤ 5.0 ml/100g(色谱法或水银法)。配合 2.25%Cr-1%Mo 类型焊丝可焊接热壁加氢反应器,焊缝金属不增硅、不增磷,熔敷金属扩散氢含量低。焊前焊剂须经 350℃ 烘干 2 小时。

用途: 配合 2.25%Cr-1%Mo 类型焊丝,用于制造热壁加氢反应

器中的耐热部件。

经过 620~690℃回火处理, SJ103 熔敷金属力学性能见表 4-123。

表 4-123 熔敷金属力学性能(配合 2.25%Cr-1%Mo 焊丝)

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	HBS
保证值	≥520	≥310	≥19.0	200

(30) SJ104

说明: SJ104 是高碱度烧结焊剂, 碱度值为 2.7, 呈灰红色椭圆形颗粒, 粒度为 2.0 ~ 0.15mm(10 ~ 100 目), 直流反接, 焊丝接正极, 电弧稳定, 焊缝成形美观, 脱渣容易。熔敷金属扩散氢含量 ≤4.0 ml/100g(色谱法或水银法), 抗冷裂纹性能好, 具有良好的低温冲击性能。焊前焊剂须经 400℃烘干 2 小时。

用途: 配合 H10Mn2、H08MnMoTi 焊丝可焊接 HQ60 钢, 用于制造重型汽车的大梁等结构。配合 H08Cr2.25Mo1A 焊丝可焊接 2.25%Cr-1%MoA 钢, 用于制造热壁加氢反应器厚壁容器中的耐热部件。

SJ104 焊剂成分、熔敷金属化学成分分别见表 4-124、表 4-125。

表 4-124 焊剂成分(质量分数) (%)

试验项目	SiO ₂ + TiO ₂	Al ₂ O ₃ + MnO	CaO + MgO	CaF ₂	S	P
保证值	10 ~ 20	20 ~ 25	30 ~ 35	20 ~ 25	≤0.060	≤0.080

表 4-125 熔敷金属力学性能

试验项目	配用焊丝	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	A_{KV} (J)	
					-10℃	-40℃
保证值	H10Mn2	630	525	22.0	101	76
	H08MnMoTi	630	554	23.0	105	84

(31) SJ105

说明: SJ105 是氟碱型烧结焊剂, 碱度值约为 2.2, 焊剂呈棕色圆形颗粒, 粒度为 2.0 ~ 0.28mm(10 ~ 60 目), 直流焊接, 焊丝接负极。焊剂的抗潮性良好、颗粒强度高, 松装比重小。电弧稳定, 脱渣容易, 焊缝成形美观, 可以多层多道焊。熔敷金属具有良好的抗裂性能和良好的低温冲击性能。焊前焊剂须经 300 ~ 400℃ 烘干 1 小时。

用途: 配合 H08MnA、H10Mn2、H08Mn2MoA 等焊丝, 可焊接管线钢及细晶粒结构钢, 用于制造船舶、压力容器等重要结构。配合 WM-210 药芯耐磨合金焊丝, 用于轧辊的表面堆焊, 堆焊金属的硬度 \geq HRC45。

SJ105 焊剂成分、熔敷金属力学性能分别见表 4-126、表 4-127。

表 4-126 焊剂成分(质量分数) (%)

试验项目	SiO ₂ + TiO ₂	Al ₂ O ₃ + MnO	CaO + MgO	CaF ₂	S	P
保证值	16 ~ 22	18 ~ 20	30 ~ 34	18 ~ 25	\leq 0.060	\leq 0.080

表 4-127 熔敷金属力学性能

试验项目	配用焊丝	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	A_{KV} (J)	
					-30℃	-40℃
保证值	H08MnA	450 ~ 550	\geq 360	\geq 24	\geq 90	\geq 54
	H08Mn2	500 ~ 600	\geq 400	\geq 24	\geq 90	\geq 54
	H08MnMoA	550 ~ 650	\geq 430	\geq 20	\geq 70	\geq 47

(32) SJ106

说明: SJ106 是碱性合金化烧结焊剂, 粒度为 2.0 ~ 0.45mm(10 ~ 40 目), 直流反接, 堆焊金属具有良好的耐磨损、耐冷热疲劳、耐

高温氧化等综合性能，可以大幅度提高热轧辊和耐磨件的使用寿命。焊前焊剂须经 300 ~ 350℃烘干 2 小时。

用途：配合 H3Cr2W8V 焊丝，可堆焊各种热轧辊、矿山机械等零件，堆焊金属硬度 \geq HRC50。

SJ106 熔敷金属化学成分见表 4-128。

表 4-128 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	W	V
一般值	0.2	1.4	0.8	0.20	0.3

(33) SJ107

说明：SJ107 是氟碱型高碱度烧结焊剂，为灰色圆形颗粒，粒度为 2.0 ~ 0.28mm(10 ~ 60 目)，交直流两用，直流焊时焊丝接正极，最大焊接电流可达 800A。电弧稳定，脱渣容易，焊缝成形美观。熔敷金属具有较高的低温冲击性能。焊前焊剂须经 300 ~ 350℃烘干 2 小时。

用途：配合 H08MnA、H08MnMoA、H08Mn2MoA、H10Mn2 等焊丝，可焊接多种低合金结构钢，可以多道焊、双面单道焊、多丝焊、窄间隙埋弧自动焊，用于制造高强度船体结构、压力容器等结构。

SJ107 焊剂成分、熔敷金属力学性能分别见表 4-129、表 4-130。

表 4-129 焊剂成分(质量分数) (%)

试验项目	SiO ₂ + TiO ₂	Al ₂ O ₃ + MnO	CaO + MgO	CaF ₂
保证值	10 ~ 15	15 ~ 25	35 ~ 45	20 ~ 30

表 4-130 熔敷金属力学性能(配合 H10Mn2)

试验项目	R _m (MPa)	R _{eL} (MPa)	A (%)	-40℃时 A _{KV} (J)
保证值	480 ~ 650	\geq 380	\geq 22.0	\geq 27

(34) SJ108

说明: SJ108 是碱性合金化烧结焊剂, 粒度为 2.0 ~ 0.45mm(10 ~ 40 目), 直流反接, 堆焊金属具有良好的耐磨损、耐疲劳等性能。焊前焊剂须经 300 ~ 350℃ 烘干 2 小时。

用途: 配合 H25Cr3Mo2MnVA 焊丝可堆焊热轧辊, 堆焊金属硬度 \geq HRC45。

SJ108 熔敷金属化学成分见表 4-131。

表 4-131 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Mo	V
一般值	0.2	1.0	0.5	1.2	0.3

(35) SJ110

说明: SJ110 是碱性合金化烧结焊剂, 粒度为 2.0 ~ 0.45mm(10 ~ 40 目), 直流反接, 堆焊金属具有良好的耐磨损、耐冷热疲劳、耐高温氧化等特点。焊前焊剂须经 300 ~ 350℃ 烘干 2 小时。

用途: 配合 H30CrMnSiVA、H12CrMoV 等焊丝, 用于堆焊各种生产无缝钢管的热轧辊。

SJ110 焊剂配合 H30CrMnSiVA 焊丝的熔敷金属化学成分见表 4-132。

表 4-132 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	V
一般值	0.2	0.8	0.5	2.0	0.2

(36) SJ112

说明: SJ112 是碱性合金化烧结焊剂, 粒度为 2.0 ~ 0.45mm(10 ~ 40 目), 直流反接, 堆焊金属具有优良的高温耐磨性、耐腐蚀性和抗

裂性。焊前焊剂须经 300 ~ 350℃烘干 2 小时。

用途：配合 H0Cr13、H1Cr13、H2Cr13 等焊丝可堆焊连铸辊。

SJ112 焊剂配合 H0Cr13 焊丝的熔敷金属化学成分见表 4-133。

表 4-133 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Mo
一般值	0.08	1.50	0.70	13.0	0.80

(37) SJ201

说明：SJ201 是铝碱型烧结焊剂，为深灰色球形颗粒，粒度为 2.0 ~ 0.28mm(10 ~ 60 目)，直流焊时焊丝接正极，最大焊接电流可达 700A。电弧稳定，焊缝成形美观，脱渣容易，熔敷金属有较高的低温冲击性能。焊前焊剂须经 300 ~ 350℃烘干 2 小时。

用途：配合 H08MnA、H10Mn2、H08Mn2MoA 等焊丝，可焊接多种低合金结构钢，特别适合窄坡口、窄间隙焊接形式。

SJ201 焊剂成分、熔敷金属力学性能分别见表 4-134、表 4-135。

表 4-134 焊剂成分(质量分数) (%)

试验项目	SiO ₂ + TiO ₂	Al ₂ O ₃ + MnO	CaF ₂	CaO + MgO	其他焊剂成分
一般值	16	40	30	4	10

表 4-135 熔敷金属力学性能(配合 H10Mn2)

试验项目	R _m (MPa)	R _{eL} (MPa)	A (%)	-40℃时 A _{KV} (J)
保证值	480 ~ 650	≥380	≥22.0	≥27

(38) SJ202

说明：SJ202 是埋弧堆焊用的高铝型烧结焊剂。颜色为灰色颗粒，粒度为 2.0 ~ 0.28mm(10 ~ 60 目)。直流反焊，焊接工艺性能优良，

脱渣容易,成形美观。堆焊金属具有较高的耐冷热疲劳、抗高温氧化和耐磨性能,堆焊层硬度 HRC50 ~ HRC62,焊前工件应预热,焊后进行消应力热处理。焊前焊剂须经 300 ~ 350℃烘干 1~2 小时。

用途:配合 H3Cr2W8、H3Cr2W8V、H30CrMnSi 焊丝,适用于堆焊使用温度低于 600℃的各种耐磨、耐冲击零件,用于制造高炉料钟、热轧辊等产品。

SJ202 焊剂成分见表 4-136。

表 4-136 焊剂成分(质量分数) (%)

试验项目	Al ₂ O ₃ + CaO + MgO	SiO ₂	其他焊剂成分
保证值	≥45	≤15	40

(39) SJ203

说明: SJ203 是堆焊用高铝型烧结焊剂,碱度约为 1.3,为红褐色或灰褐色圆形颗粒,粒度为 2.0 ~ 0.28mm(10 ~ 60 目)。焊接工艺性能优良,配合相应的焊带进行堆焊,堆焊层具有较好综合性能。焊前焊剂须经 250℃烘干 2 小时。

用途:配合 H1Cr13 焊带、H3Cr2W8V 焊丝,可堆焊连铸辊等耐磨件。配合 H1Cr13 焊带的堆焊层硬度约为 HRC32。

SJ203 焊剂成分见表 4-137。

表 4-137 焊剂成分(质量分数) (%)

试验项目	SiO ₂ + TiO ₂	CaO + MgO	Al ₂ O ₃ + MnO	CaF ₂	其他焊剂成分
一般值	25	30	30	10	5

(40) SJ301

说明: SJ301 是硅钙型中性烧结焊剂,碱度值约为 1.0,为黑色圆形颗粒,粒度为 2.0 ~ 0.28mm(10 ~ 60 目)。交直流两用,直流焊

时焊丝接正极,最大电流可达 1200A。电弧稳定,脱渣容易,焊缝成形美观。焊前焊剂须经 300 ~ 350℃烘干 2 小时。

用途:配合 H08A、H08MnA、H10Mn2、H08MnMoA 等焊丝,可焊接普通结构钢、锅炉钢、管线钢等钢材。SJ301 可进行多丝快速焊和双面单道焊。焊接大直径钢管时,焊道平滑过渡,由于是“短渣”,也可焊接小直径管线钢管。

SJ301 焊剂成分、熔敷金属力学性能分别见表 4-138、表 4-139。

表 4-138 焊剂成分(质量分数) (%)

试验项目	SiO ₂ + TiO ₂	Al ₂ O ₃ + MnO	CaO + MgO	CaF ₂	S	P
保证值	35 ~ 45	20 ~ 30	20 ~ 30	5 ~ 15	≤0.060	≤0.080

表 4-139 熔敷金属力学性能

试验项目	配用焊丝	R _m (MPa)	R _{eL} (MPa)	A (%)	A _{KV} (J)		
					20℃	0℃	-20℃
保证值	H08A	460 ~ 560	≥360	≥24	≥70	≥50	≥34
	H08MnA	530 ~ 630	≥400	≥24	≥70	≥50	≥34
	H08MnMoA	600 ~ 700	≥480	≥20	≥60	≥50	≥34

(41) SJ302

说明: SJ302 是硅钙型中性烧结焊剂,碱度值 1.1,为黑色球状颗粒,粒度为 2.0 ~ 0.28mm(10 ~ 60 目),交直流两用,直流焊时焊丝接正极。焊接工艺性能良好。可焊接环缝和角焊缝,也可进行高速焊,抗气孔性能好。焊前焊剂须经 300 ~ 350℃烘干 2 小时。

用途:配合 H08A、H08MnA、H08Mn2A、H08MnMoA 等焊丝可焊接普通结构钢、锅炉钢、管道钢等钢材。

SJ302 焊剂成分、熔敷金属力学性能分别见表 4-140、表 4-141。

表 4-140 焊剂成分(质量分数)

(%)

试验项目	SiO ₂ + TiO ₂	Al ₂ O ₃ + MnO	CaO + MgO	CaF ₂	S	P
保证值	20 ~ 25	30 ~ 40	20 ~ 25	8 ~ 10	≤0.060	≤0.080

表 4-141 熔敷金属力学性能

试验项目	配用焊丝	R _m (MPa)	R _{eL} (MPa)	A (%)	A _{KV} (J)		
					0℃	-20℃	-30℃
保证值	H08A	460 ~ 560	≥360	≥24	≥60	≥40	≥34
	H08MnA	530 ~ 630	≥400	≥24	≥60	≥40	≥34
	H08MnMoA	600 ~ 700	≥480	≥20	≥60	≥40	≥34

(42) SJ303

说明: SJ303 是硅钙型带板埋弧堆焊焊剂, 碱度值约为 1.0, 为黑色球状颗粒, 粒度为 2.0 ~ 0.28mm(10 ~ 60 目)。采用直流电源, 焊带接正极。电弧稳定, 脱渣容易, 焊缝成形美观, 熔合良好。SJ303 焊接时铬烧损少(≤1.2%), 极少增碳(≤0.008%), 可堆焊超低碳不锈钢。焊前焊剂须经 300 ~ 350℃烘干 2 小时。

用途: 配合 H00Cr25Ni12、H00Cr21Ni10(H309L、H308L) 等焊带(宽度 ≤75mm), 可堆焊核容器、化工容器等结构中的耐腐蚀奥氏体不锈钢的过渡层、耐蚀层。

SJ303 焊剂成分、熔敷金属化学成分分别见表 4-142、表 4-143。

表 4-142 焊剂成分(质量分数)

(%)

试验项目	SiO ₂ + TiO ₂	MgO + CaO	Al ₂ O ₃ + MnO	CaF ₂
保证值	40	30	20	10

表 4-143 熔敷金属化学成分 (质量分数) (%)

试验项目	配用焊丝	C	Mn	Si	Cr	Ni	S	P
一般值	H00Cr25Ni12	0.048	1.54	0.73	19.76	9.53	0.011	0.013
	H00Cr21Ni10	0.029	1.18	0.80	18.73	9.99	0.012	0.018

(43) SJ401

说明: SJ401 是硅锰型酸性烧结焊剂, 为灰褐色到黑色圆形颗粒, 粒度为 2.0 ~ 0.28mm (10 ~ 60 目)。交直流两用, 直流焊时焊丝接正极, 焊接工艺性能良好, 具有较好的抗气孔性能。焊前焊剂须经 250℃ 烘干 2 小时。

用途: 配合 H08A 焊丝焊接低碳钢及某些低合金钢, 用于制造机车车辆、矿山机械等结构。

SJ401 焊剂成分、熔敷金属力学性能分别见表 4-144、表 4-145。

表 4-144 焊剂成分 (质量分数) (%)

试验项目	SiO ₂ + TiO ₂	MgO + CaO	Al ₂ O ₃ + MnO
一般值	45	10	45

表 4-145 熔敷金属力学性能 (配合 H08A)

试验项目	R _m (MPa)	R _{eL} (MPa)	δ (%)	0℃时 A _{KV} (J)
保证值	410 ~ 550	≥330	≥22.0	≥27

(44) SJ402

说明: SJ402 是锰硅型酸性烧结焊剂, 碱度为 0.7, 呈球形颗粒, 粒度为 2.0 ~ 0.28mm (10 ~ 60 目)。交直流两用, 焊接工艺性能优良, 电弧稳定, 脱渣容易, 焊缝成形美观。SJ402 对工件表面的铁锈、

氧化皮、油迹等污物不敏感。焊剂具有良好的抗潮性,颗粒强度高,松装比重较小,焊接过程中耗用量少。焊前焊剂须经 300 ~ 350℃ 烘干 2 小时。

用途: SJ402 适合焊接薄板及中等厚度钢板, 可进行薄板的高速焊接。配合 H08A 焊丝可焊接普通结构钢和某些低合金钢, 用于制造机车构件、金属梁柱、管道等结构。

SJ402 焊剂成分、熔敷金属力学性能分别见表 4-146、表 4-147。

表 4-146 焊剂成分(质量分数) (%)

试验项目	SiO ₂ + TiO ₂	Al ₂ O ₃ + MnO	MgO + CaO	S	P
保证值	35 ~ 45	40 ~ 50	5 ~ 15	≤0.060	≤0.080

表 4-147 熔敷金属力学性能(配合 H08A)

试验项目	R _m (MPa)	R _{eL} (MPa)	A (%)	0℃时 A _{KV} (J)
保证值	480 ~ 650	≥400	≥22.0	34

(45) SJ403

说明: SJ403 是硅锰型酸性耐磨堆焊烧结焊剂, 为黑灰色球形颗粒, 颗粒度为 2.0 ~ 0.28mm(10 ~ 60 目)。交直流两用, 具有良好的焊接工艺性能, 电弧稳定, 脱渣容易, 焊缝成形美观。具有较强的抗锈性能, 对铁锈、氧化物等杂质不敏感。焊前焊剂须经 300 ~ 350℃ 烘干 2 小时。

用途: 配合 YD137 焊丝, 可焊接修复大型推土机的引导轮、支重轮, 堆焊金属硬度 ≥HRC35。也可配合 H08A 焊丝焊接普通结构钢和某些低合金钢。

SJ403 焊剂成分、熔敷金属力学性能分别见表 4-148、表 4-149。

表 4-148 焊剂成分(质量分数) (%)

试验项目	SiO ₂ + TiO ₂	Al ₂ O ₃ + MnO	MgO + CaO
保证值	35 ~ 45	20 ~ 35	10 ~ 20

表 4-149 熔敷金属力学性能(配合 H08A)

试验项目	R _m (MPa)	R _{eL} (MPa)	A (%)	0℃时 A _{KV} (J)
保证值	410 ~ 550	≥330	≥22.0	≥27

(46) SJ501

说明: SJ501 是铝钛型酸性烧结焊剂, 碱度为 0.5 ~ 0.8, 呈深灰色球形颗粒, 粒度为 2.0 ~ 0.28mm (10 ~ 60 目)。交直流两用, 直流焊时焊丝接正极, 最大焊接电流可达 1000A, 电弧稳定, 脱渣性好, 焊缝成形美观。焊剂有较强的抗气孔能力, 对少量的铁锈及高温氧化膜不敏感。焊前焊剂须经 300 ~ 350℃烘干 2 小时。

用途: SJ501 可进行多丝快速焊, 特别适用于双面单道焊, 焊接薄板时焊接速度可达 70m/h 左右。配合 H08A、H08MnA、H08MnMoA 等焊丝, 焊接低碳钢及某些低合金钢 (如 Q345B、Q390C), 用于制造锅炉、船舶、压力容器等结构。

SJ501 焊剂成分、熔敷金属力学性能分别见表 4-150、表 4-151。

表 4-150 焊剂成分(质量分数) (%)

试验项目	SiO ₂ + TiO ₂	Al ₂ O ₃ + MnO	CaF ₂	S	P
保证值	25 ~ 40	45 ~ 60	≤10	≤0.060	≤0.080

表 4-151 熔敷金属力学性能

试验项目	配用焊丝	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	A_{KV} (J)	
					20℃	0℃
保证值	H08A	415 ~ 550	≥330	≥24	≥50	≥27
	H08MnA	500 ~ 600	≥440	≥24	≥50	≥27
	H08MnMoA	580 ~ 680	≥490	≥20	≥50	≥27

(47) SJ502; SJ504

说明: SJ502、SJ504 均为铝钛型酸性烧结焊剂, 为灰褐色圆形颗粒, SJ502 粒度为 1.18 ~ 0.28mm (14 ~ 60 目), SJ504 粒度为 1.6 ~ 0.28mm (12 ~ 60 目)。交直流两用, 直流焊时焊丝接正极, 焊接工艺性能良好。焊接锅炉膜式水冷壁的焊接速度可达 70m/h 以上, 工件预热 100℃ 效果更好。焊前焊剂须经 300℃ 烘干 1 小时。

用途: 配合 H08A 焊丝, 可焊接重要的低碳钢及某些低合金钢, 用于制造锅炉、压力容器等结构。

SJ502 焊剂成分、熔敷金属力学性能分别见表 4-152、表 4-153。

表 4-152 焊剂成分(质量分数) (%)

试验项目	$SiO_2 + TiO_2$	$Al_2O_3 + MnO$	$CaO + MgO$	CaF_2
一般值	45	30	10	15

表 4-153 熔敷金属力学性能(配合 H08A)

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	0℃时 A_{KV} (J)
保证值	480 ~ 650	≥400	≥22.0	≥27

(48) SJ503

说明: SJ503 是铝钛型酸性烧结焊剂, 碱度为 0.7 ~ 0.9, 黑色球

形颗粒,粒度为 2.0 ~ 0.28mm(10 ~ 60 目),交直流两用,直流焊时焊丝接正极,最大焊接电流可达 1200A。电弧稳定,脱渣容易,焊缝成形美观,抗气孔能力强,可进行多道焊、多丝焊,焊接中、厚板。熔敷金属具有良好的低温性能。焊前焊剂须经 300 ~ 350℃烘干 2 小时。

用途:配合 H08A、H08MnA 焊丝,可焊接普通低碳钢、船体结构钢等钢材,用于制造船舶、桥梁、压力容器等结构。

SJ503 焊剂成分、熔敷金属力学性能分别见表 4-154、表 4-155。

表 4-154 焊剂成分(质量分数) (%)

试验项目	SiO ₂ + TiO ₂	Al ₂ O ₃ + MnO	CaF ₂	S	P
保证值	20 ~ 25	50 ~ 55	≤20	≤0.060	≤0.080

表 4-155 熔敷金属力学性能(配合 H08MnA)

试验项目	R _m (MPa)	R _{eL} (MPa)	A (%)	-30℃时 A _{KV} (J)
保证值	480 ~ 650	≥380	≥22.0	≥27

(49) SJ512

说明: SJ512 是碱性烧结焊剂,碱度为 1.8,呈灰色球形颗粒,粒度为 2.0 ~ 0.28mm(10 ~ 60 目),交直流两用,直流焊时焊丝接正极。电弧稳定,脱渣容易,可进行单丝焊、多丝焊,焊接 15 ~ 80mm 的中、厚板。焊前焊剂须经 450℃烘干 2 小时。

用途:配合 H10MnMoA、H10Mn2、H08MnA 焊丝,可焊接 20MnMo、Q345B(16Mn)及铬钼钢,用于制造锅炉、压力容器等结构。

SJ503 焊剂成分、熔敷金属力学性能分别见表 4-156、表 4-157。

表 4-156 焊剂成分(质量分数) (%)

试验项目	SiO ₂ + TiO ₂	Al ₂ O ₃ + MnO	CaO + MgO	CaF ₂	其他
保证值	5 ~ 15	30 ~ 40	25 ~ 40	≤15	≤10

表 4-157 熔敷金属力学性能

试验项目	配用焊丝	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A_{KV} (J)			热处理 状态
				0℃	-20℃	-40℃	
一般 值	H08MnA	535	408	—	140	78	焊态
	H10Mn2	610	497	—	—	46	
	H10MnMoA	547	—	122	60	—	610℃

(50) SJ522

说明: SJ522 是中性微碱的陶质焊剂, 呈灰黑色粉粒状。电弧稳定, 脱渣容易, 焊缝成形美观, 可进行丝极埋弧自动堆焊。由于焊剂具有增碳和渗合金能力, 容易获得碳化物弥散分布的堆焊层, 工件预热 250 ~ 300℃, 渣壳可自动脱落, 焊缝金属具有优良的抗裂性能。焊前焊剂须经 300 ~ 350℃ 烘干 2 小时。工件应焊前预热, 焊后进行消应力处理, 并应清除表面的油污等杂质。

用途: 配合 H08A 焊丝可获得硬度 HRC30 ~ HRC45 堆焊层。配合 3Cr2W8V 焊丝可获得硬度 HRC50 ~ HRC62 堆焊层, 适用于堆焊大型助卷辊或高炉料钟; 当使用温度在 500 ~ 600℃ 之间, 堆焊层硬度可达 HV400。

(51) SJ524

说明: SJ524 是用于超低碳不锈钢带极埋弧堆焊陶质焊剂, 配合 H00Cr20Ni10 焊带, 可进行过渡层和不锈钢耐蚀层的堆焊。采用直流反接, 电弧稳定, 渣壳可自动脱落, 焊缝成形美观。焊接层间温度应控制在 150℃ 以下。当焊带含碳量为 0.02% ~ 0.025% 时, 堆焊金属基本上不增碳, 具有优良的抗晶间腐蚀性能和抗脆化性能。堆焊金属经 530℃ × 12 小时 + 650℃ × 15 小时热处理, 耐蚀层进行 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} + \text{Cu} + \text{H}_2\text{SO}_4$ 溶液的晶间腐蚀试验, 未见缺陷, 面弯、

侧弯试验合格。焊前焊剂须经 350 ~ 400℃烘干 1 ~ 2 小时。

用途: SJ524 配合焊带 H00Cr20Ni10, 可进行内壁耐腐蚀带极堆焊, 用于制造石油化工容器、反应堆压力壳等产品。

SJ524 堆焊金属(第二层)化学成分见表 4-158。

表 4-158 堆焊金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Cr	Ni	Si	Mn
保证值	≤0.03	≥21.0	≥10.0	≤0.80	≤2.0

(52) SJ570

说明: SJ570 是低硅高氟陶质型焊剂, 呈灰黑色颗粒, 碱度较高, 脱氧、脱硫性能好, 熔敷金属中含氧量低、焊渣比重轻、熔点较低, 熔敷金属扩散氢含量 ≤4ml/100g(色谱法)。适合于铜板的埋弧自动焊。采用直流电源, 直流反接, 焊丝接正极。焊前焊剂须经 300 ~ 350℃烘干 2 小时。

用途: 配合无氧铜焊丝可进行 20mm 以下无氧铜板材埋弧自动焊, 用于制造直线加速器腔体。

(53) SJ601

说明: SJ601 是碱性烧结焊剂, 碱度约为 1.8, 粒度为 2.0 ~ 0.28 (10 ~ 60 目), 交直流两用, 直流焊时, 焊丝接正极。焊接工艺性能优良, 坡口内脱渣容易, 焊缝成形美观。熔敷金属具有良好的抗晶间腐蚀性能, 有害元素含量低。焊接低碳和超低碳不锈钢时, 几乎不增碳, 而且铬烧损少。焊前焊剂须经 300 ~ 350℃烘干 2 小时。

用途: 配合 H0Cr21Ni10、H00Cr21Ni10、H00Cr19Ni12Mo2 等焊丝可焊接不锈钢及高合金耐热钢等重要结构。

SJ601 焊剂成分、熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 4-159、表 4-160、表 4-161。

表 4-159 焊剂成分(质量分数)

(%)

试验项目	SiO ₂ + TiO ₂	CaO + MgO	Al ₂ O ₃ + MnO	CaF ₂	S	P
保证值	5 ~ 10	6 ~ 10	30 ~ 40	40 ~ 50	≤0.060	≤0.080

4-160 熔敷金属化学成分(质量分数)

(%)

试验项目	配用焊丝	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	S	P
一般值	H0Cr21Ni10	0.046	1.18	0.41	19.50	10.20	—	0.007	0.015
	H00Cr21Ni10	0.018	1.46	0.40	20.78	10.00	—	0.003	0.011
	H00Cr19Ni12Mo2	0.023	1.17	0.45	18.35	11.52	2.47	0.002	0.021

表 4-161 熔敷金属力学性能

试验项目	配用焊丝	R _m (MPa)	R _{eL} (MPa)	A (%)	20℃时 A _{KV} (J)	-103℃时 A _{KV} (J)
保证值	H0Cr20Ni10	≥500	≥320	≥35.0	≥75	≥47
一般值	H0Cr21Ni10	560	—	36	—	87
	H00Cr21Ni10	567	—	37	—	-196℃时 67
	H00Cr19Ni12Mo2	645	—	40	123	—

(54) SJ602

说明: SJ602 是氟碱型高碱度烧结焊剂, 碱度为 3.0 ~ 3.2, 呈淡黄色球形颗粒, 颗粒度为 2.0 ~ 0.15mm(10 ~ 100 目)。焊剂松装比小, 约 1.0 ~ 1.1g/cm³; 焊接时焊剂消耗量少; 采用直流电源, 焊丝接正极, 电弧稳定, 脱渣容易。熔敷金属扩散氢含量和含氟量很低, 具有良好的抗冷裂纹性能和低温冲击性能。焊前焊剂须经 400℃ 烘干 1 ~ 2 小时。

用途：配合 H08MnNiMoA、H10Cr2Mo1A 等焊丝，可焊接 18MnMoNb、ASTM A508-3、A533-B、2.25Cr-Mo 等钢材，用于制造厚壁压力容器。

SJ602 焊剂成分见表 4-162。

表 4-162 焊剂成分(质量分数) (%)

试验项目	BaCO ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	CaF ₂	S	P
保证值	18 ~ 21	8 ~ 12	8 ~ 12	24 ~ 30	20 ~ 25	≤0.030	≤0.030

(55) SJ603

说明：SJ603 是超低氢碱性烧结焊剂，碱度为 2.3 ~ 2.7，呈橘红色球形颗粒，颗粒度为 2.0 ~ 0.15mm(10 ~ 100 目)。交直流两用，电弧稳定，脱渣容易，焊缝成形美观。熔敷金属含氧量低，焊缝金属具有优良的低温性能。可进行高速焊接（焊接速度可达 90 ~ 120m/h）和窄间隙焊接。焊前焊剂须经 400℃烘干 2 小时。

用途：配合 H13Cr2Mo1A、H11Cr1MoA、H04Ni3A、H08Mn2Ni2A 等焊丝，可焊接 2.25%Cr-1%Mo、2.25%Cr-0.5%Mo、1%Cr-0.5%Mo、15CrMo、3.5%Ni 等钢材，用于制造热壁加氢裂化器、加氢精制反应器、-100℃以上使用的低温压力容器及低温球罐等结构。

SJ603 焊剂成分见表 4-163。

表 4-163 焊剂成分(质量分数) (%)

试验项目	CaCO ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	CaF ₂	S	P
保证值	20 ~ 24	18 ~ 23	6 ~ 10	22 ~ 28	15 ~ 20	≤0.030	≤0.030

(56) SJ604

说明：SJ604 是碱性烧结焊剂，碱度约 1.8，浅绿色球形颗粒，粒度为 2.0 ~ 0.18mm(10 ~ 80 目)。交直流两用，焊接工艺性能良好，

坡口内脱渣容易,焊缝成形美观,熔敷金属具有良好的抗晶间腐蚀性能。焊前焊剂须经 300 ~ 350℃烘干 2 小时。

用途:配合 H0Cr21Ni10、H0Cr21Ni10Ti 等焊丝可焊接不锈钢,也可配合超低碳不锈钢焊丝焊接超低碳不锈钢。主要用于丝极埋弧焊,也可采用带极堆焊。

SJ604 焊剂成分、熔敷金属力学性能分别见表 4-164 和表 4-165。

表 4-164 焊剂成分(质量分数) (%)

试验项目	SiO ₂ + TiO ₂	Al ₂ O ₃ + MnO	CaO + MgO	CaF ₂	S	P
保证值	5 ~ 8	30 ~ 35	4 ~ 8	40 ~ 50	≤0.060	≤0.060

表 4-165 熔敷金属力学性能(配合 H0Cr20Ni10)

试验项目	R _m (MPa)	R _{eL} (MPa)	A(%)	-103℃时 A _{KV} (J)
保证值	550 ~ 700	≥290	≥34	≥47

(57) SJ605

说明: SJ605 是高碱度烧结焊剂,碱度约 3.5,为灰白色颗粒,粒度 1.6 ~ 0.25mm(12 ~ 65 目)。采用直流电源,焊丝接正极,电弧稳定,脱渣容易,熔敷金属有较好的低温冲击性能。焊前焊剂须经 350 ~ 400℃烘干 2 小时。

用途:配合 H10MnNiMoA、H10MnNiA 等焊丝,可焊接 15MnNi 钢,核电 A5083、S271 钢等钢材,用于制造锅炉、压力容器、核电工程用容器等结构。

SJ605 焊剂成分、熔敷金属力学性能分别见表 4-166、表 4-167。

表 4-166 焊剂成分(质量分数) (%)

试验项目	SiO ₂ + TiO ₂	CaO + MgO	Al ₂ O ₃ + MnO	CaF ₂	S	P
保证值	10 ~ 15	35 ~ 45	15 ~ 25	25 ~ 35	≤0.030	≤0.050

表 4-167 熔敷金属力学性能(配合 H10MnNiMoA)

试验项目	R_m (MPa)	R_{el} (MPa)	A (%)	-20℃时 A_{KV} (J)	热处理状态
保证值	550 ~ 690	≥460	≥22.0	≥27	615℃
一般值	602	499	28	144	× 2 小时

(58) SJ606

说明: SJ606 是超低碳不锈钢带极埋弧堆焊用烧结焊剂, 碱度为 1.1, 呈灰白色颗粒, 粒度为 1.6 ~ 0.25mm (12 ~ 65 目)。电弧稳定, 渣壳可自动脱落, 焊缝成形美观。直流电源时, 焊丝接正极。焊接过程中应控制层间温度在 150℃以下。堆焊金属具有优良的抗晶间腐蚀性能和低温冲击性能。焊前焊剂须经 350 ~ 400℃烘干 2 小时。

用途: SJ606 焊剂与 308L、309L 焊带相配合用于石油化工容器, 300MW、600MW 核电机组高压加热器, 20MnMo 管板锻件堆焊, 也可用于核电蒸发器、稳压器、压力壳内壁要求耐腐蚀的衬里带极堆焊。

SJ606 焊剂成分、堆焊金属化学成分分别见表 4-168、表 4-169。

表 4-168 焊剂成分(质量分数) (%)

试验项目	MnO + SiO ₂	MgO + CaO + CaF ₂	Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	其他焊剂成分
保证值	20 ~ 30	30 ~ 40	25 ~ 35	≤10

表 4-169 配合焊丝 309L、308L 堆焊金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Ni	S	P
保证值	≤0.03	≤2.0	≤1.0	18 ~ 22	8 ~ 10	≤0.030	≤0.045

(59) SJ607

说明: SJ607 是碱性烧结焊剂, 为灰黄色圆形颗粒, 粒度为 2.0 ~ 0.28mm(10 ~ 60 目), 交直流两用, 直流焊时, 焊丝接正极, 具有良好的焊接工艺性能, 工件表面应清除铁锈、油污、水分等杂质。焊前焊剂须经 300 ~ 350℃ 烘干 2 小时。

用途: 配合适当的药芯焊带可堆焊各种水泥破碎辊等耐磨产品, 堆焊金属硬度 \geq HRC65。

SJ607 焊剂成分见表 4-170。

表 4-170 焊剂成分(质量分数) (%)

试验项目	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{MgO} + \text{MnO} + \text{SiO}_2$	CaF_2	其他焊剂成分
保证值	≥ 80	≥ 10	≤ 10

(60) SJ608; SJ608A

说明: SJ608、SJ608A 是焊接奥氏体不锈钢的碱性烧结焊剂。为淡绿色圆形颗粒, 粒度为 2.0 ~ 0.28mm(10 ~ 60 目)。SJ608 交直流两用, 直流焊时焊丝接正极。SJ608A 采用直流焊, 焊丝接正极。SJ608、SJ608A 具有良好的焊接工艺性能, 电弧稳定, 脱渣容易, 焊缝成形美观。熔敷金属具有良好的抗晶间腐蚀性能和低温冲击性能。焊前焊剂须经 300 ~ 350℃ 烘干 2 小时。

用途: 配合 H0Cr20Ni10、H0Cr20Ni10Ti 等焊丝, 可焊接奥氏体不锈钢及相应级别的低温钢, 配合超低碳焊丝可以焊接超低碳不锈钢。

SJ608 焊剂成分见表 4-171。

表 4-171 焊剂成分(质量分数) (%)

试验项目	$\text{SiO}_2 + \text{TiO}_2$	CaF_2	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{CaO} + \text{MgO}$
保证值	≥ 20	40 ~ 50	30 ~ 40	6 ~ 10

(61) SJ641

说明: SJ641 是焊接不锈钢和耐热钢的碱性烧结焊剂, 碱度约 2.0。球形颗粒, 粒度 2.0 ~ 0.18mm(10 ~ 80 目)。交直流两用, 焊接工艺性能优良, 脱渣容易, 焊缝成形美观。熔敷金属具有良好的抗晶间腐蚀性能。焊前焊剂须经 300 ~ 350℃ 烘干 2 小时。

用途: 配合 H0Cr21Ni10、H0Cr20Ni10Ti 等焊丝可焊接不锈钢, 配合超低碳不锈钢焊丝可焊接超低碳不锈钢。

SJ641 焊剂成分、熔敷金属力学性能分别见表 4-172、表 4-173。

表 4-172 焊剂成分(质量分数) (%)

试验项目	SiO ₂ + TiO ₂	Al ₂ O ₃ + MnO	CaO + MgO	CaF ₂	S	P
保证值	20 ~ 25	20 ~ 25	15 ~ 20	25 ~ 30	≤0.060	≤0.060

表 4-173 熔敷金属力学性能(配合 H0Cr21Ni10)

试验项目	R _m (MPa)	R _{eL} (MPa)	A (%)
保证值	550 ~ 700	≥290	≥34

(62) SJ671

说明: SJ671 是低硅高氟高温烧结焊剂, 焊剂在 650 ~ 680℃ 烧结成形, 呈白色颗粒, 碱度高, 抗热裂性能好, 脱氧、脱硫性能好, 焊缝金属含氧量低(与无氧铜母材相等), 焊缝金属扩散氢含量 ≤0.5ml/100g。采用直流电源, 焊丝接正极。焊剂堆积比重小, 熔点低, 焊渣比重轻, 配合含硼、钛无氧铜焊丝, 可焊接无氧铜厚板。焊前焊剂须经 400℃ 烘干 2 小时。

用途: 配合含钛、硼无氧铜焊丝可用于 20 ~ 40mm 无氧铜中、厚板直线加速器腔体的埋弧自动焊。

(63) SJ701

说明: SJ701 是钛碱型烧结焊剂, 碱性约为 1.3。焊剂为深灰色颗粒, 粒度为 2.0 ~ 0.28mm(10 ~ 60 目), 交直流两用, 直流焊时焊丝接正极。焊接含钛不锈钢时, 脱渣容易, 焊剂具有较强的抗气孔能力和合金化能力, 钛等有益元素烧损少。焊前焊剂须经 300 ~ 400℃ 烘干 2 小时。

用途: 配合 H0Cr21Ni10Ti、H0Cr21Ni10 等奥氏体不锈钢焊丝, 适用于焊接 1Cr18Ni9Ti 类型的含钛耐酸不锈钢。

SJ701 焊剂成分见表 4-174。

表 4-174 焊剂成分(质量分数) (%)

试验项目	SiO ₂ + TiO ₂	CaO + MgO	Al ₂ O ₃ + MnO	CaF ₂
保证值	50 ~ 60	25 ~ 35	5 ~ 15	5 ~ 15

第五章 焊接材料选用案例分析

焊接材料的正确选择是制定合理焊接工艺的重要组成部分,焊接材料选择正确与否决定了焊接工程的成败。焊接材料的选择既有通用性,又有特殊性,通常是依据焊接具体条件、工作经验、使用原则等多种因素综合选取,有时焊接材料选择是焊接工艺的核心内容,有时焊接材料选择服从于其他焊接条件、制造能力等因素处于从属地位,具有一定的灵活性。焊接材料的选择有别于其他焊接工艺内容,但往往又与它们密不可分、相互关联。因此通过实例讲解,介绍焊接材料选择及其在工程中的应用,就非常必要而且更容易理解掌握。

一、大型桥式起重机箱型结构生产中钢板拼接技术

起重机械是用于对物料进行起重、运输、装卸和安装等作业的机械设备,主要分为桥式类型起重机和臂架式旋转起重机两大类。桥式类型起重机一般由大车、小车、运行机构、起升机构四部分组成。大跨度桥式起重机大车中桥架的制造往往需要采用钢板拼接的制造技术。

1. 大型桥式起重机钢板拼接的必要性

大跨度桥式起重机桥架主要由主梁、端梁及其他部分组成,其外形尺寸取决于起重量、跨度、起升高度及其结构型式;桥式起重机主梁是桥架的主要承载部件,其结构型式又以箱形结构最为广

泛。箱形起重机主梁示意图见 5-1。大跨度桥式起重机主梁长度多为 10 ~ 40m，由于普通供货钢板尺寸难以达到起重机腹板、上下翼缘板（简称盖板）尺寸要求，所以腹板与上下盖板要用多块钢板拼接而成。钢板拼接工艺为制造大吨位、大跨度起重机创造了条件。

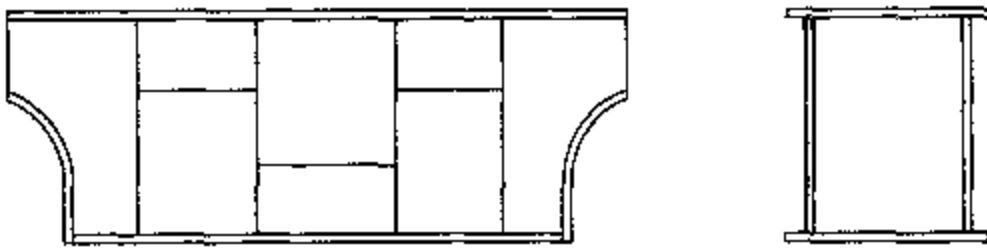


图 5-1 箱形起重机主梁示意图

2. 大型桥式起重机钢板拼接工艺要点

(1) 起重机桥架受力结构件主要有盖板、腹板，材料为 Q345B (16Mn)。钢板拼接示意图见图 5-2。



图 5-2 钢板拼接示意图

(2) 焊接方法可采用焊条电弧焊、熔化极气体保护焊、埋弧自动焊。一般先采用焊条电弧焊进行点固焊，然后进行双面埋弧自动焊焊接。

(3) 焊接材料选用情况见表 5-1，焊条、焊剂在使用前按使用说明书烘干。

表 5-1 焊接材料选用表

焊接方法	焊接材料	牌号及规格	符合型号
焊条电弧焊	焊 条	J502 $\Phi 4.0\text{mm}$	E5003
		J506 $\Phi 4.0\text{mm}$	E5016
		J507 $\Phi 4.0\text{mm}$	E5015
熔化极气体 保护焊	焊 丝	H08Mn2SiA、ER50-6 $\Phi 1.2\text{mm}$	FR49-1、ER50-6
	气 体	CO ₂	—
埋弧自动焊	焊 丝	H08MnA $\Phi 4.0\text{mm}$	H08MnA
	焊 剂	HJ431	HJ401-H08A

(4) 典型的焊接坡口型式为 I 型坡口、双面 V 型坡口,用刨边机加工,执行 GB 986—1988《埋弧焊焊接接头的基本型式与尺寸》,其坡口示意图及焊道分布示意图见图 5-3。



图 5-3 焊接坡口及焊道分布示意图

(5) 对接钢板尺寸要求

1) 盖板、腹板厚度 $8\text{mm} \leq \delta \leq 14\text{mm}$, 宽度 $\geq 1800\text{mm}$, 允许进行纵缝对接, 对接钢板宽度均应大于 300mm 。

2) 上、下盖板的对接焊缝与主、副腹板的对接焊缝必须错开 200mm 以上。

(6) 焊接顺序是先对接宽度方向的纵向焊缝, 再对接长度方向的横向焊缝, 增加板的长度。

(7) 埋弧自动焊时应使用引弧板、收弧板, 并在焊接后去除。

(8) 对接焊缝内部质量应符合 GB 3323—1987《钢熔化焊对接接头射线照相和质量分级》Ⅱ级或 JB 4730—1994《压力容器无损检测》Ⅰ级的要求,外观质量应符合 JB/T 5000.3—1998《重型机械通用技术条件 焊接件》的 BS 级要求,不允许有裂纹及肉眼可见气孔、夹渣等焊接缺陷。

3. 焊接材料选择说明

由于起重机桥架盖板、腹板为主要受力结构件,其对接焊缝的质量关系到起重机使用安全及寿命,母材为 Q345B(16Mn),所以焊接材料选择应以等强度匹配为基础。几种焊接材料熔敷金属力学性能见表 5-2,其抗拉强度均达到 490MPa 的要求,都能满足焊接要求。不同企业选择焊接材料时,应根据企业现有设备、工艺状况进行确定。

表 5-2 几种焊接材料熔敷金属力学性能

焊接材料	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	A_{KV} (J)
E5003	≥ 490	≥ 410	≥ 20	0℃时 ≥ 27
E5016;E5015	≥ 490	≥ 410	≥ 22	-30℃时 ≥ 27
ER49-1	≥ 490	≥ 372	≥ 20	室温 ≥ 27
ER50-6	≥ 500	≥ 420	≥ 22	-30℃时 ≥ 27
H08MnA + HJ431	410 ~ 550	≥ 330	≥ 22	0℃时 ≥ 27

当对接钢板厚度为 8 ~ 12mm,一般可采用对接焊缝的工艺有:开坡口双面焊条电弧焊;一面焊条电弧焊,一面埋弧自动焊;双面埋弧自动焊;双面熔化极气体保护焊;单面焊双面成形埋弧自动焊。综合对比每种工艺方案的生产效率、制造质量及工装、设备要求,重型机械企业可以采用焊条电弧焊点固焊、双面埋弧自动焊工艺的焊接工艺。

二、Q345E(16MnD)钢大型桁架结构制造技术

随着国民经济发展,越来越多的室外大型钢结构件得到应用,如桥梁、建筑钢结构、塔架等。在北方室外使用的大型钢结构件对钢材的低温性能有一定的要求,此类大型结构经常选用钢材为Q345E(16MnD)钢。

1. Q345E(16MnD)钢力学性能和焊接性分析

Q345E(16MnD)钢属于低碳低合金钢,符合 GB/T 1591—1994《低合金高强度结构钢》,其母材金相为带状分布的铁素体+珠光体,它是在16Mn钢合金系列基础上,调整了微量合金成分,以提高其低温冲击性能。Q345E(16MnD)钢及16Mn钢化学成分见表5-3, Q345E(16MnD)钢母材力学性能见表5-4。Q345E(16MnD)钢在保证拉伸性能基础上,侧重改善钢材的冲击韧性;为防止低温环境下结构脆断,还增加了矾、铌、钛微量元素。

表 5-3 Q345E(16MnD)钢化学成分(质量分数) (%)

钢材	试验项目	C	Mn	Si	S	P	V	Nb	Ti
Q345E (16MnD)	保证值	≤ 0.18	1.0 ~1.6	≤ 0.55	≤ 0.025	≤ 0.025	0.02 ~0.15	0.015 ~0.060	0.02 ~0.20
	测试值	0.10	1.53	0.38	0.004	0.014	—	—	0.02
16Mn	保证值	0.12 ~0.2	1.2 ~1.6	0.20 ~0.55	≤ 0.045	≤ 0.045	—	—	—
	测试值	0.17	1.35	0.34	0.027	0.013	—	—	—

表 5-4 Q345E(16MnD)钢力学性能

材料规格	试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	40℃时 A_{KV} (J)
Q345E(16MnD) $\delta=24\text{mm}$	保证值	470~630	≥325	≥22	≥27
	测试值	510	350	31	108; 98; 96

续表 5-4

材料规格	试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	-40℃时 A_{KV} (J)
16Mn $\delta = 17 \sim 25\text{mm}$	保证值	≥ 490	≥ 300	≥ 19	—
	测试值	540	330	26	—

从 Q345E(16MnD)钢的焊接性分析, Q345E(16MnD)钢具有较低的碳当量,其焊接性良好, $\delta=24\text{mm}$ 的 Q345E(16MnD)钢板焊接时不需要预热。根据 Q345E(16MnD)钢低温韧性的特殊要求,同时为进一步改善其抗裂性能, Q345E(16MnD)钢焊接时应选择氧化倾向较小的碱性焊接材料;并且严格控制焊接规范参数,控制母材热输入,以保证焊接接头中焊缝金属及热影响区的低温冲击韧性能够满足产品设计要求。

为了掌握 Q345E(16MnD)钢焊接后冲击性能的变化,采用单边 V 型坡口加垫板的坡口型式进行焊接接头性能试验,线能量控制在 $24.3 \sim 26.8\text{kJ/cm}$,并进行 Q345E(16MnD)钢焊接接头 V 型缺口冲击试验。试验结果见表 5-5,可见 Q345E(16MnD)钢焊接热影响区仍具有较高的冲击性能,能够满足产品设计要求。

表 5-5 Q345E(16MnD)钢焊接接头冲击试验结果 (J)

试验温度	熔合线	热影响区
0℃	144; 221 / 183	246; 250; 265 / 254
-40℃	132; 129; 208 / 156.3	119; 191; 102 / 137.3

2. Q345E(16MnD)钢焊接材料的选择

Q345E(16MnD)钢大型焊接结构制造中,主要采用熔化极气体保护焊和埋弧自动焊两种焊接方法;钢板厚度为 24mm ,可以采用单面焊或双面焊两种工艺。Q345E(16MnD)钢焊接材料选择主要针

对以上两种焊接方法,以保证熔敷金属具有良好的力学性能。

(1) CO₂ 气体保护焊高韧性焊接材料的选择

选取五种熔化极气体保护焊实芯焊丝,焊接时的焊接线能量见表 5-6。其中 JM-56 Φ1.2mm 焊丝尺寸测量结果见表 5-7。五种焊丝熔敷金属化学成分试验结果见表 5-8。熔敷金属拉伸试验结果见表 5-9,五种焊丝熔敷金属拉伸试验结果均超过 Q345E (16MnD) 钢母材拉伸性能。熔敷金属 V 型缺口冲击试验结果见表 5-10, KC50、JM-56 均具有较好的冲击性能,能够满足 Q345E (16MnD) 钢要求。经过对国内许多厂家 H08Mn2SiA、ER50-6 焊丝的试验,有些焊丝的低温冲击性能因原材料成分变化,试验数据波动较大。采用日本进口的实芯焊丝 KC50 Φ1.2mm 制造成本将高于国产的 JM-56 Φ1.2mm 焊丝。而 JM-56 Φ1.2mm 气体保护焊实芯焊丝各项指标均能达到 Q345E (16MnD) 钢焊接技术要求。综合对比各种因素, Q345E (16MnD) 钢气体保护焊焊接材料选择 JM-56 Φ1.2mm 较为合理。

表 5-6 五种气体保护焊实芯焊丝焊接线能量

焊丝牌号及规格	保护气体	线能量 (kJ/cm)	焊丝产地
KC50 Φ1.2mm	CO ₂	≤18.2	日本
K52 Φ1.2mm	CO ₂	≤18.2	德国
JM-56 Φ1.2mm	CO ₂	≤25.4	中国
H08Mn2SiA Φ1.2mm	CO ₂	≤15.9	中国
ER50-6 Φ1.2mm	CO ₂	≤15.9	中国

表 5-7 JM-56 Φ1.2 mm 焊丝尺寸测量结果 (mm)

直径偏差	松弛直径	翘距
Φ1.20 ⁺⁰ _{-0.02}	Φ640	0

表 5-8 五种焊丝熔敷金属化学成分试验结果(质量分数) (%)

焊接材料	C	Mn	Si	S	P
KC50 $\Phi 1.2 \text{ mm} + \text{CO}_2$	0.08	1.09	0.45	0.008	0.011
K52 $\Phi 1.2 \text{ mm} + \text{CO}_2$	0.07	0.87	0.45	0.014	0.016
JM-56 $\Phi 1.2 \text{ mm} + \text{CO}_2$	0.07	0.96	0.50	0.017	0.011
H08Mn2SiA $\Phi 1.2 \text{ mm} + \text{CO}_2$	0.07	1.12	0.35	0.023	0.021
ER50-6 $\Phi 1.2 \text{ mm} + \text{CO}_2$	0.07	0.84	0.38	0.013	0.017

表 5-9 五种焊丝熔敷金属拉伸性能试验结果

焊接材料	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	Z (%)
KC50 $\Phi 1.2 \text{ mm} + \text{CO}_2$	590	510	25.5	70.0
K52 $\Phi 1.2 \text{ mm} + \text{CO}_2$	573	464	23.5	65.5
JM-56 $\Phi 1.2 \text{ mm} + \text{CO}_2$	543	435	30.0	—
H08Mn2SiA $\Phi 1.2 \text{ mm} + \text{CO}_2$	536	429	29.5	63.0
ER50-6 $\Phi 1.2 \text{ mm} + \text{CO}_2$	568	468	23.5	—

表 5-10 熔敷金属 V 型缺口冲击试验结果 (J)

焊接材料	室 温	-40℃
KC50 $\Phi 1.2 \text{ mm} + \text{CO}_2$	152.8; 164.8; 169.6 / 162.4	81.6; 98.4; 117.6 / 99.2
K52 $\Phi 1.2 \text{ mm} + \text{CO}_2$	66.2; 70.3; 74.2 / 70.2	5.9; 10.0; 33.4 / 16.4
JM-56 $\Phi 1.2 \text{ mm} + \text{CO}_2$	164.0; 153.0; 151.0 / 156.0	86.4; 83.8; 83.8 / 84.7
H08Mn2SiA $\Phi 1.2 \text{ mm} + \text{CO}_2$	112.0; 112.0; 112.0 / 112.0	50.0; 55.9; 57.4 / 54.4
ER50-6 $\Phi 1.2 \text{ mm} + \text{CO}_2$	—	53; 46; 36 / 45

(2) 埋弧焊高韧性焊接材料的选择

Q345E(16MnD)钢埋弧焊高韧性焊接材料的选择包括焊丝、焊剂,试验用埋弧焊焊剂采用烧结焊剂 SJ101、熔炼焊剂 HJ431,埋弧焊焊丝采用 H08MnA Φ 4mm、KW-3 Φ 4mm。埋弧焊焊丝化学成分见表 5-11,埋弧焊熔敷金属化学成分试验结果见表 5-12,埋弧焊熔敷金属拉伸试验结果见表 5-13。对比熔敷金属抗拉强度,几种焊丝、焊剂组合的试验结果比较接近,略低于母材 Q345E(16MnD)钢保证值,可应用于盖面焊;如填充层数过多,将影响焊接接头强度。埋弧焊熔敷金属 V 型缺口冲击试验结果见表 5-14,其中 KW-3 Φ 4mm + SJ101 熔敷金属冲击性能与母材 Q345E(16MnD)钢相近,具备低温条件下高韧性的技术要求。所以焊接 Q345E(16MnD)钢应选择 KW-3 Φ 4mm 焊丝和 SJ101 焊接材料。

表 5-11 埋弧焊焊丝化学成分(质量分数) (%)

焊丝牌号规格	试验项目	C	Mn	Si	S	P
H08MnA Φ 4mm	保证值	0.04 ~ 0.08	1.40 ~ 1.80	0.40 ~ 0.80	\leq 0.035	\leq 0.030
	测试值	0.06	1.78	0.65	0.035	0.017
KW-3 Φ 4mm	保证值	0.05 ~ 0.15	0.80 ~ 1.25	0.15 ~ 0.35	\leq 0.030	\leq 0.030
	测试值	0.068	1.00	0.223	0.014	0.019

表 5-12 埋弧焊熔敷金属化学成分试验结果(质量分数) (%)

焊接材料	C	Mn	Si	S	P
H08MnA Φ 4 mm + SJ101	0.10	1.32	0.19	0.017	0.026
H08MnA Φ 4 mm + HJ431	0.09	1.60	0.37	0.017	0.024
KW-3 Φ 4 mm + SJ101	0.06	1.30	0.36	0.018	0.028

表 5-13 埋弧焊熔敷金属拉伸试验结果

焊接材料	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	Z (%)
H08MnA $\Phi 4$ mm + SJ101	483	379	32.0	72.0
H08MnA $\Phi 4$ mm + HJ431	505	398	29.0	66.5
KW-3 $\Phi 4$ mm + SJ101	486	360	36.0	75.0

表 5-14 埋弧焊熔敷金属 V 型缺口冲击试验结果 (J)

焊接材料	室 温	-40℃
H08MnA $\Phi 4$ mm + SJ101	152.8;128.8;148.0 / 143.2	6.9;56.2;100.8 / 54.6
H08MnA $\Phi 4$ mm + HJ431	96.8;76.8;82.4 / 85.4	27.0;32.1;25.4 / 28.0
KW-3 $\Phi 4$ mm + SJ101	230.0;219.0;219.0 / 222.7	123.0;83.5;44.0 / 83.5

3. Q345E(16MnD)钢焊接工艺评定

(1) 试验材料为 Q345E(16MnD)钢板,试板尺寸为 440mm × 150mm × 24mm。

(2) 焊接试板坡口示意图见图 5-4。

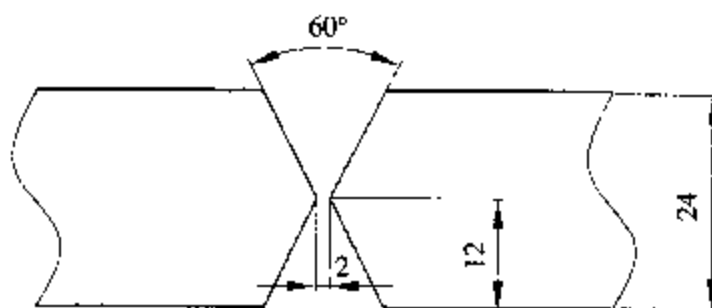


图 5-4 焊接试板坡口示意图

(3) 焊接方法采用 CO_2 气体保护焊和埋弧自动焊。 CO_2 气体保护焊用于打底焊、填充焊,埋弧自动焊用于盖面焊。

(4) 焊接材料分别选择 JM-56 $\Phi 1.2\text{mm}$ 气体保护焊焊丝、KW-3 $\Phi 4\text{mm}$ 埋弧焊焊丝、SJ101 烧结焊剂。SJ101 烧结焊剂焊前须经 300°C 烘干,保温时间 2 小时。

(5) 采用多层多道焊,焊接规范参数见表 5-15。

(6) 采用双面焊工艺,反面碳弧气刨清根,角向磨光机修磨坡口后,再行焊接。

(7) 焊接试板经超声波探伤,焊缝质量达到 I 级。

(8) 经过焊接工艺评定试板力学性能试验,焊接接头拉伸试验结果见表 5-16,焊接接头 V 型缺口冲击功试验结果见表 5-17,焊接接头冷弯试验结果见表 5-18。

表 5-15 焊接规范参数

焊层位置	焊接方法	焊接电流(A)	焊接电压(V)	线能量(kJ/cm)
打底焊	CO ₂ 气体保护焊	150	28	11
填充焊	CO ₂ 气体保护焊	195 ~ 220	25 ~ 32	11 ~ 18
盖面焊	埋弧自动焊	550	34	28

表 5-16 焊接接头拉伸试验结果

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	Z (%)	断裂位置
测试值	525; 517	375; 367	32.0; 28.5	71.5; 73.5	断于母材

表 5-17 焊接接头 V 型缺口冲击功试验结果

(J)

试验温度	焊 缝	熔合线	热影响区
室温	150; 173; 163 / 162	191; 168; 171 / 176.7	191; 191; 206 / 196
40 $^{\circ}\text{C}$	29.5; 61.4; 45.2 / 45.4	64.0; 63.3; 79.9 / 69.1	63.8; 97.7; 85.1 / 82.3

表 5-18 焊接接头冷弯试验结果

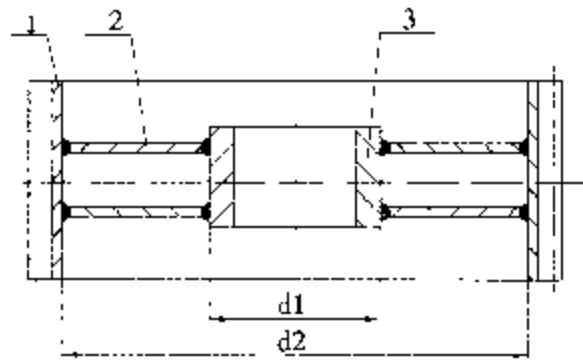
冷弯类型	试验条件及指标	试件数量	结果
侧弯	$d = 3S \quad \alpha = 100^\circ$	四件	合格

通过焊接工艺评定试验结果与 Q345E (16MnD) 钢技术条件的对比, 选用 CO₂ 气体保护焊焊丝 JM-56 Φ1.2mm、埋弧焊焊丝 KW-3 Φ4mm、烧结焊剂 SJ101 等焊接材料, 可以应用于 Q345E (16MnD) 钢大型桁架及其类似结构的生产。

三、硬齿面焊接结构齿轮制造的焊接材料的选择

1. 硬齿面焊接结构齿轮的特点

10 ~ 23m³ 正铲机械式挖掘机是大型露天矿主要采掘设备。大型挖掘机的回转减速机齿轮采用焊接结构型式, 这类齿轮属于重载硬齿面大模数齿轮, 其结构示意图见图 5-5, 一般分为轮缘、轮辐、轮毂等部分。因轮缘要求具有高硬度、耐磨损等性能, 常采用中碳合金钢 40CrNi2MoH 锻件, 经调质处理后硬度达 HBS269 ~ HBS302, 齿面表淬火处理后硬度达 HRC53。轮辐为低合金钢 Q345B(16Mn) 钢板, 采用数控火焰切割下料。轮毂为非合金结构钢 35 钢锻件。采用焊接技术进行连接, 焊接制造的难点是有效控制 40CrNi2MoH 与 Q345B(16Mn) 钢焊接接头的质量。



1—轮缘; 2—轮辐; 3—轮毂

图 5-5 焊接齿轮结构示意图

2. 硬齿面焊接结构齿轮的焊接材料的选择

(1) 母材焊接性分析

40CrNi2MoH 零件一般经过冶炼、锻造、热处理、切削加工等多道工序加工，制造齿轮的工艺有时还要进行表面淬火处理，其生产流程较长，加工技术复杂。40CrNi2MoH 钢化学成分见表 5-19。40CrNi2MoH 钢力学性能试验结果见表 5-20，其调质处理工艺为 850℃ 淬火，550 ~ 580℃ 高温回火，金相组织为回火索氏体。

根据国际焊接学会 (IIW) 碳当量公式计算，其 $C_{eq} = 0.86\%$ ，焊接性较差。采用 40CrNi2MoH 钢的焊接连续冷却转变图 (CCT 图) 推算，该钢材具有较大的淬硬倾向，有一定的冷裂纹敏感性，焊接时应严格控制焊接规范参数。经过 40CrNi2MoH 钢斜 Y 型坡口焊接裂纹试验，焊接预热温度应不小于 300℃。同时为了提高焊接接头抗冷裂纹能力，降低焊缝金属中的氢含量，应选择碱性焊接材料。硬齿面焊接结构齿轮焊后要求进行消应力热处理，降低焊接应力。

表 5-19 40CrNi2MoH 钢化学成分 (质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	S	P
保证值	0.37 ~ 0.44	0.55 ~ 0.90	0.15 ~ 0.30	0.65 ~ 0.95	1.55 ~ 2.00	0.20 ~ 0.30	≤ 0.030	≤ 0.030
测试值	0.44	0.64	0.32	0.82	1.66	0.20	0.026	0.018

表 5-20 40CrNi2MoH 钢力学性能试验结果

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	Z (%)	-40℃时 A_{KV} (J)	HBS
保证值	≥ 865	≥ 690	≥ 18	≥ 40	≥ 55	260 ~ 361
测试值	875	755	23	64	—	270

(2) 焊接材料与母材的强度匹配

焊接齿轮的轮辐与轮缘连接,主要采用大尺寸角焊缝的形式,从而保证传动过程中力量的传递,因此 40CrNi2MoH 与 Q345B (16Mn)钢焊接时必须有足够的焊角尺寸要求。

40CrNi2MoH 钢和 Q345B(16Mn)钢焊接接头中,40CrNi2MoH 属于中碳调质钢,其抗拉强度为 885MPa,而 Q345B(16Mn)钢仅能保证抗拉强度 ≥ 490 MPa。按照一般不同强度结构钢焊接材料选择原则,通常以强度较低的母材为基础;按照 Q345B(16Mn)钢母材设计值,并依据熔敷金属抗拉强度选择焊接材料。针对 40CrNi2MoH 钢和 Q345B(16Mn)钢焊接接头,应选择熔敷金属抗拉强度 ≥ 490 MPa 的焊接材料。

(3) 焊接自动化方面的要求

根据焊接齿轮尺寸、精度要求,必须严格控制焊接变形,保证焊接质量稳定,同时结合改善焊工工作条件等因素,应当尽可能提高焊接设备的自动化程度,减少人为因素对焊接质量的影响。采用合理有效的焊接辅助工装,实现低成本的自动化。从焊接方法上,应着重考虑熔化极气体保护焊和埋弧自动焊等连续施焊的工艺方法。

(4) 提高焊接生产效率

焊接齿轮施焊时,要求焊前预热、连续焊接。采用生产效率较高的焊接方法和焊接材料,就可以缩短焊接时间,降低劳动强度。根据重载硬齿面齿轮的结构设计,其焊缝必须有足够的焊角尺寸,以保证工作动力传递。当焊接填充量较大时,为了提高焊接生产效率,应选用熔敷速度快的焊接材料。几种焊接材料焊接熔敷速度试验结果见表 5-21,可见粗丝药芯焊丝气体保护焊具有较高的熔敷速度。

表 5-21 焊接熔敷速度试验结果

焊接参数	实芯焊丝 $\Phi 1.2\text{mm}$	药芯焊丝 $\Phi 1.6\text{mm}$	药芯焊丝 $\Phi 2.4\text{mm}$	焊条 $\Phi 4.0\text{mm}$
焊接电流	280	320	490	160

续表 5-21

焊接参数	实芯焊丝 Φ1.2mm	药芯焊丝 Φ1.6mm	药芯焊丝 Φ2.4mm	焊条 Φ4.0mm
熔敷系数(g/(A·h))	16.3	13.5	13.9	8.8
熔敷速度(g/h)	4564	4320	6811	1408

(5) 其他相关的焊接因素

为了保证焊接齿轮的质量,施焊过程中始终要求有良好的焊接工艺性能。当采用药芯焊丝熔化极气体保护焊时,CO₂气体保护焊焊缝金属表面成形较好,焊接飞溅少,熔渣容易脱落,焊道表面残余渣皮较少;而且采用渣、气联合保护,熔池保护效果好,不易出气孔。这些方面均优于实芯焊丝CO₂气体保护焊,因此选用药芯焊丝较为合理。

综合以上因素,硬齿面焊接齿轮的焊接材料可选择进口的药芯焊丝E70T-5 Φ2.4mm,并采用CO₂气体保护。药芯焊丝熔敷金属化学成分试验结果见表5-22,熔敷金属力学性能试验结果见表5-23。

表 5-22 E70T-5 Φ2.4mm 药芯焊丝熔敷金属化学成分试验结果 (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P
保证值	—	≤1.75	≤0.90	≤0.030	≤0.040
测试值	0.06	1.40	0.65	0.022	0.011

表 5-23 E70T-5 Φ2.4mm 药芯焊丝熔敷金属力学性能试验结果

试验项目	R _m (MPa)	R _{eL} (MPa)	A(%)	Z(%)	A _{KV} (J)	HBS
保证值	≥497	≥414	≥22	—	-40℃时≥27	—
测试值	629	546	25.0	68.0	160; 135; 129	202

3. 硬齿面焊接结构齿轮焊接工艺及质量检测要点

- (1) 焊前将齿轮均匀加热,预热温度 $T \geq 300^{\circ}\text{C}$ 。
- (2) 焊接材料选择 E70T-5 $\Phi 2.4\text{mm}$;保护气体为 CO_2 ,纯度 $\geq 99.8\%$ 。
- (3) 采用直流电源,施焊时直流反极性。
- (4) 焊接规范参数: $I = 420 \sim 480\text{A}$, $U = 30 \sim 32\text{V}$ 。
- (5) 焊后后热温度 $300 \sim 350^{\circ}\text{C}$,保温时间 2 小时,保温后缓冷。
- (6) 焊后进行消应力热处理。
- (7) 全部焊缝进行磁粉探伤,不允许有裂纹、未熔合等严重焊接缺陷。
- (8) 焊缝外观检查要求,焊缝与母材交界处要过渡圆滑,焊缝尺寸不得超差,并保证圆周方向的一致。

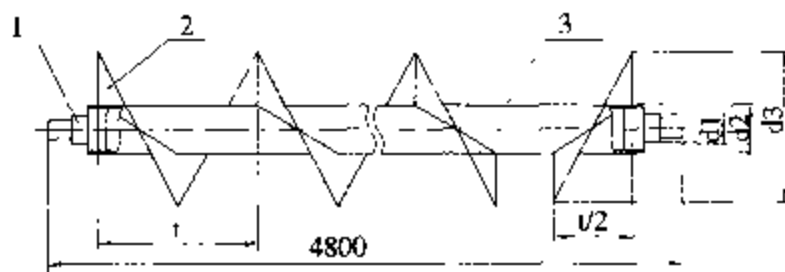
四、螺旋输料器生产中常用的加工工艺及焊接材料的选择

1. 螺旋输料器的主要特点

螺旋输料器的主要工作原理,是通过主轴的旋转,利用沿螺旋线分布的叶片将物料送进或排出,常用于锅炉设备的自动送料、排渣系统。自动送料系统的螺旋输料器主要承受挤压磨料磨损和物料的腐蚀,自动排渣系统的螺旋输料器往往还要同时承受高温物料的氧化,工作条件较为恶劣。

目前螺旋输料器的生产一般采用焊接结构,代替了过去的铸造形式。从结构制造材料方面,大多数螺旋输料器采用非合金结构钢成形、焊接,非合金结构钢叶片局部喷焊耐磨合金粉末的方式,也有一些螺旋输料器采用不锈钢材料进行生产。小型螺旋输料器主轴一般采用低碳钢钢管和中碳钢实心轴焊接制成,大型螺旋输

料器主轴一般采用中碳钢或中碳合金钢锻件。常用的螺旋输料器叶片为单组螺旋线结构,也有双组螺旋线和三组螺旋线结构。典型螺旋输料器示意图见图 5-6。



1—轴头; 2—叶片; 3—中轴

图 5-6 典型螺旋输料器示意图

2. 螺旋输料器生产中常用的加工工艺

(1) 螺旋输料器主轴的加工工艺

小型螺旋输料器主轴一般根据图纸要求,选取相应直径、壁厚 of 低碳钢钢管,切取一定的长度,与切削成形加工的中碳钢实心轴定位、装配、焊接而成。大型螺旋输料器主轴一般采用中碳钢或中碳合金钢锻件先进行粗加工。通常螺旋输料器主轴要在焊接施工完成后,再进行两侧定位部分的精加工。

(2) 螺旋输料器叶片的加工工艺

螺旋输料器叶片一般要通过计算,将螺旋状叶片进行展开、放样、下料、气割,再进行成形加工。对于螺距较小、厚度较薄、内外圆弧相近的叶片,可以直接冷拉成形,达到要求的形状。对于厚度较大的叶片可以采用与螺旋线相近的成形胎具,使用压力机在高温状态热压成形。对于螺距较大、螺旋状叶片的内外圆弧相差较大的叶片,一般只能进行手工热成形。此外如果叶片表面需要进行耐磨喷焊时,一般应在叶片成形后进行。

(3) 螺旋输料器主轴与叶片的装配焊接工艺

装配前,应在主轴上划出相应的螺旋线,以螺旋输料器端面为

基准, 装配叶片并进行点固焊, 根据叶片的相互位置分段进行修正、焊接。

3. 螺旋输料器生产中常用的焊接材料的选择

(1) 对于普通碳素钢螺旋输料器, 主轴材料为 20 钢管、叶片为材料 Q235A 时, 焊条电弧焊可使用 E4303(J422)、E4315(J427) 焊条, CO₂ 气体保护焊可使用 ER50-6 Φ1.2mm 或相应级别的酸性药芯焊丝。以上几种钢材和焊接材料熔敷金属化学成分、力学性能分别见表 5-24、表 5-25。

(2) 对于采用中碳钢或中碳合金钢锻件制造主轴的螺旋输料器, 主轴材料常用 45 钢或 35CrMo 合金结构钢, 为了防止主轴与叶片焊接时产生较大的变形, 避免进行工件加热, 一般采用铬镍含量较高的不锈钢焊条焊接, 如 E 309-16 (A302) 或 E 309-15 (A307), 而叶片之间的连接采用结构钢焊接材料。

表 5-24 钢材和焊接材料熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

材 料	C	Mn	Si	S	P
20钢	0.17 ~ 0.23	0.35 ~ 0.65	0.17 ~ 0.37	≤0.035	≤0.035
Q235 A 钢	0.14 ~ 0.22	0.30 ~ 0.65	≤0.30	≤0.050	≤0.045
J422	≤0.12	0.30 ~ 0.60	≤0.25	≤0.035	≤0.040
J427	≤0.12	≤1.25	≤0.90	≤0.035	≤0.040

表 5-25 钢材和焊接材料熔敷金属力学性能

材 料	R _m (MPa)	R _{eL} (MPa)	A(%)	Z(%)	A _{KV} (J)
20钢	≥410	≥245	≥25.0	—	—
Q235 A 钢	335 ~ 450	≥215	≥31.0	—	—
J422	≥420	≥330	≥22.0	—	0℃时 ≥27
J427	≥420	≥330	≥22.0	—	30℃时 ≥27

(3) 对于不锈钢螺旋输料器, 主轴和叶片一般采用 1Cr18Ni9 或 1Cr18Ni9Ti 奥氏体不锈钢, 焊接材料也选择不锈钢焊条, 如 E 308-16(A102) 或 E 347-16(A132)。常用的不锈钢焊条熔敷金属化学成分、力学性能分别见表 5-26、表 5-27。

表 5-26 常用的不锈钢焊条熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

焊接材料	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo
E 308-16(A102)	≤	0.5	≤	≤	≤	18.0	9.0	≤
E 347-16(A132)	0.08	~ 2.5	0.90	0.030	0.040	~ 21.0	~ 11.0	0.75
E 309-16(A302)	≤	0.5	≤	≤	≤	22.0	12.0	≤
E 309-15(A307)	0.15	~ 2.5	0.90	0.030	0.040	~ 25.0	~ 14.0	0.75

表 5-27 常用的不锈钢焊条熔敷金属力学性能

焊接材料	R_m (MPa)	A(%)
E 308-16(A102)	≥ 550	≥ 35.0
E 347-16(A132)	≥ 520	≥ 25.0
E 309-16(A302)	≥ 550	≥ 25.0
E 309-15(A307)		

(4) 碳素钢叶片表面喷焊的耐磨合金粉末一般为工艺性能较好的镍铬硼硅合金粉末, 牌号为 Ni60A, 喷焊层硬度可达 HRC60, 具有良好的耐磨、耐蚀、抗氧化性能。

4. 螺旋输料器的实际生产

根据螺旋输料器生产中常用的加工工艺, 采用确定的焊接材料先后生产了十余套不同尺寸螺旋输料器。在实际生产中, 既保证了焊缝连接强度, 也控制了较长尺寸的螺旋输料器的形位公

差，避免了不对称加热可能引起的焊接变形，使生产计划得到顺利实施。

五、西气东输管道工程中 大直径锚固法兰的焊接工艺试验

1. 我国油气管道工程焊接技术概况

我国油气管道工程焊接技术的发展与国外相比时间较晚，经历了 20 世纪 70 年代采用焊条电弧焊方法中低氢型焊条向上焊技术，80 年代推广焊条电弧焊方法中纤维素焊条和低氢型焊条向下焊技术，90 年代应用自保护药芯焊丝半自动焊技术，到现在全面推广全位置自动焊技术的发展过程。目前主要的自动焊接设备需要进口，通用型设备实现了国产化，向下焊的纤维素焊条、低氢型焊条及气保护实芯焊丝也可由国内生产，但自保护药芯焊丝还需要从国外 LINCOLN、HOBART 等公司购买。

2. 西气东输管道工程中 大直径锚固法兰技术要求

西气东输管道工程是我国重点工程之一，管道干线全长约 4 000km，设计压力 10.0MPa，管径为 $\Phi 1 016\text{mm}$ ，壁厚为 26mm，全线管道用钢为 X70 管线钢。主要执行技术标准有：GB 50251《输气管道工程设计规范》；Q/SY XQ4《西气东输管道工程焊接施工及验收规范》。

西气东输管道工程中 大直径锚固法兰为整体环形锻件，其示意图见图 5-7，锻件用钢 CF62 的化学成分、力学性能分别见表 5-28、表 5-29。

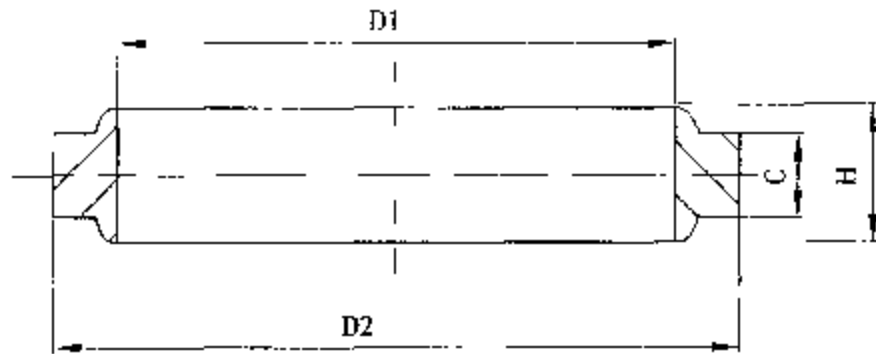


图 5-7 锚固法兰示意图

表 5-28 CF62 钢化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	V	S	P	Ceq	Pcm
保证值	≤ 0.09	1.10 ~1.50	0.15 ~0.35	≤ 0.35	≤ 0.50	≤ 0.30	0.02 ~0.06	≤ 0.020	≤ 0.030	≤ 0.44	≤ 0.20
测试值	0.08	1.16	0.15	0.029	0.007	0.25	0.06	0.015	0.020	0.335	0.16

表 5-29 CF62 钢力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	-40℃时 A_{KV} (J)	冷弯	HV10	热处理 状态
保证值	610 ~725	≥490	≥18	≥39	d=3S $\alpha=180^\circ$	≤265	940℃水淬 +630℃回火

3. 西气东输管道工程中 大直径锚固法兰的焊接技术条件

(1) 西气东输管道工程中允许采用的焊接方法有熔化极气体保护焊、焊条电弧焊、埋弧焊、自保护药芯焊丝电弧焊、钨极氩弧焊。

(2) 西气东输管道工程施工前必须进行焊接工艺评定,制定焊接工艺规程。

(3) 西气东输管道装配时,一般采用对口器定位,对接接头的

对口错边量 $\leq 2.5\text{mm}$ 。

(4) 焊接接头力学性能试验要求

1) 焊接接头的拉伸性能不低于 X70 管线钢母材的合格指标。
2) 对于异种钢焊接接头,夏比 V 型缺口冲击试样不得少于三组(每组三件),缺口位置分别为焊缝及两侧焊接热影响区,在相应温度下试验结果平均值不低于 20J,最低值不小于 15J。

3) X70 管线钢焊接接头的硬度试验 $\text{HV}_{10} \leq 265$ 。

(5) 焊接接头外观检查要求

1) 焊接接头的坡口要求全焊透。
2) 焊缝及其附近表面不得有裂纹、未焊透、未熔合、气孔、弧坑未填满和肉眼可见的夹渣等缺陷,焊缝上的熔渣和两侧的飞溅物必须清除。

3) 焊缝表面不低于母材表面,焊缝与母材应圆滑过渡,对接焊缝的余高一般应不超过 1.6mm,局部不超过 3mm。

4) 咬边深度一般应小于 0.3mm,局部小于 0.5mm,单个咬边的连续长度不得大于 30mm,焊缝两侧咬边的总长度不得超过该焊缝长度的 15%。

5) 根焊焊缝内部余高不应超过 3mm,防止出现咬边、内部凹陷和烧穿等缺陷。

(6) 对接焊缝无损探伤为 100%的射线照相检测,合格级别为 II 级。

4. 西气东输管道工程中 大直径锚固法兰的焊接材料的选择

大直径锚固法兰与 X70 管线钢的对接焊属于室外现场环境施工,受室外自然条件的限制,一般采用焊条电弧焊进行根焊,自保护药芯焊丝电弧焊进行填充焊和盖面焊。焊条电弧焊选择高纤维素钠型立向下焊条,型号为 AWS A5.1 的 E6010,牌号为 BOHLER FOX CEL $\Phi 4.0\text{mm}$;自保护药芯焊丝电弧焊选择型号为

AWS A5.29 的 E71T8-Ni1 自保护药芯焊丝，牌号为 HOBART 81N1 $\Phi 2.0\text{mm}$ 。其焊接材料熔敷金属的化学成分、力学性能分别见表 5-30、表 5-31，其中焊条 E6010 的熔敷金属化学成分在 AWS A5.1 中没有规定。

表 5-30 E71T8-Ni1 药芯焊丝熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

焊接材料	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	S	P	V	Al
E71T8-Ni1 $\Phi 2.0\text{mm}$	≤ 0.12	≤ 1.50	≤ 0.80	≤ 0.15	0.80 ~1.10	≤ 0.35	≤ 0.030	≤ 0.030	≤ 0.05	≤ 1.80

表 5-31 熔敷金属力学性能

焊接材料	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	-30℃时 A_{KV} (J)
E 6010 $\Phi 4\text{mm}$	≥ 430	≥ 340	≥ 22	≥ 27
E71T8-Ni1 $\Phi 2.0\text{mm}$	490 ~ 620	≥ 400	≥ 20	≥ 27

5. 西气东输管道工程中 大直径锚固法兰的焊接工艺试验

依据 Q/SY XQ4《西气东输管道工程焊接施工及验收规范》，参考 JB 4708—2000《钢制压力容器焊接工艺评定》，进行西气东输管道工程中 大直径锚固法兰的焊接工艺试验。

(1) 锚固法兰的焊接工艺试验采用水平位置管-管对接形式，试件规格为 $\Phi 1016\text{mm} \times 21\text{mm}$ ，焊接坡口为 V 型坡口，采用切削加工制备。坡口示意图见图 5-8。

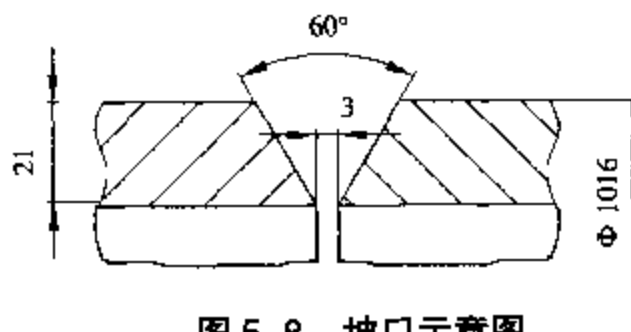


图 5-8 坡口示意图

(2) 焊接材料是焊条 E6010 $\Phi 4.0\text{mm}$, 自保护药芯焊丝 E71T8-Ni1 $\Phi 2.0\text{mm}$ 。

(3) 焊前预热采用氧-丙烷火焰加热, 预热宽度范围至少应是接头两侧各 6 倍的管子板厚, 且不小于 100mm, 预热温度 $T \geq 100^\circ\text{C}$ 。

(4) 焊接设备采用逆变式电源, POWCON 630 焊机, 直流反接。

(5) 焊接过程有六层焊道, 采用焊条电弧焊进行根焊、自保护药芯焊丝电弧焊进行填充焊和盖面焊, 层间温度 80°C , 焊接规范参数见表 5-32。

表 5-32 锚固法兰的焊接工艺试验焊接规范参数

焊丝型号及规格	焊接电流(A)	焊接电压(V)	焊接速度 (cm/min)
E 6010 $\Phi 4\text{ mm}$	75 ~ 88	28 ~ 38	6.6
E71T8-Ni1 $\Phi 2.0\text{ mm}$	220 ~ 240	20.0 ~ 24.0	8.0 ~ 19.0

(6) 对接焊缝射线照相检测, 焊缝级别为 II 级。

(7) 宏观金相试验, 试样断面未见缺陷。

(8) 焊接接头力学性能试验结果见表 5-33。

焊接工艺评定的试验结果说明, 大直径锚固法兰具有良好的焊接性能, 能够满足西气东输管道工程技术要求。

表 5-33 焊接接头力学性能试验结果

拉伸试验		CF62侧冲击试验	硬度试验
R_m (MPa)	断裂位置	-20°C 时 A_{KV} (J)	HV10max
570; 555; 550; 540	断于母材	167; 144; 51	206

六、大型钢结构安装施工中的焊接材料的选择

目前,室外使用的大型焊接结构越来越多,如球罐、桥梁、钻井平台等。其中大多数是在工厂制造成部件或零件,最终在工地组装成整体。现以某钢结构为例,介绍工地焊接特点及其焊接材料的选择。

1. 钢结构工地焊接的技术要求

(1) 某钢结构高度百余米,宽度 20 余米,在工厂分段制造,工地进行总装焊接,钢结构有较高尺寸精度要求,因此要求有较高的装配精度、较小的焊接变形。

(2) 质量要求高。经焊缝外观检查合格后,焊缝还须经超声波探伤并达到 I 级要求。

(3) 分段制造构件的连接焊缝均为横焊位置,板厚达 24mm,采用多层多道焊,坡口型式为单边 V 型坡口加垫板。

(4) 焊接作业高度为 20 ~ 80m,属于高空作业施工,必须有一定的安全防护措施。

(5) 焊接接头有明确的力学性能要求,抗拉强度应不小于 500MPa,低温(-40℃)V 型缺口冲击功不小于 27J。

(6) 在室外高空作业时,外部干扰风力较大,选择焊接方法、焊接材料时,应具备较好的抗干扰能力。

2. 钢结构工地焊接用焊接材料的选择

(1) 焊接方法的初步选择

为了完成高空作业的中厚板横焊,可供选择的焊接方法有焊条电弧焊、熔化极气体保护焊和药芯焊丝自保护焊,焊接材料有焊条、药芯焊丝、自保护药芯焊丝等。常用焊接方法和典型焊接材料见表 5-34。

表 5-34 常用焊接方法和典型焊接材料

焊接方法	焊接材料类别	典型焊接材料
焊条电弧焊	焊条	E5015 $\Phi 4\text{mm}$ 、 $\Phi 5\text{mm}$
熔化极气体保护焊	药芯焊丝 + 保护气体	SQJ502 $\Phi 1.6\text{mm} + \text{CO}_2$
		GL-YJ502 $\Phi 1.6\text{mm} + \text{CO}_2$
自保护焊	自保护药芯焊丝	E71T8-K6 $\Phi 2.0\text{mm}$
自保护焊丝 + 保护气体	自保护药芯焊丝 + 保护气体	E71T8-K6 $\Phi 2.0\text{mm} + \text{CO}_2$

(2) 焊接工艺性能对比

为了确保焊接工艺在实际工程中顺利应用,必须具备良好的焊接工艺性能,主要考核电弧燃烧稳定性、焊接烟尘、焊道成形及脱渣性、焊接飞溅等内容。焊接工艺性能试验结果见表 5-35。

表 5-35 焊接工艺性能试验结果

典型焊接材料	电弧稳定性	焊接烟尘	焊道成形	脱渣性	焊接飞溅
E5015 $\Phi 4\text{mm}$ 、 $\Phi 5\text{mm}$	良好	一般	良好	良好	一般
SQJ502 $\Phi 1.6\text{mm} + \text{CO}_2$	良好	较少	美观	良好	小
GL-YJ502 $\Phi 1.6\text{mm} + \text{CO}_2$	良好	较少	美观	良好	小
E71T8-K6 $\Phi 2.0\text{mm}$	较好	较大	较好	较好	小
E71T8-K6 $\Phi 2.0\text{mm} + \text{CO}_2$	良好	较大	较好	较好	小

(3) 抗外部干扰风的试验

随着焊接构件逐层装配,施焊的位置越来越高,外部自然环境产生的干扰风对焊接操作影响越来越大,因此有必要掌握不同焊接方法、焊接材料使用中抗外部干扰风的能力。

采用模拟风源进行焊接操作抗外部干扰风的试验。通过设定不同风力的试验条件,对比不同焊接方法、焊接材料施焊情况,以焊缝产生气孔程度及其数量,间接评价不同焊接方法、焊接材料的抗外部干扰风能力。试验结果见表 6-36。

表 5-36 抗外部干扰风的试验结果

焊接方法	典型焊接材料	干扰风等级	气孔情况	抗风能力评价
焊条电弧焊	E5015 Φ 5mm	强 风	无气孔	好
熔化极 气体保护焊	SQJ502 Φ 1.6mm + CO ₂	弱 风	大量气孔	差
	SQJ502 Φ 1.6mm + CO ₂	无 风	无气孔	—
	GL-YJ502 Φ 1.6mm + CO ₂	弱 风	大量气孔	差
	GL-YJ502 Φ 1.6mm + CO ₂	无 风	无气孔	—
自保护焊	E71T8-K6 Φ 2.0mm	无 风	个别气孔	一 般
自保护焊丝 外加保护气体	E71T8-K6 Φ 2.0mm + CO ₂	强 风	无气孔	好
	E71T8-K6 Φ 2.0mm + Ar	弱 风	无气孔	较 好

可以看出,采用 CO₂ 气保焊药芯焊丝 (SQJ502 Φ 1.6 mm 和 GL-YJ502 Φ 1.6 mm) 在无风环境时,焊接效果良好,但抗外部干扰风能力极差,弱风就可以使其产生大量气孔,所以不能满足钢结构工地焊接的要求。自保护焊丝 E71T8-K6 Φ 2.0 mm 在无风状态下,也容易在起弧处产生个别气孔。因此这两种焊接材料及工艺在工地施工中都不推荐采用。但如果采用自保护焊丝再辅助以少量的保护气体,则具有较好的抗外部干扰风能力,而且以 CO₂ 气体保护效果最好,同时焊条电弧焊也具有良好的抗外部干扰风能力。抗外部干扰风能力较好的这两种方法成为工地焊接的主要选择方法。

(4) 焊接熔敷金属的理化性能试验

针对焊条电弧焊和自保护药芯焊丝加保护气体两种工艺方法,分别采用 E5015 $\Phi 5.0\text{mm}$ 和 E71T8-K6 $\Phi 2.0\text{mm}$ 等焊接材料,焊接对接试板,经超声波探伤,均达到 I 级焊缝的要求,无损探伤检查合格。

根据 GB 5117—1995《碳钢焊条》、AWS A5.29《药芯焊丝弧焊用低合金钢焊丝技术条件》进行熔敷金属理化性能检验。焊接熔敷金属化学成分见表 5-37,焊接熔敷金属力学性能见表 5-38。

表 5-37 焊接熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

焊接材料	试验项目	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	S	P
E5015 $\Phi 5\text{mm}$	标准值	≤ 0.12	≤ 1.6	≤ 0.75	—	—	—	≤ 0.035	≤ 0.040
	测试值	0.08	1.18	0.38	0.11	0.17	0.19	0.019	0.011
E71T8-K6 $\Phi 2.0\text{mm}$ + CO ₂	标准值	≤ 0.15	0.50 ~1.50	≤ 0.80	≤ 0.15	0.40 ~1.10	≤ 0.15	≤ 0.030	≤ 0.030
	测试值	0.07	0.93	0.08	—	0.70	—	0.004	0.018

表 5-38 焊接熔敷金属力学性能

焊接材料	试验项目	R_m (MPa)	R_{el} (MPa)	A (%)	-30℃时 A_{KV} (J)
E5015 $\Phi 5\text{mm}$	标准值	≥ 490	≥ 410	≥ 22	≥ 27
	测试值	608	534	29.5	166
E71T8-K6 $\Phi 2.0\text{mm}$ + CO ₂	标准值	490 ~ 620	≥ 400	—	≥ 27
	测试值	576	460	—	-40℃时 162

(5) 其他相关因素

针对焊条电弧焊及自保护药芯焊丝外加保护气体两种工艺,从焊接应用前景、现阶段经济成本、焊接设备等方面进行对比。在

今后焊接技术发展的一段时间里,自保护药芯焊丝外加保护气体这一技术,有熔敷效率高、焊接自动化程度高、焊接接头少、焊接质量好等优点,具有较好的前景。焊条电弧焊的熔敷效率低,焊道中接头部位多,易出缺陷,生产效率低,在现阶段应用较为普遍,在今后的使用中将逐步被代替。

从焊接材料成本对比,国产焊条质量能够保证产品要求,而国产自保护药芯焊丝尚处于起步阶段,技术成熟、质量稳定尚需时间。西方发达国家自保护药芯焊丝制造基本成熟,并形成一定的产量,得到广泛应用。但如采用进口自保护药芯焊丝其价格约为国产焊条的十倍,大大增加了制造成本;而且需要培训焊工,使其掌握自保护药芯焊丝的操作技能,这也需要一定的经济投入和时间周期。

所以现阶段仍采用焊条电弧焊完成钢结构工地焊接,焊接材料选择 E5015 焊条。从发展的角度看,研究、开发自保护焊接技术是解决室外焊接问题的有效手段。

七、提高焊接结构件动载使用寿命的焊接材料的选择

1. 机械式挖掘机焊接结构件早期失效的分析

许多焊接结构件在其使用中发生断裂等现象,导致工程事故发生,其中某些构件的早期失效是由于设计过程中没有充分考虑其承受载荷特点造成的。疲劳破坏通常是焊接结构破坏的主要形式,约占失效总数的 90%。焊接结构件在交变动载荷作用下,经过一定时间工作,会发生断裂现象;而断裂时不产生明显的塑性变形,断裂发生突然,具有很大的危险性。许多在寒冷地区服役的焊接结构件,则发生了低应力脆断。这些结构件的工况条件非常恶劣,受力复杂,往往由于焊接、机械加工、热处理等加工制造及使用

中的某些原因,使结构件存在着各种类型的裂纹及其他缺陷。

机械式挖掘机结构件在交变载荷作用下,裂纹可能逐渐扩展,当实际的裂纹尺寸达到或大于临界裂纹尺寸时,结构件在受载荷的瞬间就会发生断裂。所以仅仅采用一般的强度设计,难以满足焊接结构件安全运行的要求。因此要从母材、焊接材料及焊接工艺等方面出发,综合考虑焊接接头强度、疲劳性能、断裂韧性等因素,提高焊接结构件的使用寿命。

2. 焊接用钢材的性能及改进

随着国内冶炼、轧制技术的发展,一批新型工程机械用钢得到应用,如:HQ60、HG50、WCF62、A633D等钢材。这些钢材的化学成分、综合力学性能、焊接性等均优于过去常用的Q235A、16Mn、15MnV等钢材。

典型的焊接结构钢化学成分见表5-39,钢中添加了微量的铬、钼、铌、镍、钒等元素,并严格控制了碳、硫、磷等元素。其常规力学性能见表5-40,无塑性转变温度试验结果见表5-41。

自20世纪90年代初,国内研制的低合金结构钢已较多考虑了钢板焊接加工要求,从钢材设计开发中就注意改善钢材的焊接性。通常这类钢材具有较低的碳当量,焊接预热温度较低,有效地防止了焊接冷裂纹的出现,有利于提高焊接结构件的使用寿命。几种钢材焊接预热温度见表5-42。

表5-39 典型的结构钢化学成分(质量分数) (%)

钢材	试验项目	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	V	S	P
HQ60	标准值	≤ 0.09	≤ 1.00	0.15 ~0.30	≤ 0.30	≤ 0.60	≤ 0.30	≤ 0.10	≤ 0.030	≤ 0.030
	测试值	0.06	1.35	0.25	0.24	—	0.22	0.09	0.007	0.020
HG50	标准值	0.07 ~0.16	≤ 1.70	0.15 ~0.40	—	—	—	0.03 ~0.08	≤ 0.025	≤ 0.030
	测试值	0.09	1.43	0.28	—	—	—	0.04	0.005	0.010

续表 5-39

钢材	试验项目	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	V	S	P
WCF62	标准值	≤ 0.16	0.90 ~1.50	0.15 ~0.55	≤ 0.30	≤ 0.60	—	—	≤ 0.10	≤ 0.030
	测试值	0.15	1.24	0.37	0.28	0.44	0.13	—	0.023	0.016
A633D	标准值	≤ 0.20	0.70 ~1.35	0.15 ~0.50	≤ 0.25	≤ 0.25	≤ 0.08	—	≤ 0.035	≤ 0.035
	测试值	0.17	1.40	0.36	0.08	0.01	0.03	—	0.003	0.012

表 5-40 常规力学性能

钢 材	试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	-30℃时 A_{KV} (J)
HQ60	标准值	≥588	≥451	≥18	≥47
	测试值	680	583	20	97
HG50	标准值	≥480	≥360	≥20	≥27
	测试值	496	364	—	256
WCF62	标准值	610 ~ 740	≥490	≥17	≥47
	测试值	852	589	18	230
A633D	标准值	485 ~ 590	≥345	≥21	≥47
	测试值	565	415	34	178

表 5-41 无塑性转变温度试验结果

钢材及规格(mm)	试样取样方向	无塑性转变温度(℃)	冲击能量(J)
HG50 $\delta = 20$	纵 向	- 40	350
	横 向	- 40	
WCF62 $\delta = 24$	纵 向	- 50	400
	横 向	- 45	
A633D $\delta = 24$	纵 向	- 45	350
	横 向	- 40	

表 5-42 几种钢材焊接预热温度

钢材及规格(mm)	焊接材料	预热温度(℃)
15MnV δ=42	E5015	≥100
HG50 δ=40	PK-YJ507Ni	≥50
WCF62 δ=40	PK-YJ507Ni	≥100
A633D δ=40	PK-YJ507Ni	≥50

3. 挖掘机生产中焊接材料的选择

为了提高焊接结构件使用寿命，就必须改善焊接产品质量，分别从减少裂纹、气孔等焊接缺陷和提高焊接材料综合性能两方面着手。

目前，熔化极气体保护焊是工程机械制造中常用的焊接方法，所用的焊接材料主要是气体保护焊焊丝和保护气体；而且对综合力学性能有较高要求的结构件，应侧重选择气体保护焊药芯焊丝。

(1) 药芯焊丝气体保护焊特点

1) 具有良好焊接工艺性能。焊接电弧稳定，飞溅少，焊缝成形美观、波纹均匀，焊道表面无明显凸起，焊缝与母材呈圆滑过渡。

2) 药芯焊丝气体保护焊采用渣气联合保护，在焊接及其冷却过程中，熔池保护效果好，可有效防止气孔等焊接缺陷产生。

3) 由于焊接保护效果好，可以采用较快焊接速度，其数值能够达到 30cm/min 以上。在这种情况下，即使焊接电流值很大，焊接线能量数值也很低，母材热输入较少，有利于焊接接头综合性能的提高。

4) 通过调整药芯焊丝的药粉配方，可以增加焊丝中合金元素

含量，并有效地控制熔池中的氧化物，减少有益合金元素的氧化烧损，降低焊缝金属含氢量，提高焊接接头力学性能和抗裂性能。

(2) 国产药芯焊丝及保护气体选择

焊接材料正确选择往往依据于焊接试验结果。试验采用国产有缝药芯焊丝 PK-YJ507 $\Phi 1.6\text{mm}$ 及其改进型 PK-YJ507Ni $\Phi 1.6\text{mm}$ 两种焊丝，保护气体选择 CO_2 和 $80\%\text{Ar} + 20\%\text{CO}_2$ 两种气体。国产药芯焊丝及保护气体的焊接规范参数见表 5-43，焊接工艺性能见表 5-44，熔敷金属化学成分试验结果见表 5-45，熔敷金属力学性能试验结果见表 5-46，熔敷金属扩散氢含量试验结果见表 5-47。可见采用 PK-YJ507Ni $\Phi 1.6\text{mm}$ 药芯焊丝和 $80\%\text{Ar} + 20\%\text{CO}_2$ 保护气体的焊接材料组合具有较好的焊接工艺性能和常规力学性能。

表 5-43 国产药芯焊丝及保护气体的焊接规范参数

焊丝牌号及规格	保护气体	焊接电流 (A)	焊接电压 (V)	焊接速度 (cm/min)	焊接线能量 (kJ/cm)
PK-YJ507 $\Phi 1.6\text{mm}$	CO_2	244 ~ 264	24.4 ~ 25.2	31.0	12.0
PK-YJ507Ni $\Phi 1.6\text{mm}$	CO_2 或富氩混合气体	245 ~ 265	25.0 ~ 26.0	31.2	12.0

表 5-44 焊接工艺性能

焊接材料	电弧稳定性	飞溅	烟尘	焊道成形	脱渣性
PK-YJ507 $\Phi 1.6\text{mm} + \text{CO}_2$	好	较少	较大	较好	较差
PK-YJ507Ni $\Phi 1.6\text{mm} + \text{CO}_2$	好	较少	较大	较好	一般
PK-YJ507Ni $\Phi 1.6\text{mm} + 80\%\text{Ar} + 20\%\text{CO}_2$	好	少	较大	好	较好

表 5-45 熔敷金属化学成分试验结果(质量分数) (%)

焊接材料	C	Mn	Si	S	P
PK-YJ507 Φ1.6mm + CO ₂	0.07	1.23	0.37	0.013	0.016
PK-YJ507Ni Φ1.6mm + CO ₂	0.07	1.41	0.29	0.010	0.021
PK-YJ507Ni Φ1.6mm + 80%Ar + 20%CO ₂	0.08	1.98	0.70	0.022	0.017

表 5-46 熔敷金属力学性能试验结果

焊接材料	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	Z (%)	20℃时 A_{KV} (J)	-40℃时 A_{KV} (J)
PK-YJ507 Φ1.6mm+ CO ₂	581	487	22.0	65.5	101	30
PK-YJ507Ni Φ1.6mm+ CO ₂	514	397	29.0	69.0	153	60
PK-YJ507Ni Φ1.6mm + 80%Ar + 20%CO ₂	707	607	24.0	63.5	157	70

表 5-47 熔敷金属扩散氢含量试验结果

焊接材料	熔敷金属扩散氢 (ml/100g)	备注
PK-YJ507 Φ1.6mm + CO ₂	2.13	甘油法

4. 在挖掘机焊接结构制造中的应用

通常认为焊接结构件的断裂破坏分为两个阶段,即裂纹的形成过程和裂纹的扩散过程。因此,焊接结构件的使用寿命也就包括裂纹的形成寿命和裂纹的扩展寿命。以母材为 A633D 钢、焊接材料分别为 PK-YJ507Ni Φ1.6mm 和 80%Ar + 20%CO₂ 制造的焊接结构件为例,对其焊接接头进行试验,对比其改进工艺前后的使用寿命变化。采用低周疲劳和高周疲劳试验结果,研究其应变疲劳特

性;用局部应力-应变法,测算结构件的疲劳裂纹形成寿命,并进行可靠性分析;采用 COD 试验及 da/dN 试验结果,研究其断裂韧性;运用损伤容限法测算裂纹扩展寿命。

按 GB 6399—1986《金属材料轴向等幅低循环疲劳试验方法》测试,上述焊接接头低周疲劳参数见表 5-48。参考 GB 2656—1981《焊缝金属和焊接接头的疲劳试验法》,焊接接头脉动拉伸疲劳极限 489MPa,并高于母材 50%存活率;10⁷次疲劳寿命时,疲劳极限 317MPa。因而判定,A633D 钢结构件高周疲劳性能薄弱区在母材区。

表 5-48 A633D 钢焊接接头低周疲劳参数

疲劳强度系数	疲劳延性系数	疲劳强度指数	疲劳延性指数
982.8	0.455	-0.0867	-0.7487

依据 GB 2358—1980《裂纹张开位移试验方法》和 JB 4291—1988《焊接接头裂纹张开位移试验方法》,测定上述焊接接头的焊缝金属及热影响区的裂纹张开位移(COD)特征值,从而评价其接接头的断裂韧性。焊接接头 COD 试验结果见表 5-49,焊缝金属表现启裂 COD 值 $\delta_{0.05}$ 均大于焊接热影响区,热影响区是其焊接接头的薄弱部位。

按照 GB 6398—1986《金属材料疲劳裂纹扩展速率试验方法》、GB 9447—1988《焊接接头疲劳裂纹扩展速率试验方法》测试,上述 A633D 钢焊接接头裂纹扩展速率试验结果见表 5-50,焊缝金属裂纹扩展速率低于焊接热影响区。

表 5-49 A633D 钢焊接接头 COD 试验结果

缺口位置	表现启裂 COD 值 δ_i (mm)	条件启裂 COD 值 $\delta_{0.05}$ (mm)
焊缝金属	0.164	0.196
热影响区	0.132	0.172

表 5-50 A633D 钢焊接接头裂纹扩展速率试验结果 (da/dN)

ΔK_I (N/mm ^{3/2})	焊缝金属 da/dN (毫米/次)	热影响区 da/dN (毫米/次)
1000	6.34×10^6	8.69×10^5
2000	9.98×10^5	3.84×10^4

借助以上参数进行计算,并经实际应用证明,使用上述焊接材料焊接 A633D 钢结构件使用寿命可达到 3.7 年以上,能够满足正常修理周期要求,避免了同类焊接结构件以往多次出现的早期失效事故。说明母材及焊接材料的合理选择,能够有效提高焊接结构的使用寿命。

八、水压机大厚度工作缸的焊接制造

1. 水压机大厚度工作缸的技术要求

大型水压机液压工作缸的设计多采用锻-焊结构形式,往往需要 2 ~ 3 个锻造毛坯粗加工后制成筒体,再完成环焊缝的焊接,最后精加工并达到图纸要求,其示意图见图 5-9。工作缸采用 30Mn2 锻件,厚度范围 160 ~ 220mm。30Mn2 钢化学成分、力学性能分别见表 5-51、表 5-52。要保证大厚度工作缸制造质量,就必须对铸造、锻造及焊接等工序都进行严格控制。通常大厚度工作缸对焊接技术有以下要求:

(1) 焊接接头具有较高的力学性能,其性能要求不低于母材设计值。

(2) 焊缝质量须经无损探伤检查,并达到超声波探伤 I 级。不得有裂纹等严重影响质量的焊接缺陷。

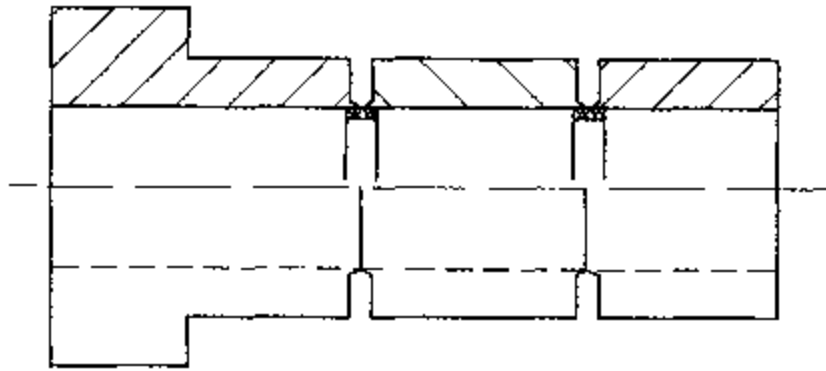


图 5-9 大厚度工作缸结构示意图

表 5-51 30Mn2 钢化学成分 (质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P	Cu
保证值	0.27 ~ 0.34	1.40 ~ 1.80	0.17 ~ 0.37	≤0.035	≤0.035	≤0.30

表 5-52 30Mn2 钢力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	A_{KU} (J)	HBS
标准值	≥550	≥350	≥14	≥38	≤207
测试值	660	406	26	44	—

2. 水压机大厚度工作缸焊接方法的选择

大厚度钢板的焊接方法, 在 20 世纪 80 年代以前主要依靠电渣焊, 80 年代中期以后逐步发展成窄间隙焊接, 其中又以窄间隙气体保护焊和窄间隙埋弧焊为主。国内主要使用窄间隙埋弧焊技术, 其主要特点有:

(1) 焊接坡口窄, 坡口型式多为 I 型坡口, 焊接填充金属体积显著减少, 板厚越大, 效果越明显。由于焊接填充金属量减少, 带来许多优点。

1) 焊接时间缩短, 生产效率大幅度提高。

2) 减少坡口加工工作量,制造能力增强。

3) 节省焊接材料和能源,生产成本大大降低。

(2) 焊接填充金属减少,降低了母材热输入总量,从而大大降低了焊接残余应力,减少了工件的焊接变形。

(3) 窄间隙埋弧焊采用较细直径的焊丝,具有较低的焊接热输入,焊接热影响区窄小。由于焊道扁平,可以充分利用后续焊道的热处理,提高接头力学性能,冲击韧性优良。可以焊接细晶粒高强度调质钢,而且焊后不用重新调质处理。

(4) 窄间隙埋弧焊采用多层多道焊,焊接熔池对前层焊道有回火作用,对待焊母材有预热作用,有利于防止焊接冷裂纹。

(5) 窄间隙埋弧焊焊接设备自动化程度高,可以实现坡口侧壁横向双侧跟踪、高度跟踪的多维跟踪方式,具有自动控制系统;焊接过程的人为干扰因素少,焊接质量稳定,工人劳动强度低。

(6) 窄间隙埋弧焊焊丝直径为 $\Phi 3.2\text{mm}$,焊接规范参数数值小。通常选用碱性或中性埋弧焊焊剂。

(7) 窄间隙埋弧焊可选用单丝焊和双丝焊,实现多种组合形式。采用双丝纵向排列,前丝采用直流反接,保证与母材侧壁的熔合;后丝采用交流方波电源,改善焊道成形,提高熔敷效率。

可见,水压机大厚度工作缸采用双丝窄间隙埋弧焊焊接最为合理,但购置设备、操作人员的技能培训是必不可少的条件。

3. 水压机大厚度工作缸焊接材料的选择

双丝窄间隙埋弧焊采用的焊接材料包括焊丝和焊剂,因而大厚度水压机工作缸焊接材料的选择主要是焊丝和焊剂的选择。

(1) 埋弧焊焊剂的选择

考虑焊接工艺性能、焊缝金属抗裂性能、熔敷金属力学性能等方面,选择了碱性烧结焊剂 SJ101。该焊剂有以下优点:

1) 具有较好的焊接工艺性能。焊接电弧稳定,焊缝成形美观,

焊接烟尘较少。特别是在较高温度下具有良好的脱渣性能,保证了窄间隙埋弧焊的顺利进行。

2) SJ101 碱度达到 1.8,焊接过程中合金元素烧损少,有利于保证熔敷金属力学性能。同时焊缝金属含氢量可以得到有效控制,有利于焊接接头的抗冷裂纹能力。

3) SJ101 堆积比重小,实际施焊中消耗量低。

(2) 埋弧焊焊丝的选择

根据产品力学性能要求,配用 SJ101 焊剂,进行埋弧焊焊丝的选择。埋弧焊焊丝熔敷金属化学成分试验结果见表 5-53,熔敷金属拉伸性能试验结果见表 5-54。可见选用焊接材料 H08Mn2SiA Φ 3mm 和 SJ101 就可以满足 30Mn2 焊接性要求。

表 5-53 熔敷金属化学成分试验结果(质量分数) (%)

焊接材料	C	Mn	Si	Mo	Ti	S	P
H08Mn2MoTi + SJ101	0.09	1.46	0.78	0.35	0.03	0.009	0.021
H08Mn2SiA + SJ101	0.09	2.10	0.75	—	—	0.013	0.021

表 5-54 熔敷金属拉伸性能试验结果

焊接材料	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	Z (%)
H08Mn2MoTi + SJ101	720	593	24.0	66.0
H08Mn2SiA + SJ101	619	494	26.0	64.6

(3) 焊接接头力学性能试验

采用 30Mn2 钢 $\delta=100\text{mm}$ 试板,加工焊接坡口。焊接材料 H08Mn2SiA + SJ101,用窄间隙埋弧焊焊接试板,并进行焊接接头力学性能试验。焊接接头抗拉强度达 660MPa,断裂于焊缝,说明焊接接头有较高的强度。冷弯试验条件 $d=3S$ 、 $\alpha=180^\circ$ 时,面弯、背弯、

侧弯均无开裂现象。焊接接头 V 型缺口冲击试验结果见表 5-55。热影响区金相组织为索氏体 + 贝氏体 + 部分呈网状分布屈氏体。焊接接头力学性能试验结果说明, 采用焊丝 H08Mn2SiA、焊剂 SJ101, 焊接接头具有良好的力学性能。

表 5-55 焊接接头 V 型缺口冲击试验结果 (J)

试样位置	焊 缝	熔合线	热影响区
表层金属	71	37	40
中层金属	82	42	45

4. 水压机大厚度工作缸焊接工艺要点

- (1) 焊接设备: HSS-2500 型双丝窄间隙埋弧焊机。
- (2) 焊接电源中前丝为直流电源, 直流反接, 后丝为交流方波电源。
- (3) 焊接坡口采用机械加工, 坡口型式见图 6-10, 坡口背面加钢垫板。
- (4) 焊接材料: 焊丝 H08Mn2SiA $\Phi 3.0\text{mm}$; 焊剂为 SJ101, 10 ~ 60 目, 焊前烘干 $300 \sim 350^\circ\text{C}$, 保温时间 2 小时。
- (5) 焊接预热温度 $T \geq 150^\circ\text{C}$, 层间温度 $150 \sim 250^\circ\text{C}$ 。
- (6) 焊后后热温度 300°C , 保温时间 12 小时。

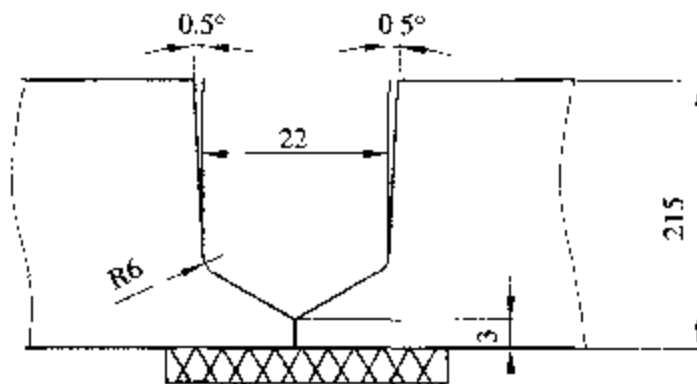


图 5-10 窄间隙坡口型式示意图

(7) 焊后消应力退火保温温度 550℃,保温时间 2 小时,炉内缓冷,350℃以下出炉空冷。

(8) 打底焊、盖面焊均采用单丝焊,填充焊采用双丝焊。

(9) 焊接规范参数见表 5-56。

表 5-56 焊接规范参数

焊丝形状	焊接电流(A)	焊接电压(V)	焊接速度(m/h)
弯丝(前丝)	320 ~ 370	35	22
直丝(后丝)	400 ~ 460	40	22

(10) 焊后进行焊缝超声波探伤,质量达到 I 级。

采用这一工艺成功焊接了多个直径 $\Phi 1435\text{mm}$ 、壁厚 215mm、重量 25 吨的大型水压机工作缸,全部合格。

九、13MnNiMoNbR 压力容器用钢的焊接工艺试验

随着压力容器生产的大型化,压力容器用钢趋于高性能。13MnNiMoNbR 钢是新型低合金结构钢,在压力容器制造中具有良好的应用前景。

1. 13MnNiMoNbR 钢的基本性能

13MnNiMoNbR 是国内研制的新型压力容器用钢。GB 150—1998《钢制压力容器》中规定其许用应力见表 5-57。13MnNiMoNbR 属于热处理强化钢,供货状态通常为正火 + 回火,正火温度约 980℃,高温回火温度 680℃。13MnNiMoNbR 钢化学成分见表 5-58,力学性能见表 5-59。

表 5-57 13MnNiMoNbR 钢许用应力

供货状态	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	在 240℃时许用应力(MPa)
正火 + 回火	≥570	≥390	190

表 5-58 13MnNiMoNbR 钢化学成分 (质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	Nb
保证值	0.12 ~0.16	1.20 ~1.60	0.20 ~0.50	≤ 0.020	≤ 0.020	0.20 ~0.40	0.80 ~1.00	0.30 ~0.40	0.01 ~0.03
测试值	0.13	1.28	0.36	0.005	0.014	0.36	0.88	0.34	0.019

表 5-59 13MnNiMoNbR 钢力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	0℃时 A_{KV} (J)	冷弯试验
保证值	570 ~ 735	≤390	≥18	≥31	d=3S α=180°
测试值	645	450	22	155; 158; 144	合格

2. 13MnNiMoNbR 钢的焊接材料的选择

13MnNiMoNbR 钢主要用于厚壁压力容器的制造。在生产某大型加压气化炉时,其炉体的筒体和封头均采用厚板 13MnNiMoNbR 钢。由于其封头尺寸大而且钢板厚,因此封头不仅要对接而且还要热压,这种工艺不同于厚壁筒体焊后消应力退火工艺,其焊接材料的选择与其制造工艺密切相关。

13MnNiMoNbR 钢大型封头中,既有经正火 + 回火的热处理强化的母材,又有铸态结晶的对接焊缝。在高温热压封头时,封头温度已远高于 13MnNiMoNbR 钢高温回火温度,母材力学性能已发生明显变化;要恢复钢材供货状态的力学性能,应重新进行高温回火,但此时经过高温热压、高温回火的铸态结晶对接焊缝力学性

能与其处于焊态、焊后消应力状态有很大差别,其强度大多明显降低,已无法达到焊态强度级别。所以 13MnNiMoNbR 钢对接热压封头的焊接材料选择,应不同于筒体等焊后消应力处理等零件的焊接材料选择。

常用焊接 13MnNiMoNbR 钢的五种焊接材料见表 5-60, 五种焊接材料的化学成分试验结果见表 5-61 (其中 E7015 $\Phi 5\text{mm}$ 为熔敷金属化学成分), 五种焊接材料组合的熔敷金属拉伸性能试验结果见表 5-62。

表 5-60 常用焊接 13MnNiMoNbR 钢焊接材料

牌号及规格	焊接材料类型	焊接方法及配用的焊接材料
H08Mn2SiA $\Phi 1.2\text{mm}$	实芯焊丝	富氩气体保护焊, 80 %Ar + 20 % CO ₂
HS70 $\Phi 1.2\text{mm}$	实芯焊丝	富氩气体保护焊, 80 %Ar + 20 % CO ₂
E7015 $\Phi 1.2\text{mm}$	焊条	焊条电弧焊
H08Mn2MoA $\Phi 4\text{mm}$	焊丝	埋弧自动焊, SJ101
H10Mn2NiMoA $\Phi 4\text{mm}$	焊丝	埋弧自动焊, SJ101

表 5-61 五种焊接材料的化学成分试验结果(质量分数) (%)

牌号及规格	C	Si	Mn	S	P	Ni	Mo	Ti	Nb
H08Mn2SiA $\Phi 1.2\text{mm}$	0.09	0.73	1.90	0.023	0.011	0.30	0.39	—	—
HS70 $\Phi 1.2\text{mm}$	0.06	0.49	1.56	0.012	0.017	0.56	0.33	0.13	—
E7015 $\Phi 1.2\text{mm}$	0.09	0.37	1.70	0.010	0.016	—	0.37	—	—
H08Mn2MoA $\Phi 4\text{mm}$	0.04	0.36	1.71	0.027	0.025	0.14	0.10	0.02	—
H10Mn2NiMoA $\Phi 4\text{mm}$	0.10	0.31	2.01	0.014	0.016	0.93	0.53	—	0.01

表 5-62 五种焊接材料组合的熔敷金属拉伸性能试验结果

焊接材料组合	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	备注
H08Mn2SiA Φ 1.2mm + 80 % Ar + 20 % CO ₂	617	512	焊态
	510	345	正火 + 回火
HS70 Φ 1.2mm + 80 % Ar + 20 % CO ₂	635	560	焊态
	503	375	正火 + 回火
E7015 Φ 5mm	818	640	焊态
	652	514	正火 + 回火
H08Mn2MoA Φ 3mm + SJ101	650	—	焊态
	531	343	正火 + 回火
H10Mn2NiMoA Φ 4mm + SJ101	≥ 680	≥ 560	正火 + 回火

在**高强钢**焊接时，通常实芯焊丝选用保护气体为富氩混合气体，这种保护气体的氧化性弱，容易保证焊丝中合金元素向焊缝中过渡，有利于提高焊缝金属力学性能。同样埋弧焊也大多选用碱性焊剂，以利于提高焊接接头的抗裂性能和焊缝金属的力学性能。

从表 5-62 中数据可以说明该强度级别的焊接熔敷金属，其正火 + 回火状态的抗拉强度比焊态抗拉强度下降 100 ~ 150MPa。可见，焊接材料的选择必须考虑其焊后热处理工序和使用状态。13MnNiMoNbR 钢典型零件的焊接材料选择见表 5-63。

表 5-63 13MnNiMoNbR 钢典型零件的焊接材料

典型零件	热处理工序	焊接材料
封头	正火 + 回火 + 退火	E7015 Φ 5mm; H10Mn2NiMoA Φ 4 mm + SJ101
筒体	退火	H08Mn2SiA Φ 1.2 mm + (80%Ar + 20% CO ₂); H08Mn2MoA Φ 3mm + SJ101

3. 13MnNiMoNbR 钢焊接工艺要点

13MnNiMoNbR 钢焊接坡口示意图见图 5-11, 焊接顺序为先焊大坡口一侧, 打底并填充、盖面焊, 再完成其余焊道。

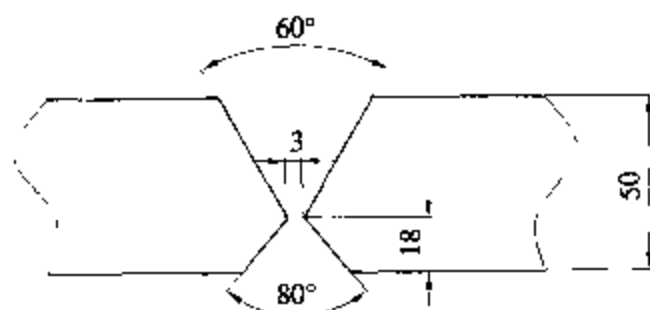


图 5-11 13MnNiMoNbR 钢焊接坡口示意图

13MnNiMoNbR 钢焊接工艺要点:

- (1) 焊前预热温度 $T \geq 150^{\circ}\text{C}$ 。
- (2) 焊条 E7015 和烧结焊剂 SJ101 焊前烘干, 保温温度 350°C , 保温时间 2 小时。
- (3) 焊接规范参数见表 5-64。
- (4) 焊接层间温度 $150 \sim 250^{\circ}\text{C}$ 。
- (5) 后热处理的保温温度 300°C , 保温时间 3 小时。
- (6) 焊后热处理
 - 1) 封头正火处理的保温温度 970°C , 高温回火处理的保温温度 630°C , 消应力退火处理的保温温度 580°C , 保温时间 8 小时。
 - 2) 筒体消应力退火处理的保温温度 580°C , 保温时间 8 小时。
- (7) X 射线探伤执行 JB 4730—1994, 要求 II 级合格。

表 5-64 焊接规范参数

焊接方法	焊接接头 (A)	焊接电压 (V)	焊接速度 (cm/min)
焊条电弧焊	180 ~ 225	22 ~ 24	—
气体保护焊	140 ~ 270	21 ~ 30	13 ~ 16
埋弧自动焊	500 ~ 650	34 ~ 36	40 ~ 42

4. 13MnNiMoNbR 钢焊接接头质量检测

依据 13MnNiMoNbR 钢焊接工艺要点,完成了大型加压气化炉近百米的厚板(60 ~ 75mm)对接焊缝,经无损探伤检查全部合格;进行加压气化炉水压试验合格,没有发现泄露现象。产品焊接试板力学性能检测结果见表 5-65,测试的各项力学性能符合设计要求,产品焊接质量合格。

表 5-65 产品焊接试板力学性能检测结果

试板类型	取样位置	拉伸试验			常温冲击试验 A_{KV} (J)		弯曲试验 d=3S $\alpha=180^\circ$
		R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	断裂位置	焊缝	热影响区	
封头试板	表层	703	568	母材	57; 46; 30	72; 66; 57	四件合格
	底层	697	551	母材	43; 42; 25	77; 48; 28	
	底层	687	508	母材	96; 81; 75	66; 62; 55	

十、12Cr2Mo1 珠光体耐热钢超高压阀体的焊接工艺分析及生产

1. 超高压阀体的技术要求

随着我国能源、冶金、化工工业的发展,高温、高压产品的应用日趋广泛。某型阀体在工作状态要承受 200MPa 过热蒸汽压力的作用,属于超高压压力容器。阀体结构设计时采用锻-焊结构形式,并选用 12Cr2Mo1 珠光体耐热钢,阀体结构示意图见图 5-12。其主要技术要求有:

(1) 焊接接头的抗拉强度大于 500MPa。

(2) X 射线探伤执行 JB 4730—1994《压力容器无损检测》标准,要求焊缝达到 II 级。

(3) 焊缝错边量小于 1mm。

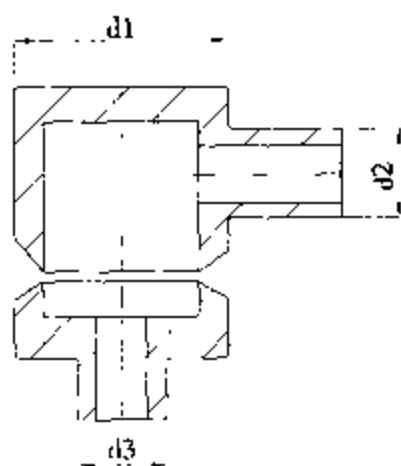


图 5-12 阀体结构示意图

2. 12Cr2Mo1 钢焊接性分析

12Cr2Mo1 钢为低合金珠光体耐热钢, 经过锻造加工、调质处理。12Cr2Mo1 钢中当铬元素含量达到 2.8% 时, 铬与碳形成稳定的碳化物, 不再与氢作用, 所以有抗氢蚀能力; 加入钼进一步提高抗氢蚀能力, 并会改善钢的高温性能。一般用于工作温度 450℃ 以下的大型加氢装置。根据 JB 4726—1994《压力容器用碳素钢和低合金锻件》, 12Cr2Mo1 钢化学成分见表 5-66, 12Cr2Mo1 钢的力学性能见表 5-67。

表 5-66 12Cr2Mo1 钢化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P	Cr	Mo
保证值	≤0.15	0.30 ~ 0.60	≤0.50	≤0.035	≤0.035	2.00 ~ 2.50	0.90 ~ 1.10

表 5-67 12Cr2Mo1 钢的力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	HBS	热处理状态
保证值	510 ~ 680	≥310	≥18	136 ~ 201	淬火 930℃ + 回火 680℃

根据日本焊接学会碳当量计算公式(下式):

$$C_{eq} = C + Mn/6 + Si/24 + Ni/40 + Cr/5 + Mo/4 + V/14 (\%)$$

12Cr2Mo1 钢的碳当量 $C_{eq} = 1.046\%$, 12Cr2Mo1 钢的焊接性差, 焊接时如果冷却速度较大, 则易形成淬硬组织, 易出现冷裂纹。因此采取防止冷裂纹的技术措施, 进行焊前预热和焊后缓冷, 选定 12Cr2Mo1 钢焊前需预热 250℃。

3. 12Cr2Mo1 钢焊接方法及焊接材料的选择

针对阀体的结构特点和 12Cr2Mo1 钢的焊接性能, 选择熔化极气体保护焊、氩弧焊焊接方法。熔化极气体保护焊采用混合气体保护焊接时, 既具有电弧稳定、飞溅小等优点, 很容易获得轴向喷射过渡等, 又具有一定氧化性, 克服了用单一氩气焊接时产生的阴极飘移现象, 保护效果良好, 同时提高了熔深和工作效率。氩弧焊主要用于探伤产品的打底焊, 具有溶深浅的特点。采用氩弧焊打底, 不仅背面成形良好, 而且焊缝质量可靠, 但生产效率低。在阀体的焊接中我们选择了氩弧焊进行打底焊, 熔化极气体保护焊进行填充焊、盖面焊的工艺。

为保证焊接接头的常温与高温的力学性能, 焊缝金属的主要化学成分应与母材接近, 否则在长期高温运行条件下, 焊接接头合金元素会发生扩散, 特别是在熔合区的碳发生迁移, 使接头的持久强度和塑性降低, 影响结构长期可靠地工作。所以选择氩弧焊焊接材料为 SGMo $\Phi 2.5\text{mm}$, 熔化极气体保护焊焊丝为 H08CrMnSiMoA $\Phi 1.2\text{mm}$, 保护气体为 80%Ar + 20%CO₂。H08CrMnSiMoA 焊丝的化学成分见表 5-68。

表 5-68 H08CrMnSiMoA 焊丝的化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Mo	S	P
保证值	≤0.15	0.60~1.50	0.30~0.90	1.00~1.60	0.40~0.65	≤0.025	≤0.025
测试值	0.088	1.28	0.54	1.29	0.48	0.020	0.016

4. 12Cr2Mo1 钢阀体的焊接工艺

(1) 采用切削加工方法制备阀体的焊接坡口,坡口类型为 V 型坡口,坡口角度 60° ,钝边 $0.5 \sim 1\text{mm}$ 。

(2) 焊前阀体整体预热,预热温度 $T \geq 250^\circ\text{C}$,保温 1 小时。焊后保温缓冷。

(3) 采用氩弧焊进行打底焊,熔化极气体保护焊(MAG)进行填充焊、盖面焊。

(4) 氩弧焊焊丝为 SGMo $\Phi 2.5\text{mm}$,熔化极气体保护焊焊丝为 H08CrMnSiMoA $\Phi 1.2\text{mm}$,保护气体为 $80\%\text{Ar} + 20\%\text{CO}_2$ 。

(5) 焊接规范参数

1) 氩弧焊: $I = 80 \sim 100\text{A}$,氩气流量 $12 \sim 15 \text{ l/min}$ 。

2) 熔化极气体保护焊: $I = 150 \sim 200\text{A}$, $U = 18 \sim 22\text{V}$ 。

(6) 焊接装配时,坡口间隙为 3mm ,用氩弧焊进行定位焊。

(7) 焊接施工由持证焊工进行操作。

(8) 冷却后去除工件上焊接飞溅及杂物等。

(9) 焊后进行外观检查和 X 射线探伤。X 射线探伤执行 JB 4730—1994《压力容器无损检测》,合格级别为 II 级。

5. 12Cr2Mo1 钢阀体焊接接头质量检测及生产

采用 12Cr2Mo1 钢阀体焊接工艺进行焊接试验,试板经 X 射线探伤焊缝达到 I 级。进行焊缝断面检查,坡口根部完全焊透,实现单面焊双面成形。执行 JB 4708—2000《钢制压力容器焊接工艺评定》,检测 12Cr2Mo1 钢的焊接接头力学性能见表 5-69。

表 5-69 12Cr2Mo1 钢焊接接头力学性能

试验项目	拉伸试验			常温冲击试验 A_{KV} (J)	
	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	断裂位置	焊缝	热影响区
测试值	769;771	486;486	焊缝	31;27.3;32.3	64.5;34.8;47.3

检测结果说明：焊接接头拉伸试样虽然断裂于焊缝，但焊接接头具有较高的强度，焊缝断裂时抗拉强度为 770MPa，明显高于 12Cr2Mo1 钢母材强度；焊接热影响区的冲击性能高于焊缝。采用这一焊接工艺焊接 27 件阀体，大多数阀体焊后探伤一次合格，也有几件因气孔超标未达到 II 级要求，返修焊后全部合格，完成了阀体的焊接项目。可见 12Cr2Mo1 钢焊接性分析、焊接方法及焊接材料的选择是正确的，12Cr2Mo1 钢阀体焊接工艺是可行的。

十一、20MnMoNb 钢大厚度高压容器的焊接工艺试验

1. 高压容器的技术条件

某型压机的高压蓄势水罐属于三类高压容器，其主要技术参数：设计压力为 34MPa，工作压力 31.5MPa，工作温度 0 ~ 80℃，工作介质是清水、乳化液、空气。其结构示意图见图 5-13。由于工件质量要求高，选用了强度、韧性较好的 20MnMoNb 钢锻件作为高压容器的主要材料，容器壁厚达 85mm，根据锻压设备能力，采用锻-焊结构设计方案，生产制造存在着很大难度，因此必须制定合理的焊接工艺。

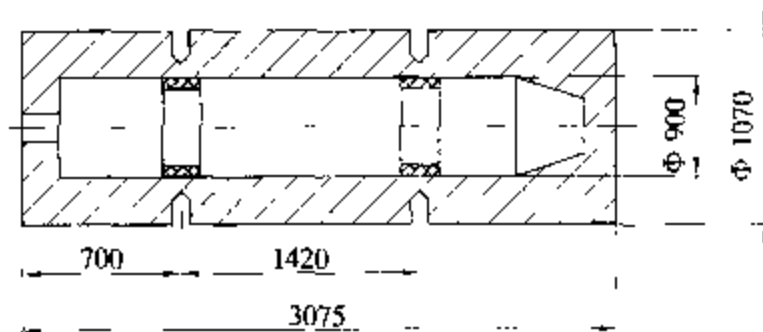


图 5-13 高压蓄势水罐结构示意图

2. 焊接方法的选择

由于高压蓄势水罐属于高压容器,对焊接质量有很高的要求,同时工件厚度达 85mm,焊接工作量大,因此必须选择一种高效率、高质量的焊接方法作为主要手段进行焊接。

考虑双丝窄间隙埋弧焊在厚板焊接中的许多优点,采用双丝窄间隙埋弧焊为主要手段,手工焊配合是焊接高压蓄势水罐的理想方法。

3. 焊接材料的选择及其相关因素试验

焊接材料的选择直接影响焊接质量,高压蓄势水罐焊接材料的选择主要与 20MnMoNb 母材性能要求、材料焊接性有较大关系。

(1) 钢材的力学性能要求

20MnMoNb 是一种低合金高强度钢,属于细晶粒热处理强化钢,供货状态为调质处理,即在 870℃水淬后,640℃进行高温回火。调质后 HBS163 ~ HBS241。20MnMoNb 母材化学成分见表 5-70,20MnMoNb 母材力学性能见表 5-71。

表 5-70 20MnMoNb 母材化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P	Mo	Nb
保证值	0.17 ~ 0.23	1.30 ~ 1.60	0.17 ~ 0.37	≤ 0.035	≤ 0.035	0.40 ~ 0.65	0.025 ~ 0.050
测试值	0.21	1.39	0.29	0.019	0.028	0.48	0.027

表 5-71 20MnMoNb 母材力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	A_{KU} (J)
保证值	≥620	≥470	≥16	≥55
测试值	677	559	24	61

(2) 20MnMoNb 钢焊接性试验

根据日本工业标准碳当量计算,20MnMoNb 的碳当量为 0.573%,说明 20MnMoNb 具有较大的淬硬倾向和一定的冷裂倾向。焊接性试验选用斜 Y 型坡口焊接裂纹试验方法,试验用焊条为 E7015 Φ 4mm,焊前烘干 350℃,保温时间 2 小时,焊接电源直流反接。试板尺寸:200mm \times 150mm \times 30mm,20MnMoNb 焊接性试验结果见表 5-72。当预热温度 \leq 110℃,裂纹率 100%,全部为根部裂纹,而且沿着热影响区进行扩展,属于冷裂纹。而预热温度 \geq 150℃时试样无裂纹。因此要求 20MnMoNb 焊前必须进行预热,而且预热温度 \geq 150℃。

表 5-72 20MnMoNb 焊接性试验结果

试板预热温度(℃)	30	70	110	150	200	250
表面裂纹率(%)	100	100	100	0	0	0
断面裂纹率(%)	100	100	100	0	0	0

(3) 焊接材料的选择

针对 20MnMoNb 抗冷裂纹的要求,必须减少焊缝及热影响区含氢量,焊接高压蓄势水罐应选择低氢型焊接材料。根据 20MnMoNb 母材强度要求,焊条电弧焊选用 E7015 Φ 4mm 焊条,双丝窄间隙埋弧焊选用焊焊丝 H08Mn2MoA Φ 3mm 和烧结焊剂 SJ101。

4. 高压容器专用焊接工艺及焊接试验

根据高压容器的性能要求,通过焊接材料的选择,采用预热、后热、焊后热处理等措施保证焊接质量。主要工序如下:

(1) 预热方法采用远红外加热器进行加热,预热温度 $T \geq$ 150℃。

(2) 焊接过程分为两部分,即窄间隙埋弧焊部分和焊条电弧

焊部分。焊缝坡口形式见图 5-14,坡口底部加铜垫板。在深坡口内用窄间隙埋弧焊焊接,即单焊丝打底焊,从第二层起一层两道进行焊接,盖面层用单丝并排焊三道,然后反面去除拘束“π”形铁和铜垫板,用角向磨光机修磨光滑,进行焊条电弧焊。

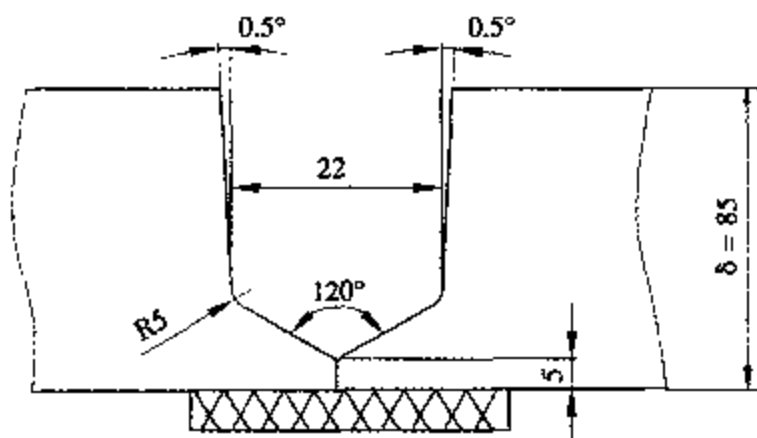


图 5-14 坡口型式示意图

(3) 焊后立即进行后热处理,后热温度 $250 \sim 300^{\circ}\text{C}$,保温时间 10 小时。

(4) 消除应力热处理的保温温度 $620 \sim 630^{\circ}\text{C}$,保温时间 4 小时,随炉冷到 200°C 出炉。

为了掌握产品质量,进行模拟试验件的焊接接头试验,坡口型式见图 5-14,焊接规范参数见表 5-73。将焊接试板解剖并进行焊接接头力学性能试验。焊接接头拉伸试验中,在厚度上制取四层试样其结果见表 5-74。焊接接头 V 型缺口冲击试验结果见表 5-75,试验在常温下进行,并分五层取样,可见焊缝金属冲击功高于同层母材,而熔合线、热影响区冲击功接近于同层母材,但均符合原设计要求。对焊接接头的面弯、背弯、侧弯等冷弯试验,当试验条件 $d=3S$ 、 $\alpha=100^{\circ}$ 时,每个项目均试验两件,结果全部合格。

表 5-73 焊接规范参数

焊层类型	焊接方法	焊接材料	弯丝(直流)		直丝(交流)		焊接速度(m/h)
			电流(A)	电压(V)	电流(A)	电压(V)	
打底层	单丝焊	H08Mn2MoA Φ3mm + SJ101	550	35	—	—	25
填充层	双丝焊		500	35	300	42	34
盖面层	单丝焊		550	35	—	—	25
反面封底	焊条电弧焊	E7015 Φ4mm	170	22	—	—	9

表 5-74 焊接接头拉伸试验结果

取样位置	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	断裂特征
表层	660; 659	567; 533	18.5; 19.5	断于焊缝
第二层	670; 659	520; 519	18.0; 20.0	断于母材、焊缝
第三层	657; 663	513; 520	20.0; 19.0	断于母材、焊缝
第四层	683; 687	554; 557	17.0; 18.0	断于母材

表 5-75 焊接接头 V 型缺口冲击试验结果 (J)

取样位置	焊缝	熔合线	热影响区	母材
上表层	93	58	72	62
第二层	115	70	73	55
第三层	128	85	58	53
第四层	122	48	58	57
第四层	78	68	64	61

5. 高压容器的焊接质量检验

在质量检验过程中,对焊接接头进行 100% 超声波无损探伤,全部达到 I 级焊缝;并对焊缝进行 20% 射线复探,焊缝质量达到 II 级;在 42.5MPa 压力下,进行产品水压试验,未发现任何泄漏现象。

十二、大厚度珠光体耐热钢(15CrMoR 钢)焊接工艺分析及应用

1. 常用的低合金耐热钢概况

随着压力容器制造材料的不断更新,国内、外先后开发出许多低合金耐热钢,主要采用钼、铬钼、钼钒、铬钼钒、锰钼钒、锰镍钼等合金组合。通常低合金耐热钢具有以下特点:足够的蠕变强度、持久强度和持久塑性,良好的高温组织稳定性,良好的高温抗氧化性(耐热性),良好的加工工艺性。

常用的低合金耐热钢主要是低合金珠光体耐热钢,其主要特点是以铬钼为主,并加入其他合金元素;如 15CrMoR 钢,通常以退火状态或正火 + 回火状态供货。

2. 15CrMoR 钢的基本性能

根据 GB 6654—1996 《压力容器用钢板》,15CrMoR 钢化学成分见表 5-76,力学性能见表 5-77,其金相组织为铁素体 + 珠光体 + 少量贝氏体,晶粒度 5 ~ 8 级。

15CrMoR 钢高温持久强度见表 5-78,其蠕变极限见表 5-79。15CrMoR 在 500 ~ 550℃ 之间有较高的持久强度。当温度超过 550℃ 时,抗氧化性能变差,蠕变强度显著降低;长期处于 500 ~ 550℃ 之间,碳化物出现球化及合金元素向碳化物转移,导致 15CrMoR 钢的热强性下降,钢的强度降低。

表 5-76 15CrMoR 钢化学成分 (质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Mo	Cr	S	P
保证值	0.12 ~ 0.18	0.40 ~ 0.70	0.15 ~ 0.40	0.45 ~ 0.60	0.80 ~ 1.20	≤ 0.030	≤ 0.030
测试值	0.14	0.58	0.31	0.49	0.95	0.004	0.012

表 5-77 15CrMoR 钢力学性能 :

试验项目	交货状态	钢板厚度 (mm)	拉伸试验			冲击试验 20℃时 A _{KV} (J)	冷弯试验 d=3S α=180°
			R _m (MPa)	R _{eL} (MPa)	A (%)		
保证值	正火 + 回火	6~60	450	≥295	≥19	≥31	合格
		≥60~160	~590	≥275	≥18		
		34	495	345	31	210	—

表 5-78 15CrMoR 钢高温持久强度 (MPa)

温度 (℃)	480	530	550	600
10 ⁴ (h)	349	163	120	49
10 ⁵ (h)	329	119	81	29

表 5-79 15CrMoR 钢蠕变极限

温度 (℃)	应力 (MPa)							蠕变极限 (MPa)	
	353	275	177	157	137	118	108	σ ₁ × 10 ⁻⁴	σ ₁ × 10 ⁻⁵
	蠕变速度 (10 ⁻⁵ %/h)								
480	2900	32	—	—	—	—	—	—	—
530	—	—	180	97.6	60	17.6	12	105	70
550	—	—	—	—	330	11.7	—	—	—

3. 15CrMoR 钢焊接性能研究

(1) 15CrMoR 钢焊接性分析

15CrMoR 钢焊接时主要有热影响区淬硬性、消除应力处理裂纹倾向、回火脆性等问题。由于铬钼耐热钢焊后冷却状态对组织有较大影响,因此要采取有效预热、控制焊接线能量等工艺措施,防止因冷却过快形成马氏体组织。铬钼钢焊后消应力处理时,在焊接热影响区粗晶区易形成消应力处理裂纹,所以要降低焊接线能量,选择合理的热处理温度,避免在敏感温度区间停留较长时间。铬钼钢焊接接头在 350 ~ 500℃之间长期使用中发生的脆变现象称为回火脆性,防止回火脆性主要措施是降低母材及焊缝中氧、磷、硫等元素的含量。

(2) 15CrMoR 钢焊接方法和焊接材料选择

目前用于 15CrMoR 钢的焊接方法主要有焊条电弧焊、熔化极气体保护焊、钨极氩弧焊和埋弧自动焊。而其中焊条电弧焊限于工厂装配和现场焊接;熔化极气体保护焊包括实芯焊丝和药芯焊丝,多用于打底焊、填充焊;氩弧焊主要用于要求无损探伤焊接结构的打底焊,其特点是成形好,但生产效率低;埋弧焊生产效率高、质量好,随着烧结焊剂的发展,应用前景较好。

(3) 15CrMoR 钢焊接工艺中的主要温度参数

15CrMoR 钢焊接预热温度 $T \geq 200^\circ\text{C}$, 层间温度控制在 200 ~ 250℃之间,后热温度在 250 ~ 300℃之间,焊后消应力处理的保温温度在 600 ~ 630℃之间。

4. 15CrMoR 钢焊接接头试验

(1) 15CrMoR 钢封头对接焊缝试验

大厚度 15CrMoR 钢封头对接焊缝试板,采用 15CrMoR $\delta=75\text{mm}$ 钢板,焊接方法为熔化极气体保护焊,焊接设备为 S-500 气体保护焊机,焊接材料有焊丝 H08CrMnSiMoA $\Phi 1.2\text{mm}$ 、保护气体 80%Ar + 20% CO₂。焊前预热温度 220℃,焊后后热处理

250℃ × 3 小时。其焊接规范参数见表 5-80。焊后热处理包括正火 + 回火 + 退火热处理,热处理曲线见图 5-15。

表 5-80 焊接规范参数

焊道	焊接电流(A)	焊接电压(V)	焊接速度 (cm/min)	线能量 (kJ/cm)
1	110 ~ 130	18 ~ 20	13.0	9.1
2 ~ 28	230 ~ 250	26 ~ 28	18.4	19.5
29 ~ 48	260 ~ 280	28 ~ 30	23.6	18.5

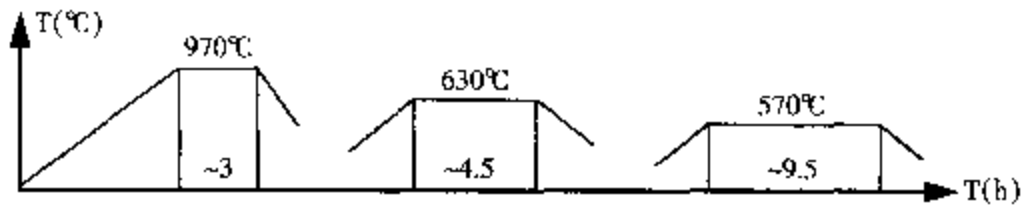


图 5-15 焊后热处理曲线

焊接试板经 X 光射线探伤,焊缝质量达到 JB 4730—1994 的 II 级。力学性能试验结果见表 5-81。根据 JB 4708—2000《钢制压力容器焊接工艺评定》,封头对接焊缝试验合格。

表 5-81 封头焊接接头力学性能试验结果

温度 (°C)	拉伸试验			20℃时冲击试验 A_{KV} (J)		冷弯试验 d=2S $\alpha=180^\circ$
	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	位置	焊缝	热影响区	
室温	497;485	304;283	断于 焊缝	108;110; 116	152;128; 200	四件侧弯 合格
500	346;403;404	184;227;244	—	111	160	

(2) 15CrMoR 钢筒体对接焊缝试验

筒体对接焊缝试板采用 15CrMoR $\delta=60\text{mm}$ 钢板,焊接方法是打底焊为气体保护焊,盖面焊为埋弧自动焊,焊接设备采用 S-500

气体保护焊焊机、MZ1-1-1000 埋弧焊焊机,焊接材料有气体保护焊焊丝 H08CrMnSiMoA Φ 1.2mm、保护气体 80%Ar + 20%CO₂,埋弧自动焊焊丝 H08CrMoA Φ 4.0mm、焊剂 SJ101,SJ101 焊前烘干 250℃ × 3 小时。其焊接规范参数见表 5-82, 焊后热处理 570℃ × 12 小时。试板经 X 光射线探伤,焊缝质量达到 JB 4730—1994 的 II 级,焊接接头力学性能试验结果见表 5-83。根据 JB 4708—2000 《钢制压力容器焊接工艺评定》,筒体对接焊缝试验合格。

表 5-82 焊接规范参数

焊道	焊接电流(A)	焊接电压(V)	焊接速度(cm/min)	线能量(kJ/cm)
1	110 ~ 130	18 ~ 20	14	8.5
2 ~ 25	210 ~ 260	24 ~ 28	31.6	12.3
16 ~ 35	550 ~ 580	34 ~ 36	41.7	30

表 5-83 筒体焊接接头力学性能试验结果

温度(℃)	取样位置	拉伸试验			冲击试验 20℃时 A _{KV} (J)		冷弯试验 d=2S $\alpha=180^\circ$
		R _m (MPa)	R _{eL} (MPa)	位置	焊缝	热影响区	
室温	表层	537;534	337;342	断于母材	71;72;83	44;55;57	四件侧弯合格
	中层	541;532	339;322	断于母材	49;51;53	125;130;215	
500	—	429;420;383	279;264;282	—	—	—	—

5. 15CrMoR 钢焊接工艺要点

(1) 焊前准备

用火焰切割 15CrMoR 钢厚板时,应将切割点 100mm 范围内预热,预热温度 $T \geq 100^\circ\text{C}$ 。不进行切削加工的钢板气割边缘,要求

进行磁粉探伤,检查表面有无裂纹。采用碳弧气刨清根时,应预热温度 $T \geq 200^{\circ}\text{C}$,使用角向磨光机打磨金属表面。

(2) 焊接工艺措施

焊前预热温度 $T \geq 200^{\circ}\text{C}$,层间温度在 $200 \sim 250^{\circ}\text{C}$ 之间,焊后热处理在 $250 \sim 300^{\circ}\text{C}$ 之间。封头对接焊采用气体保护焊,焊丝 H08CrMnSiMoA $\Phi 1.2\text{mm}$,保护气体 $80\% \text{Ar} + 20\% \text{CO}_2$,双面焊时反面清根。筒体对接焊采用气体保护焊打底焊、填充焊,埋弧自动焊填充焊、盖面焊,双面焊时反面清根。气体保护焊焊接材料有焊丝 H08CrMnSiMoA $\Phi 1.2\text{mm}$,保护气体 $80\% \text{Ar} + 20\% \text{CO}_2$,埋弧自动焊焊接材料为焊丝 H08CrMnA $\Phi 4.0\text{mm}$ 、焊剂 SJ101, SJ101 焊前烘干 $350^{\circ}\text{C} \times 2$ 小时。封头热成形后应重新进行正火 + 回火处理;筒体及插管焊接后,应进行消应力热处理,保温温度在 $600 \sim 630^{\circ}\text{C}$ 之间,保温时间 $9 \sim 12$ 小时。

(3) 焊后检查

焊缝外观检查,不得有裂纹、未熔合等焊接缺陷,焊后进行 100% 超声波检查并做 25% 的射线复探,产品进行水压试验,不得有泄漏现象,产品机械性能试板各项参数,均应符合 15CrMoR 钢母材设计或图纸技术要求。

采用富氩混合气体保护焊和埋弧自动焊,解决了大厚度珠光体耐热钢对接焊焊后调质或焊后正火处理时,焊接材料的选择等工艺难题,完成了大型高压容器的生产制造。

十三、不锈钢埋弧焊烧结焊剂的特点及试验

1. 不锈钢产品的一般技术要求

由于奥氏体不锈钢具有优良的耐蚀性、抗氧化性、耐热性、耐寒性及优良的力学性能和加工性能,因此常用于制造化工容器、反应装置等设备。某型化工用稀硝酸吸收塔为 I 类压力容器,介质为

硝酸,工作温度 20 ~ 90℃之间,工作压力为 0.1MPa,要求具有良好的抗晶间腐蚀性能。不锈钢稀硝酸吸收塔主体材料采用典型的奥氏体不锈钢 1Cr18Ni9Ti 钢板,1Cr18Ni9Ti 钢中含有约 18%铬、8%镍及微量的钛。1Cr18Ni9Ti 钢板具有耐大气腐蚀及各种酸介质腐蚀的能力,具有较高的热强性,在 900℃的氧化性介质或在 700℃的还原性介质中,都能保持化学稳定性。

2. 奥氏体不锈钢的焊接特点和焊接材料

奥氏体不锈钢具有良好的焊接性,常用的焊接方法有焊条电弧焊、钨极氩弧焊、气体保护焊、埋弧焊等。目前世界发达国家制造大型不锈钢结构大多采用药芯焊丝气体保护焊和烧结焊剂埋弧焊,反映了焊接技术、焊接材料的发展方向,其中烧结焊剂埋弧焊具有焊接生产率高、热效率高、焊接速度快、焊缝质量好、焊缝成形美观、劳动条件好等优点。我国从 20 世纪 50 年代开始大多采用锰硅熔炼焊剂,因此主要采用中性的低锰高硅中氟熔炼焊剂 HJ260 进行不锈钢的焊接。由于不锈钢中铬、镍、钛元素在焊接中的烧损,会严重影响不锈钢焊缝的耐蚀性、抗裂性、焊接工艺性能,也因焊缝金属的非奥氏体化、焊缝表面扒渣等问题,影响了不锈钢埋弧焊技术的应用。

不锈钢埋弧焊焊剂 SJ601 是国产新型烧结焊剂,采用 CaO-MgO-CaF₂-SiO₂ 渣系,碱度 1.8,粒度 2.0 ~ 0.28mm(10 ~ 60 目),采用直流电源焊接,焊丝接正极。

3. 不锈钢埋弧焊烧结焊剂 SJ601 的技术特点

(1) SJ601 焊剂采用烧结方法制造

SJ601 焊剂制造流程中,先将各种原料破碎,并磨成细粉,过筛选用,按一定比例配料,机械混合,并加入液体粘结剂搅拌均匀,成粒球化,在 100 ~ 200℃预热干燥后,再在 700 ~ 900℃之间进行 2 ~ 4 小时烘焙,冷却装箱。从制造工艺上保证了焊剂成分中高合金元素,符合焊剂制造技术发展方向。

(2) SJ601 比 HJ260 配方更合理

SJ601 减少了 SiO_2 、 MgO 的含量,提高了 Al_2O_3 、 CaF_2 组分,改善了焊接工艺性能,提高了焊缝金属化学成分的稳定性。

(3) SJ601 具有更高的碱度

SJ601 的碱度 $B = 1.8$,属于碱性烧结焊剂,而 HJ260 的碱度 $B \approx 1$,属于中性熔炼焊剂,增加焊剂的碱度有利于防止合金元素的氧化烧损和焊缝金属的抗裂性能。

(4) SJ601 具有更好的焊接工艺性能

使用焊剂 SJ601 焊接时,引弧容易,电弧燃烧稳定,焊缝的脱渣性好,焊缝成形美观,特别是在深坡口内可以实现自动脱渣,对于有探伤要求的压力容器更为适宜。而 HJ260 焊道表面有横向小尺寸扒渣,焊缝成形稍差,需打磨去除。

(5) SJ601 焊剂消耗量少于 HJ260

焊剂 SJ601 的堆积比重明显小于 HJ260,所以在完成同等的焊接工作量时,SJ601 焊剂使用量低于 HJ260,从而减少了焊剂的使用量和储存量。

4. 不锈钢埋弧焊烧结焊剂 SJ601 的试验和使用要点

(1) 在 1Cr18Ni9Ti 钢板上堆焊不锈钢的试验

在 1Cr18Ni9Ti 钢板上按照不同规范进行堆焊试验,1Cr18Ni9Ti 钢板执行 GB 4237—1992 《不锈钢热轧钢板》,1Cr18Ni9Ti 钢化学成分见表 5-84,力学性能见表 5-85。采用 H0Cr20Ni10Ti $\Phi 4\text{mm}$ 焊丝,焊剂 SJ601 焊前进行烘干,保温温度 350°C ,保温时间 2 小时,焊丝 H0Cr20Ni10Ti 化学成分见表 5-86。焊机采用直流反接,焊接试验时采用大、中、小规范,规范参数见表 5-87。当采用不同焊接规范参数时,焊接工艺性能均良好,焊缝表面光亮,未发现扒渣现象。

表 5-84 1Cr18Ni9Ti 钢化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Ti
保证值	≤ 0.120	≤ 2.00	≤ 1.00	≤ 0.030	≤ 0.035	17.0 ~19.0	8.0 ~11.0	5 × C ~0.80
测试值	0.035	0.97	0.80	0.005	0.025	17.4	9.3	0.28

表 5-85 1Cr18Ni9Ti 钢力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	HBS
保证值	≥520	≥205	≥40	≤187
测试值	580	—	52	—

表 5-86 H0Cr20Ni10Ti 焊丝化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Si	Mn	S	P	Ni	Cr	Ti
保证值	≤ 0.06	≤ 0.60	1.0 ~2.50	≤ 0.020	≤ 0.030	9.0 ~10.5	18.5 ~20.5	9 × C ~1.00
测试值	0.022	0.38	1.80	0.017	0.018	9.8	19.57	0.35

表 5-87 焊接规范参数

规范类型	焊接电流(A)	焊接电压(V)	焊接速度(m/h)
大规范	550 ~ 600	36	25
中规范	500 ~ 550	36	25
小规范	500	36	25

(2) 1Cr18Ni9Ti 钢板对接焊缝试验

采用 1Cr18Ni9Ti 钢板,加工成 I 型坡口,装配时不留间隙,双面焊接工艺。焊丝 H0Cr18Ni9Ti Φ 4mm; 焊剂 SJ601 焊前进行烘

干,保温温度 350℃,保温时间 2 小时。对接焊缝焊接规范参数见表 5-88, 焊缝外形尺寸检查结果见表 5-89。对接试板按 JB 4730—1994 进行 X 射线探伤达到 I 级。焊接接头拉伸试验结果,抗拉强度 582MPa,断于焊缝。冷弯试验中,试验条件 $d=3S$ $\alpha=180^\circ$,面弯、背弯试验合格。根据 GB 4334—1984 T 法进行不锈钢埋弧焊焊接接头晶间腐蚀试验,试验结果合格。

表 5-88 对接焊焊接规范参数

规范类型	焊接电流(A)	焊接电压(V)	焊接速度(m/h)
正面焊	530 ~ 570	36	25
反面焊	580 ~ 600	38	25

表 5-89 焊缝外形尺寸检查结果 (mm)

焊接位置	焊缝宽度(mm)	焊缝余高
正面	17	2
反面	19	3

(3) 不锈钢埋弧焊烧结焊剂 SJ601 的使用特点

- 1) 粒度为 2.0 ~ 0.28mm(10 ~ 60 目)。
- 2) 采用直流电源,焊丝接正极。
- 3) 配合 H0Cr20Ni10Ti、H00Cr21Ni10、H00Cr19Ni20Mo 等焊丝使用。
- 4) 焊剂使用前应进行烘干,保温温度 300~350℃,保温时间 2 小时。
- 5) 焊接部位必须清除油污、水分等杂物。

经测试,不锈钢埋弧焊烧结焊剂 SJ601 各项焊接工艺性能指标优于 HJ260,能够满足耐酸不锈钢焊接结构的技术要求。

十四、低合金高强度结构钢的焊接试验及焊接材料的选择

1. 低合金高强度结构钢的技术特征

自 20 世纪 80 年代以来, 抗拉强度为 800MPa 级低合金高强度结构钢在大型工矿机械设备的制造中开始应用。常见的 800MPa 级低合金高强度结构钢具有较高的强度和冲击性能, 较好的焊接性等技术特点。典型的低合金高强度结构钢有美国的 T-1 (ASTM A517H) 和 HT780、日本的 Wel-ten80C 和 NK-HITEN780、德国的 StE690 等, 供货状态均为调质处理, T-1 钢的组织为索氏体。我国也从“八·五”期间开始进行了低合金高强度结构钢的研制工作。几种低合金高强度结构钢的化学成分见表 5-90, 几种低合金高强度结构钢的力学性能见表 5-91。

表 5-90 几种低合金高强度结构钢的化学成分(质量分数) (%)

钢号	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo	Ceq (IIW)
T-1	0.12 ~0.21	0.20 ~0.35	0.95 ~1.30	≤ 0.040	≤ 0.035	0.40 ~0.65	0.30 ~0.70	0.20 ~0.30	—
	0.21	0.28	1.22	0.021	0.007	0.52	0.51	0.24	0.509
Wel-ten80C	≤ 0.16	0.15 ~0.30	0.60 ~1.20	≤ 0.030	≤ 0.030	0.60 ~1.20	—	0.30 ~0.60	—
	0.074	0.23	0.95	0.030	0.021	0.90	0.024	0.32	0.498
NK- HITEN780	≤ 0.18	≤ 0.35	≤ 1.00	≤ 0.020	≤ 0.020	≤ 0.80	≤ 1.00	≤ 0.60	0.530
StE690	≤ 0.20	0.50 ~0.90	0.70 ~1.10	≤ 0.030	≤ 0.030	0.60 ~1.00	—	0.20 ~0.60	—
	0.18	0.65	0.87	0.011	0.012	0.73	0.037	0.55	0.542

表 5-91 几种低合金高强度结构钢的力学性能

钢号	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	Z (%)	A_{KV} (J)			
					20℃	-20℃	-40℃	-60℃
T-1	800 ~ 950	≥ 700	≥ 17.0	50.0	—	≥ 36	—	—
	888	790	17.0	60.0	120	50	41	29
Wel-ten80C	800 ~ 950	≥ 700	≥ 16.0	—	—	≥ 36	—	—
	845	795	16.5	65.4	134	57	44	28
NK-HTEN780	780 ~ 930	≥ 685	≥ 16.0	—	—	≥ 35	—	—
StE690	790 ~ 940	≥ 690	≥ 16.0	—	—	≥ 35	—	—
	891	830	21.0	—	85	81	71	38

2. 低合金高强度结构钢的焊接材料的选择

低合金高强度结构钢的焊接材料选择，一般考虑焊接熔敷金属的强度、冲击性能及焊缝金属的抗裂性。焊接接头分为等强度匹配和低强度匹配，工作焊缝多为等强度匹配，联系焊缝多为低强度匹配。

目前焊接低合金高强度结构钢常用的焊接方法主要有焊条电弧焊和熔化极气体保护焊。为了提高焊缝金属的抗裂性，要求熔敷金属具有较低的氢含量，所以焊条均采用碱性渣系的药皮；为了减少合金元素的烧损，实芯焊丝气体保护焊保护气体采用 80% Ar + 20%CO₂ 混合气体，药芯焊丝气体保护焊保护气体采用 CO₂ 或 80%Ar + 20%CO₂ 混合气体。常用的焊接材料有：焊条 E8515-G (J857)、FOXEV85 $\Phi 3.2\text{mm}$ ；实芯焊丝 NiCrMo2.5-IG $\Phi 1.2\text{mm}$ 或 GHS-80B、GHQ80 $\Phi 1.6\text{mm}$ ；药芯焊丝 Fluxofil42 $\Phi 1.4\text{mm}$ 。几种焊条、药芯焊丝熔敷金属及实芯焊丝的化学成分见表 5-92，几种焊接材料熔敷金属力学性能见表 5-93。

表 5-92 几种焊条、药芯焊丝熔敷金属及
实芯焊丝的化学成分(质量分数)

(%)

焊接材料	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo
E8515-G(J857)	≤ 0.15	0.40 ~0.80	≤ 1.00	≤ 0.035	≤ 0.035	—	—	0.60 ~1.20
FOXEV85	≤ 0.05	≤ 0.40	≤ 1.50	≤ 0.035	≤ 0.035	≤ 0.40	≥ 2.00	≥ 0.50
GHS-80B; GHQ80	≤ 0.09	0.20 ~0.55	≤ 1.40	≤ 0.020	≤ 0.020	≤ 1.00	≥ 2.60	0.25 ~0.55
NiCrMo2.5-IG	≤ 0.08	≤ 0.60	≤ 1.40	≤ 0.035	≤ 0.035	≤ 0.30	≥ 2.50	≥ 0.40
Fluxofil42	≤ 0.10	≤ 0.35	≤ 1.40	≤ 0.035	≤ 0.035	≤ 0.60	≥ 2.40	≥ 0.50
	0.08	0.20	1.26	0.012	0.014	0.46	2.53	0.505

表 5-93 几种焊接材料熔敷金属力学性能

钢号	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	A_{KV} (J)	
E8515-G (J857)	≥830	≥740	≥12.0	20℃时 ≥27	—
FOXEV85	≥840	≥780	≥20.0	20℃时 ≥110	-60℃时 ≥60
GHS-80B;GHQ80	≥760	660 ~ 740	≥15.0	—	-50℃时 ≥68
NiCrMo2.5-IG	750 ~ 900	≥700	≥15.0	20℃时 ≥120	-40℃时 ≥50
Fluxofil42	750 ~ 850	≥690	≥16.0	20℃时 ≥80	-40℃时 ≥45

3. StE690 低合金高强度结构钢的焊接试验

以 StE690 钢为代表进行低合金高强度结构钢的焊接试验,包括抗裂性试验和焊接接头力学性能试验。

(1) StE690 钢抗裂性试验

根据 GB 4675.1—1984《斜 Y 型坡口焊接裂纹试验方法》,采

用板厚 $\delta=25\text{mm}$ 的 StE690 钢加工试件, 试件示意图见图 5-16。焊接材料选择药芯焊丝 Fluxofil42 $\Phi 1.4\text{mm}$, 保护气体采用 CO_2 。试验选取预热温度 $T=120^\circ\text{C}$, 试验焊缝的焊接规范参数见表 5-94。检测的表面裂纹率、断面裂纹率均为 0%, 所以实际焊接的预热温度采用 $T\geq 120^\circ\text{C}$, 就可以防止焊接冷裂纹的产生。

(2) StE690 钢焊接接头试验

依据以上焊接工艺, 焊接 StE690 钢 V 型坡口对接接头试板, 并进行力学性能试验, 试验结果见表 5-95。

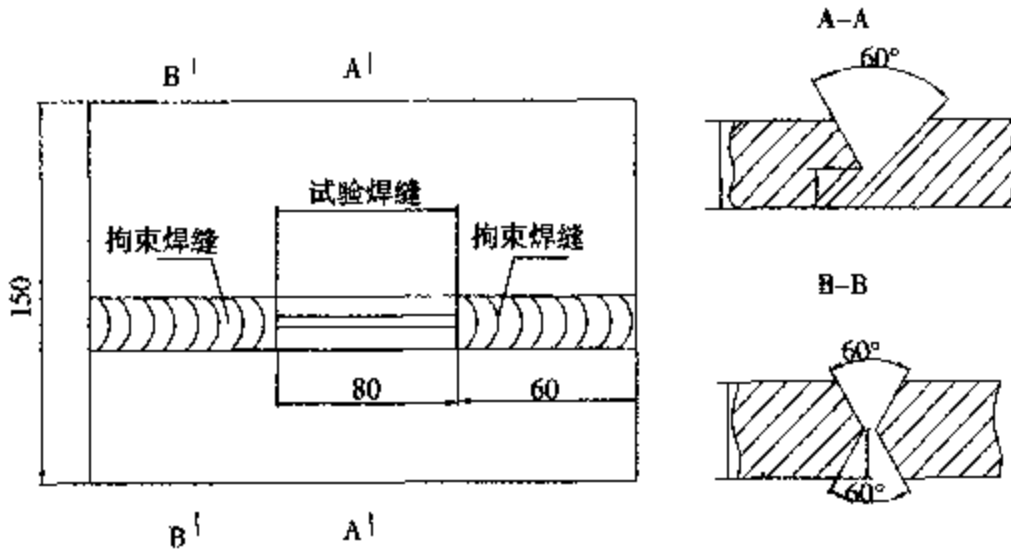


图 5-16 斜 Y 型坡口焊接裂纹试验试件示意图

表 5-94 试验焊缝的焊接规范参数

焊接电流 (A)	焊接电压 (V)	焊接速度 (cm/min)	焊接线能量 (kJ/cm)	根部间隙 (mm)
240	28	23	18	2.0

表 5-95 StE690 钢的焊接接头性能试验结果

拉伸试验		冲击试验 A_{KV} (J)		弯曲试验	硬度试验
R_m (MPa)	断裂位置	焊缝	热影响区	$d=3S \quad \alpha=50^\circ$	HV10max
786; 778	焊缝	63; 68	43; 44	两件面弯合格	345

4. 低合金高强度结构钢在焊接工程中的应用

通过分析以上几种低合金高强度结构钢及其焊接工艺试验,可以了解低合金高强度结构钢的主要加工特性。由于其强度高,可以使机械设备自重减轻。随着冶炼、轧制技术的提高,低合金高强度结构钢的可焊性越来越好。目前日本 NKK 公司、瑞典 SVENSKT. STAL 钢厂等企业可以系列地提供抗拉强度 500 ~ 1 100MPa 的低合金高强度结构钢,已经在大型挖掘机、推土机、装载机、汽车吊、工程起重机、水泥泵车、运输舟桥等产品生产中应用,我国自行研制的 HQ80C 也投入了生产。低合金高强度结构钢,将有广泛的应用前景。

十五、双相不锈钢复合钢板的焊接试验及应用

双相不锈钢复合钢板是一种新型的耐蚀压力容器材料,其复层双相不锈钢组织为奥氏体和铁素体,铁素体含量为 30% ~ 50%,此类双相不锈钢具有更好的耐蚀性能和抗热裂性能,所以双相不锈钢复合钢板在石油、化工、核工业、海洋工程等行业设备制造中的应用越来越广泛。我国已经能够采用爆炸法生产普通的不锈钢复合钢板,执行 GB/T 8165—1997《不锈钢复合钢板和钢带》。

在与国外合作生产的某型加压气化炉工程中,加压气化炉炉体属于三类压力容器,工作温度为 450℃,工作压力可达 3MPa,对焊接质量有很高的要求。其主体材料是进口的双相不锈钢复合钢板,牌号为 H_{II} / X2CrNiMoN22.5。

1. 双相不锈钢复合钢板的性能

H_{II} / X2CrNiMoN22.5 双相不锈钢复合钢板是由基层和复层两部分组成的,基层 H_{II}为碳素钢,厚度 28mm;复层为 X2CrNiMoN22.5 双相不锈钢复合钢,δ 铁素体含量为 45% ~ 50%,厚度 4mm。双相不锈钢复合钢板的化学成分见表 5-96,力学性能见表 5-97,其复层双相不锈钢具有良好的抗晶间腐蚀性能。

表 5-96 双相不锈复合钢板的化学成分(质量分数) (%)

位置	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo	N
基层	≤0.20	≤0.35	0.50~1.30	0.030	0.035	≤0.25	≤0.30	≤0.10	—
复层	0.035	1.05	2.04	0.025	0.040	20.8 ~ 23.2	4.40 ~ 6.60	2.4 ~ 3.6	0.07 ~ 0.21

表 5-97 双相不锈复合钢板的力学性能

位置	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	A_{KV} (J)
基层	410 ~ 530	255	22	48
复层	680 ~ 880	450	25	104

2. 双相不锈钢复合钢板的焊接材料试验

在采用双相不锈钢复合钢板制造的典型压力容器产品中,纵缝和环缝等对接焊缝采用了埋弧自动焊,插管等结构采用焊条电弧焊。

双相不锈钢复合钢板的焊接关键是选择合适的过渡层和复层焊接材料。根据德国焊接技术资料介绍,采用埋弧焊焊丝 GRINOX UP23.8.3NL Φ 3mm 和焊剂 LW410、焊条 THERMANIT22 / 09W Φ 4mm 焊接过渡层和复层,采用埋弧焊焊丝 10Mn4 Φ 4mm 和焊剂 Piel8、焊条 E434B11020 (H) 焊接基层。H_{II} / X2CrNiMoN22.5 双相不锈钢复合钢板焊接材料的化学成分试验结果见表 5-98,熔敷金属化学成分试验结果见表 5-99,熔敷金属力学性能试验结果见表 5-100。

表 5-98 焊接材料的化学成分试验结果(质量分数) (%)

焊接材料牌号	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	N
GRINOX UP23.8.3NL Φ 3mm	0.011	1.75	0.16	0.006	0.012	23.19	9.49	3.11	0.056
10Mn4 Φ 4mm	0.08	1.16	0.14	0.022	0.020	0.09	0.07	—	—

表 5-99 熔敷金属化学成分试验结果(质量分数) (%)

焊接材料牌号	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	N
GRINOX UP23.8.3NL Φ3 mm+ LW410	0.025	0.75	—	0.011	0.020	23.63	8.57	2.67	0.084
THERMANIT 22 / 09W Φ4 mm	0.020	—	—	—	—	22.55	9.41	9.00	0.170
10Mn4 Φ4 mm + Pie18	0.08	1.10	0.15	0.015	0.022	—	—	—	—
E434B11020(H)	0.07	1.26	0.55	0.015	0.019	—	—	—	—

表 5-100 熔敷金属力学性能试验结果

焊接材料组合	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	A_{KV} (J)
GRINOX UP23.8.3NL Φ3 mm +LW410	733	493	30.0	73.4
THERMANIT 22 / 09W Φ4 mm	818	616	24.0	58.4
10Mn4 Φ4 mm + Pie18	577	501	28.0	162.7
E434B11020(H)	604	369	21.0	148.0

双相不锈钢复合钢板埋弧焊采用两种焊剂，复层使用的 LW410 是熔炼型泡沫状钙-硅焊剂，碱度为 1.3，呈白色，比重小，使用前应进行烘干，保温温度 300℃，保温时间 2 小时。基层使用的 Pie 18 是中性熔炼型焊剂，主要由 SiO_2 和 CaO 组成，呈绿色，主要焊接低碳钢和低合金钢，使用前应进行烘干，保温温度 300℃，保温时间 2 小时。

3. 双相不锈钢复合钢板的焊接工艺

双相不锈钢复合钢板的焊接工艺比单一钢材的焊接工艺复杂，在焊接方法的选择、坡口型式设计、焊接顺序、焊接材料的选择

择、焊接规范参数的控制等方面都有较严格的要求。

(1) 焊接坡口型式及焊接顺序

H_{II} / X2CrNiMoN22.5 双相不锈钢复合钢板的对接接头埋弧焊的坡口型式见图 5-17。在焊接过程中,先焊基层焊缝,然后焊过渡层和复层。焊接顺序如图 5-17 所示。基层焊接采用多层多道焊,先焊复层一侧坡口的基层焊缝,待焊缝表面距复层表面 6~7mm 时(此时 t 约 2mm),从反面清根,然后焊接背面坡口。经 X 光射线探伤合格后,再进行不锈钢复层侧焊接,完成过渡层和复层焊接。过渡层和复层焊接层间温度控制 200℃ 以下。

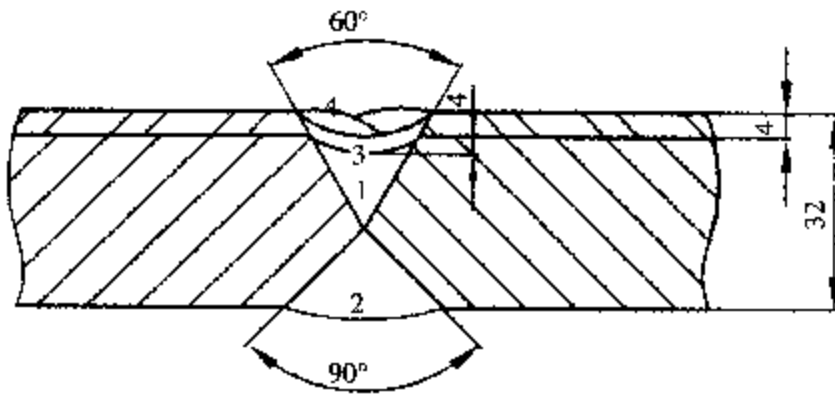


图 5-17 坡口型式及焊接顺序示意图

(2) 焊接规范参数的控制

为了控制过渡层和复层组织,保证复层的奥氏体与铁素体之间比例,必须控制焊接规范参数,限制基层焊缝对过渡层的稀释作用,防止在过渡层焊缝熔合线附近出现大量的马氏体组织和其他硬化层。

要控制过渡层化学成分和组织均匀性,过渡层采用单道焊。H_{II} / X2CrNiMoN22.5 复合钢板的焊接规范参数见表 5-101。盖面层选用一层两道焊接工艺。宏观金相检查表明,按照上述规范参数焊接,熔合情况和焊缝外观成形均良好。复层焊缝表面磁测 δ 铁素体为 35%~45%。

表 5-101 H₁₁ / X2CrNiMoN22.5 复合钢板的焊接规范参数

焊缝类型	焊接电流 (A)	焊接电压 (V)	焊接速度 (cm/min)	干伸长 (mm)
基层	500	32	45 ~ 50	20
过渡层	350	30 ~ 34	14	15
复层	400	32 ~ 36	30	15

4. 双相不锈钢复合钢板焊接接头的质量检测

采用埋弧焊焊丝 GRINOX UP23.8.3NL Φ3mm 和焊剂 LW410、焊条 THERMANIT22 / 09W Φ4mm 焊接过渡层和复层,采用埋弧焊焊丝 10Mn4 Φ4mm 和焊剂 Pie18、焊条 E434B11020(H) 焊接基层,进行双相不锈钢复合钢板焊接接头 X 光射线探伤,均达到 II 级以上;对复层表面铁素体含量测试合格;焊接接头弯曲试验结果见表 5-102,结果全部合格;采用 GB 4334—1984 T 法对复层焊接接头进行晶间腐蚀试验,试样均合格。采用双相不锈钢复合钢板的焊接工艺,成功地完成加压气化炉高压压力容器的焊接制造,现已投入使用。双相不锈钢复合钢板焊接实例对复合材料的焊接提供了较好的示范作用。

表 5-102 焊接接头弯曲试验结果

弯曲类型	面弯	背弯	侧弯
试验条件	d = 3S α = 180°	d = 3S α = 180°	d = 3S α = 90°
试验结果	无裂	无裂	无裂

十六、耐磨高锰钢铸件的焊接工艺分析

1. 高锰钢的特点

高锰钢是指含锰量在 13%左右的高碳合金钢,是一种典型的

耐磨钢。几种高锰钢的化学成分见表 5-103。高锰钢中含有较高的碳和锰。高锰钢的成形加工一般采用铸造工艺,并且经过 1 050 ~ 1 100℃之间的水韧处理,获得均匀的奥氏体组织。高锰钢具有良好的常温力学性能,其力学性能见表 5-104。高锰钢在冲击载荷的作用下,表面层将发生加工硬化,硬度可达到 HBW500 ~ HBW550,从而具有高耐磨性。但是如果磨损时不具备加工硬化的条件,则高锰钢的高耐磨性就难以实现;而且由于高锰钢表面层加工硬化快,切削加工困难。

表 5-103 几种高锰钢的化学成分(质量分数) (%)

钢 材	C	Mn	Si	S	P	Cr
ZGMn13-2	1.00~1.40	11.0~14.0	0.30~1.00	≤0.050	≤0.090	—
ZGMn13-3	0.90~1.30	11.0~14.0	0.30~0.80	≤0.050	≤0.080	—
ZGMn13Cr	0.70~1.30	11.5~14.0	≤1.00	≤0.050	≤0.070	0.30~0.75

表 5-104 高锰钢水韧处理后的力学性能

钢 材	R_m (MPa)	A (%)	A_{KV} (J)	HBS
ZGMn13-2	≥637	≥20	≥147	≤229
ZGMn13-3	≥686	≥25	≥147	≤229
ZGMn13Cr	≥686	≥30	—	—

2. 高锰钢的焊接性问题

在实际生产中,经常会遇到高锰钢铸件缺陷的焊接修复及高锰钢构件的焊接等,其主要焊接性问题有:

(1) 焊接热影响区析出碳化物问题

高锰钢经水韧处理后,碳全部固溶于奥氏体中,室温下呈单相奥氏体组织。由于焊接、切割、碳弧气刨等工序使高锰钢再次加热,

极易使碳化物沿晶界析出,从而使其热影响区失去韧性而变脆;在 900 ~ 400℃之间的冷却过程中停留时间越长,碳化物析出越多。因此必须控制高温停留时间,采取小线能量、短焊道、跳焊、强制水冷等工艺措施。

(2) 焊接热裂纹问题

高锰钢中的硫、磷杂质,极易形成低熔点共晶。焊接时晶面上的易熔共晶的局部熔化,极易产生熔合线附近的液化裂纹。加上高锰钢的线膨胀系数大,焊后冷却收缩量大,焊接时会产生较大的焊接应力,也能引发热裂纹。因此,应尽可能降低母材和焊接材料中的硫、磷含量,并采用锤击、跳焊等措施降低焊接应力。

3. 常用的高锰钢焊接材料

常用的高锰钢焊接方式有:高锰钢构件的焊接、高锰钢表面堆焊和高锰钢与结构钢的焊接。

(1) 高锰钢构件的焊接

在生产中经常会遇到高锰钢构件的焊接或高锰钢铸件缺陷的焊补。通常应清理待焊处的泥垢、油污和铁锈,检查有无裂纹、缩孔、夹砂等缺陷,必要时可采用表面着色探伤方法加以确认。可采用机械加工、角向磨光机、碳弧气刨等方法清除缺陷、加工坡口,并去除过热层和碳化层。

高锰钢构件的焊接方法主要有 CO₂ 气体保护焊和焊条电弧焊。CO₂ 气体保护焊时,其焊接材料可选择高锰钢类型药芯焊丝,如 SQD17、SQD20-2 等;也可选择不锈钢药芯焊丝,如 E308T1-1、E308LT1-1。焊条电弧焊时主要采用不锈钢焊条,如 E347-16 (A132)、E347-15 (A137) 等,也可在表面采用 EDMn-A-16 (D256)、EDMn-B-16 (D266) 进行表面强化。

(2) 高锰钢表面堆焊

高锰钢的加工硬化作用使其具有高耐磨性,这也是使用高锰钢的目的。高锰钢表面堆焊主要用于金属表面强化或修复已磨损

的高锰钢零件。在修复已磨损的高锰钢之前，应去除其疲劳硬化层，并修磨出金属光泽。

国产的高锰钢堆焊焊条有两种类型。一种是以 EDMn-A-16(D256)和 EDMn-B-16(D266)为代表的 Mn13 型焊条，主要用于堆焊受冲击磨料严重磨损的零件，如挖掘机斗齿、碎石机颚板、铁道道岔、拖拉机履带板等零件；另一种是以 EDCrMn-B-16(D276)和 EDCrMn-B-15(D277)为代表的铬锰型焊条，主要用于耐气蚀的高锰钢堆焊，如水轮机叶片、露天用挖掘机斗齿等。高锰钢堆焊焊条堆焊金属化学成分和堆焊层硬度见表 5-105。

表 5-105 堆焊金属化学成分和堆焊层硬度

焊条型号(牌号)	堆焊金属化学成分(质量分数) (%)				堆焊层 硬度
	C	Cr	Mn	Mo	
EDMn-A-16(D256)	≤0.90	—	≤13	—	≥HBS108
EDMn-B-16(D266)	≤0.80	—	≤13	≤2.0	≥HBS180
EDCrMn-B-16(D276) EDCrMn-B-15(D277)	≤0.30	12~15	10~14	—	≥HRC20

(3) 高锰钢与结构钢的焊接

高锰钢与结构钢的焊接属于异种金属的焊接，由于两者物理、化学性能各不相同，焊接时焊缝的稀释、熔合区的过渡层、接头的应力状态等问题更为复杂。通常有两种工艺方法：

1) 采用 E309-16(A302)或 E309-15(A307)焊条进行高锰钢和结构钢焊接，焊前不预热，但环境温度不得低于 15℃，层间温度控制在 150℃以内。采用短弧焊、窄焊道、不摆动等焊接操作。两侧母材熔化均匀，控制母材对焊缝的稀释。

2) 采用 E310-16(A402)或 E310-15(A407)焊条在结构钢一侧预堆过渡层，待其冷却后，重新加工坡口，并与高锰钢构件组焊。此时焊接不预热，采用 E347-16(A132)或 E347-15(A137)焊条进行焊接，焊接时控制焊接热输入，防止高锰钢过热脆化，层间温度

小于 100℃。可采用跳焊、局部水冷等技术措施,防止高锰钢的碳化物析出。

4. 高锰钢构件及其焊接技术的应用

高锰钢多用于制造要求高耐磨性并承受冲击载荷的零件,如挖掘机铲斗和铲齿、破碎机齿板和摆锤、铁道轨岔、拖拉机履带板、刮板输送机等。在煤矿使用的刮板输送机耐磨部位焊接中,高锰钢耐磨块与矿用低合金结构钢 24Mn2K 构件焊接时,焊接材料选择了 E309-16(A302) Φ 4mm 焊条,效果良好,焊接性试验和实际使用中均未发现裂纹等缺陷。在挖掘机铲斗生产时,斗前体和斗后体的装配、焊接时,采用 E347-16(A132) Φ 4mm 焊条;在高锰钢耐磨件与低合金钢 Q345E 焊接时,采用 E309L Φ 1.6mm 不锈钢药芯焊丝都具有良好的焊接质量;根据多台铲斗生产制造记录说明,焊接工艺是合理的。高锰钢作为一种承受冲击载荷、耐磨性能良好的材料,只要采取合理的焊接工艺,能够满足焊接生产和使用的要求。

十七、低温环境用铸钢件焊接工艺试验

1. 低温环境用铸钢件焊接的必要性

在严寒地区使用的大型焊接结构中,一些批量较大、形状特殊的零件仍然采用铸钢件,所以铸钢件与钢板焊接是十分常见的连接加工工艺,此时不仅对铸钢件提出较高的低温性能要求,同时对铸钢件与钢板焊接工艺也提出一些严格的要求。ZG230-450 (ZG25)焊接性较好,但低温韧性较差;而 ZG30CrNiMo 低温韧性较好,但焊接性较差,生产成本较高。综合以上因素,试制了 ZG20CrNi 铸钢,在使用前应进行 ZG20CrNi 铸钢焊接性分析,并检测 ZG20CrNi 铸钢低温韧性和焊接性能。

2. ZG20CrNi 铸钢的基本性能

ZG20CrNi 铸钢是化学成分和力学性能介于 ZG230-450

(ZG25)和 ZG30CrNiMo 之间的结构材料,为了达到一定的拉伸性能和较高的低温冲击性能,在 ZG230-450(ZG25)加入适量的铬、镍元素,采用正火 910℃、回火 690℃的热处理。ZG20CrNi、ZG230-450 (ZG25) 和 ZG30CrNiMo 化学成分见表 5-106, 力学性能见表 5-107。

表 5-106 三种铸钢的化学成分(质量分数) (%)

铸 钢	试验项目	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo
ZG20CrNi	测试值	0.24	0.34	0.22	0.010	0.019	0.63	1.13	—
ZG230-450 (ZG25)	保证值	0.22 ~0.30	0.50 ~0.80	0.20 ~0.45	≤ 0.040	≤ 0.040	≤ 0.35	≤ 0.30	≤ 0.20
	测试值	0.27	0.42	0.20	0.008	0.018	—	—	—
ZG30CrNiMo	保证值	0.25 ~0.35	0.70 ~1.00	0.30 ~0.60	≤ 0.030	≤ 0.030	0.60 ~0.90	0.60 ~1.10	0.30 ~0.50
	测试值	0.27	0.61	0.33	0.011	0.023	0.76	0.95	0.39

表 5-107 三种铸钢的力学性能

铸 钢	拉伸性能			冲击性能 A_{KV} (J)				HBS
	R_m (MPa)	R_{el} (MPa)	A (%)	室 温	0℃	-20℃	-40℃	
ZG20CrNi	460	294	35	79	46	25	13	141
ZG230-450	≥450	≥230	≥22	≥25	—	—	—	—
ZG30CrNiMo	≥730	≥590	≥17	—	—	—	—	—

采用国际焊接学会(IIW)碳当量计算公式,并代入表 5-106 中的 ZG20CrNi 铸钢化学成分,计算 ZG20CrNi 铸钢的碳当量 $C_{eq} = 0.61\%$,ZG20CrNi 铸钢具有一定的淬硬倾向,焊前必须预热 150 ~ 200℃。

3. ZG20CrNi 铸钢焊接材料的选择

由于目前焊接方法以气体保护焊为主,因此选择几种 500MPa 级焊接材料进行试验,试验用焊接材料见表 5-108,几种焊丝熔敷金属化学成分试验结果见表 5-109,几种焊丝熔敷金属力学性能试验结果见表 5-110。

表 5-108 焊接材料一览表

焊接材料及规格	类型	生产厂家
THQ-50C Φ 1.2mm	实芯焊丝	天津大桥
MK.H08Mn2SiA Φ 1.2mm	实芯焊丝	湖北猴王
H08Mn2SiA Φ 1.2mm	实芯焊丝	河北新世纪
JQ.MG50-6 Φ 1.2mm	实芯焊丝	天津金桥
E71T-1(II-70) Φ 1.6mm	药芯焊丝	ESAB公司
OK15.00A(E71T-5) Φ 1.6mm	药芯焊丝	ESAB公司

表 5-109 几种焊丝熔敷金属化学成分试验结果(质量分数) (%)

焊接材料	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	备注
THQ-50C	0.07	1.13	0.49	0.017	0.025	—	—	CO ₂ 气体
MK.H08Mn2SiA	0.11	1.12	0.40	0.021	0.021	—	—	CO ₂ 气体
H08Mn2SiA	0.06	1.12	0.36	0.022	0.012	—	—	CO ₂ 气体
JQ.MG50-6	0.07	0.84	0.38	0.013	0.017	—	—	CO ₂ 气体
	0.07	1.30	0.66	0.014	0.016	—	—	富氮混合气体
E71T-1	0.06	1.11	0.38	0.010	0.017	0.022	0.018	富氮混合气体
OK15.00A	0.08	1.87	0.73	0.010	0.013	0.027	—	富氮混合气体

表 5-110 几种焊丝熔敷金属力学性能试验结果

焊接材料	拉伸性能			冲击性能 A_{KV} (J)	
	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	室 温	-40℃
THQ-50C	515	411	32	79;80;122 / 94	20;26;53 / 33
MK.H08Mn2SiA	513	388	31	126;125;121 / 124	58;49;48 / 52
H08Mn2SiA	544	452	25	—	30;34;40 / 35
JQ.MG50-6	475	375	29	-29℃时 110;103;98 / 104	53;46;36 / 45
E71T-1	586	508	26	-18℃时 114;116;133 / 121	-29℃时 93;94;112 / 100
OK15.00A	595	501	31	-29℃时 141;146;161 / 149	

从表 5-110 可以看出,采用药芯焊丝富氩混合气体保护焊时,熔敷金属具有较高的拉伸性能和冲击性能。实芯焊丝气体保护焊时,熔敷金属的低温冲击性能有所波动,但一般也能满足 -40°C 、 $A_{KV} \geq 27\text{J}$ 的要求。对于严寒型矿用挖掘机建议采用药芯焊丝,对于准严寒型矿用挖掘机也可以采用实芯焊丝。

4. ZG20CrNi 铸钢焊接接头试验

试验选用的 ZG20CrNi 试板尺寸为 $345\text{mm} \times 180\text{mm} \times 20\text{mm}$,坡口型式为单边 V 型坡口,坡口角度 $\beta = 45^{\circ}$,试板背面加钢垫板,坡口根部间隙 8mm ,试板预制反变形角度 2° 。焊接方法为药芯焊丝富氩混合气体保护焊,焊接设备采用 XC-500 焊机,直流反接。试板焊前预热 200°C ,层间温度控制在 $200 \sim 250^{\circ}\text{C}$ 之间,焊接材料为 OK15.00A $\Phi 1.6\text{mm}$ 药芯焊丝。焊接规范参数见表 5-111。焊接试板经射线探伤达到 I 级。进行力学性能试验,其结果见表 5-112。

表 5-111 焊接规范参数

焊道序号	焊接电流 (A)	焊接电压 (V)	焊接速度 (cm/min)	线能量 (kJ/cm)
1	220	26	—	—
2~5	250	28	15.4	27.3
6	250	30	34.5	13.0
7	250	30	20.2	22.2

表 5-112 焊接接头力学性能结果

拉伸试验		冲击性能 A_{KV} (J)			
R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	焊 缝		热影响区	
		- 20℃	- 40℃	- 20℃	- 40℃
505;520	315;310	52;44;44 / 46.7	32;27;29 / 29.3	40;50 / 45	10;12;8 / 10

可见焊接接头具有较高的强度,并高于母材强度。焊缝区具有较好的低温冲击性能,明显优于母材冲击性能;而热影响区低温冲击性能较低,与原始母材冲击性能相当。

5. ZG20CrNi 铸钢焊接工艺要点

(1) ZG20CrNi 铸钢具有一定的淬硬倾向,焊前必须预热 150~200℃。

(2) 对于严寒型矿用挖掘机建议采用药芯焊丝,对于准严寒型矿用挖掘机也可以采用实芯焊丝。

(3) ZG20CrNi 铸钢焊接线能量控制在 13.0 ~ 27.3kJ/cm 之间。

(4) 焊接材料为 OK15.00A Φ 1.6mm 药芯焊丝;焊接规范参数: $I = 220 \sim 250A$, $U = 26 \sim 30V$ 。

ZG20CrNi 铸钢化学成分、力学性能介于 ZG230-450(ZG25)和

ZG30CrNiMo 之间,既保证了材料的拉伸性能,并可以降低焊接预热温度,改善焊接施工条件。ZG20CrNi 铸钢焊接时,采用合理的焊接方法、焊接工艺,能够保证 ZG20CrNi 铸钢焊接接头具有一定的力学性能。

十八、起重机主梁轨道对接焊工艺试验及应用

1. 起重机主梁轨道对接焊的必要性

起重机大多采用焊接结构,由大车、小车、运行机构、起升机构等部分组成,小车在大车桥架主梁的轨道上运行。在起重机结构中一般常用双梁双轨形式,也有时使用四梁四轨或四梁六轨等形式。起重机轨道有四种,即方轨、铁路钢轨、重型钢轨和特殊钢轨。中小型起重机采用方轨或轻型钢轨作轨道,重型起重机采用重型钢轨或特殊钢轨作轨道。

起重机设计时通常根据车轮轮压选择钢轨。市场销售的钢轨长度一般为 9 ~ 12.5m,当钢轨长度小于起重机的跨度时,起重机轨道就产生了接口。轨道接口的设置与主梁的受力状况、使用寿命密切相关。根据轨道的接口方式可分为非整体式轨道和整体式轨道。非整体式轨道的接头将影响起重机的平稳运行,增加了起重机桥架主梁的冲击载荷、车轮的磨损,当小车车轮经过轨道接口时,冲击载荷往往造成主梁加强板、纵向角焊缝的开裂。为此重型起重机和冶金起重机已广泛采用焊接整体式轨道,轨道的对接焊成为必要的工艺手段。

2. 起重机钢轨的主要技术条件

起重机钢轨的材质一般为高碳钢或中碳合金钢轧材,常见的起重机钢轨化学成分及力学性能见表 5-113。起重机钢轨剖面示意图见图 5-18,其尺寸规格见表 5-114,其中 QU-100 执行 YB/T 5055—1993。

表 5-113 起重机钢轨化学成分(质量分数)及力学性能

型号	C(%)	Mn(%)	Si(%)	S(%)	P(%)	R_m (MPa)	HBS	产地
A100	0.3 ~0.6	1.0 ~2.0	0.15 ~0.5	\leq 0.050	\leq 0.050	690 ~890	218	德国
A55	0.6 ~0.75	0.7 ~1.1	0.13 ~0.28	\leq 0.040	\leq 0.040	800	—	日本
QU-100	0.64 ~0.77	0.6 ~0.9	0.1 ~0.3	\leq 0.040	\leq 0.035	800	266	中国

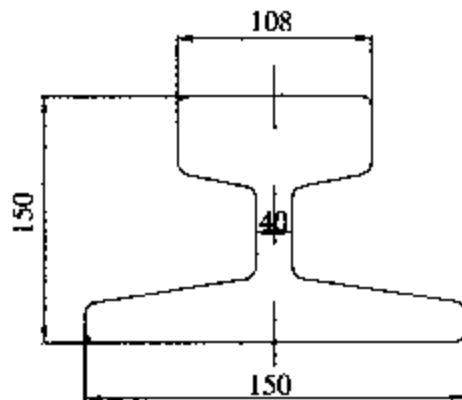


图 5-18 起重机钢轨剖面示意图

表 5-114 起重机钢轨剖面尺寸

型号	b	b_1	b_2	s	h	h_1
A100	98	—	200	62	200	40
A55	55	—	100	30	65	25
QU-100	100	108	150	38	150	40

3. 起重机钢轨的焊接工艺分析

(1) 起重机钢轨材料焊接性分析

起重机钢轨的材质一般为高碳钢或中碳合金钢, 根据国际焊接学会碳当量计算公式, 其碳当量在 0.8% ~ 1.0% 之间, 焊接性不良, 易产生焊接冷裂纹等缺陷, 使母材产生淬硬组织。所以为了保

证质量,应采用较高的预热温度进行焊接,并采取焊后缓冷措施。

(2) 起重机钢轨焊接方法的选择

目前轨道焊接方法主要有铝热焊、气电焊、电阻焊、焊条电弧焊、气体保护焊等。起重机钢轨的焊接考虑到截面尺寸和数量等因素主要采用焊条电弧焊、熔化极气体保护焊等电弧焊方法,铝热焊一般用于小截面电车钢轨的现场施工,气电焊或电阻焊等机械化施工设备多用于铁路长钢轨的焊接。

(3) 起重机钢轨焊接材料的选择

当采用焊接整体式轨道时,要求焊接接头的上表面工作层具有足够的硬度,耐磨性不低于钢轨基体,同时又要求焊缝内部具有较好的冲击韧性。所以起重机轨道焊接时一般选择两类焊接材料,上表面部位的三至四层焊缝采用耐磨堆焊焊条或焊丝,如酸性焊条 EDPCrMo-A1-03(D112)、EDPCrMo-A2-03(D132)或碱性焊条 EDPMn-3-16-15(D126、D127);内部采用 500MPa 级中等强度结构钢焊条或焊丝,如焊条 E5016 (J506)、E5015 (J507) 或焊丝 ER50-6。

4. 起重机钢轨的焊接工艺要点

(1) 焊接方法为焊条电弧焊或熔化极气体保护焊。

(2) 主要使用的焊接材料为焊条 E5016(J506)、E5015(J507) 或焊丝 ER50-6,距表面 10mm 区域,采用 EDPCrMo-A1-03(D112)、EDPCrMo-A2-03(D132) 或 EDPMn-3-16-15(D126、D127) 耐磨堆焊焊条或相应的焊丝,焊条直径为 $\Phi 4\text{mm}$,焊丝直径为 $\Phi 1.2\text{mm}$ 。

(3) 焊前用火焰局部预热钢轨端部区域,预热长度 300mm,预热温度 300~350℃,并控制层间温度在 300~350℃之间。

(4) 钢轨坡口根部钝边应预先在端面堆焊,此时也应进行预热,堆焊层宽度约 8mm,并保证熔合良好。

(5) 钢轨坡口形式采用窄间隙坡口,间隙为 20mm,形状类似

于 I 型坡口,其示意图见图 5-19,并使用钢垫板或铜垫板。

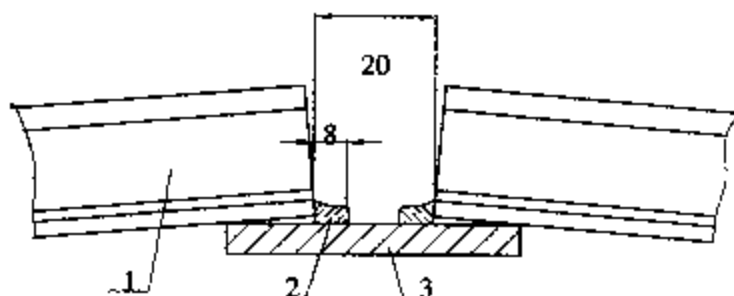
(6) 钢轨装配时采用反变形措施,以控制焊接接头角变形,保证轨道的直线度。

(7) 当进行腹板焊接时,采用外加成形铜模块,刚性夹持钢轨,铜模块与钢轨之间留有 4 ~ 6mm 的间隙。

(8) 焊后用火焰将钢轨焊接接头区域加热到 600 ~ 650℃,用保温材料包裹,保温缓冷。

(9) 钢轨焊接完成后,应用角向磨光机对表面进行打磨清理,与钢轨基体平齐,发现尺寸不足或严重咬肉等问题,应进行补焊。

(10) 焊接质量检验采用磁粉或着色方法检查表面有无裂纹。



1—钢轨; 2—堆焊钝边; 3—垫板

图 5-19 起重机钢轨坡口形式示意图

经过焊接试验和多台起重机产品的制造,说明起重机钢轨的焊接工艺要点是正确的,在实际生产中具有推广价值。

十九、高硬度耐磨钢板的使用及其焊接技术

1. 高硬度耐磨钢板的基本概况

随着焊接技术的发展和焊接结构的广泛应用,解决焊接结构件耐磨问题的手段越来越多,如采用耐磨铸锻件组焊、在普通结构钢上进行堆焊及表面喷涂等,而采用高硬度耐磨钢板则是更为简捷、实用的新技术。目前在国外焊接产品的设计、制造中,许多场所

已经使用高硬度耐磨钢板,用于冶金、矿山、汽车制造、化工等行业,来制造焦炭矿石卸料槽、各类衬板、挖掘机铲斗、翻斗车、输送管等产品。

伴随着冶金企业对高强度结构钢新钢种的研究开发、机械制造企业对耐磨材料的需求,日本 NKK 公司、瑞典 SVENSKT.STAL 钢厂已经生产出十余种不同硬度的耐磨钢板系列产品,适合硬度从 HBS300 至 HBS540 的不同需要,而结构钢材料难以满足这一技术要求。以日本 NKK 公司生产的 NK-EH-360 和瑞典 SVENSKT.STAL 钢厂生产的 Hardox400 为例,两种高硬度耐磨钢板的化学成分、力学性能分别见表 5-115、表 5-116。

表 5-115 高硬度耐磨钢板的化学成分(质量分数) (%)

材料牌号	试验项目	C	Mn	Si	S	P	Cr	Mo	B	Ceq
Hardox 400	标准值	≤ 0.20	≤ 1.70	0.10 ~ 0.70	≤ 0.030	≤ 0.030	≤ 0.80	≤ 0.80	≤ 0.005	0.49 ~ 0.56
	测试值	0.17	1.29	0.34	0.025	0.013	0.45	—	—	0.475
NK-EH-360	标准值	≤ 0.20	≤ 1.60	≤ 0.55	≤ 0.030	≤ 0.030	≤ 0.40	Ti 0.005 ~ 0.020	≤ 0.004	—
	测试值	0.15	1.44	0.34	0.006	0.020	0.25	Ti 0.006	0.002	0.45

表 5-116 高硬度耐磨钢板的力学性能

材料牌号	试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	Z (%)	A_{KV} (J)		HBS
						0℃	-40℃	
Hardox 400	标准值	≥ 1250	≥ 1000	≥ 10	—	—	≥ 20	380 ~ 440
	测试值	1325	—	13	62	62	26	386 ~ 412
NK-EH-360	标准值	≥ 1150	≥ 930	≥ 16.5	—	≥ 43	—	≥ 361
	测试值	1246	1083	20.8	—	—	—	419

2. Hardox400 高硬度耐磨钢板的焊接材料的选择

以 Hardox400 高硬度耐磨钢板为例,进行焊接材料的选择和焊接试验。根据 Hardox400 高硬度耐磨钢板的焊接工艺经验和现有制造条件,Hardox400 高硬度耐磨钢板的焊接一般采用 CO₂ 气体保护焊,焊接材料选用药芯焊丝 Fluxofil41 Φ 1.4mm 和 Fluxofil42 Φ 1.4mm。这两种药芯焊丝是瑞士 OERLIKON 公司生产的无缝镀铜药芯焊丝,其熔敷金属化学成分、力学性能分别见表 5-117、表 5-118。

表 5-117 药芯焊丝熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

焊丝牌号	试验项目	C	Mn	Si	S	P	Ni	Cr	Mo
Fluxofil41 Φ 1.4mm	保证值	\leq 0.10	\leq 1.40	\leq 0.35	\leq 0.030	\leq 0.030	\geq 1.20	—	\geq 0.40
	试验值	0.08	0.97	0.21	0.009	0.015	1.25	—	0.48
Fluxofil42 Φ 1.4mm	保证值	\leq 0.10	\leq 1.40	\leq 0.35	\leq 0.035	\leq 0.035	\geq 2.40	\geq 0.40	\geq 0.40
	试验值	0.08	1.26	0.20	0.012	0.014	2.53	0.46	0.505

表 5-118 药芯焊丝熔敷金属力学性能

焊丝牌号	试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	-40℃时 A_{KV} (J)
Fluxofil41 Φ 1.4mm	保证值	650 ~ 750	\geq 560	\geq 20	\geq 120
	试验值	639	578	22.0	131
Fluxofil42 Φ 1.4mm	保证值	750 ~ 850	\geq 690	\geq 16	\geq 80
	试验值	780	693	20	89.6

3. Hardox400 高硬度耐磨钢板的焊接试验

采用 Hardox400 高硬度耐磨钢板进行焊接试验,包括抗裂性

试验、最高硬度试验和焊接接头力学性能试验。

(1) Hardox400 高硬度耐磨钢板的抗裂性试验

根据 GB 4675.1—1984《斜 Y 型坡口焊接裂纹试验方法》，采用板厚 $\delta=25\text{mm}$ 的 Hardox400 钢板加工试件，试件示意图见图 5-16。分别选取预热温度 $T = 50^\circ\text{C}$ 、 70°C 、 100°C 、 120°C 进行试验，采用药芯焊丝 Fluxofil41 $\Phi 1.4\text{mm}$ 和 Fluxofil42 $\Phi 1.4\text{mm}$ 的焊接规范参数见表 5-119，不同预热温度的试样表面裂纹率、断面裂纹率均为 0；但是考虑到实际产品的拘束情况，焊接预热温度确定为 $T \geq 125^\circ\text{C}$ ，以防止焊接冷裂纹的产生。

表 5-119 试验焊缝的焊接规范参数

焊接电流 (A)	焊接电压 (V)	焊接速度 (cm/min)	焊接线能量 (kJ/cm)	根部间隙 (mm)
250	26	30	15	2.0

(2) Hardox400 高硬度耐磨钢板的最高硬度试验

根据 GB 4675.5—1984《焊接热影响区最高硬度试验方法》，试板尺寸为 $200\text{mm} \times 75\text{mm} \times 25\text{mm}$ ，预热后在 Hardox400 钢试板上进行堆焊，测得的焊接热影响区最高硬度为 $\text{HV}_{\text{max}} = 354$ ，与母材的硬度 $\text{HV}386 \sim \text{HV}412$ 相比，有所下降，说明焊接加热对 Hardox400 钢制造时的热处理组织有一定的影响。

(3) Hardox400 高硬度耐磨钢板的焊接接头力学性能试验

采用双 V 型坡口，焊接 Hardox400 高硬度耐磨钢板的焊接接头。为了防止产生焊接冷裂纹，打底焊使用药芯焊丝 Fluxofil41 $\Phi 1.4\text{mm}$ ，填充焊、盖面焊使用药芯焊丝 Fluxofil42 $\Phi 1.4\text{mm}$ ，层间温度控制在 $150 \sim 200^\circ\text{C}$ ，焊接时尽量减少摆动，并控制焊接线能量小于 35kJ/cm ，焊后进行力学性能试验。试验结果见表 5-120。

表 5-120 Hardox400 钢的焊接接头性能试验结果

拉伸试验		冲击试验 A_{KV} (J)		硬度试验
R_m (MPa)	断裂位置	焊 缝	热影响区	HV10max
798	焊 缝	60	26	400

4. 高硬度耐磨钢板的技术特性

高硬度耐磨钢板 Hardox400 属于低碳低合金铬钼锰钢, 经过特殊的热处理后达到一定的硬度, 不仅具有相当高的硬度和耐磨性, 而且充分考虑了焊接性、热切割性、弯曲性能和切削加工性。

Hardox400 钢的碳当量为 0.49% ~ 0.56%, 具有较好焊接性, 与中碳钢、高碳钢等材料相比, 焊前预热温度低, 抗裂性能较好; 焊后一般不用进行后热处理。如果焊缝也要求具有相同的硬度, 可以在表面堆焊药芯焊丝 Fluxofil58 Φ 1.4mm, 堆焊层硬度可在 HRC57 ~ HRC62 之间, 这种情况下焊后应进行 150 ~ 200℃ 的后热处理。

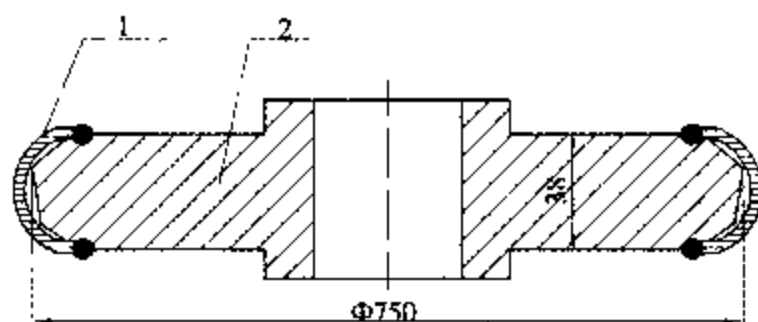
耐磨试验表明, 在低应力磨料磨损情况下, Hardox400 钢磨损的耐磨性能优于 800MPa 级的低合金结构钢 St690、500MPa 级的低合金结构钢 Q345B 钢。实际生产中, 采用高硬度耐磨钢板火焰切割的零件精度大大高于高锰钢等铸件, 有利于焊接装配精度和结构件外观质量的提高。

二十、球磨铸铁阀体与不锈钢密封环的焊接

1. 城市污水排放系统中的阀门结构

在城市供水系统中的阀门大多使用不锈钢材料或无毒塑料等材料; 而在城市污水排放系统中, 一般使用规格统一、易于制造、价格较低的球磨铸铁阀体, 并采用具有一定弹性的不锈钢薄板钢圈和橡胶进行密封。球磨铸铁阀体采用铸造成形, 并进行切削加工到

一定的尺寸。不锈钢密封环采用耐蚀不锈钢薄板下料后,冷压成形,再将两者焊接成一体。阀门结构示意图见图 5-20。阀体外形尺寸:Φ750mm,边缘厚度 38mm。



1—0Cr18Ni9; 2—QT450-10

图 5-20 阀门结构示意图

2. 球磨铸铁阀体与不锈钢密封环的焊接工艺分析

球磨铸铁阀体采用材质 QT450-10(相当于美国 65-45-12,相当于国内旧牌号 QT42-10),符合 GB/T 1348—1988。不锈钢钢圈采用材质 0Cr18Ni9 (相当于日本 SUS 304),符合 GB/T 1220—1992;采用厚度 1.5mm 的不锈钢薄板,冷压成断面为 U 形的型材,再卷制成环形,通过对接制成圆环。

QT450-10 的金相组织为铁素体,具有较好的可加工性,常温时冲击韧性高,而且脆性转变温度低,同时低温韧性也很好,能够焊接。0Cr18Ni9 的金相组织为奥氏体,具有较好的耐蚀性、焊接性和可加工性,同时具有较好的塑性、韧性和压力加工性能。QT450-10 和 0Cr18Ni9 的化学成分、力学性能分别见表 5-121、表 5-122。

表 5-121 阀门材料化学成分(质量分数) (%)

材 料	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni
0Cr18Ni9	≤0.07	≤2.00	≤2.00	≤0.035	≤0.030	17.00 ~ 19.00	8.0 ~ 11.00
QT450-10	3.60 ~ 3.80	≤0.50	2.30 ~ 2.70	≤0.025	≤0.080	—	—

表 5-122 阀门材料力学性能

材 料	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	Z (%)	HBS	热处理(°C)
0Cr18Ni9	≥ 520	≥ 205	≥ 40	≥ 60	≤ 187	固溶 1010-1150 快冷
QT450-10	≥ 450	≥ 310	≥ 10	—	160-210	高温回火 920-980

3. 球磨铸铁阀体与不锈钢密封环的焊接试验

球磨铸铁阀体与不锈钢密封环的焊接试验,采用的焊接方法为熔化极气体保护焊,焊接设备为 XC-500 CO₂ 气体保护焊机,直流反接。试验前,先将不锈钢密封环装配、固定在球磨铸铁阀体上,点固焊方式为每隔 50 mm 距离,焊接 10 mm 的焊缝,然后再进行试验焊缝的焊接。

焊接材料为焊丝 H00Cr25Ni22Mn5Mo2N $\Phi 1.2$ mm 和 E316L $\Phi 1.2$ mm,保护气体为 80%Ar + 20%CO₂ 混合气体,焊丝化学成分见表 5-123,熔敷金属力学性能见表 5-124。焊后进行焊缝着色探伤,检查焊接裂纹情况。采用焊丝 H00Cr25Ni22Mn5Mo2N $\Phi 1.2$ mm 单层焊接的试验结果见表 5-125,采用焊丝 E316L $\Phi 1.2$ mm 单层焊接的试验结果见表 5-126。

表 5-123 焊丝化学成分(质量分数) (%)

焊丝牌号	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	N	Mo
H00Cr25Ni22 Mn5Mo2N	≤ 0.020	3.50 ~5.50	≤ 0.20	≤ 0.020	≤ 0.020	24.50 ~25.50	21.5 ~22.5	0.10 ~0.15	1.9 ~2.3
E316L	≤ 0.030	1.00 ~2.50	≤ 0.60	≤ 0.035	≤ 0.030	18.00 ~20.00	11.0 ~14.0	—	—

表 5-124 熔敷金属力学性能

材料牌号	R_m (MPa)	A (%)
H00Cr25Ni22Mn5Mo2N	≥ 590	≥ 40
E316L	≥ 520	≥ 30

表 5-125 采用焊丝 H00Cr25Ni22Mn5Mo2N Φ 1.2mm 的试验结果

试验焊道	电 流 (A)	电 压 (V)	焊接速度 (cm/min)	气体流量 (l/min)	探伤结果
1	90 ~ 110	21 ~ 22	8.4 ~ 11.5	18	无裂纹
2	150	22	13.0	18	无裂纹

表 5-126 采用焊丝 E316L Φ 1.2mm 的试验结果

试验焊道	电 流 (A)	电 压 (V)	焊接速度 (cm/min)	气体流量 (l/min)	探伤结果
1	150	22	17.5	18	有两处 横向裂纹
2	100 ~ 120	20	15.0	18	无裂纹
3	150	22	13.0	18	无裂纹

采用 H00Cr25Ni22Mn5Mo2N Φ 1.2mm 焊丝,保护气体为 80% Ar + 20%CO₂ 混合气体,当焊接规范参数 $I = 90 \sim 110A$ 、 $U = 21 \sim 22V$ 、 $v = 10.6cm/min$ 时,进行单层焊,其焊缝高度 3 ~ 3.5mm,焊缝宽度 10mm。采用 E316L Φ 1.2mm 焊丝,保护气体为 80%Ar + 20% CO₂ 混合气体,当焊接规范参数 $I = 150A$ 、 $U = 22V$ 、 $v = 13.0cm/min$ 时,进行单层焊和双层焊,均未发现裂纹。

4. 球磨铸铁阀体与不锈钢密封面的焊接生产

由于焊丝 E316L 比焊丝 H00Cr25Ni22Mn5Mo2N 价格低,考虑到生产成本,所以实际生产中选择了焊丝 E316L,并根据裂纹检测情况,选择了较大电流、较低焊接速度的焊接规范参数。确定的焊接规范参数: $I = 150A$ 、 $U = 22V$ 、 $v = 13.0cm/min$ 。

结合生产企业现有设备,采用了国产 350K 焊机,并使用了专用装配、焊接胎具,改造了立式车床,制成了简单、实用的机械化焊接系统,进行球磨铸铁阀体与不锈钢密封环的焊接。球磨铸铁阀体

与不锈钢密封环的焊接质量检查不仅包括外观质量和裂纹检查外,还要进行 2.0MPa 水压试验,无泄露情况下,方可认为合格。

采用以上工艺措施,实现了城市污水排放系统阀门的批量生产,并销往国外,解决了生产难题,并为球磨铸铁的焊接开辟一条新路。

二十一、铝合金花纹板熔化极惰性气体保护焊接材料的选择

1. 铝合金花纹板性能及其焊接方法的选择

(1) 铝合金花纹板的性能要求

由于铝合金具有比重小、导电性好、耐蚀性好、加工性能好、储量丰富等特点,在工业生产和日常生活中应用日趋广泛。

铝合金花纹板属于扁豆形花纹板,执行 GB/T 3190—1996,材料牌号为 2A11(LY11),属于硬铝,供货状态是经再结晶退火,又以 20%~40% 的冷变形量轧成花纹状态,其化学成分见表 5-127,力学性能见表 5-128。

表 5-127 2A11(LY11)花纹板化学成分(质量分数) (%)

试验项目	材料	Mg	Mn	Cu	Zn	Fe	Si	Ni	Ti	Al
保证值	2A11	0.4 ~0.8	0.4 ~0.8	3.8 ~4.8	≤ 0.3	≤ 0.7	≤ 0.7	≤ 0.1	≤ 0.15	基体

表 5-128 2A11(LY11)花纹板力学性能

试验项目	材料	板材类别	R_m (MPa)	A (%)	γ (g/cm^3)
保证值	2A11	扁豆状花纹板	216	3	2.80

(2) 2A11(LY11)花纹板的焊接性分析

1) 铝和氧的亲合力很大,久置空气中的铝合金极易形成高熔

点氧化膜,使得普通切割和焊接方法难以直接熔化铝合金金属,而且容易在金属熔化或熔池搅拌过程中,形成焊接夹渣,所以铝合金焊接前,要严格清理工件表面的氧化物,并进行防护。

2) 2A11(LY11)焊接性差,易产生热裂纹和焊接热影响区脆化。2A11(LY11)属于共晶型合金,因其导热系数大,在焊接加热、冷却过程中温度变化速度快,多处于不平衡结晶条件,固相线移动影响了固相、液相之间的扩散,先结晶的固相中合金元素含量较少,而液相中却含有较多合金元素;当合金元素存在着其他元素或杂质时,还可能形成三元共晶体,其熔点更低,低熔点共晶体的存在,增大了铝合金焊缝金属结晶的裂纹倾向。

3) 2A11(LY11)导热系数高,在焊接过程中,建立焊接温度场需要更多热量;同时由于热量传递范围增大,焊接热影响区宽大,加之铝合金强度低等特点,易造成较大范围的焊接变形和焊接残余应力。

4) 2A11(LY11)焊接时容易产生焊接缺陷。由于铝合金在固态时溶氢量很低,在焊接凝固过程中,液态金属中的气体极易残存于固态之中。形成焊缝气孔,因此必须严格清理焊丝和工件表面的氧化物和水分。而且由于铝合金焊接中热量散失,固相与液相转变温度区窄小,因此容易产生未焊透、熔合不均匀、焊穿等焊接缺陷。同时由于合金元素蒸发、烧损,易造成接头性能的下降。

(3) 焊接方法的选择

在焊接铝与铝合金的方法中,依据母材的牌号、焊件厚度、产品结构形式、生产条件以及焊接接头质量要求等因素进行选择。铝和铝合金常用的焊接方法及特点见表 5-129。

为了完成重量近 30 吨、焊接长度 4 000 多米的铝合金花纹板对接工作,确定了熔化极氩弧焊为主、手工钨极氩弧焊为辅的技术方案。

表 5-129 铝和铝合金常用的焊接方法及特点

焊接方法	特 点
气 焊	氧-乙炔火焰的功率低,热量分散,焊接变形大,生产率低
焊条电弧焊	电弧稳定性差,飞溅大,接头质量较差
钨极氩弧焊	电弧热量较集中,燃烧稳定,焊缝成形美观,接头质量较好,表面质量好,但生产效率略低
熔化极 气体保护焊	电弧功率大,热量集中,焊接速度快,生产效率高,易实现全自动或半自动焊接,多用于中、厚板焊接
等离子弧焊	电弧功率更大,热量更集中,但设备复杂,投资大,操作要求高,人员培训周期长

2. 铝合金花纹板熔化极惰性气体保护焊焊接材料的选择

铝合金熔化极惰性气体保护焊的焊接材料主要有焊丝和氩气。根据 GB 10858—1989《铝和铝合金焊丝》，选择铝镁焊丝 SAIMg-3 $\Phi 1.2\text{mm}$ 和铝硅焊丝 SAISi $\Phi 1.6\text{mm}$ 进行试验，两种铝合金焊丝的抗拉强度和焊丝直径公差见 5-130。从焊接工艺性能对比，SAIMg-3 $\Phi 1.2\text{mm}$ 焊丝挺度较好，送丝性能优于焊丝 SAISi $\Phi 1.6\text{mm}$ ；当焊接电流在 70 ~ 160A 范围内调节时，选择合理焊接规范参数，电弧燃烧稳定，外观成形良好。SAIMg-3 $\Phi 1.2\text{mm}$ 焊丝化学成分检测结果见表 5-131。

表 5-130 焊丝的抗拉强度和焊丝直径公差

试验项目	焊丝牌号和规格	焊丝抗拉强度 (MPa)	焊丝直径公差 (mm)
保证值	SAIMg-3 $\Phi 1.2\text{mm}$	≥ 320	$\Phi 1.2^{+0.01}_{-0.03}$
测试值	SAIMg-3 $\Phi 1.2\text{mm}$	449	$\Phi 1.2^{+0.01}$
测试值	SAISi $\Phi 1.6\text{mm}$	176	$\Phi 1.2^{+0.01}_{-0.06}$

表 5-131 SA1Mg-3 Φ 1.2mm 焊丝化学成分(质量分数) (%)

试验项目	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Al
保证值	≤ 0.40	≤ 0.40	≤ 0.10	0.5~1.0	4.30~5.20	0.05~0.25	≤ 0.25	余量
测试值	0.15	0.17	≤ 0.02	0.48	5.39	≤ 0.02	≤ 0.06	余量
	0.13	0.17	≤ 0.02	0.39	5.05	≤ 0.02	≤ 0.06	余量
	0.16	0.25	≤ 0.02	0.48	5.05	≤ 0.02	≤ 0.06	余量

在焊接工艺试验的基础上,2A11(LY11) $\delta=3\text{mm}$ 铝合金花纹板熔化极惰性气体保护焊最佳焊接规范参数见表 5-132。可见在 2A11(LY11)薄板焊接中,采用较细直径焊丝,小电流,高焊速,I 型对接坡口,小间隙;采用熔化极惰性气体保护焊小电流喷射过渡,具有较低焊接线能量,这也是铝合金薄板熔化极惰性气体保护焊技术的一个特点,其焊接线能量值远低于结构钢熔化极惰性气体保护焊线能量,这对控制焊接热输入十分有利。此外,要严格控制焊接规范参数波动范围,对焊机性能、焊工操作技能也有较高的要求。

表 5-132 铝合金花纹板熔化极惰性气体保护焊最佳焊接规范参数

焊接形式	焊接电流 (A)	焊接电压 (V)	焊接速度 (cm/min)	线能量 (kJ/cm)
平板堆焊	88~94	20.7~21.0	45.0	2.52
角焊缝	80~88	16.7~18.0	16.5	5.66
单面焊	88~96	20.7~21.3	40.4	2.81
双面焊	76~84	16.5~17.0	30.0	2.60~2.75

利用 2A11(LY11)花纹板作为行走平台的材料,主要因为有比强度高、防滑性能好、重量轻、耐蚀性强等特点,因此铝合金花纹板

焊接接头必须具有足够的强度。2A11(LY11)花纹板焊接接头拉伸试验结果见表 5-133,可见采用 SAlMg-3 Φ 1.2mm 焊丝时,熔化极惰性气体保护焊焊接接头具有较高抗拉强度,接近于 2A11(LY11) $\delta=3\text{mm}$ 母材,并且高于 SAlSi Φ 1.6mm 焊丝的焊接接头,所以 2A11(LY11)花纹板焊接应选 SAlMg-3 Φ 1.2mm 焊丝。

表 5-133 2A11(LY11)花纹板焊接接头拉伸试验结果

类别	R_m (MPa)	断裂位置	备注
2A11($\delta=3\text{mm}$)	225	—	母材
2A11($\delta=3\text{mm}$) + SAlMg-3 Φ 1.2mm	201	母材	焊接接头
2A11($\delta=3\text{mm}$) + SAlSi Φ 1.6mm	141	母材、熔合线	焊接接头

3. 铝合金花纹板熔化极惰性气体保护焊焊接工艺要点

(1) 铝合金花纹板焊接方法为熔化极惰性气体保护焊。

(2) 焊接设备是 ESAB 公司 A10-500 型半自动气体保护焊焊机,电源极性直流反接。

(3) 焊接材料为焊丝 SAlMg-3 Φ 1.2 mm, 氩气纯度应大于 99.95%。

(4) 对接接头坡口型式 I 型,坡口间隙 0 ~ 0.5mm,花纹板水平放置,花纹面朝上。

(5) 焊接规范参数: $I = 88 \sim 96 \text{ A}$, $U = 20.7 \sim 21.3 \text{ V}$, $v = 40 \sim 45 \text{ cm/min}$, 线能量 $E \leq 3 \text{ kJ/cm}$, 保护气体流量 15 ~ 20 l/min, 焊丝干伸长 15 ~ 20mm。

(6) 焊接位置为水平焊,焊接方向为左向焊。

(7) 铝合金花纹板焊接区氧化膜清理范围, 应包括离坡口 100mm 的区域,并在清理后 24 小时内施焊。

(8) 使用与母材同材质的引弧板、收弧板,其外形尺寸应大于

100mm × 100mm。

(9) 采用外加载荷,控制焊接变形。用厚钢板压,垫铝合金花纹板,并强制成形。

(10) 在焊接过程中发生停焊现象,应修磨接头区域,然后再焊。

(11) 点固焊质量要求与正式焊缝相同,间距为 200mm,点固焊长度 50mm。

(12) 焊后质量检查,不允许有裂纹、气孔、焊瘤、未焊透等焊接缺陷,如发现缺陷,应进行返修。

(13) 焊缝尺寸要求,焊缝余高 1.5 ~ 3mm,焊缝宽度 8 ~ 11mm,焊接接头背面的凸起部位应修磨平整。

(14) 焊后清理工件上飞溅、氧化物,露出金属光泽,去除引弧板、收弧板。

二十二、火力发电厂输电铝母线对接焊的焊接技术及施工

1. 输电铝母线的材料性能和焊接基本条件

在火力发电厂内,发电机引出线为高压输电线路,一般采用多组铝母线或铜母线。国内某发电厂 6kV 高压三相输电线路采用高架多组铝母线,为了确保输电工作的正常进行和输电安全,单相输电线路采用 9 排(分为三组)铝母线,三相输电线路共有 27 排铝母线,单排铝母线需要 6 道对接焊缝进行串联连接,累计需要完成 160 余道对接焊缝。

一般铝母线的材料为纯铝 1060(L2),单排铝母线的断面尺寸规格为 125mm × 10mm。纯铝 1060(L2)板材的化学成分见表 5-134,其力学性能见表 5-135。

表 5-134 纯铝 1060 板材的化学成分(质量分数) (%)

试验项目	Mg	Mn	Cu	Zn	Fe	Si	V	Ti	Al
保证值	≤0.03	≤0.03	≤0.05	≤0.05	≤0.35	≤0.25	≤0.05	≤0.03	≥99.6

表 5-135 纯铝 1060 板材的力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	γ (g/cm ³)
保证值	130	125	6	2.80

由于铝母线要输送高压电, 必须保证焊接接头具有良好的导电性和足够的导电面积, 所以要求铝母线焊接接头中焊缝与母材熔合良好, 而且不得产生焊接裂纹。同时由于输电过程中, 导体中的同向电流将使铝母线产生强烈的排斥力, 引起铝母线震荡, 所以输电铝母线的焊接接头应有一定的强度。

2. 输电铝母线的焊接试验及焊接材料的选择

(1) 输电铝母线的焊接熔合试验

在输电铝母线的焊接熔合试验中, 进行了对接焊缝、角焊缝试验。试验表明, 当铝母线板厚达到 10mm、焊前不进行预热时, 母材熔合线出现严重的未熔合, 而且断面上氧化现象严重。要在现有焊接设备条件下, 采用焊接电流 160 ~ 180A 的规范参数, 保证焊接工艺性能稳定, 使对接焊缝熔合良好, 必须进行焊前预热。同时为了保证对接接头 V 型坡口的根部焊透和熔合, 应采用较大的坡口角度、一定的坡口间隙, 并使用焊接垫板。

(2) 输电铝母线的焊接材料选择

输电铝母线的焊接方法选择了效率较高的、操作方便的熔化极惰性气体保护焊。在选择焊接材料时, 选取焊丝强度高、送丝稳定的 SA1Mg-3 Φ 1.2mm 焊丝, 以保证熔化极惰性气体保护焊的焊接过程稳定、焊接接头具有较高的抗拉强度。

(3) 输电铝母线的焊接接头试验

采用熔化极惰性气体保护焊,使用 SAlMg-3 Φ 1.2mm 焊丝,在焊前预热,采用合理的坡口角度、坡口间隙,焊接位置为平焊,使用不锈钢作为垫板的工艺条件下,进行输电铝母线的焊接接头拉伸试验,焊接接头断裂于母材,并具有较高的强度;在与输电铝母线实际规格相同的模拟件试验中,也取得了一致的结果。

3. 输电铝母线的焊接工艺规程及现场施工

根据试验结果,结合焊接工艺经验,制定输电铝母线的焊接工艺规程如下:

- (1) 铝母线材质为纯铝板材,断面尺寸规格为 125mm \times 10mm。
- (2) 焊接方法为熔化极惰性气体保护焊。
- (3) 焊接设备:S-500 半自动气保焊机,电源极性直流反接。
- (4) 焊接材料:焊丝 SAlMg-3 Φ 1.2mm 或 SAlSi Φ 1.2mm,氩气纯度应大于 99.95%。
- (5) 对接接头的坡口型式为 V 型坡口,坡口间隙 5 ± 2 mm,坡口角度 $70^\circ \sim 100^\circ$,焊接坡口采用角向磨光机制备。
- (6) 焊接规范参数: $I = 160 \sim 180$ A, $U = 20 \sim 26$ V,保护气体流量 $15 \sim 20$ l/min,焊丝干伸长 $15 \sim 20$ mm。
- (7) 焊接位置视对接接头位置确定,水平位置采用平焊,垂直位置采用横焊。焊接方向为左向焊。
- (8) 铝母线焊接接头周围 100mm 范围,应清理水、油污等杂物,并保持清洁。
- (9) 使用不锈钢材料的垫板,其外形尺寸 300 mm \times 200 mm \times 6mm。
- (10) 装配时采用外加夹紧工具,控制坡口间隙和对中位置。
- (11) 焊前局部预热,预热温度 $T \geq 250^\circ\text{C}$ 。
- (12) 采用多层多道焊,要求焊缝成形美观,余高 $1 \sim 3$ mm。
- (13) 焊接质量检查,不允许有裂纹、未熔合、未焊透、密集型

气孔、夹渣等缺陷,咬边深度不得超过 1mm,且总长度不得超过焊缝总长度的 20%。

(14) 在高架结构上工作,应执行高空施工安全的相关规定。

执行输电铝母线的焊接工艺规程,进行输电铝母线的现场焊接施工,完成了铝母线 160 余道对接焊缝的焊接,通过了业主和监理方的联合验收,保证了 6kV 高压三相输电线路的正常使用。

二十三、低合金锻体表面堆焊奥氏体不锈钢耐蚀层的焊接材料的选择

1. 堆焊奥氏体不锈钢耐蚀层常见的问题

由于奥氏体不锈钢有耐腐蚀、抗冷裂能力强等许多优点,同时又因其造价高、贵重金属消耗量大等经济方面原因,奥氏体不锈钢与结构钢联合使用的情况越来越多。常见的技术有采用复合钢板、采用耐蚀层堆焊、采用机械连接等,其中耐蚀层堆焊方法主要有焊条电弧焊、气体保护焊、丝极或带极埋弧焊等。

在进行压力容器法兰设计时,根据工作环境要求,需要在 20MnMo 锻件法兰的工作面镶嵌一个奥氏体不锈钢耐蚀环;但考虑具体施工条件,又将设计改为在 20MnMo 锻件上进行奥氏体不锈钢耐蚀层的堆焊,因为堆焊面积较小,故堆焊方法选用焊条电弧焊。

因为缺乏对焊接工艺的了解,同时希望耐蚀层工作面化学成分为含铬 18%、含镍 9%的奥氏体不锈钢,设计人员在选择焊接材料时确定了 E308-16(A102)焊条。虽然这种焊条熔敷金属化学成分和力学性能均为典型的奥氏体不锈钢,但却没有考虑焊接冶金反应的影响和作用,没有考虑母材对焊缝金属的稀释作用,从而使得堆焊耐蚀层打底焊时,其焊缝金属极易形成马氏体组织,改变了打底层性能,甚至产生了裂纹。可见因其局部焊接材料选择不合理,可能导致焊接工艺难以实施。

2. 堆焊奥氏体不锈钢耐蚀层的焊接材料的选择

在合金锻件上堆焊奥氏体不锈钢耐蚀层的问题属于异种金属焊接问题，通常要借助舍夫勒组织图进行研究。舍夫勒组织图见图 5-21。

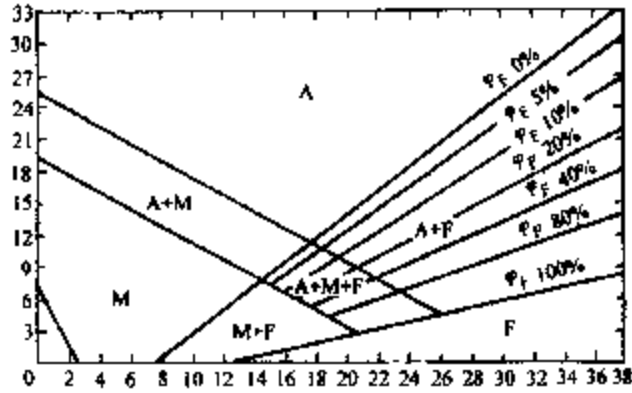


图 5-21 舍夫勒组织图

要确定每种材料在舍夫勒组织图中的位置，必须掌握其铬、镍当量，也就必须了解每种材料的化学成分。几种材料的铬、镍当量见表 5-136。

表 5-136 几种材料及堆焊层铬、镍当量计算结果(质量分数) (%)

材 料	Creq	Nieq	组织特征
20MnMo 锻件	0.98	7.68	M
1Cr18Ni9Ti 母材	20.8	13.0	A+F
E308-16(A102)焊条熔敷金属	21.6	13.4	A+F
E309-16(A302)焊条熔敷金属	25.6	18.5	A+F
E310-16(A402)焊条熔敷金属	28.4	24.6	A
E308-16(A102)焊条打底层 (母材熔合比 30%)	15.4	11.7	A+M
E309-16(A302)焊条打底层 (母材熔合比 30%)	18.2	15.3	A
E310-16(A402)焊条打底层 (母材熔合比 30%)	20.2	19.5	A

从表 5-136 中可以看出,由于母材的稀释作用,使焊缝的成分和组织都发生了很大变化。通过选择焊接材料并控制母材熔合比,能在一定的范围内调整焊缝的成分和组织。在 20MnMo 锻件上直接堆焊 E308-16(A102)焊条,其打底层会产生马氏体组织,并因此影响堆焊层的性能。采用 E309-16(A302)和 E310-16(A402)焊条均可得到奥氏体组织,而 E310-16(A402)焊条的打底层,其铬、镍当量更接近并且高于 E308-16(A102)焊条熔敷金属和 1Cr18Ni9Ti 母材,所以 20MnMo 锻件堆焊的打底层焊接材料应选择 E310-16(A402)焊条,而不是 E308-16(A102)焊条。但在其后的各层奥氏体不锈钢耐蚀层堆焊中,应选择 E308-16(A102)焊条作为堆焊焊接材料。

3. 堆焊奥氏体不锈钢耐蚀层试验

根据 JB 4708—2000《钢制压力容器焊接工艺评定》,耐蚀层堆焊试样主要检验项目有渗透探伤、弯曲试验和化学成分分析。

在理论分析基础上,选择三个以焊接材料选择为核心的堆焊工艺方案,即在 20MnMo 钢板($\delta=30\text{mm}$)上,采用三种不同焊接材料组合堆焊 5mm 左右的不锈钢耐蚀层。考虑到 20MnMo 钢的焊接性,打底焊时,将 20MnMo 钢基层预热 150°C ,其试样弯曲试验和金相试验结果见表 5-137。其中试件 1 开裂是由于打底层产生了硬脆的马氏体组织;而试件 2 开裂是属于奥氏体不锈钢热裂纹;只有试样 3 没有开裂,这是因为采用 E310-16(A402) $\Phi 2.5\text{mm}$ 焊条打底焊可以控制母材熔合比,并减少母材预热造成的打底层焊道奥氏体晶粒粗大,充分利用第二层焊道的重新熔化,形成细小的奥氏体组织。

采用表面着色探伤法对试件 3 逐层探伤,未发现裂纹等焊接缺陷。其盖面层化学成分试验结果见表 5-138,而铬当量与 1Cr18Ni9Ti 母材相当。

表 5-137 弯曲试验和金相试验结果

试件编号	堆焊层数	焊接材料	弯曲试验 ($d=4S$ $\alpha=180^\circ$)	金相试验 $\times 50$
试件 1	3	E308-16 (A102) $\Phi 4\text{mm}$	打底层开裂	打底层有多道微裂纹
试件 2	3	E310-16 (A402) $\Phi 4\text{mm}$	盖面层开裂	盖面层有多道裂纹
试件 3	1	E310-16 (A402) $\Phi 2.5\text{mm}$	无裂	晶粒细小
	2	E310-16 (A402) $\Phi 4\text{mm}$	无裂	
	3	E308-16 (A102) $\Phi 4\text{mm}$	无裂	

表 5-138 化学成分试验结果 (质量分数) (%)

C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Creq
0.10	1.21	0.72	0.009	0.026	18.94	9.73	20.0

4. 合金锻件上堆焊奥氏体不锈钢耐蚀层工艺要点

- (1) 20MnMo 锻件堆焊表面应去除铁锈、油污等杂物。
- (2) 20MnMo 锻件打底焊前预热, 预热温度 $T \geq 150^\circ\text{C}$ 。
- (3) 采用水平向右焊操作。直流弧焊电源, 直流反接。
- (4) 打底焊时焊条不宜摆动, 焊道搭接量不少于焊道宽度的 1/3。
- (5) 打底焊焊接材料为 E310-16 (A402) $\Phi 2.5\text{mm}$, 焊接电流 $I = 70\text{A}$ 。
- (6) 第二层焊道 (简称过渡层) 焊接材料为 E310-16 (A402) $\Phi 4\text{mm}$, 焊接电流 $I = 150\text{A}$ 。
- (7) 从过渡层开始, 到以后各层焊缝, 堆焊件应控制层间温度 $\leq 150^\circ\text{C}$ 。
- (8) 第三层及其以上各层焊缝的焊接材料均为 E308-16 (A102)

Φ4mm,焊接电流 $I = 150A$ 。

(9) 耐蚀层堆焊后进行消应力热处理,保温温度 $570^{\circ}C$,保温时间 5 小时,随炉冷到 $400^{\circ}C$,出炉空冷。

(10) 工件切削加工后进行着色探伤,不得有裂纹、剥离、未熔合等缺陷。

二十四、中硬度高温阀门密封面的堆焊技术

阀门是用来改变介质通路断面和流向、控制输送介质运动的装置。阀门密封面的设计与制造是阀门生产的核心。目前高质量的阀门大多用堆焊技术制造密封面,为了提高阀门的使用寿命,主要从密封面堆焊材料和堆焊工艺等方面进行研究。

1. 中硬度高温阀门密封面堆焊的技术要求

中硬度高温阀门主要指加压气化炉炉体下部的密封阀门,其灰锁阀门是排放灰渣的必经通道,工作压力 $3MPa$,工作温度 $450^{\circ}C$ 左右,工作时承受煤灰渣、煤气及其他有害气体介质的冲刷、腐蚀。阀门在开闭时,阀芯、阀座撞击力量较大,因此对灰锁阀门密封面有较高的硬度、韧性、耐蚀性等要求。

自 20 世纪 60 年代以来,灰锁阀门密封面多采用 $EDCrNi-B-15(D547Mo)$ 焊条或钴基合金焊条堆焊,但使用寿命均不太长,而且造价高;堆焊时预热温度要在 $400 \sim 500^{\circ}C$ 之间,劳动条件恶劣。有些国家采用埋弧焊堆焊技术制造阀门密封面,使用了不锈钢焊丝和碱性烧结焊剂等焊接材料,阀门密封面堆焊金属的金相组织为铁素体 + 少量马氏体双相不锈钢组织,维氏硬度 $HV280 \sim HV320$,使用寿命较长,而且不用高温预热,劳动强度较低,代表了灰锁阀门制造技术的方向。

2. 中硬度高温阀门密封面堆焊焊接材料的选择

为了得到高性能的堆焊阀门密封面,综合考虑各种焊接方法

其焊接材料，选择了药芯焊丝埋弧焊焊接工艺。这主要是由于：其一，考虑国外采用埋弧自动焊堆焊阀门密封面；其二，如果采用药芯焊丝、烧结焊剂的组合更容易实现堆焊阀门密封面的技术要求，缩短焊接材料研制时间和难度。针对阀门密封面堆焊工艺，国内某单位研制了金属型无缝药芯焊丝，牌号 FDKFY $\Phi 3\text{mm}$ ，并配合选用了碱性烧结焊剂，牌号 HJ1#。焊剂焊前进行烘干，烘干温度 350°C ，保温时间 2 小时。无缝药芯焊丝的特点为：

(1) 药芯焊丝与烧结焊剂的配合，使得焊缝金属合金化、焊接工艺性能等要求易于实现。药芯焊丝、烧结焊剂可以分别承担焊缝金属合金化、保护熔池等功能，从而降低了药芯焊丝的多种技术要求，使其更容易开发，缩短了研制周期，并可以采取小批量多配方的研制方法。

(2) 增加了埋弧焊焊接材料品种，加强了堆焊工艺手段的适应性。高合金材料因硬度高、脆性大，虽能冶炼，但不能拉拔成丝，而无法生产出所需合金成分的实芯焊丝，因此限制了埋弧焊的应用。而采用药芯焊丝，可根据要求添加所需的组成，生产出含有一定合金元素的药芯埋弧焊丝，这样也就为高合金金属的埋弧堆焊创造了条件。

(3) 无缝药芯焊丝的药粉不易吸潮，易于保管存放。无缝药芯焊丝挺度好，易于保证焊接工艺性能。

(4) 无缝药芯焊丝的导电面积小，可以在较小规范下正常焊接，这有利于合金元素向焊缝中过渡，并减少合金元素的烧损。同时较小的焊接热输入将有利于焊接热影响区性能的变化。

3. 中硬度高温阀门密封面的堆焊试验

中硬度高温阀门密封面的堆焊试验采用 Q345B 钢板，并采用无缝药芯焊丝 FDKFY $\Phi 3\text{mm}$ 和碱性烧结焊剂 HJ1#，进行单道或多层多道堆焊。

(1) 焊接工艺性能和抗裂性试验

在堆焊过程中,焊接电弧燃烧稳定,烟尘小,采用较小焊接电流,较慢焊接速度,焊道成形美观,脱渣性好,熔渣尚在发红时即可整条脱落,没有残留扒渣,具有良好的焊接工艺性能。着色探伤检查单道及多道堆焊试板,均未发现结晶裂纹、弧坑裂纹等焊接缺陷,表明焊缝金属具有良好的抗裂性能。

(2) 堆焊金属化学分析

无缝药芯焊丝 FDKFY 和焊剂 HJ1# 堆焊金属化学成分试验结果见表 5-139,可见堆焊金属中含有一定量的铬、钼、锰高温强化元素,而且还添加了钛、铌、钒等微量合金元素,这些元素提高了堆焊金属耐磨性并有效地解决了裂纹问题。

表 5-139 堆焊金属化学成分试验结果(质量分数) (%)

C	Mn	Si	S	P	Cr	Mo	Ti	Nb	V
0.16	1.01	0.75	0.020	0.018	16.92	1.08	0.02	0.019	0.07

(3) 堆焊金属金相组织分析

无缝药芯焊丝 FDKFY 和焊剂 HJ1# 堆焊金属的金相组织为马氏体 + 铁素体组织。

(4) 堆焊金属硬度试验

采用三种不同的焊后热处理工艺,并进行硬度试验,其试验结果见表 5-140,以焊态硬度值为最高;经过保温温度 580℃,保温时间 2 小时的消应力热处理,其硬度为 HV312 ~ HV322。

表 5-140 堆焊金属硬度试验

试样编号	硬度值(HV10)	焊后热处理状态
A试样	383 ~ 409	焊态
B试样	311 ~ 351	保温温度 350℃,保温时间 2 小时,然后缓冷

试样编号	硬度值(HV10)	焊后热处理状态
C试样	314 ~ 322	保温温度 580℃,保温时间 2 小时,然后缓冷

4. 中硬度高温阀门密封面堆焊工艺要点

- (1) 焊接方法为埋弧自动焊。
- (2) 焊接设备为 MZ-1-1000 埋弧焊机,直流反接。
- (3) 焊接材料为药芯埋弧焊焊丝 FDKFY $\Phi 3\text{mm}$;碱性烧结焊剂为 HJ1#,焊前进行烘干,保温温度 350℃,保温时间 2 小时。
- (4) 焊接坡口采用切削加工制备。
- (5) 清理焊接堆焊区油污、铁锈及其他杂物。
- (6) 利用焊接变位器调节施焊位置为平焊。
- (7) 焊接预热温度 $T \geq 150^\circ\text{C}$ 。
- (8) 焊接规范参数: $I=240 \sim 260\text{A}$, $U=26 \sim 28\text{V}$, $v=18 \sim 21\text{cm/min}$ 。
- (9) 层间温度在 150 ~ 200℃之间。
- (10) 后热处理的保温温度 350℃,保温时间 2 小时,并缓冷。
- (11) 焊后消应力退火处理的保温温度 580℃,保温时间 2 小时。
- (12) 焊后采用磁粉或着色探伤方法检查堆焊层质量,不得有裂纹、气孔等焊接缺陷。
- (13) 堆焊层金相组织为马氏体 + 铁素体。
- (14) 堆焊层硬度要求: $\geq \text{HV}300$ 。

二十五、斗轮式挖掘机复合铲齿堆焊技术分析与应用

1. 斗轮式挖掘机铲齿的加工工艺简介

挖掘机是露天矿山采掘、道工、物料运输的主要设备,大型斗

斗轮式挖掘机多用于露天矿山的连续采掘，小型斗轮式挖掘机多用于码头物料运输。挖掘机铲齿安装在斗轮式挖掘机铲斗的前端，与物料的直接接触极易造成铲齿的磨损，是斗轮式挖掘机设备的主要消耗零件。因为铲齿接触的物料不同，磨损和失效方式不同，所以铲齿的寿命和结构形式也各不相同，铲齿使用寿命与物料种类、颗粒大小、硬度、采掘参数及铲齿制造材料、工艺、质量等相关因素有关。

挖掘机铲齿制造时，一般具有批量大、形状简单、采用耐磨材料等特点，通常采用铸造成形为基础工艺，既有采用整体耐磨材料铸造，也有采用在普通铸件表面进行预保护耐磨层堆焊工艺。

2. 斗轮式挖掘机铲齿堆焊技术的特点

随着功能材料科学的发展与应用，以及技术性能与生产成本的综合要求，金属材料的复合制造技术使用的越来越多。挖掘机复合铲齿的预保护方法就是采用堆焊方法，利用表面耐磨材料，保护基体材料，延长零件使用寿命，降低制造成本，实现良好的功能价值比，达到人类合理利用资源的最佳效果。

目前生产中常用的堆焊方法有焊条电弧焊、气体保护焊、埋弧自动焊、钨极氩弧焊等方法。挖掘机铲齿的堆焊，金属硬度要求大于 HRC50，堆焊层为两层，堆焊层厚度要求达到 5mm。堆焊区域为铲齿前部 100mm 的正面、侧面和底面。

3. 斗轮式挖掘机铲齿堆焊焊接材料的选择及焊接工艺试验

因为大型斗轮式挖掘机采掘工作量大，磨料多为矿石、煤炭等，斗轮式挖掘机铲齿的工作条件十分恶劣，一般结构材料很难满足要求，必须对铲齿预保护复合堆焊技术进行研究。铲齿基体为 ZG20Mn 铸件，ZG20Mn 铲齿的调质处理工艺：淬火 900℃ + 回火 280℃，硬度为 HBS197 ~ HBS229，堆焊后还要在铲齿后侧加工定位销孔。ZG20Mn 的化学成分见表 5-141。

表 5-141 ZG20Mn 的化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo
保证值	0.17~0.24	0.17~0.37	0.70~1.00	≤0.035	≤0.035	≤0.25	≤0.25	≤0.25
一般值	0.21	0.30	0.80	0.026	0.030	0.01	0.08	0.05

铲齿堆焊工艺要点:

(1) 堆焊焊接方法,采用了焊条电弧焊、CO₂ 气体保护焊。

(2) 堆焊焊接材料为堆焊焊条 EDPCrMo-A4-03(D 212)Φ4mm 及药芯焊丝 KY 9-2 Φ1.6 mm。EDPCrMo-A4-03 是钛钙型药皮的铬钼堆焊焊条,用于打底堆焊,其堆焊金属化学成分见表 5-142。KY9-2 是金属型有缝药芯焊丝,采用 CO₂ 气体保护,堆焊金属中含有一定的 WC 硬点,焊后空冷堆焊层硬度 ≥HRC55,用于堆焊工作面。

表 5-142 堆焊金属化学成分(质量分数) (%)

堆焊焊条	C	Cr	Mo
EDPCrMo-A4-03	0.30 ~ 0.60	≤5.00	≤4.00

(3) 堆焊焊接设备采用可控硅整流焊机,直流反接。焊条电弧焊焊机型号 ZX-400B,CO₂ 气体保护焊机型号 XC-500。

(4) 堆焊前,采用氧-乙炔火焰预热铸件,预热温度在 T=100 ~ 150℃之间,层间温度 200℃,焊后缓冷。

(5) 铲齿堆焊焊接规范参数见表 5-143,堆焊两层。

表 5-143 铲齿堆焊焊接规范参数

堆焊过程	焊接电流 (A)	焊接电压 (V)	气体流量 (l/min)	焊丝干伸长 (mm)
第一层(焊条电弧焊)	170 ~ 180	22 ~ 24	—	—
第二层(CO ₂ 气体保护焊)	240 ~ 300	25 ~ 30	15 ~ 20	20 ~ 25

(6) 焊道搭接 $1/2$, 堆焊厚度共计为 5mm。

(7) 焊接位置为平焊。

执行铲齿堆焊工艺要点, 进行堆焊试验, 堆焊层硬度检测为 HRC62。铲齿基体着色探伤检查, 未发现裂纹, 铲齿堆焊区外观检查无气孔、夹渣等焊接缺陷。

4. 斗轮式挖掘机铲齿堆焊技术的应用

根据铲齿堆焊工艺要点组织生产, 先后完成铲齿堆焊 200 件, 并经过矿山 1 000 小时工业性试验达到产品技术要求, 延长了斗轮式挖掘机铲齿的工作时间, 保证维修周期和采掘工作顺利进行, 从而实现了斗轮式挖掘机铲齿预保护堆焊技术的国产化。

通过挖掘机铲齿预保护堆焊技术的开发与应用实例, 说明了预保护堆焊技术在提高机械产品使用性能方面发挥了重要作用, 今后在实际生产中将具有更为广阔的应用前景, 可以为大型重点工程建设和国民经济发展做出贡献, 取得良好的经济效益。

二十六、大型锻压设备活动柱塞表面的预保护堆焊技术

1. 大型锻压设备主要零件的加工特点

一般大型锻压设备主要零件有工作缸体、活动柱塞、立柱等零件, 其加工工艺具有很强的技术特征。通常工作缸体、活动柱塞、立柱均采用锻造、热处理、焊接、切削加工等多道工序加工, 周期长, 造价高, 是锻压设备中的核心零件, 也是锻压设备的设计、制造的重点, 其加工精度、生产周期、制造成本决定了锻压设备的功能、寿命、制造价格等设备指标, 也反映了锻压设备的机械制造水平。

大型锻压设备工作缸体与活动柱塞是锻压设备工作时的主要传力和移动部件, 一般活动柱塞工作时, 处于高温、高压、蒸汽腐蚀等工况环境, 要求其表面具有耐磨损、耐腐蚀、耐冲击等性能。活动

柱塞表面复合强化的设计及工艺,一般采用表面堆焊高合金金属的方法,保护基体材料,延长零件使用寿命,降低制造成本。

2. 活动柱塞表面堆焊焊接材料的选择

(1) 活动柱塞基体材料技术条件

一般活动柱塞基体材料为 35 钢或 45 钢等中碳钢锻件,根据 GB/T 699—1988《优质碳素结构钢技术条件》,柱塞基体材料的化学成分、力学性能分别见表 5-144、表 5-145;其中 35 钢、45 钢的力学性能数据,采用试样毛坯尺寸为 25mm。一般活动柱塞毛坯断面尺寸比较大,所以其力学性能数据要有所降低。

表 5-144 柱塞基体材料化学成分(质量分数) (%)

钢 材	C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	S	P
35 钢	0.32 ~0.40	0.50 ~0.80	0.17 ~0.37	≤0.25	≤0.25	≤0.25	≤ 0.035	≤ 0.035
45 钢	0.42 ~0.50	0.50 ~0.80	0.17 ~0.37	≤0.25	≤0.25	≤0.25	≤ 0.035	≤ 0.035

表 5-145 柱塞基体材料力学性能

钢 材	R_m (MPa)	R_{el} (MPa)	A (%)	Z (%)	A_{KV} (J)	热处理状态
35 钢	530	315	20	45	55	正火 870℃ + 回火 600℃
45 钢	600	355	16	40	39	淬火 840℃ + 回火 600℃

(2) 活动柱塞堆焊焊接材料选择试验

活动柱塞表面要求具有耐磨损、耐腐蚀、耐冲击等性能,表面进行 Cr13 型马氏体不锈钢堆焊,堆焊层硬度要求 \geq HRC42,堆焊层厚度达到 3mm,可以同时满足其多方面的要求。

通过试验得出的 Cr13 型不锈钢堆焊层表面硬度与所用焊丝含碳量的经验公式为：

$$\text{HRC} = 576.65 C^2 - 70.43 C + 37.1$$

根据活动柱塞表面堆焊层硬度 $\geq \text{HRC}42$ 的设计要求,按照公式计算得出所用焊丝含碳量应为 0.17%, 为此选用了 H2Cr13 焊丝,其化学成分见表 5-146。埋弧焊焊剂可选择烧结焊剂 SJ101。活动柱塞边缘和局部尺寸不足区域,可采用焊条电弧焊方法补焊,焊条可选用与 H2Cr13 成分相近的 EDCr-A2-15(D507Mo)。

表 5-146 H2Cr13 焊丝化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni
标准值	0.16 ~ 0.24	0.30 ~ 0.60	0.30 ~ 0.60	\leq 0.030	\leq 0.030	12.0 ~ 14.0	≤ 0.60
检测值	0.18	0.52	0.49	0.028	0.021	12.74	—

(3) 活动柱塞堆焊工艺试验

采用 45 钢试板进行埋弧自动焊平板堆焊试验,堆焊层表面硬度与预热温度、消应力处理温度有很大关系。焊前预热对控制冷裂纹有明显作用,但温度过高,堆焊层硬度下降,所以一般选择在 150 ~ 200℃之间。当消应力处理的保温温度为 450℃时,硬度较为稳定;当保温温度达到 550 ~ 650℃时,硬度明显下降。可见,预热温度、消应力处理以及焊接规范参数对堆焊质量有较大影响。

采用 35 钢热轧试板($\delta=50\text{mm}$)进行埋弧自动焊平板堆焊试验,焊接材料为 H2Cr13 $\Phi 4\text{mm}$ 和 SJ101。焊前试板预热 150 ~ 200℃,焊接规范参数见表 5-147,堆焊两层。焊后进行 250℃ 保温 2 小时后热处理,再进行 450℃保温 4 小时消应力处理。经表面着色探伤检查,堆焊层未发现裂纹。将堆焊层厚度加工成 3mm,进行表面硬度试验,试验结果平均为 HRC44。

表 5-147 埋弧自动焊平板堆焊焊接规范参数

堆焊过程	焊接电流(A)	焊接电压(V)	焊接速度(cm/min)	线能量(kJ/cm)
第一层	470 ~ 480	37	22	28.5
第二层	540 ~ 550	39	16.5	35.1

3. 锻压设备活动柱塞表面预保护堆焊工艺的应用

某型锻压设备工作柱塞示意图见图 5-22,其工作柱塞直径为 1 000mm,重量达 16 吨。由于零件尺寸大,堆焊面积也大,所以采用焊接变位机。选用埋弧自动焊,焊丝为 H2Cr13 Φ 4mm,并配合碱性烧结焊剂。焊前预热 150 ~ 200℃,焊道搭接量为 6 ~ 10 mm,焊后热处理 250℃保温 2 小时并缓冷,经 450℃保温 12 小时消应力退火热处理,切削加工并保留厚度 3mm 的堆焊层。堆焊层加工后进行表面着色探伤检查,硬度试验结果为 HRC44。采用活动柱塞表面预保护堆焊工艺已成功地制造了多台大型锻压设备的活动柱塞,其使用寿命明显高于 45 钢表面淬火工艺制造的活动柱塞。

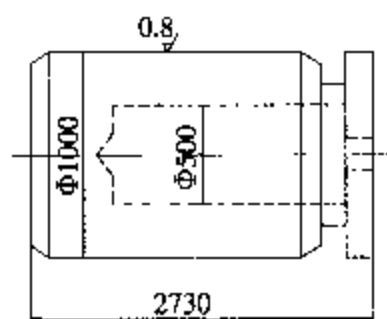


图 5-22 工作柱塞示意图

二十七、碳素结构钢上堆焊耐磨铝青铜的焊接技术

1. 铝青铜的特点

GB 5233—1985 中牌号为 9-2 铝青铜和 9-4 铝青铜的代号分

别为 QAl9-2、QAl9-4；QAl9-2、QAl9-4 是在铝青铜基础上又添加了铁、锰等元素，使得铝青铜具有较高的强度、良好的耐磨性，主要用于制造高强度耐磨零件。铝青铜的强度、硬度、耐磨性都超过了锡青铜和黄铜，其抗腐蚀性能也比锡青铜和黄铜为优。常用于堆焊的 QAl9-4 铝青铜化学成分和力学性能见表 5-148。QAl9-4 铝青铜常用的物理性能见表 5-149。

表 5-148 QAl9-4 铝青铜化学成分和力学性能

牌 号	化学成分(质量分数)			力学性能			退火温度 (℃)
	Al(%)	Fe(%)	Cu(%)	R_m (MPa)	A (%)	HBS	
QAl9-4	8~10	2~4	基 体	490~588	40	110	700~750

表 5-149 QAl9-4 铝青铜的物理性能

密 度 (g/cm^3)	线膨胀系数 20℃ ($10^{-6}/K$)	导热系数 ($w/(m \cdot k)$)	熔 点 (℃)	线收缩率 (%)
7.5	16.2	58.52	1040	2.49

2. 结构钢上堆焊耐磨铝青铜存在的焊接问题

(1) 与基材金属熔合困难

铝青铜的导热系数比结构钢大，热量散失快，铝青铜焊丝熔点低，结构钢基材熔点高，易形成熔合不良等问题，因此必须将基材适当预热，以改善其堆焊焊道与基材的熔合状况。同时要求尽可能采用大能量、高能束的方法，如大功率熔化极惰性气体保护焊(MIG 焊)，提高焊丝、基材熔化能量。

(2) 在铜钢金属交界过渡区，化学成分复杂，易引起开裂

在铝青铜堆焊层与结构钢基材交界过渡区，由于成分的不均匀，如果含铝量达到 9%~10% 时，易产生脆化相 γ_2 ，诱发开裂。同时由于铜中杂质产生的低熔点共晶，极易引发焊缝及热影响区的热

裂纹,因此必须严格控制基材和焊接材料的化学成分及洁净程度。

(3) 堆焊焊道容易出现气孔

由于铝青铜自身的物理性能,在焊接过程中,铝青铜焊缝更容易产生气孔。由于氢在铜中的溶解度在液-固转变时有很大变化,因而氢在铜中的过饱和程度比钢焊缝大好几倍,易形成气孔。同时由于铝青铜导热系数比结构钢大,堆焊的铝青铜焊道冷却速度比较快,氢扩散逸出和 H_2O 上浮条件更恶劣,形成气孔的敏感性自然增大。所以为减少和消除焊缝中的气孔,主要措施是减少氢和氧的来源,尽可能减少焊丝和工件中不洁物,此外采用预热、控制层间温度来延长熔池存在时间,使气体易于析出。

(4) 氧化物对堆焊的影响

合金元素铝和氧亲和力强,氧化后生成 Al_2O_3 ,其熔点高达 $2030^{\circ}C$ 。当氧化物分布在熔化金属表面时,近千度的熔点差别严重影响了铝青铜焊丝熔化后与基材金属的熔合,使得堆焊层中形成夹渣、未熔合等严重缺陷,因此,如有可能在熔化极惰性气体保护焊(MIG 焊)时少量加入铝青铜钎剂,改善其脱氧性和去氧化膜的能力。

3. 结构钢上堆焊耐磨铝青铜焊接工艺要点

(1) 焊接方法为熔化极惰性气体保护焊。

(2) 焊接材料为铝青铜焊丝(洁净合格)QA19-4 $\Phi 1.6mm$;保护气体为氩气,其纯度 $\geq 99.98\%$;铝青铜钎焊焊剂。

(3) 焊接设备选用平特性气体保护焊机,额定电流 500A,直流反接。

(4) 堆焊工件焊前应清除毛坯表皮,露出金属光泽,并保持洁净。

(5) 采用辅助设备,尽可能实现自动焊接。

(6) 焊前将工件用远红外加热器局部预热,预热温度 $T \geq 200^{\circ}C$ 。

(7) 焊接层间温度 $200 \sim 250^{\circ}C$ 。

(8) 焊接规范参数: $I = 260A, U = 32V$ 。

(9) 自动焊接时,应使电弧处于合适的提前位置,保证焊接成形美观。

(10) 焊后工件后热温度 250 ~ 350℃,保温时间 2 小时,随后缓冷。

(11) 堆焊焊道搭接宽度为焊道宽度的 1/2 左右。

(12) 堆焊后层焊道前,应对上一层焊道表面进行严格清理。

(13) 注意气体保护效果,气体流量 15 ~ 20 l/min,焊丝干伸长 10 ~ 15mm。

(14) 施焊焊工应配置防毒面罩。

4. 结构钢上堆焊耐磨铝青铜实例

采用熔化极惰性气体保护焊堆焊耐磨铝青铜技术,进行轧机脱接滑轨、卷取机扇形板的平面堆焊和压机柱塞和空心轴、卷取机芯轴的圆柱面等多台设备滑动零件的耐磨堆焊。典型产品应用是在 40Cr 钢压机柱塞杆上堆焊铝青铜,基材硬度 HBS240 ~ HBS280,柱塞杆总长为 2 853mm,堆焊长度 145 mm,堆焊前将柱塞杆加工成 $\Phi 179$ mm。按照上述结构钢上堆焊耐磨铝青铜焊接工艺进行堆焊,堆焊后进行切削加工,并进行质量检查,没有发现裂纹、气孔、夹渣、未熔合等焊接缺陷,堆焊层与母材结合良好,在实际生产中使用良好。

二十八、连铸辊套表面堆焊耐磨层的试验与应用

1. 钢铁企业连铸生产工艺的基本情况

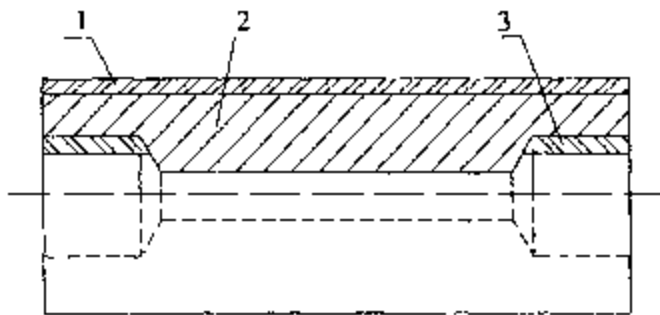
随着世界各国钢铁企业的大规模技术改造,国内许多企业引进宽板连铸、连轧成套设备。由于连铸生产工艺可以直接制造出钢坯,比传统的冶炼、浇铸、开坯、轧制生产方法,具有设备投资低、节约能源、成品率高、生产周期短等优点。

连铸生产工艺是将熔化的钢水经过结晶器冷却进行表面固化,再通过圆弧排列的连铸辊排传输通道,从而使垂直位置的钢坯转入水平运动,再由水平移动区域的拉校辊、夹送辊使钢坯保持一定速度的水平运动。

2. 连铸辊辊套的主要技术要求

由于连铸辊排是继结晶器之后,与表面固化的高温钢坯接触的轧辊,所以一般采用小直径轧辊,以密集排列方式支撑钢坯。工作时有多排连铸辊排组成传输通道,每排连铸辊是由一根主轴和若干辊套组成,每排连铸辊的辊套外径相同。辊套外表面直接与高温钢坯接触,此时高温钢坯温度在 $900 \sim 1100^{\circ}\text{C}$ 之间,使辊套外表面温度达到 $600 \sim 700^{\circ}\text{C}$,极易产生氧化,加上冷却水的喷淋会导致严重的水汽腐蚀;同时辊套外表面受到不间断的加热、冷却的温度变化,会产生热疲劳裂纹破坏;由于钢坯与氧化皮接触及辊套的滑动,使辊套外表面产生严重磨损。所以辊套是连铸设备中的主要消耗部件,辊套的修复和更换费用在连铸设备的保养费中占有一定的比例。

连铸辊辊套示意图见图 5-23。常见的连铸辊辊套有 $\Phi 230\text{mm} \times 618\text{mm}$ 、 $\Phi 230\text{mm} \times 468\text{mm}$ 、 $\Phi 250\text{mm} \times 618\text{mm}$ 、 $\Phi 250\text{mm} \times 468\text{mm}$ 、 $\Phi 250\text{mm} \times 386\text{mm}$ 等规格。辊套基体材料一般是 35CrMo、42CrMo 等中碳合金调质钢,这类钢材既可以实现较高的强度和硬度,又具有一定的耐热性能。



1—外表面堆焊层; 2—辊套基体; 3—内孔堆焊层

图 5-23 连铸辊辊套示意图

3. 连铸辊辊套耐磨层堆焊焊接材料的选择

(1) 轧辊堆焊焊接材料选择的主要原则

- 1) 使堆焊层能够满足轧辊的工作条件、性能要求。
- 2) 堆焊焊接材料具有较好的焊接性。
- 3) 堆焊项目具有一定的经济效益(综合价格、性能、寿命等因素)。

(2) 辊套堆焊焊接方法的选择

由于是使用 42CrMo 钢制造的连铸辊辊套,经常是使用一个周期后再进行堆焊;为了完全恢复辊套几何尺寸,应该分别在辊套外表面、内侧轴承定位孔进行堆焊。因为辊套堆焊面积较大,为了保持正常、持续的焊接过程,并获得稳定的焊接质量,必须采用自动化或机械化程度较高的施工设备进行堆焊,所以一般采用埋弧自动焊或半自动气体保护焊。由于辊套直径较小,考虑焊缝凝固成形、外观质量等因素,辊套堆焊焊接方法选择了焊丝直径为 $\Phi 1.6$ mm 的细丝埋弧自动焊和焊丝直径为 $\Phi 1.2$ mm 的药芯焊丝气体保护焊。

(3) 辊套堆焊焊接材料的选择

辊套外表面要满足承受高温氧化、水汽腐蚀、热疲劳、严重磨损等工况的综合要求。试验表明:要提高堆焊层金属的抗高温氧化和耐水汽冲蚀磨损,其含铬量应 $\geq 12\%$ 。为提高其耐磨性能,希望能使用硬度较高的马氏体组织。辊套外表面堆焊层材料一般为 Cr13 型材料,结合焊后切削加工的要求,选择细丝埋弧自动焊的焊接材料为实芯焊丝 H2Cr13 $\Phi 1.6$ mm,焊剂 HJ260 或 SJ101。

辊套内侧轴承定位孔的堆焊目的主要是恢复内孔尺寸和表面粗糙度,针对药芯焊丝 CO_2 气体保护焊方法,选择具有良好焊接工艺性能和切削加工性能、成形美观的酸性药芯焊丝;药芯焊丝 HR-YJ501 $\Phi 1.2$ mm 的焊接电弧稳定,飞溅少,脱渣容易,可用于辊套内侧轴承定位孔的堆焊。药芯焊丝 HR-YJ501 熔敷金属化学

成分及力学性能分别见表 5-150 和表 5-151。

表 5-150 药芯焊丝 HR-YJ501 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P
保证值	≤0.10	≤1.60	≤0.60	≤0.030	≤0.030
测试值	0.05	1.18	0.33	0.018	0.016

表 5-151 药芯焊丝 HR-YJ501 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	-20℃时 A_{KV} (J)
保证值	≥500	≥410	≥22	≥27
测试值	539	475	26	120; 100; 97

4. 连铸辊辊套耐磨层堆焊加工工艺分析及生产应用

(1) 连铸辊辊套耐磨层堆焊加工工艺分析

1) 辊套堆焊前的准备工作

采用切削加工方法车削去除辊套表面金属,进行磁粉或着色探伤和超声波探伤,确保辊套母材无裂纹等严重缺陷,并去除辊套表面金属疲劳层,将外径 $\Phi 230\text{mm}$ 、 $\Phi 250\text{mm}$ 的辊套分别加工成 $\Phi 224\text{mm}$ 、 $\Phi 244\text{mm}$ 。如果还有严重缺陷应再进行局部清理。

2) 辊套堆焊专用机床及焊接电源的调试

辊套堆焊前,应进行专用堆焊机床的调试。根据辊套外径结合焊接速度,测取机床转速,检查行走机械系统的可靠性。调节焊接电源参数,确定焊接规范参数。辊套装配定位时,应尽量使辊套中心与机床转动中心保持同心,减少辊套的中心摆动。

3) 焊接材料的准备

使用的焊剂应按要求进行烘干,熔炼焊剂 HJ260 和烧结焊剂 SJ101 焊前须经 $300 \sim 350^\circ\text{C}$ 烘干 2 小时。 H2Cr13 等实芯焊丝应进行除油、除锈处理,并检查使用的药芯焊丝和 CO_2 气体。

4) 焊前预热

辊套焊前预热是为了减少焊接区域的温度梯度，以降低母材及堆焊金属因温度场不均衡造成的内应力，保持堆焊金属硬度的均匀一致性，防止产生冷裂纹。预热温度的选择取决于辊套和堆焊金属的焊接性，主要由碳当量的数值确定，42CrMo 钢辊套堆焊的预热温度 $T \geq 300^{\circ}\text{C}$ 。同时为了保证预热的效果，最好采用整体预热的方式，而规格相同的辊套尽可能统一安排预热，可以提高生产效率。

5) 辊套的堆焊

一般先采用药芯焊丝 CO_2 气体保护焊堆焊两侧辊套内侧轴承定位孔，焊接一层，焊接电流 $I = 240\text{A}$ ，焊接电压 $U = 26\text{V}$ ， CO_2 保护气体流量 15 l/min ，焊道搭接量 3mm 。然后采用实芯焊丝 H2Cr13 $\Phi 1.6 \text{ mm}$ 与熔炼焊剂 HJ260 或烧结焊剂 SJ101 配合，进行埋弧自动焊的辊套外表面堆焊，焊接三层，每层堆焊焊缝高度 $1.5 \sim 2\text{mm}$ ，层间温度 $250 \sim 300^{\circ}\text{C}$ ，焊接电流 $I = 280\text{A}$ ，焊接电压 $U = 30\text{V}$ ，焊接速度 $240 \sim 300\text{mm/min}$ ，焊道搭接量 5mm 。焊接过程中发现的气孔、夹渣，应清理后重新焊接。

6) 辊套的后热处理

辊套的后热处理是为了减少堆焊金属及热影响区的氢含量，降低堆焊区的残余应力，保持堆焊金属硬度的均匀一致性，防止产生冷裂纹。辊套整体后热处理温度为 350°C ，保温时间 3 小时。

7) 辊套焊后切削加工

辊套冷却后，进行切削加工，其切削加工工序分为粗加工和精加工。粗加工的目的是使辊套外表面、内孔具有一定的粗糙度，以便进行表面探伤，同时可以检查堆焊层表面周围的焊接缺陷，如有气孔、夹渣等缺陷，可采用氩弧焊进行修补。精加工是根据辊套图纸进行成品加工，保证辊套的尺寸公差和粗糙度要求。

(2) 连铸辊套耐磨层堆焊加工工艺的生产应用

采用连铸辊套耐磨层堆焊工艺先后生产复合辊套数百件,耐磨堆焊层硬度均在 HRC45 ~ HRC48 之间,在实际使用中取得了良好的效果,满足了连铸生产的要求。连铸辊套耐磨层堆焊工艺既可以用于辊套的预保护复合金属制造,也可以用于辊套的修复。

二十九、大型铸铁件的焊接修复技术与工程应用

铸铁是应用较早的结构材料,许多机械设备的零件都采用铸铁制造,同时铸铁件的补焊修复仍是经常遇见的问题。

1. 铸铁的分类及其典型材料

铸铁是含碳量大于 2% 的铁碳合金,一般含有硅、锰元素及硫、磷杂质,有时还加入不同的合金元素,以便获得具有不同性能的铸铁。按碳在铸铁中存在的状态及形式的不同,可将铸铁分为灰铸铁、球墨铸铁、白口铸铁、可锻铸铁和蠕墨铸铁。

使用较多的铸铁有灰铸铁和球墨铸铁,如灰铸铁中的 HT150 (HT15-33) 符合 GB/T 9439—1988,球墨铸铁中的 QT500-7 (QT50-5) 和 QT600-3 (QT60-2) 符合 GB/T 1348—1988,以上三种典型铸铁都是比较常见的材料,三种铸铁化学成分、力学性能分别见表 5-152、表 5-153。

表 5-152 三种铸铁的化学成分 (质量分数) (%)

材 料	C	Mn	Si	S	P	Mg	Re
HT150	3.0 ~ 3.4	0.5 ~ 0.8	1.8 ~ 2.1	≤0.12	≤0.20	—	—
QT500-7	3.6 ~ 3.8	≤0.6	2.5 ~ 2.9	≤0.025	≤0.080	0.030 ~ 0.050	0.030 ~ 0.050
QT600-3	3.6 ~ 3.8	0.5~0.7	2.0 ~ 2.4	≤0.025	≤0.080	0.035 ~ 0.050	0.025 ~ 0.450

表 5-153 三种铸铁的力学性能

材 料	$R_m(\text{MPa})$	$R_{eL}(\text{MPa})$	$A(\%)$	HBS	主要金相组织
HT150	≥ 145	—	—	150 ~ 200	珠光体 + 铁素体
QT500-7	≥ 500	320	7	170 ~ 230	铁素体 + 珠光体
QT600-3	≥ 600	370	3	190 ~ 270	

2. 铸铁的焊接工艺特点及焊接材料的选用

(1) 铸铁焊接时的主要问题

1) 焊接接头易出现白口和淬硬组织。由于焊缝金属冷却速度快，不同于铸铁在型砂中的冷却速度，并有部分铸铁母材熔入焊缝，使焊缝的含碳量增高，热影响区的半熔化区和焊缝易产生马氏体淬硬组织，而母材易产生白口组织等性能较差的组织。

当焊缝化学成分为铸铁时，为了保证铸铁中的碳以石墨形式析出，避免产生白口铸铁，应采取适当的焊前预热工艺措施，减慢焊缝的冷却速度，调整焊缝化学成分，增强焊缝石墨化能力，防止母材中的碳过渡到焊缝中而产生马氏体组织。在冷却过程中铸铁能否析出石墨，主要取决于焊缝化学成分和冷却条件。

2) 铸铁焊接时，焊接接头易出现冷裂纹和热裂纹。冷裂纹通常在 400°C 以下出现，产生原因是由于铸铁塑性差和焊接拘束应力的共同作用。热裂纹是因低熔点共晶和结晶过程中焊接应力的作用产生的，与硫元素含量有关，多发生在采用镍基和低碳钢焊接材料的异质焊缝金属中。

(2) 铸铁焊接的工艺特点

铸铁的焊接工艺一般分为热焊、半热焊、冷焊三种工艺，不同的焊接工艺选用的焊接材料各不相同。

1) 铸铁热焊工艺是将铸铁件整体或局部预热至 $600 \sim 700^{\circ}\text{C}$ ，并在焊接过程中保持温度，焊后趁红热状态覆盖石棉粉或其他保

温材料,缓慢冷却,有利于石墨析出。热焊方法的优点是降低焊缝与母材的温差,从而降低焊接接头应力水平,有利于防止裂纹产生,避免产生白口及淬硬组织。

2) 铸铁半热焊工艺是将铸铁件整体或局部预热至 300 ~ 400℃,并在焊接过程中保持温度。半热焊方法改善了施工条件,降低了焊接成本,但焊缝抗裂性能下降。

3) 铸铁冷焊工艺一般焊前不进行预热,当环境温度较低或焊接拘束较大时,焊前可以预热 100 ~ 150℃,铸铁冷焊时往往要采用特殊的焊接材料和必要的工艺措施。

(3) 铸铁焊接时的焊接材料选择

1) 铸铁热焊和铸铁半热焊可以选用铸铁芯的同质焊缝焊接材料,如 EZC(Z248)、EZCQ(Z258) 焊条;或选用低碳钢芯的异质焊缝焊接材料,如 EZFe-2(Z100)、EZC(Z208)、EZCQ(Z238) 焊条。

2) 铸铁冷焊一般采用异质焊缝焊接材料,即焊缝化学成分与母材成分不相同,包括钢基、镍基和铜基三类焊接材料。如钢基焊条 EZV(Z116、Z117)、EZFe-2(Z122Fe),镍基焊条 EZNi-1(Z308)、EZNiFe-1(Z408),铜基焊条 EZNiCu-1(Z508)。

镍基焊条的焊缝硬度低,半熔化区白口组织薄,且呈断续分布,镍基焊缝的颜色与铸铁母材接近,使用比较广泛,但采用镍基焊条生产成本高。EZNi-1(Z308)焊条是纯镍焊芯,石墨型药皮,焊缝金属具有一定的强度和塑性,半熔化区白口宽度仅为 0.05mm,焊后可进行切削加工,主要用于切削加工表面的焊接。EZNiFe-1(Z408)焊条是镍铁合金焊芯,石墨型药皮,焊缝金属抗裂性能优于纯镍和镍铜焊条,半熔化区宽度为 0.1mm,焊缝金属抗拉强度高。EZNi-1(Z308)和 EZNiFe-1(Z408)镍基焊条的焊缝金属化学成分、力学性能见表 5-154。

表 5-154 EZNi-1、EZNiFe-1 焊条的焊缝金属化学成分、力学性能

焊接材料	化学成分(质量分数)(%)						力学性能	
	C	Mn	Si	S	Ni	Fe	R_m (MPa)	HBS
EZNi-1 (Z308)	≤2.0	≤1.0	≤2.5	≤0.030	≥90	≤8.0	240 ~ 390	120 ~ 170
EZNiFe-1 (Z408)	≤2.0	≤1.8	≤2.5	≤0.030	45 ~ 60	余量	390 ~ 540	150 ~ 210

3. 铸铁冷焊修复工艺与工程应用实例

(1) 铸铁冷焊常用的工艺措施

1) 采用焊条电弧焊焊接方法。
2) 焊接材料选用镍基焊条 EZNi-1(Z308)或镍铁合金焊条 EZNiFe-1(Z408)。

3) 焊前可以预热 100 ~ 150℃或不预热。

4) 采用小线能量、窄焊道焊接操作,减少稀释率,降低半熔化区白口层宽度。

5) 采取短段焊、断续焊、分散焊及焊后立即锤击焊缝等措施,降低焊接应力。

6) 选择合理的焊接方向和顺序。应掌握由刚度大的部位向刚度小的部位施焊原则,修复裂纹时焊接方向为从闭合的裂纹末端向裂纹的开口端进行分段焊接。

7) 可使用镶块补焊法,即在裂纹密集处或焊接填充量较大位置,可以将该部位清除,并镶入低碳钢板或其他焊接性能较好的材料,改变焊缝分布位置。

8) 可在焊接坡口面使用栽丝法,就是在母材坡口面上钻孔、攻丝,将低碳钢螺钉拧入,以螺钉为中心进行焊接,可以防止焊缝从母材上剥离,并提高承受冲击载荷的能力,多用于厚大铸铁件的补焊。

(2) 灰口铸铁镗床拖板的焊接修复实例

某型移动镗床在使用中,因意外撞击事故将灰口铸铁镗床拖板严重损坏,拖板出现大面积放射状裂纹,裂纹分布范围达 $550\text{mm} \times 2200\text{mm}$,裂纹最长达 2100mm ,深度达 30mm ,移动轨面严重变形,裂缝两侧错位达 5mm 。拖板材料为灰口铸铁 HT150 (HT15-33),从恢复机床精度考虑,采用了镍基焊条电弧冷焊工艺。

灰口铸铁镗床拖板的焊接修复工艺要点:

1) 为防止裂纹的进一步扩展,在每条裂纹尖端钻止裂孔,直径为 $\Phi 12\text{mm}$ 。

2) 采用千斤顶和自制矫正胎具,以移动轨面为基准,恢复轨面平面,并将拖板裂缝两侧顶压平齐、合口,检查拖板外形尺寸、形位公差。

3) 用丙酮清洗裂缝两侧及其周围 50mm 范围内的油污、杂物。

4) 采用碳弧气刨和角向磨光机清除裂纹,并制备焊接坡口,露出金属光泽,对坡口表面进行检查。

5) 采用焊条电弧焊焊接方法。

6) 焊前不预热,控制层间温度小于 60°C 。

7) 拖板裂纹焊接修复选用 EZNiFe-1(Z408) $\Phi 4\text{mm}$ 焊条,轨面裂纹焊接修复选用 EZNi-1(Z308) $\Phi 3.2\text{mm}$ 焊条。

8) 采用多层多道焊,焊接操作时不摆动,每次焊接 $10 \sim 30\text{mm}$,焊后用小锤锤击焊缝。

9) 在拖板处于机械固定状态下,先进行侧面坡口的焊接,焊后磨平焊缝,并采用补强板螺钉连接后焊接固定。然后再进行拖板正面放射状裂纹的逐条焊接修复,焊接到坡口深度的 $1/2$ 。此时距离裂纹中心部位 300mm 范围内的裂纹不用焊接。

10) 去除千斤顶和自制矫正胎具等辅助器材,并检查轨面精度。

11) 采用切削加工去除中心部位 $\Phi 330\text{mm}$ 的铸铁金属,形成通孔。另外加工材质为 Q235 的镶块法兰,板厚为 30mm。

12) 在拖板正面装配镶块法兰,将工件翻身,并完成反面焊缝的焊接。

13) 然后再将工件翻身,并完成拖板正面坡口的焊接,将焊缝表面打磨平整。

14) 焊后进行表面裂纹检查。

采用以上焊接工艺完成了灰口铸铁镗床拖板的焊接修复,实际使用效果良好,保证了镗床的顺利运行。

(3) 球墨铸铁水泥生料磨磨盘的焊接修复实例

某型立式水泥生料磨是从国外进口的水泥生产设备,在长期使用中生料磨磨盘边缘开裂,造成停产。磨盘材质为球墨铸铁,磨盘直径 $\Phi 3200\text{mm}$,重量达 31 吨,裂纹长度长达 3600mm,深度 180mm,边缘已裂通,裂缝最宽处达 40mm,并有大量的杂物。

修复时采用了镍基焊条电弧冷焊工艺,球墨铸铁水泥生料磨磨盘的焊接修复工艺要点:

1) 在裂纹的扩展方向钻制直径为 $\Phi 12\text{mm}$ 的止裂孔。

2) 用压缩空气和高压水枪反复清理裂缝区的矿石、杂物。

3) 采用氧-乙炔火焰加热,利用自制门型夹具和齿轮泵,尽可能使裂缝区复位、定位,恢复零件外观尺寸。

4) 采用碳弧气刨沿裂缝制备外侧焊接坡口,坡口角度为 70° ,平均深度为 65mm;制备内侧焊接坡口,坡口角度为 40° ,平均深度为 35mm。并用角向磨光机清除碳弧气刨层 3mm,清除坡口周围 30mm 范围内的锈蚀层,露出金属光泽。

5) 外侧焊接坡口内每边栽丝两排,呈交错排列,间距为 20mm,螺丝直径 $\Phi 10\text{mm}$,深度 15mm,高出坡口平面 3mm。

6) 准备材质为 Q235、尺寸为 $150\text{mm} \times 10\text{mm}$ (宽度 \times 厚度) 的钢板镶条若干件。

7) 采用焊条电弧焊焊接方法。

8) 焊接修复选用 EZNiFe-1(Z408) Φ 3.2mm 焊条,经 200℃ \times 1 小时烘干;选用 E5015(J507) Φ 3.2mm 焊条,经 350℃ \times 2 小时烘干。

9) 焊前预热,预热温度 $T \geq 50^\circ\text{C}$,并控制层间温度。

10) 裁丝完成后,用 EZNiFe-1(Z408)焊条,在外侧焊接坡口内焊接三层过渡层,每道焊缝长度不超过 100mm,焊接操作时不摆动。

11) 采用多层多道焊,焊缝交错搭接,分块跳焊,每焊一道立即锤击焊缝。

12) 外侧坡口焊接到坡口深度的 1/3,然后完成内侧坡口的焊接。

13) 随后在外侧坡口内立式装配、焊接 Q235 钢板镶条,焊接材料为 E5015(J507)焊条,以降低修复成本、减少焊接填充量,完成外侧坡口的焊接,并将焊缝表面打磨平整。

14) 焊后进行表面裂纹检查。

采用以上焊接工艺完成了球墨铸铁水泥生料磨磨盘的焊接修复,探伤检验合格,使用运行平稳,满足了实际生产要求。

三十、大型水压机立柱的焊接修复技术

1. 大型水压机立柱的技术条件及缺陷状况简介

国产 BDY-3150 型立柱式水压机本体结构为典型的“三梁四柱”结构,其中四根立柱是连接并支撑上、下横梁,实现活动横梁滑动导向,保证水压机实施压力加工的主要受力结构体。图 5-24 为 BDY-3150 型水压机立柱(以下简称立柱)示意图。

立柱主要技术条件:材料为 45 钢,锻件热处理状态为调质处理,重量 16 吨,立柱表面粗糙度 $R_a \leq 16\mu\text{m}$,圆度公差小于 0.04/1000mm,同心度公差小于 0.01mm。

在切削加工过程中,由于加工失误,其中一根立柱因直径尺寸严重超差造成报废。缺陷区域和超差尺寸见图 5-24 中阴影区所示,但考虑生产成本和供货周期,决定采用焊接方法修复。

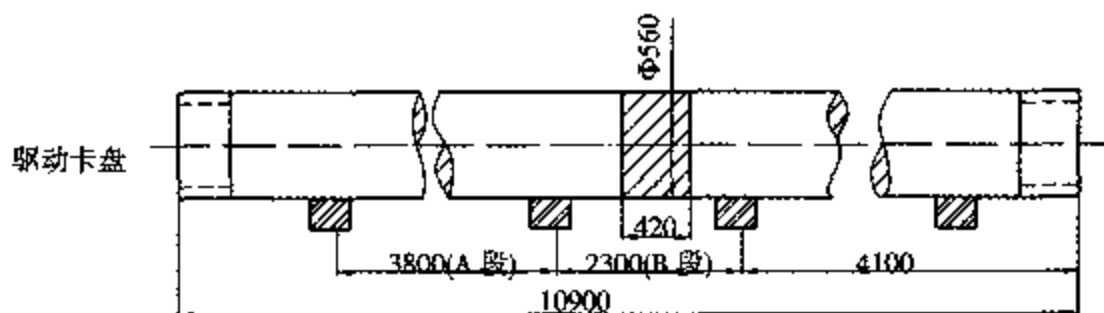


图 5-24 BDY-3150 型水压机立柱示意图

2. 立柱焊接修复中的技术问题及对策

焊接修复是机械工业生产中一种重要手段,其核心是制定切实可行的焊接修复工艺。依据产品的具体情况进行技术分析,选择焊接方法、焊接材料是整个修复技术的关键。立柱是水压机工作时的主要受力零件,为了确保修复成功,对立柱焊接修复中的若干问题进行了分析。

(1) 母材焊接性分析

立柱本体材料为 45 钢锻件,属于中碳调质钢。其碳当量为 0.50% ~ 0.62%,具有一定的淬硬倾向,冷裂纹敏感性较强,材料焊接性较差,焊接时易出现冷裂纹和堆焊金属剥离等现象。因此,焊接时必须选择低氢型焊接材料,同时采取预热、后热、焊后消应力热处理等工艺措施。

(2) 焊接材料力学性能的要求

立柱为主要受力结构件,采用 45 钢调质锻件,其化学成分、力学性能分别见表 5-155、表 5-156。因此对焊接材料提出了较高的要求,焊接材料的主要力学性能数据,特别是强度指标应满足 45 钢的要求。

表 5-155 45 钢化学成分(质量分数)

(%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu
保证值	0.42 ~ 0.50	0.50 ~ 0.8	0.17 ~ 0.37	≤ 0.035	≤ 0.035	≤0.25	≤0.30	≤0.25

表 5-156 立柱用 45 钢力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	Z (%)	A_{KU} (J)	HBS
保证值	≥600	≥355	≥16	≥40	≥39	162 ~ 217

(3) 焊接质量要求高

由于立柱属于受力构件,在工作中承受交变载荷的作用。因此,焊接修复中不允许产生裂纹、未熔合、夹渣等缺陷,焊后要求进行严格的表面质量检查。

(4) 焊接修复工作量大

由于立柱中部缺陷区域较大,有的局部区域需要堆焊两层,才能保证恢复立柱尺寸,并留有一定的加工余量,累积堆焊面积约 1.1m^2 ,具有较大的焊接工作量。由于采用预热焊接,工作条件恶劣,焊工容易疲劳。为了确保质量,应尽可能采用辅助机械装置,力争实现自动化焊接。

(5) 控制焊后热处理区域

由于立柱大部分区域仅有 $0.30 \sim 0.60\text{mm}$ 加工余量,可是在 500°C 以上的消应力退火中,工件表面会产生一定厚度的氧化层,脱落后将影响工件外形尺寸,因此必须严格控制焊后消应力退火的区域,立柱整体焊后热处理是不可行的,只能进行现场局部热处理。

综上所述,根据立柱外形尺寸限制、缺陷面积大、焊接修复工作量大、焊接质量要求高的特点,同时考虑钢材的焊接性、焊接材料力学性能要求等因素,采用生产效率高、可以连续焊接、质量稳定、比较经济的 CO_2 气体保护焊,选用从日本进口的实芯焊丝

KC50 Φ 1.2mm,其化学成分、力学性能分别见表 5-8、表 5-9。

3. 立柱焊接修复的工艺要点

(1) 采用大型车床的卡盘、托辊等装置完成立柱的装夹、定位,分别安装三个托辊均匀支撑立柱,调节车床的转动速度,保证立柱施焊部位的线速度能够满足 $v = 110 \sim 120\text{mm/min}$ 的要求。

(2) 使用远红外加热器进行焊接预热,使立柱圆周方向均匀加热。加热范围比修复区扩大 300mm,预热温度 $T \geq 200^\circ\text{C}$ 。

(3) 采用 CO_2 气体保护焊方法,焊丝采用从日本进口的实芯焊丝 KC50 Φ 1.2mm, CO_2 气体纯度要求大于 99.9%。

(4) 焊接层间温度应严格控制在 $200 \sim 250^\circ\text{C}$ 之间。

(5) 焊接规范参数: $I = 300 \sim 340\text{A}$, $U = 34 \sim 36\text{V}$,气体流量 $20 \sim 25 \text{ l/min}$ 。

(6) 焊道之间应有必要的搭接宽度,搭接宽度为 $1/2 \sim 1/3$ 焊道宽度。

(7) 焊接部位进行后热处理,保温温度 $250 \sim 300^\circ\text{C}$,保温时间 4 小时。

(8) 及时进行局部消应力热处理,保温温度 $500^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$,保温时间 2 小时。

(9) 立柱进行表面探伤,不允许有裂纹、未熔合等焊接缺陷。

实施大型水压机立柱焊接修复后的质量检查表明,堆焊部位及其热影响区未发现任何焊接缺陷,质量达到产品设计要求,避免了 10 余万元的经济损失,保证了产品交货期。

三十一、ZG5CrMnMo 垫板裂纹的焊接修复实例

1. 垫板的缺陷情况

在某型水压机垫板的制造过程中,发现垫板表面有三道严重的裂纹缺陷,裂纹最大深度 20mm,裂纹长度分别为 200mm 和

30mm, 垫板的缺陷位置见图 5-25。该垫板重量为 7.6 吨, 材料为 ZG5CrMnMo, 热处理状态为正火 + 回火。垫板工作时要承受较大的压力和冲击载荷, 同时要反复受热、冷却, 裂纹的存在极易引起垫板的整体破坏, 影响水压机的正常工作, 因此, 必须彻底清除裂纹并进行焊接修复。

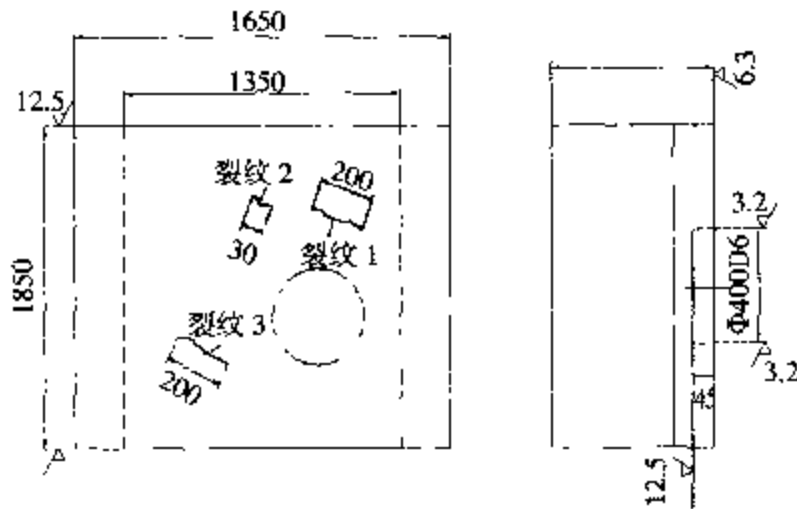


图 5-25 垫板及缺陷情况

2. 垫板修复的焊接性分析

(1) ZG5CrMnMo 的焊接性分析

ZG5CrMnMo 属于热作模具钢, 具有一定的红硬性, 其化学成分见表 5-157。根据 IIW 碳当量公式计算, ZG5CrMnMo 碳当量范围为 0.85% ~ 1.11%, 碳当量很高, 可焊性很差。

根据 JB/T 5000.7-1998 《重型机械通用技术条件 铸钢件补焊》, 推荐 ZG5CrMnMo 焊接修复时需预热温度 350 ~ 450℃, 焊后进行高温消应力处理。

表 5-157 材料化学成分(质量分数) (%)

材料	C	Mn	Si	Cr	Mo	备注
ZG5CrMnMo	0.50~0.60	1.20~1.60	0.25~0.60	0.60~0.90	0.15~0.30	铸钢
EDRCrMnMo -15(D397)	≤0.60	≤2.50	≤1.00	≤2.00	≤1.00	堆焊金属

(2) 垫板有一定的形位公差要求

由于垫板已全部加工完毕,而且与其他零件有一定的配合要求,因此在焊接修复中不能使工件形状尺寸发生变化而影响产品的装配,这就限制了焊接修复时的高温预热、后热和消应力处理。

(3) 垫板拘束应力大

垫板体积较大,结构拘束度大,垫板中间产生对称裂纹,也说明垫板应力很大。同时由于工件体积较大,散热面积大,对焊接过程中温度场的控制提出了较高的要求。

3. 垫板修复焊接材料的选择

通常焊接 ZG5CrMnMo 热作模具钢选用的焊条是堆焊焊条 EDRCrMnMo-03(D392)或 EDRCrMnMo-15(D397),焊后进行热处理,其堆焊金属化学成分见表 5-157。但是在该工件前期补焊中,采用 EDRCrMnMo-15(D397)焊条,预热温度 400℃时进行焊接,仍然发现工件有裂纹的情况;结合垫板现有的缺陷状况和垫板焊接性分析中的三个问题,已经不可能完全恢复垫板各项性能,必须降低垫板局部区域的使用性能。因此决定采用结构钢焊条,选择高韧性、细直径低氢型焊条,适当降低焊缝金属强度、硬度指标,改善其焊接抗裂性能。所以选用 E4315(J427) Φ 3.2mm 焊条作为 ZG5CrMnMo 垫板修复的焊接材料。

4. 垫板焊接修复时的注意事项

(1) 用角向磨光机清理缺陷,并进行着色检查,底部修磨呈圆弧状。

(2) 用履带式远红外加热器将工件加热,预热温度 200℃,保温 2 小时。然后用氧-乙炔火焰继续加热工件,使缺陷周围 150mm 范围内的预热温度达到 250℃,再进行焊接。

(3) 选用 E4315(J427) Φ 3.2mm 焊条,焊前烘干 350℃,保温时间 2 小时,随用随取。焊接电源为直流反接,焊接电流 $I = 100 \sim 120A$ 。

(4) 焊接操作采用快速焊,窄焊道,尽可能减少焊接热输入。

(5) 焊后用氧-乙炔火焰加热焊接区到 300℃,然后用履带式远红外加热器继续加热,保温后缓冷到室温。

(6) 焊后质量检查,焊接部位应无裂纹、夹渣、未熔合等焊接缺陷。

垫板的修复及使用情况进一步说明采用低匹配焊条实施焊接修复是成功的,能够满足垫板使用要求,避免了垫板报废损失,也为类似产品的焊接修复提供了经验。

三十二、大型矿用挖掘机动臂的焊接修复工艺试验

大型矿用挖掘机动臂是露天矿挖掘设备中典型的焊接结构件,矿用挖掘机动臂也是矿用挖掘机中受力最复杂的结构件之一。国产 10m³ 以上的大型矿用挖掘机动臂在严寒环境下服役,经常发生不同程度的开裂。其中某台挖掘机动臂在过载工作时,后半段出现贯穿性裂纹,总长度达到 4m,裂纹分布在动臂上、下盖板、右腹板,严重影响动臂的正常工作,为使动臂恢复使用,需要进行焊接修复。

1. 动臂修复中钢材及焊接材料的选择

动臂开裂主要是由于原设计、制造用的 Q390C(15MnV)钢材及其焊接接头在低温工作环境中 V 型缺口冲击性能安全裕度不足、材料性能不均匀、超负荷工作等因素造成的。

选择动臂修复钢材为 WCF60 钢,WCF60 钢为国产低碳调质钢,碳当量 0.40%,具有良好的力学性能,抗拉强度可达到 650MPa,低温-40℃ V 型缺口冲击功大于 100J。

焊接方法选择为药芯焊丝 CO₂ 气体保护焊,气体保护焊焊丝为碱性药芯焊丝 PK-YJ507 Φ1.6mm,该焊丝符合 AWS E70T-5

技术要求,其熔敷金属化学成分见表 5-158、熔敷金属力学性能见表 5-159。

表 5-158 PK-YJ507 熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	S	P
保证值	—	≤1.75	≤0.90	≤0.030	≤0.040
测试值	0.07	1.23	0.37	0.013	0.016

表 5-159 PK-YJ507 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	A_{KV} (J)
保证值	≥490	—	≥22	-30℃时 ≥27
测试值	537	427	27	-40℃时 46

2. 动臂修复的焊接工艺试验

动臂修复的焊接工艺试验主要指 WCF60 钢和 Q390C (15MnV) 钢配合国产药芯焊丝的焊接接头性能研究,对比不同工艺条件下,WCF60 钢与 Q390C (15MnV) 钢焊接后的力学性能变化。考虑产品坡口型式及焊接修复的特点,采用 X 型和 V 型坡口两种坡口型式,并对比消应力热处理前、后的力学性能变化。

焊接接头拉伸试验结果见表 5-160。断裂位置多处于 Q390C (15MnV) 钢母材,而焊缝也产生了不同程度的颈缩,发生了屈服,说明焊接接头的抗拉强度薄弱区在 Q390C(15MnV) 钢母材一侧,碱性药芯焊丝 PK-YJ507 $\Phi 1.6\text{mm}$ 与 Q390C(15MnV) 钢母材属于等强度匹配。对比 X 型坡口、V 型坡口两种坡口型式及是否进行焊接接头焊后热处理等不同工艺因素,对焊接接头的抗拉强度影响不大。

焊接接头 V 型缺口冲击试验结果见表 5-161,可以看出,焊接

接头 WCF60 钢一侧的熔合线、热影响区冲击性能均优于焊缝,焊缝也具有较高低温冲击功;而 Q390C(15MnV)钢一侧熔合线、热影响区为冲击性能的薄弱区,其冲击功数值多为 18~20J。对比 X 型坡口、V 型坡口及是否热处理,对焊接接头低温冲击性能薄弱区影响不大。

表 5-160 焊接接头拉伸试验结果

工艺因素	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	断裂位置
X型坡口,无热处理	528	393	断于 Q390C(15MnV)
V型坡口,无热处理	525	367	断于 Q390C(15MnV)
X型坡口,有热处理	527	382	断于 Q390C(15MnV)
V型坡口,有热处理	521	384	断于焊缝

表 5-161 焊接接头 V 型缺口低温 (-40℃) 冲击试验结果 (J)

工艺因素	WCF60 钢热影响区	WCF60 钢熔合线	焊 缝	Q390C (15MnV) 熔合线	Q390C (15MnV) 热影响区
X 型坡口, 无热处理	87	104	41	28	18
V 型坡口, 无热处理	82	90	85	20	21
X 型坡口, 有热处理	100	83	81	55	19
V 型坡口, 有热处理	106	82	75	20	20

3. 大型矿用挖掘机动臂的焊接修复

将大型矿用挖掘机动臂按其工作位置,沿长度方向分为前、后两段,根据开裂部位集中在后段的实际损坏情况,决定仍采用原动

臂前段,废弃原动臂后段。采用 WCF60 钢和 PK-YJ507 $\Phi 1.6\text{mm}$ 药芯焊丝,重新制造动臂后段,并与前段装配、焊接,来完成大型挖掘机动臂的焊接修复。

根据焊接材料选择及焊接工艺试验结果,在修复过程中制定并执行以下工艺要点:

(1) WCF60 钢焊前不预热,Q390C(15MnV)钢焊前预热温度 100°C 。

(2) 采用多层多道焊,焊接层间温度控制在 $100 \sim 150^{\circ}\text{C}$ 。

(3) 除打底层和盖面层,其余焊道焊后用风枪锤击,采用分段退焊法降低焊接残余应力。

(4) 焊接材料选择用 PK-YJ507 $\Phi 1.6\text{mm}$ 药芯焊丝, CO_2 气体纯度大于 99.5%。

(5) 上、下盖板对接焊时,应加引弧板、收弧板。上、下盖板对接焊缝位置应与腹板对接焊缝相互错开 250mm 以上。

(6) 对接焊缝焊接规范参数

1) 打底焊: $I = 110 \sim 130\text{A}$, $U = 20 \sim 22\text{V}$ 。

2) 填充焊: $I = 230 \sim 350\text{A}$, $U = 26 \sim 32\text{V}$ 。

(7) 焊接线能量控制在 22kJ/cm 以下。

(8) WCF60 钢采用数控火焰切割下料,边缘打磨过渡圆滑。

(9) 对接焊缝焊后进行超声波探伤,质量标准应达到 II 级焊缝。

(10) 焊缝外观质量应达到 JB/T 5000.3—1998《重型机械通用技术条件 焊接件》中规定的 BS 级。

(11) 采用电脑控温仪进行局部消应力热处理,保温温度 500°C ,保温时间 4 小时。

依据以上工艺要点修复了大型挖掘机动臂,经焊接质量检验及工件几何尺寸检查,焊接修复质量达到产品设计要求,并经严寒地区露天矿三年工作,未发现开裂现象,证明大型矿用挖掘机动臂的焊接修复是成功的。

三十三、25 000kN 压机机架顶板焊接修复中焊接材料的选择及焊接工艺

1. 25 000kN 压机机架顶板开裂情况

25 000kN 压机属于典型的焊接框架结构的大型水压机,是气瓶生产企业的主产设备之一,现役的几台气瓶压机都为企业创造了良好的经济效益。可是当水压机在使用一百万次以上,由于压机机架上部结构受力状况复杂、焊接接头接近疲劳,其中一台压机机架上部结构产生了严重的开裂现象,裂纹长度已达 20 余米,压机机架顶板($\delta=120\text{mm}$)也已基本破碎,难以保证水压机的正常工作,所以应对水压机机架上部结构进行修复补强。

2. 25 000kN 压机机架顶板修复补强技术措施

经过对压机机架顶板现状的检查、分析,制定了部分修复压机机架顶板,顶板上侧增加厚板整体补强的技术措施。

(1) 修复压机机架顶板母材上的裂纹,单侧清理深度 35mm。修复压机机架顶板与机架面板、端板角焊缝开裂,恢复压机机架顶板的部分强度。

(2) 在压机机架顶板上侧增加厚板(材质:SM50B, $\delta = 120\text{mm}$),整体补强,保证工作时的承载能力;单侧焊接固定 60mm,增加筋板($\delta=60\text{mm}$),其角焊缝形状呈圆滑过渡。

(3) 压机机架顶板下边分别局部增加 60mm 筋板、40mm 筋板,焊接固定,角焊缝形状呈圆滑过渡。

(4) 压机机架补强厚板上边的筋板($\delta=80\text{mm}$)角焊缝形状呈圆滑过渡,横焊位置的对接焊缝坡口深度不小于 65mm。

(5) 压机机架补强厚板上边的筋板($\delta=60\text{mm}$)角焊缝形状呈圆滑过渡。

(6) 所有焊缝不得有裂纹、未熔合、条状夹渣、密集气孔等焊

接缺陷。

上述技术措施可以全面提高压机机架上部结构的强度和刚性,有不影响压机原有的工作行程、焊接操作位置较好等优点;但也存在着一些问题,如:焊接工作量大,焊缝密集,累计焊缝长度达50余米,可能会导致压机机架上部结构产生焊接变形、形成一定的焊接残余应力等。

3. 25 000kN 压机机架顶板焊接修复中焊接材料的试验与选择

随着熔化极气体保护焊技术的推广,目前我国 CO₂ 气体保护焊实芯焊丝和药芯焊丝的生产已经形成了一定的规模,产量和质量有了很大的提高,常用的 CO₂ 气体保护焊实芯焊丝有 ER49-1 (H08Mn2SiA)和 ER50-6 等牌号。

气体保护焊药芯焊丝具有采用渣-气联合保护、良好的焊接工艺性能、焊缝成形美观、易于实现合金化等特点,目前以有缝药芯焊丝为主,随着气体保护焊药芯焊丝的使用量快速增长,国内生产的药芯焊丝品种越来越多。三种典型的结构钢药芯焊丝 GL-YJ502、GL-YJ502Ni、GL-YJ507,属于 500MPa 级药芯焊丝,规格为 Φ1.2mm。在 25 000kN 压机机架顶板焊接修复的焊接材料选择试验中,三种药芯焊丝熔敷金属化学成分、熔敷金属力学性能分别见表 5-162、表 5-163。综合考虑熔敷金属的抗拉强度、冲击性能、焊接工艺性能,最终选择了 GL-YJ502Ni Φ1.2mm 药芯焊丝。

表 5-162 药芯焊丝熔敷金属化学成分(质量分数) (%)

焊接材料	试验项目	C	Mn	Si	S	P	Ni
GL-YJ502 Φ 1.2mm	保证值	≤0.10	≤1.60	≤0.60	≤0.030	≤0.030	—
	测试值	0.05	1.33	0.41	0.011	0.014	—
GL-YJ502Ni Φ 1.2mm	保证值	≤0.10	≤1.60	≤0.60	≤0.030	≤0.030	0.75~1.25
	测试值	0.05	0.97	0.29	0.013	0.013	1.05

续表 5-162

焊接材料	试验项目	C	Mn	Si	S	P	Ni
GL-YJ507 Φ1.2mm	保证值	≤0.10	≤1.60	≤0.60	≤0.030	≤0.030	≤0.50
	测试值	0.05	1.37	0.35	0.009	0.015	0.40

表 5-163 药芯焊丝熔敷金属力学性能

焊接材料	试验项目	R_m (MPa)	R_{el} (MPa)	A (%)	A_{KV} (J)			
					0℃	-20℃	-30℃	-40℃
GL-YJ502 Φ1.2mm CO ₂	保证值	≥500	≥410	≥22	≥47	≥27	—	—
	测试值	589	501	29	113	76	—	—
GL-YJ502Ni Φ1.2mm CO ₂	保证值	≥500	≥410	≥22	—	—	—	≥47
	测试值	572	486	26	—	—	—	59
GL-YJ507 Φ1.2mm CO ₂	保证值	≥500	≥410	≥22	≥47	—	≥27	—
	测试值	558	462	27	154	—	58	—

4. 25 000kN 压机机架顶板修复采取的工艺

(1) 采用 CO₂ 气体保护焊焊接。

(2) 焊接设备为 XC-500, 直流反极性。

(3) 焊接材料采用药芯焊丝 GL-YJ502Ni Φ1.2 mm, 以提高焊缝金属抗裂性, 改善焊缝成形, 有利于进行全位置焊接操作。

(4) 选用强度、冲击韧性均较好的 SMS0B 厚钢板进行补强, 下料前进行厚钢板超声波探伤检查。

(5) 焊接规范参数

1) 平焊: $I = 260 \sim 280A$, $U = 34 \sim 38V$,

2) 仰焊: 打底焊 $I = 180 \sim 200A$, $U = 28 \sim 30V$; 填充焊 $I = 200 \sim 220A$, $U = 30 \sim 32V$ 。

- (6) 采用跳焊、分段退焊、对称焊等方法,控制减少焊接变形。
- (7) 选派焊接技师进行关键焊缝的焊接。
- (8) 采用多层多道焊,并用风枪锤击焊缝,控制减少焊接残余应力。
- (9) 采用气割、碳弧气刨清理的钢板及焊接坡口,应用角向磨机打磨去除金属氧化层。
- (10) 所用的补强钢板采用数控火焰切割机进行下料,并打磨焊接坡口,去除金属氧化层。
- (11) 在压机机架顶板焊接前、后,进行表面着色探伤,检查裂纹分布及焊接质量。

5. 25 000kN 压机机架顶板修复工程的实施

严格执行 25 000kN 压机机架顶板修复工艺,使用焊丝 600kg,成功地完成了 25 000kN 压机机架上部结构的焊接修复。现在 25 000kN 压机已经顺利地恢复生产,投入使用,并生产气瓶 60 000 多支。

25 000kN 压机机架顶板及上部结构的成功修复,说明修复方案是正确的,修复工艺流程和工艺措施是合理的,为用户节省了大量资金,同时也为大型焊接结构的修复积累了经验。

三十四、铝板板材轧机铸轧辊辊芯的堆焊修复技术

1. 铝板板材轧机铸轧辊辊芯的工作状况

在铝板热轧生产工艺中,铝板的变形主要是通过板材轧机铸轧辊碾压实现的,铸轧辊主要由辊芯和辊套热装组成,重量约 4 吨,有较高的加工精度和尺寸稳定性要求。

铸轧辊工作时主要利用两侧辊颈位置的轴承,形成支撑、旋转,单侧辊颈外侧施加有驱动扭矩,使得辊身带动辊套旋转,挤压

铝材。由于热轧时铝材温度较高,所以为了冷却辊套和辊芯,在辊芯和辊套之间布置了许多冷却水槽,通入循环水进行冷却。由于长期高温状态和水介质的腐蚀,辊芯外表面及水槽表面发生严重锈蚀,造成尺寸不足,所以在使用一定的周期后需要进行修复。

2. 辊芯材料中碳调质钢 42CrMo 的性能

辊芯为 42CrMo 锻件,调质处理,同类型的调质钢还有 45、40Cr、35CrMo、40CrNiMo 等,这几种调质钢的化学成分见表 5-164,力学性能及热处理参数见表 5-165。

表 5-164 几种调质钢的化学成分(质量分数) (%)

钢号	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	S	P	Ceq
45	0.42 ~0.50	0.17 ~0.37	0.50 ~0.80	≤ 0.25	≤ 0.25	—	≤ 0.040	≤ 0.040	0.50 ~0.62
40Cr	0.37 ~0.44	0.17 ~0.37	0.50 ~0.80	0.8 ~1.10	—	—	≤ 0.040	≤ 0.035	0.61 ~0.81
35CrMo	0.32 ~0.40	0.17 ~0.37	0.40 ~0.70	0.8 ~1.10	—	0.15 ~0.25	≤ 0.035	≤ 0.035	0.58 ~0.79
42CrMo	0.38 ~0.45	0.17 ~0.37	0.50 ~0.80	0.90 ~1.20	—	0.15 ~0.25	≤ 0.035	≤ 0.035	0.67 ~0.87
40CrNiMo	0.37 ~0.44	0.17 ~0.37	0.50 ~0.80	0.60 ~0.90	1.25 ~1.65	0.15 ~0.25	≤ 0.035	≤ 0.035	0.69 ~0.91

表 5-165 几种调质钢力学性能及热处理参数

钢号	淬火温度 (°C)	回火温度 (°C)	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	Z (%)	HBW
45	830 ~ 850	540 ~ 580	627	333	16	32	207 ~ 241
40Cr	840 ~ 860	580 ~ 620	635	440	10	35	229 ~ 269
35CrMo	850 ~ 870	550 ~ 590	635	440	15	35	207 ~ 269
42CrMo	850 ~ 870	550 ~ 590	686	461	12	40	255 ~ 286
40CrNiMo	850 ~ 870	540 ~ 580	980	635	12	—	255 ~ 286

3. 辊芯焊接性分析及焊接材料的选择

(1) 辊芯焊接性分析

42CrMo 辊芯焊接修复时, 主要问题有焊接裂纹、热影响区软化、脆化及焊接应力等。

1) 中碳调质钢具有较高碳及合金含量, 根据国际焊接学会碳当量公式计算, 42CrMo 碳当量为 0.67% ~ 0.87%, 焊接热影响区淬硬倾向严重, 冷裂纹敏感性强, 焊接区易出现冷裂纹和堆焊层金属剥离等缺陷, 因此应采用低氢型焊接材料, 控制焊接填充金属熔合比及堆焊层层数和厚度, 并采用预热、后热处理等工艺措施。

2) 由于辊芯在焊接过程中, 其焊接热影响区经过连续温度场作用, 分别形成淬火区的脆化、高温回火区的软化。为此除采取预热、后热处理等措施外, 还应选择合理的焊接规范参数, 控制焊接线能量, 降低母材热输入, 减少热影响区宽度, 降低热影响区脆化和软化对焊接接头性能的影响。

3) 在辊芯焊接修复中, 有效控制并降低焊接应力有十分重要的意义。由于辊芯零件尺寸大, 精度要求高, 需要大面积堆焊, 同时还要严格控制焊接变形, 而焊后又不能实现消应力退火热处理, 因此采用一定范围的局部预热, 同时采用锤击焊道、对称焊等焊接技术, 才能保证修复零件使用效果。

(2) 辊芯焊接材料的选择

因为铝板轧机为法国进口设备, 外方要求在腐蚀严重的水槽修复时, 采用不锈钢焊条进行修复, 这种工艺在辊芯局部修复中得到应用, 取得了一定效果。但如果采用此工艺大面积修复辊芯外表面, 将大大增加修复成本; 同时因为异种材料的合金元素过渡问题, 将使辊芯表面材料成分非常复杂, 留下潜在的破坏隐患; 加之由于不锈钢材料线膨胀系数较大, 将使辊芯表面堆焊后产生较大的焊接应力, 严重时造成堆焊层剥落和辊芯轴线方向的严重变形, 致使辊芯报废。

目前常用的焊接修复方法中熔化极气体保护焊,兼有熔敷系数高、使用灵活性强、抗冷裂性能好、生产成本低、焊接规范参数调节范围大等特点。针对要修复的辊芯辊身外径已磨损成 $\Phi 517\text{mm}$ 的实际情况,在焊前粗加工完成后,需要的堆焊层厚度将超过 5mm ,所以对辊芯辊身堆焊焊接材料应进行重新选择。辊芯修复中焊接材料的选择,主要考虑恢复强度匹配。选择进口实芯焊丝NiMo11G $\Phi 1.2\text{mm}$,其熔敷金属化学成分、力学性能分别见表5-166、表5-167。

表 5-166 实芯焊丝 NiMo11G 熔敷金属化学成分试验结果 (%)

试验项目	C	Si	Mn	S	P	Ni	Mo
保证值	≤ 0.08	≤ 0.60	≤ 1.80	≤ 0.030	≤ 0.030	≤ 1.00	≤ 0.30

表 5-167 实芯焊丝 NiMo11G 熔敷金属力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	-40℃时 A_{KV} (J)
保证值	650 ~ 800	≥ 550	≥ 20	≥ 80

4. 辊芯修复工艺及焊接技术参数

- (1) 修复前测量变形情况并进行记录。
- (2) 焊前采用切削加工去除辊芯表面锈蚀层,并进行表面着色探伤。
- (3) 焊接方法为熔化极气体保护焊。
- (4) 焊接材料为实芯焊丝 NiMo11G $\Phi 1.2\text{mm}$ 、保护气体为 $80\%Ar + 20\%CO_2$ 混合气体。
- (5) 焊接时对称操作,防止变形。
- (6) 焊接规范参数: $I = 220 \sim 260\text{A}$, $U = 24 \sim 26\text{V}$ 。
- (7) 采用远红外线局部加热,预热温度 $T \geq 300^\circ\text{C}$,层间温度 $300 \sim 350^\circ\text{C}$ 。

(8) 焊后后热处理温度 300℃,保温时间 6 小时。

(9) 焊接时注意保护非修复区域。

(10) 待辊芯冷却后,加工中心孔,进行堆焊区域的加工,并留下一定的精车、磨削加工余量,水槽内加工余量为 0.5 ~ 1mm,辊芯外圆加工余量为 2 ~ 3mm。

(11) 质量检查,包括硬度测试、尺寸测量、表面无损探伤。

根据铸轧辊修复工艺,表面探伤检查后,切削加工去除表面锈蚀层并确定堆焊基准。采用远红外线加热技术,局部加热 300℃,采用富氩气体保护焊,焊接时对称焊接,先后消耗焊丝 500kg,累积堆焊面积超过 8m²。经着色、探伤检查,堆焊层未见裂纹、夹渣、剥离等缺陷,铸轧辊变形量小于 0.5mm。两根铸轧辊辊芯的成功修复,为用户节省资金 20 余万元,大大延长了铸轧辊的工作生命周期。

三十五、大型挖掘机推压轴的焊接修复及加工工艺

1. 大型挖掘机中碳调质钢推压轴焊接修复的可行性

随着我国国民经济的不断发展,对露天矿山采掘设备的需求不断增加,国产的 4m³、10m³、16m³、23m³ 等大型机械式挖掘机现已遍布我国主要露天煤矿和铜矿。由于挖掘机的工作环境较为恶劣,受力情况复杂,挖掘机的一些零部件如斗杆、推压轴、推压齿轮等,因长期承受不均匀载荷面容易产生断裂、磨损等失效现象。随着焊接技术的不断发展,通过焊接方法修复磨损零件的工艺获得越来越广泛的应用。

某大型挖掘机的起重臂推压轴长度 2 500mm,最大直径约 500mm,重量 4 吨左右。推压轴的结构示意图见图 5-26。在工作过程中,由于挖掘机承受的载荷很大,推压轴的花键长期受到推压齿轮较大的挤压和剪切作用发生磨损,花键的齿面和齿顶磨损较为

严重。推压轴花键发生磨损后与推压齿轮无法形成严密的啮合,使传动效果变坏,影响了挖掘机的正常工作。



图 5-26 推压轴及花键齿形磨损示意图

推压轴采用大型锻件毛坯,经锻造、粗加工、调质处理、精加工等工序加工而成,制造工艺复杂,且材质为中碳低合金高强钢,国产推压轴每根造价为 20 余万元;如果采用进口方式,价格更高。因此能够焊接修复推压轴,就可以大大降低使用成本。

2. 大型推压轴焊接修复的复杂性

(1) 推压轴的重量大、体积较大,起吊和转运有一定困难,需要起吊设备配合,在焊接过程中需要通过转动轴不断改变花键的焊接位置。

(2) 推压轴的技术条件要求高,强度、硬度、耐磨性和抗裂性都有严格要求,不允许有任何焊接缺陷。对焊接性较差的中碳调质钢,必须认真选择焊接材料、制定焊接工艺,才能保证焊接质量。

(3) 由于每件推压轴上需要修复的花键数量多达 82 条,因此焊接工作量大,加之工作温度高,焊工的工作条件较为艰苦。

(4) 由于焊接热输入和金属热传导,使推压轴局部温度升高、温差大,焊接时产生的应力较大,如不采取必要的措施很可能使推压轴产生焊接变形,对切削加工和使用产生不利的影响。

3. 母材的焊接性分析

推压轴的材质为 34CrNi3Mo,属于铬镍钼系列的中碳调质钢,其化学成分见表 5-168,经调质处理(淬火 850 ~ 870℃ + 回火 580 ~ 650℃)的力学性能见表 5-169。

表 5-168 34CrNi3Mo 钢化学成分(质量分数) (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	S	P
保证值	0.3 ~0.4	0.5 ~0.8	0.27 ~0.37	0.70 ~1.10	2.75 ~3.25	0.25 ~0.40	≤ 0.035	≤ 0.035

表 5-169 34CrNi3Mo 钢力学性能

试验项目	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	Z (%)	A_{KU} (J)	HBS
保证值	≥805	≥685	≥13	≥35	≥31	269 ~ 341

由表 5-168 可知,34CrNi3Mo 钢含有较高的碳及合金元素,加入 3%左右的镍和一定量的铬、钼元素,显著提高了钢的淬透性和抗回火软化的能力,使钢的强度达到 800MPa 以上。

34CrNi3Mo 钢的淬硬倾向十分明显,冷裂倾向严重,焊接性较差。中碳调质钢的碳和合金元素含量较高,在低温下很容易形成马氏体组织。由于 M_s 点较低,在低温下形成马氏体一般难以形成“自回火”效应,并且由于所形成的是高碳马氏体,有很大的过饱和度,因而硬度和脆性很大,对冷裂纹的敏感性很大。焊接 34CrNi3Mo 钢时,如果不预热,快速加热和冷却形成的高碳马氏体组织易在焊接应力作用下产生开裂。根据美国焊接学会推荐的碳当量计算公式,34CrNi3Mo 的碳当量可达 1.25%,焊前预热是防止产生冷裂纹的重要工艺措施。通过预热,可以降低冷却速度,延长 $t_{8/5}$ 时间,有利于贝氏体的出现,从而可改善焊缝组织,降低焊缝的冷裂倾向。

4. 焊接材料的选择

(1) 药芯焊丝的选择

随着气体保护焊的不断推广,气体保护焊药芯焊丝得到了广泛应用。与实芯焊丝相比,药芯焊丝具有以下特点:飞溅小,焊缝成

形美观,焊接工艺性能好,熔敷速度高,对钢材的适应性强。

由于药芯焊丝具有许多独特的优点,根据推压轴力学性能要求,决定选用瑞士奥利康公司生产的高强度药芯焊丝 Fluxofil41 Φ 1.4mm 和 Fluxofil42 Φ 1.4mm 作为焊接修复材料,CO₂ 作为保护气体。

(2) Fluxofil41 和 Fluxofil42 药芯焊丝的技术参数

Fluxofil41 Φ 1.4mm 和 Fluxofil42 Φ 1.4mm 均为碱性渣系药芯焊丝,焊接工艺性能良好,适于高强度钢的焊接。药芯焊丝 Fluxofil41 Φ 1.4mm 的熔敷金属扩散氢含量为 0.89ml/100g。药芯焊丝 Fluxofil41 Φ 1.4mm 和 Fluxofil42 Φ 1.4mm 熔敷金属化学成分、力学性能分别见表 5-117、表 5-118。

(3) 焊接材料的堆焊试验

为了测定两种焊丝堆焊金属的硬度,我们在 40CrMnMo、40CrNi2Mo、20MnMoNb 三种试板上分别用 Fluxofil41 Φ 1.4mm 和 Fluxofil42 Φ 1.4mm 两种焊丝堆焊,然后进行堆焊层和母材的硬度试验,试验结果见表 5-170。

表 5-170 药芯焊丝堆焊层硬度试验结果 (HBS 5/750/10)

焊接材料	试验母材		
	40CrMnMo	40CrNi2Mo	20MnMoNb
Fluxofil41 堆焊层	197;207;212 / 205	244;241;237 / 241	229;229;241 / 233
Fluxofil42 堆焊层	266;266;269 / 267	272;275;275 / 274	292;292;292 / 292
试验母材	298;298 / 298	269;309 / 289	237;241 / 239

从试验结果可以看出,合金元素含量高的焊丝堆焊层的硬度高,Fluxofil42 Φ 1.4mm 药芯焊丝比 Fluxofil41 Φ 1.4mm 药芯焊丝合金元素含量高,因此前者堆焊层的硬度较高;40CrMnMo 和

40CrNi2Mo 都是中碳调质钢,具有较高的硬度,Fluxofil41 Φ 1.4mm 焊丝堆焊层硬度比母材硬度低 20%,Fluxofil42 Φ 1.4mm 焊丝堆焊层硬度比母材低 5% ~ 10%。34CrNi3Mo 钢和 40CrMnMo、40CrNi2Mo 同属中碳调质钢,硬度值很接近,因此可以用 Fluxofil41 Φ 1.4mm 和 Fluxofil42 Φ 1.4mm 药芯焊丝堆焊 34CrNi3Mo 钢,前者堆焊层的硬度低于母材硬度,可用于承受载荷较小、磨损较轻的花键齿顶部分的焊接;而后者堆焊层硬度与母材硬度基本相当,可用于承受载荷大的花键齿面部分的焊接。

5. 焊接修复方案的选择和工艺要点

选择焊接修复方案为直接对花键的齿形磨损面进行堆焊,然后车削外圆并铣出键槽。这一方案的焊接工作量较小,提高了焊接修复的效率,焊接应力小,填充金属少,可以达到最好的焊接效果。

焊接修复的工艺要点:

- (1) 清理推压轴上的油污等杂物。
- (2) 用远红外加热片包裹待焊部位,外面覆盖保温材料,通电预热。
- (3) 预热温度达到 350℃左右,开始施焊。
- (4) 先焊花键的齿面部分,使用 fluxofil42 Φ 1.4mm 药芯焊丝 CO₂ 气体保护焊。焊接规范: $I = 260 \sim 280 \text{ A}$, $U = 28 \sim 30 \text{ V}$, 气体流量 20l/min, 焊接速度 30 ~ 35cm/min。
- (5) 堆焊时电弧在齿根部位停留时间应稍长并略做摆动,确保根部母材和焊缝熔合良好。
- (6) 堆焊时要使齿面处于水平或略向下倾的状态,因此每个位置以堆焊 3 ~ 4 个齿为宜,应经常转动推压轴使其处于最佳堆焊位置。
- (7) 齿面部分堆焊完后,改用 fluxofil41 Φ 1.4mm 药芯焊丝堆焊齿顶部位,焊接规范不变。

(8) 为防止产生焊接变形,提高焊接效率,堆焊时采用对称施焊,焊接速度尽量保持一致。

(9) 焊后进行后热,保温温度 300℃,后热时间 2 小时,保温后缓冷至室温。

采用以上焊接修复工艺要点,先后修复了十余件推压轴,焊接修复后的推压轴没有出现裂纹、夹渣、未熔合等焊接缺陷,恢复了原有的齿形尺寸,表明推压轴焊接修复工艺是可行的。使用药芯焊丝对焊接性差的中碳调质钢进行焊接修复,取得了良好的焊接效果。由于药芯焊丝有对钢材适应性强的特点,因此药芯焊丝在焊接修复方面的应用有广阔的前景。

三十六、大型掘进机刀盘夹持部位的补强焊接

1. 大型掘进机刀盘夹持部位的补强焊接问题的提出

随着工程施工技术的发展,越来越多的地下通道挖掘问题引起世界各国的重视,美国、意大利等国在地下通道挖掘方面处于领先水平。在“引黄入晋”工程中的隧道挖掘工程中,采用了美国生产的大型地下掘进机,该设备具有较高的自动化程度,可以进行连续挖掘施工;其核心部件为掘进机刀盘,掘进机刀盘上固定着几十个掘进刀体,同时刀盘边缘与岩石接触的大部分部件要求具有良好的耐磨性。在掘进机刀盘的制造中,不仅采用了 AISI 4130 合金结构钢,而且在许多部位进行了耐磨堆焊。

由于掘进机刀盘采用焊接结构,结构材料为 500MPa 级结构钢,在刀盘夹持部位焊接了 AISI 4130 合金结构钢固定板,实际使用表明原设计的固定板刚性不足,使用中发生开裂、断裂现象。美方制造单位进行了设计图纸的修改,需要在大型掘进机刀盘夹持部位进行补强焊接,结合国内生产情况,决定采用 Q345 钢板补强块,并进行焊接固定。

2. 大型掘进机刀盘夹持部位的补强焊接技术分析

(1) 大型掘进机刀盘主要材料的技术参数

掘进机刀盘制造时主要采用的钢材有 ASTM A36 和 AISI 4130。ASTM A36 是普通结构钢,具有良好的焊接性,焊缝质量容易保证;AISI 4130 相当于我国钢材 30CrMo,属于中碳调质钢(淬火 870℃ + 回火 650℃),是一种具有高强度和高韧性的结构钢。这两种钢的化学成分、力学性能分别见表 5-171、表 5-172。采用 Q345 钢板补强块与 ASTM A36 普通结构钢连接属于等强匹配,与 AISI 4130 连接属于低匹配形式进行补强,以提高结构刚性。焊接工艺应以解决 AISI 4130 焊接问题为主。

表 5-171 A36 和 4130 钢的化学成分(质量分数) (%)

试验项目	钢号	C	Mn	Si	S	P	Cr	Mo
保证值	4130	0.26 ~ 0.34	0.40 ~ 0.70	0.20 ~ 0.40	≤ 0.040	≤ 0.040	0.80 ~ 1.10	0.15 ~ 0.25
	A36	≤0.26	0.80 ~ 1.20	0.15 ~ 0.40	≤ 0.040	≤ 0.050	—	—

表 5-172 A36 和 4130 钢力学性能

试验项目	钢号	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A(%)	Z(%)	20℃时 A_{KV} (J)	HBS
保证值	4130	≥685	≥490	≥15	≥45	≥47	207 ~ 269
	A36	400 ~ 550	≥250	≥20	—	—	—

(2) 焊接材料的选择

掘进机刀盘在国外制造时主要采用的焊接方法为药芯焊丝气体保护焊,焊接材料为药芯焊丝 E71T-1 Φ 1.6mm。考虑到大型掘进机刀盘夹持部位的补强焊接工作是在现场进行,所用焊接方法

以采用焊条电弧焊为宜,结合材料强度、焊缝金属抗裂性及现场焊接设备情况,选择了 E5016(J506) Φ 3.2mm 和 Φ 4mm 焊条。E71T-1、E5016(J506)熔敷金属化学成分、力学性能分别见见表 5-173、表 5-174。

表 5-173 E71T-1、E5016(J506)熔敷金属化学成分(质量分数)(%)

焊接材料	C	Mn	Si	S	P
E71T-1	—	≤ 1.75	≤ 0.90	≤ 0.030	≤ 0.040
E5016(J506)	≤ 0.12	≤ 1.60	≤ 0.75	≤ 0.035	≤ 0.040

表 5-174 E71T-1、E5016(J506)熔敷金属力学性能

焊接材料	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	A_{KV} (J)
E71T-1	≥ 497	≥ 414	≥ 22	-18℃时 ≥ 27
E5016(J506)	≥ 490	≥ 410	≥ 22	-30℃时 ≥ 27

3. 大型掘进机刀盘夹持部位的补强焊接工艺

(1) 焊接方法为焊条电弧焊。

(2) 焊接设备为交流或直流弧焊机,直流电源采用反极性。

(3) 焊接材料为 E5016(J506) Φ 3.2mm 和 Φ 4mm 焊条,焊前须经 350℃烘干 2 小时。

(4) 焊前清理工件待焊表面,去除油漆、铁锈、油污等杂物,清理范围应比焊接区域每侧增加 10 ~ 15 mm。

(5) 焊前用氧-乙炔火焰进行局部预热,预热范围应比焊接区域每侧增加 150 mm。预热温度 $T \geq 200^\circ\text{C}$ 。

(6) 点固焊缝长度为 40 ~ 60 mm,质量要求与正式焊缝相同。

(7) 层间温度控制在 200 ~ 280℃之间。

(8) 焊接位置为平焊及平角焊,焊接规范参数要求: E5016

$\Phi 3.2\text{mm}$ $I = 150 \sim 160\text{A}$; E5016 $\Phi 4\text{mm}$ $I = 170 \sim 180\text{A}$; 焊接最大线能量 27kJ/cm 。

(9) 采用多层多道焊的方式,焊接时注意焊接次序,尽量采用对称焊接。

(10) 每层焊道均应用风枪进行锤击,清除熔渣并保持一定的锤击密度。

(11) 焊后立即用红外线加热,并用保温材料包裹焊接部位,对焊接区域进行局部消应力退火,加热到 580°C ,缓冷到 100°C 。

(12) 焊后清理工件表面的焊接熔渣及飞溅。

(13) 进行外观质量检查,焊缝尺寸应满足图纸要求,不应有裂纹、未熔合、条状夹渣、密集气孔等焊接缺陷,并对所有焊缝进行磁粉探伤。

执行大型掘进机刀盘夹持部位的补强焊接工艺,组织焊接技师施工,焊接了 70 余件 Q345 钢板补强块,完成了掘进机刀盘改造工作。

参 考 文 献

1. 中国机械工程学会焊接学会. 焊接词典. 北京: 机械工业出版社, 1985
2. 周振丰, 张文钺. 焊接冶金与金属焊接性. 北京: 机械工业出版社, 1988
3. 苏仲鸣. 焊剂的性能与使用. 北京: 机械工业出版社, 1989
4. 九江市焊接学会. 焊工词典. 北京: 中国工人出版社, 1990
5. 尹士科, 等. 国内外焊丝焊剂简明手册. 北京: 兵器工业出版社, 1992
6. 曾乐, 等. 现代焊接技术手册. 上海: 上海科学技术出版社, 1993
7. 机械工业部. 焊接材料产品样本. 北京: 机械工业出版社, 1997
8. 中国焊接协会. 焊接标准汇编. 北京: 中国标准出版社, 1997
9. 张子荣, 等. 简明焊接材料选用手册. 北京: 机械工业出版社, 1999
10. 中国机械工程学会焊接学会. 焊接手册. 北京: 机械工业出版社, 2001
11. 崔变兰, 等. 起重机主梁焊接道轨的试验研究及其应用. 山西省第三次焊接会议, 太原, 1987
12. 张俊林, 等. 大型气瓶压机主副工作柱塞表面耐磨覆层堆焊. 焊接, 1990, 第8期: 19~22页
13. 王成文. 水压机垫板裂纹的焊接修复. 焊接, 1990, 第

10期; 24~25页

14. 张承德, 等. 双丝窄间隙埋弧焊焊接试验及在高压容器生产中的应用. 压力容器, 1991, 第8卷第4期: 86~89页

15. 张国九, 等. T-1、StE690和Wel-ten80C焊接过热区精细结构及对性能的影响. 焊接学报, 1992, 第13卷第1期: 13~14页

16. 王成文, 等. 五种CO₂气体保护焊焊丝对比试验及应用前景浅析. 全国二氧化碳气体保护焊技术推广应用交流会, 唐山, 1992

17. 王成文, 等. 大型矿用挖掘机动臂的焊接修复. 焊接, 1993, 第11期: 17~19页

18. 许跃华, 等. 大型水压机立柱的焊接修复. 焊接技术, 1993, 第6期: 1~4页

19. 杜利军, 等. H_g/X2CrNiMoN22.5双相不锈钢复合钢板焊接工艺研究. 压力容器, 1994, 第11卷第4期: 26~30页

20. 杨国华, 等. 大型挖掘机推压轴焊接修复工艺研究. 第八届山西省焊接学术会议, 太原, 1999

21. 王成文, 等. 压力容器用高强度13MnNiMoNbR焊接工艺研究. 第八届山西省焊接学术会议, 太原, 1999

22. 吴建萍, 等. Φ125移动镗床拖板大面积裂纹焊接修复. 中国北方焊接学术会议, 太原, 2000

23. 许跃华, 等. 大型立式水泥生料磨磨盘的焊接修复. 中国北方焊接学术会议, 太原, 2000

24. 刘明月, 等. 大厚度珠光体耐热钢15CrMoR焊接性能探讨. 中国北方焊接学术会议, 太原, 2000

25. 王成文, 等. CO₂气体保护焊在有风环境中使用的试验与探讨. 第二届全国CO₂焊接技术推广应用交流会, 唐山, 2000

26. 应春敏, 等. 低温环境用铸钢件焊接工艺研究. 2001年

十省市机械工程学会学研讨会论文集, 昆明, 2001

27. 王成文, 等. 12Cr2Mo1 珠光体耐热钢的焊接工艺分析及应用. 2001 年十省市机械工程学会学研讨会论文集, 昆明, 2001

28. 王成文, 等. 焊接预保护和修复技术的应用及发展前景. 第二届中国北方焊接学术会议论文集, 西安, 2001

29. 王成文. 25000kN 压机机架顶板修复技术探讨. 机械管理开发, 2002, 第 2 期: 38 ~ 39 页

30. 马凤辉, 等. 中国焊接材料的生产与应用概况. 中国机械工程学会焊接学会四十周年及中国焊接协会十五周年纪念文集, 北京, 2002

31. 陈邦固, 等. 我国药芯焊丝应用现状及发展趋势. 第三届中国北方焊接学术会议论文集, 秦皇岛, 2002

32. 杨建东, 等. 面向 21 世纪的我国药芯焊丝制造技术的研究与发展趋势. 机械工人 (热加工), 2002, 第 10 期: 19 ~ 21 页

责任编辑 吴 伟

封面设计 杨宇光

焊接材料手册 及 工程应用案例

主 编 王成文

WELDING MATERIALS HANDBOOK &
ENGINEERING APPLICATION CASES



山西科学技术出版社
Shanxi Science and Technology Press

ISBN 7-5377-2366-4



9 787537 723664 >

ISBN 7-5377-2366-4

开·375 定价·35.00元

<http://www.3dportal.cn/discuz/register.php?fromuid=187027>