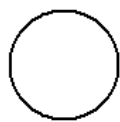


第 8 篇

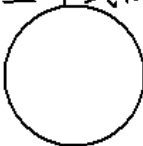
材 料 保 护



主编单位 机械工业部武汉材料保护研究所

编写单位 机械工业部武汉材料保护研究所

主 编 郦振声



副主编 叶扬祥

编写人 郦振声 叶扬祥 张立茗 吴子健

胡以正 邹瑞海 潘肇基 刘毅武

李兴濂

主 审 曹楚南



第 1 章 概 论

材料保护技术是制造高质量机械电子产品的重要基础工艺之一。随着机电工业和高新技术的发展,对材料及其制品表面的综合性能要求越来越高,促进了材料保护技术的迅速发展和在制造工业各个领域的广泛应用。

1 材料保护的作用及任务

材料保护技术是通过物理的、化学的或机械的方法,包括表面覆层、表面处理和表面改性等各种技术使材料及其制品的表面获得所要求的化学成分和组织结构,从而改善和提高材料表面性能的一门应用科学。它体现了材料学、冶金学、机械学、电子学、物理学和化学等基础学科的结合,具有明显的边缘学科与综合学科的性质。

金属材料及其制品的主要失效形式是腐蚀、磨损和疲劳断裂,其中大多数失效都是产生在材料表面、亚表层或因表面因素而引起,给国民经济造成巨大损失,我国每年由于腐蚀造成的损失在 400 亿元以上,磨损损失与之相近。采用材料保护技术,是解决上述失效问题的一个极其重要的途径,受到国内外普遍重视。尤其是在许多情况下,仅为了获得表面高性能而提高整体材料性能,往往在技术上和经济上都是不可行的,而利用材料保护技术,既可获得表面高性能,提高产品质量,延长产品寿命,又可降低产品的加工制造成本,节约贵重材料及能源。

随着材料保护技术的发展,材料保护的作用有了进一步扩展。通过专门处理,根据需要可赋予材料及其

制品具有绝缘、导电、阻燃、红外吸收及辐射、吸收声波、吸音防噪、防沾污性等多种特殊功能。也可为高新技术及其产品的发展提供一系列特殊新型表面材料,如金刚石薄膜、超导薄膜、非晶态材料等。

此外,随着人们生活水平的提高及工程美学的发展,材料保护在金属及非金属制品表面的装饰作用也更引人注目和得到明显的发展。

材料保护的主要任务为:

(1) 提高金属材料在腐蚀介质中的耐腐蚀性或抗高温氧化性能;防止金属材料及其制品在生产、贮运和使用过程中,由于大气引起的锈蚀。提高金属工件耐磨、减摩、润滑及抗疲劳性能,从而延长产品使用寿命。

(2) 根据需要,赋予材料及其制品表面多种特殊功能及制造特殊新型表面材料及复层金属板材。

(3) 赋予金属和非金属制品表面光泽的色彩、图纹、优美外观。

(4) 修复磨损或腐蚀损坏的工件;挽救加工超差的产品。

2 材料保护分类及应用^{[1]~[3]}

材料保护技术种类繁多,通常根据使用方法大致分成 7 大类,它们具有各自的特点和用途,见表 8-1-1。应根据工件的服役条件、失效形式、保护目的及综合技术经济效果合理选用,同时与设计、材料及相关制造工艺、装配、维修保养等环节密切联系,互为补充,才能收到最佳效果。

表 8-1-1 材料保护分类、主要特点及用途

分 类	主 要 特 点 及 用 途	
电镀 和化 学镀	电镀	电镀种类多,镀层附着力较强,但形状复杂的工件不易得到均匀的镀层。在金属、塑料、陶瓷或石墨等基体上都可电镀,广泛用于提高工件的装饰、防护、减摩耐磨和其他功能
	化学镀	不需外电源,较方便,形状复杂的工件亦可得到均匀、致密、孔隙率低、硬度高的镀层,但镀层的附着力比电镀稍差,成本较高。在金属和绝缘体上都可镀,用于电子、机械、航天、化工等工件,提高其耐磨、抗蚀等性能
	刷镀	不需镀槽,设备简单,电流密度高,沉积速度快,适用于大型、精密及复杂部件的局部不解体现场修复,大型构件的现场施工,比槽镀优越



(续)

分类	主要特点及用途
热喷涂	电弧喷涂 喷涂温度高, 雾化微粒飞行速度高, 生产效率高, 成本较低, 涂层与基体的结合强度及涂层自身强度均较线材火焰喷涂高。特别适用于厚涂层和大面积喷涂, 用于钢铁构件的防锈、防蚀及工件的表面强化、修复
	火焰喷涂 适应性广, 但火焰温度与喷速稍低, 涂层孔隙率较高, 结合强度稍低。最近发展的超音速粉末火焰喷涂, 粒子飞行速度达 600m/s, 涂层致密、耐磨性好。可制备金属、合金、陶瓷、金属陶瓷、塑料等涂层, 用于钢铁构件防蚀或工件表面强化、修复等
	等离子喷涂 等离子弧温度高 (10000~20000°C)、焰流速度高, 能喷涂陶瓷类的难熔材料, 涂层致密度高 (90%~99%之间), 结合强度高。可以喷涂金属、陶瓷、碳化物及其混合材料, 特别适用制备热障涂层
	特种方法喷涂 有爆炸喷涂和激光喷涂等。涂层光滑致密、结合强度高, 但设备昂贵, 工艺参数要求精确控制。可喷涂所有难熔金属、陶瓷、金属陶瓷及其复合材料
表面合金化与表面改性	扩散合金化 在钢铁及合金表面渗入一种或多种元素, 形成固溶体及化合物层, 结合强度极高, 应用较广, 不同渗层分别用于提高工件的耐蚀、抗高温氧化、减摩、耐磨等性能
	热浸镀 在钢铁基体上浸铝、锌、锌铝合金、铅、锡及铅锡合金, 比电镀生产效率高、成本低、镀层厚, 用于标准件、管道、钢丝、钢板及输电铁塔、矿井支架等构件的长效防腐蚀
	气相沉积 沉积的多种化合物薄层, 结合强度较高、均匀, 表面光泽、美观, 具有极高的熔点和硬度, 优异的耐磨性, 良好的耐蚀性、耐热性。用于装饰性涂层和提高刀具、模具、叶片等寿命效果显著。还能制备磁性、光学、润滑膜等
	高能射束法 利用激光、电子束或离子束辐照材料表面及覆层, 使表面非晶化和形成相应成分的合金, 提高表面抗蚀、耐磨及抗疲劳性能。射束能量高度集中, 加热速度快, 工件变形小, 表面晶粒细、无污染, 操作容易调节和自动化, 但设备投资和维修费用较大
化学转化膜	磷化 设备简单、成本低、生产效率高。磷化膜具有微孔结构、良好的吸附能力和润滑性能, 还有较高的电绝缘性能。可处理钢铁、铝、锌及其合金, 用于防锈、减摩润滑及油漆底层、电绝缘层
	化学氧化 不产生氢脆, 膜薄, 工件尺寸和粗糙度不受影响。氧化膜耐蚀性较差, 需进行浸油、封闭等后处理, 以提高耐蚀性及润滑性。用于机械工件、电子设备、精密光学仪器、弹簧和兵器等的防护装饰
	阳极氧化 一般膜厚 5~30 μm , 硬质膜达 30 μm 以上。膜多孔, 有良好的吸附能力。用于处理铝及铝合金制品防护、装饰、耐磨、电绝缘、改善光学及热学性能
	金属着色 可在多种金属表面及金属覆层上得到不同的色彩。主要用于金属制品装饰, 如用于建筑、五金、工艺美术品及日用品等方面
涂料涂装	溶剂性涂料 以溶剂为稀释剂是目前应用最普遍的涂料品种, 但易燃烧、污染环境。用于机械的非工作裸露表面上作装饰、防护
	水溶性涂料 以水代替溶剂稀释剂, 高效、节能、低污染、经济, 但调整粘度较困难, 施工有特殊要求。用于装饰、防锈、耐酸碱, 其中乳胶漆广泛用于建筑物的内外墙
	高固体分涂料 固体分可达 65%~80%, 由于所含溶剂显著减少, 也是一种低污染型涂料, 主要缺点是烘烤流挂。用于高级轿车、家电产品、船舶、钢结构件的装饰、防蚀涂装
	粉末涂料 是 100% 固体分涂料, 安全、卫生, 涂料利用率接近 100%, 工艺易实现自动化, 对工件边角覆盖力强。但装饰性、耐候性较差, 薄膜化比较困难。广泛用于电器柜、家电、轻工产品、建筑门窗, 在汽车部件上的应用日渐增多



(续)

分类	主要特点及用途
防锈	防锈水 使用方便、生产率高、成本低,但一般又适于结构复杂的大型制品,主要用于钢铁件工序间的短期防锈
	防锈油 防锈能力强,施工方便,不受制品尺寸限制,用厚油时,启封不方便。适用于机械工件的防锈、润滑及金属切削加工
	气相防锈材料 简便、污染少,不受制品尺寸、结构限制,但启封后制品易失效,在密封较好的状态下使用才有好的防锈效果。适于室内防锈包装
	可剥性材料 包装美观、防锈期长,启封方便,但不适于大型、结构复杂的制品,材料较贵。兼有防锈、缓冲包装作用。多用于保护精加工面和量具、刃具
	干燥空气封存 是在密封的包装内,放置干燥剂,工艺简便,易于启封及检查,防锈期长。适用于多种金属的以及有机与无机的材料制品的封存、防霉
其他方法	电化学保护 分为阴极保护和阳极保护,前种又分为牺牲阳极法和外加电流法。工艺简单、效果良好、经济。化工、海水、土壤等介质中的管道、船舶、石油平台、闸门等金属件用牺牲阳极保护;长输管线用外加电流法
	搪瓷及衬覆 可以在钢铁制品上搪以硅酸盐基体的玻璃涂层或衬覆钛、银、不锈钢等。主要用于化工反应器内壁耐蚀,搪瓷还广泛用于日用、五金表面装饰、防锈
	冷粘涂 对于内腔受损、结构复杂的工件或难于焊接的材料,此工艺方便、安全。但冷粘涂层中含有较多有机分子材料,硬度及结合强度较低。在石油、化工、造纸、食品、机械、电力等工业中,应用于堵漏、密封、抗腐蚀、抗气蚀、耐磨损、抗冲蚀等多种工况
	溶胶—凝胶 采用化学途径获得性能卓越,且可按需要进行剪裁的新材料。特别适合各种功能性薄膜材料的制备,如超导薄膜、高效吸波材料、磁性薄膜等

3 材料保护技术发展趋势^{[1]~[3]}

(1) 材料保护新工艺新材料向优质、高效、节能、低成本方向发展。高性能合金电镀、复合镀层、组合镀层、非晶态覆层与高速电镀及相应的新型添加剂的开发。超音速火焰喷涂、爆炸喷涂新工艺用于喷涂陶瓷、难熔金属及碳化物、复合材料等,不仅效率高、涂层致密、性能也好,特别适合于航天、原子能尖端技术领域。气相沉积制备高性能系列超硬化合物层和多种功能覆层,尤以金刚石薄膜制备较为突出。双层辉光离子渗金属、高温真空离子渗碳及稀土元素在表面合金化中应用,提高效率 and 节约能源明显。各种装饰性彩色氧化膜发展快、应用广。优质、低污染水性涂料、粉末涂料、无溶剂及高固体分涂料发展极为迅速,二次阴极电泳、自溶涂料、高装饰性闪光涂料和气相固化涂料亦已开始应用。不断开发了新型防锈润滑抗氧化多功能通用油脂、各种加工中心微孔型冷却防锈液、长寿命切削防锈液及超薄型装饰防锈封存材料。其他如冷粘涂层技术及溶胶—凝胶覆层新材料等,均是当前及今后的研

究热点。

(2) 材料保护的复合表面技术应用日益广泛。复合表面技术可以充分发挥各种工艺和材料的综合优势,获得最佳组合的保护性能,适应更广泛的需要。电镀—电泳涂装复合工艺,大大提高产品耐蚀与装饰性能。热喷涂与涂料涂装复合工艺,可使产品抗大气腐蚀寿命达20年以上。渗金属夹嵌陶瓷、沉积钴铬铝钛系合金,其抗高温氧化和耐蚀性能提高几倍至几十倍。其他如热喷涂与激光重熔复合、激光相变硬化与气相沉积复合、表面强化与固体润滑层的复合、电镀与渗扩复合、多种薄膜技术的复合等,也都是发展趋势。

(3) 人工智能在材料保护领域中的应用发展迅速。在材料保护各专业领域中运用计算机控制实施生产过程自动化的技术已获得普遍应用。人工智能技术已开始应用于涂装生产线、涂装机械手、水溶性静电涂装及涂装计算机配色系统等方面;智能热喷涂、喷焊设备也已问世,用于复杂形状工件的喷涂、喷焊,过程可自动跟踪,工艺参数可以精确控制,提高了涂层质量。可以预见,随着计算机性能提高,人工智能这一前沿学科将



会在本世纪乃至下一世纪的材料保护领域产生深刻的影响。

(4) 高能射束在材料保护中应用前景广阔。近20年来,利用高能射束进行材料表面改性与合金化,如激光熔融扩渗及合金化、激光喷涂、激光重熔、激光“上釉”、激光化学反应涂层、电子束表面合金化及离子注入改性等,有了迅速发展。无论钢或硬质合金,经高能射束改性处理都能使其寿命明显提高,有的提高3~5倍以上,节约大量昂贵材料,足以和许多传统的表面处

理方法相竞争。预计今后10年内,该技术将会在生产中较普遍推广和利用。

机械产品设计中材料保护已成为重要依据之一。机械产品的设计原则,已从单纯的强度设计发展到材料强度、磨损与腐蚀三大因素的综合设计。在解决产品失效的途径,不仅从分析失效原因、改善工况条件与结构设计、合理选材与改进加工工艺方面考虑,还应正确选择与实施材料保护技术,由整个系统工程综合考虑。

第2章 金属表面预处理^{[4][5]}

金属表面往往附着油污、锈蚀产物等异物,存在毛刺、飞边、精整程度不适当等情况,不适宜实施电镀、涂装、热喷涂、防锈、表面合金化、化学转化等表面保护处理和切割、焊接等加工。

金属表面预处理的目的是除去这些异物,使工件表面变为清洁的、具有适当粗糙度的、适于进行有效保护和其他加工需要的表面。

预处理的主要方法有:碱液清洗、溶剂清洗、表面活性剂清洗、化学除锈和机械处理等。

1 碱液清洗

碱液清洗主要用于除油,也可以除掉附着在金属

表面上的金属碎屑、浮渣以及混在油脂中的研磨料及炭渣等。

清洗用的碱液应具有:(1)润湿能力好,表面张力低;(2)对固态油污的弥散性好,对液态油污的乳化性好;(3)易被漂洗干净;(4)稳定;(5)用于电解清洗时有良好的导电性;(6)使用浓度低;(7)无毒无公害。

1.1 碱液清洗方法

清洗方法的选择,应根据生产批量、工件几何形状和复杂程度、油污的类型及程度、要求的清洁度等确定。各种清洗方法的特点见表8-2-1。喷射清洗和螺旋自动进料超声清洗装置见图8-2-1及图8-2-2。

表8-2-1 各种清洗方法比较

方法	特 点	注 意 事 项
手工清洗	适于批量小或尺寸很大或形状很复杂的工件 生产效率低,劳动强度大	选用浓度较低的碱液(约低于30g/L),操作温度不可过高。防止碱液伤害皮肤和眼角膜
浸渍清洗	适于中小型工件,浸渍槽可靠加热使碱液对流,也可以装搅拌器强制循环。钢铁件可在沸腾的高碱度的溶液中清洗,生产效率高。非铁件的清洗溶液pH要低,清洗时间则较长	静止浸渍清洗,溶液浓度约30~120g/L,加搅拌时浓度可低些
喷射清洗	适于大批量生产。可以除去中等粘度的矿物油和防锈油。不适于形状很复杂的工件	碱液浓度一般低于8g/L,温度可较高(每升高10°C,清洗时间减少1/2),但过高会导致工件表面失去光泽和碱液浓度改变
电解清洗	适用于各种尺寸及形状的工件。可在普通电解槽中进行(电压6~12V,电流密度>2A/dm ²),工件可作为阴极,也可作为阳极。可获得最清洁的有活性的表面。采用周期换向,可加速清洗过程,获得更好的表面质量	碱液浓度约为30~120g/L,应有在30~60min可加热到沸腾温度的设备 铁基金属及其合金用阳极清洗,可避免氢脆。非铁金属用阴极清洗,可避免被溶解或失去光泽



(续)

方法	特 点	注 意 事 项
蒸汽喷射	主要用于大型工件或间歇生产	可采用 $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 3~4g/L, $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ 10~20g/L 的碱液
滚筒清洗	适于量大的、小的或轻的工件、空心件 有精细螺纹的或表面不可划伤而又有尖角和锐边的工件、太薄的和可套合在一起的工件都不适用	采用浓度约 4~8g/L 的碱液, 并要求不易产生泡沫 清洗后, 可在转动的滚筒中进行水洗
超声清洗	适于有狭缝、盲孔、细螺纹等复杂形状的工件, 包括 压铸件、精密加工件 能除去难溶的油污, 如抛磨膏剂、钎焊剂、蜡类、指纹及磁性金属屑等 清洗时间约 15~60s	需有高频发生器, 将工业频率调到换能器的共振频率 (20~40kHz, 400~800kHz)。换能器可单独浸入清洗槽中或构成清洗槽的一部分

注: 1. 工件上若油污过多, 应在室温下先经溶剂清洗。
2. 采用浸渍与喷射相结合的方式, 可以增强清洗效果。
3. 碱液浓度是指碱液配方的浓度。

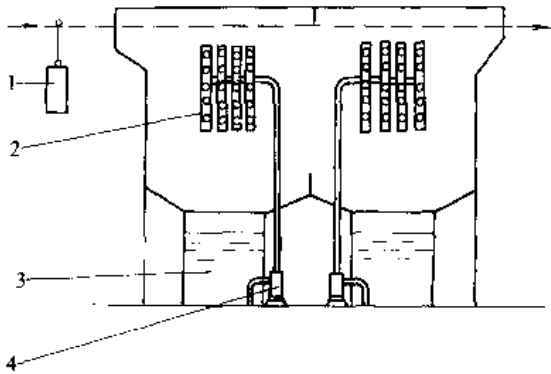


图 8-2-1 喷射清洗装置示意图

1—工件 2—喷嘴 3—清洗液 4—泵

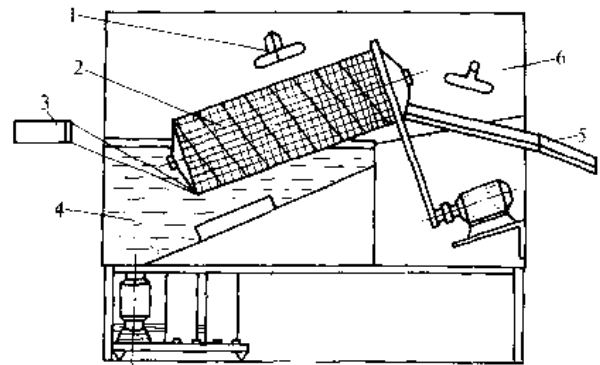


图 8-2-2 螺旋自动送料超声清洗装置示意图

1—喷嘴 2—滚筒 3—进料 4—清洗液
5—出料 6—红外线加热装置

1.2 碱液清洗配方示例

单一材料配制的溶液, 常不具备清洗所需的综合

性能, 因而清洗液通常是由多种材料组成, 其配方示例见表 8-2-2。

表 8-2-2 碱液清洗配方示例

项 目	质 量 配 方										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
组 成 (g/L)	NaOH	—	6~9	3	—	—	—	—	0.5~1.6	—	15
	Na_2CO_3	25~35	—	8	50~60	—	3~9	40~50	10~12	2.1~16	30
	Na_3PO_4	25~35	—	4	20~30	60~100	4.5~13.5	40~50	10~20	2.1~16	30
	Na_2SiO_3	—	—	—	—	5~10	—	2~5	10~20	—	—
	$\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$	—	14~20	—	—	—	15~45	—	—	—	—
	OP-10	—	1.5~2.3	—	—	1~3	—	—	1~3	—	—



此章公司制作 请尊重作者版权

(续)

项 目	质 量 配 方											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
组 成 (g/L)	柠檬酸	—	9~14	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	皂粉	—	—	—	1~2	—	—	—	—	—	—	—
	洗涤剂	0.75	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	润湿剂	—	—	—	—	—	—	3~5mg/L	—	—	0.7	0.7
	烷基苯磺酸钠	—	—	—	—	—	1.5~4.5	—	—	—	—	—
工 艺 参 数	pH 值	12~13.5	—	—	—	10.5~11.5	—	pH 较低 但不可低 于 8~8.5	—	—	—	—
	温度(°C)	80~100	80~100	80	70~80	70~80	80~100	70~80	60~80	80~100	80~100	80~100
	清洗方式	浸洗	浸洗	0.15~0.2 MPa 下喷洗	浸洗	浸洗	浸洗	浸洗	浸洗	浸洗	浸洗	浸洗
适应范围	铁基金属			黄铜、锌、铅等			铝及其合金			镁及其合金		

1.3 漂洗

经过碱液清洗的工件表面,必须用软水漂洗。漂洗可用热水或冷水。漂洗方式可用喷淋法或浸渍法,但不用哪种方法都必须用清洁的水以恒定的速度洗涤工件的表面。用喷淋法时,必须有足够的喷嘴,使工件表面各部分都受到淋洗。用浸渍法时,通常采用二级漂洗,若采用多级逆流漂洗,可提高漂洗质量和节约用

水。

2 溶剂清洗

溶剂清洗是利用油脂类物质易被有机溶剂溶解的特点去除油污的清洗方法。

2.1 溶剂清洗方法

有机溶剂除油方法见表 8-2-3。

表 8-2-3 有机溶剂除油方法

名 称	使 用 方 式	特 点 及 效 果
冷清洗除油	可擦洗、浸洗、喷洗	适于批量小的大型工件,可用于各种金属。对油脂类污物有良好的溶解能力,但缺乏一致性,且不能除去无机盐类及手汗等
蒸汽除油	用密闭式的或敞开式的蒸汽清洗装置	适于各种批量的各种金属工件。能溶掉较多的油脂、蜡类、焦油等,与超声波联用可加强清洗效果。溶剂可循环使用。对皂类、无机盐类及手汗不能充分除去
两相除油	互不相溶的水和溶剂(一般为氟烃)置于同一容器中,水在上层,溶剂在下层。工件通过水层进入溶剂层溶解油污,然后取出,通过水层洗涤	适于小批工件,能除去油溶性及水溶性的污物。可用于脱漆
乳液清洗	水包油型,如煤油 45% (体积分数),石油磺酸盐(水溶液) 10% (体积分数),水 45% (体积分数) 油包水型,如煤油 50% (体积分数),脂肪酸+氯乙烯加合物(油溶性) 5% (体积分数),水 45% (体积分数)	适用于一般工件,可除去油污及无机尘污,但不能除去树脂化的油类及渗入金属微孔中的润滑油。清洗后金属表面留有薄油层,对工件有短期保护作用



2.2 清洗用溶剂

2.2.2 蒸汽清洗用溶剂

2.2.1 冷清洗用溶剂 (表 8-2-4)

表 8-2-4 冷清洗用溶剂

名称	煤油	高闪点汽油	松香水	溶剂汽油	乙醇	异丙醇	丙酮	涤纶剂
闪点 (°C)	63	43	30	41	14	10	-18	40
工作区最高允许浓度 (mg/m ³)	--	--	--	350	1000	200	400	200

选择蒸汽清洗用溶剂,应考虑:(1)对所除的油污有良好的溶解能力;(2)不致燃烧或爆炸;(3)蒸发潜热低、比热低,在一定重量的金属上冷凝的溶剂量最大;(4)蒸汽的密度比空气大,在空气中的扩散率低,溶剂逸向大气的损失最小;(5)经长期使用和再生后,对工件和设备均无腐蚀性;(6)在水中的溶解度低,无水解倾向;(7)沸点要适当,既要便于使溶剂蒸汽凝集在工件表面上起溶解及冲刷油污的作用,并在简单的水冷却情况下能形成蒸汽带;又要便于回收,并使工件热到适于下一步处理的温度;(8)易得而价廉。

蒸汽清洗常用的几种溶剂见表 8-2-5。

表 8-2-5 蒸汽清洗几种常用溶剂

名称	三氯乙烯	四氯乙烯	二氟甲烷	三氟三氟乙烷	甲基氯仿
沸点 (°C)	87	121	40	47.7	74
蒸发潜热 (沸点时) [J/(g·K)]	241.8	209.9	329.7	146.5	222.9
蒸汽相对密度 (空气为 1)	4.53	5.71	2.96	6.97	4.50
工作区最高允许浓度 (mg/m ³)	30	100	500	1000	350
热源	低压蒸汽, 表压 103kPa	高压蒸汽, 表压 343~412kPa	低压蒸汽	低压蒸汽	低压蒸汽
备注	1. 目前使用最多 2. 加稳定剂后,有铝屑亦不致分解 3. 要控制水分并远离高热源	对清洗高熔点的沥青、蜡类的油污效果较好	对镁铸件封闭后的封闭剂残余和树脂等的溶解能力,比前二种溶剂为佳	1. 毒性最低,但价格较高 2. 目前多用于较精密的塑料与金属的组合件的清洗或塑料金属化前的清洗	能除去油脂但不溶解绝缘漆,故用于某些电器的清洗

2.3 溶剂蒸汽清洗设备

溶剂蒸汽清洗可以归纳为四种类型,其相应的设备示意图,见图 8-2-3。其清洗特点如下:

(1) 单一蒸汽清洗,如图 8-2-3a 所示。工件单纯在蒸汽区经受蒸汽冷凝作用清洗。适于清洗形状较简单、重量大、断面厚的工件和粘附力较小的油污。

(2) 溶剂喷淋-蒸汽清洗,如图 8-2-3b 所示。工件在蒸汽区中经受溶剂喷淋后,停留至蒸汽在其表面不再冷凝为止。适用于清洗形状较复杂,如带沟槽和盲孔的工件。能清除粘附力较强的油污。

(3) 热溶剂-蒸汽清洗,如图 8-2-3c 所示。工件通过蒸汽区进入热溶剂中浸洗后,升至蒸汽区停留至蒸汽在其表面不再冷凝为止。适于清洗形状较复杂、断面薄的工件表面的灰尘、油污、铁屑等。

(4) 沸腾溶剂-热溶剂-蒸汽清洗,如图 8-2-3d 所示。工件通过蒸汽区进入沸腾溶剂中,被强烈的沸腾作用冲刷油污和金属屑等不溶物,转入热溶液中除去残留物和降温,再升至蒸汽区中,以蒸汽冷凝作最终清洗。适用于大批量、形状复杂或易套叠的工件。能除去粘附率的重油污。

图 8-2-4 是带有超声波的喷淋-蒸汽清洗设备。



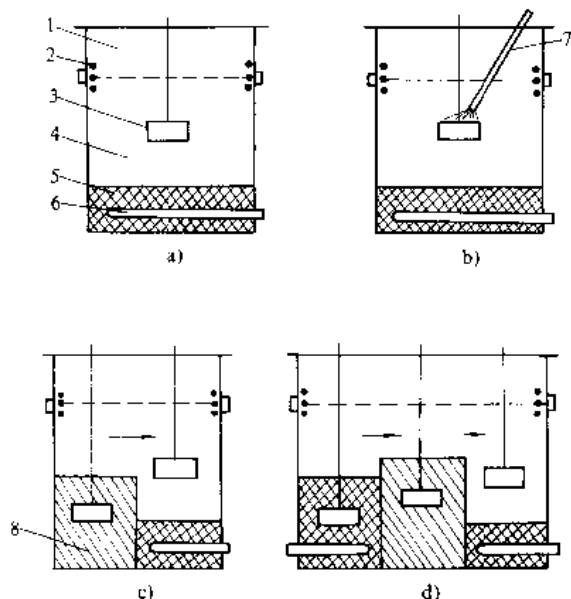


图 8-2-3 蒸汽清洗设备类型示意图

1—自由区 2—冷凝管 3—工件 4—蒸汽区 5—沸腾溶剂 6—加热管 7—喷淋管 8—热溶剂

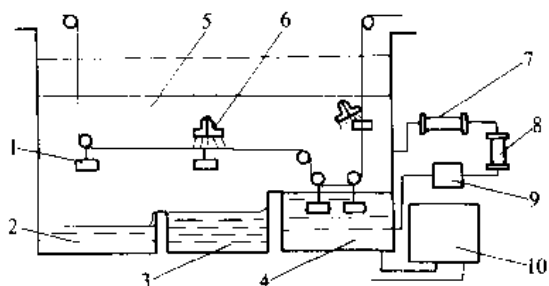


图 8-2-4 喷淋—蒸汽(超声)清洗设备示意图

1—工件 2—沸腾溶剂槽 3—喷淋后溶剂收集槽 4—超声波清洗槽 5—蒸汽带 6—喷嘴 7—溶剂冷却器 8—溶剂过滤器 9—泵 10—超声电源

3 表面活性剂清洗^[5]

以表面活性剂为主复配的清洗剂，主要是利用其表面活性剂能显著地降低表面张力和具有良好的润湿、渗透、乳化、增溶、分散等性能去除油污。它除油效果好，可在常温下使用，适应范围广，因而目前应用最普遍。但它容易产生泡沫，在用喷射方式清洗时，应注意选用低泡型的表面活性剂或添加消泡剂。

3.1 表面活性剂分类

表面活性剂种类很多，但其分子都是由亲油基团和亲水基团两部分组成。表面活性剂性质上的差异除

与亲油基的大小、形状有关外，主要与亲水基团的不同有关，因而通常按亲水基团分类。表面活性剂溶于水时，根据其离解状态，可分为阴离子型、阳离子型、两性离子型和非离子型四大类。用于清洗的表面活性剂多为阴离子型和非离子型的(参见基础理论卷第11章第9章)。

3.2 工业清洗中常用的表面活性剂及复配清洗剂(表 8-2-6和表 8-2-7)

表 8-2-6 常用的表面活性剂

名称	类型	主要用途	商品名称或作为主要成分构成的商品牌号
脂肪醇聚氧乙烯醚	N	乳化、润湿、分散	664 净洗剂
烷基酚聚氧乙烯醚	N	乳化、增溶、分散	OP-10
失水山梨醇单油酸脂	N	乳化、助溶	司本-80
聚氧乙烯失水山梨醇油酸脂	N	乳化、润湿、分散	吐温-80
聚氧乙烯聚氧丙烯醚	N	消泡	消泡剂 7010
十二烷基磺酸钠	A	乳化、发泡	—
十二烷基二乙醇胺	N	乳化、润湿	净洗剂 6501
三乙醇胺油酸皂	C	乳化、防锈	664, 741 净洗剂
月桂醇聚氧乙烯醚	N	乳化、分散、洗涤	平平加 O-20

注：N—非离子型，A—阴离子型，C—阳离子型。

表 8-2-7 表面活性剂复配清洗剂

序号	药品名称	含量②(%)	备注
1①	烷基苯磺酸铵盐 椰子醇聚氧乙烯(8)醚 焦磷酸钠 水	38 9 2.5 余量	将清洗剂喷洒或涂刷在工作表面，泡一段时间，再用强烈的水束冲洗干净
2	聚氧乙烯脂肪醇醚 聚氧乙烯辛烷基酚醚 十二烷基酸二乙醇酰胺 三乙醇胺油酸皂 水	10.8 5.4 10.8 55 余量	使用浓度为 20~30g/L，温度为 70~75℃。浸洗
3	聚氧乙烯脂肪醇醚 聚氧乙烯烷基酚醚 十二烷基酸二乙醇酰胺 三乙醇胺油酸皂 水	10 15 12 43 余量	使用浓度为 30~50g/L，温度为 75~80℃。浸洗
4①	单乙醇胺 烷基苯磺酸钠 石油溶剂 水	1~1.5 0.01~0.05 0.5~1.0 余量	将 50~60℃的清洗剂喷洒或浸泡工件，再用热水冲洗



(续)

序号	药品名称	含量②(%)	备注
5	PA30-SL 低温高效复合脱脂剂 (由多种表面活性剂和一种弱碱组成) 水	3~3.5 余量	在 40~47℃ 下使用, 适于喷洗
6	PA30-IA 常温高效复合除油剂 A 组分 (由表调剂、无机添加剂组成) B 组分 (由表面活性剂组成) 水	1.5	在常温至 70℃ 下使用, 适于浸洗
		3.5	
		余量	

4 化学除锈

化学除锈是利用化学或电化学反应, 溶解掉工件表面的锈迹、铸皮、锻皮、轧皮以及各种腐蚀产物的方法。

除锈材料主要为无机酸, 如 H_2SO_4 、 HCl 、 HNO_3 , 亦可用有机酸。无机酸除锈速度快、效率高、价格较低, 但控制不当, 对金属基体会产生“过腐蚀”, 且除锈过程中产生的氢原子, 容易向钢铁内部扩散, 引起氢脆。有机酸作用较缓和, 但除锈速度较慢, 价格较高。为减缓酸对金属的腐蚀和氢脆, 除锈液中需加适量的缓蚀剂。常用的缓蚀剂为若丁、乌洛托平、硫脲等。

① 摘自参考文献 [4] 489 页

② 指质量分数。

4.1 化学除锈方法 (见表 8·2-8)

表 8·2-8 化学除锈方法示例

序号	溶液质量组成 (%)	操作方法	适应范围
1	H_2SO_4 7~12 若丁 (或硫脲) 0.3~0.5 水 余量	在 66~77℃ 下浸洗或喷射工件, 继以中和及水洗	碳钢及低、中合金钢
2	HCl 8~12 若丁 0.3~0.5 水 余量	工件在 38~40℃ 下浸渍 5~15min, 继以中和及水洗	碳钢及低、中合金钢
3	H_3PO_4 15~17 CrO_3 15 H_2SO_4 1~1.2 水 余量	工件在 85~90℃ 下浸洗, 继以中和及水洗	轻锈精密的碳钢和低、中合金钢件
4	$NaOH$ 3.7~5.7 Na_2CO_3 1.8~2.8 $NaSiO_3$ 1.5~2.3 $Na_5P_3O_4$ 0.4~0.6 阴离子表面活性剂 0.08~0.12 水 余量	工件在温度为 77~93℃, 电流密度为 5~15A/dm ² 下进行阴极或阳极电解 2min	精密钢铁件
5	HCl 2 (3.8 或 7.4) HF 2	工件在室温下浸洗, 继以中和及水洗	铸铁件
6	HCl 5 H_3PO_4 20 H_2SO_4 40 乌洛托平 0.8 水 35 白土 适量	将白土用混合酸液调成糊状, 在常温下均匀涂覆于工件表面, 经一定时间后, 除去涂覆层, 继以中和及水洗	大型或固定装备及精度要求不高的工件



(续)

序号	溶液质量组成 (%)	操作方法	适应范围
7	(1) H ₂ SO ₄ 28~46 NaCl 4.8 水 余量 (2) HNO ₃ 7~17 HF 2.2~5 水 余量 (3) HNO ₃ 14~43 水 余量	工件先在(1)中在71~82°C下浸渍30~60min,水洗后在(2)中在室温至49°C下浸2~5min,然后在(3)中在60~82°C下浸5~15min	不锈钢
8	(1) NaOH 溶 NaF 1.5~2.0 (2) H ₂ SO ₄ 2~10 (3) HNO ₃ 15~30 HF 2~4 水 余量	工件先在(1)中在370~390°C下处理5~20min,取出水淬后再在(2)中在室温下浸1~3min,然后在(3)中处理5~15min	含Cr高的合金和 Co、Cr、Ni合金
9	(1) 含NaNO ₃ 的NaOH溶 (2) H ₂ SO ₄ 10~40 (3) HNO ₃ 10 HF 0.25	工件先在(1)中在400~480°C下处理5~20min,取出水淬后再在(2)中在50~60°C下浸2~5min,再在(3)中处理。(3)的浓度根据氧化皮去除情况决定	钛及其合金
10	(1) NaOH 溶 NaNO ₃ (或 NaNO ₂) 10 (2) HNO ₃ 50~70 HF 10~20 水 余量	工件先在(1)中在340~400°C下处理5~20min,取出水淬后,再在(2)中在50~60°C下浸渍到氧化皮除净	钨和钼及其合金
11	HNO ₃ 14 HF 45 水 余量	工件在常温下浸渍到氧化皮除净	锆合金
12	H ₂ SO ₄ 7~28 水 余量	工件在室温至60°C下浸洗0.25~5min	铜合金银件、挤压件、退火件的薄氧化膜
13	NaOH 0.7~1.5 Na ₂ CO ₃ 1~2 Na ₂ SiO ₃ 0.9~1.8 Na ₅ P ₃ O ₁₀ 0.3~0.6 阴离子型表面活性剂 0.06~0.12 水 余量	工件在电流密度为1~5A/dm ² 和温度65~82°C下进行阴极或阳极电解2min	黄铜件



(续)

序号	溶液质量组成 (%)	操作方法	适应范围
14	(1) HCl 12 CuCl ₂ 2 水 余量 (2) H ₂ SO ₄ 15 Na ₂ Cr ₂ O ₇ 10 水 余量	工件先在(1)中在80°C下处理,水洗后放入(2)中处理,再水洗后用NH ₄ OH 2%的溶液中和,再水洗	镍铜合金
15	H ₂ SO ₄ 56 HNO ₃ 44	混合酸用10倍的水稀释,在室温下浸洗工件1min	锌及其合金
16	NaOH 0.6~1.2 Na ₂ CO ₃ 0.8~1.7 Na ₂ SiO ₃ 1.2~2.3 Na ₅ P ₃ O ₁₀ 0.3~0.6 阴离子表面活性剂 0.06~0.12 水 余量	工件在电流密度为1~5A/dm ² 和温度为54~65°C下进行阴极或阳极电解25~45s	锌合金压铸件
17	(1) CrO ₃ 3.4 H ₂ SO ₄ 14.7 HF 0.55 水 余量 (2) HNO ₃ 浓	工件先在(1)中在56°C下浸1~3min,经水洗后再在(2)中浸10~15s	铝及其合金轧制件
18	(1) HNO ₃ 浓 (2) NaOH 4.3 (3) HNO ₃ 79 HF 21	工件先在(1)中在室温下浸10~15s,经水洗后在(2)中在65~70°C下浸10s,然后在(3)中浸3~5s,然后在(1)中浸10~15s	铝及其合金的铸造件
19	CrO ₃ 15 水 余量	工件在21~100°C下浸1~15min	镁合金铸锻件

4.2 除油酸洗“二合一”处理

除油酸洗“二合一”处理是指在同一溶液中,一次处理同时完成除油除锈的过程。这种溶液由能除去油污的成分和能除去锈迹的成分组成,各组分的作用与单独的除油剂、除锈剂相同,通常用于钢铁件。其质量配方示例如下:

- (1) H₂SO₄ 13%~20%
硫脲 0.1%
6501-AS 2.9%
OP-10 0.3%
水 余量
在65~70°C下浸洗8min
- (2) H₂SO₄ 16%~23%
硫脲 1%~1.5%

- 海鸥洗涤剂 4.8%~6.5%
水 余量
在70~90°C下浸洗10~20min
- (3) H₂SO₄ 15%~17%
MC洗涤剂 1%~6%
OP-10 0.01~0.2
水 余量
在60~70°C浸洗4~6min
- (4) H₂SO₄ 18%~28%
HCl 30%~42%
PA51-L 4%~5%
水 余量
在常温下浸洗10~30min
- (5) H₂SO₄ 46%~59%
PA51-M 4%~5%



水 余量
在 45~60℃ 下浸洗 7~9min

5 机械除锈及精整

机械除锈及精整是指以机械作用力为主的除锈及精整处理。

5.1 动力工具除锈

用动力工具,如风(电)动砂轮,风(电)动钢丝刷除锈,设备简单,操作方便、灵活,但除锈不够彻底,适用于要求不太高的涂装的前处理。

5.2 喷丸(砂)、抛丸除锈

喷丸(砂)、抛丸除锈主要是利用压缩空气流、高

压水或离心力,使磨粒冲击工件表面以除去锈迹、高温氧化皮、腐蚀产物及旧漆、污垢,也可以去掉飞边和毛刺,可使工件表面强化,提高疲劳强度和产生符合不同要求的表面粗糙度。当喷射角度大于 30° 时,主要是锤击作用;小于 30° 时,主要是切削和冲刷作用。以较细的磨粒(如小于 350 目)和很小的角度喷射时,可以获得精整程度很高的表面。以较粗的磨粒(如大于 30 目)则可以获得粗糙度较大的表面(适于热喷涂)。例如,湿喷时磨粒对精整程度的影响如下:

磨粒粒度(目) 30 ~ 50 ~ 120 ~ 250 ~ 500 ~ 900
表面精整程度 很粗 粗 光滑 很光滑 可得镜状

几种喷丸(砂)、抛丸等机械除锈方法见表 8-2-9。

表 8-2-9 几种机械除锈方法

方法	喷射材料	应用范围	设备及特点
干喷砂	河砂、石英砂、刚玉和玻璃球等,粒度为 20~30 目	除去轧皮、锈蚀产物并有清洗及减弱反光和去毛刺作用	大件在露天作业,小件可在封闭式的喷砂室内作业。喷距约 200mm 空压机表压约 0.6MPa,喷砂室应有旧砂回收装置
喷丸抛丸	铸钢丸、可锻铸铁丸或白口铁丸,铁基或非铁基金属的线段、板材碎块等,粒度为 6~50 目	去除锻皮、铸皮并可达到较高的精整度 喷抛丸粒时,还可使工件表面强化,提高疲劳强度	喷丸用于小件,压力约 0.6MPa。抛丸适用于大量及大面积的工件,但不适于薄壁及较脆的工件
湿喷砂	石英砂、硅藻土等	大表面上除锈,如船舶及钢结构件	干砂罐工作压力约 0.5~0.6MPa,水罐工作压力约 0.35MPa。砂、水在离开喷嘴前汇合,形成水罩,防止粉尘飞扬。喷距约 100mm 砂回收后需烘干,方可重用。水中需加 (NH ₄) ₂ HPO ₄ 或 NaNO ₂ 等缓蚀剂
高压水喷射	矿物质的磨料及水	清理铸件	表称压力大于 10MPa 的高压水泵

5.3 滚筒精整及振动精整

滚筒精整及振动精整是将工件与磨料、水和化合物等介质置于同一容器,利用容器的转动或振动,使工件与介质或工件之间产生摩擦等作用而达到精整的处理方法。可用于消除污物,去除氧化皮、飞边和锐角(半径可达 0.125μm),降低表面粗糙度(可达 R_a0.6μm),减轻表面应力。

此法可处理金属件和塑料件,适于大批量的小件和能装卡在滚筒里的较大件或悬吊在振动器中的较大

件、大件。

所用磨料有成型的(三角形、椭圆形、星形或球形的)也有不规则的碎屑。有的起磨粒作用,有的只起抑制工件间的相互碰撞或抛光和研光作用。其粒度应大于工件上的孔径(凹坑)的 3 倍或小于其孔径的 1/3。常用的磨料品种有刚玉、石灰岩屑、大理石屑、花岗石屑、陶瓷粘结氧化铝、砂、模压铁粉及模料、铸丸、木质球、坚果壳、碎玉米芯、皮革和毛毡碎屑等。

两种精整方法对比,见表 8-2-10。滚筒精整时介质与工件的比值(即点数)的确定,见表 8-2-11。



表 8-2-10 两种精整方法比较

项目	滚筒精整	振动精整
结构特点	滚筒内部断面为六边形或八边形。精密件用密闭卧式滚筒。对尺寸要求不严的工件，可用倾斜敞口滚筒	振动槽有圆形的或半圆形的，在装有偏置重块的驱动轴作用下，发生高频率的上下及左右震动
转速	20~45r/min，以保持待精整工件很少发生相互撞击作用	振动频率和震幅范围：900~3000r/min，2~10mm；大多数设备是用1200~1800r/min，3~6mm
工件及装裁量	低于中心线以下时，处理后获得的表面较粗。达到中心线时，操作最快。一般以达到中心线或两板间距的3/4处为宜	各种小工件，包括脆的、薄的（125μm）工件，球形、辊形和塑料件可不加介质。容量到2/3处为宜。亦可处理能悬挂在振动器中的较大件和大件
介质的比值	利用表8-2-11求介质与工件的比值（即点数）①	所用介质与滚筒精整相同，但介质用量不同。倾向用成型的陶瓷 对形状简单的工件，可不加介质
操作时间	去氧化皮，约1~2h；去刀痕、毛刺、尖角等，约1~5h；抛磨约5~36h	比滚筒法约快4~10倍

① 例如，待精整件为：低碳钢；形状较复杂；要求达到抛光精整程度；作为结构件；需进行功能电镀；单件质量30~120g；无其他难处理的情况。从表中查得相应的点数为1+2+3+2+2+1=11，即介质的体积应为工件的11倍。

表 8-2-11 工件各种因素及相应的点数

因素	相应的点数			
	1	2	3	4
材料	低碳钢	钢、锌及其合金	铝及其合金	
形状	简单	较复杂	复杂	
精整要求	去刀痕、毛刺	去氧化皮、尖角	抛光	珩磨
工件使用要求	装饰	结构件	预应力	
后续处理（以电镀为例）	保护性	功能性	装饰性	
单件质量（g）	30~120	120~240	>200	

注：其他较难处理情况，可酌加点数。

6 预处理质量检测与评定

6.1 除油质量评定方法

除油、除锈的效果对后续的表面处理质量有很重要的影响，在工艺过程中必须严格控制。

工业中评判除油质量常见的方法，见表8-2-12。

表 8-2-12 除油清洁程度的评定方法

名称	评定方法	特点
水膜法	清洗后的试样（或工件），浸入干净的水中，取出后立即检查，其表面应带有一层连续的水膜，如水膜破裂，表明油污未除净	是工业中最常用的一种方法。简单、直观。表面若有残渣，会影响对结果的判断，可在弱酸中浸洗后再进行水膜试验 用表面活性剂清洗时，若漂洗不干净亦可能影响结果的判断
指拭法	清洗后的试样（或工件）用白布或白纸指拭，白布或白纸上若留有污迹，表明清洗不良	是定性的方法，简便直观

此是公可制作请尊重作版权



(续)

名称	评 定 方 法	特 点
试纸法①	取标准 G 型极性溶液约 0.1mL, 滴于被检表面, 展开约 20×40 (mm ²), 用 A 型验油纸 (白色稍带黄色) 紧贴其上约 1min, 取下试纸检查, 若显示均匀、连续的红棕色, 则清洗合格。若红棕色不均匀、不连续, 则表明除油不干净	检出表面残余含油量不大于 0.12g/m ² 。适用于涂装前除油程度的检查
称重法	试样用乙醚清洗后称重, 再沾油污, 然后用清洗剂除油, 洗净、干燥后再称重。前后两次重量的差值, 即为油污残留量。残留量越多, 清洗效果越差	方法可以定量, 但只能用试片作试验
镜铜法	清洗后的试样放入含硫酸铜 15g/L, 硫酸 0.9g/L 的水溶液中, 在室温下浸 20s。试样干净表面上将化学沉积一层铜, 而有残余油污部分则无铜沉积	方法直观, 但只适用于钢铁件
喷雾法	试样经清洗、酸浸、水洗、干燥后, 垂直置于蓝色溶液雾状中, 在试样表面液滴将要滴落时, 停止喷雾。将试样平置, 并稍加热, 使表面状态固定。无蓝色覆盖的区域表明带有残留油污。用带网格的透明评定板, 评估未覆盖蓝色区域所占的比例	此法能定量表达清洁程度, 且灵敏度较高, 但不能用工件直接作试验
荧光法	试样涂布含有荧光染料的油污, 进行清洗后, 再在紫外光下进行检查。用带网格的透明评定板评估残留荧光区域所占的百分数	方法可以定量但需制备人工油污和只能用试片作试验。其灵敏度低于水膜法和喷雾法

① 摘自 JB/Z 236--85《钢铁件涂装前除油程度检查方法》。

6.2 机械预处理质量检测与评定

仪表卷第 3 篇第 6 章)

机械预处理质量的检测包括除锈程度和表面粗糙度。

6.2.2 除锈质量等级

机械除锈质量等级, 根据不同的除锈方式分为 6 个等级, 以符号表示, 用文字说明, 并用相应的彩色照片加以对照, 见表 8-2-13。

6.2.1 表面粗糙度的检测方法 (参见检测控制与仪器)

表 8-2-13 钢材表面除锈等级标准

等级符号	除 锈 方 式	除 锈 质 量
Sa1	轻度的喷射或抛射除锈	钢材表面应无可见的油脂和污垢, 并且没有附着不牢的氧化皮、铁锈和油漆涂层等
Sa2	彻底喷射或抛射除锈	钢材表面应无可见的油脂和污垢, 并且氧化皮、铁锈和油漆涂层等附着物已基本清除, 其残留物应是牢固附着的
Sa2 $\frac{1}{2}$	非常彻底的喷射或抛射除锈	钢材表面应无可见的油脂、污垢、铁锈、氧化皮和油漆涂层等附着物, 任何残留的痕迹, 应仅是点状或条状的轻微色斑
Sa3	使钢材表面洁净的喷射或抛射除锈	钢材表面应无可见的油脂、污垢、铁锈、氧化皮和油漆涂层等附着物, 该表面应显示均匀的金属色泽
St2	彻底的手工和动力工具除锈	钢材表面应无可见的油脂和污垢, 并且没有附着不牢的氧化皮、铁锈和油漆涂层等附着物
St3	非常彻底的手工和动力工具除锈	钢材表面应无可见的油脂和污垢, 并且没有附着不牢的氧化皮、铁锈和油漆涂层等附着物。除锈应比 St2 更彻底, 底材暴露部分的表面应具有金属光泽

注: 详见 GB 8923—88《涂装前钢材表面锈蚀等级和除锈等级标准》。

第3章 电镀和化学镀^{[2][6][7]}

电镀是应用电化学的基本原理,在电解质溶液中,将具有导电表面的制品作为阴极,以金属作为阳极,通过直流电,在制品表面沉积出牢固覆层的工艺过程。镀层可以是单金属或合金。

基体金属材料经过电镀后,可改变其外观,提高耐腐蚀性、耐磨性,增加其他力学性能。因此,电镀已经成为金属表面处理的重要方法之一。广泛应用于机械、电子、化工、轻工等工业部门。

化学镀是利用合适的还原剂,使溶液中的金属离子在经催化活化的表面上还原析出成金属镀层的一种化学方法。由于它具有独特的工艺性能和优良的镀层特性,现已发展成为引人注目的镀覆技术,越来越多地应用在各个工业部门。

1 装饰性电镀^{[2][7]}

装饰性电镀层是指以外观装饰为主要目的而又具

有一定防护性能的一类电镀层。包括单金属镀层及其组合镀层和合金镀层。其中,铜、镍、铬组合镀层应用最广泛,在自行车、摩托车、小汽车及其他轻工产品的表面处理中占有相当大的比重。

1.1 装饰性铜、镍、铬镀层及其组合

1.1.1 铜镀层

镀铜一般多用作装饰性组合镀层的底镀层。镀铜工艺主要分为氰化物镀铜和酸性光亮镀铜。氰化物镀铜工艺主要用于钢铁和锌合金的预镀铜,铜层与基体结合良好。常用氰化物镀铜工艺的规范见表 8-3-1。

酸性光亮镀铜工艺成分简单,溶液稳定,沉积速度快。可以得到高光泽、低应力、整平性能良好的镀层。几种性能较好,使用温度范围较宽的酸性镀铜工艺的规范见表 8-3-2。

表 8-3-1 常用氰化物镀铜工艺规范

名称	1	2	3	4
氰化亚铜 (g/L)	8~35	35~45	30~35	20~25
氰化钠 (总) (g/L)	12~54	50~72	45~55	30~35
酒石酸钾钠 (g/L)		30~40	25~30	10~15
硫氰酸钠 (或钾) (g/L)		18~20	10~15	5~8
氢氧化钠 (g/L)	2~10	8~12	15~20	5~8
温度 (°C)	18~50	50~65	55~60	45~55
阴极电流密度 (A/dm ²)	0.2~2	0.5~2	1~1.5	0.6~1
周期换向 (t _K :t _A)			25:5	
阴极移动			移动	8~12r/min
适用范围	挂镀预镀	一般镀铜或滚镀铜	周期换向镀铜	滚镀预镀

表 8-3-2 典型的酸性光亮镀铜工艺规范

名称	1	2	3	4
硫酸铜 (g/L)	150~220	150~220	150~220	150~220
硫酸 (g/L)	50~70	50~70	50~70	50~70
N (乙撑硫脲) (g/L)	0.0002	0.0003	0.0005	0.0007
M (2-巯基苯咪唑) (g/L)	0.0003	0.0005	0.0008	0.0010
聚二硫二丙烷磺酸钠 (g/L)	0.010	0.016	0.016	0.020



(续)

名称	1	2	3	4
聚乙二醇 (M=6000) (g/L)	0.05	0.05	0.05	0.10
十二烷基硫酸钠 (g/L)	0.05~0.1	0.05~0.1	0.05~0.1	0.05~0.1
氯离子 (g/L)	0.02~0.06	0.02~0.06	0.02~0.06	0.02~0.06
工作温度 (°C)	10	20	30	40
阴极电流密度 (A/dm ²)	1.5~2	2~3	3~4	3~5
搅拌	压缩空气搅拌或阴极移动			
过滤	连续过滤或定期过滤			
阳极	磷的质量分数 0.1%~0.3%的铜板并加阳极护框			

1.1.2 镍镀层

镍镀层结晶细致, 韧性好, 硬度较高, 容易获得镜面光亮的镀层, 可单独作为装饰性镀层, 亦可作为组合

镀层中的底镀层, 中间镀层或面层。镍镀层对钢铁基体属阴极性镀层, 防护性能取决于其厚度与孔隙率。普通镀镍工艺规范见表 8-3-3。

表 8-3-3 普通镀镍的工艺规范

名称	1	2	3
硫酸镍 (NiSO ₄ · 7H ₂ O) (g/L)	250~300	150~200	180~250
氯化镍 (NiCl ₂ · 6H ₂ O) (g/L)	30~60		
氯化钠 (NaCl) (g/L)		8~10	10~12
硼酸 (H ₃ BO ₃) (g/L)	35~40	30~35	30~35
无水硫酸钠 (Na ₂ SO ₄) (g/L)		40~80	20~30
硫酸镁 (MgSO ₄) (g/L)			30~40
十二烷基硫酸钠 (C ₁₂ H ₂₅ SO ₄ Na) (g/L)	0.05~0.1	0.05~0.1	
pH	3~4	5~5.5	5~5.5
温度 (°C)	45~60	18~35	20~35
电流密度 (A/dm ²)	1~2.5	0.5~1	0.8~1.5
搅拌或阴极移动	需要	需要	需要

1.1.3 铬镀层

铬镀层在大气中很稳定, 不易变色和失去光泽, 硬

度高耐磨性好, 耐热性较好, 因而广泛用作装饰性组合镀层的面层。常用镀铬工艺规范见表 8-3-4。

表 8-3-4 常用镀铬的工艺规范

名称	1	2	3	4	5	6
铬酐 (CrO ₃) (g/L)	150~180	230~270	280~320	390~410	250~300	200~300
硫酸 (H ₂ SO ₄) (g/L)	1.5~1.8	2.3~2.7	2.8~3.2	3.9~4.1	2.5~3.5	2.0~3.5
三价铬 (Cr ³⁺) (g/L)	1.5~3.6	2.3~5.4	2.8~6.4	3.9~8.2	2.5~7	
Cr- I (g/L)					0.1~0.4	
Cr- II (g/L)					0.01~0.04	
C-5 (g/L)						0.2~0.3
光亮铬						
温度 (°C)		40~50	40~50	40~50	40~45	43~52
电流密度 (A/dm ²)		10~20	10~20	10~25	10~20	10~20
缎面铬						
温度 (°C)	58~62	58~62	58~62	58~62		
电流密度 (A/dm ²)	30~45	30~45	30~45	30~45		



1.1.4 装饰性镀层组合

常用的装饰性电镀层组合形式如下:

1. 铜-镍-铬镀层 组合符号为 Fe/EP·Cu15 Ni15b Cr0.3r, 表示在钢铁基体上镀有最小厚度为 15μm 的铜, 铜上镀最小厚度为 15μm 的光亮镍, 镍上镀最小厚度为 0.3μm 的普通铬, 它是一种用量很大的装饰性镀层组合。

2. 双层镍铬镀层 组合符号为 Fe/EP·Cu15 Ni20d Cr0.3r. 铜上镀的是最小厚度为 20μm 的双层镍。

双层镍是先镀一层硫的质量分数少于 0.005% 的半光亮镍层, 然后镀一层全光亮镍, 其硫的质量分数为

0.05%。半光亮镍的厚度不应少于镍层总厚度的 60%, 双层镍的防护性能有赖于两层镍的电位差。用 Step 方法测定时, 层间电位差应大于 125mV, 才能使腐蚀集中于亮镍层并朝横向发展而保护钢铁基体。双层镍铬组合具有优良的防护性能。

3. 三层镍铬组合 三层镍则在双层镍中夹有一层更活泼的高硫镍, 使腐蚀集中于高硫镍层, 属横向腐蚀的阳极牺牲型。高硫镍硫的质量分数约 0.15%, 厚度为 1.0~1.5μm, 三层镍铬组合亦是优良的装饰性组合镀层。

典型全光亮镍电镀工艺规范见表 8-3-5, 半光亮镍、高硫镍的电镀工艺规范见表 8-3-6。

表 8-3-5 典型全光亮镍工艺规范

名 称	1	2	3	4	5
硫酸镍 (NiSO ₄ ·7H ₂ O) (g/L)	250~300	250~300	250~350	250~300	300~350
氯化镍 (NiCl ₂ ·6H ₂ O) (g/L)	30~50	30~40	40~50	30~40	
氯化钠 (NaCl) (g/L)					10~15
硼酸 (H ₃ BO ₃) (g/L)	35~40	35~45		35~40	35~40
十二烷基硫酸钠 (g/L)	0.05~0.15	0.1~0.2	0.05~0.1	0.05~0.1	0.05~0.10
糖精 (g/L)	0.8~0.1	1~1.5		1~3	0.8~1.0
1,4-丁二醇 (g/L)	0.4~0.5				
BN-3 (开缸) (mL/L)			8~10		
912A (mL/L)		0.5~1			
912B (mL/L)		1~2			
791 (mL/L)				2~4	
BE (mL/L)					0.5~0.75
pH 值	3.8~4.4	4.0~4.8	3.8~4.2	3.8~4.4	4.0~4.8
温度 (°C)	50~55	45~60	50~60	50~55	45~65
电流密度 (A/dm ²)	2~5	1.5~3	3~4	2~4	1.5~5
阴极移动或空气搅拌	需要	需要	需要	需要	需要

表 8-3-6 典型半光亮镍和高硫镍工艺规范

名 称	半光亮镍			高硫镍	
	1	2	3	1	2
硫酸镍 (NiSO ₄ ·7H ₂ O) (g/L)	320~350	250~350	300~350	320~350	90~110
氯化镍 (NiCl ₂ ·6H ₂ O) (g/L)		40~45	25~40		柠檬酸 90~110
氯化钠 (NaCl) (g/L)	12~16			12~16	BS-1
硼酸 (H ₃ BO ₃) (g/L)	30~40	40~50	30~40	35~45	1~3 (mL/L)
十二烷基硫酸钠 (g/L)	0.05~0.15	0.05~0.1		TN-2	25~35
				2~6 (mL/L)	



(续)

名 称	半光亮镍			高硫镍	
	1	2	3	1	2
DN-2 (开缸) (mL/L)		2~3			
香豆素 (C ₉ H ₆ O ₂) (g/L)	0.15~0.30				
甲醛 (HCHO) (g/L)	0.15~0.20				
SB-1 (mL/L)			0.8~1.5		
SB-2 (mL/L)			0.8~1.5		
pH	3.8~4.2	3.8~4.2	3.5~4.8	3.0~3.5	5.5~6.5
温度 (°C)	55~60	50~60	50~60	40~50	35~45
电流密度 (A/dm ²)	3~4	3~4	2~3	3~4	1~3
阴极移动或空气搅拌	需要	需要	需要	需要	需要

1.2 装饰性合金镀层^{[2][7]}

由于电镀制品多样化的要求,最近装饰性合金电镀不断增多,它是将中间层电镀和最后装饰性合金电镀进行种种组合而得到不同外观的表面。用合金电镀可得到不同颜色,有优良耐腐蚀性,耐变色性的镀层。与适当中间镀层组合(如光亮镍层、缎纹镍层、半光亮镍层、无光亮镍层),可以达到高装饰的效果。

1.2.1 锡钴合金镀层

锡钴合金镀层的颜色和镀铬的颜色很相似。常用来代替铬镀层,电镀较小的物件。另外锡钴合金电镀的均匀性和附着力优良,可应用于复杂形状制品的电镀。

1.2.2 锡镍合金镀层

锡镍合金镀层的外观稍稍带有玫瑰红色,而且耐腐蚀性,耐药品性好。镀层色泽的均匀性优良,锡镍合金电镀多用于自行车部件、办公机器零部件以及活塞等摆动部件。

1.2.3 铜锡合金镀层

铜锡合金镀层致密、柔软、易于抛光,有良好的防护性能。 w_{Sn} 8%~12%的合金可用作自行车零件的底镀层; w_{Sn} 40%~60%的合金类似铝的白色,特别适用于日用五金制品作装饰性电镀层。

1.2.4 黄铜镀层

黄铜镀层类似黄金色泽,故俗称“仿金电镀”(Cu-Zn 或 Cu-Zn-Sn 合金)。长期以来,金色一直是富

贵、高雅的色调,由于黄金价格高,货源少,大量的日用生活品无法用黄金来装饰,因此开发与应用氰化物电镀的“仿金工艺”,广泛应用于灯具、日用生活品,轻工五金等方面。此外,由于黄铜镀层与橡胶结合力好,大量应用于汽车轮胎之中。

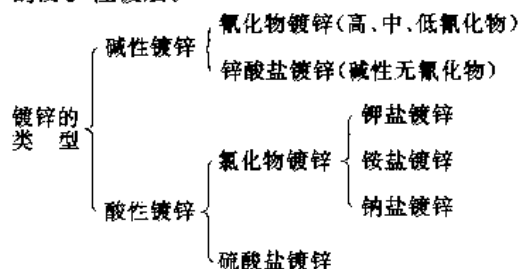
1.2.5 锡镍铜合金镀层

锡镍铜三元合金镀层的外观稍带有黑色的金属光泽,是一种耐腐蚀性能优良,具有庄重、柔和色调的镀层。如果在其表面电沉积一薄层透明镀层,则耐腐蚀性、耐磨耗性将进一步提高。适用于文具、家用电器、办公机械、轻工产品的装饰。

2 防护性电镀

2.1 锌镀层

对钢铁而言,锌与镉分别是优良的阳极性镀层和阴极性镀层。它们的表面经铬酸盐处理后,不仅外观美丽,装饰性好,而且具有良好的防护性能。锌镀层对钢铁基体既有机械保护又有电化学保护,是一个量大面广的防护性镀层。



① w_{Sn} 为 Sn 的质量分数。



为了得到细致、光亮的镀锌层,现代各类镀锌均使用有机光泽剂。一般来说,它是有机胺与环氧氯丙烷的反应物或含氮杂环化合物与环氧氯丙烷的反应物。目前用量较大的是碱性锌酸盐镀锌,氯化钾镀锌和低氰化物镀锌。碱性锌酸盐镀锌溶液成分简单,使用方便,镀层细致光亮;镀液对设备腐蚀性小,可以使用氰化物镀锌原有的设备进行电镀,废水处理也较为简单。但这种镀液的均镀能力和深镀能力比氰化物镀锌溶液差,镀液的电流效率低(约70%~85%),镀层超过一定厚度时脆性增加,氯化钾镀锌允许的温度范围宽广,色泽

光亮鲜艳,电流效率高,特别适用于铸件电镀。电镀废水处理简单。但这种镀液均镀能力比其他工艺稍差,电流密度范围较窄,对设备有腐蚀作用。氰化物镀锌得到的镀层结晶细致,光泽性好,镀液具有良好的均镀能力和深镀能力,适用于电镀形状复杂和镀层厚度在20 μm 以上的零件。但氰化物镀液的电流效率低,镀液有剧毒,要求采用良好的通风设备和必要的废水处理。典型的碱性锌酸盐镀锌、氯化钾镀锌以及碱性氰化物镀锌的工艺规范分别于表8-3-7~表8-3-9所示。

表 8-3-7 典型碱性锌酸盐镀锌工艺规范

名 称	1	2	3	4	5	6
氧化锌 (ZnO) (g/L)	12~20	10~15	10~12	10~12	6~9	6~12
氢氧化钠 (NaOH) (g/L)	100~160	100~130	100~120	100~120	100~120	75~110
碳酸钠 (Na ₂ CO ₃) (g/L)						15~30
DE 添加剂 (mL/L)	4~5					
DPE-Ⅱ 添加剂 (mL/L)		4~6		4~6	4~5	
三乙醇胺 [N(CH ₂ CH ₂ HO) ₃] (mL/L)		12~30				
混合光亮剂 (mL/L)	0.1~0.5					
香豆素 (C ₉ H ₆ O ₂) (mL/L)	0.4~0.6					
DE-81 添加剂 (mL/L)			3~5			
ZBD-81 光亮剂 (mL/L)			2~5			
OCA99 (mL/L)						10
ZB-80 (mL/L)				2~4		
KR-7 (mL/L)					1~1.5	
ZL 型光亮剂 (mL/L)					0.2~0.3	
温度 (°C)	10~40	10~40	5~40	10~40	10~35	24~35
阴极电流密度 (A/dm ²)	0.5~4	0.5~3	0.5~6	0.5~4	0.5~4	挂镀 1~2 滚镀 0.5~1

表 8-3-8 典型氯化钾镀锌工艺规范

名 称	1	2	3	4	5
氯化锌 (ZnCl ₂) (g/L)	60~80	55~75	75~100	50~80	50~70
氯化钠 (NaCl) (g/L)					180~220
氯化钾 (KCl) (g/L)	180~220	210~240	180~220	150~220	
硼酸 (H ₃ BO ₃) (g/L)	25~35	25~30	20~25	20~30	
ZB-85A (mL/L)	15~20				
CT-2A (mL/L)		12~18			
BZ-11 (mL/L)			15~20		
氰锌 1 号 (mL/L)				15~25	



(续)

名 称	1	2	3	4	5
YDZ-1 (mL/L)					18
pH 值	4.5~5.5	5.4~6.2	5~6	4.5~6.0	5
温度 (°C)	10~60	5~50	室温	10~60	室温
阴极电流密度 (A/dm ²)	0.5~3.0	0.5~2	1~4	0.8~3	0.8~2

表 8-3-9 典型碱性氰化物镀锌工艺规范

名 称	1	2	3	4	5	6
氧化锌 (ZnO) (g/L)	35~45	17~22	10~12	9~10	14	9.5
氰化钠 (NaCN) (g/L)	80~90	38~55	10~12	10~13	5	7.5
氢氧化钠 (NaOH) (g/L)	80~85	60~75	100~120	75~80	110	75
硫化钠 (Na ₂ S) (g/L)	0.5~5	0.5~2				
甘油 (C ₃ H ₈ O ₃) (g/L)	3~5					
HT 光亮剂 (mL/L)		1~1.2		0.5~1		
CKZ-840 (mL/L)					5~6	
"505" (mL/L)			4~6			
硫脲 [(NH) ₂ CS] (g/L)						5
Zn-AP (mL/L)						4
温度 (°C)	10~35	10~40	10~40	15~32	15~45	20~43
阴极电流密度 (A/dm ²)	1~3	1~4	0.5~6	1~4	2~6	0.5~5

为了提高镀锌层的耐蚀性,增加其装饰性,改进涂料与底金属的结合力,镀锌后必须进行铬酸盐钝化处理,使锌层表面生成一层稳定性高,组织致密的钝化膜。用量最大的是彩色与白色钝化,高耐蚀的黑色与绿色钝化亦在开发应用中。有关工艺规范参见本篇第6章4.3节。

2.2 镉镀层

镉镀层主要用作钢铁零件的防护层。在一般大气和工业大气条件下,相对于钢铁基体,它是阴极性镀

层;而在不含工业性杂质的潮湿大气或海洋性大气条件下,镉镀层属阳极性镀层。镉镀层可焊性较好,它产生氢脆的倾向比锌镀层小,是结构钢、高强度钢和弹簧元件的重要防护层,在军工、船舶、航空仪表上均有应用。但电镀后,仍需严格除氢处理。由于镉剧毒,现应用量在减少。

镉镀层在较高温度下,能使钢或钛合金产生“镉脆”,因此镉镀层不可作为航空工业高温零部件的防护层。它的使用温度一般规定在230°C以下。

镉镀溶液仍以氰化物居多,其工艺规范见表8-3-10。

表 8-3-10 氰化物镀镉的工艺规范

名 称	1	2	3
氧化镉 (CdO) (g/L)	30~40		35~40
硫酸镉 (CdSO ₄ ·8/3H ₂ O) (g/L)		75~85	
氰化钠 (NaCN) (g/L)	90~120	100~120	105~150
氢氧化钠 (NaOH) (g/L)	15~25	20~30	20~40
碳酸钠 (Na ₂ CO ₃) (g/L)			15~50
硫酸镍 (NiSO ₄ ·7H ₂ O) (g/L)	1~2	1~1.5	
磺化蓖麻油 (g/L)	8~12		
温度 (°C)	15~40	18~40	18~30
电流密度 (A/dm ²)	1~3	1~2	4±2

2.3 锌基高耐蚀合金镀层

耐2000h的中性盐雾试验，相当于20μm纯锌镀层的耐蚀性的三倍。

锌基高耐蚀合金主要是指Zn-Ni、Zn-Fe、Zn-Sn这类合金镀层已开始应用在小轿车发动机等零部件的电镀上，工艺规范及其特点见表8-3-11。

表8-3-11 锌基高耐蚀合金电镀工艺规范及特点

合金类型	电镀液组成	工艺条件	主要电镀工艺流程	特点
锌镍	Zn 3g/L Ni 1.6g/L NaOH 100g/L Na ₂ CO ₃ 50g/L 配位化合物 45g/L 光亮剂 5mL/L	Zn/Ni比: 5.0 T 20~30℃ DA 6A/dm ² DK 4A/dm ² 阳极: 纯锌板与镍厚镍(10μ)铁板并用阴极移动或连续过滤	碱性化学脱脂→电解除脂→酸洗→电解洗净→活化→电镀合金→合金钝化→干燥	1. 耐热性、耐蚀性优良, 盐雾试验>2000h, 才生红锈, 比锌层耐蚀性提高3倍以上 2. 合金镀层较硬, 250~310HV, 不易损伤 3. 在宽广D _K 范围内(D _K =1~10A/dm ²)均可得到合金比例均匀的镀层(一般Ni的质量分数6%~7.5%) 4. 碱性镀液, 分散能力良好 5. 可以使用铁作辅助阳极 6. 可以使用碱性镀液的设备
锌铁	Zn10g/L (以ZnO加入) Fe0.06g/L (以含Fe配位化合物加入) NaOH 120g/L 配位化合物 5g/L 光亮剂 6mL/L	Zn/Fe比: 160 T: 20~35℃ DA: 7A/dm ² (阳极99.99%纯锌) DK: 3A/dm ² 阴极移动并间隙过滤	碱性化学脱脂→电解除脂→酸洗→电解酸洗→活化(HCl 35%①, 50mL/L, 20℃)→合金电镀→活化(HNO ₃ 65%①, 5mL/L, 20℃)→合金钝化→干燥	1. 5μm Zn-Fe合金钝化后耐盐雾试验达2000h, 比普通镀锌高3倍以上 2. Zn-Fe合金中, Fe的质量分数为0.2%~0.6%, 一般Fe的质量分数0.4%的合金钝化后耐蚀性为最佳 3. 由于它可以从普通镀锌酸镀转换, 故分散能力好, 适用于复杂零件的电镀 4. 它可以在D _K =1~10A/dm ² 范围内作业, 沉积速度快 5. 合金可以进行金黄、黑色钝化, 特别是非银黑色钝化, 外观漂亮, 耐蚀性能良好
锡锌	硫酸亚锡 38g/L 硫酸锌 32g/L 硫酸铵 70g/L 酒石酸 20g/L 柠檬酸 80g/L 丁二酸 10g/L 氨水(30%) 70g/L 光亮剂 8mL/L	pH 6.0 T 10~30℃ DA 2~4A/dm ² DK 2~4A/dm ² 阳极: Sn: Zn=75: 25的合金	碱性化学脱脂→电解除脂→酸洗→电解洗净→活化→电镀合金→合金钝化→干燥	1. 对盐水及SO ₂ 气体的腐蚀具有优异的防蚀效果 2. 钎焊性能好, 特别是存放长时间后, 可焊性降低很少 3. 合金镀层延展性好, 二次加工性能好 4. 对于铸件也能直接电镀 5. 中性镀液, 对基体腐蚀很小

① 指质量分数。

3 功能性电镀

3.1 耐磨镀层

工业镀硬铬层、化学镀镍层、镍基复合镀层(Ni+

SiC, Ni+Al₂O₃)硬度较高, 具有优良的耐磨性。镀硬铬层一般在800~1000HV范围; 化学镀镍层在400℃热处理后可达1000HV; Ni-SiC复合镀层约为600~700HV, 在300℃以上的高温仍具有良好的耐磨性。活塞杆、活塞环、气缸、轧辊、轴承、曲轴、金属模具、



塞规、量规、电气触点等工件广泛采用耐磨镀层。

3.2 润滑镀层

润滑镀层具有低摩擦系数,良好的保油性和磨合性。硬铬层中弥散聚四氟乙烯具有低的摩擦系数;松孔镀硬铬层的保油性好;Pb-Sn (10%)^①合金, Pb-Sn-Cu合金, Pb-In等合金镀层具有良好的磨合性;镍基复合电镀层中弥散氟化石墨或二硫化钼则兼有润滑性和耐磨性。汽缸、活塞环、造纸轧辊、轴承和各类轴瓦等工件广泛采用润滑镀层。

3.3 电气特性镀层^[8]

电子产品有独特的电气特性要求。如高导电性,高频特性,磁性,阻抗特性等。采用电镀不同金属的方法,可以满足这些要求,如表8.3-12所示。

表 8.3-12 电气特性电镀层及应用实例

电气特性	电镀种类	应用实例
导电性	铜、银、金、锡、铱	印刷电路板、接线开关、连接器、触点、导架
高频特性	铜、银、金	波导管
软钎焊性	铅锡、锡、银、锡铍、镉	电子零件、半导体零件、电机零件、机械零件
磁性	钴磷, 镍钴, 镍钴磷	磁盘、磁带、薄膜磁头
低接触电阻	金、铱、钌	触点、开关、连接器、磁导线开关
阻抗特性/保险丝特性	Ni-P (8%~16%) ^① -B (2%) ^①	电气阻抗体
电磁波屏蔽作用	化学镀镍等	电磁屏蔽板

① 百分数均指质量分数。

3.4 光学特性镀层

某些产品有特殊的化学特性要求。如要求光反射性、防止眩光性、光选择吸收性等。采用不同的电镀工艺,可以获得有关光学特性,如表8.3-13所示。

表 8.3-13 光学特性电镀层及应用实例

光学特性	镀层种类	应用实例
光反射性	光亮 Ni-Cr, 金、银	反射镜、反射板、表面镜
光选择吸收性	黑色铬、黑色镍	太阳能吸收面板
防止反射性	黑色铬, 黑色镍、镀锌黑色钝化	精密光学仪器零件、汽车、摩托车零件

4 化学镀

在化学镀中,溶液内的金属离子是依靠溶液中的还原剂所提供的电子而还原成相应的金属。化学镀溶液的组成及其相应的工作条件必须是反应只限制在具有催化作用的制件表面上进行,而溶液本身不应自发地发生氧化还原反应,否则会造成溶液的自然分解而失效。

4.1 化学镀特点

- (1) 不需要外加直流电源设备。
- (2) 对几何形状复杂的零件,亦能得到厚度十分均匀的镀层。
- (3) 镀层致密、孔隙少。
- (4) 可以在金属、非金属、半导体等各种不同的基体上镀覆。

目前,化学镀镍、铜、银、金、钴、钨、钼、锡以及化学镀二元、三元合金,化学复合镀层,已在工业生产上被采用。国内虽应用较早,但工艺稳定性和使用寿命问题有待进一步解决。

4.2 化学镀镍

化学镀镍大致可以分为三种类型:次亚磷酸盐还原型,硼氢化物还原型及联氨(肼)化合物还原剂。生产上大多采用次亚磷酸钠作还原剂。硼氢化钠和二甲氨基硼烷(DMAB)价格较贵,但电阻低,综合性能好,在电子领域的需求增加。应用次亚磷酸钠作为还原剂的化学镀镍层中磷的质量分数一般为8%~10%;应用硼氢化物作还原剂的化学镀镍层,硼的质量分数约为0.3%~3%。

4.2.1 化学镀镍溶液组成及工艺条件

化学镀Ni-P合金溶液组成与工艺条件见表8.3-14。

① 指质量分数。



表 8-3-14 化学镀 Ni-P 合金的溶液组成与工艺条件

名 称	1	2	3	4
硫酸镍 (g/L)	20	25	2.6	30
次亚磷酸钠 (NaH ₂ PO ₄ · H ₂ O) (g/L)	24	20	30	30
醋酸钠 (g/L)		10		
乳酸 (g/L)	27			
丙酸 (g/L)	2			
柠檬酸钠 (g/L)		10		
DJL-苹果酸 (HO ₂ CCH(OH)CH ₂ CO ₂ H) (g/L)			13	
琥珀酸钠 (Na ₂ C ₄ H ₄ O ₄ · 6H ₂ O) (g/L)			27	
乙氨酸 (H ₂ NCH ₂ COOH) (g/L)				20
柠檬酸钠 (C ₆ H ₅ O ₇ Na ₂ · 2H ₂ O) (g/L)				20
硝酸铅 (Pb(NO ₃) ₂) (mg/L)			2	2
pH 值	4.5	5.0	5 (用 NaOH)	6 (用 NaOH)
搅拌要求	精密循环过滤	精密循环过滤	精密循环过滤	精密循环过滤
温度 (°C)	90	90	90	90

化学镀 Ni-B 合金的溶液组成与工艺条件见表 8-3-15。

表 8-3-15 化学镀 Ni-B 溶液组成和工艺条件

名 称	1 (酸性)	2 (中性)	3 (碱性)
硫酸镍 (g/L)	30	30	
氯化镍 (g/L)			30
柠檬酸钾 (g/L)		50	60
柠檬酸钠 (g/L)	36		
氯化铵 (g/L)			30
DMAB (g/L)	5.0	5.0	5.0
醋酸铵 (g/L)	10		
pH 值范围	4~6	6~8 (氨水)	8~10 (氨水)
温度 (°C)	22	19	19
化学镀速度 (μm/h)	15	8	10
外观	半光亮	半光亮	半光亮
析出物中平均硼的质量分数 (%)	5.0	1.0	0.2

4.2.2 化学镀镍层物理性能

化学镀镍层的耐蚀性,耐药品性,抗高温氧化性,

软钎焊性能好,热处理后的硬度高,其综合物理性能与电镀镍层的比较见表 8-3-16。



表 8-3-16 化学镀镍层综合物理性能比较

性 质	化学镀 Ni-P 镀层	化学镀 Ni-B 镀层	电镀 Ni 层
成分的质量分数	Ni90%~92%·P8%~10%	Ni97%~99.7%,B0.3%~3%	N:99.5%
组织	非结晶性	微结晶性	微结晶性
熔点(°C)	890	1400	1450
电阻($\mu\Omega/\text{cm}$)	60(因热降低)(在 400°C 降低 1/3)	5~7	约 8.5
导热系数(W/(m·K))	4.40~5.65		
热膨胀系数($\mu\text{m}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$)	13~14.5	12	14~17
反射率	40%~50%		
密度(g/cm^3)	7.9	8.6	7.7
硬度 HV	500±50(直接镀) 1000(400°C,1h)	700~800(直接镀)	150~250(普通槽液) 400~500(光亮槽液)
高温硬度 (°C) HV	400 500 600 380 250 200		
结合性能(MPa)	345~482		
伸长率(%)	3~6		10~30(普通槽液) 5~15(光亮槽液)
应力	压缩	拉伸	拉伸
磁气特性	非磁性	强磁性	强磁性
均匀析出性(%)	±5 以下	±5 以下	不定
镀层速度($\mu\text{m}/\text{h}$)	12	6~7	2A/dm ² 为 25
软钎焊性(s)	析出时间 1.8	1.5	
(用弯液面方法到浸温的时间)	老化,不浸湿(400°C,5min)	2.0	
耐蚀性	比电镀 Ni 好	比化学镀 Ni-P 差	比化学镀 Ni-P 差
高温氧化性(°C)	350,极限 30min		
耐药品性	非常良好	普通	普通
镀液的 pH 值	4.5~5.3	6.0~6.5	3.5~4.5
作业温度(°C)	90	65	45~55
电镀速度($\mu\text{m}/\text{h}$)	15~20	6~7	2A/dm ² 为 25
电镀能力(g/L)	70	100 以上	半永久的
相当于 1g 还原剂的还原镍的能力(g)	约 0.1	约 1.0	
成本比	1	6~8	0.1

4-2-3 化学镀镍应用实例

化学镀镍在各种工业上的应用实例见表 8-3-17。



表 8-3-17 化学镀镍的应用实例

应用部门	应用零部件	使用目的
化学工业	化学反应槽, 液体输送管, 活栓, 热交换器	耐腐蚀性 耐磨耗性
电子工业	接点, 电子零件, 螺帽, 电脑配件, 线路板, 电子仪器框架, 电磁屏蔽罩, 计算机用硬磁盘基板	耐腐蚀性 耐磨耗性 焊接性 导电性
汽车工业	轴, 测定装置, 变速机	耐腐蚀性 硬度高 精密性 耐磨耗性
精密机器工业	钟表, 照相机精密机械部件, 复印机等办公机械部件, 电子显微镜的零部件	耐腐蚀性 非磁性 硬度高
塑料工业	模具, 压注筒	耐腐蚀性 耐磨耗性
船、飞机、宇航工业	螺旋桨, 阀门, 管道, 引擎, 油压配件	耐腐蚀性 耐磨耗性 硬度高
纺织工业	导杆, 轴心, 喷嘴	耐磨耗性 硬度高
普通机械工业	仪器, 阀门, 燃料槽, 链条, 活塞, 轴, 滚珠轴承, 齿轮, 唧筒, 喷嘴, 碟型煞掣	耐腐蚀性 耐磨耗性 硬度高

4.3 化学镀铜

化学镀铜按络合剂可分为酒石酸盐型和 EDTA 二钠盐型。按用途可分为塑料金属化及印制电路板孔金属化的导电层。化学镀铜主要用于非导体材料的金

属化处理,除应用于塑料制品外,还大量地用于电子工业的印制电路板。化学镀铜层一般很薄,约 0.1~0.3 μm 。近年开发了高稳定化学镀铜溶液,可以获得厚达 5 μm 的镀层,适于进行多层印制电路板的孔金属化。

化学镀铜溶液组成与工艺条件见表 8-3-18。

表 8-3-18 化学镀铜溶液组成与工艺条件

溶液组成与工艺条件	溶液 I	溶液 II	备注
硫酸铜 (g/L)	7~9	10	溶液 I 用于塑料电镀前化学镀铜,溶液 II 用于印制板电路
酒石酸钾钠 (g/L)	40~50		
甲醛 (37%) (mL/L)	11~13	20	
氢氧化钠 (g/L)	7~9	10	
EDTA 二钠盐 (g/L)		20	
二甲基二氯硅烷 (g/L)		0.25	
温度 (°C)	25~35	65~70	
pH	11.5~12.5	11.5~12.5	
空气搅拌	要	要	
沉积速度 ($\mu\text{m}/\text{h}$)	2	75	
装载量 (dm/L)			

5 刷镀技术及其应用

刷镀是依靠一个与阳极接触的垫或刷提供电镀所需要的电解液的电镀方法。刷镀工作原理与电镀是一

样的,只是施镀方式不同。

5.1 刷镀操作方法

刷镀设备由带有电量计(安培小时计)的直流电



源, 输液泵, 镀笔阳极和接液容器组成。镀笔阳极采用不溶性的石墨或铅, 并用柔软易吸湿的毛绒包裹而成。刷镀时, 将镀笔接直流电源的正极, 被镀工件接负极, 然后用阳极包套蘸取电解液或用输液泵把电解液输送

到阳极包套上, 并在工件表面上作表面相对运动。此时阳极和阴极(工件)都处在镀液之中, 接液盘回收刷镀溶液, 这样循环供液, 镀液中的金属离子在工件表面被还原成金属镀层。典型的刷镀工艺规范如表 8·3-19 所示。

表 8·3-19 典型的刷镀工艺规范

镀种	镀液组成 (g/L)	操作条件					
		镀液温度 (°C)	pH	工作电压 (V)	阴阳极相对运动速度 (m/min)	阴极电流密度 (A/dm ²)	溶液流量 [mL/(A·min)]
刷镀铜	碱性铜 硫酸铜 200~400, 有机胺 络合剂 100~150, 碳酸钠 10~20	40~50	11~13	6~10	5~8		连续供液
	酸性高速铜 硫酸铜 300~330, 无机酸 30~40, 添加剂适量	30~60	0.5~1.0	4~9	10~30	10~100	>2
刷镀镍	酸性打底镍 无机镍盐 170, 有机镍盐 100, 缓冲剂 20~50mL/L, 添加剂适量	40~60	2.0~3.0	7~10	5~20	20~60	连续供液
	碱性快速镍 硫酸镍 240~300, 络合剂 I: 130~200, 络合剂 II: 200~300, 添加剂适量	20~60	7.5~8.0	6~12	5~30	30~100	连续供液 >2
刷镀铬	铬酐 700~800, 组合添加 剂 100mL/L	40~50		6~10	5~15	50~100	连续供液 >5

5.2 刷镀特点

刷镀技术在操作上不同于槽镀, 与槽镀相比有明显的优点:

(1) 刷镀采用的电流密度高, 最高可达 500A/dm², 沉积速度可比槽镀快 5~50 倍。

(2) 操作灵活, 对大型机械部件的局部磨损可以在现场进行不解体的刷镀修复。

(3) 对带有凹槽或盲孔的零件, 应用刷镀技术很容易镀覆, 且镀后一般不需要机械加工。

5.3 刷镀应用范围

刷镀技术在新品制造与旧品维修中应用十分广泛。特别是在车辆、飞机、船舶以及各种工程机械, 电子设备的维修中, 例如:

(1) 对碳钢、铝合金、不锈钢、高熔点合金等制造的零件, 应用特制的前处理剂均能进行局部修复。

(2) 适用于恢复工件的几何形状与尺寸精度, 镀层厚度范围宽广 (一般可在 0.001~2.0mm 选择)。

(3) 适用于无法进行槽镀的大型工件。

(4) 适用于难拆卸或拆卸时易损坏的设备的现场维修。

6 电镀常用设备

6.1 电镀自动生产线

电镀自动生产线是通过电气控制和机械传送自动完成电镀及其前后处理等各项工序的全部工艺过程的生产装置。电镀生产方式有滚镀和挂镀两种。电镀自动



生产线的机械结构和作业状况可分为直线式电镀自动线和环形式电镀自动线。

6.1.1 直线式电镀自动线

直线式电镀自动线是根据工艺流程的要求,把所有的工艺槽以直线型排列的生产装置。工艺槽上设有自动行车,行车的支撑多为轻轨门式,行车上运载着阳极棒、挂具和工件,由自动控制器控制行车按工艺顺序进行进退,升降等动作。

1. 镀槽的尺寸和材质 直线式电镀自动线常用矩形槽,槽体的容积既要满足工艺与生产纲领的要求,又应保持容纳最大的镀件。如回收槽,清洗槽,其宽度为镀件横向尺寸加 300~400mm。电解脱脂或电镀槽,其宽度为镀件横向尺寸加 600~700mm。

直线自动线上的工艺槽一般用 Q235A 钢板制造,内衬软 PVC 塑料或涂覆环氧玻璃钢。

2. 行车的形式和结构 直线型电镀自动线大都采用双轨门式行车,行车由行车架、升降装置、行车轮(主动轮和从动轮)及传动系统组成。升降钩由电动机、减速机、链条、链轮组成。行车的吊钩有单钩、双钩两种,行车的停点传感器使用接近开关,可提高工作的可靠性。

3. 电镀线自动控制台 直线型电镀自动线的行车控制多采用可编程控制器(PLC)或工业控制总线(STD)。采用工业控制总线配备显示器(CRT),能直接显示行车按工艺流程运行的状况;采用 STD 总线能同时贮存 16 套不同的工艺流程,装置具有任意选择和修改工艺的功能;采用高性能马达变频调速器,行车定位精度可控制在±5mm 之内。控制台内还设有故障报警和保护功能。

6.1.2 环形式电镀自动线

环形式电镀自动线是按工艺流程布置成一个 U 型排列的生产装置。它的特点是在生产过程中各工艺槽均处于工作状态,因而生产效率高,适用于被镀零件单一,生产批量大,工艺成熟的产品。但这种电镀自动线机械结构比较复杂,改变工艺流程困难,投资较多,主要应用于自行车行业电镀。

6.2 电镀生产主要辅助设备

6.2.1 电镀电源

电镀车间使用的直流电源有直流发电机组,硅整

流器和晶闸管整流器。电镀用直流电压均为低电压,一般在 18V 以下。直流发电机组由于效率低(一般为 40%左右),工作噪声大,维修频繁已很少应用。整流器由调压器调整,可以无级地由零伏调至最大值。整流电路用双反星带平衡电抗器电路,变压器的冷却采用自然冷却、风冷、水冷、油冷四种,分别用代号 GDA、GDF、GDS、GDJ 来表示。

晶闸管整流器包括原边和副边晶闸管整流方式。晶闸管整流器具有体积小,调整电压方便,噪声低,维护简单,节能等特点。镀铬选用晶闸管电源要注意它在低电压(2~6V)输出时的波形的连续性。近年来,开发的 ZDDRF 系列电镀电源采用了新技术,可靠性高,是一种节能新产品。

6.2.2 过滤机

电镀生产过程中,由于阳极泥渣,空气中固体污染物,化学药品的杂质及其他有机、无机有害杂质等都需要及时有效地进行清除,否则会影响电镀层质量。过滤机是电镀生产过程中不可缺少的重要辅助设备。对于允许搅拌槽液的工艺,需要经常性的循环过滤,对于不宜搅拌的槽液的工艺,也要定期过滤。

过滤机一般分为三种类型:

(1) 以滤布为过滤介质的过滤机,适应性强,阻力较小,但过滤精度低。

(2) 以多孔塑料为过滤介质的过滤机,阻力大,过滤精度高,化学稳定性好,但再生性较差,成本也高。

(3) 缠绕型过滤机,过滤精度高,适用范围广,过滤面积大,过滤效果好,对滤渣的负荷能力强,再生性好,成本低,国内外正普遍采用。

现代过滤机选用可连续使用的电动机。泵体,滤筒均使用耐腐蚀很强的材料,如聚丙烯,氯化聚氯乙烯,丙烯酸类聚脂和聚四氟乙烯,滤芯多采用精密、多层缠绕的聚丙烯。

电镀生产过程中所需设备很多,随着工艺开发和科技进步,新的辅助设备不断开发,如 AH 计, AH 控制仪, pH 控制仪,全自动光亮剂添加机,自动控温仪,无油空气压缩机,离心鼓风机,热风干燥机,高效能热交换器,各种磁力、离心耐腐蚀泵,高速自动磨光机,各种材质的电加热管等。

7 镀层性能检测

电镀层性能检测方法很多,且大部已经标准化,常用的检测方法见表 8-3-20。

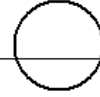


表 8-3-20 常用镀层检测方法

项目	检 测 方 法
镀层外观	在一定照明强度下, 在 750mm 距离左右目测或放大 5 倍观察
镀层结合力	<ol style="list-style-type: none"> 1. 弯曲法。将工件一端夹牢, 另一端弯曲或沿固定的圆柱体弯曲 2. 锉刀法。将工件夹牢后, 用锉刀沿 15° 方向单向锉动 3. 加热法。将工件在一定温度下加热, 一段时间后, 骤然冷却不起泡
镀层厚度	<ol style="list-style-type: none"> 1. 磁性测厚法。测量磁性基体上的非磁性镀层 2. 涡流测厚法。测量导电基体上的非导电转化膜 3. 库仑(电解)测厚法。在一定的电解质溶液中, 在固定阳极电流密度下, 用镀层作阳极进行电解, 利用镀层与基体间的电位差指示终点进行测量 4. β射线法。利用放射性同位素的 β 射线强度变化测量镀层厚度 5. 金相法。用 200~500 倍的金相显微镜在镀层断面上测量厚度
镀层孔隙率	将浸有试液的润湿试纸贴于经预处理的被测试样表面, 生成具有特征颜色的斑点, 在滤纸上显示, 用单位面积内的斑点数来计算镀层孔隙率
镀层硬度	用特制锥形金刚石压头在一定的静负荷下, 用显微硬度计测量
镀层耐腐蚀性	<ol style="list-style-type: none"> 1. 中性盐雾(NSS)试验。在恒温恒湿条件下, 用 50g/L 的 NaCl 溶液进行连续喷雾的加速腐蚀试验 2. 醋酸盐雾(ASS)试验。将中性 NaCl 溶液用醋酸酸化后的加速腐蚀试验 3. CASS 试验。在醋酸酸化后的氯化钠溶液再加氯化铜的加速腐蚀试验 4. 大气曝晒试验。在工业大气、海洋性大气、农村大气和城郊大气中使试样充分得到空气、日光、雨、露、雾、霜、雪等的侵袭的腐蚀试验方法 5. 湿热试验。试样在恒温、恒湿的气氛中的腐蚀试验 6. 二氧化硫试验。用二氧化硫气体在一定温度和相对湿度下的腐蚀试验
镀层脆性	<ol style="list-style-type: none"> 1. 杯突法。用一个金属钢球或球状冲头对试样均匀施加压力, 直到镀层出现裂纹为止, 以压力深度值(mm)作为镀层脆性指标 2. 挠曲法。试片置于静压挠曲试验机上, 两端同向均匀受力至镀层出现裂纹, 以挠度值表示脆性 3. 弯曲法。试片在弯曲试验器上进行弯曲, 用放大镜观察, 以不产生裂纹的最小心轴计算其延伸率, 延伸率愈大, 脆性愈小
镀层钎焊性	<ol style="list-style-type: none"> 1. 将一定重量的焊料放在被测试样表面, 均匀加热至 250°C, 并保温 2min, 以流布面积的大小评价钎焊性的好坏 2. 将试样浸助焊剂后, 浸入 250°C 的熔融焊料中, 以浸入部分全部润湿的最短时间的长短来评价钎焊性的好坏

8 电镀三废治理

电镀三废治理参见综合管理卷第 10 篇 14 章。

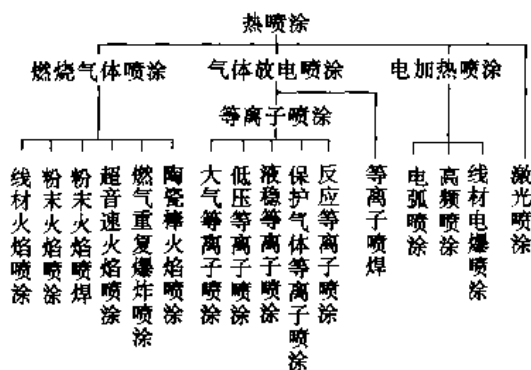


第4章 热喷涂^[9]

热喷涂是利用热源将工程材料熔化、半熔化或软化,并以一定速度喷射到经过预处理的基体表面,形成涂层的方法。对各种钢铁构件和机械零部件,应用热喷涂技术,可以在其表面制备出各种金属、合金、陶瓷、金属陶瓷、塑料等单一材料或复合材料的涂层,提高表面耐磨损、耐腐蚀、耐高温、抗氧化等性能或赋予表面绝缘、导电、隔热、电磁屏蔽、热辐射等特殊功能。广泛用于冶金机械、矿山机械、交通运输、能源、航空航天、石油化工、机械制造、医学等领域。

1 热喷涂工艺

热喷涂工艺分类如下:



1.1 火焰喷涂

火焰喷涂是利用可燃气体与助燃气体混合后燃烧的火焰为热源的热喷涂方法。常用燃气有乙炔、丙烷、氢气、天然气等。但乙炔可获得较高温度(3100~3160℃),应用更普遍。

氧-乙炔不同的混合比,燃烧时产生的火焰有中性焰、还原焰、氧化焰三种。喷涂时常采用中性焰,氧-乙炔混合比为1.1~1.2。而涂层要求增碳和喷易氧化材料时,常采用还原焰,氧-乙炔混合比<1。

1. 线材火焰喷涂 喷涂材料为线材的火焰喷涂方法。可以制备任何能拉成线材且熔点低于燃烧火焰温度的金属涂层。常用的典型材料有锌、铝、锌铝合金、碳钢、不锈钢、铜及铜合金、镍铬合金、蒙乃尔合金、巴氏合金、铟、铅、锡等。

一般来说,线材熔点低于750℃时选用高速枪;而熔点高于750℃时则选用中速枪。送丝速度按喷枪使用要求调节,以粒子束密集为准。操作参数应使每遍涂层均匀,不产生局部过热并有较高沉积效率。喷涂工艺参数选择范围为:压缩空气压力大于或等于0.5MPa;喷涂角度不小于60°;喷距120~150mm;当喷涂平面工件时,喷枪移动速度250~500mm/s;喷涂轴类零件时,轴表面圆周速度为120~200mm/s;喷枪沿轴线方向的移动量为5~10mm/r;基体温度控制在260℃以下。

2. 粉末火焰喷涂 喷涂材料为粉末的火焰喷涂方法。粉末喷涂轻便,适应性广。但喷出的颗粒速度低,因而涂层与基体的结合强度及涂层强度都比较低,孔隙率较高。可制备金属、合金、陶瓷、金属陶瓷、塑料等涂层。

预热:以中性焰或微还原焰为宜,均匀加热基体,防止局部过热,预热温度控制在100℃左右。

喷涂结合层:结合层喷涂材料常用镍包铝或铝包镍复合粉末。粒度-140~400目;喷距180mm左右;涂层厚度不超过150μm。

喷涂工作层:结合层喷好后,立即喷工作层。喷距150~200mm,总厚度最好不超过1mm,否则会降低结合强度。

3. 超音速粉末火焰喷涂 燃烧火焰流速度超过音速的粉末火焰喷涂,喷涂时火焰流速度高达2000m/s,粉末粒子飞行速度高达600m/s以上,动能高,涂层致密。喷涂金属陶瓷材料时,可防止或减少碳化物的脱碳与分解,使涂层具有优良的结合强度和耐磨性。

一般工艺参数由喷枪型号确定。以JET-KOTE喷枪为例,耗气量为:氧气38.3m³/h;丙烷6.8m³/h(或氢气51m³/h);气体压力在0.9MPa左右。当喷涂NiCrBSi合金粉末时,结合强度可达70MPa,孔隙率在1%~2%左右。

4. 粉末火焰喷焊(参见第6篇第7章)

1.2 电弧喷涂

利用两根形成涂层材料的消耗性电极丝之间产生



的电弧为热源,加热熔化消耗性电极丝,并被压缩气体将其雾化喷射到基体上,形成涂层的热喷涂方法。电弧喷涂温度高(5000~5700°C),雾化微粒飞行速度较高(100~180m/s),涂层的结合强度较线材火焰喷涂高,具有较高的生产效率和较低的生产成本,特别适合厚涂层和大面积喷涂。适合于线材火焰喷涂的导电性材料同样适应电弧喷涂。

应选择适当的电弧电压、电流和送丝速度,保持恒定的雾化空气压力,使粒子束密集,颗粒细,同时避免涂层过度氧化和合金元素烧损。电弧喷涂工艺参数选择范围为:电弧电压22~38V;电弧电流120~200A;喷涂距离150~200mm;喷涂角度不小于60°;轴类零件旋转时圆周速度150~300mm/s;喷枪沿轴向移动量为10~15mm/r;雾化气体压力不得低于0.5MPa。

1.3 等离子喷涂

等离子喷涂是在两极间通以直流电的等离子弧发生器(喷枪)中通入电离介质,借助高频火花的作用,使电离介质电离,在等离子弧发生器的两极间产生等离子弧,称为非转移弧。以非转移弧作热源,将粉末材料熔化或半熔化,随同等离子焰流喷射沉积到基体表

面,形成涂层。如图8·4-1所示。等离子弧温度高(10000~20000°C),焰流速度高,粉末粒子飞行速度一般为200m/s左右,高能等离子喷涂可达610m/s,所得到的涂层致密度高(90%~99%之间),结合强度可达80MPa。能喷涂陶瓷类难熔材料。几种不同的等离子喷涂方法见表8·4-1所示。

表 8·4-1 几种不同的等离子喷涂方法

工艺方法	气稳等离子喷涂	液稳等离子喷涂	低压等离子喷涂
电离介质	He、Hr、 H ₂ 、N ₂	甲醇、乙醇、 水等	He、Hr、 H ₂ 、N ₂
电弧温度(°C)	10000~20000	10000~45000	10000~20000
环境条件	大气	大气	低压 10 ³ ~10 ⁴ Pa
喷涂材料	金属、合金、 陶瓷	氧化物陶瓷	特别适应 活泼金属
涂层含氧量	中	高	极低
孔隙率(%)	3~15	5~15	0.5~5
涂层厚度(mm)	0.05~1	0.2~20	0.03~0.2
结合强度(MPa)	16~80	<20	>70

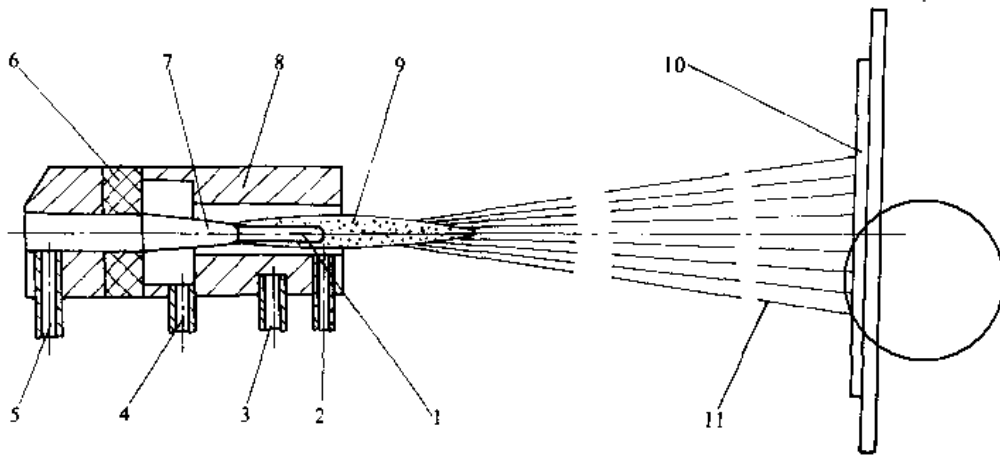


图 8·4-1 等离子喷涂

- 1—等离子弧 2—粉末进口 3—电源正极及进水 4—离子气进口
5—电源负极及出水 6—绝缘体 7—阴极 8—阳极喷嘴 9—等
离子弧焰 10—涂层 11—粉末粒子束

a. 气体 常用工作气体有 Ar、N₂、H₂、He 等。气体纯度必须高于99.99%。流量的大小必须综合考虑,通常在1.8~3m³/h中选取,气体压力0.5~0.7MPa。当要使用H₂为辅助气时,流量不宜超过工作主气的10%。送粉气通常为氩气。流量大小根据送粉量、粉末比重、流动性等选择。一般在0.36~0.84m³/h中选

取,压力保持在0.35~0.5MPa之间。

b. 输出功率 喷涂时的输出功率受喷枪结构,工作气种类和流量、粉末材料的粒度等因素的影响。目前最常用的功率为20~60kW,国外已使用到150kW。

c. 电压与电流 当输出功率一定时,可选用高压和低电流,以减少喷嘴和阴极烧损现象,亦可减少热



量损失,提高效率。但喷涂高熔点和粒度粗的粉末时,电流值可选高些。当工作气仅为氩气加氮气时,电弧电压在50~90V之间;若工作气中加入氢气时,电弧电压可升到120V。

d. 送粉量 送粉量的大小受喷枪结构、工作电压和电流、工作气体流量等方面的影响。等离子喷涂时送粉量可在15~120g/min中选取,而喷涂镍包铝粉末时送粉量为13~17g/min。

e. 喷距 喷涂自熔性合金粉末时喷距为100~160mm;喷涂陶瓷粉末时喷距为50~100mm。

f. 喷枪移动速度 喷枪移动速度为5~15m/min。

1.4 等离子喷焊

等离子喷焊通常采用两台整流电流,将负极并联在一起,通过电缆接至喷枪的电极,其中一台电源的正极接喷枪的喷嘴,用于产生非转移弧;另一台电源的正极接工件,用于产生转移弧。冷却水通过水电缆进入喷枪,冷却喷嘴和电极、电源接通、氩气作为离子气进入喷枪后,借助于高频火花的作用,引燃非转移弧,继而利用非转移弧射流在电极与工件间引燃转移弧。转移弧将送粉器向喷枪提供的合金粉末熔化并熔敷在工件表面上,形成与基体冶金结合的喷焊层。

等离子转移弧热量集中,能量可控。喷焊时可控制工件表面的熔深,限制基材对合金层的冲淡。与氧乙炔火焰喷焊比较,电弧对熔池有很强的搅拌作用,促使冶金反应更充分,熔池中的气体和熔渣能充分排出。因而避免喷焊层中残留气孔和夹渣的存在。用于等离子喷焊的有铁基、镍基、钴基自熔性合金粉末,铜基合金粉末,碳化物复合粉末材料等。

1.5 爆炸喷涂

爆炸喷涂分氧乙炔火焰粉末爆炸喷涂和线材电爆喷涂。

氧乙炔火焰粉末爆炸喷涂是将氧气、乙炔气和粉

末同时压入枪筒内,由电火花塞点火而爆炸,爆炸波使粉末加热并加速沉积到基材表面形成涂层。该方法粉末粒子平均速度为723m/s,涂层致密度达99%,结合强度>70MPa。但噪声很大(150dB),有爆炸的危险,需在密闭隔音、防爆室内进行自动操作。可喷涂金属、陶瓷及其复合材料。

线材电爆喷涂是利用电容放电形成强的冲击电流使金属线材过热熔化并爆炸成微粒,高速喷射到基体表面形成涂层。该方法的特点是:所有金属包括难熔金属W、Mo、Ta等都能喷涂;涂层颗粒细而均匀;表面光滑致密;液滴飞行速度为500~600m/s;结合强度高,如铝在碳钢上的涂层剪切强度可达160MPa;特别适合内表面喷涂。

1.6 激光喷涂

激光喷涂是利用激光作为热源的喷涂方法。激光喷涂可喷涂各种金属、陶瓷、金属陶瓷及其复合材料。涂层致密度高,结合强度高。亦可对各种喷涂工艺所得的涂层进行重熔,得到极为致密的强化层。激光还可用于喷焊,但激光设备昂贵,效率低,各种工艺参数要求精确控制。

2 热喷涂材料

热喷涂材料十分广泛,几乎涉及所有固态工程材料领域。按形状分类有线材、棒材、粉末。棒材在我国使用很少。粉末有金属粉末、合金粉末、自熔性合金粉末、陶瓷粉末、复合粉末、塑料粉末等。

2.1 线材

各种金属及合金线材,是线材火焰喷涂和电弧喷涂广泛采用的涂层材料。常用线材直径在 $\phi 1.6 \sim 3.2$ mm之间。对线材的基本要求是化学成分和喷涂工艺性能,后者包括线材的尺寸、公差、表面状态、延展性及强度。目前国内尚无统一标准,热喷涂常用线材牌号、成分及其特性如表8-4-2所示。

表8-4-2 热喷涂常用线材牌号、成分及其特性

类别	牌 号	主要化学成分的质量分数(%)	线材直径 (mm)	主要性能及其应用
镍及其合金	N6	C 0.1 Ni99.5	1.6~2.3	非氧化性酸、碱气氛和各种化学药品耐腐蚀涂层
	Cr20Ni80	C 0.1 Ni 80 Cr 20	1.6~2.3	抗980°C高温氧化涂层和陶瓷粘结底层
	Cr15Ni60	Ni 60 Cr 15 Fe 余	1.6~2.3	硫酸、硝酸、醋酸、氨、氢氧化钠耐腐蚀涂层
	蒙乃尔合金	Cu 30 Fe1.7 Mn1.1 Ni 余	1.6~2.3	非氧化性酸、氢氟酸、热浓碱、有机酸、海水耐蚀涂层



(续)

类别	牌 号	主要化学成分的质量分数(%)	线材直径 (mm)	主要性能及其应用
锌、铝及其合金	Zn-2	Zn≥99.9	1.0~3.0	耐大气、淡水、海水等环境长效防腐
	ZnAl15	Al15 Zn余	1.0~3.0	耐大气、淡水、海水等环境长效防腐,铝涂层亦可作导电、耐热、装饰等涂层
	L1	Al≥99.7	1.0~3.0	
	Al-Mg-R	Mg0.5~0.6 Re 微量 Al余	1.0~3.0	
锡及其合金	Sn-2	Sn≥99.8	3.0	耐食品及有机酸腐蚀涂层,木材、石膏、玻璃粘结底层
	CH-A10	Sb 7.5 Cu 3.5 Pb 0.25 Sn余	3.0~3.2	耐磨、减磨涂层
铅	Pb1、Pb2	Pb≥99.9	3.0	耐硫酸腐蚀、X-射线防护涂层
铁及其合金	B2、C2	C 0.09~0.22 Si 0.12~0.30	1.6~2.3	滑动磨损的轴承面超差修复涂层
	B3、C3	Mn 0.25~0.65 Fe余		
	45钢	C 0.45 Si 0.32 Mn 0.65 Fe余	1.6~2.3	轴类修复、复合涂层的底层、表面耐磨涂层
	2Cr13	C 0.16~0.24 Cr 12~14 Fe余	1.6~2.3	耐磨、耐蚀涂层
	T10	C 1.0 Si 0.35 Mn 0.4 Fe余	1.6~2.3	高耐磨零件表面强化涂层
铜及其合金	1Cr18Ni9	C 0.12 Cr 18~20 Ni 9~13	1.6~2.3	耐酸、盐、碱溶液腐蚀涂层
	T2	Cu 99.9	1.6~2.3	导电、导热、装饰涂层
	HSn60-1	Cu 60 Sn 1~1.5 Zn余	1.6~2.3	黄铜件修复、耐蚀涂层
	QA19-2	Al 9 Mn 2 Cu余	1.6~2.3	耐磨、耐蚀、耐热涂层、Cr13涂层粘结底层
其他金属	QSn4-4-2.5	Sn 4 P 0.03 Zn 4 Cu余	1.6~2.3	青铜件、轴承的减磨、耐磨、耐蚀涂层
	Mo1	Mo 99.9	1.6~2.3	自粘结底层、减磨、润滑、耐磨蚀涂层
	W1	W 99.95	1.6	抗高温、电触点抗烧蚀涂层
	Ta1	Ta 99.95	1.6	超高温打底涂层、特殊耐酸蚀涂层
	Cd-05	Cd 99.95	1.0~3.0	中子吸收和屏蔽涂层

2.2 自熔性合金粉末

自熔性合金粉末含有较高的B、Si元素,熔点较低,自脱氧造渣,比较容易达到熔融状态,且熔池清亮。

自熔性合金具有较宽的液固相线,液态流动性好,容易获得平整光洁、成型美观的喷焊层。自熔性合金粉末有镍基、钴基、铁基及其复合材料。热喷涂常用自熔性合金粉末成分及性能如表8.4-3所示。

表 8.4-3 常用自熔性合金粉末成分及主要性能

类别	牌 号	主要化学成分的质量分数(%)												硬度 HRC	主要性能及应用
		C	Cr	B	Si	Ni	Mo	Mn	V	Fe	W	Co	Cu		
镍基粉末	FZCr①-25	≤0.2	5.0	1.0	2.0	余				4.0				20	韧性好、耐冲击、耐蚀、耐热性好
	~ FZCr-45	~ 0.6	~ 15	~ 3.0	~ 4.5					~ 17				~ 50	
	~ FZNCr-55	~ 0.4	~ 14	~ 2.5	~ 3.5	~ 余	~ 0	~ 5.0	~ 5.0	~ 0	~ 50	耐磨、耐蚀、耐热性能好			
	~ FZNCr-60	~ 1.1	~ 20	~ 4.5	~ 5.5	~ 4.0	~ 17	~ 17	~ 4.0	~ 65					



(续)

类别	牌 号	主要化学成分的质量分数(%)												硬度 HRC	主要性能及应用
		C	Cr	B	Si	Ni	Mo	Mn	V	Fe	W	Co	Cu		
镍基粉末	FZN②-15 ~ FZN-25	≤0.1		0.8 ~ 2.0	1.6 ~ 4.0	余							0 ~ 21	15 ~ 30	耐磨、耐热冲击较好,用于铸件的修复
	WF-111 ~ WF-113	0.5 ~ 0.8	13 ~ 16	2.0 ~ 3.0	3.0 ~ 4.0	余				5.0 ~ 8.0			40 ~ 53	适用于模具,内燃机气门、柱塞、轴类、冷加工模具等	
	WF-211	0.8 ~ 1.0	27 ~ 30	1.0 ~ 1.8	0.6 ~ 1.0					≤3.0	3.5 ~ 4.5	余	43 ~ 48	红硬性好,用于高温、高压阀门、模具、内燃机气门	
	WF-215 ~ WF-218	0.8 ~ 1.0	18 ~ 30	1.0 ~ 2.6	0.5 ~ 3.5	10 ~ 13	0 ~ 2.0			3.0 ~ 5.0	3.5 ~ 8.0	余	40 ~ 55	红硬性好,用于冲模、辊锻模具等	
铁基粉末	FZFeCr③05-25H ~ FZFeCr10-50H	0.15 ~ 1.5	4.0 ~ 12	1.0 ~ 4.5	1.5 ~ 5.0	20 ~ 32	1.0 ~ 6.0		0 ~ 1.2	余	1.5 ~ 10		25 ~ 60	耐磨性和韧性优良	
	FZFeCr13-20H ~ FZFeCr17-50H	0.15 ~ 1.8	11 ~ 18	1.0 ~ 4.0	2.0 ~ 4.0	6 ~ 31	0 ~ 6.0			余			20 ~ 60	耐酸、耐腐蚀、耐磨性能优良	
	FZFeCr19-30H ~ FZFeCr30-55H	2.0 ~ 3.5	18 ~ 32	1.5 ~ 3.5	1.5 ~ 5.0	0 ~ 15	0 ~ 4.5	0 ~ 1.5	0 ~ 1.2	余	0 ~ 3.0		30 ~ 65	具有优良的耐热、耐氧化、耐蚀和耐磨性	
	WF-411													HB 80 ~ 120	具有良好的耐磨性,可用于低压阀密封面、配油盘、轴瓦等
铜基粉末	WF-412													HB 80 ~ 140	

注:喷涂用合金粉末粒度通常为-140~+320目,等离子喷焊用合金粉末,粒度一般为-80~+200目。

- ① FZCr-××系列摘自 GB5316—85。
- ② FZN-××系列摘自 GB5315—86。
- ③ FZFeCr××-××系列摘自 GB8549—87。

冶金工业出版社 请尊重作者版权



2.3 金属合金粉末

金属及其合金粉末是制备热喷涂涂层的重要涂层材料之一。喷涂用线材都可采用适当的方法制成粉末使用,特别是难以拉制成线材的、延展性差的金属或合金,则多制成粉末使用,成分及性能与线材完全一致。

2.4 陶瓷粉末

陶瓷材料是由金属元素和非金属元素组成的晶体化合物,其熔点高、硬度高、刚性高、化学稳定性好、绝缘能力强、热导率低、热膨胀小、高温稳定性好。最大的弱点是脆性大、没有塑性变形、对应力、裂纹敏感、耐疲劳性能差、易呈脆性断裂。因而不宜用于重负荷、高应

表 8-4-4 热喷涂常用陶瓷粉末成分及主要性能

类别	牌 号	主要化学成分的质量分数(%)	主要性能及应用
氧化铝及复合粉末	AF-251	$Al_2O_3 \geq 98.4$	耐磨粒磨损、冲蚀、纤维磨损。840~1650°C 耐冲击、热障、磨耗、绝缘、高温反射涂层
	P711	$Al_2O_3 97 \quad TiO_2 3.0$	
	P7112	$Al_2O_3 余 \quad TiO_2 13$	540°C 以下耐磨粒磨损、硬面磨损、微震磨损、纤维磨损、气蚀、冲蚀、腐蚀磨损涂层
	P7113	$Al_2O_3 余 \quad TiO_2 20$	
	P7114	$Al_2O_3 余 \quad TiO_2 40$	
	P7115	$Al_2O_3 余 \quad TiO_2 50$	
氧化锆粉末	CSZ	$ZrO_2 93.9 \quad CaO 4 \sim 6$	845°C 以上耐高温、绝热、抗热震、高温粒子冲蚀、耐熔融金属及碱性炉渣浸蚀涂层
	MSZ	$(ZrO_2 + MgO) \geq 98.45$	
	YSZ	$(ZrO_2 + Y_2O_3) \geq 98.25$	1650°C 高温热障涂层, 845°C 以上抗冲蚀涂层
氧化锆粉	氧化锆	$Cr_2O_3 91 \quad SiO_2 8 \quad Al_2O_3 0.61$	540°C 以下耐磨粒磨损、冲蚀、250°C 抗腐蚀、纤维磨损、辐射涂层
氧化钛粉末	P7420	$TiO_2 \geq 98$	540°C 以下耐粘着、腐蚀磨损、光电转换、红外辐射、抗静电涂层
	$TiO_2 \cdot Cr_2O_3$	$TiO_2 55 \quad Cr_2O_3 45$	540°C 以下抗腐蚀磨损、抗静电涂层
	TZN	$TiO_2 5 \sim 20 \quad ZrO_2 80 \sim 90 \quad Nb_2O_5 1$	红外及远红外波辐射涂层
	TZN-2	$TiO_2 77 \quad ZrO_2 20 \quad Nb_2O_5 3$	
其它粉末	OS-1	$Y 13.3 \quad Ba 41.2 \quad Cu 28.9 \quad O 余$	超导涂层
	TiN	TiN	1000°C 以下耐热、抗氧化、耐腐蚀、抗擦伤及彩色表面装饰保护涂层

力和冲击载荷等场合。热喷涂常用陶瓷粉末材料成分及主要性能如表 8-4-4 所示。

2.5 复合粉末

复合粉末是一类新型的复合材料,在热喷涂材料领域中占有十分重要的地位。它是由两种以上性质不

同的固相物质颗粒经机械结合(非合金化)所形成的粉末颗粒。不同的相之间有明显的相界面,在不破坏颗粒结构情况下,不能用物理方法将这些相分开。复合粉末的颗粒结构,基本为包覆型、团聚型和烧结型三种类型。热喷涂常用复合粉末成分及主要性能如表 8-4-5 所示。

表 8-4-5 热喷涂常用复合粉末成分及主要性能

类别	牌 号	主要化学成分的质量分数(%)	主要性能及应用
镍包铝复合粉	FF01·01	$Al 9.0 \sim 11 \quad Ni 余$	粘结底层和中间涂层,但在酸、碱、中性盐电解质溶液中不耐蚀,用于抗高温氧化、粘着磨损、密封涂层
	FF01·03	$Al 17 \sim 20 \quad Ni 余$	



(续)

类别	牌 号	主要化学成分的质量分数(%)	主要性能及应用
镍包氧化铝粉	FF03·01	Al ₂ O ₃ 20~25 Ni 余	高温热障涂层的中间过渡层,耐高温磨损腐蚀涂层
	FF03·02	Al ₂ O ₃ 40~45 Ni 余	
	FF03·04	Al ₂ O ₃ 60~65 Ni 余	
	FF03·05	Al ₂ O ₃ 80~85 Ni 余	
钴包碳化钨粉	FF02·01	Co 8.5~9.5 C 5.3~5.6 W 余	适用于碳钢、镁、铝、铜及其合金基体上喷涂,耐低应力磨粒磨损、冲蚀磨损、微动磨损及硬面涂层
	FF02·02	Co 11.5~13.5 C 5.3~5.6 W 余	
	FF02·04	Co 16~18 C 4.85~5.15 W 余	
	FF02·07	Co 20~22 C 4.6~5.1 W 余	
镍包铜粉	FF04·01	Cu 30~33 Ni 余	耐海水、有机酸、盐溶液腐蚀涂层,抗粘着磨损涂层
	FF04·03	Cu 68~72 Ni 余	
镍包铬粉	FF05·01	Cr 18~22 Ni 余	900°C左右耐高温、抗氧化、耐腐蚀涂层
	FF05·03	Cr 58~62 Ni 余	

注:各复合粉末成分分别摘自 GB3989-83、GB3990-83、GB3991-83、GB3993-83、GB3992-83,粉末粒度范围在-140~+400目。

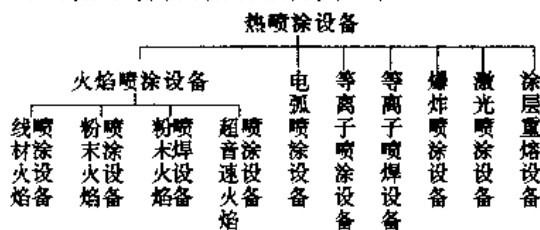
2.6 塑料粉末

塑料抗化学腐蚀性能优异,摩擦系数低,绝缘性能好。在金属和非金属表面上制备塑料涂层,不仅具有装饰功能,且具有耐酸、耐碱及耐有机溶剂腐蚀,减摩、自润滑和绝缘等功能。如果在塑料中添加硬质相,还可得到耐磨蚀性能涂层。热喷涂用塑料粉末分为两大类:热塑性塑料粉末和热固性塑料粉末。粉末粒度范围一般在-80~+140目之间。

3 热喷涂设备

3.1 热喷涂设备分类

热喷涂设备按喷涂方法分类如下:



3.2 热喷涂设备组成及主要技术参数

3.2.1 火焰喷涂设备

火焰喷涂设备由压缩空气源、净化装置、氧化源、燃气源、减压调节、流量控制装置、送粉装置、喷枪等组成。线材火焰喷涂设备还应有送丝盘。常用喷枪型号及主要技术参数如表 8.4-6 所示。

3.2.2 电弧喷涂设备

电弧喷涂设备除压缩空气源、净化装置、空气控制器外,还有电弧电源、送丝盘、喷枪。常用电弧喷涂设备主要技术参数如表 8.4-7 所示。

3.2.3 等离子喷涂设备

等离子喷涂设备组成如图 8.4-2 所示。常用等离子喷涂设备及主要技术参数如表 8.4-8 所示。近年来随着计算机的应用,计算机控制和机器人操作的等离子喷涂设备不断涌现。



表 8-4-6 常用火焰喷枪型号及主要技术参数

工艺方法	喷枪型号	工作气压力(MPa)		气体消耗量(m ³ /h)		功效(kg/h)
		氧气	乙炔气	氧气	乙炔气	
线材喷涂	SQP-1	0.4	0.05	2.5	0.7	0.9~10
粉末喷涂	SPH E	0.5~0.6	0.07~0.08	1.2~1.5	0.8~1.0	4.5~7
	BPT-1	0.17~0.21	0.08~0.10	1.3~1.7	0.9~1.0	9
	SPH F ₂	0.18~0.2	0.08~0.10	1.3~1.7	0.8~1.0	9
	SPH-2000	0.4~0.6	0.08	1.2	0.85	9
粉末喷焊	SPH-1/h	0.2~0.3	0.05~0.1	0.16~0.43	0.14~0.37	0.1~1
	SPH-2/h	0.3~0.4	0.05~0.1	0.65~1.2	0.55~1.1	1~2
	SPH-3/h	0.4~0.5	0.05~0.1	1.6~2.3	1.45~2.3	2~4
	SPH-C	0.5~0.8	0.05~0.1	3.0~5.6	2.4~4.5	4.5~6
	SPH D	0.5~0.6	0.05~0.1	5.0~9.0	4.8~7.5	8~12

表 8-4-7 常用电弧喷涂设备型号及主要技术参数

型号	喷枪型号	工作电压(V)	工作电流(A)	功率(kW)	电流上升率(A/s)	送丝速度(m/min)	电机工作气压(MPa)	雾化气压(MPa)	功效(kg/h)
DP-300	DP-300	22~44	300	13.2	10 ⁵ ~10 ⁶	1.5~10	0.4	0.3~0.55	8~30
DP-400	DP-400	22~44	400	17.6	10 ⁵ ~10 ⁶	1.5~10	0.4	0.3~0.55	10~38

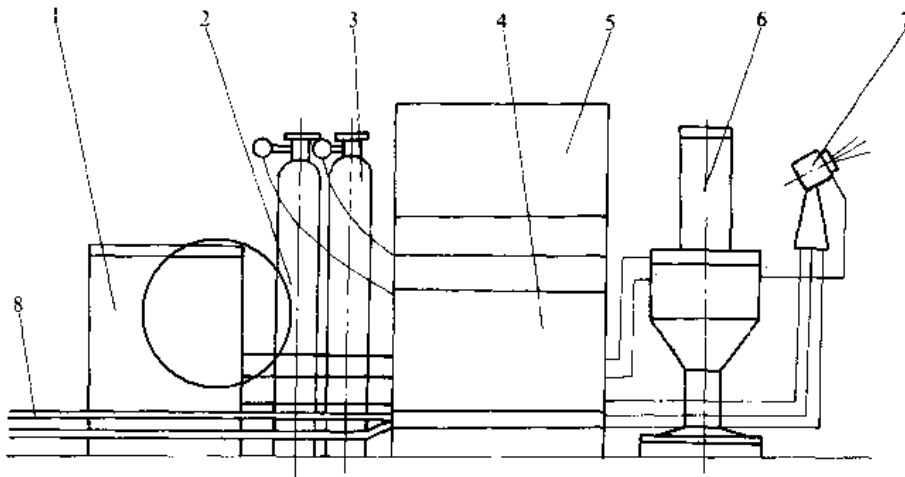


图 8-4-2 等离子喷涂设备的组成

1-电源 2-主气源 3-辅气源 4-高频发生器 5-控制柜 6-送粉器
7-喷枪 8-冷却水管

表 8-4-8 常用等离子喷涂设备型号及主要技术参数

设备型号	喷枪型号	空载电压(V)	额定电流(A)	电流调节范围(A)	电压调节范围(V)	最大功率(kW)	耗气(m ³ /h)		
							Ar	N ₂	H ₂
L ₂ -500	78 I	170	450	50~500	25~90	45	2.5	1	0.17
LP-60Z	LP-600	240	540	100~600	30~120	60	3.0	1	0.3
LP-100	LP-800	240	1030	100~1000	30~120	1200	3.0	1.4	0.4



3.2.4 等离子喷焊设备

致,但多一台转移弧电源,常用等离子喷焊设备型号及主要技术参数和喷焊枪型号及主要技术参数分别如表 8.4-9、表 8.4-10 所示。

等离子喷焊设备的组成与等离子喷涂设备基本一

表 8.4-9 常用等离子喷焊设备型号及主要技术参数

设备型号	非转移弧		转移弧		熔敷率 (kg/h)
	电压(V)	电流(A)	电压(V)	电流(A)	
LUP-100WH	18~22	2~100	18~22	2~100	3
LUP-300	20~25	20~200	25~40	30~300	9
LPC-400	20~25	20~200	25~40	20~400	12

表 8.4-10 常用等离子喷焊枪型号及主要技术参数

喷枪型号	非转移弧电流	转移弧电流	离子气 (m³/h)	送粉气 (m³/h)	保护气 (m³/h)	送粉量 max (kg/h)
	max (A)	max (A)				
LP-200W	60	200	0.2~0.3	0.3~0.4	0.2~0.5	3
LP-280W	100	280	0.3~0.4	0.4~0.5	0.2~0.5	6
LP-400	100	400	0.35~0.45	0.4~0.5	0	9
LP-400W	150	400	0.35~0.45	0.4~0.6	0.2~0.6	9
LP-500W	200	500	0.4~0.45	0.4~0.6	0.2~0.6	12

4 热喷涂前后处理

涂层质量,不仅取决于喷涂设备和喷涂材料的质量,更重要的是取决于所采用的喷涂工艺,合理地应用喷涂工艺是确保涂层质量的重要措施之一。热喷涂工艺过程包括:表面预处理、喷涂过程(预热、喷涂粘结底层、喷涂工作层)、涂层后处理。

4.1 表面预处理

喷涂基体材料表面预处理状况,决定着涂层与基体的结合性能,直接影响结合强度。对涂层质量、使用寿命有着决定性的影响。

表面预处理过程中,工件必须保持清洁、干燥、预处理与喷涂工序间,停留时间应尽可能短。表面预处理包括脱脂除锈(参见本篇第2章),下切和粗化处理。

4.1.1 下切

下切是利用机械加工将基体表面切削到预定的尺寸。对轴类零件的下切如图 8.4-3 所示。图中 a 值为下切量必须等于涂层设计厚度的最小值,图 a 为允许轴两端不需涂层,图 b 是轴的端部修切,应尽可能在端部留下 b 约 1.6mm 不加修切。在不可能留下时,则按图 c 下切。

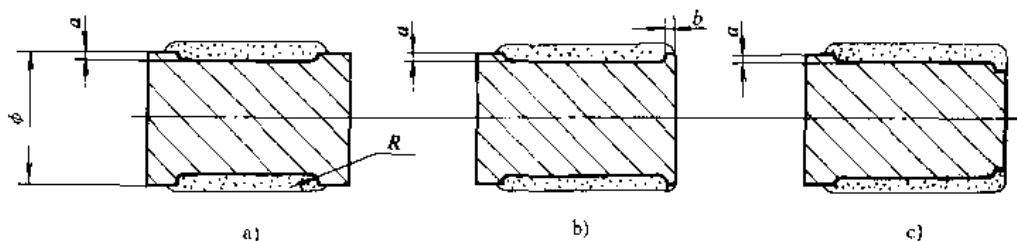


图 8.4-3 轴类零件下切示意图

$R=0.35\sim0.50\text{mm}$



4.1.2 粗化处理

粗化处理是使待喷涂基体表面形成一定的粗糙度的处理。常用的方法有:喷砂处理、宏观粗化等。

1. 喷砂处理 必须使用无油干燥的压缩空气,压力在 0.34~0.69MPa,磨料的喷射方向与工作面法线之间夹角为 15°左右,喷距 100~300mm。喷砂处理后表面粗糙度达到 $R_{a25} \sim 100\mu\text{m}$ 。

2. 宏观粗化 宏观粗化包括车螺纹、滚花、电拉毛。

车螺纹时,工具必须脱脂净化,不允许采用冷却液和润滑剂,同时应切除螺纹尖角,螺距 s 与螺纹深度 h 的关系为 $s/h=2$ 。

电拉毛是在净化处理的表面制备一层均匀的粗化表面,适用厚壁工件和受静应力部件的硬表面。

4.2 涂层加工和后处理

1. 喷涂层加工 热喷涂涂层需机械加工时,可采用简单的手工抛光、车削、磨削等加工方法,达到所需要的尺寸精度和表面粗糙度。车削加工时常用较低速度和较小的进刀量,切削刀具必须保持锋利和一定的几何形状。陶瓷涂层采用磨削加工,砂轮型号应根据涂层材料正确选取。

2. 喷涂层后处理 所有热喷涂涂层都不同程度地含有微孔,会降低涂层在腐蚀、氧化、绝缘等环境下的使用性能,甚至失效。因此对涂层应根据工况条件进行适当的后处理。后处理分为涂层重熔和用封孔剂封孔处理。

涂层重熔是采用不同热源将工件表面已形成的涂层加热到液固相线之间,消除涂层中的孔隙,得到十分致密、孔隙率低、与工件表面具有一定结合强度的强化层。包括氧-乙炔火焰重熔、真空炉内重熔、电火花重熔、激光重熔、感应重熔等。

感应重熔由中频或高频电源通过感应圈,产生感应磁场加热工件表面的喷涂层,控制感应电流大小,加热时间,涂层各个位置与线圈直接均匀偶合,来熔化喷涂层。感应加热受基体工件壁厚差别的影响,也随基材成分和结构不同而变化,重熔期间,需精确控制工艺参数。该方法特别适合圆柱形工件表面自熔性合金涂层重熔,效率是氧-乙炔火焰重熔的四倍,是大面积涂层重熔的理想方法。

封孔剂封孔处理。常用的封孔剂有石蜡、酚醛清漆、环氧清漆、丙烯酸清漆、有机硅涂料等。

5 喷涂层性能检测

热喷涂涂层性能检测是对涂层系统设计和喷涂工艺的合理性、实用性、可靠性的综合评定。涂层性能检测包括结合强度、涂层强度、涂层孔隙率、涂层厚度、涂层硬度、金相组织、环境试验等。表 8-4-11 列出不同工艺方法可获得的涂层结合强度、涂层孔隙率范围。

表 8-4-11 涂层结合强度、孔隙率范围

工艺方法	火焰喷涂	电弧喷涂	超音速火焰喷涂	爆炸喷涂	等离子喷涂
结合强度 (MPa)	8~20	12~25	>70	>70	16~80
孔隙率 (%)	5~20	5~15	1~2	1~2	3~15

5.1 涂层结合强度检测

涂层结合强度与涂层材料、基体预处理、喷涂方法和工艺参数有关,是涂层性能重要指标,直接影响使用性能。检测方法参见 GB8642—88《热喷涂层结合强度的测定方法》。

5.2 涂层强度检测

涂层强度是构成涂层微粒间的结合强度。在相同工艺方法和工艺参数处理下,涂层微粒越细涂层强度越高。检测方法参见 GB8642—88《热喷涂层抗拉强度的测定》。

5.3 涂层孔隙率检测

涂层除喷焊和重熔工艺外,涂层内必然含有一定的孔隙。如涂层用于耐磨损,孔隙可用来保存润滑剂;若在腐蚀介质下使用,有可能加速腐蚀。孔隙率的测定,目前我国尚无统一标准,通常采用浮力法。

5.4 涂层厚度检测

热喷涂涂层厚度测定方法有:测微器测定、截面显微镜测定、磁性测定、触针扫描式测定等方法。对磁性金属基体上非磁性涂层和非磁性金属基体上非导电涂层的厚度测定,参见 GB11374—89《热喷涂涂层厚度的无损测量方法》。

5.5 涂层硬度检测

喷涂工艺方法不同,或是同一工艺方法而不同工



艺参数,即使使用同种喷涂材料,涂层的硬度也不尽相同。测定涂层硬度时,可用显微维氏硬度计和表面洛氏硬度计。用显微维氏硬度计测得是涂层微粒本身的硬度。测定涂层表面硬度参见 GB8640-88《金属热喷涂层表面洛氏硬度试验方法》。

6 热喷涂涂层的应用

6.1 耐磨损涂层

热喷涂技术用于提高工件的耐磨性,应用较广,如活塞环和齿轮同步环喷钼,泵和阀门密封面喷焊铁、钴、镍、铜合金;印刷和造纸机械中采用氧化物陶瓷涂层保护辊子;纺织机械中耐纤维磨损涂层。

6.2 耐腐蚀、抗氧化涂层

钢铁结构件耐大气环境腐蚀,石油化工、食品工业中各种容器防锈、耐蚀,大量采用热喷涂锌、铝、锌铝合金、不锈钢、塑料等涂层进行长效防护。

耐高温腐蚀涂层,如 NiCr、NiAl、MCrAlY (M 为 Co、Ni、Fe)、Hastelloy 和 Stellite 合金的等离子喷涂涂层十分致密,具有良好的耐高温氧化性能,其中 MCrAlY 涂层性能最好,现在正用于飞机零件作耐高温涂层。

6.3 热绝缘/热障涂层

W、Ta、Mo、Nb 难熔金属和 ZrO_2 、 Al_2O_3 等陶瓷喷涂涂层,熔点高、导热系数低,在高温条件下,对基体金属有很好的保护效果。特别是 ZrO_2 热障涂层,应用于

飞机发动机燃烧段零部件防护具有最佳的使用性能。

6.4 电导性功能涂层

采用高能等离子喷涂 Al_2O_3 所得到的涂层致密度高,绝缘强度高,是理想的绝缘涂层。而喷涂铜等导体材料可获得导电涂层。 $YBa_2Cu_3O_7$ 等离子喷涂超导涂层正在发展。

6.5 磨耗密封涂层

采用复合粉末,在基体上喷涂质软的可磨耗密封涂层,是航空航天部门迅速发展起来的高温密封与控隙技术,是现代热喷涂技术的重要应用之一。这类涂层有金属陶瓷型、陶瓷复合型两类。用于控制压气机、燃气轮机的叶片与壳体之间的间隙,可提高整机效率,降低能耗、延长使用寿命。

6.6 尺寸修复性涂层

因磨损、腐蚀或因加工超差而报废的零件,用热喷涂方法给予修复或恢复尺寸是最经济又省时的有效措施。

6.7 生物功能性涂层

在不锈钢或钛金属基体上用等离子喷涂生物功能陶瓷涂层,有效地克服了金属型人工骨骼与生物体组织不相容和体液腐蚀的问题,这类涂层在日本已得到临床应用。

热喷涂涂层除以上应用外,还可用作装饰涂层。部分应用实例见表 8-4-12 所示。

表 8-4-12 部分热喷涂涂层应用实例

零件名称	基体材料	使用目的	涂层材料	工艺方法	使用效果
钢铁结构件	结构钢	长效防腐	Zn、Al、Zn-Al 合金	线材喷涂	防护期 20 年
石油管道、化工容器	结构钢	防腐	Al、不锈钢、塑料	火焰喷涂	防护性能很好
柴油机曲轴	球墨铸铁	恢复尺寸	T8、2Cr13	线材喷涂	恢复尺寸、耐磨性好
汽车同步环、活塞环	铸铁、铸钢	耐磨、润滑	Mo	线材喷涂	耐磨性很好
拉丝机平辊、塔轮	Q235A	耐磨损	WF136	火焰喷涂	使用寿命提高 3 倍
高压泵塞泵柱塞	45 钢	耐磨、耐蚀	WF136	火焰喷焊	使用寿命提高 3 倍
2050 轧机辊道辊筒	45 钢	耐热磨损	WF136	火焰喷焊	替代进口技术
石油钻杆接头	合金钢	耐磨粒磨损	WF372	等离子喷焊	寿命提高 2 倍以上
热轧无缝钢管冲头	45 钢	高温磨损、疲劳	Ni+WC		
轴承毛坯冲模	45 钢	耐热疲劳	WF211		
内燃机进、排气门	21-4N、4Cr9Si2	耐腐蚀、磨损	WF211		



(续)

零件名称	基体材料	使用目的	涂层材料	工艺方法	使用效果
电站高温蒸汽阀门	25 钢	抗擦伤、磨损	WF242	等离子喷焊	寿命提高 2 倍以上
铸铁低压阀门	HT200	抗擦伤、磨损	WF411		
重水反应堆主泵轴承		耐磨、防污染	WF114	等离子喷焊	耐磨性好、无污染
电站排粉风机叶片	16Mn	耐冲蚀磨损	Ni45WC30	等离子喷涂	使用寿命提高 2 倍以上
酸泵柱塞、机械密封件	45 钢	耐冲蚀磨损	Al ₂ O ₃ + TiO ₂		
纺织机械零件	铝合金	纤维磨损	Al ₂ O ₃ + TiO ₂		
远红外加热件		远红外涂层	TiO ₂ + ZrO ₂	等离子喷涂	节电 50%
发动机密封环	石墨	耐磨损	Al ₂ O ₃	等离子喷涂	使用寿命提高 2 倍以上
1500℃ 高温热电偶	NiCr 合金	高温氧化	ZrO ₂		
高频感应加热圈	T2	绝缘	Al ₂ O ₃	等离子喷涂	使用寿命提高 3 倍以上
高炉渣口、风口	T2	耐高温冲蚀	Al ₂ O ₃		
喷气机燃烧室	高温合金	耐高温汽蚀、冲蚀	ZrO ₂	等离子喷涂	耐高温汽蚀、冲蚀性好

第 5 章 表面合金化^{[3][10][11]}

将一种或几种元素渗入基体金属或合金,改变其表层成分与组织,并提高耐磨、减摩、耐蚀或抗氧化等性能的方法,称为表面合金化。

本章着重叙述渗铝、渗铬、渗锌、渗硼、表面多元合金化与气相沉积层的组织、性能及应用效果。渗剂配方、详细的工艺参数参见第 7 篇第 6 章 7。

1 渗铝

渗铝是提高钢铁和镍基或钴基合金抗高温氧化及抗含硫介质腐蚀的有效方法。

钢管、钢板、炉栅等大件与长尺寸工件,均采用浸铝扩散法。气轮机叶片、阀杆等机械零件则以粉末法为主,亦可采用气相法、热喷涂扩散法或料浆法。钢铁基体上渗铝层表面铝的质量分数以控制在 25% 以下为宜;镍基或钴基合金工件则以不高于 12% 为佳。铝浓度高时,FeAl 相使表层多孔、松脆,对基体的保护能力差。因此,不仅浸铝后必须扩散退火,若粉末渗铝后浓度偏高或渗层偏浅,亦应通过扩散退火提高渗层韧性、耐蚀性与抗氧化性能。

渗铝前,在基体上先镀铝或镍作为“屏蔽层”,能有效地抑制铝向基体中扩散,从而防止渗层铝浓度在高温服役中迅速下降而导致早期失效。镍基合金工件镀

几微米铂再渗铝,与单独渗铝层相比,将大幅度提高抗高温氧化性能。

1.1 渗铝层组织

渗铝层由表及里,依次形成 FeAl₃、Fe₂Al₅、FeAl₂ 三种金属间化合物;其下为 FeAl、Fe₃Al 和含铝 α 铁三种固溶体。FeAl 固溶体中有取向大多平行于表面的孔隙带,渗铝温度越高,孔隙越多;若在 850℃ 以下渗铝则渗层致密。钢中碳的质量分数高于 0.4% 时,FeAl 相层有硬度较高的 Al₄C₃ 粒子析出^[1]。

浸铝扩散法或为了降低表面铝浓度而在粉末渗铝后扩散退火,则渗层中无 FeAl₃ 与 Fe₂Al₅,并以 FeAl、Fe₃Al 相为主。

热浸扩散法应用日益广泛,其质量主要取决于浸铝前的预镀与浸铝工艺参数,浸铝且未经扩散退火前的孔隙、裂纹按 ZBJ36011—89 评级,一般 1~3 级为合格。

1.2 渗铝层性能和应用^[11]

渗铝能提高碳钢、铸铁、耐热钢与镍或钴基合金的抗高温氧化;抗含硫介质腐蚀和抗渗碳性能。抗氧化与耐蚀性能数据列于表 8·5-1 及表 8·5-2。



表 8-5-1 渗铝层的抗氧化性能

材 质	处理工艺	氧化试验规范	氧化速度[mg/(cm ² ·h)]	氧化失效层深度(mm/a)
20 钢	退火	900°C×100h	2.85	31.6
	渗铝		0.012	0.13
1Cr18Ni9Ti	固溶处理	1100°C×100h	3.65	40.5
	渗铝		0.052	0.56
Haynes 钴基合金	未渗铝	1040°C×70h	1.49	16.5
	渗铝		0.02	0.22

表 8-5-2 渗铝层的耐蚀性

介 质	处理工艺	腐蚀介质	试验条件	腐蚀速率[mg/(cm ² ·h)]
20 钢	退火	Na ₂ SO ₄ 60%①	浸渍 (950±10°C)	18.200
	渗铝	NaCl40%①		0.370
20 钢	退火	H ₂ S①6%	腐蚀箱 (35~40°C)	1.020
	渗铝	大气 94%①		0.035
20 钢	退火	饱和态氨水	室温浸渍	2.230
	渗铝			0.034
1Cr18Ni9Ti	固溶处理	H ₂ S100%①	腐蚀箱 (35~40°C)	1.521
	渗铝			0.004

① 均指质量分数。

渗铝主要用于燃气轮机与蒸汽轮机叶片(材料有 2Cr13、3Cr13Ni7Si2、镍基合金和镍、钴基合金等);喷气管、喷嘴、吹灰器与热电偶套管(常用 1Cr13SiAl、1Cr18Si2 等);用 1Cr25Ni20Si2N、2Cr20Mn9Ni2Si2N 等耐热钢制造的加热炉传送带、料盘、炉底板、辊筒以及采用 Q235A 钢、20 钢、16Mn、12MnV 等制成的锅炉钢管,热交换器,抗硫化氢、二氧化硫等介质腐蚀的紧固件、阀门。渗碳或粉末法渗金属的容器大多内外壁喷铝,直接装入工件后与工件一并热扩散。

与未经渗铝的同等材料的工件相比,渗铝可分别提高抗氧化、耐蚀性能几倍至几十倍。

2 渗铬

渗铬层具有优良的耐腐蚀、抗高温氧化和耐磨损性能,适用于碳钢、合金钢和镍基或钴基合金工件。渗铬的低碳钢板可部分取代 Cr13 或 1Cr18Ni9Ti 不锈钢。

机械零件渗铬以粉末法或硼砂为基的熔盐法为主,固体-气相法、料浆法及真空沉积扩散法次之;生产渗铬钢板则以固体-气相法为主。

粉末介质渗铬效果虽好,但存在粉尘飞扬、铬粉消耗量大的缺点,将渗铬剂加工成 0.2~1mm(20~80

目),能保证活性气流畅通、提高渗速。

用喷粉雾化法制取成分为含铬 50%[⊖]左右、粒度为 0.065~0.3mm(60~240 目)的铬铁粉,加入卤化铵、氟硼酸钾、氧化铝,经混料、球磨、加粘结剂成型即成为约含铬铁 60%[⊖]、KBF5%~10%[⊖]、卤化铵 2%~5%[⊖]和氧化铝(余量)的粒剂。使用于冷冲模等工件渗铬,效果良好。温度对渗铬层深度的影响列于表 8-5-3。

表 8-5-3 温度对几种钢渗铬层深度的影响

钢 种	碳化物型渗铬层的深度(μm)					备 注
	880°C	920°C	950°C	980°C	1020°C	
20	16~20		30~35		45~50	保温时间 均为 6h;温 度控制精度 ±10°C
T8	10~13	17~19	20~23	23~26	32~35	
T12	10~13	17~19	20~23	25~27	30~33	
GCr15	13~15	18~20	20~23	25~27	30~32	

45 钢、65Mn、Cr12MoV 和 W18Cr4V 等钢件,于 980±10°C 渗铬 6h 后,由 (Cr,Fe)₂₃C₆ 及 (Cr,Fe)₇C₃ 组成的渗层深度在 15~27μm 之间,碳化物层之下的贫碳区(过渡层)除外。推荐的粒状介质渗铬温度为 950~1000°C;保温 4~6h;每次加 20%新剂可使用 10 次以上。

⊖ 均指质量分数。



2.1 渗铬层组织

低碳钢的渗铬层为铬在铁中的 α 固溶体,其上分布着 $(Cr,Fe)_{23}C_6$ 。随着钢中碳含量增加,柱状 α 晶粒内的碳化物粒子成为针状、块状;C的质量分数 $>0.2\%$ 且铬浓度较高时即可形成连续的 $(Cr,Fe)_{23}C_6$ 化合物层。高碳钢渗铬表层可出现 $(Cr,Fe)_{23}C_6$,其下依次为 $(Cr,Fe)_7C_3$ 及 α 固溶体。由于卤化铵分解时提供活性氮原子,渗层表面有 $Cr_2(C,N)$ 存在。

渗铬层表面铬的质量分数应高于25%,高碳钢表面铬的质量分数可高于80%。

2.2 渗铬层性能和应用

耐热钢渗铬后,能大幅度提高在含硫重油燃气(H_2S 或 SO_2 的体积分数5%左右)中以及在含 Na_2SO_4 与 V_2O_5 灰分中的耐蚀性;镍钴铬合金(如Inconel700、Udimat500和LCN-155)和镍基合金(如Inconel-X)渗铬后也能明显提高耐蚀性。低碳钢板渗铬后的耐蚀性略优于Cr13不锈钢板,如表8-5-4所示。

表8-5-4 渗铬钢板与1Cr13不锈钢耐蚀性的对比

室温腐蚀试验条件		腐蚀速率 $[(mg)/(m^2 \cdot h)]$	
介 质	试验时间(h)	渗铬钢板	不锈钢板
CH_3COOH 50%①	530	0.7	0.8
$C_6H_6O_6$ 100%①	480	12	37
HNO_3 1%①	480	11	20
HNO_3 5%①	480	15	30
HNO_3 35%①	480	12	19
H_2S	500	10	33
稀盐酸	—	不耐蚀	不耐蚀
稀硫酸	—	耐蚀性很差	耐蚀性很差

① 均指质量分数。

中、高碳钢或合金钢渗铬后,表层硬度分别提高到1300~1600HV或1700~1800HV,耐磨性、尤其是抗磨粒磨损性能优良。以45钢为例,渗铬比调质态的磨损量减少95%左右。

因渗铬温度较高且持续时间较长,晶粒粗化而导致 σ_s 、 σ_t 、 σ_K 等力学性能指标降低,但可通过渗铬后的调质予以改善。就42CrMo而言,渗铬、调质后的强度、塑性与韧性可恢复到调质态水准。

低碳钢、低碳合金钢、不锈钢、耐热钢和镍或钴基合金的渗铬,主要用于抗高温氧化与耐蚀,典型工件有蒸汽轮机与燃气轮机叶片,喷气管,发动机气门。高碳

钢或中、高碳合金钢冷作模具的渗铬应用亦广。以上工件和模具渗铬后使用寿命均能大幅度提高。

3 渗锌

用锌及锌铁合金层保护钢铁,有热浸锌、电镀锌、热喷涂锌、涂覆含锌粉涂料和热扩散渗锌等方法。锌的标准氧化电位是0.763V(101325Pa, 25°C,下同);铁则为0.440V。与铁相比,锌是阳极性的。在腐蚀介质中,锌易发生电化学反应氧化成锌离子,从而对钢铁件产生阴极保护作用。除在某些介质中耐蚀外,渗锌层有一定的耐磨性,且渗层深度均匀,特别适用于保护带有螺纹的工件。

除用于钢与铁基粉末冶金件外,渗锌还可用来提高铜、铝及其为基的合金工件的寿命。

锌的熔点为419°C。冶金工业中广泛地对薄钢板与钢管、钢丝进行渗锌,温度为470~510°C。对机械零件多数采用滚动粉末渗锌法或粉末包装法,前者因工件(尤其是标准件)与锌粉间相互滚动摩擦,促使不断更新的渗剂与表面接触而充分吸附,故渗速快且锌浓度高。镀锌薄板在锌或锌基合金浴中浸渍后已形成锌铁金属间化合物层,不再进行扩散退火。

渗锌(Zinquench)的实质是工件在锌浴中等温淬火的时表面渗锌,邻近渗锌层的淬硬层转变为下贝氏体而达到表面耐蚀、基体强韧化的目的。如35钢、40MnB钢高强度螺栓在850~870°C奥氏体化,淬入 w_{Al} 0.2%左右的锌浴中,于450°C左右等温0.5~1h后水冷,此渗锌工艺在欧美广泛应用。这种螺栓强度高、韧性好,在工业大气、海洋大气中有良好的耐蚀性。

渗锌介质可在很大范围内变化,甚至可不加卤化物、在无催渗剂状态渗锌。温度、时间、炉型(转动的炉膛或固定的渗箱)均对渗锌层深度有很大影响,如图8-5-1所示。由于装箱法锌尘飞扬、污染环境,有些国家已采用可倾斜出料的旋转装置滚动渗锌。

渗锌后,工件在150~160°C的机油中浸煮1h。需磷化的渗锌件的磷化液可采用由磷酸锰铁盐65g/L、硝酸锌35g/L、氯化锌10g/L和氯化钠8g/L;或硝酸钙70~80g/L与磷酸1~2g/L组成的溶液。前者以30~40°C保温20~30min为宜;后者应在70~80°C持续20~30min。

渗锌件尺寸涨大量通常为10~30 μm ,螺栓、螺母等组合件应预留间隙,以便渗锌后直接装配。

① w_{Al} 为Al含量的质量分数。



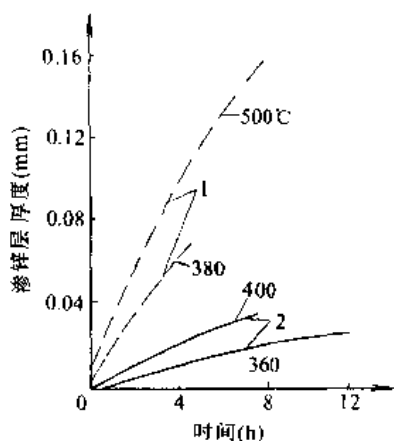


图 8-5-1 温度、时间、炉型对 10 钢渗锌层深度的影响
1—回转炉渗锌 2—密封箱中渗锌

3.1 渗锌层组织

钢铁渗锌层的特点是锌浓度高、组织比较复杂。热浸锌层由表及里为 η 相 ($w_{Zn} < 0.02\%$ 的、近乎纯锌或以锌为基含少量铝、铁的固溶体)、 ξ 相 ($FeZn_{13}$, $w_{Zn} \geq 93\%$)、 δ_1 相 ($FeZn_7$, $w_{Zn} \geq 88\%$)、 γ 相 (Fe_3Zn_{11} , $w_{Zn} \geq 72\%$) 和铁基含锌 α 固溶体 ($w_{Zn} \geq 5\%$)。 ξ 、 δ_1

和 γ 相均为金属间化合物。热浸锌并经扩散处理后 η 相部分或全部消失。粉末法渗锌层通常以 δ_1 相为主，最表层的 η 相很薄。 δ_1 相层之下为 γ 相和 α 固溶体。

为显示钢铁渗锌层的多相组织，可采用苦味酸酒精水溶液，即在 100mL 蒸馏水中加苦味酸 0.15~0.2g，乙醇 25~30mL。室温浸蚀 10~30s 后， γ 、 δ_1 、 ξ 和 η 相分别呈柠檬黄、浅蓝、浅红棕及黄色^[10]。

3.2 渗锌层性能和应用

对于钢铁工件与板材、管道而言，渗锌旨在提高抗大气、雨水、工业大气、海水和氯化钠水溶液腐蚀性能。铜、铝以及以其为基的非铁合金渗锌则可显著提高硬度和耐磨性。

渗锌层表层 δ_1 相区硬度高，用 25g 负荷测量，纯铁为 270~330HV，调质 45 钢可达 500HV。铜和含硅黄铜的硬度提高 3~5 倍，用于铜或铜合金模具寿命显著提高。 w_C 1.9%~2.5%， w_Mn 1.4%~1.8%， w_N 1.2%~1.6% 及 w_{Si} 0.5%~1.2% 的铝合金活塞在 270°C 渗锌、490°C 淬火并自然时效后，硬化层深 0.1~0.15mm，能显著延长使用寿命。渗锌层抗大气与盐雾性能数据见表 8-5-5。

表 8-5-5 渗锌层的耐腐蚀性能

材 质	处理方法	腐 蚀 试 验 情 况		
		方 法	持续时间	试 片 形 貌
10 钢	退火	暴露于工业大气中	8d	表面布满锈点
	渗锌		56d	表面严重锈蚀
铁基粉末冶金件	未渗锌	暴露于工业大气中	56d	表面色泽略变暗，无锈点
	渗锌		600d	表面色泽变暗，无锈点
10 钢	退火	在 NaCl150g/L 水溶液中于室温浸渍	9d	表面布满锈点
			60d	试片严重锈蚀
	渗锌		2 年	表面色泽变暗，无锈点
			4.4 年	色泽变暗，渗层完好，局部有锈迹
低碳钢丝	化学镀镍	在 NaCl150g/L 水溶液中于 45±1°C 浸渍	16h	局部有锈点
	铜锡合金衬底再电镀镍		16d	表面全部生锈
	渗锌		600d	全部锈蚀，容具底部腐蚀层厚 8.5mm
低碳钢丝	化学镀镍	在 NaCl150g/L 水溶液中于 45±1°C 浸渍	16d	色泽变暗，无锈点
			30h	出现个别锈点
			48h	试件局部锈蚀
渗锌	15d	试件局部锈蚀		

⊖ w_{Fe} 、 w_{Zn} 等分别为 Fe、Zn 的质量分数。



(续)

材 质	处理方法	腐 蚀 试 验 情 况		
		方 法	持续时间	试 片 形 貌
铁基粉末冶金件	未渗锌	在 NaCl30g/L 水溶液中于室温浸渍	3h 17d	出现锈点 完全锈蚀
	渗锌		1年	完好无损, 仅表面发暗
铁基粉末冶金件	未渗锌	在老化箱中(相对湿度为80%~90%, 40~50°C)挂片, 间歇喷水及光照	2d	表面完全生锈
	渗锌		12d	局部有锈点
10 钢	未渗锌	间断喷盐雾试验 NaCl50g/L 水溶液; 相对湿度 95%; 32~35°C; 压力为 0.15MPa)	2h	80%以上表面生锈
	渗锌		165h	20%以下表面生锈
铁基粉末冶金件	未渗锌		165h	100%表面生锈
	渗锌		165h	约 1/3 表面生锈
黄铜锁芯铁基粉末冶金锁芯	未渗锌		10d	10件全有锈斑, 无法开启
	渗锌		10d	10件全无锈斑, 开启灵活

4 渗钒

将钒、铌、钛、钽等碳化物形成元素渗入钢中, 可获得 1800~3000HV 的高硬度碳化物覆盖层。耐磨性能优良的碳化物层的形成与增长, 依靠钒(或铌等)原子自外向内、钢铁工件中的碳原子自内向外的双向扩散。

4.1 渗钒的主要特点

从渗层硬度高、处理效果的重现性好且成本较低考虑, 渗钒应用较渗铌、渗钛与渗钽为广, 其中以硼砂为基的盐浴渗钒渗铬并形成碳化物的方法称为 TD 法(Toyota Diffusion Method, 丰田扩散法)。

硼砂盐浴粘度较大, 有助于缓解活性成分的比重偏析, 但带螺纹、小孔、盲孔的工件清洗周期较长。为此, 可在清洗水中添加能提高热水对硼砂的溶解度的清洗剂。采用粉末装箱法时, 为防止钒或钒铁粉氧化损耗过大, 装箱后先留一处不封固, 在 300±20°C 保温 0.5h, 通过氯化铵分解的气体排出渗箱内部分空气后再封固、升温。

4.2 渗钒层组织、性能和应用

渗钒层由 VC 化合物和其下的贫碳层组成。由于渗钒件大多为冷作模具, 常用钢种为 T8、T10、T12、Cr12、Cr12Mo、Cr12MoV 以及 9SiCr、GCr15; 有时也用 45 钢或 40Cr。如系中碳钢, 最好先渗碳再渗钒,

以免贫碳区宽展。模具要求基体有较高强度, 因此渗钒后应升温(如 Cr12MoV 等)或降温(T10 等)直接淬火。淬火介质或油或水, 视基体钢种而定。就模具而言, 碳化钒层之下应为回火马氏体, 未淬硬区则为索氏体。直接淬火的另一优点是粘附在模具表面的硼砂与渗剂, 可在急冷时爆离。为了回收渗剂, 淬火槽底部应用铁丝网篮承接。

渗钒层的耐磨性远高于渗硼或渗碳淬火层。在 Skoda 机上进行磨损试验, $\phi 50 \times 2.5\text{mm}$ 的 GCr15 标准试样硬度为 64~66HRC。试样尺寸为 12×12×15(mm), 加载 98N, 转速 580r/min, 持续 2h, 结果见表 8-5-6。冷作模具(如 Cr12 落料模、冷镦模、Cr12MoV 的精整冲头、翻边冲头, T8、T10 与 T12 的橡胶成型阳模, GCr15 的挤压凹模等)在渗钒、淬火、回火后比单纯淬火、回火件的使用寿命提高几倍至十几倍。

表 8-5-6 碳化钒层的耐磨性

材料	处理方法	硬度	磨痕平均	磨痕平均
		HV0.025	长度(μm)	深度(μm)
45 钢	渗碳+渗钒	1560~1870	0.40	0.80
T12A	渗钒	2420~3000	0.44	1.00
Cr12	渗钒	2200~3300	0.54	1.40
45 钢	渗硼	1500~1800	0.89	4.00
45 钢	渗碳、淬火、回火	870~900	3.09	47.70
45 钢	氮碳共渗	900~930	3.85	74.10



5 渗硅

5.1 渗硅主要特点

高硅($w_{Si} 14\% \sim 18\%$)铸铁在硫酸、硝酸、醋酸等多种无机与有机酸以及大多数碱与盐类中有良好的耐腐蚀性,但硬而脆、铸造废品率高。在钢件上渗硅,相继开发了粉末法、气体法、真空法和流态床法,但所获渗层疏松多孔、表面粗糙度较高,而且脆性大、不易磨加工,因而只用于诸如洗碗机、涮瓶机辘子和对表面无需磨削的化工零件上。近20年来对航空、航天器件上的钨、钨、铌、钛等为基的难熔合金工件采用了渗硅工艺。

渗硅箱的密封应有两层,内层为耐火泥,外层是熔点低于 800°C 的玻璃。耐火泥在升温时有若干裂隙,氯化铵分解气体可将箱中空气排出大半,延长渗剂的使

用寿命。 800°C 以上玻璃液化封固,可杜绝漏气。

5.2 渗硅层组织、性能和应用

硅在铁素体中的固溶度可达 14% ,渗硅层由 α 固溶体和分布在其上的 η 相(Fe_3Si_2)组成,若硅浓度超过 25% 则还有 $\epsilon(\text{FeSi})$ 相析出。 α 固溶体之下有富碳层,因为碳在高硅 α 相中溶解度极小,故将碳由表层挤向纵深。邻近 α 相处通常出现析层。20钢渗硅层在 H_2SO_4 的质量分数 $30\% \sim 95\%$ 中,具有很高的耐蚀性,其腐蚀速率为 $0.24 \sim 0.62\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,耐蚀性比未经表面处理的20钢大幅度提高。渗硅层不仅在多种酸中耐蚀,在氨水、海水中亦能耐蚀。钨、钨、铌、钛及其合金渗硅后,抗高温氧化性能显著提高。

部分应用实例与强化效果见表8-5-7。

表8-5-7 渗硅的部分应用实例与强化效果

工件名称	原用材料、工艺与应用情况			现用材料、工艺与应用效果		
	材 料	处理方法	应用情况	材 料	处理方法	应用情况
硫酸泵叶轮螺母	1Cr18Ni9Ti	固溶处理	可用5个月	20钢	渗硅	可用8个月
硫酸泵主轴	1Cr18Ni9Ti	固溶处理	可用3个月	20钢	渗硅	可用1年
阀杆(在稀 H_2SO_4 中服役)	1Cr18Ni9Ti	固溶处理	4~5个月报废	20钢	渗硅	2年以上
洗瓶机辘子	低碳钢	镀锌	只能用6~15个月	低碳钢	渗硅	能用2~4年
洗碗机支架	1Cr13	—	可用3年	低碳钢	渗硅	可用3年以上

注:1. Kanter J. J. Metal Handbook, 8ed, Vol 2, P529~530.

2. CMNPHob A. B. Protective Coatings on Metal, Vol 2, P164~168.

6 渗硼

在多种磨损形式中,磨粒磨损是常见的失效形式,在腐蚀失效中硫酸、盐酸等酸性介质造成的失效尤为普遍。渗硼层耐磨粒磨损和抗酸性性能优良,建立渗硼层所需的设备简单、工艺极易掌握,因而应用日广。

无内螺纹、狭缝、盲孔的几何形状不复杂的工件,以及需在渗硼后进行淬火、回火,以提高基体强度或强韧性的工件以采用盐浴法为宜;大多数的渗硼工件以粉末或粒状介质渗硼为主。

对要求局部渗硼的大型工件宜采用膏剂法,即将活性较强的粉末渗硼剂以桃胶或文具胶调匀,涂敷于需渗硼处,涂层厚度一般为 $1 \sim 3\text{mm}$,然后在通氮保护的炉膛中,于 $900 \sim 1000^{\circ}\text{C}$ 加热 $2 \sim 4\text{h}$ 。只要求局部渗硼的小型工件以在不渗硼处涂覆防渗硼剂,然后在粒状或粉末介质中渗硼为宜。

渗硼后,试件的韧性、塑性大幅度降低。以45钢为例,退火态; 900°C 渗硼3h和渗硼后调质的 a_K 值分别为 $103, 25$ 和 $76\text{J}/\text{cm}^2$ 。显然,为了改善结构钢渗硼后的综合力学性能,可作调质处理,但淬火温度应比 FeB 与 Fe_2B 共晶温度(1149°C)低 10°C 以上。

6.1 渗硼层组织与性能

6.1.1 渗硼层组织

硼在 γ 铁和 α 铁中的溶解度低于 0.002% ,易形成 Fe_2B 单相型(含有合金元素则以 $[\text{Fe}, \text{M}]_2\text{B}$ 表示,下同)或 $\text{FeB} + \text{Fe}_2\text{B}$ 双相型硼化物。硼化物沿扩散方向生长,呈楔入基体且垂直于表面的指状。用三钾试剂($\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ 10g; $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$ 1g; KOH 30g,溶于100mL蒸馏水)浸渍 $8 \sim 15\text{min}$,高硼相 FeB 为深褐色组织,含硼较低的 Fe_2B 呈浅棕色。若用硝酸酒精腐蚀



则两者无法区分。旨在提高耐磨性,尤其是承受冲击载荷并以磨粒磨损为主的钻具等件,应该获得 Fe_2B 型单相化合物层。不受冲击并以提高耐蚀性为主的工件允许获得 $FeB+Fe_2B$ 双相化合物层。

合金元素对渗层组织、渗层深度与硬度等有很大影响。能形成硼化物的合金元素有镍、钴、铬、钛、钒、钨、钼、钽等多种,表8-5-8列出部分非铁金属渗硼所形成的组织和硬度。

表8-5-8 几种非铁金属渗硼层组织与硬度

金属名称	镍	钴	钛	铬	钒	钨	钼	钽	
渗硼层形成的化合物	Ni_2B	CoB Co_2B	TiB Ti_2B	CrB	V_2B	Zr_2B	WB	MoB	TaB
平均硬度 HV0.1	1250	1400	1450	1650	1680	1720	2290	2500	2570

除镍、钴外,几乎所有合金元素都减薄渗硼层并提高硬度,同时使硼化物楔入基体的倾向淡化而趋于平整。这种组织形态标志着脆性增大,渗硼层与基体结合强度下降。

6.1.2 渗硼层性能

渗硼已较广泛地用于45钢、40Cr、5CrNiMo、

5CrMnMo、Cr12Mo等钢种;低碳钢、高碳钢、不锈钢、钢结硬质合金、钛合金、铝合金等亦可通过渗硼改善耐磨性和耐蚀性。

45钢渗硼层硬度为1400~1800HV0.1,耐磨性显著高于渗碳、淬火和渗氮层。以20钢于920°C渗碳3h、淬火和低温回火的磨损量为1,则深度为120 μm 的 Fe_2B 层的磨损量约为1/20。

在将浓盐酸稀释成1:10和1:1的水溶液中,于室温持续100h的浸渍试验表明,渗硼层的耐蚀性优于1Cr18Ni9Ti不锈钢。无论是上述介质,抑或100g/L浓度的硫酸、磷酸和氯化钠中,45钢渗硼层的耐蚀性都比Cr13型不锈钢高。

渗硼层在大气中加热到800°C、持续40h增重甚微,其抗氧化性能与铁素体型不锈钢相近。

渗硼层脆性较大,其致脆原因有柱状化合物择优取向的生长结构;疏松多孔结构; $Fe_3(Cr, B)$ 等脆性相存在于硼化物中等。降低脆性的对策有通过多元共渗改善晶界组织结构和细化晶粒;选用中碳多元低合金钢减弱生长结构;适当降低渗硼温度和渗剂中卤化物含量,以提高硼化物致密度等。

6.2 渗硼的应用

渗硼主要用于抗磨粒磨损(如钻探机械、矿山机械的钻具、钎头)模具以及既要求耐磨,又在腐蚀介质中工作的阀门等工件。部分用例列举于表8-5-9。

表8-5-9 部分工件渗硼的强化效果

工件名称	材 料	淬火、回火态寿命	渗硼态寿命	备 注
热锻模	5CrNiMo	5000件	13000件	渗硼层深60~80 μm
冷冲模	T8	3500件	22500件	渗硼层深110~170 μm
吹砂喷嘴	45钢	10d	35d	
热锻用冲头	55Ni2CrMnMo	100h	240h	部分渗硼件寿命可达20d
热挤压模	30Cr3W5V	100h	261h	
连杆热成形模	5CrMnMo	20000件	60000件	
泥浆泵缸套	45钢	渗碳、淬火、回火后 60~120d	180~360d	
轧管芯棒	Cr12Mo	200根(Ni-Cr合金管)	1000根	Monel合金管材成型用

7 表面二元及多元合金化

高、新技术的发展,对金属材料的表面性能提出了

更高的要求。为了获得更好的综合性能,多元表面合金化新工艺的开发与应用日广。表8-5-10列出数种常用二元、多元共渗的特点和应用范围。



表 8-5-10 几种多元共渗的主要特点和应用范围

工艺名称	渗入元素	主要特点	应用范围	备注
氮碳共渗 盐浴法(LT-B、 LTC-2B及 Tenifer) TF1 气体法(Nitemper、 Nitroc等)	N、C、O	基盐 J-2U、J-2A 或 TF1 为工作介质， 用再生盐 Z-1 或 REG-1 调整成分；气体 介质为氨+吸热气氛或氨+放热气氛， 共渗层耐磨、抗疲劳性能优良；有较好的 减摩及耐蚀性	本系列工艺适用于因粘 着磨损、非重载疲劳断裂 和非酸性介质腐蚀而失效 的各种牌号的钢铁零件和 刀具、模具	本系列工艺国 际上均以采用盐 浴法为主。主要 特点是温度场与 成分均匀、强化 效果优良而又稳 定；实现了无污 染作业；节能、节 材；变形小；设备 简单；易于实现 机械化、自动化 作业。组织、性能 及工艺流程等参 见本卷第 7 篇第 6 章
硫氮碳共渗 盐浴法(LT-A、LTC- 2A及 Sursulf等)	S、N、C及 O	基盐 J-1U、J-1A 或 CR4；再生盐 Z-1 或 CR2 与工艺配套 共渗层减摩、抗咬死、耐磨及抗疲劳， 有一定的耐蚀性	典型用例有非重载齿轮 (改用 45 钢、40Cr 即可取 代除薄壁冲压件以外的各 种要求渗碳层深度 ≤ 1mm 的低碳钢渗碳、淬火 与回火处理)、曲轴、缸套、 进气门、排气门、阀门；各 种不锈钢件；高精度冷冲 模、非铁金属挤压、压铸 模；高速钢刀具；碳素工具 钢工具以及部分取代镀铬	
以氮碳共渗或硫氮 碳共渗为基础的盐浴 复合处理(LTC-1A、 LTC-1B、LTC-3A、 LTC-3B、TF1+AB1、 Oxynit、NOPO 和 QPQ)	N、C、O 或 S、 N、C、O	与氮碳共渗有关则基盐为 J-2U、J-2A 或 TF-1，再生盐 Z-1 或 REG-1，与硫氮 碳共渗有关则基盐为 J-1U、J-1A 或 CR4，再生盐 Z-1 或 CR2。LTC-1A、 LTC-1B、NOPO；TF1+AB1、Oxynit 和 QPQ 与氧化有关，即共渗后在 Y-1 或 AB1、SL-1 盐浴中氧化。复合处理层耐 蚀、耐磨、减摩、抗咬死与抗疲劳。LTC- 3A 和 LTC-3B 应先共渗后淬火		
铬铝共渗	Cr、Al	共渗层抗高温氧化、耐蚀	用于燃气轮机叶片及其 他在高温腐蚀性介质中工 作的阀门、气门、模具	耐热钢、镍基 或钴基合金上均 可建立共渗层
硼铝共渗	B、Al	共渗层耐磨性与渗硼层相近，但抗热 疲劳性能提高，脆性降低	适用于热锻模、热挤压 模以及高温下承受磨损 和腐蚀的工件	通过渗剂成分 的调整可分别以 渗硼或渗铝为主
铬铝硅共渗	Cr、Al 与 Si	共渗层具有较渗铝、铬铝共渗为高的 抗高温腐蚀磨损性能	主要用于镍基、钴基或 钼基合金。例如英国用于 直升飞机的铝合金叶片、 燃气轮机叶片；亦可用于 中、高碳钢工件以提高耐 蚀、耐磨性能	
控制成分的反应烧 结涂层(CCRS 涂层)	Co、Cr、Al、 Y 等	将含 Co(或 Ni)、Cr、Y(钇)的料浆涂 敷在耐热钢或以 Co、Ni、Mo 为基的耐热 合金上，然后在粉末介质中渗铝或铝稀 土共渗。多元渗入的 CCRS 涂层具有比 渗铝层高 1~2 个数量级的抗氧化、抗硫 蚀性能	航天、航空发动机喷气 管等高参数器件	除料浆法与粉 末介质法外，可 用 PVD、PCVD 等方法获取多元 涂层

冶金工业出版社重作版权



(续)

工艺名称	渗入元素	主要特点	应用范围	备注
铝与稀土元素共渗	Al, Re (包括 Ce, La, Pr 等)	抗氧化、抗高温熔盐腐蚀及抗疲劳性能比渗铝层成倍提高。以镍基合金为例, 在由 $\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{V}_2\text{O}_5$ 为主的、900~950°C 熔盐中浸渍 100h 的失重由 150 g/m ² 减至 5g/m ² (渗铝) 和 0.6g/m ² (铝稀土共渗)	蒸汽与燃气轮机叶片、发动机喷气管、气阀以及同时要求抗氧化、耐高温腐蚀或反复激冷、剧热的工件	
渗铝层夹嵌陶瓷	Al 渗入的同时有 TiO_2 、 Al_2O_3 等微粒夹嵌	在以铝为基并含有 Fe、Si 的铝合金浴中添加 ≤ 200 目的 Al_2O_3 、 TiO_2 、 MgO 、 ZrO_2 (按需要添加 1~3 种) 微粒, 工件浸铝之后扩散退火, 先涂刷含陶瓷微粒的料浆, 再在粉末介质 (Al 或 Al-Fe + $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{NH}_4\text{Cl}$) 中渗铝亦可形成夹嵌金属氧化物的铝铁金属间化合物层。高温抗氧化与耐蚀性比渗铝或渗铝层高 1~2 个数量级	航天与航空器件, 燃气轮机叶片, 1000~1150°C 加热炉器件	在粉末介质中添加钛粉, 可形成夹嵌陶瓷的铝钛共渗层
钎铬铝共渗	Ta, Cr, Al	先在含 Ta、 NH_4Cl (或 NH_4I) 与 Al_2O_3 的介质中渗钎; 再进行铬铝共渗, 使钎铁金属间化合物层成为铬铝共渗层的屏蔽层	对抗高温氧化与硫蚀等性能要求高的各类飞行器中的零件	先电镀一微薄 (10~30 μm) 层镍或钴, 再进行铬铝共渗亦有相近性能

注: 摘自参考文献[3]313~320及341~360页。

8 气相沉积^{[9][14]}

气相沉积是通过气相中发生的物理、化学过程, 改变表面成分, 在工件表面形成功能性 (例如超硬耐磨层或具有特殊的光学、电学性能) 或装饰性的化合物涂层

的新技术。通常是在工件表面覆盖厚约 0.5~10 μm 的一层过渡族元素 (钛、钒、铬、锆、钨、钼、钽、铌及铪) 的碳、氮、氧与硼化合物。按过程的主要属性可将气相沉积分为化学气相沉积 (CVD) 和物理气相沉积 (PVD) 两大类。沉积层主要类别及特性如表 8-5-11 所示。

表 8-5-11 几类沉积层的品种及其主要特性

类别	品种	主要特性
碳化物	TiC, VC, W ₂ C, WC, MoC, Cr ₇ C ₃ , B ₄ C, TaC, NbC, ZrC, HfC, SiC	高硬度、耐磨; 部分碳化物 (如碳化铬) 耐蚀
氮化物	TiN, VN, BN, ZrN, NbN, HfN, Cr ₂ N, CrN, MoN, (Ti, Al)N	立方氮化硼、TiN、VN 等耐磨性能好; TiN 色泽如金且比镀金层耐磨、装饰性佳
氧化物	Al_2O_3 , TiO_2 , ZrO_2 , CuO, ZnO, SiO ₂	耐磨、特殊光学性能、装饰性
碳氮化合物	Ti(C, N), Zr(C, N)	耐磨、装饰
硼化物	TiB ₂ , VB ₂ , Cr ₂ B, TaB ₂ , ZrB, HfB	耐磨
硅化物	Si ₃ N ₄ , MoSi ₂ , WSi ₂	抗高温氧化、耐蚀
金属及非金属元素	Al, Cr, Ni, Mo, C (包括金刚石及类金刚石)	满足特殊光学、电学性能或赋予高耐磨性



8.1 化学气相沉积

在真空度 $\leq 1\text{Pa}$ 的反应室中,通过气相中进行的热分解、还原或置换反应提供沉积所需的活性成分并与工件表面发生反应而形成沉积层,称为化学气相沉积。形成碳化钛等所有涂覆层的反应均为吸热反应,故必需加热。为了获得一定的沉积速率,沉积温度一般都高于 950°C ,但近10年来有降温至 850°C 左右的趋势。化学气相沉积装置见图8-5-2。

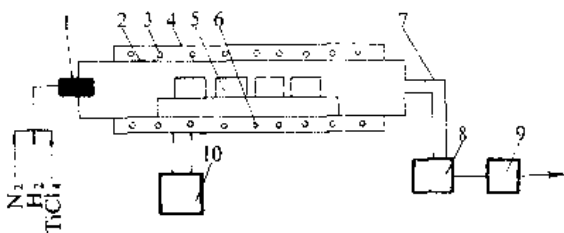


图8-5-2 化学气相沉积装置示意图

- 1—进气系统 2—反应器 3—加热炉丝 4—加热炉体
- 5—工件 6—卡具 7—排气管 8—机械泵
- 9—废气处理系统 10—加热炉电源及测温仪表

由于沉积温度高达 $850\sim 1100^\circ\text{C}$,工件变形较大,高温时的组织变化必然导致基体力学性能降低。为了扩大化学气相沉积的应用范围,关键在于降低沉积温度。

选择合适的反应气体是有效措施之一。例如沉积碳化钨时,采用 $\text{WF}_6\text{-C}_2\text{H}_6\text{-H}_2$ 比用 $\text{WCl}_6\text{-C}_2\text{H}_6\text{-H}_2$ 的沉积温度低;用金属的羰基化合物,例如 $\text{Ni}(\text{CO})_4$ 或

$\text{W}(\text{CO})_6$ 可在 600°C 以下沉积金属钨、金属镍或碳化钨。

等离子体激发化学气相沉积(PECVD)法的激发能量超过相应的热激活能时,在 400°C 、甚至 $200\sim 400^\circ\text{C}$ 的低温下就能发生非平衡成膜反应。用于激发化学气相沉积的等离子体有由射频、直流电压(脉冲电源和微波激发稀薄反应气体产生辉光放电而分别形成的)射频等离子体、直流等离子体、脉冲等离子体和微波等离子体。等离子体可将反应气体的分子激发成活性离子而降低沉积温度,可加速反应物在膜层表面扩散而提高成膜速率,还有助于提高覆层均匀性及其与基体的结合强度。

采用激光进行激发,可使反应气体吸收该气体分子特征波长的光和光子,而受激或发生光照分解,从而降低反应温度。当反应气体受激发的吸收谱与加热源的电磁谱重叠时,还能同时产生激发和加热的双重效果。

通过以上措施降低沉积温度,不仅使基体材料选用范围扩大、工件变形减小,而且简化了后续热处理工艺和大幅度节约电能。

8.2 物理气相沉积

物理气相沉积有真空蒸发、离子镀和离子溅射三类,十几种方法。沉积温度都在 600°C 以下,高速钢、模具钢与不锈钢件沉积后通常都无需再进行热处理,故应用面较化学气相沉积广泛。常用方法的类别与特点见表8-5-12。

表8-5-12 常用PVD方法的类属、原理与主要特点

常用物理气相沉积方法	类别	工作原理及主要特点	沉积层实例及形成机制
活性反应蒸镀法	真空蒸发	在 $1\times 10^{-3}\text{Pa}$ 或更高真空度的反应室中,用电子束加热拟沉积的金属组分。在蒸发源和工件之间设置强度适当的电场,使蒸发材料通过等离子区时加速气相反应,提高金属离子化率	以沉积TiC层为例,用电子枪蒸发金属钛,将钛射入含甲烷或乙炔的等离子区中。同时调节和控制碳氢化合物的分压,即可沉积成分合格的TiC层
多弧放电型离子镀	离子镀	采用多个弧光放电型蒸发源,阴极电弧蒸发源经触发板引燃后,可自动持续产生冷场致弧光放电,通过形成的多个微弧发射高密度电子流,同时蒸发出大量阴极金属蒸汽。电子与金属蒸汽碰撞几率很大,金属离子化率高达 $60\%\sim 90\%$	以沉积氮化钛为例,用钛作数个阴极,以真空室壁为阳极,触发板亦接阳极。引燃弧光后产生的大量钛离子轰击工件并将其加热至沉积温度。到温后通入氮气,氮被电离并与钛离子在工件表面合成TiN涂层。此法设备较简单、涂层均匀、生产率较高



(续)

常用物理气相沉积方法	类别	工作原理及主要特点	沉积层实例及形成机制
磁控高速溅射	溅射	用氩气为工作气体,充 Ar 后反应室压力为 2.6~13Pa,以欲沉积的金属或化合物为靶(例如 Ti 或 TiC),在靶附近设置与靶表面平行的磁场,另在靶和工件之间设置阳极以防工件过热。磁场导致靶附近等离子密度,亦即金属离子化率的提高,从而提高溅射与沉积速率	此法可沉积纯金属、合金或化合物,例如以钛为靶,引入氮气或碳氢化合物气体可分别沉积 TiN 或 TiC;以铝为靶并引入氧气可沉积 Al ₂ O ₃ ;以镍、铬、铝、钇合金为靶则可沉积 Ni-Cr-Al-Y 多元合金涂层

8.3 气相沉积层性能

CVD 和 PVD 法形成的沉积层表面光滑,能保持处理前的光洁度。CVD 层通常在 800~1050°C 建立,覆盖层与基体之间属于冶金结合型、附着牢固;600°C 以下建立的 PVD 层结合强度低一些,但亦可望达到

1500MPa。沉积层是大多具有很高的硬度和耐磨性(见表 8-5-13);较低的摩擦系数。碳化物层在硫酸、盐酸、氯化钠水溶液中的耐蚀性良好,例如 TiC 层在 H₂SO₄70g/L、沸腾的 HCl100g/L 中的耐蚀性优于 1Cr18Ni9Ti 不锈钢。

沉积金刚石膜和类金刚石碳膜并使其在工业上广

表 8-5-13 部分沉积层的硬度、熔点等特性

沉积层的主要相 (化合物或单质)	硬度 HV	密度(g/cm ³)	熔点(°C)	热膨胀系数 (×10 ⁻⁶ /°C)	备注	
TiC	2980~3800	4.9	3180	7.61	碳化物层的硬度与金属元素和碳的比率,基体中合金元素的掺杂等因素有关,可在相当大范围内变化;后几栏的氮化物等亦同	
VC	2300~3500	5.7	2830	6.50		
HfC	2700	12.7	3890	6.73		
ZrC	2600	6.5	3530	6.93		
NbC	2400	7.8	3480	6.84		
WC	2000~2400	15.8	2730	6.20		
Mo ₂ C	1800	9.2	2400	6.00		
TaC	1800	14.5	3780	6.61		
Cr ₇ C ₃	1300~1800	6.7	1890	10.30		
B ₄ C	4000~5000	2.5	2350	4.50		
SiC	3000~3340	3.2	2830	4.40		
TiN	2400	5.4	2930	9.40		
VN	1500 以上	6.1	2050	8.10		
HfN	2000	14.0	2700	6.90		
ZrN	1900	7.3	2980	6.00		
Al ₂ O ₃		4.0	2045		Al ₂ O ₃ 层不仅耐磨、耐蚀,掺杂其他氧化物后色泽有多种①	
金刚石	7000~10000	3.5	3550			
类金刚石碳膜	4000~5000	2.3	3730			

① 含 TiO₂0.5%、Cr₂O₃0.5%呈橙红色;含 Cr₂O₃0.01%~0.5%为桃红色;含 V₂O₅2%~3%呈紫色(含量均指质量分数)。

冶金工业出版社重作版权



泛应用,关键在于提高超硬膜与金属工件的结合强度。

采用PVD、CVD、PCVD(等离子体化学气相沉积)和PECVD等技术获得的碳化物、氮化物、氧化物、金属与合金沉积层,已在工业上应用。部分沉积层的用例列于表8-5-14。

8.4 气相沉积层的应用

表 8-5-14 部分气相沉积层的主要应用领域

沉积层类别	沉积层的品种	主要应用领域
碳化物、氮化物和碳、氮化合物	TiC、VC、WC、Cr ₇ C ₃ 、TiN、CrN、BN(Ti)、(Ti,Al)N、Ti(C,N)	硬质合金及高速钢切削刀具(尤其适用的是非重磨刀具)涂覆后寿命提高数倍。TiC与TiN组合涂层,即Ti(C,N)层兼有硬度很高、化学稳定性好、摩擦系数低的特点,刀具、模具寿命提高尤为显著 TiN仿金镀作装饰性涂层应用很广
氧化物	Al ₂ O ₃ 、Al ₂ O ₃ 掺杂(分别添加Cr ₂ O ₃ 、TiO ₂ 、V ₂ O ₅); ZrO ₂ 、CuO、ZnO	耐擦伤、耐磨的透明层(如汽车窗玻璃),高红硬性、耐磨刀具、彩色装饰性涂层
多元合金	Co-Cr-Al-Y、Ni-Cr-Al-Y等	燃气轮机叶片、耐高温氧化与腐蚀器件
金刚石与类金刚石碳	C的不同晶型	刀具、模具、钻具和饰物;光学与电子学器件
金属层	Al、Cr、Ni等	微电子学、光学与声学元器件,记忆盘及计算机元件

9 其他新工艺

电镀二元或三元合金后,通过热扩散形成减摩与耐磨型镀渗层的几种方法如表8-5-15所示。



9.1 镀渗

表 8-5-15 改善钢铁及非铁合金摩擦学性能的镀渗技术

内 容	镀锡锡热扩散 (Stanal)	镀铜锡热扩散 (Forez)	镀锡镉(或铟)热扩散 (Delsun)	镀铜热扩散 (Zinal)
工件材质	碳素钢、合金结构钢、模具钢、不锈钢、铸铁、粉末冶金件	碳素钢、工具钢、模具钢	铜、青铜与黄铜	铝合金与铝
镀覆材料	以 Sn 为主, w _{Sn} ①7%~10%; 可添加少量 Cd 以提高耐蚀性	以 Cu 为主, 含 Sn	Sn、Cd 或 Sb 一般镀 7~10μm, 铝青铜基体加厚至 10~12μm	In、Cu; 可加少量 Zn 以提高结合力
热扩散工艺	在充氮炉膛中于 580~600°C 保温 10~15h, 高精度工件在精磨前于 600°C 去应力再加工至成品并电镀	在氮气中加热到 550~600°C, 持续 4~6h	无需在保护气氛中加热。于空气炉中热至 410~430°C 保温 8~14h	在一般加热炉中于 150~165°C 保温 4~8h



(续)

内 容	镀锡锡热扩散 (Stanal)	镀铜锡热扩散 (Forez)	镀锡镉(或锡)热扩散 (Delsun)	镀铜热扩散 (Zinal)
镀渗层组织、结构与硬度	表面为1~2μm富锡的减摩层,其下为以FeSn和FeSn ₂ 、Fe ₃ SnC为主,硬度为600~800HV的扩散层。深层深度为10~30μm	表面为1~2μm富锡减摩层,其下是FeSn ₂ 、FeSn、Fe ₃ SnC,硬度约450HV,通常渗层10~20μm,必要时可深达100μm	表面是抗咬死性能良好的Cu-Sn-Cd合金薄层;其下是Cu ₂ Sn、Cu ₄ Sn等化合物,硬度为480~600HV。镀渗层深度约30μm为宜	表面为1μm左右的富铜抗咬死层,其下为In-Cu化合物,硬度约为200~250HV,镀渗层10~50μm
耐腐蚀性	在大气、海水、矿物油中耐腐蚀性良好。对碱性介质、硝酸钾溶液等有一定的耐腐蚀性	在大气、工业大气中有一定的耐腐蚀性	在大气、海水及矿物油中耐蚀	抗蚀能力有所改善
摩擦学性能(在Falex摩擦磨损试验机上进行试验)	销子试样和V型块均为35钢,未经表面处理时,在1500N载荷下瞬时咬死;经过Stanal处理则7h才咬死(试样置于水中) 试样置于油中连续加载,未经表面处理件在2600N时咬死;经Stanal处理直至25000N仍运行正常	转速300r/min试样上涂凡士林,未经表面处理时,6000N咬死;经Forez处理件直到24000N运行正常	销子为铜合金,V形块是渗碳、淬火与回火的15CrNi3A钢 摩擦速度为0.1m/s,经过Delsun处理的QSn12和HPb59-2的摩擦学性能显著提高②	销子是含铜及少量镁、锰的铝合金;V形块为调质的35钢,以0.1m/s速率在水中试验,未经处理件在500N载荷下瞬时烧伤 经过Zinal处理则历时1h才开始擦伤
适用范围	承载不重的轴齿轮;滑动轴承、挺杆、部分蜗杆和蜗轮(某些情况下可用钢或铸铁代青铜)	减速器、轻工机械中的轻载齿轮、轴瓦、水泵零件、蜗轮	青铜与黄铜齿轮、蜗轮、铜质模具	铝合金武器器件、水龙头、活塞、滑轮等

① w_{sb} 为Sb的质量分数。

② 效果显著的实例有三,其一,在1000N载荷下于水中试验时,未经处理的QSn12销于28s明显磨损;经Delsun处理则1h50min才出现磨损。其二,同样条件下,未经处理的HPb59-2销于13s烧伤,经过处理的直到5.5h才因粘着磨损而咬死。其三,在油中连续加载时,QSn12销(未经处理)于5200N磨损;经过处理则直至24000N仍运行正常。

9.2 离子注入

高压电场加速的非金属或金属离子,于室温下强

行注入钢或合金中数百纳米至几微米的表层,达到提高耐磨、耐蚀或抗疲劳性能目的的表面改性方法,称为

离子注入。其主要特点与应用领域如表8.5-16所示。

表8.5-16 离子注入的主要特点、强化机制和应用领域

主要特点	强化机制	应用领域
在 $1.3 \times 10^{-4} \sim 1.3 \times 10^{-3}$ Pa的真空中,于常温将金属或非金属离子注入金属或合金工件中,注入层深度为0.05~5μm即可起显著的强化作用,工件无变形、粗糙度不变 注入元素不受基体固溶能力的限制,固溶度趋于零或为零的元素可强行注入	注入离子使基体表面薄层原子有序度降低,位错密度提高,注入离子对位错起“钉扎”作用使之难以移动,从而导致硬度与耐磨性提高 表层形成压应力,使疲劳强度得以提高 注入离子抑制了表面层的局部微电池作用或注入铬、铝等原子使表面形成钝化膜而提高耐腐蚀性 注入铝、铬、钛、硅和部分稀土元素,皆可形成钝态氧化膜,从而提高抗高温氧化性能	注入任何元素均程度不等地提高耐磨性,例如注入密度为 2×10^{21} 个原子/cm ² 的氮即显著提高耐磨性,可用于刀具、模具、轴承、高精度轻载高速齿轮等件 在纯铁中注入少量Ta,例如0.15~0.6g/m ² ,其耐腐蚀性与铬基合金相当;钢中注入铝不影响导电性能,但耐腐蚀性大为改善,航天、核工业中已应用 不锈钢注入Y等元素后抗高温腐蚀性能提高,在反应堆、飞行器喷气管等零件上均已采用



9.3 激光表面合金化

激光加热金属时,主要是通过聚焦光束的光子和金属工件表层的电子和声子(代表点阵振动能量的量子)的相互作用,吸收激光的能量。由于激光束能量密度高达 $10^5 \sim 10^8 \text{W/cm}^2$,加热速度较快,升温速率为

$10^3 \sim 10^8 \text{C/s}$ 。金属本身导热性优良,故停止加热后表层可急剧冷却,冷速亦在 10^3C/s 左右。因此,可应用激光进行相变硬化、非晶化、上釉、熔覆和表面合金化(化学热处理)。激光表面合金化的主要特点详见表 8-5-17。

表 8-5-17 激光表面合金化的主要特点与效果

工艺类别	目的与措施	功率密度 (W/cm^2)	强化效果与用例
激光表面合金化	通过放置含有拟渗入元素的合金粉末、箔、丝或预先电镀、喷涂、溅射合金层,再在保护气氛下用激光加热	$10^6 \sim 10^7$	在钢、铁或非铁合金基体上建立单元、二元或多元合金化表层,例如渗铬、渗铝、铬铝硅共渗、钴铬铝钼夹嵌 Al_2O_3 、 MgO 、 ZrO_2 陶瓷层,用于气轮机叶片、大马力柴油机缸套等件效果良好
激光熔覆	将碳化物粉末(如 WC、TiC)、立方氮化硼与 Ni、Cr、B 等覆于工件表面,通过激光加热熔化并与基体产生冶金结合	$10^5 \sim 10^7$	在钢或铸铁工件表层建立成分多元化并与基体牢固结合的强化层,如 Ni-Cr-W-B 层等,用于气门、阀门密封面取代堆焊,效果良好

第6章 化学转化膜

金属表面层物质参与化学或电化学反应所形成的附着良好的反应产物膜层,称为化学转化膜。按膜的主要组成物,其类型有:

(1)磷酸盐膜,其成膜过程称为磷酸盐处理或磷化。

(2)铬酸盐膜,其成膜过程称为铬酸盐处理。

(3)氧化物膜,其成膜过程称为氧化,对钢铁又称为发蓝。

(4)阳极化膜,其成膜过程称为阳极氧化。

此外,还有草酸盐膜,氟化物膜等。

化学转化膜广泛用于机械、仪器仪表、电子、家电、建筑、兵器、航空等工业部门,以及日用品的产品上,作为防锈、装饰和其他功能性覆层。

化学转化膜一般工艺简单,操作方便。近 20 年来转化膜工艺及其应用有了很大的发展。

1 钢铁转化膜

1.1 钢铁磷化

1.1.1 磷化膜类型和应用

钢铁磷化膜的类型,常按槽液成分和磷化膜厚度来分类。按槽液成分可分为 Zn 系、Mn 系、Zn-Mn 系、Zn-Ca 系、Zn-Ni 系、Fe 系和 Ca 系等磷化膜。按磷化膜厚度可分为厚膜、中等膜和薄膜磷化膜。

根据基底材料、工件表面状态、磷化液成分和磷化采用的工艺条件,可得到不同类型、不同厚度、不同表面密度、不同结构和不同颜色的磷化膜。

磷化膜的用途主要由磷化膜的类型和厚度所决定。厚磷化膜常作单独防护(浸油、浸油脂或浸腊后)、



电绝缘、减磨、冷成型和染色等覆层。薄磷化膜则主要和效果见表 8-6-1。
用于工序间防护及有机涂料层基底。钢铁磷化的目的

表 8-6-1 钢铁磷化的目的和效果

目的	选用磷化膜	配合处理	效果	示例
油漆底层	薄或中等 Zn 系或 Mn 系膜, 特殊要求用厚膜	涂漆	1. 提高漆膜附着力, 避免制件变形弯折或冲刷时剥落 2. 减少漆膜下的线状腐蚀	壳体、机架、管件、容器及其他难于施行电镀防护的制品
制品防锈	厚的 Zn 系或 Mn 系膜	防锈油脂	1. 抗蚀效果比其他转化膜高 2. 对基体材料无氢脆影响	成批生产的标准件(螺栓、螺帽、垫圈等)
工序间防锈	薄的 Zn 系或 Mn 系膜		使除锈后的钢板可短期储存	造船
减轻磨损	厚的 Mn 系膜	润滑剂	1. 降低摩擦系数 2. 在高载荷下防止摩擦面间互相焊合 3. 较快、较安全地跑合	齿轮、凸轮轴、活塞环、柴油机把杆、花键滚动轴承等
无切削的冷变形加工	中等或厚的 Zn 系膜		1. 降低摩擦系数改善润滑性、延长模具寿命 2. 提高拉速, 增大收缩率	拉拔、挤压等
防止粘附熔融金属	中等厚的 Zn 系膜		局部渗氮时在渗氮面上防止粘锡(不渗氮部位要镀锡保护)	汽缸筒毛坯渗氮表面等
电绝缘	中等厚膜	视要求而定	击穿电压为 27V/ μm ~36V/ μm (烘烤磷化膜)	电机及变压器的心片

1.1.2 磷化施工方法和工艺流程

合法。常用的是浸渍法和喷淋法。两法比较及选择见表 8-6-2。

磷化施工方法有三种, 即浸渍法、喷淋法和浸喷组

一般钢铁磷化的工艺流程见表 8-6-3。

表 8-6-2 浸渍法和喷淋法比较

浸 渍 法	喷 淋 法
可得到厚的, 中等的和薄的磷化膜	只能取得薄的和中等厚的磷化膜
所得磷化膜可适用于多种应用目的	所得磷化膜只能用于油漆底层、工序间防锈和冷变形加工
适于小批生产	适于大量生产
适于任何外形的制件	适于凡喷液能达到其表面的制件, 特别是大表面制件
适用于任何温度下处理的磷化液	适用室温和中温的磷化液

表 8-6-3 磷化处理的工艺流程示例

处理目的	施工方式	膜的类型	工 艺 流 程														
			除油	热水洗	冷水洗	喷砂	浸蚀	冷水洗	中和	冷水洗	表面调整	磷化	冷水洗	封闭	冷水洗	干燥	补充处理
防锈	浸渍法	厚的锌系膜	+	+	+	-	±	±	±	+		+	+	+	+	+	+
						+		+				+	+	+	+	+	
抗磨	浸渍法	薄的、中等厚的锌系膜	+	+	+	-	±	±	±	+		+	+	±	±	+	+
						+						+	+	±	±	+	+



(续)

处理目的	施工方式	膜的类型	工艺流程														
			除油	热水洗	冷水洗	喷砂	浸蚀	冷水洗	中和	冷水洗	表面调整	磷化	冷水洗	封闭	冷水洗	干燥	补充处理
油漆底层或冷变形加工	浸渍法	薄的、中等厚的锌系膜	+	+	+	-	±	±	±	±	+	+	+	+	+	+	+
						+						+	+	±	±	+	+
油漆底层或工序间防锈	喷淋法	薄的磷化膜	+	+	+		±	±	±	±	+	+	±	±	±	±	±
钢板冷变形加工	喷淋法	中等厚的磷化膜	+	+	+							+	+			+	+

注:1. “+”需要,“-”不需要,“±”视情况可要可不要;

2. 表中的封闭处理是在 70~90°C 的重铬酸钾溶液(50~80g/L)中进行;

3. 表中补充处理,视磷化目的而定,可用油漆、釉料、或润滑剂。但涂油或涂漆应在磷化后 24h 内进行;

4. 钢件经喷砂后形成的磷化膜质量最佳,但磷化需在喷砂后 6h 内进行。为了使磷化膜结晶细化致密,在磷化处理前可增加表面调整工序,一般用钛盐溶液。

1.1.3 磷化处理溶液成分和工艺条件

磷化处理按厚度可分为厚膜磷化和薄膜磷化。如按温度可分为高温磷化、中温磷化和低温磷化。这两种划分是相关的,厚膜磷化通常都是在较高温度下(90°C 以上),而薄膜磷化则在低温或室温下(15~45°C)进行。中温磷化介于两者之间,根据不同的用途选择不同的磷化工艺。

1. 高温磷化配方和工艺条件 高温磷化溶液通常由磷酸二氢锰、磷酸二氢锌或磷酸二氢铁的一种或两种、游离磷酸、硝酸盐以及氟酸盐组成(表 8-6-4)。

2. 中温磷化配方和工艺条件 中温磷化在 50~70°C 的温度下进行,处理时间为 10~15min,其优点是

磷化膜耐蚀性接近高温膜,溶液稳定,磷化速度快,生产效率高。缺点是溶液比较复杂(表 8-6-5)。

3. 低温、室温磷化配方和工艺条件 随着高耐蚀、高结合力和高装饰涂装的发展以及节能的需要,高中温磷化逐步被 45~60°C 的中温磷化所替代。而现在已广泛重视开发 15~35°C 的常温快速磷化,节能效果明显,生产效率大为提高。

低温、室温磷化因离子扩散速度慢,化学反应的活化能不足,欲获得优质磷化膜必须加入多种适合于低温磷化的加速剂,例如硝酸盐、亚硝酸盐、氟酸盐、甲酸盐、氟化物、含氮杂环化合物以及镍、铜、钴、银等的金属盐。表 8-6-6 是国内用得较好的低温、常温磷化工艺。

表 8-6-4 高温磷化配方和工艺条件

溶液成分(g/L)	磷酸锰系		磷酸锌系	
	1	2	1	2
磷酸二氢锌 $Zn(H_2PO_4)_2 \cdot 2H_2O$			28~36	
磷酸锰铁盐(马日夫盐)	30~40	30~40		
硝酸锌 $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$		30~50	42~56	
硝酸 $HNO_3(1.40)$				40~50
磷酸 H_3PO_4			9.5~13.5	35~40
氧化锌(ZnO)				25~35
游离酸度(点)①	3.5~5	10~14		
总酸度(点)①	36~50	48~62	60~80	60~80
酸比			5~6:1	5~6:1
温度(°C)	94~98	92~98	92~98	92~98
时间(min)	15~20	10~15	10~15	10~15

① 当用 0.1mol/L NaOH 标准液来滴定 10mL 磷化溶液时,若用酚酞作指示剂,则所需 0.1mol/L NaOH 溶液的毫升数,便是总酸度的点数;若用甲基橙作指示剂,则滴定所需 0.1mol/L NaOH 溶液的毫升数,便是游离酸度的点数。

冶金工业出版社重作版权



表 8-6-5 中温磷化配方和工艺条件

溶液成分(g/L)	1	2	3	4	5	6
磷酸锰铁盐(马日夫盐)	30~40	30~45		30~40	40	
磷酸二氢锌 $Zn(H_2PO_4)_2 \cdot 2H_2O$		30~40	30~40			
磷酸 H_3PO_4						40~45
硝酸锌 $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	70~100	80~100	90~100	80~100	120	
硝酸锰 $Mn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	25~40				50	
硝酸 HNO_3						20~25
亚硝酸钠 $NaNO_2$				1~2		
氧化锌 ZnO						27~30
氟化钠 NaF						1~2
六次甲基四胺 $(CH_2)_6N_4$						4~5
乙二胺四乙酸 $C_{10}H_{16}O_8N_2$				1~2		
游离酸度(点)	5~8	5~7	5~7.5	4~7	3~7	5~7
总酸度(点)	60~100	50~80	60~80	60~80	90~120	70~90
温度($^{\circ}C$)	60~70	50~70	60~70	50~70	55~65	35~50
时间(min)	7~15	10~15	10~15	10~15	20	10~20

表 8-6-6 低温、室温磷化配方和工艺条件

牌号或名称	成分含量	游离酸度(点)	总酸度(点)	磷化方法	温度($^{\circ}C$)	时间(min)
PA277	PA277A 50mL/L	0.7~1.1	18~22	喷淋	35~45	2~3
	PA277C 10mL/L	1.1~1.5	22~28	浸渍		>4
PA377	PA377A 25mL/L	0.5~0.7	13~15	喷淋	40~45	1.5~2.5
	PA377C 0.5mL/L Na_2CO_3 1.5g/L	0.7~1.0	18~20	浸渍		>2.5
PA377-400	PA377-400 2.5%(体积分数)	0.2~1.0	5~8	喷淋	40~50	1.5~3.0
PA577	PA577 2.5%(体积分数)	1~5	8~15	喷淋	5~10	浸 喷 30 8
		1~5	8~15	浸渍	10~20	25 6
					20~30	10~20 4
					>30	5~10 3
PA677	PA677A 100mL/L PA677B 6g/L	0.5~7	18~90	喷淋	-6~5	5~1
				浸渍		12~2.5
锌系	ZnH_2PO_4 50~70g/L $Zn(NO_3)_2$ 80~100g/L $NaNO_2$ 0.2~1g/L	4~6	75~95	浸渍	15~35	20~40

1.1.4 磷化溶液的配制和控制

1. 溶液配制 锌系溶液的配制是按配方计算各组分用量,分别溶解。可先将磷酸二氢锌调成糊状,在不断搅拌下加入40~45 $^{\circ}C$ 的稀磷酸中,然后把硝酸锌溶入,最后加水至计算液面。锰系溶液的配制是先将所需的磷酸锰盐单独溶于60~70 $^{\circ}C$ 的水中(水量约为总体积的1/2),再加热到80 $^{\circ}C$ 保持10min,如尚需添加硝酸锌,则待溶液冷至50~60 $^{\circ}C$ 再投入溶解,加热到90~98 $^{\circ}C$ 保持30min以上,澄清后移入磷化槽,加水

至计算液面。

2. 溶液控制 磷化溶液除正常损耗外,其成分还会因种种原因失调,影响磷化膜质量。生产上最简便的控制方法是测定槽液的总酸度和游离酸度。

总酸度一般控制在范围的上限为好,有利于加速磷化反应,使膜层晶粒细致。但过高时会使膜层过薄,可用水稀释降低总酸度。总酸度过低,膜层粗糙疏松,可加入磷酸二氢锌或硝酸锌来提高总酸度。

游离酸度主要指游离的磷酸,它促使铁的溶解,以形成较多的晶核,使膜层结晶细致。游离酸度过高,与



铁的作用加快,并大量析氢,使界面层磷酸盐不易饱和,导致晶粒粗大疏松多孔,降低抗蚀性能,延长磷化时间。加入氧化锌(锌系),碳酸锰(锰铁系)可降低游离酸度。游离酸度过低,磷化膜薄,加速磷化液中沉渣形成,降低膜层附着力,可加磷酸锰铁盐或磷酸二氢锌或 100g/L 磷酸来提高游离酸度。磷化液温度过低,减慢成膜过程,膜层防蚀性差,但温度过高,Fe²⁺离子易氧化成 Fe³⁺,沉淀物增多并落在膜上,降低防蚀性能。

1.1.5 质量检验

磷化膜应为连续、均匀和致密的晶体结构,呈灰色或灰黑色。允许由于表面喷砂不均匀粗糙度不同,以及零件由于焊接或淬火等原因引起的颜色不一致,但膜层呈褐色是不允许的。

磷化过的制件,表面允许有轻微的挂灰和擦白现象,但在清洗后不允许附有浮渣或会影响漆膜附着力的磷酸盐。

1. 磷化膜单位质量的测定 磷化膜单位质量的测定方法是将 25~400cm² 干燥的磷化膜试样在分析天平上称质量至精度±0.1mg,然后在化学退膜液中退膜,水洗、干燥后再称质量,从二次差值中即可算出磷化膜单位质量,以 g/m² 表示。所用试样的面积可根据磷化膜单位质量选择,膜质量<1g/m²,试样总面积不应<300cm²,膜质量为 1~10g/m²,总面积不应<200cm²。

磷化膜退膜溶液和条件见表 8-6-7。

表 8-6-7 磷化膜退膜溶液和操作条件

膜类	成分及含量		退膜条件	
	材料名称	含量① (%)	温度 (°C)	时间 (min)
Znph 膜	氢氧化钠	100	65~75	15
	EDTA	90		
	三乙醇胺	4		
Feph·Mnph Znph Zncaph 膜	三氧化铬	50	70~80	15

① 指质量分数。

2. 磷化膜耐蚀性的测定

a. 浸渍法 将磷化后的试样浸入 NaCl 30g/L 溶液,在室温下保持 15min,取出后洗净在空气中干燥 30min,如不出现锈点即为合格。

b. 点滴法 吸取少量组成为 0.2mol/L 硫酸铜 40mL,NaCl100g/L20mL,0.1mol/L 盐酸 0.8mL 的溶液,在室温下滴于磷化膜上,出现红锈点时间超过 3min 的即为合格。对于油漆底层的快速磷化、室温磷

化以超过 10s 为合格。

1.2 钢铁氧化

钢铁氧化处理又称发蓝,氧化后零件表面生成一氧化膜薄层,厚度约为 0.5~1.5μm,膜的成分是磁性氧化铁(Fe₃O₄),膜层色泽取决于零件表面状态和材料合金成分以及氧化条件,一般呈蓝色和深黑色,硅含量较高的钢件氧化膜呈灰褐色或黑褐色。

钢铁零件经氧化后,虽然防蚀性稍有提高,但其防护性仍然较差,需浸肥皂水、浸油或重铬酸盐溶液处理后,才能提高其抗蚀性和润滑性。

氧化处理由于不析氢,不产生氢脆,膜薄,对零件尺寸和表面粗糙度没有明显影响,所以它被广泛用于机械零部件,电子设备、精密光学仪器、弹簧和兵器等的防护装饰。

钢铁氧化处理一般可用化学法、电化学法或在高温热空气及在 500°C 以上的过热蒸汽中处理(过热蒸汽氧化),生产上普遍采用碱性化学氧化法。

1.2.1 钢铁氧化工艺流程和规范

钢铁氧化的一般流程如下:

除油—清洗(热水)—清洗(流动水)—浸蚀—清洗(流动水)—氧化—清洗(回收槽中)—清洗—浸渍(30~50g/L 皂液,80~90°C,2min)—清洗(热水)—干燥—检验—上油。

钢铁氧化常用的溶液成分和工艺条件见表 8-6-8。

表 8-6-8 钢铁氧化溶液成分和工艺条件

溶 液	1	2	3	4		
				第一槽	第二槽	
成分 (g/L)	氢氧化钠 (NaOH)	600 ~700	600 ~700	550 ~650	550 ~650	750 ~1000
	亚硝酸钠 (NaNO ₂)	200 ~250	55 ~65	150 ~200	100 ~150	150 ~200
	磷酸三钠 (Na ₃ PO ₄)		20 ~30			
	重铬酸钾 (K ₂ Cr ₂ O ₇)	25 ~35				
温度 (°C)	130 ~137	130 ~137	135 ~145	130 ~135	140 ~150	
时间 (min)	15	60 ~90	60 ~90	10 ~20	40 ~50	

注:4号槽液为双槽氧化,从第一槽氧化取出后不洗,直接进入第二槽氧化,可获得防护性较好的蓝黑色光亮氧化膜。



1.2.2 钢铁氧化溶液配制和控制

在氧化槽内加 2/3 体积的水，将计算量的 NaOH 碎块装入铁篮吊入槽中使之溶解，在搅拌下再加 NaNO₂ 等其他成分，待全部溶解后，加水至规定体积，新配制的氧化溶液要进行“铁屑处理”，使溶液中含有一定量的铁或加入少量旧的溶液，配好后需化学分析，进行试氧化，达到要求后投入生产。

氧化溶液的组分在使用中会发生变化，可定期按化学分析结果调整，也可根据溶液的沸点和所得到的膜层质量来判断溶液需否调整。当溶液沸点过高时表示浓度过高，此时易形成红色挂灰，可加水稀释。沸点过低时为浓度不足，此时膜的颜色不深或不能氧化，需补加药品或蒸去多余的水分。补加药品可参照如下比例：对于单槽氧化，NaOH : NaNO₂ = 2~3 : 1；对于双槽氧化 NaOH 与 NaNO₂ 比值，第一槽 2.5~3.5 : 1，第二槽为 3~4 : 1。

溶液在使用过程中会逐渐积聚红色的含水氧化铁，应经常捞去，保持清洁，必要时可在 100℃ 以下加入 3~7g/L 的甘油，除去上浮液面的泡沫状污物。

氧化膜中夹杂的红色挂灰，多是氧化初期形成的。进行单槽氧化时，最好在制件入槽 10min 后迅速取出，用热水漂洗，观察有无红色挂灰，如有挂灰，可用毛刷擦掉或将制件放入含 Cr₂O₃ 150~200g/L 和 H₂SO₄ 0~15g/L 溶液中浸 1~1.5min，清洗后重新入槽氧化。

氧化温度和时间与钢材碳含量有关，见表 8-6-9。

表 8-6-9 氧化温度和时间
与钢材碳含量的关系

钢材碳的质量分数 (%)	氧化溶液温度 (°C)	氧化时间 (min)
0.7 以上	135~138	15~20
0.4~0.7	138~142	20~40
0.1~0.4	142~145	35~60
合金钢	140~145	50~60
高速钢	135~138	30~40

1.2.3 质量检验

氧化膜应是均匀完整，颜色为蓝黑或黑色。合金钢制件和粗加工件，以及经渗碳和局部淬火的零件允许色泽上有所差异。

氧化膜致密性的测定，用中性硫酸铜溶液 20~30g/L 进行液滴试验，如果膜上的液滴在 20s 内未出现金属铜，即为合格。

不合格的氧化膜经有机溶剂除油或化学除油，清洗干净后，在 HCl 或 H₂SO₄ 150g/L 的溶液中浸数秒至数十秒钟即可去除。

1.3 钢铁草酸盐膜

钢铁在含草酸盐的溶液中，表面可生成难溶的草酸盐膜。在普通钢上，此膜主要用作油漆底层；在不锈钢上及其他含铬、镍的高合金钢上，则主要用作润滑剂载体，以利于冷变形加工（如拉拔、挤压等），它可以提高拉速、降低工具磨损，减少中间退火次数，其工艺规范见表 8-6-10。

表 8-6-10 草酸盐处理溶液成分和工艺条件

溶 液		1	2	3	4
成 分 (g/L)	草酸(H ₂ C ₂ O ₄)	40	20	50	50
	氯化钠(NaCl)		125	25	20
	醋酸锰[Mn(CH ₃ COOH) ₂]	5			
	草酸铵[(NH ₄) ₂ C ₂ O ₄]		5		
	钼酸铵[NH ₄ MoO ₄]			30	30
	磷酸二氢钠(NaH ₂ PO ₄)		10		
	亚硫酸钠(Na ₂ SO ₃)			3	
	氟化钠(NaF)			10	10
	六次甲基四胺-二氧化硫①	6.2			
	硫化硫酸钠(Na ₂ S ₂ O ₃)				3
pH		1.1	1.6 ~1.7		
温度(°C)		66 ~77	45 ~55	60 ~70	45 ~55
时间(min)		1 ~5		5 ~10	4
适用范围		普通 钢	普通 钢	不锈钢和 镀铬钢	

① 六次甲基四胺-二氧化硫系由摩尔比为 1:4 的六次甲基四胺与二氧化硫在定温下经 30h 反应而制得的。

不锈钢上的草酸盐膜的密度和附着力，受前处理的影响很大，在含氢氟酸的酸洗液中处理效果最好，如在 HNO₃ 110g/L + HF 20g/L 或 HNO₃ 200g/L + HF 40g/L 的混合酸中，在 40~45℃ 下处理。酸洗及用冷水冲洗后的表面要保持水膜，否则会使膜与基体的



结合变坏。

2 铝合金转化膜

2.1 铝合金阳极氧化和应用

铝合金阳极氧化膜是在电解液中的铝零件为阳极经电解而形成的。阳极氧化实际上存在着膜的生成与膜的溶解两个同时进行的过程，而且只有在生成速度大于溶解速度时，膜才能逐渐增厚。

铝合金上的阳极氧化膜，由极薄（约 0.01~0.1 μm ）的无孔层又叫阻挡层和一定厚度（几微米至数百微米）的多孔层所组成。多孔层由许多六角形氧化物

基元构成，每一基元中央都有孔隙。在阳极氧化过程中，无孔层不断地转化成多孔层，又同时不断朝金属内部方向重新生成，其厚度几乎前后一致，而多孔层却逐渐增厚。

氧化膜较硬而铝基体较软，故薄膜不耐磨，只有厚达 30 μm 以上，且孔径小的氧化膜才具有抗磨能力，后者称为硬膜阳极氧化。

一般阳极氧化膜的耐热温度为 150~200 $^{\circ}\text{C}$ ，25 μm 以上的厚膜在 120 $^{\circ}\text{C}$ 以内均不致于因与基体的膨胀系数不一而崩裂。

为了不同的应用目的，表 8-6-11 列出阳极氧化膜应用实例。

表 8-6-11 铝合金阳极氧化膜应用实例

膜的类型	应用目的	选用方法	要求厚度 (μm)	配合处理	应用特性	实用举例
普通 阳极 氧化 膜	防护	硫酸法	4~5 (室内) 7.5~17.5 (室外)	封闭处理 或涂有机 涂料	1. 吸附性好，防护性高 2. 可处理所有类型的铝合金 3. 溶液对基体有腐蚀性，不适于点焊、铆挡件	飞机和机动零件
		铬酸法	4~5	封闭处理	1. 膜较薄，但无孔膜较厚，防护性好 2. 溶液腐蚀小 3. 不改变零件尺寸，不降低材料疲劳强度，不能处理铜的质量分数高于 2.5% 的铝合金	精密零件，压气机、风扇叶片等
	装饰	硫酸法	4~5 (室内) 7.5~17.5 (室外)	着色处理 和封闭处 理	1. 容易着成各种颜色 2. 防护性好	汽车装饰件、家电、建筑型材、工艺品日用五金
		瓷质氧化		着色处理	1. 硬度高不易擦伤 2. 膜似陶瓷	工艺品
	电绝缘	硫酸法	视要求定	油封	兼具耐热和防护	电机和变压器的铝导线
		草酸法		油封	击穿电压高，不适宜处理含铜合金	电器仪表
		瓷质氧化	视要求定	油封	击穿电压高	电器仪表
	防接触腐蚀	铬酸法			避免铝与别种金属组合的部件产生电偶腐蚀	铝与各种金属的组合件
	无损探伤	铬酸法			对受力的精加工铝合金零件检查表面裂痕等缺陷	航空发动机叶片
	作底层	磷酸法			氧化膜孔隙较大，吸附性好	铝合金电镀底层



(续)

膜的类型	应用目的	选用方法	要求厚度 (μm)	配合处理	应用特性	实用举例
硬质阳极氧化膜	抗磨损	硬膜阳极氧化法	30~60 或更厚	研磨或特殊填充处理	1. 对 LY12 膜的硬度在 250HV 以上, 对于其他合金 300HV 以上, 耐磨性高 2. 防护性高于普通阳极膜 3. 对基材的疲劳强度稍有降低	飞机液压系统附件, 高速泵, 活塞环, 汽缸叶片
光亮阳极氧化膜	提高光学性能和改善热学性能	硫酸法			1. 避免反射器的反射率降低 2. 降低热辐射的吸收对发射的比率, 控制温升	反射器、人造卫星、飞行器的舱内温度控制
无孔阳极氧化膜	电容器	硼酸或柠檬酸			膜硬、无孔、有整流性质	电容器制造

2.2 铝合金普通阳极氧化溶液配方和工艺条件

酸以及混合酸, 分别称为硫酸阳极氧化法、磷酸阳极氧化法、铬酸阳极氧化法和草酸阳极氧化法等, 见表 8-6-12。

普通阳极氧化溶液多数采用硫酸、磷酸、铬酸和草

表 8-6-12 铝合金普通阳极氧化溶液配方和工艺条件

工艺条件		硫酸法		铬酸法	草酸法	磷酸法	瓷质氧化
		交流	直流	直流	直流	直流	直流
配方 (g/L)	硫酸 H ₂ SO ₄	130~180	160~200				
	铬酸 CrO ₃			30~50			
	草酸 H ₂ C ₂ O ₄ · 2H ₂ O				40~50		15~20
	磷酸 H ₃ PO ₄					280~350	8~10
	草酸氧钛钾 TiO (KC ₂ O ₄) ₂						35~45
	柠檬酸 C ₆ H ₈ O ₇ · H ₂ O						1~1.5
电流密度 (A/dm ²)	1.5~2.0	0.8~2.5	0.5~0.8	1~3	1~2	开始 2~3 终于 1~1.5	
电压 (V)	18~28	14~24	0~40	0~110	30~60	0~120	
温度 (°C)	13~26	15~25	40±2	15~21	20~25	24~28	
时间 (min)	40~60	20~45	60	90~150	10~20	20~60	
工艺特点	1. 膜厚 5~30μm, 无色多孔, 对于防护目的需进行封闭。对于装饰目的, 可进行染色 2. 交流电法不适于含铜的铝合金 3. 工作温度提高, 孔隙率高, 利于着色, 但不能超过 25°C, 否则膜轮擦起粉			1. 膜厚 2~15μm, 弹性好, 致密光滑 2. 注意 Cr ⁴⁺ 和 Cr ³⁺ 的平衡	氧化控制 0~40V, 5min; 40~70V, 5min; 70~90V, 5min; 90~110V, 15min; 110V, 9min	溶液要冷却搅拌温度 >40°C 结合力下降 氧化膜较薄, 电镀溶液不能采用强酸和强碱电镀液	膜硬度高, 电绝缘, 热绝缘性好, 可染色



2.3 铝合金硬膜阳极氧化溶液配方和工艺条件

硬膜阳极氧化溶液很多,如硫酸、草酸、丙二酸、

磺基水杨酸以及有机酸和无机酸组成的混合酸。通常硬膜阳极氧化都在较低的温度下进行,或采用特殊电源,如交直流叠加电源、脉冲电源,目的是减少溶液对膜的溶解,以获得厚的致密的氧化膜(表8-6-13)。

表 8-6-13 铝合金硬膜阳极氧化配方和工艺条件

溶液组成和含量 (g/L)		工艺条件			适用材料
		温度 (°C)	电流密度 (A/dm ²)	电压 (V)	
硫酸 H ₂ SO ₄	200~300	-5~10	0.5~5	40~90	时间 120~150min (取决于膜厚) 适用变形铝合金
草酸 H ₂ C ₂ O ₄ · 2H ₂ O	30~50	5~30	2~4		多种铝合金及铸铝硬度可达 500HV
AHS-88	20~25				
硫酸 H ₂ SO ₄	120	9~11	10~20	10~75	多种铝合金
草酸 H ₂ C ₂ O ₄	10				
硫酸 H ₂ SO ₄	200	16~18	3~4	22~24	LC4 等合金
甘油 C ₃ H ₈ O ₃	12 (mL/L)				
苹果酸 C ₄ H ₆ O ₅	17				
磺基水杨酸 C ₆ H ₆ O ₆ S · 2H ₂ O	90~150	15~20	5~6		LY12; LD5; ZL11; ZL15
苹果酸 C ₄ H ₆ O ₅	30~50	(变形铝)	(变形铝)		
硫酸 H ₂ SO ₄	5~12	15~30	5~10		
硅酸钠 NaSiO ₃	少许	(铸铝)	(铸铝)		

经硬膜氧化后,铝合金零件比原始尺寸增约膜厚的 1/2。因此,对尺寸要求高的零件应预留加工量。零件不允许有锐角、毛刺等,零件上所有棱角应倒圆,半径不应 < 0.5mm,以免产生缺陷。

2.4 其他阳极氧化工艺和应用

铝合金阳极氧化技术近 20 年来在装饰、防蚀和功能性方面的应用有了很大的发展。在工艺方面,为了得

到某些特殊性能的氧化膜或提高氧化效率或提高氧化温度,采用了许多新的电解液和添加剂;在电源方面采用了脉冲直流电源,换向脉冲电源等。在应用上有建筑铝型材电解着色膜,铸件及压铸件的装饰膜,铝容器氧化膜,印刷和标牌氧化膜,太阳能吸热膜、电子导电氧化膜,电致发光氧化膜,光致发光氧化膜,显色氧化膜,高化学稳定性氧化膜以及自润滑性氧化膜等。表 8-6-14 是一种常用快速和宽温阳极氧化工艺规范。

表 8-6-14 铝合金快速和宽温范围阳极氧化工艺规范

类型	溶液成分及含量 (g/L)	工艺条件				应用特性
		温度 (°C)	电流密度 (A/dm ²)	电压 (V)	时间 (min)	
快速氧化	硫酸 H ₂ SO ₄ 200~220	22~24	1~2	13~14	视膜厚定	采用空气搅拌
	硫酸镍 NiSO ₄ · 7H ₂ O 6~10					
宽温氧化	硫酸 H ₂ SO ₄ 140~160	10~50	1~2		30~40	可在无冷冻条件下生产
	酒石酸 (C ₄ H ₆ O ₆) 20~60					

2.5 阳极氧化膜的封闭处理

为了提高氧化膜的耐蚀性、抗污染、电绝缘和耐磨性,铝合金在阳极氧化和着色后都要进行封闭处理。大

多数封闭处理是在热水,蒸汽以及含无机盐和有机化合物的溶液中进行,如重铬酸盐(钠、钾),醋酸盐(Ni、CO),硫酸盐(Ni、CO)以及三乙醇胺、硼酸等。温度 > 90°C,时间为 2~3min/μm,封闭溶液均需用蒸

此是公刊制作请尊重作者版权



馏水或去离子水配制,以保证封闭质量。

以上封闭方法主要缺点是能耗大,封闭时间长,氧化膜(尤其是着色膜)容易起霜。自80年代以来发展了低温封闭工艺,国内也进行了开发,如国内开发的LSF-86低温封闭剂,其工艺条件是LSF-86封闭剂5g/L,温度20~40°C, pH5~6.5,时间5~15min,封闭质量完全达到国际标准ISO 3210的技术要求,已在生产上广泛应用,反映较好。

此外,在航空航天工业中,也有采用挥发性有机化合物封闭工艺,如聚氨基甲酸乙酯树脂。这种封闭具有良好的耐蚀性,它可以代替铬酸盐处理和油漆底

漆。

2.6 阳极氧化膜的着色

铝合金阳极氧化膜着色主要有化学染色法和电解着色法。化学染色是有机染料或无机盐化合物吸附在氧化膜的孔隙内而染色。优点是色相范围广,工艺简便,但耐光性和耐擦性差。

电解着色法是通过电解使金属盐颗粒沉积在氧化膜孔隙底部而着色。电解着色的耐光性和耐擦性好。但色相范围较窄。表8.6-15和表8.6-16是常用的化学染色和电解着色工艺规范。

表 8.6-15 化学染色工艺规范

色别	序号	染料名称	浓度 (g/L)	温度 (°C)	时间 (min)	pH
黑色	1	酸性毛元 (ATT) 乙酸	10~12 0.8~1.2 (mL/L)	室温	10~15	4.5~5.5
	2	苯胺黑	5~10	60~70	15~30	5~5.5
红色	1	酸性大红 (GR) 乙酸	5 1 (mL/L)	室温	2~10	4.5~5.5
	2	活性橙红	2~5	70~80	2~15	
蓝色		DB 湖蓝	3~5	室温	1~3	5~5.5
		酸性蓝 乙酸	2~5 0.5 (mL/L)	60~70	2~15	4.5~5.5
		活性橙蓝	5	室温	1~5	4.5~5.5
金黄色	1	茜素黄 R 或 GG 茜素红 S 乙酸	0.3 0.5 1 (mL/L)	70~80	1~3	4.5~5.5
	2	活性艳橙	0.5	70~80	5~15	
绿色		酸性绿 乙酸	5 1 (mL/L)	70~80	15~20	5~5.5
		酸性墨绿 乙酸	2~5 1 (mL)	70~80	5~15	

表 8.6-16 交流电解着色工艺规范

序号	成分 (g/L)	电压 (V)	电流密度 (A/dm ²)	pH	时间 (min)	温度 (°C)	颜色
1	硫酸镍 25 硫酸镁 20 硫酸铵 15 硼酸 25	10~17	0.2~0.4	4.5	2~15	20	青铜~黑色
2	硫酸铜 35 硫酸镁 20 硫酸 5	10V	0.2~0.8	1.0~1.3	5~20	20	赤紫色



(续)

序号	成分 (g/L)	电压 (V)	电流密度 (A/dm ²)	pH	时间 (min)	温度 (°C)	颜色
3	硫酸亚铝 4 硫酸铵 10 柠檬酸 12 添加剂 若干	13~20	0.2~0.8	1.3	5~8	20	青铜色
4	硫酸亚锡 20 硫酸 10(mL/L) 酚磺酸 10(mL/L)	15~20	0.2~0.8	1.2	5~15	10~15	青铜色
5	硫酸钴 25 硫酸铵 15 硼酸 25	17	0.2~0.8	4~4.5		20	黑色
6	硝酸银 0.5 硫酸 5	10		1	3	20	金黄色
7	硫酸镍 30 硫酸亚锡 6 磺基水杨酸 10 硼酸 20	8~15		1.5	3~15	20	青铜~黑色
8	盐酸金 1.5 甘氨酸 15	10~12	0.5	4.5	1~5	20	粉红~淡紫色

2.7 质量检验和不合格膜的退除

铝合金阳极氧化膜的质量检验包括外观、防护性、封孔度、厚度、硬度、耐磨性、绝缘性等。检验方法和标准应根据项目内容按有关的国家标准或国际标准进行。

对不合格氧化膜和夹具,可在NaOH10~40g/L溶液中,于60~90°C下或H₃PO₄30~40g/L、CrO₃15~25g/L溶液中于90~100°C下退除。

3 其他金属转化膜

3.1 铝合金化学氧化

铝合金经化学氧化可得到薄的多孔氧化膜,这种氧化膜有良好的吸附能力,经封闭处理或涂漆后,具有良好的防护性。有的化学氧化膜还具有十分高的导电性能。

化学氧化所需的设备简单,操作方便,生产效率高,成本低,适用范围广,不受零件大小和形状的限制,特别适于处理大型零件或组合件,以及很难用阳极氧化方法得到完整膜层的复杂零件(如细长管子、点焊件、铆接件等)。化学氧化已广泛用于航空、电气、电子工业以及各种机械制造和轻工业部门。近年来建筑材料行业的门窗、框架和板条等,已采用铝合金化学和粉末喷涂工艺。

化学氧化工艺按其采用的溶液性质,可分为酸性和碱性氧化两大类型,按其氧化膜组成则可分为氧化物膜、磷酸盐膜、铬酸盐膜以及磷酸-铬酸盐膜等。

化学氧化工艺流程为:

铝件→机械抛光→化学除油→腐蚀→清洗→中和→清洗→化学氧化→清洗
 ↗热水烫(50°C)→空气吹干→烘烤(70°C)→成品检验
 ↘空气吹干→上有机保护层→烘烤→成品检验

化学氧化工艺规范见表8-6-17。



表 8-6-17 铝合金化学氧化工艺规范

类别	序号	溶液成分	含量 (g/L)	温度 (°C)	时间 (min)	应用特征
酸性	1	磷酸 H_3PO_4 铬酐 CrO_3 氟化氢铵 NH_4HF_2 磷酸氢二铵 $(NH_4)_2HPO_4$ 硼酸 H_3BO_3	50~60 (mL/L) 20~25 3~3.5 2~2.5 0.6~1.2	30~40	2~8	膜层无色到浅蓝色、致密,厚约 0.5~3 μm ,硬度较高,抗蚀性好,氧化后无尺寸变化。在 $K_2Cr_2O_7$ 40~45g/L 溶液中, 90~98°C 下封闭 10min, 可进一步提高其抗蚀性
	2	磷酸 H_3PO_4 铬酐 CrO_3 氟化钠 NaF	10~50 1~6 3~5	20~40	3~15	膜薄韧性好,抗蚀能力好,适用于氧化后需变形的铝合金,也可用于铸铝的防护
	3	铬酐 CrO_3 (工业级) 固体粉末 有机添加剂 pH (用 HNO_3 调至 1.4~1.8)	4~5 4~8 1~3	15~35	2.5~3	商名牌号为 CJ-23, 可喷涂或刷涂,膜层外观为稻黄色,耐盐雾可达美国 Mil 标准 168b
碱性	4	无水碳酸钠 Na_2CO_3 铬酸钠 Na_2CrO_4 氢氧化钠 NaOH	50~60 15~20 2~3	80~100	5~10	膜软,厚约 0.5~4 μm ,多孔,可作油漆底层,适于纯铝,铝硅合金。氧化后可着色,可在 CrO_3 20g/L 溶液中,室温下钝化 5~10s, 再在 50°C 烘干
	5	无水碳酸钠 Na_2CO_3 铬酸钠 Na_2CrO_4 磷酸三钠 Na_3PO_4	60 20 2	100	8~10	

3.2 镁合金化学氧化

镁合金具有密度小,比强度大的特点,它是重要的航空及宇航结构材料之一。然而,镁合金的化学活性高,在空气中自然形成的碱式碳酸盐膜防护性很差,必须采取可靠的表面防护措施提高其防护性。主要的防护方法是经氧化后涂漆。获得转化膜的方法有化学法和电化学法。

镁合金化学氧化工艺流程如下:

除油(有机溶剂)→干燥→装挂→除油(化学)→清洗(热水)→清洗→酸洗→清洗(冷水)→化学氧化

→清洗→封闭处理→清洗(热水)→干燥→拆卸。

大多数化学氧化是在重铬酸盐、铬酸盐、硫酸盐和氯化物的混合溶液中进行。化学氧化的膜层较薄且软,电化学氧化的膜层较厚且多孔。表 8-6-18 是镁合金电化学氧化工艺规范。

为了提高氧化膜的抗蚀能力,经氧化后的工件可在 40~45g/L 的重铬酸钾溶液中,于 90~98°C 下进行封闭处理,时间 15~25min。

经氧化后的膜层应均匀连续,不允许有露出基体的亮点、疏松氧化膜和严重划伤。其防护性,可用酚酞酒精 10g/L 和 NaCl 10g/L 混合溶液进行点滴试验检验。

表 8-6-18 镁合金电化学氧化工艺规范

溶液组成	酸性液 (g/L)				碱性液 (g/L)
	1	2	3	4	
氟化氢铵 NH_4HF_2	300	240	270	200	
重铬酸钠 $Na_2Cr_2O_7 \cdot 2H_2O$	100	100	80	80	
磷酸 H_3PO_4 (1.69)	86	86			
磷酸二氢铵 $NH_4H_2PO_4$			100	100	



(续)

溶液组成	酸性液 (g/L)				碱性液 (g/L)
	1	2	3	4	
锰酸钾 (按 MnO_4^- 计算)	○				50~70
氢氧化钾 KOH					160~180
氟化钾 KF					120
氢氧化铝 $Al(OH)_3$					45~50
磷酸三钠 $Na_3PO_4 \cdot 12H_2O$					40~60
温度 (°C)	70~80				<30
电流密度 (A/dm ²)	0.5~5 (AC 或 DC)				2~4 (A.C)
最终电压 (V)	50~60 (软膜) 或 60~95 (硬膜)				55~67 (A.C)
时间	到终电压止				到终电压止

3.3 铜合金化学氧化

铜合金可在碱性溶液中化学氧化,使零件表面生成一层黑色,蓝黑色等颜色的氧化膜。这种膜厚约 0.5~2 μ m,在温度不高的大气中具有良好的稳定性。如氧化后进行涂油或涂透明漆,能提高其防护能力。表 8.6-19 为铜合金化学氧化工艺规范。

表 8-6-19 铜合金化学氧化工艺规范

溶液		过硫酸盐法	铜氨盐法
成分 (g/L)	过硫酸钾 ($K_2S_2O_8$)	10~20	
	氢氧化钠 NaOH	45~50	
	碱式碳酸铜 [$CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$]	40~50	
	氨水 [$NH_3 \cdot H_2O$] (25%)	200ml/L	
温度 (°C)		60~65	15~40
时间 (min)		5~10	5~15

4 金属及金属镀层钝化膜

4.1 铜及铜合金钝化膜

铜及铜合金零件在较好环境条件下使用时,可通过钝化处理来提高其抗蚀能力,钝化处理形成的钝化膜可防止表面因硫化物作用而变暗,钝化膜的颜色随材料和工艺不同而不同,具体工艺见表 8.6-20。

表 8-6-20 铜及铜合金钝化工艺规范

溶液		1	2	3	4
成分 (g/L)	重铬酸钠 $Na_2Cr_2O_7$	100~150			
	重铬酸钾 $K_2Cr_2O_7$			150	
	铬酐 CrO_3		80~90		
	硫酸 H_2SO_4	5~10	25~30	18	
	氯化钠 NaCl	4~7	1~2		
	苯骈三氮唑 $C_6H_5N_3$ ①				0.05~0.15
温度 (°C)		室温	室温	室温	50~60
时间 (min)		3~8	15~30	2~3	2~3

① 钝化前可在下述组成的溶液中漂洗:草酸 3%~4% (质量分数), NaOH 1.5%~2.0% (质量分数), 苯骈三氮唑 0.025%~0.05% (质量分数), 过氧化氢 6%~10% (质量分数), pH3~4, 温度 30~40°C 时间 1~3min。

4.2 不锈钢钝化膜

不锈钢钝化是在不锈钢酸洗后,为提高其耐蚀性进行的一种化学转化处理工艺。其工艺过程是将不锈钢浸入下述溶液处理。硝酸 300~500g/L, 或硝酸 300~500g/L, 重铬酸钠 20~30g/L, 于室温下, 浸 30~60min。

4.3 锌、镉合金钝化膜

锌、镉及其电镀,热浸镀层和锌基合金压铸件等为了提高耐蚀性,增加装饰性,改进底金属和涂料的结合力,可进行铬酸盐钝化处理,使其表面生成一层稳定性高,组织致密的钝化膜。



根据不同的配方和工艺条件,钝化处理可分为彩色钝化、黑色钝化、白色钝化和高耐蚀钝化。前者钝化处理具有一定的防护和装饰性能,但是经这些工艺处理的零件在高压电器、户外、海洋气候等条件下,耐腐蚀性能仍然不能达到要求。近几年来,成功地研制了一系列的高耐蚀钝化溶液和工艺,其盐雾试验可达到1200~1600h(红锈终点),日前已在许多工厂使用,效果好。表8-6-21为锌、镉铬酸盐钝化工艺规范。

尽管含铬酸盐的钝化工艺具有操作简单,质量可

靠,钝化膜性能可满足多种要求等优点,并一直受到人们的重视而沿用至今,但其致命缺点是六价铬污染环境,有损健康。为了解决公害问题,长期以来国内外除研制出了低铬酸盐钝化工艺外,还开展了无铬酸盐钝化工艺的研究,如硅酸盐钝化工艺、钛铝钼盐钝化工艺、丹宁酸钝化工艺以及其他可能代替的化合物如钨盐、巯基醋酸盐、高锰酸盐、稀土金属盐、烷氧化物等。虽然离真正的工业应用还有一段距离,它已成为表面处理工作者努力探索的方向。

表 8-6-21 锌、镉铬酸盐钝化工艺规范

溶液		高铬彩钝		低铬彩钝		黑色钝化	高耐蚀钝化
成分 (g/L)	铬酸 CrO_3	150~180		5	1.2~1.7		
	硝酸 HNO_3	10~15		5	0.5~0.7		
	硫酸 H_2SO_4	5~10	8~10	1			
	重铬酸钠 $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$		170~200				
	醋酸 CH_3COOH (36%) ①			20 (mL/L)	11~14 (mL/L)		
	氯化钠 NaCl				0.3~0.4		
	硫酸钾 K_2SO_4				0.4~0.5		
	锌粉				0.1~0.2		
	ZB-82A					80~120	
	ZB-82B					8~12	
ZG-87A						80~100 (mL/L)	
ZG-87B						20~30mL/ (L·5dm ²)	
pH			0.8~1.3	1.6~2.0	1.2	0.8~1.2	
温度 (°C)	室温	室温	室温	10~40	20~30	15~35	
时间: 溶液中	10~15s	5~10s	3~7s	30~60s	1~2min	60~120s	
空气中	5~10s				<0.3min	10s	

注:高耐蚀钝化工艺,在钝化后需浸入以下组成的后处理液中,0.5g/L 铬酐、0.5g/L 络合剂或 9.5g/L 硼酸,7.5g/L 硼砂,0.5g/L 络合剂,于室温下,浸 3~5s,以进一步提高其耐蚀性。

① 为醋酸的质量分数。

第7章 涂料涂装^{[12][13]}

机电产品涂料涂装是以适当的工艺手段在产品的被涂表面上,使涂料形成结合良好、连续的保护涂层的工艺过程,是材料保护领域中应用最广泛、最重要的工艺手段之一。

涂料涂装赋予产品以下主要功能:

(1) 装饰性。涂层以其光泽、色彩、丰满度、鲜映性、散射性(金属闪光)等光学效果;以桔纹、皱纹、

锤纹、斑纹、裂纹等美术效果,适应产品各种外观装饰需要,增强产品的市场竞争能力。

(2) 防护性。涂层可以阻碍水、氧、电解质等腐蚀因子的渗透,保护基体不被腐蚀。一般涂层在大气中具有数年的防护寿命。采用长效重防蚀涂装体系如:富锌涂料、玻璃鳞片涂料、乃至与喷 Al、Zn 等金属复合涂装,防护寿命可达 20 年以上。



(3)功能性。各种具有特种功能的涂料可满足产品对机、电、光、声、热的特殊要求，诸如：阻尼、抗振、导电、红外吸收及辐射、电磁波吸收、润滑耐磨、吸音降噪、示温、阻燃、烧蚀及防生物附着等。

1 涂料

涂料是一种有机高分子树脂为主要成膜物质的液态或固态的材料(含或不含颜料)，它涂布在物体表面上，能干燥固化成膜，形成均匀覆盖并与基体良好结合的涂层。由于早期人们是以植物油为基本原料制漆，故俗称油漆。近代高分子合成技术的发展，合成树脂已逐渐取代植物油，成为涂料产品的主流。

1.1 涂料组成

1. 主要成膜物质 各种天然高分子材料(如植物油、虫胶、沥青等)和合成高分子树脂(如酚醛、醇酸、氨基、丙烯酸、环氧、聚氨酯、有机硅等)，它属于涂料中的不挥发分，可以单独成膜(清漆)，也可以粘合颜料成膜(色漆)，是涂料成膜的基础，亦常称为基料。

2. 颜料 也称为次要成膜物质，有着色颜料，体质颜料和防锈颜料之分。它与主要成膜物质的不同配方设计，形成千变万化的涂料品种，从材料保护角度看，颜料起着重要的防锈作用。

a. 物理防锈颜料 如红土、铁红、铁黄、铅粉、云母氧化铁和玻璃鳞片等，这些颜料本身化学性质均较为稳定，借助细微的颗粒充填涂层结构，从而提高了涂

层的致密性，其中呈片状结构的颜料如云母氧化铁、玻璃鳞片等，在涂层中呈层状交错相叠，使腐蚀因子(氧、水、电解质)渗透涂层至基体路程增加，提高了涂层的屏蔽隔绝作用，从而提高了耐腐蚀性。片状铝粉还有较强的反射紫外线的能力，可提高涂层的抗老化性能。

b. 化学防锈颜料 如红丹、锌粉、铬酸盐、磷酸盐和偏硼酸钡等。传统的红丹即正铅酸铅(Pb_2PbO_4)在阳极和阴极区都有防锈作用，但由于铅毒性大，逐步被其他防锈颜料所代替；锌粉颜料，由于其电位比铁负，作为牺牲阳极，而保护钢铁基体不被腐蚀，富锌涂料就是具有电化学防护的防腐蚀涂料；磷酸盐、铬酸盐颜料对钢铁表面及成膜树脂有络合、钝化作用，而延缓金属腐蚀。

3. 稀释剂 各种有机溶剂或水可用作稀释剂，以有机溶剂为稀释剂的称溶剂型涂料，无稀释剂的称无溶剂涂料，以水为稀释剂(或分散剂)的称水性涂料。正确使用稀释剂调正粘度及挥发速度，可以提高涂层的光泽和致密性等。

4. 助剂 如防沉、防结皮、流平、防泛白和抗紫外线辐射等助剂。涂料中的少量助剂可以明显提高涂料的施工、储藏性能，以及涂层的某些特性。

1.2 涂料分类及命名

1.2.1 分类

涂料产品按主要成膜树脂分成 17 大类(GB2705—81)，如表 8-7-1 所示。

表 8-7-1 成膜物质分类及代号

序号	成膜物质类别	代号	主要成膜物质
1	油脂	Y	天然植物油、动物油(脂)、合成油等
2	天然树脂①	T	松香及其衍生物、虫胶、乳酪素、动物胶、大漆及其衍生物等
3	酚醛树脂	F	酚醛树脂、改性酚醛树脂等
4	沥青	L	天然沥青、(煤)焦油沥青、石油沥青等
5	醇酸树脂	C	甘油醇酸树脂、季戊四醇醇酸树脂、其他醇类的醇酸树脂、改性醇酸树脂等
6	氨基树脂	A	三聚氰胺甲醛树脂、脲(甲)醛树脂等
7	硝酸纤维素(酯)	Q	硝酸纤维素(酯)等
8	纤维素酯、纤维素醚	M	乙酸纤维素(酯)、乙酸丁酸纤维素(酯) 乙基纤维素、苄基纤维素等
9	过氯乙烯树脂	G	过氯乙烯树脂等
10	烯类树脂	X	聚二乙烯乙炔树脂、聚多烯树脂、氯乙烯共聚树脂、聚乙酸乙烯及其共聚物、聚乙烯醇缩醛树脂、聚苯乙烯树脂、含氟树脂、氯化聚丙烯树脂、石油树脂等
11	丙烯酸树脂	B	热塑性丙烯酸树脂、热固性丙烯酸树脂等



(续)

序号	成膜物质类别	代号	主要成膜物质
12	聚酯树脂	Z	饱和聚酯树脂、不饱和聚酯树脂等
13	环氧树脂	H	环氧树脂、环氧酯、改性环氧树脂等
14	聚氨酯树脂	S	聚氨酯(甲)酸酯树脂等
15	元素有机聚合物	W	有机硅树脂、有机钛树脂、有机铝树脂等
16	橡胶	J	氯化橡胶、环化橡胶、氯丁橡胶、氯化氯丁橡胶、丁苯橡胶、氯磺化聚乙烯橡胶等
17	其他	E	以上16类包括不了的成膜物质如：无机高分子材料、聚酰亚胺树脂、二甲苯树脂等

① 包括直接来自天然资源的物质及其经过加工处理后的物质。

1.2.2 命名

(续)

1. 命名原则 涂料全名=颜色或颜料+成膜物质名称+基本名称

如白醇酸磁漆、铁红环氧酯底漆。无颜料则称为清漆，如硝基清漆。

2. 型号 涂料型号用于区别具体涂料品种，位于涂料名称之前，由一个汉语拼音字母和几个阿拉伯数字组成。字母表示涂料类别代号(表8·7-1)，位于型号最前部；第一、二位数字表示涂料基本名称代号(表8·7-2)；第三、四位数字表示涂料序号，用于区别同类、同名称漆的不同品种；在第二位数字与第三位数字之间一字线(读成“至”)，把基本名称代号与序号分开。如H06-2铁红环氧酯底漆。

表8·7-2 涂料基本名称代号

代号	基本名称	代号	基本名称
00	清油	17	皱纹漆
01	清漆	18	裂纹漆
02	厚漆	19	品纹漆
03	调合漆	20	铅笔漆
04	磁漆	22	木器漆
05	粉末涂料	23	罐头漆
06	底漆	30	(浸渍)绝缘漆
07	腻子	31	(覆盖)绝缘漆
09	大漆	32	(绝缘)磁漆
11	电泳漆	33	(粘合)绝缘漆
12	乳胶漆	34	漆包线漆
13	其它水溶性漆	35	硅钢片漆
14	透明漆	36	电容器漆
15	斑纹漆	37	电阻漆、电位器漆
16	锤纹漆	38	半导体漆

代号	基本名称	代号	基本名称
40	防污漆、防蛆漆	63	涂布漆
41	水线漆	64	可剥漆
42	甲板漆、甲板防滑漆	66	感光涂料
43	船壳漆	67	隔热涂料
44	船底漆	80	地板漆
50	耐酸漆	81	鱼网漆
51	耐碱漆	82	锅炉漆
52	防腐漆	83	细齿漆
53	防锈漆	84	黑漆板
54	耐油漆	85	调色漆
55	耐水漆	86	标志漆、马路划线漆
60	防火漆	98	胶液
61	耐热漆	99	其他
62	示温漆		

3. 涂料用辅助材料型号 由一个汉语拼音字母和1~2位阿拉数字组成(表8·7-3)，字母与数字间用一字线分开(读成“至”)。如：X-5丙烯酸漆稀释剂。

表8·7-3 辅助材料代号

代号	辅助材料名称
X	稀释剂
F	防潮剂
G	催干剂
T	脱漆剂
H	固化剂

1.3 溶剂型涂料

溶剂型涂料是以各种天然或合成的树脂为主要成膜物质，加上各种颜填料和稀释剂研磨分散而成，是目



前机械产品涂装应用最为普遍的涂料品种。按其成膜方式主要可分为：

(1) 溶剂挥发型涂料，如沥青、硝基、过氯乙烯类涂料等。这类涂料可在常温下，靠溶剂自然挥发成膜。不宜加温烘烤的产品常采用这种涂料。

(2) 氧化聚合型涂料，如油脂、油改性醇酸、环氧酯类涂料等。这类涂料中常含有不饱和脂肪酸成分，在常温下这些不饱和双键可以通过氧化聚合使其交联固化成膜。这类涂料也可以烘烤成膜，其性能优于常温干燥涂层的性能。其中醇酸、环氧酯是应用最广泛的品种之一。

(3) 固化剂交联型涂料，如环氧、聚氨酯、不饱和聚酯类涂料等。这类涂料含有可反应的活性基团，一旦与固化剂混合，即可产生交联反应，固化成膜，是在常温条件下，获得优良性能涂层的涂料品种。像聚氨酯涂料，具有高装饰性、三防性能（防霉、防菌、防潮）、耐油、耐磨等综合性能，其应用范围越来越广。这类涂料一般以二罐分装，其缺点是组份混合后，使用周期短，故必须按需现配现用，以免造成损失。

(4) 烘烤型涂料，如环氧、氨基、丙烯酸、聚酯醇酸类涂料等。这类涂料在常温下不能固化成膜，必须通过加温使其分子内产生交联固化。通过烘烤可以获得高光泽、高装饰性涂层，具有优良物理性能，因此对装饰性要求较高的机电产品都采用这类涂料。

此外，湿气固化涂料、光固化涂料、电子束固化涂料、气相固化涂料，均属溶剂型涂料范畴。

1.4 水性涂料

1.4.1 水溶性涂料

水溶性涂料摒弃了传统涂料的溶剂稀释剂，而以水为分散稀释介质，从而大大地减少了对环境的污染。近年来发展极为迅速，其中以电泳涂料最引人注目。

1. 阳极电泳涂料 亦称为阴离子型电泳涂料，被涂物为阳极，当通以直流电时，带负电荷的阴离子向阳极泳动，并在阳极上进行电交换而析出成膜。目前广泛应用的高泳透力阳极电泳涂料及其性能见表 8-7-4。

2. 阴极电泳涂料 亦称为阳离子型电泳涂料，阴极电泳涂料性能见表 8-7-4。阴极电泳漆的性能优于阳极电泳漆，如耐盐雾性为阳极电泳漆的 10 倍；耐碱性为 20~40 倍；泳透力为 1.3~1.5 倍；库仑效率为 2~3 倍。此外，阴极电泳避免了金属离子对膜的污染，不会使漆膜颜色变深。目前阴极电泳漆的主要品种有：

G1038 阴极电泳漆、N8603 阴极电泳漆、841 阴极电泳漆、H11-96 阴极电泳漆等。

表 8-7-4 各种电泳涂料的性能

项目	环氧酯阳极电泳漆	聚丁二烯高泳透力阳极电泳漆	阴极电泳漆
槽液固体分的质量分数(%)	10~15	11~13	18~20
pH	7.0~9.0	7.5~8.5	6.4~7.0
电泳电压(V)	40~80	50~200	200~320
电泳时间(min)	2~3	2~3	2.5~3
泳透力(cm)	6~8	18~22	20~24
烘烤条件(°C/min)	180/30	160~170/30	160~175/20
涂层厚度(μm)	20±5	20~22	18~20
铅笔硬度		≥HB	≥H
抗冲强度(×10 ³ N·m)	50	50	50
柔韧性(mm)	1	1	1
附着力(级)	1	1	1
耐盐雾(h)	72	240	720
耐水性(h; 40±1°C)	108	500	800
耐碱性(h)	24	24	500~1000
(0.1mol/L NaOH, 20°C)			
耐酸性(h)	48	48	72
(0.05mol/L H ₂ SO ₄ , 20°C)			

1.4.2 乳胶涂料

乳胶涂料是水分散聚合物乳液加颜料水浆制成，聚合物乳液是由乙烯基或丙烯基单体在乳化剂存在下以自由基引发剂引发乳液聚合反应制得，颜料是由分散剂等助剂分散在水中，主要颜料为钛白粉及体质颜料。乳胶涂料广泛地用于建筑物的内外墙涂料，如聚酯酸乙烯、苯乙烯丙烯酸、聚酯酸乙烯丙烯酸、聚丙烯酸系乳胶涂料等。乳胶涂料系水分散性涂料，具有低污染型涂料的特点。金属用乳胶底漆，加有防锈颜料和缓蚀剂，可防止涂层的“闪锈”和“早锈”现象。

自泳涂料是在高分子乳胶的基础上发展的一种新型涂料。将金属制品浸入呈酸性的自泳涂料槽液时，在金属界面析出金属离子成为胶粒聚结的促进剂，使涂料在被涂物表面均匀地沉积成膜。因此它不存在电泳涂装的泳透力问题，只要槽液能到达的地方就能沉积成膜。涂层的耐盐雾性达 600h 以上，可与阴极电泳漆



相媲美。而在设备及占地面积上,则大大少于阴极电泳涂装,故是一种极有发展前途的新型涂料。

1.5 高固体分涂料

高固体分涂料是相对于常规涂料而言,其固体分的质量分数可达65%~80%(常规涂料为30%~50%)。由于高固体分涂料的结构与传统型涂料完全相同,仍为溶剂型涂料,因而可以全部利用或部分调整现有涂装设备和涂装线即可进行生产。另一方面由于它所含的溶剂显著减少,故也是一种低污染型的涂料。目前主要品种有:高固体分氨基无油醇酸,广泛用于汽车车身、家用电器,办公用品和彩色钢板等;高固体分热固性丙烯酸,它具有突出的户外耐久性,可用于高级轿车、家用电器产品;高固体分聚氨酯,为二罐装涂料,其固体的质量分数可接近100%,且在常温下或稍加温度下固化,目前大多用于飞机、高级车辆的涂装;高固体分环氧树脂,价格较便宜,防蚀性能好,主要用于船舶、钢结构件的防蚀涂装。

由于高固体分涂料中聚合物分子量比一般溶剂型涂料低得多,本身流动性较大,故高固体分涂料所特有的主要缺陷是烘烤时易流挂。当被涂工件刚入烘房,漆膜分子尚未开始交联,分子量尚未增大,一旦温度上升,则粘度急剧下降而导致流挂,虽然高固体分涂料中已加有流变助剂,以防止烘烤流挂,但施工时还需注意。

1.6 粉末涂料

粉末涂料是以粉末状树脂为主要成膜物质,加上颜填料和助剂制成,因此它是100%固体分涂料,随着高压静电喷涂、流化床等涂装技术的进步,粉末涂料的发展极为迅速,是一种无公害、省资源的新型涂料。粉末涂料分为热塑性粉末涂料和热固性粉末涂料两大类,主要粉末涂料的性能见表8-7-5。

粉末涂料具有突出的优点(表8-7-6),用途很广。热固性粉末的用量增长较快,主要品种为:环氧粉末涂料、聚酯粉末涂料、环氧聚酯粉末涂料和丙烯酸粉末涂料,国内以环氧聚酯粉末涂料发展最快。

表8-7-5 粉末涂料的性能

项 目		热塑性粉末							热固性粉末				
		聚氯乙烯	聚乙烯	聚酰胺(尼龙11、12)	聚四氟乙烯	聚丙烯	氯化聚酯	醋丁纤维素	聚酯	环氧	聚酯	环氧聚酯	丙烯酸
物理性能	抗磨耗性	⊙	△	⊙	⊙	○	⊙	○	○	⊙	○	○	⊙
	冲击强度	⊙	△	⊙	⊙	○	⊙	○	⊙	○	△	⊙	⊙
	介电性能	○	⊙	○	⊙	⊙	⊙	○	△	⊙	△	⊙	○
	柔韧性	○	○	○	○	○	○	○	△	⊙	△	⊙	⊙
	最高使用温度(°C)	93	71	82	262	107	121	82	93	177	232		
抗化学介质性能	耐盐雾性	⊙	○	⊙	⊙	⊙	⊙	○	○	⊙	⊙	⊙	⊙
	耐溶剂												
	汽油	⊙	○	⊙	⊙	⊙	○	○	⊙	○	⊙	⊙	○
	烃类	○	○	⊙	⊙	○	⊙	○	⊙	⊙	⊙	⊙	○
	盐类溶液	⊙	⊙	○	⊙	⊙	⊙	○	○	⊙	⊙	⊙	⊙
	氨气	⊙	⊙	○	⊙	⊙	⊙	×	△	△	×	△	△
	碱类	⊙	○	○	⊙	⊙	○	△	×	○	△	○	△
	氧化性浓酸	○	×	×	⊙	○	○	×	×	○	△	○	△
	甲酸、乙酸、油酸、硬脂酸等	×	○	×	⊙	⊙	⊙	×	○	⊙	○	⊙	△
	磷酸	⊙	○	△	⊙	⊙	⊙	×	△	⊙	○	○	○
水(盐水、淡水)	⊙	⊙	○	⊙	⊙	⊙	○	○	⊙	○	⊙	○	
颜色范围	无限	有限	有限	有限	有限	有限	无限	无限	无限	无限	无限	无限	
保色性	○	⊙	⊙	⊙	○	○	○	○	△	○	○	⊙	

注:优→劣顺序为⊙>○>△>×



表 8·7-6 粉末涂料的优缺点

粉末涂料的优点	粉末涂料的缺点
1. 无溶剂挥发, 防止大气污染, 减少公害 2. 不会引起有机溶剂中毒, 安全卫生 3. 无有机溶剂引起的火灾危险 4. 粉末可回收使用, 涂料利用率接近 100%, 节省资源 5. 降低水质污染的危险性, 减少公害 6. 涂装工艺易实现自动化, 节省人力 7. 一次涂装可获厚涂膜, 节能 8. 对工件边角覆盖力强 9. 涂层性能优良	1. 变色困难, 清理工作麻烦 2. 与溶剂型涂料相比, 装饰性、耐候性较差 3. 一次涂装涂膜较厚, 薄膜化困难 4. 涂料受压力、湿度、温度影响易结块 5. 对几何形状复杂的工件涂装较困难 6. 设备投资较高 7. 对粉尘爆炸及吸入需采取预防措施

1·7 机电工业常用涂料及其选择

至关重要, 表 8·7-7 为机械制造中部分常用的涂料的组成和性能, 表 8·7-8 为不同工况产品可选用的涂料。

涂料产品众多, 根据使用工况, 正确选用涂料产品

表 8·7-7 常用涂料的组成和性能

牌号 (标准)	名称	组成	性能
T03-1 (ZBG51089-87)	各色酯胶调合漆	以甘油松香、干性油和各色颜料研磨后, 加入催干剂, 并以 200 号溶剂汽油或松节油调成	干性适中, 漆膜柔软光亮, 有良好的耐候性
T04-1 (ZBG51105-87)	各色酯胶磁漆	以甘油松香与精制干性油合炼, 并加入有机溶剂而成的中油度酯胶漆料, 再与颜料研磨并加入催干剂而成的自干磁漆	干性优良, 漆膜光亮坚韧, 颜色鲜艳, 附着力好, 具有一定的耐水和耐候性
T06-5 (ZBG51015-87)	各色酯胶底漆	用松香钙酯或甘油松香酯与干性植物油熬炼后, 与氧化铁等颜料及体质颜料研磨, 加入催干剂, 以 200 号溶剂汽油或松节油作溶剂调成	漆膜容易打磨, 坚硬无光, 附着力强, 但次于铁红醇酸底漆
F04-1 (ZBG51020-87)	各色酚醛磁漆	用干性油和松香改性酚醛树脂熬炼后, 与颜料及体质颜料研磨, 并加入催干剂, 以 200 号溶剂汽油及松节油稀释调成	附着力强, 光洋好, 漆膜坚硬, 但耐候性比醇酸磁漆稍差
F04-11	各色纯酚醛磁漆	用酚醛树脂和干性植物油熬炼后, 与颜料研磨, 并加入催干剂, 以二甲苯或松节油调配而成	漆膜坚硬, 其耐水性、耐候性、耐化学药品性均比酚醛磁漆好
F06-8 (ZBG51024-87)	锌黄、铁红、灰酚醛底漆	用松香改性酚醛树脂, 聚合植物油炼成漆基, 与各色颜料研磨后, 加入催干剂并以二甲苯或松节油调成	有良好的附着力和防锈性能, 锌黄色酚醛底漆用于铝合金表面; 铁红、灰色用于钢铁表面
F06-9	锌黄、铁红纯酚醛底漆	由纯酚醛树脂和干性植物油炼成的漆基与颜料研磨后并加入催干剂, 以二甲苯或松节油作溶剂调成	附着力强, 具有一定防锈性能, 耐水性好



(续)

牌号(标准)	名称	组成	性能
F17-51 (HG2-28-80)	各色酚醛皱纹漆(烘干)	以酚醛漆料与颜料混合研磨后,加入催干剂而成	干燥迅速,花纹美观,烘干温度为80~120℃
F11-51	酚醛电泳底漆	由水溶性纯酚醛树脂漆料、颜料及体质颜料制成,以蒸馏水稀释	附着力好,且有好的防锈和耐水等性能,但耐盐水性稍差于溶剂型酚醛底漆
F53-83 (ZBG51028-87)	铁红酚醛防锈漆	是用松香改性酚醛树脂与干性植物油炼制后,再与氧化性铁红及体质颜料研磨,并加入催干剂,以200号溶剂汽油及松节油稀释调成	附着力强,防锈性能较好
F53-39 (ZBG51079-87)	硼钡酚醛防锈底漆	是由偏硼酸钡、氧化铁红、填充料与酚醛树脂漆料经研磨后,加入催干剂、铅粉浆,加入200号溶剂汽油或松节油调成	干燥迅速,附着性能好,硬度高,光泽小,遮盖力大,无毒性在大气环境中有良好的防锈性能
L04-1 (ZBG51009-87)	沥青磁漆	用干性植物油与石油沥青、松香改性树脂熬炼后,加溶剂稀释,再与黑色颜料研磨,并加入催干剂,以200号溶剂汽油与少量二甲苯的混合溶剂调成	颜色黑亮,附着力好,并有良好的耐水、防潮性能,但耐阳光暴晒不够好
L06-83 (ZBG51031-87)	沥青底漆	用石油沥青、干性植物油与松香改性树脂熬炼后,用200号溶剂汽油及苯等溶剂稀释,再加黑色颜料及体质颜料研磨而成	附着力好,有良好的防潮、耐水、耐热、耐润滑油性能
C04-2 (ZBG51035-87)	各色醇酸磁漆	以中油度甘油醇酸树脂与颜料研磨后,加入适量催干剂,并以有机溶剂调成	有较好的光泽及机械强度,能常温干燥,耐候性比调合漆及酚配合漆好,耐水性较差,但在60~70℃烘烤后,耐水性显著提高
C04-42 (ZBG51036-87)	各色醇酸磁漆	用干性植物油改性的季戊四醇醇酸树脂与颜料研磨后,加入催干剂,并以松节油200号溶剂汽油及二甲苯调成	户外耐光性及附着力比C04-2醇酸磁漆好,但干燥时间较长
C06-1 (ZBG51010-87)	铁红醇酸底漆	用干性植物油改性醇酸树脂(中油度或长油度)与氧化铁红、铅铬黄、体质颜料等研磨后加入催干剂,并以松节油及二甲苯作溶剂调成	有良好的附着力和防锈能力,它与硝基、醇酸磁漆等多种面漆的层间结合力好,在一般气候条件下耐久性较好
C08-2	各色醇酸水性漆	采用水溶性醇酸树脂加入颜料研磨,用水稀释的水性涂料	采用电泳施工
A04-9 (ZBG51043-87)	各色氨基烘漆	用氨基树脂、短油度醇酸树脂与各色颜料研磨后,以苯类与丁醇的混合溶剂调成	漆膜颜色鲜艳、光亮、丰满,具有优良的附着力及耐水、耐汽油、耐机油及耐磨性



(续)

牌号(标准)	名称	组成	性能
A16-51 (ZBG51046—87)	各色氨基锤纹漆	是氨基树脂与醇酸树脂用二甲苯与丁醇稀释后,加非浮型铝粉配制而成	
Q04-2 (ZBG52052—87)	各色硝基外用磁漆	由硝化棉、油性醇酸树脂、氨基树脂、各色颜料增稠剂以及酯、酮、醇、苯类溶剂调成	漆膜干燥迅速,外观平整光亮,耐候性较好
Q06-4 (ZBG51054—87)	各色硝基底漆	由硝化棉、醇酸树脂、松香、甘油酯、颜料、体质颜料、增稠剂及酯、酮、醇、苯类等溶剂配制而成	干燥迅速,漆膜硬,易打磨平滑,有较好的附着力
G04-9 (ZBG51063—87)	各色过氯乙烯外用磁漆	月过氯乙烯树脂、干性油改性醇酸树脂与颜料及增稠剂等研磨后,再以有机混合溶剂(苯、酯、酮类)配制而成	干燥较快,漆膜光亮,能打磨抛光,其耐候性和抗老化性能比硝基外用磁漆好,但耐汽油性较硝基外用磁漆差
G06-4 (ZBG51065—87)	锌黄、铁红过氯乙烯底漆	用过氯乙烯树脂、干性油改性醇酸树脂、增稠剂、颜料及体质颜料等经研磨后,溶于有机混合溶剂配制而成	防锈性及耐化学性能比铁红醇酸底漆好,但附着力不太好,如在60~65℃烘烤2h后,可增强附着力及其他各种性能
G16-31 (HG2-94—80)	各色过氯乙烯锤纹漆	是由过氯乙烯树脂、改性醇酸树脂和酚醛树脂、增稠剂及有机混合溶剂的漆料与非浮型铝粉配制而成	漆膜坚韧,能呈现美观的锤击状花纹,并有一定的耐油、耐水、耐机床冷却液的性能,在干燥性能上优于氨基锤纹漆,可迅速自干
H04-57 (HG2-118—80)	各色环氧醇酸烘漆	是由环氧树脂、氨基树脂、醇酸树脂、颜料、体质颜料混合研磨,并加有机溶剂稀释而成	漆膜坚硬、耐磨,其耐潮、防霉、耐化学品性能较氨基醇酸为好
H04-6 (HG2-115—80)	各色环氧烘漆(分装)	由环氧树脂溶于二甲苯、丁醇后加入颜料,经研磨而成二组份以100:3.5混合	漆膜坚韧,附着力及其柔软性好,耐水、耐油性能良好,与环氧底漆配套使用有较好的三防性能
H06-33 (ZBG51049—87)	铁红、锌黄环氧烘干底漆	以环氧树脂、三聚氰胺甲醛树脂、醇酸树脂溶于有机溶剂中,配以防锈颜料、填充料经研磨调配而成	烘干后,漆膜坚韧耐久,附着力强,耐化学药品性、耐水性优良
H06-2 (ZBG51048—87)	铁红、锌黄、环氧酯底漆	用环氧树脂植物油酸酯化后与氧化铁红、锌铬黄等颜料及体质颜料研磨加入催干剂,以有机溶剂稀释调制而成	漆膜坚韧耐久,附着力很好,抗海洋大气及湿热气候性好



(续)

牌号(标准)	名称	组成	性能
H11-51 (ZBG51101-87)	各色环氧酯 烘干电泳漆	用环氧树脂、亚麻油酸顺丁烯二酸酐经酯化改性并加丁醇助溶剂、胺类中和剂而成树脂,再加入各色颜料及体质颜料混合磨成漆状	电泳施工,附着力,防锈力、耐水性及耐久性相当于溶剂型环氧底漆的质量水平
H55-11	环氧聚氨酯 耐水漆	是用环氧树脂与封闭型聚异氰酸酯、溶剂、增塑剂、颜料、填料等配制而成的热固型涂料	二者配套使用,有良好的耐水性和抗化学腐蚀性,专用于潜水电机、化工电机、化工设备等要求耐水防腐的金属设备保护
H55-92	环氧聚氨酯 耐水底漆		
S04-11 (HG2-132-82)	各色聚氨酯 磁漆 (分装)	为分装产品,组份一为聚酯与颜料、体质颜料混合研磨而成的漆浆,组份二为甲苯二异氰酸酯预聚物液,按一定比例调配使用	漆膜坚硬、光亮、附着力强,耐水、防潮、防霉、耐油、耐酸碱,与S06-1底漆配套使用,作湿热涂层及防腐蚀涂层
S06-1 (HG2-135-82)	棕黄、锌黄聚 氨酯底漆 (分装)	组份一由油改性醇酸树脂防锈颜料、体质颜料研磨而成,组份二为甲苯二异氰酸酯加合物,按一定比例调配使用	性能同上,与聚氨酯磁漆配套使用
B01-6 (ZBG51076-87)	丙烯酸清漆	甲基丙烯酸酯、甲基丙烯酰胺共聚树脂,氨基树脂、增塑剂、酯、醇、苯类混合剂	可常温干燥,具有三防性能。适于铝合金及其他金属表面涂装
B06-2 (ZBG51078-87)	镉黄丙烯酸 底漆	由甲基丙烯酸酯、甲基丙烯酸共聚树脂、防锈颜料、溶剂增塑剂制成	附着力强,力学性能好,并有良好的防锈能力,可作铝合金的打底,系丙烯酸磁漆的配套品种
B04-9 (ZBG51076-87)	各色丙烯酸 磁漆	甲基丙烯酸酯、甲基丙烯酰胺共聚树脂、溶剂、增塑剂、颜料研磨而成	干燥迅速,具有良好的附着力,耐光、耐久性及防潮性
W61-31 (HG2-146-88)	铝粉有机硅 耐热漆 (分装)	由聚酯树脂和有机硅用甲苯稀释后制得的清漆与铝粉组成,是分装产品,使用时清漆与铝粉以100:5混合均匀	常温干燥,可在300~350℃高温下应用
SRZ-1	长效防腐耐 热漆(400℃) (分装)	由无机、有机硅复合树脂与锌粉、助剂、溶剂调制而成,二组份包装	具有良好的防腐、耐热、耐油、及耐久性能。适于耐400℃以下钢铁设备表面防腐底漆,也可作车间底漆
X06-7 (ZBG51007-87)	磷化底漆 (分装)	由聚乙烯醇缩丁醛、防锈颜料及醇类溶剂制成,并与分装的磷化液按一定比例调配使用	作为金属防锈涂料,可增加涂层与金属表面的附着力,提高防锈性能,但不能代替底漆。适于金属表面预涂

表 8-7-8 涂料的选用

产品使用的环境条件和性能要求	油性漆	酯胶漆	沥青漆	酚醛漆	醇酸漆	氨基漆	环氧漆	过氧乙稀漆	丙烯酸漆	聚氨酯漆	硝基漆	聚酯漆	橡胶类漆	有机硅漆
在一般大气条件下使用对防腐和装饰性要求不高,且能自干	✓	✓		✓										
在一般大气条件下使用但要求耐候性、装饰性好,且能自干					✓						✓	✓		
在一般大气条件下使用,要求防潮、耐水性好			✓	✓			✓			✓				
在湿热条件下使用,有三防要求					✓		✓	✓	✓	✓			✓	
在化工大气、海洋大气条件下使用,耐蚀性好			✓				✓	✓		✓			✓	
高温条件下使用														✓

注:表中“✓”号表示可选用。

2 涂装前处理

(2) 为涂层的平整性准备条件;

(3) 最大限度的发挥涂料本身具有的作用,提高涂

层装饰保护性能和必需的其他物理性能。

涂装前处理是确保涂装质量极其重要的一环,目的在于:

表 8-7-9 为各种金属基体涂装前处理方法示例。

(1) 增强金属与涂层的附着力;

例。

表 8-7-9 各种金属基体涂装前处理方法示例

材 料	涂装前处理方法及要求
一般结构	1. 铲刮,加钢丝刷清理或用电动工具,达到 GB8923-88 规定 2. 喷、抛丸(砂),达到 GB8923-88 规定
加工形钢铁制品	1. 一般用途:除油—酸洗或除油—酸洗—磷化 2. 对防护装饰性要求较高的: 修整外形(去毛刺,局部抛磨)—除油(酸洗)—水洗(中和)—表面调整—磷化—水洗—软水洗—热空气干燥
热浸、镀锌钢板(除涂防锈油外,未经其他处理)	除油后继以磷酸锌处理或铬酸盐处理
热浸铝件	1. 溶剂清洗 2. 缓蚀碱液清洗加水液清洗;或酒精、磷酸清洗;或铬酸盐处理
铝压铸件	除油—喷砂打毛—铬酸盐处理
铝及铝合金制件	1. 溶剂清洗 2. 缓蚀碱液清洗—硝酸处理或硫酸、铬酐浸蚀;酒精磷酸清洗;磷酸处理;铬酸处理等 3. 阳极化处理 4. 机械法处理
铜、黄铜	1. 用于户内的抛光表面,可直接涂树脂清漆,防止失泽 2. 用于户外,需经铬酸盐或铜缓蚀剂处理

3 涂装及设备

3-1 手工涂装

广义的涂装工艺一般包括涂装前处理、涂装、干燥(固化)等三个主要工序组成。其中涂装是指以一定的工艺与装备将涂料涂布到洁净的(即经过涂装前处理的)被涂物表面形成涂层的过程。

手工涂装包括刷涂、滚涂、揩涂和刮涂等工艺,是最古老、最简便的涂装方式。手工涂装虽可以增进涂层的附着力,但控制厚度较难,涂层外观较差,且易人为地造成质量问题,故只适用于批量小、大型构件的涂

此是公可制作请尊重作版权

2025



装。

手工涂装选择合适的刷子、滚子或刮刀等工具,调整合适的涂料粘度,其涂装质量主要取决于工人的熟练程度和经验。其优点是对各种工件适应能力强,涂料利用率较高;缺点是劳动强度大、效率低,故在大批量现代化生产中已逐渐被其他涂装方式所取代。

3.2 浸涂

浸涂是将被涂工件浸入盛有涂料的容器,经一定时间后吊起沥尽多余涂料的涂装方法。浸涂的特点是设备简单、适于大批量流水生产,生产效率高,操作简便,涂料损失较少。其缺点是涂料槽液溶剂挥发损失较大,不适用低沸点溶剂快干涂料,并有火灾危险。利用水性涂料浸涂新工艺,可以减轻对环境污染与避免火灾危险。

浸涂主要工艺参数见表 8-7-10。浸涂时被涂工件从漆液中吊起速度应平稳,并用漆刷除掉自然滴漆后的漆滴,在大批量生产中,可考虑用离心或静电除滴方法。浸涂涂装适于单一品种的中、小型工件包括铸件等涂装,不适于中空状易形成气泡的工件。

表 8-7-10 浸涂工艺参数

项 目	工艺参数
粘度 (s 涂-4 杯/20℃)	20~30
涂料温度 (℃)	15~30
一次浸涂厚度 (μm)	20~30

浸涂设备设置注意事项:

- (1) 为防止溶剂外逸和尘埃污染漆液,应将浸漆槽置于独立隔离的浸漆室内,并装有排风装置。
- (2) 浸漆槽敞口面积在不影响作业的前提下,设计时尽量取小,以降低溶剂挥发。
- (3) 浸漆室应配置自动灭火装置。
- (4) 在停止作业时,小型浸漆槽应加盖,大型浸漆槽液应泵入储漆罐中。

3.3 淋涂

淋涂是将涂料用喷嘴喷淋于被涂工件的表面的涂装方法,它实际上是浸涂法的改进,其优点是运行用漆量少(约为浸涂的 1/5),减少溶剂挥发,并适于中空容器的涂装。

淋涂设备一般由淋漆室、滴漆室、涂料槽、涂料泵、涂料加热或冷却装置,自动灭火装置等组成,被涂工件靠输送链传送。淋涂室常设计成 V 型通道,以减少尘

埃附着和溶剂挥发。淋涂法有自重式和压力式两种,自重式是以高位漆槽自行流出,其喷嘴直径为 7~10mm,一般为圆形喷嘴;压力式是用泵将涂料以 0.15~0.35MPa 的压力,通过喷嘴喷出,喷嘴直径 1.5~2.5mm,有扇形、圆形或扁平形喷嘴。喷嘴可用铝合金、黄铜制造。

淋涂的主要工艺参数是涂料粘度和温度,粘度可比浸涂法高,有的高达上百秒。其温度控制要求相应也比浸涂高,应保持在 20~25℃ 间,因此应配有涂料加热和冷却装置。

3.4 空气喷涂

空气喷涂是以洁净的压缩空气,通过喷枪使涂料雾化,喷涂到被涂工件表面的涂装方法。空气喷涂具有涂装作业性好,能适应各种被涂工件,效率高(每小时可涂装 150~200m²),涂层均匀美观,是目前应用最为广泛的常规涂装方法之一,既适用于手工喷涂,也适用于自动化喷涂。喷涂法的缺点是漆雾飞散多,涂料利用率低(一般只有 50%~60%),劳动卫生条件差,对环境污染较重。

空气喷涂设备包括压缩空气装置,空气净化系统、喷枪、输漆系统,以及带有排风及漆雾治理装置的喷漆室(柜)等。喷枪的种类很多,按其涂料的供给方式可分为吸上式、自重式和压送式三种(图 8-7-1)。喷枪的选择,主要根据被涂工件的特点和生产批量大小来定,一般批量不大,工件较小,换色次数多的以选自重式喷枪为宜,但不宜仰面涂装;对有较大平面工件并要求更换颜色的,以选用吸上式喷枪为宜;对颜色较单一,且涂装量大的工件可采用压送式喷枪,还可将喷枪装上机械传动装置(如往复式,回转式,机械手等)即可实现自动喷涂。

空气喷涂的主要工艺参数为涂料粘度、喷涂压力、喷枪与工件距离、喷枪移动速度等(表 8-7-11)。

这些参数除受涂料品种与喷枪、喷嘴型号制约外,还受参数之间相互制约,如同等的其他条件下,喷涂压力提高,则提高了涂料的喷出量,为保持一定厚度则需加快喷枪的移动速度。所以必须针对具体的对象,调整相应的参数,以获得最佳涂装质量。

在空气喷涂的基础上,加热涂料的喷涂方式称为空气热喷涂。与普通空气喷涂相比,它具有可喷涂高固体分涂料,一次喷涂可获较厚涂层;溶剂挥发分少,减少对环境的污染;漆膜流平性好,光泽丰满,不易产生流挂等优点。特别适于粘度对温度较敏感的涂料(如硝



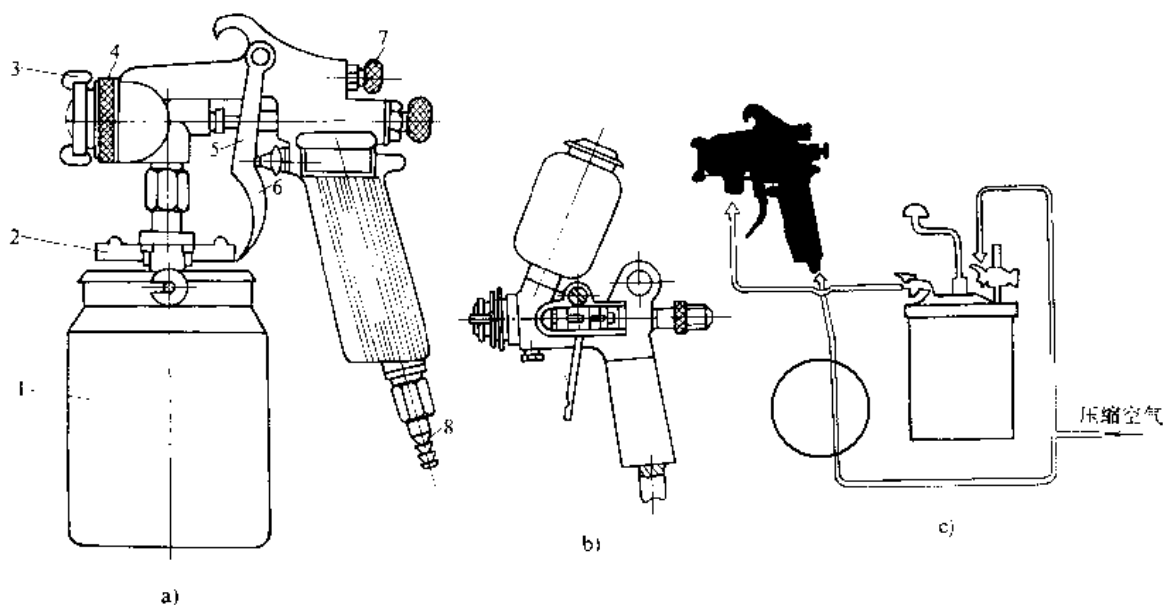


图 8-7-1 空气喷枪类型

a) PQ-2 型吸上式喷枪 b) 自重式喷枪 c) 压送式喷枪

1—漆壶 2、4—螺母 3—空气喷嘴的旋钮 5—扳机
6—空气阀杆 7—控制阀 8—空气接头

表 8-7-11 空气喷涂工艺参数

项 目	工艺参数
粘度 (s 涂-4 杯/20℃)	
硝基和热塑性丙烯酸涂料	16~18
氨基和热固性丙烯酸涂料	18~25
醇酸涂料	25~30
喷涂压力 (MPa)	0.3~0.5
喷枪与工件间距 (mm)	200~300
喷枪移动速度 (mm/s)	300~600

表 8-7-12 硝基漆常温与加热喷涂比较

项 目	空气喷涂	空气热喷涂
原漆固体的质量分数(%)	25~30	40~45
稀释率(涂料:稀释剂)	1:1	1:0~1:0.2
稀释后固体的质量分数(%)	12.5~15	33~45
常温下粘度(10 ⁻³ ×Pa·s)	50~60	250~300
喷涂涂料温度(℃)	常温	70~75
干燥时间(min) 表干	5~10	15~20
实干	60~80	120~180
一次喷涂厚度(μm)	10~12	30~40
涂层光泽(%加氏光泽 45°)	35±2	45±2

基漆)及新型低污染高固体分涂料(表 8-7-12)。空气热喷涂方法用于喷涂水性涂料,应用前景广阔。水性涂料一般在低温下粘度极高,常温喷涂困难,其粘度随温度变化较溶剂型涂料大,所以最适宜用空气热喷涂。

3.5 高压无气喷涂

高压无气喷涂是靠高压泵将涂料压至 15~20MPa 高压,当高压涂料从喷嘴小孔喷出时突然失压、膨胀,以很高的速度(≈100m/s)与空气发生撞击而被雾化,并以较高的动能喷涂于被涂工件表面。高压无气喷具有涂装效率高(约为空气喷涂的 3 倍以上)、漆雾飞散小、涂料利用率高、环境污染小,适于喷涂高粘度涂料,且涂装质量好(不存在压缩空气中水、油污染涂层之虑)等特点,已被广泛应用。

高压无空气喷涂装置是由动力源、柱塞泵(隔膜泵)、蓄压器、高压输漆管、喷枪、压力控制器和涂料容器组成。按动力源不同,高压无气喷涂装置分为气动式、电动式、汽油机动式(或称引擎式)等不同种类。图 8-7-2 为气动式高压无空气喷涂装置,是目前应用最广的一种设备,其特点是操作简单,在可燃气氛中使用无火灾危险,安全可靠;其缺点是能耗高和噪音大。根据柱塞传递压力比有 26:1、31:1、48:1 等系列,比例愈高,涂料压力愈高。电动式和引擎式是用电机或



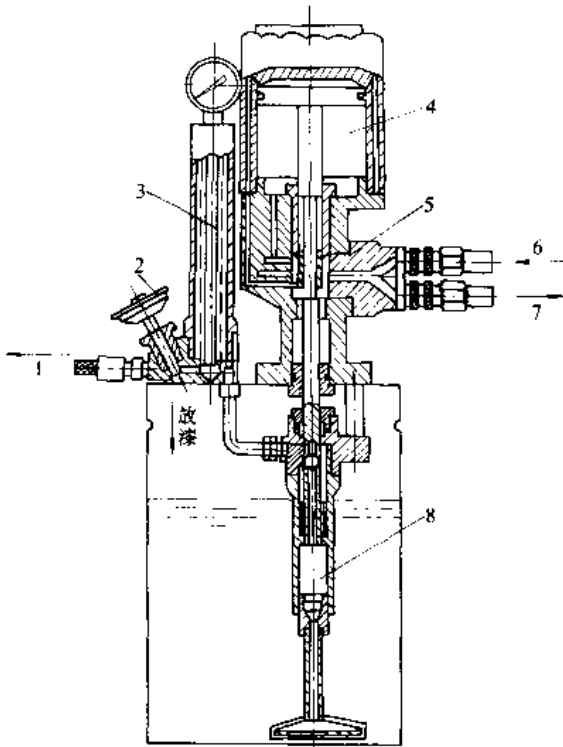


图 8-7-2 气动式高压无空气喷涂装置

- 1—高压油漆出口 2—放漆阀 3—蓄压过滤器
- 4—低压空气缸 5—配气室 6—接压缩空气
- 7—通吹灰尘枪 8—高压油漆缸

汽油机直接驱动隔膜泵，使涂料升压，使用方便灵活，比气动式节能 2/3 以上。

高压无气喷涂控制的工艺参数基本与空气喷涂相仿，喷枪与被涂工件间距要大些（300~400mm），表 8-7-13 列出各种涂料使用粘度和喷涂压力。

表 8-7-13 高压无气喷涂使用条件

涂 料	使用粘度 (s)	喷涂压力 (MPa)
硝基涂料	25~35	8~10
热塑性丙烯酸涂料	25~35	8~10
醇酸磁漆	30~40	9~11
氨基涂料	25~35	9~11
热固性丙烯酸涂料	25~35	10~12
乳胶涂料	35~40	12~13
油性船舶涂料	50~80	>12
氯化橡胶涂料	70~80kV ^①	>12
煤焦油环氧涂料	80~110kV ^①	>15

① 斯托麦粘度，其余为涂-4 杯粘度。

高压无气静电喷涂装置，揉合了高压无气喷涂和静电喷涂两者的优点，可适当降低涂料的压力，减轻涂料对喷嘴的磨损，并能进一步提高涂装质量。

3.6 静电喷涂

静电喷涂是在静电喷枪电极与工件之间建立一个不均匀的静电场，工件为阳极，喷枪电极为负高压。当电压高到一定程度时，电极周围的空气被局部击穿产生电晕放电现象，激发游离出大量的电子，当涂料液滴通过电场时，与电子相碰而获得负电荷，由于同性相斥使涂料进一步雾化，漆雾沿电力线方向运动被极性相反的工件所吸附，并产生吸附于被涂工件侧面和背面的环抱效应。静电喷涂具有涂料利用率高（80%~90%）、涂层均匀美观，以及适于自动流水涂装生产线等特点。其缺点是对形状复杂的工件，尤其是凹面部分，由于电场屏蔽作用，涂层较薄，甚至不能成膜，另外高压电场中空气完全被击穿时，有发生火灾的危险，必须有可靠的安全措施。

静电喷涂设备按雾化方式不同主要有离心式（旋杯及旋盘式）、空气式、高压无气式，其中以离心式应用最广，其主要工艺参数见表 8-7-14。

表 8-7-14 旋杯静电喷涂工艺参数

项 目	参 数
工作电压 (kV)	60~90
工作电流 (μA)	≤250
涂料电阻率 (MΩ·cm)	5~50
喷涂量 (mL/min)	30~200
旋杯转速 (r/min)	1000~30000
喷枪与工件间距 (mm)	250~300
两枝喷枪间距 (m)	≥1
工件传送速度 (m/min)	1~2.5

涂料电阻率的调整，一般使用专用的涂料稀释剂，也可自行添加极性溶剂调整，静电喷涂常用溶剂的特性列于表 8-7-15。静电喷涂用的涂料粘度比空气喷涂用的低，表面张力应保持在 $30 \times 10^{-3} \text{N/m}$ 以下，并尽量采用高沸点溶解力强的溶剂，所以在调整涂料电阻率时应综合考虑，以获得高质量的涂装效果。

静电喷涂设备包括高压静电发生器、静电喷枪、涂料输送系统、静电喷漆室和工件传送机构等。高压静电发生器装入喷枪本体的手提式静电喷枪，操作安全简便。



表 8-7-15 静电喷涂常用溶剂特性

类别	溶剂名称	电阻率 ($M\Omega \cdot cm$)	介电常数 (ϵ)	沸点 ($^{\circ}C$)	闪点 ($^{\circ}C$)	表面张力 ($\times 10^{-3}N/m$)
醇类	甲醇	0.62	32.1	64.5	12	22.6
	正丁醇	1.4	17.4	117.3	37	24.8
	乙醇	1.9	24.3	78.3	14	22.3
	二丙酮醇	2.8	27.5	169.2	60	31.4
	苯甲醇	3.2	14.5	205.0	96	
	异丙醇	20	20.4	82.3	12	23.8
酮类	甲乙酮 (MEK)	7.7	19.5	79.6	-5	
	异佛尔酮	18	20.5	215.2	92	
	甲基异丁基酮 (MIBK)	21	14.1	116.0	16	24.2
	环己酮	39	18.2	156.7	47	35.2
酯类	乙二醇丁酯	14	9.5	171.2	61	
	醋酸丁酯	17	5.1	126.1	27	25.2
	乙二醇乙醚醋酸酯	70	8.0	156.3	52	
	乙二醇乙醚	85	14.7	135.1	43	
芳香类	甲苯	2.8×10^3	2.4	109.9~110.4	5	28.5
	二甲苯	1.8×10^4	2.4	138.2~139.9	27	23.8

3.7 电泳涂装

电泳涂装是将被涂工件浸渍于水溶性电泳涂料液中作为阳极(或阴极)在直流电场作用下,涂料沉积于工件表面成膜的涂装方法。按水溶性电泳涂料的种类和被涂工件电极极性,电泳涂装可分为阳极电泳和阴极电泳两大类。电泳涂装过程包括电解、电泳、电沉积、电渗四个主要电化学过程。

1. 电解 当直流电通过电解质溶液时,水发生电解反应,在两电极上分别放出氢气和氧气,在阳极上并伴有金属离子的溶解,影响涂层质量。在电泳涂装时,必须控制电泳槽液的电导率,限制电解过程的程度。

2. 电泳 在电场作用下,带电荷的树脂粒子向相反电极移动。

3. 电沉积 带电树脂粒子到达相反电极后,放电并沉积在电极上。

4. 电渗 电沉积成膜中的水分,在电场作用下从涂层渗析进入槽液的过程。

电泳涂装是一种低污染涂装工艺,涂层均匀,附着力强,涂装效率高并易实现自动化,适于大批量工业涂装,特别是阴极电泳可达到较高的耐蚀性,发展迅速。

电泳涂装设备主要由电泳槽、直流电源、冲洗设

备、超滤装置等组成。电泳槽由主槽与溢流槽组成,溢流槽容量为主槽的10%~15%,槽液经溢流槽过滤后,由循环泵从主槽底部的多孔喷嘴送返,循环量为4~6次/h,达到搅拌的目的。直流电源电压,阳极电泳为30~200V,阴极电泳为100~500V,电流密度,带电入槽时为20~30A/m²,入槽后通电为30~50A/m²。接地方式,阳极电泳一般采用阳极接地,阴极电泳采用阴极接地,使工件处于零电位,操作较安全,但必须保证槽体和所有连接管道绝缘。

电泳超滤设备是去除电泳液中杂质离子,保证电泳槽液稳定性的关键设备,滤出液可以作为电泳后前1~2道的水洗液,使整个电泳工序做到少无排放。

电泳涂装工艺参数主要有:槽液pH值、固体分、电泳电压、电泳时间、槽液温度、电导等,一些参数与电泳涂料的品种有关(见表8-7-4)。

3.8 粉末涂装

粉末涂装是将固体粉状高分子合成树脂涂布于被涂工件的涂装方法,由于粉末涂料不含溶剂,在常温下本身不能流动和粘附于被涂工件,只能在加热条件下熔融后才能成膜,因此粉末涂装几乎完全有别于传统的涂装方式,而成为一种独特的新型涂装法。



1. **火焰喷涂** 利用压缩空气将粉末送经火焰喷枪,粉末受热熔化并被喷到工件表面,冷却后形成连续的涂层。加热火焰可以用空气-乙炔焰、氧乙炔焰或液化燃气焰等。

火焰喷涂法一般用于热塑性粉末涂料喷涂,为获得附着力强的涂层,工件应当预热,喷涂后涂层应急速冷却,适于小批量工件涂覆。对大型结构工件,控制温度较困难,施工难度较大。

2. **流化床涂覆法** 以低压空气导入流化床下,经多孔板,使塑料粉末呈流化状态,达到原体积的3~4倍,将预热工件(一般在200~316℃,以粉末熔融且不流挂为原则),浸入流化粉末中,即可在工件表面形成一定厚度的连续涂层。本方法可适于各种热塑性粉末或热固性粉末涂料,一般涂覆后还需进行加温再熔或后固化工序,再用冷水急冷,即可获得结合力良好的涂层,涂层厚度由工件预热温度控制,可获厚至1mm以上的涂层。

3. **静电粉末喷涂** 与液态涂料静电喷涂原理基本相同。在高压电场中,粉末粒子带上负电荷,而被工件所吸附,经加热熔融或固化形成涂膜。用这种方法工件不需预热,易于实现自动化生产,成为粉末涂装中应用最广的方法。

静电粉末喷涂设备包括高压静电发生器、静电粉末喷枪、供粉系统、喷粉室、粉末回收系统等组成。高压静电发生器提供60~100kV的高压,供粉系统保证连续稳定向喷枪输粉,喷粉室需有抽风并与粉末回收系统连接,一般用二级回收系统(旋风式加滤清式)可

达回收率99.5%以上,系统要有粉尘防爆措施。

摩擦式粉末静电喷枪不需高压电源。喷枪的粉末管路用聚四氟乙烯制成;喷涂时,粉末粒子与之摩擦产生静电而带负电荷。喷枪粉末粒子的动力较大,对形状复杂,易产生屏蔽效应工件比较适应。

4. **粉末电泳** 将超微细粉末($<10\mu\text{m}$)分散在表面活性剂或特种电泳漆液中,经5~6s电泳,即可获得40~200 μm 的涂层,其抗盐雾性达1500h,是一种揉粉末涂装与电泳涂装两者优点的新工艺。

3.9 自动涂装与涂装机械手

涂装作业一般工况恶劣,毒性大,劳动强度高,操作者易产生疲劳和心理上的厌恶情绪,因此涂装质量与人为的关系极大。在现代化大生产中排除人为的因素是保证质量的关键之一,各种自动涂装机械便应运而生,其中最基本的是往复式喷涂机构(图8-7-3)。此设备加上行走机构可以完成左右(或上下),前后4个自由度的运动,辅助以涂料控制机构,自动换色,自动控制装备,可适应于大批量的并具有较大平面的工件自动涂装。对品种变化频繁的工件,则可采用光电记忆式仿形自动涂装机构,亦有称之为柔性生产线的。

具有人工智能的涂装机械手,能准确地进行仿形涂装作业(图8-7-4)。通过程序控制系统,可以按照正确的动作指令完成全部作业过程,并可连续、重复、始终如一地工作,可完全取代熟练工人的操作,确保涂装质量。

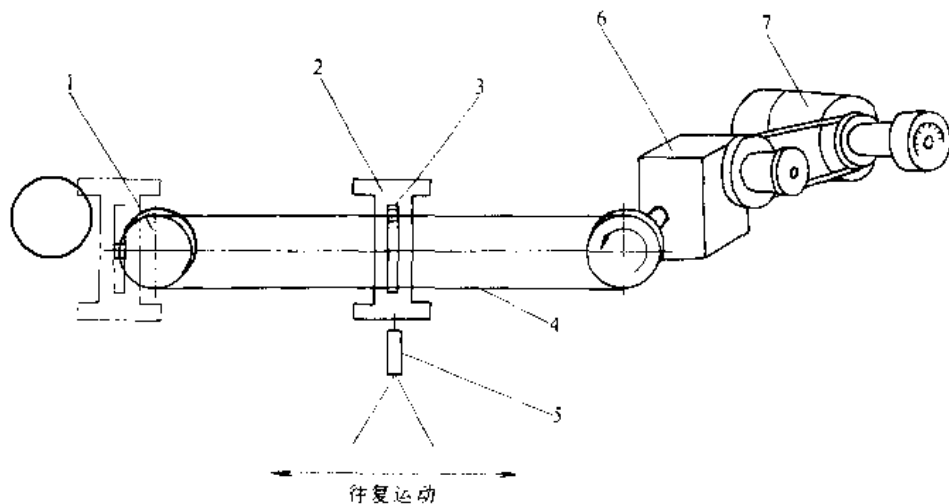


图8-7-3 往复式喷涂机

1—链轮 2—行走架 3—滑块 4—链条 5—喷枪 6—减速器 7—电动机



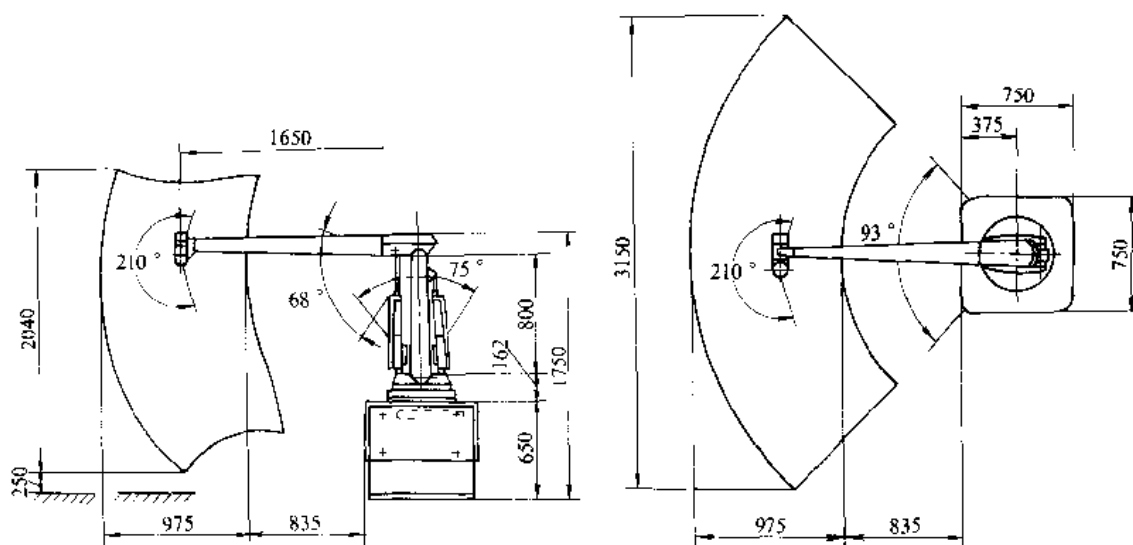


图 8-7-4 涂装机械手动作示意

4 干燥与固化

适应涂料中主要成膜物质成膜过程的特点，有多种干燥与固化的方法，见表 8-7-16。

表 8-7-16 涂料的干燥与固化方法

方法	原理	特点	适用范围
自然干燥	<ol style="list-style-type: none"> 1. 溶剂在常温挥发 2. 干性油在催干剂的影响下，氧化聚合 3. 某些合成树脂，如环氧，在固化剂作用下，常温下固化 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 敞干作业，易受气候影响 2. 可能情况下，应有可封闭的干燥室及强力通风或循环干燥空气装备，及时排除有害的溶剂蒸汽，防止灰尘及过高的相对湿度对涂膜的影响 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 适于大型的工件或品种多、批量小以及维修件 2. 适于通过溶剂挥发成膜的硝基涂料、过氯乙烯涂料等，也适于既挥发溶剂，又氧化聚合的酯胶涂料、酚醛涂料、醇酸涂料等。还适于加胺类固化的环氧涂料
热空气对流干燥	<p>以对流的热空气为加热介质</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 加热工件促使湿涂层中溶剂挥发并被排除 2. 加速某些主成膜物质的氧化聚合 3. 使某些主成膜物质达到交联聚合所需的温度 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 设备有周期和连续型两种 2. 热源：用电，效率高、投资大，运行费用高；用蒸汽一般用于 50~110℃ 3. 加热温度：热塑性树脂磁漆、清漆等，约为 38~93℃；热固性树脂，约 93~220℃ 4. 加热空气中的相对湿度，在一定温度时，会使涂层表面失去光泽，需根据所用涂料，加以测定，以利进行控制 5. 温度较高的热空气，应循环使用，但为了防止其中溶剂积累而发生爆炸事故，需部分排放换气，或采用催化燃烧方法，使其分解为无害的二氧化碳及水，装配上应有防爆措施 6. 干燥时间，与涂料种类有关，自 15min 到数小时不等 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 适于批量生产的工件，其形状、厚度不受限制 2. 适于一些油基—树脂基涂料，加速其溶剂挥发及油份氧化过程，适于需烘烤后聚合的涂料，如环氧—呋喃、环氧—酚醛等涂料



(续)

方法	原理	特点	适用范围
燃气加热干燥	以煤气、液化石油气或天然气为能源,在专用燃烧室中燃烧并与干燥炉形成循环对流	<ol style="list-style-type: none"> 1. 能源利用率高,可用于高温干燥 2. 涂料中废气被送至燃烧室燃烧,脱臭、降低大气污染 3. 不需废气治理,设备投资、占地面积小 4. 有利于缓解电力不足情况 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 适用批量生产的各种形状的工件 2. 适于各种溶剂型涂料、粉末涂料等
红外线辐射	利用波长在 $0.75 \sim 100\mu\text{m}$ 间的红外热辐射线(工业上采用的,多在 $10\mu\text{m}$ 以内)对工件进行表面加热。涂料膜中的高分子化合物及颜料,分别对相应波长的红外线,有强烈的吸收能力,工件的基体金属,亦部分地受到红外线加热,传导到涂料膜中	<ol style="list-style-type: none"> 1. 装备占地面积小 2. 红外辐射器及反射板的布置应合理 3. 工件表面吸收的热量与波长有关,白色涂料,对较短波长反应很小,黑色及其他深色涂料则好,故需根据涂料的品种来选择波长 4. 常用的红外线发射器有灯泡式—普通红外线灯泡碘钨灯、暗发射式—管状发射器(氧化镁、碳化硅)、板状发射器(碳化硅、铸铁)、煤气加热发射器及电阻带、石英管、微晶等远红外辐射元件 5. 在暗发射式的各种发射器表面涂覆(刷涂等离子喷涂)$0.2 \sim 0.4\text{mm}$的远红外涂层,如$w_{\text{TiO}_2} 80\% + w_{\text{ZrO}_2} 20\%$或氧化镁管上涂$w_{\text{Fe}_2\text{O}_3} 78\% + w_{\text{SnO}_2} 22\%$等;发射波长较长的远红外线,对各种颜色和组成的涂料的适应性更好,可节约电力,提高生产效率(w_{TiO_2}、w_{ZrO_2}等分别为TiO_2、ZrO_2等的质量分数) 6. 发射器表面温度较高,干燥室中的空气应当适当交换,防止积累溶剂过多,引起爆炸(每蒸发1L溶剂,约需交换90m^3空气) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 适于热固性树脂基涂料的固化,亦可用于油基—树脂基涂料的加速干燥 2. 适于批量生产、形状不太复杂,利用反射板可使红外线均匀射到工件,但工件不宜过重、过厚
紫外线固化	利用可发生光化学作用的波长为 $4 \times 10^{-5} \sim 5 \times 10^{-7}\text{cm}$ 的紫外光,使具有光固化性的涂料固化;不需利用加热	<ol style="list-style-type: none"> 1. 光源: 低光化学性的:如荧光灯、低压水银灯等 高光化学性的:如氙气灯、石英水银型灯等 2. 涂层上受光固化,但光源发生热量,并会产生少量臭氧,照射区内需通风冷却,并带走臭氧;使用高强度光源时,需有安全措施,防止伤害操作人员的视力及皮肤 3. 涂料中需加入光引发剂,如二苯甲酮、蒽醌等,在受紫外线辐射时,产生自由基促进交联 4. 反应快,固化时间约$30\text{s} \sim 2\text{min}$ 5. 工件的表面,需能借反射板的帮助,全面均匀地受到照射 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 适于光敏丙烯酸、环氧和不饱和聚酯制成的清漆,半透明漆及含有石棉、滑石及重晶石等透明填料的底漆及平光漆等 2. 主要用于木材涂装,也可用于塑料、纸张、金属等涂装
电子束固化	利用 $125 \sim 300\text{kV}$ 下形成的电子束,轰击树脂,促进其单体或聚合物的三向交联作用	<ol style="list-style-type: none"> 1. 设备投资虽高,但运行费低,不需更换灯泡 2. 涂料中不需加光引发剂,无挥发物,无公害及火灾问题 3. 工件通过速度,可达$200 \sim 500\text{m}/\text{min}$ 4. 瞬间固化,$< 0.015\text{s}$ 5. 基体材料,不受热的影响,如塑料和木材 	用不饱和聚酯、环氧及酚醛基涂料,一般适用喷涂平面型的工件



5 涂装质量检测

为增强产品的竞争能力,质量检测是极为重要的一环,随着我国标准化法规的实施,涂料涂装标准已逐步采用国际先进标准,其中有涂料产品质量标准测试法,如:粘度、细度、密度、不挥发分、流变性、结皮

性、贮存稳定性等;涂装施工标准测试法,如:流平性、遮盖力、打磨性、涂布量、干燥时间等;以及涂层性能标准测试法,如:涂层厚度、光泽、硬度、抗冲强度、柔韧性、附着力、耐腐蚀性、抗老化性等。表 8-7-17 为常用涂层性能检测方法。

表 8-7-17 常用涂层检测方法

项 目	检测方法	仪器设备	标准
硬度 (摆杆法)	以一定质量的摆,置于被测漆膜上,在规定的振幅中摆动衰减的时间与在玻璃板上与同样振幅中摆衰减的时间的比值来表示	1. 秒表(精度 0.2s) 2. 玻璃板(JG40-62) 90×120×1.2~2 (mm) 3. 摆杆硬度计	GB1730-79
硬度 (铅笔法)	铅笔与涂膜成 45°角,用力以 1mm/s 速度推进,以不划伤涂膜的最硬铅笔硬度表示	1. 标准铅笔 2. 400 号砂纸 3. 铅笔硬度划痕仪	GB6739--86
柔韧性	将涂漆的金属样板在不同直径的轴棒上弯曲,以其弯曲后不引起漆膜破坏的最小轴棒的直径来表示。轴棒直径分别为 1, 2, 3, 4, 5, 15mm	1. 四倍放大镜 2. 镀锡铁板 25×120×0.2~0.3 (mm) 3. 柔韧性测定器	GB1731--79
抗冲击	以重锤的质量与其落于样板而不引起漆膜破坏之最大高度的乘积(kg·cm)来表示	1. 四倍放大镜 2. 镀锡铁板 50×120×0.2~0.3 (mm) 3. 冲击试验器	GB1732-79
附着力	用附着力测定仪指针所划涂膜圈痕的完整程度来评定,1级最佳,7级最差	1. 四倍放大镜 2. 镀锡铁板 50×120×0.2~0.3 (mm) 3. 附着力测定仪	GB1720--79
光泽	光泽通常用固定入射角度的光电光泽计测定,把从涂膜表面反射出的光量与在相同条件下从标准样板反射出的光量之比的百分数来表示	1. 玻璃板 90×120×2~3 (mm) 2. 光泽计 DFH-66	GB1743-79
厚度	用圆盘湿膜厚度计,测定湿膜厚度,用磁性厚度计,测定钢铁底板上的干膜厚度,非磁性测厚仪用于铝、铜底材	1. QZG 型湿膜厚度仪 2. 磁性测厚仪 3. 非磁性测厚仪 4. 杠杆千分尺	GB1764-79
耐水性	将已实干的涂膜样板浸泡于 25±1℃ 的蒸馏水中,到规定的时间取出观察涂膜的破坏情况	1. 玻璃槽 2. 镀锡铁板 50×120×0.2~0.3 (mm) 3. 钢棒 φ15×120 (mm)	GB1733-79
耐盐雾	涂膜样板置于 35±2℃、NaCl 50±10g/L 的盐雾试验箱中,经一定时间试验后,观察样板涂膜的外观和破坏情况	1. 精密 pH 试纸, pH6.5~7.2 2. 天平感量为 0.001g 3. 盐雾箱 盐雾沉降量为 1~2mL/80cm ² ·h ⁻¹	GB1771--91
耐汽油性	在规定的时间内,涂膜抵抗汽油作用的能力。一般是将样板浸入 25±1℃ 的汽油中,经规定的时间,观察涂膜的外观和破坏情况	1. 玻璃槽 2. 75 号航空汽油(SY1001-77) 3. 镀锡铁板 50×120×0.2~0.3 (mm)	GB1734-79



6 涂装的环境保护和卫生

6.2 涂装安全卫生技术

6.1 涂装三废治理

涂装作业常用三废治理方法见表 8·7-18。

涂装作业安全卫生技术涉及防毒、防火、防爆、防静电、防尘和防噪声等安全卫生措施。其中最重要的是防毒、防火与防爆，常用溶剂最高允许浓度及爆炸极限

表 8·7-18 常用三废治理方法

种类	治理方法	原理	特点
废气(溶剂)	吸附法	用厚度为 0.3~1.5m 的活性炭吸附, 处理气体流速 0.3~0.6m/s, 到达吸附周期后, 及时脱附	可回收溶剂, 不需加热, 可净化低浓度、低温废气, 不适于高浓度废气, 需预先除去漆雾、粉尘、油、烟等杂质
	直接燃烧法	处理废气在 600~800℃ 下燃烧, 停留时间 0.3~0.5s	废气不需预处理, 有机物可完全燃烧, 可处理高浓度废气, 用热交换器可回收热能, 燃料费用高
	催化燃烧法	废气在 200~400℃ 下靠催化剂氧化燃烧, 停留时间 0.14~0.24s	运行成本较直接燃烧法低, 设备占地面积小, 热量可以回收利用, 废气需预处理, 以防催化剂中毒失效
废水	凝聚法	用絮凝剂使水中胶体物质表面电位降低, 相互碰撞而聚结, 从水中分离出来	适于各种以水为漆雾治理介质的喷漆室废水及前处理脱脂废水, 操作简单, 水可循环使用, 运行成本较高
	超滤法	利用高分子半透膜, 在 0.01~1MPa 压力下, 使水中的电解质透过膜层	广泛应用于电泳涂装污水处理, 电泳槽液净化和淋洗水的循环利用, 可组成全封闭无排放装置
	离子交换法	用离子交换树脂, 与废水中的有害离子进行交换	适用于涂装前处理含铬废水的处理, 离子交换树脂再生时产生的高浓度含铬废水需另行处理后排放, 废水需预处理
	气曝法	靠大气中的微生物对废水中的有机质分解作用降低废水 BOD (生物耗氧量)	适用于电泳废水处理
废渣	焚烧法	在焚烧炉中燃烧	集中处理、防止二次污染, 要有防火、防爆等措施, 焚烧后灰分, 经检测才能深埋

见表 8·7-19。

1. 防毒 涂装作业中有害物质源主要有苯、甲苯和二甲苯 (统称三苯) 等溶剂; 胺类、有机锡类助剂; 含铅、铬等颜料。其中以三苯中毒最为严重。按我国《工业企业设计卫生标准》(TJ36-79) 规定: 三苯最高允许浓度为 100mg/m³。为防止中毒, 涂装作业应尽量避免敞开作业, 采用各种喷漆室, 是改善涂装作业卫生条件的有效手段, 常用的喷漆室有: 水帘式、无泵式、文丘里式和水旋式等类型, 其中水旋喷漆室是近年来经实践证明漆雾治理效果 (可达 99% 以上) 较好的喷漆室。

此外采用水性涂料、粉末涂料、无溶剂涂料及无苯稀料等新材料, 是减少有害物质源, 防止中毒的有效途径。

表 8·7-19 常用溶剂最高允许浓度和爆炸极限

溶剂名称	最高允许浓度 (mg/m ³)	闪点 (°C)	爆炸极限① (%)	
			下限	上限
甲 苯	100	6~30	1.0	7.0
二 甲 苯	100	29	3.0	7.6
乙 醇	1000	9~32	2.6	19
异丙醇	200	12	2	12
正丁醇	200	21~34	1.7	7.0
丙 酮	400	-17	1.6	13
乙酸乙酯	300	-5	2.1	11.5
乙酸丁酯	300	22	1.7	7.6
环己酮	100	40	1.1	9
乙基溶纤剂	200	40	2.6	15.7
溶剂汽油	350	19	1.0	6

① 均为质量分数。



2. 防火、防爆 涂装作业中使用的溶剂大都属易燃易爆危险品,爆炸下限一般在3%以下,闪点在28℃以下,为一级易燃品;28~45℃为二级易燃品;45℃以上为三级易燃品。另外粉末涂料存在粉尘爆炸危

险。

厂房应按《建筑设计防火规范》进行设计,电气设备必须整体符合防爆要求,灭火设施完善,有条件的可配备防火监测装置。

第8章 防锈^[14]

防锈是防止金属制品的裸露面在加工、储存运输过程中的生锈,对保证制品的精度和使用性能有重大意义。

大气中的氧和水分,是引起金属锈蚀的主要因素,其他如浮尘、盐雾、腐蚀性气体以及沾在金属制品表面的污物,如手汗、残盐、酸碱等,都会加速金属生锈。

在一般大气中,防锈主要措施是把清洁的制品裸露面屏蔽起来,隔绝水分和有害气体等,阻止生锈的电化学作用发生,或利用缓蚀剂来控制腐蚀过程,或把两种方法结合起来使用。主要方法有水剂防锈、油料防锈、气相防锈、可剥性塑料防锈、干燥空气封存和充氮封存等。

1 水剂防锈

水剂防锈是指用水和水溶性防锈添加剂配成的防锈剂防锈。主要用于工序间防锈,也可用作封存防锈。其特点为使用方便、防锈效果好,可冷涂、热涂、全浸、喷淋。

制品在防锈前,必须洗净,带油的先除油。清洗时,须用水剂清洗剂。

1.1 常用水剂防锈添加剂

常用的水溶性防锈添加剂(中性介质缓蚀剂)(表8-8-1)。

表8-8-1 水溶性防锈添加剂

名称	适应范围
亚硝酸钠	钢铁制件工序间及中间库防锈,与其他防锈剂适当配合可用作封存防锈。不能用于铜等非铁金属
磷酸钠 磷酸氢二钠	钢铁、铝、镁等及其合金的清洗与防锈

(续)

名称	适应范围
硅酸钠 (水玻璃)	钢铁、铝、镁等及其合金的清洗与防锈
苯甲酸钠 苯甲酸铵	钢铁工序间防锈及封存包装防锈
三乙醇胺 单乙醇胺	钢铁工序间防锈及库存防锈
六次甲基四胺(乌洛托品)	钢铁防锈及酸洗时的缓蚀剂
尿素	钢铁防锈
苯骈三氮唑	铜及其合金等非铁金属防锈
钼酸钠	钢、铝防锈
重铬酸钾	钢铁与非铁金属工序间防锈
碳酸铵	钢铁防锈

1.2 防锈水剂分类和使用范围

防锈水剂分亚硝酸盐型与非亚硝酸盐型两类。防锈水剂配方见表8-8-2。

表8-8-2 防锈水剂配方

序号	质量组成(%)	使用范围
1	亚硝酸钠 3~5 无水碳酸钠0.5~0.6 水 余量	小零件全浸
2	亚硝酸钠 6~8 无水碳酸钠0.5~0.6 水 余量	喷淋,每班喷1~2次. 用于大批量生产的产品 中间库



(续)

序号	质量组成 (%)	使用范围
3	亚硝酸钠 3~8 二乙醇胺 0.5~0.6 水 余量	全浸、喷淋、常用于精密零件防锈
4	亚硝酸钠 15 苯甲酸钠 5 甘油 30 无水碳酸钠 0.6 水 余量	钢铁制品的长期封存防锈
5	重铬酸钾 5~8 水 余量	用于水压机液压水、对铁与非铁金属都有效
6	GY-13 水剂防锈剂	不含亚硝酸铁,用于钢铁长期封存防锈,稀释后也可作工序间防锈
7	WCl-1 水溶性防锈剂	不含亚硝酸钠,主要用作工作液的防锈剂

2 油料防锈

油料防锈是指以矿物油或合成油为基体,添加油溶性缓蚀剂和辅助添加剂所配成防锈油防锈。基础油料可选用不同粘度的机械油或不同滴落点的凡士林。合成油则用于配制要求高的润滑防锈两用油。

用防锈油料封存产品时,亦称油封。它是将防锈油料浸涂、刷涂或喷涂于金属表面。

2.1 常用油溶性缓蚀剂 (表 8.8-3)

表 8.8-3 常用油溶性缓蚀剂

代号	名称	主要用途
T-701	石油磺酸钡	钢铁防锈,对非铁金属也比较适用,用于配制各种防锈油
T-702	石油磺酸钠	钢铁防锈,对非铁金属适应性较好,用于配制置换性防锈油和乳化防锈油等
T-703	十二烷基二酸咪唑啉	对钢铁与非铁金属有良好的防锈作用
T-704	环烷酸锌	对钢、铜、铝都能防锈,常与石油磺酸盐联用
T-705	二壬基苯磺酸钡	钢铁防锈

(续)

代号	名称	主要用途
T-706	苯骈三氮唑	铜及其合金防锈
T-708	烷基磷酸咪唑啉	钢、铜等防锈
T-743	氧化石油脂肥皂	钢、铜、铝防锈
T-746	十二烷基丁二酸	用于汽轮机油,常与 T-705、T-701 联用

注:代号是 SH0389-92 石油添加剂分类统一代号。

2.2 防锈油料分类和使用范围

防锈油料品种按 GB4879-85 中 B1 分类列于表 8.8-4。

表 8.8-4 防锈油品种

名称	特性	适应范围
置换型防锈油	常温涂覆,可用任何比例稀释的薄膜防锈油,能中和和置换人汗	金属制品清洗和防锈
石油脂型防锈脂	加热涂覆,厚的牢固脂状不干性软膜。冷涂脂可在室温刷涂	结构简单的精加工面的封存
溶剂稀释型防锈油	常温涂覆。分硬膜、软膜、水置换型软膜、非粘性透明膜四种	硬膜用于形状简单的大、中型金属制品室外封存。其他三种用于室内封存
防锈润滑油	常温涂覆。油膜既有防锈性又有润滑性。分中、轻、低负荷三种	一般机械产品要求润滑的部位防锈封存
防锈润滑脂	常温涂覆。既有润滑性又有防锈性	用于脂润滑的轴承等防锈封存
防锈液压油	具有液压油的稳定性、抗腐蚀性、油脂附着力和高的粘度指数	液压系统的防锈润滑专用油
防锈内燃机油	内燃机专用油。分低、中、高粘度三种	往复式内燃机的防锈润滑及发动机防锈



(续)

(续)

名称	特性	适应范围
乳化型防锈油	常温涂覆。以水为稀释剂的乳化油。一般需要内包装	金属制品的封存防锈
封存防锈油	常温涂覆。不干性油型膜。一般需要内包装	金属制品室内封存

3 气相防锈

气相缓蚀剂是一种在常温下有一定蒸汽压，能挥发吸附在金属表面形成致密而又稳定防锈膜的金属缓蚀剂。它既具有良好的接触防锈性能，又具有良好的不接触防锈性能（气相防锈性能）。它要在密封较好的状态下使用，才能表现出优良的防锈效果。

气相防锈材料是指以气相缓蚀剂为主要缓蚀剂所构成的一类防锈材料的总称。

3.1 气相缓蚀剂

常用气相缓蚀剂（VCI 或 VPI）中，用于钢铁防锈的有亚硝酸二环己胺、亚硝酸二异丙胺、碳酸环己胺、尿素、乌洛托品、苯甲酸铵、苯甲酸单乙醇胺、苯甲酸三乙醇胺等；用于铜及黄铜等非铁金属防锈的有苯并三氮唑及其衍生物；用作钢铁与非铁金属防锈的有 2,4-二硝基酚铵；用作油溶性气相缓蚀剂的有辛酸三丁胺、癸酸三丁胺、苯三唑三丁胺、苯三唑三辛胺等。这些气相缓蚀剂可单独使用，也可几种混合使用。

3.2 气相防锈材料分类和使用范围

常用气相防锈材料见表 8-8-5。它们可单独使用，也可几种配合使用。

应用时注意事项：

(1) 气相防锈材料与要保护的金属表面的距离，一般不要超过 30cm。

(2) 应注意材料的适用范围。应密封包装。其他详见 JB/T 6068-92 气相防锈材料使用方法。

表 8-8-5 常用气相防锈材料

名称	制备及使用方法
粉剂与片剂	粉末直接使用或装袋使用，或将其压制成片剂使用。包装空间用量应 $\geq 35\text{g/m}^3$

名称	制备及使用方法
气相防锈纸	将气相缓蚀剂溶解于蒸馏水或有机溶剂中，含浸或涂布于纸上，以防锈包装纸形式使用
气相防锈油（气相防锈润滑油）	将油溶性气相缓蚀剂等溶于润滑油中，以油剂形式使用，主要用于金属制品的内密封系统防锈
气相防锈塑料薄膜	将气相缓蚀剂等涂布于塑料薄膜上，或将其与塑料颗粒混合造粒后，通过挤压吹塑成防锈塑料薄膜或袋，供防锈包装用
可剥性气相防锈压敏胶带	将气相缓蚀剂与压敏胶粘剂等混合涂布于聚乙烯薄膜上，将其紧贴在需防锈的金属表面上。是一种可剥型气相防锈材料
气相防锈水剂	将气相缓蚀剂溶于水或其他溶剂中，以水剂形式使用
气相防锈吸潮剂	将气相缓蚀剂吸于多孔性材料中，是一种将气相防锈与吸湿力集于一体的防锈包装材料
气相防锈缓冲材料	将气相缓蚀剂含浸于缓冲材料中，是将防锈、缓冲防震等集于一体的防锈包装材料

4 可剥性塑料

可剥性塑料是以塑料为基体，加有增塑剂、稳定剂、防霉剂以及矿物油、防锈剂等制成的防锈材料。

可剥性塑料分热熔型与溶剂型两种。热熔型以纤维素（乙基纤维、醋酸丁酸纤维等）为基体材料，需加热涂覆。溶剂型以乙烯塑料（过氯乙烯树脂、聚苯乙烯树脂等）为基体材料，常温涂覆。

可剥性塑料的保护膜耐候性好，防锈期长，并有柔韧性，对机械碰撞有一定的缓冲作用，故多用于保护精加工面和刀具。

溶剂型的可剥性塑料，因含有大量挥发性溶剂，操作现场必须有通风及保护装置。

5 干燥空气封存

将产品密封在相对湿度保持在 35% 以下的清洁空气中，称为干燥空气封存。此种封存，是在气密性良好的包装中，充以干燥空气，或放置干燥剂降低包装内的湿度。此法也可与其他防锈方法复合使用。



干燥空气封存工艺简便,易于启封及检查,防锈期长。施工时除密封包装的焊合设备外,不需特殊设备。适用于多种金属的,以及有机与无机的非金属材料及其组合件的封存,还可防霉。

密封包装采用金属容器,防锈期最长。采用压敏密封胶带封口的金属容器防锈期较长。而采用铝塑薄膜、较厚的聚乙烯薄膜等制成的封套则较为方便。

干燥剂一般采用硅胶。硅胶的用量应按包装材料的透湿度、包装内容积、包装内吸湿材料的种类与质量及封存期计算。干燥剂用量计算公式如下:

$$W = K_1 ARM + K_2 D$$

式中 W ——干燥剂用量 (kg);

A ——防潮包装材料的总表面积; (m^2);

R ——包装材料平均透湿度, ($g/(m^2 \cdot d)$);

M ——储存期 (月);

K_1 ——温度、湿度关系系数^①;

K_2 ——缓冲材料种类的关系系数^②;

D ——使用缓冲材料的质量, (kg)。

6 充氮封存

密封的包装容器内,充入干燥氮气封存制品,称为充氮封存。这种封存,不仅可以防止金属生锈,还可防止非金属老化、生霉及润滑油脂氧化变质。

操作要点:

(1) 密封包装的要求,与干燥空气封存的相同。

(2) 充入氮气的纯度,不得低于95%;精密产品要求99.5%以上。露点不得高于 $-40^{\circ}C$ 。因此,充入的氮气,需先经过干燥处理。

(3) 充氮包装内部,亦需使用干燥剂。

(4) 充氮前抽出容器中的空气至余压为34.844kPa,然后充入氮气至压力为0.11~0.13MPa (1.1~1.3atm)。

这六种防锈方法的特点和适应范围的比较列于表

8-8-6。

表 8-8-6 几种防锈方法的比较

特 征	水剂防锈	油料防锈	气相防锈	可剥性塑料防锈	干燥空气封存	充氮封存
对机械制品大小的限制	一般不适于很大的工件	不 限	不 限	一般不适用于很大的工件	不 限	不 限
对机械制品结构的限制	不适用于结构很复杂、特别是有深孔的制件	硬膜油料不适用于结构很复杂的制件	不 限	不适用于结构很复杂,特别是有深孔的制件	不 限	不 限
对机械制品材质的限制	应注意对非铁金属的适应性	应注意对非铁金属及非金属的适应性,不能用于忌油产品	应注意对非铁金属及非金属的适应性	应注意对非铁金属的适应性	不 限	不 限
机械制品表面预处理的要求	水剂清洗液洗净,表面亲水	清洁干燥	清洁干燥	清洁干燥	清洁干燥,施用或不施用防锈材料	清洁干燥,施用或不施用防锈材料
需要的包装	防锈纸或塑料薄膜包装或采用一定容器作全浸式包装	耐油纸、塑料薄膜包装或采用一定容器作全浸式包装	直接气相纸包,加或不加密封包装,其他气相防锈材料应予一定密封	一般可省去内包装	金属容器或气密性封套	金属容器或气密性封套

① 详见 GB4879 附录 C。



(续)

特 征	水剂防锈	油料防锈	气相防锈	可剥性塑料防锈	干燥空气封存	充氮封存
施用工 艺是否复 杂	简 单	简 单	简 单	较 麻 烦	简 单	较 复 杂
需 要 的 特 殊 装 备	可使用清洗、涂 覆、包装的联合装 置	可使用清洗、涂 覆、包装的联合装 置	可使用清洗、涂 覆、包装的联合装 置	可 不 需 要	封焊金属 容器或封套 的工具	充氮装 置及封焊 工具
启封是 否方便	方 便	用厚油时不便	方 便	方 便	方 便	方 便
封 存 费 用	低	视所用材料而 不同	视所用材料而 不同	材料较贵	低	低
封 存 材 料 能 否 回 收	不 能	不 能	不 能	可 回 收 几 次	容 器 及 干 燥 剂 可 回 收	容 器 及 干 燥 剂 可 回 收
启 封 后 易 否 生 锈	留有一定防锈 材料层	留有防锈油层	易 生 锈	留有防锈油层	如未施用 防锈材料,易 生锈	如未施 用防锈材 料,易生锈

7 防锈包装

金属制品即使在生产过程中及最终封存时都使用了合格的防锈材料及合理的工艺,但内外包装不合理,产品仍然会生锈。

本节只概述直接与防锈有关的内包装问题,不涉

及外包装及装璜问题。

7.1 包装材料

凡与产品直接接触的材料,应无腐蚀性。不与产品直接接触的,不可放出有腐蚀性的气体。包装材料见表 8-8-7。

表 8-8-7 常用包装材料

类别	材料名称
原纸	羊皮纸、电容器纸、中性原纸等
防锈类	苯甲酸钠纸、气相防锈纸、气相防锈塑料薄膜、气相防锈缓冲材料
防潮、防水类	中性石蜡纸、聚乙烯薄膜、塑蜡复合纸、塑料复合纸、铝塑布复合膜、铝塑薄膜、金属箔、浸胶布等
容器	纸盒、木盒、塑料容器、金属容器等
衬垫材料	泡沫塑料、充气塑料垫、纸屑、塑料丝、羊毛毡、丝绒、绒布等
干燥剂	硅胶、分子筛、气相防锈吸潮剂
胶带	压敏胶带、气相防锈压敏胶带

7.2 防锈包装方法分类和有关注意事项^①

防锈包装分类与包装分级见表 8-8-8 与表 8-8-9。

防锈包装中注意事项:

(1) 金属制品在进行防锈包装以前,要求无锈、清

净。

(2) 制品如果是组合件,最好能进行解体防锈处理。精密组合件必须在组合前进行防锈。

① 详见 GB4879。



表 8-8-8 防锈包装分类

代 号	名 称	说 明	
M-1	防潮、防水包装	制件经清洗、干燥后, 直接采用防潮、防水包装	
M-2 防锈油脂包装	M-2-1	涂覆防锈油脂	制件涂覆硬膜防锈油后, 不需采用内包装
	M-2-2	涂覆防锈油脂、包裹内包装纸	制件涂覆防锈油后, 采用耐油、无腐蚀性内包装纸包裹
	M-2-3	涂覆防锈油脂、塑料袋包装	制件涂覆防锈油脂后, 装入塑料薄膜袋中, 根据需要热压焊封或带密封
	M-2-4	涂覆防锈油脂、铝塑薄膜包装	制件涂覆防锈油脂后, 装入铝塑薄膜袋中, 热压焊封
M-3 气相防锈材料包装	M-3-1	气相缓蚀剂包装	均匀放置气相缓蚀剂的粉剂、片剂或丸剂后, 再包装, 剂的用量为 m^3 空间 $\geq 35g$, 距防护面 $< 30cm$
	M-3-2	气相缓蚀纸包装	制件用气相防锈纸包装后, 用塑料袋或容器密封
	M-3-3	气相塑料薄膜包装	将涂布气相防锈材料的一面朝内包装, 袋口热压焊
M-4 密封容器包装	M-4-1	金属刚性容器密封包装	制件涂防锈油脂后, 用耐油、无腐蚀性包装材料作内包装, 充填缓冲材料、装入金属刚性容器密封包装
	M-4-2	非金属刚性容器密封包装	将防锈后的制品, 装入有防潮性能的非金属刚性容器密封, 即塑料容器中, 用热压焊或带密封
	M-4-3	刚性容器中, 采用防锈油浸泡包装	制件装入金属、非金属刚性容器中, 用全浸型防锈油完全浸渍后再密封
M-5	密封系统的防锈油包装	内腔密封系统内, 采用刷、喷、注入等方法加入气相防锈油后密封包装, 用量按内腔空间 $6kg/m^3$ 计	
M-6 可剥性塑料包装	M-6-1	热浸型可剥性塑料包装	必要时, 制件可按其形状包扎无腐蚀的纤维织物(布)或铝箔后, 在规定的温度下热浸涂覆
	M-6-2	溶剂型可剥性塑料包装	在室温下, 一次或多次涂覆, 在多次涂覆时, 每次涂覆后必须待前一次涂覆层的溶剂全挥发后, 再涂覆
M-7	贴体包装	制件防锈后, 采用硝酸纤维、醋酸纤维、乙基丁基纤维或其他塑料膜片作透明包装, 真空成形	
M-8	充氮包装	制件清洗、干燥后, 放入金属容器或透气、透湿小的非金属容器和复合塑料包装袋后, 充氮密封包装	
M-9 干燥空气包装	M-9-1	刚性容器干燥空气包装	制件清洗、干燥后, 与适量的细孔硅胶等干燥剂一并放入, 金属、非金属刚性容器中密封包装
	M-9-2	封套干燥空气包装	制件清洗、干燥后, 与适量的细孔硅胶等干燥剂一并放入铝塑复合膜的封套中, 密封包装

(3) 非铁金属与非金属材料的组合件, 应选用与之相适应的防锈包装材料。

(4) 金属制品的清洗、防锈及包装应尽可能的连续进行, 不要中断。如果中断时间较长, 必须采取临时防锈措施。

(5) 金属制品如有边缘尖端等突出部位, 要用缓

冲措施, 防止损伤包装。制品在包装容器内, 应设法加以固定或缓冲, 防止其移动或损伤包装。

(6) 包装材料, 缓冲材料等, 应有足够的强度, 其重量要轻, 所占空间要小。

(7) 应按表 8-8-9, 根据所需防锈期来选用防锈材料和包装方法。



表 8-8-9 防锈包装分级

级别	防锈期限 (a)	防锈包装要求	
		清洗干燥	防锈包装方法
A 级	2~5	制件表面完全无油污、汗迹、水痕	M-2-3、M-2-4、M-3、M-4、M-6、M-8、M-9 方法单独或组合使用
B 级	2~3	制件表面完全无油污、汗迹、水痕	M-2-3、M-2-4、M-3、M-4、M-6-2、M-7、M-8 方法
C 级	1~2	制件表面无污物油迹	M-1、M-2、M-3 方法
D 级	0.5~1	制件表面无污物、允许残留少量油迹	M-1、M-2-1、M-2-2、M-3 方法

8 典型机械制品的防锈工艺

机械制品种类繁多,大至重型机械成套设备,小至

精密仪表零件,其防锈工艺差别很大。下面介绍几种有代表性的机械制品防锈工艺要点(表 8-8-10)。

表 8-8-10 防锈工艺要点

典型制品	防锈工艺要点及防锈工序	参照标准
轴承	生产批量大、工序多、储备量大、储存期长,要求防锈工艺简单、可靠。成品单件清洗防锈、成品油封等包装	GB8579—85 滚动轴承包装 HB/Z67—81 航空轴承封存工艺
量具	批量大、品种规格多、周期快、精度高,防锈工艺严格,要求简便,一般装盒包装;工序间防锈,制品清洗防锈、包装	JB2525—85 量具刃具防锈技术条件 JB/Z132—85 量具刃具工艺规程
机床	批量不大、零件品种多、精度高。有不少大型铸件,停放期长短不一,故需多种防锈方法。工序间防锈,制品油封、包装、装箱	ZBJ50013—89 机床防锈技术条件 JB/Z134—89 机床防锈工艺规程
光学仪器	精密度高、结构细致复杂。多种金属与非金属材料防锈,特别是光学玻璃。微调系统和轴套要特殊润滑防锈,光学系统防霉、防雾。工序间防锈,成品封存、包装装箱	ZBY251—84 光学仪器防霉、防雾、防锈技术条件
重型机械	部件大、小批甚至单件生产,加工周期长短不一,有的需数十日,部件单件包装,储运时常常露天存放,环境苛刻。材料防锈、工序间防锈,装配件清洗、油封防锈、包装	JB/ZQ4001—83 重型机械防锈包装通用技术条件
汽车	生产量大,防锈要求高,储存期长,大多数是部件内腔防锈。工序间防锈,备件防锈、包装	

第9章 金属和保护层的腐蚀^{[15][16]}

1 基本概念

1.1 腐蚀定义及其分类

材料(含保护层)与所处环境中的介质之间因发生化学、电化学作用而引起的劣化和损坏称为“腐蚀”。

腐蚀分类一般按腐蚀机理、环境状态或破坏形式划分。根据腐蚀机理,分为化学腐蚀和电化学腐蚀。根据腐蚀的环境,分为自然环境腐蚀(如大气、海水、土壤腐蚀等)和工业环境腐蚀(如酸、碱、盐、工业水等)。根据产生的破坏形式,分为全面腐蚀和局部腐蚀。

表 8-9-1 列出腐蚀主要破坏形式与实例。



表 8-9-1 腐蚀主要破坏形式与实例

破坏形式	实 例
均匀腐蚀	碳钢、镀锌层等在大气环境下的表面腐蚀
点蚀(孔蚀)	不锈钢、铝合金、铜合金、装饰性铬镀层等在自然环境下的表面腐蚀
晶间腐蚀	不锈钢、铝合金在化工介质、海水、大气中沿金属晶粒边界发生和发展的腐蚀
选择性腐蚀	二元或多元合金在特定环境下,其活性组元发生选择性溶解,如黄铜脱锌,灰口铸铁石墨化等
电偶腐蚀	两种不同电位金属互相接触,在腐蚀过程中引起负电位金属加速腐蚀,如由不同金属组合的紧固件,铆接件,列管与管板的腐蚀
缝隙腐蚀	发生在金属与金属或与非金属间连结缝隙间的局部腐蚀,如金属铆接、螺栓连接、法兰盘垫圈间的缝隙内部腐蚀
应力腐蚀断裂	金属及其合金在固定拉伸应力和特定介质的共同作用下所引起的腐蚀断裂,如硝脆、碱脆、氯脆、氢脆
腐蚀疲劳	交变循环应力和腐蚀介质共同作用下引起材料或构件的破裂,如海洋、矿山环境中牵引钢索、弹簧、泵轴等的抗疲劳强度降低等

1.2 金属腐蚀机理及保护层防护原理

金属腐蚀机理分为化学腐蚀和电化学腐蚀过程。影响腐蚀因素包括材料的内在因素和环境介质的外部因素等(参见工程材料卷第2篇第9章4节)。

在基体金属材料上施加保护层或表面合金化处理,以达到对基材的腐蚀防护。保护层防护原理分为两类。

1. 阻隔作用 利用保护层使基体金属与腐蚀性介质隔离,以达到防护的目的。如有机涂层、复合涂层、镀复较基材为阴极性的复层、表面合金化和转化膜等。此类方法应力求提高保护层致密性,消除或减少孔隙度,防止由此而导致基体金属的电偶腐蚀。

2. 电保护作用 在基体表面电镀、喷镀或热浸较基材为阳极性复层或富锌涂层,利用其牺牲阳极性质,使基体金属达到阴极保护的效果。如钢上电镀锌、喷镀或热浸锌、铝等。此类方法的保护性与覆层厚度密切相

关,厚度与保护寿命成正比。

2 机械产品常见的腐蚀类型和抑制措施

2.1 大气腐蚀

材料因受大气中的水分、氧和污染物质(含有害气体及沉积物)等的电化学或化学作用而引起的腐蚀称之为大气腐蚀。

除金属在干燥大气中其表面形成氧化膜或硫化膜导致光泽消失等现象是属于化学腐蚀外,在大多数情况下是金属在潮湿大气中发生表面液膜下的电化学腐蚀。

2.1.1 大气腐蚀分类

按腐蚀环境特征可分为乡村、城市、工业、海洋等大气腐蚀。

按金属或保护层表面湿润程度分为:

- (1) 干燥大气腐蚀。表面上完全没有水膜存在时的腐蚀。
- (2) 潮大气腐蚀。在不可见液膜下的腐蚀。
- (3) 湿大气腐蚀。由于凝露、下雨、融雪等原因在可见液膜下的腐蚀。

2.1.2 影响大气腐蚀的主要因素

1. 气象

a. 湿度 是表面液膜形成而引起腐蚀发生的主要因素,液膜的厚度及其干湿交替频率对腐蚀速度有直接影响。图 8-9-1 为液膜厚度与腐蚀率关系的示意图;干湿交替频率越大,一般情况腐蚀速度加快。

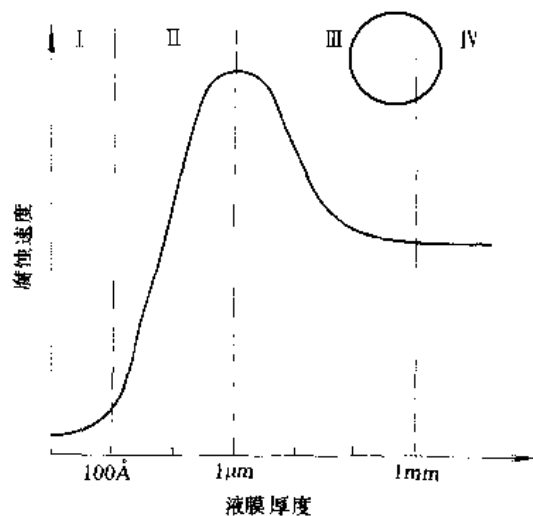


图 8-9-1 液膜厚度与腐蚀率关系示意图



各种金属都有其腐蚀临界湿度,超过此值,腐蚀速率剧烈增加。常见金属的临界相对湿度见表8-9-2。

表8-9-2 常见金属的临界相对湿度

材 料	钢铁	锌	铝	铜	镍
临界相对湿度 (%)	65	70	76	60	70

注:表面污染、积尘或生成易吸湿性产物时,其临界相对湿度将有所下降。

b. 气温 高温高湿时,气温升高加速腐蚀,但在临界湿度附近时,因气温升高导致液膜消失反而减慢腐蚀;温差交变由高温骤降时(如晚间)使大气中水气凝聚成膜,可加速腐蚀过程。

c. 凝露 使金属表面形成液膜,易于腐蚀发生。

d. 降雨 降雨对大气腐蚀有两种影响:一是增大了大气的相对湿度,使金属表面湿化,破坏腐蚀产物的保护性从而加速了腐蚀过程;另一是因雨水可洗掉金属表面污染物和积尘,从而减少了液膜的腐蚀性而减缓腐蚀。总的说来,雨水多的地区空气潮湿腐蚀严重。酸雨区的雨水酸度大,腐蚀更严重。

e. 风向风速 在有污染源的环境中,风向对腐蚀影响较大。风速影响表面液膜的干湿交替,在风砂环境中风速对腐蚀有一定影响。

2. 大气中的腐蚀性介质 虽然在全球范围内大气的主要成分是几乎不变的,但在不同环境中尚含有不同的其他杂质,也称为大气污染物质,其组成如表8-9-3所示。

表8-9-3 大气污染物质的主要组成

气 体	固 体
硫化物: SO ₂ SO ₃ H ₂ S	灰尘、NaCl CaCO ₃ ZnO 金属粉末、氧化物 粉、煤粉
氯化物: Cl ₂ HCl	
氮化物: NO NO ₂ NH ₃ NO _x	
碳化物: CO CO ₂	
其他: 有机化合物	

上述污染物质多数是腐蚀加速剂,其中以SO₂、NaCl和固体灰尘影响最大。

a. SO₂ 来源于工业和生活的燃料废气,其溶解于金属表面水膜时,成为强腐蚀性介质,使金属表面生成易溶性亚硫酸盐,并引起了自催化的循环加速腐蚀作用。许多金属(如铁、锌、铝等)的腐蚀速度和大气中SO₂含量呈直线上升的关系。

b. NaCl 在海洋大气中含有较多微小的NaCl固体颗粒,经沉降在金属表面后,吸湿形成氯化物电解

液,破坏金属上的保护膜而加速腐蚀过程。离海岸线远近空气中NaCl含量差异甚大,腐蚀速度可相差数十倍。

c. 固体尘粒 它对腐蚀影响一般有三种情况,一是尘粒本身是具有腐蚀性(如铵盐颗粒)溶解于液膜中成为腐蚀介质,二是本身无腐蚀性,但能吸附腐蚀介质(如炭粒能吸附SO₂和水分子等)而形成腐蚀介质;三是本身无腐蚀性和吸附性如砂粒,但落在金属表面上使砂粒与金属表面的缝隙间易于水分凝聚,发生局部腐蚀。

2.1.3 防止大气腐蚀的主要措施 (表8-9-4)

表8-9-4 防止大气腐蚀的主要措施

防护措施	说 明
1. 提高材料的耐蚀性	例如含有少量的铬、镍、铜、磷等元素的低合金钢,在工业大气中可提高耐蚀性1~2倍
2. 覆盖层防护	喷镀锌、铝金属或电镀锌、热浸锌、富锌涂层等。用喷涂金属与涂装复合保护一般可在户外使用20年以上
3. 暂时性防护	适用于工序间及贮运期的防护,如防锈油脂、气相缓蚀剂,可剥性塑料、防锈纸或胶带等
4. 完善仓储条件	降低储存环境的相对湿度,使之在40%以下;净化大气污染物;或用环境封存处理
5. 合理设计与选材	避免设计及加工过程中的潜在腐蚀因素;合理选材

2.2 应力腐蚀

2.2.1 应力腐蚀特征

金属及其合金在固定拉伸应力和特定腐蚀介质的协同作用下而引起金属的腐蚀断裂,称为应力腐蚀断裂(SCC)。其主要特征:发生断裂前一般无明显征兆,一旦发生,骤然扩展,断裂所需应力,一般低于材料的屈服强度。断口为脆断型,金相观察为沿、穿晶或混合型腐蚀。

2.2.2 应力腐蚀发生的基本条件

1. 应力 来源于工作应力、残余应力和腐蚀产物生成后引起的张应力。在机械制造过程中,热加工、冷加工、装配等工艺可引起热应力、相变应力、形变应力等残余应力。材料的表面裂纹、缺陷或点蚀、缝隙腐蚀等都将造成应力集中,促进应力腐蚀断裂的发生和发展。

2. 腐蚀介质 引起应力腐蚀的介质往往是溶液



中的微量组分或特定离子,如微量氨会促进黄铜应力腐蚀断裂,微量的氯离子和氧即可导致奥氏体不锈钢的腐蚀断裂。

腐蚀介质的温度上升,将加剧应力腐蚀发生过程。

表 8·9-5 列出主要合金易于发生应力腐蚀断裂的敏感介质。

表 8·9-5 主要合金易于发生应力腐蚀断裂的敏感介质

合金	腐蚀介质
碳钢及低合金钢	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, NH_4NO_3 , NaOH , KOH , FeCl_3 , H_2S , MgCl_2 , CaCl_2 , H_2SO_4 - HNO_3 , NaF , CO_2 + H_2O , 工业及海洋大气, 海水
不锈钢	MgCl_2 , BaCl_2 , NaCl 溶液, NaCl - H_2O_2 , H_2S , H_2SO_4 - HNO_3 , NaBr , NaI , Na_2HPO_4 , 热浓碱, 硝酸盐, 浓缩锅炉水, 海水, 海洋大气, 工业大气, 高温高压水、水蒸汽
铝合金	NaCl - H_2O_2 , H_2S (湿), HgCl_2 , CaCl_2 , MgCl_2 , NaCl , NH_4Cl , 水蒸汽, 海水, 海洋大气, 工业大气
铜合金	氨蒸气和溶液, 胺、水蒸汽, 含氨大气, FeCl_3 , MgCl_2 , HgNO_3 , K_2CrO_4 , SO_4 (湿), HNO_3 , AgNO_3 , NH_3 + CO_2
镍基合金	HgCl_2 , $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$, 熔融烧碱, 氢氟酸, 氟硅酸, 高温水 (>350°C)

2·2·3 应力腐蚀的主要防止方法

(1) 设计加工应注意避免造成应力集中和产生腐蚀的条件。如表面缺陷、裂纹、机械划伤和产品几何形状引起的应力集中;消除引起缝隙腐蚀、点蚀等的潜在因素;减少装配应力;避免腐蚀介质在产品中的积累与浓缩。

(2) 消除调整残余应力。采用热处理或振动等机械法消除表面残余张应力;采用喷丸、表面压延等增加表面压应力。

(3) 采用表面保护方法。如渗氮或覆盖保护层提高表面耐蚀性;改变内应力分布;增加压应力。

(4) 阴极保护。

(5) 改善环境条件。去除溶液中的有害介质或加入缓蚀剂。

2·3 腐蚀疲劳

交变循环应力和腐蚀性介质的共同作用下所引起的材料或构件的破坏称为腐蚀疲劳,简称CF。如船舶的推进器、涡轮及其叶片、弹簧、泵轴和泵杆、钢丝绳等常出现这种破坏。

2·3·1 腐蚀疲劳的特征

它是电化学腐蚀与机械疲劳的联合作用,但其破坏性远较机械疲劳和腐蚀作用的单纯叠加严重。其主要特征:

(1) 腐蚀疲劳一般没有明显的疲劳极限,见图 8·9-2。

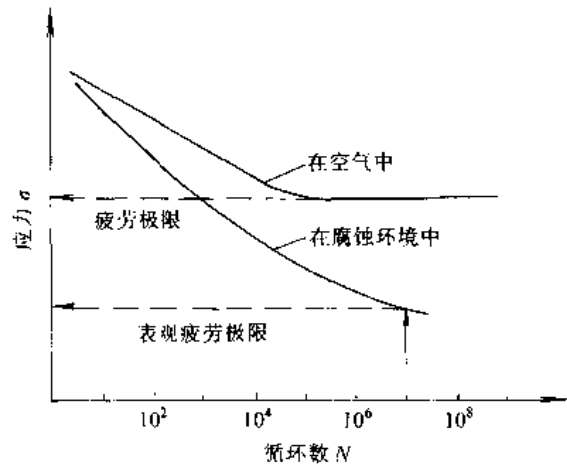


图 8·9-2 疲劳和腐蚀疲劳的 S-N 曲线

(2) 与应力腐蚀不同,纯金属也会发生腐蚀疲劳,对腐蚀介质没有特定性。

(3) 与静强度不存在比例关系。

(4) 腐蚀疲劳裂纹多起源于表面腐蚀坑或表面缺陷,往往成群出现。腐蚀疲劳裂纹主要是穿晶的,但也可能出现沿晶或混合的。

(5) 断口为脆性断裂,发生时无明显预兆。

2·3·2 影响因素

1. 力学因素

a. 应力 平均应力的大小和应力振幅的大小都会对腐蚀疲劳产生影响,就交变形式而言,易于产生腐蚀疲劳的顺序是:对称应力>单向交变应力>双向交变应力;在弯曲时:扭转弯曲>旋转弯曲>拉压弯曲。

b. 交变频率 频率对腐蚀疲劳影响很大,频率降低时,腐蚀疲劳强度及其寿命随之降低。

c. 应力集中 表面缺口处引起应力集中,容易诱



发裂纹,故对腐蚀疲劳初期影响较大,但随循环周次增加,对裂纹扩展的影响减弱。

2. 环境因素

- a. 温度 温度升高,材料的耐腐蚀疲劳性能下降。
- b. 介质 介质的腐蚀性愈强,腐蚀疲劳强度愈低。但腐蚀性过强时,可能反而减慢其过程。
- c. 外加电源 阳极极化促进腐蚀疲劳,阴极极化抑制腐蚀疲劳,但当阴极极化进入析氢电位区时,对高强度钢的耐腐蚀疲劳性能产生有害作用。

3. 材料因素

- a. 材料的耐蚀性 在腐蚀环境中工作的构件,增加钢材的强度极限并不能提高其腐蚀疲劳强度。一般耐蚀性较高的材料腐蚀疲劳敏感性小;耐蚀性较差的材料,腐蚀疲劳敏感性大。
- b. 表面应力状态 表面残余拉应力降低材料的疲劳强度,而残余压应力对提高腐蚀疲劳强度有利。

2.3.3 防止腐蚀疲劳的主要措施

- (1) 改进设计,如减少应力集中,加大危险截面尺寸等。
- (2) 消除残余拉应力。
- (3) 注意结构平衡防止颤动、振动或共振。
- (4) 在介质中添加缓蚀剂。
- (5) 施加适当的表面保护层,可改善腐蚀疲劳性能(表 8-9-6)。
- (6) 降低表面粗糙度等级;形成表面压应力层;或阴极保护。

表 8-9-6 保护层对 40Cr 和 35CrMo 钢的腐蚀疲劳性能的影响

保护层	腐蚀疲劳强度 (10 ⁷ 循环次数)	
	40Cr	35CrMo
未经处理	118	116
离子氮化	154	151
电镀镍	162	181
喷镀铝(封闭)	302	314
喷镀铝(未封闭)	299	—
电镀锌—铁合金	509	—

注:腐蚀环境为 NaCl 的质量分数 3%。

2.4 磨损腐蚀

金属表面与介质及其间固体物在相对运动的条件下,由于摩擦而导致的磨损和介质对金属的腐蚀两者

联合作用引起的金属破坏称为磨损腐蚀。

2.4.1 微动腐蚀

在氧气存在的条件下,若沿着受载荷而紧密接触的表面因轻微的振动或往复的相对运动而在接触面上出现小坑或细槽的损坏现象,称为微动腐蚀。这种腐蚀历程涉及冷焊、局部断裂和氧化三个过程。即受压表面上微小突出部分发生冷焊,当沿接触面相对运动时,冷焊区部分断裂,形成微小碎片,而摩擦又氧化了碎片,周而复始使接触面形成小坑或细缝。

减少或抑制微动腐蚀方法:

- (1) 阻止接触面的相对运动,如增加接触面的法向压力;拧紧螺钉;添加垫片等。
- (2) 采用润滑剂减少磨损。
- (3) 电镀铅、镉等金属降低摩擦系数或镀高熔点铬层使不易发生冷焊。
- (4) 提高接触面硬度如合理选材、渗氮、喷丸处理等。

2.4.2 冲击腐蚀

金属表面与腐蚀流体在高速相对运动下因腐蚀磨损而引起金属表面的损坏,称为冲击腐蚀。若流体中含较硬的固体悬浮颗粒,在这种双相流的条件下,因高流速及固体物的磨损作用将加剧腐蚀。如铅在硫酸中,铅或不锈钢在浓硝酸中其腐蚀比在静态或低流速的单相流体严重得多。尤其在管道的拐弯及流体入口端常见冲击腐蚀的破坏现象。

抑制或减少冲击腐蚀的措施:

- (1) 主要从选材上考虑材料的耐蚀性与耐磨性。一般在保证耐蚀性前提下采用固溶化处理提高材料硬度。
- (2) 在介质中添加缓蚀剂,过滤固体颗粒,降低操作温度。
- (3) 设计时考虑降低流速的措施。如增大管径,增加引管等。
- (4) 堆焊或等离子喷焊耐蚀硬质合金或表面合金化处理。

2.4.3 空泡腐蚀

流体与金属构件作高速运动,引起流体压力分布不均匀,在金属的低压区形成流体空泡,伴随空泡迅速破灭而产生冲击波,经多次空泡的产生与破灭引起金属累积破坏而产生类似孔蚀的破坏称为空泡腐蚀或汽蚀。水轮机、汽轮机叶片和船用螺旋桨背面常出现此类



破坏。

防止空泡腐蚀的主要方法:

- (1) 合理设计。从流体力学考虑改善几何构型,降低压力差以减少空泡的形成。
- (2) 降低表面粗糙度,以减少空泡成核几率。
- (3) 构件上衬高弹性橡胶吸收冲击波。
- (4) 采用耐蚀、耐磨堆焊层。

3 腐蚀试验与评价方法

3.1 腐蚀试验目的与注意事项

3.1.1 试验目的

- (1) 控制产品质量与仲裁。
- (2) 开发新材料、新产品、新工艺。
- (3) 合理选材与寿命评估。
- (4) 分析失效原因提出相应防护对策。

3.1.2 一般注意事项

1. 试样 应掌握材料的原始数据,以便分析试验结果;形状宜简单,一般为平板,圆片、圆棒等其重量应便于称重;表面粗糙度要均匀,其粗糙度应小于 $6.3\mu\text{m}$;试验前表面去锈脱脂,其后防止再污染;保护层切边应加封闭。

2. 试验 应尽量采用国家标准;对室内模拟加速时,其试验参数应选择主要因素避免复杂化,提高介质温度可起加速作用,但应考虑提高后引起介质分解、挥发、脱氧等负反应;全浸试验介质体积与试样面积比例一般为 $20\sim 200\text{mL}/\text{cm}^2$ 。

3.2 金属材料的腐蚀试验方法

参见工程材料卷第12篇第10章2节。

3.3 保护层的腐蚀试验方法

1. 自然条件的暴露试验方法 户内试验参见GB11377-89,户外试验参见GB6464-86。

2. 盐雾试验 分为中性盐雾、醋酸盐雾、铜盐加速醋酸盐雾三种,分别参见GB6458-86,GB6459-86,GB6460-86。

3. 腐蚀膏试验 参见GB6465-86,仅适用于装饰性铬镀层。

4. 电解腐蚀试验 参见GB6466-86,亦适用于装饰性铬镀层。

3.4 保护层腐蚀试验后评级方法

对底材为阴极性保护层评级参见GB6461-86,对阳极性保护层的评级参见GB12335-90。

参考文献

- [1] 材料保护.1990,23(1,2).武汉:武汉材料保护研究所
- [2] 表面处理工艺手册编辑委员会.表面处理工艺手册.上海:上海科技出版社,1991
- [3] 中国机械工程学会热处理手册编辑委员会编.热处理手册 第1卷 第2版.北京:机械工业出版社,1991
- [4] ASM Handbook Committee Metal.Vol.5 Surface Cleaning Finishing and Coating OHIO. 9ed American Society for Metals, 1985
- [5] 梁梦兰.表面活性剂和洗涤剂:制备、性质、应用.北京:科技文献出版社,1990
- [6] 根本正夫 Electroplating & Chemical Plating Guide Book 东京:东京镀金材料协同组合,1987
- [7] 曾华梁等编.电镀工艺手册.北京:机械工业出版社,1991
- [8] 電気鍍金研究会編 めつき教本.東京:日刊工業新聞社,1991
- [9] 美国焊接学会编.热喷涂原理与应用技术.麻毓璜等译.成都:四川科技出版社,1987
- [10] 武汉材料保护研究所编.钢铁化学热处理金相图谱.北京:机械工业出版社,1980
- [11] Philip C. Johnson Vapor Phase Deposition Processes in the '90s. Metal Finishing. Vol.1991(4)
- [12] 涂料研究所编.涂料品种.北京:化学工业出版社,1983
- [13] 石渡淳介等编.最新工業塗裝技術.日本:幸書房,1977
- [14] 周静好.防锈技术.北京:化学工业出版社,1988
- [15] 中国腐蚀与防护学会编.金属腐蚀手册.上海:上海科学技术出版社,1987
- [16] 李金桂,赵国产主编.腐蚀和腐蚀控制手册.北京:国防工业出版社,1988



索 引

1. 本索引按汉语拼音字母表顺序排列,都相同的字按总笔画数排列。如笔画相同,则按起笔形依“横竖撇点折(一丨丿、乙)顺序排列。
2. 非汉字开头的索引词依次排在本索引最后部分,其顺序为数字、拉丁字母、希腊字母。
3. 主索引词顶格排,二级词前空一格。复合索引词,以主词为主体,其限定词用逗号分开,列在主词之后。

A

安全技术,铸造 2-303
 安全技术,锻造 3-220
 安全技术,冲压 4-200
 安全技术,冲压设备 4-201
 安全技术,冲压模具 4-203
 安全技术,焊接 6-249
 安全技术,胶接 6-260
 安全技术,涂装 8-86
 安全装置,传递模 5-27
 凹割脱模机构,注射模 5-39
 凹模 5-111
 奥氏体 7-14,7-17
 奥氏体不锈钢焊接 6-134
 奥氏体沉淀硬化不锈钢焊接 6-135
 奥氏体成分均匀化 7-14
 奥氏体低温钢焊接 6-140
 奥氏体晶粒度 7-16
 奥氏体耐热钢焊接 6-131

B

拔长 3-40
 拔长模膛 3-72,3-78,5-79
 拔模斜度,锻件 3-74
 白点,锻压加工 3-62
 白点,焊接 6-5
 白口 2-780
 白口,焊接 6-143
 白口,铸铁焊补 6-147
 白口组织(见白口) 6-143
 摆动辗压(见摆辗) 3-149
 摆角 3-150
 摆头,摆辗机 3-192
 摆头转速,摆辗 3-151

摆辗 3-149
 摆辗机 3-192
 摆辗挤压 3-150
 摆辗铆接 3-150
 摆辗缩口 3-150
 斑块状偏析 3-50
 板材成形区域图 4-11
 板材矫正(见辊矫) 4-28
 板料成形 3-7,3-13
 板料成形理论 3-13
 板料冲压性能 4-21
 板式输送机装置 3-215
 伴生现象,铸件凝固过程 2-16
 半奥氏体沉淀硬化不锈钢焊接 6-135
 半冲孔 4-45
 半固态压铸 2-89
 半马氏体 7-41
 半熔化区 6-7
 半溢式压缩模 5-47
 棒料剪切机 3-194
 包套锻粗,锻造 3-158
 包装 1-18
 包装热处理 7-88
 薄壳制芯 2-82
 保护层防护原理 8-94
 保护气体 6-41,6-48
 保护涂料,热处理 7-88
 保温补贴 2-41
 保温浇注炉(见加热式浇注设备) 2-184
 保温冒口 2-41
 保温时间,退火 7-34
 爆炸成形 4-121
 爆炸法,焊后消除应力 6-20
 爆炸焊 6-89
 爆炸极限,涂装 8-86



爆炸喷涂 8-4,8-32
 爆炸膨胀试验,焊接 6-13
 爆炸胀管 4-138
 杯突试验,冲压 4-22
 贝氏体 7-20
 贝氏体等温淬火 7-52
 比例控制器,焊接 6-211
 闭环控制,焊接 6-211
 闭式拉深压力机 4-148
 闭式压力机 4-145
 变薄拉深 4-98
 变薄拉深模 5-13
 变薄率 4-119
 变薄系数,拉深 4-98
 变薄旋压 4-118
 变速送丝系统(见弧压反馈系统) 6-30
 变形,锻压 3-161
 变形,模具 5-125
 变形,铸件 2-308
 变形,超塑性 3-109
 变形程度,拉深 4-99
 变形分布状态 3-9
 变形控制,冲压 4-15
 变形力,冲压 4-119
 变形率,卷板 4-67
 变形趋向性,冲压 4-13
 变形热处理(见表面热处理) 7-89
 变形弯矩,卷板 4-65
 变形系数,锻压 3-135
 表面淬火 7-89
 表面调整 8-57
 表面多元合金化 8-48
 表面功能性覆层技术 1-8
 表面合金化 8-42
 表面活性剂清洗 8-10
 表面强化技术,热处理 7-9



- 表面热处理 7-89
 表面完好率, 冲压 4-48
 表面预处理 8-5, 8-39
 玻璃模 5-5
 波浪变形 6-20
 波纹状偏析, 锻压 3-50
 波形刃口, 冲压 4-36
 补焊(见焊补) 6-142
 不变薄旋压 4-117
 不等温应力松弛试验法, 焊接 6-13
 不熔化极气体保护焊 6-47
 不完全退火 7-31
 不完全重结晶区, 焊接 6-8
 不锈钢锻造 3-156
 不锈钢钝化 8-67
 不锈钢焊条 6-28
 不锈钢铸件热处理 2-173
 不溢式压缩模 5-47
 步进式缝焊 6-72
 步进式加热炉, 锻造 3-26
 步进运送 7-171
- ### C
- 材料保护 8-3
 材料保护技术 8-3
 材料改性和处理 1-4
 材料破裂, 冲压 4-11
 残余奥氏体 7-24
 残余扩散氢 6-9
 残余氢 6-5
 残余应力, 淬火 7-56
 草酸盐膜 8-61
 草酸阳极氧化 8-61
 侧浇口, 压铸机 5-65
 侧浇口, 注射模 5-36
 侧刃, 冲模 5-8
 测量控制技术, 锻造 3-38
 层间温度 6-122
 层状撕裂 6-10
 插销试验法, 焊接 6-13
 差压铸造 2-4, 2-92
 差压铸造机 2-298
 产品工艺过程设计 1-14
 产品结构工艺性 1-38
 产品生产工艺准备 1-12
 常规工艺 1-7
 常规拉伸试件 4-25
 长棒料轧制 3-144
 超高强度钢焊接 6-123
 超精密加工 1-8
 超滤法 8-86
 超声波焊 6-94, 6-101, 6-178
 超声频电源发生器 6-94
 超声清洗 8-7
 超塑成形 4-115
 超塑性 3-9
 超塑性变形 3-9
 超塑性锻造 3-111
 超音速粉末火焰喷涂 8-30
 超音速气流 6-236
 沉淀强化合金, 焊接 6-163
 沉淀硬化不锈钢, 焊接 6-135
 衬覆, 材料保护 8-5
 称量布料机, 热处理 7-207
 成对轧制 3-144
 成膜物质, 涂装 8-68
 成形, 冲压 4-5, 4-107
 成形度 4-99
 成形工序 5-3
 成形辊锻 3-135
 成形极限 3-10
 成形极限图(FLD) 4-19
 成形角, 楔横轧 3-144
 成形模 5-14, 5-95
 成形模腔 3-72, 3-81
 成形模腔, 模锻 5-83
 齿轮横轧 3-141
 尺寸公差, 铸件 2-21
 充氮封存 8-90
 充型能力 2-3
 充氧压铸 2-88
 冲杯试验 4-23
 冲裁 4-34
 冲裁凹模 5-16
 冲裁间隙 4-34
 冲裁力 4-36, 4-43
 冲裁模 5-9
 冲点装置 6-245
 冲击腐蚀 8-97
 冲孔, 平锻 3-41, 3-90
 冲孔模 5-7
 冲模 5-3
 冲模回转头 4-188
 冲天炉加料机械化自动化 2-177
 冲天炉配料机械化自动化 2-177
 冲天炉熔炼 2-136
 冲天炉微处理机配料装置 2-177
 冲天炉微机系统 2-184
 冲压 4-5
 冲压(成形)工序 5-3
 冲压成形极限 4-18
 冲压方向 4-99
 冲压机械化与自动化 4-167
 冲压三要素 4-5
 冲压压力机 4-142
 冲压液压机 4-155
 冲压自动线 4-181
 抽芯机构, 塑料模 5-51
 抽芯机构, 压铸模 5-75
 初等解析法, 塑性成形过程 3-10
 除油除锈(见“二合一”处理) 8-13
 除油清洗程度 8-15
 除锈, 动力工具 8-14
 除锈, 干喷砂 8-14
 除锈, 高压水喷射 8-14
 除锈, 抛丸 8-14
 除锈, 喷丸 8-14
 除锈, 湿喷砂 8-14
 穿筋, 铝合金锻造 3-160
 穿孔斜轧 3-142
 穿透法 6-56
 穿透焊 6-56
 传递模 5-3, 5-23, 5-52
 传感器, 焊缝跟踪 6-207
 吹塑模 5-4
 吹氧脱碳精炼 2-134
 出件机械手 6-165
 锤 3-162
 锤锻模 5-77
 锤击焊缝 6-19
 锤上模锻 3-62
 垂直分模平锻机 3-179
 垂直分型无箱射压造型 2-71
 纯铁同素异构转变 7-10
 纯钨极 6-48
 磁分离设备 2-189
 磁控带极电渣堆焊 6-115
 磁控高速溅射 8-52
 磁力夹具 6-183
 瓷质阳极氧化 8-61
 粗大晶粒, 铝合金锻造 3-160
 粗化处理 8-39
 粗晶区(见过热区) 6-8
 催化燃烧法 8-86
 脆化 6-134
 脆性断裂 6-18
 淬火 7-39
 淬火, 临界区加热 7-49
 淬火, 降温 7-49
 淬火, 分段 7-49
 淬火, 单液 7-50
 淬火, 双液 7-50



- 淬火,分级 7-50
 淬火,等温 7-52
 淬火,喷射冷却 7-53
 淬火,形变 7-54
 淬火,钢 7-39
 淬火残余应力 7-56
 淬火机 7-185
 淬火机床,感应加热 7-94
 淬火畸变 7-57
 淬火冷却装置 7-180
 淬火裂纹 7-59
 淬火临界冷却速度 7-44
 淬火热应力 7-55
 淬水压床 7-185
 淬火组织应力 7-55
 淬透性,钢 7-39
 淬透性曲线 7-45
 淬硬组织 6-143
 错移 3-41
- ## D
- 搭边 4-38,4-50
 大排距冲天炉(见大排距两排风口冲天炉) 2-136
 大排距两排风口冲天炉 2-136
 大气腐蚀 8-94
 大熔滴过渡 6-39
 大双冲天炉(见大排距两排风口冲天炉) 2-136
 带孔试件 4-25
 带料连续拉深 4-96
 带式永磁分离机 2-191
 单臂液压机 4-155
 单槽树脂砂混砂机 2-207
 单程渗碳(见一段渗碳) 7-133
 单动冲压液压机 4-157
 单轨式加料机 2-183
 单液淬火 7-50
 氨基气氛渗碳 7-126
 氮碳共渗 7-147
 氮碳共渗层 7-152
 刀状腐蚀 6-134
 倒冲机构,弯曲模 5-28
 导电嘴 6-54
 导光系统,激光热处理 7-110
 导料装置,冲模 5-19
 导套,注射模 5-38,5-50
 导向线 4-63
 导正销,冲模 5-8,5-19
 导正销脱料装置,传递模 5-26
 导柱,注射模 5-38,5-50
 等静压模 5-96
 等离子弧堆焊 6-115
 等离子弧焊 6-56,6-154,6-161
 等离子弧切割 6-238
 等离子喷涂 8-4,8-31
 等离子喷涂设备 8-37
 等离子切割-冲裁组合压力机 4-190
 等离子熔化极气体保护焊 6-56,6-59
 等离子熔炼 2-131
 等离子渗碳(见辉光离子渗碳) 7-127
 等离子体化学气相沉积 8-52
 等离子体激发化学气相沉积 8-50
 等速送丝系统(见电弧自调节系统) 6-30
 等温淬火 7-50
 等温锻造 3-3,3-109
 等温冷却 3-60
 等温冷却转变图(TTT图) 7-9
 等温渗氮(见一段渗碳) 7-133
 等温退火 7-37
 等压式焊炬(见正压式焊炬) 6-26
 低镍钢焊接 6-140
 低合金钢焊条 6-28
 低合金钢铸件热处理 2-172
 低合金高强度钢焊接 6-118
 低合金耐蚀钢焊接 6-138
 低匹配,焊接 6-119
 低碳钢焊接 6-117
 低碳马氏体低温钢焊接 6-140
 低温钢焊接 6-140
 低温回火 7-62
 低温磷化 8-57
 低温消除应力法(见温差拉伸法) 6-20
 低压式焊炬(见喷射式焊炬) 6-26
 低压铸造 2-3,2-89
 低压铸造机 2-295
 滴注式气体渗碳 7-122
 底盘不动固定转子混砂机 2-203
 点焊 6-69
 点焊焊接性 6-69
 点焊机器人 6-227
 点浇口,压铸机 5-66
 点浇口,注射模 5-36
 点蚀 8-94
 点状偏析 3-49
 电磁成形 4-122
 电磁锤法(见强磁脉冲矫正法) 6-26
 电磁式铁料翻斗 2-178
 电磁式自动导引运输车 4-193
 电磁吸盘 4-168
 电动夹具 6-183
 电动螺旋压力机 3-184
 电镀 8-3
 电镀电源 8-28
 电镀设备 8-28
 电镀线自动控制台 8-28
 电镀自动生产线 8-28
 电弧-压缩空气气刨 6-239
 电弧电压 6-30,6-33,6-41
 电弧焊 6-30
 电弧加热热处理 7-114
 电弧炉炼钢 2-123,2-127
 电弧螺柱焊 6-96
 电弧喷涂 8-4,8-31
 电弧喷涂设备 8-37
 电弧气刨 2-163
 电弧自调节系统 6-30
 电化学保护 8-5
 电化学清砂 2-163
 电极材料 6-75
 电机转子,压铸机 2-283
 电加热 3-19,3-26
 电接触加热表面淬火 7-104
 电解清洗 8-6
 电解液加热表面淬火 7-115
 电解着色 8-64
 电偶腐蚀 8-94
 电气特性镀层 8-24
 电热敏 3-103
 电热敏机 3-195
 电容储能螺柱焊 6-96
 电液清砂 2-163
 电泳涂料 8-71
 电泳涂装 8-81
 电渣堆焊 6-52,6-299
 电渣焊 6-51
 电渣焊立架 6-201
 电渣熔铸 2-4,2-122
 电液压焊 6-96
 电直接加热(见接触加热) 3-29
 电子计算机分布式控制,冲压 4-200
 电子枪 6-62
 电子束 7-113
 电子束固化 8-84
 电子束焊 6-61



- 电子束焊机 6-61
 电子束偏移 6-63
 电子束热处理 7-113
 电子束熔炼 2-131
 电阻对焊 6-73
 电阻焊 6-69
 电阻加热 7-104
 电阻炉,锻造 3-29
 电阻钎焊 6-110
 电阻熔焊 6-68
 叠片分离与检测装置,冲压 4-172
 钉尖缺陷,电子束焊 6-63
 顶出机构,注射模 5-43,5-50
 顶件力,冲压 4-43
 顶浇口,压铸机 5-65
 顶料装置,传递模 5-26
 顶升机构,射芯机 2-258
 锭型偏析 3-49
 定量给料装置 2-179
 定位,焊接 6-181
 定位器,焊接 6-181
 定位圈,注射模 5-38
 定位装置,冲模 5-19
 动定模套板,压铸模 5-72
 动转子混砂机 2-203
 镀槽 8-28
 镀层脆性 8-30
 镀层厚度 8-30
 镀层结合力 8-30
 镀层孔隙率 8-30
 镀层耐蚀性 8-30
 镀层钎焊性 8-30
 镀层性能检测 8-28
 镀层硬度 8-30
 镀渗 8-53
 镀锌层钝化 8-57
 镀镉层钝化 8-67
 端淬法,淬火 7-45
 短路过膜 6-39
 锻比 3-42
 锻锤基础防振 3-222
 锻锤自身消振 3-224
 锻模 5-4,5-77
 锻压机模锻 3-69,3-82
 锻压加工 3-3
 锻造比(见锻比) 3-42
 锻造操作机 3-197
 锻造缺陷
 龟裂 3-160
 偏析 3-49
 疏松 3-50
 窄孔 3-51
 氧化 3-21
 脱碳 3-21
 锻造机械手 3-196,3-203
 锻造加热 3-18
 锻造设备 3-162
 锻造液压机 3-170
 断口分析 6-232
 断裂,模具 5-125
 断裂韧性试验 6-13
 断面减缩率,模锻轧 3-143
 断续高频电阻焊 6-87
 堆垛机 4-193
 堆焊 6-111
 堆焊焊条 6-28
 堆焊合金 6-111
 对称力轧制 3-144
 对称原则,模锻轧 3-144
 对焊 6-73
 对击模锻锤 3-164
 对向凹模精冲 4-41
 镢粗 3-40
 镢粗模腔 3-71
 镢粗台 3-81,5-83
 多边形裂纹,焊接 6-7
 多触头高压造型 2-70
 多触头高压造型机 2-213
 多工位高速镢粗机 3-177
 多工位热模锻压力机机械手 3-210
 多工位热镢粗 3-101
 多工位自动压力机 4-151
 多工序冲裁级进冲模 5-22
 多工序冲裁拉深级进冲模 5-23
 多工序冲裁弯曲级进冲模 5-23
 多工序级进冲模 5-22
 多弧放电离子镀 8-52
 多孔层,化学转化膜 8-61
 多炉合浇 3-48
 多排小风口冲天炉 2-136
 多向模锻 3-100
 多向模锻液压机 3-172
 多用射芯机 2-253
 多元表面合金化 8-48
 惰性气体保护焊 6-38
- E**
- 二合一处理,除油酸洗 8-13
- F**
- 发泡成型模 5-4
 发热工具焊 6-178
 发热冒口 2-40,3-50
 翻边模 5-14
 翻孔 4-108
 翻孔力 4-109
 翻孔模 5-14
 翻箱机 2-230
 翻转机,焊接 6-189
 翻转装置,冲压 4-176
 反白口 2-308
 反变形,焊接 6-19,6-24
 反变形,弯管 4-76
 反击矫正法,淬火 7-58
 反拉深模 5-12
 反旋,冲压 4-119
 反压板 4-43
 反压力 4-43
 反压力,卷板 4-67
 反压铸造(见差压铸造) 2-92
 反压铸造机 2-298
 反作用内应力(见焊接残余应力) 6-16
 方板对角拉伸试验,冲压 4-24
 防护性电镀 8-20
 防热辐射 3-226
 防渗透涂料 7-127
 防锈 8-87
 防锈包装 8-91
 防锈工艺 8-93
 防锈水剂 8-87
 防锈油 8-87
 防皱措施 4-92
 仿形斜轧 3-142
 非对称平钻锻造 3-54
 非加热式浇注设备 2-185
 非金属夹杂物,锻压 3-62
 非破坏性检验,焊接 6-233
 非石英系砂 2-58
 非碳化物形成元素 7-30
 非限制浇口,注射模 5-36
 非真空电子束焊 6-62
 非真空扩散焊 6-84
 非转移电弧 6-238
 飞边,模锻 3-75
 飞边(见飞翅) 2-765
 飞边槽 3-75
 飞溅,焊接 6-5
 废料处理装置,冲压 4-175
 废气处理,锻压 3-226
 废气处理,涂装 8-86



- 废水处理,涂装 8-86
 废液处理,锻压 3-226
 废渣处理,锻压 3-226
 废渣治理,涂装 8-86
 酚醛树脂 2-60
 分段淬火 7-49
 分级淬火 7-50
 分离,冲压 4-5
 分离工序,冲模 5-3
 分裂格式差分法,铸件 2-13
 分流道,注射模 5-35,5-54
 分模面,锻件 3-74
 分散性失稳 4-18
 分箱机 2-230
 分型面 2-19
 焚烧法,涂装 8-86
 粉末电泳 8-82
 粉末锻造 3-105
 粉末锻造设备 3-196
 粉末法,渗铝 8-42
 粉末火焰喷焊 8-31
 粉末火焰喷涂 8-31
 粉末涂料 8-72
 粉末涂装 8-81
 粉末冶金模 5-5.5-95
 干田扩散法,渗钒 8-46
 封闭处理,化学转化膜 8-63
 封头成形,冲压 4-125
 封头切割机 6-246
 缝焊 6-72
 缝隙腐蚀 8-94
 缝隙浇口,压铸机 5-65
 呋喃树脂自硬砂 2-64
 呋喃系树脂 2-60
 辐射热能焊 6-178
 浮动粒子炉,锻造 3-30
 浮动式减振基础 3-222
 浮动压模 5-102
 福田试验(见锥杯试验) 4-24
 辅助生产过程 1-3
 腐蚀 8-93
 腐蚀临界相对湿度,金属 8-95
 腐蚀疲劳 8-94
 覆膜砂 2-63,2-82
 覆砂金属型 2-97
 复层,焊接 6-173
 复合表面技术 8-5
 复合材料,焊接 6-177
 复合处理,化学热处理 7-151
 复合粉末,喷涂 8-36
 复合钢板焊接 5-173
 复合加工 1-9
 复合连接(见胶焊、胶铆、胶螺) 6-251
 复合模 5-8
 复碳,热处理 7-65
 复位机构,压铸模 5-75
 复位机构,注射模 5-40
 复相组织等温退火 7-52
 复杂曲面零件拉深 4-99
 负间隙冲裁 4-41
 负压造型(见真空密封造型) 2-75
 富化气体,热处理 7-66
 富氧送风,铸造 2-140
- ## G
- 干式水下焊接 6-228
 干燥固化,涂装 8-83
 干燥剂 8-90
 干燥空气封存 8-89
 感应电炉炼钢 2-131
 感应电炉熔炼 2-140
 感应加热,锻压 3-27
 感应加热表面淬火 7-89
 感应加热淬火机床 7-94
 感应加热环形效应 7-98
 感应加热回火 7-63
 感应加热邻近效应 7-98
 感应器 7-98
 感应钎焊 6-111
 刚度,焊接结构 6-16
 刚性固定对接试验法 6-12
 刚性固定法 6-24
 钢材预处理 6-180
 钢带联动对击锤 3-164
 钢合金铸件热处理 2-176
 钢平衡组织 7-11
 高(中)频感应加热淬火 7-89
 高纯铁素体不锈钢焊接 6-134
 高固体分涂料 8-72
 高合金工具钢锻造 3-155
 高经比,钢管 3-48
 高锰钢铸件热处理 2-174
 高密度能加工 1-8
 高能成形(见高速成形) 4-120
 高能射束(见激光表面合金化) 8-4,8-42
 高能射束,材料保护 8-6
 高频电磁场 6-251
 高频电阻加热表面淬火 7-104
 高频焊 6-86
 高频热处理生产线 7-208
 高速成形 4-120
 高速锤 3-98,3-406
 高速锻 3-3
 高速自动压力机 4-151
 高温回火 7-63
 高温裂纹(见热裂纹) 6-7
 高温磷化 8-57
 高压无气静电喷涂 8-78
 高压无气喷涂 8-78
 高压造型 2-70
 管焊接 6-166
 钎钨极 6-48
 刮筋 2-43
 隔声 3-225
 镀铬层 8-22
 铬镀层 8-18
 铬铝共渗 7-162,8-49
 铬铝硅共渗 7-162,8-49
 铬酸阳极氧化 8-61
 工频感应加热淬火 7-103
 工频热处理生产线 7-210
 工艺标准化 1-12
 工艺补充面,冲压 4-102
 工艺成本 1-12
 工艺方案设计 1-14
 工艺管理系统 1-10
 工艺焊接性 6-11
 工艺基础工作 1-12
 工艺技术选择 1-16
 工艺孔 4-102
 工艺切口 4-102
 工艺特征 1-17
 工艺装备 2-47
 工作失效 5-124
 功能性电镀 8-23
 供料装置,冲压 4-167
 共晶型合金组织,铸造 2-15
 钴合金焊接 6-163
 固定式传递模 5-53
 固定式拂腾冷却装置,铸造 2-192
 固定式压缩模 5-47
 固定凸模式精冲模 4-50
 固化,胶粘剂 6-255
 固化剂胶联型涂料 8-71
 固溶度,焊接 6-165
 固溶强化合金焊接 6-165
 固溶体,焊接 6-171
 固体-气相法,渗铝 8-42
 固体氮碳共渗 7-150
 固相冶金,焊接 6-7

刮砂机 2-235
 瓜瓣成形 4-130
 惯性摩擦焊 6-76
 惯性驱动摩擦焊 6-76
 惯性直线振动筛砂机 2-192
 光电跟踪切割机 6-242
 光电式自动导引运输车 4-193
 光焊丝(见实心焊丝) 6-30
 光亮带, 冲压 4-34
 光束发散度, 激光焊 6-65
 光学反射式自动导引运输车, 冲压 4-194
 光学特性镀膜 8-24
 硅二级管弧焊整流器(见硅整流焊接电源) 6-28
 硅溶胶 2-102
 硅砂 2-57
 硅酸二钙硬化法, 水玻璃砂造型 2-81
 硅酸乙酯水解液 2-102
 硅整流焊接电源 6-30
 龟裂 3-62
 辊底运送 7-172
 辊锻 3-134
 辊锻道次 3-138
 辊锻机 3-185
 辊锻机机械手 3-214
 辊锻型槽 3-138
 辊胶, 胶接 6-255
 辊矫 4-28
 辊式送料装置 4-173
 滚动粉末渗锌 8-44
 滚剪机 4-141
 滚轮架, 焊接 6-190
 滚轮弯曲模 5-10
 滚筒精整 8-14
 滚筒破碎筛 2-192
 滚筒清洗 8-7
 滚筒筛砂机 2-192
 滚弯 4-54, 4-51
 滚弯顺序 4-63
 滚压模膛 3-72, 3-80, 5-81
 过渡带, 焊接 6-168
 过渡层, 焊接 6-168
 过渡料斗 2-178
 过渡区, 焊接 6-173
 过冷奥氏体 7-17
 过滤机, 电镀 8-28
 过滤器, 铸造 2-30
 过热区, 焊接 6-8
 过热蒸汽氧化 8-59

H

含脂粘结剂 2-60
 焊补 6-146
 焊道下裂纹 6-9
 焊点(见熔核) 6-69
 焊缝 6-5
 焊缝跟踪 6-207
 焊缝结晶 6-7
 焊缝金属 6-5, 6-9
 焊缝坡口 6-30, 6-31
 焊缝纵向裂纹 6-9
 焊上变位机 6-202
 焊后热处理 6-122
 焊机变位机 6-195
 焊剂 6-33, 6-54
 焊剂垫, 埋弧焊 6-202
 焊剂回收装置 6-204
 焊剂输送装置 6-204
 焊剂循环系统 6-204
 焊件 6-14
 焊件变位机 6-187
 焊接 6-3
 焊接变位机械 6-186
 焊接变形 6-14
 焊接材料 6-119
 焊接残余变形 6-14, 6-20
 焊接残余应力 6-14
 焊接操作机(见焊机变位机) 6-195
 焊接衬垫 6-35
 焊接程序控制 6-213
 焊接电流 6-30, 6-33, 6-41
 焊接电源 6-28, 6-30, 6-39, 6-48, 6-54
 焊接辅助机械 6-202
 焊接规范参数 6-30, 6-48, 6-55
 焊接机器人 6-224
 焊接接头 6-231
 焊接结构 6-14
 焊接劳动保护 6-249
 焊接劳动卫生 6-250
 有毒物 6-251
 焊接缺陷 6-231
 焊接热模拟试验法 6-13
 焊接力模拟试验法 6-13
 焊接热影响区 6-7
 焊接熔透控制 6-211
 焊接生产线 6-215, 6-217
 焊接瞬时应力 6-14
 焊接速度 6-30, 6-33, 6-42
 焊接卫生标准 6-251
 焊接线能量 6-9, 6-119
 焊接性 6-11
 焊接性窗口 6-91
 焊接应力 6-14
 焊接有害因素 6-250
 焊接中心 6-216
 焊接自动机 6-216
 焊接自动控制 6-207
 焊炬 6-26
 焊枪 6-39, 6-48
 焊枪位置控制(见焊缝跟踪) 6-207
 焊丝 6-41, 6-54
 焊丝偏移量 6-34
 焊丝伸出长度 6-34, 6-42
 焊丝直径 6-34, 6-41
 焊条 6-28
 焊条约皮 6-28
 焊条直径 6-30
 焊趾裂纹 6-9
 合成树脂 2-60
 合金镀层 8-20
 合金流动性 2-60
 合箱机 2-230
 合型机构, 压铸机 2-284
 盒形件拉深 4-93
 横吹式气流旧砂再生设备 2-198
 横浇道, 铸造 2-26
 横浇道, 压铸机 5-66
 横向残余应力, 焊接 6-14
 横向可变拘束试验法 6-13
 横向裂纹, 焊接 6-119
 横向裂纹, 锻压 3-61
 横向螺旋轧制(见斜轧) 3-140
 横向收缩变形, 焊接 6-22
 横轧 3-146
 烘烤型涂料 8-71
 烘砂装置 2-187
 烘砂装置, 三回程滚筒 2-187
 烘砂装置, 振动沸腾 2-188
 烘砂装置, 热气流 2-188
 宏观组织分析, 焊接 6-232
 红外线辐射干燥, 涂装 8-84
 厚板成形 4-123
 厚向异性系数, 冲压 4-22
 后滑, 辊锻 3-136
 后热 6-122
 弧焊机器人 6-225
 弧压反馈系统, 焊接 6-30
 滑块, 焊接设备 6-54
 滑移线场理论, 锻压 3-11



- 化学除锈 8-11
 化学镀 8-3,8-17,8-24
 化学镀镍 8-24
 化学镀铜 8-27
 化学防锈颜料 8-69
 化学分析,焊接 6-232
 化学气相沉积 8-50
 化学染色 8-64
 化学热处理 7-115
 化学转化膜 8-54
 环抱效应,涂装 8-80
 环境保护,铸造 2-303
 环境保护,锻压 3-222
 环境保护,冲压 3-504
 环境保护,涂装 8-86
 环形加热炉,锻造 3-26
 环形件扩张(见箍环) 3-147
 环形浇口,压铸机 5-66
 环形式电镀自动线 8-28
 环形镶块抗裂试验法,焊接 6-12
 环行效应,热处理 7-98
 环氧塑料模 2-50
 缓冲与定位,锻造机械手 3-207
 缓蚀剂 8-11
 换模装置 4-197
 换能器,超声波焊 6-94
 黄铜镀层 8-20
 灰铸铁焊接 6-146
 灰铸铁件热处理 2-166
 灰铸铁熔炼 2-142
 辉光离子渗碳 7-127
 回弹量,冲压 4-57
 回复,锻压 3-3
 回火 7-61
 回火,低温 7-62
 回火,中温 7-62
 回火,高温 7-63
 回火,自 7-63
 回火,感应加热 7-63
 回火,去氢 7-63
 回火,快速 7-63
 回火脆性 6-126
 回火转变,淬火钢 7-28
 回转成形 3-5,3-134
 回转成形设备 3-162,3-185
 回转头 6-189
 混合物,铸造 2-61
 混合气体保护焊 6-38
 混合式减振基础 3-222
 混砂机,粘土砂 2-203
 混砂机,树脂砂 2-206
 混砂用定量设备 2-208
 活动凸模式精冲模 4-49
 活性反应蒸镀法 8-52
 活性钎料钎焊 6-177
 火焰表面清理 6-237
 火焰穿孔 6-237
 火焰加热(见燃料加热) 3-18
 火焰加热表面淬火 7-105
 火焰矫正法 6-25
 火焰净化 6-237
 火焰喷涂 8-4,8-31,8-81
 火焰喷涂设备 8-37
 火焰钎焊 6-110
 货柜式套料 6-246
- ## J
- 基层,焊接 6-173
 基材材料,焊接 6-177
 基盐,氮碳共渗 7-148
 胀杆,胀接 4-134
 机器人,铸件清理 2-278
 机器人,弧焊 6-224
 机器人,焊接 6-224
 机头变位 6-195
 机械除锈 8-14
 机械除锈质量等级 8-16
 机械传动弯管机 4-164
 机械加工余量,铸件 2-22
 机械矫正 4-27
 机械矫正法,焊接 6-24
 机械控制切割机 6-242
 机械拉伸法 6-19
 机械离心式旧砂再生设备 2-197
 机械落砂 2-158
 机械手,铸件清理 2-686
 机械手制壳 2-302
 机械损伤(见损伤) 2-777
 机械压力机 3-162,3-168
 机械压力机锻模 5-87
 机械胀接 4-134
 机械制造工艺 1-4
 机械制造工艺流程 1-3
 机械制造技术系统 1-9
 机械作用,金属与铸型 2-16
 畸变,淬火 7-57
 积聚,平锻 3-90
 激光表面淬火 7-112
 激光表面合金化 8-54
 激光表面熔涂 6-116
 激光导光系统 7-110
 激光发生器 7-109
 激光焊 6-64
 激光介质 6-65
 激光聚焦系统 7-110
 激光喷涂 8-4,8-33
 激光器 6-65
 激光切割 6-239
 激光切割——冲裁组合压力机 4-189
 激光热处理 7-108
 激光溶覆 8-54
 激光式自动导引运输车 4-195
 激光束 6-65
 极细珠光体 7-22
 极限拉深系数 4-89
 集中性失稳,冲压 4-18
 急弯头 4-79
 级进模冲裁 5-8
 挤出模 5-4
 挤光 4-41
 挤胶模(见传递模) 5-3
 挤塑焊 6-178
 挤弯 4-80
 挤压 3-3,3-7
 挤压缝焊 6-72
 挤压模 5-96
 挤压铸造 2-4,2-120
 几何模拟,铸造工艺 2-44
 计算机辅助工艺规程编制,铸造工艺 2-44
 计算机辅助预测法,淬火 7-43
 计算机集成制造系统 1-9
 计算机智能控制器 6-211
 夹板式往复进给装置 4-183
 夹持式送料装置 4-173
 夹紧器,焊接 6-182
 夹砂 2-307
 夹杂 2-16
 夹杂物 3-50
 加工过程 1-3
 加工硬化 3-8,4-7
 加工余量,锻件 3-74
 加料室,传递模 5-54
 加热技术,热处理 7-9,7-61
 加热减应区法(见反变形) 6-19,6-146
 加热矫正法 6-24
 加热介质,淬火 7-49
 加热精炼 2-133
 加热时间,淬火 7-47
 加热式浇注设备 2-184



- 加热速度,锻造 3-20
 加热速度,退火 7-33
 加热温度,淬火 7-46
 加热温度,退火 7-33
 加热制度,锻造 3-21
 加砂定量斗,造型机 2-225
 间歇调整装置,弯曲模 5-28
 夹杂杂质,焊接 6-165
 间歇电液压清砂室 2-261
 检测与质量监控 1-4
 碱性电弧炉 2-130
 碱性氧化 8-59
 碱液清洗 8-6
 简易弯曲模 5-10
 剪切壁 6-10
 剪切冲型机 4-141
 剪切带 4-34
 减压造型(见真空密封造型) 2-75
 减振,冲压 4-205
 降温淬火 7-49
 焦炭定量给料装置 2-179
 胶补 6-257
 胶焊 6-252,5-260
 胶接 6-3,6-251
 胶螺 6-252,3-259
 胶铆 6-252,5-259
 胶粘剂 6-252
 交流等离子弧焊 6-58
 交流电弧炉 2-127
 交流弧焊变压器 6-28
 浇不足 2-12
 浇口,注射模 5-36,5-54
 浇口杯 2-26
 浇口套,注射模 5-38
 浇冒口清理机械 2-278
 浇注设备 2-184
 浇注位置 2-19
 浇注系统 2-26
 浇注系统,铸铁件 2-26
 浇注系统,铸钢件 2-28
 浇注系统,铝铸件 2-29
 浇注系统,过滤器 2-30
 浇注系统,注射模 5-35,5-54
 校平装置,板料 4-171
 矫正 4-27
 矫正力 4-30
 角变形,焊接 6-22
 接触焊(见电阻焊) 6-69
 接触加热 3-29
 接件装置,冲压 4-175
 阶梯凸模 4-37
 截面变换,拔长 3-55
 截面畸变,型材弯曲 4-85
 节能炉衬 3-36
 节能燃烧技术 3-31
 节能燃烧装置 3-31
 结构陶瓷 6-176
 结合区,爆炸焊 6-91
 结晶裂纹,焊接 6-7
 结晶器,连续铸造 2-118
 界面形态,爆炸焊 6-91
 金属粉末 6-31
 金属合金粉末 8-36
 金属基 6-177
 金属加热缺陷 3-21
 过热 3-21
 过烧 3-21,3-62
 金属间化合物 6-169
 金属模 2-49
 金属塑性 3-3
 金属型铸造 2-4,2-93
 金属型铸造机 2-292
 金属与铸型相互作用 2-15
 热作用 2-15
 物理化学作用 2-16
 机械作用 2-16
 金相检验 6-232
 紧实率控制器,铸造 2-212
 近缝区(见热影响区) 6-8
 浸胶 6-255
 浸渗处理 2-165
 浸涂 8-78
 浸沾钎焊 6-111
 浸渍法 8-54
 浸渍清洗 8-6
 晶间腐蚀 8-94
 晶间腐蚀,焊接 6-134
 晶粒度,奥氏体 7-16
 晶间管弧焊整流电源 6-28,6-30
 精冲 4-41
 精冲力 4-43
 精冲压力机 4-153
 精冲液压机 4-153
 精锻(见精密模锻) 3-5,3-69,3-93
 精锻机(见径向锻机) 3-193
 精锻件 3-94
 精炼渣 3-47
 精密冲裁(见精冲) 4-42
 精密冲裁压力机(见精冲压力机) 4-153
 精密复合工艺 4-45
 精密加工 1-8
 精密模锻 3-93
 精密密压铸(见双冲头压铸) 2-88
 精压机 3-176
 精整 8-14
 经济精度 3-121
 非式喷嘴模具 5-44
 静电粉末喷涂 8-82
 静电喷涂 8-78
 静载强度 6-18
 径向-轴向辗环 3-147
 径向锻机 3-193
 径向锻造(见旋转锻造) 3-152
 径向过盈系数 3-127
 径向辗环 3-147
 旧砂处理机械化 2-189
 旧砂冷却设备 2-192
 旧砂再生 2-67
 旧砂再生配套设备 2-199
 旧砂再生设备 2-196
 拘束度,焊接 6-16,6-19
 拘束状态,焊接 6-16
 局部干式水下焊接 6-228
 局部高温回火 6-19
 局部晶粒粗大 3-62
 局部真空电子束焊 6-62
 聚合物基,焊接 6-177
 聚焦,电子束焊 6-63
 聚焦光束 6-65
 聚焦系统,激光 7-110
 聚能器,超声波焊 6-94
 聚异氰酸树脂 2-61
 聚苯醚酚醛树脂 2-61
 卷板机 4-160
 卷料架 4-171
 绝对变形,锻压 3-135
 均衡凝固 2-26
 均匀腐蚀 8-94

K

- 卡压模腔 3-72,3-80,5-83
 开关量控制器 6-211
 开裂 4-18
 开式压力机 4-143
 开隙式加热炉,锻造 3-25
 抗高温氧化 8-3
 抗磨白口铸铁件热处理 2-169
 抗疲劳 8-3
 抗蚀渗氮 7-136
 壳芯盒 2-56



- 壳芯机 2-254
 可剥性塑料 8-89
 可锻铸铁件热处理 2-168
 可锻铸铁熔炼 2-147
 可回转模具 4-198
 可锻铸铁焊接 6-147
 可控气氛热处理 7-67
 可控渗氮 7-137
 可用碳量 7-126
 空泡腐蚀 8-97
 空气锤 3-165
 空气喷涂 8-78
 孔蚀(见点蚀) 8-94
 控制成分的反应烧结涂层 8-49
 控制器,焊缝跟踪 6-211
 控制系统,冲压 4-199
 快锻液压机 3-171
 快换模板装置 2-227
 快速回火 7-63
 快速加热装置 3-34
 快速阳极氧化 8-63
 宽板拉伸试验 6-13
 宽平钻锻造 3-54
 宽温度阳极氧化 8-63
 宽展变形,轧制 3-137
 宽钻锻造 3-41
 扩孔 3-41
 扩孔试验 4-23
 扩散焊 6-84
 扩散合金化(见表面合金化) 8-4,8-42
 扩散氢 6-5
 扩散退火 7-31
- ## L
- 拉筋 2-44
 拉伸加热矫直法 6-24
 拉伸矫直法 6-24
 拉伸拘束裂纹试验法 6-13
 拉深力对比试验 4-23
 拉伸失稳 4-18
 拉深 4-85
 拉深筋 4-100,5-14
 拉深力 4-103,4-127
 拉深模 5-12
 拉深模间隙 5-13
 拉深模压料筋 5-14
 拉深模圆角半径 5-14
 拉深润滑 4-106
 拉深系数 4-88
 拉深槛 4-100
 拉瓦尔喷管 6-236
 拉弯 4-54
 拉形 4-112
 拉延(见拉深) 4-85
 拉应力,焊缝残余应力 6-14
 蜡料制备线 2-301
 烙铁钎焊 6-110
 类金刚石碳膜 8-52
 冷变形 3-8
 冷冲模 5-120
 冷冲模装配 5-121
 冷冲压 4-5
 冷处理 7-52
 冷脆 6-5
 冷冻成形模 5-97
 冷锻 3-3,3-116
 冷隔 2-12
 冷焊 6-143
 冷挤压机 3-181
 冷料穴,注射模 5-35
 冷裂 2-307
 冷裂纹,焊接 6-5,6-8
 冷裂纹敏感系数 6-11
 冷却技术,热处理 7-9,7-61
 冷却介质,淬火 7-49
 冷却速度,退火 7-34
 冷却提升机 2-194
 冷室压铸机 2-280
 冷铁 2-42
 冷弯 4-74
 冷芯盒 2-57
 冷芯盒砂 2-64
 冷芯盒射芯机 2-252
 冷芯盒制芯 2-84
 冷压滚焊 6-82
 冷压焊 6-80
 冷压焊变形程度 6-80
 冷压回弹 4-128
 冷压室压铸机 5-58
 冷压套焊 6-82
 冷粘涂 8-5
 冷作模具 5-125
 离心铸造 2-4,2-114
 离心铸造机 2-298
 离子氮碳共渗 7-150
 离子交换法 8-86
 离子渗氮 7-138
 离子渗碳(见辉光离子渗碳) 7-127
 离子注入 8-54
 立式离心铸造 2-114
 粒状晶组织 2-13
 力学性能试验,焊接 6-231
 联生结晶 6-6
 连接 6-3
 连皮 3-75
 连续高频电阻焊 6-87
 连续高频感应焊 6-88
 连续激光焊 6-66
 连续冷却转变图(CCT图) 7-9
 连续驱动摩擦焊 6-76,6-178
 连续铸铁管 2-117
 连续铸造 2-4,2-117
 链式输送机装置 3-216
 两段渗碳 7-134
 料浆法 8-42
 裂纹,焊接 6-119
 裂纹,锻造 3-160
 裂纹率 6-12
 磷化 8-54
 磷化处理 2-165
 磷化膜 8-54
 磷酸阳极氧化 8-61
 临界变形程度 3-157
 临界含氮量 6-9
 临界基准网格圆 4-20
 临界冷却速度,淬火 7-44
 临界区加热淬火 7-49
 临界直径法,淬火 7-42
 邻近效应,感应加热 7-98
 淋涂 8-78
 零间隙凸凹模 5-115
 硫氮共渗 7-154
 硫氮碳共渗 7-156,8-48
 硫酸盐镀锌 8-20
 硫酸阳极氧化 8-61
 流动粒子炉(见浮动粒子炉) 3-30
 流化床涂覆 8-82
 流幕式空气分离器 2-199
 流态床热处理 7-86
 流态床渗碳 7-129
 龙门式操作机,焊接 6-201
 漏胶 6-255
 漏箱(见型漏) 2-776
 炉底强度 3-22
 炉底热强度 3-22
 炉外精炼 2-132
 炉中钎焊 6-111
 铝-稀土共渗 7-163
 铝-铜焊接 6-171
 铝-铜焊接 6-172
 铝硅合金熔炼 2-155



铝合金锻造 3-158
 铝合金化学氧化 8-65
 铝合金熔炼 2-152
 铝合金铸件热处理 2-174
 铝基复合材料 6-177
 铝及铝合金焊接 6-148
 铝及铝合金焊条 6-28
 铝镁合金熔炼 2-155
 铝热剂(见热剂) 6-67
 铝与稀土元素共渗 8-50
 氯化物镀锌 8-20
 轮廓式套料 6-246
 螺纹辊压(见螺纹横轧) 3-141
 螺纹横轧 3-141
 螺旋滚筒运送 7-170
 螺旋孔型斜轧 3-142.3-145
 螺旋型试样 2-6
 螺旋压力机 3-162.3-175
 螺旋压力机锻模 5-91
 螺旋压力机模锻 3-69.3-85
 螺旋轧制(见斜轧) 3-140
 螺柱焊 6-96
 落料模 5-7
 落砂机 2-258
 落箱机 2-234
 落锤试验 6-13

M

M 马氏体 7-20
 马氏体不锈钢焊接 6-133
 马氏体沉淀硬化不锈钢焊接 6-135
 马氏体耐热钢焊接 6-129
 埋弧堆焊 6-115
 埋弧焊 6-30.6-158
 脉冲等离子弧焊 6-57
 脉冲电流钨极惰性气体保护焊 6-50
 脉冲感应加热淬火 7-103
 脉冲激光点焊 6-66
 脉冲射流过渡 6-39
 脉动淬火压机 7-185
 毛坯精密成形工艺(见少无切屑工艺) 1-3
 冒口 2-31
 镁合金锻造 3-160
 镁合金化学氧化 8-66
 镁合金熔炼 2-158
 镁及镁合金焊接 6-158
 每转进给量,摆锤 3-150
 弥散相析出区(见主扩散层) 7-156

密封包装 8-90
 密封箱式炉,热处理 7-177
 密封箱式炉热处理生产线\ 7-205
 面际联结,胶接 6-252
 模板框 2-50
 模底板 2-50
 模锻液压机 3-172
 模架 5-26.5-111
 模具 5-3
 模具 CAD(见模具计算机辅助设计) 5-122
 模具 CAM(见模具计算机辅助制造) 5-123
 模具计算机辅助设计 5-122
 模具计算机辅助制造 5-123
 模具间隙 4-128
 模具库 4-196
 模具快速夹紧机构 4-145
 模具失效 5-124
 模具寿命 5-124
 模具制造 5-111
 模具质量检测 5-123
 模具装配 5-120
 模数法,铸件凝固过程 2-13
 模膛 3-71
 模压成形 4-116
 模压回火矫正法 7-58
 模样 2-47
 摩擦焊 6-76.6-178
 摩擦焊机 6-76
 摩擦螺旋压力机 3-182
 磨损 5-125
 磨损腐蚀 8-97
 木模 2-47
 钎焊接 6-166

N

耐腐蚀 8-3
 耐磨镀层 8-23
 耐磨损 8-3
 耐热钢焊接 6-126
 耐蚀钢焊接 6-133
 难熔钎料(见硬钎料) 6-100
 内凹曲线翻边 4-108
 内部裂纹,锻造 3-22
 内浇道 2-26
 内浇口,压铸机 5-65.5-67
 内渗豆(见内渗物) 2-772
 能力换算,卷板 4-67
 泥浆浇注模 5-97

钎焊接 6-166
 逆变式焊接电源 6-28
 镍镀层 8-18
 镍合金焊接 6-163
 镍合金锻造 3-157
 凝固冶金 6-6
 凝聚法,废水治理 8-86
 牛角芯棒,弯管 4-81
 扭曲变形,焊接残余变形 6-22
 扭转,锻件坯料 3-7.3-41
 努普硬度 6-176

O

偶然失效 5-124

**P**

爬式加料机 2-179
 排气槽,传递模 5-55
 排气槽,压铸机 5-69
 排样 4-38.4-50
 抛喷联合清理设备 2-274
 抛砂机 2-223
 抛砂造型 2-69
 抛丸除锈 8-14
 抛丸落砂清理设备 2-273
 抛丸清理 2-161
 抛丸清理设备 2-265
 抛丸器 2-264
 丸砂分离器 2-265
 弹丸 2-265
 泡沫塑料模 2-108
 泡沫陶瓷过滤器 2-30
 喷粉划线枪 6-245
 喷粉精炼 2-135
 喷胶 6-255
 喷淋法 8-54
 喷射冷却淬火 7-53
 喷射清洗 8-6
 喷射式焊炬 6-26
 喷涂层后处理 8-40
 喷涂层加工 8-40
 喷涂层性能检测 8-40
 喷丸除锈 8-14
 喷砂除锈 8-14
 喷丸器 2-262
 喷丸清理 2-161
 喷丸清理设备 2-264
 硼氮复合渗 7-163
 硼铝共渗 7-161.8-49

冶金工业出版社
 冶金工业出版社
 冶金工业出版社

冶金工业出版社

冶金工业出版社

硼纤维 6-177
 硼钴共渗 7-162
 膨润土 2-58
 坯料合理形状,拉深 4-94
 坯件回弹率 5-107
 偏料 3-62
 偏析 2-16,2-308,3-49,6-5,6
 -7
 偏心 3-62
 片层状珠光体 7-20
 漂洗 8-8
 平锻 3-69,3-88
 平锻机 3-179
 平锻机机械手 3-212
 平锻机模锻(见平锻) 3-88
 平锻模 5-92
 平方根定律法,铸造 2-10
 平衡组织,钢 7-11
 平炉炼钢 2-131
 平台式操作机,焊接 6-200
 屏蔽层 8-42
 破坏性试验,焊接 6-231
 破碎设备 2-192
 剖分凹模,模锻 3-87
 普通铁素体不锈钢焊接 6-133
 普通旋压(见不变薄旋压) 4-117
 普通粘土 2-58

Q

起伏成形 4-109
 起模斜度,铸件 2-24
 起芯机构,射芯机 2-257
 起皱 4-15
 气冲头,造型机 2-229
 气冲造型(见气流冲击造型) 2-73
 气电立焊 6-45
 气动夹具 6-183
 气动式铁料翻斗 2-178
 气动微振压实造型 2-70
 气动微振压实造型机 2-213
 气焊 6-26
 气化模铸造(见实型铸造) 2-108
 气孔 2-16,2-306,6-5,6-7
 气流冲击造型 2-73
 气流造型机 2-218
 气曝法 8-86
 气体保护焊 6-38
 气体氮碳共渗 7-147
 气体放电切割 6-4,6-237
 气体火焰切割 6-4,6-236

气体渗氮渗剂 7-133
 气体渗碳生产线 7-200
 气体碳氮共渗 7-142
 气相沉积 8-4,8-50
 气相法 8-42
 气相防锈 8-89
 气相防锈材料 8-89
 气相缓蚀剂 8-89
 气压成形 4-115
 气压焊 6-95
 气压式浇注设备 2-184
 汽缸套离心铸造 2-116
 汽蚀(见空泡腐蚀) 8-97
 钎焊 6-3,6-98
 钎焊间歇 6-109
 钎焊接头设计 6-109
 钎焊性 6-98
 钎剂 6-108
 钎料 6-109
 前滑,辗锻 3-136
 潜伏浇口,注射模 5-36
 强电磁脉冲矫正法 6-26
 强力旋压(见变薄旋压) 4-118
 强力压边精冲 4-41
 强迫展宽 3-137
 桥部,模锻 3-75
 切边,冲孔模 5-223
 切边,压力机 3-176
 切断,模膛 3-73,3-81,5-83
 切割 6-3,6-236
 切割,自锻 3-42
 切割氧孔道 6-236
 切块法(见初等解析法) 3-10
 切线浇口,压铸机 5-66
 氢脆,焊接 6-5
 氢脆,化学转化膜 8-59
 氢脆性(见氢脆) 6-5
 氟化物镀锌 8-20
 球化不良 2-308
 球化处理 2-145
 球化剂 6-143
 球化退火 7-34
 球墨铸铁焊接 6-146
 球墨铸铁件热处理 2-167
 球墨铸铁熔炼 2-144
 区域偏析 3-50
 驱动式弧焊发电机 6-28,6-30
 取件机械手,压力铸造 2-289
 去氢回火 7-63
 去应力退火 7-37
 缺口试件 4-25

R

燃耗 3-22
 燃料加热 3-18
 燃料炉 3-22
 热板焊接 6-179
 热变形 3-8
 热冲压 4-5
 热处理 7-5
 热处理,整体 7-30
 热处理,变性(表面) 7-89
 热处理,化学 7-115
 热处理,少无氧化 7-63
 热处理,中间 7-5
 热处理,最终 7-5
 热处理,真空 7-74
 热处理,表面 7-89
 热处理工艺性能 7-7
 热处理工艺优化设计 7-7
 热处理加热技术 7-9,7-61
 热处理力学性能 7-7
 热处理裂纹 2-307
 热处理新技术 7-11
 碳势控制 7-8
 加热技术 7-9
 冷却技术 7-9
 表面强化技术 7-9
 生产管理系统 7-9
 性能预报 7-9
 热脆 6-5
 热等静压 6-177
 热等静压模 5-96
 热点矫正法,热处理 7-58
 热锻模 5-115
 热风焊(见热气焊) 6-178
 热固性树脂 2-60
 热固性塑料注射模 5-42
 热焊 6-146
 热耗 3-22
 热挤压模 5-96
 热剂 6-67
 热剂焊 6-67
 热剂压焊 6-97
 热浸镀(见热浸扩散法) 8-4,8-42
 热浸扩散法 8-4,8-42
 热浸锡法(见浸铝扩散法) 8-42
 热空气对流干燥 8-83
 热裂 2-18,2-307
 热裂纹 6-7
 热流道模具 5-47



- 热模锻模 5-96
 热模锻压力机 3-175
 热磨损 5-125
 热喷涂 8-4, 8-30
 热喷涂材料 8-33
 热喷涂工艺 8-39
 热喷涂扩散法 8-42
 热喷涂设备 8-37
 热疲劳 5-125
 热气焊 6-178
 热气流烘砂装置 2-188
 热切割(见切割) 6-3
 热熔型可剥性塑料 8-89
 热室压铸机 2-283
 热丝钎焊惰性气体保护焊 6-50
 热丝钎焊氩弧焊 6-48
 热塑性塑料 5-32
 热塑性塑料注射模 5-34
 热弯 4-78
 热弯力矩 4-78
 热效率, 加热炉 3-23
 热芯盒 2-55
 热芯盒砂 2-63
 热芯盒射芯机 2-251
 热芯盒制芯 2-83
 热压矫直法, 热处理 7-58
 热压模 5-96
 热压收缩 4-128
 热应力, 淬火 7-55
 热应力裂纹 6-142
 热影响区, 焊接 6-8, 6-9
 热影响区根部裂纹 6-9
 热影响区横向裂纹 6-9
 热作模具 5-125
 热作用, 金属与铸型 2-15
 人工智能, 材料保护 8-5
 人身防振 3-225
 熔池 6-4
 熔池结晶 6-6
 熔滴 6-4
 熔敷金属 6-5
 熔焊 6-3
 熔焊-钎焊 6-68, 6-172
 熔焊冶金 6-4
 熔核 6-69, 6-71
 熔合区 6-6, 6-142
 熔化槽 6-91
 熔化极气体保护电弧堆焊 6-115
 熔化极水喷射切割 6-229
 熔化极气体保护焊 6-38
 熔炼焊剂 6-33
 熔模铸造 2-4, 2-98
 熔模铸造设备 2-301
 熔透法 6-57
 熔透焊 6-57
 熔嘴 6-55
 熔嘴电渣焊 6-51
 溶剂挥发型涂料 8-71
 溶剂清洗 8-8
 溶剂型可剥性塑料 8-89
 溶剂型涂料 8-70
 溶剂蒸汽清洗 8-9
 溶胶-凝胶 8-5
 柔性感应热处理生产线 7-214
 柔性加工系统, 冲压 4-185
 柔性生产系统, 锻压 3-219
 柔性造型单元 2-249
 柔性制造系统 1-9
 柔性自动化 1-9
 柔性自动化, 焊接 6-224
 蠕变 3-8
 蠕化处理 2-145
 蠕墨铸铁熔炼 2-144
 乳胶涂料 8-71
 软规范, 焊接 6-70
 软化处理, 冷锻 3-116
 软模成形, 冲压 4-113
 软钎焊 6-98
 软钎料 6-100
 润滑镀层 8-24
 三C标准 7-92
 三S标准 7-92
 三层镍铬组合, 镀层 8-19
 三段渗碳 7-134
 三辊仿形斜轧机 3-189
 三回程滚筒烘砂装置 2-187
 三甲试剂 8-47
 三乙酸法砂 2-64
 散焦, 电子束焊 6-63
 砂处理 2-187
 砂处理机械化 2-187
 砂处理自动化 2-187
 砂斗料位自动检测 2-209
 砂箱 2-52
 砂中水份的自动检测 2-211
 筛分型砂水分自动控制仪 2-212
 筛分设备 2-192
 闪光对焊 6-74
 上件机械手 4-181
 上料机 7-207
 上限法, 锻压 3-12
 上油装置, 板料 4-172
 烧结收缩率 5-107
 少无切屑锻造(见特种锻造) 3-93
 少无氧化加热 3-35
 少无氧化热处理 7-63
 射穿(见穿筋) 3-160
 射流过渡 6-39
 射砂机构, 射芯机 2-255
 射砂机构, 造型机 2-227
 射芯机 2-249
 射压造型机 2-217
 伸长类变形 4-12
 伸长类成形 4-107
 伸缩臂式焊接操作机 6-196
 渗氮 7-132
 渗氮, 一段 7-133
 渗氮, 两段 7-134
 渗氮, 三段 7-134
 渗氮, 循环两段 7-134
 渗氮, 抗蚀 7-136
 渗氮, 可控 7-137
 渗氮, 离子 7-138
 渗氮, 钢 7-133
 渗氮层 7-140
 渗氮层脆性 7-141
 渗氮预先热处理 7-132
 渗钒 7-161, 8-46
 渗铬 7-161, 8-42
 渗硅 7-159, 8-47
 渗硫 7-154
 渗铝 7-159, 8-42
 渗铝层火焰陶瓷 8-50
 渗铝扩散法 8-42
 渗硼 7-157, 8-47
 渗碳 7-118
 渗碳, 滴注式气体 7-122
 渗碳, 吸热式气氛 7-126
 渗碳, 氨基气氛 7-126
 渗碳, 真空 7-127
 渗碳, 辉光离子 7-127
 渗碳, 流态床 7-129
 渗碳, 钢 7-118
 渗碳层 7-131
 渗碳钢 7-130
 渗碳后热处理 7-130
 渗钎 8-44
 渗钛 7-161
 渗铌 7-161
 生产管理系统, 热处理 7-9



- 生产现场工艺管理 1-12
 剩余直边 4-65
 失蜡铸造(见熔模铸造) 2-98
 失稳 4-18
 失稳变形(见波浪变形) 6-23
 混喷砂 8-14
 湿式水下焊接 6-227
 十字接头试验法,焊接 6-12
 石膏型,熔模铸造 2-105
 石墨漂浮 2-308
 时效硬化 6-5
 实心焊丝 6-38
 实型铸造 2-4,2-108
 实型铸造设备 2-300
 使用焊接性 6-11
 使用焊接性试验法 6-13
 室式加热炉,锻造 3-24
 室温磷化(见低温磷化) 8-57
 铈钨极 6-48
 收弧 6-35
 收缩,铸件 2-18
 收缩变形,焊接 6-20
 收缩率,铸件 2-23
 手臂,锻造机械手 3-206
 手动夹具 6-182
 手工电弧堆焊 6-115
 手工电弧焊 6-28
 手工清洗 8-6
 手工造型 2-3,2-68
 手腕,锻造机械手 3-205
 手爪,锻造机械手 3-204
 受压失稳 4-18
 输送带运送 7-169
 疏松 2-306,3-50
 疏松条件,楔横轧 3-145
 鼠尾 2-307
 树脂砂 2-63
 树脂砂混砂机 2-206
 树脂砂温度调节器 2-199
 树脂自硬砂造型 2-78
 树脂自硬砂制芯 2-78
 束焦点,电子束焊 6-63
 束流切割 6-4,6-239
 竖吹四室式气流旧砂再生设备 2-198
 数据库,铸造工艺设计 2-44
 数控冲模回转头压力机 4-187
 数控管子切割机 6-246
 数控切割机 6-242
 数控弯管机 4-166
 数控直角剪板机 4-191
 数值模拟,铸造 2-44
 数值模拟法,铸造 2-11
 显式差分法 2-12
 隐式差分法 2-13
 分裂格式差分法 2-13
 有限元法 2-13
 模数法 2-13
 刷镀 8-3,8-27
 刷胶 6-255
 双臂树脂砂混砂机 2-208
 双槽螺旋叶片树脂砂混砂机 2-206
 双层钢焊接(见复合钢板焊接) 6-173
 双层镍铬镀层 8-19
 双程渗氮(见两段渗氮) 7-134
 双冲头压铸 2-88
 双动冲压液压机 4-158
 双联熔炼 2-141
 双盘搅拌冷却机 2-193
 双向不锈钢焊接 6-135
 双液淬火 7-50
 双辊盘混砂机 2-203
 水玻璃,铸造粘结剂 2-59,2-102
 水玻璃砂 2-61
 水玻璃砂造型 2-80
 水玻璃砂制芯 2-80
 水剂防锈 8-87
 水力清砂 2-159
 水平分模平锻机 3-180
 水平分型脱箱射压造型 2-71
 水溶性防锈剂 8-87
 水溶性涂料 8-71
 水溶性有机粘结剂 2-59
 水射流切割 6-240
 水下等离子弧切割 6-230
 水下电-氧切割 6-229
 水下焊接 6-227
 水下切割 6-229
 水性涂料 8-71
 水压试验,焊接接头 6-233
 顺时凝固 2-26
 撕裂等级 4-48
 丝极电渣焊 6-51
 松砂设备 2-209
 松装成型模 5-97
 松装密度 5-107
 松装烧结模 5-97
 送风湿度,冲天炉 2-140
 送料装置,冲压 4-172
 送丝和摆动机构(见送丝系统) 6-29
 送丝机构 6-29
 送丝系统 6-30,6-54
 速度效应 3-8
 塑料粉末 8-37
 塑料焊接 6-178
 塑料模 5-3
 塑性变形,锻压 3-7
 塑性变形,冲压 4-7
 塑性成形 3-6
 塑性拉伸失稳(见拉伸失稳) 4-18
 塑性条件,冲压 4-8
 塑性应变比(见厚向异性系数) 4-22
 塑性有限元法,锻压 3-14
 酸性电弧炉 2-131
 缩硬压合系数 3-132
 缩颈 4-18
 缩颈条件,楔横轧 3-145
 缩孔 2-16,2-306,3-51
 缩孔残余 3-51
 缩口 4-197
 缩松 2-16,2-757
 索氏体(见细珠光体) 7-22
 锁固 6-258
 锁扣 5-84
- ## T
- 塌角深度 4-35
 胎模锻 3-69,3-82
 台车式加热炉,锻造 3-25
 台车式炉,热处理 7-175
 台阶式冲头,模具 5-112
 太阳能加热 7-89
 钛钢复合板焊接 6-163
 钛合金锻造 3-157
 钛合金熔炼 2-157
 钛及钛合金焊接 6-160
 钽焊接 6-166
 钽铬铝共渗 8-50
 碳传输系数 7-122
 碳氮共渗 7-142
 碳氮共渗层 7-146
 碳氮共渗后热处理 7-145
 碳当量法 6-11
 碳钢焊条 6-28
 碳钢铸件热处理 2-172
 碳化硅晶须 6-177
 碳化物形成元素 7-30
 碳硼复合渗 7-162
 碳势控制,热处理 7-8,7-66



- 碳势自动控制、热处理 7-199
 碳纤维 6-177
 搪瓷 8-5
 陶瓷衬垫 6-31
 陶瓷粉末 8-36
 陶瓷管型少氧化炉, 锻造 3-35
 陶瓷焊接 6-176
 陶瓷基 6-177
 陶瓷模 5-5
 陶瓷芯 2-104
 陶瓷型铸造 2-4, 2-112
 陶质焊剂 6-31
 套管肘臂式焊工升降台 6-202
 套筒模, 胎模锻 3-82
 套压焊缝 6-82
 特殊新型表面材料 8-3
 特殊轧制(见回转成形) 3-134
 特种锻造 3-93
 特种铸铁熔炼 2-148
 特种铸造 2-3, 2-85
 填充焊丝 6-48
 铁管离心铸造 2-116
 铁料翻斗 2-178
 铁素体—奥氏体双向不锈钢焊接(见双向不锈钢焊接) 6-135
 铁素体不锈钢焊接 6-133
 铁素体带 6-139
 铁素体低温钢焊接 6-140
 铁素体耐热钢焊接 6-131
 铁屑处理 8-61
 通风, 锻压 3-225
 通用机械手, 冲压 4-182
 通用模架, 压力机模锻 3-85
 同时凝固 2-26
 同素异构转变, 纯铁 7-10
 铜—钢焊接 6-170
 铜镀层 8-17
 铜合金锻造 3-161
 铜合金钝化 8-67
 铜合金化学氧化 8-67
 铜合金熔炼 2-156
 铜及铜合金焊接 6-154
 铜及铜合金焊条 6-28
 铜锡合金镀层 8-20
 凸焊 6-72
 凸模 5-26, 5-111
 涂层厚度 8-40
 涂层结合强度 8-40
 涂层孔隙率 8-40
 涂层强度 8-40
 涂层硬度 8-40
 涂层质量检测 8-83, 8-85
 涂料 8-69
 涂料, 砂型砂芯 2-66
 涂料层基底 8-56
 涂料涂装 8-68
 涂装安全卫生 8-82
 涂装三废治理 8-86
 钽钨板 6-48
 推出机构, 压铸模 5-185
 推杆式加热炉, 锻造 3-25
 推杆运送, 热处理 7-165
 推件力, 冲裁 4-37
 退氮处理 7-134
 退火 7-5
 退火, 扩散 7-31
 退火, 完全 7-31
 退火, 不完全 7-31
 退火, 真空 7-77
 退火, 中间 7-37
 退火, 球化 7-34
 退火, 等温 7-37
 退火, 去应力 7-37
 退火, 再结晶 7-37
 退火, 钢 7-30
 托氏体(见极细珠光体) 7-22
 脱模机构, 注射模 5-39
 脱碳 3-21
 脱碳, 热处理 7-65
 脱碳层 6-168
- ## W
- 瓦片成形 4-129
 外观检验 6-233
 外渗豆 2-767
 外凸曲线翻边 4-109
 弯管 4-72
 弯管机 4-164
 弯曲, 冲压 4-47, 4-54
 弯曲, 锻压 3-7, 3-41, 3-62
 弯曲变形, 焊接 6-22
 弯曲变形, 锻压 4-12
 弯曲回弹 4-56
 弯曲角 4-55
 弯曲力 4-60
 弯曲模 5-9
 弯曲模腔 3-72, 3-81, 5-82
 弯曲破裂 4-12
 完全退火 7-31
 碗形树脂砂混砂机 2-206
 网带式炉 7-206
 网带式炉热处理生产线 7-206
 往复冲裁 4-41
 微动腐蚀 8-97
 微观组织分析 6-232
 微机械 1-8
 微裂纹 6-123
 微束等离子弧焊 6-55, 6-58
 微细加工 1-8
 微振机构 2-224
 位错 3-8
 温度范围, 锻造 3-20
 温度自动控制, 热处理 7-189
 温锻 3-133
 溢芯盒制芯 2-84
 卧式离心铸造 2-114
 钨板 6-48
 钨极惰性气体保护焊(见不熔化极气体保护焊) 6-47
 钨极氩弧堆焊 6-115
 钨极氩弧焊 6-47, 6-150, 6-155, 6-159, 6-161
 无飞边模, 模锻 3-87
 无孔层 8-61
 无流道模具 5-44
 无损探伤 6-233
 无污染作业 7-148
 无砷座锤(见对击模锻锤) 3-164
 物理防锈颜料 8-69
 物理化学作用, 金属与铸型 2-16
 物理气相沉积 8-50, 8-52
 物理冶金(见固相冶金) 6-7
 物料储运系统 4-191
 物流 1-4
- ## X
- 吸附法 8-86
 吸热式气氛渗碳 7-126
 吸声 3-225
 吸罩模 5-4
 锡镍合金镀层 8-20
 锡镍铜合金镀层 8-20
 锡钴合金镀层 8-20
 稀释 6-168
 稀释剂 8-69
 稀释率 6-115
 细珠光体 7-22
 下移式压模 5-102
 纤维过滤网 2-30
 显式差分法, 铸造 2-12
 显微疏松(见疏松) 2-306



限制浇口,注射模 5-36
 限制宽展 3-137
 线材火焰喷涂 8-31
 相变温度代号,钢 7-12
 相变重结晶区 6-8
 相对变形 3-135
 镶块,压力机模锻 3-85
 橡胶模 5-5
 橡胶胀管 4-138
 消除应力 6-122
 消氢处理(见后热) 6-122
 消声 3-225
 消失模铸造(见实型铸造) 2-108
 消失模铸造设备(见实型铸造设备)
 2-300
 小间隙圆角口冲裁 4-41
 小孔法(见穿透法) 6-56
 校平 4-111
 校平力 4-111
 楔横轧 3-141
 楔横轧机 3-187
 楔型对接 6-82
 斜楔滑块装置,弯曲模 5-28
 斜楔弯曲模 5-10
 斜轧 3-140
 斜轧机 3-188
 卸料板,冲模 5-18
 卸料力 4-37
 卸料装置,传递模 5-26
 芯辊 3-149
 芯盒 2-55
 芯轴,弯管 4-74
 芯轴拔长 3-41
 镀锌 8-44
 锌镀层 8-20
 锌合金熔炼 2-158
 锌基高耐蚀合金镀层 8-23
 锌酸盐镀锌 8-21
 新砂烘干机械化 2-187
 型材矫正 4-29
 型材连续铸造 2-118
 型材弯曲 4-85
 型槽系,辊锻 3-138
 型面加工,模具 5-113
 型砂给料设备 2-208
 型砂性能综合检测仪 2-213
 型砂制备机械化 2-203
 型砂质量与检测控制自动化 2-209
 形变淬火 7-54
 形心法,拉深 4-87
 行走机构 6-54

性能预报,热处理 7-9
 修边余量,拉深 4-87,4-93
 许用变形程度 3-120
 悬臂梁式定载试验 6-13
 悬臂式焊接操作机 6-199
 悬挂式基础 3-222
 悬挂制壳装置 2-302
 旋弧压焊 6-97
 旋压成形 4-116
 旋压力 4-118
 旋转锻造 3-152
 旋转锻造机 3-189
 旋转体零件拉深 4-87
 旋转条件,楔横轧 3-144
 选择性腐蚀 8-94
 循环两段渗氮 7-134

Y

压板对接试验法 6-13
 压边力 4-17,4-43,4-104
 压边面 4-100
 压扁模膛 3-72
 压扁台 3-81,5-83
 压沉孔 4-48
 压焊 6-3,6-69
 压花模 5-14
 压力铸造 2-86
 压料面(见压边面) 4-100
 压料装置,冲模 5-19
 压实机构 2-225
 压缩电弧 6-56
 压缩类变形 4-12
 压缩类成形 4-107
 压缩模 5-3,5-47
 压铁机 2-234
 压弯 4-54
 压延(见拉深) 4-85
 压印 4-112
 压印模 5-14
 压应力 6-16
 压铸机 2-280
 压铸模 5-4,5-58,5-121
 压铸模装配 5-121
 压注模(见传递模) 5-3
 盐浴氮碳共渗 7-149
 盐浴复合处理 8-49
 盐浴加热炉,锻造 3-29
 盐浴硫氮碳共渗 7-155
 盐浴炉,热处理 7-179
 盐浴热处理 7-82
 盐浴碳氮共渗 7-146
 盐浴校正剂 7-85
 延长喷嘴模具 5-45
 延迟裂纹(见冷裂纹) 6-8
 延伸变形 3-136
 阳极电泳 8-81
 阳极电泳涂料 8-71
 阴极性镀层 8-22
 阳极氧化 8-61
 氧-燃气焊接(见气焊) 6-10
 氧-燃气切割 6-234
 氧-乙炔焊(见气焊) 6-26
 氧-乙炔焰堆焊 6-115
 氧化,热处理 7-65
 氧化聚合型涂料 8-71
 氧化物连接法 6-177
 氯化盐 7-155
 咬合 5-125
 咬入角 3-135
 咬入条件 3-135
 药芯带极 6-114
 药芯焊丝 6-44
 药芯焊丝气体保护焊 6-44
 药芯焊丝水下切割 6-230
 液面加压控制系统 2-297
 液态间层 6-7
 液态蜡注射成型机 2-301
 液化裂纹 6-7,6-119
 液态模锻 3-113
 液相冶金,电弧焊 6-4
 液压成形 4-114
 液压锤 3-167
 液压垫 4-158
 液压机 3-162,3-167
 液压夹具 6-183
 液压联动对击锤 3-164
 液压螺旋压力机 3-182
 液压模架,精冲 4-54
 液压弯管机 4-164
 液压胀管 4-137
 液压胀形,护环 3-58
 一段渗碳 7-133
 移动式传递模 5-52
 移动式工作台 4-145
 移动式压缩模 5-48
 易熔钎料(见软钎料) 6-100
 溢料槽,传递模 5-55
 溢流槽,压铸机 5-69
 溢式压缩模 5-47
 异种金属 6-169
 阴极电泳 3-81



阴极电泳涂料 8-71
 阴极性镀层 8-18
 引弧 6-35
 引伸(见拉伸) 4-85
 隐式差分法,铸造 2-13
 应变-时效裂纹 6-165
 应变速度 3-8
 应变状态图,冲压 4-9
 应力,铸造 2-16
 应力腐蚀 6-134
 应力腐蚀断裂 8-94
 应力腐蚀开裂 6-18
 硬度自动检测仪 7-214
 硬规范 6-70
 硬化层深度 7-7
 硬化因子相乘法,淬火 7-43
 硬化指数 4-21
 硬壳锻造(见中心压实) 3-54
 硬膜阳极氧化 8-61
 硬钎焊 6-98
 硬钎料 6-100
 硬质合金,冲模 5-29
 永磁分离滚筒 2-189
 永磁铁轮 2-191
 油类粘剂 2-59
 油料防锈 8-87
 油漆底层(见涂料层基底) 8-57
 油溶性缓蚀剂 8-87
 油砂 2-62
 游离酸度 8-57
 有限元法,铸件凝固过程 2-13
 有效补缩距离,冒口 2-38
 右焊法 6-42
 余块,锻件 3-74
 余热淬火(见形变淬火) 7-54
 余热回收技术,锻造 3-37
 鱼眼(见白点) 6-5
 预抽真空密封箱式炉 7-178
 预锻模膛 3-73,3-77,5-78,5-88
 预焊 6-224
 预热火焰孔道 6-236
 预热送风 2-139
 预先热处理,渗氮 7-132
 原砂 2-57
 圆角半径,锻件 3-74
 圆盘剪板机 4-141
 允许变形程度(见许用变形程度) 3-157
 运送机构,盐浴炉 7-179
 运载气体 7-66

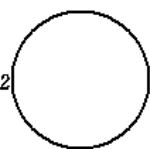
孕育处理 2-142,2-146

Z

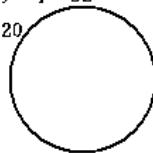
再结晶 3-8
 再结晶退火 7-37
 再热裂纹 6-9,6-128
 再入射流 6-90
 再生盐,氮碳共渗 7-151
 砧宽比,自由锻 3-40
 噪声 2-304
 噪声控制,锻压 3-224
 噪声控制,冲压 4-206
 造型材料 2-57
 造型辅机 2-230
 造型机 2-213
 造型机,气动微振压实 2-213
 造型机,多触头高压 2-213
 造型机,真空压实 2-213
 造型机,垂直分型无箱射压 2-217
 造型机,水平分型脱箱射压 2-217
 造型机,气流紧实 2-218
 造型机,气流冲击 2-220
 造型线 2-244
 增强材料 6-177
 增强相 6-177
 增湿转鼓式砂冷却系统 2-195
 增碳层 6-168
 轧锻(见回转变形) 3-134
 轧辊离心铸造 2-117
 炸裂 3-62
 窄间隙气体保护焊 6-46
 窄间隙钨极惰性气体保护焊 6-50
 粘结剂 2-58
 粘砂 2-307
 粘土 2-58
 粘土砂 2-61
 粘土砂混砂机 2-203
 辗环 3-147
 辗扩比 3-149
 辗扩机 3-190
 辗轮混砂机 2-203
 辗轮转子混砂机 2-203
 辗压轮 3-149
 展开长度,弯曲 4-59
 展宽角,楔横轧 3-144
 胀管率 4-133
 胀接 4-132
 胀紧程度控制 4-133
 胀壳 4-134
 胀头 4-137
 胀形成形 4-110
 胀形力 4-111
 胀形系数 4-111
 折叠,锻造 3-62,3-130
 折算厚度法,铸造 2-10
 真空薄膜造型(见真空密封造型) 2-75
 真空沉积扩散法 8-42
 真空成形 4-115
 真空淬火 7-78
 真空淬火油 7-78
 真空混砂机型砂冷却系统 2-195
 真空夹具 6-183
 真空浇注 3-48
 真空扩散焊 6-84
 真空密封造型 2-75
 真空热处理 7-74
 真空渗碳 7-78,7-127
 真空碳脱氧 3-46
 真空退火 7-77
 真空脱气 2-132
 真空吸盘 4-169
 真空吸铸 2-4,2-106,2-119
 真空压实造型机 2-217
 真空压铸 2-88
 真空置换硬化法,水玻璃砂造型 2-80
 针孔 2-306
 振动修整 8-14
 振底运送 7-167
 振动沸腾烘砂装置 2-188
 振动沸腾冷却装置 2-193
 振动焊接 6-178
 振动剪(见剪切冲型机) 4-141
 振动破碎机 2-199
 振动式旧砂再生设备 2-197
 振动研磨式旧砂再生设备 2-197
 蒸汽-空气模锻锤 3-163
 蒸汽-空气自由锻锤 3-162
 蒸汽喷溅 8-6
 整体高温回火 6-19
 整体热处理 7-30
 整形模 5-96
 整修 4-41
 正火,钢 7-38
 正火区(见相变重结晶区) 6-8
 正旋 4-119
 正压式焊炬 6-26
 支承板,压铸模 5-74
 执行器,焊缝跟踪 6-211
 直刀剪板机 4-139



- 直浇道,铸造 2-26
直浇道,压铸机 5-66
直接浇口(见非限制浇口) 5-36
直接控制 4-200
直接燃烧法 8-86
直流等离子弧焊 6-56
直流电弧炉 2-128
直线条电镀自动线 8-28
酯固化白硬法,水玻璃砂造型 2-81
酯硬化砂 2-64
制坯辊锻 3-135
制芯中心 2-254
致密性检验,焊接 6-233
智能制造技术 1-9
智能制造系统 1-9
置裂,锻压 3-62
质量分析,冲件 5-21,5-31
中间热处理 7-5
中间退火(见再结晶退火) 7-37
中频热处理生产线 7-212
中碳钢焊接 6-117
中温回火 7-62
中温磷化 8-57
中心浇口,压铸机 5-65,5-69
中心压实 3-51,3-54
中心压实锻造 3-3
中央送风冲天炉 2-136
终锻模膛 3-73,3-77,5-77,5-881
终焊 6-224
重量公差,铸件 2-22
轴瓦离心铸造 2-117
轴向压合系数 3-127
肘臂式焊工升降台 6-202
珠光体 7-20
珠光体,细 7-22
珠光体,极细 7-22
珠光体,片层状 7-20
珠光体钢与奥氏体钢焊接 6-168
珠光体耐热钢焊接 6-128
主扩散层 7-152
主流道,注射模 5-35,5-54
柱塞,传递模 5-54
柱塞式浇注设备 2-184
柱状晶组织 2-44
助剂 8-69
铸钢件浇注系统 2-28
铸钢件热处理 2-170
铸钢熔炼 2-123
铸件包紧力 5-75
铸件铲磨生产线 2-278
铸件后处理 2-163
铸件检验 2-305
铸件结构 2-19
铸件落砂 2-158
铸件凝固过程 2-8
 理论计算法 2-10
 平方根定律法 2-10
 折算厚度法 2-10
铸件凝固组织 2-13
 粒状晶组织 2-42
 柱状晶组织 2-15
 共晶组织 2-15
铸件清理 2-158
铸件缺陷 2-307
 白口 2-308
 反白口 2-308
 沟槽 2-307
 火砂 2-307
 夹杂 2-50
 浇不足 2-12
 冷隔 2-12
 冷裂 2-307
 偏析 2-50,2-308,3-121,6-9,6-17
 气孔 2-50,2-307
 球化不良 2-308
 区域偏析 3-50
 热处理裂纹 2-307
 热裂 2-55,2-307
 石墨漂浮 2-308
 疏松 2-306,3-50
 鼠尾 2-307
 缩孔 2-50,2-306,3-127
 缩松 2-50,2-306
 粘砂 2-307
 针孔 2-306
铸件热处理 2-166
铸件质量评定 2-305
铸铁焊接 6-142
铸铁件浇注系统 2-27
铸铁件热处理 2-166
铸铁熔炼 2-136
铸型顶出机 2-235
铸型输送机 2-238
铸造 2-3
铸造安全
 有毒物 2-305
 噪声 2-304
 振动 2-304
 烟尘 2-303
铸造工艺设计 2-19
铸造焦 2-139
铸造铝合金熔炼 2-148
铸造镁合金熔炼 2-158
铸造镍合金,焊接 6-165
铸造铜合金熔炼 2-156
铸造锌合金熔炼 2-158
铸造钛合金熔炼 2-157
注胶 6-255
注射成型模 5-97
注射机,注射模 5-34
注射模 5-4,5-34
注塑模 5-121
注塑模装配 5-121
转板(见卷板) 4-54
转底式加热炉,锻造 3-26
转底运送 7-170
转化膜 8-54
转筒式砂冷却系统 2-195
转移电弧 6-238
转子混砂机 2-203
装焊夹具 6-181
装配 1-4
装饰性电镀 8-17
装箱加热 7-88
装卸料工作台,热处理 7-178
撞钩式过渡料斗 2-178
锥杯试验,冲压 4-24
锥度,钢锭 3-48
锥体卷制 4-65
紫外线固化 8-84
自保护药芯焊丝 6-44
自动保护装置,冲压 4-177
自动冲模,冲压 4-177
自动导引运输车 4-193
自动化立体仓库 4-192
自动浇注设备,压力铸造 2-286
自动控制装置与系统 1-4
自动巡航式自动导引运输车 4-195
自动压力机 4-151
自回火 7-63
自然干燥 8-83
自熔性合金粉末 6-114,8-34
白硬砂 2-60
白漆涂料 8-72
自由表面区,冲压 4-92
自由锻 3-6,3-39
自由宽展,锻压 3-137
自由状态,焊接 6-16
总酸度 8-57
纵向残余应力,焊接 6-14
纵向裂纹 3-61



- 纵向收缩变形 6-20
 纵向轧制(见辗锻) 3-134
 阻挡层(见无孔层) 8-61
 组合模,压力机模膛 3-85
 组合模具 4-198
 组织应力,淬火 7-55
 最高允许浓度,涂装 8-82
 最小弯曲半径,冲压 4-55
 最终热处理 7-5
 左焊法 6-42
- AP(见多炉合浇) 3-48
 CCT图(见连续冷却转变图) 7-9, 7-23, 7-25
 CIMS(见计算机集成制造系统) 1-9
 CLA法(见真空吸铸) 2-106
 CNC控制(见直接控制) 4-200
 CO₂法,水玻璃砂造型 2-80
 CO₂气体保护焊 6-38
 DNC控制(见电子计算机分布式控制) 4-200
 CT(见尺寸公差,铸件) 2-21
 CVD(见化学气相沉积) 8-50
 Delong焊缝组织图 6-137
 Engllhardt试验(见拉深力对比试验) 4-23
 Erichsen试验(见杯突试验) 4-22
 FLD(见成形极限图) 4-20
- FMS(见柔性加工系统) 4-185
 FM锻造(见非对称平砧锻造) 3-54
 Fe-Fe₃C合金相图 7-9
 IMS(见智能制造系统) 1-9
 IMT(见智能制造技术) 1-9
 JTS(见中心压实) 3-54
 LDR试验(见冲杯试验) 4-23
 MAG焊(见混合气体保护焊) 6-38
 MA(见机械加工余量,铸件) 2-22
 MIG焊(见惰性气体保护焊) 6-38
 MK理论 4-18
 MT(见重量公差,铸件) 2-22
 PCVD(见等离子体化学气相沉积) 8-53
 PECVD法(见等离子体激光化学气相沉积) 8-52
 PVD(见物理气相沉积) 8-50
 RRC(见刚性拘束裂纹试验法) 6-13
 SCC(见应力腐蚀断裂) 8-97
 SH法(见加热矫直法) 6-24
 SO₂法砂 2-64
 SSH法(见拉伸加热矫直法) 6-24
 SS法(见拉伸矫直法) 6-24
 Schaeffler组织图 6-137
 Swift拉伸实验(见冲杯试验) 4-23
- TD法(见丰田扩散法) 8-46
 TIG焊(见钨极惰性气体保护焊) 6-38
 TRC(见拉伸拘束裂纹试验法) 6-13
 TTT图(见等温冷却转变图) 7-9, 7-23, 7-25
 TEP试验(见拉深力对比试验) 4-23
 T形弯曲试验 6-13
 T形热裂纹试验法 6-13
 U曲线法,淬火 7-40
 VCI(见气相缓蚀剂) 8-89
 VPI(见气相缓蚀剂) 8-89
 V法(见真空密封造型) 2-75
 V型砧 3-41
 x值 4-26
 YBT(见方板对角拉伸实验) 4-24
 Y形坡口试验法 6-11
 σ 相脆化 6-131
 V型环压边圈 4-43
 α 破裂 4-12
 β 锻造,钛合金 3-157
 A形偏析 3-48, 3-119
 n值(见硬化指数) 4-21
 γ 值(见厚向异性系数) 4-22
 β 破裂 4-12
 (索引编辑 徐家宗 李书全)



全国特大型、大型一类机电工业企业名单^①

(截止于 1993 年度)

单 位	地 址	邮 编
第一拖拉机制造厂	河南省洛阳市建设路 154 号	471004
第一重型机器厂	黑龙江省齐齐哈尔市富拉尔基区	161042
陕西彩色显像管总厂	陕西省咸阳市彩虹路	712021
西安电力机械制造公司	陕西省西安市丰登路	710077
安徽省全椒柴油机总厂	安徽省全椒县湘河镇建设东路	239500
北京第一机床厂	北京市朝阳区酒仙桥八间房	100026
北京电子管厂	北京市酒仙桥路 10 号	100016
北京金属结构厂	北京市建国门外 1 号	100004
北京牡丹电子集团公司	北京市海淀区花园路 2 号	100083
北京重型电机厂	北京市西郊吴家村	100039
甘肃长城电器工业公司	甘肃省天水市天开路	741018
国营长风机器厂	甘肃省兰州市 53 号信箱	730070
兰州电机厂	甘肃省兰州市七里河区民乐路 66 号	730050
兰州石油化工机器厂	甘肃省兰州市七里河区	730050
广州重型机器厂	广东省广州市工业大道中 122 号	510252
深圳华强电子工业总公司	广东省深圳市南中路华强路 11	518043
深圳桑达电子总公司	广东省深圳市上步区振华路 20 号	518043
柳州工程机械厂	广西壮族自治区柳州市柳太路 1 号	545007
玉林柴油机总厂	广西壮族自治区玉林市大牛窝	537005
长征电器公司	贵州省遵义市上海路	563002
保定变压器厂	河北省保定市江城路 23 号	071056
石家庄显像管总厂	河北省石家庄市范平路电厂街 8 号	050041
中国环宇电子集团公司	河北省石家庄市裕华西路 13 号	050000
第二砂轮厂	河南省郑州市华山路	450006
洛阳矿山机器厂	河南省洛阳市涧西区建设路 210 号	471039
洛阳轴承厂	河南省洛阳市涧西区建设路	471039
南阳防爆电机厂	河南省南阳市宛城路	473011
郑州电缆厂	河南省郑州市华山路 79 号	450006
哈尔滨第一工具厂	黑龙江省哈尔滨市道外区南马路 69 号	150020
哈尔滨电机厂	黑龙江省哈尔滨市大庆路 35 号	150040

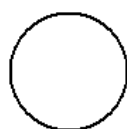
① 按国经贸企[1992]176 号文件、国经贸[1993]333 号文件和国经贸企[1994]743 号文件公布的全国大型工业企业名单列出



单 位	地 址	邮 编
哈尔滨电缆厂	黑龙江省哈尔滨市道外区景阳街 30 号	150020
哈尔滨锅炉厂	黑龙江省哈尔滨市动力区大庆路 17 号	150040
哈尔滨量具刃具厂	黑龙江省哈尔滨市动力区和平路 36 号	150040
哈尔滨汽轮机厂	黑龙江省哈尔滨市动力区大庆路 3 号	150040
哈尔滨轴承总厂	黑龙江省哈尔滨市香坊区红旗大街 9 号	150030
佳木斯电机厂	黑龙江省佳木斯市光复路 325 号	154002
齐齐哈尔第二机床厂	黑龙江省齐齐哈尔市永安大街 54 号	161005
齐齐哈尔第一机床厂	黑龙江省齐齐哈尔市安顺路 61 号	161005
湖北红旗电缆厂	湖北省宜昌市江南	443006
武汉锅炉厂	湖北省武汉市武珞路 290 号	430070
武汉仪器仪表自动化工业(集团)公司	湖北省武汉市前进 4 路 160 号	430014
武汉重型机床厂	湖北省武汉市武昌区中北路 108 号	430077
襄阳轴承厂	湖北省襄樊市万山工业区	441022
湘潭电机厂	湖南省湘潭市下摄司	411101
湘潭电缆厂	湖南省湘潭市建设南路	411101
长春拖拉机制造厂	吉林省长春市荣光路 59 号	130031
常州柴油机厂	江苏省常州市怀德中路 123 号	213002
国营华东电子管厂	江苏省南京市中央门外迈皋桥	210037
国营南京无线电厂	江苏省南京市中山东路 301 号	210002
国营南京有线电厂	江苏省南京市中央门外安怀村	210037
江苏华宁电子集团		
徐州工程机械集团公司	江苏省徐州市苏堤北路 4 号	221004
盐城无线电总厂	江苏省盐城市人民中路 104 号	224002
中国华晶电子集团公司	江苏省无锡市梁溪路 14 号	214061
鞍山红旗拖拉机制造厂	辽宁省鞍山市立山区红旗路 30 号	114042
长白计算机集团公司	辽宁省沈阳市大东区大北关街 2 号	110041
朝阳柴油机厂	辽宁省朝阳市黄河路三段 51 号	122000
大连电机厂	辽宁省大连市汉阳街	116022
大连机床厂	辽宁省大连市沙河口区长生街 38 号	116021
大连冷冻机厂	辽宁省大连市沙河口区春柳街 1 号	116033
大连起重机器厂	辽宁省大连市河北口区汉阳街 208 号	116022
大连显像管厂	辽宁省大连市甘井子区后革镇堡	116033
大连重型机器厂	辽宁省大连市沙河口区汉阳街 220 号	116022
沈阳变压器厂	辽宁省沈阳市铁西区北二中路 18 号	110025
沈阳第三机床厂	辽宁省沈阳市铁西区北二东路 10 号	110025
沈阳第一机床厂	辽宁省沈阳市铁西区兴华北街 22 号	110025
沈阳电机厂	辽宁省沈阳市铁西区卫工北街 20 号	110026
沈阳电缆厂	辽宁省沈阳市铁西区兴华北街 34 号	110025
沈阳高压开关厂	辽宁省沈阳市铁西区景皇北街 38 号	110025



单 位	地 址	邮 编
沈阳鼓风机厂	辽宁省沈阳市铁西区云峰北街 36 号	110021
沈阳矿山机器厂	辽宁省沈阳市大东区大东路 178 号	110024
沈阳水泵厂	辽宁省沈阳市铁西区熊家岗路 28 号	110026
沈阳拖拉机制造厂	辽宁省沈阳市铁西区建设中路 62 号	110026
沈阳重型机器厂	辽宁省沈阳市铁西区兴华北街 8 号	110025
瓦房店轴承厂	辽宁省瓦房店市	116300
中国辽宁北方铸钢厂	辽宁省鞍山市立山区灵山路 41 号	114042
中捷友谊厂	辽宁省沈阳市大东区珠林路 25 号	110043
宁夏西北轴承厂	宁夏回族自治区银川市新市区北京西路	750021
博山电机厂	山东省淄博市博山人民路 42 号	255200
济南第二机床厂	山东省济南市机床二厂路 4 号	250022
济南第一机床厂	山东省济南市槐荫区经七路	250022
莱阳动力机械总厂	山东省莱阳市五龙北路 10 号	265200
山东潍坊拖拉机厂	山东省潍坊市潍德路 8 号	261031
山西东方电子集团		
太原矿山机器厂	山西省太原市解放北路 12 号	030009
太原重型机器厂	山西省太原市河西区玉河街 21 号	030024
榆次液压集团公司	山西省榆次市经纬路 258 号	030620
国营长岭机器厂	陕西省宝鸡市 43 号信箱	721006
国营黄河机器制造厂	陕西省西安市幸福北路 8 号	710043
西安仪表厂	陕西省西安市大庆路	710082
西安重型机器厂	陕西省西安市未央区幸家庙	710032
上海标准件公司	上海市西藏南路 615 号	200011
上海柴油机厂	上海市军工路 2636 号	200432
上海电机(集团)公司	上海市福州路 89 号	200002
上海电机厂	上海市闵行区江川路 555 号	200240
上海电缆厂	上海市杨浦区军工路 1076 号	200093
上海电器公司	上海市水电路 1900 号	200437
上海电线电缆(集团)公司	上海市恒丰路 600 号	200070
上海电站辅机厂	上海市杨浦路 2200 号	200090
上海广播电视(集团)公司	上海市漕家路 680 号	200031
上海锅炉厂	上海市闵行区华宁路 250 号	200240
上海华通开关厂	上海市闸北区共和新路 2500 号	200072
上海机床厂	上海市杨浦区军工路 1146 号	200093
上海汽轮机厂	上海市闵行区江川路 333 号	200240
上海通用机械(集团)公司	上海市东大名路 393 号	200080
上海仪表(集团)公司	上海市北京东路 137 号	200002
上海真空电子器件股份有限公司	上海市静安区胶州路 485 号	200040
上海重型机器厂	上海市闵行区江川路 1800 号	200240



单 位	地 址	邮 编
上海轴承公司	上海市西藏中路 725 弄 23 号	200003
上海自动化仪表公司	上海市北京西路 1421 号	200040
东方电机厂	四川省德阳市	618000
东方锅炉厂	四川省自贡市	643001
东方汽轮机厂	四川省绵竹县汉旺镇	618201
国营红光电子管厂	四川省成都市建设南支路 4 号(106 信箱)	610051
国营零八二总厂	四川省广元市 22 信箱	628017
四川仪表总厂	四川省重庆市北碚区	630700
上海电子元件总公司	上海市延安中路 816 号	200041
天津电视机厂	天津市河西区友谊路 16 号	300074
天津津京联合玻壳厂	天津市西青区杨柳青公路口	300380
天津市电机总厂	天津市河西区太湖路 21 号	300210
天津市海河电冰箱压缩机公司	天津市河东区八纬路 103 号	300171
天津通信广播公司	天津市河北区新大路 185 号	300140
天津拖拉机制造厂	天津市南开区红旗路 184 号	300190
天津重型机器厂	天津市北郊区高峰路马庄	300400
杭州制氧机厂	浙江省杭州市东新路 50 号	310004
东风汽车公司	湖北省十堰市车城路 1 号	442001
第一汽车制造厂	吉林省长春市	130000
上海汽车工业总公司	上海市武康路 390 号	200031
北京汽车摩托车联合制造公司	北京市朝阳区东三环北路 32 号	100020
大连柴油机厂	辽宁省大连市沙河口区东北路 49 号	116021
金杯汽车股份有限公司	辽宁省沈阳市	110044
济南汽车制造总厂	山东省济南市西工商河路 13 号	250031
潍坊柴油机厂	山东省潍坊市民主街 26 号	261001
天津市汽车工业公司	天津市和平区烟台道 78 号	300040
杭州汽车发动机厂	浙江省杭州市湖墅南路 130 号	310005
上海机床总公司	上海市福州路 89 号	200002
中国第二重型机械集团公司	四川省德阳市	618031
中国东方电气集团公司	四川省成都市一环路西一段 115 号	610041
安徽省合肥叉车总厂	安徽省合肥市西市区望江路 21 号	230222
中国扬子电气公司电冰箱总厂	安徽省滁州市南谯路 129 号	239016
北京高压气瓶厂	北京市朝阳区黄厂路	100023
广东科龙电器股份有限公司	广东省顺德市容奇镇容港路 8 号	528303
广东韶关铸锻总厂	广东省韶关十里亭	512031
湛江三星农用运输车制造公司	广东省湛江市人民大道北	524043
第七砂轮厂	贵州省湄镇县 2 号信箱	551414
石家庄内燃机配件总厂	河北省石家庄市和平东路 8 号	050031



单 位	地 址	邮 编
平顶山高压开关厂	河南省平顶山市开源路南段	467001
江苏江淮动力机厂	江苏省盐城市环城西路 213 号	224001
南京机床厂	江苏省南京市大光路 67 号	210007
南京汽轮机厂	江苏省南京市中央门外东门街 140 号	210037
山东推土机总厂	山东省济宁市太白楼东路 58 号	272135
汉江机床厂	陕西省汉中市	723003
黄河工程机械厂	陕西省华阴市观北康营	714202
陕西压延设备厂	陕西省富平县庄里北街	711711
陕西重型机器厂	陕西省西安市北郊辛家庙	710032
彭浦机器厂	上海市共和新路 3201 号	200072
上海大隆机器厂	上海市光复西路 5 号	200061
上海轻工机械股份有限公司	上海市南京西路 1576 号	200040
上海重型矿山机械公司	上海市东大名路 393 号	200800
重庆机床厂	四川省重庆市九龙坡区道角	630055
天津动力机厂	天津市河北区南口路 4 号	300230
天津液压机械集团公司	天津市南开区三纬路 63 号	300100
南京汽车制造厂	江苏省南京市中央路 331 号	210037
北京吉普汽车有限公司	北京市朝阳区广渠路 36 号	100021
长沙汽车电器厂	湖南省长沙市东风路 2 号	410005
四川汽车制造厂	四川省重庆市双桥区双龙东路	630900
国营长虹机器厂	四川省绵阳市跃进路 4 号	621000
国营锦江电机厂	四川省成都市东郊厂北路	610051
上海港口机械制造厂	上海市南码头路	200127
国营金城机械厂	江苏省南京市中山东路 518 号	210002
北内集团总公司	北京市东郊九龙山东环南路 18 号	100022
沈阳机床股份有限公司	辽宁省沈阳市沈河区西顺城街 247 号	110011
北京巴布科克威尔科克斯有限公司	北京市八角村	100043
北京轻型汽车有限公司	北京市首体南路 3 号	100044
北人集团公司	北京市广渠门外双井	100022
厦门工程机械股份有限公司	福建省厦门市夏禾路 668 号	361004
柳州佳力电机公司	广西壮族自治区柳州市飞鹅路 53 号	545005
柳州汽车厂	广西壮族自治区柳州市屏山大道	545005
南宁机械厂	广西壮族自治区南宁市中尧路 48 号	530000
河北汽车(集团)有限责任公司	河北省石家庄市正定大街 52 号	050041
河北省宣化工程机械厂	河北省张家口市宣化区东升路 21 号	075105
许昌继电器厂	河南省许昌市建设路 178 号	461000
猴王集团	湖北省宜昌市夷陵路 344 号	443000
南京第二机床厂	江苏省南京市水西门菱角市 66 号	210004
南京电瓷总厂	江苏省南京市燕子矶笆斗山	210038



单 位	地 址	邮 编
武进柴油机厂	江苏省武进县湖塘桥北	213161
景德镇华意电器总公司	江西省景德镇市官庄	333000
抚顺电瓷厂	辽宁省抚顺市新抚区公园街	113001
山东牟平发动机集团公司	山东省牟平县宁海镇工商街 45 号	264100
淄博牵引电机(集团)股份有限公司	山东省淄博市张店区共青团东路 34 号	255030
陕西汽车制造总厂	陕西省西安市灞桥区幸福北路副 18 号	710043
上海印刷包装机械总公司	上海市中兴路 408 号	200071
上海造纸机械总厂	上海市共和新路 3001 号	200072
成都内燃机总厂	四川省成都市外北荆竹坝	610082
成都三电股份有限公司	四川省成都市九眼桥宏济新路 2 号	610061
天津市电缆总厂	天津市南开区黄河道西头	300012
昆明重型机器厂	云南省昆明市官渡区茨坝	650203
北京东方电子集团股份有限公司	北京市朝阳区酒仙桥	100016
河南省周口市通信电缆厂	河南省周口市七一路东段	466000
南京电子管厂	江苏省南京市中山北路 215 号(七七二厂)	210009
南京电子网板有限公司	江苏省南京市中央门外迈皋桥何家村	210028
大连华录集团公司	辽宁省大连市中山区唐家屯	116013
浪潮电子信息产业集团公司	山东省济南市南山大路 224 号	250013
国营成都宏明无线电器材总厂	四川省成都市二环路东二段 29 号(82 号信箱)	610051
国营涪江机器厂	四川省绵阳市跃进路 4 号	621000
内蒙古第一机械制造厂	内蒙古自治区包头市青山区青山东路	014031
中国贵航集团西南工具总厂		
新航机械公司		
中南传动机械厂		
上海飞机制造厂	上海市龙华机场	200232
朝阳重型机器厂	辽宁省朝阳市红旗路一号	122000
广东省二轻制冷机公司	广东省广州市东华北路 50 号	510400
台山市空调器总厂	广东省台山县	529200
珠海格力电器股份有限公司	广东省珠海市	519000
山东塑料橡胶机械总厂	山东省莱芜市文化南路 1 号	211100
国营第一钟表机械厂	陕西省长安县太乙宫镇	710105
上海上菱电器股份有限公司	上海市浦东洋泾建平路 2 号	200135
上海双鹿电器股份有限公司	上海市天山路 651 号	200051
上海水仙电器实业股份有限公司	上海市汶水路 19 号	200072
加西贝拉压缩机有限公司	浙江省嘉兴市	314000



重点企业产品介绍

北京华立精细化工公司

本公司系北京昌平科技园区的高新技术企业，占地 3000m²，建筑面积 2200m²，包括 1400m² 厂房和 600m² 办公试验楼；职工总数 60 人，其中大专以上学历的科技人员 40 余人。本公司拥有最新国际标准的冷却特性测试仪和其它检测仪器，积累了淬火介质研究开发和应用技术方面的丰富经验，专门研究并生产新型优质淬火介质。主要产品和技术服务项目有：

一、PAG 类水溶性淬火剂——今禹 8—20

PAG 淬火介质具有冷却特性可调、浓度易测易控、抗污染性强、热稳定性好、有效寿命长，不燃烧，淬火时无烟气、生产环境清洁，带出量少，淬火后工件可不清洗而直接回火等一系列的优点，是当今最优良的水溶性淬火介质。

自来水中淬火，在过冷奥氏体的低温转变阶段（通常约在 300℃ 附近），冷却速度过快，因而只适用于少数碳含量少、淬透性低的钢种。出于这样的原因，研究开发水溶性淬火介质的首要目标就是降低水溶液在上述 300℃ 附近的冷却速度（以上简称介质的 300℃ 冷却速度）。

常见的 PAG 淬火剂品种，其最低的 300℃ 冷却速度在 40~60℃/s 范围，今禹 8—20 却可以达到甚至低于 20℃/s 的 300℃ 冷速。因此，在 PAG 淬火剂产品中，今禹 8—20 淬火液具有最强的防止淬裂能力；如以获得相同的冷却特性为目标，则今禹 8—20 的使用浓度最小，使用成本最低。

今禹 8—20 主要适用于低、中合金结构钢和各类弹簧钢的整体淬火、渗碳和碳氮共渗淬火，是这类钢件“以水代油”的理想淬火介质。

二、专配淬火油和淬火油专配添加剂

本公司专配淬火油包括两类：一类是根据用户提供的油样，配制具有相同使用性能的淬火油，主要为使用高价进口油的工厂提供能获得相同热处理效果且价格低廉的淬火油；另一类是根据工厂特定情况和要求，有针对地配制专用的淬火油。

本公司淬火油专配添加剂用于：(1) 使用中的普通机油，冷却能力不足，不能满足主要工件的热处理要求，我公司可据情配制相适应的淬火油添加剂，有针对地提高油的冷却能力，使其满足淬硬和硬化深度要求；(2) 经过一段时间使用后的国内外淬火油，因冷却能力明显衰退而不能满足热处理要求，我公司也可据情配制出相适应的油性添加剂，使旧油恢复到相当于新油的冷却特性。通常，每吨淬火油所需改性添加剂的费用约为国内淬火油价的三分之一。

三、淬火介质冷却特性检测和诊断服务

为各地工厂测定使用中的淬火油和其它淬火液的冷却特性，以供进行热处理质量控制或分析解决有关的技术质量问题。如果用户需要，本公司可帮助分析淬火液冷却特性对工件淬火质量的影响，并提供改进提高淬火质量的方法。

存在淬火开裂、硬度不足、硬化深度不够、淬火变形超差等与淬火介质有关的质量、技术难题的工厂，来函或来人说明情况，我公司即可据情推荐合适的淬火介质并提供相应的使用技术，协助用户解决技术质量难题。

地址：北京昌平

邮编：102200

电话：(01) 9746017, 9747974

传真：(01) 9746017



北京市培特机电新技术公司

本公司为北京市新技术产业开发试验区高新技术企业，专业从事可控气氛热处理计算机控制系统的开发和应用，为用户提供从技术咨询、设备改造、系统安装、调试生产到人员培训交钥匙工程的全套技术服务。

主要产品：

1HT9300 系列多用炉和井式炉渗碳/碳氮共渗/光亮淬火工艺过程微机控制系统（即“傻瓜型”系统）系统由 STD 总线工业计算机、大功率可控硅、和备用的智能控温仪和智能碳控仪组成，配用本公司 PET-CARBSTAR（培特—渗碳之星）全过程实时自适应软件，只要从键盘输入材料和技术要求代号，按下启动键，整个工艺过程（从加热排气直至出炉）无需人工干预及看中间试棒，碳势和温度全部由计算机实时自动调节控制，并实时显示当时炉温、碳势、工件表面碳浓度和硬化层深度，处理完毕自动鸣铃。整个系统设在两个 $600 \times 600 \times 1800$ 的控制柜内，可直接置于炉边。

2HT9310 系列多用炉集散式计算机控制系统 前沿机采用智能控温仪表和智能碳控仪表，炉机动作采用 PLC，上级机为工业 PC 机，彩色 CRT 实时显示当时炉温、碳势、工件表面碳浓度、硬化层深度和碳浓度分布曲线，工艺控制采用 PET-CARBSTAR 全过程实时自适应软件。

3HT9320 型推杆式渗碳、淬火、清洗、回火机组集散式计算机控制系统 前沿机采用智能控温仪表和智能碳控仪表，炉机动作采用 PLC，上级机采用工业 PC 机，彩色 CRT 实时显示当时各区炉温、碳势和每一料盘工件的表面碳浓度、硬化层深度和碳浓度分布曲线，工艺控制采用 PET-CARBSTAR 全过程实时自适应软件，可根据情况自动调整推料周期。

4HT9321 型转底炉微机控制系统 温度采用智能数显表控制，碳势采用智能数显表控制，炉机动作采用 PLC 进行控制，并有点动调试功能。报警功能齐全。全系统设在 3 个 $800 \times 600 \times 2000\text{mm}$ 控制柜内。

5HT9322 型可控气氛网带炉机组微机控制系统 对由上料机、淬火炉、淬火槽、清洗机、回火炉和甲

醇裂解炉组成的可控气氛网带炉机组进行全系统控制。温度采用智能数显表控制，碳势采用智能数显表控制，炉机动作采用 PLC 进行控制，并有点动调试功能。报警功能齐全。全系统设在 5 个 $800 \times 600 \times 2000\text{mm}$ 控制柜内。

6HT9350 经济型气体渗碳/碳氮共渗炉温及碳势微型机控制系统 适用井式炉渗碳/碳氮共渗热处理工艺中碳势及温度的自动 PID 控制。用户只需将碳势、温度及时间的设定值预先输入系统，就可以在整个工艺过程中将碳势和温度控制在精确的范围内。

7HT9540 型智能数显碳势控制仪 根据炉气碳势和时间分阶段设定值，对富化气介质和载气介质同时进行自动控制；在手动方式，不用碳传感器，直接设定富化气介质和载气介质的注入方式和流量特性，控制炉气碳势。本仪表可单独使用，也可与其它仪表组成大型控制系统。仪表尺寸为 $96 \times 96 \times 160\text{mm}$ 。

8HT9541 智能渗碳/碳氮共渗工艺过程控制仪 可直接控制炉气碳势和两区温度，内含 PET-CARBSTAR 实时自适应控制软件，实时计算和显示碳浓度分布曲线。可用于井式炉多用炉渗碳、碳氮共渗全过程的自动控制。该仪表可单独使用，也可用作碳势和温度控制的前沿机与工业 PC 组成集散式控制系统，可用于多种连续炉、多用炉的集散式控制和车间联网管理。仪表尺寸为 $144 \times 144 \times 300\text{mm}$ 。

9 井式渗碳/碳氮共渗炉 专门与 HT9300、HT9350 微型机控制系统配套，有 60、75、90、105kW 等种。炉气密封良好，在工艺过程中保持气氛成分稳定。

以上各种控制系统和仪表均可用于滴注式（可用甲醇和普通煤油为原料）、吸热式和氮基（氮-甲醇）各种气氛。

地址：北京市海淀区小关街市政 212 内

邮编：100083

电话：01-2048082，01-2046274



广东省中山市和泰机电厂

本厂是国家机械工业部、电力工业部定点生产互感器专业厂，是中国工程建设标准化协会会员、全国电气工程标准技术委员会委员、电力工业部电测量标准化技术委员会委员、全国环氧树脂应用技术学会华南分会会员、全国变压器标准化网网员、全国仪用互感器科技情报网网员等 15 个专业委员。设有“华南国家计量测试中心高电压计量站”（国家级）。

本厂土地面积 7.7 万 m^2 ，建筑面积 3.3 万 m^2 。有雄厚的技术力量。采用本厂 7 项国家专利独有技术，创制了高精度、高动热稳定，功率因数广，多次级、全工况的 0.5~220kV 全系列电流电压互感器。

在 1984 年以来，产品连续获省、地、市优质产品奖，国家部优产品奖。1987 年被国家选送到瑞典参加国际发明展览。何见光厂长受到瑞典国王古尔卡塔夫亲自接见。1989 年又到西德参加国际科技展览。1992 年获国家发明奖。1993 年列为广东省级重点新产品及国家级新产品。1994 年国家确认泰峰牌电流电压互感器为“中国公认名牌产品”。

主要产品

户外六氟化硫电流互感器系列，电压：66~220kV，电流比：75~5000/5 或 1A。具有运行安全，十年免维修，精度 0.2 级、0.2S 级，高动热稳定，无油不燃烧、不爆炸，局部放电量 2pC 以下，无介质损耗的特点。

户外电容式电压互感器系列，电压 110~220kV，它能避免因谐振产生过电压，运行安全可靠，有三个次级，精度 0.2 级，大容量（300VA），功率因素 0.3~0.5 或 0.8。可兼作

载波通讯用。

环氧浇注电流电压互感器系列，电压 3~35kV，精度 0.2 级、0.2S 级，满足各种开关柜及电力计量单位安装使用，专为全国联合设计的电能计量柜提供高精度、高动热稳定，多次级、全工况、功率因数广的高质量各种型号、规格的互感器。

油浸绝缘的电流电压互感器及计量箱系列，电压：3~35kV；电流：1~3000A。精度 0.2 级、0.2S 级，大爬距，高原、高湿防污型。

0.5、0.66 全系列的电流互感器，精度 0.2 级、0.2S 级。其中有 LMZ, LMZ4, LMK, LQZ, LM, LQK 等。

各种型号、规格的零序互感器系列。

环氧干式带铁心 3~10kV 电压三相电抗器系列。

触头盒、绝缘套管、绝缘子等附件。

标准用的 220kV 及以下各种规格的精密电流、电压互感器与比例标准，精度 0.00001~0.05 级，其中 110kV 工频电压比例标准自校系统，是目前国内最高等级的电压标准，供给全国各大网局及省区中试所作标准之用。

试验互感器误差用的成套校验装置，包括互感器校验仪，标准电流、电压互感器，电流、电压负载箱，升压器、升流器、操作控制台等。

交直流 0~220kV 升压器、耐压试验机：0~12000A 电流发生器。

地址：广东省中山市东风镇

邮编：528425

电话：0760—260098

传真：0760—3361891



哈尔滨锅炉厂

哈尔滨锅炉厂是中国最大的电站锅炉制造厂,也是国内生产大型石化容器的主导厂之一,是我国首批国家一级企业。工厂建于1954年,1957年竣工投产。现直属机械工业部哈尔滨电站设备集团公司领导。占地面积526000m²,厂房建筑面积261600m²,固定资产60577万元,各种设备3774台(套),职工9200人(高中级技术与管理人员2000人)。拥有新建世界一流15456m²重冷厂房,18804m²膜式壁厂房。有80000kN油压机、MPM生产线、窄间隙焊机、数控三轴深孔钻床、4MeV直线加速器、x光工业电视检测仪及ICP光谱分析仪等先进设备、自制具有国际水平的计算机数控锅炉蛇形管生产线等设备。可设计制造600MW及其以上大型电站锅炉及辅机、大型石油化工容器、核能设备、电站阀门等产品,是我国现代化大型骨干企业。1981年引进了美国CE公司亚临界控制循环锅炉设计制造技术,形成了按ASME法规批量生产引进型300MW、600MW锅炉能力。年生产能力:电站锅炉3500MW、工业锅炉1000蒸t,电站辅机3000t,电站阀门1200t,容器设备1000t,年销售额90000万元。到1993年底,累计生产电站锅炉543台,总容量40900MW,占国产火电装机总容量的35%。锅炉分布在全国27个省市自治区的150个电厂,部分产品行销22个国家。工厂具有现代化企业管理机制、完善的质量保证体系。1986年成为全国首家“国家一级标准化企业”和“国家一级计量单位”,1987年取得美国ASME法规SU、U2证书及钢印,1989年获得“国家质量管理奖”,并被审定为国家特级安全企业等。工厂有独立的用户服务部门,推行售后质量信息反馈的闭环管理网

络,可为用户提供各类锅炉、容器及辅机的设计、制造技术咨询,技术培训及现场安装调试等服务。

主要产品

6~600MW中压、次高压、高压、超高压,亚临界参数自然循环或控制循环,燃烧各种燃料的电站锅炉及各种容量的工业炉、余热炉。电站锅炉系列产品有:600MW(亚临界控制循环)锅炉;300MW(亚临界自然循环和控制循环)锅炉;超高压200MW锅炉以及高压参数的100MW和50MW锅炉。

电站辅助设备,包括煤粉分离、吹灰、除渣、水处理及除氧设备,给水加热器、热网加热器,减温减压装置等30个系列400多种规格。

公称压力PN2.5~32MPa,公称通径DN4~400mm电站阀门40个品种335种规格。

年处理量100~500万t炼油设备,6~300万t合成氨装置,11~52万t尿素装置,30万t乙烯装置的各类容器;高压蓄能器1.4m³高压球形气瓶;核能设备5MW低温核供热堆主设备。

名优产品: HG—2008/18.2—YM型锅炉, HG—QG31.38/1.4型高压球形气瓶获国家金奖; HG—410/9.8(11)型锅炉及 HG—SG19.61/4高压蓄势器获国家银奖; 220、QG410、670t/h锅炉均系部优或省优产品。

地址:哈尔滨市动力区大庆路17号

邮编:150046

电话:2681711

传真:(0451)2681689



机械工业部北京机电研究所

北京机电研究所是机械工业部直属多专业综合性研究与开发科研机构,是我国机械工业锻压、热处理、锻模等行业的技术归口单位,全国百家首批拥有直贸外贸权的科研院所之一,“精密成形国家工程中心”及联合国援建的“精冲技术开发服务中心”均设在本所。中国机械工程学会锻压学会、热处理学会、中国热处理行业协会、全国锻压标准化技术委员会、热处理标准化技术委员会、锻模标准化技术委员会等行业、学术组织的常设办事机构也均设在本所,编辑出版有《金属热处理》、《锻压技术》、《金属热处理学报》、《塑性工程学报》等多种国内外公开发行的专业技术杂志。

本所始建于1956年,1991年搬入位于北京海淀区新技术开发区的新所址。新所占地45亩,建筑面积3.6万m²,有14层高的科研大楼和1万多m²的生产实验车间厂房,拥有科研生产设备455台,科研仪器589台,固定资产总值超过5千万元。

本所现有职工约800人,工程与专业技术人员500人,其中工程师200人,高级工程师百余人,教授级高级工程师30余名,享受政府特殊津贴的有突出贡献专家20人,本所拥有锻压、热处理两专业的硕士学位授予权,有硕士研究生导师20人,全所有近百人具有博士、硕士学位。

本所围绕金属精密成形(锻压)、热处理、模具、工业检测与控制等专业设置有16个研究室和相应的试验室:金属塑性成形工艺研究室(一室)、热处理工艺与设备研究室(二室)、工业检测与控制技术研究室(三室)、模具技术研究室(四室)、金属塑性成形设备研究室(五室)、金属超塑技术研究室(六室)、锻压技术行业室(七室)、热处理技术行业室(八室)、理化检测中心(九室)、表面工程研究室(十室)、技术信息研究室(十一室)、真空热处理工艺及设备研究室(十二室)、精冲技术研究室(十三室)、叶片加工技术研究室(十四室)、CAD/CAM技术研究室(十五室)和工业

机器人研究室(十六室)。

在锻压技术方面,我所拥有精密锻造、钣金成形、冷锻与冷挤压、超塑和等温成形、辊锻与楔横轧、模具设计与制造等综合技术,可提供自动辊锻机、楔横轧机,多工位自动成形机、离合器式高能螺旋压力机、电磁成形机等,可承接汽车连杆锻造生产线、汽车转向节锻造生产线、汽车前轴辊锻成形生产线、精密锻造生产线、多工位自动锻造生产线、楔横轧生产线、汽车内饰地毯生产线、叶片加工生产线等。

在热处理方面,我所拥有感应加热热处理、可控气氛热处理、激光与电子束热处理、真空热处理、低温化学热处理、淬火冷却等综合技术,可承接可控气氛渗碳、碳氮共渗生产线、光亮淬火热处理生产线、表面淬火及透烧加热感应热处理生产线,以及大轧辊、大齿轮等杂复零件的热处理。可提供各种密封箱式多用炉、真空热处理炉(含钎焊、烧结炉)、流动粒子炉、电加热辐射管、碳控仪、氧控头,以及各种防氧化、防渗涂料、淬火冷却介质及冷却性能测定仪等。

名优产品: CSP 离合器式高能螺旋压力机、MP 型热模锻压力机及热模锻机器人、ARWS 型辊锻机及 AS 系列辊锻机器人、D46 型楔模轧机、WZ 系列真空炉、ZD 系列密封箱式多用炉、JST-900 型淬火介质冷却速度测定仪、新型电热辐射管、92 型 X 射线应力测定仪、彩色超声探伤仪。

本所非常高兴与国内外同行建立各种协作关系。诸如:科技攻关,其同开发,技术转让,设备定购,投资建厂、多边贸易、技术咨询、技术服务、信息交流、人员培训以及其他合作方式。北京机电研究所将是您事业成功的合作伙伴。

地址:北京海淀区学清路18号

邮编:100083

电话:2017107(所办)

电传:222573 RIMET CN



机械工业部哈尔滨焊接研究所

本所建于1956年，是机械部部属从事焊接技术与开发的综合性研究所，主要从事金属材料焊接的行为、焊接材料、焊接工艺、焊接设备、焊接结构、无损检测技术、热切割技术以及诸如计算机、电子等新技术在焊接领域中应用方面的研究与开发，并注重其成果在工程中的应用。

全所占地面积23000m²，建筑面积36136m²。现有科研、生产设备及仪器共1525台，固定资产原值2751万元。现有职工693人，专业技术人员438人，其中工程师211人，高级工程师79人，教授级高工10人，研究生导师18人。是较早地获得焊接工学硕士学位的授予单位。

建所以来共取得科研成果450项，其中，80年代以来获国家发明奖5项，国家科技进步奖6项，省、部级科技进步奖87项，取得专利16项。本所也为振兴黑龙江经济贡献了力量，1992年和1993年分别获得省振兴经济二等奖和一等奖。

本所科研成果主要应用于十个方面：发电设备、冶金设备、石油化工设备、工程机械、桥梁建筑、交通运输机械、煤矿机械、家用电器和军工产品等。

本所是全国最大的综合性焊接研究单位，承担着全国焊接行业的组织和管理的工作。设有：中国焊接协会秘书处、中国机械工程学会焊接学会秘书处、全国焊接标准化技术委员会秘书处、国家焊接材料质量监督检验中心、机械工业部火焰切割机械产品质量监督检测中心、代机械部管理中德合办的“焊接技术培训中心”。

本所出版有四种期刊杂志：《焊接学报》、

《焊接杂志》、《中国焊接》(英文版)、《焊接文摘》。

主要产品：

(1) 大型专用焊机及生产线：双丝窄间隙埋弧焊技术与设备；高频焊接螺旋翅片管生产线；轧辊堆焊(修复)生产线；烧结焊剂制造生产线；镀铜焊丝生产线；无缝药芯带极制造生产线；ESJR-60双金属机锯条电子束焊机；CJ-50Ⅰ型摩托车车架焊接自动线；JH70型摩托车车架四头TIG焊接专用机；加氢空冷器深小孔内角焊MAG焊机；热壁加氢小管内壁耐蚀层自动堆焊设备。

(2) 各类焊机及切割机：LH-300-G等离子弧焊管机；LH-300-B等离子弧焊带机；自动摩擦焊机(HSMZ-系列)；GCNC-7500A型数控火焰切割机；GX₂-600型型钢火焰切割机；GCJ2-350型坡口切割机；LGK-50、100型空气等离子弧切割机；手持式自动等离子弧切割机。

(3) 焊接测试装置及辅助用具：电脑动态焊接参数测量仪；HG-IB型二维焊接跟踪装置；HCL-3(MC)型五头插销试验机；焊接高温耐裂缝试验机；焊缝自示教跟踪装置；环焊缝用旋转接地器；气电焊送丝软管。

(4) 焊接材料：各种不锈钢焊条；各种堆焊焊条；各种镍及镍基合金焊条；特种专用焊条(19-9-6高锰钢及淬硬钢等)；特种专用焊丝；特种喷涂、堆焊合金粉末、粉块；烧结焊剂(SJ102、SJ201、SJ601、SJ6)。

地址：哈尔滨市南岗区和兴路111号

邮编：150080 电挂：2267

电话：6336693

传真：6325871



冶金部北京冶金设备研究院红外炉研究中心

冶金部北京冶金设备研究院红外炉研究中心研制的各种系列红外电阻炉分别于1986年、1993年通过部级鉴定,并获冶金部科技成果奖,全国第四届发明展览会银牌奖,国际博览会银奖,北京市科技成果优秀项目奖等8项奖励。

各种系列红外电阻炉先后被批准为冶金部“七·五”“八·五”,国家科委、国家计委“八·五”科技成果重点推广项目。

1988~1992年专利许可及技术转让8家工厂生产,红外电阻炉产品在全国20多个省市、自治区应用并出口国外,据4000多台使用结果,电炉性能指标超过国家标准,节电达75%,炉温均匀性优于国家标准。这两项达到国际先进水平,经计算机控制可达 $\pm 1^\circ\text{C}$ 。据统计,红外电阻炉的应用,为用户为国家节电30亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$,创社会效益约4亿人民币。主要科技成果及产品有:

(1) 三项国家专利及特点:该中心获1988年授权的《远红外金属电阻带热处理加热炉》、1993年授权的《电阻炉加热装置》、1993年授权的《一种工业炉用的炉门机构》等三项国家专利。本项目由寿命长耐高温金属电阻带直热式红外加热装置代替国内外传统的加热装置。采用独特密封很好升降自如的炉门机构及三阶梯台车密封机构。炉衬结构,炉顶结构采用轻型化、大组合块不同耐火材料(含耐火纤维)的浇注工艺。本项目有微机等多种全自动晶闸管控制柜。本项目各项指标达到并超过国家标准GB10067.1, GB10067.4, GB10066.4。外壳温升降低 12°C ,炉门口温升降低 70°C 。本项目节电效果达到国际先进水平,每吨热处理工件耗电量比国际标准降低45%。比我国普通电阻炉降低77.4%。

炉温均匀性: $\pm 5^\circ\text{C}$ (经计算机控制达 $\pm 1^\circ\text{C}$);

额定温度:室温~ 1200°C 。

用途:金属零件热处理;有色金属熔炼;各种物质干燥;石英熔炼。

(2) 各种系列红外电阻炉

① 轧辊专用及大型钢件热处理用的RHTG系列特大型台车红外电阻炉。按功率(kW)分有10种规格:RHTG-320, 400, 480, 560, 640, 720, 800, 880, 960, 1040kW。装炉量:30~120t。

② 取代旧式台车电阻炉的RHT系列台车红外电阻炉。按功率(kW)分有10种规格:RHT-66, 75, 90, 105, 150, 180, 250, 320, 400, 450kW。装炉量:1.3~16t。

③ 取代旧式箱式电阻炉的RHW系列红外电阻炉。按功率(kW)分有10种规格:RHW-12, 20, 24, 30, 36, 45, 51, 60, 66, 75kW。装炉量:0.08~1.5t。

④ 替代旧井式炉的RHJ系列井式红外电阻炉。按功率(kW)分有10种规格:RHJ-36, 42, 60, 65, 75, 90, 95, 125, 140, 190kW。装炉量:0.3~4.5t。

⑤ 无需变压器的RHY系列盐浴炉。按功率(kW)分有5种规格:RHY-20, 30, 45, 70, 100kW。装炉量:0.08~0.35t。

⑥ RHB系列钟罩式红外电阻炉。按功率(kW)分有12种规格:RHB-65, 95, 125, 180, 200, 240, 250, 320, 420, 450, 540, 600kW。装炉量:1.6~25t。

⑦ RHE系列隧道式红外电阻炉。按功率(kW)分有10种规格:RHE-66, 75, 90, 105, 150, 180, 250, 320, 400, 450kW。装炉量:1.5~50t。

还有各种非标准的电阻炉及电加热设备,还有金属熔炼,非金属熔炼电炉、实验室电炉。

(3) RHG系列干燥红外电阻炉成套设备

按功率(kW)分有10种规格:RHG-36, 51, 66, 75, 90, 105, 120, 150, 180, 210, 250kW。容积:4.3~22.5 m^3 。

(4) 燃油及燃煤热处理设备

采用新型耐火保温材料、全浇注耐火纤维做炉衬、煤浆混合先进技术、有效消除噪音及防污染设备,节能50%以上。

(5) 热处理微机及自动化控温电控柜

① 可控硅电炉控制柜有6种规格(kW):KG-60, 75, 100, 150, 200, 250kW。

② 微机控制电炉自动化电控柜。采用最新微机及软件对不同炉型、不同使用温度,不同工艺进行全自动控制。经微机控制加上电炉保温性能好,炉温均匀性可达 $\pm 1^\circ\text{C}$ 。

地址:北京安定门外胜古庄2号东院

电话:4269911-2092

电挂:4627

北京第一通用机械厂（北京压缩机厂）

北京第一通用机械厂（北京压缩机厂）是机械部重点骨干企业之一。创建于1926年，占地近30万m²，职工3000人，属全民所有制大型机械制造企业。主要以生产大中型气体压缩机为主，共有30多年的设计及生产经验，可生产各种气体压缩机180余种，其中包括：冶金、机械、化工、建筑、轻纺等行业空气动力用压缩

机；石油化工工艺流程用压缩机；城建煤气站及石油天然气增压压缩机；电站用压缩机；科研用隔膜压缩机及单螺杆压缩机。

本企业压缩机品种齐全，供货及时，欢迎各工矿企业用户来人来函洽谈选型。

主要产品：

名称	产品型号	冷却方式	排气量 (m ³ /min)	进气/排气压力 (MPa)	电机功率 (kW)
动力用空气压缩机	2D12-100/8	水冷	100	大气压/0.8	550
	2D12W-60/10 (无油)	水冷	60	大气压/1	400
	2D8-60/8	水冷	60	大气压/0.8	350
	L5.5-40/8	水冷	40	大气压/0.8	250
	L5.5W-30/15 (无油)	水冷	30	大气压/1.5	250
	L5.5W-40/8 (无油)	水冷	40	大气压/0.8	250
	L5.5-20/25	水冷	20	大气压/2.5	250
	4L-20/8	水冷	20	大气压/0.8	132
	4LW-20/8 (无油)	水冷	20	大气压/0.8	130
	4LW-44/2.5 (无油)	水冷	44	大气压/0.25	132
	4LW-30/3 (无油)	水冷	30	大气压/0.3	132
	3LW-10/8 (无油)	水冷	10	大气压/0.8	75
煤气压缩机	2D12-230/1.5	水冷	230	常压/0.15	550
	2D12-150/3	水冷	150	常压/0.3	550
	2D5.5-120/1.5	水冷	120	常压/0.3	280
	2D5.5-80/1.5	水冷	80	常压/0.15	250
	4L-60/1.5	水冷	60	常压/0.15	160
	4L-44/1.5	水冷	44	常压/0.15	110

地址：北京昌平沙河镇沙阳路15号。

邮编：102206

电话：9732273

传真：9732194

广州型腔模具厂

本厂是机械部重点企业，又是被国家计委、机械部1993年定为振兴基础机械和基础件的特定企业。我厂建于1956年，现隶属于广州市机电工业局，主要以生产模具为主，尤以设计制造大中小型汽车、摩托车及家电产品用的压铸模具为专长，其主要技术指标在国内处于领先地位。经过“六五”、“七五”、“八五”三期技术改造投资近2000万元，现设备较先进，生产已具规模，产品市场近、远期看好。

主要产品：以生产大、中小型压铸模具为主，兼营注塑件，铸件，真空热处理，一般热处理件加工生产

以及家用风扇、小型电器加工生产。

名优产品：大型压铸模具曾获得中国模具工业协会组织评比的优质模具特奖及国内压铸模具先进水平奖。

地址：广州市海珠区昌岗中路慎德东18号

北厂：广州市中山八路31号

邮编：南区：510250 北区：510175

电话：南区：（厂办）4419488 北区：8814231

传真：南厂（厂长室）4430194



河北省河间市新华线缆集团公司简介

河北省河间市新华线缆集团公司是机械工业部定点生产厂家、全国首批工业生产许可证发证单位，国家重点骨干企业。它的前身是河间市新华通讯电缆厂，始建于1985年。是乡镇集体企业，隶属企业局。公司占地面积239760平方米，目前拥有七个分厂和一个分公司，建筑面积67000平方米，固定资产1.8亿元。公司直属企业有：河北新华电缆厂、河间市交联电缆厂、河间市辐照交联电缆厂、河间市无氧铜材厂、河间市新华钢带厂、河北开明塑料有限公司。现有员工1065人，其中各类专业技术人员185人。该公司先后从芬兰、德国、瑞士、俄罗斯引进90年代世界先进水平的生产设备和检测设备。主要产品有：“乾通”牌VV、VLV、W₂₂VLV₂₂0.6~1kV电力电缆；ZR-VV0.6~1kV阻燃电力电缆；BV450~750V布电线；AV系列450~750V安装线；KVV₂₂系列450~750V控制电缆；JKV、JKLV0.6~1kV架空电缆；CVV/DA0.6~1kV船用电缆；YJV、YJLV、YJV₂₂、YJLV₂₂系列6~35kV交联电力电缆，JKV、JKLV系列6~10kV交联架空电力电缆，YJV、YJLV系列0.6~1kV低压辐照交联电力电缆，KJYV系列450~750V低压辐照交联控制电缆等

10多个系列5000余种规格。该公司生产的“乾通”牌电线电缆先后荣获“河北省优质产品奖”，93年荣获“全国消费者信得过产品奖”，94年荣获“河北省技术监督局免检产品”称号，95年5月该公司生产的6~35kV交联聚乙烯绝缘电力电缆荣获“河北省科技成果证书”。该公司产品由中国平安保险公司承担质量保险。凡购买该公司生产的“乾通”牌电线电缆，中国平安保险公司在保险期内依法承担因产品质量造成的下列赔偿责任：一、产品本身的损失；二、对用户及他人造成的人身伤害引起的赔偿责任；三、对用户及他人财物造成损失引起的赔偿责任。该公司荣获“河北省百强乡镇企业”，“河北省优秀企业”94年被农业部授予“全国最佳经济效益乡镇企业”。95年该集团产值可达5亿元，利税8000万元，97年产值可达10亿元，利税1.5亿元。

董事长秦树明偕全体员工向各界朋友致意。

地址：河北省河间市故仙乡前埋村

邮编：062451

电话：(0317)3871132、3871024、3871123、3871045

四川宜宾电机厂

本厂建于1965年，全民所有制企业。占地14万m²，建筑面积6万m²，现有职工800余人，科技人员130余人，各种加工设备300余台。具有35万kW中小型电动机的制造能力。是四川省生产三相异步电动机的骨干企业，也是全国定点生产专用派生系列电动机的主要生产厂家之一。1989年获四川省先进企业称号。1990年主导产品获部优产品称号。1993年获四川省新技术开发实力百强企业称号。1993年获国家统计局中国500家最大电气机械及器材制造企业称号。

宜宾电机厂主要经营Y系列(IP44)及其派生系列三相异步电动机和25~450t·m塔式起重机专用系列三相异步电动机。

主要产品：YTLEJ塔吊力矩三相异步电动机；YTS塔吊起升三相异步电动机；YTEZ塔吊行走三相异步电动机；YTJ塔吊电缆卷筒三相异步电动机；

YTH塔吊回转三相异步电动机；YTC塔吊小车三相异步电动机；YTB塔吊液压泵三相异步电动机；Y系列(IP44)三相异步电动机；YEJ系列电磁制动三相异步电动机；YCT系列电磁调速三相异步电动机；YLJ、YLJZ系列力矩三相异步电动机；YD系列变极多速三相异步电动机；YH系列高转差率三相异步电动机；Y-F系列化工防腐型三相异步电动机；Y- $\frac{WF}{F}$ 系列户外及户防腐型三相异步电动机。

名优产品：YTLEJ塔吊力矩三相异步电动机获中国专利局实用新型专利(专利号为ZL93 2 3846.1)。

YLJZ力矩三相异步电动机获中国专利局实用新型专利。

地址：四川省宜宾市盐坪坝

邮编：644008

电话：0831-2331924



机械工业部机械科学研究院

机械工业部机械科学研究院是中国机械工业最大的科研开发机构，成立于1956年。主要从事机械工业共性技术、基础技术、高新技术及产品的研究开发，并兼有这一领域的管理职能。机械科学研究院包括院本部及院系统的哈尔滨焊接研究所、沈阳铸造研究所、郑州机械研究所、上海材料研究所、武汉材料保护研究所、北京机械工业自动化研究所、北京机电研究所。全院共有职工6700人，其中专业技术人员4300多人（高级工程师700多人）。

院本部在北京设有技术开发、技术监督、技术创新等三大科研体系。主要专业领域是：环保技术与装备、机械基础件工艺与装备、机场地面设备、包装与食品机械、条形码技术及装备、机械工业标准化、通用零部件及其检测精密计量与测试控制、质量与可靠性、核设备安全、工业工程及软科学等方面的科研、开发、经营及行业技术管理与服务工作。院本部职工近880人，其中技术人员620多人（高级工程师130人）。

机械院本部可为广大用户提供如下优质服务：

1. 科研攻关：新技术、新工艺、新设备、成套技术、生产线。

2. 技术转让：提供成熟的科技成果并用于生产。
3. 技术咨询：难题咨询、引进消化、企业诊断、需求预测。

4. 技术服务：工程数据库、测试检验、标准信息及文本、软件编制。

5. 质量认证：质量体系认证、产品安全认证。

6. 产品销售：新设备、新仪器、精密零件和元器件、机电一体化成套设备。如：旋转伸缩型旅客登机桥系列；高架型立体车库系列；电阻焊制罐生产线高、中、低速系列成套设备；环形件精密冷辗扩机；电解去毛刺加工机床；组合式清洗机；能除漆雾并治理苯废气的新型喷漆室；多功能测微仪（智能化长度测控系统）；油泵油嘴偶件综合参数全自动精密测量分选机；高精度非接触测量式轴承滚柱自动分选机；大型工件形位公差自动测试仪；污泥脱水成套设备及自动控制系统；污泥堆肥成套设备；高效系列电动除锈机具。

地址：北京首都体育馆南路二号

邮编：100044

电话：8340088

传真：(010) 8340825

浙江省兰溪纺织机械厂

浙江省兰溪纺织机械厂建于1977年，是中国纺织总会和浙江省轻工业厅定点生产GD系列络、并、捻丝机配套生产企业。工厂现有职工800余人，其中工程技术人员47人，高中级职称有20人。占地面积6万多m²，其中生产建筑面积4.170万m²。现有固定资产原值1369万元，年铸造能力为灰铸铁件2400t，金加工能力150万工时。具有较完善的质量检测和质量保证体系以及一部分精密机械生产设备。产品行销国内28个省市自治区。工厂在淄博、成都、苏州、杭州、湖州、绍兴等地均设有经营部，并有专业售后服务队，是浙江省国营纺织机械企业中唯一荣获国家二级企业称号的纺织机械厂。

主要产品：

1. GD005型络丝机；GD163型倍捻机；GD001-145型络丝机；GD001-150型络丝倒筒两用机；GD/

01A-94型并丝机；GD141-100型捻丝机、GD141A-120型捻丝机

2. LGD-100型、LGD-120型捻丝机

3. K091型捻丝机；K071型并丝机；K051型络丝机

4. GD141-100型锭子；LTB-82型、LTB-100型铝筒管、K091型锭子；闪光测速仪

名优产品：GD141-100型捻丝机系部优产品；GD141-100型锭杆系省优产品；LTB-100型铝筒管系省优产品。

地址：浙江省兰溪永进路4号

邮编：321100

电话：(05896) 822872 823561

传真：(05896) 825105



中国机床总公司 (CNMTC)

中国机床总公司成立于1979年,是中国机电行业第一家实行内外贸结合、技工贸结合,集生产、技术、成套、服务于身的经济实体。

中国机床总公司主要负责组织全国机床工具行业开拓国内外两个市场,从事机床、工具及其相关的机电产品轻纺产品,化工原料及其制品,运输工具,土畜产品……的进出口贸易和国内营销业务,开展生产合作,提供机械工程项目技术设备成套服务,是中国机床工具行业最大的进出口技术设备成套专业公司。

中国机床总公司拥有50余个直属单位、分支机构和投资企业以及26个紧密联合企业,与一批科研设计院所、重点骨干企业建立了多渠道、多方位、多层次的联合,并与全国机床工具行业各个企业都有着密切联系,可以直接提供各种机床工具产品和成套设备,拥有稳定可靠的产品资源,中国机床总公司承担国家重点基本建设和技术改造项目的设备总承包任务,这些项目的实施为进口设备提供了重要用户。

中国机床总公司成立十余年来,始终致力于发展与世界各国(地区)的贸易往来与合作,已与80多个国家(地区)的客商建立了稳定的贸易合作关系,贸易伙伴不断增多,贸易额逐年增长,自1991年以来,一直跻身于全国最大500家外贸企业行列,在对外贸易活动中初步形成了“信息—开发—生产—经营—服务”一体化的新格局,公司的务实作风和周到服务在国内外同行中享有良好的信誉。中国机床总公司将一如既往,遵循“用户至上、信誉第一、真诚合作、共同发展”的经营方针,与海内外同行、各界朋友密切合作,为繁荣机床工具产品的国内外市场,竭诚努力,开拓前进。

地址:北京市安内胡同19号

邮编:100007

电话:(01) 4032224

电传:210088 CNMTC CN

武汉热处理研究所

武汉热处理研究所创建于1965年,系市属全民所有制专业化研究所,从事热处理工艺、装备的研究,开发和生产。占地13500m²,建筑面积7000m²,现有职工340人,其中科技人员110人,以雄厚的工艺装备研制开发能力和齐全的工艺生产门类服务于武汉市和全国二十多个省、市的机械、冶金、交通、能源、化工、轻纺等行业的千余家企业。本所尤以微机全自动化控制离子氮化和气体氮化设备见长。

主要产品:

LD—(30~300)离子氮化炉系列

LDM—(30~150)脉冲离子氮化炉系列

LDMC—(30~300)微机控制离子氮化炉系列

RJD—(20~300)微机温度、氮势控制井式气体氮化炉

根据用户需要,设计、生产维修各类标准型、非标型热处理设备和热处理生产线。

名优产品:

微机控制离子氮化设备曾获得国家“六五”科技进步三等奖,安装于东风汽车公司装备厂的LD—75离子氮化炉处于全国领先水平,已达国际当代先进水平,得到用户的高度评价。

微机控制大型井式气体氮化调质多用炉获联合国TIPS中国部分发明创新奖,属国内先进水平,是大型轴类另件热处理的关键设备,得到威墅堰机车厂、襄樊内燃机车厂的高度赞誉。

本所对产品实行“五包”服务:包设备安装调试;包甲方工艺试验投产;包操作和维修人员培训;一年内包设备故障维修;长期提供设备维修和配件供应。

地址:湖北省武汉市汉口台北一路23号

邮编:430015

电挂:2170

电话:2837588



徐州铜山西郊磁性材料厂

本厂是中国热处理协会会员单位,1988年初建厂。可加工的导磁体是本厂自行研制开发,性能指标经中国矿业大学测定的新产品,是取代磁性瓷和硅钢片的强化感应加热新材料。本厂拥有100多套模具、300多个规格型号。可加工型高频导磁体属国内外首创、独家生产经销;可加工型中频导磁体是填补国家空白,首家投放市场,现供第二代产品。从材料处理到产品制造的全套工艺均在厂内完成。产品具有可加工修整、水激不裂、节能效益高、使用寿命长、不需绝缘和水冷、可连续工作的优点,因此受到热处理专家和工程技术人员的信赖,质量稳定可靠,性能日臻完善,已行销29个省、自治区、直辖市的数百家军工和民用企业,取得了明显的经济效益。质量三包,代办邮运,代客户设计,制造模具,备有说明书,函索即寄。

(1)可加工型高频导磁体的性能指标:初始磁导率 $\mu=300\sim 500\text{Gs/Oe}$;饱和磁感应 $D_s=3300\sim 3800\text{Gs}$;

密度 $\rho=4.2\text{g/cm}^3$;硬度 $54\sim 58\text{HB}$;电阻 $R\leq 50\text{M}\Omega$;比损耗 $t_g b/\mu=(40\sim 60)\times 10^{-6}$ 。

(2)可加工型中频导磁体的性能指标:最高导磁率 $\mu_0\geq 6000\text{Gs/Oe}$ (直流特性);相对磁导率 $\mu_r\geq 650\text{Gs/Oe}$ (动态特性);密度 $\rho=4.5\sim 5\text{g/cm}^3$;硬度 $43\sim 52\text{HB}$;适应频率 $f=1000\sim 10000\text{Hz}$;电阻 $R\geq 0.2\text{M}\Omega$;损耗 0.03W/kg 。

注: $1\text{Gs}=10^{-4}\text{T}$; $1\text{Oe}=(1000/4\pi)\text{A/m}$

(3)泥糊状导磁体:可解决异形工件淬火感应器无法装配导磁体的问题和小批量高频导磁体的供需矛盾。现用现配、配好后可在1h内涂抹于感应器上烘干,可取得近似高频导磁体的淬火效果。

地址:江苏徐州西郊皇姑窝

邮编:221148

电话:325487

烟台气动元件厂

烟台气动元件厂建于1973年,1975年被机械部定为生产气动元件的专业化工厂。经过20多年的自我完善,自我发展,其生产规模、生产能力已成倍增长,现已成为机械部重点企业和国家二级企业。1993年被国家计委和机械部确定为特定振兴企业,隶属于烟台市机械局管辖的全民所有制企业。

烟台气动元件厂是一座美丽的花园式工厂,是一个适合现代化生产的好地方,在20多年的成长过程中,为发展我国的气动技术做出了巨大贡献,在全国早已驰名遐尔。工厂占地面积 5.2万m^2 ,建筑面积约 2万m^2 ,其技术力量雄厚,设备精良,现有主要加工设备中数控机床占21%,为提高产品质量打下了坚实基础。1985年工厂还引进了西德海隆公司符合国际ISO标准气缸专有生产技术和关键设备。

主要产品:

烟台气动元件厂主导产品为各种气动元件、气控系统、气动控制柜、油缸、液压系统,同时还生产各种适合粉状、粒状物料自动计量与包装的包装机械。

气缸产品主要有普通往复气缸、摆动式气缸、自动往复气缸、气液阻尼缸、伺服气缸、无活塞杆气缸、缸阀开关一体化气缸、振动式气缸、气吊缸、销紧式气

缸、耐高温气缸、双活塞、双出杆等各式气缸。最大缸径 500mm ,最大行程 6m 。

气动阀产品有各种调压阀、节流阀、方向控制阀、有气控式、电控式、手动式、机控式等多种形式,最大螺纹口径 $2"$ 。还有气源处理元件、附件、气源干燥设备、油雾器、滤清器各种软管,并能成套供应各类气动元件,油缸产品:中低压往复式油缸,按日本标准生产的油缸、工程油缸等。

包装机械主要包装粉、粒状产品,包装重量小袋为 $100\sim 750\text{g/袋}$,大袋为 $20\sim 50\text{kg/袋}$,最高计量精度为 $\pm 1\%$ 。

名优产品:气缸产品曾分获部优和国家级新产品称号。

技术服务:包括实地测绘、非标设计和依据用户需要设计、制造各种气控系统、气控柜、液压系统,及各种包装机械、包装自动线等。

地址:烟台市芝罘区楚凤四街4号

邮编:264002

电话:(0535)6532204、6536314、6536304、6532743

传真:(0536)6530206



一版有关的编写人员

第 39 篇 铸造

主编单位：第一机械工业部沈阳铸造研究所

编写单位：哈尔滨工业大学 东北工学院 第一机械工业部郑州机械研究所 大连工学院 上海市机械制造工艺研究所 沈阳重型机器厂 北京永定机械厂 洛阳矿山机器厂 北京玛钢厂 第一汽车制造厂 第二汽车制造厂 沈阳铸造厂 武汉重型机器制造厂 上海中国机模厂

主 编：谢明师 郭树言 范淑芝

编写人：安阁英 李庆春 朱培钱 钱天江 邵师慰 许祥熙 施恩厚 郭洪岐 李志辉
范新瑞 葛厚颜 黄楨和 杨 放 吴锦亮 谢淑蓉 王玉玮 佟铭铎 梁光泽
李鹿其 肖行健 李传毓 胡学文 张荣华 贾 钧 张一行 陈 琦

第 57 篇 铸造机械化与自动化

主编单位：第一机械工业部济南铸造锻压机械研究所

编写单位：郑州机械研究所 丰台机车车辆配件厂 保定铸造机械厂 上海机器制造学校 青岛铸造机械厂

主 编：潘慎松

编写人：胡学文 吴宏伟 李树楨 冯俊棠 张承宗 黄一兵 莫焕成 孙已德 张忠展
郑时雨 陈东木

第 40 篇 锻压

主编单位：第一机械工业部机电研究所 哈尔滨工业大学

编写单位：农业机械工业部天津设计院 东北重型机械学院 第一重型机器厂 齐齐哈尔钢厂 内蒙古工学院 第一汽车制造厂 天津大学 北京市粉末冶金研究所 上海螺帽五厂 武汉工学院 常州齿轮厂 吉林工业大学 第一机械工业部济南铸锻机械研究所 沈阳重型机器厂

主 编：霍文灿 刘才正 徐殿培

编写人：吴德荣 刘助柏 谢云岫 阎鹤鸣 李铁生 俞学勤 苏步宁 赵自谦 李社钊
董玉勋 杨茂良 付沛福 丁湘宝 王典钧 何绍元 严 昭 张恒泰 吴觉为

第 58 篇 铸造机械化与自动化

主编单位：第一机械工业部第九设计院

编写单位：沈阳重型机器厂 西安重型机械研究所 吉林工业大学 第一重型机器厂

主 编：陈明达 周德昭

编写人：钱肇平 高日明 陈延杭 黄一裕 刘玉文 任先玉 李书明 雷家珊

第 41 篇 板料冲压

主编单位：第一机械工业部机电研究所 哈尔滨工业大学 第一汽车制造厂 武汉工学院

编写单位：第一机械工业部济南铸锻机械研究所 农业机械工业部天津设计院 四川汽车制造厂



主 编：李硕本 郑尧章 姜奎华 刘才正

编写人：涂光淇 竺玲玉 吴觉为

第 59 篇 冲压机械化与自动化

主编单位：上海星火模具厂

编写单位：遵义永佳电器厂 上海无线电三厂 上海先锋电机厂 上海拖拉机厂

主 编：张鼎承

编写人：王家庆 于权符 潘圣造

第 42 篇 金属制作

主编单位：哈尔滨锅炉厂

编写单位：上海锅炉厂 第一机械工业部第二设计院 兰州石油化工机器厂 东方锅炉厂 武汉锅炉厂 四川汽车制造厂

主 编：王洪斌

编写人：黄学诚 邱万川 陈开德 蔡求本 张维民 冯汉雄 冯继根 陆豪君 张尚文
季积庆

第 43 篇 焊接、切割与胶接

主编单位：第一机械工业部哈尔滨焊接研究所

编写单位：哈尔滨锅炉厂 哈尔滨第一机器厂 哈尔滨工业大学 天津大学 第一机械工业部
郑州机械研究所 中国科学院沈阳金属研究所 第一机械工业部成都电焊机研究所
西北工业大学 河北工学院 天津纺织工学院 中国矿冶研究所 红旗造船厂
北京航空学院冶金工业部钢铁研究总院 上海汽轮机厂 上海锅炉厂 山东工学院
北京金属结构厂 新阳机械厂 湖南大学 哈尔滨汽轮机厂 沈阳矿山机器厂
哈尔滨电机厂 邵阳第二纺织机械厂

主 编：黄文哲 吴友华 陆仁发 李昭山

编写人：张文钺 范富华 谭长璞 田锡唐 王有志 成开盛 赵立三 何宏智 王其隆
赵吉儒 周大中 藏式先 彭程强 贺耀华 任希凡 姚宝珠 李致焕 郑恩贵
阎毓禾 张中华 陈勇富 庄鸿寿 余果慈 付积和 张有为 周昭伟 陈 炜
王录田 张林福 陈富根 顾溥锦 宋天虎 杨建华 林志民 于尔靖 梁 勇
李维功 虞觉奇 孙 鲁 林尚阳 王善元 杨锡福 陈登丰 张志谦

第 60 篇 焊接机械化与自动化

主编单位：第一机械工业部哈尔滨焊接研究所

编写单位：第一机械工业部第八设计院邵阳第二纺织机械厂 长沙锅炉厂

主 编：陈根涵

编写人：芦子英 陈玄龙 程毓炜 肖洪跃 张如馨 邵石俊

第 44 篇 热处理

主编单位：哈尔滨工业大学 第一机械工业部机电研究所

编写单位：山东工学院 上海交通大学 汉川机床厂 第一机械工业部武汉材料保护研究所

主 编：雷廷权 樊东黎

编写人：李凤照 郑维汉 王世清 孔翠荣 徐佐仁 陈鸿宾 火树鹏 杨裕雄 孙升荣



姚忠凯 高彩桥

第 61 篇 热处理机械化与自动化

主编单位：吉林工业大学

编写单位：华南工学院 第二汽车厂车桥厂 洛阳轴承厂 哈尔滨量具刀具厂 哈尔滨第一工
具厂 上海工具厂 第二汽车厂钢板弹簧厂 北京内燃机总厂

主 编：孙一唐 林振堪

编写人：钟日锋 王尚志 黄嘉梁 程宗祥 杨乃文 董国元 王丽贤 刘占英 郑一
李树兴 屠世润 尹瑞明

第 45 篇 材料保护

主编单位：第一机械工业部武汉材料保护研究所

编写单位：湖南大学 上海市机电设计研究院 南昌航空学院 西北工业大学 第一机械工业
部广州电器科学研究所

主 编：沈增祚 宋庆禧

编写人：谢乃贤 张岱华 陈文亮 王逢奇 胡以正 吴纯素 周爱梅 杨慕雄 周静好

