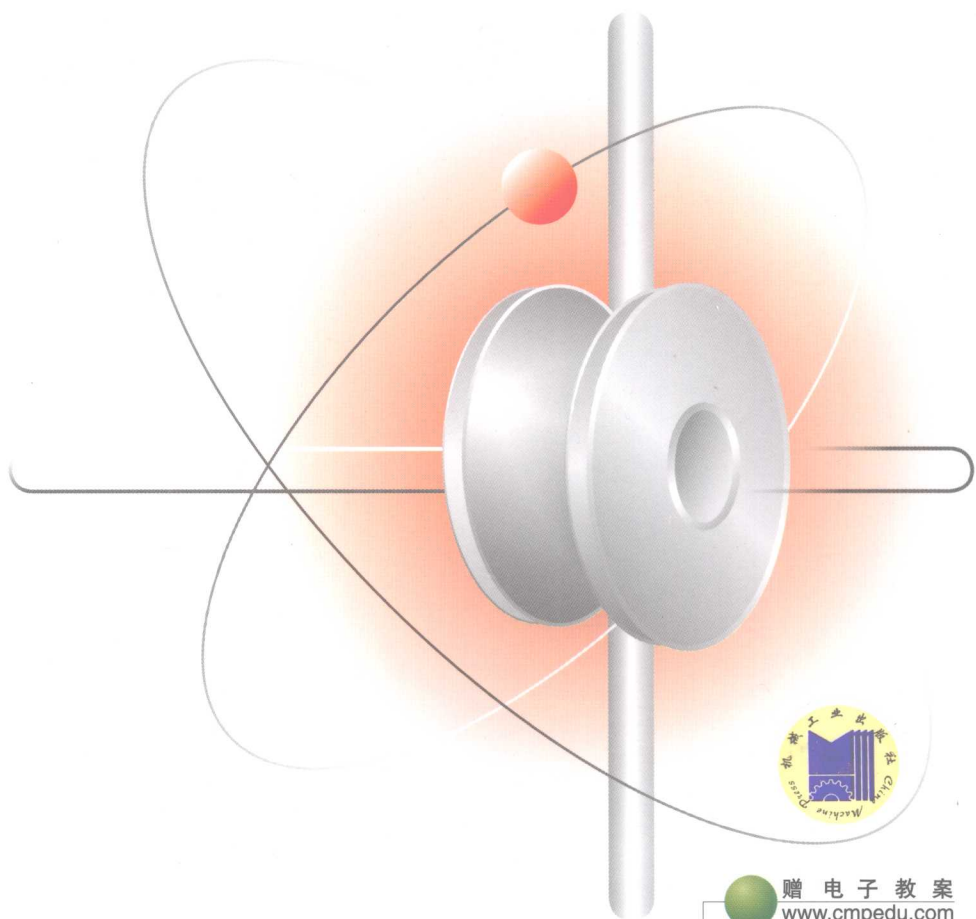




职业教育“十一五”规划教材
焊接专业“双证制”教学改革用书

金属表面处理技术

王学武 主编



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

赠 电子教案
www.cmpedu.com

职业教育“十一五”规划教材
焊接专业“双证制”教学改革用书

金属表面处理技术

主 编 王学武
参 编 王贵斗 李义田 王学军
主 审 李德元



机械工业出版社

本书采用单元模块化结构,共分八个教学单元,主要介绍金属表面处理技术的基本理论、工艺方法、技术要点和工程应用,包括表面改性技术、表面镀层技术、表面转化膜技术、热喷涂技术、堆焊技术以及气相沉积技术和高能束表面处理技术等。在每个单元后面都附有可供选做的综合训练题,以利于读者掌握、理解知识,提高解决实际问题的能力,书末提供了部分综合训练的答案。

本书版式新颖,图文并茂,紧密结合生产实际,并适当反映了金属表面处理技术的新成就。本书可供高等职业院校、高等专科学校和中等职业学校焊接专业、材料工程类专业使用,也可供相关技术人员参考。

为便于教学,本书配备了电子教案,选择本书作为教材的教师可来电索取(010-88379201),或登录 www.cmpedu.com 网站注册免费下载。

图书在版编目(CIP)数据

金属表面处理技术/王学武主编. —北京:机械工业出版社,2008.5
职业教育“十一五”规划教材. 焊接专业“双证制”教学改革用书
ISBN 978-7-111-23722-8

I. 金… II. 王… III. 金属表面处理-职业教育-教材 IV. TG17

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第033974号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)
责任编辑:刘远星 版式设计:霍永明 责任校对:李秋荣
封面设计:姚毅 责任印制:杨曦
北京机工印刷厂印刷(兴文装订厂装订)
2008年6月第1版第1次印刷
184mm×260mm·11.25印张·213千字
0 001—4 000册
标准书号:ISBN 978-7-111-23722-8
定价:19.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
销售服务热线电话:(010)68326294
购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643
编辑热线电话:(010)88379182
封面无防伪标均为盗版

前 言

为了进一步贯彻《国务院关于大力推进职业教育改革与发展的决定》的文件精神，加强职业教育教材建设，满足职业院校深化教学改革对教材建设的要求，机械工业出版社于2006年11月在北京召开了“职业教育焊接专业教材建设研讨会”。在会上，来自全国十多所院校的焊接专业专家、一线骨干教师研讨了新的职业教育形势下焊接专业的课程体系，确定了面向中职、高职层次两个系列教材的编写计划。本书就是本次会议确定出版的高职焊接专业规划教材之一，可供高职高专材料工程专业使用，还可供相关技术人员参考。

近30年来，金属表面处理技术发展之快、应用范围之广、影响之大是当初大多数人所始料未及的，金属表面处理技术业已成为21世纪工业发展的关键技术之一。特别是近几年来，随着职业教育的发展，培养岗位技能型人才和创新型人才成为教育改革的主导方向，国内很多职业院校在焊接专业或材料工程专业开设了“金属表面处理技术”或“金属表面强化技术”等课程，本书的编写和出版希望能为课程建设和教学质量的提高做出一份贡献。

金属表面处理技术涉及的知识面宽、工艺多、内容广，是一个跨学科、跨行业的新兴技术门类。所以，本书在选材时注重介绍在实际工程中常用的基本概念、基本理论和基本工艺，同时又兼顾金属表面处理技术的最新成果和工艺，书中所列工艺和数据均可直接用于生产实践。

本书共分为八个单元，主要内容有：金属表面处理技术的含义、特点、分类和应用；金属表面改性技术；金属表面镀层技术；金属表面转化膜技术、金属热喷涂技术、金属表面堆焊技术以及气相沉积技术和高能束表面处理技术等。

本书采用全新的编写体例，应用单元、模块化设计，紧密结合职业教育的办学特点和教学目标，强调实践性、应用性和创新性。努力降低理论深度，理论知识坚持以应用为目的，以必需、够用为度；注意内容的精选和创新，突出实践应用，拓宽知识领域，重在能力培养。为便于教学，本书配备了电子教案和部分综合训练答案。

本书由渤海船舶职业学院王学武副教授主编，沈阳工业大学李德元教授主审。王学武编写第一、二、四、五、七单元，渤海船舶职业学院王贵斗编写第三单元，渤海船舶职业学院李义田编写第六单元，天津水利电力机电研究所王学军编写第八单元，并由王学武最后统稿。

在本书的编写过程中，引用或参考了大量已出版的文献和资料（含网络资料），书后难以一一列举，在此向原作者致谢。

由于编者学识水平和收集资料来源有限，加之时间仓促，书中难免有疏漏和不妥之处，敬请读者不吝赐教，共同商榷（电子邮箱：wangxue-388@163.com）。

编 者

目 录

前言

第一单元 金属表面处理技术概述 1

综合知识模块一 金属表面处理技术基本知识 1

能力知识点1 初识金属表面处理技术 1

能力知识点2 金属表面处理技术的分类 2

能力知识点3 金属表面处理技术的产生和发展 4

能力知识点4 金属表面处理技术的应用 5

综合知识模块二 金属的磨损和腐蚀 6

能力知识点1 金属的磨损 6

能力知识点2 金属的腐蚀 8

综合训练 10

第二单元 金属表面预处理 12

综合知识模块一 表面整平 12

能力知识点1 机械整平 12

能力知识点2 化学处理 16

综合知识模块二 表面脱脂 18

能力知识点1 化学脱脂 18

能力知识点2 有机溶剂脱脂 19

能力知识点3 电化学脱脂 20

综合知识模块三 表面除锈 21

能力知识点1 化学除锈 21

能力知识点2 电化学除锈 23

能力知识点3 工序间防锈 24

综合训练 24

第三单元 金属表面改性技术 26

综合知识模块一 表面热处理 26

能力知识点1 感应淬火 26

能力知识点2 火焰淬火 28

能力知识点3 接触电阻加热淬火 29

能力知识点4 电解液加热淬火 29

综合知识模块二 化学热处理 30

能力知识点1 渗碳 31

能力知识点2 渗氮 33

能力知识点3 氮碳共渗和碳氮共渗 35

能力知识点4 渗硼与渗硫 36

能力知识点5 渗金属 37

综合知识模块三 表面形变强化技术 38

能力知识点1 喷丸强化 38

能力知识点2 滚压强化 42

综合训练 42

第四单元 金属表面镀层技术 45

综合知识模块一 普通电镀 45

能力知识点1 普通电镀的原理及工艺 45

能力知识点2 镀铬 49

综合知识模块二 电刷镀 51

能力知识点1 电刷镀的原理和特点 51

能力知识点2 电刷镀工艺及应用 53

综合知识模块三 化学镀 55

能力知识点1 化学镀的原理和特点 55

能力知识点2 化学镀镍 56

综合知识模块四 热浸镀 58

能力知识点1 热浸镀概述 58

能力知识点2 热浸镀锌 59

综合训练 61

第五单元 金属表面转化膜技术 63

综合知识模块一 金属表面转化膜概述 63

综合知识模块二 钢铁的发蓝处理 64

能力知识点1 钢铁发蓝的实质和应
用 64

能力知识点2 钢铁发蓝工艺 64

综合知识模块三 金属的磷化处理 66

能力知识点1 金属的磷化处理概述 66

能力知识点2 钢铁的磷化处理 66

综合知识模块四 铝及铝合金的氧化

处理 68

能力知识点1 铝及铝合金的化学氧化
处理 69

能力知识点 2	铝及铝合金的阳极氧化	70	第七单元 热喷涂技术	112	
综合知识模块五	阳极氧化膜的着色与封闭	74	综合知识模块一	热喷涂技术概述	112
能力知识点 1	阳极氧化膜的着色	74	能力知识点 1	初识热喷涂技术	112
能力知识点 2	阳极氧化膜的封闭	77	能力知识点 2	热喷涂的一般原理	113
综合训练		79	能力知识点 3	热喷涂技术的分类及特点	115
第六单元 堆焊技术		80	能力知识点 4	热喷涂层的功能和应用	116
综合知识模块一	堆焊技术概述	80	综合知识模块二	热喷涂材料	117
能力知识点 1	堆焊技术的特点及分类	80	能力知识点 1	热喷涂材料的性能和分类	117
能力知识点 2	堆焊技术的应用领域	82	能力知识点 2	热喷涂用金属及合金线材	118
综合知识模块二	堆焊材料	83	能力知识点 3	热喷涂用粉末	120
能力知识点 1	堆焊合金的类型	83	综合知识模块三	火焰类喷涂	121
能力知识点 2	常用的堆焊材料	88	能力知识点 1	火焰喷涂	121
综合知识模块三	焊条电弧堆焊	92	能力知识点 2	爆炸喷涂	126
能力知识点 1	焊条电弧堆焊的特点和应用	92	能力知识点 3	高速火焰喷涂	127
能力知识点 2	焊条电弧堆焊工艺	93	综合知识模块四	电弧类喷涂	128
能力知识点 3	焊条电弧堆焊应用实例	94	能力知识点 1	电弧喷涂	128
综合知识模块四	氧乙炔火焰堆焊	95	能力知识点 2	等离子弧喷涂	131
能力知识点 1	氧乙炔火焰堆焊及其设备和材料	95	综合知识模块五	热喷涂涂层系统的设计	134
能力知识点 2	氧乙炔火焰堆焊工艺	96	能力知识点 1	热喷涂层的性能	134
能力知识点 3	氧乙炔火焰堆焊应用实例	98	能力知识点 2	热喷涂层的选择	135
综合知识模块五	埋弧堆焊	100	能力知识点 3	热喷涂工艺的选择	135
能力知识点 1	埋弧堆焊的原理和分类	100	综合训练		136
能力知识点 2	埋弧堆焊工艺参数	102	第八单元 金属表面处理新技术		138
能力知识点 3	埋弧堆焊应用实例	104	综合知识模块一	气相沉积技术	138
综合知识模块六	CO ₂ 气体保护堆焊	104	能力知识点 1	物理气相沉积	138
能力知识点 1	CO ₂ 气体保护堆焊的原理和特点	105	能力知识点 2	化学气相沉积	143
能力知识点 2	CO ₂ 气体保护堆焊工艺	106	综合知识模块二	激光表面处理技术	146
能力知识点 3	CO ₂ 气体保护堆焊应用实例	107	能力知识点 1	激光表面处理的原理及特点	146
综合知识模块七	其他堆焊方法	107	能力知识点 2	激光相变硬化	147
能力知识点 1	等离子弧堆焊	107	能力知识点 3	激光合金化与激光熔覆	149
能力知识点 2	电渣堆焊	109	综合知识模块三	电子束表面处理技术	151
能力知识点 3	碳弧堆焊	110	能力知识点 1	电子束的产生及工作原理	152
综合训练		110	能力知识点 2	电子束表面处理工艺	152
			能力知识点 3	电子束表面处理技术的应用实例	153

综合知识模块四 离子注入技术	153
能力知识点 1 离子注入的原理和特点	153
能力知识点 2 离子注入装置	154
能力知识点 3 离子注入的应用	155

综合训练	156
部分综合训练答案	158
参考文献	171

第一单元 金属表面处理技术概述

【学习目标】 通过本单元的学习,掌握金属表面处理技术的含义、特点、分类等,了解金属表面处理技术在机械工程中的应用,建立对金属表面处理技术的初步认识和兴趣;了解有关金属磨损和腐蚀的基本概念及危害,明确防止磨损和腐蚀的基本方法,为后续学习打下基础。

综合知识模块一 金属表面处理技术基本知识

能力知识点 1

初识金属表面处理技术

一、金属表面处理技术的含义

金属表面处理技术是指通过一些物理、化学、机械或复合方法使金属表面具有与基体不同的组织结构、化学成分和物理状态,从而使经过处理后的表面具有与基体不同的性能。经过表面处理后的金属材料,其基体的化学成分和力学性能并未发生变化(或未发生大的变化),但其表面却拥有了一些特殊性能,如高的耐磨性、耐蚀性、耐热性及好的导电性、电磁特性、光学性能等,如表 1-1 所示。

表 1-1 表面处理技术赋予金属表面的特殊性能

物理性能	电磁特性、光学特性、热特性、声特性及抗辐射性等
化学性能	耐蚀性、催化特性等
力学性能	强度、硬度、塑性、韧性、抗疲劳性等
摩擦学性能	减摩性、耐磨性、自润滑性、浸润性等
装饰性	色彩、光泽性和可修饰性等
加工性能	精密加工性、可修补性、焊接性、冷作硬化性等

二、金属表面处理的意义

所有的金属材料都不可避免与环境相接触,而与环境真正接触的是金属的表面,如各种机械零件和工程构件。它们在使用过程中会发生腐蚀、磨损、氧化等,所有这些都使金属表面首先发生破坏或失效,进而引起整个设备或零(构)件的破坏或失效。据一些工业发达国家统计,每年钢材因腐蚀和磨损而造成的损失约占钢材总产量的 10%,损失金额占国民生产总值的 2%~4%。如果将因金属腐蚀和磨损而造成



的停工、停产和相应引起的各种事故等损失统计在内的话,其数值则更加惊人。因此,发展金属表面防护和强化技术,是各国普遍关心的重大课题。

随着现代工业的迅猛发展,对机械工业产品提出了更高的要求;要求产品能在高参数(如高温、高压、高速)和恶劣工况条件下长期稳定运转或服役,这就必然对材料表面的耐磨、耐蚀等性能以及表面装饰提出了更高的要求,使其成为防止产品失效的第一道防线。

为了满足上述要求,在某些情况下可以选用特种金属或合金来制造整个零件或设备,有时虽然也可满足表面性能要求,但这往往会造成产品的成本成倍或成百倍的增加,降低了产品的竞争力;更何况在许多情况下也很难找到一种能够同时满足整体和表面要求的材料。而表面处理技术则可以用极少量的材料就起到大量、昂贵的整体材料难以起到的作用,在不增加或不增加太多成本的情况下使产品表面受到保护和强化,从而提高产品的使用寿命和可靠性,改善机械设备的性能、质量,增强产品的竞争能力。所以,研究和发 展金属材料的表面处理技术,对于推动高新技术的发展,对于节约材料、节约能源等都具有重要意义。而表面处理技术也在这种需求的推动下获得了飞速的发展和提高。

表面处理技术主要通过两种途径改善金属材料表面性能:一种是通过表面涂层技术在基体表面制备各种镀、涂覆层,包括电镀、化学镀、(电)化学转化膜技术、气相沉积技术、堆焊、热喷涂等;另一种是通过各种表面改性技术改变基体表面的组织和性能,如表面淬火、化学热处理、喷丸、高能束表面改性等。

就表面涂层技术而言,是在材料表面形成一层与基体材料不同的涂层,只有这一涂层与基体之间有足够的结合强度,才能使涂层发挥应有的作用。因此,人们通过各种表面预处理来获得清洁且具有一定活性的表面,并研究各种工艺条件,选择、控制不同的涂层材料和组织结构,以期取得满意的涂层与基体的结合强度。

表面改性技术和表面涂层技术的最大区别是,其所形成的表面在材料和组织上均是基体直接参与形成的,而不像表面涂层技术那样,涂层的材料和组织与基体是完全不同的。

能力知识 2

金属表面处理技术的分类

金属表面处理技术是一门新兴学科,而且是一门涉及多学科的边缘学科。虽然从总体上可分为表面涂层技术和表面改性技术,但该学科中具体应该包括哪些内容,如何分类,国内外都无公认的说法。从不同的角度进行归纳,就会有不同的分类,常用的分类方法有以下几种。

1. 按作用原理分

(1) 原子沉积 沉积物以原子、离子、分子和粒子集团等原子尺度的粒子形态在材料表面上形成覆盖层,如电镀、化学镀、物理气相沉积、化学气相沉积等。

(2) 颗粒沉积 沉积物以宏观尺度的颗粒形态在材料表面上形成覆盖层,如热喷涂、搪瓷涂覆等。

(3) 整体覆盖 它是将涂覆材料于同一时间施加于材料表面,如包箔、贴片、



热浸镀、涂装、堆焊等。

(4) 表面改性 用各种物理、化学等方法处理表面，使之组织和结构发生变化，从而改变性能，如表面热处理、化学热处理、电子束表面处理、离子注入等。

2. 按表面强化层材料分

按表面强化层材料分，可分为金属材料层、陶瓷材料层和高分子材料层。

3. 按表面处理工艺特点分 (见图 1-1)

(1) 表面改性技术 包括表面淬火、化学热处理、表面形变强化等，如感应淬火、渗碳、氮化、碳氮共渗、喷丸、滚压等。

(2) 表面涂(镀)层技术 如电镀、化学镀、热浸镀、气相沉积、热喷涂、堆焊、激光熔覆、涂装等。

(3) 表面化学转化膜技术 如氧化处理、磷化处理、铬酸盐处理和着色与封闭处理等。

(4) 高能束表面处理技术 如电子束、离子束、激光束表面改性与强化等。

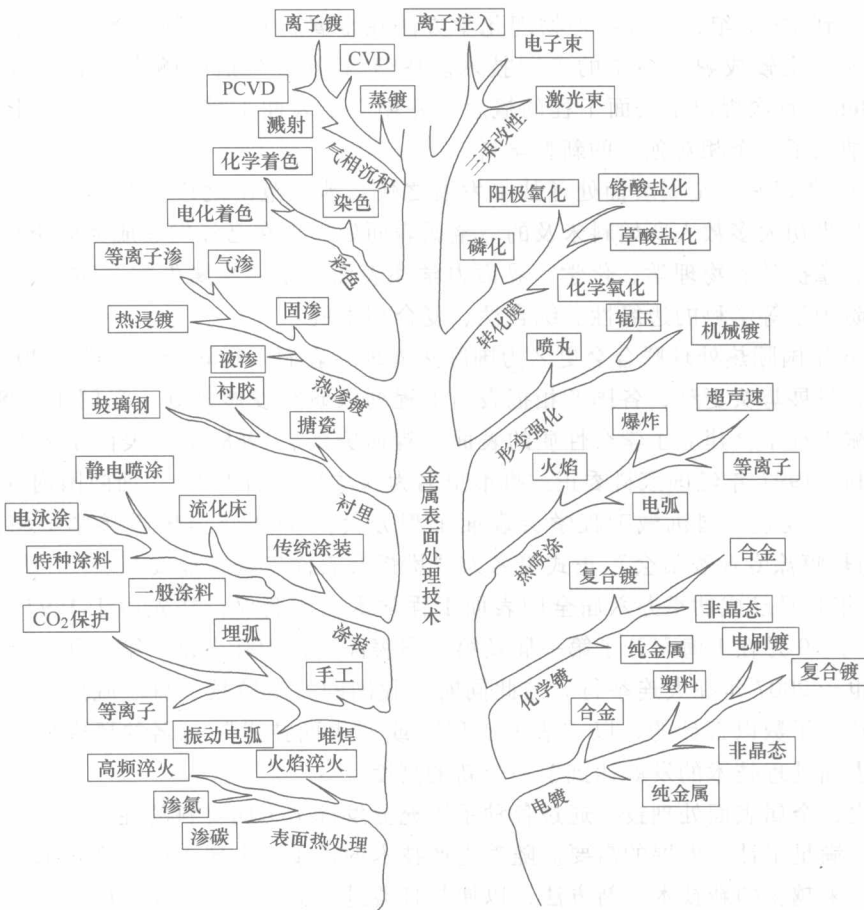


图 1-1 金属表面处理技术的分类



该分类方法比较清晰地体现了表面处理技术的特点，而且与表面处理技术上的工艺名称基本一致，容易记忆，如图 1-1 所示。

4. 按表面处理的目的或性质分

按表面处理的目的或性质分，有表面耐磨和减摩技术、表面耐蚀和抗氧化技术、表面装饰技术、功能表面技术和表面修复技术。

能力知识 3

金属表面处理技术的产生和发展

金属表面处理技术伴随着人类文明，已经历了数千年的发展。在许多传统产业及工业中，应用金属表面处理技术改进产品性能，延长其使用寿命，已为人们所熟知。追溯到古代，中国人民在金属表面处理方面取得了令人叹服的成就。1994 年 3 月，在举世闻名的“世界第八大奇迹”——秦始皇兵马俑二号俑坑出土了 19 把青铜剑，经历了 2000 年时光的考验，竟光亮如新、锋利如初，甚至可以切断一根发丝。经分析，这是因为表面有一层厚度为 $10\mu\text{m}$ 的含铬的氧化层。

进入到 20 世纪，通过各种物理化学方法在金属材料表面制造各种涂层和薄膜，已发展成为比较成熟、系统的工程技术。1983 年英格兰伯明翰大学教授汤·贝尔 (Tom Bell) 首次提出了表面工程的概念，并创立了表面工程研究所，从而将表面处理技术纳入了一个相对独立的新型学科。

近 30 年以来，金属表面处理技术发展之快、涉及范围之广、对人们生产生活影响之大是当初大多数人所始料未及的。金属表面处理现在已经发展成为横跨金属学与热处理、摩擦学、物理学、化学、界面力学和表面力学、金属失效与防护、焊接学、腐蚀与防护学等学科的边缘性、综合性、复合型学科。

1986 年国际热处理联合会更名为国际热处理与表面工程联合会，进入 20 世纪 90 年代，其发展势头更猛，各国竞相把表面工程列入研究发展规划。我国于 1987 年由中国机械工程学会建立了学会性质的表面工程研究所，1988 年《表面工程》杂志在中国创刊，1997 年经国家科委正式批准更名为《中国表面工程》，面向国内外公开发行。1993 年成立中国机械工程学会表面工程分会，2000 年全国焊接学会将原来的“堆焊与热喷涂专业委员会”正式更名为“堆焊及表面工程专业委员会”。从 1989 年到 2006 年 8 月已成功举办六届全国表面工程学术交流会议；并先后于 1997 年 11 月和 1999 年 10 月在上海召开了第一届及第二届表面工程国际会议，第五届表面工程国际会议也于 2007 年在大连举行。与此同时，我国的大专院校、科研院所、工矿企业也相继建立了数以百计的、以“表面工程”或“表面技术”冠名的研究机构，从而使金属表面处理技术的发展达到了一个新的高度。

总之，金属表面处理技术通过各种手段充分发挥了金属材料的性能，丰富了材料的用途，满足了社会发展的需要。随着生产技术的进步，金属表面处理技术领域必将涌现出越来越多的新技术、新方法，以便与日益进步的社会发展相适应。



能力知识点 4

金属表面处理技术的应用

金属表面处理技术以其高度的实用性和显著的优质、高效、低耗的特点，在日常生活、机械制造、航空航天、交通、能源、石油化工等工业部门得到了越来越广泛的应用，可以说几乎有表面的地方就离不开表面处理。金属表面处理技术不仅是产品的“美容术”，也是许多产品性能的改良技术，更是先进的产品制造技术。目前，金属表面处理技术的应用可归纳为以下几个主要方面。

1. 提高金属制品或零件的耐蚀性能

大部分表面处理方法都对金属材料具有一定的防护作用，能够提高制品或零件在大气、海水及化学介质中的耐蚀性能，如实际生活或工程中的铝合金制品的阳极氧化、钢丝镀锌、钢板（带）镀锌、日用五金的表面镀铬和枪炮表面发蓝都是常见的例子。

各种表面处理技术大大降低了损失于大气腐蚀、海水腐蚀的金属构件和设备的数量，延长了建筑物、船舶、桥梁和机器的使用寿命，节约了大量能源和材料。

2. 提高金属制品或零件的表面强度和硬度

表面处理技术可以赋予金属材料表面很高的强度和硬度，提高材料的抗疲劳性和耐磨性，如钢的表面淬火、化学热处理、堆焊、热喷涂、化学气相沉积、喷丸等。

对气缸、轧钢机大滑板、大型冷冻机螺杆、压缩机转子轴等各种工件表面进行激光淬火，可使寿命提高3~5倍；对高速钢和硬质合金工模具在精加工以后进行表面氮离子注入，可使寿命提高1~10倍；切削刀具采用氮化钛类涂层，引起了一场刀具的“黄色革命”。对各种金属切削刀具进行等离子体增强磁控溅射离子镀处理，可使其寿命提高3~14倍；利用双束动态混合注入技术，将高分子材料溅射到传热管（黄铜、纯铜和镀铬的黄铜等）上，同时用氮离子注入，可以在传热表面形成蒸汽的滴状冷凝，使传热效率提高了20倍。对汽车钢板弹簧在热处理后进行常规喷丸强化训练，可以使其疲劳极限提高35%。

3. 修复零件

零件磨损、腐蚀和疲劳失效常发生在表面。通过表面技术进行修复、强化，使机械零件翻新如初，从而节省了大量资源和经费，并极大地减少了环境污染及废物的处理。许多采用表面技术处理过的旧零部件，其性能

可能大大超过新品，而成本仅为新品的10%。如齿轮、轴、花键等重要零件使用后的磨损，可采用镀铬、镀镍、堆焊、热喷涂等进行修复，恢复其尺寸。

我国科技人员应用电弧喷涂技术成功地修复了长江三峡工程中挖泥船的发动机曲

资料卡



金属表面处理的技术设计

- 1) 基体材料的成分、结构和服役条件等；
- 2) 金属表面涂覆层或处理层的性能要求、成分、结构、厚度、结合强度；
- 3) 表面处理的方法、流程、设备、工艺、检验等；
- 4) 综合的管理、经济、环保等分析设计。



轴, 当时如从日本购买新轴, 加上运费和进口关税等需人民币 120 万元, 从订购到交货需三个月以上, 停产损失更为严重, 而修复总费用仅 3.5 万元, 不足曲轴价格的 3%。

表面处理技术的广泛应用大大推动了工程机械维修技术的发展, 使维修由简单的技术或工艺发展成为一门相互渗透、相互交叉的综合性学科。在日本已提出了“再生工厂技术”的概念。随着先进制造技术及设备工程学的不断发展, 制造与维修将越来越趋于统一。

4. 提高制品或零件的装饰性能

表面装饰主要包括光亮(镜面、全光亮、亚光、光亮缎状、无光亮缎状等)、色泽(各种颜色和多彩等)、花纹(各种平面花纹、刻花、浮雕等)、仿照(仿贵金属、仿大理石、仿花岗石等)等多方面特性。用恰当的表面处理技术可装饰各种材料表面, 不仅方便、高效, 而且美观、经济, 故应用广泛, 这些技术的应用极大地改善和美化了人类的生活, 并形成了很大的产业。

综合知识模块二 金属的磨损和腐蚀

能力知识点 1

金属的磨损

一、金属磨损的定义和分类

1. 金属磨损的定义

相互接触的一对金属表面, 在相对运动时不断发生损耗或产生塑性变形, 使金属表面状态和尺寸发生改变的现象称为磨损。磨损表现为松脱的细小颗粒(磨屑)的出现, 以及在摩擦载荷作用下, 金属表面性质(金相组织、物理化学性能、力学性能)和形状(形貌和尺寸、表面粗糙度、表面层厚度)的变化。

在机械设备中磨损通常是有害的, 它损伤零件工作表面, 影响机械设备性能, 消耗材料和能源, 并使设备使用寿命缩短。据估算, 中国主要支柱产业部门每年因机器磨损失效所造成的损失在 400 亿元人民币以上。但磨损有时却是有益的, 如新机器的磨合及机械加工中的磨削、研磨等。

机械零件的磨损过程通常经历不同的磨损阶段, 直至失效, 图 1-2 是典型的磨损

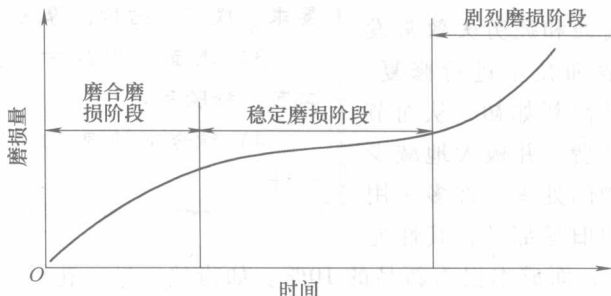


图 1-2 金属磨损特性曲线



特性曲线。

图中的纵坐标表示磨损量，单位时间的磨损量称为磨损率。在磨损初期，由于新的摩擦副表面较粗糙，真实接触面积小，接触应力较大，在开始的较短时间内磨损量较大。经磨合后，表面凸峰高度降低，接触面积增大，磨损速度减缓并趋向稳定。初期跑合是一种有益的磨损，可利用它来改善表面性能，提高使用寿命。零件经过跑合后磨损速度趋缓，处于稳定状态，这一阶段的时间即为零件的使用寿命。在零件寿命后期，磨损曲线斜率陡升，这表示磨损量急剧增大，失效即将发生，零件将很快报废。

对于一些磨损过程，例如滚动轴承或齿轮中发生的表面疲劳磨损，开始时磨损率可能为零，当工作时间达到一定数值后，点蚀开始出现并迅速扩展，磨损率迅速上升，很快发展为大面积剥落和完全失效。

2. 金属磨损的分类

目前人们公认的最重要的四种基本磨损类型（机理）是粘着磨损、磨料磨损、疲劳磨损和腐蚀磨损。不同磨损类型有不同的磨损表面的外观表现，如表 1-2 所示。

表 1-2 不同磨损类型的外观表现

磨损类型	磨损表面外观
粘着磨损	锥刺、鳞尾、麻点
磨料磨损	擦伤、沟纹、条痕
疲劳磨损	裂纹、点蚀
腐蚀磨损	反应产物（膜、微粒）

(1) 粘着磨损 它是指当摩擦面发生相对滑动时，由于固相焊合作用产生粘着点，该点在剪切力作用下变形以致断裂，使材料从一个表面迁移到另一个表面造成的磨损。

(2) 磨料磨损 它是指由于一个表面硬的凸起部分和另一个表面接触，或者在两个摩擦面之间存在着硬的颗粒，或者这些颗粒嵌入两个摩擦面中的一个面里，在发生相对运动后，使两个表面中的某一个面的材料发生位移而造成的磨损。

(3) 疲劳磨损 它是指在滚动接触过程中，由于交变接触应力的作用而产生表面接触疲劳，使材料表面出现麻点或脱落的现象。

(4) 腐蚀磨损 摩擦表面与周围介质发生化学反应而生成腐蚀产物，进一步摩擦后这些腐蚀产物会被磨去，如此重复所造成的材料损伤称为腐蚀磨损。

二、影响金属材料耐磨性的因素

金属材料抵抗磨损的能力称为耐磨性，是由材料成分、硬度、组织结构及形态等因素决定的。

(1) 硬度 一般认为金属材料的硬度越高，其耐磨性越好。如提高钢中碳的质量分数以及加入碳化物形成元素钨、铬、钒等，可以提高其耐磨性。但硬度并不是影响金属耐磨性的唯一因素，例如在相同的硬度下，下贝氏体组织的耐磨性优于马氏体组织。



(2) 晶体结构和晶体互溶性 密排六方晶格的金属具有低摩擦因数, 磨损率也低; 冶金上互溶性差(指晶格类型、晶格常数、电子密度及电化性能相差较大)的一对金属摩擦副可获得低摩擦因数和低磨损率, 如铜铅合金。

(3) 温度 温度升高, 金属的硬度下降, 且互溶性增强, 摩擦加剧; 温度升高导致氧化速度加剧也可影响磨损性能。

(4) 环境 一般来说, 在真空条件下磨损严重, 因为大气可在较短时间内在洁净表面形成一定厚度的氧化膜, 从而有防止粘着的作用。

此外在摩擦副间添加润滑剂, 也是减小磨损的有效方法。

三、耐磨表面处理

从金属材料表面来研究提高耐磨性问题, 一般可从两个方面着手。

(1) 使表面具有良好的力学性能 一般来说, 在力学性能中最重要的是硬度。在实际生产中通过表面淬火、渗碳等提高零件的表面硬度, 或通过一定方法在材料表面形成一层具有较高硬度的涂覆层, 如电镀、热喷涂和堆焊等。

(2) 设法形成具有非金属性质的摩擦面 非金属性质的摩擦面是通过物理或化学的作用来减少磨损的。如对钢材渗硫、渗氮、热喷涂层加 MoS_2 、物理气相沉积、化学气相沉积及离子注入等, 使材料表面形成氮化物、氧化物、硫化物、碳化物以及它们的复合化合物的表面层, 这些表面层可以抑制摩擦过程中摩擦副在两个零件之间的粘附、熔附以及由此引起的金属转移现象, 从而提高耐磨性。

许多表面强化方法往往兼有上述两种特性, 因而都可以明显提高材料的耐磨性。

资料卡

减摩性与耐磨性



减摩性是指使材料工作面间摩擦阻力减小的性质, 如锡

青铜具有较好的减摩性; 而耐磨性是指材料抵抗各种磨损的能力, 如高锰钢和白口铸铁具有较高的耐磨性。

能力知识点 2

金属的腐蚀

一、金属腐蚀的定义和分类

1. 腐蚀的定义

金属材料表面在环境介质的作用下所引起的破坏或变质称为腐蚀。所谓环境介质是指和金属接触的物质, 例如大气、海水、酸、碱、盐等, 这些物质和金属发生化学反应或电化学反应引起金属的腐蚀, 发生生锈、开裂、穿孔、变脆等现象。

2. 金属腐蚀的分类

(1) 按腐蚀机理分 主要有化学腐蚀和电化学腐蚀。

化学腐蚀是金属和环境介质直接发生化学作用而产生的损坏, 在腐蚀过程中只有电子的得失, 没有电流产生, 引起金属化学腐蚀的环境介质不能导电。这种腐蚀的产物一般覆盖在金属的表面。例如金属的高温氧化、非电解质对金属的腐蚀等。

电化学腐蚀是金属在电解质溶液中发生电化作用而引起的损坏, 在腐蚀过程中不仅有电子的得失, 而且有电流产生, 引起电化学腐蚀的介质都能导电。



电化学腐蚀产生的原因是不同金属之间或合金中的不同相之间电极电位不同,存在电位差,当存在电解质溶液时便在金属表面形成了原电池,电位低的部分(阳极)被腐蚀,电位高的部分(阴极)被保护,不同金属之间或合金中的电位差越大,原电池效应越明显,腐蚀速度越快。图 1-3 是铜锌原电池示意图。

从上述原理可以看出,金属零件发生电化学腐蚀的基本条件是:

- 1) 零件由两种不同金属组成,或使用的合金中不同区域或不同相的电极电位不同。
- 2) 不同电极电位的部分彼此是非绝缘的,可以有电子的流动。
- 3) 有电解质存在。

电化学腐蚀比化学腐蚀更为常见和普遍,金属在酸、碱、盐、土壤、海水、潮湿大气等介质中的腐蚀均属于电化学腐蚀的范畴,如钢在室温的氧化、铜表面生成铜绿等。

(2) 按腐蚀破坏的形态和腐蚀区域分 主要有全面腐蚀和局部腐蚀。

全面腐蚀是指腐蚀分布于整个金属的表面。全面腐蚀包括均匀腐蚀和非均匀腐蚀。在金属表面各处的腐蚀程度基本相同的为均匀腐蚀;在不同腐蚀区腐蚀程度差别很大的为非均匀腐蚀。例如在酸洗工艺中发生的腐蚀一般属于均匀腐蚀。

局部腐蚀是指腐蚀主要集中在金属表面的某些区域。尽管此种腐蚀的腐蚀量不大,但由于其局部腐蚀速度快,易造成设备的严重破坏,因此,其危害性更大。金属在不同的环境条件下可以发生不同的局部腐蚀,例如孔蚀、缝隙腐蚀、应力腐蚀、晶间腐蚀、磨损腐蚀等。

二、金属腐蚀的防护

在实际工程中,为了提高金属的耐蚀性能,可以采取各种类型的防腐蚀技术,下面主要介绍三种常用的方法。

1. 正确选用金属材料,合理设计工件结构

正确选择金属材料是防止金属腐蚀的最根本措施。应根据材料工作环境中介质的性质、产生腐蚀的类型及程度合理选择材料,在满足主要技术、工艺和经济指标的前提下,应尽可能使用在给定的腐蚀条件下稳定性好的材料。如在 H_2SO_4 溶液贮槽中采用衬金属铅和陶瓷材料;在建户外结构时,在强度允许的情况下,使用铝及铝合金,因为铝在一般空气中不易腐蚀,表面有一层氧化膜保护层。

不锈钢是工程中最常用的耐蚀材料。在不锈钢中含有大量的合金元素铬、镍,一方面铬有助于在金属表面生成钝化膜,并能提高钢基体的电极电位,减小电位差,提高钢的耐蚀性能;另一方面在不锈钢中加入铬或镍有助于获得单相奥氏体组织或铁素体组织,消除了电位差,避免出现原电池,提高了钢的耐蚀性。

在设计方面,工件的结构和组合应该符合防腐蚀规律,要尽量避免电位差较大的金属直接搭接和铆接,例如铝、镁不应与钢铁、镍等材料相接触。另外,工件结构应

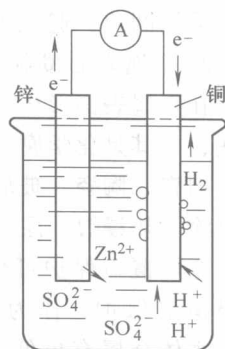


图 1-3 铜锌原电池示意图



尽量采用圆角，避免尖角，焊缝不宜太多，各部分受力要均匀，以防出现应力集中。

2. 金属表面覆盖保护层

在金属表面形成一层保护膜，隔绝金属和腐蚀介质，是防止金属腐蚀的一种有效方法，尤其是化学腐蚀。最常用、最简便的是在金属表面覆盖上防腐涂料、塑料、橡胶、搪瓷、陶瓷、玻璃、石材等非金属材料。此外，在金属表面可以化学镀、电镀、热喷涂、热浸镀一层耐蚀性良好的金属或合金，如 Ni、Cr、Zn、Al、Sn、Cu 等金属。

金属覆盖保护可分为阴极覆盖保护和阳极覆盖保护，作为阳极覆盖层的金属，应比主体金属有更低的电极电位，例如在铁基合金上覆盖 Zn、Al 等，保护机理是牺牲阳极，覆盖层偶有微孔也无妨；阴极覆盖层金属的电极电位比被保护的主体金属更高，如在铁基合金上覆盖 Ni、Cu、Sn、Pb 等，主体金属是阳极，覆盖层是阴极，所以覆盖层必须是完整的才能达到保护基体的目的。



想一想 日常生活中用的金属餐具、罐头盒，自行车车把，电冰箱或洗衣机的外壳，枪炮、船体结构，等等，它们都是用什么方法阻止腐蚀的？

3. 牺牲阳极的阴极保护法

电化学腐蚀的必要条件是阳极、阴极、电解质、电流回路，除去或改变其中一个条件即可阻止或减缓腐蚀的进行。各种表面覆盖保护层能将金属周围的电介质隔离开，实际上也有电化学防腐的作用，电化学防腐主要通过阴极保护法来实现。

牺牲阳极的阴极保护法是利用电位比被保护金属低的金属或合金作为阳极，与作为阴极的被保护金属构成一个原电池。当发生电化学腐蚀时，电位低的阳极不断地被腐蚀，而阴极（被保护金属）不会腐蚀而得到保护。例如在海水中的钢闸门上连接一种比铁更活泼的金属锌，以达到防腐的目的，如图 1-4 所示。

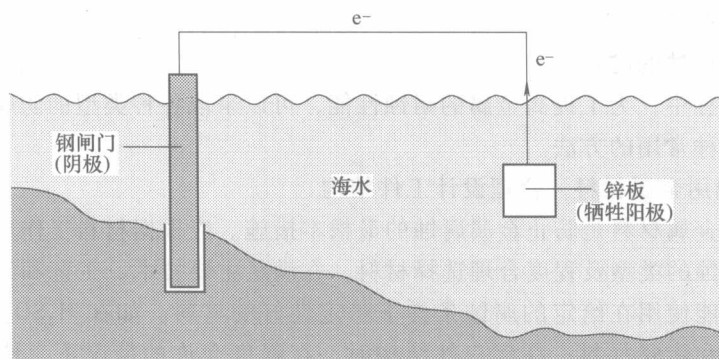


图 1-4 钢闸门阴极保护法示意图

【综合训练】

一、理论部分

(一) 填空

1. 金属表面处理技术是指通过一些_____或复合方法使金属表面具有与基

