

现代金属 热喷涂技术

武建军 曹晓明 温 鸣 编著



化学工业出版社

现代金属 热喷涂技术

武建军 曹晓明 温 鸣 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

元 00.00

热喷涂技术是提高产品和设备性能、延长使用寿命的有效手段。本书汇集了国内外从事热喷涂技术研究的学者、科研人员的一些最新研究成果以及作者多年来在热喷涂方面的研究、开发、工程应用的实例,详细介绍了热喷涂基础理论和热喷涂材料,重点介绍了等离子喷涂、电弧喷涂、火焰喷涂及其他先进的喷涂技术,同时对涂层性能的检测、喷涂层的机械加工、热喷涂安全技术、前景及展望进行了简要叙述。

本书可供从事热喷涂工作的技术人员和院校相关专业的师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代金属热喷涂技术/武建军,曹晓明,温鸣编著.
北京:化学工业出版社,2006.12
ISBN 978-7-5025-9344-5

I. 现… II. ①武…②曹…③温… III. 金属喷涂-
热喷涂 IV. TG174.442

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 161333 号

责任编辑:邢涛

文字编辑:孙凤英

责任校对:王素芹

装帧设计:韩飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印刷:大厂聚鑫印刷有限责任公司

装订:三河市延风装订厂

850mm×1168mm 1/32 印张13¼ 字数364千字

2007年2月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:29.00 元

版权所有 违者必究

在人类的生活和生产活动中，所使用的各种机械设备、仪器和各种各样的金属结构在储存、运输和使用过程中，有的由于与大气和各种化学介质的接触而导致腐蚀；有的因与物件或物料摩擦而造成磨损；有的则因承受高温而产生氧化；还有的因接触流体表面出现冲刷；有的同时遭受多种因素的损坏作用，导致各种产品的精度和效能降低，并造成最终的失效和破坏。各种破坏作用时刻都在进行，无疑加剧了人类在资源、能源和劳力等方面的巨大消耗。随着科学技术的日益进步，各种机械设备向大型化、高速化、高效率和高负荷的方向发展，工作环境越来越苛刻，而对产品可靠性和使用寿命的要求则越来越高，所以研究和发展材料的表面处理技术就具有重大的技术和经济意义，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。

热喷涂技术作为焊接技术的分支，是提高产品和设备性能、延长使用寿命的有效手段。热喷涂技术目前大量应用于机械、冶金、电力、矿山、建筑、石油、化工和航空航天等产业部门。近年来，热喷涂技术取得了令人瞩目的发展。本书汇集了国内外从事热喷涂技术研究的学者、科研人员的一些最新研究成果以及我们自己多年来在热喷涂方面的研究、开发、工程应用的实例，希望能为有需求的人提供帮助。

书中较全面地从热喷涂的名称、设备、材料、技术等方面叙述热喷涂技术的发展趋势，并介绍热喷涂的特点、应用；较详细地介绍了热喷涂的基础理论和热喷涂材料；重点讲述了等离子喷涂、电弧喷涂、火焰喷涂及其他先进的喷涂技术；简要介绍热喷涂涂层性能及质量检测、涂层加工及热喷涂操作的安全方面的问题；最后阐述了热喷涂技术的发展前景。

全书由河北工业大学武建军、曹晓明、温鸣教授编著。李靖、邹东利、刘英凯、乔从媛为本书的资料收集做了大量工作，在此表示感谢。由于现代热喷涂技术是一门正在发展的科学，我们根据理论、技术和应用成熟与发展的程度不同，在一些章节的论述上有详有略。

由于编著者的学识有限，阐述的内容难免有不当之处，敬请读者批评指正。

编著者

2007. 1

欢迎订阅腐蚀和表面技术专业图书

书 号	书 名	定价/元
专业工具书		
7502546790/TQ	实用表面前处理手册	38.00
7502519920/TQ	表面工程手册	90.00
7502568034/TQ	实用清洗技术手册	69.00
7502578129	腐蚀控制设计手册	158.00
7502570039	尤利格腐蚀手册	158.00
7502515364/TQ	腐蚀数据与选材手册	80.00
7502517405/TQ	实用防腐蚀工程施工手册	180.00
7502554025/TG	防锈材料应用手册	78.00
7502522824/TQ	阴极保护工程手册	50.00
7502565302/TQ	阴极保护手册——电化学保护的理论与实践	68.00
7502573186	中国材料工程大典(第16卷)——材料表面工程(上)	130.00
7502573194	中国材料工程大典(第17卷)——材料表面工程(下)	130.00
腐蚀科学		
7502568328/TQ	大气腐蚀	39.00
7502551875/TQ	腐蚀电化学原理(第二版,曹楚南 编著)	42.00
7502527265/TQ	腐蚀破坏事故100例	18.00
7502543333/TQ	腐蚀与防护全书——金属高温氧化和热腐蚀	29.00
7502535322/TQ	金属的腐蚀磨损	38.00
7502584706	材料的腐蚀与防护	39.00
7502532145/G	过程装备腐蚀与防护(教材)	24.00
7502573895	金属电化学腐蚀与防护(教材)	29.00
7502504451/G	金属腐蚀理论及应用(教材,魏宝明 主编)	32.00
7502585656	镁合金腐蚀与防护	29.80
7502540679/TQ	现代腐蚀科学和防蚀技术全书——材料的耐蚀性和腐蚀数据	90.00

续表

书 号	书 名	定价/元
750253962X/TQ	现代腐蚀科学和防蚀技术全书——材料腐蚀学原理	39.00
7502560319/TQ	中国材料的自然环境腐蚀	78.00
防腐蚀技术		
7502536132/TQ	防腐蚀技术及应用实例	95.00
7502574824	防腐蚀施工管理及施工技术	36.00
750253363X/TQ	腐蚀与防护全书——化学工业中的腐蚀与防护	30.00
7502534172/TQ	腐蚀与防护全书——石油工业中的腐蚀与防护	25.00
7502566880/TQ	钢结构的腐蚀控制	46.00
7502579265	工程防腐蚀指南——设计·材料·方法·监理检测	58.00
7502541500/TQ	工人岗位培训实用技术读本——防腐蚀衬里技术	30.00
7502546642/TQ	管道防腐蚀技术	28.00
750255310X/TQ	管线腐蚀控制(第二版)	45.00
7502582819	海水冷却系统的腐蚀及其控制	36.00
7502520104/G	化工腐蚀与防护(教材,第二版)	16.00
7502557164/G	化工腐蚀与防护(教材)	20.00
7502546251/TQ	基础设施腐蚀防护和耐久性问与答	20.00
7502534385/TQ	热水锅炉防腐阻垢技术	36.00
7502529365/TQ	水处理防腐蚀和失效分析 1000 例	28.00
750257218X	现代腐蚀科学和防蚀技术全书——电化学保护和缓蚀剂应用技术	98.00
750254030X/TQ	现代腐蚀科学和防蚀技术全书——防腐蚀表面工程技术	88.00
7502578293	现代腐蚀科学和防蚀技术全书——腐蚀科学技术的应用和失效案例	78.00
7502536841/TQ	新领域精细化工丛书——缓蚀剂	38.00
7502586121	职业技能操作训练丛书——防腐蚀工	16.00
7502550488/G	职业技能鉴定培训读本(技师)——防腐蚀工	36.00
涂料涂装技术		
7502564772/TF	彩色涂层钢板技术	45.00

续表

书 号	书 名	定价/元
7502584897	船舶涂料与涂装技术(第二版)	35.00
7502535071/TQ	防腐蚀涂料和涂装(第二版)	18.00
750255436X/TQ	粉末涂料与涂装实用技术问答	45.00
7502563520/TU	钢结构防腐蚀和防火涂装	35.00
7502520562/TQ	工业涂料与涂装技术丛书——船舶涂料与涂装技术	25.00
7502527842/TQ	工业涂料与涂装技术丛书——粉末涂料与涂装技术	26.00
7502530932/TQ	工业涂料与涂装技术丛书——机床涂料与涂装技术	20.00
7502528849/TQ	工业涂料与涂装技术丛书——家具涂料与涂装技术	20.00
7502521038/TQ	工业涂料与涂装技术丛书——建筑涂料与涂装技术	35.00
7502536868/TQ	工业涂料与涂装技术丛书——汽车摩托车涂料与涂装技术	25.00
7502535306/TQ	工业涂料与涂装技术丛书——防腐蚀涂料与涂装技术	25.00
750253850X/TQ	建筑涂料与涂装技术 400 问(第二版)	24.00
7502566104/TQ	汽车涂料	35.00
7502563598/TB	汽车涂装工艺技术	48.00
7502531602/U	汽车修补涂装技术手册	26.00
7502536817/TQ	实用涂装基础及技巧	29.00
7502545379/TQ	涂料防腐蚀技术丛书——丙烯酸树脂防腐蚀涂料及应用	25.00
7502531262/TQ	涂料防腐蚀技术丛书——防腐蚀涂料涂装和质量控制	36.00
7502549102/TQ	涂料防腐蚀技术丛书——氟树脂涂料及应用	30.00
7502551182/TQ	涂料防腐蚀技术丛书——功能性防腐蚀涂料及应用	28.00
7502581456	涂料防腐蚀技术丛书——聚氨酯树脂防腐蚀涂料及应用	35.00
7502583998	涂料喷涂工艺与技术	29.00
7502581766	涂料行业职业技能鉴定培训教材——地坪涂料与涂装工	28.00
7502582940	涂料行业职业技能鉴定培训教材——防腐蚀涂料与涂装工	25.00
7502586695	涂料行业职业技能鉴定培训教材——建筑涂料与涂装工	20.00

续表

书 号	书 名	定价/元
7502578528	涂料与涂装技术	36.00
7502560904/TQ	涂装表面预处理技术与应用	38.00
7502539964/TQ	涂装工艺学	28.00
7502556354/TH	涂装工艺与设备	46.00
7502569499	现代生产安全技术丛书——涂装作业安全技术	28.00
7502534636/TQ	有机涂料科学和技术	66.00
7502545042/TQ	预涂金属卷材及涂料	24.00
金属涂层和电镀技术		
750258045X	钢材热镀锌	59.00
7502529195/TQ	涂层技术原理及应用	45.00
7502559744/TG	实用焊接技术丛书——表面堆焊与热喷涂技术	39.00
7502591176	电弧喷涂技术	36.00
7502574220	工人安全技术培训系列读本——电镀工安全技术	15.00
7502562060/O	实用电镀技术丛书——电镀清洁生产工艺	35.00
7502538011/TQ	材料防护系列图书——电镀工程	40.00
7502557989/X	电子废料回收与利用丛书-电镀废弃物与材料的回收利用	24.00
7502544488/X	电镀废水处理技术及工程实例	35.00
7502546219/TQ	难镀基材的化学镀镍技术	22.00
7502532595/TQ	实用电镀技术丛书——电镀溶液分析技术	35.00
750253539X/TQ	实用电镀技术丛书——电镀溶液与镀层性能测试	19.00
750255095X/TQ	实用电镀技术丛书——防护装饰性镀层	38.00
7502532595/TQ	实用电镀技术丛书——电镀溶液分析技术	35.00
7502548572/TQ	实用电镀技术丛书——化学镀实用技术	42.00
7502534903/TQ	腐蚀与防护全书——实用电镀技术	25.00
7502584188	非金属电镀与精饰——技术与实践	35.00
7502548513/TQ	电镀实践 600 例	30.00
7502584021	镀铬修复及应用实例	28.00

续表

书 号	书 名	定价/元
7502589511	镀铁铜镍及合金修复技术	20.00
7502555110/TQ	特种电镀技术	22.00
7502547975/TQ	刷镀技术	28.00
750258434X	表面处理清洁生产技术丛书——镀锌	15.00
7502584471	表面处理清洁生产技术丛书——镀覆前表面处理	20.00
7502582045	涂镀三废处理工艺与设备	38.00
7502575529	电镀工艺与设备	54.00
7502540407/TM	工人岗位培训实用技术读本——电镀技术	27.00
7502590307	现代电镀(原著第四版)	88.00
7502592547	镀镍技术丛书——镀镍工艺基础	
750259521X	镀镍技术丛书——光亮镀镍	
7502589546X	实用装饰性镀层和涂层	
7502592156	电镀企业的数据化管理	
	电镀生产管理8讲	
	纳米电镀(引进图书)	
	电镀挂具	
	复合电镀技术	
表面清洗技术		
7502576541	石材清洗、防护、粘接与深加工	68.00
7502563121/X	精密洗净技术	26.00
7502536043/TQ	工业清洗剂及清洗技术	45.00
7502563806/TB	电力工业清洗技术	40.00
7502570497	洗净技术基础	58.00
7502568034/TQ	实用清洗技术手册(第二版)	69.00
7502546111/TQ	金属清洗技术	28.00
7502544925/TQ	表面活性剂应用技术丛书——表面活性剂在洗涤工业中的应用	20.00
7502530010/TQ	实用化学清洗技术(第二版)	20.00

续表

书 号	书 名	定价/元
7502545034/TQ	工业清洗及应用实例	25.00
7502543430/TQ	工人岗位培训实用技术读本——工业清洗技术	35.00
7502577785	高压水射流清洗技术及应用	29.00
其他表面技术		
7502555501/TQ	铝合金阳极氧化与表面处理技术	45.00
7502558659/TQ	不锈钢表面处理技术	32.00
7502586539	金属表面抛光技术	29.00
7502551433/TQ	超细粉体表面修饰	45.00
7502577521	金属表面技术丛书——表面淬火技术	22.00
7502582746	金属表面技术丛书——化学热处理技术	35.00
7502569766	金属表面技术丛书——表面熔融凝固强化技术	35.00
7502570551	金属表面技术丛书——水溶液沉积技术	20.00
7502566414/TB	材料表面强化技术	55.00
7502553630/TQ	玻璃表面处理技术	76.00
7502548491/TQ	纳米粉体的分散及表面改性	30.00
7502581944	陶瓷材料表面改性技术	38.00
7502579214	现代表面工程技术(教材)	32.00
7502556982/TQ	硅及其氧化物的电化学——表面反应、结构和微加工	68.00
750255890X/TB	喷丸清理技术	38.00

化学工业出版社出版机械、电气、化学、化工、环境、安全、生物、医药、材料工程、腐蚀和表面技术等专业科技图书。如要邮购图书，请与发行部联系。如要出版新著，请与编辑联系。如要以上图书的内容简介和详细目录，或要更多的科技图书信息，请登录 www.cip.com.cn。

地址：(100011) 北京市东城区青年湖南街 13 号 化学工业出版社

邮购：010-64519686

编辑：010-64519282 (机电分社金属材料编辑部)

Email: taol223@vip.sina.com

欢迎加入化学工业出版社读者俱乐部

您可以在我们的网站 (www.cip.com.cn) 查询、购买到数千种化学、化工、机械、电气、材料、环境、生物、医药、安全、轻工等专业图书以及各类专业教材,并可参与专业论坛讨论,享受专业资讯服务,享受购书优惠。欢迎您加入我们的读者俱乐部。

两种入会途径 (免费)

- ◇ 登录化学工业出版社网上书店 (www.cip.com.cn) 注册
- ◇ 填写以下会员申请表寄回 (或传真回) 化学工业出版社

四种会员级别

- ◇ 普通会员 ◇ 银卡会员 ◇ 金卡会员 ◇ VIP 会员

化学工业出版社读者俱乐部会员申请表

姓名:	性别:	学历:
邮编:	通讯地址:	
单位名称:		部门:
您从事的专业领域:		职务:
电话:	E-mail:	

◆ 您希望出版社给您寄送哪些专业图书信息? (可多选)

☐ 化学 ☐ 化工 ☐ 生物 ☐ 医药 ☐ 环境 ☐ 材料 ☐ 机械 ☐ 电气 ☐ 安全 ☐ 能源 ☐ 农业
☐ 轻工 (食品/印刷/纺织/造纸) ☐ 建筑 ☐ 培训 ☐ 教材 ☐ 科普 ☐ 其他 ()

◆ 您希望多长时间给您寄一次书目信息?

☐ 每月 1 次 ☐ 每季度 1 次 ☐ 半年 1 次 ☐ 一年 1 次 ☐ 不用寄

◆ 您希望我们以哪种方式给您寄书目? ☐ 邮寄纸介质书目 ☐ E-mail 电子书目

此表可复印,请认真填表后发传真至 **010-64519686**,或寄信至:北京市东城区青年湖南街 13 号化学工业出版社发行部 读者俱乐部收 (邮编 100011)

联系方法:

热线电话: 010-64518888, 64518899 E-mail: hy64518888@126.com

第 1 章 绪论	1
1.1 热喷涂技术的发展历史	2
1.1.1 名词的由来	2
1.1.2 热喷涂的发展	3
1.2 热喷涂技术的特点及应用.....	10
1.2.1 热喷涂技术的特点.....	10
1.2.2 热喷涂技术的应用.....	12
1.3 热喷涂技术的发展趋势.....	19
1.3.1 热喷涂工艺的近期发展.....	19
1.3.2 热喷涂装备的近期发展.....	20
1.3.3 热喷涂材料的近期发展.....	23
1.3.4 热喷涂技术发展的集中化、产业化趋势.....	25
参考文献	25
第 2 章 热喷涂基础	27
2.1 热喷涂的原理.....	28
2.1.1 热喷涂的原理.....	29
2.1.2 热喷涂的现状.....	30
2.2 热喷涂的涂层结构.....	31
2.2.1 涂层形成与裂纹产生过程.....	31
2.2.2 涂层的形成与结构.....	34
2.2.3 涂层质量事故分析.....	40
2.3 热喷涂的分类及特征.....	42
2.3.1 热喷涂的分类.....	42
2.3.2 热喷涂的特点.....	50

2.4 涂层制备工艺与涂层性能	52
2.4.1 涂层制备工艺	52
2.4.2 涂层的性能	59
参考文献	64

第3章 热喷涂材料 65

3.1 喷涂用线材	65
3.1.1 碳钢及低合金钢线材	66
3.1.2 不锈钢喷涂线材	66
3.1.3 锌及锌合金喷涂线材	67
3.1.4 铝及铝合金喷涂线材	69
3.1.5 铜及铜合金喷涂线材	70
3.1.6 铅及铅合金喷涂线材	71
3.1.7 锡及锡合金喷涂线材	72
3.1.8 钼及钼合金喷涂线材	72
3.1.9 镍及镍合金喷涂线材	73
3.1.10 镉及镉合金喷涂线材	74
3.1.11 复合喷涂线材	74
3.2 喷涂用粉末	77
3.2.1 金属粉末	78
3.2.2 自熔性合金粉末	81
3.2.3 复合粉末	85
3.2.4 陶瓷粉末	88
3.2.5 塑料粉末	94
3.3 热喷涂材料的特点及要求	99
3.3.1 对热喷涂材料的一般要求	99
3.3.2 复合粉末的特点	100
3.3.3 自熔性合金的特点	101
参考文献	104

第4章 表面预处理	105
4.1 概述	105
4.2 净化处理	106
4.3 预加工和粗化处理	108
4.3.1 预加工	108
4.3.2 粗化处理	108
4.4 预热	114
参考文献	114
第5章 等离子喷涂	115
5.1 等离子喷涂技术基础	116
5.1.1 离子的压缩效应	116
5.1.2 等离子弧的形式和特征	116
5.1.3 工作气体	119
5.1.4 等离子喷涂技术特点	120
5.1.5 等离子喷涂工艺	121
5.1.6 等离子喷涂涂层	127
5.1.7 等离子喷涂技术的发展	129
5.2 气稳等离子喷涂	130
5.2.1 气稳等离子喷涂的原理	131
5.2.2 等离子射流温度和速度	132
5.2.3 喷涂粒子的速度和温度	133
5.2.4 大气等离子喷涂设备	135
5.2.5 等离子喷涂工艺	150
5.3 水稳及水下等离子喷涂	152
5.3.1 水稳等离子喷涂原理	153
5.3.2 特点及应用	155
5.3.3 水稳等离子喷涂设备	156
5.3.4 水稳等离子喷涂涂层的工艺	158
5.3.5 水稳等离子喷涂涂层特征	159
5.3.6 水下等离子弧喷涂	159

5.4	真空等离子喷涂	160
5.4.1	真空等离子喷涂原理	161
5.4.2	真空等离子喷涂特点	163
5.4.3	真空等离子喷涂设备	163
5.4.4	真空等离子喷涂工艺	166
5.5	超音速等离子喷涂	167
5.5.1	超音速等离子喷涂原理	167
5.5.2	超音速等离子喷涂特点	168
5.5.3	超音速等离子喷涂设备	169
5.5.4	超音速等离子喷涂工艺	171
5.6	反应等离子喷涂	171
5.6.1	反应等离子喷涂的理论基础	172
5.6.2	反应等离子喷涂技术	174
5.6.3	反应等离子喷涂粉的制备	176
5.6.4	反应等离子喷涂的工艺研究	177
5.6.5	反应等离子喷涂的应用	178
	参考文献	181
第6章	电弧喷涂	184
6.1	电弧喷涂的原理	184
6.2	电弧喷涂设备	187
6.2.1	电源	188
6.2.2	电弧喷枪	190
6.2.3	送丝装置	196
6.2.4	控制系统	197
6.3	电弧喷涂工艺及其对涂层质量的影响	198
6.3.1	电弧喷涂工艺	198
6.3.2	电弧喷涂工艺规范参数	199
6.3.3	电弧喷涂工艺对涂层质量的影响	200
6.4	电弧喷涂材料	204

6.5	电弧喷涂的操作	206
6.5.1	喷涂规范的选择及其要求	206
6.5.2	喷涂操作	208
6.6	电弧喷涂的特点及应用	210
6.6.1	电弧喷涂的特点	210
6.6.2	电弧喷涂的应用举例	212
6.6.3	电弧喷涂的安全与防护	214
6.7	高速电弧喷涂技术	214
6.7.1	电弧喷涂的影响因素	214
6.7.2	高速电弧喷涂技术原理及其特点	215
6.7.3	提高电弧喷涂射流速度的技术途径	217
6.7.4	高速电弧喷涂工艺	218
6.7.5	高速电弧喷涂技术的应用	220
	参考文献	223
第7章	火焰喷涂	225
7.1	火焰喷涂概述	225
7.2	火焰喷涂材料	225
7.2.1	火焰喷涂材料	225
7.2.2	火焰喷涂燃料	226
7.2.3	氧-乙炔火焰	227
7.3	火焰喷涂工艺	229
7.3.1	工件表面制备	230
7.3.2	预热	230
7.3.3	喷涂	230
7.3.4	喷后处理	232
7.4	氧-乙炔火焰线材喷涂	232
7.4.1	线材喷涂原理	232
7.4.2	涂层	236
7.4.3	线材火焰喷涂设备	237