

现代金属 表面合金化技术

曹晓明 温 鸣 杜 安 编著



化学工业出版社

现代金属 表面合金化技术

曹晓明 温 鸣 杜 安 编著



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书涉及了金属表面各种合金化技术的基础理论、应用及最新技术。本书首先对金属表面工程技术的内涵、分类、功能及作用进行了阐述；继而介绍了金属表面工程的基本理论和基础知识；随后从传统的表面处理入手，从实用角度出发，论述了各种现代金属表面合金化的工艺及最新进展，并详细介绍了一些应用实例。可使读者用较少的时间对金属表面合金化这一领域有较为全面的了解，从而为制备综合性能良好且具备优异表面特性的新材料提供科学方法和理论指导。

本书可供从事材料表面技术与工程、涂层材料、薄膜材料研究与开拓应用的科研人员及工程技术人员参考，也可作为高等院校材料专业和相近专业的本科生、研究生教学参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

现代金属表面合金化技术/曹晓明，温鸣，杜安编著. —北京：化学工业出版社，2006.12

ISBN 978-7-5025-9881-5

I. 现… II. ①曹…②温…③杜… III. 金属材料-表面合金化 IV. TG174.445

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 001565 号

责任编辑：邢 涛

文字编辑：余纪军

责任校对：周梦华

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：北京永鑫印刷有限责任公司

装 订：三河市前程装订厂

850mm×1168mm 1/32 印张 12¼ 字数 329 千字 2007 年 3 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：28.00 元

版权所有 违者必究

众所周知,金属材料被广泛应用于工农业生产和人民生活的各个领域。腐蚀和磨损是金属材料表面失效的两大主要形式,造成了很大的经济损失。为了提高金属材料的耐磨性、耐蚀性等性能,各种金属表面处理技术应运而生。

金属表面合金化作为金属表面工程的一部分,是提高金属材料表面性能的有效手段。20 世纪 60 年代以后,等离子体、电子束、激光束、离子束、微波、超音速火焰、超高真空等科学技术的成果逐步引入到金属材料表面科学与工程中,各种机械,装饰,物理(声、光、电、磁、绝缘等),特殊功能(防辐射、自润滑、隐身、红外、催化、抗老化等)的薄膜及各种先进涂层相继产生。金属表面合金化由于其广泛的渗透性和工程实用性,应用遍及机械、石油、化工、冶金、交通、能源、环保、核能、航空航天等领域。

虽然金属表面工程技术取得了很大的成就,国内外也有许多相应的著作,但是将金属表面合金化单独来写的著作并不多见。我们尽自己所能搜集了国内外从事金属表面合金化相关研究的学者、科研人员的一些研究成果,结合我们的实践成果,希望能对从事该方面工作的科研人员及相关教师、学生有所帮助。

《现代金属表面合金化技术》一书涉及了金属表面各种合金化技术的基础理论、应用及最新技术。全书共计 8 章。首先对金属表面合金化技术的内涵、分类、功能及作用进行了阐述;继而介绍了相关的基本理论和基础知识;随后作者从传统的表面处理入手,从实用角度出发,论述了各种现代金属表面合金化的工艺及最新进展,列举了一些应用实例。

本书由河北工业大学曹晓明教授、温鸣教授、杜安等编著。作

者在此向搜集资料的孙中华、肖立松、卢国启、路学成表示感谢。

由于编者的学识有限，时间仓促，阐述的内容难免有不当之处，敬请读者批评指正。

曹晓明

2007 年 1 月

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

续表

书 号	书 名	定价/元
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
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(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(二版)	35.00
7502535071/TQ	防腐蚀涂料和涂装(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(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	电镀企业的数字化管理	
	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(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(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技术图书。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：010-64518888, 64518899 (发行部邮购科)

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? ☐ 邮寄纸质介质书目 ☐ 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 概述	1
1.2 金属表面合金化分类	2
1.3 金属表面合金化的功能	3
参考文献	4
第 2 章 金属表面合金化	5
2.1 固体表面	5
2.1.1 理想的固体表面	5
2.1.2 实际晶体表面	6
2.2 金属表面原子扩散	10
2.2.1 微观扩散的扩散系数	11
2.2.2 宏观扩散的扩散系数	12
2.2.3 表面向体内的扩散	13
2.3 金属磨损理论	14
2.3.1 磨损的分类	15
2.3.2 磨损特征及一般规律	17
2.4 金属腐蚀理论	19
2.4.1 金属腐蚀的分类	20
2.4.2 金属的常见腐蚀形态及防护措施	21
2.4.3 电化学腐蚀热力学	27
2.4.4 电化学腐蚀动力学	29
参考文献	33
第 3 章 热渗镀	34
3.1 热渗镀技术的基本原理	34
3.1.1 渗层形成的基本条件	34

3.1.2	渗层的形成机理	36
3.1.3	渗层的组织特征	37
3.1.4	渗层形成速度的影响因素	38
3.2	热渗镀工艺的分类	39
3.2.1	气态热渗镀工艺	40
3.2.2	液态热渗镀工艺	41
3.2.3	固态热渗镀工艺	46
3.2.4	等离子体热渗镀工艺	47
3.2.5	热渗镀的发展	51
3.3	渗碳	51
3.3.1	渗碳原理	51
3.3.2	气态渗碳	53
3.3.3	液体渗碳	63
3.3.4	固体渗碳	67
3.3.5	膏剂渗碳	70
3.3.6	离子渗碳及其他渗碳方法简介	71
3.3.7	常用渗碳钢的性能及应用	73
3.4	渗氮	75
3.4.1	渗氮的原理	75
3.4.2	气体渗氮	78
3.4.3	离子渗氮	83
3.4.4	其他渗氮方法	91
3.5	渗硼	93
3.5.1	渗硼方法	93
3.5.2	固体法渗硼	94
3.5.3	液体渗硼	99
3.5.4	气体渗硼	101
3.5.5	渗硼的前处理和后处理	102
3.5.6	渗硼钢的组织与性能	103
3.5.7	渗硼钢的用途	106

3.6 渗硅	108
3.6.1 固体渗硅	109
3.6.2 液体渗硅	112
3.6.3 气体渗硅	113
3.6.4 离子渗硅	115
3.6.5 有色金属渗硅	115
3.6.6 渗硅的影响因素	116
3.6.7 渗硅层的性能及应用	117
3.7 渗锌	119
3.7.1 固体粉末渗锌	120
3.7.2 热浸镀锌	124
3.8 渗铝	140
3.8.1 渗铝层的形成	142
3.8.2 固体渗铝	143
3.8.3 热浸镀铝	145
3.8.4 其他渗铝方法	156
3.8.5 渗铝层的性能	159
3.9 渗其他金属	163
3.9.1 渗铬	163
3.9.2 渗钛	172
3.9.3 渗钒	175
3.9.4 渗锰、渗锡、渗铌、渗钼、渗钽、渗镭	177
3.10 多元共渗和复合渗	180
3.10.1 碳氮共渗	181
3.10.2 硼铝共渗	192
3.10.3 硼铬共渗	195
3.10.4 硼硅共渗	197
3.10.5 硼钴共渗	198
3.10.6 硼碳氮三元共渗	198
3.10.7 铬铝共渗	199

3.10.8	铬钒共渗	201
3.10.9	钛铝共渗	201
3.10.10	铝硅共渗	202
3.10.11	铝与稀土元素共渗	203
3.10.12	碳硼复合渗	203
3.10.13	氮硼复合渗	204
	参考文献	206
第4章	堆焊	207
4.1	概述	207
4.1.1	堆焊的特点	207
4.1.2	堆焊的分类	208
4.1.3	堆焊的用途	209
4.1.4	堆焊的应用现状及前景	210
4.2	手工电弧堆焊	211
4.2.1	手工电弧堆焊的特点	211
4.2.2	手工电弧堆焊的原理	212
4.2.3	手工电弧堆焊设备	215
4.2.4	手工电弧堆焊工艺	218
4.2.5	手工电弧堆焊应用实例	222
4.3	氧-乙炔火焰堆焊方法及工艺	224
4.3.1	氧-乙炔火焰堆焊的特点	224
4.3.2	氧-乙炔火焰堆焊装置	224
4.3.3	氧-乙炔火焰堆焊应用实例	225
4.4	等离子弧堆焊	227
4.4.1	等离子弧堆焊的特点	227
4.4.2	等离子弧堆焊原理	228
4.4.3	等离子弧堆焊工艺	229
4.4.4	等离子弧堆焊实例	230
4.5	振动电弧堆焊	232
4.5.1	振动电弧堆焊特点	232

4.5.2	振动电弧堆焊的原理	232
4.5.3	振动电弧堆焊的设备	233
4.5.4	振动电弧堆焊实例	234
4.6	埋弧自动堆焊	235
4.6.1	埋弧自动堆焊的特点	236
4.6.2	埋弧自动堆焊的设备	236
4.6.3	埋弧自动堆焊工艺参数	238
4.6.4	埋弧自动堆焊实例	240
4.7	气体保护堆焊	241
4.7.1	气体保护堆焊原理	241
4.7.2	气体保护堆焊的种类	242
4.8	电渣堆焊	245
4.8.1	电渣堆焊的特点	245
4.8.2	电渣堆焊的设备与材料	246
4.8.3	电渣堆焊工艺	246
4.8.4	电渣堆焊的应用与实例	247
	参考文献	249
第5章	气相沉积技术	250
5.1	薄膜技术基础	251
5.1.1	薄膜的定义和基本性质	251
5.1.2	薄膜的形成过程	252
5.1.3	薄膜的种类和应用	253
5.1.4	薄膜的制备方法	255
5.2	物理气相沉积	256
5.2.1	真空蒸镀	256
5.2.2	溅射镀膜	266
5.2.3	离子镀膜	279
5.3	化学气相沉积	296
5.3.1	化学气相沉积原理	296
5.3.2	CVD 设备及工艺	298