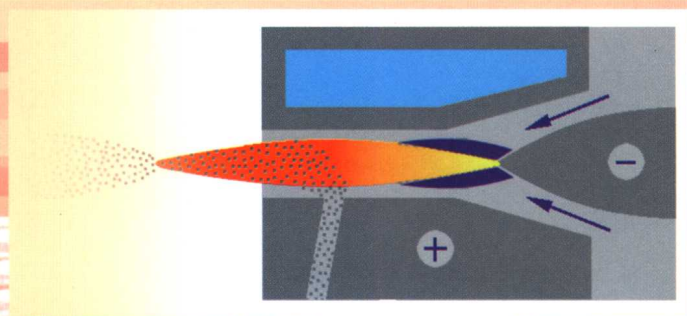


现代材料 表面技术科学

戴达煌 周克崧 袁镇海 等编著



冶金工业出版社

现代材料表面技术科学

戴达煌 周克崧 袁镇海 等编著

北 京
冶 金 工 业 出 版 社
2004

内 容 简 介

本书较全面地叙述了涂层与薄膜材料沉积制备的现代表面技术科学与应用,着重以与现代表面技术密切相关的等离子体、电子束、激光束、离子束、低压等离子、超音速火焰、微波等先进科学技术为基础,结合涂层材料、薄膜材料的特点,简明地论述了表面技术与工程的涵义、工程分类、工程应用,重点讲述了涉及表面科学中与表面(界面)相关的基本理论(包括固体材料表面、表面晶体学、表面与界面特征、表面与原子热振动、表面扩散、表面电子学、表面电迁移现象和腐蚀与摩擦等涉及表面的相关理论),涂层技术中的先进喷涂技术(包括低压等离子喷涂、超音速火焰喷涂、冷喷等),等离子轰击与三束(电子、激光、离子)材料表面改性,先进的薄膜气相沉积技术与表面复合技术;扼要地介绍了表面微细加工技术和表面检测分析研究方法等内容,并把应用试验和工程应用贯穿于各章之中。编者力求全面又突出重点,从以材料表面、界面及基体为整体的系统研究出发,认真探讨材料“表面与整体”的优化设计及制造,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科技工作者参考,也可作为高等院校材料专业和相近专业的高年级学生、研究生材料学课程的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

现代材料表面技术科学/戴达煌等编著. —北京:冶金工业出版社,2004.1

ISBN 7-5024-3364-3

I. 现… II. 戴… III. 金属表面处理 VI. TG17

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 086937 号

出版人 曹胜利(北京沙滩嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009)

责任编辑 王秋芬 美术编辑 王耀忠

责任校对 符燕蓉 李文彦 责任印制 李玉山

北京百善印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2004 年 1 月第 1 版,2004 年 1 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16;38.25 印张;1020 千字;593 页;1-3000 册

99.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100711) 电话:(010)65289081

(本社图书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

序

多学科交叉融合已成为当今科技创新发展的一大趋势。现代材料表面技术科学正是在应用现代物理、化学、材料学、电子学、冶金学、机械学等多种学科最新知识集成的基础上,经过 20 多年的不断发展,已成为一门既是新兴的、综合性强、应用面广的先进工程技术,又是极具发展前途的多学科交叉的边缘学科。随着现代材料表面技术在国民经济各工业部门日益广泛的应用,其优异的特性以及显著的经济效益和社会效益已引起高度关注,成为高技术新材料领域的重要组成部分。《现代材料表面技术科学》一书,紧密围绕表面技术的基础理论、发展状况及实际应用等方面作了精辟的概括和系统的介绍,从以材料表面、界面及基体为整体的系统研究出发,深入探讨材料“表面与整体”的优化设计及制造,从而为人们制备综合性性能好且具有优异表面特性的新材料提供了较为科学的设计方法和理论指导。

《现代材料表面技术科学》的主要编著者戴达煌、周克崧等同志,是我国在科研生产第一线从事表面技术与工程研究的专家,他们从事涂层与薄膜材料表面技术研究已经 25 年有余,并在长期的研究工作中积累了丰富的实践经验,获得了不少国家级、省部级较高水平的科研成果。他们以崇尚科学、热爱事业的满腔热情,将长期收集的国内外有关涂层、薄膜材料的现代表面技术研究与应用的宝贵资料和自身独立研究开发的成果,精心整理加工,撰写了这本资料较齐全、新颖,论述翔实的《现代材料表面技术科学》一书,书中既有基础理论又有工程应用实例,特别是对现代材料表面技术的最新特点作了重点阐述。我认为,这是一件很有意义的工作,本书的出版可喜可贺。它对从事材料表面技术研究与应用的工程师、科技工作者和高等院校的研究生,有较高实用参考价值,同时它还将有益于推动发展我国材料现代表面技术科学领域的技术进步和应用。

中国材料研究学会理事长

周 康

2003 年 6 月 2 日

前言

现代材料表面技术科学(简称现代表面技术)在 20 世纪 80 年代被国际科技界誉为最具发展前途的十大技术之一。从 20 世纪 60 年代到 80 年代,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表面科学与工程后,各种机械、装饰、物理(声、电、光、磁、绝缘等)、特殊功能(防辐射、自润滑、隐身、吸收、红外、催化、抗老化等)的薄膜及各种先进的涂层,已把材料表面改造成具有人们期望的各种功能。表面工程技术由于其具有广泛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、航空航天等工业及微电子、光电子、计算机、通讯、光学、电学、声学、磁学等领域。

现代表面工程既是应用广泛的工程技术,又是各学科交叉的边缘学科。它的产品不断推陈出新,更新换代,影响着许多技术领域的发展。例如,20 世纪 70 年代离子注入技术应用于半导体材料表面改性,它的高度可控和精细掺杂,使半导体器件从单个晶体管加工发展到平面集成电路加工;离子注入、离子刻蚀、电子束曝光等技术的结合,形成了集成电路微细加工新技术,使掺杂层更薄,线条更细,集成电路的特征尺寸接近 $0.1\mu\text{m}$,使新世纪的电子工业成为日新月异蓬勃发展的微电子工业,并带动光通讯、计算机工业、家电产业的全新发展。为满足高速发展的微电子工业对制造电子元件的材料性能和制作工艺等方面的需求,广大科技工作者克服重重困难,使离子注入技术在半导体工业领域中的应用,向着使掺杂层更薄,注入更精细,注入次数更多的方向发展。又例如在金属离子注入材料表面改性技术上,从英国哈威尔原子能中心金属部件的离子注入到真空弧源(MEVVA)的问世,现今已可提供多达 48 种的金属离子源,束流强度达到数百毫安级的水平。全方位离子注入机的开发成功,使离子注入工艺更趋简单,工效提高,表面改性后的性能更好。还有如提高材料或零部件的耐蚀、耐磨、抗高温氧化(如超合金涂层)、耐热、导热、隔热、热反射性能的各种涂镀层以及赋予材料表面一些特殊的功能,如导电、绝缘、半导体特性,超导、存储记忆、电磁屏蔽、发光、消光、光反射、光选择吸收、雷达波隐身、红外隐身、传感、声光电磁转换,抗辐照、抗老化、抗疲劳、亲油、亲水、可焊、黏着、催化、耐酸碱,鲜艳色彩,图文等等。总之,由于电子束、激光束,离子束,等离子体,微波和物理、化学气相沉积,离子轰击,超音速火焰喷涂,低压等离子喷涂,冷喷等一系列先进技术引入到表面技术与工程中,就促使现代表面技术制备的先进涂层、沉积的薄膜材料有了飞速的发展与质的进展。

已经发展起来的现代材料表面科学与工程大有可为,大有发展。从英国伯明翰大学 Ball 教授创建世界第一个表面工程学会开始发展至今只有 30 年的历程,在基础理论研究和技術发展上,有的已经成熟,有的还很很不完善,很不系统,还没有完全形成完整的理论体系,甚至理论研究大大落后于技术开发。在应用深度、广度上还需更多更深更广的开发。有些新的极具潜在开发前景的产业,规模化还会有一段较长的路要走,但它的应用前景与巨大的市场需求必将吸引了众多跨学科的科技工作者的投入。把现代表面技术的最新成果,把整个工程,把“表面与整体”视为一个系统,同时进行设计与制造,以经济、有效的方法改变材料表面区的形态、

化学成分和组织结构,并赋予材料新的复合性能,使表面工程设计与制造纳入整个工程与产品的总体设计制造之中,促进整体工业的技术进步与高新技术的发展。

虽然材料表面科学与技术取得了令人瞩目的成就和发展,国内外也相应出版过一些著作,但科技工作者、工程师和高等院校研究生更需要比较全面的,既有基础理论又有工程应用实例,突出介绍现代表面技术最新特点的参考书。尽我们所能,本书收集了国内外从事材料表面研究的学者、科技人员的一些研究成果以及我们自己 20 多年来在材料表面科学方面的研究、开发、工程应用的实例,希望能弥补这方面的不足。

书中较全面地叙述了涂层与薄膜材料沉积制备的现代表面技术科学和应用,着重以与现代表面技术密切相关的等离子体、电子束、激光束、离子束、低压等离子、超音速火焰、微波等先进科学技术为基础,结合涂层材料、薄膜材料的特点,简要地论述了表面技术与工程的涵义、工程分类、工程应用;重点讲述了涉及表面科学中与表面(界面)相关的基本理论(包括固体材料表面,表面晶体学,表面与界面特征,表面与原子热振动,表面扩散,表面电子学,表面电迁移现象和腐蚀与摩擦等涉及表面的相关理论),涂层技术中的先进喷涂技术(包括低压等离子喷涂,超音速火焰喷涂,冷喷等),等离子轰击与三束(电子、激光、离子)材料表面改性,先进的薄膜气相沉积技术与表面复合技术;扼要介绍了表面微细加工技术和表面检测分析研究方法等内容。因涉及的技术多而广,编者力求较全面而又突出重点,以体现现代表面技术的特点、先进涂层制备和性能优异薄膜材料的沉积。我们一致认为,若把材料表面与基体作为一个系统进行统一设计与改性、必然会以最经济、最有效的方法改善材料表面及近表面区的形态、化学成分、组织结构,赋予材料表面新的复合性能,从而使许多新构思、新材料、新器件实现新的工程应用,现代表面技术与工程对促进整体工业的技术进步与高新技术的发展具有独特的优势。

全书总体章节题目由戴达煌、周克崧提出思路与设想。第 1、4、5 章由戴达煌撰写;第 2 章由戴达煌、钱苗根撰写;第 3 章由周克崧撰写;第 6 章由袁镇海撰写;第 7 章由戴达煌、周克崧撰写;第 8 章由王翔撰写;第 9 章由杨大君撰写。全书由周克崧、戴达煌统稿审定。王翔、戴达煌负责全书校对、绘图等工作。由于现代表面技术与工程是一门正在发展的新兴学科,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。书中引用了一些国内外学者的著作、论文的观点、论述及成果,在此谨对他们致以深深的谢意。

中国工程院院士、国际材联副主席、中国材料研究学会理事长、我国著名的超导材料科学家周廉教授给予我们热情的支持和鼓励,并在百忙中为本书作序。在此我们深表谢意。

编写中得到广州有色金属研究院领导的关怀、支持以及同行的鼓励,冶金工业出版社的同志也提出了很好的意见和建议,对此我们表示衷心的感谢。

由于编者的学识有限,知识面、应用面较窄,阐述的内容难免有疏漏和不当,敬请读者批评指正。

戴达煌 周克崧

于广州有色金属研究院

2003 年 4 月

冶金工业出版社相关书目

书 名	作 者
微生物湿法冶金	杨显万 等编著
粉体成形力学原理	吴成义 等编著
粉末烧结理论	果世驹 编著
材料腐蚀与防护	孙秋霞 主编
金属防腐蚀技术	吴继勋 主编
金属材料的海洋腐蚀与防护	夏兰廷 等著
TiC/Fe 复合材料的自蔓延高温合成工艺及应用	邹正光 著
薄膜材料制备原理、技术及应用(第2版)	唐伟忠 著
电沉积多功能复合材料的理论与实践	郭忠诚 等著
金属凝固过程中的晶体生长与控制	常国威 等编著
复合材料液态挤压	罗守靖 著
陶瓷材料的强韧化	穆柏青 等著
陶瓷—金属复合材料	李荣久 主编
焊接材料研制理论与技术	张清辉 等著
高温用特殊复合材料	徐桂兰 编著
电子枪与离子束技术	张以忱 编著
材料评价的高分辨电子显微方法	[日]进藤大辅 平贺贤二 合著
物理介观力学和材料的计算机辅助设计	[俄]B. E. 潘宁 主编 万 群 等译
材料的结构	余永宁 等编著
金属腐蚀学(第2版)	杨德钧 等编
X射线衍射技术及设备	丘 利 等编
现代物理测试技术	梁志德 等编
现代材料表面技术科学	戴达煌 等编著
Ni-Ti 形状记忆合金在生物医学领域的应用	杨大智 等编
材料研究与测试方法	张国栋 主编
材料科学基础	李 见 主编
冶金物理化学研究方法(第3版)	王常珍 主编
金属材料学	吴承建 等编
金属功能材料词典	柯 成 主编
粉末冶金原理(第2版)	黄培云 主编
粉末冶金学	王盘鑫 主编
相图原理与冶金相图	陈国发 等编著
金属的高温腐蚀	李美栓 编著

目 录

1 表面技术与工程概论

1.1 表面技术与工程的涵义	1
1.1.1 表面技术与工程实施的目的	1
1.1.2 与表面有关的一些表面技术	2
1.2 表面技术与工程分类	4
1.2.1 表面技术的分类和表面工程学的涵义	4
1.2.2 现代表面技术基础和应用理论	6
1.2.3 表面涂镀层技术	6
1.2.4 表面薄膜与沉积技术	8
1.2.5 表面改性技术	10
1.2.6 表面复合处理技术	11
1.2.7 表面加工技术	11
1.2.8 表面分析和测试	12
1.2.9 现代表面工程技术设计	12
1.3 表面技术与工程应用	13
1.3.1 在航空航天工业中的应用	13
1.3.2 在汽车工业中的应用	14
1.3.3 在城市建设中的应用	15
1.3.4 在家用电器工业中的应用	15
1.3.5 在冶金、电力、石化、机械工业中大型部件上的应用	16
1.3.6 在功能材料和元器件中的应用	16
1.3.7 在电子技术中的应用	17
1.3.8 在保护、优化环境中的应用	18
1.3.9 在研究和制备先进新材料中的应用	19
1.4 表面技术与工程展望	22
主要参考文献	24

2 表面技术与工程的基本概念和基础理论

2.1 固体材料及其表面	25
2.1.1 固体材料	25
2.1.2 固体表面	26

2.2 表面晶体学	26
2.2.1 理想的表面结构	26
2.2.2 清洁表面结构	29
2.2.3 实际表面结构	34
2.3 表面、界面特征	38
2.3.1 表面与界面的区别	38
2.3.2 表面力	38
2.3.3 表面张力与表面自由能	40
2.3.4 表面吸附的种类、机理、吸附速度与吸附量	42
2.4 表面原子的热振动与表面扩散	44
2.4.1 晶格中的原子热振动	44
2.4.2 表面原子的热振动	48
2.4.3 表面扩散	54
2.5 表面电子学	60
2.5.1 概念	60
2.5.2 清洁表面的电子结构	63
2.5.3 界面电气现象	67
2.5.4 界面接触效应	69
2.5.5 薄膜中的电迁移现象	74
2.6 附着	76
2.6.1 附着和附着力	76
2.6.2 内应力	77
2.7 腐蚀	78
2.7.1 金属氧化与热腐蚀	78
2.7.2 电化学腐蚀	80
2.7.3 全面腐蚀与局部腐蚀	89
2.7.4 应力作用下的腐蚀	94
2.7.5 自然环境中的腐蚀	103
2.7.6 工业介质中的腐蚀	108
2.8 摩擦与磨损	112
2.8.1 摩擦	112
2.8.2 磨损	114
2.8.3 影响磨损的主要因素	114
2.8.4 影响薄膜摩擦学特性的因素	116

2.8.5 对滑动性能中几点设计选择的考虑	121
主要参考文献	124

3 热喷涂技术

3.1 概论	126
3.1.1 定义	126
3.1.2 热喷涂涂层的形成过程及其结构	126
3.1.3 涂层的残余应力	126
3.1.4 涂层的结合机理	126
3.1.5 喷涂粒子的温度和速度	128
3.1.6 热喷涂发展历史概况	129
3.2 热喷涂的分类	130
3.2.1 概况	130
3.2.2 热源概述	131
3.3 热喷涂的方法及装置	134
3.3.1 火焰喷涂法	134
3.3.2 电弧喷涂	139
3.3.3 等离子喷涂	141
3.3.4 激光喷涂和喷焊	147
3.3.5 电热热源喷涂	148
3.4 喷涂涂层材料	151
3.4.1 喷涂材料的特点和要求	151
3.4.2 喷涂材料的分类	152
3.5 喷涂涂层的制备	158
3.5.1 表面预处理	158
3.5.2 喷涂工艺	159
3.6 热喷涂涂层的检测	163
3.6.1 外观	163
3.6.2 涂层的厚度	163
3.6.3 涂层结合强度	164
3.6.4 涂层的孔隙度	165
3.6.5 涂层的硬度	166
3.6.6 涂层的金相检测	166
3.6.7 涂层的耐磨损试验	166
3.6.8 涂层的耐腐蚀试验	167

3.6.9 涂层的耐热试验	168
3.6.10 疲劳强度测试	169
3.7 热喷涂技术的工业应用	169
3.7.1 在航空工业中的应用	170
3.7.2 在现代钢铁工业中的应用	174
3.7.3 在能源工业中的应用	177
3.7.4 在包装、印刷工业中的应用	180
3.7.5 在造纸机械上的应用	181
3.7.6 在纺织工业中的应用	184
3.7.7 在汽车工业中的应用	184
3.7.8 在化学工业中的应用	185
3.7.9 热喷涂在舰船空泡腐蚀防护上的应用	186
3.7.10 人工种植体生物功能应用	187
3.7.11 远红外辐射涂层的节能应用	187
3.7.12 热喷涂技术应用于喷涂成型	188
3.7.13 热喷涂用于模具的制造	188
3.7.14 大型钢结构件的长效防腐蚀	189
3.8 喷涂发展的趋势	189
3.8.1 向在较低温度下具有高速飞行速度的喷涂方向发展	189
3.8.2 向能在长时间大功率下稳定高效工作的工艺及设备发展	189
3.8.3 向精密高效节能的工艺和设备发展	190
3.8.4 采用喷涂法制备纳米结构涂层	190
3.8.5 用热喷涂法部分替代电镀硬铬的工艺研究与应用	190
3.8.6 新型热障涂层(TBC)的研制	191
主要参考文献	191

4 材料表面改性技术

4.1 概述	193
4.2 等离子表面处理技术基础	193
4.2.1 等离子体的物理概念	194
4.2.2 离子渗氮的特点	197
4.2.3 离子渗氮的基础	198
4.2.4 离子渗氮的理论	203
4.2.5 等离子表面处理的设备	204
4.3 等离子渗氮表面处理技术	208
4.3.1 等离子渗氮的基体材料	208

4.3.2	等离子渗氮的工艺参数	210
4.3.3	等离子渗氮工艺操作要点	217
4.3.4	等离子渗氮层的质量检验	217
4.4	等离子渗氮的工程应用	219
4.4.1	塑料挤压机的螺杆等离子渗氮	219
4.4.2	缸套的等离子渗氮	219
4.4.3	曲轴的等离子渗氮	220
4.4.4	齿轮的等离子渗氮	222
4.4.5	35CrMo 钢制瓦楞辊的等离子渗氮	223
4.4.6	H13 钢铝型材挤压模具的等离子处理与应用	226
4.4.7	双辉光渗金属的工业应用	233
4.4.8	钛及其合金的等离子氮化及应用	236
4.5	等离子渗碳与碳氮共渗表面处理技术	248
4.5.1	渗碳、碳氮共渗的原理与特点	248
4.5.2	等离子渗碳的设备	248
4.5.3	等离子渗碳、碳氮共渗工艺与应用	249
4.6	等离子渗硫、等离子硫氮共渗和硫碳氮共渗	252
4.6.1	等离子渗硫	252
4.6.2	等离子硫氮、硫碳氮共渗	252
4.7	电子束表面改性处理技术	254
4.7.1	电子束表面改性处理的特点	255
4.7.2	电子束表面改性处理的设备	255
4.7.3	电子束表面改性处理工艺	257
4.7.4	电子束表面改性处理技术的应用实例	263
4.8	激光束表面改性处理技术	263
4.8.1	激光束表面改性工艺技术的特点	263
4.8.2	激光束表面改性设备	264
4.8.3	激光表面改性工艺	265
4.8.4	激光束表面改性工程应用实例	275
4.9	离子注入与材料表面改性技术	277
4.9.1	概述	277
4.9.2	离子注入的基本原理和优缺点	277
4.9.3	离子注入机简介	279
4.9.4	离子注入的沟道效应、辐照损伤与辐照增强扩散	286

4.9.5 离子注入的改性机理	286
4.9.6 离子注入的应用	288
主要参考文献	301

5 化学气相沉积技术

5.1 概述	303
5.2 等离子体辅助化学气相沉积技术中等离子体的性质和特点	305
5.2.1 等离子体辅助化学气相沉积技术中等离子体的性质	305
5.2.2 等离子体辅助化学气相沉积的特点	307
5.3 射频等离子体化学气相沉积技术	308
5.3.1 装置	308
5.3.2 氮化硅膜的沉积工艺	311
5.3.3 二氧化硅膜的沉积工艺	315
5.3.4 非晶硅膜的沉积工艺	316
5.3.5 工业应用	317
5.4 直流等离子体辅助化学气相沉积技术	319
5.4.1 直流等离子体辅助化学气相沉积装置	319
5.4.2 直流等离子体辅助化学气相沉积炉	319
5.4.3 TiN 膜层的沉积工艺	320
5.4.4 工业应用	323
5.5 脉冲直流等离子体化学气相沉积技术	323
5.5.1 脉冲直流等离子体化学气相沉积设备	323
5.5.2 沉积工艺	325
5.5.3 工业应用	330
5.6 激光化学气相沉积技术	336
5.6.1 激光化学气相沉积设备	336
5.6.2 激光化学气相沉积工艺	337
5.6.3 应用	340
5.7 金属有机化学气相沉积技术	341
5.7.1 金属有机化学气相沉积的原理	342
5.7.2 金属有机化学气相沉积设备	342
5.7.3 金属有机化学气相沉积工艺	344
5.7.4 MO 源和新 MO 源	345
5.7.5 金属有机化学气相沉积技术的应用	348

5.8 微波等离子体化学气相沉积技术	350
5.8.1 微波等离子体化学气相沉积装置	351
5.8.2 微波等离子体化学气相沉积工艺与应用	352
5.9 分子束外延技术	352
5.9.1 概述	352
5.9.2 分子束外延的原理	354
5.9.3 分子束外延装置的结构与分类	355
5.9.4 分子束外延的生长工艺	359
5.9.5 分子束外延材料及其在器件上的应用	363
5.10 化学气相沉积金刚石薄膜	368
5.10.1 优异的性能	368
5.10.2 沉积制备金刚石薄膜的方法	369
5.10.3 激活低温低压气相生长的非平衡热力学理论	372
5.10.4 低温低压沉积金刚石薄膜的动力学因素	373
5.10.5 金刚石薄膜研究的主要进展和应用中应解决的重要技术与展望	380
主要参考文献	383

6 物理气相沉积技术

6.1 概述	385
6.1.1 气相沉积技术与物理气相沉积	385
6.1.2 离子与等离子体干预的物理气相沉积	386
6.1.3 物理气相沉积的特点	386
6.1.4 物理气相沉积技术的应用	388
6.2 真空蒸发	389
6.2.1 概述	389
6.2.2 真空蒸发原理	389
6.2.3 真空蒸发镀膜工艺	396
6.2.4 蒸发镀的应用	402
6.3 溅射镀膜	403
6.3.1 概述	403
6.3.2 溅射原理	405
6.3.3 溅射技术	416
6.3.4 溅射沉积	443
6.3.5 溅射镀膜的应用	446
6.4 离子镀	451

6.4.1 概述	451
6.4.2 离子镀物理原理	455
6.4.3 离子镀的工艺	461
6.4.4 直流二极型离子镀	464
6.4.5 三极型及多阴极型离子镀	464
6.4.6 射频离子镀	465
6.4.7 空心阴极离子镀	466
6.4.8 热阴极强流电弧离子镀	470
6.4.9 真空阴极电弧离子镀	472
6.4.10 磁控溅射离子镀	493
主要参考文献	501

7 表面复合离子处理技术

7.1 概述	503
7.2 离子注入与镀膜的技术复合	503
7.2.1 离子束辅助沉积技术	503
7.2.2 离子团束沉积	514
7.3 激光与气相沉积、电子束与气相沉积技术复合	518
7.3.1 激光与气相沉积技术复合	518
7.3.2 电子束与气相沉积技术复合	518
7.4 等离子喷涂与激光技术复合	518
7.4.1 用等离子喷涂与激光技术复合提高钢基材的性能	518
7.4.2 用等离子喷涂与激光技术复合提高精锻机芯棒的高温高速锻打的使用寿命	519
7.4.3 激光雕刻柔版印刷用高线数陶瓷涂层网纹辊	519
7.5 多层硬质复合膜与纳米多层膜	522
7.5.1 多层硬质复合膜与纳米多层膜沉积制备	522
7.5.2 多层硬质耐磨膜	522
7.5.3 纳米超硬多层膜	522
主要参考文献	525

8 表面微细加工技术

8.1 表面微细加工技术简介	526
8.1.1 光刻加工	526

8.1.2	电子束加工	530
8.1.3	离子束加工	532
8.1.4	激光束微细加工	537
8.1.5	超声波加工	538
8.1.6	微细电火花加工	540
8.1.7	电解加工	541
8.1.8	电铸加工	542
8.2	微细加工技术对微电子先进新技术发展的影响	544
8.2.1	微细加工技术是微电子技术的工艺基础	544
8.2.2	微电子微细加工技术	544
8.3	机电系统(Micro Electro-Me-Chanical, Mems)的加工技术	546
8.3.1	机电系统加工技术的特点	546
8.3.2	机电系统加工的典型器件与系统	546
	主要参考文献	550

9 表面分析和表面性能检测

9.1	表面分析	551
9.1.1	概述	551
9.1.2	表面分析分类	553
9.2	表面分析技术和仪器	555
9.2.1	显微分析方法	555
9.2.2	衍射分析方法	565
9.2.3	X射线光谱分析和电子探针	567
9.2.4	电子能谱方法	570
9.2.5	二次离子质谱	574
9.2.6	红外吸收光谱和拉曼光谱	575
9.3	表面性能检测	577
9.3.1	表面外观检测	577
9.3.2	覆盖层厚度的测量	581
9.3.3	覆盖层附着(结合)力测量	584
9.3.4	覆盖层硬度的测定	586
9.3.5	覆盖层孔隙率检测	591
	主要参考文献	593

表面技术与工程概论

1.1 表面技术与工程的涵义

表面技术,从广义上讲,它是一个十分宽广的科学技术领域,是具极高使用价值的基础技术。随着工业的现代化、规模化、产业化,以及高新技术和现代国防用先进武器的发展,对各种材料表面性能的要求愈来愈高。20世纪80年代,被列入世界10项关键技术之一的表面技术,经过20余年的发展,已成为一门新兴的,跨学科的,综合性强的先进基础与工程技术,形成支撑当今技术革新与技术革命发展的重要因素。材料表面技术与工程是把材料的表面与基体作为一个统一系统进行设计和改性,以最经济,最有效的方法改善材料表面及近表面区的形态、化学成分、组织结构,并赋予材料表面新的复合性能;使许多新构思、新材料、新器件,实现了新的工程应用。我们把这种综合化的,用于提高材料表面性能的各种新技术,统称为现代材料表面技术(现代表面技术)。

1.1.1 表面技术与工程实施的目的

对固体材料而言,材料表面技术与工程实施的主要目的,是以最经济、最有效的方法改变材料表面及近表面区的形态、化学成分和组织结构,使材料表面获得新的复合性能,以新型的功能,实现新的工程应用。具体而言,通过表面技术与工程的优化设计与实施,可以达到下列目的:

- (1)提高材料抵御环境的能力。
- (2)赋予材料表面具有机械功能、装饰功能、物理功能和特殊功能(包括声、电、光、磁及其转换和各种特殊的物理、化学性能)。
- (3)弄清各类固体表面的失效机理和各种特殊的性能要求,实施特定的表面加工来制备具有优异性能的构件、零部件和元器件等先进产品,以促进材料表面科学技术与生产力的发展。

为达到上述目的,主要通过使用先进的涂镀技术,在材料的表面加上各种涂镀层。如涂层技术中的电镀、电刷镀、化学镀、涂装、粘结、堆焊、熔结、热喷涂、塑料喷涂、热浸镀、陶瓷涂敷、搪瓷涂敷、各种物理气相沉积包括真空蒸发镀、溅射镀、阴极多弧镀、空心阴极离子镀、磁控溅射镀等),化学气相沉积、分子束外延、离子束合成等技术。

另外,也采用各种表面改性技术及机械、物理、化学等方法,使材料表面的形貌、化学成分、相组成、微观结构、缺陷状态、应力状态得到改变,其技术主要有表面热处理、化学热处理、喷丸强化、等离子扩渗处理、三束(激光束、电子束、离子束)改性处理、高密度太阳能表面处理等等。

值得一提的是,当今国内外表面技术的发展和实际应用,都是把各类表面技术作为一个系统工程进行优化设计和优化组合。通过优化设计,使材料“物尽其用”;通过优化组合,使各类表面技术“各展所长”。表面工程作为一个完整的概念,它又是一门典型的学科交叉,系统性强,涉及面广的边缘学科。学科的交叉,使表面工程应运而生,表面工程的发展又促进了各类新型表面工程材料的发展。各种表面薄膜加工的需要,又促进了各种表面镀膜方法的发展。在相关学科的理论基础上,通过对材料表面的物理、化学特性,表面与界面的检测方法及技术等研究,以“表面、