

普通高等教育“十二五”规划教材

现代表面工程技术

—第2版—

姜银方 王宏宇 主编

XIANDAI
BIAOMIAN
GONGCHENG
JISHU



化学工业出版社

014039290

TG17
58-2

普通高等教育“十二五”规划教材

现代表面工程技术

第2版

姜银方 王宏宇 主编

缪宏 戈晓岚 朱元右 副主编



XIANDAI
BIAOMIAN
GONGCHENG
JISHU

TG17
58-2



化学工业出版社



北航

C1726785

01033230

本书系统阐述了各种表面工程技术的基础理论、应用及最新技术。首先,对表面工程技术的地位、科学体系、内涵和发展进行了阐述;继而,论述表面工程技术的基础理论,从介绍传统的表面处理技术入手,特别阐述了一些表面技术的新进展。具体内容包括:表面工程技术的基础理论,基体表面预处理技术,电镀、化学镀技术,表面涂敷技术,表面改性技术,气相沉积技术,复合表面处理技术,表面分析和性能测试,表面工程与再制造等。

本书可作为高等院校各相关专业本科生和研究生的教材及机械、材料、防腐等行业高级技术与管理人员的培训教材和自学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

现代表面工程技术/姜银方,王宏宇主编. —2版.
北京:化学工业出版社,2014.3
普通高等教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-122-19578-4

I. ①现… II. ①姜…②王… III. ①金属表面保护-
高等学校-教材 IV. ①TG17

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第013936号

责任编辑:刘俊之 陈 丽
责任校对:宋 玮

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:北京云浩印刷有限责任公司

装 订:三河市前程装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张15 字数373千字 2014年4月北京第2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:36.00元

版权所有 违者必究

表面技术是研究表面现象和表面过程的一门科学技术，具有学科的综合性、手段的多样性、广泛的功能性、潜在的创新性、环境的保护性、很强的实用性和巨大的增效性；它不仅是一门广博精深和具有极高实用价值的基础技术，还是一门新兴的边缘性学科，丰富了材料科学、冶金学、机械学、电子学、物理学、化学等学科。现代工业的需求，是表面工程技术迅速发展的动力；资源短缺和能源供应紧张，是促进表面工程技术迅速发展的时代要求；现代科技成果，更是为表面工程技术的迅速发展提供了科技支撑。

本书自2005年12月出版发行以来，由于其内容的系统性、实用性和综合性且通俗易懂，深受广大读者的欢迎。应读者和出版社要求，编者对第1版进行了重新修订。本次再版，重新梳理了全书内容，对存在交叉或共性问题的章节进行了整合，并融入了表面工程技术近年来一些最新研究成果；同时，为了便于读者学习此次再版在每章中均增加了复习思考题。

本次再版由江苏大学姜银方和王宏宇任主编，扬州大学缪宏、江苏大学戈晓岚、南京工程学院朱元右任副主编，全书由姜银方负责统稿，江苏省金工研究会副理事长戈晓岚教授担任主审。再版过程中，姜银方修订了第一、二、三、六章；王宏宇修订了第五、十一章；江苏大学姜文帆修订了第九、十章；朱元右修订了七章；缪宏修订了第四、八章；江苏大学现代制造工程研究所的研究生李娟、潘禹等承担了文字、图片、文献检索及部分内容的编写工作。在再版编写过程中，还参阅了国内外相关的资料、文献和教材，征求了有关教师、学生以及从事表面科学与技术工作的科技人员和工程技术人员的意见和建议，在此一并表示衷心的感谢。

限于编者的学识水平，书中难免存在一些问题，恳请专家、学者和读者批评指正。

编者

2013年12月

第一版前言

FOREWORD TO THE FIRST EDITION

表面现象和表面过程是自然界中普遍存在的,也是人们日常生活时时刻刻直接面对的。广义地说,表面科学与技术是研究表面现象和表面过程并为人类造福或被人们利用的科学技术。

表面技术具有学科的综合性、手段的多样性、广泛的功能性、很强的实用性和巨大的增效性。表面技术不仅是一门广博精深和具有极高实用价值的基础技术,还是一门新兴的边缘性学科;在学术上丰富了材料科学、冶金学、机械学、电子学、物理学、化学等学科,开辟了一系列新的研究领域,现代工业的需求是表面工程迅速发展的动力,是新材料、光电子、微电子等许多先进产业的基础技术;环境保护的紧迫性是促进表面工程迅速发展的时代要求;现代科技成果为表面工程的迅速发展提供了技术支撑。

现代表面工程技术在国民经济中起着不可估量的作用。表面工程技术是人类进步的里程碑,是尖端技术发展的基本条件,国民经济依赖于它的开发与应用。它促进和推动传统产业的技术进步,并引起产业结构的变化,是知识密集、技术密集的新产业。

本书以理论为指导,以技术应用为目标,把熟悉原理和掌握应用作为学习的基本要求。在内容上力求做到系统性、实用性和综合性,通俗易懂并具有实际指导意义。

本书系统阐述了各种表面工程技术的基础理论、应用及最新技术。首先对表面工程技术的内涵进行了阐述,继而简明扼要地论述了表面工程技术的理论与基础知识,为阅读本书奠定了一些理论基础;然后从介绍传统的表面处理技术入手,特别阐述了一些表面技术的新进展,对基体表面预处理技术给予重点介绍;还介绍和论述了电镀、化学镀新技术(包括非金属电镀)、表面涂敷新技术、表面改性新技术、气相沉积技术、复合表面处理技术和高分子表面金属化技术、表面细微加工技术、表面分析和性能测试、表面工程与再制造等方面的内容。

本书具有很强的可读性和可操作性,能适合不同的读者,既可作为高等院校相关专业的教材,又可作为技术人员和技术工人的培训教材。本书共分十一章,其中第一、三、七、九、十章以及第二章第四节由姜银方(江苏大学)执笔;第四、五、六、八章由朱元右(南京工程学院)执笔,第二章的一、二、三节以及第十一章由戈晓岚(江苏大学)执笔。参加编写的还有冯爱新、刘新佳、张洁、刘桂玲、袁国定、陆文龙等。全书由姜银方负责统稿审订。戈晓岚任全书的主审。本书在编写过程中参阅了国内外相关的资料、文献和教材,征求了有关教师、学生以及从事表面科学与技术工作的科技人员和工程技术人员的意见和建议,在此一并表示衷心的感谢。

由于时间仓促,编著的学识水平有限,加以表面科学与技术的发展迅速,书中必然存在不少问题,恳请各位专家和读者批评指正。

编者

2005年8月



第一章 绪论	1
第一节 表面工程技术的发展	1
一、表面工程技术迅速发展的原因	1
二、表面工程技术在国民经济中的地位和意义	2
三、表面工程技术的发展趋势	3
第二节 表面工程技术的学科体系	5
第三节 表面工程技术的应用	6
一、表面技术在结构材料上的应用	6
二、表面技术在功能材料和元器件上的应用	7
三、表面技术在人类适应、保护和优化环境方面的应用	8
四、表面技术在研究和生产新型材料中的应用	8
复习思考题	10
第二章 表面工程技术的基础理论	11
第一节 表面晶体学	11
一、理想表面	11
二、清洁表面	12
三、覆盖表面	16
四、金属表面的组织形貌	17
第二节 金属的表面现象	18
一、吸附现象	18
二、润湿及黏着	22
三、金属表面反应	24
第三节 表面缺陷与表面扩散	24
一、表面缺陷模型（TLK模型）	24
二、表面扩散	25
第四节 涂层形成机制	26
一、金属涂层形成机制	26
二、非金属涂层形成机制	31
复习思考题	34

第一节	表面整平	35
一、	磨光	35
二、	抛光	36
三、	滚光	36
四、	振动磨光	37
五、	刷光	37
六、	塑料整平	37
七、	成批光饰	37
第二节	表面清洗	37
一、	除油	38
二、	除锈	42
三、	除油除锈联合处理	43
第三节	化学抛光	44
一、	低碳钢工件化学抛光	44
二、	铝及其合金的化学抛光	44
第四节	电化学抛光	45
第五节	磷化处理	46
一、	磷化膜的形成机理	46
二、	磷化配方及工艺规范	46
三、	影响磷化的因素	47
四、	磷化膜的后处理	48
五、	有色金属的磷化处理	48
第六节	金属表面的钝化及活化	48
一、	金属表面钝化现象	48
二、	钝化理论	49
三、	铬酸盐处理	49
四、	铜及铜合金的钝化	50
五、	不锈钢钝化	51
六、	金属表面的活化	51
第七节	空气火焰超音速喷砂、喷丸表面预处理	52
一、	超音速喷砂	52
二、	超音速表面喷丸	53
	复习思考题	54

第一节	合金电镀	55
一、	合金电镀基本知识	55

二、合金电镀工艺	59
第二节 复合电镀	64
一、复合电镀原理	64
二、复合电镀工艺	64
第三节 非晶态合金电镀	66
一、电镀镍磷非晶态合金	67
二、电镀镍硫非晶态合金	67
三、电镀铁钼非晶态合金	67
第四节 电刷镀新技术	68
一、电刷镀基本原理	68
二、电刷镀设备	69
三、电刷镀工艺	69
四、流镀	70
第五节 非金属电镀	71
一、塑料电镀	71
二、石膏和木材电镀	72
三、玻璃和陶瓷电镀	73
第六节 化学镀与化学转化镀新技术	73
一、化学镀	73
二、化学转化镀	75
第七节 表面着色新技术	76
一、铝及铝合金着色	77
二、不锈钢着色	79
三、铜及铜合金着色	79
复习思考题	79

第五章 表面涂敷新技术

81

第一节 表面涂装新技术	81
一、涂料	81
二、涂装工艺	82
三、静电喷涂	83
四、电泳涂装	83
五、粉末喷涂	84
六、粘涂	85
第二节 热喷涂表面覆盖技术	86
一、热喷涂原理	86
二、热喷涂材料	87
三、热喷涂工艺	88
第三节 堆焊和熔结	90

一、堆焊	90
二、熔结	92
第四节 其他表面涂敷技术	94
一、电火花表面涂敷	94
二、热浸镀	96
三、搪瓷涂敷	98
四、陶瓷涂层	99
五、塑料涂敷	100
复习思考题	102

第六章 表面改性新技术

103

第一节 激光表面处理技术	103
一、激光表面处理设备	104
二、激光表面处理工艺	104
第二节 电子束表面处理	106
一、电子束表面处理原理	106
二、电子束表面处理设备	107
三、电子束表面处理工艺	107
第三节 高密度太阳能表面处理	108
一、太阳能表面处理设备及特点	108
二、太阳能表面处理工艺	109
三、几种高能密度表面处理技术用于金属表面热处理的比较	109
第四节 表面扩渗新技术	110
一、渗金属、渗硼、渗硅、渗硫	110
二、共渗与复合渗	112
三、等离子体表面扩渗	114
四、电加热表面扩渗	116
五、电解表面扩渗	116
第五节 离子注入	116
一、离子注入原理	117
二、离子注入表面改性的机理	119
三、离子注入表面改性的应用	120
第六节 小孔表面改性强化技术	121
一、紧固孔强化-寿命增益机制	121
二、紧固孔表面强化技术方法	122
三、各紧固孔表面强化技术的比较	125
复习思考题	126

第一节 薄膜及其制备方法	127
一、薄膜的定义与类型	127
二、薄膜的应用	128
三、薄膜的制备方法	128
第二节 真空蒸镀	129
一、真空蒸镀原理	129
二、真空蒸镀设备	129
三、真空蒸镀工艺	130
第三节 溅射镀膜	133
一、溅射镀膜原理	133
二、溅射镀膜工艺	135
三、磁控溅射镀膜	137
第四节 离子镀膜	138
一、离子镀膜原理	138
二、离子镀膜工艺	139
三、反应离子镀	140
四、空心阴极放电离子镀	141
五、多弧离子镀	143
第五节 化学气相沉积	143
一、化学气相沉积原理	144
二、化学气相沉积工艺	144
第六节 分子束外延	147
一、分子束外延的特点	148
二、分子束外延工艺	148
三、分子束外延技术的发展	149
复习思考题	149

第一节 复合表面处理新技术	150
一、复合表面扩渗	150
二、碳氮共渗与氧化抛光复合处理	151
三、表面热处理与表面扩渗的复合强化处理	151
四、粘涂与电刷镀复合技术	152
五、热处理与表面形变强化的复合处理工艺	152
六、覆盖层与表面冶金化的复合处理工艺	152

七、 电镀与薄膜复合工艺	153
八、 激光、 电子束复合气相沉积和复合涂镀层	153
九、 磁控溅射与油漆复合工艺	154
十、 改善铁、 钛、 铝及其合金摩擦学特性的表面复合处理 工艺	155
十一、 多层涂层	155
第二节 复合镀层	156
一、 纤维增强金属复合材料镀层	156
二、 化合镀复合材料	157
三、 层状复合材料	158
四、 光学复合材料	158
第三节 镀覆层与热处理复合工艺	159
一、 电镀与表面扩渗复合工艺	159
二、 热处理与薄膜复合工艺	160
三、 含铝复合处理	160
第四节 离子注入与气相沉积复合表面改性	161
一、 IAC 的原理与机理	161
二、 IAC 的方法	162
三、 IAC 的应用	163
复习思考题	165

第九章 表面细微加工技术

166

第一节 表面细微加工技术简介	166
一、 激光束细微加工	166
二、 离子束细微加工	172
三、 电子束细微加工	173
四、 超声波细微加工	174
五、 电解细微加工	175
六、 电火花细微加工	176
七、 电铸细微加工	177
八、 光刻加工	178
第二节 微电子细微加工技术	180
一、 细微加工技术对微电子技术发展的重大影响	180
二、 微电子细微加工技术的分类和内容	181
第三节 微结构功能表面切削新技术	184
复习思考题	185

第一节 表面分析	186
一、表面形貌和显微组织结构分析	186
二、表面成分分析	186
三、表面原子排列结构分析	187
四、表面原子动态和受激态分析	187
五、表面的电子结构分析	188
第二节 表面分析仪器和测试技术简介	188
一、电子显微镜 (TEM)	188
二、扫描隧道显微镜 (STM)	190
三、原子力显微镜 (AFM)	191
四、X 射线衍射	192
五、电子探针	193
六、激光探针	194
七、电子能谱仪	194
第三节 表面检测	195
一、外观检测	195
二、镀、涂层或表面处理层厚度的测定	197
三、涂层的耐蚀性检验	199
四、涂层的耐磨性试验	201
五、涂层的孔隙率试验	202
六、涂层的硬度试验	203
七、涂层的结合强度 (附着力) 试验	203
第四节 薄膜弹性模量的测定——纳米压痕技术	207
一、问题的提出	207
二、薄膜弹性模量和硬度的确定	208
三、纳米压痕系统的组成及工作原理	209
四、纳米压痕技术的其他应用	210
复习思考题	211

第一节 再制造工程概论	212
一、再制造工程的技术内涵	212
二、再制造工程的学科体系	214
第二节 再制造技术的应用	215



一、再制造与表面工程技术	215
二、再制造的其他技术	217
三、再制造技术的应用实例	217
四、再制造工程的发展与意义	222
复习思考题	224

参考文献

225

第一章

绪 论

表面工程技术涉及面广,信息量大,是多种学科相互交叉、渗透与融合形成的一种通用性工程技术。它利用各种物理的、化学的、物理化学的、电化学的、冶金以及机械的方法和技术,使材料表面得到我们所期望的成分、组织结构和性能或绚丽多彩的外观。其实质就是要得到一种特殊的表面功能,并使表面和基体性能达到最佳的配合。因此它是一种节材、节能的新型工程技术,综合运用了多学科的成果。

第一节 表面工程技术的发展

一、表面工程技术迅速发展的原因

表面工程技术的发展历史悠久,如中国古代的贴金或镏金技术、淬火技术、桐油漆防腐技术等。近代的摩擦学、界面力学与表面力学、材料失效与防护、金属热处理学、焊接学、腐蚀与防护学、光电子学等学科对多种表面工程技术的发展及其基础理论的研究都做出了巨大贡献,并成功地应用于工程之中。表面工程概念的提出始于20世纪80年代。1983年,英国T. Bel教授首先提出了表面工程的概念。表面工程学科发展的重要标志是1983年英国伯明翰大学沃福森表面工程研究所的建立和1985年国际刊物《表面工程》的发行。1986年10月,国际热处理联合会决定接受表面工程的概念,并把自己的会名改为国际热处理及表面工程联合会。

表面工程技术的应用对提高产品的性能、降低成本、节约资源具有十分重要的意义。表面工程技术将成为主导21世纪工业发展的关键技术之一。表面工程技术迅速而富有成效发展的原因主要如下。

首先,表面工程技术的属性是其迅速发展的基础。表面工程具有学科的综合性、手段的多样性、广泛的功能性、潜在的创新性、环境的保护性、很强的实用性和巨大的增效性而受到各行各业的重视。表面工程概念的提出是表面科学向生产力转化的要求,是人们对表面技术认识上的一次飞跃。表面工程技术既可对材料表面改性,制备多功能(防腐,耐磨,耐热,耐高温,耐疲劳,耐辐射,抗氧化以及光、热、磁、电等特殊功能)的涂、镀、渗、覆层,成倍延长机件的寿命,又可对产品进行装饰,还可对废旧机件进行修复。同时,由于其大幅度地提高产品的性能及附加值,故其平均效益高达投入的5~20倍以上。

其次,现代工业的需求是表面工程迅速发展的动力。现代工业的发展对机电产品提出了更高的要求,体积要小巧,外形要美观,而且能在高温、高速、重载以及腐蚀介质、恶劣环境下可靠持续地工作。例如,航空航天工业的需求促进了能够制备耐热、隔热涂层的等离子喷涂技术的发展;海上钻井平台的需求促进了钢结构表面防腐技术的发展;汽车工业的技术

与艺术完善结合的追求促进了涂装技术的发展; 电子信息技术的需求促进了薄膜技术的发展, 等等。

再次, 环境保护的紧迫性是促进表面工程迅速发展的时代要求。表面工程能大量节约能源、节省资源、保护和优化环境。表面工程最大的优势是能够以多种方法制备出优于基材性能的表面功能薄层。该薄层厚度一般从几十微米到几毫米, 仅占工件厚度的几百分之一到几十分之一, 却使工件具有了比基材更高的耐磨性、抗腐蚀性和耐高温性能。在热工设备及高温环境下, 用表面处理技术在设备、管道及部件上施加隔热涂层, 可以减少热损失。在高、中温炉内壁涂以远红外辐射涂层可节约 30%。用表面沉积铬层的塑料部件替代汽车上某些金属部件如隔板等, 可减轻汽车质量, 增加单位燃料平均行驶里程, 也可间接收到节能的效果。为了改善人工植入材料与肌体的生物相容性, 可以在植入材料制成的器件上沉积第三种材料的薄膜。广泛应用的电镀工艺产生大量工业废水, 造成环境污染, 沉积新技术可部分取代电镀, 有利于环境保护, 促进了表面工程新技术的发展。

还有, 现代科技成果为表面工程的迅速发展提供了技术支撑。计算机的广泛应用和推广, 提高了表面工程技术设备的自动化程度, 改善了表面涂层的制备效率和质量, 使得表面工程技术设计可用数值模拟方法。新能源和新材料等技术的发展, 加速了表面工程技术的发展。例如, 离子束、电子束和激光束三束技术的发展, 使得具有高效率和高质量的高密度能源的表面涂覆和强化的成本越来越低; 采用纳米级材料添加剂的减摩技术可以在摩擦部件动态工作中智能地修复零件表面的缺陷, 实现材料磨损部位原位自动修复, 并使裂纹自愈合; 用电刷镀制备含纳米金刚石粉末涂层的方法可以用来修复模具, 延长使用寿命, 是模具修复的一项突破; 各种陶瓷材料、非晶态材料、高分子材料等也将不断地被应用于表面工程中。

二、表面工程技术在国民经济中的地位 and 意义

现代表面工程技术在国民经济中起着不可估量的作用。表面工程技术作为材料科学与工程的前沿, 是人类文明进步的里程碑, 是尖端技术发展的基本条件, 国民经济依赖于它的开发与应用。它促进和推动传统产业的技术进步, 并引起产业结构的变化, 是知识密集、技术密集、保密性强的新产业。

现有的表面工程技术, 面临着竞争和市场的挑战。科学技术为第一生产力。当代产品的竞争, 归结为科技的竞争、质量与成本的竞争。表面工程新技术的应用, 能使产品不断更新、物美价廉、占领市场并明显提高经济效益。产品的更新换代要求价廉物美、绚丽多彩的外观, 各种机件、构件、管道、设备要求延长寿命, 都使得表面工程技术面临着对传统、现有的表面处理技术进行革新。使镀(涂)层质量和性能有所突破, 外观(表)绚丽多彩, 五光十色、图纹生辉, 并能使非金属材料金属化、金属材料非金属化, 使各类产品新颖、美观、耐用并价格低廉才富有竞争力。这就要求各种新科技、新材料重新组合, 相互交融、交叉渗透。这使传统的表面处理技术从工艺配方、装备、自动控制以及相应的分析、检测、鉴别、环保等环节都遇到了新的挑战。

表面工程技术涉及众多行业的通用共性技术, 如机械、军工、模具、轻化工、仪器仪表、电子电器、建筑、桥梁、石油、航空航天、船舶车辆、基础结构工程、工业冷凝系统、化工反应系统以及为了适应海洋石油开采的港口设备、石油化工等。

现代表面工程技术的兴起同时也促进了新型表面工艺材料的发展。如镀(喷、涂、渗、粘、覆)层工艺材料, 电镀、刷镀溶液, 各种添加剂以及非金属材料(如陶瓷、高分子材料和复合材料)等应运而生, 也为高科技、尖端技术提供一些特殊性能的材料, 如非晶态、超

导、固体润滑材料, 太阳能转换材料, 金刚石薄膜等等。

三、表面工程技术的发展趋势

表面技术的使用, 自古至今已经历了几千年或更漫长的岁月, 每项表面技术的形成往往有着许多的试验和失败。各类表面技术的发展也是分别进行、互不相关的。近几十年来经济和科技的迅速发展, 使这种状况有了很大的变化, 人们开始将各类表面技术互相联系起来, 探讨它们的共性, 阐明各种表面现象和表面特性的本质, 尤其是 20 世纪 60 年代末形成的表面科学为表面技术的开发和应用提供了更坚实的基础, 并且与表面技术互相依存, 彼此促进。从表面工程宏观发展分析, 主要有以下几个方面的进展。

1. 研究复合表面技术

在单一表面技术发展的同时, 综合运用两种或多种表面技术的复合表面技术 (也称第二代表面技术) 有了迅速的发展。复合表面技术通过最佳协同效益使工件材料表面体系在技术指标、可靠性、寿命、质量和经济性等方面获得最佳的效果, 克服了单一表面技术存在的局限性, 解决了一系列工业关键技术和高新技术发展中特殊的技术问题。强调多种表面工程技术的复合, 是表面工程的重要特色之一。

目前, 复合表面工程技术的研究和应用已取得了重大进展, 如热喷涂和激光重熔的复合、热喷涂与刷镀的复合、化学热处理与电镀的复合、表面涂覆强化与喷丸强化的复合、表面强化与固体润滑层的复合、多层薄膜技术的复合、金属材料基体与非金属表面复合、镀锌或磷化与有机漆的复合、渗碳与钛沉积的复合等等。

2. 完善表面工程技术设计体系

表面工程技术设计是针对工程对象的工况条件和设备中零部件等寿命的要求, 综合分析可能的失效形式与表面工程的进展水平, 正确选择表面技术或多种表面技术的复合, 合理确定涂层材料及工艺, 预测使用寿命, 评估技术经济性, 必要时进行模拟实验, 并编写表面工程技术设计书和工艺卡片。

目前, 表面工程技术设计仍基本停留在经验设计阶段。有些行业和企业针对自己的工程问题开发出了表面工程技术设计软件, 但局限性很大。随着计算机技术、仿真技术和虚拟技术的发展, 建立有我国特色的表面工程技术设计体系既有条件又迫在眉睫。

3. 开发多种功能涂层

表面工程大量的任务是使零件、构件的表面延缓腐蚀, 减少磨损, 延长疲劳寿命。随着工业的发展, 在治理这三种失效之外提出了许多特殊的表面功能要求。例如舰船上甲板需要有防滑涂层, 现代装备需要有隐身涂层, 军队官兵需要防激光致盲的镀膜眼镜, 太阳能取暖和发电设备中需要高效的吸热涂层和光电转换涂层, 录音机中需要有磁记录镀膜, 不粘锅中需要有氟树脂涂层, 建筑业中的玻璃幕墙需要有阳光控制膜等等。此外, 隔热涂层、导电涂层、减振涂层、降噪涂层、催化涂层、金属染色技术等也有广泛的用途。在制备功能涂层方面, 表面工程也可大显身手。

4. 研究开发新型涂层材料

表面涂层材料是表面技术解决工程问题的重要物质基础。当前发展的涂层新材料, 有些是单独配制或熔炼而成的, 有些则是在表面技术的加工过程中形成的, 后一类涂层材料的诞生, 进一步显示了表面工程的特殊功能。例如, 轿车涂装技术中新发展的第五代阴极电泳涂

料(ED5),其泳透力比前几代进一步提高,有机溶剂、颜料含量降低,且不含有害金属铅,代表了阴极电泳涂料的发展趋势;再如,以聚氯乙烯树脂为主要基料与增塑剂配成的无溶剂涂料,构成了现代汽车涂装中所用的抗石击涂料和焊缝密封胶,有效地防止了车身底板和焊缝出现过早腐蚀,并保证了车身的密封性。

5. 深化表面工程基础理论和测试方法的研究

摩擦学是表面工程的重要基础理论之一。近十几年来,针对具体的工程问题,摩擦学工作者做出了出色的成果,在摩擦副失效点判定、磨损失效的主要模式、磨损失效原因分析及对策等方面积累了丰富的经验,并在重大工程问题上作出了重要贡献。当前研究摩擦学问题的手段越来越齐全、先进,可以模拟各种条件进行试验研究,这些试验手段和已积累的研究方法、评估标准,有力地支持了表面工程的发展。

在腐蚀学研究方面,针对大气腐蚀、海洋环境腐蚀、化工储罐腐蚀、高温环境腐蚀、地下长输管线腐蚀、热交换设备腐蚀、建筑物中的钢筋水泥腐蚀等,应用各种现代材料进行了腐蚀机理和防护效果研究,提出了从结构到材料到维护一整套防腐治理措施。这些研究成果,对表面工程技术设计有很大的参考价值。

无论用什么表面技术在零件表面上制备涂覆层,必须掌握涂覆层与基体的结合强度、涂覆层的内应力等力学性能。这是表面工程技术设计的核心参数之一,也是研究和改进表面技术的重要依据。对于涂覆层厚度大于0.15mm的膜层(如热喷涂涂层),尚可用传统的机械方法进行测试,但是对于涂覆层厚度小于0.15mm的膜层(如气相沉积几个微米的膜层),传统的机械方法已无能为力。而气相沉积技术又发展得很快,应用面越来越广,这就使研究新的测试方法更加紧迫。

近十几年,一些学者用划痕法、X射线衍射法、纳米压入法、基片弯曲法等思路 and 手段对薄膜的力学行为进行了深入研究,取得了长足的进步,但要达到形成相对严密自成体系的评价方法和技术指标尚有较大差距。

6. 扩展表面工程的应用领域

表面工程已经在机械产品、信息产品、家电产品和建筑装饰中获得富有成效的应用。但是其深度、广度仍很不够,不了解和不应用表面工程的单位和产品仍很普遍。表面工程的优越性和潜在效益仍未很好发挥,需要做大量的宣传推广工作。例如,表面工程在生物工程中的延伸已引起了人们的注意,前景亦十分广阔。例如髋关节的表面修补,最常用的复合材料是在超高密度高分子聚乙烯上再镀钴铬合金,使用寿命可达15~25年,近些年又发展了羟基磷灰石(简称HAP)材料,它是一种重要的生物活性材料,与骨骼、牙齿的无机成分极为相似,具有良好的生物相容性,埋入人体后易与新生骨结合。但是HAP材料脆性大,有的学者就用表面工程技术使HAP粒子与金属Ni共沉积在不锈钢基体上,实现了牢固结合。

7. 向自动化、智能化的方向迈进

在表面处理时,自动化程度最高的是汽车行业和微电子行业。以神龙汽车公司的车身涂装线为例,涂装工艺采用三涂层体系(3C3B),即电泳底漆涂层、中间涂层、面漆涂层,涂层总厚度为110~130 μm 。涂装厂房为三层,一层为辅助设备层,二层为工艺层,三层为空调机组层。厂房是全封闭式,通过空调系统调节工艺层内的温度和湿度,并始终保持室内对环境的微正压,保持室内清洁度,各工序间自动控制,流水作业,确保涂装高质量。随着机器人和自动控制技术的发展,在其他表面技术的施工中(如热喷涂)实现自动化和智能化已为期不远。