

表面工程的理论与技术

徐滨士 朱绍华 等编著

Theories and Technologies
on Surface Engineering

国防工业出版社

TG174.4

X70

表面工程的理论与技术

Theories and Technologies on Surface Engineering

徐滨士 朱绍华 等编著

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

表面工程的理论与技术/徐滨士等编著. —北京:国防工业出版社, 1999. 7

ISBN 7-118-02099-0

I. 表… II. 徐… III. 金属表面保护 IV. TG174.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 03634 号

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

河北三河市腾飞胶印厂

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 20 516 千字

1999 年 7 月第 1 版 1999 年 7 月北京第 1 次印刷

印数:1—2000 册 定价:33.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。
2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技发展具有较大推动作用的专著;密切结合科技现代化和国防现代化需要的高新技术内容的专著。
3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合科技现代化和国防现代化需要的新工艺、新材料内容的科技图书。
4. 填补目前我国科技领域空白的薄弱学科和边缘学科的科技图书。
5. 特别有价值的科技论文集、译著等。

国防科技图书出版基金评审委员会在国防科工委的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承

担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下,国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技工业战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

国防科技图书出版基金
评审委员会

国防科技图书出版基金 第三届评审委员会组成人员

名誉主任委员 怀国模

主任委员 黄 宁

副主任委员 殷鹤龄 高景德 陈芳允 曾 铎

秘 书 长 崔士义

委 员 于景元 王小谟 尤子平 冯允成

(以姓氏笔划为序) 刘 仁 朱森元 朵英贤 宋家树

杨星豪 吴有生 何庆芝 何国伟

何新贵 张立同 张汝果 张均武

张涵信 陈火旺 范学虹 柯有安

侯正明 莫梧生 崔尔杰

前 言

随着科学技术的进步和生产发展的需求,表面工程做为—门新型的综合性学科,在国内外得到了迅速发展。实践证明,表面工程的运用能有效改善材料表面性能,提高生产力,节约资源能源,减少环境污染,获得极大的投入产出比,尤其是一些常用的表面工程技术已成为提高产品质量,实施设备及武器装备维修和技术改造的有力保障及先进制造技术的重要组成部分。由于表面工程对生产的巨大推动作用,表面工程不仅成为近 10 多年来发展最快的学科之一,而且正如一些知名专家所预言的那样,它将成为主导 21 世纪工业发展的关键技术。正因为如此,国家主管部门已把表面工程列入“九五”计划和 2010 年长远发展规划之中。

表面工程正在不断完善自身的学科体系。理论上,表面工程在有关边缘学科交叉渗透的基础上形成了具有特色的基础理论和技术理论;应用上,表面工程已深入到国民经济的方方面面,并将产生越来越大的经济效益和社会效益。为了与有关学者、工程技术人员共同推进表面工程的发展,我们编著了《表面工程的理论与技术》—书。本书在表面工程学科体系的总体构思下,侧重讨论表面工程的基础理论和技术理论,表面工程技术的工艺要点、保证质量的措施及技术的复合与发展。鉴于国内外学者对其基础理论部分所包含的内容在认识上尚有差异,本书仅就认识比较一致的材料表面失效理论和覆层结合、复合理论进行重点讨论,而对通用的界面物理化学、材料学等内容未作涉及。

本书由徐滨士任主编,朱绍华任副主编。各章节编著人员为:第 1 章刘世参,2.1、第 8 章周平安,2.2 白新德,2.3、2.4 彭日辉,3.1、3.6、5.2、9.1、9.2 朱绍华,3.2 陈伯蠡,3.3 张平,3.4、5.1 马

世宁、韩荣生,3.5、4.3 陈威,4.1 张平、徐滨士,4.2 徐滨士,5.3、7.2 谭俊,5.4 乔玉林,6.1、6.2 朱张校,6.3 朱张校、单际国,7.1 马世宁、王建军,7.3、7.4 田欣利,9.3 陈学楚,9.4 徐滨士、张伟。有关各章初统校者为:第1章刘世参,第2章周平安,第3章陈伯蠡,第4章徐滨士,第5、9章朱绍华,第6、8章刘家浚,第7章马世宁。全书最后由徐滨士、朱绍华总统校。

本书可供有关专业的高等院校师生、研究人员和工程技术人员参考。

限于编著人员水平,错误之处望批评指正。

编 著 者:

1998.9

目 录

第 1 章 表面工程概论	1
1.1 表面工程及其功能	1
1.2 表面工程的形成	2
1.3 表面工程的学科体系	3
1.4 表面工程的研究方向	4
1.5 表面工程的研究方法	5
1.6 发展表面工程的意义	7
参考文献	12
第 2 章 表面失效的理论基础	14
2.1 表面的摩擦与磨损失效	14
2.1.1 固体表面特性与接触理论	14
2.1.2 固体表面的摩擦与磨损	27
2.1.3 研究表面摩擦磨损失效的基本方法	51
2.2 金属腐蚀原理与腐蚀失效	57
2.2.1 金属腐蚀原理	57
2.2.2 金属腐蚀失效	86
2.3 金属的疲劳断裂失效	97
2.3.1 疲劳断裂的基本概念	97
2.3.2 疲劳裂纹断口的宏观形貌特征	103
2.3.3 疲劳裂纹断口的微观形貌特征	113
2.4 机械零件失效分析	119
2.4.1 金属零件的失效	119
2.4.2 失效的一般来源	121
2.4.3 失效分析	125

参考文献	142
第3章 表面覆层的界面结合机理	144
3.1 覆层界面结合的类型、结合力及影响因素	144
3.1.1 覆层界面结合的类型	145
3.1.2 覆层界面的结合力与影响因素	149
3.2 堆焊层的结合	153
3.2.1 堆焊结合的实质	153
3.2.2 覆层成分的控制	158
3.2.3 熔合区的特点	161
3.2.4 基材的变质热影响问题	174
3.2.5 焊接缺欠的控制	177
3.3 热熔融涂层的结合	186
3.3.1 热熔融涂层的类型	186
3.3.2 热熔融涂层与基材的结合形式	187
3.3.3 影响结合强度的主要因素	189
3.3.4 提高涂层结合强度的措施	193
3.4 镀层的结合	194
3.4.1 镀层的结合力	194
3.4.2 镀层结合的特点	196
3.4.3 镀层结合机理	197
3.4.4 镀层结合的影响因素	200
3.5 粘接结合	203
3.5.1 粘接的基本条件	203
3.5.2 粘接过程中的表面张力	204
3.5.3 粘附功与润湿性的关系	206
3.5.4 粘接现象的各种理论解释	208
3.6 气相沉积层的结合	213
3.6.1 气体与固体的相互结合	213
3.6.2 薄膜的生长	216
3.6.3 不同晶态的形成	218

3.6.4 不同沉积方法的成膜及薄膜结构特点	219
3.6.5 薄膜的附着力	226
参考文献	229
第4章 表面冶金及粘涂技术	231
4.1 堆焊技术	231
4.1.1 堆焊技术概述	231
4.1.2 堆焊合金的分类、应用及选择	232
4.1.3 堆焊金属的合金化	241
4.1.4 堆焊方法	243
4.2 热喷涂技术	254
4.2.1 概述	254
4.2.2 氧-乙炔火焰喷涂与喷熔	256
4.2.3 电弧喷涂技术	259
4.2.4 等离子弧喷涂	268
4.2.5 塑料粉末火焰喷涂	278
4.2.6 特种喷涂	282
4.2.7 热喷涂层性能检测	289
4.3 表面粘涂技术	290
4.3.1 概述	290
4.3.2 表面粘涂技术在设备维修中的应用	291
4.3.3 表面粘涂层的组成及形成机理	292
4.3.4 影响表面粘涂层性能的因素	296
4.3.5 表面粘涂工艺	298
4.3.6 表面粘涂层的质量保障	299
4.3.7 表面粘涂质量的无损检测	300
4.3.8 粘涂材料及粘涂工艺的新进展	301
参考文献	303
第5章 表面薄膜层技术	305
5.1 电镀、电刷镀技术	305
5.1.1 电镀技术	305

5.1.2 电刷镀技术	323
5.2 气相沉积技术	337
5.2.1 真空蒸发镀膜	337
5.2.2 溅射镀膜	343
5.2.3 离子镀膜	353
5.2.4 化学气相沉积	360
5.2.5 离子注入	366
5.2.6 气相沉积技术的应用与进展	369
5.3 电火花表面强化技术	376
5.3.1 电火花表面强化原理	376
5.3.2 电火花表面强化机理	377
5.3.3 电火花表面强化层的特性	378
5.3.4 电火花强化的工艺参数及质量控制	381
5.4 摩擦化学边界膜技术	383
5.4.1 摩擦化学的基本特征	383
5.4.2 摩擦化学边界膜的形成和分析	384
5.4.3 摩擦化学边界膜技术及应用	386
参考文献	394
第6章 表面热处理及高能量密度表面处理技术	396
6.1 表面热处理技术	396
6.1.1 概述	396
6.1.2 传统表面热处理技术	397
6.1.3 几种新型表面热处理技术	403
6.2 表面化学热处理技术	406
6.2.1 概述	406
6.2.2 普通化学热处理	408
6.2.3 真空化学热处理	419
6.2.4 等离子体化学热处理	421
6.3 高能量密度表面处理技术	429
6.3.1 概述	429

6.3.2 激光表面处理	429
6.3.3 电子束表面处理	450
6.3.4 聚焦光束表面处理	452
参考文献	457
第7章 表面预处理及加工	458
7.1 表面清洗与预处理加工	458
7.1.1 概述	458
7.1.2 表面净化处理	459
7.1.3 表面粗化处理	462
7.1.4 表面活化处理	464
7.1.5 表面清洗与预处理加工质量检测	466
7.2 喷丸表面强化	468
7.2.1 喷丸表面强化概述	468
7.2.2 喷丸表面强化机理	469
7.2.3 喷丸表面强化设备	470
7.2.4 喷丸强化的工艺参数及质量检验	473
7.3 表面层机械加工	475
7.3.1 热喷涂层的加工	475
7.3.2 涂层切削刀具的选择与切削用量	478
7.3.3 涂层磨削砂轮的选择与磨削用量	481
7.4 表面层特种加工	483
7.4.1 热喷涂涂层的电解磨削	484
7.4.2 热喷涂涂层的超声振动车削	486
7.4.3 热喷涂涂层的电火花加工	488
7.4.4 表面层特种加工的发展趋势	490
参考文献	490
第8章 表面覆层的质量检测与分析技术	492
8.1 表面性能检测技术	492
8.1.1 覆层的一些典型物理、机械性能参数的测定	492
8.1.2 覆层使用性能的检测	513

8.2 表面分析技术	521
8.2.1 表面分析技术的内容和分类	521
8.2.2 表面分析技术试样的制备和辅助图像分析	525
8.2.3 表面成分和原子状态分析	526
8.2.4 表面微区晶体结构分析技术	535
8.2.5 核物理分析技术	536
参考文献	539
第9章 表面工程技术设计	540
9.1 复合表面技术及其设计	540
9.1.1 以增强耐磨性为主的复合表面技术	541
9.1.2 以增强耐蚀性为主的复合表面技术	555
9.1.3 以增强固体润滑性能为主的复合表面技术	561
9.2 表面工程工艺设计	565
9.2.1 表面工程技术的选择	565
9.2.2 表面强化工程规程的编制	576
9.3 表面工程的技术经济分析	578
9.3.1 设备磨损及其经济后果	578
9.3.2 设备磨损的补偿及表面工程技术的作用	583
9.3.3 技术经济评价的基本方法	586
9.3.4 设备大修的经济界限	593
9.3.5 设备更新的经济寿命	594
9.4 表面工程应用实例	597
9.4.1 堆焊和焊补应用举例——曲轴的修复	597
9.4.2 电弧喷涂应用举例	599
9.4.3 等离子弧喷涂修复典型零件工艺	601
9.4.4 火焰喷涂应用举例——发酵罐内壁火焰喷涂塑料 防护	603
9.4.5 电刷镀应用举例——大面积刷镀银在国家重点 工程(30万吨乙烯工程)中的应用	604
9.4.6 粘涂技术应用举例——大型液压缸大面积划伤的粘涂	

修复	606
9.4.7 离子束表面强化技术的应用举例	607
9.4.8 复合表面涂层技术应用举例——大桥悬索鞍座复合 减摩表面涂层技术	608
参考文献	611

Contents

Chapter 1 Introduction to Surface Engineering	1
1.1 Surface engineering and its functions	1
1.2 The formation of surface engineering	2
1.3 The disciplinary system of surface engineering	3
1.4 The research direction of surface engineering	4
1.5 The research methods of surface engineering	5
1.6 The importance of developing surface engineering	7
References	12
Chapter 2 Theoretical fundamentals of surface failure	14
2.1 Surface failure caused by friction and wear	14
2.1.1 Surface characteristics and contact theory of solid	14
2.1.2 Friction and wear of solid surface	27
2.1.3 Research methods of surface friction and wear failure ...	51
2.2 Corrosion theory and failure of metal	57
2.2.1 Corrosion mechanisms of metal	57
2.2.2 Corrosion failure of metal	86
2.3 Fatigue fracture failure of metal	97
2.3.1 Basic conception of fatigue fracture	97
2.3.2 Macro-morphology of fatigue fracture	103
2.3.3 Micro-morphology of fatigue fracture	113
2.4 Failure analysis of machine component	119
2.4.1 The failure of metal component	119
2.4.2 General origin of failure	121

2.4.3 Failure analysis	125
References	142
Chapter 3 Bond mechanisms of interface	144
3.1 Classification, bond strength and its influencing factors of interface bonding	144
3.1.1 Classification of interface	145
3.1.2 Bond strength and influencing factors of interface	149
3.2 Bond of surfacing coating	153
3.2.1 Bond of surfacing	153
3.2.2 The control of coating composition	158
3.2.3 Characteristics of bond area	161
3.2.4 Thermal transformation of substrate	174
3.2.5 The control of welding imperfections	177
3.3 Bond of thermal sprayed coating	186
3.3.1 The classification of thermal sprayed coating	186
3.3.2 Bond ways of thermal sprayed coating with base	187
3.3.3 The major influencing factors on bond strength	189
3.3.4 The measures for improving bond strength	193
3.4 Bond of plating coating	194
3.4.1 Bond strength of plating coating	194
3.4.2 Characteristics of plating bond	196
3.4.3 Mechanisms of plating bond	197
3.4.4 The influence factors on bond between plating coating and substrate	200
3.5 Bond of adhesion coating	203
3.5.1 Basic conditions of adhesion	203
3.5.2 Surface tension in adhesion	204
3.5.3 The relation of adhesive work with wetting	206
3.5.4 Explanations on some phenomena of adhesion	208
3.6 Bond of vapor deposition coating	213