

中国材料 工程大典

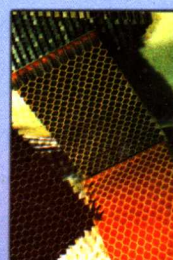
中国机械工程学会 中国材料研究学会




中国材料工程大典编委会

第 16 卷 材料表面工程 (上)

徐滨士 刘世参 主编



 化学工业出版社

CHINA MATERIALS ENGINEERING CANON

中国材料 工程大典

中国机械工程学会 中国材料研究学会



中国材料工程大典编委会

第16卷 材料表面工程(上)

徐滨士 刘世参 主编



化学工业出版社

·北京·

(京)新登字 039 号

内 容 简 介

中国材料工程大典是中国机械工程学会和中国材料研究学会共同组织全国 39 位院士、百余位各学科带头人、千余位材料工程专家共同执笔编写,全面反映当今国内外材料工程领域发展的最新资料和最新成果,集实用性、先进性和权威性于一体的大型综合性工具书。中国材料工程大典包括材料工程基础、钢铁材料工程、有色金属材料工程、高分子材料工程、无机非金属材料工程、复合材料工程、信息功能材料工程、粉末冶金材料工程、材料热处理工程、材料表面工程、材料铸造成形工程、材料塑性成形工程、材料焊接工程、材料特种加工成形工程、材料表征与检测技术等内容,涵盖了材料工程的各个领域,将最新的实用数据(特别是与国际接轨的标准数据)、图表与先进实用的科研成果系统地集合起来,并附应用实例,充分展示了材料工程各领域的现状和未来。中国材料工程大典不仅可以满足现代企业正确选材,合理用材,应用先进的材料成形加工技术,提高产品质量和性能,降低产品成本,增强产品市场竞争力的需要,而且对推动中国材料科学与材料成形加工技术的不断创新,促进制造业的发展,提高我国制造业的竞争能力,具有重要的现实意义。

本书为第 16 卷,材料表面工程(上)。主要内容包括:表面工程的内涵、功能与分类、材料服役中的表面失效及防治、表面覆层的界面结合机理、涂装、热喷涂、堆焊、电镀、电刷镀、化学镀、转化膜技术、化学热处理等。

本书主要供具有大专以上文化水平,从事材料工程研究的工程技术人员在综合研究和处理材料表面工程各类技术问题时使用,起备查、提示和启发的作用,也可供研究人员、理工院校的有关师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国材料工程大典.第 16 卷,材料表面工程.上/徐滨士,刘世参主编.一北京:化学工业出版社,2005.8
ISBN 7-5025-7318-6

I. 中… II. ①徐…②刘… III. ①材料科学②金属表面处理 IV. ①TB3②TG17

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 088082 号

中国材料工程大典

第 16 卷

材料表面工程(上)

中国机械工程学会

中国材料研究学会

中国材料工程大典编委会

徐滨士 刘世参 主编

责任编辑:周国庆 陈志良 李骏带

责任校对:郑捷

封面设计:雷嘉琦

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码:100029)

购书咨询:(010) 64982530

(010) 64918013

购书传真:(010) 64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京蓝海印刷有限公司印装

开本 880mm × 1230mm 1/16 印张 42 $\frac{3}{4}$ 字数 1911 千字

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-7318-6

定价:130.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

序

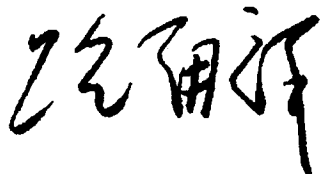
材料是当代社会经济发展的物质基础，也是制造业发展的基础和重要保障。进入 21 世纪以来，随着经济全球化的发展和中国的崛起，现代制造业的重心正不断向中国转移。据统计，今天中国制造业直接创造国民生产总值的 1/3 以上，约占全国工业生产的 4/5，为国家财政提供 1/3 以上的收入，占出口总额的 90%。但是与发达国家相比，我国制造业的水平不高、自主创新能力不足、高端市场竞争力还不强。我国虽然已是世界制造业大国，但还不是世界制造业强国。在有关因素中，材料工程基础薄弱是制约我国制造业发展的关键因素。广义的材料工程包括材料制备、测试和加工成形过程。为了提高我国制造业的水平和竞争力，突破材料工程这个薄弱环节，中国机械工程学会和中国材料研究学会牵头，会同中国金属学会、中国化工学会、中国硅酸盐学会、中国有色金属学会、中国复合材料学会共同组织编撰《中国材料工程大典》（简称《材料大典》），其目的是力图为我国制造业提供一部集科学性、先进性和实用性于一体的综合性专业工具书。以满足广大科技工作者的迫切需求，为科技自主创新和我国制造业的崛起加强技术基础。

经过 5 年多的艰苦努力，《材料大典》终将出版了。这部共 26 卷约 7000 万字的巨著，是 39 位两院院士和 1200 余位参编专家教授们辛勤劳动的智慧结晶。有的作者为此牺牲了健康，如一位退休了的总工程师，为了把他多年的研究成果和实践经验写成书稿，由于长时间写作，导致眼睛视网膜脱落……。这种敬业精神与坚强毅力是值得我们学习铭记的。借此机会，我们要感谢中国金属学会、中国化工学会、中国硅酸盐学会、中国有色金属学会、中国复合材料学会的支持。这些学会的众多专家教授积极参与了《材料大典》编写工作，与中国机械工程学会和中国材料研究学会的专家教授一起完成这项艰巨任务，从而使《材料大典》在完整性与先进性、科学性与实用性的结合上得到了加强；我们要感谢科学技术部、国防科学技术工业委员会、国家自然科学基金委员会、中国科学技术协会、中国科学院、中国工程院，以及各协作单位对编写工作的大力支持和积极帮助；我们也要感谢师昌绪院士等顾问的殷切指导，他们在编委会的两次工作会议上提出了许多重要的意见和建议，平时也给予了经常关心和指导，使我们少走了许多弯路；我们还要对关心和支持《材料大典》编写工作的科研院所、院校、企业以及有关人员表示感谢。没有大家的支持与协同，就不可能有《材料大典》的成功编写和顺利出版。

《材料大典》既总结了 10 多年来在材料工程方面的最新数据、图表及科研成果，还汇集了国内外在材料工程方面的成熟经验和先进理念，它体现了科学性、先进性和实用性的结合。可供具有大专以上文化水平的有关工程技术人员查阅使用，也可供理工院校的师生参考。

编撰《材料大典》涉及范围广，难度大，书中不可避免地会存在一些缺点和不足之处，恳请各位读者指正。

中国机械工程学会理事长
中国材料工程大典编委会主任



2005 年 9 月 23 日

前 言

《材料表面工程》卷是《中国材料工程大典》中的卷目之一。

表面工程技术已渗透到各类机电产品制造、维修和再制造之中。对于机械零件，表面工程技术主要用于提高零件表面的耐磨性、耐腐蚀性、耐热性、抗疲劳强度等力学性能，以保证机械在高速、高温、高压、重载以及强腐蚀介质工况下可靠而持续地运行；对于电子电器元件，表面工程技术主要用于提高元器件表面的电、磁、声、光等特殊物理性能，以保证电子产品容量大、传输快、体积小、高转换率、高可靠性；对于机电产品的包装及工艺品，表面工程技术主要用于提高表面的耐腐蚀性和美观性，以实现机电产品优异性能、艺术造型与绚丽外表的完美结合；对生物医学材料，表面工程技术主要用于提高人造骨骼等人体植入物的耐磨性、耐腐蚀性，尤其是生物相容性，以保证患者的健康并提高生活质量。可以说，没有表面工程，就没有现代机电产品。

《材料表面工程》卷是反映当代表面工程技术水平的专业工具书，内容由三个部分组成。(1) 表面工程基础知识：阐述了表面工程的内涵、功能、分类、发展历程、材料服役中的表面失效及防治、表面覆层的界面结合机理；(2) 表面工程技术：介绍了涂装、热喷涂、堆焊、电镀、电刷镀、化学镀、转化膜技术、化学热处理、热浸镀、气相沉积、高能束表面处理、纳米表面工程、材料的封存与包装等常用表面工程技术的基本原理、适用场合、工艺选择原则、材料选用原则、质量检测与控制、安全防护等内容；(3) 表面工程技术综合运用：介绍了单一表面工程技术和复合表面工程技术的选用原则、不同服役工况下的涂覆材料设计及表面工程技术经济分析。

《材料表面工程》卷分上下册共 16 篇。参加编写的主要单位有装甲兵工程学院、南京工业大学、西安交通大学、中国机械科学研究院、清华大学、哈尔滨工业大学、中国科学院金属研究所、英国伯明翰大学、钢铁研究总院、北京科技大学、北京工业大学等(以篇的顺序排序)，参编作者达 50 多位。全书由徐滨士、刘世参负责统稿。

各篇的主编如下：

第 1 篇 概论	徐滨士	刘世参
第 2 篇 材料服役中表面的失效行为及防治	涂善东	
第 3 篇 表面覆层形成与结合机理	徐滨士	朱绍华
第 4 篇 涂装	吴行	
第 5 篇 热喷涂	徐滨士	李长久
第 6 篇 堆焊	董祖珏	
第 7 篇 电镀与电刷镀	马世宁	
第 8 篇 化学镀与转化膜技术	姜晚霞	董首山
第 9 篇 化学热处理	董汉山 (英国)	
第 10 篇 热浸镀	刘邦津	
第 11 篇 气相沉积技术及功能薄膜材料制备	吕反修	
第 12 篇 高能束表面处理技术	左铁钊	
第 13 篇 纳米表面工程	徐滨士	
第 14 篇 封存与包装	梁志杰	
第 15 篇 表面工程技术设计	徐滨士	朱绍华
第 16 篇 表面工程质量控制与检测	史耀武	

本书以“全而精、新而准、实用便查”为特点。在整体设计上，既立足全局，又突出重点。在取材上，以“基础、通用、先进、实用”为原则。本书全面系统地反映了我国表面工程的发展及取得的成就和经验，并汇集了国外表面工程的新进展，全书着力为现代企业正确选材、合理用材、启迪技术创新服务，具有“科学性、先进性和实用性”。本书主要供从事制造业、再制造业和材料工程的科技人员在工作中查阅使用，也可以供研究人员、管理人员和高等院校师生参考。

感谢国家自然科学基金委员会对本书的资助支持(50235030)，感谢有关单位和个人的热情帮助，并向书中参考文献的作者致以敬意。由于编写时间紧迫和编者水平有限，书中不当之处，恳请读者指正并提出宝贵意见。

徐滨士 刘世参

2005年9月26日

目 录

第1篇 概论 1	第2章 磨损失效 42
第1章 表面工程的内涵及功能 3	1 磨损破坏的理论基础..... 42
1 表面工程..... 3	1.1 固体表面..... 42
2 表面工程的功能..... 3	1.2 固体表面接触机制..... 44
第2章 表面工程技术的分类 5	1.3 摩擦学模型..... 46
1 表面改性..... 5	1.4 磨损理论..... 49
2 表面处理..... 5	2 磨损失效的类型..... 52
3 表面涂覆..... 5	2.1 磨料磨损..... 52
4 复合表面工程技术..... 6	2.2 黏着磨损..... 55
5 纳米表面工程技术..... 6	2.3 疲劳磨损..... 57
第3章 表面工程的发展 7	2.4 冲蚀磨损..... 58
1 表面工程概念的提出..... 7	2.5 腐蚀磨损..... 60
2 表面工程发展的三个阶段..... 7	2.6 微动磨损..... 61
第4章 发展表面工程的意义 8	3 磨损失效的防治..... 62
1 发展表面工程是提升机电产品服役性能、 支持制造业技术创新的需要..... 8	3.1 磨料磨损的控制..... 62
2 发展表面工程是贯彻可持续发展战略建设 节能型社会和保护环境的需要..... 8	3.2 黏着磨损的控制..... 64
3 发展表面工程是大力推进废旧机电产品再 制造的需要..... 9	3.3 疲劳磨损的控制..... 64
4 发展表面工程是促进电子电器高新技术和 生物医学材料发展的需要..... 10	3.4 冲蚀磨损的控制..... 65
5 发展表面工程是提高人民生活水平的需要..... 10	3.5 腐蚀磨损的控制..... 66
参考文献 11	3.6 微动磨损的控制..... 66
	3.7 纳米涂层防磨技术简介..... 67
第2篇 材料服役中表面的失效行为及 防治 13	第3章 疲劳断裂失效 68
第1章 腐蚀失效 15	1 疲劳断裂破坏的理论基础..... 68
1 腐蚀破坏理论基础..... 15	1.1 高循环与低循环疲劳现象..... 68
1.1 热力学概念..... 15	1.2 循环变形机制和力学描述..... 69
1.2 动力学概念..... 18	1.3 疲劳裂纹的萌生与扩展理论..... 72
1.3 高温腐蚀..... 22	1.4 疲劳短裂纹扩展理论..... 74
1.4 非金属腐蚀..... 25	1.5 非金属材料的疲劳..... 77
2 腐蚀失效类型..... 28	2 疲劳失效的类型..... 79
2.1 全面(均匀)腐蚀..... 28	2.1 接触疲劳失效:滑动、滚动、微动..... 79
2.2 孔蚀..... 28	2.2 腐蚀疲劳失效..... 82
2.3 缝隙腐蚀..... 29	2.3 高温疲劳失效..... 86
2.4 晶间腐蚀..... 29	2.4 低温疲劳失效..... 88
2.5 选择性腐蚀..... 30	3 疲劳失效的防治..... 90
2.6 应力腐蚀破裂..... 31	3.1 结构设计与材料..... 90
2.7 氢损伤:氢腐蚀、氢鼓泡、氢脆..... 32	3.2 冷加工..... 90
3 腐蚀失效的防治..... 32	3.3 塑性加工..... 91
3.1 选材和设计..... 32	3.4 喷丸处理..... 93
3.2 改善环境..... 33	3.5 热处理..... 94
3.3 加入缓蚀剂(无机缓蚀剂、有机缓 蚀剂、气相缓蚀剂)..... 33	3.6 其他表面处理技术..... 96
3.4 阴极保护..... 35	第4章 机械零件的失效分析 101
3.5 阳极保护..... 36	1 失效分析的方法..... 101
3.6 合金化..... 36	1.1 失效分析的基本方法与程序..... 101
3.7 表面处理..... 37	1.2 残骸分析法..... 102
3.8 金属镀层和包覆层..... 39	1.3 特征-因素图分析法..... 103
3.9 涂层..... 40	1.4 故障树分析法..... 103
3.10 衬里..... 40	1.5 失效模拟和加速失效模拟试验..... 105
	2 失效分析的常用方法与技术..... 105
	2.1 常用实验检测技术的种类和选用原则..... 105
	2.2 失效形态观测技术及其比较..... 106
	2.3 成分分析技术及其比较..... 107
	2.4 X射线分析技术及其比较..... 108
	2.5 无损检测技术及其比较..... 109
	3 失效的事后处理及预防..... 112

3.1 失效补救	112	5.2 界面元素的互扩散	154
3.2 状态监测和控制	112	第4章 镀层的形成与结合	156
3.3 断裂失效评定	113	1 金属电沉积的反应步骤	156
3.4 剩余寿命预测	113	1.1 液相传质	156
3.5 维修、更换及有关的维修技术	114	1.2 表面转化	157
4 典型失效的判断原则	114	1.3 电化学步骤	157
4.1 韧性断裂失效的判断	114	1.4 相生成	157
4.2 脆性断裂失效的判断	115	2 金属的电结晶过程	158
4.3 应力腐蚀断裂的判断	116	2.1 电结晶过程的动力学	158
4.4 疲劳断裂的判断	116	2.2 沉积物形态	158
4.5 磨损失效的判断	118	3 镀层的结合及其影响因素	159
参考文献	119	3.1 镀层结合的特点	159
第3篇 表面覆层形成与结合机理	125	3.2 镀层结合模式	159
第1章 表面与覆层界面结合概述	127	3.3 镀层结合的影响因素	160
1 表面与界面概述	127	4 化学镀的特点	161
1.1 固体的表面	127	第5章 气相沉积层的形成与结合	163
1.2 晶粒间界	129	1 气体与固体的相互作用	163
2 覆层界面结合的类型	131	1.1 物理吸附	163
2.1 覆层的冶金结合	131	1.2 化学吸附	163
2.2 化学溶液沉积镀层结合	131	2 薄膜的生长	164
2.3 气相沉积膜层结合	131	2.1 核生长型	164
2.4 高分子涂层结合	132	2.2 单层生长型	164
3 覆层界面的结合性能与影响因素	132	2.3 单层上的核生长	165
3.1 覆层界面的结合力	132	3 不同晶态的形成	165
3.2 覆层界面结合性能的影响因素	133	3.1 多晶薄膜的形成	165
第2章 堆焊层的形成与结合	134	3.2 单晶薄膜的形成	165
1 覆层与基体的冶金结合	134	3.3 非晶态薄膜的形成	165
1.1 堆焊概述	134	4 不同沉积方法的成膜及薄膜结构特点	166
1.2 堆焊覆层的冶金结合	134	4.1 蒸发镀膜的薄膜结构特点	166
1.3 堆焊覆层的外延结晶	134	4.2 溅射镀膜的薄膜结构特点	166
2 覆层成分的控制	135	4.3 离子镀的成膜及膜结构特点	166
2.1 覆层杂质的控制	135	4.4 离子束辅助沉积的成膜特点	167
2.2 合金元素的控制	137	4.5 化学气相沉积的成膜特点	168
3 熔合区的特点	139	5 薄膜的附着力	169
3.1 熔合区的意义	139	5.1 不同界面的附着	169
3.2 熔合区的特征	140	5.2 影响薄膜附着力的因素	169
4 基材的受热变质	143	第6章 粘接层的形成与结合	171
4.1 焊接热循环	143	1 粘接的基本条件	171
4.2 基材变质问题	144	1.1 胶黏剂对被粘接表面的润湿性	171
5 焊接缺陷的控制	146	1.2 粘接力的形成	172
5.1 焊接裂纹及控制	146	2 粘接现象的各种理论解释	173
5.2 气孔的形成及控制	149	2.1 吸附理论	173
第3章 热熔涂层的形成与结合	150	2.2 扩散理论	173
1 热喷涂涂层的形成	150	2.3 静电理论	174
1.1 热喷涂的基本过程	150	3 粘涂层的成膜机理	174
1.2 涂层的形成	150	4 粘接强度的影响因素与控制	175
2 热喷涂层与基材的结合形式	151	4.1 胶黏剂的组成及性质	175
2.1 冶金结合	151	4.2 被粘物表面状态	176
2.2 机械嵌合	152	4.3 粘接体系的内应力	177
2.3 物理-化学结合	152	4.4 弱界面层	177
3 影响结合强度的主要因素	152	4.5 工艺条件	177
3.1 润湿性	152	参考文献	179
3.2 孔隙	152	第4篇 涂装	181
3.3 氧化作用	153	第1章 概述	183
3.4 基材表面状态	153	1 涂覆材料的要求	183
4 提高涂层结合强度的措施	153	2 涂层组成	183
5 熔结结合的特点	154	3 涂覆设备	183
5.1 涂层合金的润湿性及基材的适应性	154	4 涂层质量评价	183

第2章 涂装技术(材料)的选用原则	185	2.4 影响电泳涂装的因素	212
1 涂料的配套选择原则	185	2.5 电泳液参数测定	214
1.1 涂料的选择	185	2.6 电泳涂装废水处理	215
1.2 涂料的配套原则	185	2.7 电泳涂装漆膜常见疵病及防治方法	215
2 涂装工艺和设备的选用原则	186	3 粉末涂装	216
3 涂装环境要求	187	3.1 粉末静电涂装法	217
第3章 通用涂装方法	188	3.2 流化床涂装法	219
1 刷涂法	188	3.3 静电流化床涂装法	221
1.1 基本原理	188	3.4 粉末电泳涂装法	222
1.2 刷涂工艺要求	188	3.5 粉末涂料热熔射喷涂法	223
1.3 刷涂注意事项	188	第5章 涂装中的安全与防护	224
1.4 漆刷的维护	188	1 防毒	224
1.5 刷涂漆膜常见缺陷及改进	189	2 防火	224
2 刮涂	189	3 防爆	225
2.1 刮涂操作	189	4 涂装安全生产措施	225
2.2 刮涂注意事项	190	5 “三废”治理	226
2.3 刮涂腻子层常见缺陷及改进方法	190	5.1 废气的治理	226
3 滚刷	191	5.2 废水处理	227
3.1 滚刷的构造	191	参考文献	228
3.2 滚刷的种类	191	第5篇 热喷涂	229
3.3 滚刷涂操作	191	第1章 概述	231
4 浸涂	191	1 热喷涂涂层形成原理	231
4.1 浸涂工艺	191	2 热喷涂技术特点	231
4.2 浸涂操作注意事项与设备维护	192	3 热喷涂方法分类	231
4.3 浸涂漆膜常见缺陷及改进方法	192	4 涂层材料分类	232
5 淋涂	192	第2章 热喷涂物理基础	234
5.1 淋涂工艺与设备维护	193	1 燃烧火焰特性	234
5.2 淋涂漆膜常见缺陷及改进方法	193	2 等离子电弧	234
6 转鼓涂	193	3 焰流与喷涂粒子动量传输特性	235
7 压缩空气喷涂	193	3.1 线材的雾化	235
7.1 空气喷涂的原理与特点	194	3.2 粒子的加速	235
7.2 空气喷涂作业	194	4 焰流与喷涂粒子传热特性	236
7.3 喷涂作业注意事项、常见缺陷及改进方法	195	5 金属合金熔滴飞行过程中的氧化行为	237
7.4 喷枪的选择	197	5.1 金属氧化的基础	237
7.5 喷枪的维护与故障处理	197	5.2 热喷涂金属粒子的氧化	238
7.6 加热喷涂	198	5.3 减少热喷涂金属粒子氧化的措施	239
8 高压无气喷涂	198	6 喷涂粒子与基体的碰撞过程	239
8.1 无气喷涂的原理与特点	199	6.1 熔融粒子的扁平化	239
8.2 喷涂效率与喷涂工艺	199	6.2 扁平粒子的冷却凝固	240
8.3 新型无气喷涂设备	202	7 喷涂粒子在沉积涂层过程的时空独立性	240
8.4 富锌涂料无气喷涂设备	203	8 涂层内热应力的产生	240
8.5 无气喷涂设备的选用与维护	203	9 涂层与基体的结合	241
9 辊涂法	204	第3章 热喷涂方法与设备	242
9.1 基本原理	204	1 线材与棒材火焰喷涂	242
9.2 辊涂工艺	205	1.1 线材火焰喷涂原理	242
10 帘幕涂装法	206	1.2 线材火焰喷涂设备	242
10.1 帘幕涂装机	206	1.3 线材火焰喷涂常用的喷涂材料	243
10.2 帘幕涂装工艺	206	1.4 线材火焰喷涂方法特点与应用	243
第4章 特殊涂装方法	208	1.5 棒材火焰喷涂方法特点与应用	243
1 静电涂装	208	2 粉末火焰喷涂	243
1.1 静电涂装的基本原理和特点	208	2.1 粉末火焰喷涂原理	243
1.2 影响静电涂装的因素	208	2.2 粉末火焰喷涂设备	243
1.3 静电涂装设备的选择原则	210	2.3 粉末火焰喷涂方法特点与应用	244
1.4 特种静电涂装	210	3 高速(超音速)火焰喷涂	244
2 电泳涂装	211	3.1 高速(超音速)焰流产生条件	245
2.1 概述	211	3.2 高速火焰流的特征与系统构成	245
2.2 电泳涂装的原理和特点	211	3.3 燃气高速火焰喷涂	245
2.3 电泳涂装工艺过程	212	3.4 燃油高速火焰喷涂	246

3.5 典型高速火焰喷涂方法特征	246	2.1 溶剂清洗	276
3.6 高速火焰喷涂材料的发展现状	246	2.2 碱液清洗	276
3.7 高速火焰喷涂涂层典型特征	247	2.3 加热脱脂	276
3.8 高速火焰喷涂方法的应用	248	2.4 超声清洗	276
4 气体爆燃喷涂技术	248	2.5 喷砂净化	277
4.1 气体爆燃喷涂技术原理	248	3 基体表面粗化处理	277
4.2 爆燃喷涂的若干气体动力学问题	249	3.1 喷砂处理	277
4.3 气体爆燃喷涂设备	250	3.2 机械加工法	278
4.4 气体爆燃喷涂工艺参数选择	251	3.3 电拉毛	278
4.5 气体爆燃喷涂材料及其应用	253	3.4 喷涂自黏结过渡层	279
5 电弧喷涂	254	4 基体表面保护	279
5.1 电弧喷涂原理	254	4.1 胶带保护	279
5.2 电弧喷涂系统	254	4.2 化合物保护	279
5.3 电弧喷涂技术特点	255	4.3 机械保护	279
5.4 高速电弧喷涂技术	255	5 喷涂工艺选择原则	279
5.5 电弧喷涂材料	256	6 涂层后热处理	279
5.6 高速电弧喷涂雾化特性	257	6.1 涂层的重熔处理	279
5.7 高速电弧喷涂涂层特征	258	6.2 扩散处理	280
5.8 高速电弧喷涂技术应用实例	261	7 封孔处理	280
6 等离子喷涂	262	7.1 封孔剂	280
6.1 等离子喷涂原理	262	7.2 封孔剂的选择	280
6.2 等离子喷涂系统的构成	262	8 表面加工	281
6.3 工作参数对等离子射流特性的影响	263	8.1 机械加工	281
6.4 等离子喷涂应用实例	265	8.2 涂层磨削加工	281
7 高能等离子喷涂	265	8.3 涂层砂带磨削和抛光	281
7.1 超音速等离子喷涂	265	第6章 涂层组织结构与物理及力学性能	282
7.2 高能水稳等离子喷涂	265	1 涂层急冷组织结构特征	282
8 可控气氛与低气压等离子喷涂	266	2 涂层中的孔隙特征	282
9 冷喷涂	266	3 涂层的密度与孔隙率	283
9.1 冷喷涂技术的发展简介	266	4 涂层与基体的结合强度	283
9.2 冷喷涂方法原理	266	5 涂层的硬度与显微硬度	284
9.3 冷喷涂系统的构成	267	6 涂层的弹性模量、强度与断裂韧度	284
9.4 冷喷涂技术的特点	267	6.1 涂层的弹性模量	284
9.5 冷喷涂粒子沉积特性	267	6.2 涂层的强度	285
9.6 冷喷涂技术的应用	268	6.3 涂层的断裂韧度	285
第4章 热喷涂材料与性能	269	6.4 典型涂层的弹性模量、强度与断裂 韧度	285
1 热喷涂材料分类	269	7 涂层的摩擦与磨损特性	285
2 线材材料种类与特征	269	7.1 涂层的摩擦与磨损	285
2.1 普通线材	269	7.2 涂层的冲蚀磨损与涂层结构的关系	286
2.2 管状粉芯线材	270	7.3 涂层的耐磨性测定	287
3 粉末材料制备方法	270	8 涂层的热物理性能	287
3.1 雾化制粉法	271	8.1 热导率、热胀系数和热扩散率	287
3.2 熔炼粉碎法	271	8.2 比热容和辐射率	287
3.3 烧结粉碎法	271	9 涂层的介电特性	287
3.4 聚合制粉法	271	第7章 陶瓷与金属陶瓷涂层技术	289
3.5 包覆制粉法	272	1 概述	289
4 自熔剂合金粉末与自粘结合粉末	272	2 氧化铝涂层	291
4.1 自熔剂合金	272	3 氧化钛涂层	291
4.2 自粘结合粉末	272	4 氧化锆涂层	292
5 高温合金粉末	272	5 WC-Co 系金属陶瓷涂层	294
6 氧化物陶瓷粉末	272	6 Cr ₃ C ₂ -NiCr 金属陶瓷涂层	296
6.1 氧化铝系陶瓷粉末	273	第8章 塑料粉末热喷涂技术	297
6.2 氧化锆系陶瓷粉末	273	1 优质、高效、节能的环保型涂料	297
6.3 氧化钛	274	2 塑料粉末涂料及其涂装技术应用及发展	297
6.4 氧化锶	274	3 塑料粉末涂料涂装技术	298
7 金属陶瓷粉末	274	3.1 静电喷涂法	298
第5章 涂层制备工艺	276	3.2 流动浸塑法	299
1 喷涂基体表面基本设计要求	276	3.3 静电流浸法	299
2 基体表面预处理——脱脂处理	276		

3.4 分散液喷涂法	299	8 激光堆焊	326
3.5 粉末火焰喷涂法	300	9 聚焦光束粉末堆焊	327
3.6 高能、高速塑料热喷涂技术	300	9.1 聚焦光束粉末堆焊工艺	327
3.7 其他涂覆方法	301	9.2 聚焦光束粉末堆焊应用	328
3.8 塑料涂层质量检验	301	10 摩擦堆焊	328
第9章 涂层选用原则与应用	303	11 堆焊方法的选择	328
1 涂层性能	303	11.1 堆焊材料的形状	328
1.1 耐腐蚀涂层	303	11.2 堆焊方法的特点	329
1.2 耐磨损涂层	304	11.3 堆焊层的性能要求	329
1.3 机械零件间隙控制涂层(可磨耗密封涂 层)	304	11.4 堆焊件的结构特点、冶金特点	329
1.4 耐高温热障涂层	304	11.5 经济性	329
1.5 绝缘或导电涂层	304	第3章 堆焊合金及其应用	330
1.6 修补涂层	306	1 铁基堆焊合金	330
2 热喷涂层在航空航天领域的应用	306	1.1 铁基堆焊合金分类	330
3 热喷涂层在冶金领域的应用	307	1.2 铁基堆焊合金的堆焊工艺	344
参考文献	309	1.3 铁基堆焊合金的应用	350
第6篇 堆焊	311	2 镍基堆焊合金	351
第1章 概述	313	2.1 镍基堆焊合金分类	351
1 堆焊的特点及发展概况	313	2.2 镍基堆焊合金的堆焊工艺	353
2 堆焊的物理化学本质	313	2.3 镍基堆焊合金的应用	354
2.1 堆焊金属的合金化及母材对堆焊金属的稀 释	313	3 钴基堆焊合金	354
2.2 堆焊层与母材的界面结合特点	315	3.1 钴基堆焊合金分类	354
3 堆焊冶金缺陷	315	3.2 钴基堆焊合金的堆焊工艺	356
3.1 裂纹	315	3.3 钴基堆焊合金的应用	357
3.2 气孔	316	4 铜基堆焊合金	357
4 堆焊金属的使用性能	316	4.1 铜基堆焊合金分类及其应用	357
4.1 堆焊金属的耐磨性能	316	4.2 铜基堆焊合金的堆焊工艺	359
4.2 堆焊金属的耐腐蚀性能	317	5 复合堆焊合金	360
4.3 堆焊金属的耐腐蚀磨损性能	318	5.1 复合堆焊合金的成分与牌号	360
4.4 堆焊金属的耐气蚀性能	318	5.2 复合堆焊合金的应用	362
4.5 堆焊金属的耐高温性能	318	5.3 复合堆焊合金的堆焊工艺	362
第2章 堆焊工艺方法及其特点	319	6 自溶性合金粉末喷熔	362
1 氧乙炔火焰堆焊	319	6.1 喷熔用自溶性合金粉末的成分与牌号	362
1.1 特点及其应用范围	319	6.2 喷熔用自溶性合金粉末的应用	363
1.2 堆焊工艺	319	6.3 喷熔用自溶性合金粉末的喷熔工艺	363
1.3 缺陷及其预防	319	7 堆焊合金的选择	363
2 焊条电弧堆焊	319	第4章 典型零件的堆焊	367
2.1 特点及应用范围	320	1 轧辊堆焊	367
2.2 堆焊工艺	320	2 阀门密封面堆焊	367
3 埋弧堆焊	320	3 发动机关键部件的堆焊	368
3.1 特点及应用范围	320	4 高炉料钟堆焊	368
3.2 堆焊工艺	321	5 挖掘机铲斗和斗齿堆焊	368
4 钨极氩弧堆焊	321	6 刮板输送机中部槽中板堆焊	368
4.1 特点及应用范围	322	第5章 堆焊安全与防护	369
4.2 堆焊工艺	322	1 堆焊过程中的有害因素	369
5 等离子弧堆焊	322	1.1 电弧堆焊	369
5.1 特点及应用范围	322	1.2 高能束堆焊	369
5.2 堆焊工艺	322	1.3 火焰堆焊	369
6 熔化极气体保护堆焊	323	2 安全防护措施	370
6.1 MIG堆焊工艺及其应用	323	2.1 通风防护措施	370
6.2 CO ₂ 气体保护堆焊工艺及其应用	324	2.2 个人防护措施	370
6.3 自保护电弧堆焊工艺及其应用	324	2.3 放射性防护措施	370
6.4 振动堆焊工艺及其应用	324	2.4 高能束堆焊特殊防护措施	370
7 电渣堆焊	325	2.5 火焰堆焊回火防护措施	370
7.1 特点	325	参考文献	372
7.2 堆焊工艺	326	第7篇 电镀与电刷镀	373
		第1章 电镀	375
		1 概述	375

1.1	电镀的应用和分类	375	11.1	电镀锌镍合金	435
1.2	电化学基本概念	376	11.2	电镀锌铁合金	437
1.3	金属电沉积的基本理论	380	11.3	电镀锌钴合金	438
2	表面预处理	380	11.4	电镀锡锌(锌锡)合金	439
2.1	粗糙表面的整平	380	11.5	锌合金镀层的特性	440
2.2	脱脂	382	12	电镀铜合金	440
2.3	浸蚀	385	12.1	电镀铜锡合金	440
2.4	化学抛光和电化学抛光	387	12.2	电镀铜锌合金	442
2.5	难镀金属的预处理	388	12.3	电镀仿金层	444
3	电镀锌	391	13	电镀镍基合金	445
3.1	镀锌层的特性和用途	391	13.1	电镀镍铁合金	445
3.2	氰化镀锌	391	13.2	电镀镍钴合金	446
3.3	碱性锌酸盐镀锌	393	13.3	电镀镍磷合金	447
3.4	氯化钾(钠)镀锌	394	14	电镀锡基合金	447
3.5	铵盐镀锌	396	14.1	电镀锡铅和铅锡合金	447
3.6	硫酸盐镀锌	397	14.2	电镀锡镍合金	448
3.7	镀锌后除氢处理	398	14.3	电镀锡钴合金	448
3.8	镀锌层钝化处理	398	15	电镀金基合金和银铈合金	449
4	电镀镉	400	15.1	电镀金基合金	449
4.1	镀镉层的性质和用途	400	15.2	电镀银铈合金	449
4.2	氰化物镀镉	400	16	复合电镀	450
4.3	氨基络合物镀镉	401	16.1	复合电镀的工艺特点	451
4.4	酸性镀镉	401	16.2	复合电镀的优缺点	451
4.5	镀后处理	401	16.3	复合电镀机理	452
5	电镀铜	401	16.4	复合镀层的类型和用途	452
5.1	氰化物镀铜	401	16.5	复合电镀工艺	453
5.2	硫酸盐镀铜	403	16.6	典型复合电镀工艺举例	455
5.3	高分散能力光亮、半光亮硫酸盐镀铜	405	16.7	复合电镀的发展	456
5.4	焦磷酸盐镀铜	406	17	非晶态电镀	456
5.5	其他无氰镀铜	406	17.1	非晶态合金镀层的类型和特点	456
6	电镀镍	407	17.2	非晶态合金电镀工艺	456
6.1	电镀瓦特镍和高氰化物镍(无添加剂)	407	17.3	非晶态镀层的形成和沉积原理	457
6.2	镀镍添加剂	408	17.4	非晶态镀层的特性和应用	457
6.3	电镀光亮镍	410	17.5	非晶态合金镀层的发展	458
6.4	电镀半光亮镍、高硫镍、镍封、高应力镍和多层镍	411	第2章	电刷镀	459
6.5	电镀黑色镍和枪色镍	414	1	电刷镀技术发展概况	459
6.6	电镀珍珠镍(缎面镍)	414	2	电刷镀原理及特点	462
6.7	电镀低应力镍	415	2.1	电刷镀原理	462
7	电镀铬	415	2.2	电刷镀技术特点	462
7.1	电镀普通铬	415	3	电刷镀设备	463
7.2	稀土镀铬及电镀硬铬	418	3.1	电刷镀电源设备	463
7.3	电镀黑铬	419	3.2	电刷镀镀笔	463
7.4	三价铬镀铬	420	4	电刷镀镀液	463
8	电镀锡和铁	421	4.1	电刷镀镀液的分类	463
8.1	电镀锡	421	4.2	电刷镀镀液的特点	464
8.2	电镀铁	425	4.3	温度对镀液的pH值特性及导电性的影响	464
9	电镀金、银及铂	427	4.4	镀液选择原则	464
9.1	电镀金	427	4.5	常用预处理溶液	464
9.2	电镀银	430	4.6	常用电刷镀镀液	466
9.3	电镀铂	433	5	电刷镀工艺	470
10	合金电沉积概述	433	5.1	电刷镀的一般工艺过程	470
10.1	金属共沉积的条件	433	5.2	电刷镀主要工艺参数的选择	470
10.2	实现金属共沉积的措施	433	5.3	在不同金属材料上电刷镀	472
10.3	金属共沉积的特点和影响因素	434	5.4	镀层工艺规范的选择	472
10.4	金属共沉积的类型	434	5.5	工序间的水漂洗	473
10.5	合金镀层的分类	435	6	电刷镀层的结构、结合机理与强化机理	474
11	电镀锌基合金	435	6.1	电刷镀层的结构	474
			6.2	镀层与基体的结合机理	475

6.3 镀层的强化机理	476	1 外观	502
6.4 镀层的再强化机理	477	2 组织结构	502
7 镀层质量检验	477	3 物理性质	502
7.1 定性检验	477	3.1 密度	502
7.2 定量检验	477	3.2 热学性质	502
8 电刷镀技术应用实例	478	3.3 电学性质	503
第3章 安全与防护	480	3.4 磁学性质	503
1 有害物质侵入人体的途径	480	4 力学性质	503
1.1 经呼吸道侵入	480	5 均镀能力	503
1.2 经皮肤侵入	480	6 结合力及内应力	504
1.3 经消化道侵入	480	6.1 基材	504
2 有害物质的来源及危害性	480	6.2 前处理	504
2.1 酸和碱	480	6.3 施镀工艺	504
2.2 氰化物	481	6.4 热处理	504
2.3 镉及镉化合物	481	7 硬度与热处理	504
2.4 六价铬及三价铬	481	8 钎焊性能	505
2.5 铅及铅化合物	481	9 腐蚀行为	505
2.6 镍及镍化合物	481	9.1 电偶腐蚀	506
2.7 铜及铜化合物	481	9.2 镀层中磷含量及热处理与耐蚀性的关系	506
2.8 氟化物	481	9.3 镀浴与耐蚀性	506
2.9 添加剂和表面活性剂等	481	9.4 孔隙率	506
3 电镀“三废”的产生及控制	481	9.5 化学镀镍层的腐蚀率	507
3.1 电镀产生的废液	482	10 磨损行为	512
3.2 电镀产生的废气	482	10.1 黏着磨损	512
3.3 电镀产生的废渣	482	10.2 磨料磨损	512
4 电镀无害化生产的途径	482	第4章 化学镀镍的质量控制及施镀工艺	514
4.1 全过程进行控制污染	482	1 镀浴的监控	514
4.2 采用低毒或无毒工艺	482	1.1 Ni^{2+} 浓度	514
4.3 采用逆流清洗技术	483	1.2 还原剂浓度	514
4.4 低浓度工艺	483	1.3 $\text{Na}_2\text{HPO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	514
4.5 优化工艺	483	1.4 其他化学成分的浓度	514
4.6 加强管理	483	1.5 化学镀镍浴稳定性的测定	515
5 电镀工作人员操作注意事项	483	1.6 温度	515
参考文献	485	1.7 其他	515
第8篇 化学镀与转化膜技术	487	2 镀层质量的监控	516
第1章 概述	489	2.1 外观	516
1 化学镀的特点	489	2.2 厚度	516
2 化学镀镍机理	489	2.3 结合强度	516
2.1 化学镀镍的热力学	489	2.4 孔隙率	516
2.2 化学镀镍的动力学	490	2.5 化学成分	517
3 化学成膜处理分类	491	2.6 内应力及硬度	517
3.1 按转化膜分类	492	2.7 耐磨性及耐蚀性	518
3.2 按金属种类分类	492	3 化学镀镍故障及排除方法	518
3.3 按用途分类	492	3.1 镀浴	518
3.4 按施工方法分类	492	3.2 镀前处理	518
4 化学转化膜的防护性能	492	3.3 机械设备	519
5 化学转化膜的应用范围	492	3.4 镀浴污染	519
第2章 化学镀镍	493	3.5 排除故障的方法	519
1 化学镀镍溶液的组成及其影响	493	4 化学镀镍前处理	519
1.1 主盐	493	4.1 基材	519
1.2 还原剂	493	4.2 镀前处理须知	521
1.3 络合剂	494	4.3 碳钢和低合金钢的前处理	522
1.4 稳定剂	497	4.4 铸铁件的镀前处理	522
1.5 加速剂	498	4.5 不锈钢、高合金钢的镀前处理	523
1.6 缓冲剂及镀液的 pH 值	498	4.6 铜及铜合金的镀前处理	523
1.7 其他组份	499	4.7 铝及铝合金的镀前处理	523
2 化学镀镍溶液	499	4.8 镁及镁合金的镀前处理	524
第3章 化学镀镍层的性能	502	4.9 钛及钛合金的镀前处理	524
		4.10 其他金属及非金属材料的镀前处理	525

5 化学镀层后处理	526	1.5 Ni-Mo-P	551
5.1 消除氢脆,提高结合力和硬度的镀后热 处理	526	1.6 Ni-Sn-P	552
5.2 提高镀层性能的后处理	526	1.7 Ni-Re-P	552
6 化学镀镍层的退除	527	1.8 Ni-Cr-P	552
6.1 钢铁件上镀层的退除	527	1.9 Ni-Zn-P	552
6.2 不锈钢基体上镀层的退除	528	2 Ni-Me-B系三元合金	552
6.3 铜及铜合金上镀层的退除	528	2.1 Ni-Co-B	553
6.4 铝及铝合金上镀层的退除	528	2.2 Ni-Fe-B	553
6.5 镁及镁合金上镀层的退除	528	2.3 Ni-Sn-B	553
第5章 化学镀镍的工业应用及其设备	529	2.4 Ni-Me (Mo、W、Zn、Re) -B	553
1 航空航天工业中的应用	529	2.5 Ni-P-B	554
2 汽车工业中的应用	529	第10章 化学复合镀	555
3 化学工业中的应用	530	1 耐磨镀层	555
4 石油和天然气工业中的应用	531	1.1 Ni-P/SiC	555
5 食品加工业中的应用	531	1.2 Ni-P (B) /金刚石	556
6 采矿工业中的应用	531	1.3 其他化学复合镀耐磨镀层	556
7 军事工业中的应用	531	2 自润滑镀层	557
8 电子和计算机工业中的应用	532	第11章 电化学转化膜	559
9 其他工业中的应用	532	1 铝和铝合金的阳极氧化	559
10 化学镀镍设备	533	1.1 阳极氧化膜的生成机理及其性质	559
10.1 镀槽	533	1.2 铝合金阳极氧化方法	560
10.2 加热器及搅拌装置	534	2 其他金属的阳极氧化	567
10.3 供水和循环过滤	534	2.1 镁合金的阳极氧化	567
第6章 化学镀铜	535	2.2 铜和铜合金的阳极氧化	568
1 化学镀铜溶液	535	2.3 硅、锗、钽、锆、钛、锌和镉的阳极氧化	569
1.1 化学镀铜溶液组成	535	2.4 钢的阳极氧化	569
1.2 化学镀铜溶液	536	第12章 化学转化膜	570
2 化学镀铜的操作和维护	536	1 化学氧化法	570
3 化学镀铜层的性质及应用	536	1.1 钢铁的化学氧化(钢铁发蓝)	570
第7章 化学镀贵金属	538	1.2 钢铁化学发黑新工艺	571
1 镀银	538	1.3 铝和铝合金的化学氧化	572
1.1 化学镀银浴组成及其反应机理	538	1.4 铜和铜合金的化学氧化	574
1.2 化学镀银浴配方及工艺	538	2 磷酸盐处理	574
1.3 化学镀银的注意事项	539	2.1 磷化膜形成的基本原理	574
2 镀金	539	2.2 磷化膜的性质	574
2.1 化学镀金浴的组成及其反应机理	539	2.3 各种金属的磷酸盐处理	575
2.2 化学镀金浴配方及工艺	540	3 钢铁的草酸盐处理	579
3 镀钯	542	4 锌、镉、铜及其他有色金属的铬酸盐处理	579
3.1 胨浴	542	4.1 基本原理	580
3.2 次磷酸盐浴	542	4.2 膜的基本性质	580
4 镀铂	543	第13章 金属着色技术	582
4.1 胨浴	543	1 铝和铝合金阳极氧化着色处理	582
4.2 硼氢化物浴	544	1.1 自然发色法	582
第8章 化学镀钴及其合金	545	1.2 电解着色法	583
1 化学镀钴	545	1.3 吸附染色法(化学染色法)	584
2 化学镀钴基多元合金膜	547	2 铜和黄铜层的着色	588
2.1 Co-Ni-P合金	547	2.1 着色前处理	588
2.2 Co-Fe-P合金配方	547	2.2 铜和黄铜着色工艺	588
2.3 Co-W-P及Co-Ni-W-P合金	547	3 镍层的着色和染色	589
2.4 Co-Zn-P合金	548	3.1 镍层的着色	589
2.5 其他Co-Me (Cu、Mo、Re) -P合金	548	3.2 镍层的染色	589
2.6 Co-Fe-B合金	548	4 锌层的着色和染色	589
第9章 化学镀镍基多元合金	549	4.1 锌层着色	589
1 Ni-Me-P系三元合金	549	4.2 锌层染色	590
1.1 Ni-Co-P	549	5 不锈钢着色	590
1.2 Ni-Fe-P	549	5.1 不锈钢氧化着色法原理	590
1.3 Ni-Cu-P	550	5.2 不锈钢着色举例	591
1.4 Ni-W-P	550	第14章 转化膜工艺质量控制	592
		1 转化膜的检验	592

1.1 铝和铝合金的阳极氧化膜的检验	592	1.2 碳氮共渗介质及其控制	618
1.2 磷酸盐膜的检验	593	1.3 共渗温度与时间	618
1.3 铬酸盐膜的检验	594	2 液体碳氮共渗及其他方法	618
2 转化膜处理液的检测	594	3 碳氮共渗用钢及共渗后的热处理	618
2.1 铝和铝合金阳极氧化电解液的分析	594	4 共渗层的组织和性能	619
2.2 磷酸盐处理液的检验及试验方法	596	5 碳氮共渗层常见缺陷与预防方法	619
2.3 草酸盐处理液的分析	598	5.1 黑色组织	619
2.4 铬酸盐处理液的分析	598	5.2 不正常碳氮化合物	619
3 转化膜标准规范	599	6 碳氮共渗应用实例	619
3.1 铝氧化膜标准	599	7 碳氮共渗技术的发展	620
3.2 磷酸盐膜标准	599	第5章 钢的渗氮	621
3.3 铬酸盐膜标准	599	1 渗氮原理	621
参考文献	600	1.1 Fe-N 系中的相组成	621
第9篇 化学热处理	601	1.2 渗氮层的形成	621
第1章 概述	603	1.3 渗氮强化机制	621
第2章 化学热处理原理	605	1.4 常用渗氮钢	622
1 渗剂中的物理化学过程	605	1.5 渗氮用钢的预先处理	623
1.1 渗剂中的化学反应	605	2 气体渗氮	623
1.2 催化剂的作用	605	2.1 渗氮反应及气氛控制	623
2 化学热处理中的相界面反应	605	2.2 渗氮工艺参数及控制	624
3 吸收原子在金属中的扩散	605	2.3 影响渗氮层硬度的主要因素	624
3.1 扩散过程的宏观规律	605	3 其他渗氮方法	624
3.2 反应扩散和渗层的显微组织	606	3.1 盐浴渗氮	624
4 提高化学热处理速度的方法	606	3.2 固体渗氮	624
4.1 适当提高工艺温度	607	4 渗氮零件的检验和缺陷	625
4.2 优化工艺	607	4.1 质量检验	625
4.3 采用催渗办法	607	4.2 渗氮缺陷及预防	625
第3章 钢的渗碳	608	5 渗氮与渗碳的比较	625
1 渗碳的基本工艺参数	608	5.1 工艺	625
1.1 渗碳温度	608	5.2 性能	626
1.2 渗碳时间	608	5.3 成本	626
1.3 碳势及其控制	608	6 渗氮技术的发展与展望	626
2 气体渗碳	608	6.1 可控渗氮	626
2.1 气体渗碳气氛	608	6.2 离子渗氮	627
2.2 气体渗碳过程中的化学反应	610	第6章 氮碳共渗	628
2.3 炉气碳势的测量与控制	610	1 铁素体氮碳共渗	628
2.4 气体渗碳工艺	612	1.1 盐浴氮碳共渗	628
3 其他渗碳方法	612	1.2 气体氮碳共渗	629
3.1 固体渗碳工艺	613	1.3 铁素体氮碳共渗层的组织与性能	631
3.2 液体渗碳	613	1.4 其他氮碳共渗技术	631
3.3 流化床渗碳	613	1.5 应用实例-替代气体渗氮	631
3.4 离子渗碳	613	2 奥氏体氮碳共渗	631
3.5 真空渗碳	613	2.1 原理及工艺	631
4 渗碳用钢及渗碳后热处理	613	2.2 组织与性能	631
4.1 渗碳用钢	613	2.3 工艺发展	632
4.2 渗碳后热处理	613	2.4 工业应用实例	632
5 渗碳层的组织和性能	614	3 氮碳共渗后氧化处理	632
5.1 渗碳层的组织特点	614	3.1 液态处理	633
5.2 渗碳后钢的性能	614	3.2 气态处理	633
6 渗碳件质量检测及常见缺陷的防止措施	614	3.3 其他处理方法	633
6.1 渗碳件质量检验	614	第7章 渗硼和渗硫	634
6.2 渗碳件常见缺陷及防止措施	615	1 钢的渗硼	634
7 渗碳技术的发展与展望	615	1.1 渗硼的特点与应用	634
7.1 高温渗碳	615	1.2 渗硼层组织特征	634
7.2 乙炔低压渗碳	615	1.3 渗硼工艺方法	634
第4章 钢的碳氮共渗	617	1.4 渗硼后的处理	635
1 气体碳氮共渗	617	1.5 合金元素的影响	635
1.1 气体碳氮共渗原理	617	1.6 适合渗硼的金属材料	636
		1.7 渗硼层的性能	636

2 含硼共渗与复合渗	636	1 等离子体及其产生	645
2.1 硼-碳复合渗	636	2 离子渗氮	645
2.2 硼-金属共渗与复合渗	636	2.1 离子渗氮的原理	645
3 渗硫及含硫共渗	637	2.2 离子渗氮钢的组织	646
3.1 钢的渗硫	637	2.3 离子渗氮的工艺参数	646
3.2 含硫共渗	637	2.4 离子渗氮的特点	647
第8章 渗金属	639	2.5 离子渗氮技术新进展	647
1 渗金属原理与工艺分类	639	3 离子氮碳共渗	649
1.1 镀-渗法	639	3.1 离子氮碳共渗的特点	649
1.2 扩散型渗金属	639	3.2 气体成分对化合物层组织结构的影响	649
1.3 热反应沉积渗金属	639	3.3 冷却速度对化合物层组织结构的影响	650
2 钢的渗铝	639	4 离子渗碳	650
2.1 渗铝工艺方法	639	4.1 离子渗碳的原理及设备	650
2.2 渗铝层组织与性能特点	640	4.2 离子渗碳层的组织和性能	650
2.3 渗铝的应用	640	4.3 离子渗碳的特点	651
3 钢铁渗铬	641	第10章 有色金属和不锈钢的化学热处理	652
3.1 渗铬工艺	641	1 钛合金化学热处理	652
3.2 渗铬层组织	641	1.1 渗氮处理	652
3.3 渗铬层性能与应用	642	1.2 渗氧处理	653
4 碳化物覆层工艺	642	1.3 渗碳和渗硼	654
4.1 硼砂碳化物覆层法原理	642	1.4 渗硅和渗铝	654
4.2 硼砂碳化物覆层工艺	642	1.5 渗镍和渗铜	655
4.3 渗层性能与应用	643	2 铝合金的化学热处理	655
5 镀渗锡及铜锡合金	643	2.1 镀-渗工艺	655
5.1 镀-渗锡	643	2.2 等离子渗氮	656
5.2 镀-渗锡青铜	643	3 奥氏体不锈钢的等离子低温表面合金化	656
6 渗金属技术的发展——离子渗金属	644	3.1 S相的形成条件	657
6.1 气相辉光离子渗金属	644	3.2 S相的组织	657
6.2 双层辉光离子渗金属	644	3.3 S相的性能	657
6.3 多弧离子渗金属	644	3.4 S相的热稳定性	658
6.4 离子渗金属应用	644	3.5 应用	658
第9章 等离子化学热处理	645	参考文献	659

中国材料工程大典
CHINA MATERIALS ENGINEERING CANON

第16卷 材料表面工程(上)

第



篇

概 论

主 编 徐滨士 刘世参

编 写 徐滨士 刘世参

审 稿 中国材料工程大典编委会

中国机械工程学会
中国材料研究学会
中国材料工程大典编委会

