

金属表面处理技术

JINSHU

主编◎苗景国

BIAOMIAN CHULI JISHU

- ◎这是一本快速掌握金属表面处理技术的简明读本
- ◎全书内容系统，案例丰富，重点突出，实用性强
- ◎每章都设有学习目标、导入案例，便于读者学习

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



金属表面处理技术

主 编 苗景国
副主编 侯 勇 章友谊
参 编 张爱华 杜 娟 单丽梅 王新颖
 张 伟 李 欣 杜东方 徐振宇
主 审 陈 辉 肖 峰



机械工业出版社

本书系统地介绍了各种金属表面处理技术的特点、技术路线与工艺方法,其主要内容包括绪论、金属表面工程技术基础理论、金属表面预处理工艺、金属表面改性技术、金属表面镀层技术、金属表面转化膜技术、涂装技术、热喷涂技术、堆焊技术、表面微细加工技术、金属表面再制造技术、先进特种表面处理技术、金属表面复合处理技术、金属表面处理技术禁忌、表面分析与覆盖层性能检测技术。本书内容系统、简明,案例丰富、典型,实用性强。

本书可供高职高专院校、应用型本科院校的相关专业在校师生使用,也可供从事表面处理的工程技术人员及科研人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

金属表面处理技术/苗景国主编. —北京:机械工业出版社, 2018. 2

ISBN 978-7-111-58993-8

I. ①金… II. ①苗… III. ①金属表面处理-高等学校-教材
IV. ①TG17

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第015241号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:陈保华 责任编辑:陈保华 程足芬

责任校对:张晓蓉 封面设计:马精明

责任印制:常天培

涿州市京南印刷厂印刷

2018年3月第1版第1次印刷

169mm×239mm·22.5印张·426千字

0001-3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-58993-8

定价:49.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线:010-88361066

读者购书热线:010-68326294

010-88379203

策划编辑:010-88379734

封面无防伪标均为盗版

网络服务

机工官网:www.cmpbook.com

机工官博:weibo.com/cmp1952

金书网:www.golden-book.com

教育服务网:www.cmpedu.com

前言

表面工程技术是一门由多学科交叉融合而形成的实用性较强的技术，它不仅涉及材料学，同时还涉及物理、化学、机械、电子和生物等诸多学科。近年来，随着科学技术的快速发展，许多传统的表面处理技术已经不适应新形势下工业发展的需要，这势必对过去的一系列技术进行改进、复合和革新，因此表面工程技术领域的许多新工艺、新技术和新方法不断地涌现，并得到了极大地创新和提高。

本书从培养技术技能型人才的需要出发，拓宽了学科的技术基础，在内容选择上力求满足实用性、先进性、创新性和前瞻性，做到重点、难点突出，在强化基础理论知识的同时，更加注重理论知识在实际生产中的应用，使读者能够学以致用。

本书共分 15 章，主要包括绪论、金属表面工程技术基础理论、金属表面预处理工艺、金属表面改性技术、金属表面镀层技术、金属表面转化膜技术、涂装技术、热喷涂技术、堆焊技术、表面微细加工技术、金属表面再制造技术、先进特种表面处理技术、金属表面复合处理技术、金属表面处理技术禁忌以及表面分析与覆盖层性能检测技术等内容。为便于读者使用学习，各章编写了学习目标，并介绍了大量特色鲜明的案例。

本书由四川工程职业技术学院苗景国副教授任主编，侯勇副教授和章友谊副教授任副主编，参编人员有张爱华、杜娟、单丽梅、王新颖、张伟、李欣、杜东方、徐振宇。西南交通大学陈辉教授和四川工程职业技术学院肖峰副院长任主审，两位专家对全书内容进行了认真细致的审读，在内容选择和安排上给予了充分的指导，为本书的编写提出了很多宝贵的意见。对本书做出贡献的单位及个人还有东方汽轮机股份有限公司表工所、中国科学院嘉兴轻合金技术工程中心，以及嘉兴南洋职业技术学院机电工程学院的周庆、余健、郑金杰、王记彩、龚正朋等教师，上述单位及个人有着多年的理论研究和实践操作经验，对本书理论知识和实践内容的编写，尤其是大部分图表、数据、零部件的实物照片、案例的内容提供了诸多的帮助，使本书的内容更加丰富多彩，对本书的编写提出了指导性意见和建议。编者在编写过程中参阅并引用了大量的参考文献资料，在此向参考文献作者一并表示感谢和致意。

由于编者学术水平有限，加之时间仓促，不妥之处在所难免，恳请广大读者对本书内容提出宝贵意见（电子邮箱：miaojg70@163.com）。

编者

· III ·

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 表面工程技术概述	2
1.2 表面工程技术体系	3
1.3 表面工程技术的分类	3
1.4 表面工程技术的应用	5
1.4.1 表面工程技术在材料科学与工程中的应用	5
1.4.2 表面工程技术在腐蚀与防护中的应用	7
1.5 表面工程技术的发展	8
第 2 章 金属表面工程技术基础理论	12
2.1 固体材料的表面特性	13
2.1.1 固体材料	13
2.1.2 固体-气体的表面结构	13
2.1.3 固体表面特征	18
2.2 固体表面的性能	20
2.2.1 固体表面的力学性能	20
2.2.2 固体表面的化学性能	28
2.2.3 固体表面的物理性能	31
第 3 章 金属表面预处理工艺	37
3.1 表面预处理概述	37
3.2 表面预处理工艺	40
3.2.1 表面整平	41
3.2.2 表面脱脂	42
3.2.3 表面除锈	46
3.2.4 表面复合预处理	47
3.3 表面预处理新技术	50
第 4 章 金属表面改性技术	52
4.1 表面热处理技术	53
4.1.1 感应淬火	53
4.1.2 火焰淬火	55
4.1.3 接触电阻加热淬火	56

4.1.4	电解液加热淬火	56
4.2	化学热处理技术	57
4.2.1	概述	57
4.2.2	渗碳	59
4.2.3	渗氮	63
4.2.4	碳氮共渗与氮碳共渗	66
4.2.5	渗其他元素	67
第5章 金属表面镀层技术		70
5.1	电镀技术	70
5.1.1	电镀的概念及分类	71
5.1.2	电镀的原理及工艺	71
5.1.3	单金属和合金电镀	76
5.1.4	电镀的发展趋势	79
5.2	电刷镀技术	80
5.3	化学镀技术	83
5.4	电镀与化学镀的环境保护及职业安全与卫生	87
第6章 金属表面转化膜技术		92
6.1	概述	93
6.2	金属表面化学氧化技术	95
6.2.1	钢铁的化学氧化	95
6.2.2	铝及铝合金的化学氧化	97
6.3	普通阳极氧化技术	98
6.3.1	铝及铝合金的阳极氧化	98
6.3.2	其他金属的阳极氧化	103
6.4	硬质阳极氧化技术	103
6.4.1	硬质阳极氧化材料的选择	104
6.4.2	硫酸溶液的硬质阳极氧化	104
6.4.3	非硫酸溶液的硬质阳极氧化	105
6.4.4	硬质阳极氧化的电源波形和脉冲阳极氧化	106
6.4.5	硬质阳极氧化膜的性能	107
6.5	微等离子体氧化技术	111
6.5.1	微等离子体氧化原理	111
6.5.2	微等离子体氧化装置及工艺	113
6.5.3	微等离子体氧化膜的结构与性能	114
6.5.4	微等离子体氧化的应用	114
6.6	钢铁的磷化处理	115
6.6.1	磷化与磷化膜	115
6.6.2	钢铁的磷化工艺	116

6.6.3	钢铁磷化常见故障及排除方法	117
6.7	铬酸盐钝化处理	118
6.7.1	铬酸盐钝化与铬酸盐膜	118
6.7.2	铬酸盐钝化工艺	119
6.8	金属表面着色技术	120
6.8.1	概述	121
6.8.2	铝及铝合金的着色处理	122
6.8.3	镁合金的着色处理	126
6.8.4	钢铁的着色处理	127
第7章 涂装技术		131
7.1	概述	132
7.2	涂料材料	132
7.2.1	涂料的基本组成	133
7.2.2	涂料的分类和命名	135
7.2.3	涂料的成膜机理及成膜过程	136
7.2.4	涂料涂层的作用和特点	137
7.2.5	涂料涂层的应用	139
7.3	涂装工艺	141
7.4	电泳涂装技术	143
7.4.1	电泳涂装的原理与过程	143
7.4.2	电泳涂装的特点	144
7.4.3	电泳涂装的设备	145
7.4.4	电泳涂装工艺及影响因素	146
7.5	喷涂技术	147
7.5.1	空气喷涂	147
7.5.2	高压无气喷涂	148
7.5.3	静电喷涂	150
7.6	粉末涂装技术	152
第8章 热喷涂技术		155
8.1	热喷涂的原理和特点	155
8.2	热喷涂材料	160
8.2.1	热喷涂材料的特点	160
8.2.2	热喷涂材料的分类	160
8.3	热喷涂工艺	163
8.4	火焰喷涂技术	165
8.4.1	线材火焰喷涂法	165
8.4.2	粉末火焰喷涂法	166
8.4.3	火焰喷涂工艺	167

8.4.4	水闸门火焰喷涂工艺实例	167
8.5	电弧喷涂技术	168
8.5.1	电弧喷涂的原理与特点	168
8.5.2	电弧喷涂设备与工艺	169
8.5.3	发动机曲轴电弧喷涂工艺实例	170
8.6	等离子喷涂技术	171
8.6.1	等离子喷涂的原理与特点	171
8.6.2	等离子喷涂设备与工艺	172
8.7	特种喷涂技术	174
8.8	冷喷涂技术	175
8.8.1	冷喷涂的定义、原理及特点	175
8.8.2	冷喷涂设备系统和工艺参数	176
8.8.3	冷喷涂技术的应用	177
8.9	热喷涂层的设计、选择及功能和应用	177
8.9.1	热喷涂层的性能与设计	177
8.9.2	热喷涂材料与工艺的选择	178
8.9.3	热喷涂层的功能和应用	180
第9章	堆焊技术	184
9.1	概述	185
9.1.1	堆焊的特点与分类	185
9.1.2	堆焊的用途	186
9.1.3	堆焊层的形成和控制	188
9.1.4	堆焊的应用现状及前景	189
9.2	堆焊材料的类型和选择	190
9.2.1	堆焊材料的种类	190
9.2.2	堆焊材料的选择	193
9.2.3	常用的堆焊材料	193
9.3	堆焊方法	196
9.3.1	焊条电弧堆焊	196
9.3.2	氧乙炔火焰堆焊	200
9.3.3	埋弧堆焊	203
9.3.4	CO ₂ 气体保护堆焊	208
9.3.5	电渣堆焊	211
9.3.6	等离子弧堆焊	212
9.3.7	振动电弧堆焊	214
第10章	表面微细加工技术	216
10.1	概述	216
10.2	微细加工方法	217

10.2.1	微细超声波加工	217
10.2.2	微细磨料加工	220
10.2.3	微细光刻加工	221
10.2.4	微细电解加工	223
10.2.5	微细电火花加工	223
10.2.6	电子束加工	225
10.2.7	微细激光加工	226
10.2.8	微细等离子体加工	228
10.3	纳米电子技术	229
第 11 章 金属表面再制造技术		231
11.1	概述	232
11.2	装备再制造技术	234
11.2.1	微纳米表面工程技术	234
11.2.2	材料制备与成形一体化技术	238
11.2.3	再制造快速成形技术	241
11.2.4	修复热处理技术	243
11.3	自修复技术	247
11.4	装备再制造的工程应用	250
11.4.1	装备车辆发动机再制造	250
11.4.2	装甲装备再制造	252
11.4.3	旧机床再制造	255
第 12 章 先进特种表面处理技术		257
12.1	物理、化学气相沉积技术	258
12.1.1	物理气相沉积的过程及特点	258
12.1.2	真空蒸发镀膜	259
12.1.3	溅射镀膜	266
12.1.4	离子镀膜	270
12.1.5	化学气相沉积	276
12.2	激光表面处理技术	278
12.3	离子注入	281
第 13 章 金属表面复合处理技术		285
13.1	概述	286
13.2	热处理与表面形变强化复合处理技术	286
13.3	镀覆层与热处理复合处理技术	287
13.4	电镀(镀覆层)与化学热处理复合处理技术	288
13.5	复合镀	289
13.6	表面热处理与表面化学热处理复合处理技术	290
13.7	表面复合化学热处理	291

13.8	热喷涂与喷丸复合处理技术	292
13.9	堆焊与激光表面处理复合处理技术	292
13.10	激光增强电镀与电沉积复合处理技术	293
13.11	化学热处理与气相沉积复合处理技术	294
13.12	等离子喷涂与激光技术复合处理技术	295
第14章 金属表面处理技术禁忌		297
14.1	金属电镀技术禁忌	298
14.1.1	电镀预处理禁忌	298
14.1.2	电镀单质金属禁忌	301
14.1.3	特种电镀禁忌	302
14.2	金属转化膜禁忌	303
14.2.1	预处理禁忌	303
14.2.2	化学氧化禁忌	305
14.2.3	磷化处理禁忌	305
14.2.4	钝化禁忌	306
14.2.5	阳极氧化禁忌	306
14.2.6	着色禁忌	307
14.3	金属涂装禁忌	308
14.3.1	涂装预处理禁忌	308
14.3.2	电泳涂装工艺禁忌	309
14.3.3	电泳涂装设备禁忌	310
14.3.4	涂装安全和环保的禁忌	311
14.4	金属热喷涂禁忌	311
14.4.1	火焰喷涂及重熔禁忌	311
14.4.2	电弧喷涂禁忌	316
14.4.3	粉末等离子弧喷焊禁忌	318
14.5	金属热扩渗禁忌	321
14.5.1	固体热扩渗禁忌	322
14.5.2	液体热扩渗禁忌	323
14.5.3	气体热扩渗禁忌	325
14.5.4	热扩渗膜层试样制备禁忌	325
14.5.5	典型工件渗硼禁忌	326
14.5.6	热扩渗膜层检测禁忌	326
第15章 表面分析与覆盖层性能检测技术		327
15.1	表面分析技术	328
15.2	覆盖层常规性能检测	335
15.3	覆盖层功能性能检测	339
15.3.1	覆盖层耐蚀性能检测	339

15.3.2 覆盖层耐磨性能检测	342
15.3.3 覆盖层热性能检测	344
15.3.4 覆盖层结合强度的检测	345
参考文献	347

第1章

绪 论



【学习目标】

- 掌握表面工程技术的含义、特征、体系及分类。
- 熟悉金属表面处理技术在材料科学与工程中和在腐蚀与防护中的应用。
- 了解金属表面处理技术今后的发展方向和发展前景。



【导入案例】

众所周知，所有物体都不可避免地与环境相接触，而真正与环境接触的是物体的表面。长期以来，人们认识到一旦使用的产品、零件等发生表面材料的损耗和流失，就会引起几何尺寸的改变和使用性能的破坏，进而降低其使用寿命，甚至不能完成正常的工作。例如各种机械设备的零部件，它们在使用过程中经常发生腐蚀、磨损、氧化等，其表面首先发生破坏，会引起整个零部件的失效，造成巨大的经济损失。据统计，世界钢产量的1/10由于腐蚀而损失，机电产品制造和使用中大约1/3的能源直接消耗于摩擦磨损。因此，提高产品的性能就需要从延缓和控制其表面失效着手。

表面工程是改善机械零件、电子电器元件等基体材料表面性能的一门学科。它是将材料表面与基体一起作为一个系统进行设计，利用各种物理、化学或机械等方法和技术，使材料表面获得具有与基体不同性能的系统工程。表面工程既可对材料表面改性，制备各种性能的涂层、镀层、渗层等覆盖层，成倍地延长零部件的寿命，又可对废旧零部件进行修复，还可用来制备新材料。目前表面工程已成为绿色再制造工程的关键技术之一。轴表面严重磨损和表面着色的装饰工艺品如图1-1所示。

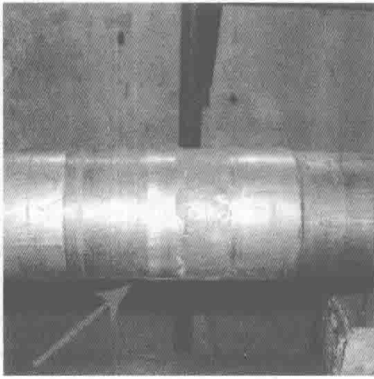


图 1-1 轴表面严重磨损和表面着色的装饰工艺品

1.1 表面工程技术概述

1. 表面工程技术的定义

表面工程是对表面进行预处理后,通过表面涂覆、表面改性、多种表面技术复合处理,改变固体金属表面或非金属表面的化学成分、组织结构和应力状况,以获得所需表面性能的系统工程。从科学系统的角度分析,表面工程主要研究的是材料表面和界面的结构特征、物理、化学、力学行为与性能,表面改性或重构的机制与相应的工艺手段;从工程上分析,基于零件的服役条件与性能要求,表面工程的功能是分析材料表面的失效形式与机制,设计出新的材料表面及应用相关的表面技术并加以实施,从而获得具有良好使用性能的新的表面。

表面工程是应用各种镀覆层技术、表面改性技术等来提高产品和零件的质量,延长其使用寿命的系统工程。表面工程技术是运用各种物理化学或机械的方法,改变基材表面的形态、化学成分、组织结构或应力状态而使其具有某种特殊的性能,从而满足零部件特定的使用要求。表面工程是近代技术与经典表面工艺相结合而繁衍发展起来的,既有坚实的科学基础,又具有明显的交叉、边缘学科的性质和极强的实用性。表面工程在实际应用中越来越彰显出巨大的作用。石油化工设备阀体热喷涂零部件如图 1-2 所示。

2. 表面工程技术的特征

1) 在不改变零件整体材质的前提下,赋予了表面基材材料不具备的特殊性能。

2) 可以实现多种基材与镀覆层的组合。基材可以是金属、有机材料、无机材料等,镀覆层可

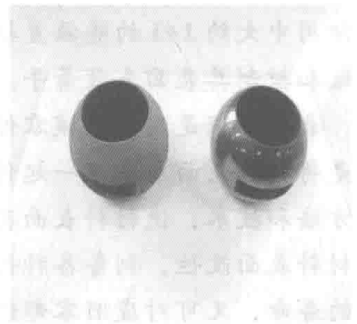


图 1-2 石油化工设备阀体热喷涂零部件

以是金属、合金、高分子、陶瓷、非晶态等构成的单一或复合材料。

3) 可对磨损、腐蚀破坏的零件进行再制造,从而达到节约能源、降低损耗、保护环境的目的。

1.2 表面工程技术体系

表面工程是由多学科交叉、综合发展起来的新兴学科,它以“表面”为研究核心,在相关学科理论的基础上,根据零件表面的失效机制,以应用各种表面工程技术及其复合为特色,逐步形成了与其他学科密切相关的表面工程基础理论。表面工程包括表面科学、表面应用基础理论、表面工程技术、表面工程的应用、表面质量的检测与控制、表面工程的技术设计等。

1.3 表面工程技术的分类

表面工程技术的种类很多,应用范围各异,从不同的角度观察和分析,可以把表面工程技术按照如下方法进行分类:

1. 按学科特点进行分类

(1) 表面涂镀技术 表面涂镀技术是指将液态涂料涂覆在材料表面,或者将镀料原子沉积在材料表面,从而形成涂层或镀层的技术。典型的表面涂镀技术包括热喷涂、堆焊、电镀、化学镀、气相沉积和涂装等技术。

(2) 表面改性技术 表面改性技术是利用热处理、机械处理、离子处理和化学处理等方法,改变材料表层的成分及性能的技术。常用的表面改性技术包括热扩渗、转化膜、表面合金化、离子注入和喷丸强化等技术。

(3) 表面薄膜技术 表面薄膜技术是采用各种方法在工件(或衬底)表面上沉积厚度为 $100\text{nm}\sim 1\mu\text{m}$ 或数微米厚薄膜的技术。按技术特点可以将薄膜分为光学薄膜、微电子学薄膜、光电子学薄膜、集成光学薄膜、信息存储薄膜和保护功能薄膜六大类;按膜层组成则可将薄膜分为金属膜、合金膜、有机化合物膜、陶瓷膜等,其制备方法主要是气相沉积。

2. 按表面化学成分是否改变进行分类

(1) 表面化学成分改变 在改变表面化学成分的同时,也改变了表面的组织结构,从而使表面拥有了不同的性能。

1) 表面有镀覆层。通过涂装、贴片、包箔、电镀、化学镀、气相沉积、熔覆、热喷涂、热浸镀、堆焊等表面覆层的方法,在基体表面形成一层或数层有一定厚度的且与基体不同的材料,获得化学成分、组织结构及性能有别于基体的表面镀覆层。

2) 表面无附加覆层。利用阳极氧化、化学热处理、表面合金化、离子注入等表面改性的方法,使所需的原子(或离子)进入基体表面,达到改变基体表面化学成分、相结构以及性能的目的。

(2) 表面化学成分不改变 保持原材料表面的化学成分不变,通过表面淬火、喷丸、滚压、重熔等方法改变表面的组织结构,进而改善或提高表面的使用性能。

3. 按表面覆层的种类分类

(1) 表面无覆层 通过化学预处理、精整、机械强化等,不改变基体表面的化学成分,只改变其表面形态、应力状态和组织结构等。

(2) 表面金属覆层 利用电镀、化学镀、热喷涂、热浸镀、熔镀、气相沉积、表面合金化等,在基体表面形成金属、合金和金属基复合层。

(3) 表面有机覆层 使用涂装等方法,在基体表面涂覆涂料、橡胶、塑料和柏油涂层等。

(4) 表面无机覆层 借助热喷涂、熔烧、烘烤等方法,在基体表面涂覆搪瓷、玻璃、陶瓷和水泥涂层等。

(5) 表面化学转化层 通过电化学、化学处理,在钢铁或锌、铝、镁、钛金属或合金表面形成氧化物、磷酸盐、铬酸盐、草酸盐膜层等。

4. 按作用机制分类

(1) 原子沉积 原子沉积是沉积物质以原子、离子、分子和粒子团等原子尺度粒子形态在材料表面构成外加镀覆层,包括电镀、化学镀、气相沉积等。

(2) 颗粒沉积 颗粒沉积是沉积物质以宏观颗粒的形态在材料表面形成覆盖层,包括热喷涂、搪瓷涂覆等。

(3) 整体覆盖 整体覆盖是将覆盖材料均匀涂覆于材料的工作表面,包括热浸镀、贴片、涂装、堆焊等。

(4) 表面改性 表面改性是利用物理、化学、机械等方法改变材料表面的结构和性能,包括电化学转化、表面处理、化学热处理、离子注入、喷丸等。

5. 按工艺方法特点分类

(1) 电化学法 利用电极反应在材料基体表面形成镀覆层,如电镀、电刷镀、阳极氧化等。

(2) 化学方法 利用化学物质的相互作用和转化,在基体表面形成镀覆层,如化学镀、化学转化等。

(3) 热加工法 在高温下将材料熔融或热扩散,在基体表面形成涂渗层,如热喷涂、热浸镀、堆焊、熔覆、表面合金化等。

(4) 高真空法 利用材料在高真空条件下汽化、受激离子化而形成表面镀覆层,如真空蒸镀、离子镀、溅射镀等。

6. 按表面层功能特性分类

(1) 装饰 表面具有不同的色泽、花纹等,美化材料的外观,增加视觉欣赏性。

(2) 耐磨减摩 表面耐磨粒磨损、黏着磨损、腐蚀磨损等,抗擦伤咬死,减摩自润滑,可磨耗密封等。

(3) 耐腐蚀 耐大气、海水、土壤、化学介质浸渍腐蚀等。

(4) 耐热及热功能 耐热、抗高温氧化、抗热疲劳、热绝缘、热辐射等。

(5) 光、电、磁等特种功能 光、电、磁、透光、反光、消光、导电、超导、绝缘、半导体、软磁、硬磁、磁光等。

(6) 其他 吸波、红外反射、太阳能吸收、屏蔽、焊接性、热加工、修复、催化、生物功能等。

1.4 表面工程技术的应用

表面工程技术以其高度的实用性以及优质、高效、低耗等特点,在制造业和维修中占领了日益广泛的市场,其应用已经遍布各行各业,几乎有表面的地方就离不开表面工程技术。表面工程技术可以用于耐蚀、耐磨、修复、强化和装饰等各个方面,也可以用于光、电、磁、声、热、化学和生物等方面,所使用的基体材料可以是金属材料,也可以是无机非金属材料、有机高分子材料及复合材料。

1.4.1 表面工程技术在材料科学与工程中的应用

1. 减缓和消除金属材料表面的变化和损伤

在自然界和工程实践中,金属机器设备和零部件需要承受各种外界负荷,并产生形式多样、程度不一的表面变化及损伤。机械加工后表面受到损伤的轴如图1-3所示。工程材料和零部件的表面往往存在微观缺陷或宏观缺陷,表面缺陷处成为降低材料力学性能、耐蚀性及耐磨性的发源地。使用表面技术减缓材料表面变化及损伤,掩盖表面缺陷,可以提高工程材料和零部件使用的可靠性,延长服役寿命。



图1-3 机械加工后表面受到损伤的轴

2. 获得具有特殊功能的表面

使用表面技术在普通廉价的材料表面获得某些稀有贵金属(如金、铂、钼等)和战略元素(如镍、钴、铬等)具有的特殊性能,从而可以节约这些贵重金属材料。例如:在Cu中加

入 Cr 可以提高铜的耐蚀性；用激光表面合金化工艺可以在 Cu 表面获得摩尔分数为 8%、厚约 240nm 的表面合金层，使耐蚀性大大提高；使用离子注入技术在 Cu 中注入 Cr^+ 、 Ta^+ 可以提高 Cu 在 H_2S 气氛中的耐蚀性。着色后的铝合金零部件如图 1-4 所示。

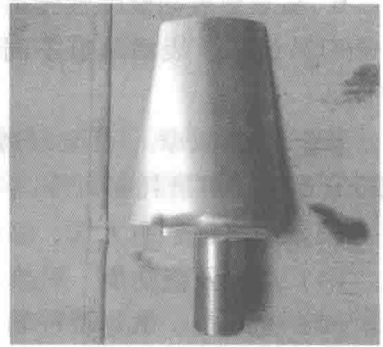


图 1-4 着色后的铝合金零部件

3. 节约能源，降低成本，改善环境

使用表面工程技术在工件表面制备具有优良性能的涂层，可以达到提高热效率、降低能源消耗的目的。例如：热工设备和在高温环境中使用的部件，在表面涂镀隔热涂层，可以实现较小的热量损失，节省燃料。用先进环保的表面技术代替污染严重的技术，可以改善作业环境，达到国家规定的环保要求。智能换热机组热工设备表面隔热涂层如图 1-5 所示。

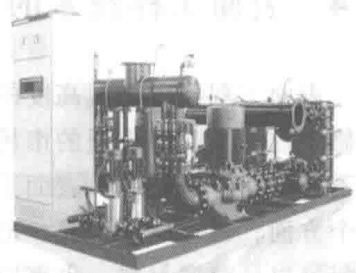


图 1-5 智能换热机组热工设备表面隔热涂层

4. 再制造工程不可缺少的手段

再制造工程是对因磨损、腐蚀、疲劳、断裂等原因造成的重要零部件的局部失效部位，采用先进的表面工程技术，优质、高效、低成本、少污染地恢复其尺寸并改善其性能的系统性的技术工作。显然，再制造工程可以大量地减少因购置新品、库存备件和管理以及停机等所造成的对能源、原材料和经费的浪费，并极大地降低了环境污染及废物的处理量。因此，再制造工程已经迅速发展成为一门新兴的学科。表面受损的轴进行再制造刷镀如图 1-6 所示。

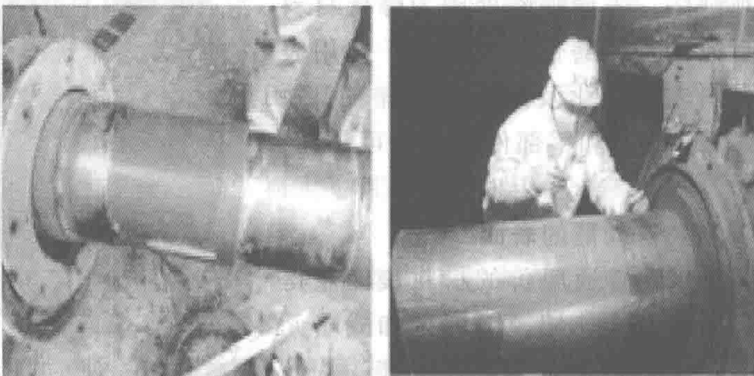


图 1-6 表面受损的轴进行再制造刷镀