

防 腐 蚀 工 程 师 必 读 丛 书

表面工程技术 和缓蚀剂

李金桂 郑家荣 编著

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

防 腐 蚀 工 程 师 必 读 丛 书

- ★《腐蚀和腐蚀控制原理》（林玉珍、杨德钧）
- ★《工程材料及其耐蚀性》（左禹、熊金平）
- ★《表面工程技术和缓蚀剂》（李金桂、郑家荣）
- ★《阴极保护和阳极保护——原理、技术及工程应用》（吴荫顺、曹备）
- ★《防腐蚀涂料与涂装》（高瑾、米琪）
- ★《腐蚀试验方法及监测技术》（李久青、杜翠薇）

责任编辑：任翠霞
责任校对：张小宏
封面设计：叶 涛

ISBN 978-7-80229-256-7



9 787802 292567 >

定价：48.00 元

防腐蚀工程师必读丛书

表面工程技术和缓蚀剂

李金桂 郑家荣 编著

中国石化出版社

内 容 提 要

《表面工程技术和缓蚀剂》为《防腐蚀工程师必读丛书》之一,由中国腐蚀与防护学会组织专家编写。全书分两篇,第1篇表面工程技术,全面介绍了表面工程科学内涵与发展,表面工程技术所涉及的内容以及电镀、热喷镀、热浸镀、热扩散渗入、表面转化改性等具体工艺技术;第2篇缓蚀剂,介绍了缓蚀剂的作用机理、试验方法,酸性、碱性、中性、油溶性和气相介质缓蚀剂及其在工业上的应用。

本书可作为防腐蚀工程师技术资格认证培训教材,也可供从事腐蚀和防护专业的技术人员以及相关专业的高等院校师生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

表面工程技术和缓蚀剂/李金桂,郑家荣编著.

—北京:中国石化出版社,2007

(防腐蚀工程师必读丛书)

ISBN 978-7-80229-256-7

I. 表… II. ①李…②郑… III. ①金属表面处理
②缓蚀剂 IV. TG17 TQ050.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 027831 号

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com.cn

中国石化出版社图文中心排版

河北天普润印刷厂印刷

全国各地新华书店经销

*

787×1092 毫米 16 开本 23.5 印张 582 千字

2007 年 5 月第 1 版 2007 年 5 月第 1 次印刷

定价:48.00 元

《防腐蚀工程师必读丛书》 编写委员会

名誉主任委员	柯 伟					
主 任 委 员	吴荫顺					
副 主 任 委 员	左 禹	李金桂	杨德钧	赵 怡		
委 员	左 禹	米 琪	李久青	李金桂	吴荫顺	
	杜翠薇	杨德钧	林玉珍	郑家桢	高 瑾	
	曹 备	熊金平				

序

金属材料在自然条件或工况条件下，由于与其所处环境介质发生化学或电化学作用而引起的退化和破坏，这种现象称为腐蚀，其中也包括上述因素与力学因素或生物因素的共同作用。某种物理作用(例如金属材料在某些液态金属中的物理溶解现象)也可以归入金属腐蚀范畴。

腐蚀问题遍及各个部门及行业，对国民经济发展、人类生活和社会环境产生了巨大危害。据统计，各国由于腐蚀破坏造成的年度经济损失约占当年国民经济生产总值的 1.5% ~ 4.2%，随各国不同的经济发达程度和腐蚀控制水平而异。根据《中国腐蚀调查报告》的资料，我国近年来的年腐蚀损失约为 5000 亿元(约占国民经济生产总值的 5%)，这是一个十分惊人的经济损失数字。除了腐蚀的经济性问题之外，腐蚀过程和结果实际上也是对地球上有限资源和能源的极大浪费，对自然环境的严重污染，对正常工业生产和人们生活的重大干扰，并给人们带来不可忽视的社会安全性问题。腐蚀问题还可成为阻碍高新技术发展和国民经济持续发展的重要制约因素。

腐蚀与防护是一个很重要的学科，它涉及许多对国民经济发展有着重要影响的行业。普遍地、正确地选用适当的腐蚀控制技术和方法，可以防止或减缓腐蚀破坏，最大程度地减轻可能由腐蚀造成的经济损失和社会危害。一般认为，只要充分利用现有的腐蚀控制技术，就可使腐蚀损失降低(挽回)25% ~ 30%。采用适当的腐蚀控制措施和预防对策，其能够达到的目标是：可以保障公共安全，防止工业设备损伤破坏，保护环境，节约资源能源，以及挽回数以百亿、千亿元的腐蚀损失。

腐蚀结果表现为多种不同的类型，在不同条件下引起金属腐蚀的原因不尽相同，而且影响因素也非常复杂。因此，根据不同的金属/介质体系和不同的工况条件，迄今已发展出多种有效的防腐蚀技术(腐蚀控制措施)，内容非常丰富。每一种防腐蚀技术都有其适用范围和条件，只要掌握了它们的原理、技术和工程应用条件，就可以获得令人满意的防腐蚀效果。对国民经济建设的贡献将是巨大的。

当前，随着国民经济的迅速发展，我国腐蚀科学和防腐蚀工程技术领域迎来了又一个春天。防腐蚀市场的发展和巨大需求，给腐蚀科学和防腐蚀工程业界的广大科研人员和工程技术人员带来了极大的机遇。为和腐蚀作斗争，满足国民经济的巨大需求，就需要拥有大量高水平的科技人才和一支很大的防腐蚀从业人员队伍。在开展腐蚀科学研究、发展和推广应用防腐蚀技术、精心实施防腐蚀工程项目的同时，我们还应高度重视防腐蚀教育工作，培养一大批合格的、能满足国民经济需要的各类人才。

中国腐蚀与防护学会经国家主管部门授权, 试点开展防腐蚀工程师(系列)技术资格认证工作。同时, 对需要提高腐蚀与防护专业知识水平的人员, 中国腐蚀与防护学会将组织专业培训和考试。为此中国腐蚀与防护学会组织编写了《防腐蚀工程师技术资格认证考试指南》(中国石化出版社出版, 2005 年 1 月)。为了适应防腐蚀工程师(系列)技术资格认证工作的需求, 以及满足腐蚀学科与防腐蚀行业的科研人员和工程技术人员进一步学习的需要, 中国腐蚀与防护学会和中国石化出版社又共同组织编写了一套《防腐蚀工程师必读丛书》。这套丛书包括《腐蚀和腐蚀控制原理》(林玉珍、杨德钧)、《工程材料及其耐蚀性》(左禹、熊金平)、《表面工程技术和缓蚀剂》(李金桂、郑家荣)、《阴极保护和阳极保护——原理、技术及工程应用》(吴荫顺、曹备)、《防腐蚀涂料与涂装》(高瑾、米琪)、《腐蚀试验方法及监测技术》(李久青、杜翠薇)共 6 册。在编写过程中, 力求理论联系实际, 深入浅出, 通俗易懂, 便于自学, 尽可能结合防腐蚀工程案例, 使它们既可用作技术资格认证培训的教学参考书, 也可作为广大科技工作者的科技参考书。

丛书编委会由中国腐蚀与防护学会邀请本学科、本行业的专家教授组成。由于时间短促和限于作者水平, 书中缺点错误在所难免, 敬请广大读者指正; 当然, 作者和编委会努力将缺点错误减至最少。我们期望这套丛书对感兴趣的读者有所裨益, 对我国的国民经济建设能有所贡献。

《防腐蚀工程师必读丛书》

编写委员会

前 言

材料的腐蚀问题遍及国民经济和国防建设的各个领域，造成巨大的经济损失和资源浪费。研究它们并加以控制，这是腐蚀科学的问题；而腐蚀往往从表面开始，涉及方方面面，要真正防止腐蚀，则需要从设计、制造、使用、维护维修以及材料、表面防护等方面入手，这是腐蚀控制系统工程学的问题；而要获得防止腐蚀、减少摩擦磨损、表面装饰或声光磁电的转换等特种功能与作用，这又是 20 世纪末发展起来的表面工程学的问题。表面工程学不但能预防或控制腐蚀，还具有其他三个方面的功能作用：(1)控制摩擦，减少磨蚀、磨损；(2)表面装饰；(3)导电、导热、吸附、黏结、反光以及声光磁电的转换等。起这些作用的表面层不可避免地受到周围环境和工件环境的侵蚀，需要腐蚀科学、腐蚀控制系统工程学者加以研究。可见，作为一个防腐蚀工程师，既要学习腐蚀科学、腐蚀控制系统工程学理论，又要学习表面工程学中防腐蚀技术、工艺的相关内容。

腐蚀科学是研究材料在环境(周围环境和工况环境)作用下的破坏和变质及其控制的科学。腐蚀的必要条件是侵蚀环境和材料的相互作用，缺任何一种腐蚀都不会发生。如果在侵蚀环境中加入缓蚀剂，使其失去或减缓侵蚀能力，或是在材料表面加上防腐蚀镀覆层，使其能耐蚀，这样，就可以预防或控制腐蚀。本书就是本着这个意义进行编写的，即在哪些环境条件下，添加哪一些缓蚀剂，能显著地降低环境的侵蚀能力；而又采取哪些表面工程技术，能在哪些环境下，提高材料的耐蚀能力；或在哪些环境中使用的哪类材料，应当选择哪些涂、镀、膜层。相信读者读后会有所收益。

按编著者商定，缓蚀剂部分由郑家桑负责；全书的构思、表面工程技术部分和统稿由李金桂负责。由于编著者水平有限，疏漏谬误之处在所难免，恳请读者批评指正。

编著者

目 录

第1篇 表面工程技术

第1章 绪论	(1)
1.1 引言	(1)
1.2 表面工程技术	(2)
1.2.1 表面转化改性技术	(2)
1.2.2 薄膜技术	(4)
1.2.3 涂镀层技术	(5)
1.3 表面工程技术的应用	(6)
1.4 表面工程学	(8)
1.4.1 现代表面工程技术分类的分析	(8)
1.4.2 表面工程学的形成	(9)
1.4.3 现代化表面工程设计	(9)
1.5 表面工程技术的新进展	(12)
1.5.1 表面工程工艺技术的近代发展	(12)
1.5.2 激光表面改性	(12)
1.5.3 电子束表面改性	(14)
1.5.4 离子注入	(15)
1.5.5 化学气相沉积	(17)
1.5.6 物理气相沉积	(21)
1.5.7 电火花沉积和摩擦表面沉积工艺	(25)
参考文献	(26)
第2章 表面预处理	(28)
2.1 概述	(28)
2.1.1 表面预处理的目与作	(28)
2.1.2 基材表面预处理的发展	(29)
2.1.3 表面预处理的分类	(29)
2.1.4 表面预处理方法的选用	(31)
2.1.5 表面预处理的发展方向	(31)
2.2 表面机械清理	(32)
2.3 化学、电化学除锈	(33)
2.3.1 锈蚀的特征及鉴别	(33)
2.3.2 腐蚀产物的去除	(36)

2.4 表面精整	(45)
2.4.1 磨光	(45)
2.4.2 抛光	(45)
2.4.3 滚光及其他光饰	(46)
2.5 表面清洗	(46)
2.5.1 碱液清洗	(46)
2.5.2 酸性清洗	(47)
2.5.3 电化学清洗	(47)
2.5.4 有机溶剂清洗	(48)
2.5.5 水基清洗剂清洗	(48)
2.6 表面特殊处理	(49)
参考文献	(50)
第3章 电镀	(51)
3.1 概述	(51)
3.2 电镀理论	(52)
3.2.1 基础知识	(52)
3.2.2 电镀原理	(54)
3.2.3 电解定律	(54)
3.3 常用单金属电镀	(55)
3.3.1 锌镀层	(55)
3.3.2 镉镀层	(56)
3.3.3 铜镀层	(59)
3.3.4 镍镀层	(59)
3.3.5 铬镀层	(61)
3.3.6 铅镀层	(63)
3.3.7 锡镀层	(63)
3.3.8 银镀层	(64)
3.3.9 金镀层和硬金镀层	(65)
3.3.10 钯镀层	(66)
3.3.11 铑镀层	(66)
3.4 合金镀层	(66)
3.4.1 铜-锌合金镀层	(66)
3.4.2 铜-锡合金镀层	(67)
3.4.3 铅-锡合金镀层	(68)
3.4.4 镉-钛镀层	(68)
3.4.5 镍-镉扩散镀层	(69)
3.5 化学镀层	(69)
3.6 复合镀层	(73)
3.6.1 耐磨复合镀层	(74)

3.6.2 抗氧化复合镀层	(76)
3.6.3 自润滑复合镀层	(76)
3.7 电刷镀层	(77)
3.8 展望	(80)
3.8.1 发展先进的电镀技术	(80)
3.8.2 采用新设备、用微机控制	(81)
3.8.3 采用新工艺、实现清洁生产	(81)
参考文献	(84)
第4章 热喷涂	(86)
4.1 热喷涂技术原理	(86)
4.1.1 火焰喷涂	(86)
4.1.2 电弧喷涂	(87)
4.1.3 等离子喷涂	(89)
4.1.4 气体爆燃式喷涂	(91)
4.1.5 超音速火焰喷涂	(92)
4.1.6 激光喷涂	(93)
4.2 耐腐蚀涂层	(96)
4.2.1 金属涂层	(97)
4.2.2 金属-非金属复合涂层	(102)
4.3 抗高温氧化涂层	(102)
4.3.1 搪瓷涂层	(103)
4.3.2 镍-铬合金涂层	(103)
4.3.3 MCrAlYX 合金涂层	(103)
4.3.4 自黏结材料涂层	(104)
4.4 耐磨涂层	(105)
4.4.1 耐撞击磨损涂层	(105)
4.4.2 耐微动磨损涂层	(105)
4.4.3 耐黏着磨损涂层	(105)
4.4.4 耐磨粒磨损涂层	(106)
4.5 封严涂层	(106)
4.5.1 可磨耗封严涂层	(106)
4.5.2 磨料封严涂层	(107)
4.6 热障涂层	(108)
4.6.1 氧化铝涂层	(108)
4.6.2 氧化锆涂层	(109)
4.7 尺寸恢复涂层	(110)
4.8 热喷涂层的设计和选择	(113)
4.8.1 根据使用要求设计无机涂层	(113)

4.8.2 喷涂工艺的选择原则	(116)
4.8.3 喷涂材料的选用原则	(116)
参考文献	(118)
第5章 热浸镀	(120)
5.1 概述	(120)
5.2 热浸镀锌	(120)
5.2.1 热浸镀锌层的耐大气腐蚀性能	(120)
5.2.2 热浸镀锌层在水中的耐蚀性	(122)
5.2.3 热浸镀锌层在土壤及建筑材料中的耐蚀性	(122)
5.3 热浸镀铝	(123)
5.3.1 热浸镀铝的耐蚀性	(123)
5.3.2 热浸镀铝的耐热性	(125)
5.4 热浸镀锌铝合金	(125)
5.4.1 热浸镀锌铝合金盐雾腐蚀试验	(125)
5.4.2 热浸镀锌铝合金的大气暴晒试验	(126)
5.4.3 热浸镀锌铝合金镀层钢板的用途	(126)
5.5 热浸镀铅和镀锡	(127)
5.6 热浸镀层产品标准编号	(128)
5.6.1 我国国家热镀锌、铝产品标准	(128)
5.6.2 美国热镀锌、铝产品标准	(129)
5.6.3 日本热镀锌、铝产品标准	(130)
5.6.4 热镀锌-铝合金镀层产品	(130)
5.6.5 热镀铅和热镀锡产品	(130)
参考文献	(131)
第6章 表面转化改性技术	(132)
6.1 金属表面的化学转化膜	(132)
6.1.1 化学转化膜的形成及其分类	(132)
6.1.2 化学转化膜的物理性能和防护性能	(134)
6.1.3 化学转化膜的用途	(135)
6.2 金属表面的化学转化	(135)
6.2.1 金属表面的化学氧化	(135)
6.2.2 金属表面的磷化	(140)
6.2.3 金属表面的钝化	(145)
6.2.4 金属表面的草酸盐处理	(146)
6.2.5 金属表面着色	(147)
6.3 金属表面的电化学氧化技术	(148)
6.3.1 铝和铝合金的阳极化	(148)
6.3.2 镁合金的阳极化	(156)

6.3.3 钛合金的阳极化	(157)
6.3.4 铜和铜合金的阳极化	(157)
6.3.5 硅、锗、钽和锆的阳极化	(158)
6.4 金属表面热处理硬化	(159)
6.4.1 感应加热表面淬火	(159)
6.4.2 激光表面相变硬化	(161)
6.5 金属表面形变强化	(162)
6.5.1 喷丸强化	(162)
6.5.2 孔挤压强化工艺	(166)
6.6 展望	(167)
参考文献	(168)
第7章 表面扩散渗入技术	(170)
7.1 表面扩散渗入原理	(170)
7.1.1 表面扩散渗入定义和特点	(170)
7.1.2 表面扩散原理	(170)
7.1.3 表面可渗入元素和作用	(171)
7.2 钢铁表面渗金属	(172)
7.2.1 渗锌层	(172)
7.2.2 渗铝层	(173)
7.2.3 渗铬层	(175)
7.2.4 渗硅层	(176)
7.2.5 渗硼层	(177)
7.2.6 渗铍层	(178)
7.2.7 渗锡层	(179)
7.2.8 渗钼层	(179)
7.2.9 渗钒层	(180)
7.3 钢铁表面二元和三元共渗层	(180)
7.4 钢铁表面上的碳氮渗层	(183)
7.4.1 铁和钢的渗碳层	(183)
7.4.2 铁和钢的渗氮层	(185)
7.4.3 碳氮共渗层与氮碳共渗层	(187)
参考文献	(189)

第2篇 缓 蚀 剂

第8章 缓蚀剂作用机理	(191)
8.1 概述	(191)
8.1.1 缓蚀剂的定义	(191)
8.1.2 缓蚀作用和缓蚀效率	(191)

8.1.3	缓蚀剂的分类	(191)
8.1.4	缓蚀剂的选用原则和影响因素	(194)
8.2	缓蚀剂的缓蚀作用原理	(195)
8.2.1	无机缓蚀剂的缓蚀作用原理	(196)
8.2.2	有机缓蚀剂的缓蚀作用原理	(200)
8.2.3	缓蚀剂的协同作用效应(原理)	(216)
8.2.4	缓蚀剂对电化学反应动力学的影响	(220)
8.2.5	缓蚀剂的过电位理论	(223)
8.2.6	有机缓蚀剂的覆盖效应和负催化效应	(224)
8.3	缓蚀剂的研究试验方法	(226)
8.3.1	质量损失法	(226)
8.3.2	电化学方法	(228)
8.3.3	防锈材料性能评价试验方法	(235)
8.3.4	气相防锈材料性能评价试验方法	(238)
8.3.5	缓蚀剂组成、结构的微观分析方法	(240)
第9章	酸、碱性介质缓蚀剂	(245)
9.1	酸性介质缓蚀剂	(245)
9.2	无机酸类缓蚀剂	(247)
9.2.1	硫酸溶液缓蚀剂	(247)
9.2.2	盐酸溶液缓蚀剂	(249)
9.2.3	硝酸溶液缓蚀剂	(252)
9.2.4	氢氟酸溶液缓蚀剂	(253)
9.2.5	磷酸溶液缓蚀剂	(254)
9.2.6	氨基磺酸溶液缓蚀剂	(255)
9.2.7	硫化氢的腐蚀机理及其缓蚀剂	(255)
9.2.8	二氧化碳腐蚀机理和缓蚀剂	(258)
9.3	有机酸类缓蚀剂	(262)
9.3.1	甲酸缓蚀剂	(262)
9.3.2	乙酸缓蚀剂	(262)
9.3.3	柠檬酸缓蚀剂	(262)
9.3.4	乙二胺四乙酸缓蚀剂	(263)
9.4	酸性介质缓蚀剂在工业中的应用	(265)
9.4.1	石油化工生产中使用的缓蚀剂	(265)
9.4.2	冶金、机械和电力工业使用的酸洗缓蚀剂	(274)
9.5	碱性介质缓蚀剂	(279)
9.5.1	铝的缓蚀剂	(279)
9.5.2	锌、铅腐蚀与缓蚀剂	(282)
9.5.3	铜、银腐蚀与缓蚀剂	(284)

第 10 章 中性介质缓蚀剂	(287)
10.1 中性介质溶液类型	(287)
10.2 油田污水腐蚀与缓蚀剂	(287)
10.2.1 油田污水中常见的腐蚀形式	(287)
10.2.2 油田污水缓蚀剂的研究和应用	(288)
10.2.3 杀菌剂在油田注水中的应用	(289)
10.3 工业冷却水系统的腐蚀及缓蚀剂	(290)
10.3.1 水资源与节约用水	(290)
10.3.2 冷却水系统中的腐蚀	(291)
10.3.3 工业循环冷却水缓蚀剂	(293)
10.3.4 复合冷却水缓蚀剂	(314)
10.3.5 工业循环冷却水缓蚀剂的选择原则	(315)
10.3.6 冷却水缓蚀剂的发展方向	(316)
10.3.7 冷却水缓蚀剂应用实例	(316)
10.4 中性盐类水溶液中使用的缓蚀剂	(317)
10.4.1 脂肪胺和酰胺类	(317)
10.4.2 烷氨基醇类	(318)
10.4.3 胍和 8-羟基喹啉	(319)
10.4.4 葡萄糖酸锌	(319)
10.5 中性有机溶液中使用的缓蚀剂	(321)
10.5.1 油-醇燃料用缓蚀剂	(321)
10.5.2 防冻液用缓蚀剂	(322)
10.5.3 液态烃中的缓蚀剂	(325)
10.5.4 醇与苯酚介质中的缓蚀剂	(325)
10.5.5 卤代烃中和三氯化铝的苯溶液中的缓蚀剂	(326)
10.6 涂料缓蚀剂和钢筋混凝土缓蚀剂	(329)
10.6.1 涂料缓蚀剂	(329)
10.6.2 钢筋混凝土缓蚀剂	(333)
10.7 油溶性缓蚀剂和气相缓蚀剂	(339)
10.7.1 油溶性缓蚀剂	(339)
10.7.2 防锈油脂	(344)
10.7.3 气相缓蚀剂和防锈包装材料	(349)
参考文献	(357)
附录 A 常用气相防锈纸的配方、适用对象及效果	(358)
附录 B 气相防锈薄膜和气相防锈油配方及用途	(360)

第 1 篇 表面工程技术

第 1 章 绪 论

1.1 引言

表面工程是将材料表面与基体一起作为一个系统进行设计、制造,利用表面工程技术(包括表面转化技术、薄膜技术和涂、镀层技术三大领域),使材料表面获得材料本身原本没有而又希望拥有的性能的系统工程。它能使材料表面获得预防腐蚀、调整摩擦磨损(增加润滑,降低摩擦磨损)、美化装饰和其他特种功能(例如,声、光、磁、电的转换)的能力,极大地提高各种产品和各种建设工程项目抵抗环境(运行环境和自然环境)侵蚀的作用、美化装饰的作用,或赋予表面特殊需要的物理、化学或微电子方面的特种功能。其目的在于:充分发挥材料的使用潜力;节约资源、能源,维护和支持国家可持续发展战略;提高产品高技术含量,满足产品高技术性能要求;提高人们的生活质量;提高产品的可靠性、安全性,减少事故危害,延长使用寿命。

腐蚀科学是研究材料在环境作用下发生的退化、变质和控制腐蚀的一门边缘学科,表面工程技术可以作为腐蚀科学的分支,通过表面转化,薄膜或涂、镀层的施加,提高材料的防腐蚀能力。而且,材料制成零件后的表面如何改性,达到哪一种特殊功能,都不可避免地会受到所处运行环境和自然环境的侵蚀作用,所以,从腐蚀科学的观点出发,无论哪种产品或建设工程项目的表面(含界面)需要施加哪些功能的表面层,都要能经受环境的侵蚀,这些表面都要具有防腐蚀的能力。防腐蚀表面工程技术,特别关注了现代表面工程技术近 30 年来所发生的突飞猛进的进展,融入最新的腐蚀科学理论,全面阐述了已用于或将用于防止腐蚀的各种表面转化技术、涂镀层技术和薄膜技术,既有技术理论性,又有工程实用性;既能看到腐蚀学、表面工程学的发展,又可直接服务于指导国民经济建设项目中的腐蚀控制。

用以改变材料表面特性达到预防腐蚀目的的技术,可以追溯到古代,追溯到几千年前。三千多年前中国的大漆、二千多年前秦始皇墓中的青铜剑表面改性就是极好的例证。20 世纪 80 年代在秦始皇墓二号坑出土了 19 把青铜剑。这些神奇的剑,经过两千多年时光的考验,竟光亮如新、锋利如初,实在是一个奇迹。经分析,这是因为青铜剑表面有一层厚度约为 $10\mu\text{m}$ 的含铬的氧化层。这种氧化层使青铜剑在墓穴中,在长达两千多年的时间里,保护着青铜剑避免了腐蚀。这个事实表明采用表面防护层可以很好地防止或延缓腐蚀,这是一条行之有效、重要的技术措施。

21 世纪的表面技术,已经与古代的技术、甚至与二三十年前的技术不可同日而语。现代表面工程技术可以按照人们的设想改变物体的表面特性,获得一种全新的,与物体本身完全不同的特性,以适应人们对高科技发展的需求。中国的大漆、人工合成树脂组成的有机涂料、电镀、阳极化、钝化、火焰喷涂等随着科技学技术的进步也都在逐步地发展着;电子束、离子束、激光束以及等离子体技术于 20 世纪 60~70 年代进入表面加工技术领域,发挥了特有的作用,使表面加工技术发生了划时代的进步,既推动了许多工业部门的飞速发展,

又形成了自己的体系,出现了表面工程系统技术。为适应这种新的科技发展形势,欧洲热处理学会,1986年更名为欧洲热处理与表面工程学会,出版了第一本国际性的表面工程杂志。有关表面改性转化技术、薄膜技术、涂镀层技术、表面工程应用技术,像雨后春笋,蓬勃发展,国际上出现了表面工程研究热潮,表面工程技术成为20世纪80年代世界上十大关键技术之一。进入90年代,其发展势头更猛,各国竞相把表面工程技术列入研究发展规划,而且成为美国工程科学院向美国国会提出的21世纪的要加强发展的九大科学技术项目之一,所研究的范围,几乎涉及了国民经济的各个领域、各个工业部门。

20世纪80年代英格兰伯明翰大学教授汤姆·贝尔(Tom Bell)提出了表面工程的概念。他认为,表面工程是“将材料表面与基体一起作为一个系统进行设计和改性,以期获得材料表面与基体本身都不可能有的优异性能,其成本效益比是很高的。”这一论述十分精辟,它充分说明了表面、材料与性能之间的正确关系,表面技术和效益之间的关系,以及表面工程的科学意义。这一阐述可作为表面工程的经典定义。

2002年出版的《国防科技名词大典》收入了几十条有关表面科学与工程方面的词汇,在概念上给予了科学的界定,对于“表面工程”界定为“是将材料表面与基体一起作为一个系统进行设计,利用表面改性转化技术、薄膜技术和涂镀层技术,使材料表面获得材料本身没有而又希望具有的性能的系统工程。它是近代技术与经典表面工艺相结合、繁衍、发展起来的;它拥有坚实的科学理论基础,像表面界面理论、表面失效理论、腐蚀科学、摩擦科学等;它包括表面转化改性、薄膜、涂镀层材料与制备工艺、施涂与检测技术、表面组成与结构分析技术、表面性能测试技术、检验方法、标准、评价和质量保证与工艺过程控制等为形成新型表面和表面层工程化生产的成套技术。它可有效地改善和提高材料和产品的性能(耐蚀、耐磨、装饰性能),确保产品使用可靠和安全,延长使用寿命,或赋予材料和器件特殊的物理和化学性能,例如声光磁电的转换和存储性能,使电子器件多功能化和超小型化,有效地节约有限的资源和能源,减少环境污染,维护可持续发展。”

1.2 表面工程技术

表面工程技术包括三大技术:表面转化改性技术、薄膜技术和涂镀层技术。

1.2.1 表面转化改性技术

利用现代技术改变材料表面、亚表面层的成分、结构和性能的处理技术称为表面改性转化技术或表面转化技术,主要包括六大类(详见图1-1)。

(1) 表面形变强化。这是采用高速弹丸打击或挤压或辊压金属零件的表面,使其产生塑性变形,由此引起表层显微组织的变化,产生表层压应力,从而提高抗应力腐蚀和抗疲劳断裂的能力,改善和提高零件的可靠性和耐久性。这项技术已经在航空、航天、机械、纺织、汽车、铁道等工业中得到了广泛的应用,并作为这些行业设计人员的重要设计内容。

(2) 表面热流强化。这是采用近代技术(如激光束,电子束等)对金属零件的表面进行快速加热,然后快速冷却,使金属表面、亚表面形成新的相变区,形成表面强化区。这类技术是近代才发展起来的,尤其是20世纪60~70年代电子束、激光束的进入后才发展起来的。

(3) 化学转化。这是将金属零件放入一定的溶液介质中处理,使其表面形成钝性化合物的膜层,从而达到提高其表面性能的作用,在金属表面上可以形成不同的膜层,例如钝化——形成铬酸盐钝化膜,磷化——形成磷酸盐膜,氧化——在钢铁件上形成发黑或发蓝氧化膜等。表面光洁度的提高(磨光、抛光、滚光等)及表面着色也属于这一类。