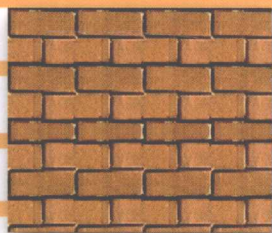
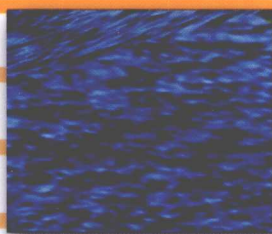
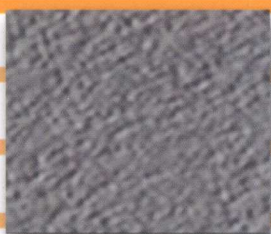
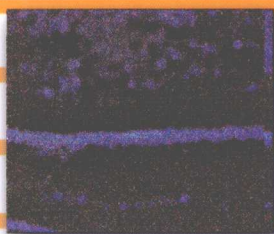


BIAOMIAN CHULI JISHU SHOUCE

表面处理技术手册

(修订版)

胡传炘 主编



北京工业大学出版社

表面处理技术手册

(修订版)

胡传炘 主编

北京工业大学出版社

内 容 简 介

表面处理技术在机械行业中,一直是较为重要的部分,其涉及的范围从晶体生长、集成电路制作、热电子发射、热辐射、化工中的多相催化到金属腐蚀与防护、表面改性及强化等。本手册在简明介绍表面工程基本理论、基体前处理的基础上,重点系统地叙述了电镀、电铸、氧化、化学镀、化学转换膜处理、热浸镀、热喷涂、热烫印、化学热处理、堆焊、物理气相沉积(PVD)、离子注入、化学气相沉积(CVD)、涂装、电泳及静电喷涂、冲击镀、超硬膜、激光表面处理等18种表面工程领域中的最新技术、工艺、装备、应用及国内外最新通用标准,具有内容全面、实用性强的特点。书中所介绍的均为国内外已经成熟的工艺技术,可直接用于生产。本书可供电镀厂、喷漆厂、涂装厂、热喷涂厂、热浸镀厂、真空镀膜厂、环保设备厂、机械厂、化工厂、清洗厂、铝氧化厂、防腐厂,以及其他金属表面防腐、防磨、特殊功能层处理等单位的工程技术人员、管理及供销人员、科研人员阅读,也可供大专院校相关专业师生教学参考。

图书在版编目(CIP)数据

表面处理技术手册(修订版)/胡传忻主编. —北京:北京工业大学出版社, 2009.7

ISBN 978-7-5639-1989-5

I. 表… II. 胡… III. 金属表面处理-技术手册 IV. TG17-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第048945号

表面处理技术手册

(修订版)

胡传忻 主编

※

北京工业大学出版社出版发行

邮编:100124 电话:(010) 67392308

各地新华书店经销

徐水宏远印刷有限公司印刷

※

2009年7月第2版 2009年7月第1次印刷

787mm×1092mm 16开本 63.5印张 2014千字

ISBN 978-7-5639-1989-5

定价:160.00元

修订版编委会名单

主 编 胡传炘

副主编 胡家晖 白韶军 黄继强

编 委 (以下按姓氏笔画排列)

王智慧 白立来 甘爱锋 吉 元 刘建萍

刘 颖 李欣荣 宋巧红 张 磊 陈卓志

贺定勇 钱在中 唐家治 高颖涛 高颖澎

高慧玲 章 帆 翟乐恒 潘庆华

中国表面工程的发展*

(代序)

中国工程院院士 徐滨士

1 表面工程的发展日新月异

表面工程,是经表面预处理后,通过表面涂覆、表面改性或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形态、化学成分和组织结构,以获得所需要表面性能的系统工程。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《表面工程》国际刊物的发行。鉴于此,国际热处理联合会也改名为国际热处理及表面工程联合会。中国机械工程学会1987年建立了学会性质的表面工程研究所,1988年出版了第一本中国的《表面工程》期刊,已出版了30余期,1989年召开了第一届全国表面工程学术交流会,1991年召开了第二届全国表面工程学术会,同时举办了首届中日表面工程学术研讨会,1993年在日本召开了第二届中日表面工程学术会议,1993年成立了中国机械工程学会表面工程分会,1995年在北京召开了国际表面科学与工程学术会议,1996年7月在厦门召开了第三届全国表面工程学术会,同年8月在秦皇岛召开了'96全国表面科学与工程研讨会。近年来,表面工程发展异常迅速,在我国的大专院校、科研院所、工矿企业里相继建立了数以百计的以“表面工程”或“表面技术”命名的研究机构。一些国内外知名专家预言,表面工程将成为主导21世纪工业发展的关键技术之一。

工业现代化的发展,对各种设备零部件表面性能的要求越来越高,特别是在高速度、高温、高压、重载、腐蚀介质等条件下工作的零件,其材料的破坏往往自表面开始,诸如磨损、腐蚀、高温氧化等,表面的局部损坏又往往造成整个零件失效,最终导致设备停产。因此,改善材料的表面性能,会有效地延长其使用寿命、节约资源、提高生产力、减少环境污染。表面工程的最大优势是能够以多种方法制备出优于本体材料性能的表面功能薄层,其厚度一般为几微米到几毫米,仅为结构尺寸的几百分之一到几十分之一,却使零件具有了比本体材料更高的耐磨性、抗腐蚀性和耐高温等能力,采用表面工程技术的平均效益高达5~20倍。表面工程能直接针对许多贵重零部件的失效原因,实行局部表面强化、修复、预保护,以达到延长使用寿命或重新恢复使用价值的目的。若再考虑在能源、原材料和停机等方面节约的费用,其经济效益和社会效益更是显而易见。我国自第六个五年计划以来,通过在设备维修领域和制造领域推广应用表面工程已取得了几百亿元的经济效益。表面工程具备了先进制造技术最基本的特征,即:优质、高效、低耗。因此它本身不仅属于先进制造技术,而且其研究、推广和应用将为先进制造技术的发展提供必要的工艺支持。在国家的节能节材“九五”规划中建议将发展表面工程作为重大措施之一,并列为节能、节材示范项目。国家计委已决定建立国家表面工程研究中心。材料表面改性作为传统

* 本文曾在中国工程院机械与运载学部大会上宣读。

材料性能优化的基础研究也被列入国家自然科学基金“九五”优先资助领域。

2 表面工程学科体系与特色

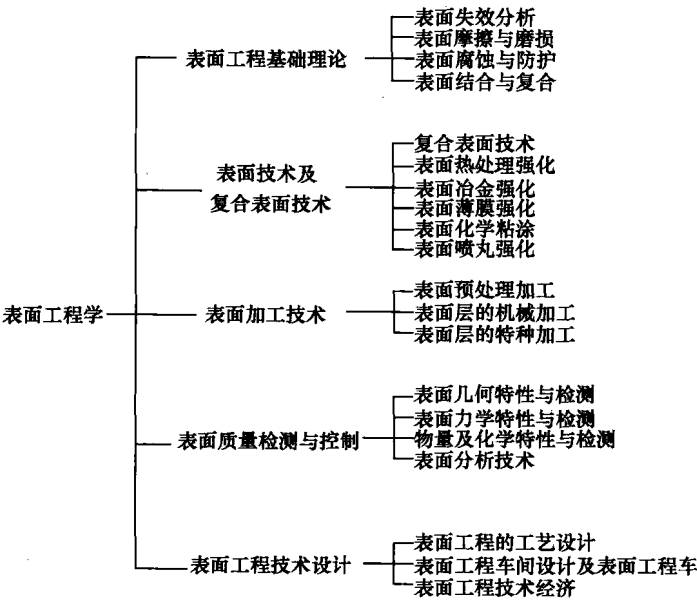
2.1 表面工程学科的形成与发展

根据英国与德国的统计资料，目前，表面工程研究在摩擦学各个领域中的地位已上升到第一、二位。表面工程学科的形成和发展，是与其在生产中的作用分不开的。可以概括为以下五个方面：第一，它是发展生产，提高产品质量和经济效益的需要。第二，它为高新技术的发展提供了特殊的材料。第三，它是设备技术改造与维修的有效手段。第四，它是节约能源和资源的重要途径。第五，它还是装饰与美化人民生活的得力措施。正是由于这些重要作用，使表面工程已被许多传统学科（如材料学、摩擦学、冶金学、固体力学等）列为重要研究方向，成为学科的基本组成部分。一些大专院校的相关专业已把表面工程列为本科生、研究生的教学内容，表面工程的教材和学术专著不断问世。以表面工程为主题的学术活动得到各行业专家及工程技术人员的支持与参与，一个独立的表面工程学科体系正在逐步形成，表面工程学科成为令世人瞩目的新领域。

2.2 表面工程的学科特色

表面工程是由多个学科交叉、综合、发展起来的新兴学科。它以“表面”为研究核心，在有关学科理论的基础上，根据材料表面的失效机制，以应用各种表面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，主要有：表面失效分析理论、表面摩擦与磨损理论、表面腐蚀与防护理论、表面（界面）结合与复合理论等。表面工程的发展不仅在学术上丰富了材料学、冶金学、机械学、电子学等学科，而且开辟了新的研究领域，如高能束冶金学、等离子体物理学、动态金属学、摩擦化学、微观摩擦学等。表面工程的学科体系概括为表 1。

表 1 表面工程的学科体系



2.3 表面工程的技术特色

表面工程是多种表面技术的复合所形成的表面高新技术。由于固有局限性，应用单一的表面技术所获得的材料表面性能往往不能满足日益苛刻的工况条件的要求。随着科学技术和设备的进步，发展出了综合运用两种或多种表面技术的复合表面技术，或称为第二代的表面技术。实践证明，这种复合表面技术通过最佳协同效应解决了一系列高新技术发展中特殊的工程技术问题。

表面技术分为表面改性技术、表面涂层技术及复合表面技术。

常用的表面技术有：堆焊技术、熔结技术（低真空熔结、激光熔敷等）、电镀、电刷镀及化学镀技术、非金属镀技术、热喷涂技术（火焰喷涂、电弧喷涂、等离子喷涂、爆炸喷涂、超音速喷涂、低压等离子喷涂等）、塑料喷涂技术、粘涂技术、涂装技术、物理与化学气相沉积（真空蒸镀、离子溅射、离子镀等）、化学热处理、激光相变硬化、激光非晶化、激光合金化、电子束相变硬化、离子注入等。

目前，表面复合技术的研究和应用已取得了重大进展，如热喷涂与激光重熔的复合、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材料涂层的复合等等，复合技术使本体材料的表面薄层具有了更加卓越的性能。

2.4 表面工程的技术设计

为了更有效地发挥表面工程的潜力，在采用某种表面技术之前，有必要进行“表面工程技术设计”，这包括表面技术与涂层材料的合理选用，表面层成分、组织结构及机械性能的确定，工艺参数的确定，以及各种表面层的性能检测方法。表面工程人员要能进行零件失效分析以及熟悉各种表面技术与材料的磨损、腐蚀与断裂特性。表面工程的技术设计体系如图 1 所示。

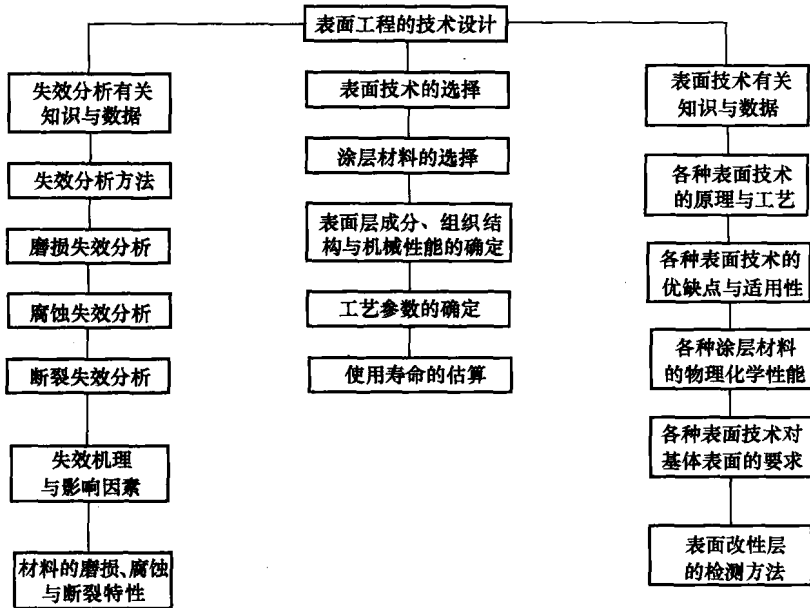


图 1 表面工程的技术设计体系

3 表示工程与维修表面技术

随着先进制造技术及设备工程学的不断发展,制造与维修将越来越趋于统一。未来的制造与维修工程将是一个考虑设备和零部件的设计、制造和运行的全过程,以优质、高效、节能、节材为目标的系统工程。制造技术将统筹考虑整个设备寿命周期内的维修策略,而维修技术也将渗透到产品的制造工艺中。“维修”已被赋予了更广泛的含义,1984年美国“技术评论”提倡旧品翻新或再生,并称为“重新制造”。在重新制造中大量采用各种维修技术,它把因损坏、磨损或腐蚀等而失效的可维修的机械零件翻新如初,从而大量地节省了因购置新品、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,并极大地减少了环境污染及废物的处理。为此,在日本已提出了“再生工厂技术”的概念。重新制造所需能源约为制造新品的20%~60%,价格只有新品的40%~60%。许多采用表面技术处理过的旧零部件,其性能要优于新品。比如,1994年美国的Mid-Atlantic联合有限公司曾对一个变速箱的输出法兰盘采用超音速火焰喷涂(HVOF)维修的情况进行了调查,结果表明,经HVOF修复过的零件其使用寿命是新零件使用寿命的2.26倍。在国内采用表面工程技术解决设备零部件失效难题并取得重大经济效益的实例也不胜枚举。如中国设备管理协会技术委员会应用电弧喷涂技术成功地修复了长江三峡工程中挖泥船的发动机曲轴,当时如从日本购买新轴,加上运费和进口关税等需人民币120多万元,从订购到交货需三个月以上的时间,其停产损失更为可观,而采用电弧喷涂技术修复,总费用仅3.5万元,不足曲轴价格的3%,其经济效益是十分明显的。装甲兵工程学院采用电刷镀技术修复或改造大型、重型、精密设备,尤其是进口设备,取得了十分突出的成效。北京首钢从比利时引进的二手连铸设备,以废钢价格廉价购进,其中有三百多件大轴承座和轧辊,经刷镀修复或改造,已正常投入使用。唐山水泥机械厂由德国进口的6.3m立式车床、天津石油化纤公司由日本进口的5.7m连续缩聚搅拌釜主轴、齐鲁石化公司由日本进口的328块汇流铜排、燕山石化公司由日本进口的聚丙烯造粒机主减速箱、平圩电厂由美国进口的60万kW汽轮机等大型进口设备的修复或技术改造都是采用刷镀技术完成的,不仅解决了国家重点工程的急需,而且节约了大量的外汇。1994—1995年期间,全军装备维修表面工程研究中心为铁道部大桥工程局承建的汕头海湾大桥和西陵长江大桥的悬索鞍座进行了防腐和减磨表面处理,解决了施工中的关键问题,具有国际先进水平。在对军队装备的维修方面,该中心已采用电弧喷涂技术对多艘主战舰艇进行了防腐综合治理,预计防腐寿命在15年以上,大大提高了舰艇的在航率和战备机动性。1995年该中心在海军新建造的油污水监测处理船上采用电弧喷涂技术进行了防腐综合治理,将热喷涂工艺直接应用在新船建造上,这在我国造船史上尚属首次。另外,清华大学和北京机电研究院采用激光固态相硬化技术成功地对邮票打孔器进行了表面强化处理,过去用进口打孔器印刷150万张,用国产打孔器印刷50万张后就需要磨刃或报废,现在经激光处理后的打孔器印刷邮票1000万张仍可使用。

表面工程在节能、节材、降耗和提高经济效益上的作用是巨大的,仅国家重点推广的热喷涂和刷镀两项表面技术在“六五”和“七五”期间已创经济效益32亿元以上。

4 表面工程与高新技术

表面工程是随着高新技术的出现而发展起来的一项工程技术,不仅被用于一般设备零部件的防护、强化和修复,而且还为高新技术的发展提供了工艺及材料支持。在电子信息技术中表面工程可为其提供

关键的薄膜材料及功能器件。如在大规模集成电路中以 SiO_2 为基的绝缘衬底上生长 Si 的薄膜技术。制作超大规模集成电路中最理想的功能材料是采用化学气相沉积的金刚石薄膜，它具有极为优异的导热性、高介电性和半导体性能。表面工程在制备新型材料方面具有特殊的效应。非晶态金属或合金具有优异的耐蚀性、耐磨性、高导磁性、高强韧性、低膨胀性等。采用气相沉积、电镀、刷镀、激光等表面技术可以获得非晶态薄膜或涂层。作为太阳能转换材料，非晶硅薄膜具有优良的光吸收能力，而且可以大面积涂敷，成本也比较低，是理想的光电转换材料。在超导材料研究方面，日本已开发了用激光制备高性能超导材料的技术，可制成超导带材料。国外已采用热喷涂技术制备超导涂层。另外，在生物医疗方面已采用等离子喷涂技术在不锈钢人工骨骼表面喷涂氧化物陶瓷涂层制造人工骨骼，解决了陶瓷层与人体肌肉生物相容性的难题。已采用在 Co-Cr-Mo 合金上喷涂羟基磷灰石涂层制备人造关节。用等离子喷涂法制造人工齿根的技术也已得到了应用。

5 开拓表面工程 发展先进制造技术

目前，许多发达国家都在努力研究和应用各种提高零件表面性能的新技术、新工艺，使得诸多表面技术不仅成为了现代制造技术中的重要工艺方法，而且在设备的技术改造和维修方面发挥了重要作用。我国的表面工程在过去的十几年中，已获得了重大发展，在国民经济中发挥了重要作用。在研究水平与规模方面，可与国际水平相比，并有自己的独创和特色，在重大工程中的部分应用已达到国际先进水平。为了发展表面工程，推动先进制造技术发展，现提出如下建议：

- (1) 加强表面工程学科的建设，深入开展表面工程基础理论的研究。
 - (2) 重点研究和发​​展复合表面技术，充分发挥各种工艺和材料的综合优势。
 - (3) 大力开展维修表面技术的应用及研究，为其在设计新设备和制造新产品过程中的应用积累经验。
 - (4) 加强表面工程在设备制造和新产品制造过程中的研究与应用，特别在提高产品的质量、性能、效益等方面发挥作用。
 - (5) 逐步建全表面工程技术设计，全面、综合、系统应用、优化各种表面技术，以提高产品质量和效益为中心，进行产品的表面工程技术设计。
 - (6) 重视表面工程设备的研制工作，不断提高表面工程的装备水平。
 - (7) 建立国家表面工程研究中心、产学研中心，以加强表面工程的研究开发与推广应用，加速实验室技术向工业应用的转化，为企业提供表面工程方面的技术、设备及建议等。
 - (8) 努力办好中国的《表面工程》杂志，开展表面工程的学术交流，积极开拓表面工程的国际交流。
- 表面工程将是主导 21 世纪的关键技术之一，表面工程在制造业中的应用及发展方兴未艾、前景广阔。相信在我国表面工程专家及工程技术人员共同努力下，随着表面工程学科和技术的发展及其向现实生产力的转化，各种表面技术将促进我国先进制造技术的发展，并有力地推动产品制造和设备维修技术的进步，从而全面提高我国经济增长质量和我国产品在国际市场上的竞争能力，并建立起具有我国特色的表面工程学科体系。

前 言

近十多年来,表面工程获得迅速发展,应用日益广泛,经济效益显著。

本手册在简明介绍表面工程基本理论、基体前处理的基础上,系统地叙述了电镀、电铸、氧化、化学镀、化学转换膜处理、热浸镀、热喷涂、涂装、化学热处理、堆焊、物理气相沉积(PVD)、离子注入、化学气相沉积(CVD)、电泳及静电喷涂、热烫印、冲击镀、超硬膜、激光表面处理等18种表面工程领域中的最新技术、工艺、装备、应用及国内外最新通用标准,对各种涂层性能测试作了相应介绍。

本书的编者力图将目前表面工程领域中的基础理论、工艺及最新成果作一个小结,目的是使读者对表面工程的全貌及现状有一个完整的了解。书中介绍的均为国内外已成熟的技术和工艺,可直接应用于生产。

本书主编胡传炘。全书编写分工如下:第1章、第4章、第5章、第15章、第16-1节、第16-2节胡传炘;第2章、第3章钱在中、高慧玲;第6章白立来;第7章、第8章胡传炘、李欣荣;第9章刘颖、胡传炘;第10章胡传炘、高颖涛;第11章唐家治、吉元;第12章王智慧、潘庆华;第13章翟乐恒;第14章白韶军;第16-3节刘建萍、章帆;第16-4节贺定勇;第17章高宏图、陈靖齐。

本书可供从事表面工程的工程技术人员、科研人员阅读,也可供大专院校相关专业师生教学参考。

本书编写中参考了大量资料,书后难以一一列举,在此一并向原作者致谢。由于表面工程技术发展迅速、内容丰富,本书挂一漏万,在所难免。错误与不当之处,欢迎指正。

修订版前言

本书自 1997 年出版以来，受到广泛好评，考虑到近十年来，表面工程技术又有新的发展，有些内容需要补充，因此决定对本书进行修订。

本次修订版主编胡传炘，副主编胡家晖、白韶军、黄继强。具体编写分工如下：第 1、4 章由胡传炘编写；第 5 章由胡传炘、甘爱锋编写；第 2、3 章由钱在中、高慧玲编写；第 6 章由白立来编写；第 7、8 章由胡传炘、李欣荣、张磊编写；第 9 章由刘颖、胡家晖、胡传炘编写；第 10 章由胡传炘、高颖涛、胡家晖编写；第 11 章由唐家治、吉元、白韶军编写；第 12 章由王智慧、潘庆华编写；第 13 章由翟乐恒、黄继强编写；第 14 章由白韶军编写；第 15 章、第 16 章第 1、2 节由胡传炘、胡家晖、宋巧红编写；第 16 章第 3 节由刘建萍、章帆编写；第 16 章第 4 节由贺定勇编写；第 17 章由高颖澎、陈卓志编写。

目 录

前 言	(I)	2.3.2 常用浸蚀剂的作用	(42)
修订版前言	(II)	2.3.3 浸蚀工艺	(44)
第 1 章 基本知识	(1)	2.3.4 弱浸蚀	(50)
1.1 表面工程及表面处理技术的分类和用途	(1)	2.3.5 超声场内浸蚀	(51)
1.1.1 什么是表面工程	(1)	2.3.6 浸蚀-除油联合处理	(51)
1.1.2 表面处理技术分类	(1)	2.3.7 工序间防锈	(52)
1.1.3 表面技术应用	(2)	2.4 电抛光与化学抛光	(52)
1.2 表面涂覆层及处理方法标记符号	(3)	2.4.1 电抛光	(52)
1.2.1 表面涂覆层及处理方法标记符号	(3)	2.4.2 化学抛光	(60)
1.2.2 涂覆层表示方法举例	(5)	第 3 章 电镀	(65)
1.3 金属涂(镀)层基本性能	(6)	3.1 电镀基础	(65)
1.3.1 结合强度	(6)	3.1.1 电镀原理	(65)
1.3.2 孔隙率及密度	(6)	3.1.2 电镀的结晶过程及影响电镀层结晶粗细的因素	(65)
1.3.3 耐蚀性	(6)	3.1.3 均镀能力和深镀能力及影响因素	(67)
1.3.4 硬度	(6)	3.1.4 析氢对电镀过程的影响	(69)
1.3.5 电阻率	(6)	3.1.5 合金电镀	(70)
1.4 金属的腐蚀与防护	(6)	3.1.6 阳极过程	(72)
1.4.1 金属腐蚀与腐蚀分类	(6)	3.1.7 金属镀层的基本性能	(73)
1.4.2 腐蚀机理	(8)	3.2 单金属电镀	(76)
1.4.3 电极电位	(9)	3.2.1 镀锌	(76)
1.4.4 电位-pH 图	(12)	3.2.2 镀镉	(97)
1.4.5 腐蚀速度	(13)	3.2.3 镀锡	(108)
第 2 章 基体前处理	(15)	3.2.4 镀铜	(118)
2.1 表面整平	(15)	3.2.5 镀镍	(136)
2.1.1 磨光与抛光	(15)	3.2.6 镀铬	(153)
2.1.2 成批光饰	(22)	3.2.7 镀铅	(164)
2.1.3 其他机械整平方法	(27)	3.2.8 镀铁	(165)
2.2 除油	(30)	3.3 合金电镀	(172)
2.2.1 有机溶剂除油	(31)	3.3.1 镀铜合金	(172)
2.2.2 化学除油	(32)	3.3.2 镀锡合金	(179)
2.2.3 电化学除油	(37)	3.3.3 镀镍合金	(183)
2.2.4 低温除油	(39)	3.3.4 镀锌合金	(186)
2.2.5 超声除油	(40)	3.3.5 镀多元合金	(188)
2.2.6 擦拭除油	(41)	3.4 稀贵金属电镀	(189)
2.2.7 滚筒除油	(41)	3.4.1 镀银	(190)
2.3 浸蚀	(42)	3.4.2 镀金与金合金	(192)
2.3.1 浸蚀的分类	(42)	3.4.3 镀钯与钯镍合金	(195)
		3.4.4 其他稀贵金属的电镀	(196)

3.5 特种电镀	(200)	5.2 电铸芯模设计、类型及材料	(263)
3.5.1 复合电镀	(200)	5.2.1 芯模设计	(263)
3.5.2 塑料及其他非金属的电镀	(207)	5.2.2 芯模类型	(263)
3.5.3 特种材料上的电镀	(213)	5.2.3 芯模材料	(263)
3.5.4 刷镀与局部电镀	(217)	5.3 电铸的前处理	(264)
3.5.5 双极性电镀	(225)	5.3.1 金属芯模表面剥离膜形成	(264)
3.6 有关电镀的国家标准目录	(226)	5.3.2 非导体芯模表面金属化	(265)
第4章 氧化、着色与染色	(227)	5.4 电铸铜	(266)
4.1 钢铁的氧化	(227)	5.4.1 硫酸铜电铸	(266)
4.1.1 钢铁氧化的实质	(227)	5.4.2 氟硼酸电铸铜	(267)
4.1.2 氧化工艺流程	(227)	5.5 电铸镍	(268)
4.1.3 溶液配制及工艺条件	(227)	5.5.1 电铸镍特点及种类	(268)
4.1.4 工艺操作中注意事项	(228)	5.5.2 瓦特型电铸镍	(269)
4.1.5 氧化膜常见缺陷及处理	(228)	5.5.3 氨基磺酸型电铸镍	(271)
4.1.6 钢铁氧化应用	(229)	5.5.4 高速电铸镍	(273)
4.2 铜及铜合金的氧化	(229)	5.6 电铸铁	(273)
4.2.1 铜及铜合金氧化的实质	(229)	5.6.1 电铸铁特点	(273)
4.2.2 氧化工艺流程	(229)	5.6.2 电铸液	(273)
4.2.3 溶液配制及工艺条件	(229)	5.7 电铸后处理	(274)
4.2.4 工艺操作中注意事项	(230)	5.7.1 脱模	(274)
4.2.5 铜及铜合金氧化应用	(230)	5.7.2 加固	(274)
4.3 铜及铜合金的钝化	(230)	5.8 复合电铸	(274)
4.3.1 钝化工艺流程	(230)	5.8.1 概述	(274)
4.3.2 钝化液化学成分及工艺条件	(230)	5.8.2 复合电铸工艺	(275)
4.3.3 工艺操作中注意事项	(231)	5.8.3 电铸镍钴合金	(275)
4.4 铝及铝合金的氧化	(231)	5.8.4 电铸镍锰合金	(276)
4.4.1 装饰性氧化	(232)	5.9 电铸技术的应用	(278)
4.4.2 硬质阳极氧化	(242)	5.9.1 组合式可溶性象形阳极电铸 技术	(278)
4.4.3 特种阳极氧化	(246)	5.9.2 精密电极制造技术	(280)
4.5 染色与着色	(250)	5.9.3 电极精密电铸举例	(283)
4.5.1 着色方法分类及比较	(250)	5.9.4 选择性电铸技术	(289)
4.5.2 整体着色法(自然显色法)	(250)	第6章 化学镀	(292)
4.5.3 吸附着色法(化学着色法)	(252)	6.1 化学镀镍	(292)
4.5.4 电解着色法	(257)	6.1.1 化学镀镍的原理	(293)
4.6 封闭处理	(260)	6.1.2 化学镀镍层的性能	(293)
4.6.1 热水封闭	(260)	6.1.3 化学镀镍的前处理	(295)
4.6.2 蒸汽封闭	(260)	6.1.4 化学镀镍的工艺条件及镀液的 配制	(295)
4.6.3 金属盐封闭	(260)	6.1.5 工艺条件和溶液组成对化学镀 的影响	(296)
4.7 铝及铝合金阳极氧化着色阳极氧化 膜耐晒度的人造光加速试验	(261)	6.1.6 化学镀层的用途	(298)
第5章 电铸	(262)	6.1.7 镀液维护	(298)
5.1 电铸原理、特点及应用	(262)	6.1.8 其他类型的化学镀镍工艺	(298)
5.1.1 电铸原理	(262)	6.1.9 不良镀层的消除	(300)
5.1.2 电铸特点	(262)		
5.1.3 电铸应用	(262)		

6.1.10 新技术	(300)	7.2.2 常温发蓝液成分及工艺 条件	(320)
6.2 化学镀铜	(301)	7.3 铝铬酸盐转化处理	(320)
6.2.1 化学镀铜溶液及工艺条件	(301)	7.3.1 铝铬酸盐转化处理实质	(320)
6.2.2 化学镀铜溶液中各组分的使用 和影响	(302)	7.3.2 铬酸盐处理液	(321)
6.2.3 化学镀铜溶液的配制、使用和 维护	(303)	7.3.3 金属的磷酸盐转化膜	(321)
6.2.4 化学镀铜装置	(303)	7.4 转化膜试验方法	(321)
6.3 化学镀金	(304)	7.4.1 金属材料上的转化膜 单位 面积膜质量的测定 重量法	(321)
6.3.1 化学镀金的应用	(304)	7.4.2 锌和铜上铬酸盐转化膜 试验 方法	(321)
6.3.2 化学镀金的工艺	(304)	7.4.3 电镀锌和电镀铜层的铬酸盐 转化膜	(321)
6.4 化学镀银	(305)	7.5 钢铁工件涂装前磷化处理技术 条件	(321)
6.4.1 化学镀银的应用	(305)	7.6 着色磷化膜	(322)
6.4.2 化学镀银溶液的配方和镀银 工艺	(305)	7.6.1 化学着色工艺	(322)
6.5 化学镀钯	(307)	7.6.2 电化学着色工艺	(322)
6.5.1 用次磷酸盐作还原剂的溶液 成分和镀钯工艺	(307)	7.6.3 应用举例	(323)
6.5.2 用胂作还原剂的化学镀钯 工艺	(308)	7.7 有色金属磷化	(323)
6.6 化学镀钴	(308)	7.7.1 铝及其合金的磷化	(323)
6.6.1 用次磷酸钠作还原剂的化学 镀钴溶液及工艺	(308)	7.7.2 锌及其合金的磷化	(324)
6.6.2 用硼氢化物作还原剂的化学 镀钴溶液及工艺	(310)	7.7.3 镁合金的磷化	(324)
6.6.3 用二甲氨基硼烷作还原剂的 化学镀钴溶液及工艺	(310)	7.8 磷化渣及处理	(324)
6.7 化学镀的新技术发展	(310)	7.8.1 磷化渣生成	(324)
6.7.1 化学镀铜研究动向	(310)	7.8.2 磷化渣组成	(325)
6.7.2 化学镀镍研究动向	(311)	7.8.3 磷化渣控制	(325)
第7章 化学转换膜处理	(313)	7.8.4 磷化渣处理	(325)
7.1 钢铁的磷化	(313)	7.8.5 磷化渣综合处理方案	(326)
7.1.1 磷化原理	(313)	第8章 热浸镀	(327)
7.1.2 磷化膜组成及性质	(313)	8.1 引言	(327)
7.1.3 钢铁磷化的用途	(314)	8.1.1 热浸镀原理	(327)
7.1.4 磷化处理分类	(315)	8.1.2 热浸镀工艺种类	(327)
7.1.5 磷化液成分及工艺条件	(315)	8.1.3 热浸镀层的性能及应用	(328)
7.1.6 磷化工艺	(317)	8.2 热镀锡	(328)
7.1.7 磷化工艺操作中注意事项	(317)	8.2.1 热镀锡原理	(328)
7.1.8 磷化后处理	(318)	8.2.2 热镀锡工艺	(329)
7.1.9 磷化膜质量检验	(319)	8.2.3 热浸镀锡钢板性能及应用	(330)
7.1.10 磷化液游离酸度及总酸度 的测定	(319)	8.2.4 热浸镀锡钢板检验	(331)
7.2 钢铁的常温发蓝	(319)	8.3 热浸镀锌	(333)
7.2.1 发蓝膜层构成	(320)	8.3.1 热浸镀锌原理	(333)
		8.3.2 热浸镀锌工艺	(334)
		8.3.3 热镀锌钢材应用	(339)
		8.3.4 热镀锌涂层检测	(339)

8.3.5 热镀锌标准	(341)	9.7 软线喷涂	(406)
8.4 热浸镀铝	(341)	9.7.1 原理	(406)
8.4.1 热镀铝原理	(341)	9.7.2 特点	(406)
8.4.2 热镀铝工艺	(342)	9.7.3 应用	(406)
8.4.3 热镀铝钢材应用	(344)	9.8 涂层性能检测	(406)
8.4.4 热镀铝涂层检测	(344)	9.8.1 工艺性能检测	(406)
第9章 热喷涂	(346)	9.8.2 物理及化学性能检测	(408)
9.1 热喷涂定义、分类及特点	(346)	9.9 防腐蚀涂层	(408)
9.1.1 热喷涂定义	(346)	9.9.1 大型钢结构金属喷涂长效防腐	(408)
9.1.2 热喷涂分类	(346)	9.9.2 电弧喷涂防腐	(411)
9.1.3 热喷涂特点	(347)	9.9.3 实用工艺举例	(414)
9.2 热喷涂原理、工艺及应用	(347)	9.10 防磨损涂层	(416)
9.2.1 热喷涂原理及工艺	(347)	9.10.1 模具喷熔修复	(416)
9.2.2 热喷涂应用	(348)	9.10.2 曲轴氧-乙炔火焰线材喷涂修复工艺	(416)
9.3 氧-乙炔火焰喷涂	(349)	9.10.3 实用工艺举例	(417)
9.3.1 喷涂与喷熔原理及特点	(349)	9.11 特殊功能层及其他应用	(419)
9.3.2 重熔	(351)	9.11.1 聚四氟乙烯基锌铜复合涂层	(419)
9.3.3 喷涂与喷熔设备	(352)	9.11.2 实用工艺举例	(421)
9.3.4 喷涂用金属线材	(355)	9.12 热喷涂单位简介	(421)
9.3.5 喷涂(熔)用金属粉末	(359)	9.12.1 北京工达普瑞表面科技发展有限公司	(421)
9.3.6 喷涂用非金属粉末	(361)	9.12.2 北京新迪表面技术工程有限公司	(422)
9.3.7 喷涂用复合材料	(370)	第10章 涂料与涂装	(424)
9.3.8 金属线材火焰喷涂工艺	(373)	10.1 涂料组成	(424)
9.3.9 金属粉末火焰喷涂工艺	(381)	10.1.1 成膜物质	(424)
9.3.10 火焰喷熔工艺	(382)	10.1.2 溶剂	(425)
9.3.11 火焰喷塑	(382)	10.1.3 助剂	(426)
9.3.12 火焰喷塑与流化床法、静电喷塑比较	(385)	10.1.4 颜料	(426)
9.4 超音速火焰喷涂及爆炸火焰喷涂	(391)	10.2 涂料的分类	(427)
9.4.1 超音速火焰喷涂原理	(391)	10.2.1 涂料分类原则	(427)
9.4.2 超音速火焰喷涂设备种类及涂层性能	(392)	10.2.2 涂料基础产品简介	(427)
9.4.3 爆炸火焰喷涂原理	(394)	10.3 涂料的性质	(428)
9.4.4 爆炸火焰喷涂特点及应用	(395)	10.3.1 油脂涂料	(428)
9.5 电弧喷涂及线爆喷涂	(396)	10.3.2 天然树脂涂料	(428)
9.5.1 电弧喷涂原理	(396)	10.3.3 酚醛树脂涂料	(429)
9.5.2 电弧喷涂特点及应用	(396)	10.3.4 沥青涂料	(430)
9.5.3 电弧喷涂设备	(398)	10.3.5 醇酸树脂涂料	(431)
9.5.4 电弧喷涂工艺	(399)	10.3.6 氨基树脂涂料	(432)
9.5.5 线爆喷涂	(400)	10.3.7 硝基涂料	(433)
9.6 等离子喷涂	(401)	10.3.8 乙烯树脂涂料	(433)
9.6.1 等离子喷涂原理及特点	(401)	10.3.9 丙烯酸树脂涂料	(434)
9.6.2 等离子喷涂设备	(402)	10.3.10 聚酯树脂涂料	(436)
9.6.3 等离子喷涂工艺	(403)		
9.6.4 等离子弧粉末堆焊	(405)		

10.3.11 环氧树脂涂料	(436)	10.9.14 漆膜耐汽油性测定法	(482)
10.3.12 聚氨酯涂料	(437)	10.9.15 防锈油脂湿热试验法	(482)
10.3.13 常用涂料举例	(438)	10.9.16 色漆和清漆耐湿性的测定	(482)
10.4 工件涂装前表面预处理	(446)	10.9.17 漆膜硬度测定法	(482)
10.4.1 钢铁表面预处理	(446)	10.10 漆膜一般制备法	(482)
10.4.2 木材表面预处理	(448)	10.11 涂装作业安全规程	(482)
10.4.3 塑料表面预处理	(449)	10.11.1 喷漆室安全技术规定	(482)
10.5 涂装工艺	(450)	10.11.2 涂装作业安全规程	(482)
10.5.1 涂装工艺分类	(450)	10.12 热反射隔热防腐降温涂料	(482)
10.5.2 高压无气喷涂	(451)	10.12.1 国内外发展状况简述	(483)
10.5.3 电泳	(451)	10.12.2 热反射隔热防腐蚀涂料设计 原则	(484)
10.5.4 静电喷漆	(453)	10.12.3 APTH 的制备	(485)
10.5.5 静电喷粉	(455)	10.12.4 涂料降温性能检测	(486)
10.6 埋地钢质管道防腐	(457)	10.12.5 应用	(487)
10.6.1 一般规定	(457)	10.12.6 典型涂料举例	(487)
10.6.2 环氧煤沥青防腐层	(457)	第 11 章 化学热处理	(490)
10.7 输水管道水泥砂浆衬里	(457)	11.1 渗碳	(490)
10.7.1 材料	(458)	11.1.1 概述	(490)
10.7.2 衬里前的准备工作	(458)	11.1.2 渗碳原理	(491)
10.7.3 衬里工艺	(458)	11.1.3 渗碳层质量的影响因素	(491)
10.7.4 衬里质量检验	(458)	11.1.4 气体渗碳	(492)
10.7.5 修补	(460)	11.1.5 液体渗碳	(502)
10.8 砖板衬里	(460)	11.1.6 固体渗碳	(503)
10.8.1 概述	(460)	11.1.7 其他渗碳方法	(505)
10.8.2 耐腐蚀胶泥	(460)	11.1.8 渗碳用钢及渗碳后的热 处理	(508)
10.8.3 耐腐蚀砖板	(469)	11.1.9 渗碳层的组织与性能	(509)
10.8.4 衬里结构	(473)	11.1.10 渗碳件的质量检验、常见 缺陷及防止措施	(509)
10.8.5 砖板衬里施工	(477)	11.2 渗氮	(511)
10.8.6 质量控制与安全技术	(479)	11.2.1 概述	(511)
10.9 涂料和漆膜的质量检验	(480)	11.2.2 渗氮过程及渗氮层组织	(512)
10.9.1 涂料外观	(480)	11.2.3 渗氮用钢及渗氮前的热 处理	(514)
10.9.2 黏度	(480)	11.2.4 气体渗氮	(516)
10.9.3 漆膜厚度	(480)	11.2.5 离子渗氮	(520)
10.9.4 漆膜外观	(481)	11.2.6 渗氮层的组织与性能	(523)
10.9.5 漆膜附着力测定法	(481)	11.2.7 渗氮件的质量检验、常见 缺陷及防止措施	(524)
10.9.6 漆膜冲击试验测定法	(481)	11.2.8 其他渗氮方法	(527)
10.9.7 漆膜耐霉菌测定法	(481)	11.3 钢的碳氮共渗	(528)
10.9.8 测定耐湿热、耐盐雾、耐候性 (人工加速)的漆膜制备法	(481)	11.3.1 概述	(528)
10.9.9 漆膜耐盐雾测定法	(481)	11.3.2 气体碳氮共渗	(529)
10.9.10 漆膜耐湿热测定法	(482)	11.3.3 液体碳氮共渗	(531)
10.9.11 漆膜老化(人工加速)测定 法	(482)		
10.9.12 漆膜柔韧性测定法	(482)		
10.9.13 漆膜耐水性测定法	(482)		

11.3.4	碳氮共渗后的热处理及渗层组织	(533)		处理	(575)
11.3.5	碳氮共渗层的性能	(534)	11.12.5	机械能助渗铝	(575)
11.3.6	碳氮共渗件的质量检验、常见缺陷及防止措施	(535)	11.12.6	模具热处理工艺	(577)
11.3.7	氮碳共渗	(536)	11.12.7	塑料模具的表面强化技术	(578)
11.4	渗硼	(542)	11.12.8	钛合金 Ti-6Al-4V 的磨损失效及其表面耐磨处理技术	(579)
11.4.1	固体渗硼	(542)	11.12.9	低碳钢渗铝加离子渗氮的表面硬化处理	(580)
11.4.2	熔盐渗硼	(545)	11.12.10	1Cr18Ni9Ti 不锈钢的化学热处理工艺	(581)
11.4.3	其他渗硼方法	(546)	第 12 章 堆焊	(584)	
11.4.4	渗硼层的组织与性能	(547)	12.1 概述	(584)	
11.4.5	渗硼材料	(549)	12.1.1	金属表面堆焊的特点	(584)
11.4.6	稀土元素的催渗作用	(550)	12.1.2	堆焊的应用领域	(584)
11.4.7	部分国内厂家开发的商用渗硼剂	(550)	12.2 堆焊合金的类型及性能	(585)	
11.5 渗铝	(550)	12.3 堆焊方法	(587)		
11.5.1	渗铝的方法及工艺	(550)	12.3.1	堆焊方法及工艺	(587)
11.5.2	渗铝层的组织与性能	(555)	12.3.2	堆焊方法的选择	(592)
11.6 渗铬	(557)	12.4 堆焊材料	(593)		
11.6.1	渗铬的方法及工艺	(557)	12.4.1	堆焊焊条	(593)
11.6.2	渗铬层的组织与性能	(559)	12.4.2	焊丝	(597)
11.7 渗硫、硫氮共渗、硫碳氮共渗	(561)	12.4.3	焊剂	(604)	
11.7.1	渗硫	(561)	12.4.4	其他堆焊材料	(606)
11.7.2	硫氮共渗及硫碳氮共渗	(563)	12.4.5	耐磨堆焊复合钢板	(607)
11.8 渗硅	(566)	12.4.6	堆焊材料的选择	(608)	
11.8.1	渗硅的方法及工艺	(567)	12.5 堆焊检验	(609)	
11.8.2	渗硅层的组织	(568)	12.5.1	外观检验	(609)
11.9 渗锌	(568)	12.5.2	无损检验	(609)	
11.9.1	渗锌的方法及工艺	(568)	12.5.3	堆焊层的力学性能检验	(609)
11.9.2	渗锌层的组织	(569)	12.5.4	堆焊层的耐磨试验	(609)
11.10 渗其他金属	(569)	第 13 章 物理气相沉积	(614)		
11.11 复合渗	(571)	13.1 真空技术基础	(614)		
11.11.1	硼铝共渗	(571)	13.1.1	真空物理基础	(614)
11.11.2	硼硅共渗	(571)	13.1.2	真空的获得	(618)
11.11.3	硼铬共渗	(572)	13.1.3	真空的测量	(620)
11.11.4	铝硅共渗	(573)	13.2 真空蒸镀	(624)	
11.11.5	铬铝共渗	(573)	13.2.1	真空蒸镀原理	(624)
11.12 化学热处理的新进展	(573)	13.2.2	真空蒸发镀膜设备	(627)	
11.12.1	等离子渗镀技术	(573)	13.2.3	真空蒸镀工艺及应用	(640)
11.12.2	热处理对 Inconel600 合金表面偏聚的影响	(574)	13.3 溅射镀膜	(645)	
11.12.3	提高模具使用寿命的表面强化新技术	(574)	13.3.1	溅射镀膜原理	(645)
11.12.4	H13 热作模具钢的表面热处理	(575)	13.3.2	溅射镀膜设备	(656)
			13.3.3	溅射镀膜工艺及应用	(661)
			13.4 离子镀	(664)	