

《表面工程手册》是为了满足广大读者要求,由机械工业出版社邀请全国 50 余名专家、教授编写而成,该手册由国家科协常务副主席孙大涌(教授级高工)任编辑委员会主任,中国工程院院士徐滨士作序,机械工业部武汉材料保护研究所教授级高工李国英任主编。该手册共 11 篇 74 章,内容包括:引论、表面精整及净化、有机涂装、热喷涂(焊)、防锈封存包装、化学热处理、气相沉积、高能束(激光束、电子束、离子束)、电镀、转化膜技术、表面涂(膜)层质量检测技术、腐蚀防护与防腐工程设计和表面工程技术摩擦学工业应用等。附录列出国内现行的表面工程有关标准目录。

可供机械、材料、化工、冶金、船舶、铁道和宇航等行业的工程技术人员、管理人员及有关大专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

表面工程手册/李国英主编.-北京:机械工业出版社,1997.8
ISBN 7-111-05869-0

I. 表… II. 李… III. 金属表面保护-手册 IV. TG17-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 17644 号

出版人:马九荣(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:张秀恩 李骏带 曲彩云 版式设计:霍永明 责任校对:韩晶
武江 王兴垣
封面设计:郭景云 责任印制:路琳

中国建筑工业出版社密云印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

1998 年 12 月第 1 版第 1 次印刷

787mm×1092mm^{1/16}·91.5 印张·3 插页·3046 千字

0 001—3 000 册

定价:150.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

编辑委员会

主任委员 孙大涌

副主任委员 (按姓氏笔划为序)

毕 顺 李国英 陈瑞藻 邴振声

徐滨士 郭鹤桐 高万振

委 员 (按姓氏笔划为序)

马小雄 刘复兴 肖开学 沈品华

张立茗 赵 源 赵光麟

序

近年来，表面工程的发展异常迅速，日益受到各方面的高度重视。

表面工程是经表面预处理后，通过表面涂覆、改性和（或）多种表面技术复合处理，改变固体金属或非金属表面的化学成分、组织结构、应力状态和形态，以获得所需要的表面性能的系统工程。

表面工程是由多个学科交叉、综合、复合发展起来的新兴学科。它以“表面”为研究核心，在有关学科理论上，按照零件表面的失效机制，采用各种表面技术或复合表面技术进行防护。

随着工业现代化的发展，对各种机械设备零件的表面性能要求愈来愈高。由于各种表面技术的局限性，应用单一的表面技术难以满足愈来愈高的技术要求，发展了综合应用两种或多种表面技术的复合表面技术并称为第二代表面技术。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的特殊工程技术问题。

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、金属材料基体与非金属材料涂层的复合等等。

国际上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《表面工程》杂志，目前已出了 30 多期。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议，同时举办了首届中日表面工程学术研讨会，1993 年在日本大阪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，1996 年 7 月在厦门召开了第三届全国表面工程学术会议。1997 年 11 月将在上海由中国机械工程学会召开国际表面工程学术会议。国际上认为表面工程是 21 世纪的关键技术之一。

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”“七五”期间就已创经济效益 32 亿元以上。

我国表面工程已形成门类较齐全，具有一定生产规模的行业，也形成了不同层次的科研、生产和经营格局。全国从事表面工程研究、设计、生产的有关单位已逾两万，其中，从事表面工程研究或设有相应专业的科研院所 200 余个，大专院校 80 余个。可以说，近十年来，我国表面工程队伍的壮大和技术的发展是前所未

有的；与此同时，这方面的论著也源源问世。机械工业出版社邀请 50 余名专家编写的《表面工程手册》是国内迄今较全面、较系统的表面工程方面的工具书。它是我国表面工程方面科研成果和生产实践的部分总结，既反映了我国传统表面工程技术的进步，也反映了我国新技术开发和生产水平的提高。收集了大量先进、实用和可靠的工艺方法、工艺规程、质量检测方法及表面工程的具体应用实例。在结合防腐工程和摩擦学工业应用方面做到了深入浅出，既有丰富的基础理论知识，又列举了许多可供读者借鉴引用的实例，为广大表面工程专业工作者提供了方便。

面向 21 世纪，集中精力把经济建设和改革开放搞得更快更好，我们应当坚持科教兴国，依靠科技进步发展表面工程，为我国的现代化建设做出新贡献！

中国工程院院士、
中国机械工程学会副理事长
兼表面工程研究所所长、
中国设备管理协会副会长、
全军装备维修表面工程研究中心主任
《表面工程》杂志编委会主任

涂浩士

1997.7.15

前 言

早在我国南北朝（公元420~589年）时，已有所谓“灌钢技术”含义的文字记述^①。明代科学家宋应星著《天工开物》一书“锤锻第十卷锄鍤^②”一节中更作了具体说明。大意是，将熔化生铁淋在熟铁锄坯的刃部，经过淬火后，就变得刚而韧了。一把一斤重的锄、鍤淋生铁三钱。淋少了不够坚硬，淋多了又太硬易折断。可以说这是早期表面渗碳淬火工艺在农具上的应用，对农业生产的发展起到了重要作用。

我国华北、西北地区出土了许多古代青铜器饰物。经专家们用现代微区分析方法对在内蒙古、宁夏等地出土的春秋晚期（公元前6世纪至公元前4世纪末）的多件鄂尔多斯青铜器饰物表面富锡层进行分析、研究证实，这些富锡层都是经人工镀锡处理的^③。其中，单面镀锡的应是采用擦镀法，双面镀锡的应是采用热浸法。可以认为，至迟在春秋晚期，镀锡技术在我国华北、西北地区已普遍应用。在《诗经·秦风·小戎》中三处提到“鍤”^④，鍤即是镀。专家们认为这是我国镀锡最早的记载。有的专家认为，我国西周时期（公元前11世纪到公元前771年）已有镀锡工艺^⑤。

以上说明我国在表面处理技术上发展很早，在当时水平很高，对经济发展和满足生活需要作出了重要贡献。

随着社会经济的发展和各种新技术的不断涌现，不但对各类机械，尤其对机械零件的表面抵抗日益苛刻的服役条件的能力（防腐蚀、耐磨损、高强度以及在某些情况下表面应具有特殊功能等）提出了愈来愈高的要求，同时也为各类表面处理技术的发展提供了很好的基础和条件；另外，人们对各类生活用品的高性能、耐用度和装饰性的要求也随着生活水平的提高而不断提高。正是这些要求和条件，极大地推动着表面处理技术的飞速发展，并逐步形成了当前的表面工程学科和行业领域。

表面工程可以概括为经表面预处理后，通过表面镀覆、表面改性或表面复合处理，改变固态金属表面或非金属表面的化学成分、组织结构、形态和（或）应力状态，以获得所需要表面性能的系统工程。

表面工程是工程科学技术诸领域中一个非常活跃、成果突出、与生产实践紧密结合的领域。

当前，在基体界面特性、涂层（膜）的设计、形成和失效机理等基础研究方面，

① 宋朝苏颂著《重修政和经史证类备用本草》中引南北朝陶弘景记述：“钢铁是杂炼生柔作刀镰者”。

② 宋应星著《天工开物》（1637年）“锤锻第十卷锄鍤”：“凡治地生物，用锄、鍤之属，熟铁锻成，熔化生铁淋口，入水淬健，即成刚劲。每锄、鍤重一斤者，淋生铁三钱为率。少则不坚，多则过刚而折。”

③ 韩汝芬，埃玛·邦克，表面富锡的鄂尔多斯青铜饰品的研究，文物，1993年第9期。

④ 《诗经·秦风·小戎》中有“游环骋驱，阴鞿鍤鍤”、“龍盾之合，鍤以釧鞞”、“公矛鍤鍤”等句。

⑤ 张子高，从镀锡铜器谈到鍤字本意，考古学报，1958年第3期。

在两种或两种以上表面处理技术复合应用方面，在充分吸收高新技术成果，制备各类高性能和特殊性能涂层以及使表面处理技术逐步实现完全自动化、智能化方面，在消除表面处理过程中对环境的污染，逐步实现全过程清洁生产方面，在涂层精确测量和性能测定方面都吸引着国内外众多专家、学者的广泛关注，进行着大量深入有效的工作。

为了进一步促进我国表面工程行业技术进步，推动国民经济有关部门的快速发展，机械工业出版社和我们邀请了我国表面工程专家、学者 50 余名，历时 8 年，编写了这本大型工具书《表面工程手册》。本书以总结我国表面工程领域成功生产经验和重要科研成果为主，同时结合国情，吸收国外有关经验和展示国际发展趋势，在内容上力求先进、实用、全面、准确，在编写上力求简明扼要、突出重点、查阅方便。本书主要读者对象是表面工程领域的工程技术人员，也可供相邻专业的科研、设计、生产等有关人员及大专院校师生参考。

手册包括引论共 11 篇。引论概述了表面工程的含义、分类、技术基础与发展趋势；第 1~7 篇，系统介绍了表面调整净化、有机涂装、热喷涂、防锈封存包装、化学热处理与新型表面改性、电镀、化学镀、转化膜等表面处理技术的基础理论、工艺方法、工艺材料、工艺装备及质量评价；第 8 篇综合介绍涂（膜）层表面分析与物理性能检测技术；第 9 篇介绍防腐工程技术，包括大型钢结构大气、海洋腐蚀防护，管道、换热器等腐蚀防护的设计与应用；第 10 篇介绍表面工程摩擦学工业应用，从摩擦学的角度，介绍表面涂（膜）层摩擦学特性评价及其应用选择。附录介绍表面工程国内外标准目录。

表面工程是一个既古老又新颖的学科。它涉及面广，发展迅速，实践性强。全体编委和编写人员虽辛勤努力工作，但限于水平，疏漏之处难免，恳请广大读者和专家们提出宝贵意见。我们希望本书经过一段时间应用后，再作修订再版，期望能一版一版出下去，为表面工程行业技术进步和学科发展发挥更大作用。

中国科学技术协会副主席
中国机械工程学会副理事长
机械工业部机械科学研究院原院长
孙大涌
机械工业部武汉材料保护研究所
李国英
1997 年 9 月

引 论

主 编 李国英 (教授级高工 机械工业部武汉材料保护研究所)

主 审 孙大涌 (教授级高工 机械工业部机械科学研究院)

责任编辑 王兴垣 (高工 机械工业出版社)

1 表面工程的基本涵义、特点、分类及常用工艺方法

表面工程是在传统表面技术的基础上,应用材料科学、冶金学、机械学、电子学、物理学、化学、摩擦学等学科的原理、方法及最新成就综合发展起来的一门新兴学科。它研究材料表面、界面的特征、性能及改质过程和相应方法。其目的是利用各种物理、化学或机械的工艺过程改变基材表面状态、化学成份、组织结构或形成特殊的表面覆层,优化材料表面,以获得原基材表面所不具备的某些性能,达到特定使用条件对产品表面性能的要求,如获得高装饰性,耐腐蚀、抗高温氧化、减摩、耐磨、抗疲劳性能及光、电、磁等多种表面特殊功能。在工程上,它针对产品典型服役条件,研究表面失效机制、特征,同时设计新的表面,应用表面加工、表面涂覆、表面改性等单一或复合的技术,实现基体、界面及表面三者的优化组合,获得最佳表面性能。图 0.1-1 为涂层—基体组合系统示意图。

表面工程最突出的技术特点是无需整体改变材质而能获得原基材所不具备的某些特殊性能。

采用不同的处理工艺,可使基材表面获得整体材料很难得到的特殊成份与结构,如超细晶粒、非晶态、超饱和固溶体、多重结构、多相弥散结构等,相应具备一些整体材料很难得到的特殊性能。

表面工程另一技术特点是基材与镀覆材料选择范围很广,具有极大的灵活性。通过采用不同的处理工艺,能在金属、有机、无机材料的基体表面制备单金属、合金、陶瓷、有机高分子材料、类金刚石、非晶态等多种单一材料或复合材料的表面层,充分利用各种基材—涂层组合的特点设计新的功能,满足产品特种功能或综合功能多种使用要求。

表面工程有多种分类方法:

(1) 按表面层种类分类:

1) 无覆层:基体表面经过化学预处理、精整或热加工硬化,仅改变表面应力或组织状态,不改变基体表面成份。

2) 金属覆层:用电镀、金属喷涂、表面合金化或热浸、包覆、气相沉积等方法,在基体表面覆以薄层金属、合金或金属基复合材料。

3) 有机覆层:基体表面覆以有机材料,主要是涂装层,此外还有塑料、橡胶粘附等覆层。

4) 无机覆层:在基体表面涂覆玻璃搪瓷、水泥、陶瓷和珐琅等无机材料。

5) 转化覆层:钢、锌、铝或镁、钛等金属表面经化学或电化学处理产生的金属化合物覆层,有氧化物、磷酸盐、铬酸盐等覆层。

(2) 按表面层功能特性分类:

1) 表面装饰:不同光亮、色泽、花纹的组合,使外观精美、多样化,增加美感与耐用性。

2) 防腐蚀:耐环境气氛腐蚀,耐淡水、海水腐蚀、耐化学介质浸渍腐蚀等。

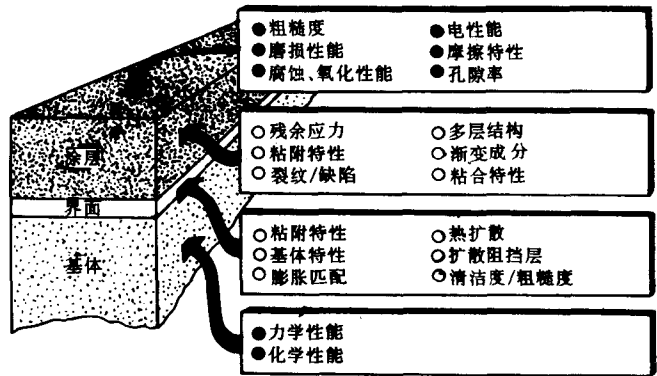


图 0.1-1 能控制获得特定用途最佳特性的涂层—基体组合系统示意图

3) 耐磨:耐腐蚀磨损、微动磨损、磨粒磨损、硬面及纤维磨损,抗擦伤咬死、减摩自润滑、可磨耗密封等。

4) 热功能:耐热、抗高温氧化、热绝缘、热辐射、高温封严等。

5) 光、电、磁特种功能:反光、消光、吸收、超导、导电、绝缘、半导体、电磁屏蔽等。

6) 其他特种功能:吸波、红外反射、太阳能吸收、辐射屏蔽、催化、生物功能等。

(3) 按工艺方法分类:

1) 电化学方法:利用电极反应,在基体上形成镀覆层,如电镀、阳极氧化等。

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

3) 热加工法:利用高温条件下材料熔融或热扩散,在基体表面形成镀、渗层,如热浸、表面合金化等。

4) 高真空法:利用材料在高真空下气化或受激离子化而形成表面镀覆层,如真空蒸发镀、溅射镀、离子镀等。

5) 其他物理方法:如机械镀、涂装、激光表面加工等。

(4) 按作用原理分类

1) 原子沉积: 沉积物以原子、离子、分子和粒子集团等原子尺度的粒子形态在材料表面上沉积形成外加覆盖层, 如电镀、物理气相沉积、化学气相沉积。

2) 颗粒沉积: 沉积物以宏观尺度的颗粒形态在材料表面上形成覆盖层, 如热喷涂等。

3) 整体覆盖: 包覆、粘结、浸镀、涂刷、堆焊等。

4) 改性处理: 化学转化、离子注入、离子渗、扩散渗、激光表面处理、热加工相变硬化、表面机械处理强化(喷丸、滚压)等。

表面工程常用工艺方法, 如表 0.1-1 所示。

表 0.1-1 表面工程常用工艺方法

序号	工艺方法	主要用途
1	表面化学法预处理: 溶剂清洗, 碱洗, 碱蚀, 酸洗, 酸蚀, 乳化液清洗, 化学抛光, 电解抛光, 电解清洗等	1. 清洁表面(去油、锈、氧化皮) 2. 满足表面光亮、粗化或其他要求 3. 表面均一
2	表面机械法精整: 喷砂、喷丸、磨光、抛光、刷光、滚光等	1. 清理表面杂质 2. 表面均一及粗化 3. 表面强化(喷丸硬化)
3	热加工相变硬化: 火焰加热硬化、激光淬火、电子束硬化等	提高表面硬度与耐磨性(不改变基体表面化学成份)
4	热化学(扩散)表面改性: 渗碳、碳氮共渗, 渗氮、渗硫与多元共渗, 渗硼及多元共渗, 渗金属及复合渗, 激光表面合金化, 热浸锌、铝等	提高耐蚀、耐热、耐磨及抗疲劳性能
5	化学法镀覆: 化学镀, 溶胶—凝胶法, 磷酸盐处理, (磷化) 铬酸盐处理(铬酸盐钝化) 草酸盐处理, 钢铁氧化(发兰)等	1. 防护装饰 2. 改善耐磨性能 3. 冷变形加工润滑
6	电镀: 常规单金属镀, 复合电镀, 合金电镀, 脉冲电镀, 高速电镀, 激光电镀, 刷镀等	1. 防护装饰 2. 提高减摩耐磨性能 3. 制备特殊功能金属镀层(光、电、磁、可焊性等)
7	电铸: 电铸镍, 电铸铜等	1. 复制金属制品 2. 尺寸修复

(续)

序号	工艺方法	主要用途
8	阳极氧化: 铝及铝合金阳极氧化, 镁及镁合金阳极氧化, 钛及钛合金阳极氧化等	1. 防护装饰 2. 提高减摩耐磨性能 3. 制备特殊功能膜(耐热、绝缘、太阳能吸收等)
9	有机涂装: 浸涂, 淋涂, 幕帘淋涂, 辊涂, 电泳涂装, 自泳涂装, 静电涂装, 喷涂, 流化床涂覆等	1. 防护装饰 2. 耐腐蚀 3. 制备特种功能有机涂层(隔音、减震、隔热、耐油、防火、电绝缘、防污等)
10	热喷涂: 火焰喷涂, 电弧喷涂, 等离子喷涂, 爆炸喷涂, 粉末等离子堆焊等	制备耐蚀, 耐磨, 减摩, 隔热, 导电, 绝缘, 可磨耗封严等多种功能涂层
11	物理气相沉积(PVD): 蒸发镀, 溅射镀, 离子镀等	制备装饰性、耐磨、耐蚀及光、电、磁等功能薄膜
12	化学气相沉积(CVD): 常压化学气相沉积, 低压化学气相沉积, 激光化学气相沉积, 金属有机化合物化学气相沉积, 等离子体化学气相沉积等	制备耐磨, 抗氧化, 抗腐蚀固态薄膜, 适用于复杂零件及难熔金属、石墨、陶瓷等基体材料零件处理, 可沉积难熔金属
13	离子注入表面改性: 氮离子注入(单一气体注入), 等离子源离子注入, 离子辅助镀膜等	制备金属成形刀具、模具耐磨硬质涂层
14	缓蚀材料防锈(封存防锈); 水剂防锈, 油脂防锈, 气相防锈, 可剥性塑料防锈, 防锈切削液等	整机设备及机械基础件(包括原材料, 毛坯件)在运输、储存及加工工序间周转过程中防锈
15	其他: 包覆、衬里、搪瓷涂覆、离心浇注、料浆喷涂、机械镀等	制备耐化工腐蚀厚覆层及耐蚀镀层(机械镀)
16	复合处理: 喷—渗, 镀—渗, 镀—喷—有机涂装, 喷—激光重熔, 表面强化—固体润滑膜, 多种薄膜复合等	制备高性能多功能涂层

2 表面工程技术在国民经济中的地位与作用

表面工程技术的应用涉及国民经济各行各业,在国民经济中具有重要的地位与作用。

(1) 表面工程技术是产品制造的关键技术之一,是保证产品质量的基础工艺技术

通过各种表面处理技术(单一或复合)可使产品表面得到成份、组织可控的金属、合金、陶瓷、金属陶瓷、有机物等多种保护涂层,满足不同工况服役与装饰外观要求,显著提高产品的使用寿命、可靠性与市场竞争能力。如:使用环境比较恶劣的海洋平台、大露天矿开采、冶金石化生产设备,采用长效复合保护,可在5~10年的使用期间内不产生锈蚀;机械行业使用量大面广的刀具、模具、泵类、轴类、阀门,经过表面强化后,使用寿命普遍提高3~5倍;航空发动机大约有2800多个零件采用热喷涂技术,涂覆材料达40余种。

(2) 表面工程技术是节能节材和挽回经济损失极有效手段

据统计,机械制造中约有三分之一的能源直接或间接地消耗于磨损、腐蚀引起的损失,世界钢产量的十分之一损耗于锈蚀与其他腐蚀,腐蚀与磨损给国民经济造成的损失惊人,根据英、美等国调查,国民经济总产值2%~4%因腐蚀而损失,我国每年由于腐蚀造成的损失至少在400亿元以上,1990年调查我国27个省市约400个机械工业企业,每年因腐蚀损失116亿元。经国内外有关专家共同评估,我国每年磨损损失近150亿元。

采用有效防护手段,至少可减少腐蚀损失15%~35%,减少磨损损失1/3左右。此外,由于表面涂层很薄,往往用极少的材料进行表面涂覆和改性就能明显提高耐蚀耐磨等性能,对节约贵重材料,降低制造成本具有明显经济效益。我国阀门、钻杆接头、输煤机槽板三项产品应用等离子喷焊技术,使其寿命提高3~5倍,每年节约钢材6000余吨;内燃机缸套/活塞环、凸轮/挺杆、轴与轴瓦三对摩擦付应用摩擦学知识和表面处理技术,可降低能耗1/4~1/3,大修里程由10万公里提高到30万公里。

此外,对于磨损了的零件或尺寸加工错了的零件,可以利用热喷涂、电刷镀等表面技术进行修复,而且使用寿命比原件还要长。国内成功地对引进某大型设备的大主轴(价值约100万美元)进行了修复,起死回生,运转正常。对磨损了的模具、曲轴、导轨、缸套、箱体、轴类、轴承座、斗齿、衬板等零件以及坦克零件,均利用表面工程技术开展正常维修工作,获得了极大的经济效益。

(3) 表面工程为高新技术的发展提供特殊材料

表面工程技术促进了材料科学的发展,为高新技术的发展提供特殊涂层材料。采用热喷涂技术可以制备纤维增强复合材料、超导材料;采用电沉积、化学沉积、热喷涂技术可制备非晶态材料;利用电化学和离子注入技术可制备电子材料;电子产品电镀已成为电子材料的重要技术;利用表面处理技术可制备合成树脂涂层和金属涂层的光纤材料,尤其是可以发展各种覆层钢板,如塑料覆层钢板、喷铝/锌覆层钢板、热镀铝/锌复合钢板、复合钢丝、复合钢带、磷化及有机覆层钢板;利用热喷涂及激光熔敷技术可制备工程陶瓷等等。

3 表面工程技术发展趋势

(1) 深入开展表面工程基础理论与表面测试技术的研究

材料的磨损、腐蚀、疲劳失效及表面功能失效均发生在表面、界面;表面改性、表面涂覆原理、机理、过程、特性也都与表面密切相关,随着表面科学与表面检测评价技术的进步,研究手段不断更新,研究内容亦不断深化,诸如:

腐蚀与防护方面:

应用交流阻抗微机在线测量,电化学腐蚀测试,表面分析新技术研究腐蚀过程,缓蚀机理,氧化钝化膜的形成、破坏及涂膜层的失效机制等。

摩擦学方面:

应用现代表面分析技术,从原子水平上研究摩擦、磨损和润滑机理——纳米摩擦学;研究摩擦磨损表面化学效应;研究表面改性,表面涂(膜)摩擦学工业应用等。

功能薄膜技术方面:

针对金刚石、类金刚石、催化等新型功能薄膜的技术开发,研究表面模型、膜生长机制、界面设计及膜层——结合材料—基体之间的相互作用。

(2) 发展复合技术

单一表面技术由于其本身的局限性,已不能完全满足产品制造高性能、多功能的要求,而两种或多种表面技术的复合取得了很好的效果,如热喷涂与激光重熔复合,化学热处理与电镀的复合,表面强化与喷丸强化复合,热喷涂、电沉积与有机涂装复合等,因此,开发不同材料,不同工艺的复合技术已成为当今表面工程领域研究的一个重要方面。

(3) 传统表面处理产业引入高新技术

随着科学技术的进步,国内外传统表面处理产业不断吸收机械、电子、光学、信息工程、自动化、计算

机、新材料等领域的先进技术,如采用自动化、智能化设备大大减轻工人劳动强度,逐步实现无人操作;引入激光、电子束、离子束等新技术,发展高能束表面处理工艺;采用高性能有机聚合物及超微粒金属、陶瓷粉末材料制备涂层等。为此,传统表面处理产业产生了质的飞跃。

(4) 表面工程领域中的清洁生产

长期以来世界各国对传统表面处理工艺的三废

(废水、废气、废渣)处理技术进行了大量的研究,已开发出多种效果较好的三废处理技术,但这毕竟只是消极、被动的补救措施,不是治本之道,变末端处理为全过程控制和预防,即开发从设计到制造及运行全过程的无环境污染能源节约和再生的清洁生产技术,已成为当今表面工程技术发展的必然趋势,如开发无毒、无三废排放工艺、快速低温工艺、无公害物理气相沉积技术,无公害、无毒有机涂层工艺技术等。

参 考 文 献

- 1 D. S RICKERBY and A. MATTHEWS Advanced surface Coatings: a Handbook of surface Engineering U. S. A 1991
- 2 T. S SVDARSHAN 编. 范玉殿等译. 表面改性技术工程师指南. 北京: 清华大学, 1990
- 3 Finishing. 10 (1993) 18-23
- 4 《高技术新材料要览》编辑委员会编. 高技术新材料要览. 中国科学技术出版社, 1993
- 5 《表面处理工艺手册》编审委员会编. 表面处理工艺手册. 上海: 上海科学技术出版社, 1991
- 6 [日]川崎元雄等著. 徐清发、李国英、潘晓燕译. 实用电镀. 机械工业出版社, 1985
- 7 M. G HOCKING. V. VA SANTASREE & P. S. SIDKY Metallic and Ceramic Coatings. U. S. A, 1989
- 8 RAM KOSSOWSKY. Surface Modification Engineering. U. S. A, 1989
- 9 “认识特性掌握规律, 推进表面工程技术发展”. (中国机械工程学会表面工程分会会议资料) 1996
- 10 美国金属学会主编. 中国机械工程学会热处理分会编译. “金属手册”案头卷加工工艺与通用资料. 北京: 机械工业出版社, 1992
- 11 林春华, 葛祥荣等编. 简明表面处理工手册. 北京: 机械工业出版社, 1995
- 12 张小诚编. 新型材料与表面改性技术. 广州: 华南理工大学出版社, 1990
- 13 材料耐磨抗腐蚀及其表面技术丛书编委会主编, 李志忠编著. 激光表面强化. 机械工业出版社, 1984
- 14 陈全明编著. 金属材料及强化技术. 上海: 同济大学出版社, 1991
- 15 科学技术百科全书(中译本)二十七卷. 矿冶工程学. 北京: 科学出版社, 1986
- 16 中国大百科全书. 机械工程卷 I. 北京: 科学出版社, 1987
- 17 中国大百科全书. 机械工程卷 II. 北京: 科学出版社, 1987
- 18 徐滨士、马世宁等编. 中国表面工程的发展. 《中国机械工程》. 1996, Vol7 NO6
- 19 材料研究学会编. 新型材料及表面技术. 94 秋季中国材料研讨会会议论文集第 III 卷. 北京: 化学工业出版社, 1994

目 录

序
前言

引 论

- | | | | |
|------------------------------------|-----|--------------------|-----|
| 1 表面工程的基本涵义、特点、
分类及常用工艺方法 | 0-3 | 与作用 | 0-5 |
| 2 表面工程技术在国民经济中的地位 | | 3 表面工程技术发展趋势 | 0-5 |

第 1 篇 表面调整及净化

第 1 章 概 述

- | | |
|--------------------|-----|
| 1 表面调整及净化的目的 | 1-3 |
| 2 表面调整及净化分类 | 1-3 |
| 3 表面调整及净化法选择 | 1-3 |

第 2 章 碱 液 清 洗

- | | |
|-----------------------|-----|
| 1 碱液清洗的目的 | 1-3 |
| 2 碱液清洗溶液 | 1-3 |
| 2.1 碱液清洗原理和主要材料 | 1-3 |
| 2.2 碱液清洗液配方 | 1-4 |
| 3 碱液清洗工艺方法 | 1-5 |
| 3.1 工艺方法分类及主要特点 | 1-5 |
| 3.2 清洗工艺方法的选择 | 1-6 |

第 3 章 溶 剂 清 洗

- | | |
|--------------------|-----|
| 1 溶剂清洗的目的和内容 | 1-6 |
| 2 溶剂清洗材料 | 1-7 |
| 3 溶剂清洗工艺方法 | 1-7 |

第 4 章 水 剂 清 洗 工 艺 方 法

- | | |
|--------------------------|------|
| 1 水剂清洗材料 | 1-8 |
| 1.1 水剂清洗的特点 | 1-8 |
| 1.2 水剂清洗液的组分与表面活性剂 | 1-9 |
| 1.3 表面活性剂的分类及其特性指数 | 1-9 |
| 1.4 洗涤剂其他组分与洗涤剂 | 1-13 |

- | | |
|------------------|------|
| 2 水剂清洗工艺方法 | 1-15 |
| 3 乳剂清洗 | 1-15 |

第 5 章 化 学 除 锈

- | | |
|---------------------|------|
| 1 化学除锈的目的和内容 | 1-16 |
| 1.1 化学除锈的目的 | 1-16 |
| 1.2 化学除锈内容 | 1-16 |
| 2 化学除锈溶液 | 1-16 |
| 2.1 化学除锈原理 | 1-16 |
| 2.2 缓蚀剂的作用与品种 | 1-17 |
| 2.3 各种酸除锈性能比较 | 1-17 |
| 2.4 化学除锈液配方 | 1-17 |
| 2.5 中和与水洗 | 1-18 |
| 2.6 碱去锈及除氧化皮 | 1-19 |
| 2.7 去油除锈综合处理 | 1-19 |
| 2.8 化学除锈膏除锈 | 1-20 |
| 2.9 用除锈电极除锈 | 1-20 |
| 3 不同基材化学除锈方法 | 1-20 |

第 6 章 机 械 清 理

- | | |
|--------------------|------|
| 1 机械清理的目的、内容 | 1-21 |
| 2 机械清理方法 | 1-21 |

第 7 章 表 面 精 整

- | | |
|----------------|------|
| 1 精整方法 | 1-27 |
| 1.1 精整目的 | 1-27 |
| 1.2 精整方法 | 1-27 |
| 2 精整工作介质 | 1-29 |

第 8 章 表面清洁度一般要求及检测方法

- 1 一般要求 1-32
- 2 检测方法 1-32

第 9 章 铸、锻、焊件毛坯表面净化

- 1 铸、锻、焊件毛坯表面特点 1-35
- 2 表面净化方法 1-35

第 2 篇 有机涂装

第 1 章 概 述

- 1 涂料与涂装的定义 2-3
- 2 涂料的作用 2-3

第 2 章 常用涂料

- 1 涂料组成及分类 2-3
- 1.1 涂料组成及各组分的作用 2-3
- 1.2 涂料分类 2-3
- 1.3 涂料命名和型号 2-3
- 2 涂料的性能 2-6
- 2.1 油脂漆 2-6
- 2.2 天然树脂漆 2-6
- 2.3 酚醛树脂漆 2-7
- 2.4 沥青漆类 2-7
- 2.5 醇酸树脂涂料 2-7
- 2.6 氨基树脂漆 2-8
- 2.7 硝基漆类 2-9
- 2.8 纤维素漆 2-9
- 2.9 过氯乙烯漆 2-10
- 2.10 烯树脂漆 2-10
- 2.11 丙烯酸树脂漆 2-10
- 2.12 聚酯树脂漆 2-11
- 2.13 环氧树脂漆 2-11
- 2.14 聚氨酯漆 2-12
- 2.15 元素有机漆 2-13
- 2.16 橡胶漆 2-13
- 2.17 其他漆 2-13
- 2.18 乳胶漆 2-13
- 2.19 电泳漆类 2-14
- 2.20 粉末涂料 2-15
- 2.21 高固体分涂料 2-16
- 2.22 非水分散型涂料 2-16
- 2.23 紫外线固化 (UVC) 涂料 2-16
- 2.24 电子束固化 (EEC) 涂料 2-17
- 3 常用涂料的稀释剂 2-18
- 3.1 概述 2-18
- 3.2 溶剂的通性及其作用 2-18

- 3.3 各类溶剂及特性 2-20
- 3.4 常用涂料的稀释剂 2-21
- 3.5 溶剂的选择与使用 2-22
- 4 涂料的选择 2-23
- 5 涂料的施工条件 2-24
- 6 涂料选用的原则 2-24

第 3 章 涂装前处理工艺及设备

- 1 涂装前处理的目的 2-25
- 2 除油处理工艺 2-25
- 2.1 金属除油 2-25
- 2.2 木材表面除油及其他预处理工艺 2-26
- 2.3 塑料表面预处理 2-26
- 2.4 混凝土表面预处理工艺 2-26
- 3 除锈工艺 2-27
- 3.1 除锈方法的分类与应用 2-27
- 3.2 除油除锈综合处理及除锈等级 2-27
- 4 磷化工艺 2-28
- 4.1 磷化的作用与分类 2-28
- 4.2 磷化膜形成的原理及特征 2-29
- 4.3 磷化液配方及工艺参数 2-30
- 4.4 磷化膜的质量检验 2-31
- 4.5 影响磷化膜质量的主要因素 2-32
- 4.6 磷化过程中出现的病态及防治方法 2-33
- 4.7 金属钝化 2-34
- 4.8 去油、除锈、磷化或钝化“三合一”处理工艺 2-34
- 4.9 去油、除锈、磷化、钝化“四合一”处理工艺 2-35
- 4.10 有色金属件的预处理 2-36
- 5 浸渍式涂装前处理设备 2-36
- 5.1 设备的类型 2-36
- 5.2 设备的结构 2-36
- 6 喷淋式涂装前处理设备 2-38
- 6.1 设备类型 2-38
- 6.2 设备结构 2-39

7	气相式除油清洗设备	2-42	2.5	加热器与工件的距离	2-65
8	涂装前机械除锈喷抛丸设备	2-43	2.6	加热方式	2-65
8.1	喷抛丸除锈清理设备的类型	2-43	3	漆膜人工干燥的设计原则	2-65
8.2	喷抛丸除锈清理设备的主要 结构	2-43	3.1	生产纲领和工件最大外形尺寸	2-65
第4章 涂装工艺和设备			3.2	涂装工艺	2-65
1	涂装工艺设计原则	2-48	3.3	涂料性质和涂层厚度	2-65
1.1	涂层的分类	2-48	3.4	工件性质和形状	2-65
1.2	涂料的选用原则	2-48	3.5	能源状况和经济性	2-66
1.3	涂装方法的选用原则	2-48	3.6	烘干室结构	2-66
1.4	涂装工艺设计原则	2-48	4	干燥设备类别及其适应性	2-66
2	喷涂(空气喷涂)工艺和喷漆室	2-49	4.1	固定式烘干室	2-66
2.1	空气喷枪的种类和选用	2-49	4.2	直通式烘干室	2-66
2.2	空气喷涂的工艺要点	2-51	4.3	桥式烘干室	2-66
2.3	喷漆室	2-52	4.4	垂直升降式烘干室	2-66
2.4	喷漆室辅助装置	2-53	4.5	双行程或多行程烘干室	2-66
2.5	自动空气喷涂	2-54	5	人工干燥设备能源选择	2-67
3	静电喷涂工艺和静电喷涂设备	2-54	6	干燥设备加热器型式选择及其 适应性	2-67
3.1	静电喷涂的特点	2-54	6.1	对流式加热器	2-67
3.2	静电喷枪的种类和选用	2-55	6.2	辐射式加热器	2-67
3.3	自动静电喷涂	2-56	7	烘干设备结构	2-71
3.4	静电涂装的工艺条件	2-56	7.1	室体	2-71
4	浸涂工艺和浸涂设备	2-56	7.2	加热系统	2-72
4.1	浸涂的特点和用途	2-56	7.3	废气处理系统	2-73
4.2	浸涂设备	2-56	7.4	空气过滤器	2-73
4.3	浸涂漆工艺条件	2-57	7.5	热风循环系统	2-74
5	电泳涂装工艺和设备	2-57	7.6	风幕	2-74
5.1	电泳涂装的特点和用途	2-57	7.7	温度控制系统	2-74
5.2	电泳涂装设备	2-57	8	烘干室设备应用举例	2-75
5.3	电泳涂装管理	2-61	8.1	固定式烘干室应用	2-75
6	粉末静电喷涂工艺和设备	2-61	8.2	直通式烘干室应用	2-75
6.1	粉末涂装的特点和用途	2-61	第6章 涂装作业安全		
6.2	静电粉末涂装设备	2-62	1	涂装作业安全的重要性	2-77
第5章 漆膜干燥工艺和设备			2	安全涂料及选择	2-77
1	漆膜干燥方法	2-63	2.1	涂料不安全的因素	2-77
1.1	自然干燥	2-63	2.2	安全涂料的选择	2-78
1.2	人工干燥	2-63	3	防毒安全	2-78
2	影响漆膜干燥的因素	2-64	3.1	毒源与危害	2-78
2.1	温度	2-64	3.2	防毒技术措施	2-79
2.2	干燥时间及升温梯度	2-64	4	防火防爆安全	2-80
2.3	空气湿度	2-64	4.1	涂装作业中的危险物及性能	2-80
2.4	空气流速	2-65	4.2	爆炸危险性及火灾危险的分级	2-81
			4.3	防火、防爆措施	2-82

5	防尘安全	2-84	2.1	年生产纲领的挂具数	2-107
5.1	粉尘的来源及危害	2-84	2.2	挂具间距(T)	2-107
5.2	防尘安全措施	2-84	2.3	工艺时间对生产线的影响	2-107
6	防静电安全	2-85	3	涂装生产线的区划与设备 布置	2-107
6.1	涂装作业中静电产生及危害	2-85	3.1	涂装生产线的组成	2-107
6.2	防静电安全措施	2-85	3.2	涂装生产线上设备的布置	2-109
7	防噪声安全	2-86	4	涂装机器人的应用	2-109
7.1	涂装作业的噪声源	2-86	4.1	涂装机器人的使用概况	2-109
7.2	噪声治理的一般原则	2-87	4.2	涂装机器人的分类	2-109
7.3	涂装作业的噪声治理	2-87	4.3	涂装机器人的结构	2-109
8	防腐蚀安全	2-89	4.4	涂装机器人的性能及规格	2-110
8.1	涂装作业中的腐蚀因素及危害	2-89	4.5	涂装机器人与生产线的组合	2-110
8.2	防腐蚀安全措施	2-90	5	涂装生产线实例	2-113
9	个人安全技术措施	2-91	第9章 涂装车间工艺设计		
9.1	涂装作业中危及个人的因素	2-91	1	概述	2-116
9.2	个人安全技术措施	2-91	2	涂装车间工艺设计的阶段、程序与设计 文件	2-116
第7章 涂装作业环境保护			2.1	设计阶段与程序	2-116
1	涂装作业环境污染及其控制 原则	2-92	2.2	各设计阶段中工作的主要内容	2-116
1.1	涂装作业中环境污染的来源	2-92	2.3	涂装车间初步设计文件(工艺部分) 目录	2-118
1.2	控制三废的原则	2-92	2.4	涂装车间施工图设计文件(工艺部分) 目录	2-119
2	涂装前处理除油废水处理	2-93	3	涂装车间工艺设计的基本限制 条件	2-119
2.1	除油废水的来源和组分	2-93	3.1	生产纲领	2-119
2.2	除油废水处理方法	2-94	3.2	项目投资和建筑面积	2-119
3	酸废水的处理	2-94	3.3	工作制度与年时基数	2-119
4	电泳涂漆废水处理	2-97	3.4	涂漆标准	2-120
5	喷漆室废水处理	2-100	3.5	项目工厂自身的限制条件	2-120
5.1	喷漆室废水的特点	2-100	3.6	国家有关法律、法令、政策	2-120
5.2	处理方法	2-100	4	涂装车间工艺设计中需解决的 重点问题	2-120
6	涂装溶剂废气处理	2-100	4.1	涂装车间在全厂中位置的 确定	2-120
6.1	溶剂废气的来源及特点	2-100	4.2	涂料品种的选择	2-120
6.2	废气处理方法	2-100	4.3	涂装作业的组织形式	2-121
7	涂装前处理含酸废气治理	2-106	4.4	涂装工艺流程及设备的确定	2-121
8	涂装废渣处理	2-106	4.5	涂装车间工艺平面布置	2-121
第8章 涂装生产线			4.6	公用动力耗量的计算与确定	2-122
1	涂装生产线的类别	2-106	4.7	涂装车间对土建的要求	2-124
1.1	连续式涂装生产线	2-107	参考文献		2-124
1.2	间歇式涂装生产线	2-107			
1.3	往复移动式涂装生产线	2-107			
2	连续式涂装生产线生产能力的 确定	2-107			

第3篇 热 喷 涂

第1章 热喷涂的原理和方法

- 1 热喷涂技术原理 3-3
 - 1.1 热喷涂方法分类 3-3
 - 1.2 各种热喷涂方法的技术特征 3-4
- 2 热喷涂方法 3-4
 - 2.1 熔体金属注入喷涂 3-4
 - 2.2 线材火焰喷涂 3-4
 - 2.3 陶瓷棒火焰喷涂 3-5
 - 2.4 粉末火焰喷涂 3-5
 - 2.5 粉末火焰喷熔 3-5
 - 2.6 爆炸喷涂 3-5
 - 2.7 高速火焰喷涂 3-5
 - 2.8 电弧喷涂 3-6
 - 2.9 等离子喷涂 3-6
 - 2.10 反应等离子喷涂 3-7
 - 2.11 线爆喷涂 3-7
 - 2.12 激光喷涂 3-8
- 3 涂层形成和裂纹产生过程 3-8
- 4 热喷涂技术和其他表面技术相互渗透的联合应用 3-8
 - 4.1 用化学热处理的方法改善喷涂涂层性能 3-8
 - 4.2 用电镀和热喷涂工艺技术的结合来改善喷涂层的性能 3-9
 - 4.3 用激光束重熔喷涂层提高涂层的耐磨性 3-9
- 5 热喷涂在工业中的应用 3-9
 - 5.1 工艺控制 3-9
 - 5.2 模拟与诊断 3-9

第2章 热喷涂涂层材料

- 1 热喷涂工艺对涂层材料的基本要求 3-10
- 2 热喷涂涂层材料分类 3-10
- 3 热喷涂线材 3-10
 - 3.1 锌、铝、锌铝合金及低熔点合金丝 3-10
 - 3.2 镍及镍基合金丝 3-12
 - 3.3 铁基合金丝 3-12
 - 3.4 铜及铜合金丝 3-15
 - 3.5 铅丝 3-15

- 3.6 镍铝复合喷涂丝 3-16
- 3.7 一步法耐磨涂层用复合丝 3-16
- 3.8 陶瓷棒 3-16
- 4 热喷涂粉末材料 3-17
 - 4.1 热喷涂粉末主要特性 3-17
 - 4.2 金属及合金粉末 3-17
 - 4.3 自熔性合金粉末 3-21
 - 4.4 陶瓷粉末 3-26
 - 4.5 塑料粉末 3-29
 - 4.6 复合粉末 3-31

附录 国内热喷涂材料生产厂家

见附表 3-33

第3章 基体表面预处理

- 1 概述 3-34
- 2 基体表面预处理方法 3-34
- 3 基体表面预处理设备与材料 3-35
- 4 喷砂工艺参数的选择 3-37
 - 4.1 喷砂工艺参数选择指南 3-37
 - 4.2 磨料粒度与类型选择 3-37
 - 4.3 基体预热温度选择 3-38
- 5 基体表面的保护与遮蔽 3-39

第4章 线材火焰喷涂

- 1 概述 3-39
- 2 线材火焰喷涂原理 3-40
- 3 线材火焰喷涂装置 3-40
 - 3.1 喷枪 3-40
 - 3.2 线材火焰喷涂装置供气系统 3-42
- 4 线材火焰喷涂工艺 3-42
 - 4.1 火焰形态和燃气流量的选择 3-42
 - 4.2 喷涂时压缩空气的压力选择 3-43
 - 4.3 喷涂距离的选择 3-43
 - 4.4 基体的材质及规格 3-44
 - 4.5 喷涂角度的选择 3-44
 - 4.6 送丝速度与线材规格 3-44
- 5 线材火焰喷涂涂层 3-45
 - 5.1 涂层特征 3-45
 - 5.2 涂层的结合 3-45
- 6 线材火焰喷涂技术的应用 3-45
 - 6.1 轴及曲轴的修复 3-45
 - 6.2 机械轴或辊表面修复及强化 3-46

6.3 常用于机械零件表面强化和修复的耐蚀及耐磨材料	3-46	2.4 喷枪气路系统	3-75
6.4 钢结构、储罐的长效保护	3-46	2.5 堆焊水路系统	3-75
6.5 材料表面改性	3-46	2.6 常用设备的技术参数及使用性能	3-76
附录 常用线材的火焰喷涂工艺参数表	3-49	2.7 等离子堆焊枪	3-77
第5章 等离子喷涂		3 等离子堆焊工艺	3-81
1 等离子喷涂技术基础	3-49	3.1 等离子堆焊的主要工艺指标	3-81
1.1 等离子体基本概念	3-49	3.2 主要工艺参数及其预选	3-81
1.2 离子的物理基础	3-49	3.3 工艺动作程序及控制方式	3-81
1.3 等离子弧的形式和特征	3-50	3.4 工件堆焊面毛坯的设计	3-82
1.4 等离子喷涂的基本原理和特点	3-51	3.5 合金粉末材料的选用	3-82
1.5 等离子喷涂的分类	3-52	3.6 几种典型产品工艺规范	3-82
2 大气等离子喷涂	3-52	4 堆焊层质量缺陷及解决措施	3-85
2.1 特点	3-52	5 堆焊层质量检测	3-86
2.2 设备	3-52	5.1 宏观检查	3-86
2.3 工艺	3-59	5.2 微观检查	3-86
3 低压等离子喷涂	3-60	第7章 电弧喷涂	
3.1 特点	3-60	1 电弧喷涂原理及特点	3-87
3.2 设备	3-61	1.1 电弧喷涂原理	3-87
3.3 工艺	3-62	1.2 电弧喷涂的主要特点	3-87
3.4 低压等离子喷涂涂层性能	3-63	2 电弧喷涂设备	3-88
4 超音速等离子喷涂	3-63	2.1 电源	3-88
4.1 特点	3-63	2.2 送丝系统	3-89
4.2 设备	3-63	2.3 电弧喷涂枪	3-89
4.3 工艺	3-64	2.4 控制系统	3-90
4.4 涂层特征	3-64	3 电弧喷涂工艺	3-90
5 水稳等离子喷涂	3-65	3.1 表面预处理	3-90
5.1 特点	3-65	3.2 电弧喷涂层材料选择	3-90
5.2 设备	3-65	3.3 喷涂	3-91
5.3 工艺	3-66	3.4 后处理	3-92
5.4 涂层特征	3-66	4 电弧喷涂应用	3-92
6 等离子喷涂的应用	3-67	4.1 长效防腐涂层的应用	3-92
第6章 粉末等离子堆焊		4.2 机械零件修复与预保护	3-93
1 粉末等离子堆焊的技术基础	3-67	4.3 工业锅炉受热管件耐高温腐蚀涂层的应用	3-93
1.1 粉末等离子堆焊的基本原理	3-67	4.4 电弧喷涂快速制模技术	3-93
1.2 粉末等离子堆焊的特点	3-67	第8章 火焰粉末喷熔及重熔	
2 粉末等离子堆焊设备	3-67	1 火焰粉末喷熔技术基础	3-94
2.1 堆焊电源	3-68	1.1 火焰粉末喷熔原理	3-94
2.2 电气控制系统	3-69	1.2 火焰粉末喷熔材料及要求	3-94
2.3 等离子堆焊机床	3-72	1.3 火焰粉末喷熔分类及特点	3-95
		2 火焰粉末喷熔及重熔设备	3-95