

21 世纪技工技能入门丛书

表面处理工技能 快速入门

编著 上海市职业指导培训中心

便于自学

适合培训

就业入门

21SHIJIJIGONGJINENMUCONGSHU

凤凰出版传媒集团
江苏科学技术出版社

21 世纪技工技能入门丛书

表面处理工技能快速入门

编著 上海市职业指导培训中心

凤凰出版传媒集团
江苏科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

表面处理工技能快速入门/上海职业指导培训中心编
著. 南京: 江苏科学技术出版社, 2008. 7

(21 世纪技工技能入门丛书)

ISBN 978 - 7 - 5345 - 6031 - 6

I. 表… II. 上… III. 金属表面处理-基本知识 IV. TG17

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 071979 号

表面处理工技能快速入门

编 著 上海市职业指导培训中心

责任编辑 孙广能

特约编辑 冯 青

责任校对 郝慧华

责任监制 张瑞云

出版发行 江苏科学技术出版社(南京市湖南路 47 号, 邮编: 210009)

网 址 <http://www.pspress.cn>

集团地址 凤凰出版传媒集团(南京市中央路 165 号, 邮编: 210009)

集团网址 凤凰出版传媒网 <http://www.ppm.cn>

经 销 江苏省新华发行集团有限公司

照 排 南京展望文化发展有限公司

印 刷 南京通达彩印有限公司

开 本 787 mm×1 092 mm 1/32

印 张 10.125

字 数 220 000

版 次 2008 年 7 月第 1 版

印 次 2008 年 7 月第 1 次印刷

标准书号 ISBN 978 - 7 - 5345 - 6031 - 6

定 价 20.00 元

图书如有印装质量问题, 可随时向我社出版科调换。

内 容 提 要

本书是根据《表面处理工国家职业标准》的初、中级技术工人等级标准及职业技能鉴定规范编写的。全书系统地介绍了表面处理基础知识、表面预处理、电镀、化学镀、化学转化膜、表面涂敷、金属的着色和染色、气相沉积技术及表面分析和性能测试等内容。

本书图文并茂,通俗易懂,实用性强,可作为从事表面处理的生产第一线工人自学用书和培训教材,也可以供其他有关技术人员参考。

前 言

进入 21 世纪后,随着新一轮经济增长周期的到来,经济发展将跨上一个新的平台。其中,以先进制造业为主的第二产业对我国国民经济的飞速发展起到非常重要的作用;制造业的迅速发展,为国民经济和社会发展作出了重要的贡献。

随着我国工业化进程的加速、产业结构的调整和升级,经济发展对高质量技能人才的需求不断扩大。

面对技能人才短缺现象,政府及各职能部门快速做出反应,采取措施加大培养力度,鼓励各种社会力量倾力投入技能人才培养领域。同时,社会上掀起尊重技能人才的热潮,营造出一个有利于技能人才培养与成长的轻松、和谐的社会环境。

为认真贯彻党的十六届五中全会精神和《国务院关于大力推进职业教育改革与发展的决定》,适应全面建设小康社会对高素质劳动者和技能型人才的迫切要求,促进社会主义和谐社会发展,江苏科学技术出版社特邀请上海市职业指导培训中心的有关专家组织编写了“21 世纪技工技能入门”系列丛书。

本套丛书的编写以企业对人才需求为导向,以岗位职业技能要求为标准,以与企业无缝接轨为原则,以企业技术发展方向为依据,以知识单元体系为模块,结合职业教育和技能培训实际情况,注重学员职业能力的培养,体现内容的科学性和前瞻性。

《表面处理工技能快速入门》一书是根据《表面处理工国



家职业标准》的初、中级技术工人等级标准及职业技能鉴定规范编写的。全书系统地介绍了表面处理基础知识、表面预处理、电镀、化学镀、化学转化膜、表面涂敷、金属的着色和染色、气相沉积技术及表面分析和性能测试等内容。

本书图文并茂,通俗易懂,实用性强,可作为从事表面处理的生产第一线工人自学用书和培训教材,也可以供其他有关技术人员参考。

本书在编写过程中,参考了部分书籍及资料,在此表示感谢。

因编者水平有限,加上时间仓促,书中难免有错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

2008年7月

目 录

第一单元 表面处理基础知识	1
课题一 材料的表面结构	1
课题二 金属的腐蚀与磨损	13
课题三 溶液的浓度	16
第二单元 表面预处理	24
课题一 表面整平	24
课题二 除油	28
课题三 钢铁表面预处理	40
课题四 铝及铝合金表面预处理	54
课题五 不锈钢表面预处理	61
课题六 空气火焰超音速喷砂、喷丸表面预处理	75
第三单元 电镀	80
课题一 电镀的基本理论	80
课题二 镀锌	102
课题三 镀铅	115
课题四 电镀合金	119
课题五 非金属电镀	146
第四单元 化学镀	152
课题一 化学镀镍	152
课题二 化学镀铜	161
课题三 化学镀钴	167
课题四 化学镀工艺	173



第五单元 化学转化膜	180
课题一 化学转化膜概述	180
课题二 磷化处理	186
课题三 铝及铝合金的阳极氧化	190
课题四 锌、镉及其合金化学转化膜	201
课题五 钢铁草酸盐钝化	207
第六单元 表面涂敷技术	216
课题一 表面黏涂技术	216
课题二 热浸镀	226
课题三 电火花表面涂敷	231
课题四 溶胶-凝胶成膜	236
第七单元 金属的着色与染色	241
课题一 铝及铝合金的着色与染色	241
课题二 铜和铜合金的着色	251
课题三 不锈钢的着色	258
课题四 钢铁的着色	262
第八单元 气相沉积技术	268
课题一 真空蒸发镀膜	268
课题二 溅射镀	272
课题三 离子镀膜	277
课题四 化学气相沉积	283
课题五 分子束外延	288
第九单元 表面分析和性能测试	296
课题一 表面结构分析	296
课题二 表面检测	299
课题三 薄膜弹性模量的测定——纳米压痕技术	311

第一单元 表面处理基础知识

课题一 材料的表面结构

1. 材料表面的宏观认识

我们对物体的直观认识是从其表面是否光亮和整洁开始的。表面粗糙度和清洁度是人们在材料表面宏观认识中总结出来的两个重要的基础概念。表面粗糙度是衡量材料表面平整性的指标,清洁度是衡量材料表面残留吸附污物量的指标。

(1) 表面粗糙度及光整技术 常用表面粗糙度来定量描述表面的表面粗糙度。任何实际的材料表面都具有凹凸不平的表面轮廓,如图 1-1 所示。粗黑线代表表面粗糙度轮廓线, Z_1 、 Z_2 、 Z_3 、 Z_4 、 Z_5 等代表用触针式表面粗糙度仪在表面某一长度范围内测得的峰高数据。表面粗糙度有多个定量描述参数,如轮廓算术平均偏差 R_a 、微观不平度十点高度 R_z 、轮廓最大高度 R_y 等。

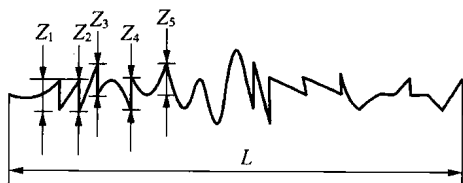


图 1-1 材料的表面粗糙度轮廓示意图



在机械制造业中,零件表面粗糙度的等级常分为 14 级,用 R_a 表示的数值(μm)为: 0.012、0.025、0.05、0.1、0.2、0.4、0.8、1.6、3.2、6.3、12.5、25、50、100。低表面粗糙度数值对应着高表面光洁度。零件表面粗糙度是衡量零件质量的一项重要指标。表面粗糙度低的零件表面摩擦力小,耐腐蚀性能好,疲劳强度高,机器运转能耗小,工作寿命长。所以,降低零件的表面粗糙度是提高机械产品质量的重要措施之一。

降低零件表面粗糙度的方法很多,常用的是研磨、抛光、轧光、电镀等。研磨是机械加工中常用的光整工序,用高速旋转的细粒度砂轮在润滑液作用下与工件接触,砂轮上磨粒的微刃切削工件表面微凸出部分,从而使表面粗糙度降低。采用磨料粒度为 W10 或更细的树脂砂轮,可以磨出表面粗糙度 R_a 在 $0.1\mu\text{m}$ 以下高光洁度的表面。抛光是最常用的表面光整工艺,在旋转的布轮等柔性载体上涂上抛光膏或喷射抛光液,当工件与抛光轮接触时,受到微细磨粒的磨削作用,表面越来越平整,像镜面一样光亮。轧光,又叫滚光,使用低表面粗糙度且表面坚硬的轧辊压延板材,使板材表面发生塑性变形,微凸起处受到最强烈的压延作用而被压平。轧光多用于大平面金属板材的光亮和整洁加工,例如光亮不锈钢板的生产。电镀也可以降低表面粗糙度,电镀光亮镍和铬是常用的表面精饰工艺。利用含少量特殊有机物的电镀添加剂的吸附作用,使电结晶过程在工件表面的微凸和微凹处有不同的沉积动力学过程,微凹处有更高的沉积速率,达到工件表面平整的目的。

鉴于优良的光洁表面对产品质量和外观的重要性,许多公司和研究单位积极开发和应用表面光整技术来提高产品的

档次。相关的光整设备自动化程度越来越高,已成为现代制造业不可缺少的工业技术和设备。如图 1-2 所示是某公司的抛光设备。

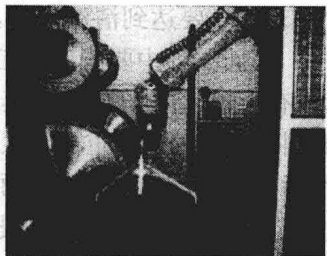


图 1-2 抛光自动生产线

(图示为机械手正在抛光转椅底架)

(2) 清洁度及清洗技术

目前,表面清洁度基本上还是个定性概念。如果将一块材料在高真空中断裂,断面没有任何外来污染物存在,可以认为是完全清洁的表面,是最高清洁度的表面。如果将其清洁度定义为 100%,则在其表面形成一个单分子层的外来污染物的表面的清洁度应为 0%。继续增加污染物厚度,清洁度应为负数增长。按此定义来测定表面清洁度数值有些不方便。所以,我们还是用定性的描述来区分一个材料表面宏观清洁程度的高低,分为高清洁度表面、清洁表面、污染表面、重污染表面四档。高清洁度表面就是用现代清洁技术所制备的最低污染程度的表面,如微电子工业中用离子溅射蚀刻制备的表面。清洁表面是指用常规清洗技术可达到的最少污染物的表面,其上应当没有用肉眼可察觉的外来污物存在,还能显示材料本身的颜色光泽,且均匀一致。污染表面是指暴露在空气中的表面,其上有少量灰尘等污染物存在,但还清楚地显示材料本身的表面特征。重污染表面是指表面受外来污染物覆盖,已经影响到原来材料的识别。

几乎所有表面工程技术,包括电镀、化学镀、热喷涂、阳极氧化、物理气相沉积和化学气相沉积等,都要求具备清洁的表面。而一般的工件是存放在空气中,并经过多道机械加工,接触过许多污染物,如切削液、润滑油等,所以是污染表面或重

污染表面,要达到清洁表面,必须经过清洗工艺。

表面工程中要清洗的工件多种多样,制造材料也是各种类型,有金属、塑料、陶瓷等,其中金属材料工件最多见,尤以钢铁材料的表面处理最重要。表面污染物主要是机加工油脂、手指油污、空气灰尘、锈斑等表面腐蚀产物等。视污染物的不同,清洗工艺可分为物理清洗和化学清洗。物理清洗是利用溶剂溶解污染物或用超声波等能量脱除表面污染物。化学清洗使用化学品与污染物反应,反应产物溶于溶剂中后除去。

超声波清洗是近年来广泛应用的高效工业清洗技术。振动频率在 20 kHz 以上的声波叫超声波,常用的超声清洗机的频率在 20~50 kHz 之间。超声波清洗的原理主要是超声空化作用,即超声波在液体中以正压和负压交替变化的形式向前传播时,形成疏密相间的微小区域,出现无数微小气泡,这

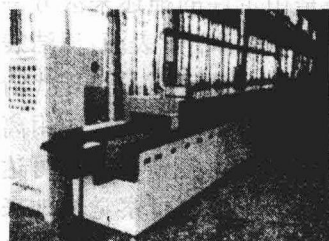


图 1-3 工业超声波清洗设备

些微泡随负压的增大而迅速长大,又在正压的作用下迅速破裂闭合。破裂的瞬间产生高压射流,冲击工件表面,因而将表面油膜等污物溶出。超声介质可以是水,也可以是含有表面活性剂的清洗液,还可以是有机溶剂。如图 1-3 所示是一种工业超声波清洗机。

锈斑等无机污物可用酸洗除去。酸洗常用无机强酸,如盐酸、硫酸、硝酸、氢氟酸等。对贵重工件,为避免腐蚀要加缓蚀剂,有时也用有机酸,如氨基磺酸、羟基乙酸、柠檬酸等。

2. 金属的表面现象

表面现象一般是指具有确切表面的固体、液体表面上产

生的各种物理化学现象,如吸附、润湿、黏着等现象都是表面现象,表面现象在金属表面技术中具有重要的作用。表面现象与表面自由能有密切关系,因此与表面自由能一样,表面现象普遍存在于多相体系中。

(1) 吸附现象

固体表面的重要特征之一是存在吸附现象。吸附的定义是:由于物理或化学的作用力场,某种物质分子能够附着或结合在两相界面上的浓度与两相本体不同的现象,即在界面上发生增浓现象。当固体金属表面的力场和被吸附的分子产生的力场有相互作用时,就将产生表面吸附,表面吸附是指在固/气两相系统中,分子或原子从气相到固/气交界面上的堆积。吸附现象在各种问题和过程中都具有实用意义。它是形成定向附生(随膜的“外延”生长)的第一阶段。它在催化中起重要作用,在催化过程中,一个催化表面上的不同吸附物质可能促进也可能妨碍化学反应的进行。它在真空技术中也是重要的,因为它可用来从真空室中抽吸气体(例如低温泵),当然如果要降低环境压强而必须清除吸附气体时,吸附现象就会成为一种不利因素。气体在固体表面的吸附可分为物理吸附和化学吸附两大类。

① 物理吸附。物理吸附是指反应物分子靠范德瓦尔斯力吸附在固/气交界面上。物理吸附时,吸附原子与衬底表面间的相互作用主要是范德瓦尔斯力,吸附热的数量级约为 4.18 kJ/mol 。很多惰性气体在金属表面上的吸附(如 Xe 在 Ir 上, Ar、Xe、Kr 在 Nb 上的吸附)都属于这一类。这种吸附对温度很敏感,它们往往是在低温下且在表面上形成的密堆积的单层有序结构。它类似蒸汽的凝结和气体的液化。由于范德瓦尔斯力的作用较弱,所以被物理吸附的分子,在结构上变

化不大,与原气体中分子的状态差不多。

由于物理吸附热较低,所以在低温下,表面上以物理吸附为主。

② 化学吸附。化学吸附的吸附质与吸附剂之间本质上发生了表面化学反应,它们的粒子间有电子转移,且以相似于化学键的表面键力相结合,改变了吸附分子的结构。化学吸附有更大的吸附热,吸附原子与衬底表面的原子间形成化学键,它们可以是离子、金属或共价键。化学吸附的外来原子基本上可以有以下两种结构:吸附原子形成周期的黏附层叠在衬底顶部,形成所谓“叠层”;吸附原子与衬底相互作用形成合金型的结构。在合金的情况下,表层原子的二维周期性可能逐层改变,实际上存在一个组分与原子排列随进入晶体的深度而改变的三维结构,因此比单一叠层的情况要复杂得多。而根据电子转移的程度,化学吸附还可以分为离子吸附和化学键吸附。

所谓离子吸附,是指在化学吸附中,吸附剂和吸附物之间发生了完全的电子转移,或者吸附物将电子失去而交给吸附剂,或者相反,从而使吸附剂和吸附物的原子或分子变成离子,两者之间的结合是纯离子键,结合的力是正负离子之间的静电库仑力。

所谓化学键吸附,是指在化学吸附中,吸附剂和吸附物之间的电子转移不完全,即两者之一或双方提供电子作为两者的共有化电子,形成局部价键(共价键、离子键或配位键),同时,两者之间的共有化电子不是等同的。化学键吸附中的结合力,主要是共有化电子与离子之间的库仑力。

但是,实际上在化学吸附中,除上述两种情况外,也有两者兼有的情况。

③ 物理吸附和化学吸附之间的关系。物理吸附和化学吸附都是表面吸附,两者既有区别,又有联系。物理吸附和化学吸附之间的区别大致可分为如下几方面:

A. 吸附和脱附的速率不同。物理吸附类似凝聚现象,一般不需要活化能,所以吸附速度很快。化学吸附类似化学反应,也是一个活化过程,需要一定的活化能,因而吸附速度比物理吸附慢。物理吸附往往很容易脱附,而化学吸附则很难脱附,即前者是可逆的,后者是不可逆的。此外也有少量的不需要活化能的化学吸附,其吸附、脱附速度也很快。

B. 化学吸附具有选择性。化学吸附具有高度选择性,即高度的专用性。大量实验表明,特定的吸附质在吸附剂表面上产生的化学吸附随吸附剂的不同而异,且与特定金属的不同晶面有巨大关系。一种固体表面只能吸附某些气体,而不吸附另一些气体。例如,氢会被钨和镍化学吸附,而不被铝化学吸附。

物理吸附无选择性。任何气体在任何表面上,在气体的沸点附近都可以进行物理吸附。吸附的量取决于气体的凝结性,而不是其化学性的函数。

C. 吸附层的厚度不同。对一个清洁金属表面,化学吸附是连续进行直到饱和的过程,是单层吸附,也就是化学吸附层是由局部覆盖金属表面直至整个表面完全被单分子层覆盖的过程。一旦整个表面被单分子覆盖,化学吸附就达到了饱和,化学吸附终止。当进一步输入气体分子时,则或者发生物理吸附,或者形成某种化合物。而在物理吸附中,在低压下是单层的,在较高的相对压强下都会变成多层。

D. 吸附态的光谱不同。物理吸附只能使原吸附分子的特征吸收峰发生某些位移,或使原子吸收峰强度有所改变。



而化学吸附会在紫外线、红外线或可见光的光谱区产生新的吸收峰。

物理吸附和化学吸附毕竟是人们按着化学作用和物理作用的概念将它们分开的。但是,由于吸附的特殊性,使得两者有一定的联系,这可由以下几个方面表现出来:在某些情况下,由于发生物理吸附之后,吸附物和吸附剂之间的相互作用力会起到拉长某些化学键的作用,甚至使分子的化学性质改变,这样很难断言此为何种吸附;有些化学吸附可以直接在吸附物与吸附剂之间进行,而相当多的化学吸附必须先经过物理吸附,然后再进行化学吸附;物理吸附和化学吸附可以在一定条件下转化,如在铜上,氢分子的物理吸附,经活化而进一步与铜催化表面接近,就可以转化为铜表面氢化学吸附。

物理吸附和化学吸附本质上是不同的,后者有电子转移而前者没有。

④ 金属表面吸附的影响因素。在各种表面技术中,金属表面对活性介质的吸附量是影响工艺过程的重要因素,而吸附量又是由介质(吸附物)、金属表面(吸附剂)的性质、表面形状以及外部条件诸如温度和压力等因素所决定的。对于确定的金属表面与介质的吸附量将决定于介质的压力及温度。

⑤ 金属对溶液的吸附。金属对溶液的吸附过程常见于液体介质化学热处理。金属对溶液的吸附较复杂,要考虑金属表面、溶液、溶质三者间的相互关系。通常有下列关系:

- A. 使金属表面自由能降低越多的溶质,吸附量也越多。
- B. 极性吸附剂易吸附极性吸附质,非极性吸附剂易吸附非极性吸附质。
- C. 溶解度小的溶质更易被吸附。
- D. 对溶液的吸附也是放热过程,因此温度升高吸附量将

下降。

(2) 润湿及黏着

① 润湿。润湿是液体与固体表面接触时产生的一种表面现象。液体对固体表面的润湿程度可以通过液滴在固体表面上的散开程度来说明。水滴在玻璃表面上可以迅速散开，但水滴在石蜡表面上却不易散开而趋于球状，如图 1-4 所示，说明水对玻璃是润湿的，对石蜡是不润湿的。

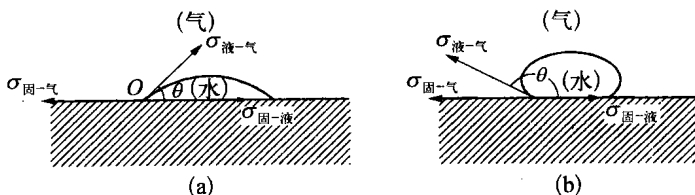


图 1-4 固体的润湿性与接触角

(a) 玻璃；(b) 石蜡

物质表面的润湿程度常用接触角(θ)来度量。接触角是在平衡时三相接触点上(图 1-4 的 O 点)，沿液-气表面的切线与固-液界面所夹的角。接触角的大小与三相界面张力有关。从界面张力的性质和图 1-4 可以看出，固-气表面张力 $\sigma_{\text{固-气}}$ 力图把液体拉开，使液体往固体表面铺开。固-液表面张力 $\sigma_{\text{固-液}}$ 则力图使液体紧缩，阻止液体往固体表面铺开。液-气表面张力的作用则视 θ 的大小而定，它有时 ($\theta > 90^\circ$) 使液体紧缩，有时 ($\theta < 90^\circ$) 使液体铺开。凡是能引起任何界面张力变化的因素都能影响固体表面的润湿性。若 θ 较小或接近于零，我们称这样的物质具有亲水性；反之， θ 较大，则称这样的物质具有疏水性。但是亲水性和疏水性的明确界限是不存在的，它们只是一个相对概念，习惯上把 $\theta > 90^\circ$ 的物质叫做不