

21世纪技工技能入门丛书

电镀工技能 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

SHIJIJIGONGJINEN CUMENCONGSHU



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

电镀工技能快速入门

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

电镀工技能快速入门/上海市职业指导培训中心编著.
南京:江苏科学技术出版社,2009.10

(21世纪技工技能入门丛书)

ISBN 978-7-5345-6705-6

I. 电… II. 上… III. 电镀—基本知识 IV. TQ153

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 159191 号

电镀工技能快速入门

编 著 上海市职业指导培训中心

责任编辑 孙广能

特约编辑 戴龙江

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1号A楼,邮编:210009)

网 址 <http://www.pspress.cn>

集团地址 凤凰出版传媒集团(南京市湖南路1号A楼,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 南京大众新科技印刷有限公司

开 本 787 mm×1 092 mm 1/32

印 张 12.625

字 数 260 000

版 次 2009年10月第1版

印 次 2009年10月第1次印刷

标准书号 ISBN 978-7-5345-6705-6

定 价 24.80 元

图书如有印装质量问题,可随时向我社出版科调换。

前 言

改革开放 20 多年来,我国经济保持持续增长的势头。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,成为我国经济腾飞的强劲引擎。根据联合国工业发展组织公布的《工业发展报告 2002/2003》,我国制造业增加值占世界制造业的 6.3%,位居美国、日本和德国之后,排名世界第 4 位。

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。然而,技能人才短缺已是不争事实,并日益严重,这已引起中央领导和社会各界广泛关注。

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培训领域。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建设,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。

本书是根据《电镀工国家职业标准》的初、中级技术工人等级标准及职业技能鉴定规范编写的。书中以技能训练实例为主,遵循由浅入深、由易到难,由简单到复杂循序渐进的规律,以提高读者的综合技能水平。主要内容包括电镀工基础知识、电镀预处理、电镀单金属、电镀合金、特种电镀、电镀设备及电镀废水的危害及其处理。

本书从中、小型企业对技术工人应具有广泛的通用知识和全面技能的实际需求出发,本着少而精的原则,突出技术实用性和通用性。既能短期速成,又能循序渐进,基本上达到了初、中级电镀工职业技能鉴定的要求。

本书图文并茂,通俗易懂,言简意赅,在众多电镀工书籍中独具特色,适合机械工人上岗培训或作为在职技工的技能培训教材,也可作为初、中级电镀工进行职业资格技能鉴定的指导用书。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

2009年8月

目 录

第一单元 电镀基础知识	1
课题一 概述	1
一、电镀工业的发展概况	1
二、电镀基本概念	3
三、法拉第定律及在电镀中的应用	4
四、镀层的分类	8
课题二 电化学基础	12
一、原电池和电解池	12
二、电极电势	15
三、电极界面现象	20
四、电极极化	24
第二单元 电镀预处理	27
课题一 表面机械准备	27
一、概述	27
二、磨光和抛光	27
三、滚光	30
四、振动光饰	33
五、离心滚筒光饰	36
六、刷光	36
课题二 脱脂	37
一、有机溶剂脱脂	38
二、化学脱脂	39



三、电化学脱脂	45
四、超声波脱脂	48
五、乳化液脱脂	50
课题三 侵蚀	50
一、化学侵蚀	51
二、电化学侵蚀	59
课题四 除油	63
一、有机溶剂除油	63
二、化学除油	65
三、电化学除油	70
四、超声波除油	74
课题五 金属材料镀前的预处理	75
一、钢铁的前处理	75
二、铝及铝合金的前处理	93
三、铜及铜合金的前处理	107
第三单元 电镀单金属	112
课题一 电镀锌	112
一、概述	112
二、氯化钾型微酸性镀锌	113
三、碱性氰化物镀锌	118
四、锌酸盐镀锌	123
五、镀后处理	126
课题二 电镀铜	136
一、概述	136
二、氰化物镀铜	137
三、硫酸盐镀铜	143
四、焦磷酸盐镀铜	144



五、其他镀铜工艺	151
课题三 电镀锡	155
一、概述	155
二、酸性镀锡	156
三、镀层检验、缺陷分析及不合格镀层退除	168
课题四 电镀镍	170
一、概述	170
二、电镀镍工艺分类	172
三、镀暗镍	173
四、不合格镍镀层的退除	182
课题五 电镀铁	186
一、镀铁前处理	187
二、氯化亚铁镀铁	189
三、硫酸亚铁盐镀铁	194
四、氟硼酸盐镀铁	196
课题六 电镀金	196
一、碱性氰化物镀金	199
二、酸性、中性镀金	203
三、亚硫酸盐镀金	206
四、其他镀金	209
五、不合格镀层的退除	212
第四单元 电镀合金	213
课题一 电镀锌合金	213
一、电镀 Zn-Co 合金	213
二、电镀 Zn-Ti 合金	222
三、电镀 Zn-P 合金	226
四、电镀 Zn-Mn 合金	227



五、电镀 Zn-Cr 合金	229
六、电镀 Zn-Ni-Fe 合金	233
七、电镀 Zn-Fe-Co 合金	234
课题二 电镀锡合金	235
一、电镀锡铅合金	235
二、电镀锡镍合金	242
三、电镀锡钴合金	245
四、电镀锡锌和锡锌铋合金	249
五、电镀锡铋合金	249
六、电镀锡银合金	252
课题三 电镀镍合金	252
一、电镀镍铁合金	252
二、电镀镍磷合金	260
三、电镀镍钴合金	263
第五单元 特种电镀	268
课题一 复合电镀	268
一、概述	268
二、常见的复合镀层及其应用	271
三、复合镀层形成的机理	277
四、复合电镀工艺实施中的注意事项	288
课题二 化学镀	290
一、概述	290
二、化学镀镍的复合沉积	291
三、化学镀铜	298
四、化学镀锡及锡合金	305
五、化学镀贵金属	307
课题三 脉冲电镀	312



一、概述	312
二、脉冲电源	313
三、脉冲电镀工艺	314
课题四 非金属基体电镀	323
一、概述	323
二、对塑料件的要求	324
三、工艺流程	325
四、ABS 塑料的电镀	325
第六单元 电镀设备	339
课题一 电镀单机及自动生产线	339
一、电镀单机	339
二、直线式自动生产线	349
三、型材电镀自动生产线	353
课题二 电镀挂具	356
一、挂具的设计	356
二、挂具的结构	361
第七单元 电镀废水的危害及其处理	369
课题一 电镀废水的来源及其危害	369
一、电镀废水的来源及特性	369
二、电镀废水的危害	373
课题二 电镀废水的处理与资源化技术	376
一、电镀废水的处理原则与方法	376
二、镀铬废水处理技术与工艺	378

第一单元 电镀基础知识

课题一 概 述

一、电镀工业的发展概况

电镀是对基体表面进行装饰、防护以及获得某些特殊性能的一种表面工程技术。最先公布的电镀文献是 1800 年由意大利 Brug-natelli 教授提出的镀银工艺,1805 年他又提出了镀金工艺;到 1840 年,英国 Elkington 获得了氰化镀银的第一个专利,并用于工业生产,这是电镀工业的开始,他提出的镀银电解液一直沿用至今;同年,Jacobi 获得了从酸性溶液中电铸铜的第一个专利;1843 年,酸性硫酸铜镀铜用于工业生产,同年 R. Böttger 提出了镀镍工艺;1915 年实现了在钢带表面酸性硫酸盐镀锌,1917 年 Proctor 提出了氰化物镀锌,1923~1924 年 C. G. Fink 和 C. H. Eldridge 提出了镀铬的工业方法,从而使电镀逐步发展成为完整的电化学工程体系。

电镀合金开始于 19 世纪 40 年代的铜锌合金(黄铜)和贵金属合金电镀。由于合金镀层具有比单金属镀层更优越的性能,人们对合金电沉积的研究也越来越重视,已由最初的获得装饰性为目的的合金镀层发展到装饰性、防护性及功能性相结合的新合金镀层的研究上。到目前为止,电沉积能得到的合金镀层大约有 250 多种,已用于生产上的也有 30 余种。其



代表性的镀层有：Cu-Zn、Cu-Sn、Ni-Co、Pb-Sn、Sn-Ni、Cd-Ti、Zn-Ni、Zn-Sn、Ni-Fe、Au-Co、Au-Ni、Pb-Sn-Cu、Pb-In 等。

随着科学技术和工业的迅速发展，人们对自身的生存环境提出了更高的要求。1989 年联合国环境规划署工业与环境规划中心提出了“清洁生产”的概念，电镀作为一种重污染行业，急需改变落后的工艺，采用符合“清洁生产”的新工艺。美国学者 J. B. Kushner 提出了逆流清洗技术，大大节约了水资源，受到了各国电镀界和环境保护界的普遍重视；在电镀生产中研发各种低毒、无毒的电镀工艺，如无氰电镀，代六价铬电镀，代镉电镀，无氟、无铅电镀，从源头上淘汰了污染严重的电镀工艺；达克罗 (Dacromet) 与交美特技术 (Geomet) 作为表面防腐的新技术在代替电镀 Zn、热镀 Zn 等方面得到了应用，在实现对钢铁基体保护作用的同时，减少了电镀过程中产生的酸、碱、Zn、Cr 等重金属废水及各种废气的排放。

我国电镀工业的发展是在新中国成立以后。首先，为解决氰化物污染问题，从 20 世纪 70 年代开始了无氰电镀的研究工作，陆续使无氰镀锌、镀铜、镀镉、镀金等投入生产；大型制件镀硬铬、低浓度铬酸镀铬、低铬酸钝化、无氰镀银及防银变色、三价铬盐镀铬等相继应用于工业生产；并实现了直接从镀液中获得光亮镀层，如镀光亮铜、光亮镍等，不仅提高了产品质量，也改善了繁重的抛光劳动；在新工艺与设备的研究方面，出现了双极性电镀、换向电镀、脉冲电镀等；高耐蚀性的双层镍、三层镍、镍铁合金和减摩镀层亦用于生产；刷镀、真空镀和离子镀也取得了可喜的成果。

改革开放之后，我国的电镀工业得到了突飞猛进的发展。尤其是在锌基合金电镀、复合镀、化学镀镍磷合金、电子电镀、

纳米电镀、各种花色电镀、多功能性电镀及各种代氰、代铬工艺的开发都取得了重大进展。

二、电镀基本概念

电镀是用电化学的方法在固体的表面上沉积一层薄金属或合金的过程。在进行电镀时,将预镀零件与直流电源的负极相连,要镀覆的金属(或不溶性的导体)和直流电源的正极相连,镀槽中含有预镀覆金属离子的溶液。当接通电源时,预镀覆的金属便在阴极上析出。电镀装置见图 1-1。

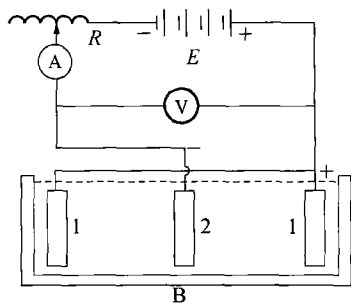


图 1-1 电镀装置示意

A—直流电流表;B—电镀槽;
V—直流电压表;E—直流电源;
R—可变电阻;1—阳极;2—阴极

实际电镀过程比以上所述复杂得多。电源一般采用硅整流电源、可控硅电源或高频开关电源;供电方式有直流、周期换向电流、交直流叠加和脉冲电流等,大大提高了镀层质量和生产效益。

操作方式有手工操作,机械化、自动化操作。尤其是采用计算机控制和自动监控的电镀生产对镀液中的关键组分实现实时监控,各种参数维持在最佳工艺状态,提高了镀层质量,保证了镀层的成品率;而且操作者远离镀槽,减少了被污染伤害的可能性。

生产中的电镀品种包括 10 种左右单金属、20 多种合金电镀,而进行过研究的合金电镀层则有 250 多种,因此,电解液也是千差万别的。

作为金属镀层,不管其用途如何,镀层必须结构致密,厚



度均匀,与基体结合牢固。

人们将用电解法制取金属复制品的过程称为电铸,即用铸造物件的模型作为阴极,用复制所需的金属作为阳极,在电解液中通以直流电,待模型表面沉积适当厚度金属时,从模型上取下,即得到与模型形状完全相同的金属复制品,如印刷用铜版的制作即为电铸过程。除制模和脱模之外,其他与电镀相同。

除用电化学方法之外,现代工业生产中,还可用热浸法、物理方法及化学镀得到金属及合金层。热浸法是将金属零件浸入熔融的其他金属中而获得金属层的过程,广泛用于钢铁零件的浸锌、浸锡及浸铅等。物理方法主要指近代发展起来的真空镀、离子镀等,是今后发展的方向之一。化学镀是利用氧化还原反应,使金属离子沉积在制品表面的过程,该法适于各类基体、各种形状的材料,镀层具有较高的化学、物理及力学性能,主要问题是镀液的使用周期短,生产成本低。

三、法拉第定律及在电镀中的应用

1. 法拉第定律

当电流通过电解质溶液或熔融的电解质时,电极上将发生化学反应,并伴有物质析出或溶解,法拉第定律可定量表达电极上通过的电量与反应物质的量之间的关系。即电流通过电解质溶液时,在电极上析出(溶解)的物质的量 n 与通过的电量 Q 成正比;通过 1 法拉第电量,就析出或消耗相当于 1 mol 电子的物质的量。设通过的电量为 Q ,反应的电子的量为 z ,生成物的物质的量为 n ,法拉第常数为 F ,则法拉第定律关系式为

$$n = \frac{Q}{zF} \quad (1-1)$$

如果物质的摩尔质量为 M , 物质的质量为 m , 电流为 I , 通电时间为 t , 则

$$m = nM = \frac{QM}{zF} = \frac{ItM}{zF} \quad (1-2)$$

式中 $\frac{M}{zF}$ ——仅与析出物质的性质有关的常量, 表示每通过 1 C 的电量析出物质的质量, 称为该物质的电化学当量。

例如, 酸性镀铜时, Cu^{2+} 被还原为 Cu , $\frac{M}{zF} = \frac{63.5}{2 \times 96485.3} = 0.329 \times 10^{-3} \text{ g/C}$ [或 $1.186 \text{ g/(A} \cdot \text{h)}$]。氰

化镀铜中铜由 +1 价被还原为 0 价, 氰化镀铜的 $\frac{M}{zF}$ 为酸性镀铜的 2 倍。也就是说当两种镀液通过相同的电量时, 氰化镀铜的镀层质量比酸性镀铜多一倍。为获得同样厚度的镀层, 前者所需时间只是后者的一半。

如设 $\frac{M}{zF} = K$, 则合金电化学当量可按下式计算, 即

$$K_{A-B} = \frac{1}{\frac{A\%}{K_A} + \frac{B\%}{K_B}} \quad (1-3)$$

式中 K_{A-B} ——A-B 合金的电化学当量, $\text{g/(A} \cdot \text{h)}$;
 K_A, K_B ——金属 A 与 B 的电化学当量, $\text{g/(A} \cdot \text{h)}$;
 $A\%, B\%$ ——合金中组分金属 A、B 的百分含量。

例如,含锡 10% 的 Cu-Sn 合金的电化学当量计算(锡以 +4 价计,铜以 +2 价计)为

$$K_{\text{Cu-Sn}} = \frac{1}{\frac{90\%}{1.186} + \frac{10\%}{1.107}} \text{ g}/(\text{A} \cdot \text{h})$$

2. 电流效率测定

法拉第定律是自然界中最严格的定律,不受温度、压力、电解质溶液组成与浓度、溶剂的性质、电极与电解槽材料和形状等因素限制。但在电镀过程中,电极上往往发生不止一个反应,与主反应同时进行的还有副反应。消耗于所需沉积金属的电量占通过总电量的百分数称为电流效率。

$$\eta = \frac{M_1}{M_2} \times 100\% = \frac{Q_1}{Q_2} \times 100\% \quad (1-4)$$

式中 η ——电流效率, (%);

M_1 ——电极上析出产物的实际质量, g;

M_2 ——由总电量所折算的产物的质量, g;

Q_1 ——析出所需物质消耗的电量, C;

Q_2 ——通过电极的总电量, C。

电流效率是评定镀液性能的一项重要指标。电流效率高可加快镀层沉积速率,减少电耗。电流效率与镀种、工艺规范等有关。如酸性镀铜、酸性镀锌的电流效率几乎接近 100%, 氰化镀铜与氰化镀锌的电流效率为 60%~70%; 镀铬的电流效率最低, 为 13%~25%。一般来说, 由于存在副反应, 阴极的电流效率往往小于 100%; 而阳极电流效率有时小于 100%, 有时大于 100%, 因为阳极金属除发生电化学溶解外还进行化学溶解。

在镀镍与铵盐镀锌溶液中,镀液的 pH 常常随电镀时间的延长而逐渐上升,在焦磷酸盐镀铜中,pH 则随电镀时间延长而逐渐下降,这主要是因为阴、阳极电流效率的不均衡造成的。在镀镍与铵盐镀锌溶液中,阴极的电流效率低于阳极的电流效率,阴极消耗的 H^+ 大于阳极消耗的 OH^- ,使整个镀液的 OH^- 含量相对增加,所以 pH 随之上升。而在焦磷酸盐镀铜液中恰好相反,所以 pH 逐渐下降。

镀液电流效率的测定,可按图 1-2 所示的装置进行。将待测镀液槽与库仑计串联,通过库仑计析出物质的质量,根据法拉第定律计算通过镀槽的总电量。

铜库仑计是常用的一种库仑计,阳极为纯的电解铜板,阴极为经过表面处理的活性铜板,电解液组成为 $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 125 g/L, H_2SO_4 (相对质量密度 1.84) 26 mL/L, C_2H_5OH (乙醇) 50 mL/L。

待测镀槽的电流效率 η_K 为

$$\eta_K = \frac{1.186 \Delta m_{\text{待测}}}{K_{\text{待测}} \Delta m_{\text{铜库仑计}}} \quad (1-5)$$

式中 $\Delta m_{\text{待测}}$ ——待测镀槽阴极试片实际增加质量, g;
 $\Delta m_{\text{铜库仑计}}$ ——铜库仑计阴极试片实际增加质量, g;
 $K_{\text{待测}}$ ——待测镀槽阴极上析出物质的电化学当量, g/(A · h);
 1.186——铜库仑计铜的电化学当量, g/(A · h)。

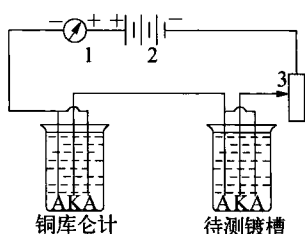


图 1-2 电流效率测定装置

1—电流表;2—直流电源;
 3—可变电阻;
 A—阳极;K—阴极