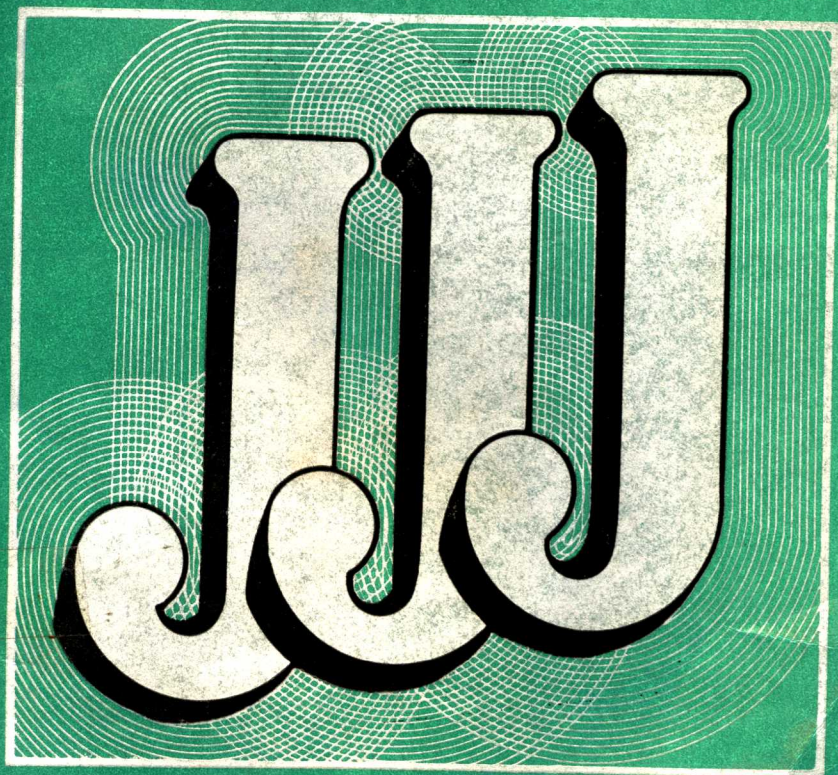


国家机械工业委员会统编

初级电镀工工艺学

机械工人技术理论培训教材

JIXIE GONGREN JISHULILUN PEIXUN JIAOCAI



机械工业出版社

机械工人技术理论培训教材

初级电镀工艺学

国家机械工业委员会统编



机械工业出版社

本书内容包括：电镀工艺概述、镀前处理、常见电镀工艺简介、镀后处理、环保知识和常用电镀设备及安全技术，书末还附有电镀常用的阳极材料、化学材料和光亮剂的性能数据等。全书以电镀工艺为主，内容实用，通俗易懂，是电镀、发蓝初级工的培训教材，也可作为中专及技工学校表面处理专业师生的教学参考书。

本书由湘潭电机厂朱庚惠、谭亮、李静波、朱修业、吴祖昌编写，由湘潭电机厂刘春桥、贺瑞芝、何大成审稿。

初级电镀工艺学

国家机械工业委员会编

责任编辑：崔世荣 版式设计：乔玲
封面设计：林胜利 方芬 责任校对：李广孚

机械工业出版社出版（北京皇城根外百万庄南里一号）

（北京市书刊出版业营业登记证出字第 117 号）

机械工业出版社印刷厂印刷

机械工业出版社发行·新华书店经销

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ · 印张 9 · 字数 197 千字

1988 年 9 月北京第一版 · 1988 年 9 月北京第一次印刷

印数 00,001—16,000 · 定价：3.20 元

ISBN 7-111-00996-7/TQ·3

前 言

1981年,原第一机械工业部为贯彻、落实《中共中央、国务院关于加强职工教育工作的决定》,确定对机械工业系统的技术工人按照初、中、高三个阶段进行技术培训。为此,组织制定了30个通用技术工种的《工人初、中级技术理论教学计划、教学大纲(试行)》,编写了相应的教材,有力地推动了“六五”期间机械行业的工人培训工作,初步改变了十年动乱造成的工人队伍文化技术水平低下的状况,取得了比较显著的成绩。

鉴于原机械工业部1985年对《工人技术等级标准(通用部分)》进行了全面修订,原教学计划、教学大纲已不适应新《标准》的要求,而且缺少高级部分;编写的教材,由于时间仓促、经验不足,在内容上存在着偏深、偏多、偏难等脱离实际的问题。为此,原机械工业部根据新《标准》,重新制定了33个通用技术工种的《机械工人技术理论培训计划、培训大纲》(初、中、高级),于1987年3月由国家机械工业委员会颁发,并根据培训计划、大纲的要求,编写了配套教材148种。

这套新教材的编写,体现了《国家教育委员会关于改革和发展成人教育的决定》中对“技术工人要按岗位要求开展技术等级培训”的有关精神,坚持了文化课为技术基础课服务,技术基础课为专业课服务,专业课为提高操作技能和分析解决生产实际问题的能力服务的原则。在内容上,力求以

IV

基本概念和原理为主，突出针对性和实用性，着重讲授基本知识，注重能力培养，并从当前机械行业工人队伍素质的实际情况出发，努力做到理论联系实际，通俗易懂，具有工人培训教材的特色，同时注意了初、中、高三级之间合理的衔接，便于在职技术工人学习运用。

这套教材是国家机械工业委员会委托上海、江苏、四川、沈阳等地机械工业管理部门和上海材料研究所、湘潭电机厂、长春第一汽车制造厂、济南第二机床厂等单位，组织了200多个企业、院校和科研单位的近千名从事职工教育的同志、工程技术人员、教师、科技工作者及富有生产经验的老工人，在调查研究和认真汲取“六五”期间工人教材建设工作经验教训的基础上编写的。在新教材行将出版之际，谨向为此付出艰辛劳动的全体编、审人员，各地的组织领导者，以及积极支持教材编审出版并予以通力合作的各有关单位和机械工业出版社致以深切的谢意！

编好、出好这套教材不容易，教好、学好这些课程更需要广大职教工作者和技术工人的奋发努力。新教材仍难免存在某些缺点和错误，我们恳切地希望同志们在教和学的过程中发现问题，及时提出批评和指正，以便再版时修订，使其更完善，更好地发挥为振兴机械工业服务的作用。

国家机械工业委员会
技工培训教材编审组
1987年11月

目 录

前言

绪论	1
----	---

第一章 电镀工艺概述	6
------------	---

第一节 电镀原理简述	6
------------	---

第二节 电镀基本工艺过程	20
--------------	----

第三节 电镀技术常用术语	22
--------------	----

复习题	25
-----	----

第二章 镀前处理	26
----------	----

第一节 零件镀前处理的重要性	26
----------------	----

第二节 零件表面的机械整平	28
---------------	----

第三节 除油	36
--------	----

第四节 除锈	50
--------	----

第五节 化学抛光	67
----------	----

第六节 电化学抛光	67
-----------	----

复习题	72
-----	----

第三章 常见电镀工艺简介	73
--------------	----

第一节 镀锌	73
--------	----

第二节 镀铜	89
--------	----

第三节 镀银	94
--------	----

第四节 镀镍	109
--------	-----

第五节 镀铬	120
--------	-----

第六节 镀锡	134
--------	-----

第七节 镀银	143
--------	-----

V

第八节	钢铁件的氧化与磷化	159
第九节	合金电镀	171
第十节	塑料电镀	186
复习题		213
第四章	镀后处理	215
第一节	清洗	215
第二节	驱氢	217
第三节	钝化	218
第四节	镀层防变色处理	225
第五节	干燥	226
复习题		227
第五章	电镀与环保	228
第一节	环境保护的重要性	228
第二节	常见电镀废水的排放标准	232
第三节	电镀废水处理方法简介	232
第四节	电镀废气处理	239
复习题		240
第六章	常用电镀设备及安全技术	241
第一节	常用电镀设备	241
第二节	工厂用电常识	271
第三节	配制和使用酸碱溶液和有机溶剂的安全操作 事项	273
第四节	氰化物的使用和保管安全事项	275
第五节	一般安全制度	276
复习题		276
附录		277
附录 1	电镀常用的阳极材料	277
附录 2	电镀常用的化学材料	278
附录 3	电镀常用的光亮剂	281

绪 论

一、表面处理的目 的及常用的主要方法

表面处理的主要目的在于提高制品在使用环境中的抗腐蚀能力，延长使用寿命。对制品施以防护性装饰，既提高了制品的抗腐蚀性能，使其具有经久不变的漂亮外观，又赋予制品表面特殊的物理性能，以满足某种用途的需要。

金属制品表面处理的方法很多，归纳起来主要有以下几类：

1. 金属覆层保护 如电镀、化学镀、真空蒸镀、离子镀、热喷镀、热浸镀、热渗镀等；
2. 非金属覆层保护 如涂漆、塑料、橡胶、沥青、搪瓷、玻璃等；
3. 化学覆层保护 如发蓝、磷化、阳极氧化、钝化等。

在以上各种表面处理方法中，电镀是金属覆层防护中应用最广的一种。

电镀是用电解法使金属或非金属制品表面沉积一层金属的过程。通俗地讲，就是给金属或非金属制品穿上一件金属“外衣”。这层金属“外衣”，就叫做“电镀层”或“镀层”。良好的电镀层，结晶细致紧密，与基体结合牢固。它不仅具有优良的防护、装饰性能，而且还能满足制品的某些特殊用途。

根据各种制品的不同使用要求，采取适当的电镀工艺，可以在制品表面获得所需要的不同种类的镀层。目前，已经

应用于生产的镀层种类很多，概括起来大致可分为两类：一类是单金属镀层，常用的主要有锌、镉、铜、镍、铬、铅、锡、金、银、铂、铑、钌等20多种镀层；另一类是合金镀层，常用的主要有铜-锡（俗称青铜）、铜-锌（俗称黄铜）、锌-铁、镍-铁、锡-镍、锡-钴、锌-铁-钴、锡-锌-钴等20多种镀层。

二、电镀在国民经济中的意义

据粗略统计，全世界几乎每年钢产量的1/3是由于腐蚀而报废掉，因设备腐蚀而造成的人员伤亡事故屡有发生，其经济损失是相当惊人的。例如，有的国家直接损失费用竟占国民经济总产值的4%。电镀则是防止钢铁腐蚀的一个重要措施。虽然，电镀不可能完全解决钢铁腐蚀这一严重问题，但是，良好的电镀层在当前还是防止金属腐蚀的一种有效方法。

目前，金属镀层的应用已遍及国民经济的各个生产部门和科学领域。例如，在机械制造、仪器仪表、电子通讯、交通运输、航空、船舶、化工、轻工、兵器以及原子能等各个领域里，金属镀层都有着极为广泛的应用。一辆载重汽车的零部件电镀面积达 10m^2 左右，其中绝大部分是用于防止金属结构件和紧固件的锈蚀。大量的轻工产品，不但要求经久耐用，而且要求外观漂亮。例如，自行车、缝纫机、钟表和照相机等的外露零件，为达到上述要求，常施以防护装饰性电镀层。下面，简要地介绍一下金属镀层的主要用途。

1. 提高金属制品或零件的抗腐蚀能力 如钢铁制品或零件的镀锌、镀镉等。

2. 提高金属制品防护装饰性能 这类镀层常采用双层或多层电镀，如钢铁制品镀铜/镍/铬或低锡青铜/铬镀层

等。

3. 修复零件尺寸 如一些重要机器的转轴、齿轮、花键等零部件，磨损后的修复镀铁、镀铜、镀镍和镀硬铬等。

4. 赋予制品或零件表面某种特殊的物理性能 这类镀层常称为技术性镀层或功能性镀层，应用较多的主要有：

(1) 提高制品的耐磨性能 如发动机汽缸、活塞环和冲压模具内腔等镀硬铬，以及一些无线电仪器插拔件镀硬金、镀硬银、镀铱等。

(2) 提高制品的减摩性能 如轴瓦、轴套等镀铅锡合金、镀银铅合金、镀锡钴合金等。

(3) 增强零件的导电性能 如铜及铜合金零件镀银、镀金等。

(4) 增强零件的导磁性能 如录音机、电子计算机等设备中的录音带、磁盘等存储装置镀镍-钴、镀镍-铁、镀镍-钴-磷合金等。

(5) 满足热加工需要 如防止局部渗碳的镀铜和防止局部渗氮的镀锡等。

(6) 其他功能性用途 如为了改善焊接性能，镀锡。为了抗硫酸或铬酸腐蚀，镀铅。为了增加反光能力，镀铬、镀银、镀高锡青铜和镀铱。为了消光或吸收光能，镀黑镍、镀黑铬等等。

随着工业生产的迅速发展，黑色金属、有色金属以及非金属制品的数量将会剧增，电镀工艺的应用将会更加广泛。而且，为了确保产品的质量和使用寿命以及提高产品的市场竞争能力，对电镀的质量和品种也将会提出更高的要求。因此，电镀新工艺新技术的开发研究任务十分繁重。电镀在国民经济中的地位将更加显著，意义更加重大。

三、电镀工艺的展望

电镀工艺在工业上的应用已有 100 多年的历史。一个多世纪以来，电镀工艺有了很大发展，电镀品种，由电镀单一金属、二元合金、三元合金，发展到电镀复合材料层；电镀基体，由黑色金属、铜及其合金，发展到轻金属以至非金属材料；真空蒸镀、离子镀等新技术也已广泛用于工业生产上。

在国外，例如美、日、英等工业发达国家，电镀工艺发展很快。新工艺、新技术、新设备的开发研究和推广应用取得了很大进展；电镀生产自动化程度高，测试仪器和设备先进，电镀品种多，专业化程度高，产量逐年增加，在工业生产中发挥着重要作用。并且，在一般电镀工厂中都有较为完善的“三废”治理系统，做到排放时能自动检测和监督，以防止污染环境。

在我国，解放前，由于帝国主义的侵略、掠夺和封建统治者及国民党反动政府的腐败无能，没有自己的工业生产体系，没有完整的机械制造业，因此，为金属制品进行表面加工的电镀工艺几乎是一个空白，只在上海、天津等少数几个沿海城市，有几个小电镀作坊，也大多为外国资本家所控制，并且生产技术落后，工人劳动条件恶劣，产量也很小，只能电镀一些日用小商品。

解放后，在中国共产党的领导下，机器制造业、轻工业等各种工业体系雨后春笋般地建立起来，电镀工艺也相应地发展起来。现在，一般的大型机械及轻工产品等工厂，大多都设有电镀车间，并且还新建了不少专业电镀厂。在高等学校，设立了表面处理专业。各有关工业部门建立了一批表面处理科研机构。30多年来，我国在开发研究电镀新工艺新技

术方面取得了很大成就。例如，无氰电镀、光亮电镀、塑料电镀和电刷镀等，已广泛应用于工业生产。镀种目前已达四十种，比刚解放时几乎增加了近10倍。机械化程度不断提高，自动化操作正在普及，工人劳动条件大大改善，生产效率大为提高。在改进测试手段和完善“三废”治理及降低能耗等各个方面，都取得了显著成绩和重大进步。展望未来，随着工业建设和科学技术的高速发展，电镀工艺必将得到更大地发展。特别是装饰电镀、功能电镀、复合电镀、非金属电镀、轻金属电镀等工艺，将会取得更新的更大的发展。电镀添加剂的研制将不断取得新的成果。真空蒸镀、离子溅射、离子镀等干法电镀新工艺新技术，将会进一步推广应用。“三废”治理将日臻完善。在广大电镀工作者的积极努力下，我国的电镀工艺必将出现生机勃勃的崭新局面。

第一章 电镀工艺概述

第一节 电镀原理简述

一、两类导体与电极反应

1. 两类导体 凡是能导电的物质称为导体。根据其导电方式，可分为第一类导体和第二类导体。

第一类导体：依靠电子的运动来传导电流的称为第一类导体或电子导体。如金属、石墨等，即属于这类导体。

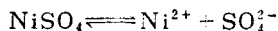
第二类导体：依靠离子的移动来传导电流的，称为第二类导体或离子导体。如电解液、熔融电解质等即属于这类导体。

2. 电极反应 在两类导体界面间有电子参加与电子得失的化学反应，称为电极反应。

二、电流通过镀液所引起的变化

现在，我们以镀镍为例，来介绍电流通过镀液后所引起的种种变化，以了解电镀的基本原理。

图 1-1 为镀镍电路示意图。镀镍所用的镀液，主要是硫酸镍的水溶液。硫酸镍溶解于水后，就离解为镍离子和硫酸根离子两部分，其反应式如下：

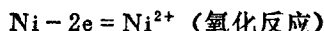


镍离子带正电，称为阳离子；硫酸根离子带负电，称为阴离子。

将直流电源的正、负极用导线（如铜线）分别与镀槽的阳极（镍板）和阴极（金属零件）相连接。当通入直流电

时，在电场的作用下，镀液中的阴、阳离子立即发生有规则的移动，即带负电的阴离子移向阳极，带正电的阳离子移向阴极。此时，阳极上主要发生镍的溶解，而阴极上主要发生镍的沉积。即在阳极上发生氧化反应，在阴极上发生还原反应。可用下列简式表示：

阳极



阴极



在直流电的继续作用下，阳极镍板不断地溶解，以补充镀液中镍离子的消耗；而阴极（金属零件）上，则逐渐地镀上一层金属镍。这相当于依靠直流电流的作用，把阳极上的镍按照一定的规律逐步转移到阴极金属零件上去。

上述现象是由于电流流经镀液而引起的电化学变化。电流从直流电源经外导线进入阳极（镍板），经过镀液进入阴极（金属零件），然后再经外导线回到直流电源。电流在整个电镀过程中所构成的这个通路，可以分为

两个部分，以阴、阳两电极为界限，在镀液以内是离子导电，在溶液以外（包括电极本身）则是电子导电。显然，在两类导体的界面间，即金属电极与镀液界面之间有自由电子的消失和出现过程。当自由电子自直流电源流到阴极（金属

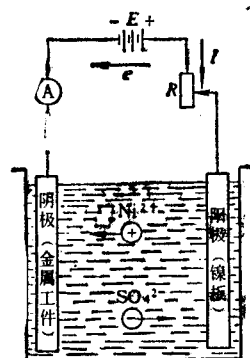


图1-1 镀镍电路示意图

E —直流电源 R —变阻器 A —电流表 $+$ —阳离子 $-$ —阴离子

零件)以后,就在电极和镀液界面间跟镀液中的镍离子相结合而成为金属镍,并覆盖在金属零件表面上,即通常所说的镀上了一层镍,这是一个还原反应。与此同时,镍阳极表面上的镍原子给出电子后成为镍离子,转移到镀液里,而电子则流回到直流电源中,这是一个氧化反应。在以上化学反应中,直接有电子参加,称为电极反应。

上述镀镍过程中的种种现象和变化,完全可以扩大到其他的电镀过程。由此可知,电镀是电解作用中的一种,是一个电化学过程。它是在外界直流电源的作用下,通过两类导体,在阳极和阴极两个电极上进行氧化还原反应的过程。整个过程概括起来有如下特点:

(1) 在两电极和外电路中,有自由电子沿着一定的方向移动。

(2) 在镀液中,有阴离子和阳离子分别沿着相反的方向移动。这两种离子移动的方向虽然不同,但所传导的电流方向是一致的。

(3) 在电极与镀液这两类导体界面间,有得失电子的电极反应发生。

三、法拉第定律(电解定律)

根据大量实验结果,法拉第总结出两条描述电解时电极上通过的电荷量与电极反应产物质量之间关系的定律,称为法拉第定律或电解定律。

1. 法拉第一定律 电解时,电极上所形成的产物 m (析出或溶解的物质)的质量与电流 I 和通电时间 t 成正比,也即是与通过的电荷量成正比。可用下式表示:

$$m = kIt = kQ \quad (1-1)$$

式中 m ——电极上析出(或溶解)物质的质量(g);

I —— 通过电极的电流强度 (A);

t —— 通电的时间 (h);

Q —— 通过的电荷量 (C 或 $A \cdot h$);

k —— 比例常数。

比例常数 k , 表示电极上通过 1 C 或 1 ($A \cdot h$) 电荷量时, 在电极上形成的产物的量 g , 通常称为该产物的电化摩尔质量。其数值是由法拉第第二定律所决定的。

如果某物质的电化摩尔质量是已知的, 则只要知道电镀槽中通过的电流强度和通电时间, 就能用式 (1-1) 计算出电极上这种反应产物的质量。

2. 法拉第第二定律 电极上每析出 (或溶解) 1 摩尔质量的任何物质, 所需要的电荷量为 96500 C 或 26.8 ($A \cdot h$)。也就是说, 用同等的电荷量通过各种不同的电解质溶液时, 在电极上析出 (或溶解) 各物质的量与它们的摩尔质量成正比。

所谓摩尔质量, 就是物质的原子量 (用 A 表示) 与其化合价 (用 n 表示) 之比 E (即 A/n)。例如, 用同样的电荷量 (96500 C), 分别通过稀硫酸、硝酸银、硫酸铜三种溶液, 则在阴极上分别析出 1 g 氢气、107.88 g 银和 31.77 g 铜, 析出的量恰好分别等于它们的摩尔质量。

综合以上两个定律, 可将电解定律归纳如下: 电解时, 在电极上析出 (或溶解) 的物质的量 m 与通过的电荷量 Q 及该物质的摩尔质量 E (即 A/n) 的乘积成正比。可用下式表示:

$$m = \frac{E}{F} Q = \frac{A}{nF} Q \quad (1-2)$$

式中 F —— 是法拉第常数。即电解时, 电极上析出 (或溶

解) 1 摩尔质量物质时所需要的电荷量。由实验测得: F 为 96500C/mol 或 $26.8 (\text{A}\cdot\text{h})/\text{mol}$;

E ——物质的摩尔质量 (g/mol);

Q ——电解时通过的电荷量 (C 或 $\text{A}\cdot\text{h}$)。

将式 (1-1) 代入式 (1-2), 即可得到电化摩尔质量 k 与摩尔质量 E (即 A/n) 之间的关系

$$k = \frac{E}{F} = \frac{A}{nF} \quad (1-3)$$

此式表示各物质的电化摩尔质量与摩尔质量成正比, 也与原子量成正比, 与其化合价成反比。电化摩尔质量就是电解时每通过单位电荷量所析出的物质的量, 单位是 g/C 或 $\text{g}/(\text{A}\cdot\text{h})$ 。

已知物质的原子量和化合价, 亦即物质的摩尔质量, 可以根据式 (1-3) 求出其电化摩尔质量。例如, 已知镍的原子量为 58.69, 求二价镍的电化摩尔质量, 按式 (1-3) 计算, 得:

$$k = \frac{A}{nF} = \frac{58.69}{2 \times 96500} = 0.3041 \times 10^{-3} (\text{g/C})$$

对于变价元素, 因不同价态有不同的摩尔质量数值, 所以它的电化摩尔质量也不同。例如, 在酸性镀铜时, 铜是二价的, 其摩尔质量应是 $63.55/2 = 31.78\text{g/mol}$, 其电化摩尔质量为 $31.78/96500 = 0.329 \times 10^{-3}\text{g/C}$ 。但在氰化镀铜时, 铜是一价的, 故其摩尔质量应是 $63.55/1 = 63.55\text{g/mol}$, 其电化摩尔质量为 $63.55/96500 = 0.658 \times 10^{-3}\text{g/C}$ 。这意味着, 在这两种溶液中分别通过等同的电荷量时, 所获得的镀层的质量并不相等。假若在阴极上反应的只有铜, 则氰化镀铜的镀层质量要比酸性镀铜的多一倍, 即两者所得到的镀层厚度