·应用型系列教材·

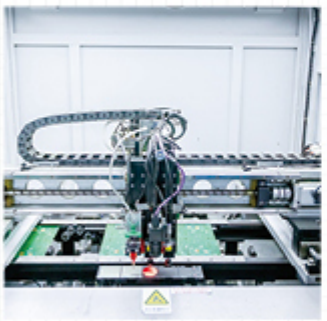
DIANDU JICHU YU SHIYAN

电镀基础与实验

郭琳◎主　编
张秀莲　欧阳兴旺◎副主编









中国纺织出版社有限公司
国家一级出版社
全国百佳图书出版单位

需要全本请访问 www.ertongbook.com

应用型系列教材

电镀基础与实验

郭　琳　主编
张秀莲　欧阳兴旺　副主编

中国纺织出版社有限公司

内 容 简 介

本书包括两部分内容，一是电镀基础知识，重点论述了电镀的基本概念和原理，对一些工业上常用的金属和非金属电镀过程的工艺条件、原理、影响因素等分别进行叙述；二是电镀实验，包括基础实验、综合实验及综合设计实验等23个实验，从实验的目的、原理、内容、数据处理等方面进行介绍。

本书内容丰富，理论与实践相结合，实用性强，可作为高等院校化学、应用化学、材料化学等专业的本科生、研究生教学用书，也可供从事电化学、电镀科研和生产的有关技术人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

电镀基础与实验 / 郭琳主编. -- 北京 : 中国纺织出版社有限公司，2020.10

应用型系列教材

ISBN 978-7-5180-7972-8

Ⅰ. ①电… Ⅱ. ①郭… Ⅲ. ①电镀－高等学校－教材 Ⅳ. ① TQ153

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2020）第 196585 号

责任编辑：范雨昕　　责任校对：寇晨晨　　责任印制：何　建

中国纺织出版社有限公司出版发行

地址：北京市朝阳区百子湾东里A407号楼　邮政编码：100124

销售电话：010—67004422　传真：010—87155801

http：//www.c-textilep.com

中国纺织出版社天猫旗舰店

官方微博 http：//weibo.com/2119887771

三河市宏盛印务有限公司印刷　各地新华书店经销

2020年10月第1版第1次印刷

开本：787×1092　1/16　印张：10

字数：220千字　定价：88.00元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社图书营销中心调换

前言

电镀在我们生产和生活中的应用十分广泛，其应用已涉及机械、轻工、仪器仪表、电子、交通运输、航空、造船、化工、冶金、国防等国民经济的各个领域，随着经济和科学技术的发展，对这一技术的要求也越来越高，为了更好地培养人才，适应社会对该专业人才的需要，编写这本《电镀基础与实验》教材十分必要。

编者结合多年来的教学、科研及生产实践经验，并查阅了大量的参考文献资料，借鉴了国内外电镀工艺的新观念、新技术、新经验，编写完成此书。书中对电镀的基本概念、原理及工业上常用的电镀工艺技术进行了详细的介绍，并设计了 23个电镀工艺实验，既有概念与原理等理论知识，又有实验操作及工艺，理论与实践相结合，既可以提高学生理论水平，又可以培养学生的实验操作技能及动手能力，对学生在今后电镀工艺的学习以及电镀行业的工作中都会有很大的帮助。

第一章由郭琳编写，第二章共23个实验，其中实验1~4及实验12、实验15、实验17、实验19由王璟瑜编写；实验5~11、实验13、实验14及实验16、实验18，由程红红编写；实验20、实验21由欧阳兴旺编写；实验22、实验23由张秀莲编写。

由于编者水平有限，书中错误和疏漏在所难免，恳请有关专家和广大读者批评指正。

作　者

2020年3月

目录

第一章　电镀基础……001
第一节　绪论 ……001
第二节　电镀基础知识 ……004
第三节　电镀前处理 ……010
第四节　电镀后处理 ……015
第五节　单金属电镀 ……020
第六节　贵金属电镀 ……042
第七节　合金电镀 ……048
第八节　非金属材料电镀 ……056

第二章　电镀实验……065
实验一　阴极电流效率的测定 ……065
实验二　电镀液分散能力的测定 ……069
实验三　电镀液覆盖能力的测定 ……072
实验四　电镀液极化曲线的测定 ……076
实验五　镀层外观测试 ……081
实验六　镀层结合力实验 ……081
实验七　锌镀层厚度的测定 ……082
实验八　镍镀层显微硬度的测量 ……084
实验九　贴滤纸法测量钢基体上铜的孔隙率 ……086
实验十　钢铁基底上镀锌层的耐腐蚀性的评定 ……088
实验十一　塔菲尔曲线外推法测量镀层的耐腐蚀性 ……091
实验十二　利用霍尔槽测试电流密度对镀层质量的影响 ……093
实验十三　焦磷酸盐无氰镀铜实验及其镀层性能测试 ……098

实验十四　硫酸盐光亮镀铜及其性能测试 ……103
实验十五　单金属锌的无氰电镀及钝化工艺 ……107
实验十六　焦磷酸盐电镀铜锡合金 ……111
实验十七　锌镍合金电镀 ……115
实验十八　无氰（焦磷酸盐型）仿金电镀 ……118
实验十九　无氰（柠檬酸型）仿金电镀 ……122
实验二十　ABS塑料电镀综合实验 ……126
实验二十一　叶脉书签装饰性电镀综合实验 ……133
实验二十二　诺氟沙星与柠檬酸共晶的制备及性质测试综合设计实验 ……140
实验二十三　萘啶酸与丁烯二酸共晶的制备及性质测试综合设计实验 ……143

附录 ……149

第一章　电镀基础

第一节　绪论

电镀就是利用电解原理在某金属表面镀上一薄层其他金属或合金的过程，是利用电解作用使金属或其他材料镀件的表面附着一层金属膜的工艺，能够起到防止腐蚀，提高耐磨性、导电性、反光性及增进美观等作用。

电镀的基体材料除铁基的铸铁、钢和不锈钢外，还有非金属材料，如（ABS）塑料、聚丙烯、聚砜和酚醛塑料、陶瓷和木头等。

金属镀层的应用已遍及经济活动的各个生产和研究部门，例如机器制造、电子、仪器仪表、能源、化工、轻工、交通运输、兵器、航空、航天、原子能等，在生产实践中有着重大意义。

电镀的目的有如下几点：

（1）提高金属制品的耐腐蚀能力，赋予制品表面装饰性外观；

（2）赋予制品表面某种特殊功能；

（3）提供新型材料，以满足当前科技与生产发展的需要。

一、电镀工业的发展概况

最早公布的电镀文献是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提出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镀铜的第一个专利。1843年，酸性硫酸铜镀铜用于工业生产，同年R.Bottger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，但用于生产上的仅有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。

我国电镀工业的发展是在中华人民共和国成立以后。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、镍铁合金和减磨镀层也用于生产；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、代铬工艺的开发取得重大进展。

二、几种典型的电镀过程

目前工业上常用的比较典型的电镀过程有：单金属电镀、合金电镀、复合电镀和熔盐电镀。

1. 单金属电镀

单一金属离子的电沉积；单金属电镀同样受电镀液组成、电流密度、温度、pH等的影响。常用的单金属镀有锌、铜、镍、锡、铬、金、银等。

2. 合金电镀

两种或两种以上的金属离子同时析出：通过调节电镀液组成、电镀条件等使不同金属在电极上具有相近的析出电势，这样才能实现合金电镀。

3. 复合电镀

复合电镀是在电镀或化学镀的镀液中加入一种或多种非溶性的固体微粒，使其与主体金属（或合金）共沉积在基体上的镀覆工艺，得到的镀层称为复合镀层。影响复合镀层质量的主要因素有：镀液的组成、电流密度及固体粒子的大小和浓度等。

复合电镀中的固体微粒主要有以下三类：

（1）提高镀层耐磨性的高硬度、高熔点、耐腐蚀的微粒，如SiC。

（2）提供自润滑特性的固体润滑剂微粒，如MoS_2。

（3）提供具有电接触功能的微粒，如WC、La_2O_3。

4. 熔盐电镀

熔盐电镀是指在熔盐介质中进行的一种电镀方式。工业上常见的熔盐电镀就是铝的电解合成。熔盐电镀具有以下优点：

（1）熔盐电解液分解电压高，稳定性好，电镀过程副反应少，电流效率高。

（2）阴极还原超电势低，交换电流密度大，电沉积速度快，能在复杂镀件上得到较为均匀的镀层。

（3）熔盐可溶解金属表面氧化物，并能使沉积金属扩散进入金属基体，镀层与基底结合力强，同时镀层有较好的抗腐蚀性能。

三、镀层的分类及其应用

1. 按镀层的用途分类

根据用途不同镀层可分为防护性镀层、防护—装饰性镀层、功能性镀层。

（1）防护性镀层：此类镀层主要用于金属零件的防腐蚀。镀锌层、镀镉层、镀锡层以及锌基合金（Zn—Fe、Zn—Co、Zn—Ni）镀层均属于此类镀层。黑色金属零件在一般大气条件下常用镀锌层来保护，在海洋性气候条件下常用镀镉层来保护；当要求镀层薄而抗蚀能力强时，可用锡镉合金来代替镉镀层；铜合金制造的航海仪器，可使用银镉合金作防护；对于接触有机酸的黑色金属零件，如食品容器，则用镀锡层来保护，它不仅防蚀能力强，而且腐蚀产物对人体无害。

（2）防护—装饰性镀层：对很多金属零件，既要求防腐蚀，又要求具有经久不变的外观，这就要求施加防护—装饰性镀层。这种镀层常采用多层电镀，即首先在基体上镀“底”层，而后再镀“表”层，有时还要镀“中间”层。例如，通常的Cu—Ni—Cr多层电镀等就是典型的防护—装饰性镀层，常用于自行车、缝纫机、小轿车的外露部件等。目前正流行的花色电镀、黑色电镀及仿金镀层也属于此类镀层。

（3）功能性镀层：为满足光、电、磁、热、耐磨性等特殊物理性能的需要而沉积的镀层称为功能性镀层，目前品种较多。

耐磨镀层是给零件镀一层高硬度的金属以增强其抗磨耗能力。如镀硬铬，硬度可达到1000~1200HV，用于直轴或曲轴的轴颈、压印辊面、冲压模具的内腔、枪和炮管的内腔等。对一些仪器的插拔件，既要求具有高的导电能力，又要求耐磨损，常要求镀硬银、硬金、铑等。减摩镀层多用于滑动接触面，可起润滑作用，减少滑动摩擦系数；延长零件的使用寿命。作为减摩镀层的金属有锡、铅锡合金、铅铟合金、铅锡铜及铅锑锡三元合金等。

用于改善机械零件等的表面物理性能，常要对其进行热处理。但对一个部件而言，只需局部改变原来的性能，需在热处理之前，先把不需要改变性能的部位保护起来。如工业生产中为了防止局部渗碳要镀铜，防止局部渗氮要镀锡，这是利用碳或氮在这些金属中难以扩散的特性来实现的。

除上述镀层外，随着科技的发展，电镀或电沉积还可用于制备纳米材料、高性能材料薄膜，如超导氧化物薄膜、电致变色氧化物薄膜、金属化合物半导体薄膜、形状记忆合金薄膜、梯度材料薄膜等。电镀在功能材料领域的用途非常广泛。

2. 按照基体金属与镀层的电化学关系分类

按照基体金属与镀层的电化学关系不同，镀层可分为阳极镀层和阴极镀层两大类。

阳极镀层就是当镀层与基体金属构成腐蚀微电池时，镀层为阳极，首先溶解，这种镀层不仅能对基体起到机械保护作用，还可以起到电化学保护作用。

阴极镀层是镀层与基体构成腐蚀微电池时，镀层为阴极，这种镀层只能对基体金属起到机械保护作用。

第二节　电镀基础知识

一、金属电沉积和电镀原理

金属电沉积过程是指简单金属离子或络离子通过电化学方法在固体（导体或半导体）表面上放电还原为金属原子附着于电极表面，从而获得金属层的过程。

电镀是金属电沉积过程的一种，它是通过改变固体表面特性从而改善外观，提高耐蚀性、抗磨性，增强硬度，提供金属特殊的光、电、磁、热等表面性质的金属电沉积过程。

1. 简单金属离子的还原

$$M^{2+}+2e^- \longrightarrow M（s）$$

从动力学上，简单金属离子的还原过程包括以下步骤：

（1）水化金属离子由本体溶液向电极表面的液相传质。

（2）电极表面溶液层中金属离子水化数降低、水化层发生重排，使离子进一步靠近电极表面，过程表示为：

$$M^{2+}\cdot mH_2O-nH_2O \longrightarrow M^{2+}\cdot（m-n）H_2O$$

（3）部分失水的离子直接吸附于电极表面的活化部位，并借助于电极实现电荷转移，形成吸附于电极表面的水化原子，过程表示为：

$$M^{2+}\cdot（m-n）H_2O+e \longrightarrow M^{+}\cdot（m-n）H_2O（吸附离子）$$

$$M^{+}\cdot（m-n）H_2O+e \longrightarrow M\cdot（m-n）H_2O（吸附原子）$$

（4）吸附于电极表面的水化原子失去剩余水化层，成为金属原子进入晶格。

过程可表示为：

$$M\cdot（m-n）H_2O（ad）-（m-n）H_2O \longrightarrow M晶格$$

2. 金属络离子的还原

络离子的阴极还原，一般认为有以下几种观点：

（1）络离子可以在电极上直接放电，一般放电的络离子的配位数都比溶液中的主要存在形式低。其原因可能是：具有较高配位数的络离子比较稳定，放电时需要较高活化能，而且它常带较多负电荷，受到阴极电场的排斥力较大，不利于直接放电。同时，在同一络合体系中，放电的络离子可能随配体浓度的变化而改变。

（2）有的络合体系，其放电物种的配体与主要络合配体不同。

（3）p$K_{不稳}$的数值与超电势无直接联系，一般$K_{不稳}$较小的络离子还原时，呈现较大的阴极极化。

3. 金属共沉积原理

要使两种金属实现在阴极上共沉积，就必须使它们有相近的析出电势，即：

$$\Phi_{1析出}\approx\Phi_{2析出} \qquad \Phi_{1,\,eq}-\eta_{1,\,c}=\Phi_{2,\,eq}-\eta_{2,\,c}$$

$$\Phi^{\ominus}_{1,\,eq}+\frac{RT}{z_1F}\ln c_1-\eta_{1,\,c}=\Phi^{\ominus}_{2,\,eq}+\frac{RT}{z_2F}\ln c_2-\eta_{2,\,c}$$

依据金属共沉积的基本条件，只要选择适当的金属离子浓度、电极材料（决定着超电势的大小）和标准电极电势就可使两种离子同时析出。

（1）当两种离子的$\Phi^{\ominus}$相差较小时，可采用调节离子浓度的方法实现共沉积。

（2）当两种离子的$\Phi^{\ominus}$相差不大（<0.2V）时，且两者极化曲线（E—i或η—i曲线）斜率又不同的情况下，则可通过调节电流密度使其增大到某一数值，此时，两种离子的析出电势相同，也可以实现共沉积。

（3）当两种离子的$\Phi^{\ominus}$相差很大时，可通过加入络合剂以改变平衡电极电势，实现共沉积。

（4）添加剂的加入可能引起某种离子阴极还原时极化超电势较大，而对另一种离子的还原则无影响，这时也可实现金属的共沉积。

二、法拉第定律在电镀中的应用

1. 计算通入的电量

如果在电解池中发生如下反应：

$$M^{2+}+ze \longrightarrow M（s）$$

根据法拉第定律可以得到电解池中通入的电量为：

$$Q=nzF$$

式中：Q——通过电极的电量；

n——阴极沉积出的物质的量。

例如：酸性镀铜时，Cu^{2+}被还原为Cu，氰化镀铜中Cu^{+}被还原为Cu，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，因而为获得同样厚度的镀层，氰化镀铜所需时间只有酸性镀铜的一半。

2. 计算电流效率

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。

$$电流效率=\frac{按Faraday定律计算所需理论电荷量}{实际所消耗的电荷量}\times 100\%$$

或

$$电流效率=\frac{电极上产物的实际质量}{按Faraday定律计算应获得的产物质量}\times 100\%$$

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。

3. 电镀镀层厚度的计算

阴极上沉积金属的平均厚度：

$$\delta=\frac{i_k\eta_k tE}{\rho}$$

式中：δ ——镀层的厚度，μm；

i_k —— 阴极电流密度，A/dm^2；

η_k——阴极电流效率；

t —— 电镀时间，min；

E——析出金属的电化当量，g/（A·h）；

ρ ——析出金属的密度，g/cm^3。

三、电镀工艺条件及要求

1. 电镀装置（图1–1）

（1）阴极：被镀物，指各种接插件端子。

（2）阳极：若是可溶性阳极，则为欲镀金属。若是不可溶性阳极，大部分为贵金属（白金、氧化铱）或者石墨等。

（3）电镀液：含有欲镀金属离子以及各种添加剂的电镀液。

（4）电镀槽：可承受、储存电镀液的槽体，一般考虑强度、耐蚀、耐温等因素。

（5）整流器：提供直流电源的设备。

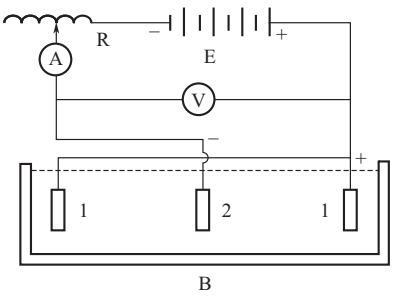


图1–1　电镀装置

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

2. 镀层的主要性能

评价镀层的重要指标是平整程度和光洁度，另外还有其他一些性能指标：

（1）镀层与基底金属的结合强度：指金属镀层从单位表面积基底金属（或中间镀层）上剥离所需要的力。

（2）镀层的硬度：镀层对外力所引起的局部表面形变的抵抗程度。

（3）内应力：张应力和压应力，沉积层的体积倾向于收缩时表现出张应力；沉积层的体积倾向于膨胀时表现出压应力。当镀层的压应力大于镀层与基底之间的结合力时，镀层将起泡或脱皮；当镀层的张应力大于镀层的抗拉强度时，镀层将产生裂纹从而降低其抗腐蚀性。

（4）耐磨性：耐磨性是指材料抵抗机械磨损的能力。

（5）脆性：镀层受到压力至发生破裂之前的塑性变形的量度。

3. 影响镀层质量的因素

（1）镀液的性能。

①沉积金属离子阴极还原极化较大，以获得晶粒度小、致密，有良好附着力的镀层。

②稳定且导电性好。

③金属电沉积的速度较大，装载容量也较大。

④成本低，毒性小。

（2）电镀溶液的组成及其作用。电镀溶液的组成对电镀层的结构有着很重要的影响。一般电镀溶液由主盐、导电盐（又称为支持电解质）、络合剂和其他添加剂等组成。

①主盐：根据主盐性质的不同，可将电镀溶液分为简单盐电镀溶液和络合物电镀溶液两大类。

主盐浓度高，镀层较粗糙，但允许的电流密度大；主盐浓度低，允许通过的电流密度小，沉积速度慢。在单盐电解液中，镀层的结晶较为粗糙，允许的电流密度大。加入络合剂的复盐电解液使金属离子的阴极还原极化得到了提高，有利于得到细致、紧密、质量好的镀层。

Zn、Cu、Cd、Ag、Au等的电镀，常见的络合剂是氰化物，因氰化物有毒，无氰电镀已成为今后发展的方向。Ni、Co、Fe等金属的电镀因这些元素的水合离子电沉积时极化较大，因而可不必添加络合剂。电镀液溶剂必须具有下列性质：

a.电解质在其中是可溶的；

b.具有较高的介电常数，使溶解的电解质完全或大部分电离成离子，电镀中用的溶剂有水、有机溶剂和熔盐体系等。

②导电盐：是能提高溶液的电导率，而对放电金属离子不起络合作用的物质。这类物质包括酸、碱和盐，由于它们的主要作用是用来提高溶液的导电性，习惯上通称为导电盐。如酸性镀铜溶液中的H_2SO_4，氯化物镀锌溶液中的KCl、NaCl及氰化物镀铜溶液中的NaOH和Na_2CO_3等。

导电盐的含量升高，槽电压下降，镀液的深镀能力得到改善，在多数情况下，镀液的分散能力也有所提高。导电盐的含量受到溶解度的限制，而且大量导电盐的存在还会降低其他盐类的溶解度。对于含有较多表面活性剂的溶液，过多的导电盐会降低它们的溶解度，使溶液在较低的温度下发生乳浊现象，严重的会影响镀液的性能。所以导电盐的含量也应适当。

③络合剂：在溶液中能与金属离子生成络合离子的物质称为络合剂。如氰化物镀液中的NaCN或KCN，焦磷酸盐镀液中的$K_4P_2O_7$或$Na_4P_2O_7$等。

在络合物镀液中，最具重要意义的，并不是络合剂的绝对含量，而是络合剂与主盐的相对含量，通常用络合剂的游离量来表示，即除络合金属离子以外多余的络合剂。络合剂的游离量增加，阴极极化增大，可使镀层结晶更细致，镀液的分散能力和覆盖能力都得到改善，但是，阴极电流效率下降，沉积速度减慢。

当络合剂的游离量过高时，大量析氢会造成镀层有针孔，低电流密度区没有镀层，还会

造成基体金属的氢脆。对于阳极来说，它将降低阳极极化，有利于阳极的正常溶解。络合剂的游离量低，镀层结晶变粗，镀液的分散能力和覆盖能力都较差。

④其他添加剂。

a.缓冲剂是用来稳定溶液的pH，特别是阴极表面附近的pH。缓冲剂一般是用弱酸或弱酸的酸式盐，如镀镍溶液中的H_3BO_3和焦磷酸盐镀液中的Na_2HPO_4等可起到稳定溶液pH的作用。

b.稳定剂用来防止镀液中主盐水解或金属离子的氧化，保持溶液的清澈稳定。如酸性镀锡和镀铜溶液中的硫酸，酸性镀锡溶液中的抗氧化剂等。

c.阳极活化剂在电镀过程中能够消除或降低阳极极化的物质，它可以促进阳极正常溶解，提高阳极电流密度。如镀镍溶液中的氯化物，氰化镀铜溶液中的酒石酸盐等。

根据需要镀液中还添加有光亮剂、整平剂、润湿剂、应力消除剂、镀层细化剂、抑雾剂、无机添加剂等。

四、电镀工艺因素对镀层影响

1. 电流密度的影响

电流密度大，镀同样厚度的镀层所需时间短，可提高生产效率；电流密度大，形成的晶核数增加，镀层结晶细而紧密，可增加镀层的硬度、内应力和脆性，电流密度太大会出现枝状晶体和针孔等。对于电镀过程，电流密度存在一个最适宜范围。

2. 电流波形的影响

电镀生产中常用的电源有整流器和直流发电机，根据交流电源的相数以及整流电路的不同可获得各种不同的电流波形。例如单相半波、单相全波、三相半波和三相全波等，如图1–2所示。实践证明，电流的波形对镀层的结晶组织、光亮度、镀液的分散能力和覆盖能力、合金成分、添加剂的消耗等方面都有影响，故对电流波形的选择应予以重视。目前除采用一般的直流电外，根据实际的需要还可采用周期换向电流及脉冲电流。

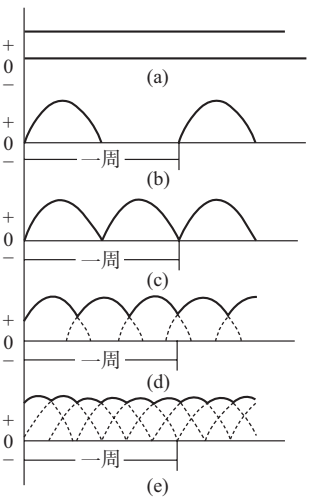


图1–2　几种常用的电流波形

A—稳压直流　b—单相半波　c—单相全波　d—三相半波　e—三相全波

实践表明，镀铬时只有使用稳压直流或三相全波电流才能得到光亮的镀铬层，而采用单相半波或全波电流时，所得到的镀铬层呈灰黑色。但在焦磷酸盐镀铜或铜锡合金时，使用单相半波或全波电流时，却可提高镀层的光泽和允许使用较高的电流密度。

3．电解液温度的影响

提高镀液温度有利于生成较大的晶粒，镀层的硬度、内应力和脆性以及抗拉强度降低；温度提高，能提高阴极和阳极电流效率，消除阳极钝化，增加盐的溶解度和溶液导电能力，会降低浓差极化和电化学极化；温度太高，结晶生长的速度超过了形成结晶活性的生长点，因而导致形成粗晶和孔隙较多的镀层。

4．搅拌的影响

搅拌能够加速溶液的对流，使扩散层减薄，使阴极附近被消耗了的金属离子得以及时补充，从而降低了浓度极化。在其他条件不变的情况下，搅拌会使镀层结晶变粗。但是，搅拌可以提高允许电流密度的上限，可以在较高的电流密度和较高的电流效率下，得到致密的镀层。生产中常采用搅拌来提高电流密度，以提高沉积速度。

5．阳极

在电镀过程中，电解液中的金属离子，由于在阴极上的还原，而不断被消耗。一般情况下，是靠金属阳极的溶解来补充这种消耗以维持电解液组成的稳定。当采用不溶性阳极时，镀液中被消耗的金属离子是靠定期添加试剂来补充的。

按照一般规律，当阳极极化越大，金属阳极溶解的速度也越大，但有时会出现反常现象，即随着阳极极化的增大，金属的溶解速度不但不增加，反而急剧下降，甚至几乎为零，这种由于阳极极化增大使电极表面性质发生变化而引起的现象称为金属的阳极钝化，是与金属阳极极溶解相反的现象。

镍阳极的阳极氧化曲线如图1–3所示。阳极氧化一般经历活化区（即金属溶解）、钝化区（表面生成钝化膜）和过钝化区（表面产生高价金属离子或析出氧气）。

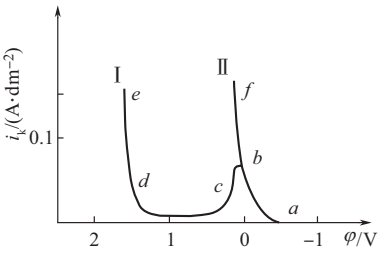


图1–3　镀镍溶液中镍阳极的极化曲线

溶液组成：$NiSO_4 \cdot 7H_2O$　175g/L，$Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$　120g/L，H_3BO_3　20g/L，pH=5.5，温度30℃

电镀中阳极的选择应是与阴极沉积物种相同，镀液中的电解质应选择不使阳极发生钝化的物质，电镀过程中可调节电流密度保持阳极在活化区域。如果某些阳极（如Cr）能发生剧烈钝化则可用，惰性阳极代替。

6．电镀生产工艺

电镀生产主要工艺流程：镀前处理、电镀、镀后处理。

电镀生产的基本工序：

（磨光➔抛光）➔上挂→脱脂除油→水洗→（电解抛光或化学抛光）→酸洗活化→（预镀）→电镀→水洗→（后处理）→水洗→干燥→下挂→检验包装

（1）镀前处理：镀前处理一般包括机械加工、酸洗、除油等步骤。

机械加工是指用机械的方法，除去镀件表面的毛刺、氧化物层和其他机械杂质，使镀件表面光洁平整，这样可使镀层与基体结合良好，防止毛刺的发生。酸洗是为了除去镀件表面氧化层或其他腐蚀物。除油是清除基体表面的油脂。

（2）电镀：镀件经镀前处理，即可进入电镀工序。在进行电镀时还必须注意电镀液的配方，电流密度的选择以及温度、pH等的调节。

（3）镀后处理：镀件经电镀后表面常吸附着镀液，若不经处理可能腐蚀镀层。水洗和烘干是最简单的镀后处理。

第三节　电镀前处理

一、概述

金属镀件在进入镀液以前的一切加工处理和清理工序总称为镀前处理（或预处理），作为金属镀层，无论其使用目的和使用场合如何，都应该满足以下要求：镀层致密无孔，厚度均匀一致，镀层与基体结合牢固。要做到这一点，除了镀液组成及工艺条件外，被镀零件的表面状态也是一个关键因素。

金属制品镀前预处理工艺：

1. 机械处理

机械处理主要是用于对粗糙表面进行机械整平，清除表面一些明显的缺陷，包括磨光、机械抛光、滚光、喷砂等。

2. 化学处理

化学处理包括除油与浸蚀，是在适当的溶液中，利用零件表面与溶液接触时所发生的各种化学反应，除去零件表面的油污、锈及氧化皮。

3. 电化学处理

电化学处理采用通电的方法强化化学除油和浸蚀过程，处理速度快，效果好。

4. 超声波处理

超声波处理是在超声波场作用下进行的除油或清洗过程。主要用于形状复杂或对表面处理要求极高的零件。

二、粗糙表面的整平

1. 磨光

磨光是对金属表面进行整平处理的机械加工过程，用以除去制品表面上的毛刺、沙眼、

焊疤、划痕、腐蚀斑、氧化皮以及各种宏观缺陷，提高表面的平整度。磨光是在粘有磨料的磨轮上进行的。

磨光适用于一切金属材料，其磨削效果取决于磨料的特性、磨轮的刚性和转速。使用时应根据被加工工件材料的性质、尺寸、形状及对磨光后表面平整度的要求，正确地选用磨轮的刚性、圆周速度和磨轮的种类。

磨通常采用皮革、棉布、毛毡等缝制而成的弹性轮，其中布质轮因其具有弹性好、适应性强的特点使用最为广泛。

对于硬度高而形状简单的工件，应选用较硬的磨轮，转速也要高一些；而对于硬度较低、形状较复杂的制品，则应选用较软的弹性大的磨轮，转速也要低一些。磨轮的转速应控制在一定范围内。

磨光用的磨料有人造金刚砂（碳化硅）、人造刚玉、天然金刚砂、石英砂、硅藻土等，其中人造刚玉的韧性好，脆性较小，粒子的棱面较多，在生产中应用较广泛。

电镀中选用的磨料及粒度，取决于被加工工件的材料、表面状况及对加工后表面的质量要求。

2. 机械抛光

机械抛光的目的是为了削除金属制品表面的细微不平，使表面具有镜面般的光泽。机械抛光可以用于工件镀前的表面准备，在磨光的基础上进一步加工，也可用于镀后的精加工，以提高镀层表面的光泽度。

机械抛光是在涂有抛光膏（皂）的抛光轮上进行的。抛光轮是用弹性好的各种棉布、细毛毡或特种纸制成，比磨轮软。机械抛光与磨光有着本质的不同。在抛光时没有明显的金属屑被切下来，因此也没有显著的金属损耗。

机械抛光是一个占用劳动力多、能源及材料消耗量大的工序。因此，电镀前预处理的机械抛光已逐渐被化学抛光或电化学抛光取代。

3. 化学抛光和电化学抛光

化学抛光是金属制品表面在特定条件下化学浸蚀的过程。金属表面上微观凸起处在特定溶液中的溶解速度比微观凹下处的快，结果逐渐被整平而获得平滑、光亮的表面。

（1）过氧化氢类化学抛光液：常与草酸、硫酸合用，对软的低碳钢进行化学抛光；可与醋酸合用，对铅金属进行化学抛光。

（2）磷酸类化学抛光液：由磷酸、硝酸以及适量的醋酸组成。常用于铜及其合金制品的化学抛光。

电化学抛光或简称电抛光，是对金属表面进行精加工的一种电化学方法，将金属制件置于一定组成的电解液中进行特殊的阳极处理，以降低制件表面微观上的粗糙度，从而获得平滑光亮表面的加工过程。它既可用于金属制件镀前的表面处理，也可用于镀后镀层的精加工，还可作为金属表面的一种加工方法。

4. 滚光

滚光是将被处理的小零件与磨料、水和化学促进剂一起放入专用的滚筒中，借助滚筒