

化工工人技术理论培训教材

# 电 镀

化学工业部人事教育司 组织编写  
化学工业部教育培训中心

化学工业出版社

ISBN 7-5025-1926-2



9 787502 519261 >

ISBN 7-5025-1926-2/G · 532

定 价：8.50 元

T  
H

化工工人技术理论培训教材

# 电 镀

化学工业部人事教育司 组织编写  
化学工业部教育培训中心

化学工业出版社

·北 京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

电镀/化学工业部人事教育司,化学工业部教育培训中心组织编写. —北京:化学工业出版社,1998

化工工人技术理论培训教材

ISBN 7-5025-1926-2

I. 电… I. ①化… ②化… II. 电镀 N.TQ153

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 28700 号

---

化工工人技术理论培训教材

电 镀

化学工业部人事教育司 组织编写  
化学工业部教育培训中心

责任编辑:侯玉周

责任校对:洪雅姝

封面设计:于 兵

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

新华书店北京发行所经销

北京市通县京华印刷厂印刷

北京市通县京华印刷厂装订

\*

开本 850×1168 毫米 1/32 印张 4 $\frac{5}{8}$  字数 127 千字

1998 年 1 月第 1 版 1998 年 1 月北京第 1 次印刷

印 数:1—5000

ISBN 7-5025-1926-2/G·532

定 价:8.50 元

---

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责调换

## 前 言

为了适应化工系统工人技术等级培训的需要,提高工人的技术理论水平和实际操作技能,我们依据《中华人民共和国工人技术等级标准》和《化工系统工人技术理论培训教学计划 and 教学大纲》的要求,组织有关人员编写了这套培训教材。

在教材编审过程中,遵循了“坚持标准,结合实际,立足现状,着眼发展,体现特点,突出技能,结构合理,内容精炼,深浅适度”的指导思想,以“等级标准”为依据,以“计划和大纲”为蓝图,从有利于教师教学和方便工人自学出发,力求教材内容能适应化工生产技术和现代化生产工人培训的要求。

按照《中华人民共和国工人技术等级标准》规定的化工行业 168 个生产工种的有关内容,在编制教学计划和划定大纲时,在充分理解等级标准的基础上,吸取了国外职业教育的成功经验,对不同工种、不同等级工人围绕技能所要求掌握的技术理论知识进行分析和分解,作为理论教学的基本单位,称之为“单元”。在计划和大纲中,168 个工种按五个专业大类(及公共课)将不同等级的全部理论教学内容分解为 301 个教学单元。为了方便各单位开展培训教学活动,把教学计划中一些联系较为密切的“单元”合在一起,分成 112 册出版。合订后的全套教材包括以下六部分。

无机化工类单元教材共 25 册,《流体力学基础》、《管路的布置与计算》、《物料输送》、《气相非均一系分离》、《液相非均一系分离》、《物料混合》、《固体流态化与应用》、《加热与冷却》、《蒸发》、《结晶》、《浸取与干燥》、《制冷》、《焙烧与工业炉》、《粉碎与筛分》、《电渗析》、《吸附分离》、《离子交换》、《常见的无机化学反应》、《电解及其设备》、《物料衡算与热量衡算》、《合成氨造气》、《合成氨变换》、《合成氨净化》、《合成氨压缩》和《氨的合成》。

有机化工类单元教材共 7 册:《吸收》、《蒸馏》、《萃取》、《有机化学反应(一)》、《有机化学反应(二)》、《有机化学反应(三)》和《化学反应器》。

化工检修类单元教材共 43 册:《电镀》、《腐蚀与防护》、《机械传动及零件》、《液压传动与气动》、《金属材料热处理知识》、《机械制造工艺基础》、《化工检修常用机具》、《工程力学基础》、《测量与误差》、《公差与配合》、《化工机器与设备安装》、《化工压力容器》、《展开与放样》、《化工管路安装与维修》、《钳工操作技术》、《装配和修理》、《钢材矫正与成型》、《电工材料及工具》、《焊工操作技术》、《焊接工艺》、《阀门》、《化工用泵》、《风机》、《压缩机》、《化工分析仪表(一)》、《化工分析仪表(二)》、《化工测量仪表》、《电动单元组合仪表》、《化工自动化》、《集散系统》、《仪表维修工识图与制图》、《仪表常见故障分析与处理》、《过程分析仪表》、《化工检修钳工工艺学》、《化工检修铆工工艺学》、《化工检修管工工艺学》、《化工检修焊工工艺学》、《化工防腐橡胶衬里》、《化工防腐金属喷涂》、《化工防腐金属铅焊》、《化工防腐砖板衬里》、《化工防腐塑料》以及《化工防腐玻璃钢》。

化工分析类单元教材 6 册:《化学分析的一般知识及基本操作》、《化学分析》、《电化学分析》、《仪器分析》、《化验室基本知识》和《有机定量分析》。

橡胶加工类单元教材共 11 册:《橡胶、配合剂与胶料配方知识》、《再生胶制作机理、工艺及质量检验》、《橡胶加工基本工艺》、《轮胎制造工艺方法》、《力车胎制造工艺方法》、《胶管制造工艺方法》、《胶带制造工艺方法》、《橡胶工业制品制造工艺方法》、《胶鞋制造工艺方法》、《胶乳制品制造工艺方法》和《炭黑制造工艺方法》。

另外还有公共课及管理课类单元教材共 20 册:《电工常识》、《电工基础》、《电子学一般常识》、《电子技术基础》、《机械识图》、《机械制图》、《化工管路识图》、《工艺流程与装备布置图》、《工厂照明与动力线路》、《电气识图与控制》、《电机基础及维修》、《工厂电气设备》、《工厂电气技术》、《安全与防护》、《三废处理与环境保护》、《化工计量常识》、《计算机应用基础知识》、《化工应用文书写》、《标准化基础知识》和《化工生产管

理知识》。

按照“单元”体系组织编写工人培训教材,尚是一种尝试,由于我们经验不足和教材编审时间的限制,部分教材在体系的合理性、内容的先进性、知识的连贯性和深广度的准确性等方面还不尽如人意,为此建议:

一、各单位在组织教学过程中,应按不同等级的培训对象,根据相应的教学计划和教学大纲的具体要求,以“单元”为单位安排教学。

二、工人技术理论的教学应与操作技能的培训结合起来。技术理论的教学活动除应联系本单位生产实际外,还应联系培训对象的文化基础、工作经历等实际情况,制订相应的教学方案,确定相应的教学内容,以提高教学的针对性和教学效率。

三、在教学过程中发现教材中存在的问题,可及时与我们联系,也可与教材的编者或出版单位联系,使教材中的问题得到及时更正,以利教学。

本套教材的组织编写,得到全国化工职工教育战线各方面同志的积极支持和帮助,在此谨向他们表示感谢。

化学工业部人事教育司

化学工业部教育培训中心

1996年3月

# 目 录

|                |    |
|----------------|----|
| 电镀原理及设备(检 001) | 1  |
| 第一章 电镀原理       | 2  |
| 第一节 电化学基础      | 2  |
| 第二节 电镀的结晶过程    | 10 |
| 第三节 均镀能力和深镀能力  | 11 |
| 第四节 析氢对电镀过程的影响 | 14 |
| 第五节 减少氢气析出的措施  | 15 |
| 第二章 电镀工艺       | 17 |
| 第一节 镀前处理       | 17 |
| 第二节 挂具         | 23 |
| 第三节 镀锌         | 24 |
| 第四节 镀铜         | 29 |
| 第五节 镀铬         | 32 |
| 第六节 镀镍         | 37 |
| 第三章 镀层性能测试     | 42 |
| 第一节 电镀层外观检查    | 42 |
| 第二节 结合力试验      | 43 |
| 第三节 电镀层厚度的测量   | 44 |
| 第四节 孔隙率的测定     | 45 |
| 第四章 电镀设备       | 49 |
| 第一节 镀前处理设备     | 49 |
| 第二节 电镀固定槽      | 59 |
| 第三节 滚镀设备       | 65 |
| 第四节 刷镀设备       | 74 |
| 第五节 电气设备       | 84 |
| 第五章 电镀的安全与劳动保护 | 90 |
| 表面处理(专 011)    | 94 |



|                     |     |
|---------------------|-----|
| <b>第一章 金属的表面处理</b>  | 95  |
| 第一节 黑色金属的表面处理       | 95  |
| 第二节 有色金属的表面处理       | 114 |
| 第三节 金属粘接前的表面处理      | 119 |
| <b>第二章 非金属的表面处理</b> | 122 |
| 第一节 木材的表面处理         | 122 |
| 第二节 水泥制品的表面处理       | 126 |
| 第三节 塑料和橡胶制品的表面处理    | 128 |
| 第四节 玻璃和陶瓷的表面处理      | 133 |
| <b>第三章 表面处理等级标准</b> | 134 |
| 第一节 国际表面处理的等级标准     | 134 |
| 第二节 国内表面处理的等级标准     | 134 |
| 第三节 国外机械法表面处理标准     | 138 |

# 电镀原理及设备

(检 001)

吉化公司化肥厂 李炳义 主编

吉化公司化肥厂 崔永海 参编  
李济衡

吉化公司职教处 姬淑珍 审

# 第一章 电镀原理

## 第一节 电化学基础

### 一、导体

具有大量能够自由移动的带电粒子,容易传导电流的物体叫导体。

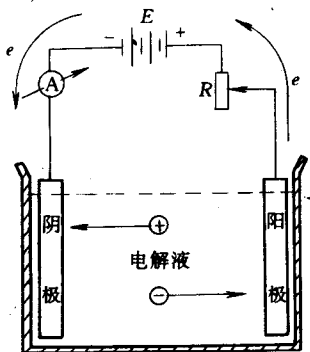


图 1-1 电镀电路示意图

$E$ —直流电源; $R$ —变阻器;

$A$ —电流表; $\oplus$ —阳离子; $\ominus$ —阴离子

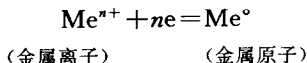
凡靠自由电子来传导电流的导体,叫做第一类导体。第一类导体的电阻率都很小,其数值随温度的升高而增大。

凡靠带电离子的移动来传导电流的导体,叫做第二类导体。这类导体包括所有的电解液和熔融电解质。第二类导体的导电能力比第一类导体弱得多,而且其电阻是随温度的升高而变小。

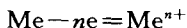
图 1-1 是一个简单的电镀电路示意图。将直流电源的正、负极,用金属导线连接到镀槽的阳、阴极上,自由电

子由负极通过金属导线流向阴极时,电镀溶液中的阴、阳离子立即发生有规则的移动,阴离子移向阳极,阳离子移向阴极,这种现象称为“电迁移”,见图 1-2。虽然阴、阳离子的迁移方向相反,但它们传导电流的方向是一致的,阴离子在阳极失去电子进行氧化反应;阳离子在阴极获得电子进行还原反应,因此电镀过程是在外界电源的作用下,通过两类导体,在阴、阳两个电极上进行氧化还原反应的过程,可用简式表示如下。

阴极



阳极



(金属原子) (金属离子)

## 二、电解质溶液的电导与电导率

电导( $G$ )是表示导体导电性能的物理量。电导( $G$ )是电阻( $R$ )的倒数,  $G = \frac{1}{R}$ 。电导的单位是西门子(S)。

导体的电阻愈小,电导愈大。例如,强电解质的电导大,弱电解质的电导小。

电导率( $\gamma$ )是电阻率( $\rho$ )的倒数,  $\gamma = \frac{1}{\rho}$ 。电导率的单位是  $\text{S} \cdot \text{m}^{-1}$ 。

电导率与电阻率、电阻的关系如下:

$$\gamma = \frac{1}{\rho} = \frac{l}{RA}$$

式中  $A$ ——导体截面积;

$l$ ——导体的长度。

电导率表示每边长为  $1\text{cm}$  的  $1\text{cm}^3$  溶液的电导,它不受导体几何形状的影响,因此可以用电导率来比较各种电解质溶液的导电能力,溶液的电导率与溶质的本性、浓度、离解度及温度等有关。

### 1. 电解质的本性对电导率的影响

电解质溶液是靠离子导电的,因此其导电性能取决于(1)导电的离子数目;(2)离子的运动速度;(3)离子带电荷的数目。

电离度大的电解质,在水溶液中电离为离子的数目多,所以强电解质的电导率比弱电解质的大,电离度大的电解质的电导率比电离度小的电解质的电导率大。

### 2. 电解质溶液的浓度对电导率的影响

电解质溶液的浓度对电导率的影响,同时存在两种相互矛盾的因素。随着浓度的增加,单位体积内溶液中导电的离子数目增多,这对增大电导率是有利因素;但由于浓度增加导致阴、阳离子之间的静电引力增大和电解质电离度的下降,这对增大电导率是不利因素。当开始增加

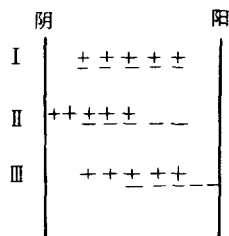


图 1-2 电迁移

I — 未通电; II — 通电时阳离子移向阴极; III — 通电时阴离子移向阳极

浓度时,有利因素占优势,因此电导率随浓度的增加而增大;当浓度增加到不利因素开始占优势时,这时的电导率随浓度的增加反而变小。由于上述原因,所以在电导率和浓度的关系曲线上会出现最大点。

### 3. 温度对电导率的影响

升高电解质溶液的温度,水化离子的水化作用的程度降低,水化离子的半径减小,同时会降低溶液的粘度,因而,会加快离子运动速度,这些都有利于电导率的增大。

在电镀领域里,为了(1)提高电镀溶液的均镀能力和深镀能力;(2)采用较大的阴极电流密度;(3)降低槽端电压;(4)克服和减小溶液温度的问题等等,总是要通过各种因素设法提高电镀溶液的电导率(即导电性能)。

## 三、法拉第定律

法拉第定律又称电解定律,包括两个方面。

### 1. 法拉第一定律

电解时,在阳极上发生化学变化的物质的量与通过电解质溶液的电量成正比。可用下式表示:

$$m = kQ = kIt$$

式中  $m$ ——电极上反应的物质的量,mg;

$Q$ ——电量,C;

$I$ ——电流强度,A;

$t$ ——时间,s;

$k$ ——电化当量,mg/C 或 mg/(A·s)。

电化当量的物理意义为,当1库仑(C)的电量通过电解质溶液时,电极上所析出的物质的量。

部分元素的电化当量见下表。

| 元素名称 | 元素符号 | 原子量    | 化合价 | 电化当量<br>g/(A·h) | 电化当量<br>mg/(A·s) |
|------|------|--------|-----|-----------------|------------------|
| 汞    | Hg   | 200.61 | 2   | 3.742           | 1.0395           |
|      |      |        | 1   | 7.484           | 2.079            |
| 铅    | Pb   | 207.22 | 2   | 3.865           | 1.074            |

续表

| 元素名称 | 元素符号 | 原子量    | 化合价 | 电化当量<br>g/(A·h) | 电化当量<br>mg/(A·s) |
|------|------|--------|-----|-----------------|------------------|
| 硒    | Se   | 79.2   | 4   | 0.739           | 0.205            |
| 银    | Ag   | 107.88 | 1   | 4.025           | 1.118            |
| 锶    | Sr   | 87.63  | 2   | 1.635           | 0.454            |
| 锑    | Sb   | 121.77 | 5   | 0.909           | 0.252            |
|      |      |        | 3   | 1.514           | 0.421            |
| 磷    | P    | 31.02  | 5   | 0.231           | 0.064            |
| 氯    | Cl   | 35.457 | 1   | 1.323           | 0.367            |
| 铬    | Cr   | 52.01  | 6   | 0.324           | 0.0898           |
|      |      |        | 3   | 0.647           | 0.180            |
| 铈    | Ce   | 140.13 | 3   | 1.743           | 0.484            |
| 锌    | Zn   | 65.38  | 2   | 1.220           | 0.339            |
| 镓    | Ga   | 69.72  | 3   | 0.867           | 0.241            |
| 锗    | Ge   | 72.60  | 4   | 0.677           | 0.188            |
|      |      |        | 2   | 1.354           | 0.376            |
| 钋    | Po   | 210    | 4   | 1.958           | 0.544            |
| 铼    | Re   | 186.31 | 7   | 0.993           | 0.276            |
| 钛    | Ti   | 47.90  | 4   | 0.447           | 0.124            |
|      |      |        | 3   | 0.595           | 0.165            |
|      |      |        | 2   | 0.894           | 0.248            |
| 铊    | Tl   | 204.39 | 3   | 2.550           | 0.706            |
|      |      |        | 1   | 7.625           | 2.118            |

## 2. 法拉第第二定律

在各种不同的电解质溶液中,通过相同的电量时,各电极上发生化学变化的物质的量皆为  $n(M/Z)$ 。例如当以  $1\text{mol}$  电子的电量通过硝酸银  $\text{AgNO}_3$  水溶液时,在铂阴极上就有  $1\text{mol Ag}^+$  还原为金属银,即有  $107.868\text{g}$  银沉积在阴极上;若以同样的电量通过硫酸铜  $\text{CuSO}_4$  水溶液时,则在铂阴极上只有  $1/2\text{mol}$  的 2 价铜离子  $\text{Cu}^{2+}$  还原为金属铜析出,即有  $63.546/2\text{g}$  铜沉积在阴极上。这是由于  $M/Z$  量的银为  $107.868\text{g}$ ,而  $M/Z$  量的铜仅为  $63.546/2\text{g}$ ,析出的物质在通过相同的电量( $n\text{mol}$  电子)时皆为  $n(M/Z)$ 。这里  $M$  为 mol 质量, $Z$  为化合价或得失电子数。

根据阿伏伽德罗常量  $N_0$  ( $N_0 = 6.0222 \times 10^{23} \text{mol}^{-1}$ ) 和电子电荷  $e$

( $e = 1.6022 \times 10^{-19} \text{C}$ ), 得出 1mol 电子所具有的电量为

$$6.0222 \times 10^{23} \times 1.6022 \times 10^{-19} = 9.6488 \times 10^4 \text{C} \cdot \text{mol}^{-1}$$

这个量通常近似写作 96500 库仑(C), 以符号  $F$  表示, 称为法拉第常量。由此可知, 当通过 96500 库仑电量时, 在电极上发生化学变化的物质的量为 1mol。故此法拉第定律可用下式表示:

$$Q = nF$$

式中  $Q$  为通过的电量, C;  $n$  为物质的 mol 数(指一价的  $\frac{1}{Z}$  粒子)。

#### 四、电流效率

电解时, 实际析出(或溶解)物质的量与理论计算量之比, 叫做电流效率。用符号  $\eta$  来表示:

$$\eta = \frac{m}{I \cdot t \cdot k} \times 100\%$$

式中  $m$ ——实际析出(或溶解)的物质质量, g;

$I$ ——通过的电流;

$t$ ——通过电流的时间, h;

$k$ ——电化当量。

对阴极而言, 阴极电流效率( $\eta_k$ )往往小于 100%, 对阳极而言, 阳极电流效率( $\eta_A$ )有时小于 100%, 有时大于 100%。这是由于阳极上除了发生电化学溶解以外, 还进行着化学溶解的缘故。

根据电解定律、电化当量、电流效率的公式可以求出电流效率、电镀时间、电镀层的厚度等等。

**【例 1】** 通过电流 20A, 经 2h 在阴极上析出铬的质量为 1.8g, 求镀铬的阴极电流效率?

解: 因为  $\eta_k = \frac{m}{I \cdot t \cdot k} \times 100\%$

从电化当量表查得六价铬的电化当量  $k = 0.324 \text{g}/(\text{A} \cdot \text{h})$

$$\text{所以 } \eta_k = \frac{1.8}{20 \times 2 \times 0.324} \times 100\% = 13.9\%$$

在已知条件下, 镀铬的阴极电流效率为 13.9%。

#### 五、原电池及电动势

##### 1. 原电池

凡能将化学能转变为电能,但放电后不能复原继续使用的装置叫做原电池。它是由两个电极和连接电极的电解质溶液组成的,图 1-3 所示是铜锌原电池的示意图。

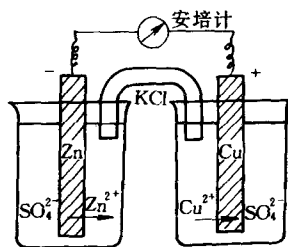


图 1-3 铜锌原电池

用导线将两个电极接通,在锌电极上会进行氧化反应: $\text{Zn} - 2e = \text{Zn}^{2+}$ ,在铜电极上会进行还原反应: $\text{Cu}^{2+} + 2e = \text{Cu}$ 。整个电池的总反应是: $\text{Zn} + \text{Cu}^{2+} = \text{Zn}^{2+} + \text{Cu}$ 。在两个电极上发生化学反应

的同时,自由电子从锌电极流出,经外线路到达铜电极,也即电流通过了外线路,这就是化学能转变为电能的过程。

## 2. 原电池的电动势

原电池开路时(无电流通过时)两个电极间的电位差叫做原电池的电动势,用符号  $E$  表示,

$$E = \varphi_+ - \varphi_-$$

式中  $E$ ——原电池的电动势;

$\varphi_+$ 、 $\varphi_-$ ——正、负极的电位。

## 3. 标准电池

标准电池是一个可逆性高的可逆电池,其主要用处是配合电位计,测定另一个电池的电动势。标准电池的示意图见图 1-4。

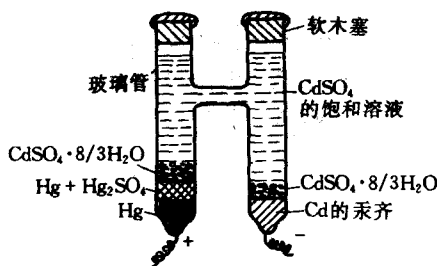


图 1-4 标准电池



## 六、参比电极

测量某电极的电极电位时,必须选用一个电位数值已知的电极作为辅助电极,将它们组成电池,测出该电池的电动势,从而求出待测电极的电极电位。这个电位数值已知的辅助电极,叫做参比电极。

对参比电极的主要要求是:(1)其电位不能因测量时有少量电流通过而发生变化;(2)稳定性好,随着时间其电位应稳定不变;(3)重现性好;(4)温度系数小;(5)因温度而引起的电位变化速度快,无滞后现象。

基本上满足上述要求的参比电极有氢电极、甘汞电极、氧化汞电极和氯化银电极等等。

## 七、电极电位

金属与电解质溶液界面之间的电位差叫做金属的电极电位。金属浸在电解质溶液中,在金属和溶液界面上会形成双电层(双电层是由互相吸引而又相对稳定的正、负电荷层构成的,如图 1-5 所示),因此产生了金属和电解质溶液间的电位差,即金属的电极电位。金属浸在只含该金属盐的溶液中找到平衡时所具有的电极电位,叫做该金属的平衡电极电位。当温度为  $25^{\circ}\text{C}$ ,金属离子的有效

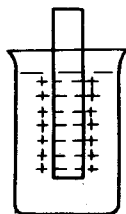


图 1-5 双电层示意图 浓度是  $1\text{mol/L}$  (即活度为 1) 时,测得的平衡电极电位,叫做标准电极电位。

金属的电极电位的绝对值无法测量,是以氢的标准电极电位为零,与氢的标准电极电位比较测得的。

将标准电极电位按次序排列的表格叫做“电化序”。电化序反映了金属氧化、还原的能力。对电镀来讲,表中电位越正的金属,如金、银、铜等,越易在阴极上被还原镀出;而电位越负的金属,如铝、镁、钛等,则越不易镀出。

## 八、电极的极化

### 1. 极化现象

当电流通过电极时,电极电位偏离其平衡电位数值的现象,叫做电极的极化。使阳极的电极电位偏离其平衡电位数值而变得较正的极化作用,叫做阳极极化作用。使阴极的电极电位偏离其平衡电位数值而变