

中华人民共和国第一机械工业部统编
机械工人技术培训教材

电镀工工艺学

(初级本)

科学普及出版社

电镀工工艺学

(初级本)

科

TQ155

16

版社

中华人民共和国第一机械工业部统编
机械工人技术培训教材

电 镀 工 工 艺 学

(初 级 本)

科学普及出版社

本书是第一机械工业部统编机械工人技术培训教材之一。它是根据一机部《工人技术等级标准》和教学大纲编写的。主要内容包括：电镀基本原理及工艺过程、镀前处理、磨光和抛光、电镀工艺、镀后处理、常用电镀设备和夹具、环境保护和安全技术等。其中以叙述电镀工人的基础知识及常用电镀工艺为主，包括无氰电镀和光亮电镀等工艺。

本书由欧阳鑫、朱金南、寿伯春同志编写，经郑纯涛同志审查。

中华人民共和国第一机械工业部统编
机械工人技术培训教材
电 镀 工 工 艺 学
(初 级 本)

责任编辑：张静韵

科学普及出版社出版(北京白石桥紫竹院公园内)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
郑州市印刷厂印刷

开本：787×1092毫米^{1/16} 印张：8^{3/4} 插页：1 字数：199千字

1982年9月第1版 1982年9月第1次印刷

印数：1—71,000册 定价：0.90元

统一书号：15051·1059 本社书号：0544

对广大工人进行比较系统的技术培训教育，是智力开发方面的一件大事，是一项战略性的任务。有计划地展开这项工作，教材是个关键。有了教材才能统一培训目标，统一教学内容，才能逐步建立起比较正规的工人技术教育制度。

教材既是关键，编写教材就是一件功德无量的事。在教材行将出版之际，谨向为编写这套教材付出辛勤劳动的同志们致以敬意！

第一机械工业部第一副部长

杨 铎

一九八二年元月

前 言

为了更好地落实中共中央、国务院《关于加强职工教育工作的决定》，对工人，特别是青壮年工人进行系统的文化技术培训，以适应四化建设的需要，现确定按初级、中级、高级三个培训阶段，逐步地建立工人培训体系，使工人培训走向制度化、正规化的轨道，以期进一步改善和提高机械工人队伍的素质。为此，根据当前机械工人队伍的构成、文化状况及培训的重点，我们组织了四川省、江苏省、上海市机械厅（局）和第一汽车厂、太原重型机器厂、沈阳鼓风机厂、湘潭电机厂，编写了三十个通用工种的初级、中级的工人技术培训教学计划、教学大纲及其教材，作为这些工种工人技术理论培训的统一教学内容。

编写教学计划、教学大纲及其教材的依据，是一机部颁发的《工人技术等级标准》。初级技术理论以二、三级工“应知”部分为依据，是建立在初中文化基础上的。它的任务是为在职的初级工人提供必备的基础技术知识，指导他们正确地使用设备、工装卡具、量具、按图纸和工艺要求进行正常生产。中级以四、五、六级工“应知”部分为依据，并开设相应的高中文化课，在学完了初级技术理论并具有一定实践经验的工人中进行。它的任务是加强基础理论教学，使学员在设备、工装卡具、结构原理、工艺理论、解决实际问题 and 从事技术革新的能力上有所提高（高级以七、八级工“应知”部分为依据，这次未编）。编写的教材计有：车工、铣工、刨工、磨工、齿轮工、镗工、钳工、工具钳工、修理钳工、造型工、化铁工、热处理工、锻工、模锻工、木模工、内外线电工、维修电工、电机修理工、电焊工、气焊工、起重工、煤气工、工业化学分析工、热工仪表工、锅炉工、电镀工、油漆工、冲压工、天车工、铆工等工艺学教材和热加工的六门基础理论教材：数学、化学、金属材料及加工工艺、机械制图、机械基础、电工基础。

在编写过程中，注意了工人培训的特点，坚持了“少而精”的原则。既要理论联系生产实际，学以致用，又要有理论的高度和深度；既要少而精，又要注意知识的科学性、系统性、完整性；既要短期速成，又要循序渐进。在教学计划中对每个工种的培养目标，各门课程的授课目的，都提出了明确的要求，贯彻了以技术培训为主的原则。文化课和技术基础课的安排，从专业需要出发，适当地考虑到今后发展和提高的要求，相近工种的基础课尽量统一。

这套教材的出版，得到了有关省、市机械厅（局）、企业、学校、研究单位和科学普及出版社的大力支持，在此特致以衷心的感谢。

编写在职工人培训的统一教材，是建国三十年来第一次。由于时间仓促，加上编写经验不足，教材还存在不少缺点和错误，我们恳切地希望同志们在试行中提出批评和指正，以便进一步修改、完善。

第一机械工业部工人技术培训教材编审领导小组

一九八一年十二月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 电镀的作用和意义	1
第二节 电镀工业的发展与成就	2
第二章 电镀原理及工艺过程	3
第一节 电镀的简单原理	3
第二节 电镀的基本工艺过程	11
第三章 镀前处理	13
第一节 概论	13
第二节 除油	13
第三节 除锈	19
第四章 磨光和抛光	26
第一节 概论	26
第二节 磨光和抛光方法	26
第三节 磨光和抛光材料	27
第四节 磨光与抛光机	28
第五章 电镀工艺	30
第一节 镀锌	30
第二节 镀铬	39
第三节 镀锡	44
第四节 镀银	49
第五节 镀铜	58
第六节 镀镍	67
第七节 镀铬	72
第八节 镀青铜简介	82
第九节 镀黄铜简介	85
第六章 镀后处理	88
第一节 概论	88
第二节 电解液的回收	88
第三节 清洗	89
第四节 驱氢	91
第五节 钝化	91
第六节 镀层的防暗处理	95
第七节 干燥	97
第七章 常用的电镀设备和工夹具	98
第一节 镀前处理机械设备	98
第二节 镀槽设备	102
第三节 干燥设备及电解液过滤机	106

第四节 直流电源设备	108
第五节 电镀挂具	109
第八章 电镀废水处理	115
第一节 概述	115
第二节 含铬废水的处理	115
第三节 含氰废水的处理	120
第九章 安全技术	123
第一节 工厂用电常识	123
第二节 除油碱液的操作安全事项	124
第三节 浸蚀液的操作安全事项	124
第四节 氰化物的操作安全事项	125
第五节 其它有关安全事项	125
附录 1 在25°C的水溶液中某些电极的标准电极电位 (电化序)	127
附录 2 电镀常用的阳极材料	128
附录 3 电镀常用的化学材料	129
附录 4 元素周期表	

第一章 绪 论

第一节 电镀的作用和意义

电镀是金属的化学与电化学防护方法的发展。它是一种电化学过程，也是一种氧化-还原过程。通过这种电化学过程，使金属或非金属工件的表面上再沉积一层金属的方法就叫做电镀。采用适当的电镀工艺，可以在金属或非金属工件上获得所需要的不同种类的镀层。根据各种工件的不同使用要求，目前已经应用于工业的镀层种类很多。单金属镀层有锌、镉、铜、镍、铬、锡、银、金、铁、钴等十几种。合金镀层有铜-锡、黄铜、锌-铜、锌-铁、镍-钴、镍-铁、锌-镍-铁、锡-锌-镍、锡-锌-钴等几十种。不同的金属镀层有不同的作用，如防止金属腐蚀，增加耐磨性能，提高机器、机床等金属工件的装饰性和使用寿命，以及满足工件的某些特殊用途。

在国民经济的各个生产和科学领域里，如在机械、仪表、无线电、交通、航空及船舶工业中，在日用品的生产和医疗器械等设备的制造中，金属镀层都有极为广泛的应用。

世界各国由于钢铁的锈蚀所造成的损失数字是相当惊人的。几乎每年钢铁产量的三分之一由于腐蚀而报废。当然，电镀不可能完全解决这个问题，但是良好的电镀金属层还是能够在这方面作出较大的贡献的。

为了确保机械产品的质量和使用寿命，对防腐要求有不断的提高。在世界市场上，防腐质量是决定产品的竞争能力的重要因素之一。许多国家为了寻求良好的产品防腐措施，对金属材料的防腐进行了系统的试验研究。

金属的防腐方法很多，采用金属被覆层来防护工件是一个很重要的途径，而电镀则是获得金属防护层的有效方法。用电镀方法所得到的金属镀层，结晶细致紧密，结合力良好，它不但具有优良的防腐性能，而且能满足工件的某些特殊用途。

现将电镀层的用途简介如下。

- (1) 防止腐蚀，如钢铁工件的镀锌、镀镉。
- (2) 装饰性电镀，如钢铁工件的防护装饰性镀层，一般采用铜-镍-铬或低锡青铜-铬等多层电镀。这在各种机械产品、仪表工件、医疗器械和日用品上使用较为广泛。
- (3) 提高表面硬度和耐磨性能，如模具镀硬铬。
- (4) 提高工件的导电性能，如铜或铜合金的镀银或镀金。
- (5) 提高导磁性能，如电镀镍-铁合金、镍-钴合金、镍-钴-磷合金等。
- (6) 提高光的反射性能，如镀银、镀装饰性铬。
- (7) 应用于热加工方面，如防止局部渗碳的镀铜和防止局部渗氮的镀锡等。
- (8) 修复工件尺寸，如镀铁、镀铬。
- (9) 其它用途，如镀铅可以提高耐硫酸或铬酸的性能，镀黄铜可以增加钢铁件和橡胶热压时的粘合性，铜及其合金镀锡可以改善其焊接性能等。

第二节 电镀工业的发展与成就

电镀的发明，至今虽有上百年的历史，但在旧社会，我国没有完整的电镀工业。解放前，我国没有自己的工业生产体系，没有完整的机器制造业，所以为金属工件进行表面加工的电镀工业也就无法生根。即便在我国少数地区有为小商品服务的少量电镀作业，那也是停留在生产技术落后、工人劳动条件恶劣的情况下，而且大都是为外国资本家们所控制。解放后，在中国共产党的英明领导下，我国有了自己的机器制造业，电镀工业也相应地建立与发展壮大起来。

随着我国科学技术和工业生产的迅速发展，我国电镀工业在提高镀层质量和发展镀层种类方面（如无氰电镀、光亮电镀、塑料电镀），在采用新技术、新工艺、新设备等方面，进展很快。在节约贵金属，减轻工人劳动强度，推行自动化控制，改善劳动环境，完善“三废”治理，保证产品质量，改进测试手段等各个方面都有了令人喜悦的进展，电镀工业发展的前途是光辉灿烂的。

国外，如在日、美、英等国，电镀工业的发展很快，对新工艺、新技术、新设备的推广和应用是不遗余力的，其自动化程度较高，如自动程序控制、工业电视监视、电子计算机及光电控制设备等已广泛应用。一般电镀工厂都有完整的“三废”治理系统，排放有自动检测监督。测试仪器、设备比较齐全和先进。专业化程度较高。电镀工件的底材也有新的进展。不仅限于钢铁工件，还推广到轻金属和非金属工件，如锌压铸件、塑料件，在数量上也日益增多。如在日本，现在要求电镀的钢铁件、锌压铸件、塑料件约各占三分之一。

科学的发展是日新月异的，为了赶上世界各国电镀工业的先进水平，为了满足我国四化建设的需要，我们电镀工作者的任务还是十分艰巨的，还要作出很大的努力。

第二章 电镀原理及工艺过程

第一节 电镀的简单原理

一、电流通过电镀槽所引起的变化

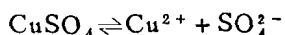
下面先介绍几个有关的名词，以帮助我们对电镀的简单原理的理解。

1. **电解液** 能导电的溶液称为电解液。该溶液中的溶质称为电解质。

2. **两类导体** 电解液的导电方式与金属导体的导电方式是不一样的。在金属导体中，电流是靠自由电子的运动输送的；而在电解液中，电流是由带电离子的移动来输送的。金属导体称为第一类导体，电解液称为第二类导体。

3. **电解** 对电解液施加外加电压，便有电流通过，电解质在电流作用下被分解的过程称为电解。

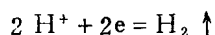
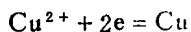
电镀是电解作用中的一种，它是一种电化学过程，也是一种氧化还原过程。下面是一个简单的电镀铜的电路图(图2-1)，镀铜所用的电解液主要是硫酸铜 (CuSO_4) 的水溶液。硫酸铜溶解在水中以后，就分解成两个部分：一部分是铜离子 (Cu^{2+})，另一部分是硫酸根离子 (SO_4^{2-})，其反应式如下：



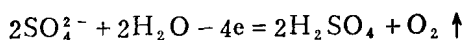
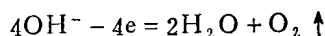
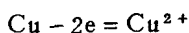
铜离子是带正电的，所以又叫阳离子，用 Cu^{2+} 表示；硫酸根是带负电的，所以又叫阴离子，用 SO_4^{2-} 表示。

将直流电源的正、负极用金属导线连接到镀槽的阳极(铜板)与阴极(金属工件)上，自由电子由负极通过金属导线流向阴极时，镀铜溶液中的阴、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。此时，在阴极上，有铜和氢气析出，在铜阳极上，发生铜的溶解和氧气的析出。如果采用不溶性的阳极，则在不溶性的阳极上，将析出氧气。其反应式如下：

阴极



阳极



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，可用下列简式表示：

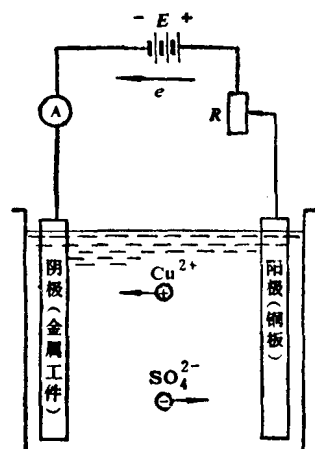
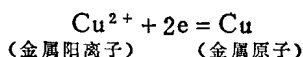
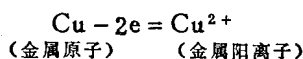


图 2-1 电镀电路示意图
E—直流电源; R—变阻器;
A—电流表; ⊕—阳离子;
⊖—阴离子

阴极(还原反应)



阳极(氧化反应)



通电后, 阳极铜板不断地溶解以补充电解液中铜的消耗, 而阴极上的工件则逐渐地镀上一层金属铜。这相当于依靠电流的作用把阳极上的铜按照一定的比例逐步转移到阴极上。

上述现象是由于电流流经电解液而引起的电化学反应。电流从直流电源经过金属的外导线通入铜阳极, 经过电解液再进入阴极(金属工件), 然后经外导线又回到直流电源。在电流通过电镀槽的时候, 整个线路(包括镀槽)构成一个通路。在这个通路中的每一段都有带电粒子在其中沿着一定的方向移动。

通电时, 在阴、阳两电极中(金属工件与铜板)以及电极与直流电源相连接的外导线中移动的带电粒子是自由电子。前面说过, 这种依靠电子导电的导体即第一类导体。电流的方向是正电荷移动的方向, 而电子是带负电的, 故电子移动的方向刚好与电流的方向相反。

在电流通过两电极间的电解液时, 其中移动着的带电粒子是离子, 这种由电解质溶液形成的、依靠离子导电的导体即称为第二类导体。带正电荷的阳离子(Cu^{2+})和带负电荷的阴离子(SO_4^{2-})同时存在于溶液中, 而且两种类型的离子都参加导电。阳离子和阴离子所带的电荷不同, 所以它们所移动的方向也不同。在电场作用下, 阳离子向阴极移动, 阴离子向阳极移动, 这两种离子移动的方向虽不同, 但所输送的电流方向却是一致的。

上述镀铜过程中所谈到的种种现象和变化, 完全可以扩大到一般的电镀过程。可以将在外电场作用下电流通过电镀槽时所引起的变化归纳如下:

- (1) 在第一类导体即两极和外电路中, 有自由电子沿一定的方向移动;
- (2) 在第二类导体即电解液中, 有阴离子和阳离子分别沿着相反方向移动;
- (3) 在电极与电解液的两类导体界面间, 有得失电子的电极反应发生。

二、电解定律(法拉第定律)

为了描述电极上通过的电量与电极反应产物重量之间的关系, 前人根据多年生产实践及大量实验结果, 总结出来了两条定律。

(一) 电解第一定律

电解时, 电极上析出(或溶解)物质的重量与通过的电量成正比, 可用下式表示:

$$m = kIt = kQ \quad (2-1)$$

式中 m ——电极上析出(或溶解)物质的重量, 克;

I ——通过的电流强度, 安;

t ——通过的时间, 小时;

Q ——通过的电量, 安·小时;

k ——比例常数。

比例常数 k 表示电极上通过1安·小时电量时, 在电极上形成的产物的量, 通常称它

几种常用金属的电化当量

表 2-1

名 称	化 学 符 号	化 合 价	电化当量 (毫克/库仑)	电化当量(克/安·小时)
锌	Zn	2	0.339	1.22
镉	Cd	2	0.582	2.097
铜	Cu	1	0.658	2.372
		2	0.329	1.186
镍	Ni	2	0.304	1.095
		3	0.203	0.730
锡	Sn	2	0.615	2.214
		4	0.307	1.107
铬	Cr	3	0.180	0.647
		6	0.0896	0.324
银	Ag	1	1.118	4.025
金	Au	3	0.681	2.452

为该产物的电化当量。几种常用金属的电化当量列于表 2-1。

如果某物质的电化当量的数值是已知的，则我们只要知道电镀槽中通过的电流强度和
时间，就能用式 (2-1) 计算出电极上这种反应产物的重量，电化当量的数值是由电 解 第
二定律决定的。

(二) 电解第二定律

在不同的电解液中，通过相同的电量时，在各个溶液中所析出的物质质量与它的克当
量成正比，并且析出 1 克当量的任何物质需要通过96500库仑或26.8安·小时的电量。

克当量就是物质的原子量 (以 A 表示) 与其化合价数 (以 n 表示) 之比 $\frac{A}{n}$ 。例如，用
同样的电量(96500库仑)，分别通过稀硫酸、硝酸银和硫酸铜三种溶液，则在阴极上 分 别
析出 1 克氢，107.88克银和31.77克铜，析出的量恰好分别等于它们的克当量。

综合上述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) 与通过的电量 (Q) 及该物质的克当量 ($\frac{A}{n}$) 的乘积成正比，可用下式表示：

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

式中的 F 就是电解时电极上析出 (或溶解) 1 克当量物质时所需要的电量。由实验测得，这
一电量等于96500库仑，它是一个常数，称为法拉第常数。

将 $m = kQ$ (式2-1) 代入上式，可得到电化当量 (k) 与克当量 ($\frac{A}{n}$) 之间的关系：

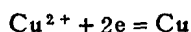
$$k = \frac{A}{nF} \quad (2-3)$$

此式表示各物质的电化当量与它们的原子量成正比，与其化合价成反比。电化当量的单位
是毫克/库仑或克/安·小时。例如，求二价镍的电化当量，按式 (2-3) 计算，得

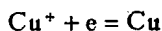
$$k = \frac{58.69}{2 \times 26.8} = \frac{29.35}{26.8} = 1.095 \text{ 克/安·小时}$$

电化当量也常用毫克/库仑来表示，则二价镍的电化当量又可以为0.3041毫克/库仑。

对于变价元素，因不同价态有不同的当量数值，所以它的电化当量也不同。例如，在酸性镀铜时铜是两价的，一个 Cu^{2+} 离子需要与两个电子相结合：



故铜的克当量应是铜的克原子量的一半，即 $\frac{63.55}{2} = 31.78$ 克。但在氰化镀铜时，铜是一价的，一个 Cu^+ 离子只需要与一个电子相结合：



在这个反应中，铜的克当量与克原子量相等。所以二价和一价铜的电化当量分别为1.186克/安·小时和2.372克/安·小时。

由于铜在这两种溶液中析出的电化当量相差一倍，即说明在这两种溶液中各通过相同的电量时，所获镀层的重量也不一样。如果铜的析出是阴极上唯一的电极反应，则氰化镀铜的镀层重量比酸性镀铜的多一倍，也可以说两者所得的厚度相差一倍。

三、电 流 效 率

电解时，由于在阴极表面还会发生副反应，如镀锌时产生少量的氢气泡，铵盐镀锌时产生氨气和有其它杂质析出，消耗了部分电量，所以实际上电解析出的金属重量总是与理论上计算出来的重量不一致。电流效率就是把实际析出的金属重量与计算应析出的金属重量之比用百分率来表示。电流效率常以“ η ”表示

$$\eta = \frac{m}{I \cdot t \cdot k} \times 100\% \quad (2-4)$$

式中 m ——实际析出的物质重量，克；

I ——电流，安；

t ——时间，小时；

k ——电化当量，克/安·小时。

电流效率是表示电流的有效利用率的高低。电流效率高，表示电流的无益损耗小。一般说来，在酸性电解液中，电流效率较高，如镀锌、镀铜、镀镍均接近百分之百；而氰化镀锌、金、低锡青铜等电流效率较低，如氰化镀锌为60~85%，氰化镀金为60~80%，氰化镀低锡青铜为60~70%。

根据上述电解定律、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。

【例1】 通过电流40安，经2小时后在阴极上析出铬的重量为3.6克，求镀铬电解液的电流效率？

【解】

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

从表2-1查得铬的电化当量 $k = 0.324$ 克/安·小时，所以

$$\eta = \frac{3.6}{40 \times 2 \times 0.324} \times 100\% = 13.9\%$$

答：镀铬电解液的电流效率为13.9%。

【例2】 已知镀镍电解液的电流效率 $\eta = 95\%$ ，电流密度 $D_K = 1.5$ 安/分米²，求20分钟所得的镀层厚度？

【解】

因为阴极上实际所得镀层的重量 m 可以通过称量法得到，也可根据下式计算：

$$m = 10Y \cdot S \cdot \delta$$

式中 Y ——析出金属的比重；

S ——受镀面积，分米²；

δ ——镀层厚度，毫米。

将此式代入 $\eta = \frac{m}{I \cdot t \cdot k} \times 100\% = \frac{10Y \cdot S \cdot \delta}{I \cdot t \cdot k} \times 100\% = \frac{1000Y \cdot \delta}{D_K \cdot t \cdot k}$

可以得出：

$$\delta = \frac{D_K \cdot t \cdot \eta \cdot k}{Y \cdot 1000} \text{ (毫米)}$$

从表2-1查得镍的电化当量 $k = 1.095$ 克/安·小时，镍的比重 $Y = 8.8$ ，所以

$$\delta = \frac{1.5 \times 0.33 \times 95 \times 1.095}{8.8 \times 1000} = 0.006 \text{ 毫米}$$

答：镀层平均厚度为0.006毫米（即6微米）。

【例3】 已知镀镍电解液的电流效率 $\eta = 95\%$ ，电流密度 $D_K = 1.5$ 安/分米²，求镀10微米厚镍层所需要的时间？（1微米 = 1×10^{-4} 厘米）

【解】

$$\begin{aligned} t &= \frac{\delta \cdot Y \cdot 1000}{D_K \cdot \eta \cdot k} \\ &= \frac{0.01 \times 8.8 \times 1000}{1.5 \times 95 \times 1.095} \\ &= 0.564 \text{ 小时} \\ &= 34 \text{ 分钟} \end{aligned}$$

答：所需时间为0.564小时或34分钟。

四、电解液的电导率

电流通过任何导体时都会遇到一定的阻力，这种阻力称之为电阻。在温度不变的情况下，直流电源的电压不变时，则随着导线电阻的增大，通过的电流将减小，即电流强度将按比例下降。电流强度(I)、电位差(V)和电阻(R)的关系，可由欧姆定律表示如下：

$$I = \frac{V}{R} \quad (2-5)$$

实验证明，电解液的电阻(R)与导体的长度(l)成正比，与导体的截面积成反比(S)

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (2-6)$$

式中 ρ 是比例常数，称为电阻率。

在第一类导体中，电阻率是一长为1米，截面积为1平方毫米的导体的电阻，在电解液中电阻率是每边长为1厘米的立方体溶液的电阻。

在习惯上总是采用电阻和电阻率的倒数来描述电解液导电能力的大小，称之为电导和电导率 κ ：

$$\kappa = \frac{1}{\rho} = \frac{l}{RS} \quad (2-7)$$

电导率与电阻率的含义刚好相反，但它们是用不同形式描述的同件事情。

电导率 κ 的单位为“欧姆⁻¹·厘米⁻¹”，它表示每边长为1厘米的立方体溶液的电导。电导率和电阻率一样，已经排除了溶液的几何形状的影响，由于通常的电解液都是以水为溶剂，故这里只讨论影响水溶液电导率的因素。

我们知道电解液之所以能导电是由于其中的离子在电场作用下沿着一定方向移动的结果。电解液的导电能力的大小，显然取决于其中离子数量的多少和离子运动速度的大小。凡是对这两个方面有影响的因素，也都必然要影响溶液的电导率，下面分别加以叙述。

(一) 电解质本性

不同的电解液，电导率各不相同。在强电解液中，一般酸溶液的导电能力最大，碱溶液次之，盐溶液又次之，弱电解液最小。在离子电荷相同的条件下，H⁺离子在外电场作用下的移动速度比其它离子快5~8倍，OH⁻离子的移动速度也比一般离子快2~3倍，所以一般的强酸（如硫酸、硝酸、盐酸）和强碱（如氢氧化钠和氢氧化钾）的电导率比其它电解质大得多。

(二) 浓 度

溶液中溶解的电解质越多，单位体积中离子的数目也越多，即浓度愈高，电导率也愈大。当电解质达到某一浓度时，电导率达到最大值。但浓度进一步增大时，电导率反而下降。例如，

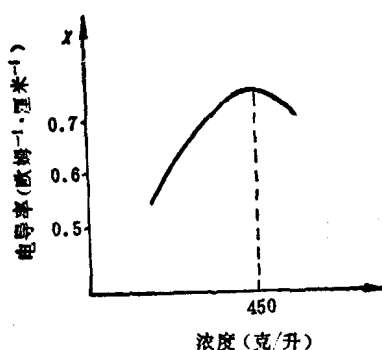


图 2-2 45°C时CrO₃溶液的电导率与浓度的关系

在镀铬溶液中，主要成分是铬酐(CrO₃)，随着CrO₃浓度的增加，溶液的电导率也增大，但超出电导率的极大值时，如铬酐浓度超出450克/升时(图2-2)，电导率反而下降。因为随着溶液浓度的增加，一方面使得单位体积中导电离子的数目增加，电导率应当增加；另一方面，浓度增加却又存在着促使电导率下降的因素。这是由于溶液中的离子，彼此之间存在着一定的相互作用力，当浓度越大时，离子越彼此靠近，正负离子之间的引力就越大，互相牵制的力也就越大，因而离子运动就越困难，使得导电能力降低，电导率减小。

(三) 温 度

当温度升高时，离子移动速度加快，所以电解液电导率随着温度升高而增大。在一般情况下，温度每升高10°C，电解液电导率约增加10~20%。

在电镀中，常常加入一定量的导电盐，以提高镀液的电导率。这对于节约电能，改善镀液的分散能力均有意义。但导电盐不宜加入过多，一则可能使电导率反而下降，再则，镀

液浓度过高，粘度也相应增大，不但有可能使电极反应进行困难，而且会使工件出槽时夹带出的镀液增多，造成额外损失，甚至当槽温变化时，可能造成某些物质的结晶析出。

五、分散能力与覆盖能力

镀层的防护性能取决于它在工件表面上的均匀性和完整性，镀液所具有的这种性能的优劣程度，常用分散能力和覆盖能力来衡量。分散能力又叫做均镀能力，它是指镀层厚度在工件上均匀分布的能力，在工件上镀层分布得越均匀，则该镀液的分散能力就越好。覆盖能力又叫做深度能力、遮盖能力、着落能力，它是指镀层在工件上分布完整的能力。覆盖能力越好，则工件上的深凹处被镀得越深，遮盖得越好。否则，在工件上的深凹处，如管形工件的内壁等就镀得很浅，甚至无金属镀层。分散能力与覆盖能力是两个不同的概念，不要混淆。

六、镀层结构

电镀时在阴极上形成的金属镀层，实际上是由晶体或晶粒所组成。晶粒的大小、形状及排列的方位，取决于金属镀层的结构特性，这种结构特性主要取决于各种电解液的不同沉积过程。

镀层的沉积过程，首先是形成结晶核，然后是结晶核的长大。开始电镀时，在工件表面生成的细微小点称为结晶核。单个结晶数量的多少是随着电镀时间的延长而增加的。这些细微小点连接成片时，才形成镀层。在电镀过程中，当晶核的生成速度大于晶核的成长速度时，才能获得结晶细致、排列紧密的镀层。为了得到结晶均匀细致紧密的镀层，应注意下列几点：

（一）电解液成分的配方要比较完善

要想得到满意的镀层，电解液成分的配方是很重要的。比如用复盐配方的电解液就比用单盐的优越。在氰化镀铜溶液中所沉积出来的铜层，比从单纯的硫酸盐镀铜溶液中所得到的铜层细致。在氯化铵-氨三乙酸镀锌溶液中所沉积出来的锌层，就比从单纯的硫酸锌镀锌溶液中所得到的锌层细致。

（二）主盐浓度要适宜

镀层金属的盐称为主盐，镀液主盐的含量多少直接影响镀层的质量。主盐含量过高，则镀层粗糙；主盐含量过低，则允许的电流密度减小，电流效率明显下降，影响沉积速度，还将导致其它毛病。例如，镀锌溶液含锌量过低，导致镀层发灰变暗等。

（三）合理采用添加剂

在电解液中适当加入添加剂，可以提高阴极极化，改善镀层质量。例如，在氰化镀铜溶液中添加少量镍、铜、钴盐及碘化蓖麻油等可以改善镀层质量。在镀镍溶液中加入1，4-丁炔二醇、糖精之类可以使镍层光亮细致。在锌酸盐镀锌电解液中添加二甲基胺与

环氧氯丙烷合成物DE或二甲氨基丙胺与环氧氯丙烷合成物DPE,也同样能使锌层均匀致密。

(四) 严格工艺规范

(1) 在工艺规定范围内,提高阴极电流密度可以使镀层结晶细致,尤其是在极化曲线斜率比较大的情况下,更为显著。但不可过度提高阴极电流密度,否则将得到树枝状或海绵状的沉积层。

(2) 要严格控制温度。一般是镀液温度高则阴极极化低,镀层结晶组织粗大,但可以用提高电流密度的方法消除其不良影响。适当的提高镀液温度,则有增大盐类的溶解度,增加溶液的导电性能,消除阳极钝化等优点。

(3) 搅拌镀液,可使极板附近的溶液更新,消除浓差极化;可在较高的电流密度及较高的电流效率下得到致密的镀层;还可防止氢气滞留于阴极工件表面,避免产生麻坑、斑点等缺陷。但搅拌镀液时,如有机械杂质,则容易附在工件表面产生粗粒或结瘤坑。为了防止这些毛病,必须加强镀液的净化处理。

(4) 闪镀又称冲击电流,即在电镀一开始的瞬间,对工件施加比正常情况高出一至几倍的电流密度,使工件表面很快地先沉积一薄层金属,然后迅速恢复到正常情况的电流密度,这可使复杂工件或铸件得到分布均匀完整的镀层。在电镀结束时采用闪镀,能够使镀层表面细致光亮。

(5) 周期换向电镀也是改善镀层的措施。它使工件短时间内作为阳极,控制阴极表面结晶长大的时间。它能够溶解沉积层的尖凸处,消除阳极钝化,允许通过较大的电流密度等。由于以上作用,保证了镀层结晶细致,表面光滑且孔隙率较小。

(五) 其 它

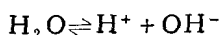
(1) 工件表面要求平整、不粗糙、无焊渣、无毛刺,入镀槽前应处理干净,无砂壳、油污。

(2) 防止析氢影响,避免工件氢脆与表面形成麻坑,因为氢在阴极析出后形成气泡,停滞在工件表面(阴极)形成麻点。或渗入镀层及基体金属,形成氢脆。为了防止析氢影响,除了搅拌镀液外,还可以适当提高镀液温度,或加入适当的湿润剂等。

(3) 消除几何因素的影响,使电流密度在阴极上分布均匀也是保证镀层质量的有效措施。由于电镀槽的形状、电极尺寸、电极间的距离、电极在镀槽里的位置不同等因素,电流密度在阴极上分布的均匀程度会受到影响,因而也会影响镀层质量。所以合理选用挂具及工件摆放位置,合理采用保护阴极或辅助阳极都是保证镀层分布均匀的有效措施。

(4) pH值是电解液的一个重要参数,对电镀过程影响很大,要经常检查与控制。

水是弱电解质,它也可以电离:



水的电离度很小,在通常条件下,一千万公升水中只有一个克分子的水电离,即在每升水中氢离子和氢氧根离子浓度为 $1/10000000$ 克当量,或写成 10^{-7} 克当量。这表明在中性水溶液中,氢氧根离子和氢离子的浓度均为 10^{-7} 。

pH值就是用10的指数的绝对值来表示氢离子浓度,又叫氢离子的指数。当溶液中的