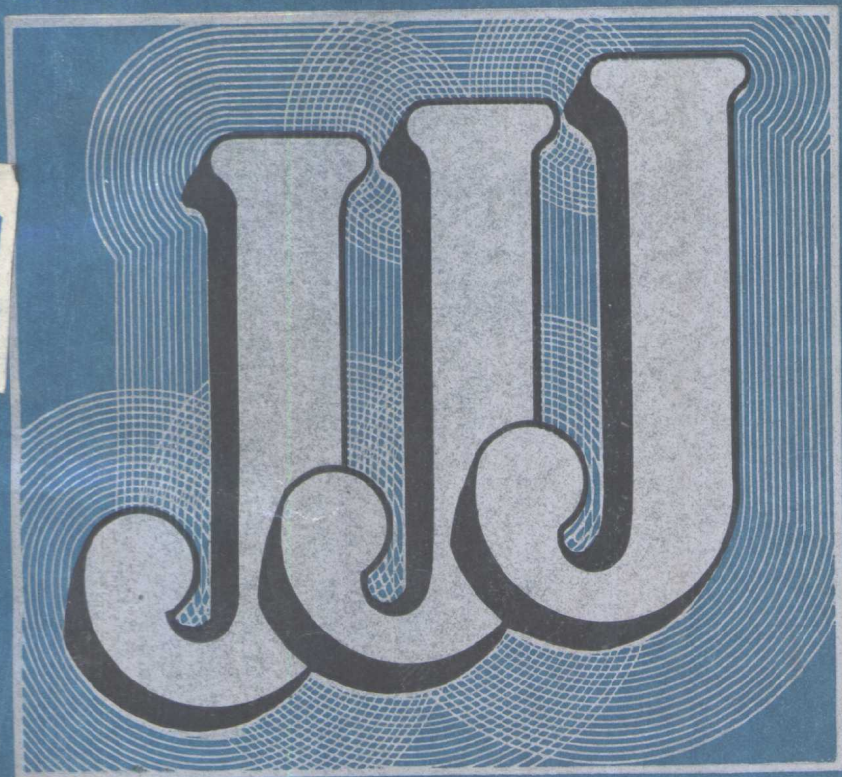


国家机械工业委员会统编

中级电镀工工艺学

机械工人技术理论培训教材

JIXIEGONGREN JISHULILUN PEIXUN JIAOCAI



机械工业出版社

机械工人技术理论培训教材

中级电镀工工艺学

国家机械工业委员会统编



机械工业出版社

本书内容包括金属腐蚀及镀层保护知识，各种常见电镀工艺的镀液成分、各组分及其作用、工作条件、电极反应、常见杂质和常见故障的分析及排除方法；铝及其合金、镁及其合金、铜及其合金的氧化；钢铁件的氧化与磷化，以及常用电镀设备的结构和使用知识等。是中级电镀工的培训教材，也可作为初、中级电镀技术人员的专业参考书。

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

中级电镀工工艺学

国家机械工业委员会统编

*

责任编辑：崔世荣 版式设计：罗文莉
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（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业许可出字第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 787×1092 1/32·印张 12⁵/₈·字数 278千字
1988年10月北京第一版·1988年10月北京第一次印刷

印数 00,001—19,500·定价：4.30元

*

ISBN 7-111-01100-7/TQ·5

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149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解决生产实际问题的能力服务的原则。在内容上，力求以基

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，注重能力的培养，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

本工种需学习下列课程

初级：化学基础知识、机械识图、电工常识、初级电镀工工艺学

中级：电化学基础知识*、中级电镀工工艺学

高级：金属腐蚀学*、高级电镀工工艺学

为便于企业开展培训，国家机械工业委员会教育局和机械工业出版社还组织编写出版了与以上教材配识电视

目 录

前言

第一章 金属的腐蚀	1
第一节 金属腐蚀的分类	1
第二节 防止金属腐蚀的方法	6
复习题	11
第二章 镀层的分类与选择	12
第一节 镀层作用的分类	12
第二节 镀层的选择	17
复习题	23
第三章 镀锌	24
第一节 镀锌层的性质与用途	24
第二节 氰化镀锌	24
第三节 酸性镀锌	29
第四节 碱性锌酸盐镀锌	41
第五节 镀锌层的钝化处理	53
第六节 镀锌液的维护与常见故障的排除	60
第七节 镀锌工艺流程	60
复习题	64
第四章 镀镉	65
第一节 镀镉层的性质与用途	65
第二节 氰化镀镉	65
第三节 无氰镀镉	69
第四节 镀镉层的钝化处理	76
第五节 镀镉液的维护与常见故障的排除	76
第六节 镀镉工艺流程	77
复习题	78

VI

第五章 镀铜	79
第一节 镀铜层的性质与用途	79
第二节 氰化镀铜	80
第三节 酸性镀铜	88
第四节 其他镀铜	101
第五节 镀铜液的维护与常见故障的排除	114
第六节 镀铜工艺流程	115
复习题	117
第六章 镀镍	118
第一节 镀镍层的性质与用途	118
第二节 镀镍过程的电极反应	119
第三节 普通镀镍	122
第四节 光亮镀镍	133
第五节 多层镀镍	140
第六节 电镀黑镍	150
第七节 镀镍液的维护与常见故障的排除	153
第八节 镀镍工艺流程	154
复习题	156
第七章 镀铬	157
第一节 镀铬层的性质与用途	157
第二节 镀铬的简单原理	158
第三节 镀硬铬	164
第四节 镀装饰铬	173
第五节 其他镀铬	180
第六节 镀铬液的维护与常见故障的排除	186
第七节 镀铬工艺流程	189
复习题	193
第八章 镀银	194
第一节 镀银层的性质与用途	194

第二节	镀银的预处理	195
第三节	氰化镀银	199
第四节	无氰镀银	205
第五节	防止银镀层变色的处理	210
第六节	银的回收	214
第七节	镀银常见故障的排除	215
第八节	氰化镀银工艺流程	217
	复习题	219
第九章	镀锡	220
第一节	镀锡层的性质与用途	220
第二节	碱性镀锡	221
第三节	酸性镀锡	226
第四节	其他镀锡	232
第五节	镀锡常见故障的排除	236
第六节	碱性镀锡工艺流程	237
	复习题	238
第十章	合金电镀	239
第一节	镀铜锡合金	239
第二节	镀仿金	250
	复习题	263
第十一章	铝及其合金的氧化	264
第一节	概述	264
第二节	铝及其合金阳极氧化膜的性质	265
第三节	铝及其合金的阳极氧化预处理	267
第四节	铝及其合金的硫酸阳极氧化	271
第五节	铝及其合金的铬酸阳极氧化	278
第六节	铝及其合金的草酸阳极氧化	282
第七节	铝及其合金的瓷质阳极氧化	284
第八节	铝及其合金的硬质阳极氧化	287

第九节	铝及其合金的氧化膜染色与电解着色	291
第十节	铝及其合金的阳极氧化膜封闭处理	298
第十一节	铝及其合金的化学氧化	301
第十二节	铝及其合金的不合格氧化膜层退除与返修	304
	复习题	305
第十二章	镁及其合金的氧化	307
第一节	镁及其合金的氧化前表面处理	307
第二节	镁及其合金的化学氧化	309
第三节	镁及其合金的电化学氧化及磷化	315
	复习题	316
第十三章	铜及其合金的钝化和氧化	317
第一节	铜及其合金的钝化	317
第二节	铜及其合金的氧化	321
	复习题	325
第十四章	钢铁件的氧化和磷化	327
第一节	钢铁件的氧化	327
第二节	钢铁件的磷化	333
	复习题	342
第十五章	电镀设备	343
第一节	概述	343
第二节	机械设备	343
第三节	电气设备	385
	复习题	395

第一章 金属的腐蚀

金属和周围介质接触，由于发生化学作用或电化作用而引起的破坏，称为金属的腐蚀。例如，铁生锈即铁与周围介质接触被氧化而引起，就是一种金属腐蚀。

金属腐蚀的现象非常普遍，例如金属制成的日用品、生产工具、机器部件、船壳等，由于保养不好就会腐蚀，从而造成大量金属的损耗。至于因为设备腐蚀损坏而停工减产、产品质量下降、污染环境、危害人体健康等严重事故造成的损失，那就更大了。因此，了解金属腐蚀的原因，掌握防止腐蚀的方法，有着十分重要的意义。

第一节 金属腐蚀的分类

一、按反应的类型分类

1. 化学腐蚀 金属与被接触的物质(一般是非电解质)直接发生化学反应而引起的腐蚀称为化学腐蚀。例如，在一定温度下，金属与干燥气体(如 O_2 、 H_2S 、 Cl_2 等)相接触时，在金属表面生成相应的化合物(如氧化物、硫化物、氯化物等)，金属因此遭受腐蚀。这种腐蚀在低温下不显著，甚至不发生，但在高温下情况很严重。碳钢在高温下被氧化生成氧化皮(由 FeO 、 Fe_2O_3 和 Fe_3O_4 组成)即是一例。

此外，化学腐蚀还发生在金属与某些非电解质溶液(如石油、苯)的接触中。例如，在非电解质溶液中含有硫或硫化物时，由于它们能与金属反应生成相应的硫化物，从而加速了腐蚀速度。

化学腐蚀的化学反应比较简单，仅仅是铁等金属跟氧化剂（如 O_2 、 Cl_2 等）之间的氧化还原反应。

2. 电化学腐蚀 当金属（不纯的金属或合金）和电解质溶液接触时，由电化学作用而引起的腐蚀称为电化学腐蚀。和化学腐蚀不同，它是由金属和电解质溶液形成了大电池或微电池而引起的。

为了了解电化学腐蚀的本质，现以铜锌原电池实验来说明，如图 1-1 所示。把铜片和锌片浸入硫酸溶液中，用导线把它们连接起来，则发现导线中有电流通过，电流的方向由铜片经过导线流向锌片。为什么会产生电流呢？这是因为铜片和锌片两极之间电位不同，即锌的电位较负，铜的电位较正，它们之间存在着电位的缘故。在电路中，电流是由正极流向负极（电子是由负极流向正极），组成了原电池。铜片是电池的阴极，锌片是电池的阳极。同时，在溶液中存在着硫酸电离产生氢离子。

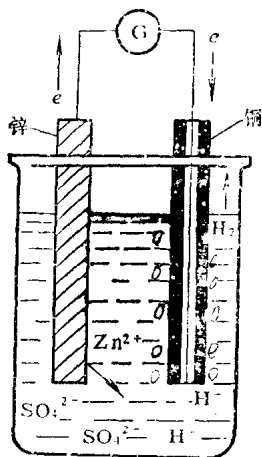
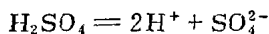
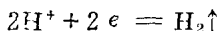


图1-1 铜-锌原电池原理图

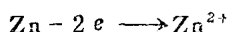
在溶液中存在着硫酸电离产生氢离子。



在铜片上，氢离子得到电子后还原成氢气逸出，



在锌片上，锌原子失去电子成为锌离子进入溶液，



我们可以看到锌不断被腐蚀，而铜片上析出氢气。以上

的铜-锌原电池又称为大电池。这种腐蚀现象称为电化学腐蚀。

金属的电化学腐蚀过程是和原电池的工作原理相同的。下面以铁与较不活泼的金属铜接触为例，说明金属在空气中的电化学腐蚀过程。例如，在铜板上钉一个铁铆钉，由于金属表面吸附了空气中的水分，形成一层水膜。水可微弱地电离为氢离子(H^+)和氢氧根(OH^-)离子，同时因空气中的二氧化碳(CO_2)溶解在水里，生成碳酸(H_2CO_3)，碳酸电离而生成：



这样，铁和铜就如同放在含 H^+ 、 OH^- 、 HCO_3^- 离子的溶液中一样，形成了原电池(铁是阳极，铜是阴极)，使铁被腐蚀，反应过程如图1-2所示。

在阳极上：铁表面上的铁原子失去电子，形成离子进入溶液中：

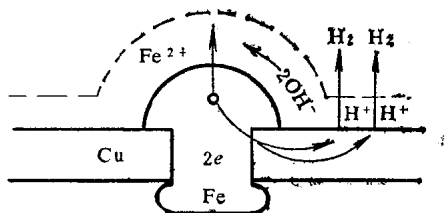
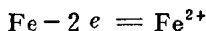
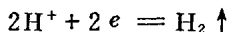


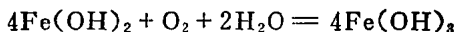
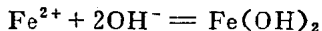
图1-2 铁与铜接触腐蚀示意图



在阴极上：氢离子从铜上获得电子，生成氢气逸出：



溶液中的亚铁离子和氢氧根离子结合，生成氢氧化亚铁，并继续被氧化成氢氧化铁，即铁锈的主要成分。



上述腐蚀是由于两种电位不同的金属(铁与铜)组合在

一起，并同电解质溶液接触，形成原电池的原因造成的。

工业上用的各种金属和合金中均含有杂质，同时其组织也不均匀，因而其电位也不同。当它们与电解质溶液接触时，就能形成原电池，因而造成了金属或合金在贮存、运输或使用过程中出现的电化学腐蚀现象。例如，碳钢中含有 Fe_3C 颗粒，当这种碳钢置于含有水分、二氧化硫或二氧化碳的空气中，即硫酸或碳酸的电解质溶液中，就会形成以 Fe_3C 为微阴极、铁为微阳极的微电池，造成碳钢的电化学腐蚀，如图1-3所示，微阴极（ Fe_3C ）上析出氢气气泡，微阳极（Fe）变成铁离子（ Fe^{2+} ）而被腐蚀。

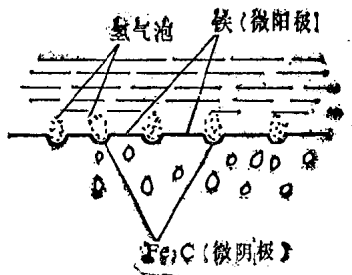


图1-3 微电池示意图

从本质上看，电化学腐蚀和化学腐蚀都是铁等金属原子失去电子而被氧化的过程。但是，电化学腐蚀过程伴随有电流产生，而化学腐蚀过程却没有。在一般情况下，这两种腐蚀往往同时发生，只是电化学腐蚀比化学腐蚀要普遍得多。

二、按破坏的形式分类

1. 全面腐蚀 腐蚀作用分布在金属表面，可以是均匀的腐蚀，也可以是不均匀的腐蚀。

2. 局部腐蚀 在金属的某个部位或其中的某个组织上发生的腐蚀称为局部腐蚀。一般来说，这类腐蚀造成金属结构、设备、机器等的损失最大。

局部腐蚀有下面几种类型：

(1) 斑点腐蚀 腐蚀深度不大, 占有较大面积, 形成一块块花斑状。

(2) 点状腐蚀 腐蚀为分散的小点状, 例如铝板的腐蚀。

(3) 陷坑腐蚀 腐蚀集中在不大的面积上。

(4) 晶间腐蚀 腐蚀沿晶粒边界发生, 这种腐蚀危险性很大。例如, 镁合金和不锈钢的腐蚀多为晶间腐蚀。

(5) 表面下腐蚀 腐蚀由表面开始, 向表面下扩张, 形成鼓起和分层。

(6) 选择腐蚀 在多元合金中, 腐蚀发生在一种组元上。例如, 黄铜的脱锌。

3. 应力腐蚀断裂 在应力作用下发生的腐蚀。严重时会使金属断裂。断裂可以沿晶界发展, 也可能穿过晶粒。这类腐蚀又可分成静负荷条件下的腐蚀断裂及动负荷条件下的腐蚀疲劳。例如, 黄铜断裂。

三、按环境的条件分类

1. 大气腐蚀 金属在潮湿的空气中发生的腐蚀。

2. 土壤腐蚀 各种埋在地下的水、石油、煤气等输送管道及地下建筑物所发生的腐蚀。

3. 电解液腐蚀 金属在一切导电介质中发生的腐蚀。例如, 与海水接触的船舶外壳的腐蚀; 化工设备及管道的腐蚀等等。

4. 接触腐蚀 两种电极电位不同的金属互相接触时发生的腐蚀。

5. 应力腐蚀 在有内应力或外加负荷的条件下所发生的腐蚀。

6. 其他腐蚀 如生物腐蚀、杂散电流腐蚀、摩擦腐蚀、

熔融介质腐蚀、液态金属腐蚀以及放射线腐蚀等。

第二节 防止金属腐蚀的方法

一、影响腐蚀的因素

影响腐蚀的因素很多、很复杂，其主要因素有下面几点：

1. 金属的特性影响 一般来说，金属的抗蚀性与金属的标准电位、化学活泼性有关。金属标准电位越负，化学活性越高，越容易遭受腐蚀。但是，有的金属，例如镍、铬等等，虽然它们的电位较负、化学活泼性较高，但却有很好的防腐能力。这是因为它们的表面会生成一层很薄的、透明的致密氧化膜，具有很高的化学稳定性，能很好地保护金属不受腐蚀，称为金属的钝化。

另外，金属材料的抗蚀性还与金属材料中杂质含量和表面粗糙度有关。金属中的杂质越多，形成微电池机会越多，其抗蚀性越差。金属表面粗糙度主要对腐蚀的起始阶段有较大的影响，表面粗糙度数值越低，其抗蚀性越好。

2. 腐蚀介质的影响 材料的抗蚀性与腐蚀介质有直接关系。各种材料在不同的介质中有不同的稳定性。因此，材料的抗蚀性是相对的，是针对具体的介质而言的。例如，金在很多介质中很稳定，但在“王水”中却会被腐蚀。其他材料也都有类似的性质。

3. 温度的影响 温度对金属的腐蚀速度影响很大。由于温度高，金属及腐蚀介质的化学活泼性增大，加快了化学反应、扩散或蒸发速度，因而加速了腐蚀。例如，碳钢在常温和干燥的空气里并不腐蚀，但在高温下易被氧化，生成氧化皮。在高温与高压下，氢气对碳钢的腐蚀更显著，使碳钢

组织变松，强度大大降低，产生“氢脆”。因此，在制造高温高压设备时，必须选择耐蚀的合金钢，以提高抗蚀能力。

二、防止金属腐蚀的方法

金属的腐蚀与多种因素有关，诸如金属的成分、加工特性及表面状态、结构特点、腐蚀介质的性质以及其他条件等。因此，为了保护金属免遭腐蚀，必须采取下列方法防止腐蚀。

1. 正确选用金属材料和改变金属的组成 根据使用环境及金属的性质，正确选用金属材料。例如，碳钢对于浓碱和浓硫酸有相当高的耐蚀性，但不耐稀酸。因此，浓碱和浓酸的贮槽可以用碳钢制造。

改变金属的组成也能提高其抗蚀能力。例如，在炼钢时加入一定量的铬制成不锈钢。也可以用化学热处理方法来改变金属零件的表面性能。例如把钢进行渗氮，就可以提高耐磨性和耐蚀性。

2. 保护层法 在金属表面覆盖保护层，使金属不和周围的介质接触，减少腐蚀作用，以达到保护的目地。

工业上应用最普遍的覆盖层，有金属保护层、非金属保护层、化学保护层等。

(1) 金属保护层 有电镀、化学镀、热喷镀、热渗镀、热浸镀、真空蒸发镀、包镀等。其中，工业上应用普遍的是电镀与热喷镀。

电镀：在钢铁表面上镀上一层不易被腐蚀的金属，如锌、锡、铬、镍、金、银、铝、铍、钡及各种合金。它可以赋予金属制品以美观、耐磨、耐蚀等各种特性。例如，自行车钢圈，就是用电镀的方法，镀上一层既耐蚀、耐磨又美观的铜/镍/铬镀层。