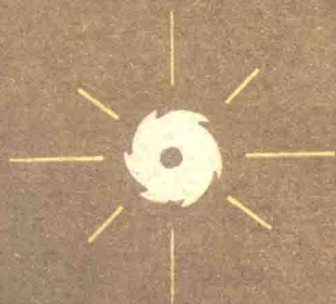




电化学抛光工艺

山西人民出版社

电 化 学 抛 光 工 艺

李 云 飞

山 西 人 民 出 版 社

电化学抛光工艺

李云飞 编

*

山西人民出版社出版 (太原并州路七号)

山西省新华书店发行 山西新华印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 1/32 印张: $4\frac{7}{8}$ 字数: 100千字

1974年5月第1版 1974年5月太原第1版第1次印刷

1978年2月第2版 1980年1月太原第2版第2次印刷

印数2,001—11,000册

*

书号: 15088·77 定价: 0.60元

内 容 提 要

电化学抛光是近十余年来发展起来的新技术，是直接应用电化学反应去除机械零件表面的切削痕迹，以提高表面光洁度的加工方法。它比机械抛光效率高，精度高，有逐渐取代机械抛光的趋势。

本书作者根据本单位的实践经验，介绍了电化学抛光的原理与工艺，以及电化去毛刺、电化学翻新锉刀等内容，可供机械加工行业工人、技术人员以及大专院校有关专业人员参考。

目 录

第一章 电化学抛光的基本原理.....	1
一、概 述	1
二、金属电 化学抛光的阳极过程.....	3
三、电化学抛光的基本原理	11
第二章 影响电化学抛光的主要因素	18
一、概 述	18
二、电解液	18
三、电解规范	20
四、电解液温度	22
五、电化学抛光的持续时间	23
六、金属的金相组织与原始表面状态	24
七、电解液的搅拌	26
八、工艺装置	27
九、电化学抛光后零件的清洗	29
第三章 电解液.....	30
一、概 述	30
二、电解液的选择	30
三、电解液的分类	32
四、电解液的配制和再生	36
五、常用电解液介绍	39
第四章 电化学抛光的应用范围.....	54
一、概 述	54

二、零件的光整加工	55
三、精密零件的精加工	56
四、切削工具的电化学抛光	56
五、计量工具的电化学抛光	59
六、显现金属表面的缺陷	59
七、毛坯和半成品的电化学抛光	60
八、金相磨片的制备	60
第五章 电化学抛光的工艺流程	65
一、概 述	65
二、电化学抛光的基本工艺流程	65
三、电化学抛光前零件的预处理	70
四、电化学抛光	71
五、电化学抛光后零件的加工	72
六、电化学抛光的注意事项	74
第六章 电化学抛光设备	76
一、概 述	76
二、电源系统	77
三、电解液槽	80
四、阴极设计	85
五、夹 具	88
六、辅助工具及其它设备	89
七、设备改进的意见	89
第七章 钢的电化学抛光	90
一、概 述	90
二、钢件电化学抛光的电解液	90
三、钢件电化学抛光工艺及注意事项	94
四、影响钢件电化学抛光的因素	96
五、典型举例	97

六、钢件电化学抛光的不正常现象及消除方法	101
第八章 铜及其合金的电化学抛光	104
一、概 述	104
二、铜及其合金电化学抛光的电 解 液	105
三、铜及其合金的电化学抛光工艺及注意 事 项	107
四、影响铜及其合金电化学抛光的 因 素	109
五、典型 举 例	110
六、铜及其合金电化学抛光的不正常现象及消除方法	112
第九章 电化学去毛刺	114
一、概 述	114
二、电化学去毛刺的基本 原 理	114
三、电化学去毛刺 工 艺	115
四、电化学去毛刺的优 缺 点	117
五、电化学去毛刺的应用 实 例	118
六、应用电化学去毛刺的几点 体 会	120
七、电化学去毛刺常用电解液及工艺 参 数	122
八、电化学去毛刺发展方向 展 望	123
第十章 电化学翻新锉刀	127
一、概 述	127
二、电化学翻新锉刀的 机 理	127
三、工 艺	129
四、注意 事 项	130
五、翻新 设 备	131
六、工装设计	131
七、操作时注意 事 项	131
第十一章 电化学抛光的其它应用	133
一、概 述	133
二、切削工具的电化学 抛 光	133

三、电化学去氧化皮	136
四、电化学清砂	139
第十二章 电化学抛光发展方向的展望	143
一、电化学抛光的优点及目前存在的问题	143
二、电化学抛光今后研究的方向	144

第一章 电化学抛光的基本原理

一、概 述

当电流通过电极和电解液时，在电极表面和电解液中发生化学反应，利用这种反应为基础对金属进行加工的方法叫电化学加工。

电化学加工目前已广泛应用于工业生产中，最常用的有：电镀、电解加工、电化学抛光、导电磨削、电化学浸蚀、电化学去毛刺、电化学翻新锉刀等。

电化学抛光是近十余年来发展起来的新技术，是直接应用电化学反应去除切削加工所残留的微观不平度，以提高表面光洁度的加工方法。它比机械抛光效率高，精度高，有逐渐取代机械抛光的趋势。

本章着重介绍电化学抛光的基本原理，即电化学抛光时的阳极过程的机理。为了便于区别，在此顺便提一下电化学加工时的阴极过程。当电流通过电极及电解液时，电极表面和电解液中均发生化学反应，如图 1 所示。在阳极发生氧化反应，在阴极发生还原反应。

阳极反应是指金属变成水合离子或络离子进入电解液的过程，此时金属发生溶解，并在金属阳极上留下当量电子。例如变成水合金属离子时：

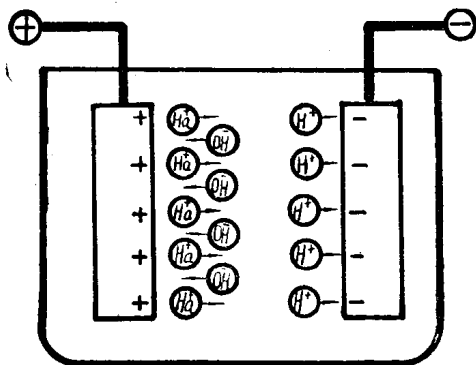
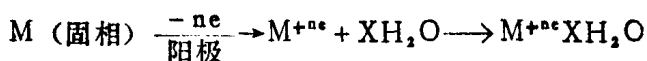


图1 离子运动示意图

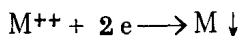
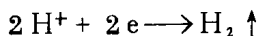
其中M——表示固相金属。

ne ——表示金属在阳极上留下的当量电子数。

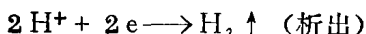
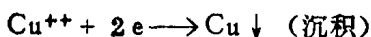
M^{+ne} ——失去 ne 个电子的金属离子，尚未水合。

$M^{+ne}XH_2O$ ——溶解于电解液中的金属水合离子。

阴极反应是指电解液中的氢离子或金属离子在阴极上获得电子，被还原成气体氢析出或金属沉积物。阴极反应可以是各种类型的电极反应，但最重要的是以下两个阴极反应。



在工业上利用阴极的还原反应进行电镀等。例如在镀铜时其阴极过程的电化学反应如下：



目前国内外关于阳极过程的研究，由于角度不同，所得出的结论很不一致，形成了很不一致的看法。本书综合了有关国内外关于金属电抛光的阳极过程的一些见解，并介绍了我们生产实践的体会，以供参考。

二、金属电化学抛光的阳极过程

1. 阳极过程

当直流电源通入电极和电解液时，金属的阳极发生溶解过程。金属阳极溶解这一特点，使人们利用它进行电化学加工。应指出，金属电抛光的阳极溶解过程具有相当的复杂性，受很多可变因素的影响。金属的表面性质，金相组织的均匀性，电解液的成分比例，电解液的温度，电流密度，槽电压高低，参比电极大小等，都直接关联到金属电抛光的效果。当金属在阳极溶解时，阳极表面上可能发生下列反应：

(1) 呈电中性的金属体在通入直流电以后，在阳极则失去电子，金属以离子形式溶解在电解液中。



(2) 金属失去电子，由于 OH^{-} 的电迁移运动，密布在金属阳极周围，使金属氧化而生成氧化膜。



(3) 随着电压的提高，电流密度加大，氢氧根离子进行氧化，以气态氧形式析出。



电化学抛光是金属溶解的一个独特过程，阳极溶解时在

大多数情况下可以获得良好的抛光质量。但是由于阳极溶解的不均匀性，有时可能出现被加工表面比原来的状况更坏的情况，有时也可能出现无光泽状态。对于金属的电化学抛光过程的基本原理目前国内外尚未完全确定，在试验中要想得到预期的效果，必须通过多次实践，或用优选法进行试验，以得出完整的操作规范。

2. 阳极电位与电流密度对电化学抛光质量的关系

为了研究电化学抛光的全过程，分析一下阳极电位、电流密度对电化学抛光质量的关系是非常必要的，它提供了试验时选择合理加工区域的途径，可少走或不走弯路。

可用图解法说明电化学抛光规律，如图 2 所示。

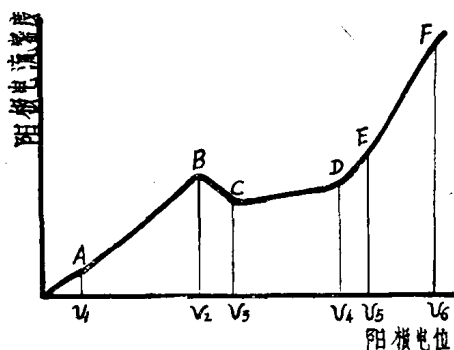


图 2 阳极电位与电流密度曲线

现把电化学抛光时的阳极电位与阳极电流密度变化规律对电化学抛光质量的关系分几个区域加以说明。

(1) 电化学抛光初期，阳极电位急速上升到 V_1 ，此时电流密度上升较缓慢。在此区域内阳极金属表面形不成粘性薄膜，不起电化学抛光作用，相当于阳极的正常溶解；而离

子扩散速度大于金属溶解速度，这时金属表面具有普通的浸蚀外观，甚至由于酸对零件的腐蚀，使零件表面发暗，可能破坏了金属原有的表面状态。

(2) 阳极电位从 V_1 升高到 V_2 ，电流密度也急速上升，几乎是成比例地上升。在此区域内阳极金属表面的粘性薄膜仍未生成；因为离子扩散速度还稍大于金属溶解速度，所以电化学抛光仍不起作用，机加工划痕依然存在，零件的表面因酸浸蚀反而呈现阴暗色，破坏了原始表面状态。

(3) 阳极电位从 V_2 升高到 V_3 ，便导致了电流密度下降。此区间较小，系不稳定区。阳极表面略有溶解。由于电流密度既小又不稳定，粘性薄膜形成缓慢，氧气析不出，不能实现电化学抛光目的。

在此区间，为什么电流下降呢？因为在这种条件下，阳极产物在阳极表面的某些部份逐渐积聚起来，结果使电阻增高，电流稍微下降；这是因为在阳极的某些表面上，金属的溶解速度逐渐大于离子的扩散速度，使阳极金属表面的粘性薄膜的缓慢生成有了可能性，到 V_3 时，在阳极上出现了阳极产物的饱和层，结果，便导致了电流下降。

(4) 阳极电位从 V_3 升高到 V_4 ，阳极电流密度从理论上略有提高，但在一般的工业仪表上显示不出。这一区域是电流稳定区。从理论上讲，这一区域都能进行电化学抛光，金属阳极表面可获得光泽，属于良好的电化学抛光区域。实践证明在此区域内，因氧气虽有很少量的生成，但是还析不出，且用眼可以观察到氧气泡粘附在零件表面，这些气泡使阳极金属某些表面绝缘，破坏了电化学抛光的正常进行，形成加工面上有斑点，尽管表面光亮度好，但光洁度不高。

但在个别情况下，如铜及铜合金在正磷酸溶液中的电化学抛光，可以在此区域内进行，也就是说在氧气析出之前可以获得较好的抛光表面。至于碳钢，合金钢，不锈钢等多种金属的电化学抛光，通常都不选择在此区域内进行。

此区域的特点是在 V_3 点的时候，阳极产物在阳极附近开始饱和。在整个 V_3 到 V_4 区间，因为金属溶解速度不发生改变，随着阳极电位的加大，阳极产物形成的粘性薄膜就愈加牢固。因而电阻相应地增加，所以虽有阳极电位加大，但电流并不增高。到 V_4 点时，相当于氢氧离子放电的电位，氧气泡开始析出。

(5) 阳极电位从 V_4 升高到 V_5 ，电流密度又几乎与阳极电位成比例上升，大量气泡粘附在零件表面上；虽可以抛光，光泽较好，但是由于气泡析出很少，零件表面上仍形成斑点，故仍然不能进行很好的抛光。

(6) 阳极电位从 V_5 升高到 V_6 时，曲线是直线地上升，此时氧气泡大量地激烈地析出。氧气泡迅速脱离金属阳极表面，以气态形式析出在电解液外面，使抛光表面不再生成斑疵，电化学抛光质量很好。因此金属表面既能被整平，又达到光亮度的要求。实践证明，合金钢、不锈钢等金属的电化学抛光通常是在 V_4 以后才能获得的。所以 $V_4V_5V_6$ 区域是最好的加工区域。

由此可知，电化学抛光的同时是有显著的阳极极化作用发生的。

(7) 如果阳极电位与电流密度继续提高，则电化学反应甚为激烈，在阴极上沉积物生成较快。当沉积物不能及时脱离阴极时，零件表面（即阳极金属表面）有斑点，严重的有

烧伤现象。

电化学抛光，一般在 $V_4V_5V_6$ 区域。为了进行良好的抛光，对每一种金属材料在不同的电解液里进行加工的区域，应通过实践得出。阳极电位——阳极电流密度曲线的形状虽有不同形式，但这种曲线毕竟有许多共同之处，即抛光规律大体上是相同的。

3. 在阳极上的盐类结晶

电化学抛光时，选择的电解液，应与被加工零件能够生成不溶性的化合物溶液。电化学抛光时阳极上生成的化合物可以不溶于水，但是必须溶于电解液中。例如：在正磷酸溶液中抛光铜时，其表面上生成的是不溶于水的磷酸盐 $[\text{Cu}_3(\text{PO}_4)_2, \text{CuHPO}_4]$ ，但是此化合物能很好地溶于电解液中。

在阳极溶解过程中，当靠近阳极的电解液层被溶解的金属离子所过饱和时，在阳极表面上的凹处就开始析出该金属的盐类结晶。如果生成的氧化膜（即盐膜）是连续的，那么阳极表面上凹洼处便处于绝缘状态，电流通过就可能完全被停止。如果氧化膜是多孔性的，那么电流受随着膜厚度的增大而增大的气孔电阻的限制，则阳极的凹洼处通过电流很小，形成凸起处电流较大，因而形成阳极凸起处溶解较快，凹洼处溶解很慢，从而达到电化学抛光的目的。

由于多孔性氧化膜的存在引起电流的降低和槽电压的升高，又由于氧化膜的过渡电阻的升高而引起电解液的局部过热，促使氧化膜溶解度增大，便导致了膜的破坏。膜破坏后，使过渡电阻减小，于是线路中的电流重新升高，促使金属表面凹洼处溶解。金属离子过饱和时，盐类结晶析出，凹

洼处的膜又生成。如此反复，为氧化膜周期性地重复破坏与生成创造了条件。

在不锈钢、合金钢进行电化学抛光时一般要加强搅拌，以减少阳极附近的浓度差，并促进气体的排出，同时向氧化膜加大冲击力，促使膜破坏与生成的周期缩短，达到提高表面质量的目的。

必须指出，加强搅拌并不是金属电抛光的一般规律。究竟是加强搅拌，还是避免搅拌，以及操作规范的选择适当与否，主要取决于阳极产物的性质。例如：在正磷酸中进行铜的电化学抛光时，就要避免搅拌，因为搅拌会给粘性薄膜的生成造成困难，反倒使抛光表面质量变坏；而在氧化物电解液中进行合金钢或银的电化学抛光时，因为生成了难溶的阳极产物，所以必须进行搅拌，否则容易发生全阳极的钝化现象。直到电流不再通过系统为止。又如其它规范的选择，合金钢的抛光只有在较高的温度下才能获得满意的结果。而铝等许多金属的电抛光，对其电解液又不得不进行人工冷却。

上述粘性薄膜理论（或氧化膜理论）在一般情况下虽然能够解释金属电化学抛光的机理，但是它还有以下缺点，显得此理论并不完善。例如：

（1）金属表面的凹洼处如果被粘性薄膜保护着，那么为什么它们也能被抛光呢？

（2）在具有不同溶解速度的各个成份的非均匀合金中，电化学抛光过程是如何进行的？

（3）当金属表面逐渐被整平后，凸凹之处差距极微时，被极薄的粘性薄膜所保护的金属表面，为什么能被进一步抛光呢？

(4)甚至在实际中还有这样的情况：在阳极上并没有粘性薄膜产生，为什么电化学抛光仍然能够正常地进行呢？如此等等。

固然电化学抛光的机理是很复杂的，对某些问题目前还不能全面解释。但是随着生产实践的继续，我们深信终究可以解决这个问题。

4. 氧化膜及氧吸附层的生成

金属的阳极溶解与抛光过程的同时，会发生激烈的阳极极化与阳极电位的急剧跃变；在绝大多数情况下，阳极电位值达到水的分解电压以上即极化电压时，氢氧离子的电化学生成和氧的生成才成为可能。

如果发生氧的析出，那么金属便不可能不被氧化。不论什么情况，氧的析出不会发生在金属表面上，而发生在有特殊放电的氧化物上。

在浓的粘性酸溶液中，金属阳极溶解时，可以观察到靠近阳极的液膜层被金属盐所饱和，这样便在阳极电流密度不大时也会生成盐膜。在电化学抛光时形成的盐膜使电阻增加，因此随着阳极电位的增高，电流密度增高极微。随着盐膜的加厚，电阻也随之加大，因此使阳极附近电解液温度增高。无论是由于盐的水解，还是由于阳极电位升高时金属的直接氧化，都可能使金属表面上生成氧化膜。这个过程便导致了极限电流出现。在此情况下，在极大的电位范围内，直到新的阳极过程发生和氧化膜的结构改变以前，电流密度将被此氧化膜在酸中的溶解速度所决定，而与电极电位无关。

金属上的氧化膜的存在，应该对过渡电阻有直接的影响。金属溶液的界面上的过渡电阻值是与氧化膜的本性和连