



金属阳极- 机械加工法

〔苏联〕И. Г. 科斯馬契夫著

国防工业出版社



77.15

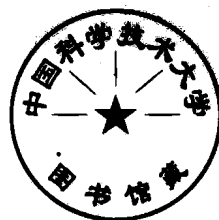
392

电加工和超声加工丛书三

金属阳极-机械加工法

[苏联] И. Г. 科斯馬契夫著

刘晋春译



0109/32
出版者的話

为了滿足我国机械制造工艺人員的需要，我們准备将苏联机械工业出版社的“电加工和超声加工丛书”(Библиотечка электротехнолога и ультразвуковика)陸續翻譯出版。这套丛书共有七册，分別介紹金屬电流脉冲加工、金屬阳极-机械加工、金屬电化学加工、金屬电接触加工、金屬超声加工等問題，并系统地叙述了加工基本方法、原理和工艺以及所用的設備。

这一册“金屬阳极-机械加工法”闡述了金屬阳极-机械加工的物理本质。介紹了此加工方法在切割、刃磨和磨削等工序中的应用及其所用的夹具、导电砂輪、磨盘和設備。此外，书中給出了很有参考价值的数据資料，可供工艺人員在生产中应用。

这套丛书适于机械制造工厂从事电加工和超声加工的工艺人員、技术工人和工长閱讀。

ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ АНОДНО-
МЕХАНИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

〔苏联〕И. Г. Космачев

МАШГИЗ 1961

金屬阳极-机械加工法

刘晋春譯

国防工业出版社出版

北京市书刊出版业营业許可証出字第074号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店經售

国防工业出版社印刷厂印装

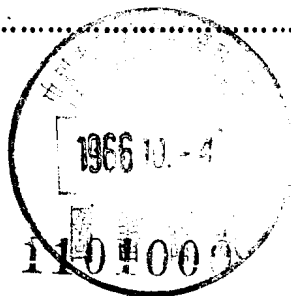
787×1092¹/₃₂ 印張 3¹/₁₆ 64千字

1965年6月第一版 1965年6月第一次印刷 印数：0,001—5,700册

統一书号：15034·902 定价：(科六) 0.40元

目 录

前言	4
一、阳极-机械加工法的基础	5
阳极-机械加工法的概述	5
阳极-机械加工过程的基本规律	7
工作液	12
阳极-机械加工法的应用范围	21
二、阳极-机械切割	27
切割法概述	28
工具和設備	40
阳极-机械切割的实际应用	46
三、阳极-机械刃磨工具	55
阳极-机械机床的电气线路及刃磨用量	56
工具和設備	61
工具的刃磨工艺	75
四、阳极-机械研磨	85
电磨料加工	85
用导电金刚石砂轮刃磨	92
电珩磨	96
参考书目	98



电加工和超声加工丛书三

金属阳极-机械加工法

[苏联] И. Г. 科斯馬契夫著

刘晋春译



国防工业出版社
1965

0109/32
出版者的話

为了滿足我国机械制造工艺人員的需要，我們准备将苏联机械工业出版社的“电加工和超声加工丛书”(Библиотечка электротехнолога и ультразвуковика)陸續翻譯出版。这套丛书共有七册，分別介紹金屬电流脉冲加工、金屬阳极-机械加工、金屬电化学加工、金屬电接触加工、金屬超声加工等問題，并系统地叙述了加工基本方法、原理和工艺以及所用的設備。

这一册“金屬阳极-机械加工法”闡述了金屬阳极-机械加工的物理本质。介紹了此加工方法在切割、刃磨和磨削等工序中的应用及其所用的夹具、导电砂輪、磨盘和設備。此外，书中給出了很有参考价值的数据資料，可供工艺人員在生产中应用。

这套丛书适于机械制造工厂从事电加工和超声加工的工艺人員、技术工人和工长閱讀。

ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ АНОДНО-
МЕХАНИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

〔苏联〕И. Г. Космачев

МАШГИЗ 1961

金屬阳极-机械加工法

刘晋春譯

国防工业出版社出版

北京市书刊出版业营业許可証出字第074号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店經售

国防工业出版社印刷厂印装

787×1092¹/₃₂ 印張 3¹/₁₆ 64千字

1965年6月第一版 1965年6月第一次印刷 印数：0,001—5,700册

統一书号：15034·902 定价：(科六) 0.40元

目 录

前言	4
一、阳极-机械加工法的基础	5
阳极-机械加工法的概述	5
阳极-机械加工过程的基本规律	7
工作液	12
阳极-机械加工法的应用范围	21
二、阳极-机械切割	27
切割法概述	28
工具和設備	40
阳极-机械切割的实际应用	46
三、阳极-机械刃磨工具	55
阳极-机械机床的电气线路及刃磨用量	56
工具和設備	61
工具的刃磨工艺	75
四、阳极-机械研磨	85
电磨料加工	85
用导电金刚石砂轮刃磨	92
电珩磨	96
参考书目	98

前 言

从本质上說，阳极-机械加工法几乎可以代替金属切削加工的一切工序。但是实际上阳极-机械加工法只是在切削加工高机械性能的金属和合金遇到困难的情况下才更有效。

现在已经积累了某些在工业中应用这一方法的經驗，可以更确切地評定它的工艺可能性和規定合理的应用范围。

用得最为广泛的是阳极-机械切割。这一加工方法用于切割鋁，高硬度鋼的棒料以及直径超过 300 毫米的合金鋼毛坯。

阳极-机械磨削和刃磨同样也得到应用。由于对上述工艺过程研究得不够，在生产中推广的最初阶段对这一方法的工艺可能性曾引起了不正确的理解，推广也遇到了阻碍。

通常阳极-机械刃磨的缺点是在硬质合金刀具上出現网状裂紋，并且刃磨表面光洁度低。目前由于提高了刃磨速度，采用比重較低的工作液以及改进了设备的結構，这些缺点正在克服和消除中。

阳极-机械加工法新方向之一的电磨料精研具有很重要的意义，应用导电的石墨化磨料在高生产率条件下，可以得到鏡面光澤和 11~12 級表面光洁度。

近年来研究制造成了带式切割机床的新結構，自动化的刃磨机床以及改进了工作液的成分。所有这些将会使阳极-机械加工法在工业中扩大它的应用范围。

一、阳极-机械加工法的基础

阳极-机械加工法的概述

阳极-机械加工时金属的蚀除过程是依靠电流的热和化学作用而进行的。

当阳极-机械加工时，被加工零件和工具接至经过调节电阻后的直流电源上（图1）。被加工零件接正极，工具接负极。在加工过程中用工作液浇注工具，并且在工具和工件间的缝隙经常充满有工作液的情况下工具逐渐移动切入被加工零件。在阳极的工件表面形成一层薄膜，它的电阻远比薄膜和工具即阴极之间的工作液层的电阻要大得多。

工具相对于毛坯有一主工作运动和进给运动。

进给运动应该这样来实现，使得工具和工件间的缝隙中充满有一薄层工作液，此工作液夹层的作用是防止工具和工件之间金属接触。虽然它们之间存在有一定的压力。当缝隙相当小的时候，直流电路经过金属表面的不平凸起成为闭合通路，并且开始蚀除金属。

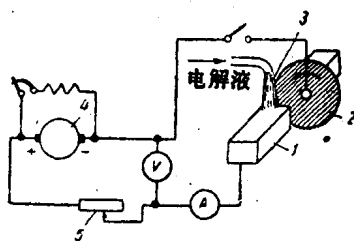


图1 金属阳极-机械加工原理图：

1—被加工零件； 2—加工用的工具； 3—工作液； 4—电源； 5—电阻。

假如直流电压很低，則蝕除是依靠金屬电化学溶解进行的。此时生产率非常低。当电压較高、电流較大时，則蝕除是由于电流的热的作用。

由工件流向工具的电流所产生的热量足以使工件表面上的微凸起熔化。这是因为在接触部分很小的面积上，电流密度极大所导致的。熔化了的金屬微粒成为燒紅的小球被运动着的工具从加工区域内帶走。此时生产率大为提高。

随着金屬的蝕除，工具或工件按切削方向进行进給。

熔化过程非常短促和整个大块表面不会同时接触燒熔是阳极-机械加工过程的特殊現象，这就防止了热量傳入金屬内部。运动着的工具使熔化了的微粒很快的从加工区域中清除出去也促使了这一点。

由于在阳极上存在着薄膜，在薄膜最弱的地方击穿时电流只通过被加工表面的个别点，該处即产生高温和形成微小电弧。

加工过程中同一時間內这样的点可能相当多，而且被加工表面愈大，点也愈多，但是由于存在着絕緣薄膜，这一过程不会扩展到整个表面，而是具有局部性（图2）。

由于这一过程的局部性和瞬时性，热对金屬的作用只是

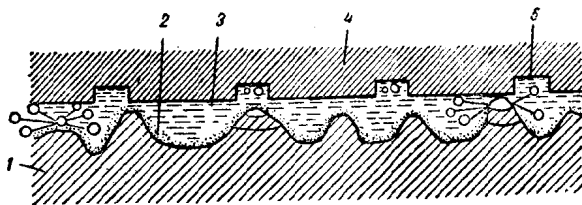


图2 金屬蝕除簡图：

- 1—工件；2—阳极薄膜；3—工作液；4—磨盘；
5—磨盘表面的凹槽。

限制在很薄的表面层，但这一薄层内可能引起組織变化。

表面上个别微凸起的熔化随着時間不断积累，相互进行，形成連續的金属蝕除过程。

显然，金属的蝕除只将在阳极薄膜厚度較小的那一面进行。薄膜的厚度靠工具对被加工零件的进給压力来調节。

对工作过程的观察可按接在直流电路中的电流表和电压表进行，同样也可按外表特征——火花强度及声音特性来判断。

阳极-机械加工法的生产率和加工后表面的粗糙度决定于工作液的选择，加工过程的电参数和机械参数，还与被加工金属的导热性能和熔化温度有关。

属于电参数的有电压和电流及其脉动程度。属于机械参数的有主运动速度和工具对被加工零件的压力。

阳极-机械加工过程的基本規律

阳极-机械加工过程决定于电用量（电流密度、电压）和机械参数（被加工表面上的压力、工具运动速度）。在这些因素之間存在着密切的联系，不能将其孤立地探討。

电用量 电用量决定着加工过程的强度和加工后的表面质量。电用量的基本参数、电流密度和金属蝕除量間一般的关系，表示在图3中。

曲綫的三段相当于加工过程的三个阶段。当电流密

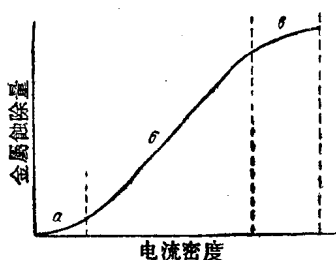


图3 金属蝕除量与电流密度的关系。

度較低时 (α 段), 加工表面很光, 不平高度不超过 1 微米。电流密度稍大时 (δ 段), 表面便粗糙, 不平高度可达 500~600 微米。

当相当于 δ 段的电流密度时, 工作区域显著发热, 同时加工过程的瞬时脉冲性遭到破坏。发热扩散到很大的加工表面区域内, 产生稳定的电弧放电。

因此, 调节电流密度可以在很大范围内改变加工过程的强度和加工质量。

电流密度对表面不平度和对表面热变化层深度的影响, 示意性地表明在图 4 中。

留量的主要部分是在 δ 段的用量时除去的(图 3), 那时能保证最高的金属蚀除速度。最終的精加工是在 α 段的用量下进行的, 此时可以得到最高的加工表面质量。

发电机电压 发电机的电压一般为 14~28 伏。选定上述电压范围是由下列原因决定的。当电压低于 12 伏时形成不了阳极薄膜, 而且电流热的作用也停止了。此时金属的蚀除是依靠被加工表面的阳极溶解而进行的。它蚀除金属的能力很小, 但加工后表面的光洁度很高[●]。例如当电压为 7 伏, 电流为 4 安时, 1 分钟内只能除下 0.06 克 T15K6 的

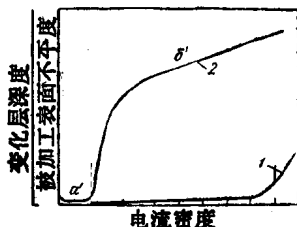


图 4 电流密度对加工表面质量的影响:

1—变化层的深度; 2—不平度的高度; a' —电 化学溶解段; δ' —脉冲熔化段。

● 原书为表面粗糙度很高, 并常把表面光洁度称作表面粗糙度, 今按我国习惯译出。以下同。——译者

硬质合金。

当电压较高为 30~40 伏时，在加工区域内工件表面的许多不平凸起同时遭到熔化，这可能导致电极间隙被许多熔化金属的微粒所充满。亦即导致工具和工件的短接。

此外，电压提高到超过 30~40 伏会增加人身触电的危险性。

电流特性 用作阳极-机械加工用的电流特性对蚀除金属有很大影响。当用交流电流时，金属的蚀除量大约比用同样功率的直流电时小一半。假如把单相交流电经全波整流后（即脉动电流）作为机床电源，则金属的蚀除速度比用直流电时低 20~30%●。

工具压力 工具对被加工表面的单位压力是决定金属蚀除过程是否能正常进行的基本因素之一。工具的压力决定着电极间隙的大小和与此有关的电阻大小。

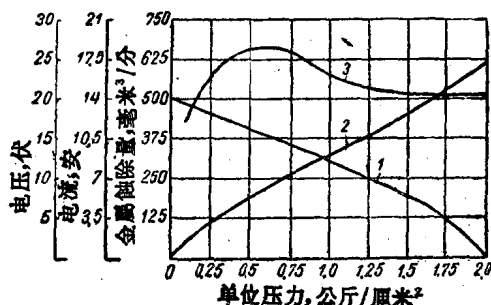


图 5 金属蚀除量和用电量随工具对工件压力而变的关系。

1—金属蚀除量；2—电流；3—电压。

工具压力和电极间隙的关系建立在阳极-机械加工法最重要规律之一的基础上面。这一规律决定着金属蚀除量，电

● 原书中为高20~30%，恐有誤。——譯者

流大小，工作电压随工具对被加工表面压力而变的关系（图5）。假如压力不大，而且不足以破坏阳极薄膜，则电流等于零，不会产生金属蚀除。当压力增大及电极接近时，间隙电阻便减小，电流增大和金属蚀除量增加。进一步加大单位压力会引起薄膜局部破裂和电极之间较大面积的短接，因此一部分电流将经过阳极和阴极的金属接触面而直接流通。这部分电流不参加蚀除金属。随着压力的提高，它也增大，而此时金属蚀除量则相应地减小了。最后，当单位压力大到使阳极表面上不再有薄膜，电极间全部表面产生经常的短路接触。金属蚀除过程便停止，而电流增加到相当于短路接触时的电流。

因此，随着压力的增加和电阻的减小，阳极和阴极间电位差便降低，在短接时便趋近于零。

实际上当应用硅酸钠（水玻璃）作为基础的工作液时，在相当大的范围内可以改变单位压力而不致显著地破坏加工过程的稳定性。

水玻璃溶液的浓度（比重）对金属蚀除量与工具对被加工表面压力间的关系有很大的影响。

增加水玻璃浓度，金属蚀除曲线上的最大值变得更为平坦，而且移向压力较高的一边。工作液浓度对金属蚀除量的影响见图6。

电用量和工具对被加工表面压力的关系，可以用当改变压力时加工过程的伏-安特性变化来表示。

图7为阳极-机械磨削时在两种不同压力下所得的伏安特性曲线。尤其是在精加工阶段，大的压力决定了大的电流和小的电压，在此电压时，发生电流突增，此时转化为电热

蝕除金屬。

工具壓力和電用量之間的關係，在實際生產中被用來檢查和調節加工過程。

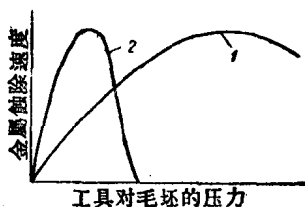


圖 6 當工作液濃度不同時金屬蝕除量和工具對工件壓力的關係：
1—高濃度；2—低濃度。

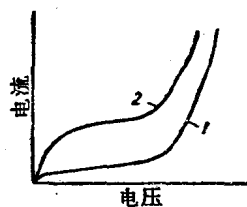


圖 7 加工過程的伏-安特性和工具對工件壓力的關係：
1—壓力小；2—壓力增大。

工具壓力對表面質量有很大影響，尤其是在精加工工序時。增大壓力至相當於最大金屬蝕除量時，表面光潔度有所提高。在較粗的加工用量時，增加工具壓力至超過最佳值，便引起靠近加工表面熱變化層深度的增加。

工具運動速度 工具相對於被加工表面的運動速度對陽極-機械加工過程的意義，並不低于電極間的單位壓力。

實踐表明，當保持電壓和電流密度為常值時，工具在5~25米/秒內的運動速度對加工過程的生產率並沒有什麼影響。但是工具的運動速度決定着從工作區域內帶出的熔化產物和熱量，也就影響到工件金屬表層的發熱程度和速度。因此，為了減少在該電用量時產生的金屬表面組織變化，必須提高工具運動速度。如圖8所示，增加速度會大大降低變化層的深度。

此外，在保持組織变化为常值时，提高工具速度可以依靠提高电用量强度而提高生产率。

实验表明，提高工具的运动速度从 3~18 米/秒，在很大程度上可以消除鑲有硬质合金刀片的切削刀具在阳极-机械刃磨时出现的网状裂纹。后来的研究表明，进一步提高工具速度到 40~60 米/秒更为有利。

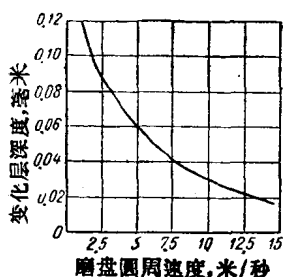


图8 磨盘圆周速度对变化层深度的影响。

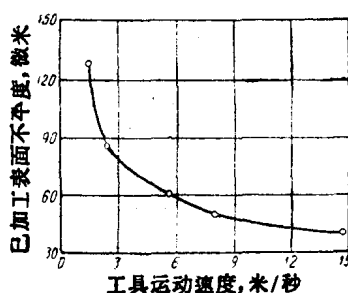


图9 磨盘速度对加工后表面光洁度的影响。

工具运动速度对加工后的表面光洁度的影响，从图 9 可以看出。增大速度可以提高表面光洁度，并且可达到 9 级。

除了工具运动速度以外，还有电流密度也对工具的抗磨损性能的提高有影响。当电流密度不大时，产生的热不多，工具磨损只决定于它和软的阳极薄膜的摩擦。当电流密度较大时，发出的热量很多，使得在工作区域内的工具发热而加速了它的磨损。

工 作 液

为了在阳极-机械加工时不断地蚀除金属，在运动的工具和被加工零件之间必须保持恒定的间隙。间隙有助于防止

电极金属直接接触和消除电弧放电的可能性。

使間隙大小保持恒定是靠在間隙中充以粘性液体或采用特殊的工具进給系統来达到的。

在探討阳极-机械加工法时，曾經把主要注意力集中在选择合适的工作液上，該工作液应该能消除电极金属直接接触的可能性。

为此目的，采用了特殊成分的电解液，它在电流的作用下能在阳极表面形成一层很粘的、有一定硬度的、不易溶解的鈍化膜。

实验結果表明，含有硅酸化合物的液体（如硅酸钠或硅酸钾或陶土悬浮液等）。具有能保证金属蚀除过程正常进行所必需的性能，它們是硅酸化合物的胶体溶液，它們的顆粒分子，具有負电荷。在电流作用下，硅酸化合物的胶体顆粒在阳极表面分解成半固体，形成一层有相当强度的薄膜。

实践证明，硅酸钠，通称为水玻璃，对加工生产率以及被加工表面的光洁度具有較好的效果。

制造工业用水玻璃（一般为 $n\text{SiO}_2 + \text{Na}_2\text{O} + m\text{H}_2\text{O}$ ）●的方法是把硅酸钠块放在压力鍋中溶化，使成为比重为 1.43~1.55 的溶液。模数 M 是水玻璃最重要的特性， M 用二氧化硅（ SiO_2 ）的克分子量和氧化钠（ Na_2O ）克分子量的比值来表示，可按下式計算：

$$M = \frac{A}{D} \cdot 1.032,$$

式中 A —— SiO_2 含量的百分比；

D —— Na_2O 含量的百分比；

● 原书中无 $n\text{SiO}_2$ ，恐有誤。——譯者