

金屬的阳极 机械加工

熊大達編譯



机械工业出版社

金 屬 的 陽 極

機 械 加 工

熊大鐘編譯



機械工業出版社

1959

出版者的話

本書敘述苏联先进的阳极机械加工法的意义、原理、直流电源、切割、刃磨、精加工、刮削、加工过程的自动调节以及保安技术；介绍阳极机械加工的各种重要设备和附件；说明改装现有设备以求进行阳极机械加工的合理方法；叙述各种阳极机械加工法的工艺要点和技术数据。

本書可供工厂技术人员、熟练工人以及其他从事阳极机械加工工作的人员参考。

NO. 1768

1959年3月第一版 1959年3月第一版第一次印刷

850×1168¹/₃₂ 字数 218 千字 印张 8¹/₄ 0,001—8852册

机械工业出版社（北京阜成门外百万庄）出版

机械工业出版社印刷厂印刷 新华书店发行

北京市书刊出版业营业许可出字第008号 定价 (11) 1.60元

序 言

我国的社会主义建设事业正在加速地进行，这就迫切地要求工业生产迎头赶上实际的需要。在工业中推广应用各种先进的加工方法，是提高劳动生产率和降低生产成本的重要手段之一。

金属的阳极机械加工是一种先进的加工方法，于1943年首先在苏联工业上应用成功，目前已经成为普遍采用的一种很有价值的加工方法。

我国自解放以来，有些工厂和机关分头学习、研究并应用了这一苏联先进经验，得到了一定的收获。但是，介绍阳极机械加工的中文书籍，迄今还是十分缺少的。这不能不成为在我国进一步推广和正确掌握阳极机械加工法的障碍。笔者有鉴于此，遂着手编译本书。

阳极机械加工和电火花加工是属于电蚀加工法的两种主要方法。前者是苏联工程师古雪夫创造的，后者是苏联学者和工程师拉札连柯夫妇创造的。他们都曾由于在这方面的卓越贡献。而得到斯大林奖金获得者的崇高荣誉。

大家知道，普通的切削加工是根据工件金属的机械破坏的原理，所以只有在刀具的硬度大于工件的硬度时才能实现。这样一来，当加工硬度和强度很高的材料，例如淬火钢、耐热钢、不锈钢、硬质合金等材料时，就会遇到很大的困难，不得不花费冗长的工时和大量的贵重刀具或磨料，而且有时甚至是不能实现的。然而，近代机械制造业中应用各种高强度、高硬度材料的份量是与日俱增的，因此就必须寻求新的加工的途径，以克服机械加工的困难。

应用阳极机械加工，则上述困难在许多情况下都可迎刃而解。阳极机械加工采用低压（低于30伏特）的直流电源和特殊的电解液（工作液），工件作阳极而工具作阴极，借电热作用、电化

学作用和机械作用而加工金属。此法适用于任何导电材料的加工，而与該材料的机械性能无关。所以在加工硬度和强度愈高的材料时，就愈能发挥阳极机械加工的优越性。此外，阳极机械加工时不必使用价昂的工具和磨料；可以在一个工序里借变换用电量的方法来完成粗、细、精的几步工作。再者，由于阳极机械加工是利用电能直接加工金属，所以阳极机械加工机床的有关部件所受的作用力比类似的切削机床的有关部件所受的作用力要小很多。于是设计阳极机械加工机床时，就可以节省一些结构金属和减轻一些重量。所有这些优点，都为阳极机械加工的发展开辟了广阔的前途。

本书前两章叙述阳极机械加工的意义和原理。直流电源的恰当与否，对于阳极机械加工的成效有很大的影响，第三章专门叙述直流电源。阳极机械切割和刃磨是最成熟的方法，在第四章和第五章用了比较大的篇幅来叙述。阳极机械精加工和插削是阳极机械加工法的新的发展方向，在第六章和第七章叙述。在第八章叙述机床加工过程的自动调节能提高生产率和改善加工质量，第九章扼要地叙述了阳极机械加工的保安技术。

本书中的缺点或错误在所难免，敬希读者批评指正，以便再版时参考。

熊大達 1958年于长春

目 次

序言	7
第一章 緒論	1
第二章 陽極機械加工的原理	4
1. 概述	4
2. 陽極機械加工時的電化學過程和電熱過程	5
3. 工作液的作用	11
4. 陽極機械加工的基本規律	15
第三章 陽極機械加工用的電源	21
1. 直流電源的特性對於陽極機械加工過程的影響	21
1. 陽極機械加工對於直流電源的要求(21) 2. 脈動電流的應用(23)	
2. 直流發電機	25
3. 引言(25) 4. HД型發電機(27) 5. 電焊發電機(28) 6. 3Д型發電機(30) 7. Г-73型發電機(32) 8. ГС-1000型發電機(33)	
3. 機械整流器	35
9. 引言(35) 10. 機械整流器的作用原理(36) 11. 機械整流器的構造(37) 12. 機械整流器的接電(43) 13. 機械整流器的調節及操作(44)	
4. 其他直流電源	45
14. 半導體整流器(45) 15. 電子管整流器(47) 16. 交流電流的應用(47)	
5. 陽極機械加工機床的直流電路	48
17. 電路電阻的影響(48) 18. 直流電的布線(49)	
第四章 陽極機械切割	50
1. 概述	50
1. 引言(50) 2. 電用量及工作液(53) 3. 工具-電極(54) 4. 電極間隙(58)	
2. 陽極機械切割機床	59
5. 引言(59) 6. АМО-13型機床(71) 7. АМО-82型機床(73)	

8. 4821型机床(76)	9. AP-300型机床(79)	10. 縱切削机床(83)
11. 切帶式机床(96)	12. AMO-47型机床(89)	
3. 阳极机械切削工艺		91
13. 工具-电极的制造和使用(92)	14. 工作液的供給(98)	15. 切
制机床的操作(102)	16. 陽極机械切削在工業上的应用(106)	
17. 陽極机械切削工段的规划(111)		
第五章 陽極机械刃磨		113
1. 概述		113
1. 各种刃磨方法(113)	2. 陽極机械刃磨法的特点(117)	
2. 刃磨机床与夹具		118
3. 引言(118)	4. AMO-23型机床(120)	5. 4352型机床(123)
6. AM311型机床(126)	7. 刃磨机床的夹具(133)	
3. 刀具的刃磨工艺		143
8. 磨盤(143)	9. 刃磨切刀(150)	10. 刃磨多刃刀具(153)
11. 刃磨成形刀具(189)	12. 陽極机械刃磨工段的规划(195)	
第六章 陽極机械精加工		197
1. 阳极机械精加工的特点		197
1. 引言(197)	2. 陽極机械精加工过程的本质(199)	
2. 阳极机械精加工的設備		201
3. AM4-1型机床(201)	4. 陽極机械內圓配磨机床(207)	
5. 陽極机械外圓飾磨机床(211)		
3. 阳极机械精加工工艺		213
6. 工作液(213)	7. 內圓面的陽極机械配磨(216)	8. 外圓面
的陽極机械飾磨(218)		
第七章 陽極机械插削		222
1. 概述		222
2. 插削設備和工具		225
3. 插削工艺		232
第八章 陽極机械加工的自動調節		239
1. 阳极机械机床自动調節系統的作用原理		239
2. 阳极机械机床的自动調節器		242

1. 螺絲管調節器(242)	2. 剛性傳動調節器(243)	3. 電極壓力調節器(248)	
3. 自動開關和調換加工用量			250
4. 機床的自動開關(250)	5. 自動調換加工用量的裝置(251)		
4. 自動調節機床的實例			256
6. 4821型陽極機械切割機床(256)	7. 3B-19型陽極機械刃磨銑刀頭的半自動機床(258)		
第九章 陽極機械加工的保安技術			265
參考文獻			268

第一章 緒 論^①、〔6〕^②

金属的阳极机械加工是苏联工程师古雪夫在1943年发明的，它是金属电蚀加工法之一，具有一些特点及广泛的用途。

金属电蚀加工法的基本特点是借电能直接在工件被加工表面上的作用而进行金属的蚀除。

借电能蚀除金属的作用，在使金属加热至其熔点之时或在电化学溶解（阳极）过程里就可以表现出来。在这两种情况下，金属的蚀除都不需要机械力的作用。因此，利用电能加工金属时，与金属的机械性能无关。

金属电蚀加工法的这一特点，可以扩大近代机械制造工艺和设计的可能性。

应用电能加工金属的最初的工作，是利用电化学过程而进行的。1911年初次应用金属的电化学抛光和其他电化学表面加工法（锈皮的酸洗、刻写工作等）。

电化学加工最近的发展是在1928~1932年研究出了电化学钻孔法，金属表面的电化学研削及研磨法，同时还研究出了用阳极溶解法在金属内制造成形孔穴的方法等。

这些方法的特点是，可以与同类的机械加工操作无甚差别地强烈地蚀除金属而进行比较精确的加工，同时，既不改变被加工金属的组织又不改变其机械性能。

虽然这些方法之中有的已在生产中应用（折断刀具——钻、丝锥、扩孔钻的电化学挖取，针的制造等），但是应该指出，它

① 括号中的数字指本章参考文献编号（见书后“参考文献”目录）。

們在工業中應用的情況是不能令人滿意的。其原因不僅由於這些方法的迫切性及其完備的程度在目前尚感不足，而且也由於出現了硬質合金，打開了加工高機械性能的淬火鋼的新的可能性。

作為電蝕加工法中兩種主要方法的電火花加工和陽極機械加工，幾乎是同時在1943年發明的，而首先應用於加工硬質合金工具。

這兩種加工方法，不論是在工藝的探討及設備的設計方面，或者是在工業中全面推廣運用方面，都充分成功地得到了發展。現在已經研究出了一系列陽極機械加工的方法：直徑300公厘以下的工件的切割、各種硬質合金刀具的刃磨、工件的精加工、拉絲模及拉延模的磨削及研磨、沖模輪廓的製造等。電火花加工應用於：孔穴及成形孔的製造、折斷刀具的挖取、鑽小直徑的孔（約0.1公厘）、零件及工具工作表面的強化以及刻寫工作等。

與工藝過程的探討同時，也進行了各種電火花加工和陽極機械加工的工業用機床的設計的探討。

當然，這些方法的發展不可能孤立地進行。結果出現了一系列其他種類的電加工法，其中突出的是採用低電壓並應用液體電介質進行刃磨及切割的方法。

電火花機床的自動進給調節器的運用，在很大程度上促進了陽極機械加工設備的設計的愈趨完善。

另一方面，陽極機械加工的成就大大地刺激了電化學加工法的發展，反過來又充實了陽極機械加工，特別是陽極機械精加工。

最近幾年來，電蝕加工增添了一系列新穎而又十分有效的方法，致使它在技術上的意義大為增長。電蝕加工的研究及力求臻於完善的工作仍在繼續進行，其目的是提高效率及擴大應用範圍。

陽極機械加工的工藝過程、設備質量以及技術經濟指標，隨著加工方法的發展而改變着。因此，本書中敘述的數據只能認為

是此法在現阶段的成就。

任何金属加工方法的主要技术-經濟指标就是生产率、表面质量和加工精度。对于阳极机械加工和电火花加工來說，这些指标是互相紧密联系着的。其中一项指标有所改变时，就会使其他的指标发生相应的变化。例如，采取保証获得高生产率的加工用量时，已加工表面的光洁度和加工精度就降低。为了获得較高的表面光洁度，便只能采取生产率比較低的加工用量。高的加工精度也只有在采用生产率低的加工用量时才能获得。

但是，阳极机械加工可以在一个工序里借变换电用量的办法来完成粗、細、精的工作（电火花加工也是如此），只要按动电鈕即可。于是就有可能兼顧生产率和加工质量。关于这一点，以后还要詳細談到。

表 1 和表 2 中列举現阶段用阳极机械加工和电火花加工时，可能达到的生产率和表面光洁度的指标。这些指标并不是十分精确和全面的，但能提供一個輪廓性的比較概念。

表 1 陽極机械加工和电火花加工所能達到的生產率

工 种	生产率举例 (公厘 ³ /分)	备 注
阳极机械切割.....	达 6000	—
阳极机械刃磨.....	达 300	加工硬質合金
用空心电极进行阳极机械插削.....	达 600	—
用实心电极进行深度不大的阳极机械插削.....	达 150	—
电火花穿孔（采取强用量时）.....	达 1200	采用特殊形式的 脉冲放电的机床
	达 300	采用普通机床
电火花刃磨.....	达 115	加工硬質合金
电火花磨削.....	达 850	—

表 2 陽極機械加工和電火花加工所能達到的表面光潔度

工 种	光潔度等級 (ГОСТ 2789-51)													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
陽極機械切割.....														
陽極機械刃磨(粗、細、精).....														
陽極機械精加工.....														
陽極機械插削.....														
電火花穿孔.....														
電火花切割.....														
電火花磨削.....														
電火花強化.....														

第二章 · 陽極機械加工的原理(1)、(2)、(10)

1. 概 述

陽極機械加工時，工件和工具與直流電源接通，工件接陽極而工具接陰極。在工作時，工具被特殊的液體澆淋，並沿工件表面運動，俾使工具和工件之間的空隙經常被液體薄層充滿。陽極機械加工的簡圖示如圖 1。

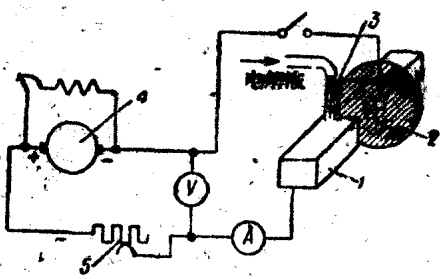


圖 1 金屬陽極機械加工的原理圖：
1—工件（陽極）；2—工具（陰極）；
3—工作液；4—電源；5—可變電阻器。

件表面運動，俾使工具和工件之間的空隙經常被液體薄層充滿。陽極機械加工的簡圖示如圖 1。

隨着電用量的不同，發生不同的金屬蝕除過程。電壓不大時，主要是發生金屬的電化學溶解過程，結果得到質量最高的加

工表面。

电压較高和电流較大时則发展为电热作用，加工表面的金属熔化，这时，金属蚀除速度較之电化学溶解时显著提高。

这样一來，变更电用量就能調整阳极机械加工的生产率和加工质量。

为了对阳极机械加工时金属蚀除的物理特性有較明确的認識起見，必須研究作为阳极机械加工法的基础的电化学作用和电热作用。

2. 阳极机械加工时的电化过程电热过程

如果浸在电解液中的导体（电极）与电源接通，則在流經电解液的电流的作用下，发生金属的电化学（阳极）溶解。也就是說，阳极在电流的作用下溶解，而在阴极則析出氢或金属（例如在电镀槽中），依电用量和电解液的成分而定。

金属阳极溶解的速度和单位時間內溶解层的厚度，根据阳极表面的电流密度而定，这电流密度通常按每平方公分多少安培来計量。当电流密度为 1 安培/公分²时，铁的阳极溶解速度是 0.02 公厘/分。

然而，用增加电流密度的方法来提高蚀除金属的速度，实际上要受到与阳极溶解时伴生的若干副作用的限制。首先必須指出，阳极表面被它溶解时所形成的盐层所复盖。电流密度大的时候，这盐层大量地产生，就来不及溶解于液体中。这种现象称为机械鈍化。由于盐层具有很大的电阻，因此就不可能繼續提高电流密度。

为了排除机械鈍化，可以采用許多方法。其中最主要的是利用液体强烈地冲刷阳极表面的方法，使盐层溶解；或者利用机械的方法，把阳极加工部位的盐层刮除。

第一种方法是电化学生孔所用的方法。这种生孔方法的要点是应用一套能使加工部位产生强烈的阳极溶解的特殊管系装置。

(图2)，包括限制阳极加工部位的絕緣外管和金属內管——阴极。

这种方法是依靠电解液的强烈液流来消除电极的机械鈍化，并使电流密度得以显著提高（和电镀中的一般用量比較），故能确保金属溶解过程的速度以及生产率。因此，电化学钻孔时金属的蚀除速度达到接近金属机械加工的指标（当电流密度为 $100 \sim 150$ 安培/公分² 时，进給速度約为 $2 \sim 3$ 公厘/分）。

第二种从阳极被加工部位清除盐层的方法，如图3所示。

圆柱形的阳极靠近阴极旋轉。阳极与阴极間的空隙被电解液

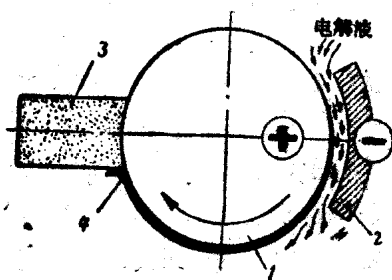


图3 利用机械方法清除溶解产物的原理图：

1—工件；2—阴极；3—刮除陽極膜的刮刀；4—陽極膜。

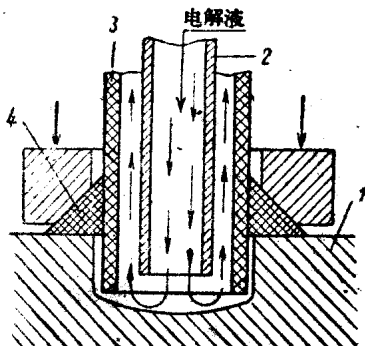


图2 电化学钻孔的原理图
(用电解液流柱清除溶解产物)：
1—工件；2—阴极；3—絕緣套管；
4—橡皮襯套。

充滿。用刮刀刮除因电流作用而在阳极表面产生的盐层。如果采用容易在阳极表面形成不溶性盐膜的电解液，便能进行高表面光洁度的精加工，这将詳述于后。

当电化学溶解时，由于发生机械鈍化而复盖在阳极上的盐膜的导电率和机械强度对于加工过程有

重大的意义。盐膜的这些性质依电解液的成分和电用量而定。

用影响盐膜性质的方法，可以对加工过程做某些調整。特別

是应用含有胶体（如水玻璃溶液）的电解液时，可以提高盐膜的电阻和机械强度。电解液（工作液）詳述于下节。

虽然电化学溶解也可以应用較大的电流密度，但是它的生产率是相当低的。所以这种方法仅在难于施用切削加工的坚硬金属和要求高光洁度而加工余量很小的场合，用以代替机械加工。

因此，电化学溶解的合理应用，照例是为了精加工。

当阳极机械加工的电用量达到了主要是由于电热作用的结果使金属熔化而蚀除的时候，生产率就显著提高了。

利用电热作用来加工金属并不是新的方法。很久以前就有利用通电的圆锯或用电弧来切割金属的方法等。

不过这些方法因为具有某些重大的缺点而没有得到推广。由于在这种情况下，金属的熔化是靠电流发生的热，而所发生的热是沿着整个加工表面分散的，故耗費在对母体金属加热上的非生产性的热量很多，因此电能的损失很大，并且表面质量也不好（有毛刺等）。结果还产生一层相当厚的組織改变了的金属层，这尤其是在碳鋼和合金鋼，随后就难于进行机械加工了。

因此必須找出能够使金属表层熔化而同时又能避免金属因加热而改变机械性能的条件。也必須研究，在除去加工余量的时候，怎样才能得到工件的几何形状和所要求的精度。

如果在短促的时间內供給金属表层以大量的热量，就可以使金属表层熔化而其余部分不受热。那时，热量来不及在短促的时间內傳到金属内部，而集中在表层，使表层金属受热熔化。如果把熔化了了的金属立刻从加工表面除去并停止加热，則金属内部就不再受热，实际上它的溫度保持不变。加热时间愈短，加入表层中的热量愈大，以及金属的导热率和比热愈小，則实现表面熔化而不使金属内部受热便愈容易。

显然，我們可以使为了每种金属发生这样的熔化而选择适当的加热速度（单位时间內加給表面的热量）。

这样看来，金属表面熔化的条件是：短促而强烈地对表面加

热，并且在除去熔化的金属后，立刻停止加热。这也就是强烈的脉冲加热。

当每一次脉冲加热所熔化的金属被除去之后，在加工表面上便留下一个小坑，毁坏了表面的正确形状。小坑的尺寸与整个加工面比较起来愈小，则加工面的毁坏就愈小，而其几何形状就愈正确。

这样看来，在与加工面的尺寸无法比拟地小的部位上，用熔化的方法蚀除金属，是获得加工面所需质量的条件。

变更脉冲的参数（能量、时间和频率），可以调整蚀除金属的总量和表面质量。

现在有两种在电流的作用下产生脉冲熔化的基本方法。

一种方法是用特殊的脉冲电源所产生的脉冲电流来使金属熔化。具有周期放电的电容器电路（电火花加工），或接入可调节的电流断续器的电路，都可以作为这样的脉冲电源。

阳极机械加工根据另一种方法，即利用工具沿加工表面运动，在工具与加工表面呈“网状接触”的条件下，得到脉冲熔化。

接近加工表面的工具表面，可以和加工表面的某些凸出的点接触。由于这样的微小接触（网状接触），使电流集中在数目不多的所谓“接触桥”中，这些接触桥便因高电流密度而熔化，甚至因产生过热金属蒸气而“爆炸”。

如果金属没有直接接触，在两电极的某些较凸出的点之间的空隙将被放电所击穿，因而加工表面较凸出的点也能发生类似的脉冲熔化。加工表面的某些点的金属脉冲熔化的情形，如图4所示。

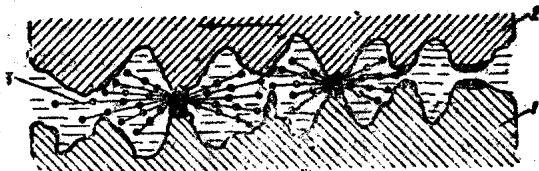


图4 脉冲熔化的情形：

1—加工表面；2—工具；3—充满工作液的空隙。

照这个图看来,当电极不动时,也可以得到脉冲熔化,譬如,接触熔焊法就是这样。但是工具的运动能促成较短促和较明显的脉冲,同时也影响到表面加工部位金属熔化的数量。这时,在加工表面上,整个脉冲电流是集中在一点;可是在运动的工具上,同样大小的脉冲电流却分散到各点。这样一来,工具表面每点所加的热当然比工件表面每点所加的热少。

工具运动速度愈大,则其耗损愈小;这已被实验数据所证实(图5)。

当工具运动时,脉冲的集中性及短促性,表现在工件表面金属的热影响层深度随工具运动速度的增加而减小(图6)。这是因为电流脉冲的时间愈短则热量得以传到金属内部去的深度就愈小。

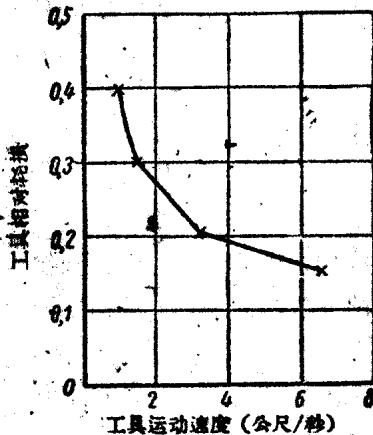


图5 工具运动速度对其耗损的影响。

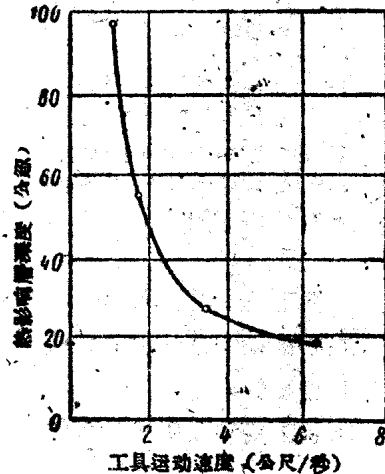


图6 工具运动速度对加工表面热影响层深度的影响。

在加工表面上有许多点同时进行加工过程,是上述脉冲熔化的主要特点;这已经被专门进行的实验证明了。实验时;工件是由两个彼此绝缘的部分组成,通过每一部分的电流都用示波器