

國外電加工

第一輯

上海科学技术情报研究所

毛主席语录

备战、备荒、为人民。

抓革命，促生产，促工作，促战备。

自力更生，艰苦奋斗，破除迷信，解放思想。

鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义。

目 录

1. 电解加工的进展	(1)
2. 电化学加工的设备	(12)
3. 导电工件电解加工的方法和设备	(17)
4. 电解加工的精度和最佳工作条件	(24)
5. 涡轮叶片叶身的精加工工序对其持久强度 和表面层质量的影响	(33)
6. 采用充气电解液的电解加工工艺	(36)
7. 添加含氧酸盐改进硝酸钠电解液性能	(45)
8. 电解加工在零件加工中的应用	(48)
9. 电腐蚀加工和电化学加工在航空零件制造上的应用	(55)
10. 燃气涡轮导流片冷却孔的电化学打孔	(61)
11. 钛合金的电解加工	(63)
12. 协和号飞机利用电化学加工的零件	(71)
13. 电解成形磨削	(76)
14. 电化学磨削最佳化的方法	(83)

电 解 加 工 的 进 展

一、引 言

作为阴极的工具电极（以下称电极）和作为阳极的被加工工件相对之间形成有狭窄的间隙，将食盐水等电解液自电极内部喷向被加工工件的表面，加工同电极形状类似的孔。对于这类电解加工方法，日本是 1937 年秋开始发展的，三菱电机公司公开了日本国产第一台电解加工机。以后几经曲折，随着加工技术的发展，目前与电火花加工方法一起作为最新的金属加工方法，广泛地用于机械加工方面。

本文将对电解加工方法的发展过程及其发展进行介绍。

二、充高压气体方式的研究

电解加工方法的主要特点：1. 无论在理论上或者实际加工中，完全不消耗电极；2. 能够用比较高的加工速度加工复杂形状。而其缺点则有如下两点：1. 加工精度比以往的机械加工方法差；2. 电极的制作比较困难。

同以往的这类加工方法（如电火花加工和仿形切削加工）比较，上述两个特点极有吸引力，在当时开始研究的时候，电解加工方法就是作为一种打破过去加工金属模具的一般方法而出现的，这种新技术得到人们极大重视。但是，由于有上述两个缺点，这种加工对于制作便宜的金属模具来说，就是有上述两个特点也不能补偿这种致命的缺陷。因此在一段时间里，这种加工完全不能适应金属模具的加工。

为了解决这个问题，就出现了一种称为充高压气体的方法，这种方法既能保留上述两个特点，又能有效地解决上述两个缺点。这里就介绍其概要，并通过这种方式的应用，说明电解加工方法能够应用的有关情况。

1. 充高压气体的效果

(1) 提高底面加工精度

决定电解加工的加工精度是以电极间隙值 g 为基础的，由下式表示：

$$g = \frac{E}{\rho \cdot J} \text{ (厘米)} \quad (1)$$

其中， E —极间电压（伏）， J —电流密度（安/厘米²）， ρ —表面电阻率（欧姆-厘米）。

表面电阻率 ρ 在单一采用电解液加工时，可以用下式求得：

$$\rho = \rho_0 + 18(Q_H/Q_0) \text{ (欧姆-厘米)} \quad (2)$$

其中， ρ_0 —单用电解液的电阻率（欧姆-厘米）， Q_H —氢气发生量（升/分）， Q_0 —电解液流量。

底面加工的精度有平面度（或相对于电极形状的复制性）和表面状态两方面的问题。一般应用食盐水作电解液加工的表面，比较容易产生高低不平的阶梯状和放射状的条纹。并且，即

使采用平板电极进行加工,也容易形成斜面。但是,如果在电解液中充入碳酸气或氮气之类非爆炸性的高压气体,这些问题几乎就可以完全得到解决。图1为采用充高压气体方式的电解加工装置概略图,图2为采用直径50毫米的平板电极加工的孔的底面平面度的测定结果比较。

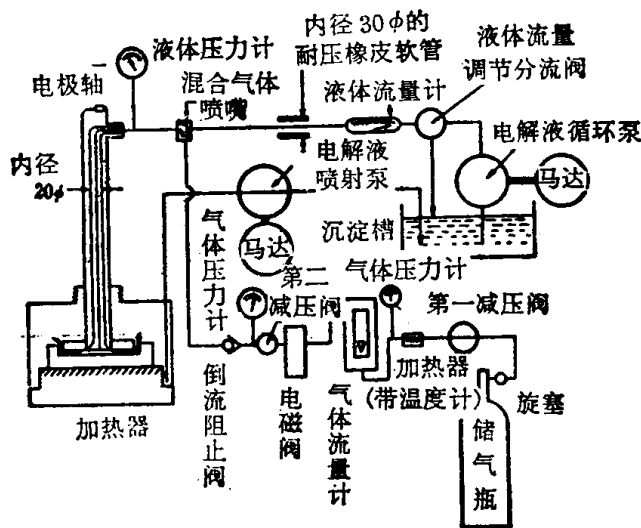


图1 充高压气体方式的电解加工装置

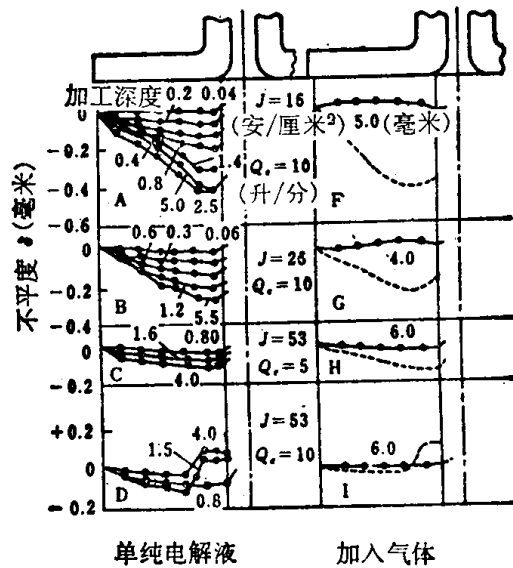
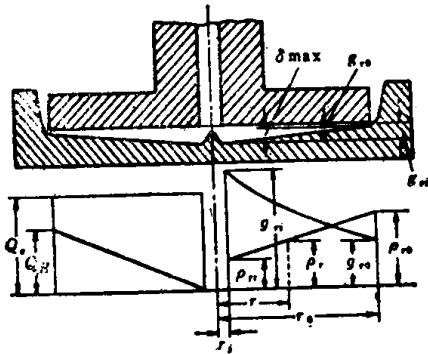


图2 平面度的比较

根据图2中记录的条件,将孔加工到各种不同的深度,然后以加工孔的外周端为零点,测定圆周方向上底面深度的变化,将加工深度表示为参变量。图的左面是单纯用电解液加工的情况,右面是充气加工的情况。从图中可以看出,仅用电解液加工时,孔的表面必然会形成倾斜面;在一定条件下就会产生阶梯状。但是,一旦充入了气体,就是在原有的情况下也可以获得近乎水平的平面。



生上述阶梯状现象。

在仅用电解液的时候,电极间所看到的空泡情况,产生放射状条纹是比较容易想象的。而在充气加工的时候,肉眼看到没有缺陷的均匀流动,若用闪频观测器观察瞬间(25微秒)情况,就可以看出气体由于膨胀而产生激烈的搅动,因此可理解为局部流动状态的差别小,故不产生放射状条纹和阶梯状痕迹。图4是结构碳钢(S15C)在同一加工条件下,单用电解液和充气两种情况与液流垂直方向上测定的表面光洁度的比较。由于充气以后不会产生放射状条纹,就能获得非常好的加工面。

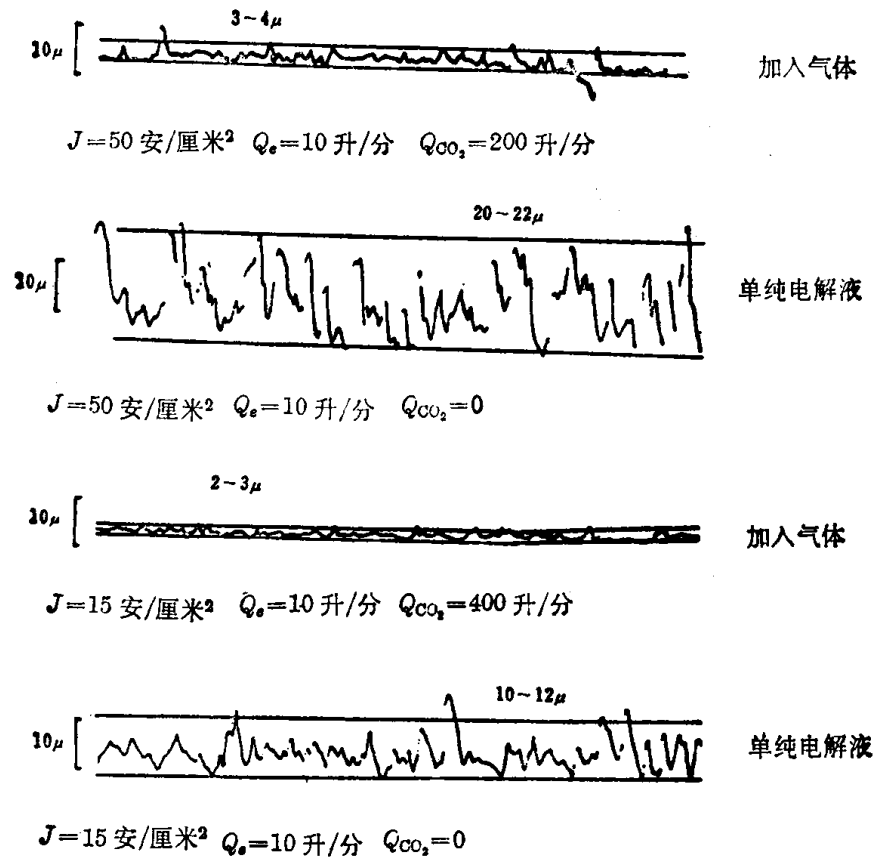


图4 表面光洁度的比较

(2) 提高侧面加工的精度

由于充气可使加工孔的底面加工精度显著提高,同样,对于加工孔的侧面采用这种方法也可获得良好的效果。

目前,贯通孔加工一般常采用的方法如图5那样的侧面绝缘的电极形状,被加工孔的过切削量为 C_3 。

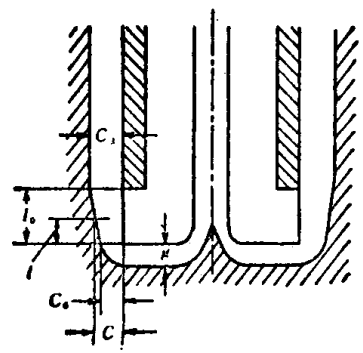


图5 过切削的说明

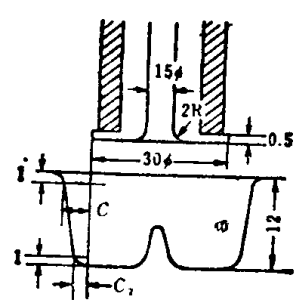


图6 测定过切削用的电极

假定电流仅在电极的底面及侧面与对面的被加工工件之间流动，又假定电极底面和侧面间隙的表面电阻率 ρ 都是均匀的。 C_3 可由下式求得：

$$C_3 = g \sqrt{1 + 2 \cdot (l_0 / g)} \quad (\text{厘米}) \tag{4}$$

其中， g —电极底面间隙(厘米)， l_0 —电极侧面的台阶宽度(厘米)。

此式与实验结果比较一致，因此现已成为加工贯通孔用电极的基本设计公式。采用图 6 所示的电极，在仅用电解液和充气两种方式下进行加工，其测得的过切削量比较如图 7 所示。由此可见，由于充气的缘故，其过切削的绝对量相对于加工条件变动的变化率是变小了。

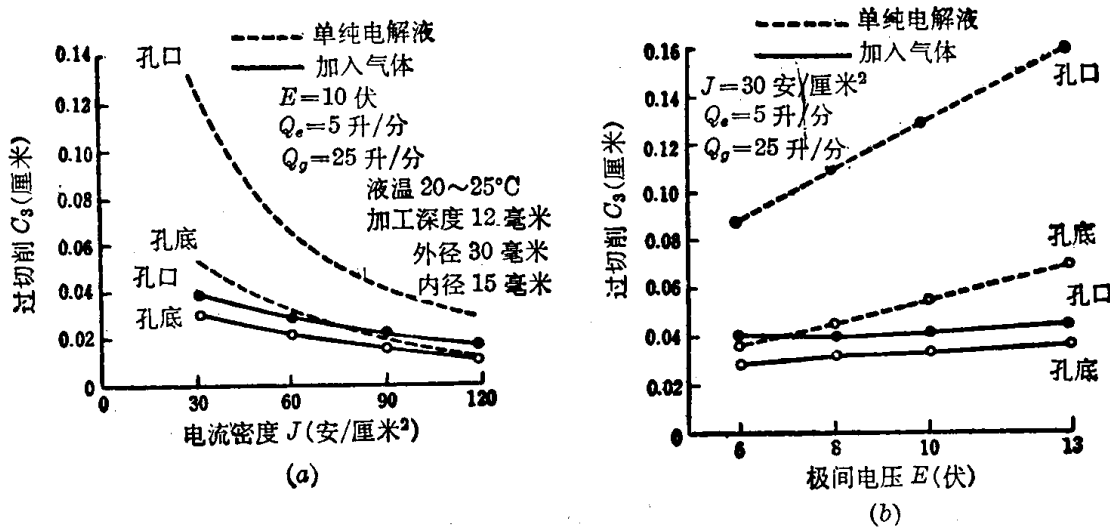


图 7 加工条件与过切削的关系

如上所述过切削量可以作为电极底面间隙的函数而求得。因此可以这样认为，若充气能够改善底面状态的话，受其影响的侧面精度自然也就提高了，并且由于充气，侧面的光洁度也能改善，并具有减少反复加工造成尺寸波动等许多优点。

2. 贯通孔加工举例

下面以贯通孔零件的加工为例来说明采用充高压气体方式的最显著的优点。

(1) 框格冲压模内孔的加工

图 8 为试验加工的例子，加工材料为 SKD-11，加工电流为 910 安，加工电压为 8 伏，加工时间为 6.6 分钟，电极尺寸则在假定的加工条件下，由式 (4) 求得过切削量，再按图纸的尺寸，整个四周均匀地减去这个量而求得，如图 9a 所示。实际上，在应用这样制作的电极来加工零件以前，要有 2~3 次试行加工，以期进行修正，直到获得能满足更高加工精度要求的电极形状为止。图 9b 为加工孔的尺寸测定结果的例子。在这样的加工条件下，过切削量大体均为 0.2 毫米，并且以同一条件进行试验加工得出，在同一处测定的结果，其波动约为 ± 0.075 毫米。

对于加工这样的薄壁沟状零件，最成问题的是电极的强度。钎焊的薄壁结构管壁由于液压的关系而产生膨胀，从而引起变形，或者发生振动。这就容易形成短路和降低加工精度。加工这类薄壁零件用的电极是采用特殊的方法切削而成的，切缝等还要求象应用电火花加工的那样牢固。并且，如果仅仅增加壁的厚度就可以使电极强度显著提高，那么通过采用充气的方法减小过切削量，这自然也是一种增强电极的好措施。

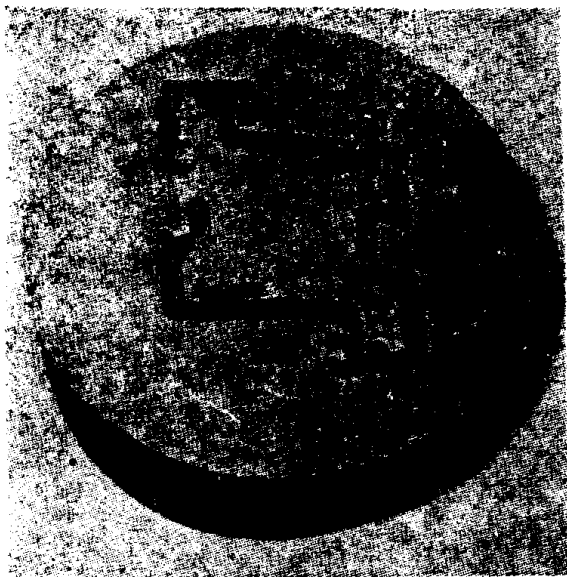


图8 挤压模内孔加工例子

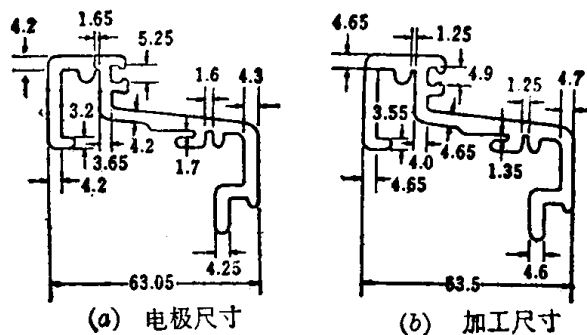


图9 挤压膜内孔加工精度

(2) 阀座孔的加工

图10为一种大批量生产零件的加工例子,加工材料为SS41,加工电流为1800安,加工电压为9伏,加工时间为4分钟。以往都是用数控铣床加工的,但采用电解加工后,可以有效地利用其快速的性能,从而缩短了许多加工时间。图11为电极尺寸和加工后零件尺寸的测定位置。

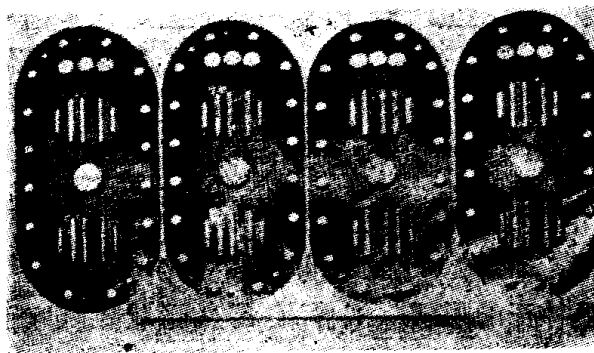


图10 阀座孔加工例子

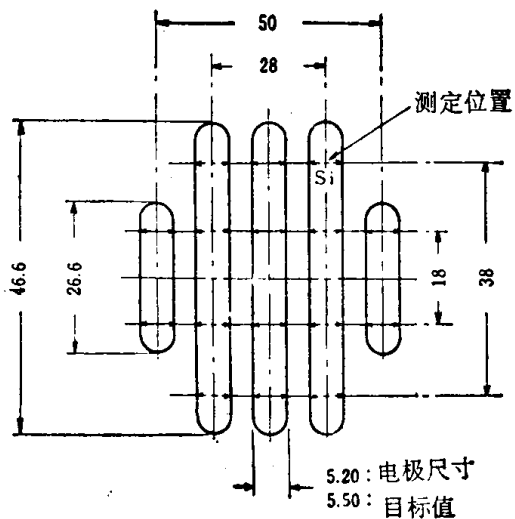


图11 阀座加工用电极尺寸和加工孔的测定位置

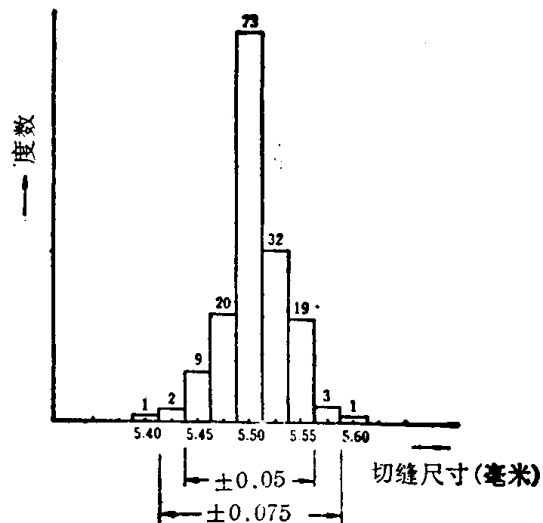


图12 阀座切缝尺寸的统计图

对已加工好的五个零件共160个位置的切缝入口宽度 S_1 测定的结果汇总,用统计图表示于图12。从图中可以看出,精度范围在 ± 0.05 毫米以外的零件占总数的4.4%,精度范围在

± 0.075 毫米以外的零件占总数的 1.37%。从这个结果可以认为,在二维的平面穿孔加工中,反复加工的精度波动为 $\pm 0.05 \sim 0.075$ 毫米。

如上所述,电解加工最适用的范围是过去采用铣床和插床之类要在比较长的时间加工大批量生产的零件,或者加工冲模的内孔、冒口等方面。可以预料,今后将会更广泛地采用。

三、涡轮叶片的加工

目前,世界上对电解加工应用的领域引人注目和积极推广的是加工涡轮叶片。

过去,这类加工主要采用仿形切削或精密铸造,然后用手工进行精整加工。近来对叶片材料的高温强度、耐腐蚀性能的要求越来越高,因此材料的切削性能就越来越差,结果使叶片加工的时间更长,从而要求有新的加工技术来解决。

1. 成形加工的方式及其应用

图 13 为涡轮叶片采用电解加工的方法。

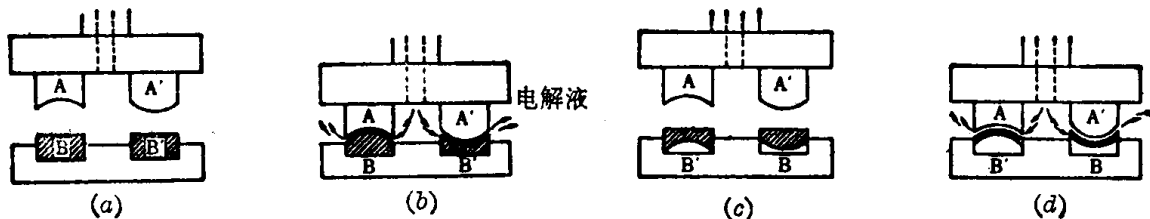


图 13 涡轮叶片加工方法

A—叶背用电极; A'—叶盆用电极; B、B'—工件

现以图 13 介绍成形加工的工艺过程:

(1) 安装在电极支架左右的分别是加工叶背和叶盆用的 A、A' 电极, 它的尺寸要符合零件的尺寸, 所以制成预先已补正的形状。工件 B、B' 的形状要对应于叶片制成近似长方形的形状, 并固定在与电极对称位置的夹具内。

(2) 加工时的电解液从加工叶背和叶盆的两电极中间喷出。这种情况下, 夹具的结构必须能使电解液通过加工中的电极间隙, 向外部流出, 这种方式称为侧流法。电极按一定的速度下降, 一旦加工达到所规定的尺寸, 通过安装在外部的限位开关即可使加工停止。这样, 即可得到同电极相反形状的工件。

(3) 电极和夹具照旧固定, 取出一边已加工好的工件, 将未加工的一面翻到上面, 并且左右交换位置再固定在夹具内。

(4) 进而再同上述第二条一样进行加工, 使工件加工成叶盆和叶背的形状, 叶片的整个加工即完成了。

电解加工叶片比切削加工叶片所需的工时大大缩短, 并能获得非常优良的加工表面(13Cr 不锈钢为 $1 \sim 3 \mu H_{\max}$)。工件的材料如果为耐热合金等难切削的材料, 工时的降低率则更大些。

象涡轮叶片这类小尺寸的工件(叶片的投影面积达 50 厘米²), 采用电解加工方法的尺寸精度, 相对于图纸尺寸大约为 ± 0.05 毫米(叶片的最大厚度, 出口的厚度, 叶片的歪斜)。这对于目前一般使用的燃气涡轮和蒸汽涡轮都能充分满足要求。图 14 是叶片某一断面测定的尺

寸和测定模板的比较图,图15是测定30个叶片所得最大厚度的波动图。由图14可以看出,叶片和模板之间间隙的最大值为0.07毫米。实际上对于规定断面的放入或取出是成问题的,因此断面精度应限制在 ± 0.05 毫米以内(此工件的容许值为 ± 0.1 毫米),参见图15,最大厚度的波动也应相对于图纸尺寸,大体上规定在 ± 0.05 毫米以内(容许值为 ± 0.15 毫米)。

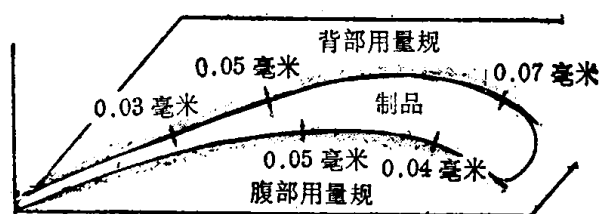


图14 叶剖面精度

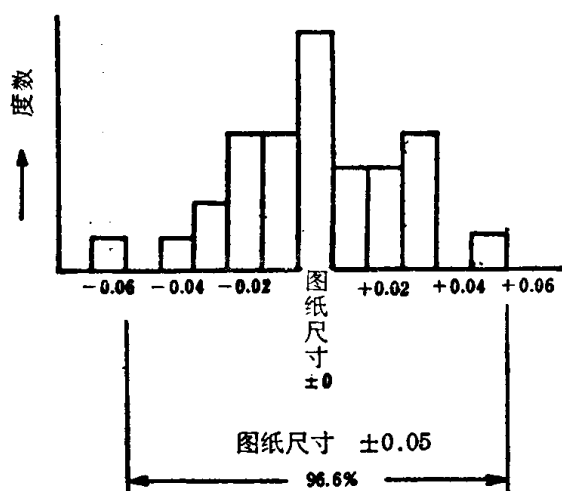


图15 叶片最大厚度的波动

至于在涡轮的其它方面的应用,还有叶轮的加工。从加工式样来看,这仍属上述零件加工的范围。由于精度在 $\pm 0.05 \sim 0.75$ 毫米,因此电解加工还不能用于最终的精加工,但采用不锈钢之类的材料,即使在加工前使用电解加工,也能大大地加快加工速度,使加工时间大大缩短。

因此,除了应用于涡轮叶片成形加工以外,采用电解加工的情况还比较多。可以相信在不久的将来,涡轮制造工厂的机床将有一半为电解加工机或应用电解的机械所代替。

2. 18-8 不锈钢的加工技术^[4]

在涡轮叶片所用的材料中,18-8 不锈钢的加工由于加工条件的影响有明显的不同。但使用特殊的电解液,即可不受加工条件的影响,并且一般可以获得良好的表面光洁度。下面就这种加工方式加以介绍。

使用食盐水电解液加工 18-8 不锈钢时,加工表面由于电解液温度和电流密度的变化有以下四种状态:

- (1) 镜面: 整个表面为 $1\mu H_{\max}$ 以下有光泽的镜面。
- (2) 共存面: 在电解液入口附近为镜面,四周部分为 $10\mu H_{\max}$ 以上的粗糙面。
- (3) 半镜面: 发生在镜面的加工条件中,电流密度低的附近,表面光洁度差不多都在 $3 \sim 10\mu H_{\max}$ 以内,成粗糙面的状态。
- (4) 粗糙面: 整个表面都在 $10\mu H_{\max}$ 以上。

图16是采用加工面积为20厘米²的矩形电极,以15%浓度的食盐水作电解液产生这些面的状况。从此图可以看出,获得镜面的加工条件被限定在显示镜面区的范围内。如果进一步减低食盐水的浓度和电解液的流量,这个范围将更加狭小。

在18-8 不锈钢的电解加工中,为了获得优良的加工面,必须使电解液的温度保持在30℃以下,并且还需以规定的电流密度进行加工,可以说是工业上非常严格的约束。

但是采用在15%的食盐水中添加5%的硝酸钠溶液的电解液,在前述相同的加工条件下对加工面所发生的状况如图17所示,镜面范围的电解液温度可上升到70℃,在加工中不发生电火花的电流密度极限最高值范围也扩大了。

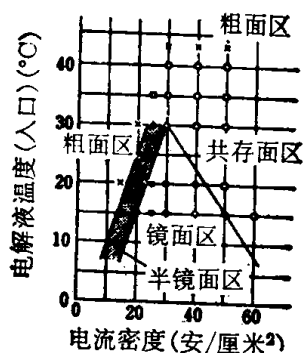


图 16 食盐水作电解液的加工面分布情况

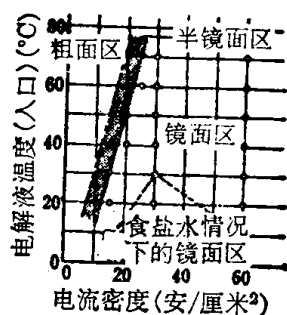


图 17 添加硝酸钠时的加工面分布情况

电流密度的最低限度同仅用食盐水比较多少可以有所改善, 限度为 20 安/厘米², 在这以下为粗糙面。但是, 共存面用这方法则完全不能确认, 结合能扩大镜面的范围, 就能了解为这种方式的一大特点。

通过以上的实验可认为, 形成镜面和粗糙面, 其加工后电解液的分析结果及加工速度都是不相同的。因此可以确定成分中的 Fe、Cr 及 Ni 分离出的原子价亦不相同。即 (1) 成镜面时, 以 Fe^{+3} 、 Cr^{+6} 和 Ni^{+3} 的形式分离出; (2) 成粗糙面时, 以 Fe^{+2} 、 Cr^{+3} 和 Ni^{+2} 的形式分离出。

至于添加硝酸钠扩大镜面范围的原因, 可能是由于加工中的不锈钢表面呈现近于纯态生成阻抗分极, 因此可以阻止由二价铁的分离, 从而只分离出三价铁来。

这种加工方式不限于 18-8 不锈钢, 即使耐热合金高镍合金之类也有同样的效果, 与涡轮叶片广泛采用电解加工一样, 目前正在提高。

四、锻模的加工

开始研究电解加工的时候, 着重应用于锻模加工。但是, 实际上在锻模加工中, 存在着加工精度特别差, 电极的制作困难等许多问题。因此, 改变了使用电解加工制作锻模的想法。同样在其它方面电解加工也渡过了一度的困难时期。只是在确立了电解电极的设计方法, 和试制成低耗的电火花加工机后, 电解加工制造锻模才进入实际应用的阶段。

图 18 为从图纸开始, 直至锻模加工完成的工艺流程图。其中最重要的是电极的设计, 作者根据多年来的试验资料和理论计算, 求取对应于各种各样电极形状的被加工孔形的扩大, 得出了在设计阶段预先补正的方法来决定电极尺寸的指南, 使之能够正确而方便地进行电极设计。

实际上, 采用这样设计的电极还需进行试验加工, 对照图纸尺寸修正几次, 可以获得 $\pm 0.15 \sim 0.30$ 毫米的精度。但是再重复进行几次试加工, 精度不能再提高。因此对电极修正技术的要求相当高, 电极制造的成本也高。

现在介绍一种电解加工和电火花加工并用的加工方式。对上述的电极修正 1~2 次后, 加工精度达到 ± 0.30 毫米, 此后再用电火花加工完成精加工。电解加工由于不留下刀痕, 而缩短了精加工的时间, 所以大大地减少了总的工时。

仅用电解加工可以满足形状较简单的浅的锻模和粗糙锻模等的尺寸精度, 因此可以降低大量的工时, 板手之类的锻模, 采用电解加工则可比以往的加工法减少一半以上的工时。

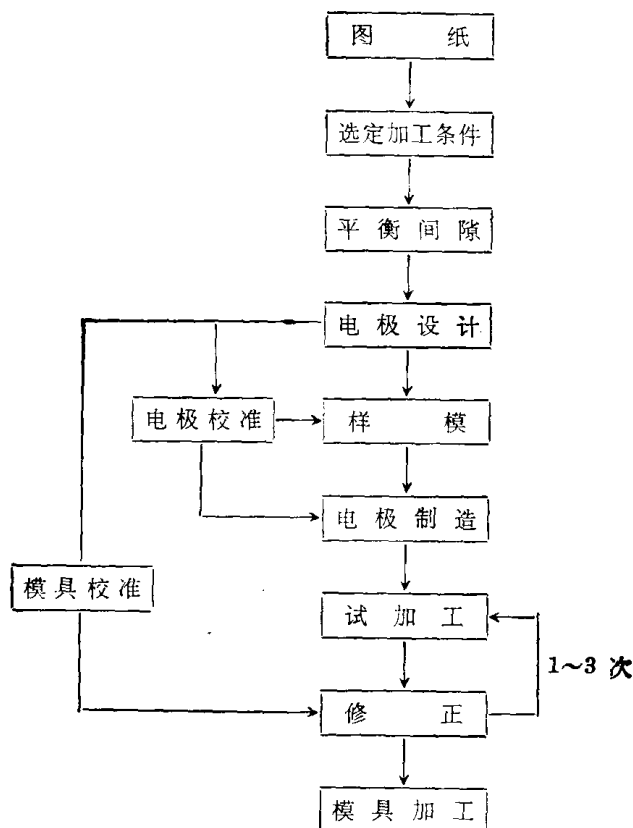


图 18 电解加工的工艺流程图

一般,在电解加工以后用手工精整锻模的事例较多,当然在今后还需制造能满足更高加工精度要求的电极,并不断提高电解加工的技术。

五、超硬合金的加工

目前,超硬合金应用直流电解加工法,要采用非常特殊的电解液。但是,作者认为这类合金若应用交流电,就可采用以往电解加工用的食盐水作电解液进行加工。图 19 为交流电解加工超硬合金的电解离析装置。

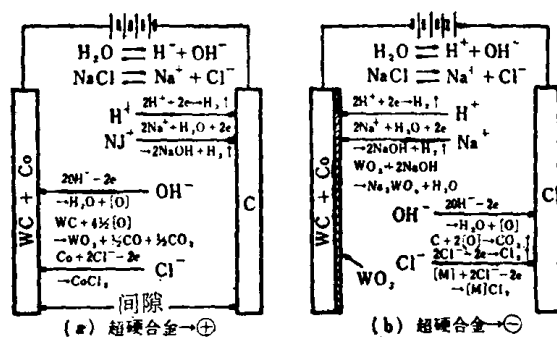


图 19 超硬合金的电解离析装置

由于这种方式的电极在形成阳极的过程中要有一段时间,因此如果用黄铜之类金属材料作电极的话,则电极的消耗非常大,即使使用消耗最少的石墨作电极,也不能避免有百分之几的

消耗。下面就有关电解液对电极消耗的影响，以及电解液温度和电解液中加入添加剂的影响加以介绍。

1. 电解液温度的影响

图 20 是采用加工面积为 2 平方厘米的圆形石墨电极，加工钛钨硬质合金 GTi30℃ 时电解液温度对其影响的研究结果。从此图可以看出，在 30℃ 以下，加工速度随温度成比例地迅速上升，电极消耗则迅速减少。而温度在 30℃ 以上时，两者几乎处于一定的数值上。

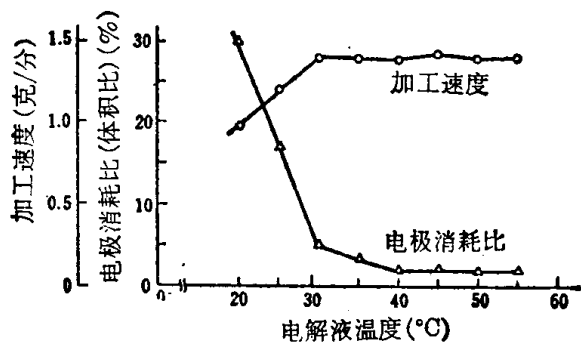


图 20 电解液温度的影响

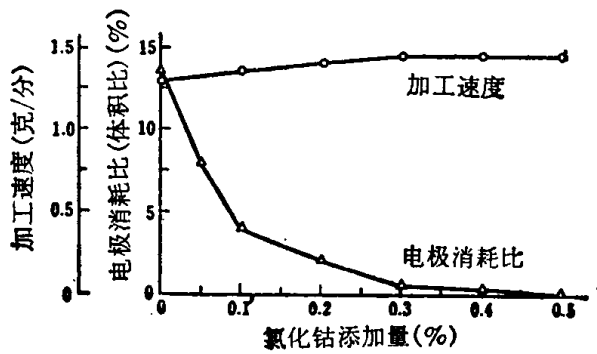


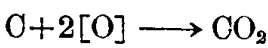
图 21 添加氯化钴的效果

2. 添加氯化钴的影响

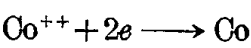
其次，对同样的电极和工件，使电解液的温度保持 35℃ 不变，依次添加氯化钴后，对加工速度和电极消耗的影响如图 21 所示。由图可以看出，加工速度差不多不变化，而电极的消耗比则随添加量的增加而降低，添加量为 0.5% 时，其消耗为零。

添加氯化钴而减少电极消耗的原因如下：

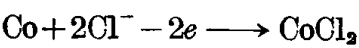
仅用食盐水为电解液时，在电极形成阳极期间食盐水发生电解，从阳极产生氯气，从阴极产生氧气，同时阳极由于 OH^- 放电而产生初生态氧，它同电极的碳起反应而散发出二氧化碳，因此造成电极的损耗：



但是，一旦在电解液中添加氯化钴，在电极形成为阴极期间，电解液中分解出来的钴离子在电极表面析出金属钴：



其次，当电极形成阳极时，上面析出来的金属钴就再同氯离子产生电化学反应溶出氯化钴：



这样电能消耗在电极表面金属钴的离析和分解，使 OH^- 放电，而产生初生态氧的一切反应上，从而可认为石墨电极完全没有损耗。

这一来就解决了电极的损耗问题，目前已正在加以应用。

六、结 束 语

以上回顾了电解加工的发展过程，介绍了其发展的关键技术及其应用的事例。电解加工

在经历了一段发展过程以后,才成为金属加工的一个重要手段。其最大的原因在于最大限度地发挥这种加工方法的特长。电解加工能够充分而有利的应用范围有如下几类:

- (1) 大批量零件的加工 { 涡轮叶片的成形加工
其它大批量零件的加工
- (2) 金属模具的加工 { 带有通孔的(挤压模,冲模)
带底孔的(金属锻模)

对于上述(1)中的大批量加工零件,反复加工的数量较多,以及切削性能较差的工件采用电解加工的效果就大,可以说这是电解加工最适用的范围。

上述(2)中金属模具的加工,要充分掌握电解加工的精度,以及这种模具反复加工的次数和材料,再确定如何应用电解加工,以及如何同电火花加工结合应用。这些都是决定着电解加工成败的重大问题。

(参考文献共四篇略)

译自《マシニスト》, Vol. 12, No. 8, 1968, pp. 8~18

(上海科学技术情报研究所译)

电 化 学 加 工 的 设 备

本文对电化学加工的设备(机床、电解液系统和电源)进行了分析研究,并简要介绍了各种类型的机床特点。

机 床 系 统

组成电化学加工设备的第一部分是机床,它必须具有足够好的强度和刚性,以经得起由工件和电极间隙中所引起的电解作用,以保持精密切削所必需的机械对准度,可用一个例子说明所受总力情况:

总有效功率	20,000 安培
容许最小电流密度	333 安培/吋 ²
水泵最大有效压力	300 磅/吋 ²
电极最大正面积为 60 吋 ² , 则总力达	$60 \times 300 = 18,000$ 磅

上述计算使得一些使用者在他们的机床技术条件中需要加上一条条款,即机床在进给方向每 1,000 安培有效电流承担 1,000 磅压力,也就是每 10,000 安培承担 10,000 磅压力,这一数字往往会引起误解。设计优良的电极能够并且通常总是要使机床主轴头端部的推力载荷大大减少,出于这一道理,更精确的技术条件是要求机床进给方向每 1,000 安培承力 750 磅。同样重要的是装备一只如离合器那样的进给推力限定装置,在功率传递中防止由于推力过量而引起损坏。

挠曲是力作用的结果,在电化学加工中,电极和工件二者之间的侧隙范围通常在 0.009~0.013 吋之间。因此,机床和刀具的刚性应当尽可能地大,在大型机床中,这就成为一个艰难的设计问题。

已经发现,即使弯曲变形维持在最小限度,机床的进给主轴头部或其它部件仍能挠曲。值得注意的是,虽然总的变位量读数相当大,但由两个指示器之间的读数所核实的弯曲变形量仍是非常小的。

在电化学加工中,电解液大多数采用氯化钠和硝酸钠,但在机床设计时必须考虑到此两种电解液都有腐蚀性。机床密封工作箱、密封工作箱门、电解液箱、电解液泵、热交换器、循环泵、过滤器以及管路等都容易受到腐蚀,或同时发生电解作用,对低压部位可以适当应用橡皮、塑料或玻璃纤维配件,对高压以及承受载荷的部位可以采用不锈钢,对于象机座进给主轴头、主轴头导轨以及主轴头传动部分等必须用机件钢制造的部件,必须加保护罩或者同时加上排气装置,也可用环氧涂料使之不受电解液侵蚀。一般电化学加工机床选择的材料如下:

1. 玻璃纤维

用于电解液盘、电解液罩、密封工作箱撑臂、压力管道、电解液歧管、400 加仑电解液箱和调节托架。

2. 塑料

用于密封工作箱门、排水零件和电缆冷却管路。

3. 不锈钢

用于密封工作箱箱角撑臂、工作板、进给主轴头压板、高压电解液泵及其附件、循环泵、热交换器、离心过滤器、电解液歧管附件、电解液箱盖以及压力操纵阀。

4. 机件钢

用于机座、进给主轴头减磨导轨、进给主轴头、进给主轴头传动装置、液压箱及泵、电源装置。

电 解 液 系 统

电化学加工设备的第二部分是合适的电解液系统,它包含下列几个方面:

1. 电解液箱

电解液箱宁可采用玻璃纤维结构,箱子大小尺寸一般视所使用的电源或者用集中电解液供给系统而定。

2. 电解液泵

电解液泵的容量大小由电源容量和加工类型决定,一台功率为 75 马力在 300 磅/吋²时,流量为 100 加仑/分,在 200 磅/吋²时,流量为 200 加仑/分的双参数泵,对许多 20,000 安培容量的机床是通用的。

3. 过滤器

通常是采用不锈钢筒式过滤器,具有能过滤 75 微米粒子的不锈钢过滤网。过滤器应设置成只是使流往电极的电解液得到过滤,这样延长了清洗的间隔时间。

4. 循环泵

供给热交换器和所选的离心分离器用。

5. 热交换器

在机床开始工作以前加热电解液,在操作过程中通过冷却保持电解液温度。

6. 压力表

装于过滤器两侧,以指示其洁净度。

7. 流量计

监视流经加工间隙的电解液流量。

8. 离心分离器

澄清电解液。

在电化学过程中,产生大量的絮状物。确切的数量则是由切削中被切下的材料、所应用的电解液、加工电流以及切削时间等因素决定,许多人采用产生的絮状物和去除金属的平均比值为 100:1。以用氯化钠电解液加工钢件时所产生的絮状物为例说明。若工作电流为 1,000 安培时,每分钟金属去除量为 0.153 吋³,则絮状物为 $0.153 \text{ 吋}^3 \times 100 = 15.3 \text{ 吋}^3$ 。1 加仑 = 231 吋³,也就是悬浮的凝状物有 0.066 加仑。

在这样快速形成絮状物的条件下,必须去除这些产物,否则就要停止这一过程,应用下列方法均可达到这一目的。

1. 让电解液箱装满絮状物,然后全部倒掉,这样做是浪费的,另外在许多场所,絮状物不能倒入阴沟污水系统,这就造成污染的问题。

2. 电解液污浊以后,用泵输入沉淀箱,渐次澄清,继后排出沉淀箱底部絮凝状产物的沉积层,这一方法的缺点在于需要另一只箱子,而且费时。

3. 在机床电解液箱上设置一台大小适当的离心分离器,连续地澄清从机床密封工作箱出来的电解液,这个方法效果好,但在每台机床上增加单独的小型离心分离器,这将使机床总价变得很昂贵,二台机床可共用一只 1,000 加仑的电解液箱,为了节省占地空间,除了二台高压泵外所有电解液系统部分却安装在电解液箱上面的平台上。

4. 安装一台适当容量的集中电解液系统来供应所有机床,再加膨胀所需的附加容量。

电 源 系 统

电化学加工的另一重要因素是直流电源,它同机床电解液系统同样重要。电化学加工要求一个比较高的电流密度和窄小的加工间隙,将电极和工件直接跨接到大功率输出电源(直流电源)的输出端上,两者间只有一个极小的距离。在许多情况下,由阴极以所容许的速度向工件进给。如果由于某种原因造成电极和工件接触或者极间电离发生短路,则根据短路电流存在的能量大小造成电极和工件的损坏。应用普通直流电源时,造成的损坏可能非常严重。

早期,电化学加工使用者很快认识到,在不能承担经常的电极修理费用的上述情况下,要协调地工作差不多是不可能的。

通常产生火花的原因是; 1. 由于紊流而引起的电解液空穴; 2. 由于过热而引起的电解液损失; 3. 在电极和工件间隙中过量气体的析出; 4. 进给速度过高; 5. 进给速度不稳定; 6. 电压调节不良; 7. 间隙中进入了不导电的外界颗粒; 8. 间隙中进入了导电的外界颗粒。

很明显,必须设置一个保护电路,它包括一个传感和控制系统,并和一个合适的直流电源设计构为一体。良好的电化学加工控制系统应当能识别火花或导致火花形成的先期状态,并使在电极或工件损坏以前停止操作。

装有快速切断控制器的可控硅整流型式的电源,可使电极和工件的短路损失减少到最小程度,它是通过下述四个主要元件感受电弧后在 5 毫秒时间内把电源切断: 1. 最大极限电流; 2. 电压变化; 3. 电流上升率; 4. 电流下降率。

为了获得对任一特殊操作所要求的灵敏度,每个元件应能单独预先调整,另外除最大极限电流元件外,所有元件都有一个断开位置,以供在不需要这一特殊机能作用时使用,把一个机能转换到脱开时,应不影响另外三个元件的操作。除四个主要传感元件之外,快速切断电源应具有特殊的保护特性,这对于电化学加工过程的最合理使用是极为需要的,这些特性如下所列: 1. 如果电极和工件二者直接接触,电源将不接通; 2. 倘若电源和机床二者之间的电路误接,电源将切断; 3. 如果由于某种原因,传感导线偶然割断,电源将断开; 4. 一台专门的装置备作灵敏地调整在切削操作时的电流上升和下降,但是在起动开始工作时允许有快速的起伏。上述特性的电源容许采用昂贵的电极,而不必担心电极会大面积烧伤,同时又为发展新型电极和工艺技术留有充分的余地。

机 床 和 应 用

电化学加工设备的最终型式可以是下列任一机床型式: