

电火花加工技术

国防工业出版社

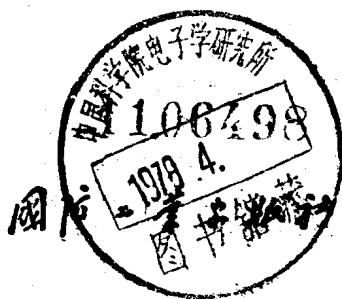
77.9781

709

22

电火花加工技术

哈工大 11 系 编



DL391-7
内 容 简 介

本书深入浅出、图文并茂地介绍了电火花加工的基本原理,脉冲电源,自动调节器,机床,工作液系统及加工工艺和具体应用。

本书供从事电火花加工工作的青年工人和有关部门阅读。

电 火 花 加 工 技 术

哈工大 11 系 编

国防工业出版社出版

北京市书刊出版业营业许可登记证出字第 074 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经营

国防工业出版社印刷厂印装

787×1092 1/32 印张 3 3/4 79 千字

1978 年 3 月第一版 1978 年 3 月第一次印刷 印数: 00,001—33,000 册

统一书号: 15084·1636 定价: 0.32 元

目 录

本书所用符号

第一章 电火花加工的基本原理	7
§1 电火花加工的原理	7
§2 电火花加工的机理	9
§3 电蚀过程的“极效应”现象	12
§4 影响电蚀量的主要因素	13
§5 电火花加工的生产率和工具电极的损耗率	15
§6 影响电火花加工精度和表面质量的因素	18
§7 电火花加工装置的主要组成部分	20
第二章 电火花加工用脉冲电源	22
§1 对脉冲电源的要求	22
§2 RC 与 RLC 线路脉冲电源	24
§3 闸流管、电子管及脉冲发电机脉冲电源	32
§4 可控硅脉冲电源	36
§5 晶体管脉冲电源	39
§6 高、低压双脉冲电源	40
§7 等脉冲电源	43
§8 晶体管复合回路脉冲电源线路介绍	45
第三章 电火花加工用的自动调节器	53
§1 自动调节器的作用及其组成	53
§2 伺服电机自动调节器	56
§3 电-液压自动调节器	61
第四章 电火花加工机床及工作液系统	67
§1 机床布局与设计要点	68

§ 2	主轴头.....	72
§ 3	工作液系统.....	82
§ 4	电极的装夹与调节装置.....	86
第五章	电火花加工工艺及应用	91
§ 1	冲模的电火花加工.....	91
§ 2	型腔模的电火花加工.....	96
§ 3	线电极电火花切割	102
§ 4	电火花磨削与电火花铰磨	104
§ 5	精密小孔、窄缝等的电火花加工.....	107
§ 6	内螺纹等的电火花加工	111

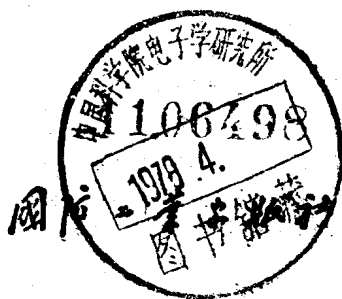
77.9781

709

22

电火花加工技术

哈工大 11 系 编



DL391-7
内 容 简 介

本书深入浅出、图文并茂地介绍了电火花加工的基本原理,脉冲电源,自动调节器,机床,工作液系统及加工工艺和具体应用。

本书供从事电火花加工工作的青年工人和有关部门阅读。

电 火 花 加 工 技 术

哈工大 11 系 编

国防工业出版社出版

北京市书刊出版业营业许可登记证字第 074 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经营

国防工业出版社印刷厂印装

787×1092 1/32 印张 3 3/4 79 千字

1978 年 3 月第一版 1978 年 3 月第一次印刷 印数: 00,001—33,000 册

统一书号: 15084·1636 定价: 0.32 元

前 言

电火花加工的原理是工件和工具电极之间脉冲性地火花放电，依靠电火花局部、瞬时产生的高温把金属熔化蚀除下来。因为是脉冲性放电，所以在某种场合也叫“电脉冲加工”，也可统称之为“电蚀加工”。

目前，电火花加工工艺已在国内外国防和民用工业各部门得到广泛应用。据有关资料报道：近年来，美国航空、火箭和宇宙飞行器工业中，电加工机床（包括电火花加工和电解加工机床）已占金属切削机床的30%；西欧一些国家，电加工机床的年增长率已达10%。我国电火花加工工艺和机床设备也有很快发展；研制成功了各种电源；加工的零件质量有很大的提高，应用日益广泛，很有发展前途。

电火花加工的特点是：从原则上讲可以加工一切难于切削加工的金属材料，如淬火钢、不锈钢、耐热合金、硬质合金等，广泛应用于型腔模、冲模的加工；在加工过程中无显著的“切削力”，因此，可加工刚性差、加工面积大或容易变形的各种小而精密的型孔、窄缝等。

为了向广大青年工人普及电火花加工技术，我们编写了《电火花加工技术》这本小册子，以求对从事电火花加工工作的青年工人有所帮助，提高技术水平，更好地为社会主义革命和社会主义建设服务。

由于我们的政治思想和技术水平所限，书中难免有不足之处，请读者批评指正。

目 录

本书所用符号

第一章 电火花加工的基本原理	7
§1 电火花加工的原理	7
§2 电火花加工的机理	9
§3 电蚀过程的“极效应”现象	12
§4 影响电蚀量的主要因素	13
§5 电火花加工的生产率和工具电极的损耗率	15
§6 影响电火花加工精度和表面质量的因素	18
§7 电火花加工装置的主要组成部分	20
第二章 电火花加工用脉冲电源	22
§1 对脉冲电源的要求	22
§2 RC 与 RLC 线路脉冲电源	24
§3 闸流管、电子管及脉冲发电机脉冲电源	32
§4 可控硅脉冲电源	36
§5 晶体管脉冲电源	39
§6 高、低压双脉冲电源	40
§7 等脉冲电源	43
§8 晶体管复合回路脉冲电源线路介绍	45
第三章 电火花加工用的自动调节器	53
§1 自动调节器的作用及其组成	53
§2 伺服电机自动调节器	56
§3 电-液压自动调节器	61
第四章 电火花加工机床及工作液系统	67
§1 机床布局与设计要点	68

§ 2	主轴头.....	72
§ 3	工作液系统.....	82
§ 4	电极的装夹与调节装置.....	86
第五章	电火花加工工艺及应用	91
§ 1	冲模的电火花加工.....	91
§ 2	型腔模的电火花加工.....	96
§ 3	线电极电火花切割	102
§ 4	电火花磨削与电火花铰磨	104
§ 5	精密小孔、窄缝等的电火花加工.....	107
§ 6	内螺纹等的电火花加工	111

本书所用符号

C	电容	q_a	阳极的单个脉冲蚀除量
E	直流电源电压	q_k	阴极的单个脉冲蚀除量
F	面积	R	电阻
f	频率	t	时间
G	重量	U	电压
H	高度	U_{jc}	间隙击穿电压
I	电流	U_p	平均工作电压
I_{dl}	短路电流	V_{ds}	电火花加工的蚀除速度
I_p	平均工作电流	V_{ds-a}	阳极的蚀除速度
K_a	电火花加工工艺系数	V_{ds-k}	阴极的蚀除速度
L	电感、长度	V_{ds-j}	电火花加工的生产率
N	脉冲总数	V_{ds-d}	电火花加工的工具损耗率
n	转速	W_M	单个脉冲能量
N_o	脉冲间隙系数	W_{max}	最大功率
P	压力、作用力	δ	火花放电间隙
Q_a	阳极总蚀除量	γ	工具电极的相对损耗率
Q_k	阴极总蚀除量	η	电流效率

第一章 电火花加工的基本原理

§1. 电火花加工的原理

电火花加工是电极间脉冲放电时电火花腐蚀的结果。电火花腐蚀现象早在一百多年前就被人们发现了,例如,在电气开关触点闭合或断开时,往往出现电火花而把接触部分腐蚀成粗糙不平的小凸起或凹坑以至损坏。长期以来,电火花腐蚀一直是一种有害现象,人们不断地研究它产生的原因,以设法减少和避免它。

但是,任何事物都是一分为二的,在一定条件下,坏的东西可以引出好的结果来,只要了解和掌握规律,创造条件,就可以把坏事转化为好事,把有害的电火花腐蚀现象用来为生产服务。研究的结果表明,电火花腐蚀的主要原因是电火花放电时,火花通道中瞬时产生大量的热,足以使电极表面的金属局部熔化甚至气化蒸发而被蚀除下来。要使电火花腐蚀原理用于金属材料的尺寸加工,满足被加工零件的精度、光洁度、生产率等要求,还必须创造一定的条件,解决下列问题:

1. 必须有足够的火花放电强度,亦即有很大的电流密度,否则金属只是发热而不能熔化或气化。

2. 火花放电的时间必须极短,必须是间歇性的(脉冲性的)瞬时放电。因为只有在很短的瞬时内产生大量的热能,才能使热量来不及传导扩散到其余部分,从而能局部地蚀除金属。每一脉冲延续时间一般应小于 0.001 秒,否则,象电弧放电那样,必然会使整个工件发热,表面“烧糊”,而这只能用于

切割或电焊,无法用于尺寸加工。

3. 必须能把电火花加工之后的金属小屑等电蚀产物不断地从电极间隙中排除出去,否则加工过程将无法继续正常进行。

以上这些问题的综合解决,最初是通过下列办法实现的:

1. 周期性地利用电容器缓慢充电,快速放电;把积蓄起来的电能,在电极间隙内瞬时放出,亦即把电流转换为脉冲电流(这样的装置即叫做脉冲发生器)。

2. 使火花放电过程在不导电的液体(如煤油、机油)中进行,以利于抛出腐蚀下来的产物。

图 1-1 所示为最简单的电火花加工装置原理图。脉冲发生器 1 是利用电容器的充电放电,把直流电转变为脉冲电流。电流和电能经过电阻逐渐充集储存在电容器 C 上。电容器上的电压逐渐升高,当它升高到足以使工具电极 2 和工件 3 之间的电极间隙火花放电击穿时,电容器上储存的绝大部分能量在电极间隙内瞬时放出,达到很高的电流密度,产生极高的温度 (10000°C 以上),足以使局部表面熔化和气化,形成如图 1-1(b) 所示的凹坑。电容器上的电能瞬时放完后,工具电极

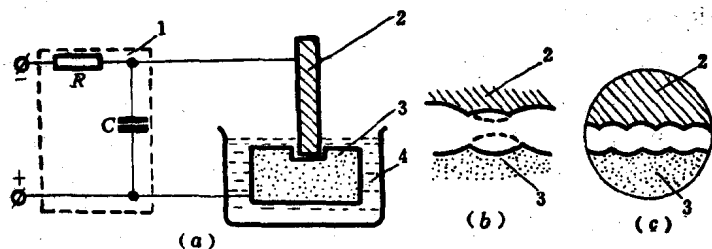


图 1-1 电火花加工原理

1—脉冲发生器 2—工具电极 3—工件 4—工作液

和工件间立即恢复绝缘状态,这时又经过电阻重新充电,如此循环不已。图 1-1(c) 所示为工具电极和工件间隙的放大图。由于金属表面微凸起间此起彼伏地进行火花放电的结果,整个表面将由无数小凹坑所组成,而工具电极的轮廓形状便复印在工件上。

§ 2. 电火花加工的机理

电火花加工的机理,亦即电极间隙中的电火花腐蚀过程,是相当复杂的,人们对它的认识至今尚未完成,因而也有各种不同的解释。根据大量实验资料的分析来看,金属电火花腐蚀的微观过程是电磁学、热力学、流体力学等综合作用的过程。这一过程,大致可以分为连续的两个阶段:第一阶段是形成放电通道;第二阶段是在工件表面实现能量转换,电能转换为热能,使金属在局部范围内加热、熔化和气化,从而蚀除金属。

电极的微观表面是凹凸不平的,两电极间离得最近的尖端处电场强度最高,其间的工作液绝缘介质(一般为煤油)最先电离,即分解成负电子和正离子;当被分解的负电子迅速奔向阳极,正离子奔向阴极的过程中,又冲击绝缘介质的其他原子,使其电离,如此连锁反应,此处绝缘介质迅速被击穿,形成了火花放电通道。当第一阶段完成之后,紧接着实现第二阶段的过程,这时,电极间隙的电阻按照很复杂的规律从绝缘状态的几个兆欧变到几分之一欧,所通过的电流值亦相应地由零增加到相当大的数值;又由于放电通道受到放电时磁场力和周围液体介质的压缩,所以放电通道的断面很小,通道中的电流密度极大,达到 $10^5 \sim 10^6$ 安/厘米²。由于电子、离子高速流动时互相碰撞,通道中放出大量的热,同时阳极金属表面(一般是工件)受到电子流束的高速冲击,阴极表面(一般是工

具)受到离子流束的冲击,电极间隙内沿通道形成一个瞬时的热源(可达 $5000\sim 10000^{\circ}\text{C}$),在热源作用区的电极表面,很快被加热到熔点,直至气化的温度。由于这一加热过程非常短促,因此,金属的熔化和气化以及工作液介质的气化都具有爆炸的特性(电火花加工时可以听到噼啪声),爆炸力把熔化和气化了金属抛入工作液而冷却。当它凝固成固体时,由于表面张力的作用,使它具有最小的表面积,因而凝固成细小的圆球颗粒(直径约 $0.1\sim 10$ 微米,因脉冲能量大小而不同),在电蚀产物中可以找到这种金属小颗粒,而电极表面则形成一个微小的凹坑。图1-2所示为放电过程中电极间隙状况的显微图形。

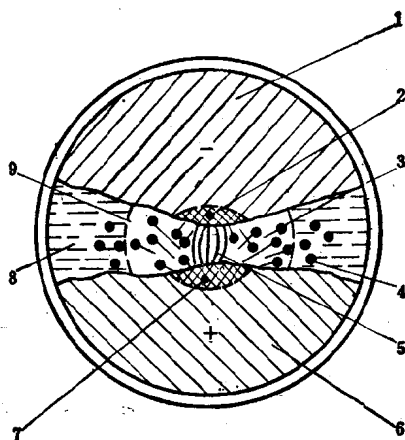


图1-2 电极间的放电及表面微观图形

- 1—阴极 2—从阴极上抛出金属的区域 3—熔化的金属微粒
4—在工作液中凝固的金属微粒 5—放电通道 6—阳极
7—从阳极上抛出金属的区域 8—工作液 9—气泡

事实上金属的抛出过程远比上面所说的要复杂。用超高

速摄影研究的结果表明:火花放电时,在热源作用下通道周围迅速形成气泡,它是由金属蒸气、工作液蒸气和分解出的气体组成的,气体的压力随着脉冲延时而迅速增高,远高于大气压力(瞬时约为5~10气压),所以气泡迅速向外扩张。当脉冲电流停止后,虽然热源消失了,压力也不再升高,但由于气泡外围扩张运动着的液体具有惯性,气泡体积仍继续扩张增大,同时气泡边缘处的蒸气冷却凝固,以致使气泡内的压力逐渐降低,因而使有些熔化了了的金属额外地在低压下沸腾蒸发为气体。气泡的压力甚至可以降低到低于大气压力,形成局部真空,高压时溶解在金属液体中的气体也在低压下分解出来,进而促使金属从电极表面抛出。研究结果表明,大部分液态金属是在脉冲电流结束后抛出的。

实际上熔化和气化了了的金属在抛离电极表面时,向四处乱射飞溅,除绝大部分抛入工作液中收缩成球状小颗粒外,有一小部分飞溅、附着、覆盖在相对的电极表面上去了。观察铜打钢电火花加工后的电极表面,可以看到钢上粘有铜,铜上粘有钢的痕迹,这在粗加工时尤为显著。如果进一步分析其电火花加工后的产物,在金相显微镜下可以看到除了游离碳、钢和铜的球状颗粒之外,还有一些钢包铜、铜包钢的颗粒。这种互相飞溅覆盖的现象,在某些条件下可用以减少或补偿电极工具在加工中的损耗。

一般每个脉冲所抛出的金属总量中,气体状态的约占15~40%,其余的都是在液体状态下抛出的。当单个脉冲能量一定时,脉冲持续时间愈短,热量就愈集中,金属以气态抛出的百分比也愈大。具体数字与单个脉冲的能量、延时、金属的熔点、沸点、导热系数、熔解热、气化热等热学常数有关,能量愈大,热学常数愈小,气态抛出的百分比则愈大。

§ 3. 电蚀过程的“极效应”现象

火花放电过程中, 阳极和阴极表面分别受到电子和离子的轰击以及瞬时热源的作用, 因此, 同时都遭到电火花腐蚀。但是矛盾着的两方面中, 必有一方面是主要的, 它方面是次要的。因为阳极和阴极表面所获得的能量不一样, 故蚀除量也不一样(即使是电极材料相同)。

电火花加工时两极蚀除速度不同的现象, 叫做“极效应”(严格而言指电极材料相同时)。一般当阳极蚀除速度大于阴极时的极效应称作“正”, 亦称“正极性”; 反之称作“负”, 或称“负极性”。

极效应现象的产生, 在于通道中电离放电时, 由于负电子的质量小(惯性也较小), 容易获得加速度和速度; 而正离子的质量及惯性较大, 加速度较低, 起动较慢, 所以在脉冲放电的前阶段, 负电子对阳极的轰击多于正离子对阴极的轰击; 因此, 在用持续时间较短(例如小于 50 微秒)的脉冲加工时, 阳极的蚀除速度将大于阴极, 此时工件应接阳极, 工具接阴极, 即采用“正极性”加工。反之当用较长的脉冲加工时(例如脉冲延时大于 300 微秒), 则阴极的蚀除速度将大于阳极; 条件改变了, 矛盾的主要方面也转化了, 这时工件应接阴极, 工具接阳极, 即按“负极性”加工。这是因为随着脉冲延时放电时间的加长, 质量和惯性较大的正离子也逐渐获得了加速。由于正离子的质量较大, 因此对阴极的轰击破坏作用比电子对阳极的作用要大。

从提高加工生产率和减少工具损耗的角度来看, 极效应愈显著愈好。当用交变的脉冲电流加工时, 单个脉冲的极效应便互相抵消, 总的极效应为零, 增加了工具的损耗。因此要