

混粉电火花加工技术

大连理工大学机械工程学院 (116023) 吕战竹 杨连文

材料科学的发展和技术进步,不断提供给我们具有高熔点、高硬度、高强度、高韧性等性能的新材料,同时也向我们提出了复杂特殊的工艺要求。电火花加工技术正是为了适应生产发展的这些需要而诞生。由于加工时工具电极与工件之间不接触,而是利用两极间脉冲放电时产生的电腐蚀现象对材料进行加工,不受工件材料切削性能的限制,可加工任意导电材料及复杂形状的工件,因而在模具制造领域占据了举足轻重的地位。

然而,常规电火花加工后的表面,有一层厚度不均匀、具有微观裂纹和残余拉应力的“白层”,表面粗糙度值较高,抗疲劳强度低,这必然影响到模具的表面性能,因此不能作为模具型腔的最终加工手段,而必须安排后续的手工抛光等工序,既加大了劳动强度,延长了生产周期,增加了成本,同时又由于抛光的难操作性而降低了复杂曲面的加工精度。另外,由于电火花加工后的表面层硬度、耐磨性和耐蚀性等有一定的提高,而抛光之后,这些优点却随之消失。因此,如何克服电火花加工自身的缺点,同时保留其优点,特别是如何使加工后的表面质量直接达到最终的使用要求,就显得格外重要。

1. 混粉电火花加工技术的产生

电火花加工时,材料的去除过程伴随着加热、熔化、气化、抛出和冷却凝固等一系列热过程,每一次脉冲放电都会在放电点处去除一定量的材料而留下一个近似半球面形状的放电凹坑,所去除材料的量取决于脉冲放电能量。由于整个加工表面是由无数个放电凹坑叠加而成,放电凹坑的大小就直接决定了加工表面的粗糙度值。由此可知,电火花加工后的表面粗糙度值是由每次脉冲放电的能量值决定的。因此,欲得到表面粗糙度值较低的加工表面,必须采用较小的放电能量进行加工,这对于小面积的电火花加工而言是有效的。但当加工面积较大时,由于分布电容的存在,这一举措并不能达到预期目的,即表面粗糙度值不再随脉冲能量的减小而降低。

但是,国外学者在研究中发现,当普通煤油工作液中悬浮有一定浓度的微细粉末(如硅粉)时,上述问题出现了明显的转机,随着脉冲能量的减小,加工表面粗糙度值迅速降低,而且即使在大面积加工时仍然能够顺利获得表面粗糙度值极低的表面。于是开始人为地在工作液中添加微细粉末进行相关的工艺研究,混粉电火花加工技术由此产生。之后短短的几年内,在诸多学者的努力下,这项技术得到了长足的发展,所添加的粉末材料也由最初的Si扩展到Al、Ni、Mn、W、Cr等,其中以Si和Al的性能最为优越。在此基础上,几大著名机床生产商如沙迪克、三菱、夏米尔等也纷纷对带有混粉加工系统的电火花加工机床进行了开发,为这项技术的实用化推进了一大步。

2. 混粉电火花加工技术的特点

混粉电火花加工与常规电火花加工最大的区别在于所用的工作液中悬浮有一定浓度的导电或半导电微细粉末,在这样的混粉工作液中进行加工时,表现出如下特点:

(1) 迅速降低加工表面粗糙度,提高表面质量

实验中发现,当脉冲能量一定时,混粉电火花加工总能获得比常规电火花加工更低的表面粗糙度值。而且,随着脉冲能量的进一步减小,常规电火花加工稳定性开始下降,以至于不能进行正常加工,而混粉电火花加工仍能保持稳定的加工过程,并获得更低的表面粗糙度值,加工出的表面可接近镜面($R_a \leq 0.2 \mu\text{m}$)。图1所示为常规电火花加工表面与混粉电火花加工表面微观形貌照片,可清楚地看出二者之间的差别。

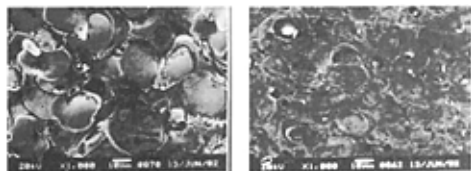


图1 电火花加工表面 SEM 照片 ($\times 1000$)

(a) 常规电火花加工表面 (b) 混粉电火花加工表面

对于上述现象的产生,可从如下角度进行分
电火花加工时,工具电极和工件之间可等效为
一个平板电容器(如图2),其等效电容值为

$$C = \epsilon \epsilon_0 \frac{S}{\delta}$$

式中 S ——电极有效面积

δ ——两极间距离

ϵ ——极间介质的相对介电常数

ϵ_0 ——真空中的介电常数。

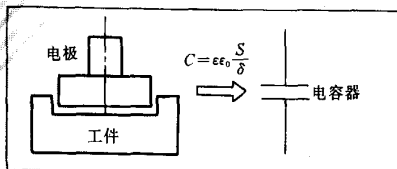


图2 电火花加工时的等效电容

当脉冲能量较大时,可在极间距离较大时发生击穿放电,此时电容值较小,该电容的储能作用不明显,加工过程的稳定性较好;当脉冲能量较小时,极间介质击穿所需要的极间距离也较小,此时电容值较大,该电容的储能作用就不可忽略,以至于单个脉冲到来之时不能正常发生放电,而只有当多个脉冲过后,极间电容储存了足够多的能量方能发生放电,但此时的放电能量已远远超过单个脉冲能量,一次放电蚀除的材料也较多,放电凹坑尺寸较大,加工表面粗糙度值较高。另外,放电间隙狭小,蚀除产物排出困难,易产生集中放电的现象,也影响了加工表面的完整性。但是,当工作液中添加了微细导电粉末后,由于粉末颗粒导致了极间电场的畸变,使得在相同脉冲能量下发生击穿放电所需要的极间距离变大;同时,由于导电颗粒的介电常数远远大于煤油工作液的介电常数,该混粉工作液的复合介电常数必然增大。这样, ϵ 和 δ 均增大,故而电容值的变化并不显著,其储能作用仍可忽略,每一次脉冲都可以正常地发生击穿放电,加工过程可稳定地进行下去。而且放电能量等于所设定的微小能量,因而单次放电去除的材料较少,放电凹坑尺寸较小,表面粗糙度值较低。

(2) 大大提高精加工效率,缩短加工时间 在中、精加工阶段,特别是在微精加工时,混粉电火花加工与常规电火花加工相比,除了能迅速降低表面粗糙度值外,还具有更高的加工效率,即同时兼备加工效率高与加工质量好的双重优点。

由于在相同的脉冲能量下加工时混粉电火花加工放电间隙较大,加工屑的排出较常规电火花加工容易,有效减少了拉弧、短路等不良放电现象的发生,加工过程稳定,且每一次脉冲都能正常放电,脉冲利用率较高,因而尽管每次放电去除的材料较少,其加工效率仍然比常规电火花加工效率高。

(3) 显著提高表面性能 常规电火花加工后的表面,不可避免地出现微观裂纹,表面缺陷较多;而采用混粉电火花加工可以得到无微观裂纹的光滑表面,大大减小了表面缺陷出现的几率。利用王水对磨削表面、常规电火花加工表面、混粉(添加硅粉)电火花加工表面进行相同时间的腐蚀,可观察到三者表面耐腐蚀性依次提高,混粉电火花加工后的表面几乎不被腐蚀。通过摩擦试验也可以发现混粉电火花加工后的表面比常规电火花加工表面、磨削表面表现出更高的耐磨性。另外,混粉电火花加工后的表面,显微硬度也有较大的提高。

关于微观裂纹的出现,主要与脉冲能量有关,脉冲能量越大,单次放电产生的热量越多,相应的工件表面放电点处受热的范围和强度也越大,因而放电结束后温度的骤然下降所引起的微观残余拉应力就越大,这就大大增加了微观裂纹产生的几率。由于混粉电火花加工可在微细能量下进行放电加工,当能量小到一定程度后,就可以保证不再出现微观裂纹。当表面没有微观裂纹时,其耐蚀性自然会大大提高。而且,混粉电火花加工后的表面较平坦,其微观形貌显示较少出现尖峰或突起,耐磨性也就较高。显微硬度的升高则是由于粉末材料熔入到工件表面形成非晶态合金所致。

图3为混粉电火花加工出的样件,可以直观地

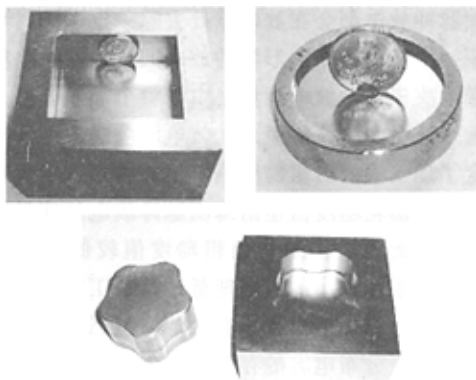
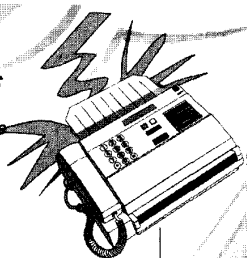


图3 混粉电火花加工样件



可编程控制器控制的可控充、放电式电火花涂覆装置

沈阳黎明航空发动机(集团)有限责任公司 (110043) 景春颖 李雪彬

目前,广泛使用的电火花强化装置,都是靠振动电极的固有振动,使电极与工件频繁接触,引起RC电路的自然充放电,依此产生火花放电,进行加工。此种电火花涂覆装置在电极与工件接触瞬间,会有短路电流流过,此时,电源电流将直接通过加工电极流经工件。如果接触时间过长,会烧伤工件表面。而此种情况在以往电火花强化加工中是经常发生的。针对这个问题我们研制了可编程控制器控制的可控充、放电式电火花涂覆装置。

1. 金属电火花强化机理

某些金属零件特别是航空发动机中的某些运动部件,是在较高的压力、温度、转速下工作的。因而不仅对其基体材料性能有特殊的要求,而且还要使零件的表面具有一定的硬度和耐磨性。当基体材料本身无法满足上述要求时,一般采用电火花涂覆方法对零件表面进行强化,强化过程如图1所示。

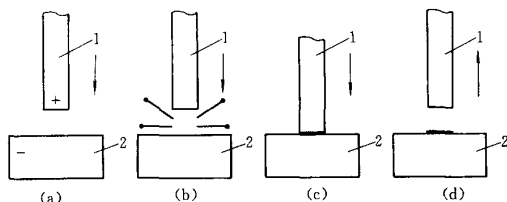


图1 电火花表面强化过程示意图

1. 工具电极 2. 工件

当电极与工件之间的距离较大时,见图1a,电源经过晶闸管SCR1对电容C充电,同时,工具电极在振动器的带动下向工件运动。当间隙达到某一距离时,此时晶闸管SCR2导通,间隙中的空气在电容电压作用下被击穿,产生火花放电,见图1b,使放电点处电极和工件材料局部熔化甚至气化。当电极继续接近工件并与工件接触时见图1c,在接触点处流过瞬间放电电流并继续加热接触表面,同时以适当压力压向工件使熔化的材料相互粘接、扩散形成熔渗层,随着接触表面的增大和放电电流的减小,接触点的电流密度急剧减小。由于工件的热容量比电极大,使靠近工件的熔化层首先急剧冷凝,随着电极的离开使工具电极的材料粘结覆盖在工件上,见图1d。该熔渗层是经微区高温冶金过程形成的合金层,它与基体材料结合极为牢固,不易剥落。

2. 系统控制原理

(1) 可编程控制软件说明 本系统是采用可编程控制器来实现自动控制的。用户可根据实际使用情况编制应用程序,并通过编程器将其写入可编程控制器的内存中。工作时可编程控制器接受外部的输入指令,并根据指令的状态进行逻辑运算,再发出相应的执行命令。其过程参看流程图2。

(2) 可控充、放电原理 由于本系统采用晶闸

看出其在表面光整加工时的优越性能。

3. 结束语

由于混粉电火花加工具有上述明显的优点,适用作模具型腔表面的光整加工手段,加工后的模具型腔表面可以减少甚至免除后续抛光工序而直接使用。因此只要合理安排各阶段的加工参数和加工时间,适时切换工作液,完全能够通过一次装夹,利用电火花加工直接成形实现从粗加工、精加工到光整加工的全过程,不但消除了重复装夹带来的误差,更重要的是可以免除抛光作业,降低大量的劳

动强度,同时又有利于复杂型腔形状精度的保持,从而解决当前模具制造业的“瓶颈”问题,提高劳动生产率,降低生产成本。此外,混粉电火花加工后表面性能的改善,也将会提高模具的使用性能,延长模具的使用寿命。

当然,目前对混粉电火花加工技术的研究还远未完善,尚有许多内容需进一步深入研究,但人们毕竟已经看到了实现大面积镜面电火花加工的可能性。可以预见,混粉电火花加工技术必将为明天的模具制造业提供强有力的支持。 (收稿日期:20031113)