

# 电火花加工工艺过程控制要点的浅析

李 斌 李培波

新乡航空工业(集团)有限公司 北京 453000

**摘 要:** 借鉴航空领域特殊过程评价中心(简称ASP)的认证要求,通过对电火花加工机理和工艺质量过程的分析,提出了电火花加工参数的确认方法及控制要点,明确了电火花加工工艺顶层分类原则和质量缺陷特性,给出了零组件电火花加工验收分类的选择方法,制定了工厂电火花加工工艺编制的要点,分析了电火花加工生产过程控制的要点和意义,为工厂电火花加工工艺规范和工艺规程的编制提供了指导依据,为电火花加工生产过程控制提供了理论支撑。

**关键词:** 电火花加工;加工参数;质量缺陷特性;顶层分类;工艺编制的要点;电介质

前言:电火花加工是通过导电工件和工具电极之间脉冲性火花放电时的电腐蚀现象来蚀除多余材料,以达到工件尺寸、形状及表面质量要求的加工技术。目前,工厂涉及的电火花加工主要是电火花成形加工和线切割加工,主要用于异形结构或者难加工材料的加工。

特殊过程(特种工艺)是直观不易发现、不易测量或不能经济地测量的产品内在质量特性的形成过程,其确认对特殊过程所涉及的人员、设备、材料、工艺和环境等进行满足要求的认定,以证实其过程实现所策划的

结果的能力。放电加工过程形成的重熔层、热影响区、基体金属裂纹、晶间腐蚀等质量特性直观不易测量,需要通过破坏性试验进行验证,故放电加工是特殊过程且需要对过程涉及的人员、设备、材料、工艺、环境、检测要求等进行确认和验证。

综上所述,工厂需对放电加工工艺过程进行梳理,并研究其工艺过程控制流程及方法,从而形成电加工过程质量管理要求。

## 1 电火花加工参数的确定方法及控制要点

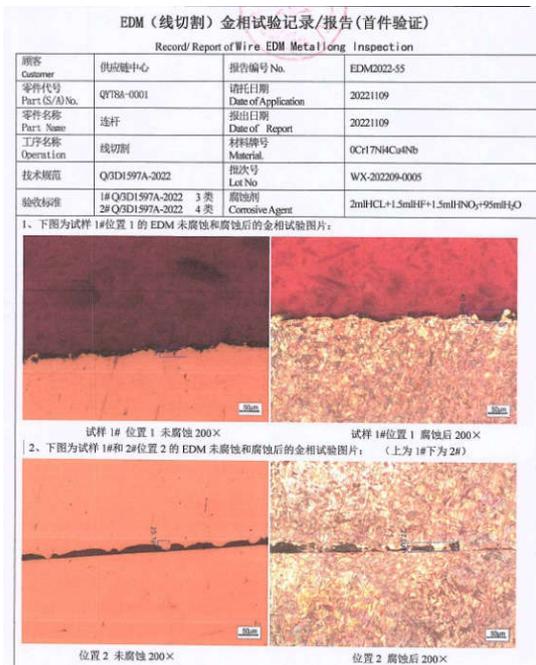


图1 电火花加工参数金相组织图示

### 1.1 电火花加工参数

电火花加工的主要参数包括电加工参数和非电参数,电加工参数主要包括:脉冲宽度、脉冲间隔、峰值电流、电源型号、峰值电压、加工极性等。电火花加工

过程中,蚀除量主要来源于脉冲电源的能量,放电能量越大则蚀除效率越高,但加工表面质量会受到影响,综合考虑到表面质量和加工效率,电火花加工过程中,电源的脉冲宽度、间隔越小,峰值电流越大对零组件表面

质量越好,同时加工效率适中。

非电参数主要包括:进给速度、电介质、电介质温度、液面高度、电导率、冲压压力、走丝速度、丝张力等非电参数。电介质在电火花加工过程中起到消电离、冷却和排出蚀除产物的作用。冲液压力、丝张力、电极速度、以及抬刀速度等对电火花加工过程的排屑性能有显著的影响。常采用冲液和工具电极定时抬刀的办法,可以有效提高排屑效率和防止拉弧。电极抬刀和丝张力控制能有效促进排屑、提高加工稳定性。

### 1.2 电火花加工工艺参数的确定

加工工艺参数应通过试验确定,试样应与零件同材料、同厚度、同状态以及结构类似,电火花加工后,检查试样电火花外观和金相组织(见图1),判定是否满足要求,从而确定合适的加工参数指导工艺规程的编制。

当电源型号(电源型号是设备电源本身的型号)发生变更时,应重新进行首件工艺验证,确定工艺参数。

对于一些非电加工参数,其变更影响到电加工参数的变更和零组件表面质量,应重新进行工艺验证,工艺参数确认后固化到工艺规程中,防止过程的变更影响到零组件加工质量的稳定性。

## 2 电火花加工顶层规划的控制要点

### 2.1 电火花加工工艺顶层分类原则

根据HB/Z 20053《电火花加工工艺》和331厂Q/2B 957A《电火花、激光加工技术规范》,结合工厂产品的加工和使用特点,从电火花加工形成重熔层厚度、断续小珠大小、重熔层气孔大小、重熔层脱离情况、基体金属裂纹深度、热影响区厚度、电弧烧伤情况和晶间腐蚀等特性将电火花加工工艺的验收分为三类,具体见表1。

表1 电火花加工质量状态验收要求

位置	缺陷特性	类别			
		1类	2类	3类	4类(机械去除)
重熔层	重熔层厚度	最大0.03mm	最大0.04mm	最大0.065mm	无
	断续小珠	最大0.03mm	最大0.04mm	最大0.065mm	无
	重熔层气孔	最大0.015mm	最大0.02mm	最大0.033mm	无
	重熔层脱离	不允许			
基体金属	基体金属裂纹	不允许			
	热影响区	无	无	最大0.02mm	无
所有表面	电弧烧伤	不允许			
	晶间腐蚀	不允许			

### 2.2 电火花加工质量缺陷特性的介绍

重熔层位于工件加工表面的最上层,其形成机理是放电瞬时高温融化的工件材料未被抛出,滞留在工件表面,受电介质快速冷却而重新凝固的组织,见图2。一般测量5个位置的重熔层厚度的平均值代表重熔层的厚度。

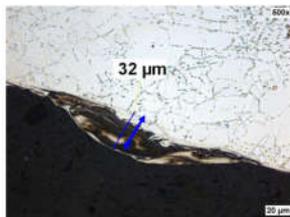


图2 重熔层厚度图示

在重熔层形成过程中,由于放电应力的存在,会导致重熔层内形成裂纹,由于裂纹会贯穿至基体金属内部,见图3。滞留在重熔层中的气体产生的气泡,使得重熔层产生气孔或者脱离,见图4、图5。一些未被抛出的材料由于未及时冷却且受力较大,在重熔层的表面形成小珠,称为断续小珠,见图6。

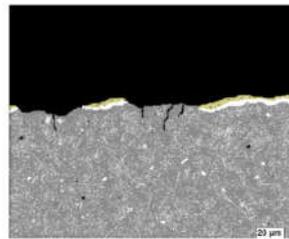


图3 基体金属裂纹图示

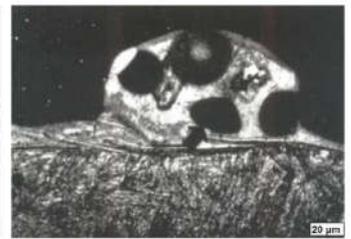


图4 重熔层气孔图示

靠近基体部分的显微组织因受热而发生组织变化的区域称为热影响区,见图7。热影响区降低了材料本身的力学性能,改变了材料微观组织,使组织粗大,不耐腐蚀。

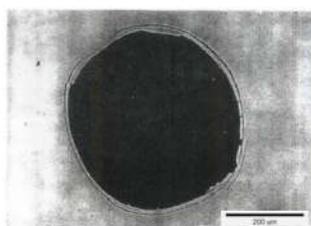


图5 重熔层脱离图示

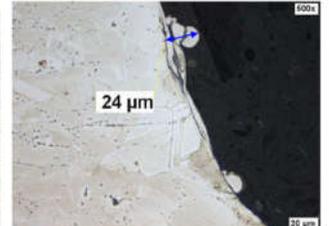


图6 断续小珠图示

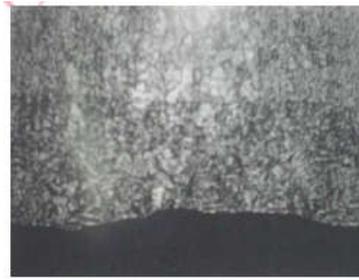


图7 热影响区图示



图8 电弧烧伤图示

由于电介质中的杂质或者蚀出的材料导电，导致工件表面局部烧伤，称为电弧烧伤，见图8。

综上所述，电火花加工产生的质量缺陷特性影响零组件材料本身的力学性能，降低耐蚀性，同时残留的表面的缺陷特性受力后，容易脱落或产生裂纹，影响零组件的尺寸和使用性能。脱落的材料在产品中形成多余物等，影响产品功能性能。所以对缺陷特性的控制是电火花工艺过程控制的核心。

### 2.3 零组件电火花加工验收分类的选择原则

针对电火花加工产品的质量缺陷特性，根据HB的要求以及结合工厂实际情况，针对关键零件和转动零件，电火花的加工面承受交变载荷和应力疲劳，所以应参照表1的1类进行验收，重熔层的厚度控制在0.03mm以内，不允许有基体金属裂纹、热影响区和晶间腐蚀等；针对重要零件和承受力的静止零件，应参照表1的2类进行验收，重熔层的厚度控制在0.04mm以内，不允许有基体金属裂纹、热影响区和晶间腐蚀等；针对非受力的静止零件，应参照表1的3类验收，重熔层的厚度控制在0.065mm以内，不允许有基体金属裂纹和晶间腐蚀，热影响区控制在0.02mm。

电火花加工处理后，安排一道钳工工序对重熔层进行去除。为了保证零组件外观的一致性，在进行电火花加工工艺验收选择时，此类零件应按照4类验收，电火花加工质量缺陷特性不允许存在。

### 3 电火花加工工艺规程编制的要点

新的零组件在编制工艺规程时，应验证工艺参数，下发试验工作证，选择合适的验收类别，通过金相试验验证合格后，将工艺参数纳入工艺规程中。为了固化电火花加工工艺过程，工艺规程应对以下要素进行编制：

a) 电火花加工机床的型号/编号以及电源的型号/编号；b) 专用工装的编号，零件装夹方法和要求；c) 电极材料、规格或者形状以及电极极性，电极修整要求及方法；d) 电火花加工参数，包括电流、电容、空载电压、短路电流、导电率、放电功率、伺服模式、脉冲宽

度等；e) 数控程序编号；f) 电极或电极丝装夹方法和要求，若采用线切割，应对丝张力和走丝速度进行要求；g) 可行时，应包含电介质类型、电导率范围、水基或油基电介质添加的比例或浓度，电介质冲液方法，电介质液面高度。

工艺规程编制检验要求时，建议使用10倍放大镜在不低于200LX的光照度下检查，控制点是电火花加工表面和零件的接触点尤其零件与夹具接触点应无变色、烧伤、凹点、腐蚀等电弧损伤缺陷。

## 4 电火花加工生产过程控制的要点

### 4.1 电介质的控制要点

电介质的击穿将对零件表面形成电弧损伤，导致零件报废，击穿电压取决于自身温度和含有能传导性悬浮粒子的多少，所以电火花加工机床应装有电介质过滤器。

电介质温度一般控制在在15~30℃，且需满足工艺要求，每周使用校验后的温度计测量加工液温度。

为了防止起火或者损伤工件，电火花加工的电介质应充足，加工间隙应全部进入电介质液体中，生产过程控制点是保证电介质液面要高于被加工面30mm以上。

电介质的PH值对工件或者机床具有腐蚀作用，生产过程中应控制电介质的PH值，一般要求电火花专用油酸值： $\leq 0.2\text{mg KPH/g}$ ，乳化液浓度配比在5%~15%之间，去离子水电导率 $\leq 15\mu\text{s/cm}$ 。

### 4.2 电极材料的控制要点

成型加工时，应选择加工稳定性好、电极损耗小和机械加工性能好的紫铜或者黄铜作为电极材料；线切割方面应选择钼丝、钨钼合金丝或者黄铜丝作为电极材料，一般快丝和中丝选择钼丝，慢丝选择镀锌黄铜丝。

在生产过程中，工艺人员应按照加工类型、加工性能和工艺指标等选择电极材料，电火花成形加工应选择黄铜或者紫铜等材料电极，线切割加工的应选择钼丝、黄铜丝或者镀锌黄铜丝等。

### 4.2 冲液压力的控制要点

冲液压力是电火花加工的一个基本参数，冲液的压

力不合适会使蚀出材料不能及时抛出,增加重熔层的厚度,同时冲液压力不合适会增加电火花线切割断丝的可能性。所以生产过程控制中,工艺人员应根据电极丝的直径和工件厚度不同可以选择不同的冲液压力,且安装冲液压力表监视冲液压力值,压力表每年校验一次,冲液压力应每月进行校验,当压力不符合要求时,需及时报修。

#### 结束语

本文主要是通过对电火花加工机理以及工艺过程进行分析,结合航空领域对电火花加工控制的要求,为工厂电火花加工工艺规范和工艺规程的编制提供了指导依据,为电火花加工生产过程控制提供了理论支撑。

#### 参考文献

- [1]HB 8413.特殊过程确认的程序和要求[S]。
- [2]HB/Z 20053.电火花加工工艺[S]。
- [3]Q/3D 1597.电火花加工工艺规范[S]。
- [4]Q/AVIC 03100.激光/电火花制孔表面重熔层显微评定办法[S]。
- [5]邱明波、俞晓春.高效放电加工技术研究现状[C].航空制造技术.2019。
- [6]航空领域评价中心编制委员会.非常规加工审核准则总则.ASP-AC08A.航空领域评价中心.北京.2020。
- [7]航空领域评价中心编制委员会.电火花加工审核准则.ASP-AC08/1A.航空领域评价中心。