

绝缘陶瓷材料电火花加工技术的研究进展

杜平凡, 席珍强, 王龙成, 王耐艳, 高林辉, 姚 剑

(浙江理工大学材料工程中心, 杭州 310018)

摘要 陶瓷材料特性鲜明, 有着广阔的应用前景。辅助电极法电火花加工绝缘陶瓷是一种新兴的加工工艺, 介绍了陶瓷材料电火花加工技术的基本原理及研究进展。

关键词 辅助电极法 电火花加工 绝缘陶瓷

Research Progress in Electrical Discharge Machining Technology of Insulating Ceramics

DU Pingfan, XI Zhenqiang, WANG Longcheng, WANG Naiyan, GAO Linhui, YAO Jian

(Materials Engineering Center, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018)

Abstract To machine insulating ceramics by electrical discharge machining (EDM) using assisting electrode method is a new processing method. This paper introduces the basic principle and research progress of EDM technology of ceramic materials.

Key words assisting electrode method, EDM, insulating ceramics

陶瓷材料具有硬度大、强度高、热传导率低、耐磨耐蚀耐高温等优良特性, 可广泛应用于机械、电子、能源、化工以及航空航天等诸多领域, 与金属材料、高分子材料共同构成工程材料的三大支柱。然而, 陶瓷属于典型的高硬脆材料, 采用传统的机械加工方式不仅加工困难、成本高, 而且较难获得所需的加工精度, 这在很大程度上限制了陶瓷材料的推广^[1]。因此, 研究陶瓷材料的加工技术已成为材料工程界的热点之一。

电火花加工技术经过几十年的发展, 已成为一种有效的材料加工手段。近年来, 电火花技术在绝缘陶瓷材料的成形及切割加工方面也取得了不少研究进展, 突破了此种加工方式长期以来只适用于加工非绝缘材料的局限, 将可能成为陶瓷材料精细加工的重要手段。

1 电火花加工绝缘陶瓷材料的原理

电火花加工是利用工具电极和工件之间在液态绝缘电介质中的脉冲火花放电所产生的局部瞬时高温而蚀除材料, 达到加工工件的目的^[2]。电火花加工可分为电火花表面强化^[3]、电火花穿孔^[4]、电火花线切割^[5]等类型。材料的可加工性主要取决于材料的导电性能及热学特性, 与材料的力学性能几乎无关。加工过程中工具电极不与工件直接接触, 实现了用软质材料加工硬质材料的技术突破, 在加工高硬脆性的材料方面具有独特的优势。然而, 大多数陶瓷材料的绝缘特性使其无法作为导电电极产生电火花, 需通过制作辅助电极的方法来实现放电加工。

1.1 辅助电极的制备

研究表明, 电阻率不大于 $100\Omega\cdot\text{cm}$ 是一种材料可直接进行放电加工的前提, 工程陶瓷材料的电阻率通常都高于该值。辅助电极法是在绝缘陶瓷表面制备出导电薄膜形成放电条件, 从而实现工件的电火花加工。

采用辅助电极电火花加工绝缘陶瓷的原理如图 1 所示, 辅助电极一般接电源正极, 工具电极为负极。在起始阶段, 辅助电极和工具电极之间产生火花放电, 辅助电极被逐渐蚀穿。随着加工的进行, 煤油工作液中分离出的碳及其相关化合物的颗粒不断沉积在绝缘陶瓷表面生成新的导电膜, 放电加工得以维持^[6]。辅助电极可以是金属板或金属网, 也可以是镀在工件表面的金属膜。用金属网作辅助电极比用金属板的效果好, 而采用镀金属膜的方法则比用金属网更为有效。

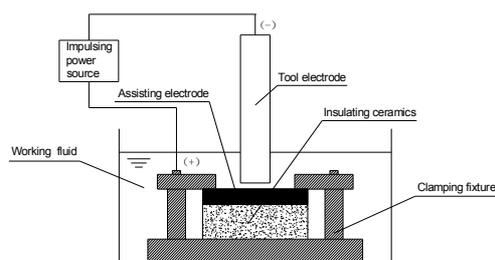


图1 加工装置示意图

Fig.1 Sketch of machining apparatus

1.2 蚀除机理

Konig W 等^[7]在对陶瓷材料电火花蚀除机理进行了系统的研究后认为, 陶瓷材料的电蚀除主要有熔化、气化、热剥离及颗粒整体移除等几种形式。

电火花脉冲放电的能量密度很高, 释放的热量在数微秒的时间内积聚, 使材料内部产生瞬时高温, 局部材料迅速熔化, 因而具有爆炸性效果, 导致熔融的材料被抛出或气化, 达到蚀除的目的。华子乐等^[8]研究认为, 热剥离蚀除在蚀除总量中占很大比例。电火花加工的脉冲特性决定了材料始终处于高频率的加热-冷却-再加热的循环中。由于陶瓷材料的导热率低, 塑性变形能力小, 这种热循环将在其内部产生很大的热应力。热应力不能通过塑性变形释放, 将导致材料微

裂纹不断生长并剥离。陶瓷材料熔点高、粘性强造成的再凝固粘附相的热剥离也在蚀除量中占有一定的比例。此外,电火花加工的局部爆炸性特点将致使部分颗粒整个被炸飞,这种颗粒的整体蚀除形式也是陶瓷材料的主要蚀除方式之一。

2 电火花加工陶瓷材料的表面质量

材料的表面质量取决于材料的加工方式,并在很大程度上决定着材料的使用性能和寿命。影响电火花加工工件表面质量的因素主要包括表面变质层和表面粗糙度。

电火花加工是一种特殊的加工方法,材料表层获得瞬时高温后又在工作液的作用下急速冷却,因而工件表层会形成成分、组织及应力状态有别于基体材料的变质层^[9]。陶瓷材料的表面变质层可分为熔化凝固层和热影响层。由于熔化凝固层和基体的结合不牢固,容易出现剥落现象。

表面粗糙度是材料表面微观形貌的反映,一般用轮廓算术平均偏差(R_a)来评定。电火花加工是以脉冲放电的形式蚀除工件材料的,脉冲放电会在材料的表面留下微小的放电蚀坑,使表面具有一定的粗糙度。放电蚀坑的深度与脉冲能量有关,降低单个脉冲能量并调整优化电参数是降低表面粗糙度最直接有效的方法。此外,选择合理的工作介质和加工速度也有利于改善加工后陶瓷材料的表面粗糙度。

表面变质层和表面粗糙度直接影响材料的表面性能。陶瓷材料电火花加工过程中会产生热应力,进而在表层生成微裂纹,在某种程度上造成表面力学性能的下降。为了保证电火花加工工件的表面质量,必要时可对表层进行机械打磨、研磨、抛光等后处理。

3 绝缘陶瓷电火花加工的研究进展

近十几年来,国内外都在积极改进绝缘陶瓷电火花加工技术,在加工工艺、材料的蚀除机理以及提高工件表面质量等方面进行了大量的研究。国外尤其是日本等在该领域的起步较早,取得了很多突破性的研究成果。国内也一直在进行着积极有益的探索。

日本的 Naotake M 和 Yasushi F^[10-14]在 20 世纪 90 年代中期用电火花加工金属镍和绝缘陶瓷赛隆的结合面时发现,金属被蚀除的同时,绝缘陶瓷也被蚀除,从而发明了辅助电极法绝缘陶瓷电火花加工技术。Chisato T 和 Keisaku O^[15]以钢为电极采用脉冲电源在 NaOH 等电解液中对绝缘陶瓷氧化铝(Al_2O_3)进行电解电火花打孔的研究。国内的徐小兵^[16]采用石墨辅助电极法对绝缘性陶瓷材料氮化硅(Si_3N_4)的电火花加工特性进行了研究,认为长脉冲放电是生成导电膜的原因,并得出了电参数及加工速度与表面粗糙度之间的关系。王斌修^[17]在 Konig W 等的基础上,对陶瓷材料的电火花蚀除机理进行了较系统的研究。贾志新等^[18]进行了电火花线切割加工氮化硅陶瓷表面质量的研究,讨论了表面粗糙度、表面变质层对材料使用性能的影响。郭永丰等^[19]深入研究了电解电火花复合加工工艺,提出了充气式电化学电火花复合加工方法。这种新技术可有效地对聚晶金刚石和非导电陶瓷进行大面积和较深孔的加工。

虽然 10 多年的研究取得了许多进展,但电火花加工绝缘陶瓷作为一种较新的陶瓷材料加工技术,对工艺和机理的研究还不甚完善,依然存在较多的问题尚待解决。

辅助电极法使绝缘陶瓷的电火花加工成为可能。但是在实际加工中,生成的导电膜厚度不均匀,对陶瓷表面的吸附性差,加工中较易脱落,致使放电不稳定,会出现加工中断的现象。并且辅助电极的制作较为复杂,成本较高。因此,简化辅助电极的制作工艺、提高放电稳定性将是今后研究的重点。陶瓷材料的蚀除是一个短暂、微观的过程,受观测手段的限制,目前还只能从宏观上来推测其可能的机理,无法对某些复杂的工艺现象作出更合理的解释,存在一定的局限性。需要结合陶瓷材料的微观结构对蚀除机理进行更为深入的研究,提高材料加工的表面性能,完善工艺。

4 结束语

绝缘陶瓷材料电火花加工技术经过 10 多年的研究已逐渐发展成为一种新兴的陶瓷材料加工手段,良好的辅助电极是实现绝缘陶瓷电火花加工的关键。进一步完善辅助电极的制作工艺,更加深入地开展对陶瓷材料电火花蚀除机理及表面质量研究,才能使绝缘陶瓷电火花加工技术逐步走向成熟,真正实现该技术在陶瓷材料领域的产业化应用。

参考文献

- 1 周振君,刘家臣,扬正方,等.材料导报,2001,15(1):33
- 2 刘晋春.特种加工[M].第4版.北京:机械工业出版社,2005
- 3 张晓化,刘道新.材料工程,2006,9:31
- 4 黄敢.机床与液压,2001,1:125
- 5 李明辉.模具技术,2002,6:49
- 6 徐盛林.电加工与模具,2002,2:41
- 7 Konig W, Aachen R, Dauw D F. Annals of the CIRP, 1998, 37(2):623
- 8 华子乐,严松浩,林广涌,等.陶瓷工程,1998,32(5):42
- 9 郭涛,王笃诚.电工艺技术,1991,2:40
- 10 Naotake M, Yasushi F, Takayuki T, et al. CIRP Annals - Manufacturing Technology, 1996, 45(1): 201
- 11 Naotake M, Yasushi F, et al. CIRP Annals-Manufacturing Technology, 2002, 51(1): 161
- 12 Apiwat M, Yasushi F, Naotake M, et al. J Mater Proc Techn, 2003, 140(1-3): 243
- 13 Naotake M, Yasuhiro F, Yasushi F, et al. CIRP Annals-Manufacturing Technology, 2003, 52(1): 157
- 14 Takayuki T, et al. J Mater Proc Techn, 2004, 149(1-3): 124
- 15 Chisato T, Keisaku O, Tetsuya S. J Mater Proc Techn, 1993, 37: 639
- 16 徐小兵.新技术新工艺,2003,5:17
- 17 王斌修.电加工与模具,2003,3:18
- 18 贾志新,王志勇,郭中杰.冶金设备,2005,2:1
- 19 郭永丰,黄荣和,李常伟,等.电加工,1998,6:23