

碳纤维复合材料电火花加工(EDM)机理研究

南京航空学院 王珉
香港理工学院 W.S.Lau

INVESTIGATION ON MECHANISM FOR ELECTRICAL DISCHARGE MACHINING OF CARBON FIBRE COMPOSITE MATERIAL

Nanjing Aeronautical Institute Wang Min
Hongkong polytechnical Institute Lau W.S.

关键词 碳纤维复合材料, 电火花加工

Abstract This paper presents an investigation into feasibility of using Electro-Discharge Machining(EDM) as a means of machining carbon fibre composite material. Basically, it is found that the EDM process can easily machine the composite material with small current. The presence of non-conducting fibre in the composite material does not affect the machining efficiency. The non-conducting fibres turn into conducting fibres due to carbonization during the ionization stage.

Key words carbon fibre, composite material, electrical discharge machining

应用于航空航天技术的碳纤维复合材料具有相当高的比强度、高弹性模量、重量轻、热膨胀小、以及具有导电性、对酸、碱有机溶剂有很大的耐蚀性等诸多的优点^[1]。但由于材料本身为纤维织物的层压浸渍结构,使其在切削加工时难于达到较高的光洁度与精度,而且容易产生毛边,甚至崩落和分层。为此,对碳纤维复合材料的电火花加工的可行性及其加工机理进行了探讨。并对电火花加工的各种工艺条件进行了分析^[4],为碳纤维复合材料的电火花加工提供了新途径。

1. 试验

在电火花加工机床(Eurospark H425 & Ap50)上,电极分别采用了两种材料,直径为10mm的紫铜棒和石墨棒。试验中的电火花放电加工时的信号监测使用数字存储式示波器,示波器信号输入的两端分别与电极和工件材料相连接;加工电流在0.5~5.0A范围,放电电压一般在10V左右,放电的脉冲宽度为80~550 μ s,脉冲间隔为120~550 μ s;工件为层压式的碳纤维复合材料,平纹织物,纤维体积含量65%,含浸物为环氧树脂类,厚度2.5mm的板材,其电阻率为0.5~1.0 Ω ·mm²/m。用扫描电子显微镜对碳纤维复合材料的电火花加工的表面状态进行了地貌分析,使用能极为20kV,放大倍数从170~6000倍。试验程序与测试规范参照CIRP“E”组的有关文件^[2,3]。

1990年7月30日收到,1991年1月11日收到修改稿

2. 加工机理研究

碳纤维为织物状排列,经浸聚四氟乙稀或环氧树脂类非导电物质后,层压而成为导电的碳纤维组织和非导电的含浸物质。一般来说对导电的碳纤维在电火花加工没有问题,但其中夹杂含浸的非导电物质会对放电产生阻隔作用,容易使电火花加工过程产生断路或放电间隔时间过大,扫描电镜观察被加工表面,发现在一定的电流条件下,碳纤维复合材料中含浸的非导电物质在放电加工时表面层被碳化成导电材料,使放电加工继续进行,其深层的非导体由于放电时的热影响又继续被碳化成为导体,如此往复循环,使得放电加工顺利地顺利进行。

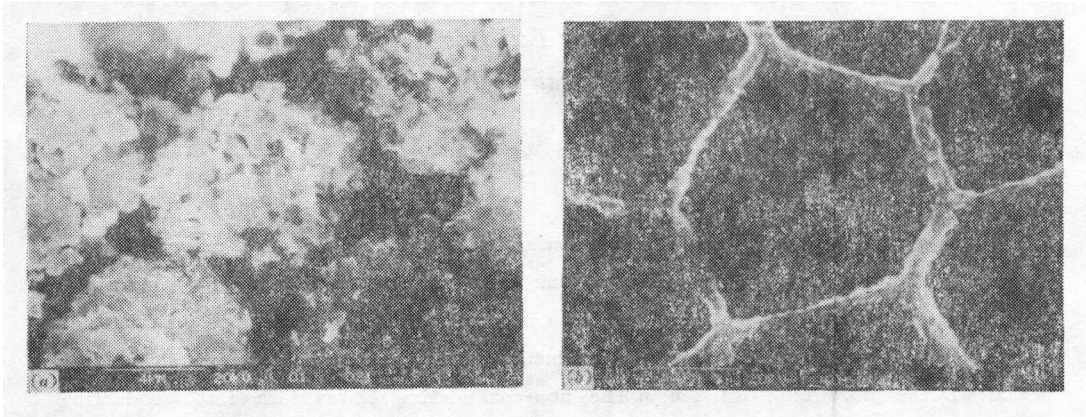


图1 垂直于碳纤维复合材料剖面的扫描电镜
(a) 碳纤维与含浸物质原状;(b) 含浸物质被碳化的情况

图1所示为一组垂直于碳纤维复合材料剖面的扫描电镜照片。图1(a)为一般切削加工得到的剖面,纤维间较暗的部份为含浸的非导电物质。图1(b)为电流0.5A时已加工表面,从图中可以清晰地看出受放电时的温度影响纤维有稍许地膨胀,纤维间的非导电物质呈现为层片状的碳化物状态,为网格状显示。由于试件表面在扫描电镜测量时未经任何处理,其二次成缘又十分清晰,证明其表面层形成了一个导电的整体,有利于放电加工继续进行。

碳纤维复合材料中的含浸物质为环氧树脂类或聚四氟乙稀,它们的碳化温度不高,故在电火花放电加工中对电流的要求较为苛刻。

图2为一组在不同加工电流下工件表面情况。图2(a)放电电流为0.5A时的加工表面,可以看出电火花在微爆炸时所破断的碳纤维层较浅,热影响区较浅,仅为一层左右,此时的材料切除率不高。图2(b)中放电电流为1.0A时,电火花的微爆炸影响较明显,在一定的间隔形成较深的小炸坑,坑与坑之间的碳纤维由于含浸粘结相的碳化而失效,其碳纤维炸断后自动脱落,加工时材料的切除率明显增加。图2(c)为放电电流2.0A时的表面情况。由于加工区温度过高,其熔融状的非定形碳化物逐渐增多,复盖或部分复盖了已加工的表面,电火花爆炸坑的影响深度也有所减小,其熔融物又进一步阻止了炸断碳纤维的脱落,加工的材料切除率反而下降。

由于在放电加工中电极与工件材料中的导体产生放电时的高温碳化了工件材料中的非导体,使之成导体,因此放电能够继续下去。并发现加工极性对这种材料加工的材料切除

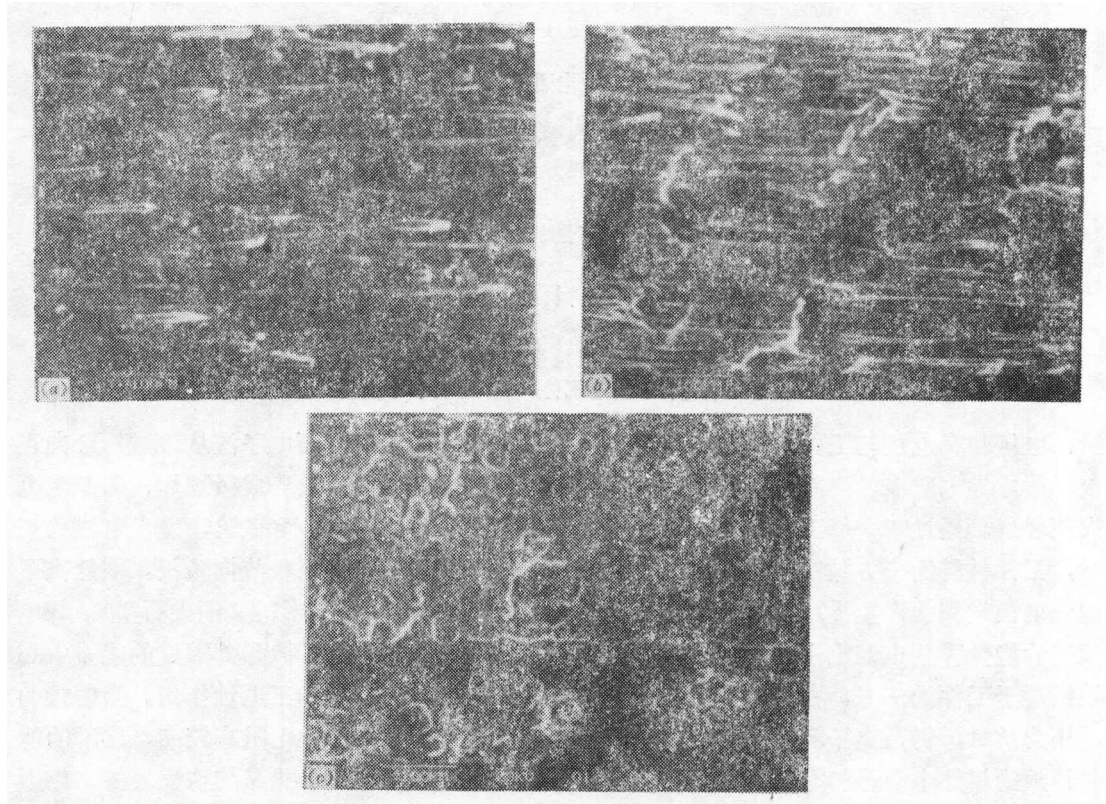


图 2 不同放电电流加工的表面形貌
(a) 电流为0.5A, (b) 电流为1.0A, (c) 电流为2.0A。

率和电极相对损耗率的影响较大。通过对同样加工条件，而加工极性不同被加工表面的扫描电镜的观察得出了极性效应作用机理的初步模型，从图3可以看出在工艺条件完全相同的情况下，当电极为正时，其电火花爆炸的灼伤痕的深度较深，形成一个较圆的深坑。而

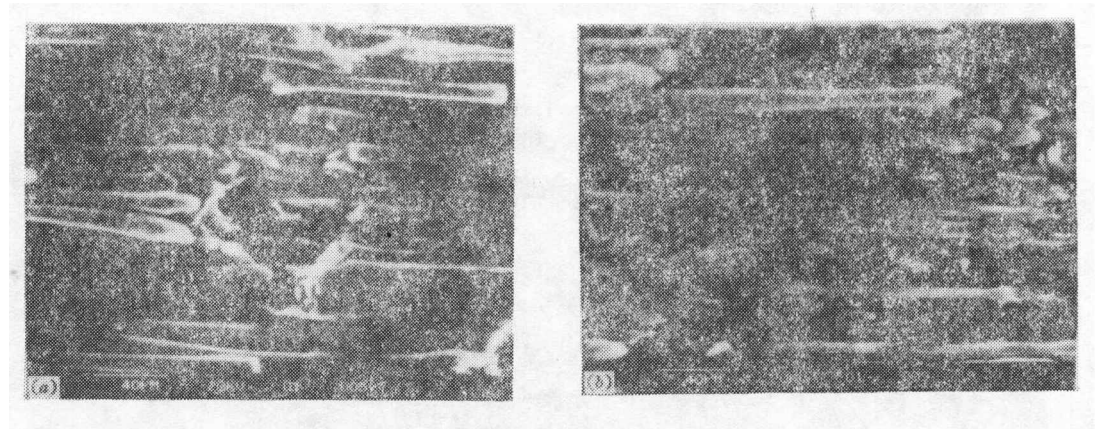


图 3 放电极性对加工表面的影响
(a) 电极为正时的灼伤痕 (b) 电极为负时的灼伤痕

电极极性相反时其灼伤痕的深度较浅。说明了电火花微爆炸的能量中心在加工极性不同时，离开工件的距离也不相同。图4为加工极性对加工过程影响的机理模型。当放电加工开始

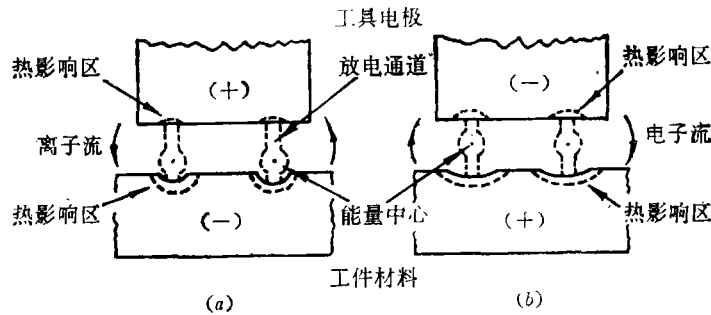


图4 加工极性影响的机理模型
(a) 能量中心接近工件; (b) 能量中心上移

时,电压加在电极与工件的两端,这时离子流从正极流向负极,而电子流从负极流向正极,形成导电通道。当能量积聚到一定程度时进行放电,释放能量形成微爆炸,即产生电火花现象。通过在全部工艺条件相同的情况下仅仅改变放电的极性试验,发现电极为正时,工件材料的一方被蚀量较大,反之则较小。由于离子流是从正极流向负极,因此离子流在电蚀过程中占主导地位。再加上工件材料的电阻率大于电极材料(铜或石墨),导电通道的能量释放也偏重于消耗在电阻率大的一方。因此如图4(a)微爆炸形成的能量中心较接近于工件的一方,在工件上形成一个较深的灼伤痕,而产生加工电蚀作用。当电极的电压为负时,仍是离子流占主导地位,但由于导电通道的工件一方电阻率较高,这时的能量释放的爆炸中心虽然有所上移,但仍对工件产生电蚀加工作用,只是灼伤痕较浅,热影响的曲率半径较大而已,如图4(b)所示。再加上电极的一方材料导热性能较好,材料的结构也较紧密,因此受热影响虽大,但损耗还是小得多。

参 考 文 献

- 1 Roethel B, Kosec L, Garbajs V. Contribution to the Micro-Analysis of the Spark Eroded Surface. *Annals of the CIRP*, 1976; 25:(1) 97~101
- 2 Lenz E, König W. Cracking Behaviour of Sintered Carbides during EDM. *Annals of the CIRP*, 1975; 24:(1) 103~107
- 3 Meshcheriakov G H. Physico Chemical Surface Phenomena in EDM Process and Metal Transfer. *Annals of the CIRP*, 1980; 29:(1) 117~123
- 4 Lau W S, Wang Min. Electrical Discharge Machining of Carbon Fibre Composite Materials. *Int J Mach Tools Manufact.* 1990; 30:(2) 297~306