

碳硅铝复合材料工件线切割加工技术

■ 中国电子科技集团公司第38研究所（安徽合肥 230088） 黄艳云

摘要：介绍碳化硅颗粒增强铝基复合材料的特点。通过试验优化线切割加工参数，加工出合格工件，为含有非导电性增强体复合材料工件的加工提供了思路。



1. 材料特点

现代科技和工业的快速发展对材料提出了越来越高的要求，金属基复合材料作为一类重要的新材料，具有耐高温、高比强、高比模、热膨胀系数小和抗磨损等优点，正在航空航天及其他高科技领域得到日益广泛的应用。其中，从20世纪80年代开始，世界各国竞相研发颗粒增强铝基复合材料，经过数十年的研发，在基础研究和开发与应用等方面都取得了显著成果。

相比传统金属材料，碳化硅颗粒增强铝基复合材料的特点主要有以下几方面：

（1）材料各向同性。与长纤维金属基复合材料相比，碳化硅颗粒增强铝基材料基本上表现

为各向同性，因而可以借用传统金属材料的设计理论进行结构设计，可以简化设计过程，充分利用材料。

（2）良好的尺寸稳定性和热特性。此材料热膨胀系数随SiC含量的增加几乎呈线性下降，同时其导热系数和比热等热参数均接近基体，因而具有良好的尺寸稳定性，可在温度变化剧烈的环境中使用，这在航空航天工业中是十分重要的。

（3）良好的耐高温性能。此材料耐高温性能良好，抗氧化，具有较高的抗热冲击、抗热蚀能力。

（4）良好的力学性能。大量试验已证明该材料具有高比强度和比刚度，并且耐磨性能、耐疲劳性能良好，因而具有优异的力学性能，适用于对质量要求苛刻的航空航天领域。

（5）较低的断裂韧性。原材料制备困难，加工、涂覆和焊接性能较差。颗粒增强铝基复合材料的断裂韧性低于基体合金，同

时其原材料制备、加工、涂覆和焊接等工艺过程难度远大于基体合金，这在一定程度上限制了其应用范围。

从军工电子行业来看，随着电子元器件的复杂性、密集性以及集成度的迅速提高，传统的电子封装材料已经无法满足要求。作为第三代电子封装材料的代表，高体积分数碳化硅颗粒增强铝基复合材料（SiCp/Al）具有良好的参数匹配性、优良的力学性能和热性能，已在基于各种平台的雷达设备中得到应用。在利用其优良特性的同时，不可避免地需要解决其加工过程的困难。本文介绍了在某科研课题中遇到的碳化硅颗粒增强铝基复合材料壳体的加工难题及其解决办法。

2. 关键加工工艺研究

某课题上使用的组件壳体结构如图1所示，其属于小型薄壁精密件，毛坯采用了碳化硅颗粒增强铝基（SiCp/Al）复合材料。此种复合材料含60%碳化硅颗粒、40%铝合金。在研制前期，我们

采用传统的机械加工方法加工，结果存在刀具磨损严重、表面粗糙度值大等问题，加工相当困难，难以满足使用要求。同时，由于其成本高、效率低，批量生产时更是难以实施。因此，经过反复讨论，决定采用电加工工艺方法对其外形进行精加工。

电加工工艺方法的基本原理是：基于工具和工件之间的脉冲性火花放电时的电腐蚀现象，去除多余材料实现切割，适用于加工导电材料。我所通常使用电加工方法的工件材料为铝合金、铜合金及钢等金属材料，而SiCp/Al复合材料中由于含有大量导电率差的碳化硅颗粒，会对电加工过程造成不利影响，如采用的参数不当，必然难以满足要求，甚至造成工件损坏。由于以前未接触过此类材料的电加工，无任何加工经验可以借鉴，同时在文献资料中也未查询到可供参考的数据，因此拟采用加工试验的方法摸索其适用的加工参数。

线切割试验在现有高速走丝线切割设备上，开始试验时，首先采用常用的加工钢件的切割参数，结果在切割过程中出现频繁的短路现象，易断丝，切割速度极慢且无法切割出直线，基本上不能加工。在后续试验中，对放电电流、脉冲宽度、脉冲

间隔及放电电压等参数进行调整和优化，消除短路现象，使排屑顺畅，逐步解决了材料的加工问题。具体的试验参数、加工现象和结果如附表所示。

试验表明，采用第4组工艺参数加工出的SiCp/Al复合材料试件表面质量好、加工精度高。不同参数加工出的工件如图2所示。

通过分析认为：在电加工过程中，导电性差的增强体材料主要以高温的熔化、气化及热应力作用下的脆性剥落形式被从基体蚀除。提高功率有利于该蚀除过程的进行，提高工作电压并增加脉冲间隔保证有效排屑，可使放电过程连续进行，获得较快的切割速度和较好的表面质量。

接下来按此组参数又进行了数次加工试验，结果表明加工

质量的一致性较好，可用于工件加工。在随后的工件电火花加工中，采用此组参数获得了较好的加工效果，工件表面质量良好，且加工速度达到了铝合金材料加工速度的一半，效率较高。

3. 结语

SiCp/Al基复合材料作为一种新的结构材料有着广阔的应用前景，在现代军工电子工业中得到了一定程度的应用，但其存在的缺点制约了广泛应用，要实现大规模产业化还需要做不少工作。本文通过对该种难加工材料的电加工试验，成功解决了碳化硅颗粒增强铝基复合材料（SiCp/Al）组件壳体的外形加工问题。该工艺思路和工艺参数对其他含有非导电性增强体的复合材料具有一定的可借鉴性。

试验参数对比表

序号	工作电压/ V	工作电流/ A	脉冲宽度/ μs	脉冲间隔/ kHz	功率管数/ 个	加工现象和结果描述
1	45	2	5	6	7	频繁地短路、断丝，无法切割
2	45	2.2	6	8	8	放电正常，偶尔短路，可切割，切割速度为15mm ² /min，表面粗糙度质量很差
3	55	2.1	5	9	9	放电正常，切割速度较快，表面粗糙度质量一般，有明显切痕。
4	70	1.8	6	9	9	放电正常，切割速度达25mm ² /min以上，表面平整，表面粗糙度质量好



(a) 初始工艺参数加工件



(b) 适用工艺参数加工件

图 2

参考文献：

- [1] 伍端阳，梁庆. 数控电火花线切割加工实用教程[M]. 北京：化学工业出版社，2015.

- [2] 周章添，邱建忠，戴乃昌. 数控线切割加工技术[M]. 北京：机械工业出版社，2012.

MW (收稿日期：20170208)

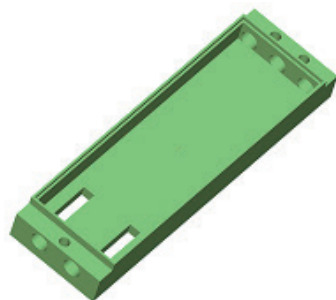


图1 壳体模型