

# 激光切割碳纤维材料研究

段自海, 陈嘉辉  
航天学院, 西北工业大学, 西安, 陕西, 中国

**简介:** 采用激光切割碳纤维复合材料, 可以避免传统加工工艺带来的刀具磨损、复合材料分层、加工后材料性能变差等问题。本研究通过数值方法研究面热源对碳纤维复合层板的热传导、材料去除过程, 实现激光切割碳纤维复合材料的模拟, 可用于研究激光功率、光斑半径、扫描速度等工艺参数对切割的影响, 对于优化激光切割工艺具有实际意义。

**计算方法:** 通过在复合材料板表面加入面热源, 模拟红外激光束对材料表面的加热作用。然后, 利用固体传热模块计算面热源作用下各向异性材料中非稳态传热过程, 当温度达到碳纤维和树脂基体的汽化点时, 通过变形几何模拟激光对材料的去除, 其控制方程为:

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial \tau} + \rho C_p \mathbf{u} \cdot \nabla T + \nabla \cdot (-k \nabla T) = Q$$

其中,  $Q$  为符合高斯分布的面热源, 用来模拟激光加热, 其热流密度<sup>[1]</sup>为:

$$Q = \left( \frac{2P}{\pi R^2} \right)^2 \left( \left( \frac{x-x_0}{R} \right)^2 + \left( \frac{y-y_0}{R} \right)^2 \right)$$

其中 $P$ 为激光功率, 大小为20W,  $R$ 为光斑半径, 大小为100 $\mu\text{m}$ ,  $v_0$ 为激光扫描速率, 大小为0m/s。当材料温度高于烧蚀温度即发生烧蚀, 此时材料烧蚀吸收的热通量可以用斜坡函数的形式给出:

$$q_a = h_a(T_a - T)$$

$T_a$  为相变温度。

进一步, 引入材料由于烧蚀引起的去除速率

$$v_a = q_a / \rho H_s$$

$H_s$  为气化潜热。

热源  $Q$ , 热通量  $q_a$ , 法相移动速率  $v_a$

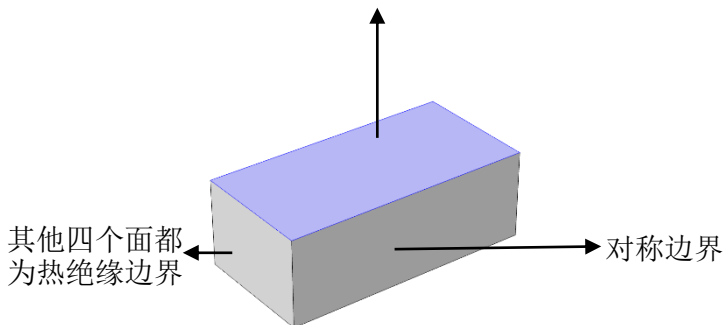


图 1. 计算几何区域

**材料参数:** 本研究材料为T300碳纤维复合材料<sup>[2]</sup>。在该材料中, 纤维铺层以0°、90°交错铺设, 材料表现为各向异性。为了模拟这种情况, 在材料物性参数设置为分段函数。并且在底层加一个散热层, 防止材料烧穿所引起的拓扑结构改变。

表 1. 材料参数

材料参数	单位	碳纤维	散热层
密度 $\rho$	kg/m <sup>3</sup>	1850	1000
比热容 $C_p$	J/(kg/K)	710	10000
热导率 $k$	W/(m/K)	{50,5}	1000
相变潜热 $L$	(kJ/kg)	43000	1*10 <sup>6</sup>
气化温度 $T$	K	3900	1.0003*10 <sup>6</sup>

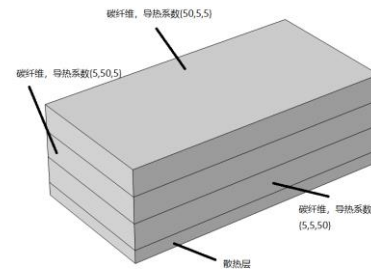


图 2. 材料铺设方向

**结果:** 当温度达到烧蚀温度时, 碳纤维材料将气化去除, 如图3所示。取温度大于3800K的区域作为温度影响区域, 如图4所示。监测坐标原点处温度, 绘制其随时间变化的关系。我们认为当温度第一次达到烧蚀温度的时间为材料烧穿时的时间节点, 如图5所示。

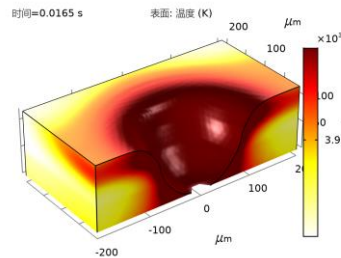


图 3. 烧蚀过程

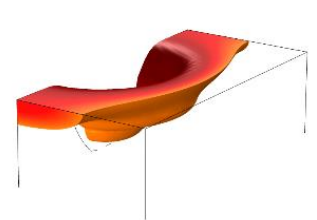


图 4. 温度大于3800K的区域

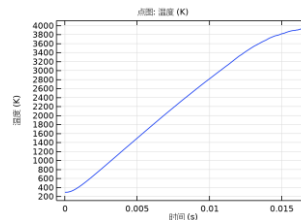


图 5. 原点处温度变化过程

**结论:** 对上述结果可以看出, 碳纤维材料导热各向异性, 导热系数越大的方向热量传导越快, 烧蚀范围越宽。且碳纤维的导热系数较高, 热影响区较大。对于120 $\mu\text{m}$ 厚的碳纤维复合层板, 烧穿时间约为0.016s。本模拟仅考虑材料由碳纤维组成, 忽略了环氧树脂基体, 因此模型的精度具有较大的提升空间。

## 参考文献:

- 薛庆明. 高模量碳纤维增强复合材料激光切割技术研究[D].
- 徐合兵. 机织碳纤维复合材料短脉冲激光切割的实验研究与数值模拟[D]. 2017.