

颗粒增强金属基复合材料的热-力耦合破坏阈值¹⁾

龙士国^{*} 周益春^{**} 段祝平^{**}

^{*}(湘潭大学基础力学与材料工程研究所, 湘潭 411105) ^{**}(中国科学院力学研究所, 北京 100080)

摘要 研究了颗粒增强金属基复合材料(MMC)在激光热冲击与机械载荷耦合作用下的损伤阈值和断裂阈值。并把剪切滞后模型推广应用到 MMC 的热-力耦合分析中, 从而在理论上估算出了损伤阈值和断裂阈值, 计算结果与试验结果基本一致。

关键词 颗粒增强金属基复合材料, 热-力耦合, 阈值

引言

陶瓷颗粒增强金属基复合材料(MMC)由于在高温下仍具有高的比强度和比模量而受到人们的高度重视^[1]。由于陶瓷颗粒与金属基体材料的热和力学性能有巨大差异, 一方面造成这种复合材料在受到热冲击作用时, 颗粒与基体将产生热失配, 另一方面在受到机械载荷时, 将产生变形失配。而这种材料在实际使用过程中往往是热和力同时作用其上, 这将给材料带来难以预料的破坏, 因此, 研究颗粒增强金属基复合材料热-力耦合破坏的损伤阈值和断裂阈值具有重要意义。

1 实验

实验选用两种不同颗粒空间分布的热压成型 SiC 颗粒增强 Al 合金 MMC 复合材料, 其中 SiC 颗粒的重量百分比都是 15%, 平均大小为 10 μm , 但其中一种颗粒分布较均匀(代码为 uk), 另一种颗粒分布不均匀(代码为 cn)。

热冲击实验所使用的激光热源是由“力光”可调式千兆瓦级高功率钕玻璃激光装置输出的长脉冲激光束, 其脉宽为 250us, 激光强度的空间分布是均匀的, 即是非高斯分^[2]; 与此系统相配的有机机械加载台, 其加载大小可调。

把试件加工成如图 1 所示的尺寸, 制成单边缺口是为了使裂纹沿着固定方向扩展, 便于观察。正面是激光作用面, 保持粗糙状态, 以便于激光的吸收; 为了在 SEM 下观察由激光热-力耦合所产生的微观形貌, 背面抛光。在试件的两端加有机机械载荷 σ 。

2 实验结果

通过对不同的激光功率密度 E_j 和机械载荷 σ_{\max} (σ_{\max} 为缺口根部的集中应力) 耦合作用的试件在扫描电镜(SEM)下观察分析, 根据微观损伤破坏的程度, 可以得到损伤阈值和断裂阈值。将激光功率密度 E_j 和机械载荷 σ_{\max} 作为横、纵坐标, 在 $E_j - \sigma_{\max}$ 平面上, 由损伤阈值和断裂阈值可将它分为未损伤区、损伤区和断裂区, 图 2(a)和(b)分别是 cn 材料和 uk 材料的结果。从图中可以看出, 无论是 cn 材料还 uk 材料, 激光功率密度与机械载荷对材料的耦合作用都不是简单的线性叠加, 它们呈现一种非线性效应。从图 2(a)和(b)还可

1) 国家 863 高技术激光技术领域, 国家自然科学基金(19772043), 中国科学院重大项目 KJ951-1-201 和湖南省教委资助项目

可以看出, uk 材料明显比 cn 材料耐耦合作用, 即图 2(b)的损伤区域面积明显比图 2(a)的损伤区域面积大。这与两种材料的微观结构有密切关系, 由于 cn 材料的增强颗粒分布不均匀, 使 cn 材料比 uk 材料的一般力学性能低, 这必然降低它的热冲击性能。

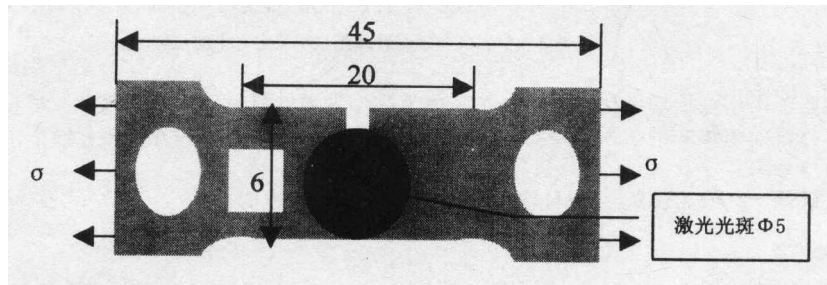


图 1 试件尺寸及热-力耦合方式

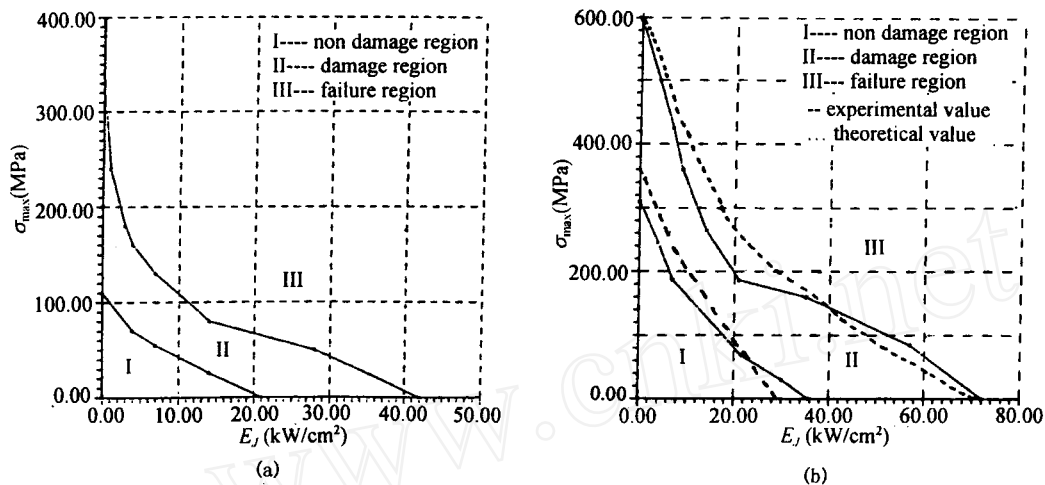


图 2 损伤阈值和断裂阈值: (a) cn 材料, (b) uk 材料

3 理论分析

为从理论上分析损伤阈值和断裂阈值, 对剪切滞后模型^[3]进行修正: 将颗粒视为一短圆柱体, 且是完全弹性的, 基体材料是热-粘塑性的, 不仅计及了柱体侧面的应力传递, 而且计及了柱体端面的应力传递。把基体强度作为损伤准则, 把裂纹扩展能量释放率 G 与裂纹扩展阻力 R 满足下列关系作为断裂准则

$$G \geq R, \quad \frac{\partial G}{\partial a} \geq \frac{\partial R}{\partial a}$$

对 uk 材料进行上述分析, 结果如图 2(b)所示, 其与试验结果比较一致。

参 考 文 献

- 1 EL-Naser A-B A. High temperature rupture of an SiC particulate reinforced AL composite under multiaxial stress states. *Mater Sci Eng*, 1996, A214(1): 33~41.
- 2 周益春, 王春奎, 段祝平. 吉瓦级“力光”可调式钕玻璃激光器. *强激光与粒子束*, 1995, 7(6): 350~354
- 3 Hsueh CH. A modified analysis for stress transfer in fiber reinforced composites with bonded fiber ends. *J Mater Sci*, 1995, 30: 219~224