

缺陷对陶瓷冷、热冲击热震裂纹扩展的影响研究

李俞桥^{1,2}, 邵颖峰^{1,2,*}, 宋凡^{1,2}

(¹中国科学院力学研究所, 非线性力学国家重点实验室, 北京 100190

²中国科学院大学工程科学学院, 北京 100190)

摘要:

陶瓷具有较高的熔点、良好的物理化学稳定性和优异的高温耐腐蚀性, 因此广泛的应用在高温环境中。但是其固有的脆性使其容易出现热震损伤, 统计表明, 工程陶瓷的热震损伤失效超过总失效的 1/3。因此, 研究陶瓷的热震开裂性能对设计和工程应用都有重要意义。在过去的几十年中, 已有许多关于热震开裂的理论研究, 但是, 这些理论并不能证明实验的整个过程, 而只能证明最终结果。为了提高理论计算与实验测量之间的一致性, 我们提出了一种可以实时观测整个热震过程的方法, 该方法已成功地用于定量研究裂纹扩展。

陶瓷由于它的固有脆性, 在制备或服役过程中或多或少会含有孔隙或微裂纹。以往有许多理论工作对裂纹和既有缺陷之间的相互作用进行了研究。相应的实验工作集中在拉伸、压缩或双轴加载下裂纹的萌生、扩展以及与缺陷之间的相互作用。然而, 由于热震开裂的实时观测比较困难, 有关热震裂纹与既有缺陷之间的相互作用研究还很少。

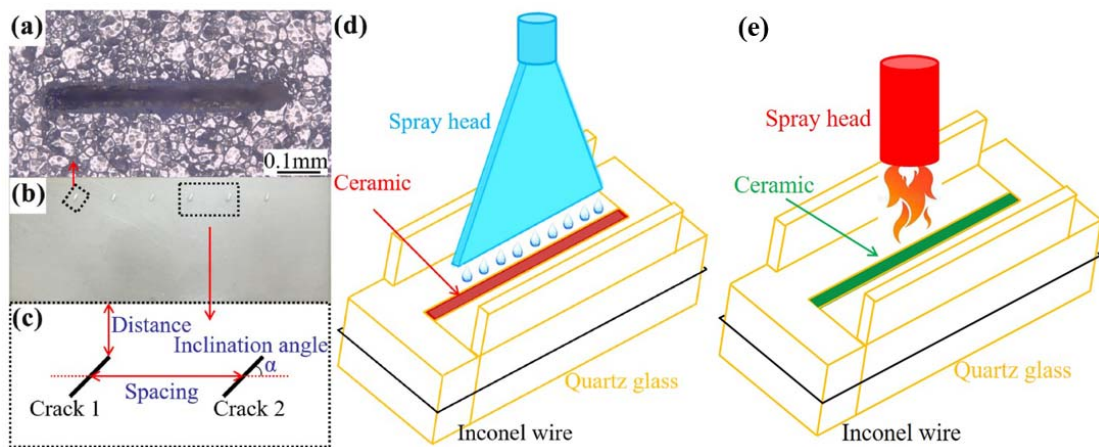


图1 (a) 试样上的预制穿透裂纹, (b) 激光加工后的试样, (c) 试样上两个缺陷的示意图, (d) 冷冲击实验装置示意图, (e) 热冲击实验装置示意图

我们通过用激光器预制裂纹的方式来模拟陶瓷材料中的缺陷, 并运用热震过程的实时观测方法, 在实验上研究了缺陷对冷、热冲击下热震裂纹扩展的影响。结果表明, 半透明陶瓷片在受到冷冲击热震时, 热震裂纹会从热震面开始产生并向内扩展; 热震裂纹扩展到预制裂纹后, 有概率在预制裂纹的下端出现次生裂纹, 次生裂纹出现的概率随着预制裂纹角度的增大而增大; 次生裂纹的总垂直长度短于其他未与预制缺陷相互作用的热震裂纹, 且随着预制裂纹角度的增加总垂直长度也逐渐增加; 而陶瓷片在受到热冲击热震时, 热震裂纹则会在预制裂纹两端出现, 它的扩展速度比冷冲击热震裂纹快 3 个数量级, 这主要由冷、热冲击热震时不同的应力状态造成的。

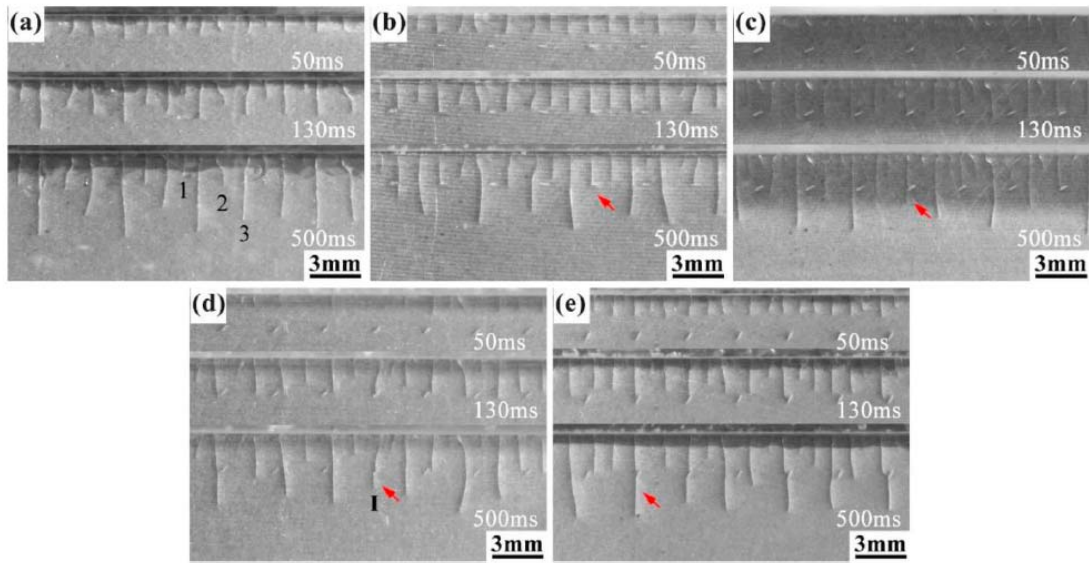


图2 冷冲击下，温差为 300℃，裂纹上边距为 2mm，预制裂纹角度为 (a) 无，(b) 0°，(c) 26.6°，(d) 45° 和 (e) 63.4° 时，裂纹的萌生，扩展以及与预制裂纹的相互作用。

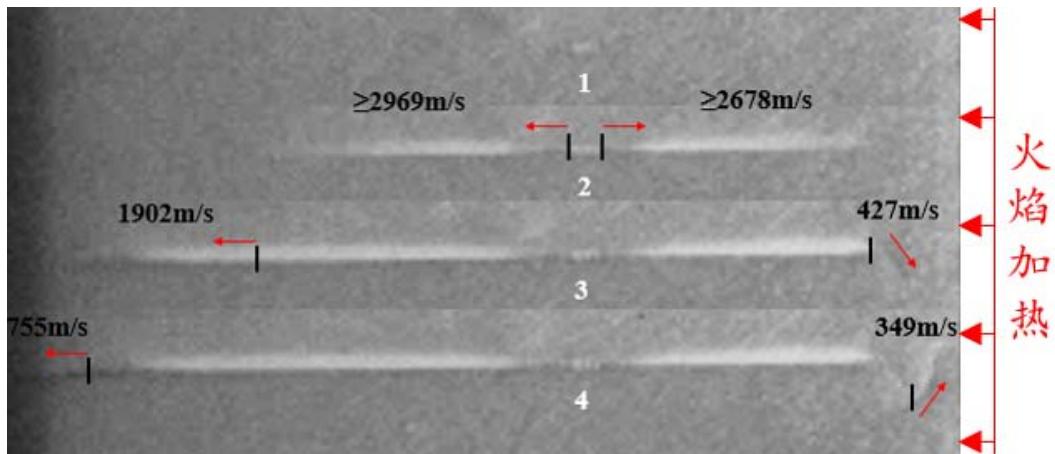


图3 热冲击下，裂纹的萌生、扩展以及与预制缺陷的相互作用

另外，我们还根据实验条件建立了有限元模型，对带有缺陷的陶瓷的热震受损过程进行了模拟。模拟结果与实验结果基本一致的同时，我们还发现与预制裂纹的相互作用会影响热震裂纹的裂纹等级。

本文定量研究了预制裂纹对陶瓷热冲击裂纹扩展的影响，拓展了对热震破坏机理的研究。