

# 棱锥压头几何形状和试样力学性能 对压入径向裂纹萌生的影响

冯义辉 张泰华

(中国科学院力学研究所, 北四环西路15号, 北京, 100190)

**摘要:** 仪器化压入测试技术, 能够识别材料微区的硬度和力学性能参数, 已成为微小尺度力学测试的重要手段。当被测试样为脆性材料时, 压入可能在试样表面产生裂纹。压入裂纹萌生是仪器化压入测试技术研究中的关键问题。当测试断裂力学参数(如断裂韧性  $K_{IC}$ )时, 压入裂纹是测试的必要条件, 应确保出现; 当测试非断裂力学参数(如硬度  $H$ 、弹性模量  $E$  等)时, 压入裂纹可能引起测试误差, 应避免出现。研究压入裂纹萌生, 有助于区分仪器化压入测试中断裂测试和非断裂测试的实验条件, 包括压头的选取。压入裂纹的萌生由裂纹驱动应力的强度和分布决定。压头几何形状和试样力学性能主要影响裂纹的驱动应力强度。仪器化压入测试通常使用棱锥形压头, 测试断裂力学参数主要利用径向裂纹, 因此本文以棱锥形压头在脆性试样上产生的压入径向裂纹作为研究对象, 通过应力场分析、数值模拟和实验验证, 研究压头几何形状和试样力学性能对径向裂纹萌生的影响。基于实验观测, 本文假设径向裂纹萌生位置为试样表面附近的压痕角点处。径向裂纹的驱动应力为试样表面附近压痕角点外侧的环向应力。首先, 借助 Yoffe 压入应力场模型, 分析径向裂纹的驱动应力, 可知其在卸载结束时达到最大值, 并得到径向裂纹最大驱动应力与压头的等效半锥角  $\alpha$  和侧棱数  $q$  之间的函数关系。此函数关系表明, 较小的  $\alpha$  和较大的  $q$  容易导致径向裂纹萌生。其次, 利用 ABAQUS 软件进行数值模拟, 对比  $\alpha$  值、 $q$  值和试样力学性能变化分别引起最大驱动应力的改变, 证明应力场分析的结果, 并且发现, 在相同棱锥压头作用下, 塑性流动性能较好的试样容易导致径向裂纹萌生。最后, 通过三种典型棱锥压头(Berkovich、Vickers 和 cube-corner)在两种典型脆性材料(钠钙玻璃和熔融石英)上的实验验证, 确认以上应力分析和数值模拟得出的结论。

**关键词:** 仪器化压入、棱锥压头、脆性材料、裂纹萌生、断裂韧性