

MS0615

材料表面残余应力的仪器化压入识别方法

逯智科¹, 冯义辉¹, 张泰华¹

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

E-mail: luzhike@lnm.imech.ac.cn

摘要: 残余应力易引起金属材料构件的失效, 需发展无损测试技术。仪器化压入是一种微区力学测试技术, 通过金刚石压头压入试样表面 $10^2\text{nm} \square 10^2\mu\text{m}$, 基于测量和分析载荷-深度($F-h$)曲线, 可以识别多种力学参量(如硬度、弹性模量、塑性参量、断裂韧度等), 而且其测试结果易受残余应力的影响, 适用于残余应力无损测试技术的研究。

本文提出一种仪器化压入识别材料表面残余应力的分析方法, 与压入测试技术结合有望发展成一种实用的测试方法。首先, 选取相对加载曲率作为分析参量, 该参量易从加载曲线中精确测量, 假设材料的本构关系为线弹-幂硬化, 通过量纲分析, 建立该分析参量与归一化残余应力之间的无量纲函数关系式。发现相对加载曲率是材料参数和归一化残余应力的函数。其次, 通过有限元分析拟合该无量纲函数关系式, 建立仪器化压入识别残余应力的分析方法。发现相对加载曲率与归一化残余应力存在线性关系, 其线性系数只与材料参数相关, 且拉应力与压应力对应不同的线性系数。第三, 通过准确性和敏感性分析证明本方法的可靠性。通过本方法识别的应力值与有限元输入的应力值进行比较, 发现误差通常小于 10%, 但当材料屈服应变接近 0.001 和硬化指数接近 0.05 时, 误差会超过 50%; 分别给相对加载曲率、屈服应变和幂硬化指数 5%、5%和 0.02 的扰动, 通过误差传递, 引起残余应力的扰动通常小于 10%。最后, 设计加工预应力装置及其试样, 通过压入试验, 检验本方法识别残余应力的可靠性。选取 45 钢、Q235A 钢、铬 13 不锈钢和 7075 铝 4 种材料, 先在无应力下进行压入试验, 后通过预应力装置施加特定大小的应力(约 90%、70%、50%、30%和 10%的材料屈服应力), 在有应力下进行压入试验。通过计算相对加载曲率, 发现本方法测定的应力值与名义参考值(即标定值)是一致的, 误差不超过 10%。

Keywords: 残余应力;仪器化压入;力学测试;金属材料;有限元分析;

Preferred Presentation Type: