

线弹-幂硬化材料参数的球形压入 一体化识别方法

于畅 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: 仪器化压入是一种微区、微损的测试技术, 制样和操作简便快捷, 已成为测定微/纳米尺度力学参数的通用方法。常用的压头可分为锥形(三棱锥和四棱锥)和球形两类。锥形压头识别塑性参数时, 由于自相似性, 必须使用不同锥角的压头多次测试, 过程复杂; 球形压头识别弹性模量的 Oliver-Pharr 方法以接触面积和卸载刚度作为分析参量, 精度有限。本课题组姜鹏和张泰华等人发展的塑性参数识别方法(简称加载功方法)基于加载功方程和 Meyer 关系, 实现一次加载识别塑性参数(屈服应力和硬化指数), 测试简便。本文在此基础上发展基于球形压入测试的弹性参数识别方法, 从而实现弹塑性参数一体化识别。

经过加载功方法的误差分析认为: (1)压入深度 h 的误差传递系数最大, 但 h 的测量误差源于压入仪器, 小于 1%; (2)弹性模量 E 的误差传递系数与 h 相当, 且球形压入识别 E 的误差较大; (3)压头半径 R 的误差传递系数是 h 的 0.2~0.5 倍, 相对较小; (4)加载功 W_l 的误差传递系数远小于其他三个参量。因此 E 为主要影响因素, 精度也无法有效控制, 所以有必要深入研究球形压入识别弹性模量的方法。

基于改进的 Johnson 孔洞扩张模型, 分析载荷-深度曲线的卸载段, 假设卸载过程材料仅发生弹性恢复, 该过程可等效为加载结束时的应力场中反向叠加弹性场, 应用弹性力学 Lamé 解得到卸载过程的应力场分布, 积分得到卸载功。由于卸载段受加载段影响, 卸载功方程中同时含有弹塑性参数, 与上述加载功方法中的两个方程联立, 实现弹塑性参数的一体化识别。为此, 理论分析这三个方程, 验证本方法的稳定性, 再用数值模拟和典型试验验证本方法解的收敛性和准确性, 修正卸载功方程, 从而发展一种弹塑性参数一体化识别的新方法。

关键词: 仪器化球形压入, 线弹-幂硬化材料, 弹性模量, 屈服应力, 硬化指数