

一种幂硬化材料塑性参数的仪器化球压入测试方法

姜鹏 张泰华

(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)

【摘要】本工作旨在发展一种识别幂硬化材料塑性参数(屈服应变和硬化指数)的球压入分析方法, 以丰富仪器化压入的测试内容, 拓展该测试技术的使用范围。主要内容分为: 如何选取压入试验中的可测参量作为分析参量, 如何建立分析参量和材料塑性参量之间的函数关系, 如何进行数值和试验的对比验证。

通过对压入试验中可测参量的综合分析, 本工作选取压入总功和 Meyer 指数作为分析参量。原因如下: 测量精度高, 即这两个测量参量均为压入加载段的响应信息, 可以降低噪声等不确定因素的影响; 敏感性显著, 它们能充分体现不同材料之间力学参数的差异; 独立性强, 它们之间不存在与材料力学参量无关的函数关系。其中, 敏感性和独立性是保障分析方法稳定的必要条件。

为建立所选分析参量与材料力学参量之间的函数关系式, 本工作基于 Johnson 孔洞扩张模型, 考虑材料凸起和凹陷(pile-up/sink-in)的影响, 并结合数值修正方法建立压入总功与塑性参数之间的函数关系。其次, 探讨 Meyer 关系式的合理性, 并在固定范围内对 Meyer 关系式进行经验性修正, 解决其适用范围的不确定性问题。基于有限元模拟, 数值验证上述方法的准确性和稳定性。至此, 将试验中测得的压入总功和 Meyer 指数, 代入上述两个关系式中求解, 便可获得材料的屈服应变和硬化指数。本分析方法的特点: 可直接利用载荷-深度数据识别材料的塑性参数, 且方法所选取的分析参量易于精确测量, 适应于仪器化压入测试技术的发展; 球压头的采用避免了压头的更换, 且方法中只含有少量的经验系数, 便于本方法在仪器化压入体系下的推广应用。

为了验证本方法在实际工况下的使用性能, 选用 10 种典型金属材料, 分别进行压入试验和拉伸试验。比对试验结果表明, 对于大多数材料, 本方法预测屈服强度的误差可以控制在 20%以内。可见, 本方法适用于识别材料的屈服强度和硬化特性, 可为工程应用提供有效参考数据。

【关键词】 仪器化压入 幂硬化材料 力学性能 屈服强度 硬化指数

【作者简介】

张泰华: 男, 博士, 教授级高工, 博士生导师。1990 年在中国科学技术大学近代力学系获学士学位, 1995 年在西安交通大学力学系获硕士学位, 1999 年中科院力学所获博士学位。1999 年 7 月至今, 在中科院力学所非线性力学国家重点实验室工作。2010 年, 获国家杰出青年科学基金资助, 入选中科院“百人计划”和“现有关键技术人才”。



主要从事微/纳米力学的技术和方法研究: 系统地研究了纳米压入实验技术, 提高了测试可靠性, 提出了识别弹性参数、塑性参数和断裂参数的新方法; 在此基础上, 发明了微米力学(拉伸和压入)实验的新仪器, 建立了先进材料(碳纳米管和金属玻璃等)力学表征的新方法。同时, 积极参与公益性研究工作: 将研究型的实验方法标准化, 负责有关纳米压入国家标准的规划和起草任务; 将成熟的实验技术仪器化, 研制出系列微米力学测试仪器; 创建和发展了中科院力学所的微尺度力学实验平台, 开展了合作研究和技术服务。期间, 编著学术著作《微/纳米力学测试技术及其应用》(机械工业出版社); 发表 SCI 收录论文 55 篇; 获授权发明专利 8 项和实用新型专利 8 项, 计算机软件著作权登记 1 项; 起草 2 项国家标准。