

DOI: 10.11973/jxgccl202202014

微米尺度压痕测试设备的研发及其可靠性

伍 杰¹, 孙 坤², 马增胜²

(1. 湖南工学院机械工程学院, 衡阳 421000; 2. 湘潭大学材料科学与工程学院, 湘潭 411100)

摘要: 基于 Oliver-Pharr 方法和断裂韧度测试方法成功研制了一台微米尺度压痕测试设备, 使用有限元方法对其机械可靠性进行验证, 并利用该设备测试了高纯铝和氧化锆陶瓷的力学性能参数, 验证设备的测试性能。结果表明: 所研制的微米尺度压痕测试设备结构稳定, 设计合理, 闭环控制稳定性好, 噪声水平较低, 满足测试要求。采用该设备在不同压入载荷下测得高纯铝及氧化锆陶瓷的硬度、弹性模量以及断裂韧度与使用标准压痕设备测试得到的结果一致, 相对误差小于 7%, 证明了该设备测试结果的准确性。

关键词: 压痕测试设备; 有限元方法; Oliver-Pharr 方法; 力学性能参数

中图分类号: TH122 文献标志码: A 文章编号: 1000-3738(2022)02-0088-07

Development and Reliability of Micro-Scale Indentation Testing Equipment

WU Jie¹, SUN Kun², MA Zengsheng²

(1. School of Mechanical Engineering, Hunan Institute of Technology, Hengyang 421000, China;

2. School of Materials Science and Engineering, Xiangtan University, Xiangtan 411100, China)

Abstract: Based on the Oliver-Pharr method and the fracture toughness test method, a micro-scale indentation testing equipment was successfully developed. Its mechanical reliability was verified by the finite element method, and the mechanical property parameters of the high-purity aluminum and zirconia ceramics were tested by the equipment to verify the test performance of the equipment. The results show that the developed micro-scale indentation testing equipment had stable structure, reasonable design, good closed-loop control stability and low noise level, and met the test requirements. The hardness, elastic modulus and fracture toughness of high-purity aluminum and zirconia ceramics measured by this equipment under different indentation loads were consistent with the results obtained by standard indentation equipment, and the relative error was smaller than 7%, which proved the accuracy of the test results of the equipment.

Key words: indentation testing equipment; finite element method; Oliver-Pharr method; mechanical property parameter

0 引言

随着科学技术的不断发展, 材料微观尺度下的仪器化压痕试验已经逐渐成为表征材料力学性能的重要手段, 并广泛应用于材料表面工程^[1]、微电子^[2]、航空航天^[3]和生物医学^[4]等领域。与传统的

材料测试技术手段相比, 微观尺度仪器化压痕试验具有操作简单、微损或无损测试、试样制备简单以及测试结果丰富等优点^[5]。

随着表征材料力学性能的压痕测试方法不断应用与发展, 国内外的压痕测试仪器也得到全面迅猛的发展^[6]。目前, 国外多家科研院所及公司均有成熟的商业化压痕测试仪器在售, 测试方法成熟且覆盖范围广, 包括宏观硬度计、多维物理场压痕测试仪器以及高精度纳米压痕仪等, 但也存在采购周期较长、交易维护繁琐以及定价高昂等问题, 这严重制约了国内压痕测试领域的技术发展。国内压痕测试仪器的研发工作起步较晚, 仅局限于国内几个课题组,

收稿日期: 2021-01-05; 修订日期: 2021-12-23

基金项目: 国家自然科学基金面上资助项目(11872054); 湖南省自然科学基金杰出青年基金资助项目(2020JJ2026); 湖南省教育厅重点项目(19A122)

作者简介: 伍杰(1982—), 男, 湖南澧县人, 副教授, 博士

通信作者: 马增胜教授

且市面上未有成熟的商业化压痕测试设备在售^[7-11]。作者基于目前通用的获取材料力学性能的 Oliver-Pharr 方法以及断裂韧度测试方法,成功研制出一台微米尺度压痕测试设备,并使用有限元方法对其进行可靠性验证,利用高纯铝和氧化锆陶瓷进行性能测试的试验验证。

1 压痕测试原理

压痕测试过程:在软件界面输入加载时间、保载时间以及卸载时间等参数,然后设备启动,控制刚性压头压入测试材料,此时力传感器与位移传感器实时反馈载荷与位移,当载荷达到设定值时开始进行保载,保载阶段结束后试验进入卸载阶段,此时载荷和位移逐渐减小,直至压头完全离开测试材料。将压痕试验过程中的载荷与位移绘制成载荷-位移曲线,如图 1 所示,图中 P 为压入载荷, h 为压入深度, P_{\max} 为最大压入载荷, h_{\max} 为最大压入深度, h_e 为压痕测试完成后材料弹性恢复的深度, h_p 为压痕测试完成时材料的残余深度, h_s 为材料在压痕测试过程中产生的自身凹陷变形, h_c 为载荷最大时压头与材料接触部分的深度,也称压痕的接触深度。Oliver-Pharr 方法^[12]通过对载荷-位移曲线的卸载段进行分析,可以得到材料的刚度、硬度以及弹性模量等力学性能参数。

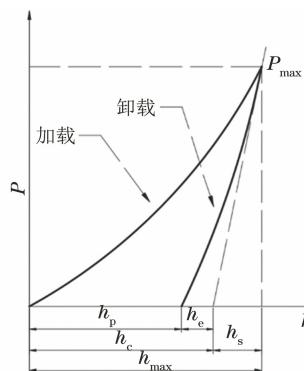


图 1 压痕测试得到的载荷-位移曲线

Fig.1 Load-displacement curve by indentation test

载荷-位移曲线中的卸载段可拟合为

$$P = B(h - h_p)^m \quad (1)$$

式中: B, m 均为卸载段拟合参数。

刚度 S 为卸载段最大载荷处的斜率,公式为

$$S = \left(\frac{dP}{dh} \right)_{P_{\max}} \quad (2)$$

材料的接触深度 h_c 的计算公式为

$$h_c = h_{\max} - \epsilon \frac{P_{\max}}{S} \quad (3)$$

式中: ϵ 为压头形状因子^[13], 取决于试验所用压头的形状。

根据所得的接触深度可以计算压头与材料之间的接触面积,该值对压痕测试结果的影响极大,在压痕测试设备中,接触面积 A 通常需要通过校正得到,具体公式为

$$A = \sum_{i=0}^n C_i h_c^{2^{-i-1}} \quad (4)$$

式中: C_i 为待拟合的测量规程常数; i 为从 0 到 n 的常数, n 为多项式求和的项数,在拟合过程中一般取 8。

根据传统的弹塑性理论^[14], 材料硬度 H 的计算公式为

$$H = \frac{P_{\max}}{A_c} \quad (5)$$

式中: A_c 为接触投影面积。

接触投影面积与刚度之间的关系可以表示为

$$S = \epsilon \frac{2}{\sqrt{\pi}} E_r \sqrt{A_c} \quad (6)$$

$$\frac{1}{E_r} = \frac{1 - \nu^2}{E} + \frac{\nu_i^2}{E_i} \quad (7)$$

式中: E_r 为折合弹性模量,其值取决于被测材料和所用压头材料的弹性模量和泊松比; E 为被测材料的弹性模量; ν 为被测材料的泊松比; E_i 为压头材料的弹性模量; ν_i 为压头材料的泊松比。

根据上述关系式可推导出被测材料的弹性模量的表达式为

$$E = \frac{1 - \nu^2}{\frac{1}{E_r} - \frac{1 - \nu_i^2}{E_i}} \quad (8)$$

在一个完整的压痕测试过程中,脆性材料的应力强度因子为压头在加载时的应力强度因子 K_p 和压头卸载时残余应力产生的强度因子 K_r 所组成,忽略脆性材料的塑性变形,材料表面断裂韧度的计算公式^[15]为

$$K_{IC}^{sur} = K_p + K_r = \chi \frac{P}{c^{3/2}} + \frac{4}{\sqrt{\pi}} \sigma_r h_t^{1/2} - \frac{\sqrt{\pi}}{c^{1/2}} \sigma_r h_t \quad (9)$$

式中: K_{IC}^{sur} 为材料的表面断裂韧度; σ_r 为压头卸载后材料表面的残余应力; c 为产生的裂纹长度的一半; h_t 为脆性材料的薄膜厚度; χ 为与压头和被测材料性能相关的常数。

2 压痕测试设备结构设计及可靠性验证

2.1 结构设计

设计的压痕测试设备主要由大理石支撑板、钢

支撑背板、压痕驱动电机、载荷传感器、位移传感器、压头部分、体视显微镜、显微镜聚焦装置、载物台移动装置以及样品夹持机构组成,具体结构如图2所示。该压痕测试设备主要用于各种金属材料、无机非金属材料和高分子材料等固体材料的压痕试验,连接计算机后可直接显示出试验的载荷-位移曲线,根据软件内部嵌入的算法直接计算得出材料的硬度、弹性模量以及断裂韧度等基本力学性能参数,试验数据直观。该设备集成体视显微镜,用于离位条件下的力学试验,满足力学测试与图像采集的要求。

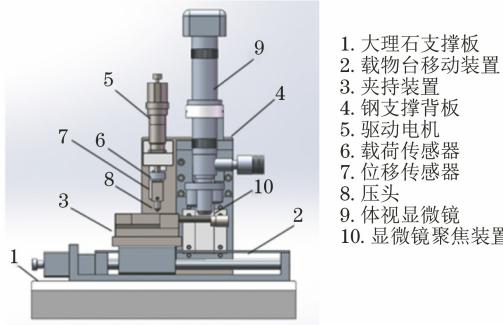


图2 微米级压痕测试设备整体结构示意

Fig. 2 Overall structure diagram of micro-scale indentation testing equipment

压痕测试设备中最重要的部件是传感器与驱动装置,其灵敏度与稳定性是压痕测试成功的关键因素。所研发的微米尺度压痕测试设备采用上海天沐传感器有限公司所生产的NS-WL5系列超高精度的应变片式载荷传感器,采用拉-压圆柱形结构,其载荷量程可达50 N,载荷测量分辨率为25 mN,完全满足测试要求。位移传感器选取的是大连榕树光学有限公司生产的光栅位移传感器,该光栅位移传感器由RX读数头和RXS系列钢带栅尺组成,其读数头尺寸为36 mm×16.4 mm×14.3 mm;该类传感器拥有20 nm的超高精度,具有测试范围广、抗污能力强以及响应速率快等特点。由精密驱动单元完成压痕测试过程的最核心过程,即压头压入和移出试样表面的过程,该设备选用的直线驱动电机具有卓越的定位精度以及超高的动力支持。在计算材料的断裂韧度时需要精确测量裂纹的长度,该设备选取的体视显微镜采用国际先进的平行光路光学系统,分辨能力和精度可达1 μm,配置的相机可以将形貌图清晰地展现在软件界面中,满足压痕测试需求。将测试试样从压痕处转移至观测处进行形貌观测需要高精度的载物台移动装置,该设备采用的圆

导轨电动直线滑台位移加载行程可以达到150 mm,分辨率高达10 μm。

2.2 可靠性验证

设备在进行试验时不可避免地会受到振动的影响,当振动频率升高至与设备产生共振时,便会对压痕测试结果产生影响,严重时会对设备造成不可逆损伤。优良的结构设计与部件选型会提高设备共振的最低频率,减少共振发生的概率。选用COMSOL有限元分析软件对整体设备进行模态分析,测试其共振发生时的特征频率,以验证设备的稳定性。首先在三维绘图软件SolidWorks中进行设备整机建模,并将其导入COMSOL软件中,设置材料的参数,具体参数如表1所示,然后设置边界条件为设备底部固定。设备非核心部分比如大理石台、钢支撑背板等部件网格划分较为稀疏以便节省计算成本,对于核心部件如部件结合处以及压痕部件、观测部件等的网格划分则较为密集。计算结果如图3所示,由图3可以看出,压痕测试设备产生共振的前六阶特征频率分别为99.921, 140.98, 247.55, 299.34, 319.04, 320.15 Hz。设备整体分为压痕测试部分、支撑部分以及观测部分,在100 Hz左右设备的观测部分会首先发生共振,振幅在700 nm左右,并不会对观测部分产生影响;随着频率的增加,在250 Hz左右压痕测试部分发生共振,此时压痕部分的振动幅度达到500 nm,而在进行压痕试验过程中的工作频率一般远小于100 Hz,因此设备在运行过程中不会产生共振。由此可知,该设备结构稳定,设计合理,满足测试要求。

表1 模态分析中所用材料参数

Table 1 Parameters of materials for modal analysis

| 材料 | 密度/(g·cm ⁻³) | 弹性模量/GPa | 泊松比 |
|---------|--------------------------|----------|------|
| 铸铁 | 7 | 185 | 0.3 |
| 大理石 | 2.8 | 48 | 0.2 |
| 45钢 | 7.85 | 200 | 0.3 |
| 6030铝合金 | 2.7 | 78 | 0.32 |
| Q235钢 | 7.85 | 208 | 0.3 |

在对设备的结构稳定性分析完成后,对压痕测试设备的控制系统进行测试与分析。通过在软件界面输入压入载荷、时间等参数控制压痕测试设备进行压痕试验,在试验过程中由传感器测得载荷、位移等数据实时反馈给控制端,两部分协调工作构成了设备的闭环控制系统,具体控制原理如图4所示。

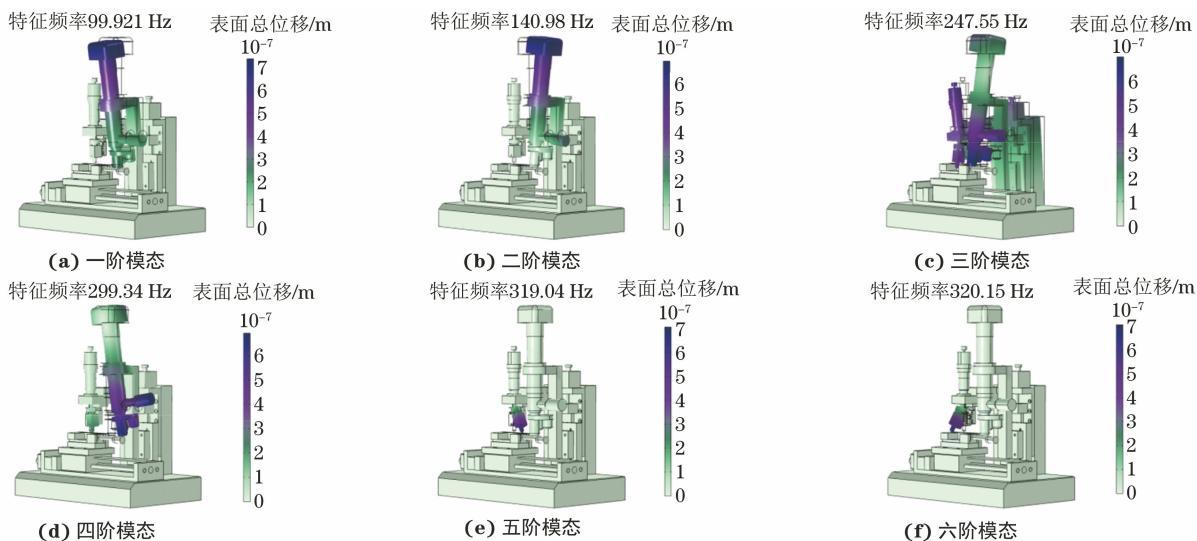


图3 压痕测试设备整体模态分析结果

Fig.3 Whole modal analysis results of indentation testing equipment: (a) first-order mode; (b) second-order mode; (c) third-order mode; (d) fourth-order mode; (e) fifth-order mode and (f) sixth-order mode

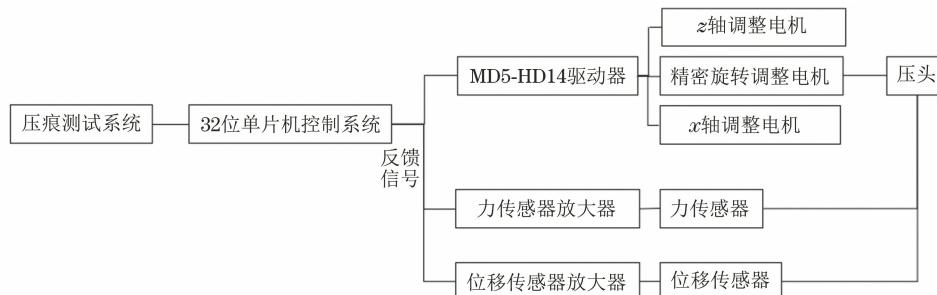


图4 压痕测试设备控制系统工作原理示意

Fig.4 Working principle diagram of control system of indentation testing equipment

对设备的载荷及位移闭环控制效果进行验证,具体方案:在软件界面设置加载的最大载荷分别为10~50 N,加载间隔为10 N,设置加载与卸载时间为20 s,保载时间为5 s,然后进行压痕测试,获得的载荷-时间曲线如图5(a)所示;设置加载的最大压入深度以每

5 μm为间隔,取值区间为5~25 μm,然后进行压痕测试,获得的位移-时间曲线如图5(b)所示。由图5可以看出,载荷-时间曲线和位移-时间曲线的加载和卸载阶段均呈线性分布规律,数值均未出现波动,证明闭环控制系统的稳定性和线性度都是极好的。

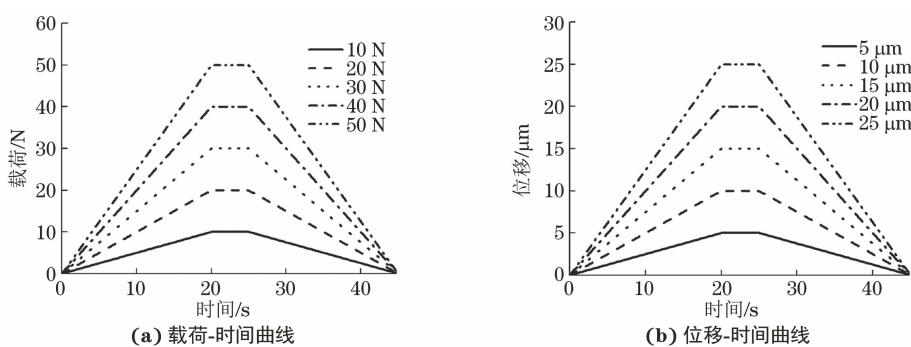


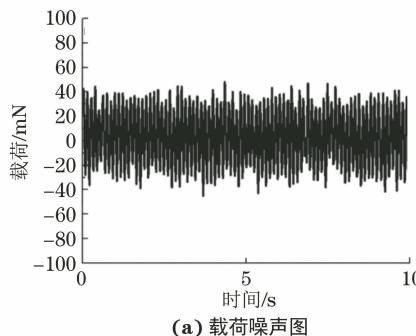
图5 压痕测试设备的闭环控制结果

Fig.5 Closed loop control results of indentation testing equipment: (a) load-time curve and (b) displacement-time curve

在设备研发过程中,设备精度的衡量指标为设备的噪声水平。选取设备稳定10 s内传感器所读取的

载荷与位移,绘制载荷噪声图和位移噪声图。由图6可以看出:在10 s内载荷波动值的上限为50 mN,下

限为 -50 mN ,因此设备的载荷噪声水平为 100 mN ;位移波动值的上限为 $40\text{ }\mu\text{m}$,下限为 $-20\text{ }\mu\text{m}$,因此设



(a) 载荷噪声图

备的位移噪声水平为 $60\text{ }\mu\text{m}$ 。可知,该噪声水平较低,表明该设备具有良好的测试性能。

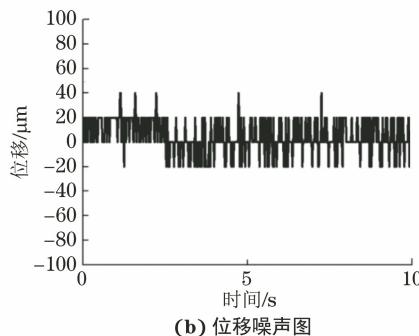


图 6 压痕测试设备传感器噪声图

Fig. 6 Noise images of sensor of indentation testing equipment: (a) load noise image and (b) displacement noise image

3 测试性能验证

铝因具有密度小、易加工、可强化及导电导热性好等优点,而广泛应用于生产和生活中,其应用范围仅次于钢铁,且其硬度与弹性模量均为已知值,可以用于压痕设备的测试性能验证。采用研制的压痕测试设备,分别对高纯铝施加 $10, 20, 30, 40, 50\text{ N}$ 的载荷,压头压入时间为 25 s 、保载时间为 10 s 、压头退出时间为 25 s ,得到载荷-位移曲线如图 7 所示。由图 7 可以看出,高纯铝的载荷-位移曲线中加载段、卸载段数据平缓无波动,说明设备闭环控制稳定性良好。根据 Oliver-Pharr 方法计算得到高纯铝在不同压入载荷下的硬度与弹性模量如表 2 所示,发现其硬度与弹性模量的计算结果比较稳定,证明设备的重复性与稳定性较好,且经过该设备测试得到的高纯铝的弹性模量及硬度与传统设备测试结果($70, 0.45\text{ GPa}$)基本一致,相对误差小于 2.5% ,证明设备的测试性能稳定且准确。

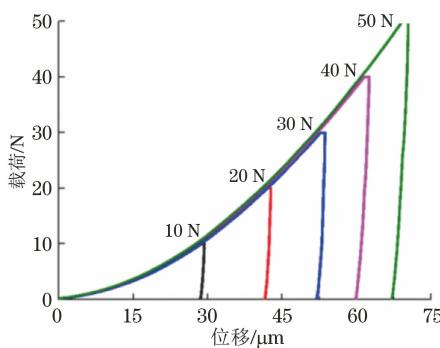


图 7 不同施加载荷下高纯铝的载荷-位移曲线

Fig. 7 Load-displacement curves of high purity aluminum under different applied load

氧化锆陶瓷作为一种新型的陶瓷材料,具有超高的硬度和弹性模量、良好的耐磨耐热性能,以及特

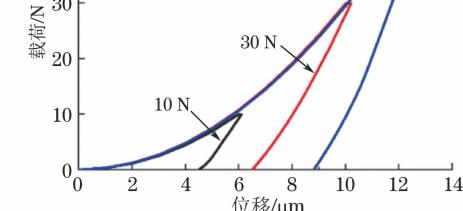
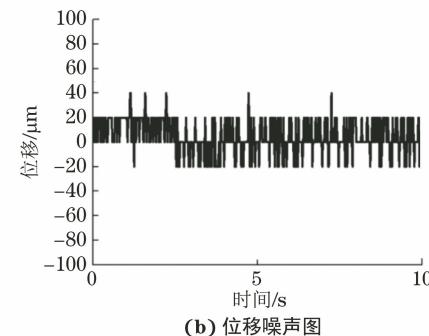


图 8 不同施加载荷下氧化锆陶瓷的载荷-位移曲线

Fig. 8 Load-displacement curves of zirconia ceramics under different applied load

对不同载荷下的压痕形貌进行观察,测量其裂纹长度,以便计算氧化锆陶瓷的断裂韧度。由图 9 可以看出,在载荷为 10 N 时,氧化锆陶瓷中已经出现裂纹,其裂纹长度为 $18\text{ }\mu\text{m}$,当载荷为 50 N 时,其平均裂纹长度达到 $81.5\text{ }\mu\text{m}$ 。

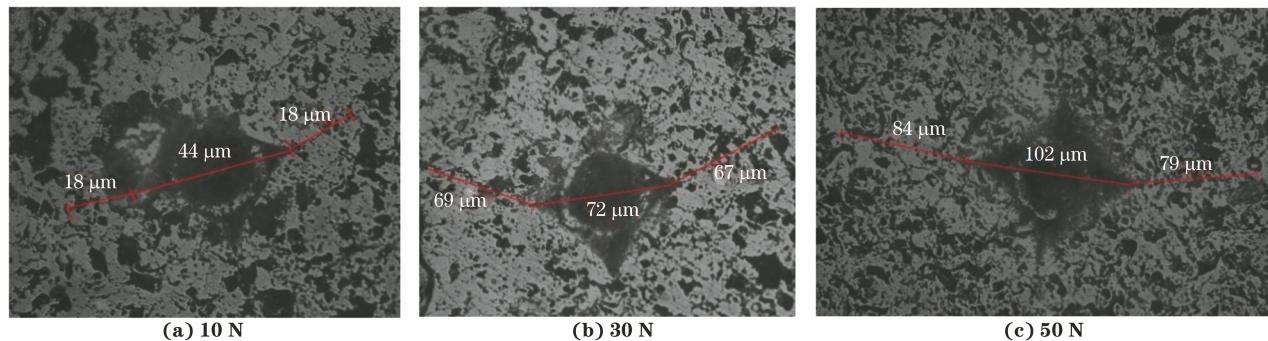


图9 不同施加载荷下氧化锆陶瓷压痕貌

Fig.9 Indentation morphology of zirconia ceramics under different applied load

根据 Oliver-Pharr 方法计算得到氧化锆陶瓷在不同载荷下的硬度与弹性模量,并进一步根据断裂韧度计算公式以及不同载荷下的裂纹长度计算得到断裂韧度,结果如表 3 所示,计算得到氧化锆陶瓷的平均硬度为 18.99 GPa, 平均弹性模量为 246.17 GPa, 断裂韧度为 1.97 GPa, 与文献[16-17]中采用标准压痕设备测试得到的弹性模量平均值(230.8 GPa)和断裂韧度平均值($1.40 \text{ GPa} \cdot \mu\text{m}^{1/2}$)基本一致,相对误差小于 7%,证明了该设备测试结果的准确性。

表3 不同施加载荷下氧化锆陶瓷的力学性能参数

Table 3 Mechanical property parameters of zirconia ceramics under different applied loads

| 载荷/N | H/GPa | E/GPa | c / μm | K _{IC} ^{sur} /(GPa·m ^{1/2}) |
|------|-------|--------|--------|---|
| 10 | 18.09 | 247.33 | 40 | |
| 30 | 19.37 | 246.04 | 104 | 1.97 |
| 50 | 18.99 | 245.15 | 132.5 | |

4 结 论

(1) 基于 Oliver-Pharr 方法以及断裂韧度测试方法研制出一台微米尺度压痕测试设备,该设备主要由大理石支撑板、钢支撑背板、压痕驱动电机、载荷传感器、位移传感器、压头部分、体视显微镜、显微镜、载物台移动装置以及样品夹持机构组成。

(2) 采用 COMSOL 有限元软件对微米尺度压痕测试仪器进行仿真分析,证明设备结构设计合理,在工作状态下不会产生共振;载荷-时间曲线和位移-时间曲线的加载和卸载阶段均呈线性分布规律,设备具有良好的闭环控制稳定性;在设备稳定运行后的 10 s 内,设备的载荷噪声水平为 100 mN,位移噪声水平为 60 μm,对设备进行噪声分析,噪声水平较低,该设备具有良好的测试性能。

(3) 采用研制的压痕测试设备对高纯铝及氧化

锆陶瓷施加不同的压入载荷进行力学性能测试分析,计算得到的硬度、弹性模量以及断裂韧度与使用标准压痕设备测试得到的结果一致,相对误差小于 7%,证明了该设备测试结果的准确性。

参 考 文 献:

- [1] EVANS A G, CHARLES E A. Fracture toughness determinations by indentation [J]. Journal of the American Ceramic Society, 1976, 59(7/8): 371-372.
- [2] BELOSLUDTSEV A, YAKIMOV Y, MROCZYNSKI R, et al. Effect of annealing on optical, mechanical, electrical properties and structure of scandium oxide films[J]. Physica Status Solidi (a), 2019, 216(18): 1900122.
- [3] 郑凯. 纳米尺度材料在新型太阳能电池中的应用[J]. 科技创新与应用, 2018(22): 10-12.
ZHENG K. Application of nanoscale materials in new solar cells[J]. Technology Innovation and Application, 2018 (22): 10-12.
- [4] BAE W C, TEMPLE M M, AMIEL D, et al. Indentation testing of human cartilage: Sensitivity to articular surface degeneration[J]. Arthritis & Rheumatism, 2003, 48 (12): 3382-3394.
- [5] WADULLAH H M, AJEEL S, ABBASS M, et al. Corrosion of platinum nanocoatings thin films deposited by sputtering deposition method for medical applications[J]. International Journal of Engineering & Technology, 2018, 7(4.37): 63-66.
- [6] JIN T, NIU X Y, XIAO G S, et al. Effects of experimental variables on PMMA nano-indentation measurements [J]. Polymer Testing, 2015, 41: 1-6.
- [7] 赵宏伟, 时月, 刘彦超, 等. 原位微纳米压痕/划痕测试平台: 204536102U[P]. 2015-08-05.
ZHAO H W, SHI Y, LIU Y C, et al. In situ micro-nano indentation/scratch test platform: 204536102U[P]. 2015-08-05.
- [8] 刘晓坤,蔡力勋,陈辉. 获取材料应力应变关系的锥形压入新方法[J]. 中国测试, 2016, 42(4): 5-8.
LIU X K, CAI L X, CHEN H. A new conical indentation method for obtaining stress-strain relation of materials[J].

- China Measurement & Test, 2016, 42(4):5-8.
- [9] 刘东旭,张泰华,郇勇.宏观深度测量压入仪器的研制[J].力学学报,2007,39(3):350-355.
- LIU D X, ZHANG T H, HUAN Y. Development of macro-depth-sensing-indentation instrumentation[J]. Chinese Journal of Theoretical and Applied Mechanics, 2007, 39(3):350-355.
- [10] 马德军,陈伟.基于单一Vickers压头的材料弹塑性参数仪器化压入测试方法:103411833A[P].2013-11-27.
- MA D J, CHEN W. Instrumentation indentation test method for elastic-plastic parameters of material based on single Vickers pressure head:103411833A[P].2013-11-27.
- [11] 蒋庄德,王海容,赵则祥,等.微机械力学性能测试仪:2412212Y[P].2000-12-27.
- JIANG Z D, ZHAO W H. Micro-mechanical mechanics performance tester:2412212Y[P].2000-12-27.
- [12] OLIVER W C, PHARR G M. An improved technique for determining hardness and elastic modulus using load and displacement sensing indentation experiments[J]. Journal of Materials Research, 1992, 7(6):1564-1583.
- [13] SNEDDON I N. The relation between load and penetration in the axisymmetric boussinesq problem for a punch of arbitrary profile[J]. International Journal of Engineering Science, 1965, 3(1):47-57.
- [14] ZHANG Y, GUO S, GAO W, et al. Mechanical behavior and simulation analysis of micro/nano indentation of single crystal silicon carbide[J]. Yadian Yu Shengguang/Piezoelectrics and Acoustooptics, 2018, 40(5):742-745.
- [15] LAWN B R, FULLER E R. Equilibrium penny-like cracks in indentation fracture[J]. Journal of Materials Science, 1975, 10(12):2016-2024.
- [16] 宋仲康,马德军,陈伟,等.基于仪器化压入技术的结构陶瓷材料断裂韧性测试[J].装甲兵工程学院学报,2012,26(2):85-88.
- SONG Z K, MA D J, CHEN W, et al. Test of fracture toughness of structural ceramics based on instrumental indentation technology[J]. Journal of Academy of Armored Force Engineering, 2012, 26(2):85-88.
- [17] 杨伟华,王全胜.等离子喷涂纳米氧化锆涂层性能的试验研究[J].航空制造技术,2004(增刊1):241-243.
- YANG W H, WANG Q S. Experimental study on performance of nanostructured zirconia coatings by plasma spraying[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2004(s1): 241-243.

论文摘要的写作要求

摘要是科技论文的重要组成部分,是以提供文献内容梗概为目的,不加评论和补充解释,简明、确切地记述论文重要内容的短文。其基本要素包括研究的目的、方法、结果和结论。摘要应具有独立性和自含性,并拥有与论文同等量的主要信息,即不阅读论文的全文,就能获得必要的信息。

摘要的主要功能是:①使读者了解论文的主要内容。现代科技信息浩如烟海,读者检索到论文题名后是否会继续阅读论文的其他部分,主要就是通过阅读摘要来进行判断。②为科技情报人员和计算机检索提供方便。论文发表后,文摘杂志和数据库对摘要可以不做修改或稍作修改而直接利用,从而避免他人编写摘要可能产生的误解、欠缺甚至错误。可以说,摘要质量的高低,直接影响着论文的被利用情况和期刊的知名度。

编写摘要的注意事项

- 摘要一般应说明研究工作的目的、试验方法、结果和最终结论等,而且重点是结果和结论。要采用第三人称的写法,不必使用“本文”、“作者”等作

为主语。

- 摘要中有数据、有结论,是一篇完整的短文,可以独立使用,可以引用,也可以用于工艺推广。
- 结构严谨,表达简明,语义确切。摘要先写什么,后写什么,要按逻辑顺序来安排。句子之间要上下连贯,互相呼应。慎用长句,句型要力求简单。每句话要表意明白,无空泛、笼统、含混之词。
- 除了实在无变通办法可用以外,摘要中不同图、表、化学结构式、非公知公用的符号和术语。
- 缩略语、略称、代号,除了相近专业的读者也能清楚理解的以外,在首次出现时必须要加以说明。
- 英文题名以短语为主要形式,尤以名词短语最常见,即题名基本上有1个或几个名称加上其前缀和(或)后置定语构成。短语型题名要确定好中心词,再进行前后修饰。各个词的顺序很重要,词序不当,会导致表达不准。
- 中文摘要一般不易超过200~300字;外文摘要不宜超过250个实词。如遇特殊需要,字数可以略多。