

DOI: 10.13957/j.cnki.tcx.2017.03.007

Y₂O₃对ZrO₂陶瓷机械性能和老化性能的影响

仇冠乔, 吴音, 李经纬, 高睿, 徐梦轲, 王聪
(清华大学材料学院, 北京 100084)

摘要:研究了不同氧化钇含量(3 mol%、5 mol%)ZrO₂陶瓷的力学性能及其老化性能,通过X射线衍射计算相成分,扫描电子显微镜观察表面形貌,以及双轴弯曲强度、硬度、断裂韧性的测试,从而分析Y₂O₃对ZrO₂陶瓷机械性能和老化性能的影响。研究表明,ZrO₂-3Y的机械性能优于ZrO₂-5Y,而ZrO₂-5Y的抗老化性能优于ZrO₂-3Y。

关键词: ZrO₂陶瓷; 氧化钇; 机械性能; 老化性能

中图分类号: TQ174.75 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-2278(2017)03-0325-04

Y₂O₃'s Effect on Mechanical Properties and Aging Properties of Zirconia Ceramics

ZHANG Guanqiao, WU Yin, LI Jingwei, GAO Rui, XU Mengke, WANG Cong
(School of Materials Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Mechanical properties including biaxial flexural strength, hardness, fracture toughness, as well as aging properties of zirconia ceramics with different content of yttria (3 mol% and 5 mol%) were investigated. Phase composition was calculated based on X-ray diffraction. Surface topography was analyzed via scanning electron microscopy. Thus we could analyze Y₂O₃'s effect on mechanical and aging properties of zirconia ceramics. The result shows that the mechanical and aging properties of ZrO₂-3Y samples are better and worse, respectively, than that of ZrO₂-5Y samples.

Key words: zirconia ceramics; yttria; mechanical property; aging property

0 引言

氧化锆陶瓷作为一种性能优越的结构陶瓷,具有高韧性、高抗弯强度、高耐磨性、优异的隔热性能和耐腐蚀性能等特点^[1],在诸多领域得到了广泛的应用。

Y-TZP的常温力学性能优异,抗弯强度可达1000 MPa以上,并具有较好的韧性^[2]。但随着成分和烧结温度的变化,其力学性能会有比较大的差异。另外,在有水或水蒸汽的环境中,Y-TZP也会发生老化现象,造成性能的严重下降^[3]。结构决定性能,上述现象的产生与材料内部的相成分有着密切的关系。因而氧化锆陶瓷的四方相和单斜相含量很大程度上决定了其力学性能。一般来说,Y-TZP中单斜相含量越高,性能越差。

本实验采用3种烧结温度(1450℃、1500℃、

1550℃)的不同含量Y₂O₃(摩尔分数3%、5%)的氧化锆陶瓷,利用XRD、SEM等设备测量样品的单斜相含量和观察表面形貌,对样品进行硬度、抗弯强度、断裂韧性的测试,研究Y₂O₃对ZrO₂陶瓷机械性能和老化性能的影响。

1 实验

1.1 样品制备

用等静压成型、常压烧结的方法制备了Y-TZP陶瓷片,Y₂O₃的摩尔含量分别为3%、5%,烧结温度分别为1450℃、1500℃、1550℃,即共6组样品,如表1所示。

1.2 性能测试表征

利用阿基米德法对各组样品测量密度。然后在AG-IC 20 kN SHIMADZU实验机上,以0.5 mm/min的

收稿日期: 2016-06-30。

修订日期: 2017-03-17。

基金项目: 清华大学SRT项目(1612T0027)。

通信联系人: 吴音(1960-),女,高工。

Received date: 2016-06-30

Revised date: 2017-03-17

Correspondent author: Wu Yin(1960-), female, Senior engineer

E-mail: yinwu@tsinghua.edu.cn

表1 样品名称
Tab.1 Names of samples

Name	Molar content of Y_2O_3	Sintering temperature
3Y-1450	3%	1450 °C
3Y-1500	3%	1500 °C
3Y-1550	3%	1550 °C
5Y-1450	5%	1450 °C
5Y-1500	5%	1500 °C
5Y-1550	5%	1550 °C

速度加压,直至样品破坏,利用公式计算出每个试样的双轴弯曲强度M。再利用TUKON 2500(Wilson Hardness)实验机采用压痕法测试上述试样的硬度,测量硬度时载荷为10 kg,结合硬度数值计算试样的断裂韧性。

为模拟ZrO₂陶瓷在常温下的老化过程,本实验采用反应釜内水热蒸煮的方式,设定温度为140 °C。据文献报道,在该温度下水热老化1 h相当于在人体内使用3-4年的效果^[4]。将各组样品与去离子水置于反应釜中,在140 °C保温,进行老化处理,老化时间分别记为0 h(不老化)、6 h、16 h、24 h。在

规定时间取出样品,分组进行XRD和SEM表征。

2 结果与讨论

2.1 老化时间对相成分的影响

实验测得的XRD图谱如图1所示。由图1中的(B)可见,对于三个温度(1450 °C、1500 °C、1550 °C)烧结的ZrO₂-5Y样品,在4个老化时间下,都未显示出明显的单斜相特征峰,经计算ZrO₂-5Y样品的单斜相含量均小于4%(见表2)。这说明5Y的样品在老化时具有较强的抵抗四方相向单斜相转变的能力。

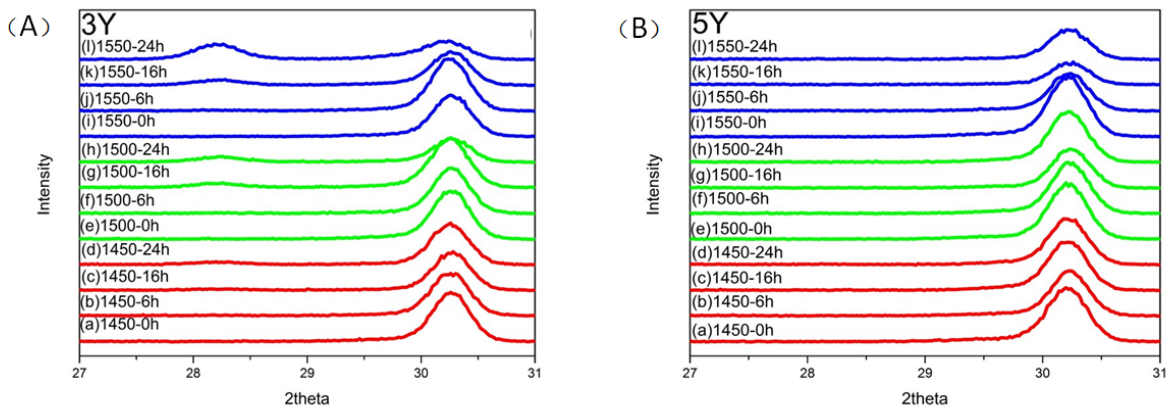


图1 XRD测试结果
Fig.1 XRD patterns (A)ZrO₂-3Y (B) ZrO₂-5Y

表2 单斜相相含量
Tab.2 Content of monoclinic phase

样品	0 h	6 h	16 h	24 h
3Y-1450	0	3.4%	5.4%	12.1%
3Y-1500	0	4.2%	15.0%	19.0%
3Y-1550	0	4.3%	17.0%	48.2%
5Y-1450	0	2.1%	2.7%	3.2%
5Y-1500	0	1.9%	2.9%	3.4%
5Y-1550	0	2.6%	2.7%	3.5%

对于三个温度烧结的ZrO₂-3Y样品，随着老化时间的增加，单斜相的含量均明显增加，即四方相向单斜相的转变加剧。随着烧结温度的增加，在相同的老化时间下，单斜相含量也逐渐增加。其中3Y-1550样品经24 h老化后的单斜相含量竟接近一半，这对其性能必定有相当大的影响。因而选择稍低的烧结温度对抑制四方相的转变有积极意义。

2.2 力学性能

实验测得各样品密度如表3所示。氧化锆单斜相的理论密度为5.65 g·cm⁻³，四方相的理论密度为6.10 g·cm⁻³。对比可知，本实验所用样品密度值较高，接近四方相的理论密度。

对未经老化的样品(老化时间0 h)进行双轴弯曲强度、硬度、断裂韧性的测试，结果如表4所示。所有样品的维氏硬度值均差别不大，稳定在13-14 GPa之间。在相同的烧结温度下，ZrO₂-3Y样品的双轴弯曲强度和断裂韧性远高于ZrO₂-5Y样品，数值上约是其二倍左右。这说明稳定剂的含量对Y-TZP陶瓷的性能有很大影响，ZrO₂-3Y样品的力学性能要优于ZrO₂-5Y样品。

在烧结温度为1500 ℃时ZrO₂-3Y和ZrO₂-5Y样品均取得了最高的双轴弯曲强度和最好的断裂韧性，在硬度差别不大的情况下，可认为此温度易于取得更优良的性能。因而合理选择烧结温度对陶瓷力学性能具有积极意义。

2.3 显微结构

图2是未经老化样品的SEM照片。由图可以看出，经过1450 ℃、1500 ℃和1550 ℃三个温度烧结，样品均达到完全致密。ZrO₂-3Y样品晶粒细小，平均晶粒尺寸约为0.4 μm，晶粒尺寸要明显小于ZrO₂-5Y样品，根据Hall-Petch公式，ZrO₂-3Y样品的力学性能要强于ZrO₂-5Y，这正与2.2中的实验

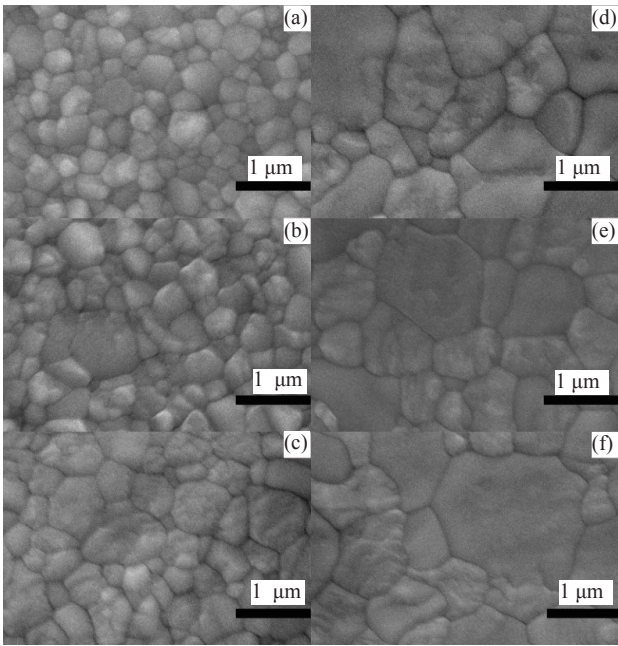


图2 SEM 图像

Fig.2 SEM images (a)3Y-1450; (b)3Y-1500; (c)3Y-1550; (d)5Y-1450; (d)5Y-1450; (e)5Y-1500; (f) 5Y-1550

表3 样品密度
Ta.3 Density of samples

Name	Density /(g·cm ⁻³)	Name	Density/(g·cm ⁻³)
3Y-1450	6.08	5Y-1450	6.05
3Y-1500	6.07	5Y-1500	6.02
3Y-1550	6.07	5Y-1550	6.01

表4 力学性能
Tab.4 Mechanical property

Sample	Biaxial flexural strength /MPa	Vickers-hardness /GPa	Fracture toughness /(MPa·m ^{1/2})
3Y-1450	1510.1	13.7	5.07
3Y-1500	1755.7	13.5	5.54
3Y-1550	1593.0	13.6	5.10
5Y-1450	625.3	13.0	2.46
5Y-1500	926.6	13.6	2.70
5Y-1550	774.4	13.7	2.43

数据与分析相符合。

3 结 论

本实验初步探究了 Y_2O_3 对 ZrO_2 陶瓷机械性能和老化性能的影响。在未老化的情况下, ZrO_2-3Y 样品具有比 ZrO_2-5Y 样品更好的机械性能; 随着老化时间的增加, $Y-TZP$ 陶瓷中的单斜相含量逐渐增加, 性能变差。其中, ZrO_2-3Y 样品的四方相向单斜相的转变明显, 而 ZrO_2-5Y 样品的四方相向单斜相的转变很少(几乎没有), 显示具有比 ZrO_2-3Y 样品较好的抗老化性能。

参考文献:

[1]刘革命, 彭牛生. 掺杂氧化铝对YSZ陶瓷微观结构的影响[J].

陶瓷学报, 2014, 35(1):66-70.

Liu Geming, Peng Niusheng. Journal of Ceramics[J]. 2014, 35(1):66-70.

[2]毛骏飙, 陈楷. 氧化钇稳定四方氧化锆陶瓷的性能老化研究[J]. 材料导报, 1997(5): 38-41.

Mao Junbiao, Chen Kai. Materials Review[J]. 1997, 11(5): 38-41.

[3]李凌, 吕培军, 王勇. 氧化锆牙科陶瓷低温老化性能的研究[J]. 北京大学学报医学版, 2011, 43(1): 93-97.

Li Ling, LuPeijun, Wang Yong. Journal of Peking University (Health Sciences) [J]. 2011,43(1):93-97.

[4]胡一文, 司文捷, 龚江宏. SEVNB法测试陶瓷材料断裂韧性研究[J]. 稀有金属材料与工程, 2011(s1):155-158.

Hu Yiwen, Si Wenjie, Gong Jianghong. Rare Metal Materials and Engineering[J], 2011, 40(S1):155-158.