

文章编号: 1000-2278(2000)03-0147-04

## 加工方法对工程陶瓷力学性能影响的试验研究

樊宁 艾兴 邓建新 王义行

(山东工业大学)

### 摘要

工程陶瓷的力学性能受材料本体和表面状况的共同影响。加工方法对材料的表面状况有较大的影响,因此,陶瓷材料的力学性能也受加工方法的影响。本文利用三点弯曲试验的方法,通过 Weibull 分布模型的特征参数比较了不同加工方法对材料力学性能的影响。

关键词 工程陶瓷,力学性能,Weibull 分布

中图分类号: TQ174.1 文献标识码: A

## EXPERIMENTAL STUDY ON THE INFLUENCE OF PROCESSING ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF ENGINEERING CERAMICS

Fan Ning Ai Xing Deng Jianxing Wang Yixing

(Shandong University of Technology)

### Abstract

The mechanical properties of engineering ceramic are impacted by itself and its surface status. The processing method impact largely on the surface status, and then the mechanical properties of ceramic is also impacted by the processing method. The influence of different processing methods on the mechanical properties is compared by three-point bending tests and Weibull distribution models.

**Keywords** engineering ceramic, mechanical property, Weibull

## 1 引言

新型工程陶瓷材料由于其所具有的独特性能,如高硬度、高耐磨性、高化学稳定性及耐热性使其在耐磨零部件、切削加工和高温材料等领域得到了迅速广泛的应用。目前,工程陶瓷一般采用无压烧结、热压烧结或等静压烧结的方法进行制备,因此受其工艺条件的限制,所制备的陶瓷件几何形状较为简单,表面较为粗

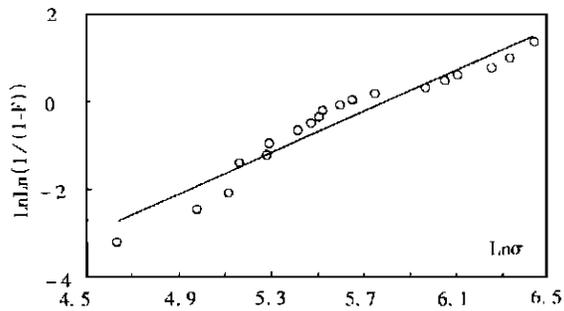
糙,通常需进行后续加工。但正由于工程陶瓷的优异性能,使其难以用常规的机械切削加工方法进行加工,而本身作为切削刀具使用的陶瓷材料,更由于其高硬度而无法进行切削加工,因此必须采用其它方法。目前,加工工程陶瓷的主要方法是磨削和电火花加工两种方法。电加工方法利用火花放电产生的高温达到去除材料的目的。磨削方法是利用微小磨粒的高速运动对材料表面进行滑擦、耕犁、切削去除材料。两种加工方法虽然加工机理不同,但都有一个共同特点,即在加

收稿日期: 2000-07-09  
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(编号: 59805012)  
作者简介: 樊宁, 山东工业大学机械工程学院博士生, 250061

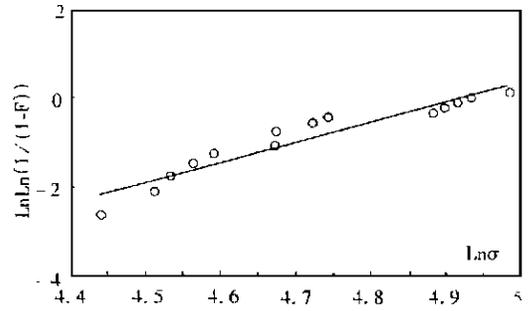
工过程中,会产生大量的加工热,由于热量不能及时传递出加工区,使得加工区的温度较高,导致加工后的表面产生一定程度的热损伤,形成残余热应力和微观裂纹等表面缺陷。材料的性能特别是其力学性能不仅决定于材料本身的性能,同时也明显的受到材料表面状况的影响。表面的不完整性不仅能大大降低材料的性能,而且降低了材料使用时的可靠性。由于陶瓷材料的弹性模量和脆性较大,所以对表面损伤的敏感程度

远远大于其它金属类材料,使得陶瓷材料使用时的可靠性较差。因此,研究各种加工方法对陶瓷材料力学性能的影响程度,对于改善加工工艺,提高材料性能,增加可靠性具有重要意义。

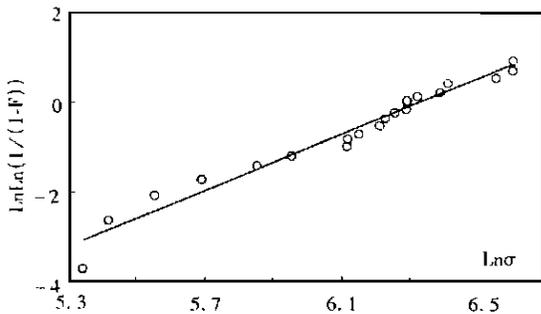
## 2 试验过程



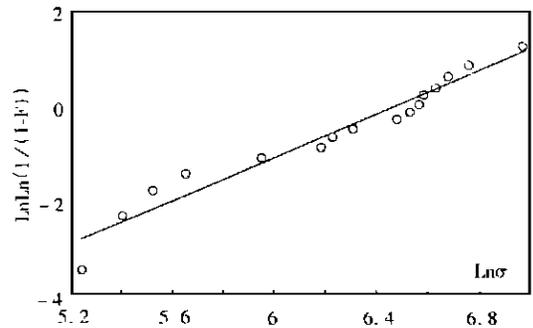
(a)电火花加工



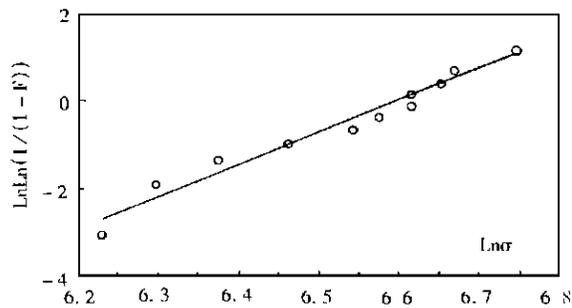
(b)磨削



(c)粗磨



(d)精磨



(e)抛光

图1 不同加工方法的Weibull分布拟合直线

Fig. 1 Weibull fit lines of different processing

试验所用材料为  $Al_2O_3/(W, Ti)C$  系复合陶瓷, 采用热压烧结而成。按表 1 中所示加工方法分别加工成  $3 \times 4 \times 30\text{mm}$  试样。将各组试样分别进行三点弯曲试验, 跨度为  $20\text{mm}$ , 加载速度为  $0.5\text{mm/min}$ , 记录其抗弯强度值。

表 1 加工方法及工艺参数

Table 1 Processing methods and their technical parameters

电火花线切割	放电电压 90V, 电流 1.2A, 进给速度 $80 \sim 100\text{m/min}$
金刚石锯片	120 号锯片, 锯切速度 $22\text{m/s}$
金刚石砂轮粗磨	120 号砂轮, 磨削速度 $45\text{m/s}$
金刚石砂轮精磨	W40 的砂轮, 磨削速度 $45\text{m/s}$
金刚石研磨膏抛光	W10 的研磨膏

### 3 试验结果及分析

#### 3.1 试验结果

陶瓷材料由于采用热压烧结而成, 组织结构不完全致密, 含有少量气孔, 同时由于工艺原因, 材料中存在少量杂质、硬质点等类裂纹缺陷, 所以材料本身的性能具有一定的分散性。如前所述, 后续加工对材料表面的损伤, 使其分散性更大。一般需用概率统计的方法对试验数据进行分析, 通过分析统计结果的数字特征而得到一定的结论。该方法的关键是确定合理的概率统计模型, 以便较为准确的反映试验数据的分布情况。常用的概率分布模型有正态分布、对数正态分布和威布尔(Weibull)分布等模型。对于陶瓷材料一般采用 Weibull 模型, 其累积失效概率为:

$$F(\sigma) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{\sigma}{\sigma_0}\right)^m\right] \quad (1)$$

式中,  $F(\sigma)$  为概率模型的累积失效概率;  $\sigma$  为陶瓷试样的抗弯强度;  $\sigma_0$  为 Weibull 分布的尺寸参数;  $m$  为 Weibull 分布的形状参数, 又称为 Weibull 模数。

其中, 尺寸参数表示有 63.2% 的试样断裂失效时的应力值, 因而可作为特征参数, 反映其平均值的大小。形状参数表示数据的分散程度,  $m$  值越大, 则数据分布越集中。

对(1)式两端取双对数, 整理可得:

$$\ln \ln \frac{1}{1-F(\sigma)} = m \ln \sigma - m \ln \sigma_0 \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{令: } y &= \ln \ln \frac{1}{1-F(\sigma)} \quad x = \ln \sigma \quad A = -m \ln \sigma_0 \\ \text{则: } y &= mx + A \end{aligned} \quad (3)$$

表 2 不同加工方法的 Weibull 分布参数

Table 2 Weibull distribution parameters of different processing

	形状参数	尺寸参数	相关系数	样本数
电火花	2.53	333.5	0.97	19
锯切	6.67	118.8	0.95	14
粗磨	2.21	560.9	0.98	20
精磨	2.95	639.5	0.97	16
抛光	10.1	751.9	0.98	11

上式为典型的直线方程, 直线的斜率即为 Weibull 模数  $m$ 。因此, 将试验数据按上式处理后, 将其拟合成直线, 测出直线斜率便可求得 Weibull 模数。将各组试验数据按(3)式处理, 结果如图 1 所示。Weibull 分布各参数如表 2 所示。

#### 3.2 试验结果分析

(1) 进行电火花加工时, 绝缘工作液介质被击穿形成电火花放电通道, 放电通道的截面积很小, 因而电流密度极大, 达到  $10^5 \sim 10^6 \text{A/cm}^2$ , 电极间隙内沿通道形成一个瞬时热源, 其平均温度可达  $5000 \sim 10000^\circ\text{C}^{[1]}$ , 使得表面物质很快被加热到熔点、沸点后, 迅速溶化、气压而被去除, 并在材料表面形成麻点状蚀坑, 造成表面缺陷, 因而降低了材料的性能。

(2) 锯切、磨削和抛光从本质上都是利用金刚石的微小磨粒在材料表面产生滑擦、耕犁和切削来去除材料<sup>[2]</sup>。对于金属类材料, 由于其硬度远小于磨粒的硬度, 所以磨削时一般会产生塑性变形, 因而产生加工硬化。而对于工程陶瓷类材料, 主要靠产生微小的碎断切屑而去除材料。同时, 由于磨削热的作用, 也会产生热致裂纹。相对于其它加工方法, 锯切的加工条件最为恶劣。首先, 锯切时锯片的两侧同时对材料进行磨削, 加工区被封闭在一个狭小的范围之内, 磨削热难以及时传递出来, 迫使大部分热量通过工作材料传递, 使得材料表面的温度较高。其次, 由于要尽可能地减小所去除的材料体积, 锯片一般都比较薄, 大约  $1\text{mm}$  左右。因此, 锯片的刚性较差, 在磨削阻力作用下, 极易产生振动, 会对材料表面产生疲劳作用而产生附加的裂纹扩展, 造成材料的性能下降。相反, 砂轮的刚性较好, 磨削时振动较小, 因此总体强度高于锯切。粗磨和

精磨的区别在于磨粒的粒度大小, 粒度越小, 同时参加磨削的磨粒越多, 每个磨粒所受的平均磨削力越小, 而且磨痕的平均深度也越小, 因此造成的磨削热也越小。对材料表面的影响也相应地减小。因此精磨的强度要高于粗磨的强度。两种方法的 Weibull 模数大致相等, 表明磨粒的尺寸对材料性能的分散性影响不大。

(3) 由于研磨抛光方法是一种不去除余量的工艺方法, 所以基本无磨削热, 材料表面的微裂纹被去除或钝化, 提高了材料的强度, 并且真正反映了材料内部本身的性能分布, 因而其 Weibull 模数值明显高于其它加工方法的模数值。

## 4 结 论

工程陶瓷的力学性能受陶瓷材料本体性能和表面

状况的共同影响。不同的加工方法对陶瓷表面的性能有较大的影响, 因而其力学性能也受到加工方法的影响。其中, 以锯切的方式对材料的性能影响最大, 其平均强度也最低。而研磨抛光法基本上消除了材料表面的微裂纹, 使材料的强度得到了提高, 而且一致性较好。因此, 实际应用工程陶瓷时, 如果要求有较高的强度和可靠度, 就必须对陶瓷表面进行精加工。

## 参 考 文 献

- 1 任敬心, 华定安. 磨削原理. 西安: 西北工业大学出版社, 1988
- 2 杨建新. 放电加工原理及理论. 北京: 冶金工业出版社, 1992