

陶瓷力学性能检测之断裂韧性检测

一、概述

陶瓷材料及制品在人们的生产生活中发挥着重要的作用，因其重要性，陶瓷检测也显得重要。下面就陶瓷的化学性能、力学性能等方面做一下简单介绍，供企业个人做为参考。

陶瓷材料的检测性能包括物理性能、化学性能、热学性能、电学性能等方面，其中物理性能、化学性能和力学性能是其主要的检测重点。物理性能包括密度、熔点、导热性、导电性、光学性能、磁性等。化学性能包括抗氧化性、耐磨蚀性、化学稳定性等。而陶瓷材料通常来说在弹性变形后立即发生脆性断裂，不出现塑性变形或很难发生塑性变形，因此对陶瓷材料而言，人们对其力学性能的分析主要集中在弯曲强度、断裂韧性和硬度上，下文主要以科标检测为例来介绍下陶瓷力学性能中弯曲强度检测的相关原理，科标检测专业提供相应的陶瓷材料检测，检测结果精准，出具报告，因此有一定的参考价值！

二、断裂韧性

应力集中是导致材料脆性断裂的主要原因之一，而反映材料抵抗应力集中而发生断裂的指标是断裂韧性，用应力强度因子（ K ）表示。尖端呈张开型（I型）的裂纹最危险，其应力强度因子用 K_I 表示，恰好使材料产生脆性断裂的 K_I 称为临界应力强度因子，用 K_{IC} 表示。金属材料的 K_{IC} 一般用带边裂纹的三点弯曲实验测定，但在陶瓷材料中由于试样中预制裂纹比较困难，因此人们通常用维氏硬度法来测量陶瓷材料的断裂韧性。

陶瓷等脆性材料在断裂前几乎不产生塑性变形，因此当外界的压力达到断裂应力时，就会产生裂纹。以维氏硬度压头压入这些材料时，在足够大的外力下，压痕的对角线的方向上就会产生裂纹，如图 2-1 所示。裂纹的扩展长度与材料的断裂韧性 K_{IC} 存在一定的关系，因此可以通过测量裂纹的长度来测定 K_{IC} 。其突出的优点在于快速、简单、可使用非常小的试样。如果以 P_c 作为可使压痕产生雷文的临界负荷，那么图中显示了不同负荷下的裂纹情况。

由于硬度法突出的优点，人们对它进行了大量的理论和实验研究。推导出了各种半经验的理论公式。其中 Blendell 结合理论分析和实验数据拟合，给出下列方程：

$$\left(\frac{K_{IC} \phi}{H a^{\frac{1}{2}}} \right) \left(\frac{H}{E \phi} \right)^{\frac{2}{5}} = 0.055 \cdot \lg \left(8.4 \frac{a}{c} \right)$$



图 2-1 $P < P_c$ (左) 和 $P > P_c$ (右) 时压痕

K_{IC} 是 I 型应力强度因子，也就是断裂韧性； ϕ 为一常数，约等于 3；HV 是维氏硬度；a 为压痕对角线长度的一半；c 为表面裂纹长度的一半，见图 2-1。经过大量的研究表明，该公式至少在下列范围内是使用的：硬度 (HV) = 1~30GPa，断裂韧性 (K_{IC}) = 0.9~16MPa · m^{1/2}

及泊松比 (μ) = 0.2~0.3。

一系列的实验发现，这一公式和实验数据具有非常好的吻合。当使用这一方程时，一般所加的负荷要足够大，使 c/a 大于 3 左右。但是在某些时候，这意味着要加很高的负荷，在一般的显微硬度计上无法实现，并且使压头极易损坏，增加测试费用。后来 Niihara 等发现，当所加负荷较小时，上述的公式经过修正后仍旧适用。在脆性材料中，压痕下材料的断裂方式根据所加负荷的不同呈现两种形式，如图 2-2 所示。当负荷小时，所出现的裂纹称 Palmqvist 裂纹（左图），而在负荷较高时，出现的裂纹称为 Median 裂纹（右图）。

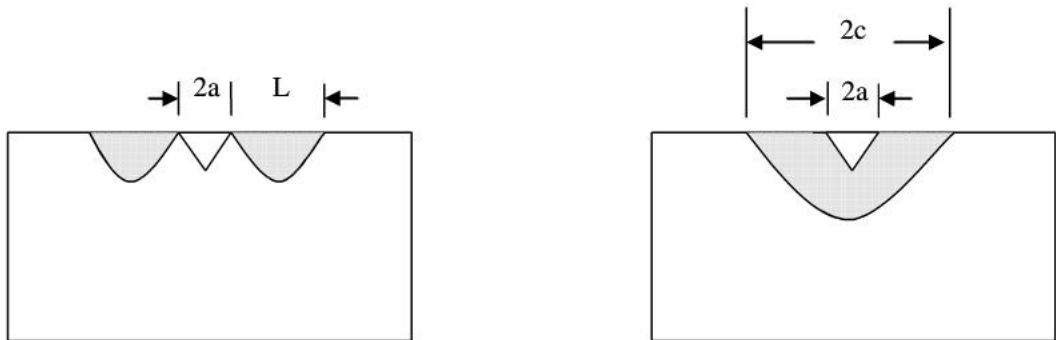


图 2-2 Palmqvist 裂纹（左）和 Median 裂纹（右）

阴影部分为裂纹扩展区

理论分析和实验结果拟合表明，对于 Palmqvist 裂纹 ($0.25 \leq L/a \leq 25$ 或 $1.25 \leq c/a \leq 3.5$)，用下列公式计算断裂韧性：

$$\left(\frac{K_{IC} \phi}{Ha^2} \right) \left(\frac{H}{E\phi} \right)^{\frac{2}{5}} = 0.035 \left(\frac{L}{a} \right)^{\frac{1}{2}}$$

而对于 Median 裂纹 ($c/a \geq 2.5$)，用下列公式计算：

$$\left(\frac{K_{Ic}\phi}{Ha^{\frac{1}{2}}} \right) \left(\frac{H}{E\phi} \right)^{\frac{2}{5}} = 0.129 \left(\frac{c}{a} \right)^{\frac{3}{2}}$$

也就是说只要能确定裂纹的形式，就可以用这些公式计算断裂韧性，并且曲线同实验数据吻合非常好。因而可以使用小负荷测断裂韧性，避免高负荷所带来的一系列技术上的困难。目前当确定裂纹的扩展方式困难或麻烦时，依旧倾向于使用高的负荷，使裂纹呈 Median 扩展形式。