

耐火材料强度与冲蚀磨损率的数值关系

廉晓庆¹⁾ 冯秀梅²⁾ 蒋明学¹⁾ 高元双³⁾

1) 西安建筑科技大学 材料科学与工程学院 陕西西安 710055

2) 青岛科技大学 建筑工程学院 山东青岛 266109

3) 陕西艺林实业有限责任公司 陕西西安 710061

摘要 参照 GB/T 18301—2001《耐火材料常温耐磨性试验方法》，以碳化硅为磨料对高强耐火浇注料进行冲蚀磨损试验。研究了耐火材料常温耐压强度和抗折强度与冲蚀磨损率的关系，利用线性回归得到了耐火材料强度与冲蚀磨损率的数值关系。结果表明：耐压强度和抗折强度均与冲蚀磨损率呈线性关系，相关系数分别为 0.991 3 和 0.986 0。

关键词 耐压强度, 抗折强度, 冲蚀磨损性, 线性回归

冲蚀磨损是耐火材料使用过程中的主要损毁形式之一,它是指材料受到小而松散的流动粒子冲击时表面出现破坏的一类磨损现象,粒子一般小于 1 000 μm,冲击速度在 550 m·s⁻¹内^[1]。关于冲蚀磨损的各种冲击参数对耐火材料的影响已有不少报道^[2-4],但关于材料强度与冲蚀磨损性关系的报道却很少。在本文中,主要探讨常温耐压强度和抗折强度对耐火材料抗冲蚀磨损性的影响,得出强度与冲蚀磨损量的经验公式,用以预测耐火材料的冲蚀磨损率,还可为提高耐火材料抗冲蚀磨损性的研究提供依据。

1 试验

1.1 靶材与磨料

以棕刚玉(5~3.3~1、<1和<0.088 mm),硅微粉,α-Al₂O₃微粉,CA-70 铝酸盐水泥为主要原料进行配料,振动成型为 100 mm×100 mm×20 mm 的试样,110℃烘干 24 h 后,分别在 800、900、1 000、1 100 和 1 200℃保温 3 h 热处理。不同温度热处理后靶材的物理性能见表 1。磨料为 w(SiC)≥99.0% 的多棱角状黑碳化硅,硬度 32.8~34.0 GPa,体积密度 3.2 g·cm⁻³,平均粒径 0.71 mm。

表 1 试样的物理性能

试样编号	1*	2*	3*	4*	5*	6*
热处理温度/℃	110	800	900	1 000	1 100	1 200
体积密度/(g·cm ⁻³)	3.10	3.02	3.01	3.01	2.98	3.10
显气孔率/%	18.52	19.86	20.45	20.84	21.25	18.76
常温耐压强度/MPa	66	66	70	83	88	105
常温抗折强度/MPa	6.2	11.2	12.1	13.2	13.9	18.2

1.2 冲蚀试验

试验装置为自制的常温冲蚀试验仪,示意图见图 1。冲蚀磨损试验参照 GB/T 18301—2001《耐火材料常温耐磨性试验方法》:冲蚀角度 90°,冲蚀速度 5 m·s⁻¹,磨料总量 1 000 g,磨料流量 160 g·min⁻¹,气体压力 400 kPa。用电子秤称量试样冲蚀前后的质量,精确到 0.01 g。由于试样体积密度不同,用体积冲蚀磨损率(简称冲蚀磨损率)E_v(mm³·g⁻¹)反映材料的抗冲蚀磨损性:

$$E_v = (m_0 - m_1) / (\rho m)$$

式中:ρ为试样的密度,g·cm⁻³;m₀为试样原始质量,g;m₁为冲蚀磨损后试样的质量,g;m为磨料总质量,kg。

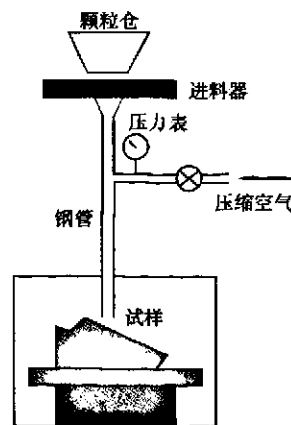


图 1 喷砂式冲蚀试验机简图

* 廉晓庆,女,1985年生,硕士研究生。
E-mail: lianxiaoping0304@126.com
收稿日期:2011-03-16

编辑:张子英

1.3 线性回归

在科学实验和生产实践中,常常需要从一组实验测定的数据求自变量和因变量之间的近似解析表达式,称为曲线拟合或回归。如果在回归分析中,只包括一个自变量和一个因变量,且二者的关系可用一条直线近似表示,这种回归称为一元线性回归。回归方程 $y = a + bx$,其中 a, b 由最小二乘法计算而得。为使拟合的直线方程有意义,定义相关系数 γ 反映变量 x 和 y 之间线性关系的密切程度。 $|\gamma| = 1$ 时,称为完全线性相关; $|\gamma| = 0$ 时,称为线性无关。一般认为 $|\gamma| > 0.8$ 为强相关^[5]。

2 结果与分析

2.1 强度与冲蚀磨损率的关系

图2示出了常温耐压强度、抗折强度与冲蚀磨损率的关系。可看出,随着耐压强度和抗折强度的提高,材料冲蚀磨损率减少,即强度与冲蚀磨损率成反比关系。6#靶材耐压强度 105 MPa,抗折强度 18.2 MPa,具有最低的冲蚀磨损率 $7.0 \text{ mm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$ 。具有优良力学性能的耐火材料也具有较高的抗冲蚀磨损性,这与鲍崇高^[4]的结论一致。

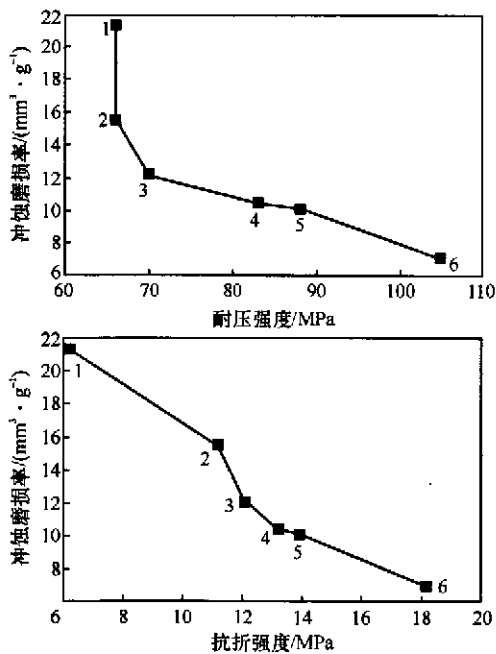


图2 常温耐压强度、抗折强度与冲蚀磨损率的关系

由图2还可以看出:1)1#与2#材料具有相同的耐压强度,但1#试样的冲蚀磨损率明显高于2#试样的。1#靶材热处理温度 $110 \text{ }^\circ\text{C}$,2#靶材热处理温度 $800 \text{ }^\circ\text{C}$ 。随着温度的升高,靶材基质发生了复杂的化学反应,各水化物脱水,相互转化,形成 CA 、 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 、 A_3S_2 以及少量的 CA_6 、 C_2A ^[6]。1#材料是水合结合,2#材料则

是陶瓷结合,二者具有相同的耐压强度,但抗折强度不同,因此,具有不同的抗冲蚀磨损性能。可见,材料的组织结构是影响其抗冲蚀磨损性的重要因素。2)2#与3#材料的冲蚀磨损率下降速度明显高于4#~6#材料的。认为在本试验条件下,热处理温度高于 $900 \text{ }^\circ\text{C}$ 后试样可具有稳定的组织结构。因此,选取3#~6#材料的试验数据进行强度-冲蚀磨损率的线性拟合,可以避免其他因素的影响,有利于得到更加精确的结果。

经过线性拟合,耐火材料耐压强度和抗折强度与冲蚀磨损率的数值关系可以分别表示为 $y = 22.52 - 0.14x$ 和 $y = 21.19 - 0.78x$,其中 x 为自变量耐压强度和抗折强度, y 为因变量冲蚀磨损率;相关系数 γ 分别高达0.9913和0.9860。可见,耐火材料耐压强度和抗折强度均与冲蚀磨损率呈很好的线性关系,提高耐火材料的耐压强度和抗折强度是提高其抗冲蚀磨损性的有效途径。

2.2 经验公式的运用

根据以上得到的耐压强度、抗折强度与冲蚀磨损率关系的回归方程,可以有效地预测同类型耐火材料的冲蚀磨损率,设计材料时也可根据冲蚀磨损率的要求值来计算和设计目标耐压强度和抗折强度。

3 结论

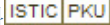
(1)耐火材料的冲蚀磨损率随耐压强度和抗折强度的增大而减小。

(2)耐火材料耐压强度和抗折强度均与冲蚀磨损率呈很好的线性关系。本试验中系列耐火材料的耐压强度和抗折强度与冲蚀磨损率的数值关系分别表示为 $y = 22.52 - 0.14x$ 和 $y = 21.19 - 0.78x$,相关系数分别为0.9913和0.9860。

参考文献

- [1] 李诗卓,董祥林. 材料的冲蚀磨损与微动磨损[M]. 北京:机械工业出版社,1984:112-115.
- [2] 廉晓庆,蒋明学,白顶有. 基于 ANSYS/LS-DYNA 的磨料冲击行为分析[J]. 硅酸盐通报,2010,29(4):409-412.
- [3] 彭西高,孙加林. 冲击参数对氧化铝基耐火材料常温耐磨性的影响[J]. 耐火材料,2008,42(3):178-183.
- [4] 鲍崇高,潘伟. 不同实验参数下 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 陶瓷冲蚀磨损性能研究[J]. 稀有金属材料与工程,2007,36(22):477-450.
- [5] 曾令可,叶卫平. 计算机在材料科学与工程中的应用[M]. 武汉:武汉理工大学出版社,2003:24.
- [6] 胡水,于仁红,蒋明学. 刚玉质耐火材料高温耐冲蚀磨损性能的研究[J]. 耐火材料,2005,39(6):415-418.

耐火材料强度与冲蚀磨损率的数值关系

作者: 廉晓庆, 冯秀梅, 蒋明学, 高元双
作者单位: 廉晓庆, 蒋明学(西安建筑科技大学材料科学与工程学院 陕西西安710055), 冯秀梅(青岛科技大学建筑工程学院 山东青岛266109), 高元双(陕西艺林实业有限责任公司 陕西西安710061)
刊名: 耐火材料 
英文刊名: Refractories
年, 卷(期): 2011, 45(4)

参考文献(6条)

1. 李诗卓;董祥林 材料的冲蚀磨损与微动磨损 1984
2. 廉晓庆;蒋明学;白顶有 基于ANSYS/LS-DYNA的磨料冲击行为分析[期刊论文]-硅酸盐通报 2010(04)
3. 彭西高;孙加林 冲击参数对氧化锆基耐火材料常温耐磨性的影响[期刊论文]-耐火材料 2008(03)
4. 鲍崇高;潘伟 不同实验参数下 α -Al₂O₃陶瓷冲蚀磨损性能研究[期刊论文]-稀有金属材料与工程 2007(z2)
5. 曾令可;叶卫平 计算机在材料科学与工程中的应用 2003
6. 胡水;于仁红;蒋明学 刚玉质耐火材料高温耐冲蚀磨损性能的研究[期刊论文]-耐火材料 2005(06)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_nhcl201104019.aspx