

不同粒度氧化铝微粉在耐火浇注料中的应用

汪贤^{1,2)} 赵义^{1,2)} 宋雅楠^{1,2)} 黄凯^{1,2)} 沈明科¹⁾ 吴斌¹⁾ 马铮¹⁾

1) 浙江自立股份有限公司 浙江上虞 312300

2) 浙江自立氧化铝材料科技有限公司 浙江上虞 312300

摘要 为研究不同种类的氧化铝微粉在耐火材料中的应用,以板状刚玉颗粒和细粉、不同的氧化铝微粉为主要原料,纯铝酸钙水泥为结合剂制备了一系列刚玉质耐火浇注料。研究了不同粒度氧化铝微粉的粉体特性以及对刚玉质浇注料的影响。结果表明:活性氧化铝微粉与煅烧氧化铝微粉相比,具有粒度小、比表面积大的特点,在浆体中表现出比较大的黏度,生坯烧后收缩大,体积密度比煅烧氧化铝微粉高。同时,活性氧化铝微粉在浇注料中的施工性能以及各阶段强度均优于煅烧氧化铝微粉。根据不同氧化铝微粉的特性以及实际使用情况来选择氧化铝微粉的种类尤其重要,另外,可以通过选用不同粒度的氧化铝微粉按照一定的比例复配使用来满足生产要求。

关键词 活性氧化铝微粉;煅烧氧化铝微粉;粒度分布;黏度;应用

不定形耐火材料由于其具有生产工艺简单、劳动强度低、供货周期短及可机械化施工等特点,在钢铁行业中得到广泛的应用和快速的发展^[1]。微粉是不定形耐火材料组成不可缺少的部分,同时具有重要的作用^[2]。微粉在浇注料中的基本作用机制是填充和润滑^[3],微粉能够填充骨料和细粉间的空隙,使加水量降低,这样材料排除水分后留下的气孔较少,有利于提高材料的体积密度和降低显气孔率,从而增加材料的机械强度。另一方面,微粉粒子表面能够吸附分散剂形成水膜层起到润滑作用,有助于改善材料的施工性能。

目前,氧化铝微粉广泛应用于耐火浇注料和陶瓷行业中^[4]。根据氧化铝微粉的粒度以及活性高低可分为煅烧氧化铝微粉和活性氧化铝微粉。煅烧氧化铝微粉是以工业氧化铝为原料,经过高温充分煅烧后形成晶体稳定的 α -氧化铝产品,具有晶型稳定、纯度高、化学稳定性好等特点。活性氧化铝微粉是采用高纯氧化铝粉为原料,经过不同的高温煅烧后,形成晶体稳定的 α -氧化铝产品,具有晶型稳定、纯度高、化学稳定性好等特点^[5-6]。氧化铝微粉根据其自身的粉体特性在材料中发挥着不同的作用^[7]。

本工作中主要是对公司部分不同牌号氧化铝微粉产品(07RA、15RA、20RA、40CA和50CA)的粉体特性以及在浇注料中的应用情况进行分析,研究了不同粒度氧化铝微粉的自身特性以及对浇注料性能的影响。

1 试验

1.1 原料

试验主要原料有:烧结板状刚玉(自立科技,5~3、3~1、1~0.5、 ≤ 0.5 、 ≤ 0.044 mm);氧化铝微粉(自立科技,07RA、15RA、20RA、40CA、50CA);纯铝酸钙水泥;聚羧酸盐减水剂。各原料的化学组成如表1所示。

表 1 板状刚玉及氧化铝微粉的化学组成

原料	w/%					
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O
板状刚玉	0.01	99.85	0.03	0.02	0.02	0.35
07RA	0.01	99.37	0.02	0.04	0.02	0.28
15RA	0.01	99.30	0.02	0.04	0.02	0.29
20RA	0.01	99.42	0.03	0.04	0.02	0.25
40CA	0.01	99.43	0.02	0.02	0.03	0.27
50CA	0.02	99.38	0.02	0.02	0.02	0.29

1.2 试样制备及检测

本试验中以板状刚玉骨料、细粉及氧化铝微粉作为主要原料，以纯铝酸钙水泥作为结合剂，按表2所示的试验配比进行配料、搅拌、振动浇注成型。浇注料试样经室温模内养护24 h后脱模，然后置于烘箱中经110 ℃保温24 h热处理，然后于1 550 ℃保温3 h热处理。

将不同粒度的氧化铝微粉进行成型、烘干、经1 550 ℃保温3 h热处理后进行陶瓷性能的检测，包括烧后线变化以及烧后体积密度。将表2配比中基质部分取出进行流变性能测试，即氧化铝微粉、水泥、减水剂按照一定比例混合均匀，加水进行搅拌成浆体并动态检测浆体黏度。

表 2 刚玉浇注料试验配比

原料	w/%				
	T07	T15	T20	T40	T50
板状刚玉骨料	72	72	72	72	72
板状刚玉细粉	15	15	15	15	15
07RA	8	0	0	0	0
15RA	0	8	0	0	0
氧化铝微粉	0	0	8	0	0
20RA	0	0	8	0	0
40CA	0	0	0	8	0
50CA	0	0	0	0	8
纯铝酸钙水泥	5	5	5	5	5
减水剂 FS10 (外加)	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08

1.3 性能表征

按照GB/T 2997—2000测定烧后试样的体积密度，按照GB/T 5988—2007测定烧后试样的线变化率，按照GB/T 5072—2008测定烧后试样的耐压强度，按照GB/T 3001—2007测定烧后试样的抗折强度。采用Malvern 3000对试样进行粒度分布检测。采用麦克公司比表面积仪对试样进行比表面积检测。采用上海精析仪器有限公司NDJ-8S旋转计对试样进行黏度测试。

2 结果与讨论

2.1 氧化铝微粉的物理特性

对不同牌号氧化铝微粉的粒度分布和比表面积进行表征,结果如下表3所示。由表3可以看出,不同氧化铝微粉的粒度分布呈现出不同的特点,其中活性氧化铝微粉(07RA、15RA和20RA)的 d_{50} 在 $2\ \mu\text{m}$ 以下,明显小于煅烧氧化铝微粉(40CA和50CA)。氧化铝微粉的粒度越小,对应的比表面积越大,说明粉体的活性越高。

表 3 不同牌号氧化铝微粉的粉体特性

氧化铝微粉牌号	粒度分布/ μm			比表面积/ $(\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1})$
	d_{10}	d_{50}	d_{90}	
07RA	0.422	0.859	2.74	7.5
15RA	0.641	1.48	3.67	3.0
20RA	0.732	1.93	5.53	1.9
40CA	1.27	4.45	9.89	0.7
50CA	2.04	5.52	13.2	0.7

不同牌号氧化铝微粉经高温处理后的陶瓷性能见图 1。从图 1 中可以看出,随着氧化铝微粉粒度的增大,粉体陶瓷性能中的烧后线变化呈现出降低的趋势,烧后的体积密度也逐渐减小。这是由于随着氧化铝微粉颗粒尺寸的增加,粉体的比表面积减小,在高温下的烧结活性降低,颗粒之间的烧结不够致密,因此表现出烧后收缩减小,体积密度降低。

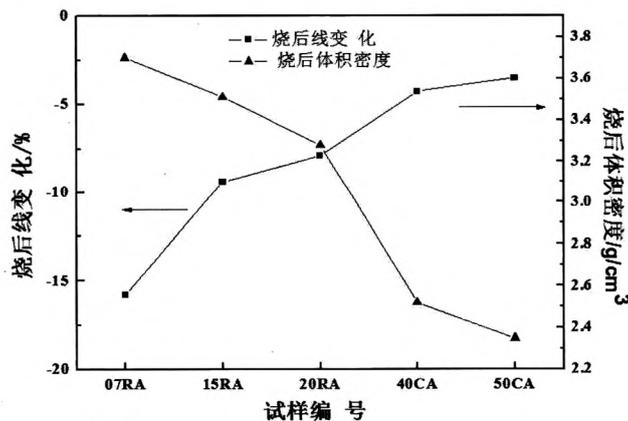


图 1 不同牌号氧化铝微粉经高温处理后的陶瓷性能

2.2 不同氧化铝微粉在浇注料中的应用性能

按照表2中的配比将浇注料基质部分取出,对不同牌号氧化铝微粉在基质部分浆体中的黏度进行了测试,结果如下图2所示。从图中可以看出,添加粒度最小的活性氧化铝微粉07RA的基质试样具有最高的黏度 $4\ 410\ \text{mPa}\cdot\text{s}$,15RA和20RA基质试样的黏度明显降低,大约为 $1\ 100\sim 1\ 300\ \text{mPa}\cdot\text{s}$ 左右,而煅烧氧化铝微粉40CA和50CA基质试样的黏度则进一步降低,在 $620\sim 670\ \text{mPa}\cdot\text{s}$ 之间。

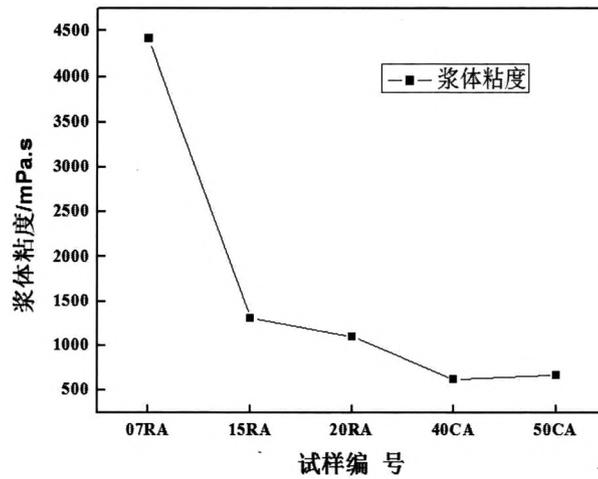


图2 不同牌号氧化铝微粉对浇注料基质黏度的影响

不同氧化铝微粉的加入在浇注料中的施工性能如图3所示。由图3可以看出，07RA、15RA、20RA的加水量和流动值比较接近，随着氧化铝微粉粒度的增加，40CA和50CA的加水量明显增加至5.4% (w)，同时流动值也有一定的增大。这说明氧化铝微粉的粒度对浇注料的施工性能有一定的影响，在一定的范围内，氧化铝微粉的粒度越大，浇注料浇注过程中所需的加水量会增加。

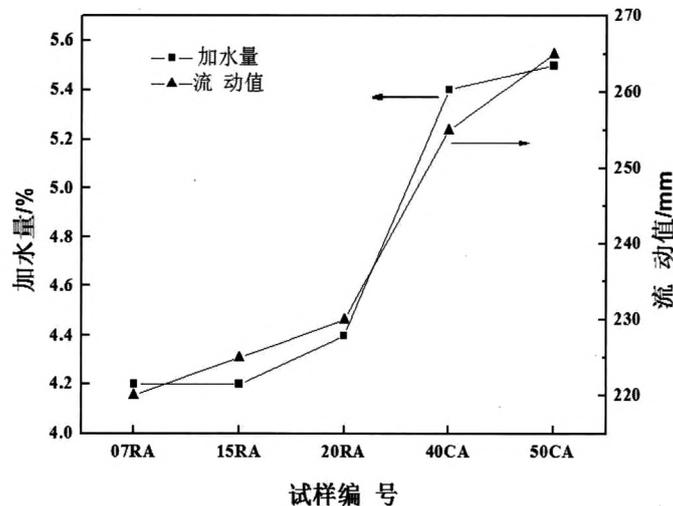


图3 不同牌号氧化铝微粉在浇注料中的施工性能

表4为五组不同试样在各阶段的物理性能。从表中可以看出，随着氧化铝微粉粒度的增加，试样的24 h脱模强度、110 °C烘后强度和1 550 °C保温3 h强度均随着氧化铝微粉粒度的增加呈现明显的降低趋势。比如07RA试样脱模后的抗折强度和耐压强度分别为8.5和63.3 MPa，而50CA试样脱模后的抗折强度和耐压强度则降低至分别为3.2和26.4 MPa，同时另外两个阶段的强度也有大幅度的降低。从表中还可以看出，随着氧化铝微粉粒度的增加，试样烧后的线膨胀逐渐增大，同时试样的体积密度也有所降低。这与氧化铝微粉在陶瓷性能中表现出来的线变化相吻合。粒度越小，烧后收缩越大，对应的浇注料表现出来的线膨胀小。

表4 刚玉浇注料的施工性能及早期强度

试样 编号	脱模强度/MPa		110 °C烘后性能			1 550 °C保温 3 h 烧后性能			
	抗折 强度	耐压强 度	体积密度/ (g.cm ⁻³)	抗折强 度/MPa	耐压强 度/MPa	线变化/%	体积密度/ (g.cm ⁻³)	抗折强度 /MPa	耐压强度/MPa
037RA	8.5	63.3	3.27	24.8	145.7	+0.15	3.14	57.2	312.2
15RA	7.9	65.2	3.25	22.6	126.0	+0.32	3.14	58.6	236.3
20RA	6.3	52.5	3.24	22.5	105.0	+0.40	3.15	45.1	228.4
40CA	4.6	38.5	3.17	12.7	47.1	+0.57	3.06	28.7	108.6
50CA	3.2	26.4	3.17	12.4	55.5	+0.72	3.05	28.9	73.0

不同粒度氧化铝微粉的粉体特性以及在浇注料中的性能都具有不同的特点。因此,根据生产实际情况选择合适的氧化铝微粉尤为重要。比如对于需要有高强度的浇注料而言,粒度偏小的活性氧化铝微粉比较合适,而对线变化要求比较严格的陶瓷行业而言,则大多采用粒度大的煅烧氧化铝微粉。另外,可以通过选用不同粒度的氧化铝微粉按照一定的比例复配使用来满足生产要求。

3 结论

(1) 不同粒度的氧化铝微粉具有不同的粉体特性,与煅烧氧化铝粉相比,活性氧化铝粉具有粒度小、比表面积大、活性高、烧后线收缩大等特点。

(2) 从浇注料施工性能、各阶段强度结果来看,活性氧化铝微粉的加水量比煅烧氧化铝微粉少,同时各阶段强度均比煅烧氧化铝微粉要高。

(3) 不同的生产实际情况需选用不同特性的氧化铝微粉,特殊情况下可以按比例使用两种不同粒度的氧化铝微粉来达到生产要求。

参考文献

- [1] 周宁生,胡书禾,张三华.不定形耐火材料发展的新动态[J].耐火材料,2004,38(3):196-203.
- [2] 黄朝晖,吴小贤,刘艳改,等.微粉在不定形耐火材料中的应用与展望[J].中国粉体工业,2009:21-27.
- [3] 李晓明.微粉与新型耐火材料[M].北京:冶金工业出版社,2004:58-60.
- [4] 靳蛟,李振,张继国,等. α -氧化铝微粉粒度对浇注料施工性能和强度的影响[J].山东陶瓷,2008,31(5):37-38.
- [5] 邓勇跃,王玺堂,张保国. α - Al_2O_3 微粉和水泥对刚玉质自流浇注料性能的影响[J].耐火材料,2003,37(1):43-44.
- [6] 李文平,刘学新,李斌,等.氧化铝微粉与减水剂对刚玉质浇注料施工性能的影响[J].耐火材料,2009,43(6):445-448.

汪贤:女,1989年生,硕士,工程师。

E-mail: xwang@ziliref.com