

硅砂原料特性对熔铸 AZS 砖砂型强度的影响

郭子华¹, 余光², 李华春³, 员文杰^{1, 4}

(1. 武汉科技大学 省部共建耐火材料与冶金国家重点实验室, 湖北武汉 430081;
2. 北京西普耐火材料有限公司, 北京 102202; 3. 圣戈班研发(上海)有限公司, 上海 200245;
4. 武汉科技大学 高温材料与炉衬技术国家地方联合工程研究中心, 湖北武汉 430081)

摘要: 为分析硅砂原料特性对砂型强度的影响, 对5种不同硅砂酸耗值、含泥量、圆形度以及粒度分布等特性进行表征, 分析各特性参数与型砂试样24 h抗弯强度的关联度。结果表明: 硅砂酸耗值在6 mL以下时的差异与砂型强度关联性较低; 40[#]-70[#]硅砂集中度在95%以上时, 含泥量对砂型强度影响较大, 当集中度近似在80%以下时, 含泥量对强度影响程度变小; 5种硅砂圆形度和型砂试样体积密度与其强度有更密切的关联性; 采用对数变换值表征法细分40[#]-70[#]硅砂得出粒度 Φ 值的标准差与砂型强度关联性最大。

关键词: 原料特性; 砂型强度; 关联度分析

作者简介:

郭子华(1997-), 男, 硕士生, 研究方向为耐火材料。E-mail: gzhdsoon@foxmail.com

通讯作者:

员文杰, 男, 教授。E-mail: yuanwenjie@wust.edu.cn

中图分类号: TG221

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2023)

05-0576-06

收稿日期:

2022-06-08 收到初稿,

2022-07-13 收到修订稿。

熔铸锆刚玉砖(AZS)是砌筑玻璃窑的主要材料^[1], 它是由三相电弧炉熔融后浇注到铸型材料后冷却成形的耐火材料制品。为了满足玻璃窑炉各部位用材需求, 熔铸AZS会通过铸型材料浇注成特定形状, 冷却后材料经过简单打磨便可投入使用。同大多金属铸造类似, 目前采用高纯硅砂作为生产熔铸AZS砖使用的铸型材料。硅砂在自然界中资源丰富, 价格低、易获得, 结合呋喃树脂, 其制成的砂型性能优良, 可以进行多种高精度且复杂的加工, 被广泛用于铸造行业^[2-3]。在铸造生产过程中, 砂型强度是砂型的关键指标之一, 砂型必须具有一定强度保证其在生产线上正常运行, 砂型强度较低则会在浇注时出现冲砂、掉砂等现象, 这将会严重影响铸件表面质量^[4]。作为铸造工艺产品的熔铸AZS砖同样需要足够强度的砂型以应对上述问题, 并且为了使熔铸AZS保温材料均匀地填充在砂型周围, 通常会采用振动的方式, 这就要求砂型有足够的强度应对振动带来的冲击作用^[5], 另外通常熔铸AZS砖尺寸较大, 特别是池壁砖, 其高度普遍大于1.2 m, 再加上冒口处熔体, 砂型需要承受较大的熔体重力作用, 故用低强度砂型浇注出来的铸件往往尺寸偏大, 这就需要对材料表层过度加工, 不仅增加砖材生产成本, 且会降低砖材抗腐蚀性能^[6-7], 因此砂型强度对熔铸锆刚玉砖生产工艺极为重要。随着自然资源的日益消耗, 必须不断寻找可持续供应的高品质硅砂以满足铸造行业的发展需求。硅砂在我国分布广阔, 品质却千差万别, 而品质良好的硅砂可以大大提高铸造成品率, 减少资源的不必要消耗。在“双碳”背景下, 展开对硅砂原砂特性与砂型强度方面的研究, 将有助于提高该行业铸造效率, 减少资源消耗, 助力“双碳”事业顺利发展。

研究表明, 粒度分布、粒形、含泥量等原砂的特性对砂型强度具有不同程度的影响。Edoziuno^[8]对尼日尔河砂进行了详细分析, 通过对比不同粒度组成下型砂试样的耐压强度和抗剪强度, 发现由355~500 μm 硅砂制成的砂型强度较好。刘卫东^[9]研究了砂粒级配对树脂砂抗拉强度的影响, 指出适当提高砂的大颗粒比例可以改善抗拉强度。通常认为, 球形硅砂更适合用于铸造^[10-12], 一方面球形硅砂堆积密度相较于形状不规则的硅砂高, 在制作砂型时也更容易春实, 这将增加砂粒之间的接触点, 得到较好的砂型强度; 另一方面球形硅砂比表面积相较于不规则形状硅砂小, 可以减少硅砂表面对粘结剂的吸附量。Marjan^[13]对6种硅砂圆形度、扁平度以及凸度

等粒形数据与型砂试样抗弯强度进行分析,指出在硅砂粒度分布相似时,硅砂的圆形度对砂型强度影响非常显著。钟飞升^[14]等人采用硅砂整形机将破碎石英2次整形,颗粒角形系数从1.46下降到1.31,砂的堆积密度提高了10.27%,覆膜砂试样抗拉强度提升了73.41%,且应用在冷芯工艺中初始强度和24 h终强度分别提高了30.49%和43.69%。在硅砂开采、运输等过程中,因为磨损或者受污染可能会沾染一些细小颗粒^[15],李传斌^[11]指出硅砂的表面状态即砂粒附带极细微的细粉会影响粘结剂粘合作用,从而降低砂型的强度。

原料特性是铸造行业在选取硅砂原料时的重要依据。本研究采用了5种不同产地的天然硅砂,测定了其粒度分布、粒形、含泥量以及酸耗值等数据,利用相关性分析探究硅砂原料特性中对砂型强度影响最大的因素。

1 试验材料与方法

选取了5种不同产地的天然硅砂,编号分别为A-E。其化学组成采用X射线荧光光谱仪(XRF, PANalytical-Axios)测定得到,结果见表1。硅砂的粒度分布由机械行业标准JB/T 9156—1999所规定的20至270目铸造试验筛,通过使用数控标准检验筛分机(SY-300II型,新乡市三圆堂机械有限公司)进行筛分得到,结果见表2。硅砂酸耗值和含泥量依据国标GB/T 9442—2010^[16]所规定的方法进行测定,其中含泥量测试采用浙江嘉兴仪器厂生产的SXW型涡流式洗砂机。原砂粒形采用光学显微镜拍摄砂粒图片,随后使用软件Photoshop与Image Pro Plus 6.0处理这些图片,得到砂粒的轮廓周长、弗雷特半径以及砂粒投影面积,进而计算硅砂圆形度、扁平度等相关数据,每种硅砂统计

表1 硅砂化学成分
Table 1 Chemical compositions of the silica sands

编号	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	烧失量
A	98.396	1.050	0.001	0.030	0.027	0.030	0.010	0.260	0.230
B	99.140	0.524	0.012	0.043	0.025	0.063	0.012	0.151	0.030
C	99.408	0.280	0.033	0.041	0.011	0.050	0.020	0.060	0.100
D	99.594	0.180	0.010	0.038	0.019	0.030	0.010	0.020	0.120
E	99.293	0.580	0.001	0.016	0.030	0.020	0.030	0.020	0.010

表2 硅砂粒度分布
Table 2 Size distributions of the silica sands

编号	筛上料占比/%									40#-70#占比/%
	20	30	40	50	70	100	140	200	270	
A	0	0.07	0.72	36.08	41.41	10.2	6.09	4.55	0.84	78.20
B	0.01	0.06	28.24	54.24	11.92	3.32	1.38	0.65	0.19	94.40
C	0	0	4.81	63.27	30.57	1.24	0.1	0.01	0	98.65
D	0	0.47	22.29	69.66	7.08	0.38	0.1	0.03	0	99.03
E	0	0.29	20.7	38.98	21.63	7.99	5.33	4.3	0.78	81.32

颗粒 ≥ 300 颗。

砂型强度测试采用国标GB/T2684—2009所规定的模具制得长条试样。将硅砂先后与固化剂和呋喃树脂(树脂添加量为硅砂质量1.4%,固化剂添加量为树脂添加量50%)用树脂混砂机搅拌混合,混合时间总计100 s。之后将混合砂倒入模具压实为长条试样,经过30 min后脱模,24 h后对所制得的样品进行称重。抗折强度由无锡市三峰仪器设备有限公司生产的XQY-II砂型强度机测定。

2 结果与讨论

2.1 硅砂酸耗值与含泥量

硅砂的酸耗值与含泥量是铸造用硅砂的重要指

标。酸耗值反映了硅砂对酸类固化剂的消耗程度,以酸类为固化剂的呋喃树脂砂型来讲,一般认为酸耗值越高,砂型固化到一定强度时间越长,反之则越短,因此酸耗值直接影响了砂型的脱模时间,酸耗值过大,将会极大影响生产线的运行速度。含泥量则为硅砂中以及砂颗粒表面所含的细粉多少,这种细微的颗粒十分消耗树脂,从而降低树脂对硅砂颗粒的包裹效率,导致试样的强度降低^[11]。

图1和图2分别为5种硅砂含泥量和酸耗值。从图1中可知,5种硅砂含泥量均小于0.8%,其中硅砂A、B属于这几种硅砂含泥量较大的两种硅砂,分别为0.74%和0.78%,C含泥量中等为0.53%,D、E含泥量水平较低,分别为0.35%和0.25%;如图2所示,除硅砂C酸耗

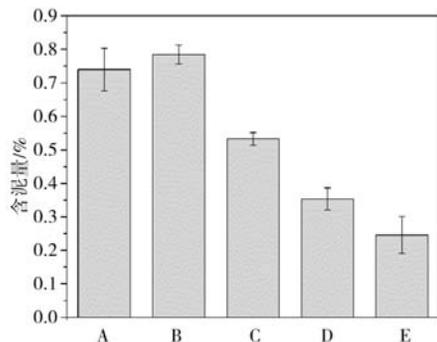


图1 硅砂的含泥量

Fig. 1 Clay contents of the silica sands

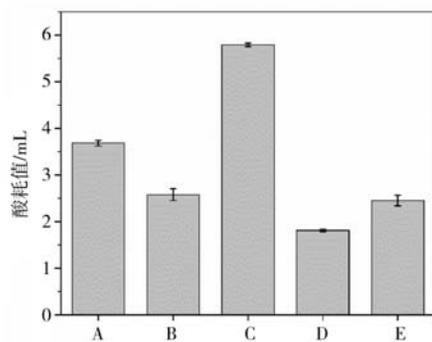


图2 硅砂的酸耗值

Fig. 2 Acid demand values of the silica sands

值在5.79 mL外，其他硅砂酸耗值均小于5 mL，其中D硅砂酸耗值最低为1.81 mL。

2.2 硅砂粒形统计

颗粒形状是铸造用硅砂关键技术指标之一，不同厂家提供的硅砂粒形千差万别，对硅砂粒形进行量化有助于将粒形特征与砂型性能关联，本研究参考众多学者对粉料颗粒的统计方法，采用光学显微镜与图片处理软件对五种硅砂粒形进行了统计，结果如表3。

圆形度 $s^{[17]}$ ：即颗粒投影等效面积 A 的圆周长与投影轮廓实际周长 P 之比，简化为 $s=4\pi A/P^2$ ，其值 ≤ 1 ，当颗粒的 s 值越接近1时，该颗粒越趋向于完美圆形，反之则越趋向于不规则形状，该参数可从整体上描述颗粒的形貌特征。

扁平度 $e^{[18]}$ ，即颗粒投影形状中最大直径与直径之比， $e=F_{\max}/F_{\min}$ ，其值 ≥ 1 ，可粗略估计颗粒圆形度的一

表3 硅砂粒形特征数据

Table 3 Particle characteristic data of the silica sands

编号	圆形度	扁平度
A	0.771 ± 0.092	1.495 ± 0.44
B	0.788 ± 0.078	1.436 ± 0.37
C	0.783 ± 0.065	1.361 ± 0.26
D	0.810 ± 0.063	1.367 ± 0.23
E	0.753 ± 0.090	1.492 ± 0.38

项指标。扁平度可以表征颗粒的狭长程度，当颗粒越接近圆形，该值趋向于1，反之，颗粒外形越扁平 and 越狭长。

从表3结果上看出，硅砂D具有最好的圆形度，同时兼具较好的扁平度，硅砂E圆形度最低且兼具较差扁平度；硅砂B和C在圆形度上相当，但是扁平度相差较大；从五种硅砂粒形数据的偏差上来看，硅砂D整体偏差较小，具有更均匀的粒形特征。

2.3 硅砂主要集中部分粒度分布评价

铸造硅砂一般都有较高的集中度，当前市面上30-50 μ 、40-70 μ 、50-100 μ 以及70-140 μ 的三筛砂占据了主流市场^[19]。一般来讲，硅砂的选用需要根据铸造用砂应根据铸件种类、铸件大小、铸型类别、工厂生产条件，就近合理选用原砂^[20]。电熔AZS砖一般尺寸较大，因此宜选用40 μ -70 μ 硅砂制作铸型材料。但由于该种硅砂产品粒度集中度较高，仅依靠铸造硅砂国标筛不能很好地将主要砂粒集中部分进一步划分，因此本研究参考了国标GB/T 6005—2008，采用R20系列补充筛，对5种硅砂主要集中部分进行了更为细致的筛分。为了更好地分析上述细筛分数据，参考石斌^[21]的硅砂粒度评价体系，采用对数变换值将R20系列筛网孔径进行换算，以等差的 Φ 值对应各筛网筛分数据，以此计算硅砂平均粒径、粒径分布标准差以及偏度。

对数变换值表征：由Krumbein创立，McManus与石斌先后进行修正，可将国标GB/T 6005—2008所规定的筛网进行对数变换。可设筛孔尺寸为 d (μm)，标准直径 d_0 且其值恒等于1 000 μm 。对数变换值 Φ 便可以以2为底取 d 的负对数计算得到，具体公式如下：

$$\Phi = -\lg_2 d/d_0 \quad (1)$$

$$\Phi = -3.321 928 1 \lg d/d_0 \quad (2)$$

该粒度变换值一般称为 Φ 值。本研究采用了R20系列筛，通过筛网孔径对数换算 Φ 值，为了将相邻筛网之间 Φ 值等差，并近似取整，并重新对应筛分结果如表4。

通过对筛网孔径的换算，得到的等差区间匹配相应筛分数据便可以对筛分数据进一步分析，表4给出了5种硅砂以 Φ 值评价的平均粒径、标准差以及偏度。其中标准差反映了硅砂整体的集中程度，其值越小表明整体集中度越高，越大表明该硅砂分散程度越高。而偏度则反映了硅砂在此统计范围内偏粗或者偏细，一般该值 <0 则偏细， >0 则偏粗^[21]。通过对上述数据进行整理可绘出粒径分布图，图3展示了5种硅砂主要集中度下粒度分布情况。

图3为5种硅砂主要集中度范围内的粒度分布情况。结合表4可知，硅砂D集中度最高，标准差达到0.228，其频度分布图像同时反映出该硅砂呈明显的单峰，与标准差数据对应，粒度分布曲线最为平滑，分选性好；硅砂B和C集中程度和分选性次之，最差的是为

表4 硅砂粒度分布表
Table 4 Size distributions of the silica sands

筛网孔径区间	ϕ 区间	A	B	C	D	E
>560 μm	<0.86	0	0.03	0	0.04	0.05
560~500 μm	0.86~1.02	0	0.14	0.01	0.08	0.09
500~450 μm	1.02~1.18	0.01	0.23	0.05	0.24	0.17
450~400 μm	1.18~1.34	0.07	0.19	0.11	0.25	0.14
400~355 μm	1.34~1.5	0.16	0.19	0.21	0.25	0.18
355~315 μm	1.5~1.66	0.27	0.11	0.27	0.09	0.13
315~280 μm	1.66~1.82	0.08	0.03	0.09	0.02	0.03
280~250 μm	1.82~1.98	0.21	0.04	0.17	0.02	0.09
250~224 μm	1.98~2.14	0.08	0.02	0.06	0	0.05
224~200 μm	2.14~2.3	0.13	0.02	0.04	0	0.08
平均值 x		1.745	1.305	1.620	1.255	1.452
标准差 σ		0.295	0.309	0.286	0.228	0.401
偏度SK		-0.006	0.818	0.027	0.352	0.324

A和E,从图3中可以明显看出,两者拥有较多且十分明显的峰。在偏度数据上,只有硅砂A略偏细,其余硅砂都不同程度的向粗颗粒聚集。

2.4 硅砂型强度和密度

5种硅砂制成的砂型抗弯强度如图5所示。其中,样品D具有最高的抗弯强度(2.52 MPa),其余样品强度大多都在2 MPa左右。砂型的体积密度在表5所展示,可以看出,粒度分布以及圆弧度较好的硅砂D制成的砂型密度最高,其余试样体积密度均低于此值且处于相近水平。

2.5 强度关联分析

相关分析通常可以用来揭示两组或多个组数据之间的相关性^[22],对于本研究的砂型强度,通过线性相关分析得出砂型强度与前文中硅砂各项指标的相关程

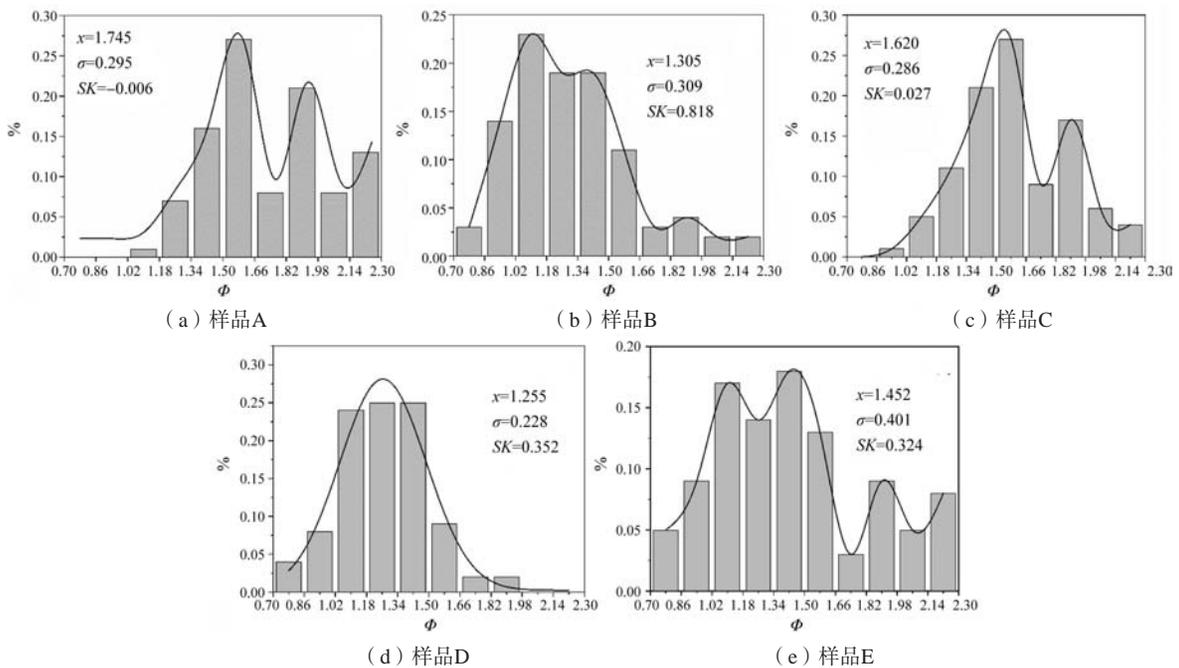


图3 硅砂粒度分布图

Fig. 3 Size distributions of the silica sands

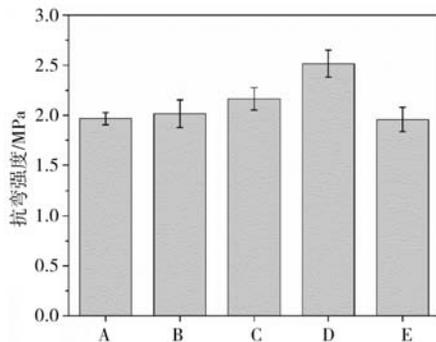


图4 硅砂型的抗弯强度

Fig. 4 Flexural strength of the silica sand molds

表5 硅砂型的体积密度
Table 5 Bulk density of the silica sand molds

砂型编号	体积密度/($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)
A	1.56
B	1.56
C	1.53
D	1.66
E	1.55

度。相关分析原理^[23]可由下式解释:

$$r = \text{Cov}(X, Y) / \sigma_X \cdot \sigma_Y \quad (3)$$

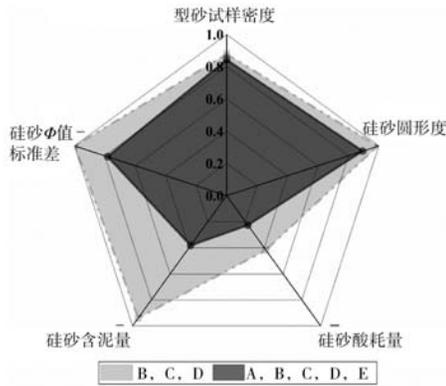


图5 砂型强度关联度

Fig. 5 Strength correlation degree of the sand molds

$$\text{Cov}(X, Y) = E(X - E_X)(Y - E_Y) \quad (4)$$

$$\sigma_X = [E(X - E_X)^2]^{0.5} \quad (5)$$

$$\sigma_Y = [E(Y - E_Y)^2]^{0.5} \quad (6)$$

式中： r 代表数据集 X 与 Y 的线性相关系数， $\text{Cov}(X, Y)$ 代表 X, Y 协方差，一般在概率论和统计学中用于衡量两个变量的总体误差； σ_X 与 σ_Y 分别代表 X, Y 的标准差； E_X 与 E_Y 分别代表数据集 X, Y 的平均值。当线性相关系数 $r > 0$ 时， X 和 Y 呈正相关；当 $r < 0$ 时， X 和 Y 呈负相关；当 $r = 0$ 时， X 和 Y 不相关， r 的绝对值最大为1，其值接近于1时， X, Y 之间的线性相关性越大，反之则越小。表6为原砂的9个指标特性对砂型强度关联度的情况。由于A和E两款硅砂原砂粒度分布与硅砂B、C、D相差甚远，它们40[#]-70[#]集中度均未达到市售三筛砂集中度要求的85%^[16]，因此在分析试样强度与原砂特性关联度时进行了分离讨论，可以从表6中看出，砂型表观密度、原砂圆形体、原砂含泥量、原砂主要集中部分粒度分布标准差与型砂试样放置24 h抗弯强度有着较大关联性，图5的雷达图更直观的显示出了这一趋势。

从图5中可以看出，不论是三筛集中度高还是三筛集中度低的硅砂，酸耗值对砂型24 h强度的相关性均较差，这与众多研究者对砂型研究结果是一致的，一般认为酸耗值会对砂型初期强度有较大影响，随着时间增加，这种影响会越来越小。不论是酸耗值还是改变酸类固化剂添加量，其对强度的影响本质上都是残留酸的残留量影响了树脂固化的效率，周利军^[24]的研究表明，在固化剂酸度适宜的区间（17-25），砂型强度变化并不明显，这说明在适宜的固化剂添加量和酸耗值水平适宜的情况下，固化剂酸度或者酸耗值对砂型强度影响并不大。本研究中所涉及的硅砂酸耗值最高未超过6 mL。结合本工作试验结果，这说明硅砂酸耗值在6 mL以下不足以明显影响砂型强度。关于原砂圆形体以及砂型密度，不论是以硅砂B、C、D关联分析还是5种硅砂全部分析，它们与砂型强度展现出了较强的关联性，这说明这两种硅砂特征与强度的关联具有更明显的普适性，其中圆形体在集中度较高的B、C、

D样品与强度关联性十分明显，这说明市售铸造硅砂在集中度较高水平即94%以上时，圆形体对砂型强度影响显著，上述结果与Marjan^[13]关于粒形与砂型强度研究结论是一致的。

前面提到含泥量是铸造硅砂的重要指标，其含量增加对砂型强度不利。由图5可得知，B、C、D样品的含泥量与其强度关联性十分明显。但在与5种硅砂总体分析时关联性急剧减小，这说明含泥量对硅砂型强度的关联性容易受到颗粒集中度的干扰。在硅砂集中度较低水平下，仅依靠降低含泥量不能对砂型强度有明显改善。在此情况下应该着重提高硅砂的集中度，优化硅砂粒度分布。对硅砂采用新的粒度评价体系，可以发现，代表着集中程度以及分选性的 Φ 值标准差 σ 在硅砂B、C、D中与强度几乎有100%的关联度。虽然在5种硅砂分析时 Φ 值标准差 σ 关联度降低，但这是由于A、E硅砂集中度低，一部分颗粒并未在细筛分中完全统计所致。因此在有限的统计范围内，即在相似集中度情况下，硅砂的 Φ 值标准差 σ 对硅砂型强度的关联是有意义的。

表6 原砂特性与砂型强度关联度
Table 6 Correlation degree between raw sand characteristics and strength of the sand molds

原砂（砂型）特性	与B, C, D强度关联性	与A, B, C, D, E强度关联性
砂型体积密度	0.879	0.843
原砂圆形体	0.995	0.894
原砂扁平度	-0.664	-0.793
原砂酸耗值	-0.419	-0.227
原砂含泥量	-0.942	-0.383
Φ 的平均值 x	-0.367	-0.525
粒度分布标准差（ σ ）	-0.999	-0.782
偏度（SK）	-0.614	0.030
40 [#] -70 [#] 集中度	0.766	0.721

3 结论

（1）硅砂圆形体和砂型密度与型砂试样放置24 h后抗弯强度有更密切的关联性；硅砂酸耗值小于6 mL时对砂型强度影响不大。

（2）对于40[#]-70[#]硅砂，三筛集中度在95%以上时，含泥量对砂型强度影响较大，当集中度在80%以下时，含泥量对强度影响变弱；采用高纯硅砂粒度评价方法对40[#]-70[#]硅砂分析，得出粒度 Φ 值的标准差与砂型强度关联度最大，且呈负相关。

（3）当硅砂三筛集中度大于95%以上时，硅砂圆形体、含泥量以及硅砂的粒度 Φ 值标准差 σ 是影响砂型强度的最主要因素。

参考文献:

- [1] SELKREGG K R. Furnace start-up defects: AZS exudation or corrosion [J]. Chemical Papers, 2018, 72 (9): 2137-2141.
- [2] 侯清麟, 梁晓亮, 周方革, 等. 高纯硅砂制备技术研究现状 [J]. 西部皮革, 2021, 43 (18): 12-14.
- [3] 石钰, 张磊, 周东, 等. 高纯硅砂的制备及应用研究进展 [J]. 中国建材科技, 2019, 28 (4): 73-75.
- [4] 佟乐乐, 周建新, 殷亚军, 等. 原砂粒度、树脂加入量对呋喃树脂砂强度的影响 [J]. 特种铸造及有色合金, 2020, 40 (2): 139-142.
- [5] 朱苗林. 玻璃窑炉池壁熔铸AZS材料的质量分析 [C]// 2014国际先进玻璃熔制技术研讨会论文集. 2014: 240-243.
- [6] 宁本荣. 熔铸锆刚玉砖生产中的树脂砂造型工艺的探讨 [J]. 玻璃, 2014, 41 (12): 30-31.
- [7] 毛利民, 龙希成, 冯中起, 等. 熔铸耐火材料的新型砂型铸造工艺研究 [J]. 耐火材料, 2017, 51 (1): 41-43.
- [8] EDOZIUNO F O, AKALUZIA R O, ODONI B U, et al. Effect of base sand particle size on the properties of synthetic moulding sand [J]. International Journal of Research in Engineering and Innovation, 2017, 1 (3): 225-229.
- [9] 刘卫东, 曹文. 型砂级配树脂砂抗拉强度的影响 [J]. 铸造, 2012, 61 (4): 422-424.
- [10] 李传斌. 造型材料新论 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1992: 54-60.
- [11] 李传斌. 原砂性对自硬树脂砂性能的影响 [J]. 现代铸铁, 2012, 32 (5): 63-68.
- [12] 朱智, 李宇彦, 段双. 铸造用硅砂角形因数问题的探讨 [J]. 铸造, 2015, 64 (5): 434-436.
- [13] MARINEK M, ZUPAN K. Influence of the granulation and grain shape of quartz sands on the quality of foundry cores [J]. Material in Technology, 2011, 45 (5): 451-455.
- [14] 钟飞升, 张雅丹, 常成, 等. 整形硅砂在树脂砂中的应用 [J]. 铸造, 2021, 70 (4): 465-468.
- [15] BEŇO J, MIKŠOVKÝ F, JELÍNEK P, et al. Alternative evaluation of the properties of the silica sands [J]. Archives of Metallurgy & Materials, 2014, 59 (2): 735-738.
- [16] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 铸造用硅砂: GB/T 9442-2010 [S]. 2010.
- [17] 杨建, 周骛, 陈本珽, 等. 图像法水泥颗粒细度及圆形度在线测量研究 [J]. 上海理工大学学报, 2019, 41 (1): 7-13.
- [18] 刘秉清, 项伟, BUDHU M, 等. 砂土颗粒形状量化及其对力学指标的影响分析 [J]. 岩土力学, 2011 (增1): 190-197.
- [19] 汪灵, 汤建, 张科, 等. 沐川黄丹硅砂岩特点及其铸造型砂应用 [J]. 成都理工大学学报 (自然科学版), 2014, 41 (3): 393-400.
- [20] 张江, 王文中. 铸造生产中硅砂的选用 [J]. 现代铸铁, 2014, 34 (1): 1003-8345.
- [21] 石斌, 刘岫峰, 张佩聪, 等. 高纯硅砂粒度分析与粒度评价体系研究 [J]. 矿物岩石, 2013, 33 (1): 16-21.
- [22] TANG H, SHI Y, YUAN W. Influence of powder characteristics on the sintering behaviour of reactive alumina powders [J]. Processing and Application of Ceramics, 2022, 16 (1): 1-6.
- [23] AN C, ZHU R, WANG X, et al. The correlation analysis of RCPS impeller geometrical parameters and optimization in coast-down process [J]. Annals of Nuclear Energy, 2020, 142 (7): 107283.1-107283.8.
- [24] 周利军, 马文. 温度、湿度、固化剂酸度对呋喃树脂砂强度的影响 [J]. 铸造, 2019, 68 (1): 49-52.

Influence of Characteristics of Silica Sand on Strength of Sand Mold for Fused Cast AZS Bricks

GUO Zi-hua¹, YU Guang², LI Hua-chun³, YUAN Wen-jie^{1,4}

(1. The State Key Laboratory of Refractories and Metallurgy, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081, Hubei, China; 2. Beijing SEPR Refractories Co., Ltd., Beijing 102202, China; 3. Saint-Gobain Research (Shanghai) Co., Ltd., Shanghai 200245, China; 4. National-Provincial Joint Engineering Research Center of High Temperature Materials and Lining Technology, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081, Hubei, China)

Abstract:

To analyze the influence of characteristics of silica sand on strength of sand mold, the acid demand value, clay content, circularity and size distribution of five different types of silica sands were evaluated. The correlation degrees between the characteristics and the flexural strength of the sand molds after 24 h were analyzed. The results showed that the acid demand values of the silica sand less than 6 mL had a low correlation with the strength of the mold. For 40[#]-70[#] silica sand, the clay contents had a great influence on the strength of the mold when the concentration of particle size was more than 95%. If the concentration was approximately below 80%, the strength less depended the clay contents. The circularity of the silica sand and bulk density of the mold had a closer correlation with the flexural strength of the mold. The 40[#]-70[#] silica sand was subdivide by the logarithmic transformation method. The standard deviation of Φ value of the particle size presented the greatest correlation with the flexural strength of the sand mold.

Key words:

characteristics of raw materials; strength of sand mold; correlation analysis