

自硬—微波加热复合硬化硅酸盐 粘结剂砂性能研究

王才加尚¹, 殷亚军¹, 章顺亮¹, 彭昕¹, 万鹏², 计效园¹, 李远才¹, 周建新¹

(1. 华中科技大学材料成形与模具技术全国重点实验室, 湖北武汉 430074;

2. 武汉工程大学机电工程学院, 湖北武汉 430205)

摘要: 针对自硬硅酸盐粘结剂砂用于铸铁件时存在硬化速度慢、对环境湿度敏感、砂型(芯)强度低、溃散性差四个问题, 本文选择一种新型硅酸盐粘结剂, 以陶瓷砂为原砂, 在采用固化剂自硬的基础上, 还通过微波加热以及添加粉末促硬剂, 进行了复合硬化工艺的研究。首先, 研究了微波加热工艺参数对型砂试样性能的影响, 确定了优化微波加热工艺: 加热功率为900 W、加热时间为180 s; 而后, 选用了三种粉末促硬剂进行优化, 得到的最佳粉末添加剂优化方案为粘结剂2.2%、微硅粉0.2%、氧化铝0.2%、石英粉0.06%。结果表明, 该组优化方案相比较不加入粉末添加剂, 使砂型(芯)1 h强度提高至1.86 MPa, 24 h强度提高至2.17 MPa, 98%RH吸湿强度提高至1.45 MPa, 800 °C残留强度降低至0.75 MPa, 其常温强度值和残留强度值分别达到和接近自硬树脂砂的水平。

关键词: 硅酸盐粘结剂; 球形陶瓷砂; 粉末改性剂; 微波加热; 常温强度; 高温残留强度

作者简介:

王才加尚(1999-), 男, 硕士, 从事铸造造型材料及绿色化研究。E-mail: wang_cjs@163.com

通讯作者:

殷亚军, 男, 副教授。E-mail: yinyajun436@hust.edu.cn

中图分类号: TG166.7

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2024)

05-0660-08

基金项目:

国家重点研发计划项目(2020YFB1710100)。

收稿日期:

2023-09-18 收到初稿,

2024-03-09 收到修订稿。

在现代铸造生产中, 有机树脂粘结剂砂在铸造生产过程中产生VOCs及其他有害气体, 危害操作者健康、污染大气环境^[1], 因此采用新型硅酸盐无机粘结剂砂工艺部分取代树脂砂工艺, 以实现绿色化、清洁化生产的工作受到研究者的广泛关注^[2]。实际生产中的硅酸盐无机粘结剂砂以“无机粘结剂温芯盒”为主, 使用该工艺制芯, 制造铝合金铸件, 获得良好效果^[3]。

而自硬硅酸盐粘结剂砂工艺相比于温芯盒加热硬化工艺, 具有造型和制芯生产灵活、设备简单、模具可使用木模的特点, 适用于单件、小批量、多品种铸件的生产。但自硬硅酸盐粘结剂砂用于铸铁件生产, 仍存在着硬化速度慢、型芯砂强度较低、对环境湿度敏感、溃散性差和旧砂回用率低等问题^[4], 制约了无机粘结剂砂进一步发展应用。

近年来, 新型粘结剂材料的不断涌现以及复合硬化工艺的发展给无机粘结剂砂的发展带来了曙光^[5-6]。微波加热相比金属模具加热方法具有加热速度快, 加热均匀, 高效节能等优点, 生成质量更高, 粘结膜更薄的颗粒间粘结桥^[7], 但仅采用微波加热硬化工艺存在着设备要求高, 试样后期吸湿性强等缺点^[8], 将微波加热硬化工艺与自硬工艺相结合能有效避免以上缺点^[9]。此外国内外众多研究表明, 在加热条件下, 不同粉末改性剂的加入对复合硬化砂试样的常温性能和高温残留强度都有较大的影响^[10-13], 有望进一步提高试样的常温强度并改善其溃散性。

为此, 本文选用一种自硬硅酸盐粘结剂, 采用固化剂自硬+微波加热复合硬化方式, 先后从微波加热工艺参数、粉末添加剂加入配比开展研究, 研究两者对微波加热复合硬化砂试样性能影响, 期望提高常温强度及溃散性, 为进一步扩宽硅酸盐粘结剂砂的应用打下基础。

1 试验方法

1.1 试验材料及仪器设备

试验用原材料主要包括铸造用原砂、粘结材料以粉末改性剂。

本试验采用的原砂为球形陶瓷砂550[#]，其理化指标如表1。

粘结剂和固化剂为国内某公司生产，粘结剂及固化剂理化指标见表2。

本研究选用数种粉末改性剂，包括1种商品促硬剂、3种含活性二氧化硅的粉状添加剂以及用于改善试样溃散性的5种微米级高熔点粉末颗粒，其信息见表3。

表1 陶瓷砂物理化学指标
Table 1 Physical and chemical indexes of ceramic sand

SiO ₂ /%	Al ₂ O ₃ /%	角形系数/%	热导率/(W·m ⁻¹ ·K ⁻¹)	含水量/%	热膨胀率/%	耐火度/℃	热膨胀系数/℃
15~22	65~82	≤1.1	0.5~0.6	<0.1	0.50~0.65	≥1 800	6 × 10 ⁻⁶

表2 粘结组分理化指标
Table 2 Physical and chemical indexes of adhesive components

材料型号	外观	密度/(g·cm ⁻³)	粘度/(mPa·s)	应用范围
粘结剂	透明或半透明溶液	1.48~1.54	100~200	大中型铸钢、
固化剂	无色透明液体	1.15~1.30	100~150	铸铁件

表3 试验用粉末改性剂信息
Table 3 Information on experimental powder modifiers

项目	商品促硬剂	微硅粉	煤灰粉	氧化铝	氧化锌	氧化钛	氧化锆	氮化硅	石英粉
化学式	—	SiO ₂	—	Al ₂ O ₃	ZnO	TiO ₂	ZrO ₂	Si ₃ N ₄	SiO ₂
纯度	—	≥95%	—	≥99.0%	≥99.7%	≥99.7%	≥99.7%	≥99.0%	≥99.0%

仪器：对开式“8”字形木模、SHY型树脂砂混砂机、伺服式拉压力试验机、Sirion 200场发射扫描电子显微镜、箱式电炉、玻璃皿（恒湿）等。

1.2 试验方法与流程

本试验所有强度测试均采用标准“8”字抗拉试样。型（芯）砂试样制备流程如图1。

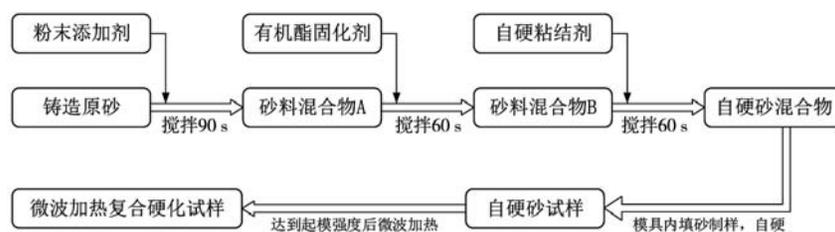


图1 型（芯）砂试样制备流程
Fig. 1 Sand specimen preparation process

试验中，主要测试以下几个性能指标。即时强度为经过微波加热复合硬化工艺加热冷却至室温后的测量值；固化速度采用试样的1 h强度表示，即加入粘结剂后1 h的试样强度，1 h强度越高，固化速度越快；常温强度采用24 h强度表示；溃散性测量方法为将空气中放置24 h后的试样放入800℃电阻炉中保温30 min，然后将试样取出空冷至室温后进行残留强度测量；吸湿性指标为试样放置在湿度为98%RH玻璃皿中6 h后测试的抗拉强度。为减少试验误差，每项数据测试多个试

样，去掉最高和最低值后，取平均值。

2 微波加热工艺对硅酸盐粘结剂砂性能的影响

本项研究中，粘结剂加入量2.0%，固化剂占粘结剂质量20%，促硬剂加入量0.4%。制样条件为：室温（18±3）℃，室内湿度（45±5）%RH。

2.1 微波加热时间的影响

为研究微波加热时间对复合硬化砂样性能的影响(图2),将微波功率定为900 W,微波加热时间为60~300 s。

如图2a所示,随着微波加热时间地不断增加,型砂试样的1 h即时强度呈先上升后下降的趋势,在微波加热时间为180 s时达到最大值,为2.81 MPa。在初始加热阶段,未与有机酯反应的硅酸钠溶液在微波作用下自身发生聚合反应脱水,同时活性二氧化硅也在微波高温作用下通过表面的自由羟基与硅酸钠分子聚合形成Si-O-Si键,形成数量更多、密度更大、强度

更高、粘结层更薄的粘结桥,型砂试样的强度不断升高。随着微波加热时间的继续增加,已完全硬化的硅酸盐凝胶会出现脱水状态,并在粘结桥中产生开裂现象,使得微波加热后型砂试样的整体强度下降。

从图2b中可知,除了在微波加热时间为240 s时的一组试样800 °C残留强度为0.56 MPa略低,其他加热时间下的试样800 °C残留强度均在0.80 MPa左右。可知微波加热时间对复合硬化型砂试样的800 °C残留强度影响不大,主要是因为加热时间影响粘结桥间硅酸钠凝胶的脱水情况,对高温下硅酸钠凝胶的重熔与结晶过程影响不大。

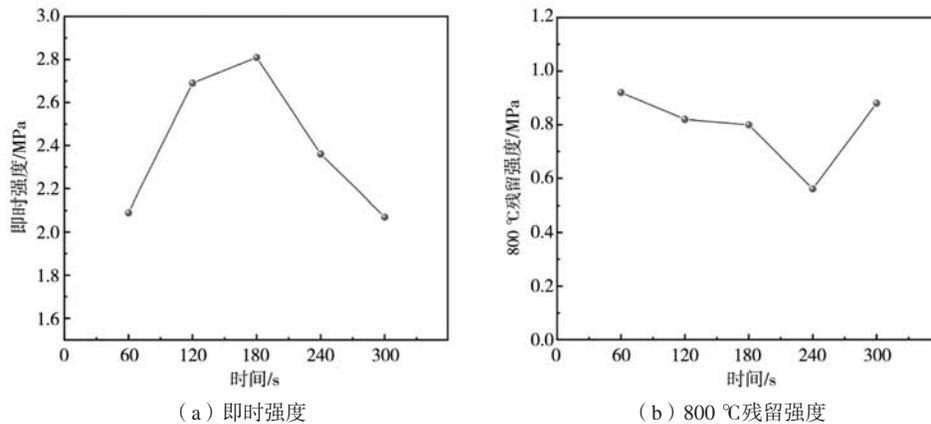


图2 微波加热时间对试样强度影响

Fig. 2 Effect of microwave heating time on sample strength

2.2 微波加热功率的影响

为研究微波加热功率对复合硬化砂样性能的影响(图3),将测试微波加热时间定为180 s,微波功率为550~900 W。

如图3a所示,随着微波加热功率的提高,试样的1 h即时强度持续上升,且上升的速率在增大,可见微波加热功率对型砂试样的即时抗拉强度影响明显。分析可知,在有粉状促硬剂存在的粘结体系中,微波加

热功率和温度对活性二氧化硅通过表面自由羟基与硅酸钠分子聚合反应程度影响明显^[14]。更高的微波加热功率可以细化硅酸钠凝胶胶束,为其表面提供更多的可反应的自由羟基,并与高表面活性的二氧化硅相连接,形成致密的凝胶网络,提高试样的整体强度^[15]。

从图3b可知,复合硬化陶瓷砂试样800 °C残留强度在低微波加热功率下处于较高水平,在1.6~2.0 MPa,但当微波加热功率提高至900 W时,试样800 °C残留强

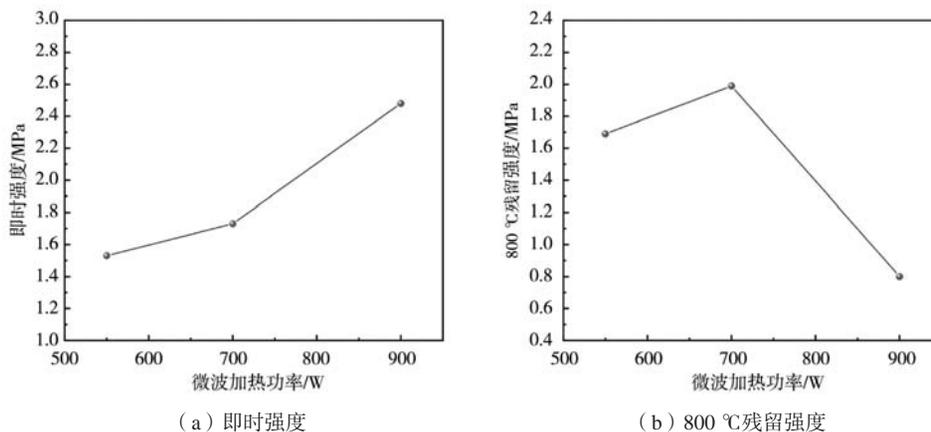


图3 微波加热功率对试样强度影响

Fig. 3 Effect of microwave heating power on specimen strength

度降低至0.80 MPa。在高微波加热功率下细化的硅酸钠凝胶胶束，形成的粘结桥膜更薄，高温熔融冷却后的硅酸钠玻璃体具有更大的内聚力以及更容易被割裂变形，型砂试样的残留强度下降。

由此可见，微波加热功率对复合硬化砂的常温强度和高温残留强度都有较大影响，提高微波加热功率可以获得更高的常温强度和较低的高温残留强度。最终确定最佳微波加热工艺条件为：微波加热功率为900 W，微波加热时间为180 s。

2.3 微波加热工艺的影响

自硬-微波复合硬化工艺方案为：粘结剂加入量2.0%，固化剂加入量占粘结剂质量20%，微波加热功率900 W，加热时间180 s。

如表4所示，未加入粉末改性剂的微波加热复合硬化砂试样1 h强度达到0.95 MPa，而24 h强度与98%RH强度略有下降。与自硬砂试样相比，复合硬化砂试样800 °C残留强度升高至2.61 MPa，700 °C残留强度升高至2.01 MPa。

表4 未加入粉末改性剂试样的性能

Table 4 Properties of samples without powder modifier

MPa

工艺方案	1 h强度	24 h强度	98% RH强度	600 °C残留强度	700 °C残留强度	800 °C残留强度
固化剂自硬	0.58	0.76	0.66	0.29	0.88	2.08
微波复合硬化	0.95	0.74	0.59	0.18	2.01	2.61

3 粉末改性剂对微波加热复合硬化砂性能的影响

3.1 粉末改性剂的影响

表5为不同种类粉末改性剂加入下微波加热复合硬化砂试样的即时强度与800 °C残留强度的影响，各种粉末改性剂加入量均为0.2%。可知，在加入粉末改性剂的条件下，复合硬化砂试样的即时强度有所提升，溃散性明显改善。其中促硬剂、微硅粉对微波加热复合硬化砂试样的常温强度提升最明显。其次是4种金属氧化物粉末对试样的常温强度都有增强作用，效果由高

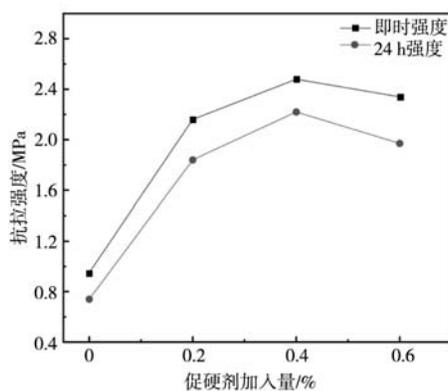
到低分别为氧化锆、氧化钛、氧化锌、氧化铝，氧化锆粉末加入量为0.2%时，试样的即时强度为1.55 MPa。金属氧化物颗粒在加热条件下具有较高的表面活性，可以促进硅酸盐凝胶胶粒的聚集以及生成新的Si-O-M-O-Si键之间的连接，提高试样的常温强度。煤灰粉、石英粉对试样的常温强度也有一定的增强作用，而氮化硅粉末对试样常温强度提升不明显。

几种粉末改性剂中促硬剂对微波加热复合硬化砂试样强度提升最明显，但其溃散性也最差，为此开展促硬剂加入量对微波复合硬化砂试样强度影响，测试结果如图4，图4a中试样的1 h强度和24 h强度随促硬剂

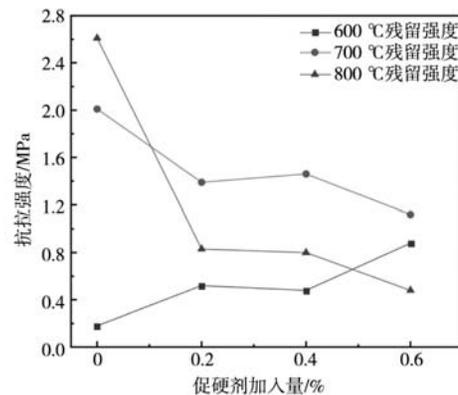
表5 不同种类粉末改性剂对试样强度的影响

Table 5 Influence of different powder modifiers on sample strength

性能	促硬剂	微硅粉	煤灰粉	氧化锆	氧化锌	氧化钛	氧化铝	石英粉	氮化硅
即时强度/MPa	2.16	1.73	1.32	1.55	1.27	1.17	1.14	1.18	0.77
800 °C残留强度/MPa	0.83	0.59	0.54	0.31	0.27	0.61	0.35	0.51	0.41



(a) 常温强度



(b) 600~800 °C残留强度

图4 促硬剂加入量对试样强度影响

Fig. 4 Influence of the amount of hardening agent added on the strength of sample

的加入呈升高趋势。加入量为0.2%的试样对比未添加试样常温强度提升显著,其1 h强度由0.95 MPa提高至2.16 MPa,24 h强度由0.74 MPa提高至1.84 MPa。促硬剂中大量的无定型二氧化硅颗粒在高温作用下具有很高的表面活性,促进硅酸盐胶粒的连接和聚合。当粉末加入量为0.4%时,试样的常温强度达到最大值,继续提高粉末加入量,常温强度有所下降。

从图4b可以看出,在微波加热复合硬化工艺中,促硬剂的加入可以显著降低试样700~800 °C残留强度,试样800 °C残留强度峰值前移至700 °C左右。随着促硬剂加入量升高,试样600 °C残留强度有所上升,700 °C、800 °C残留强度呈下降趋势。

图5是促硬剂加入量为0.4%时,微波复合硬化砂试样100~1 000 °C的温度-残留强度曲线,试样24 h强度为2.22 MPa,微波加热复合硬化砂试样在600 °C左右达到最小峰值为0.48 MPa。高温残留强度峰值由800 °C提前到700 °C左右,不同于自硬砂在900 °C以后至1 000 °C试样残留强度继续上升,微波加热复合硬化砂在800 °C以后残留强度呈持续下降趋势,并在1 000 °C降低至0.26 MPa。

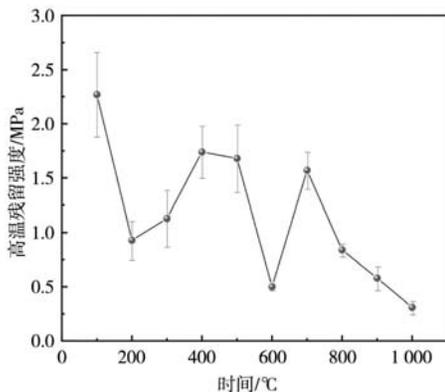


图5 试样温度-残留强度曲线

Fig. 5 Sample temperature-residual strength curve

在微波加热复合硬化工艺下,促硬剂等粉末改性剂的加入显著提高了试样的常温强度以及降低了残留强度。在加入促硬剂的条件下,微波加热过程中陶瓷砂砂粒间生成了致密度更高,粘结膜更薄的粘结桥,并反映在其优越的强度性能上。

3.2 正交试验设计

为了获得最优的粉末改性剂配方,以提升微波加热复合硬化砂的综合使用性能,并从原材料来源的广泛性与成本考虑,选用了微硅粉、氧化铝、石英粉等3种改性剂结合粘结剂加入量进行正交试验设计。试验采用四因素三水平的正交试验,正交试验表如表6所示。

表6 正交试验表
Table 6 Orthogonal experiment table

试验 编号	因素			
	粘结剂 (A)/%	微硅粉 (B)/%	氧化铝 (C)/%	石英粉 (D)/%
1	A ₁ (2.0)	B ₁ (0.2)	C ₁ (0.1)	D ₁ (0.06)
2	A ₁	B ₂ (0.3)	C ₂ (0.2)	D ₂ (0.08)
3	A ₁	B ₃ (0.4)	C ₃ (0.3)	D ₃ (0.1)
4	A ₂ (2.2)	B ₁	C ₂	D ₃
5	A ₂	B ₂	C ₃	D ₁
6	A ₂	B ₃	C ₁	D ₂
7	A ₃ (2.4)	B ₁	C ₃	D ₂
8	A ₃	B ₂	C ₁	D ₃
9	A ₃	B ₃	C ₂	D ₁

粘结剂加入量为2.0%~2.4%,固化剂加入量占粘结剂比重的20%。对每组试样测试其1 h强度、24 h强度、98% RH吸湿强度、800 °C残留强度,分析相应结果并确定每组试验的优化结果。

3.3 正交试验结果与极差分析

各组试验的强度性能测试结果如表7所示。试验环境温度(25±3) °C,室内湿度80%±2% RH。由于环境湿度较高,部分试样24 h强度与1 h强度差距较大。

表7 正交试验结果
Table 7 Orthogonal test results

试验 编号	1 h强度 /MPa	24 h强度 /MPa	98% RH强度/ MPa	800 °C残留强 度/MPa
1	2.06	2.05	1.4	0.61
2	1.63	1.54	1.34	0.74
3	1.93	1.38	1.1	0.73
4	1.62	1.6	1.61	0.87
5	1.74	2.03	1.29	0.65
6	2.02	1.48	0.94	0.86
7	1.66	0.94	0.9	0.99
8	1.95	1.2	0.84	0.77

通过表7的试验结果进行数据处理,计算出粘结剂、微硅粉、氧化铝、石英粉四个因素在三个水平上的指标平均值 k_1 、 k_2 、 k_3 和极差 R_A 、 R_B 、 R_C 、 R_D ,其极差分析结果如图6。

结果表明,粘结剂加入量为2.0%时,试样的常温强度较高,同时也有较好的溃散性。当微硅粉加入量为0.3%时,试样在较高环境湿度下放置24 h的抗拉强度最高,1 h强度为1.77 MPa左右。当氧化铝含量为陶瓷砂的0.1%时,石英粉末含量为陶瓷砂的0.06%时,试样的常温强度较高,800 °C残留强度也较低。根据正交试

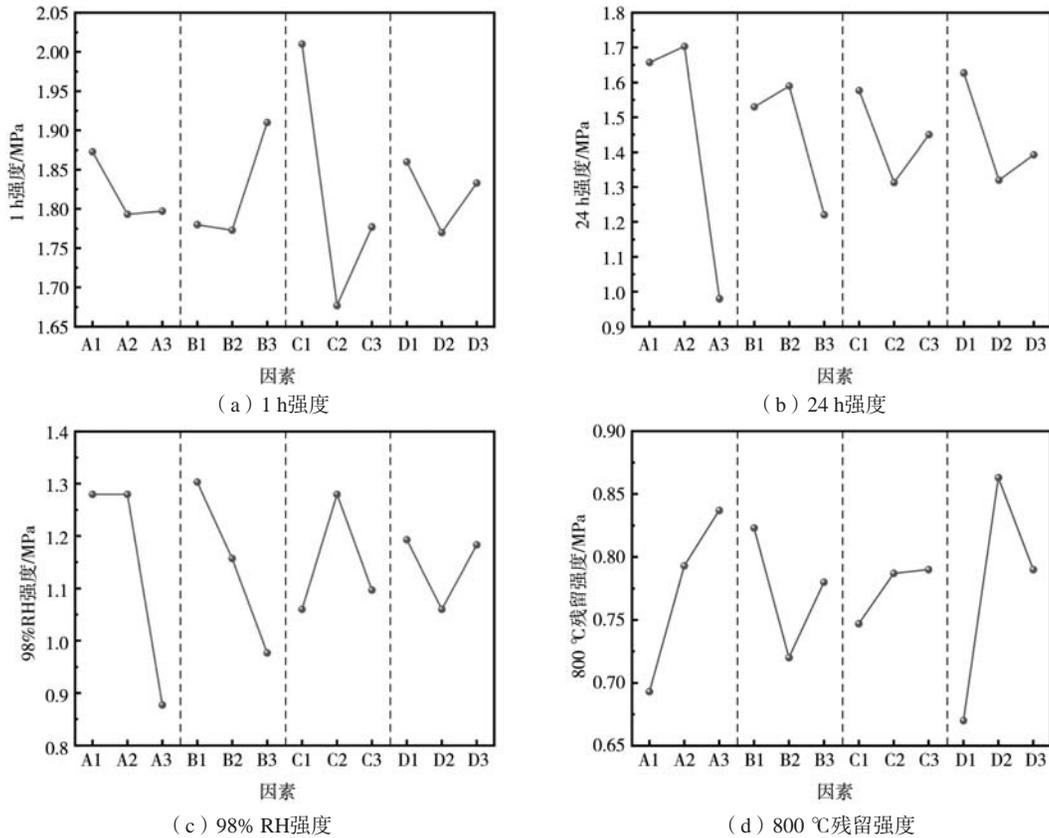


图6 正交试验极差分析图

Fig. 6 Range analysis of orthogonal test

验结果确定的1 h强度、24 h强度、98% RH强度、800 °C 残留强度最优因素水平分别为A₁B₃C₁D₁、A₂B₂C₁D₁、A₂B₁C₂D₁、A₁B₂C₁D₁。

3.4 正交试验结果验证

按照各项性能指标的优化方案进行验证试验。试验环境温度(22 ± 2) °C, 室内湿度60% ± 5% RH。

表8为优化方案结果对比, 优化组A₂B₂C₁D₁的常温强度和吸湿强度最高, 均超过了2 MPa, 但其800 °C残留强度也在各优化组中最高。优化组A₁B₂C₁D₁的800 °C残留强度在各组中最低, 但其24 h强度为1.89 MPa, 98% RH吸湿强度为1.27 MPa, 相对于优化组A₂B₂C₁D₁较低。

表8 优化方案结果对比

Table 8 Comparison of optimization scheme results

优化方案	1 h强度 /MPa	24 h强度 /MPa	98% RH强度/MPa	800 °C残留强度/MPa
A ₁ B ₃ C ₁ D ₁	1.74	1.89	1.27	0.52
A ₂ B ₂ C ₁ D ₁	2.17	2.47	2.42	0.90
A ₂ B ₁ C ₂ D ₁	1.86	2.17	1.45	0.75
A ₁ B ₂ C ₁ D ₁	1.36	1.41	0.80	0.64

综合考虑复合硬化砂试样的各项强度性能, 选取方案A₂B₁C₂D₁作为最佳优化方案, 即粘结剂加入量2.2%, 微硅粉0.2%, 氧化铝0.2%, 石英粉0.06%, 试样24 h常温强度超过2 MPa, 达到2.17 MPa, 同时具有较好的抗吸湿性和较低的残留强度。如表9所示, 与未加入粉末改性剂的微波加热复合硬化工艺相比, 试样的各项性能均得到了有效提升。

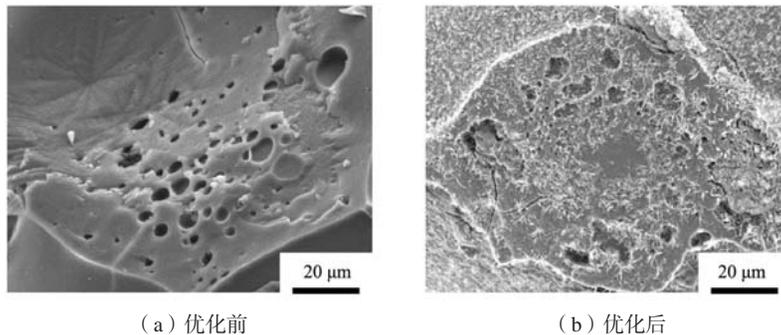
表9 优化方案与原方案对比

Table 9 The optimization scheme is compared with the original scheme

工艺方案	1 h强度 /MPa	24 h强度 /MPa	98% RH强度/MPa	800 °C残留强度/MPa
不加入粉末添加剂	0.95	0.74	0.59	2.61
优化方案	1.86	2.17	1.45	0.75

3.5 优化方案 SEM 分析

图7为优化前后常温强度试样断口形貌, 优化前试样在自硬、不加入粉末改性剂条件下制样。优化前的试样断口出现大量孔洞, 而优化后试样断口孔隙少, 更加致密。粉末改性剂的粒径较小, 可以填充在粘结桥孔隙间。此外, 促硬剂中的活性二氧化硅能够促进



(a) 优化前

(b) 优化后

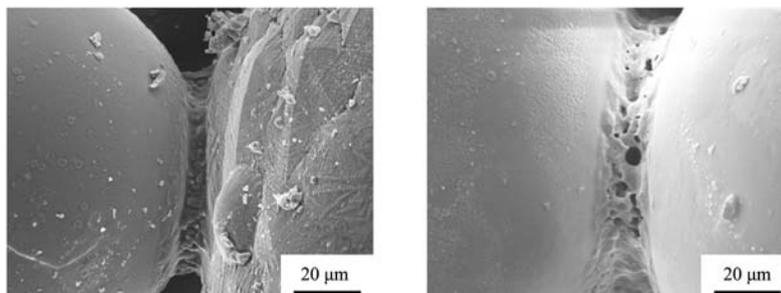
图7 常温强度试样断口形貌

Fig. 7 Fracture morphology of samples with normal temperature strength

水玻璃凝胶的聚合和连接过程。而微波加热促进对水玻璃分子与活性二氧化硅表面的吸附和反应，同时微波加热会细化硅酸盐凝胶胶束，促进活性二氧化硅颗粒与硅酸钠分子之间的聚合，生成的粘结桥网络更致密，有效提高试样常温强度。

图8为优化前后800 °C试样的粘结桥形貌，可明显

看出相比较优化前试样，优化后试样的粘结桥在加热和冷却后有一些大的孔洞和空隙。这是由于加入粉末改性剂后，试样粘结桥断面呈现疏松多孔的结构，加入的高熔点粉末颗粒与硅酸盐体系线膨胀系数差异较大，冷却过程中进一步破坏了熔融玻璃体的结构，断面的有效截面积较小，试样残留强度下降明显。



(a) 优化前

(b) 优化后

图8 800 °C试样粘结桥形貌

Fig. 8 Morphology of bond bridge in samples at 800 °C

4 结论

(1) 微波加热时间过长易导致硅酸盐凝胶脱水，更高的微波加热功率可以细化硅酸钠凝胶胶束，提升常温性能，但形成的凝胶胶束较细，易在高温加热后割裂变形。优化后的微波加热工艺为微波加热时间180 s、微波加热功率900 W。

(2) 各种粉末添加剂的加入均能显著提高试样的性能，随着促硬剂加入量的提高，试样常温性能先

上升后降低，同时可以促使残留强度峰值前移，降低800 °C残留强度。

(3) 优化后的复合粉末添加剂配方为：微硅粉0.3%，氧化铝0.1%，石英粉末0.06%。试样的1 h强度1.86 MPa，24 h强度2.17 MPa，98%RH吸湿强度1.45 MPa，800 °C残留强度0.75 MPa。扫描电镜（SEM）分析表明，复合硬化型砂常温强度试样的断口粘结桥更加致密，残留强度试样粘结桥出现孔洞。

参考文献：

- [1] 李远才. 铸造手册：造型材料 [M]. 4版. 北京：机械工业出版社，2020.
- [2] ZARETSKIY L. Modified silicate binders new developments and applications [J]. International Journal of Metalcasting, 2016, 10 (1) : 88-99.
- [3] ZARETSKIY L. Microsilica in sodium silicate bonded sands [J]. International Journal of Metalcasting, 2019, 13 (1) : 58-73.

- [4] 肖惠康, 殷亚军, 文艺贝, 等. 新型无机粘结剂砂抗拉强度的试验研究 [J]. 铸造, 2022, 71 (8): 1012–1016.
- [5] MVLLER J, DETERS H, OBERLEITER M, 等. 无机粘结剂体系领域的进步 [J]. 铸造, 2016, 65 (5): 431–435.
- [6] 龚小龙, 樊自田. 绿色铸造材料研究及应用新进展 [J]. 金属加工 (热加工), 2020 (10): 15–18.
- [7] GRANAT K, NOWAK D, PIGIEL M, et al. Determination of application possibilities of microwave heating in the curing process of water glass molding sands with fluid esters. Part 1 [J]. Archives of Foundry Engineering, 2009, 9 (1): 45–50.
- [8] 王继娜, 徐开东, 樊自田. 典型硬化工艺水玻璃砂型吸湿机理研究 [J]. 热加工工艺, 2012, 41 (13): 45–48.
- [9] 李雪洁, 樊自田, 汪华方. 有机酯-微波复合硬化水玻璃砂强度及抗吸湿性研究 [J]. 铸造, 2012, 61 (2): 147–151.
- [10] JELINEK P, POLZIN H, SKUTA R. Utilization of physical dehydration for hardening of cores Bonded with colloidal solutions of alkaline silicates [J]. Acta Metallurgica Slovaca, 2004, 10 (1): 10–23.
- [11] 李艳芬. 水玻璃砂微波硬化特性及溃散性的研究 [D]. 呼和浩特: 内蒙古工业大学, 2005.
- [12] 孙洁. 微波硬化水玻璃砂型抗吸湿性研究 [D]. 武汉: 武汉纺织大学, 2020.
- [13] LUCAS S, TOGNONVI M T, GELET J L, et al. Interactions between silica sand and sodium silicate solution during consolidation process [J]. Journal of Non-Crystalline Solids, 2011, 357 (4): 1310–1318.
- [14] SONG L, LIU W H, XIN W H, et al. “Materials Studio” simulation study of the adsorption and polymerization mechanism of sodium silicate on active silica surface at different temperatures [J]. International Journal of Metalcasting, 2021, 15 (3): 1091–1098.
- [15] 管小磊, 樊自田, 王继娜, 等. 微波硬化水玻璃砂的性能 [J]. 铸造, 2008 (4): 384–387.

Study on Performance of Silicate Binder Sand by Self-Hardening and Microwave-Heating

WANG Cai-jia-shang¹, YIN Ya-jun¹, ZHANG Shun-liang¹, PENG Xing¹, WAN Peng², JI Xiao-yuan¹, LI Yuan-cai¹, ZHOU Jian-xin¹

(1. State Key Laboratory of Materials Processing and Die & Mould Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, Hubei, China; 2. School of Mechanical and Electrical Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430205, Hubei, China)

Abstract:

There are four problems in the application of traditional water glass to cast iron, such as slow hardening speed, sensitive to ambient humidity, low strength of sand mold (core) and poor collapsibility. Therefore, a different silicate binder was selected to study the effect of composite hardening process on the performance of specimens using ceramic sand as raw sand. First of all, the effect of microwave heating power and time on the properties of molding sand samples were studied. The microwave heating power and time has been determined on 900 W and 180 s, respectively. Then three powder additives were selected, the optimal composition is as follows: binder 2.2%, micro-silica powder 0.2%, alumina 0.2%, quartz powder 0.06%. The results showed that compared with the sand core without powder additives, the strength of 1 h sand increased to 1.86 MPa, the hygrometric strength of 98% RH increased to 1.45 MPa, the strength of 24 h increased to 2.17 MPa, and the residual strength of 800 °C decreased to 0.75 MPa. The strength and residual strength of the sand at room temperature reached and approached the level of self-hardening resin sand respectively.

Key words:

silicate binder; spherical ceramic sand; powder additive; microwave heating; normal temperature strength; high temperature residual strength