

喷涂表面强化剂对水玻璃砂表面安定性的影响

夏祥麟, 杨 阳, 顾云会, 朱世根

(东华大学机械工程学院, 纺织装备教育部工程研究中心, 上海 201620)

摘要: 铸造用水玻璃砂为保证强度而需要在砂中加入较多的水玻璃, 从而导致其溃散性差、表面严重粘砂以及旧砂回用困难等缺点。目前有研究通过向水玻璃砂中添加各种附加物在保证砂型强度的同时减少水玻璃的加入量。然而随着水玻璃砂中水玻璃加入量的减少, 砂型表面安定性下降, 砂型表面形状和完整性易被破坏。为提高砂型表面安定性, 拟通过表面喷涂RSI表面强化剂的方式, 于水玻璃砂样表面构筑一层强化层, 以改善水玻璃砂样表面安定性。经研究发现, 此强化层可将加入1.5%水玻璃的砂样的表面安定性从原有的61%提高至98%。分析认为: 此强化层既能极大地提升试样表面的强度, 又能通过填补砂粒间孔隙、改善试样的吸湿性。

关键词: 表面安定性; 喷涂; 水玻璃砂

水玻璃是一种无机硅酸盐粘结剂, 其作为铸造用粘结剂的历史已有70余年。水玻璃砂工艺混砂后流动性好易紧实, 粉尘较少无黑色污染, 浇注后发气量较少, 无有毒气体排放^[1]。水玻璃砂被认为是21世纪最有可能实现绿色铸造的型砂。

目前, 水玻璃砂被大量应用于铸钢件的生产中。随着技术的发展, 为解决溃散性差、表面严重粘砂以及旧砂回用困难等问题, 水玻璃砂中水玻璃的加入量不断减少^[2]。但随之带来的新问题便是, 砂型表面安定性变差、表面掉砂严重、砂型表面易被破坏、抗冲刷力差等。

本研究拟通过向砂型表面喷涂RSI表面强化剂, 于砂型表面构筑一层表面强化层, 以提高砂型表面安定性。

1 材料和方法

1.1 试验材料与仪器

试验用材料: 原砂(内蒙古通辽市大林标准砂50/100目); 普通钠水玻璃(模数2.3, 密度1.51 g/cm³)。

试验用设备: SHY-A叶片式混砂机; SAC锤击式制样机; 电热式CO₂减压器(YQT-731LR); KMS12L空压机, 盛田W71-1.3S喷枪, 自制试样表面安定性测试仪, DZF-6020真空干燥箱, SFZ智能控制发气性能试验仪, VHX-970FN数码显微镜。

1.2 试验方法

本研究使用吹CO₂硬化水玻璃砂, 吹CO₂的设备如图1。原砂+水玻璃混2 min后出砂。然后吹CO₂, CO₂气体从压缩气瓶中流出, 先经过电加热式加热减压器先减压后加热, 后经过流量表, 最后通过导管吹入试样中。压缩气瓶中的CO₂气体经减压后输出压力为0.1 MPa, 又经电加热, 温度可达20 ℃。

作者简介:

夏祥麟(1997-), 男, 硕士, 主要研究方向为造型材料与铸造工艺。

通讯作者:

朱世根, 男, 博士生导师。
电话: 021-67792813,
E-mail: sgzhu@dhu.edu.cn

中图分类号: TG221

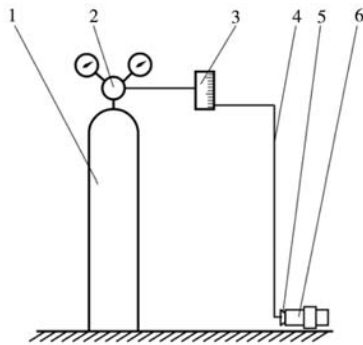
文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2023)

06-0667-06

收稿日期:

2022-11-04 收到初稿,
2023-02-27 收到修订稿。



1. CO₂钢瓶 2. 电热式减压器 3. 流量计
4. 气管 5. 胶塞 6. 试样筒

图1 吹CO₂装置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of CO₂ blowing device

喷涂工艺。喷涂前，将吹气硬化后的水玻璃砂试样从试样筒中取出，等间距置于托盘上。将一定量的表面强化剂注入喷枪罐中，喷枪口与试样保持40 cm距离，且喷枪口斜向下45°指向试样，后按下喷枪开关开始喷涂。喷涂1 s后停下，顺时针旋转托盘90°后再次喷涂，如此操作4次，接着翻转试样，喷涂1 s后停下，顺时针旋转托盘，如此循环直至罐中表面强化剂喷完。

1.3 性能测试

n 小时表面安定性 ($W_{表n}$)：试样吹完气，从试样筒中取出后，喷涂表面强化剂，放置 n 小时，取三个试样称重 M_0 ，放入转速为57 r/min的圆筒筛中转动2 min，将残留在筛网中的试样取出称重 M_1 ，并按公式计算： $W_{表n} = (M_1/M_0) \times 100\%$ 。

发气量测定：将喷涂干燥后的试样表面涂层刮下，置于研钵中磨碎，后放于DZF-6020真空干燥箱中150℃烘干30 min，拿出后取1 g装入瓷舟，再重复两次，共装三个，最后将此三个瓷舟分别放入SFZ智能控制发气性能试验仪测定发气量。计算其发气量的时候，取此三个数据的算数平均值。

2 试验方法及结果

2.1 喷涂 RSI 表面强化剂

试验条件为：水玻璃加入量占砂重的1.5%，吹气5 s，吹气流量15 L/min，向试样上喷涂的RSI表面强化剂的量分别为0、16 g、32 g、48 g、64 g，环境温度为17.5℃，相对湿度为54%。

1.5%水玻璃砂的即时抗压强度为：0.610 MPa，4 h抗压强度为：0.682 MPa，24 h抗压强度为：1.029 MPa。

RSI表面强化剂喷涂量对试样4 h表面安定性的影响如图2所示。由图2可见，当不喷涂表面强化剂时，1.5%水玻璃砂试样的表面安定性为53.63%。当

喷涂量为16 g时，4 h后砂型表面安定性提高较少，为56.00%，喷涂量为32 g时，其4 h后型砂表面安定性为57.94%，这是由于喷涂量较少且固化时间较短，无法大幅提高砂样表面安定性。当喷涂量达到48 g时，随着喷涂量的提升，砂样的表面安定性有一个显著的提高，达到76.09%。这是由于喷涂量的提升，RSI表面强化剂得以渗入表层型砂，构筑了一层强化层，较大地提高了砂样表层的强度。当喷涂量达到64 g时，喷涂量较大，表面安定性的提升相对喷涂48 g时提升量较小，为81.06%。这是因为喷涂量的增加，进一步提升了砂样表面层的强度，另一方面，由于喷涂后存放时间仅为4 h，作为基体砂样强度不高，涂层的固化程度也不高。

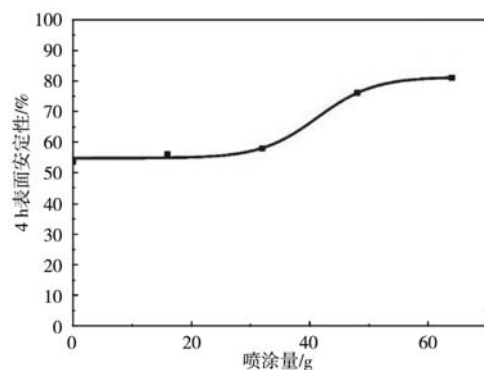


图2 1.5%水玻璃砂试样喷涂RSI表面强化剂后的4 h表面安定性
Fig. 2 4 h surface stability of 1.5% sodium silicate bonded sand sample sprayed with RSI reagent

RSI表面强化剂喷涂量对试样24 h表面安定性的影响如图3所示。从图3可知，未喷涂RSI表面强化剂时，砂样的24 h表面安定性不高，为60.55%。当喷涂量为16 g时，砂样的表面安定性提升很大，为83.55%。这是由于RSI表面强化剂经24 h放置后得以完全固化，将表层砂粒粘结在一起，构成一层强度相当高的表面强化层；同时作为基体的砂样经24 h放置后也进一步硬

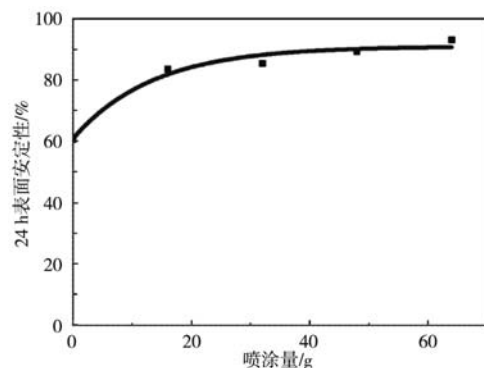


图3 1.5%水玻璃砂试样喷涂RSI表面强化剂后的24 h表面安定性
Fig. 3 24 h surface stability of 1.5% sodium silicate bonded sand sample sprayed with RSI reagent

化了。再进一步增加RSI表面强化剂的喷涂量,至32 g时,砂样的24 h表面安定性为85.41%;喷涂量为48 g时,砂样的24 h表面安定性为89.23%;喷涂量为64 g时,砂样的24 h表面安定性为93.06%。其表面安定性随着喷涂量的增加而增加。这是由于随着喷涂量的增加,RSI表面强化剂层对砂样表面的覆盖更完整更厚,且对表层砂的渗透深度进一步增加,使砂样表面强化层强度更高,厚度更大。

RSI表面强化剂喷涂量对喷涂48 h后试样表面安定性的影响如图4所示。从图4中可发现,未喷涂表面强化剂时1.5%水玻璃砂样喷涂48 h后其表面安定性极低,仅为32.96%。当喷涂量为16 g时,砂样48 h的表面安定性为90.76%。这是由于RSI表面强化剂在砂样表面构筑的强化层在存放48 h后,又进一步获得强化,使表面层强度更高了。当增加RSI表面强化剂的喷涂量至32 g时,砂样48 h的表面安定性为95.39%;喷涂量为48 g时,砂样48 h的表面安定性为97.27%;喷涂量为64 g时,砂样48 h的表面安定性为97.96%。砂样48 h的表面安定性随喷涂量的增加而增加。当喷涂量较大时,表面安定性的提高反而很小,这是由于此时砂样的表面安定性已经很高了,通过计算质量残留百分比的方式无法在砂型表面安定性已极高的情况下大幅地体现表面安定性的提高。此时RSI表面强化剂已完全覆盖砂样表面,喷涂量再增加会导致砂样表面的RSI表面强化剂的少量堆积以及RSI表面强化剂对砂样内部渗透深度的增加,所以此时对表面强度的提高较为有限。

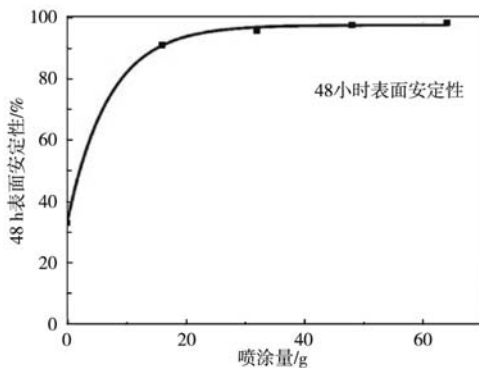


图4 1.5%水玻璃砂试样喷涂RSI表面强化剂后的48 h表面安定性
Fig. 4 48 h surface stability of 1.5% sodium silicate bonded sand samples sprayed with RSI reagent

通过对比发现,RSI表面强化层能有效改善试样存放时间对表面安定性的不利影响。首先当加入1.5%水玻璃的砂样未喷涂RSI表面强化剂时,其48 h表面安定性仅为32.96%,约为24 h表面安定性的一半,由于砂样大量吸收空气中的水分,导致强度下降严重。当砂样喷涂RSI表面强化剂后,可从表1中看出,砂样的48 h表面安定性分别为95.39%、97.27%、97.96%,甚至大

于其24 h表面安定性。当RSI表面强化剂喷涂量为32 g、48 g、64 g时,其表面安定性能维持在一段时间内不会随着时间推移而显著下降,会维持于一个相当高的强度。

喷涂RSI表面强化剂后试样表面安定性随时间的变化如表1所示。

从表1中的4 h表面安定性数据可以看出,RSI表面强化剂的固化速度很快,当存放4 h时试样的表面安定性已有显著提高,涂料表层已完成固化,并在固化后于砂样表面形成一层致密的膜,能够有效隔绝砂样从空气中吸收水分,继续存放则砂样内部的水玻璃不断脱水强化,渗入砂样表层的RSI表面强化剂也不断脱水固化、提高表面层的强度,直到彻底固化。

表1 喷涂不同量RSI表面强化剂的试样的表面安定性随时间的变化

Table 1 Surface stability of samples sprayed with different amounts of RSI reagent

喷涂量/g	4 h表面安定性/%	24 h表面安定性/%	48 h表面安定性/%	72 h表面安定性/%
0	53.63	60.55	32.96	21.31
32	57.94	85.41	95.39	90.64
48	76.09	89.23	97.27	91.35
64	81.06	93.06	97.96	95.97

2.2 涂料的发气量

表2为喷涂不同量RSI表面强化剂的试样的涂层的发气量,由表2可知,当喷涂量为32 g时,涂层的发气量较少,仅为2.8 mL/g;当喷涂量增多后,发气量显著增加,喷涂量为48 g时,其发气量为4.7 mL/g;喷涂量为64 g时,发气量为4.9 mL/g。对比喷涂量为32 g和48 g的试验结果,发气量的增加是由于砂粒的表面的间隙中被喷上以及渗入了更多的涂料。而比较喷涂量为48 g和64 g的发气量,两者发气量相近,由于发气量测试的对象为表面层刮下后的涂料层,它包括了涂料以及被涂料粘结的砂粒。喷涂量为64 g时,对比喷涂量48 g的试样,主要区别在于喷涂量更大时,涂料向试样内部的渗透深度更大,以及停留在表面未渗入砂粒间隙的涂料稍有增加。而砂型表面砂粒与涂料结合部

表2 喷涂不同量RSI表面强化剂的试样的涂层的发气量
Table 2 Gas evolution of coating of samples sprayed with different amounts of RSI surface enhancer

喷涂量/g	发气量/mL
32	2.8
48	4.7
64	4.9

分, 涂料同样充满砂粒间隙, 将涂层刮下后, 取同样 1 g, 包含的涂料量是相近的, 则发气量也是相近的。

2.3 SEM 扫描电镜分析

图5中可看到, 当砂子中只添加占砂重1.5%的水玻璃时, 砂粒间粘结桥很少且粘结桥接触面积较小, 因此能提供的粘结强度极为有限。其表现为制成的试样强度低、表面安定性差、掉砂严重。因而以1.5%水玻璃砂作为基础试样, 能较为显著地测得表面强化层对试样表面安定性的影响。

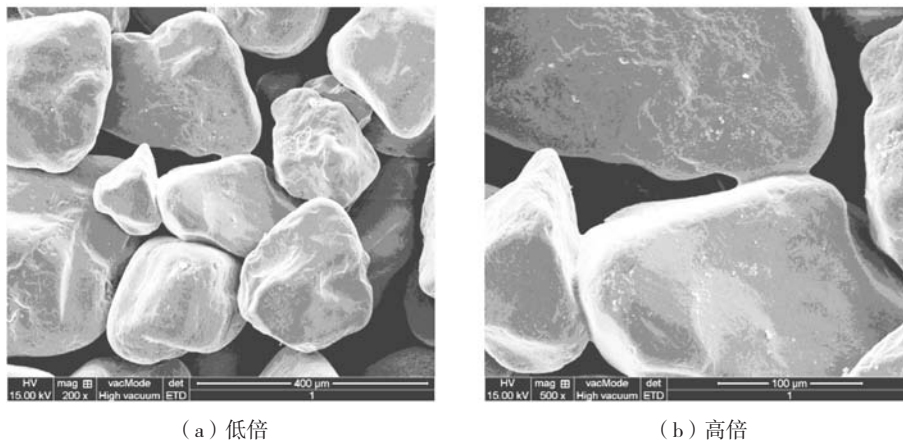
通过显微镜可测出涂料厚度为: RSI表面强化剂喷涂量为32 g时, 涂层厚度为1 508.58 μm ; 喷涂量为48 g时, 涂层厚度为1 623.59 μm ; 喷涂量为64 g时, 涂层厚度为2 414.53 μm 。

从图6到图11中可看到, 雾化喷涂的RSI表面强化剂均匀地包覆于砂粒表面, 并填充于砂粒之间。RSI表面强化剂当作砂粒间的粘结剂, 在脱水固化后形成的

凝胶构成了强度高且接触面积大的粘结桥, 极大地提高了砂样表面层的强度。

比较图5和图6再参考图7和图8可发现, 图5中砂粒间孔隙较大, 而图6中向砂样表面喷涂的RSI表面强化剂渗入并填充了砂粒间孔隙, 如图6中标出的1和2位置。图8中也可看出RSI试剂包覆于砂粒表面, 使原本粗糙的砂粒表面变得较光滑, 且砂粒间间隙内也有RSI试剂的填充, 一方面作为粘结剂强化了表层砂型的强度, 另一方面使表层砂型的砂粒间孔隙减少。此外RSI表面强化剂中的少量促进剂使其具有速干的特性。以上几个特性使砂型喷涂RSI试剂后, 涂层极大地阻碍了砂样从空气中吸收水分, 使其在放置48 h后仍能保持较高的表面安定性。

从图6和图7中可看出, 喷涂后的砂样表面依然可看出清晰的砂粒轮廓, 而且喷涂后的砂样截面能明显地看到外圈的强化层, 结合图11可发现, RSI表面强化剂并非独立的堆叠于砂样外部, 而是在覆盖表层砂

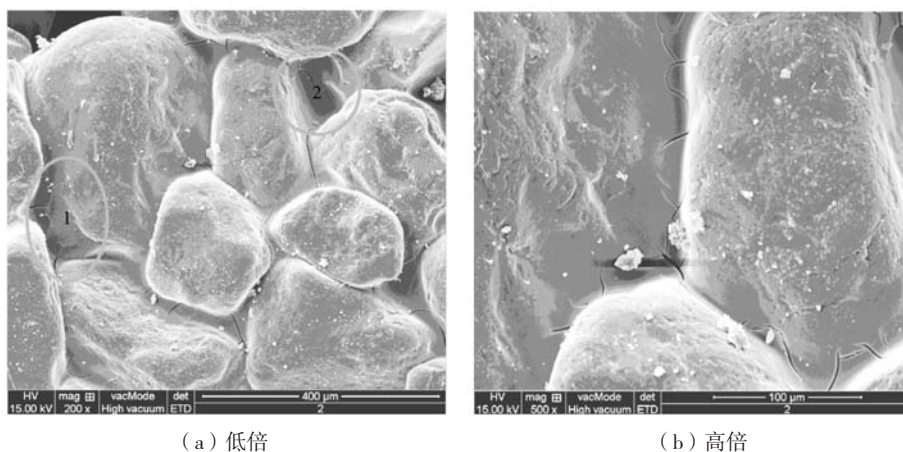


(a) 低倍

(b) 高倍

图5 1.5%水玻璃砂电镜下的形貌

Fig. 5 Morphology of 1.5% sodium silicate sand scanning electron microscope



(a) 低倍

(b) 高倍

图6 RSI表面强化层的形貌

Fig. 6 Morphology of RSI coating

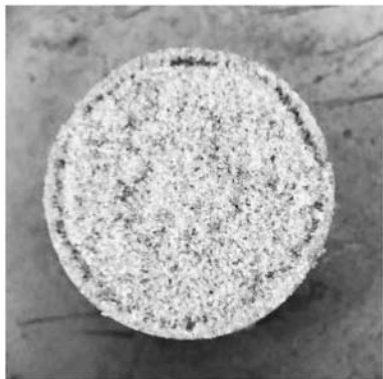


图7 喷涂过RSI表面强化层的试样的横截面
Fig. 7 Cross section of the specimen sprayed with RSI coating

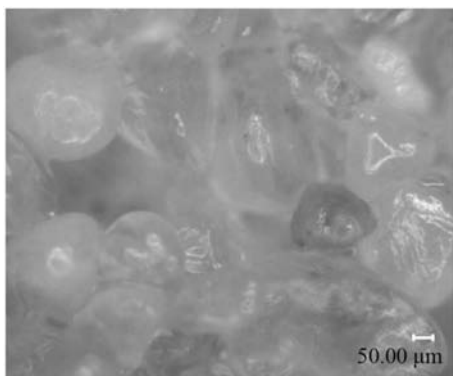


图8 显微镜下喷涂RSI试剂后的砂粒表面
Fig. 8 Sand surface after spraying RSI reagent

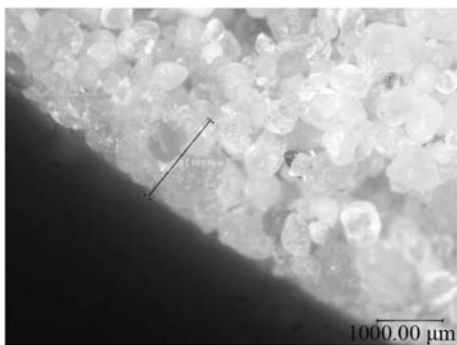


图9 显微镜下喷涂32 g RSI的试样横截面
Fig. 9 Section of sample sprayed with 32 g RSI

粒后向砂样内部渗透，通过粘结砂粒构筑起一层强化层。此外，RSI表面强化剂中添加了润湿分散剂，它通过降低RSI表面强化剂的表面张力，提高对砂粒表面的润湿，提高了RSI表面强化剂对砂样表层的渗透，避免了RSI表面强化剂在砂样表面外的堆积，加大了砂样表面强化层的厚度。

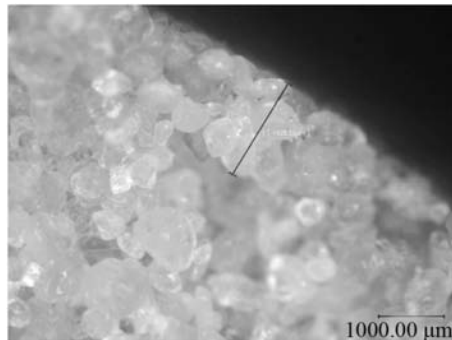


图10 显微镜下喷涂48 g RSI的试样横截面
Fig. 10 Section of sample sprayed with 48 g RSI

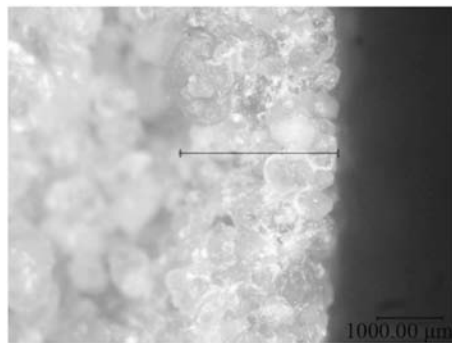


图11 显微镜下喷涂64 g RSI的试样横截面
Fig. 11 Section of sample sprayed with 64 g RSI

3 结论

(1) 和未喷涂表面强化剂时相比，喷涂RSI表面强化剂后能有效提高试样的表面安定性。经测定，试样喷涂表面强化剂后，其表面安定性从不喷涂时的61.64%提高至97.96%，提升效果很好。

(2) RSI表面强化剂所形成的表面强化层对试样表面强度提高的机理为：雾化后的涂料均匀包覆于表层砂粒上，并渗透填补进砂粒间的空隙。喷涂层固化后将表层砂粒粘结起来，提高了试样表面强度。砂粒间的孔隙也被固化的强化层填充，改善了试样的吸湿性，提高了试样存放后的表面安定性。

(3) 水玻璃砂试样的表面安定性随着RSI表面强化剂喷涂量的增加而提高。但喷涂量较少时，表面安定性随喷涂量的增加而迅速增加，并能很快达到相当高的表面安定性。喷涂量再继续增加，表面安定性增加缓慢。因而，水玻璃砂试样表面只需少量喷涂表面强化剂就可达到表面安定性的要求。

参考文献:

- [1] 樊自田, 董选普, 黄乃瑜, 等. 水玻璃砂工艺与材料研究的新进展 [J]. 铸造, 2002 (9): 530-534.
- [2] 朱纯熙, 卢晨, 戴跃. 水玻璃砂三个发展阶段的特点和不足 [J]. 热加工工艺, 2002 (2): 43-44.
- [3] 王锡波, 韩雷. 表面耐久性增强剂对混凝土抗渗性能的影响研究 [J]. 黑龙江交通科技, 2008 (1): 35-37. DOI: 10.16402/j.cnki.issn1008-3383.2008.01.053.
- [4] 陆天玮, 刘清, 姚国友, 等. 固化型渗透结晶防水材料配方的正交试验 [J]. 低温建筑技术, 2021, 43 (6): 16-19. DOI: 10.13905/j.cnki.dwjz.2021.06.004.
- [5] 巫英杰, 曹伯兴, 周家信, 等. 硅酸锂的性质及其应用 [J]. 无机盐工业, 1982 (10): 18-23.
- [6] 李树喆, 张茂伟, 国晓军, 等. 润湿分散剂对纤维-环氧树脂复合材料弯曲性能的影响 [J]. 塑料工业, 2021, 49 (5): 139-142.
- [7] 牛笑笛, 杨广庆, 蒲昌瑜, 等. 新型固砂剂试验效果分析及边坡防护施工工艺研究 [J]. 铁道建筑, 2017 (2): 86-90.

Effect of RSI Surface Coating on the Surface Stability of Sodium Silicate Bonded Sand

XIA Xiang-lin, YANG Yang, GU Yun-hui, ZHU Shi-gen

(College of Mechanical Engineering, Donghua University; Engineering Research Center of Advanced Textile Machinery of the Ministry of Education, Shanghai 201620, China)

Abstract:

For casting water glass sand, more water glass is added to the sand to ensure the strength, which leads to the disadvantages of poor collapsibility, sticky sand, and poor reusability of old sand. At present, there are studies by adding various reagents to the water glass sand to reduce the amount of water glass added while ensuring the strength of the sand mold. However, as the amount of water glass added to the water glass sand decreases, the surface stability of the sand mold decreases, and the shape and integrity of the sand mold surface are easily damaged. In order to improve the surface stability of the sand mold, the author intends to construct a layer of coating on the surface of the water glass sand sample by spraying the RSI reagent on the surface to improve the surface stability of the water glass sand sample. The study found that this coating can increase the surface stability of sand with 1.5% water glass from the original 61% to 98%. The analysis shows that the coating can greatly improve the strength of the surface of the sample as a binder, and improve the hygroscopicity of the sample by filling the pores between the sand particles.

Key words:

surface stability; spraying; sodium silicate bonded sand