

绿色环保无机发泡砂的制备及性能

于志勇¹, 李延海¹, 刘沙², 刘晓亮², 刘加军¹, 王鹏伟¹, 张海东¹, 高天娇¹

(1. 中国机械总院集团沈阳铸造研究所有限公司, 高端装备铸造技术全国重点实验室, 辽宁沈阳 110022;

2. 阜新力达钢铁铸造有限公司, 辽宁阜新 123000)

摘要: 采用WJ-1无机粘结剂, 加入发泡剂、发泡促进剂改性, 并在混砂时加入FT-1添加剂, 获得了具有较高强度和优异清砂性能的绿色环保无机发泡砂; 通过挤压将发泡砂加入到预热模具中硬化, 形成中空的砂型(芯); 浇注铸件后, 砂型(芯)具有优异的溃散性, 能够通过振动和气流等低成本且简单方法实现砂型(芯)清除, 省去以往所使用的如粉碎处理、热处理、喷砂处理等繁杂的清砂方法, 简化砂型铸造后处理工艺。

关键词: 无机发泡砂; 无机粘结剂, 发泡剂; 发泡促进剂

汽车、航空航天等领域使用的高端铸件, 具有高效、薄壁、精确、复杂等特点。对于结构复杂、尺寸精度和表面质量要求高的铸件, 通常需要使用复杂的组合砂型(芯), 比如水套、进气口、排气口^[1]等。传统有机粘结剂砂型(芯)在实际生产过程中对环境污染大, 清砂时需采用繁琐复杂的工艺方法去除。随着国家倡导的节能减排、绿色铸造和循环经济, 无机粘结剂的推广应用越来越受到广泛关注。无机粘结剂在生产过程中排放物少, 综合成本低, 有很大的优势, 但无机粘结剂清砂困难, 一直阻碍其大规模使用。

绿色环保无机发泡砂包含无机粘结剂、发泡剂和发泡促进剂等, 通过混砂机混砂, 将泡沫和无机粘结剂包裹在砂粒的表面, 再通过挤压加入到预热模具中硬化, 形成中空的砂型(芯), 浇注后的砂型(芯)具有优异的清砂性能, 能够通过振动和气流冲击等低成本且简单的方式来去除芯砂, 因此可以省去以往所使用的如粉碎处理、热处理、喷砂处理等繁杂的清砂方法, 实现铸造工艺的简化^[2-3]。

本研究以改性的WJ-1无机粘结剂为粘结剂, 在混砂时加入改性的FT-1添加剂, 通过加热硬化方式, 获得了具有较高的强度和优异清砂性能的绿色环保无机发泡砂型(芯)。

1 试验材料及方法

1.1 试验材料及设备

试验使用的无机粘结剂、添加剂、发泡剂、发泡促进剂的主要物化性能如表1所示。所用的原砂为100目宝珠砂。

试验使用的主要仪器有: 三口烧瓶, 电动搅拌器, 500 mL注射器, 混砂机, 流动性测试器, 冷芯盒/无机工艺试样机, 恒温恒湿箱, 数显液压万能强度试验机。

1.2 试验方法

1.2.1 绿色环保无机发泡砂的制备

无机发泡砂包括两个组分。组分1: 发泡促进剂、水加入FT-1添加剂中, 制备工艺流程: 将FT-1添加剂加入三口烧瓶中, 启动搅拌器, 按比例将发泡促进剂加入到三口烧瓶, 搅拌20 min, 停止搅拌取出备用。组分2: 发泡剂直接加入WJ-1无机粘结

作者简介:

于志勇(1978-), 男, 硕士, 从事铸造材料相关的研发工作。E-mail: 25439877@qq.com

通讯作者:

李延海, 男, 学士。E-mail: 13080840917@163.com

中图分类号: TG221

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2024)

03-0386-04

基金项目:

辽宁省科技计划联合计划(2023JH2/101700042)。

收稿日期:

2023-06-02 收到初稿,

2023-07-27 收到修订稿。

表1 试验材料的物化性能
Table 1 Physical and chemical properties of the test materials

序号	产品名称	厂家	外观	粘度 (25 °C)/(mPa·s)	密度 (25 °C)/(g·cm ⁻³)
1	WJ-1无机粘结剂	中国机械总院集团沈阳铸造研究所有限公司	无色透明液体	100~300	1.45~1.55
2	FT-1添加剂	中国机械总院集团沈阳铸造研究所有限公司	无色透明液体	100~300	1.15~1.20
3	YA-230发泡促进剂	日本川口化学	黄色透明液体	1.2~2.0	1.15~1.18
4	JK-50发泡剂	日本三菱化学	无色透明液体	1.2~2.0	1.15~1.18

剂中, 制备工艺流程: 将WJ-1无机粘结剂加入三口烧瓶中, 启动搅拌器, 将发泡剂按比例加入三口烧瓶, 缓慢搅拌20 min, 停止搅拌取出备用。

1.2.2 砂芯试样的制备

混砂过程为: 将1 kg的100目宝珠砂放置在混砂机中, 混砂开始后加入10 g组分1, 搅拌5 s后加入20 g组分2, 继续搅拌100 s后出砂。制芯过程为: 制芯机的芯盒温度200 °C, 热空气温度150 °C, 射砂压力0.2 MPa, 射砂时间2 s。制备出标准的“8”字砂样^[4-7]。

取出砂样, 立即测量其抗拉强度, 记为即时强度; 冷却到室温后的抗拉强度, 记为室温强度; 将砂芯放置在25 °C、湿度60%的恒温恒湿环境下, 测量2 h和4 h后的抗拉强度。

1.2.3 流动性检测方法

如图1所示, 先将测试筒放在标有刻度的玻璃平板上, 然后将混好的流态砂倒满测试筒, 刮去多余的流态砂(刮平)后1.5 min时, 将测试筒垂直提起, 让料沿平板玻璃的水平面(先用水准仪调校水平)自然流动摊开, 直到料失去流动能力为止, 记录摊开直径, 即为其流动性。

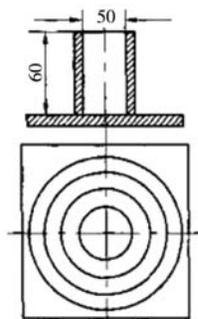


图1 流动性测试器示意图

Fig. 1 Liquidity tester

1.2.4 发泡砂发泡倍数和泡沫持续时间的测定方法

将100 g的100目宝珠砂放置带有刻度的250 mL、直径为60 mm的玻璃桶内, 记录体积。将混制好的泡沫砂取100 g放置在容积为250 mL、直径为60 mm的无底玻璃桶内, 记录体积。开始计时, 体积开始减少时停

止计时, 记录时间, 该时间为泡沫持续时间。

发泡砂发泡倍数为发泡砂体积大于宝珠砂体积的倍数。

1.2.5 残留强度的测定方法

浇注后水玻璃砂自行溃散的能力, 一般都采用残留强度测定评定法。具体测定方法: 将已硬化的水玻璃砂标准(Φ50 mm×50 mm)抗压试样, 放入预先加热至1 000 °C的高温炉中, 保温20 min, 然后取出试样, 待其冷却到室温, 测定抗压强度, 此强度值即为该水玻璃砂试样的残留强度。

2 试验结果与分析

2.1 发泡剂加入量变化对流态砂性能的影响

发泡剂是一种表面活性物质, 溶于水, 能够显著降低水溶液的表面张力, 使水溶液更容易湿润砂粒表面。发泡剂经充分搅拌, 被打散产生大量气泡, 这些气泡分散在砂粒之间, 使砂粒悬浮互相之间容易滑动。表面活性物质水解后, 带有的电荷定向排列于液体表面, 使气泡、砂粒表面都带有同性电荷。由于同性相斥, 大大削弱砂粒之间聚合力, 使砂粒悬浮、易于流动, 具有一定的流动状态。

通过试验可得, 发泡剂加入量对流态砂的流动性、抗拉强度、残留强度、泡沫持续时间、发泡倍数均有影响。发泡剂的加入量对型砂的影响如表2所示。

通过试验可得, 随着发泡剂加入量增加, 流动性逐渐增加, 发泡砂体积逐渐增大, 泡沫强度增加, 泡沫持续时间增长, 残留强度逐渐降低, 2 h强度和4 h强度随着发泡剂的加入量增加, 先降低后增加, 达到2.0%时再次降低。通过试验可知, 优选发泡剂加入量为2.0%。

2.2 发泡促进剂加入量对流态砂的影响

发泡促进剂能够提高发泡砂发泡的速度, 增加泡沫量, 使泡沫细密均匀, 提高泡沫存放时间, 灌注型芯后, 经过加热能够在短时间内形成中空, 如图2、3所示。发泡促进剂加入量对型砂的影响如表3所示。

通过试验可得, 随着发泡剂促进剂加入量增加, 流动性逐渐增加, 泡沫持续时间先增加后减少, 残留

表2 不同发泡剂对无机粘结剂性能影响
Table 2 Effect of different foaming agents on the performance of inorganic binders

序号	发泡剂加入量/%	2 h抗拉强度/MPa	4 h抗拉强度/MPa	残留强度/MPa	发泡砂流动性/mm	泡沫持续时间/min	发泡倍数
1	0.5	1.85	2.52	0.25	45	20	1.1
2	1.0	1.68	2.49	0.24	58	22	1.4
3	1.5	1.52	2.33	0.19	60	22	1.5
4	2.0	1.66	2.34	0.11	72	28	1.6
5	2.5	1.60	2.28	0.10	78	29	1.85
6	3.0	1.52	2.10	0.08	80	32	2.12

注: WJ-1无机粘结剂加入量为砂重的2.0%, FT-1添加剂加入量为砂重的1.0%, 改性过程中发泡促进剂加入量为FT-1添加剂体系的1.0%。



图2 泡沫砂制标准“8”字试样

Fig. 2 Standard “8” type sample made of foam sand

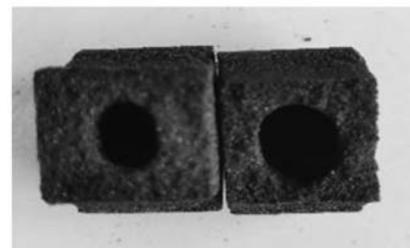


图3 泡沫砂制标准“8”字试样中空位置

Fig. 3 Hollow position of “8” sample of foam sand standard

表3 不同发泡促进剂对无机粘结剂性能的影响
Table 3 Effect of different foaming accelerators on the performance of inorganic binders

序号	发泡促进剂加入量/%	2 h抗拉强度/MPa	4 h抗拉强度/MPa	残留强度/MPa	发泡砂流动性/mm	泡沫持续时间/min	标准的“8”字砂样质量/g
1	0.5	1.66	2.34	0.21	72	27	75
2	1.0	1.68	2.34	0.15	73	28	73
3	1.5	1.66	2.33	0.11	75	30	70
4	2.0	1.60	2.10	0.08	78	30	69
5	2.5	1.55	2.00	0.05	80	26	68
6	3.0	1.42	1.98	0.03	81	24	66

注: WJ-1无机粘结剂加入量为砂重的2.0%, 改性过程中发泡剂加入量为WJ-1无机粘结剂体系的2.0%, FT-1添加剂加入量为砂重的1.0%。

强度逐渐降低, 2 h强度和4 h强度随着发泡促进剂的加入量增加先降低后增加, 达到1.5%时再次降低。通过试验可知, 优选发泡促进剂加入量为1.5%。

2.3 无机发泡砂应用验证

为了验证开发的无机发泡砂的工艺性能, 试制了泵阀体砂型芯, 如图4所示, 并浇注了铸件, 射芯机采用苏州明志MRD20V热芯盒制芯机, 如图5所示, 落砂采用液压震动落砂机, 如图6所示, 选用70~140目硅砂, 发泡剂加入量为砂重的1.0%, 无机粘结剂加入量为砂重的2.0%, 现场测得2 h抗拉强度1.60 MPa, 4 h抗拉强度2.25 MPa, 残留强度为0.10 MPa。表面质量和尺寸精度达到设计要求, 振动落砂后解剖内腔

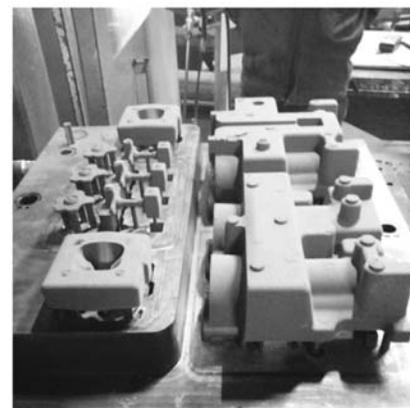


图4 泵阀体砂型、芯

Fig. 4 Sand mold and core of pump valve body



图5 MRD20V热芯盒制芯机
Fig. 5 MRD20V hot box core making machine



图6 震动落砂机
Fig. 6 Vibration sand blasting machine

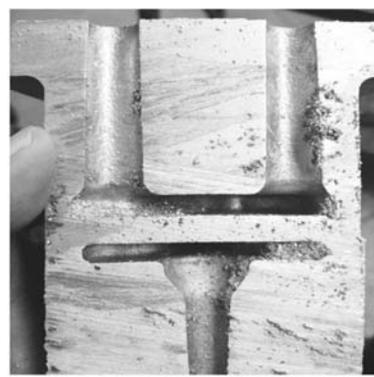


图7 震动落砂后解剖内腔情况
Fig. 7 Anatomy of the internal cavity after vibration sand removal

如图7所示，震动清砂后无残留。满足生产使用要求。

3 结论

采用WJ-1无机粘结剂，加入发泡剂、发泡促进剂改性，并在混砂时加入FT-1添加剂，获得了具有较高强度和优异清砂性能绿色环保无机发泡砂。这种发

泡砂可以通过挤压加入到预热模具中硬化，形成中空的砂型（芯）。相对于传统的水玻璃砂型（芯），浇铸铸件后的发泡砂砂型（芯）具有优异的清砂性能，能够通过振动和气流等低成本且简单的方法清除砂型（芯），省去以往使用的如粉碎处理、热处理、喷砂处理等繁杂的清砂方法，简化工序。

参考文献:

- [1] 庞涛, 陶虹, 阮建波, 等. 我国砂型铸造行业水污染现状调查 [J]. 铸造, 2016 (1): 40-44.
- [2] ZARETSKIY L. Hydrous solid silicates in new foundry binders [J]. International Journal of Metal Casting, 2018 (2): 275-291.
- [3] SONG L, LIU W H, LI Y M, et al. Humidity-resistant inorganic binder for sand core making in foundry practice [J]. China Foundry, 2019 (4): 267-271.
- [4] 中国机械工程学会铸造分会. 铸造手册: 造型材料 [M]. 第2版. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [5] 李远才. 铸造造型材料实用手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2009: 5-10.
- [6] 程楠, 陈群. 无机粘结剂混制湿态砂在热芯盒成型工艺中的应用研究 [J]. 铸造技术, 2019, 40 (9): 946-948.
- [7] 耿国锋, 申勇, 何齐书. 无机粘结剂和宝珠砂在球墨铸铁管行业的应用研究 [C]//2018年全国铸铁管技术研讨会论文集. 中国金属学会铸铁管分会, 2018: 5.

Preparation and Properties of Green and Environmentally Friendly Inorganic Foam Sand

YU Zhi-yong¹, LI Yan-hai¹, LIU Sha², LIU Xiao-liang², LIU Jia-jun¹, WANG Peng-wei¹, ZHANG Hai-dong¹, GAO Tian-jiao¹

(1. Shenyang Foundry Research Institute Co., Ltd., of China Academy of Mechanical Sciences Group, National Key Laboratory of Advanced Casting Technologies, Shenyang 110022, Liaoning, China; 2. Fuxin Lida Steel Casting Co., Ltd., Fuxin 123000, Liaoning, China)

Abstract:

By adding the foaming agent, the foaming promoter to the WJ-1 inorganic binder, and adding FT-1 additive during sand mixing, a green and environmentally friendly inorganic foaming sand with higher strength and excellent sand cleaning performance was obtained. It was then added to the preheating mold by extrusion to harden, forming a hollow sand mold (core). After casting, the sand mold (core) has excellent collapsibility, and the removal of sand molds can be achieved through low-cost and simple methods such as vibration and airflow, eliminating the complex sand cleaning methods such as crushing, heat treatment, sandblasting, etc. and simplifying the postprocessing processes of sand casting.

Key words:

inorganic foaming sand; inorganic binder; foaming agent; foaming promoter