

SRIF-D 树脂与宝珠砂用于铸钢件的工艺性能优势

袁树林¹, 李延海²

(1. 牡丹江中车金缘铸业有限公司, 黑龙江牡丹江 157011;
2. 中国机械总院集团沈阳铸造研究所有限公司, 辽宁沈阳 110022)

摘要: 国家环保要求日益严格, 铸造企业更加重视降低能耗和污染物排放的技术措施。SRIF-D树脂不含甲醛和苯酚, 造型和浇注过程中刺激性气味小。SRIF-D树脂与宝珠砂结合的类型砂工艺生产铸钢件, 在自硬砂工艺中, 树脂的加入量可控制在0.7%~0.8%, 而在温芯盒壳型工艺中, 树脂的加入量可控制在1.2%~1.4%, 旧砂回收再利用率超过98%, 减少了固体废弃物的排放。

关键词: SRIF-D树脂; 宝珠砂; 铸钢件; 绿色环保

1 SRIF-D树脂主要特点

1.1 SRIF-D树脂的环保性能优势

SRIF-D树脂是在甲阶酚醛树脂和碱性酚醛树脂的基础上研制而成的一种新型的改性甲阶酚醛树脂, 其特性在于不用工业上的甲醛与苯酚原材料, 而是采用腰果酚等可再生的植物酚代替从石油中提取的苯酚, 使得合成后的树脂成品中无甲醛和苯酚(图1)。SRIF-D树脂砂在浇注及浇注后释放的味道是一股淡淡的烤糊果仁味, 无刺激味道, 大部分人都能接受, 且其飘散距离在30~80 m, 生产环境友好。

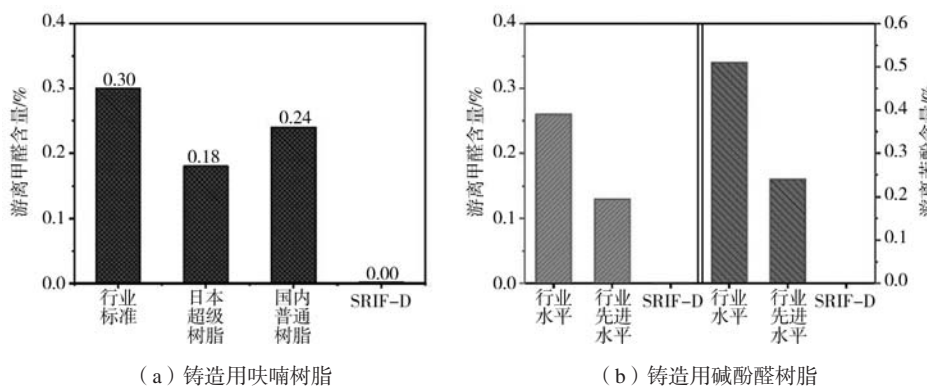


图1 树脂游离甲醛、苯酚含量对比图

Fig. 1 Comparison chart of free formaldehyde and phenol contents in the resin

1.2 SRIF-D树脂砂工艺性能

SRIF-D树脂分子结构中含有高分子, 而且砂型砂芯还具有二次硬化的特点, 可使砂型砂芯表面滑润、柔韧, 表面安定性好, 刷涂料时不易带走表面砂粒, 涂层表面质量好。

SRIF-D树脂砂在湿度高达98%的梅雨季节, 仍能保持一定的硬化速度与初始强度, 克服了水玻璃砂及碱性酚醛树脂砂在高湿度条件下, 硬化速度慢所导致的砂型

作者简介:

袁树林(1977-), 男, 工程师, 本科, 主要从事铸造工艺和质量控制工作。

E-mail:yuanshulin940023@

qq.com

中图分类号: TG221

文献标识码: B

文章编号: 1001-4977(2025)

02-0252-05

收稿日期:

2024-10-15 收到初稿,

2024-11-13 收到修订稿。

蠕变、沉箱等质量问题。

SRIF-D树脂砂生产的铸件表面光洁度可达到酚醛树脂砂工艺水平，比水玻璃砂生产的铸件表面光洁度提高1-2级。

1.3 SRIF-D 树脂旧砂再生性能

SRIF-D树脂加入量比碱性酚醛树脂及酯硬化水玻璃加入量明显减少，并且SRIF-D树脂在砂粒表面形成的树脂膜具有脆性特征，旧砂脱膜率高，灼烧减量低，便于后续的旧砂再生处理。

SRIF-D树脂与呋喃树脂一样都为脆性膜，旧砂再生采用机械干法再生设备即可，无需水玻璃砂及碱酚醛砂旧砂再生所需要高昂投资的加热装置等热法再生设备，与热法再生系统配置相比简洁高效，也没有热法再生时所需的较高再生费用，与酯硬化水玻璃砂及碱酚醛树脂砂再生相比，再生能耗约为其1/8，如表1所示。

表1 不同旧砂再生能耗对比

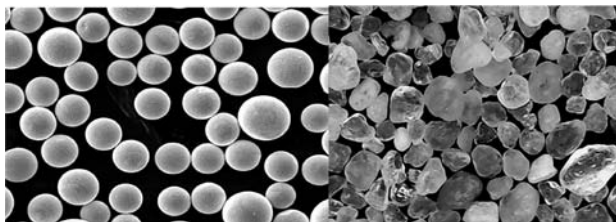
Tab. 2 Comparison of energy consumption of different sand regeneration

类别	10 t/h能耗/(kgCe)
酯硬化碱性酚醛树脂砂	130.6
酯硬化水玻璃砂	132.3
SRIF-D树脂砂	20.7

2 宝珠砂主要特点

宝珠砂又名陶粒砂，是采用铝矾土材料经电弧炉熔化成液体，在液体流出炉子时，经高压空气喷制冷却，得到形状为球状或接近球状，表面光滑的砂粒，主要成分是氧化铝 (Al_2O_3)，成分稳定。宝珠砂具有以下特点。

(1) 宝珠砂的形状接近于球形，其角形系数相较于硅砂更为优越(图2)，表面光滑，结构致密，流动性好^[1-2]，使得粘结剂能均匀覆盖，因此在同等条件



(a) 宝珠砂颗粒图 (b) 硅砂颗粒图

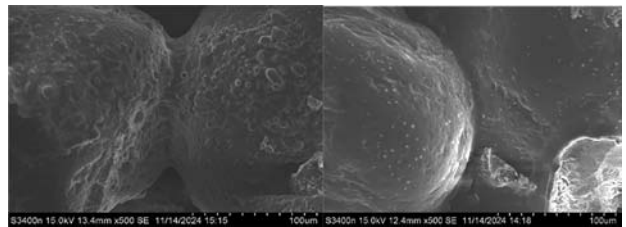
图2 宝珠砂和硅砂照片

Fig. 2 Photographs of the ceramic foundry sand and silicon sand particles

下，所需的树脂消耗量较低，砂型易紧实，且能保持良好的透气性。

(2) 宝珠砂的莫氏硬度高，具有极低的再生破损率，从而确保了旧砂的高回收率。

(3) 宝珠砂热膨胀系数小，约为硅砂的1/5，砂型稳定性好，可有效防止由于砂子膨胀导致铸件出现脉纹缺陷^[1-2]。而且高温退让性好，在采用宝珠砂的条件下，树脂多为点接触(图3)，可大大缓解型砂高温退让性差带来的问题，可大幅度减少裂纹产生倾向。



(a) 硅砂粘结桥 (b) 宝珠砂粘结桥

图3 硅砂与宝珠砂粘结桥对比示意图

Fig. 3 Diagram of bonded bridge of the silica sand and ceramic foundry sands

(4) 宝珠砂耐火度在1 800 °C以上，烧结点高，高温化学稳定性好，不易产生粘砂缺陷。

(5) 宝珠砂激冷效果好，可改善铸件表面组织致密性及耐磨性，提高铸件表面质量。用宝珠砂生产铸钢件的过程中，即便不添加铬铁矿面砂，同样能够实现相同的激冷效果，可减轻添加铬铁矿面砂操作的繁琐性。

由图4平衡相图可以看出： Al_2O_3 含量在70%以上的宝珠砂液相线是1 810 °C，具有较高的、较适合的烧结点，而 Al_2O_3 在70%以下的液相线出现温度是1 580 °C，不考虑氧化铁和金属氧化物对其影响，理论上原砂的烧结点温度比液相线温度略低30~100 °C。

蓄热系数是衡量材料冷却性能的指标，通常在

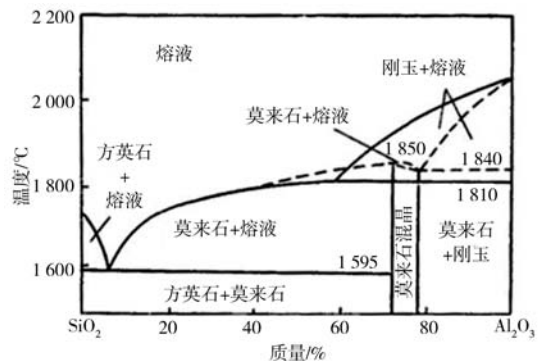


图4 $SiO_2-Al_2O_3$ 二元系相图

Fig. 4 $SiO_2-Al_2O_3$ binary phase diagram

铸造领域被称作激冷能力。该系数的数值越大,表明材料的凝固和冷却速率越快,从而铸件的结构更为致密,其粘砂倾向也随之减少。蓄热系数 b 是依据材料

的密度 ρ 、热导率 λ 以及比热容 c 所确定的函数关系,即 $b=\lambda \cdot c \cdot \rho$ 。从表2数据可以看出,锆英砂、铬铁矿砂和宝珠砂等激冷效果比硅砂好^[1-2]。

表2 各种原砂激冷能力参数
Tab. 2 Cooling capacity parameters of various raw sands

原砂	堆密度 / ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	耐火度/ $^{\circ}\text{C}$	热膨胀系数 (20~1 000 $^{\circ}\text{C}$) / ($\times 10^{-6} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$)	热导率 (20~1100 $^{\circ}\text{C}$) / ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)	比热容 / ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)	硬度	pH	安息角
宝珠砂	2.0	> 1 790	0.13	0.5~0.6	2 210	8~8.5	7.6	20
烧结陶粒砂	1.6	> 1 825	0.15	0.56	-	-	7	30
硅砂	1.58	1 730	1.5	0.7~0.8	1 130	7.0	7~8	41
锆砂	2.99	> 2 000	0.18	0.8~0.9	1 423	7~8	7.2	-
镁砂	1.68	> 1 840	0.3~0.5	0.48	-	6~7	9.3	-
铬铁矿砂	2.8	> 1 900	0.3~0.4	0.65	1 214	5~6	7.8	-

3 SRIF-D树脂与宝珠砂应用案例一

浙江省某企业进行技术改造之前,采用碱性酚醛树脂砂作为面砂,水玻璃砂作为背砂,在使用碱性酚醛树脂砂进行浇注时,会产生强烈的刺激性气味,且浇注后的旧砂全部废弃;水玻璃背砂的回用率仅为50%,导致工厂产生的废旧砂排放量严重超标。结合这两种型砂工艺,发现碱性酚醛树脂砂在浇注过程中气味较大,且砂再生过程困难;水玻璃砂虽然无明显气味,但其废旧砂排放量大,不符合当前严苛的环保政策要求,对铸造企业的正常生产产生了不利影响。为有效解决这些问题,企业综合考虑后决定采用SRIF-D树脂宝珠砂自硬工艺,运行半年指标统计数据见表3,生产现场情况见图5,具体工艺参数如下。

(1) 宝珠砂采用40/100目的规格(五筛制),型砂工艺为单一砂工艺,即100%的再生砂;

(2) SRIF-D树脂加入量为0.7%~0.8%,其中砂型为0.7%,砂芯为0.8%;

(3) 固化剂加入量为树脂的30%~40%,实际生产过程中控制在35%左右;

(4) 配套采用与铸件壁厚及大小适应的铸钢件专

表3 运行半年各项指标统计数据
Tab. 3 Statistics of various indicators after running for half a year

项目	指标
累计生产铸件/t	900
砂铁比	3.8
处理再生砂总量/t	3 420
再生循环/次	约16
吨钢件涂料/kg	平均35(湿)
涂料总消耗量/t	约20(干粉料)
收集微粉总量/t	45
宝珠砂损耗/t	25
宝珠砂损耗率/%	0.73
宝珠砂回收率/%	99.27
其他损耗(转运、抛丸)/%	约计0.5~1.0
再生砂灼减率/%	1.2~1.4
造型砂灼减率/%	1.9~2.1

用涂料;

(5) 旧砂处理系统采用磨盘式搓擦再生一体机。



(a) 造型



(b) 刷涂料



(c) 浇注

图5 生产现场

Fig. 5 Production site

目前该企业已使用SRIF-D树脂宝珠砂工艺6年多，通过几年的运行，取得了如下成果：

(1) 经SRIF-D树脂浇注后形成的气氛界面较为友好，有效解决了有机粘合剂散发异味的问题，从而改善了车间的工作环境；

(2) SRIF-D树脂添加比例仅0.7%~0.8%，型砂再生系统形成了良性循环，再生砂灼减量稳定控制在1.2%~1.5%；

(3) 由于树脂加入量大幅度降低，型砂高温强度和持续时间也随之降低，同时宝珠砂比热容高，铸件热节处降温明显，用SRIF-D树脂宝珠砂生产薄壁铸钢件或易裂铸钢件时可大幅度减少裂纹；

(4) 在固体废物排放方面，真正实现了接近零排放（回收率达到98.4%），显著减少了固体废物的排放量，获得了当地环保部门的高度评价。

4 SRIF-D树脂与宝珠砂应用案例二

黑龙江某企业技改前，采用酚醛树脂锆砂覆膜砂工艺液化气加热方式生产壳型，因酚醛树脂中含有大量游离甲醛和苯酚，在使用中容易挥发出来，尤其是在壳型加热覆膜固化及浇注过程中，气味较大，对人

体脑部、呼吸道和心肺等造成一定影响；同时锆砂还有较高的放射性，职工职业健康存在风险；液化气加热方式存在易爆风险，还会产生大量二氧化碳排放到空气中。面对日益严格的环保安全要求，自觉进行升级改造，采用SRIF-D树脂宝珠砂温芯盒固化工艺电加热方式生产壳型（图6），生产的铸件内外表面质量见图7。具体参数如下：



图6 壳型
Fig. 6 Shell mold



(a) 外表面



(b) 内表面

图7 铸件（内外表面质量）

Fig. 7 Castings (internal and external surface quality)

(1) 宝珠砂粒度为50/100目，采用的型砂工艺为单一砂工艺，即100%使用再生砂；

(2) SRIF-D树脂添加比例为1.2%~1.4%；

(3) 固化剂添加比例为树脂的20%~25%，实际生产中控制在23%左右；

(4) 配套采用醇基铸造复合涂料；

(5) 砂处理系统采用磨盘式搓擦再生一体机。

目前该企业已使用SRIF-D树脂宝珠砂工艺三年

多，通过几年的运行，取得了如下成果：

(1) 新工艺中树脂的添加量低于传统工艺（传统工艺中酚醛树脂的添加量约占砂量的2.5%），浇注后现场几乎不存在刺激性气味；

(2) 壳型的质量保持稳定，彻底消除了传统覆膜砂工艺所导致的脱壳、涨箱和表面橘皮等质量问题，铸件的表面质量得到了显著提升；

(3) 芯盒加热固化温度降低至180~200℃（原工

艺芯盒加热固化温度250~280 ℃)，改善了操作者的高温工作环境，降低了能源消耗，提高了工作效率；

(4) 砂再生处理系统由磨盘式搓擦再生取代原来的燃气焙烧再生，降低安全风险和能源消耗；

(5) 生产成本较原锆砂覆膜砂工艺每吨铸件大约降低1 000元。

5 结论

(1) SRIF-D树脂在环保性方面展现出显著的领先优势，浇注后几乎无刺激性气味，现场烟气排放大幅

度降低，工作环境友好。

(2) SRIF-D树脂与宝珠砂相结合，可以降低树脂加入量，在自硬砂工艺中，树脂的添加量可控制在0.7%~0.8%，而在温芯盒壳型工艺中，树脂的添加量可控制在1.2%~1.4%。铸件的裂纹倾向性降低，表面组织的致密度得到增强，铸件表面质量显著提高。

(3) 旧砂回收再利用率显著提升，总体回收率超过98%，明显减少了固体废弃物的排放以及其对环境的污染。

参考文献：

- [1] 陈兆杰, 李忠泽, 刘满对, 等. 宝珠砂的特点及其在铸造生产中的应用 [J]. 铸造, 2018 (12): 1131-1135.
- [2] 陈兆杰, 刘满对, 王柏勤, 等. 新型铸造材料宝珠砂的应用 [J]. 铸造设备与工艺, 2018 (6): 33-40.

Technological Advantages of Bonny Resin Combined with Ceramic Foundry Sand Used for Steel Casting

YUAN Shu-lin¹, LI Yan-hai²

(1. CRRC Mudanjiang Jinyuan Casting Co., Ltd., Mudanjiang 157011, Heilongjiang, China; 2. China Academy of Machinery Shenyang Research Institute of Foundry Co., Ltd., Shenyang 110022, Liaoning, China)

Abstract:

With the increasing national environmental protection requirements, foundry enterprises pay more attention to technical measures to reduce energy consumption and pollutant emissions. Bonny resin does not contain formaldehyde and phenol, and has little irritating odor in the process of molding and pouring. In the production of steel casting using bonny resin combined with ceramic foundry sand, the amount of resin can be controlled at 0.7%-0.8% in the self-hardening sand process, while in the warm box process, the amount of the resin can be controlled at 1.2%-1.4%. The reusable rate of used sand is more than 98%, reducing the emission of solid waste.

Key words:

bonny resin; ceramic foundry sand; steel casting; green and environmental