

# 铸造烧结陶粒砂在制芯中的应用

李娜<sup>1</sup>, 冯月雪<sup>1</sup>, 高永菊<sup>1</sup>, 李菲<sup>2</sup>

(1. 潍柴动力股份有限公司, 山东潍坊 261061; 2. 潍柴动力(潍坊)铸锻有限公司, 山东潍坊 261061)

**摘要:** 介绍了烧结陶粒砂主要性能特点、成分和耐火度, 及烧结陶粒砂和宝珠砂主要性能指标。阐述了铸造烧结陶粒砂在冷芯盒和覆膜砂制芯工艺的开发背景和应用情况。

**关键词:** 烧结陶粒砂; 宝珠砂; 冷芯盒; 覆膜砂

我公司的铸造子公司承担着集团全系列发动机机体缸盖等关键零部件毛坯的生产, 经过几十年的产品技术升级, 铸造制芯工艺在原有硅砂冷芯盒和普通覆膜砂工艺基础上, 逐步开发了特种砂冷芯盒制芯以及特种覆膜砂制芯工艺。其中特种砂冷芯盒制芯采用50%宝珠砂+50%再生砂, 主要应用于机体挺杆芯等砂芯。针对高端发动机缸盖普通覆膜砂水夹层砂芯断芯、粘砂等缺陷, 开发了含40%宝珠砂的特种覆膜砂, 并稳定应用。

宝珠砂是对熔融状态下的高氧化铝质的原料(铝矾土)进行喷雾处理, 使之再结晶而成形的高耐热性、低热膨胀性的球状砂, 但是生产能耗高、环境差。近两年, 国家环保整治力度加大, 宝珠砂的生产经营受到了很大限制, 产量减少, 市场供应存在一定风险, 并且价格高涨, 其品质也难以保证。因此, 寻找宝珠砂的替代材料势在必行, 陶粒砂就是在此背景下进入了我们的视野, 成为新材料开发的对象。

## 1 烧结陶粒砂主要性能特点

铸造烧结陶粒砂是以铝质矿物为原料, 经过破碎、磨粉、造粒、烧结、分级和级配工艺获得的球形人造砂。同样与宝珠砂具有粒型圆整、耐高温、低膨胀等特性, 近几年有被铸造企业应用于碱性酚醛树脂砂、覆膜砂、3D打印等的报道<sup>[1-3]</sup>。

结合当前文献资料, 归纳出铸造烧结陶粒砂和宝珠砂的性能指标参照<sup>[4]</sup>, 如表1。

当前报道中陶粒砂的耐火度均高于1 750 °C, 完全满足铸铁生产的使用要求。堆积密度接近硅砂, 当和硅砂混合使用时, 不易产生偏析, 相比铬矿砂、宝珠砂等大密度特种砂更具优势。粒形接近球形, 流动性及填充性好, 造型制芯时易紧实, 且能保持良好的透气性。热膨胀率低, 在铸件浇注和冷却过程中不易产生夹砂、结疤、脉纹等缺陷, 因此有利于铸件尺寸精度和表面、内腔质量的提高。

## 2 烧结陶粒砂的开发应用

### 2.1 陶粒砂技术调研分析

在烧结陶粒砂技术调研阶段, 收集了A、B、C三个企业生产的陶粒砂, 对材料主要成分和耐火度进行对比检测, 数据见表2。

根据Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>二元相图, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含量越高, SiO<sub>2</sub>含量越低, 材料的理论耐火度越高, 但Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、TiO<sub>2</sub>等杂质含量对耐火度的负面影响尤其值得注意。从表2中数据可知, 虽然1#陶粒砂的Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含量最高, 但是高的Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含量导致其耐火度最低, 2#与3#

作者简介:

李娜(1982-), 女, 高级工程师, 主要从事铸造造型材料研究与应用技术开发。电话: 13696363570, E-mail: lin@weichai.com

中图分类号: TG221

文献标识码: B

文章编号: 1001-4977(2021)03-0369-04

收稿日期:

2020-10-09 收到初稿,  
2020-11-24 收到修订稿。

陶粒砂 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 含量差异不大的情况下,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 含量低的陶粒砂, 其耐火度也更高。因此, 对于铸造用宝珠砂、陶粒砂等Al-Si质砂, 除追求高的 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 含量以外, 还要特别注重 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{TiO}_2$ 等杂质的限量。基于以上对比分析, 我公司陶粒砂制芯工艺开发选定B和C两个企业的陶粒砂。

## 2.2 陶粒砂冷芯盒制芯的开发应用

陶粒砂冷芯盒制芯工艺开发中, 为与我公司50/100目再生砂混合使用, 达到良好的粒度级配效果, 设计

陶粒砂粒度筛号采用40/70目, 鉴于原砂细粉含量对砂芯强度的不利影响, 限制砂中140目及以下含量 $\leq 2\%$ 。两种陶粒砂的部分性能检测结果见表3。

制芯采用陶粒砂与再生砂质量比1:1混合, 冷芯盒树脂加入量为单组份各0.8%, 并与相同条件下的宝珠砂工艺进行数据对比, 砂芯抗拉强度见表4, 可知当前树脂加入量下两个企业陶粒砂的强度基本一致, 虽相比宝珠砂稍有降低, 但均满足工艺要求。制芯过程充填性和脱模性良好, 砂芯射砂紧实, 砂芯外观如图1。

表1 烧结陶粒砂和宝珠砂主要性能指标

Table 1 Main performance index of sintered ceramsite sand and Baozhu sand

砂种类	$w_B/\%$				灼减量 /%	堆积密度 /( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )	角形系数	耐火度 /°C	热膨胀率 /%
	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{SiO}_2$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{TiO}_2$					
烧结陶粒砂	$\geq 45$	$\leq 52$	$\leq 4.0$	$\leq 3.0$	$< 0.1$	1.4~1.6	$\leq 1.15$	$> 1750$	0.11~0.15
宝珠砂	$\geq 70$	$\leq 20$	$\leq 3.0$	$\leq 3.5$	$< 0.1$	1.9~2.1	$\leq 1.10$	$> 1790$	0.13左右

表2 陶粒砂成分和耐火度检测对比结果

Table 2 Comparison of composition and fire resistance of sintered ceramsite sand produced by three different companies

编号	陶粒砂生产企业	$\text{Al}_2\text{O}_3$ 含量/%	$\text{Fe}_2\text{O}_3$ 含量/%	耐火度/°C
1 <sup>#</sup>	A	70.30	6.18	1 680
2 <sup>#</sup>	B	54.11	3.88	1 800
3 <sup>#</sup>	C	58.35	1.32	$> 1 800$

表3 陶粒砂部分性能检测对比结果

Table 3 Comparison of partial performance of sintered ceramsite sand produced by two different companies

陶粒砂 生产企业	灼减量 /%	含泥量 /%	各筛号余留量/%								AFS	
			30	40	50	70	100	140	200	底盘		
B	0.05	0		29.1	50.1	18.2	2.4	0.2				39.75
C	0.10	0	0.2	24.7	65.6	9.3	0.2					38.48

此工艺下的铸件落砂后, 挺杆室内腔质量同宝珠砂工艺相当, 无粘砂现象, 存在轻微脉纹, 可在正常细清工序中去除。经半年的小批量验证, 公司内部及客户端均没有出现异常缺陷, 证明了该工艺稳定可靠。此外, 基于陶粒砂和宝珠砂在采购价格和堆积密度方面的差异, 陶粒砂替代宝珠砂的冷芯盒制芯工艺降低制造成本约20%, 给企业带来了可观的经济效益。

## 2.3 陶粒砂特种覆膜砂的开发应用

我公司发动机缸盖铸件的水夹层砂芯普遍采用覆膜砂制芯工艺。随着缸盖内腔结构愈来愈复杂, 对内腔清洁度的要求也愈来愈高, 使用传统硅砂覆膜砂制水夹层芯, 断芯、烧结、粘砂等质量缺陷突出, 归根到底是普通覆膜砂在高温下的强度和膨胀等性能已不能满足复杂薄弱水夹层砂芯的需求。我公司于2009年开展了特种覆膜砂的开发验证工作, 最终定型为含40%宝珠砂的覆膜砂, 并稳定应用<sup>[5]</sup>。应用陶粒砂替代宝珠

表4 冷芯盒砂抗拉强度

Table 4 Tensile strength of cold box sand

砂类型	瞬时抗拉强度/MPa	24 h抗拉强度/MPa
工艺要求	$\geq 1.2$	$\geq 1.8$
宝珠砂+再生砂	1.72	2.45
陶粒砂B+再生砂	1.55	2.37
陶粒砂C+再生砂	1.60	2.23



图1 陶粒砂+再生砂挺杆芯

Fig. 1 Tappet core of sintered ceramsite sand+reclaimed sand

砂的特种覆膜砂开发,在不增加覆膜砂采购成本的基础上,确定了陶粒砂的添加比例为50%,其他常规性能要求与40%宝珠覆膜砂相同。

制芯试验前,对两种特种覆膜砂及普通覆膜砂的各项性能进行了系统检测分析,结果见表5、表6,其中高温性能检测采用JT-SJZ-2型芯砂检测工作站。

结合以上数据,常规性能方面,50%陶粒覆膜砂与40%宝珠覆膜砂基本一致,特种覆膜砂的强度略高于普通覆膜砂,这主要是由于宝珠砂和陶粒砂的粒形优于硅砂,有利于提高覆膜砂强度。1 000 °C高温抗压性能测试是在恒定压力下对标准试样进行施压直至试样压溃,用抗压耐热时间进行表征,检测结果为50%陶粒覆膜砂 > 40%宝珠覆膜砂 > 普通覆膜砂。在高温膨胀性方面,随着测试时间的延长,膨胀率呈现先增长再下降的趋势,不同覆膜砂的最大膨胀率和时间不同,普通覆膜砂在90秒时达到最大值1.3%,40%宝珠覆膜砂在25秒时达到最大值0.63%,50%陶粒覆膜砂在20秒达到最大值0.44%,这组数据表明了特种覆膜砂在高温性能方面具有强力优势,这也是使用特种覆膜砂能够避免

砂芯在高温下因膨胀开裂引起断芯、脉纹等缺陷的有力证据。

在覆膜砂制芯工艺验证中,同一厂家相同工艺下生产的50%陶粒覆膜砂与40%宝珠覆膜砂相比,在流动性、充填性、脱模性等方面均无明显差异,在固化特性方面显示出一个明显的优势,那就是砂芯固化脱壳倾向更小。图3为在相同设备和参数下用两种覆膜砂制备砂芯相同位置的断面,宝珠覆膜砂砂芯存在明显的固化分层现象,而陶粒覆膜砂砂芯几乎没有分层。覆膜砂砂芯固化分层的根本原因是,砂芯固化过程中的底层芯砂沉降,进而与上部固化壳层脱离<sup>[6]</sup>。宝珠砂的密度大,沉降倾向大、速度快,导致宝珠覆膜砂固化分层相对陶粒覆膜砂严重。

50%陶粒覆膜砂经过在多个产品系列中的生产验证,砂芯成形率和利用率高,抗粘砂和抗烧结性与40%宝珠覆膜砂相当,固化分层现象的改善,杜绝了铁液高温下钻入砂芯分层间隙引起夹砂、粘砂或飞翅等缺陷问题的产生。

表5 覆膜砂常规性能检测结果

Table 5 Testing results of conventional performance of three kinds of precoated sand

覆膜砂类型	粒度	常温抗弯强度/MPa	常温抗拉强度/MPa	热拉强度/MPa	发气量/(mL·g <sup>-1</sup> )
普通覆膜砂	50/100	9.9	4.0	2.9	10.0
40%宝珠覆膜砂	50/100	10.2	4.3	3.2	10.0
50%陶粒覆膜砂	50/100	10.4	4.4	3.2	10.1

表6 覆膜砂高温性能检测结果(检测温度1 000 °C)

Table 6 Testing results of high temperature performance of three kinds of precoated sand (test temperature 1 000 °C)

覆膜砂类型	抗压耐热时间/s	最大膨胀率/%
普通覆膜砂	82.7	1.30
40%宝珠覆膜砂	113.3	0.63
50%陶粒覆膜砂	122.0	0.44

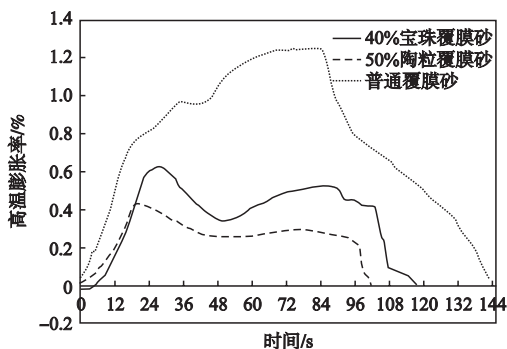


图2 覆膜砂1 000 °C膨胀曲线

Fig. 2 Expansion curves of three kinds of precoated sand at 1 000 °C



图3 覆膜砂砂芯固化情况对比

Fig. 3 Curing comparison of two kinds of precoated sand core

### 3 结论

(1) 铸造烧结陶粒砂具有粒型圆整、密度小、低膨胀等特性,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{TiO}_2$ 等杂质对陶粒砂耐火度有严重的负面影响, 在陶粒砂开发选型时, 除要追求高的 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 含量以外, 还要特别注重 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{TiO}_2$ 等杂质的限量。

(2) 在与再生砂1:1配合使用的冷芯盒制芯工艺应用中, 烧结陶粒砂与宝珠砂在制芯工艺性及防脉纹、防粘砂性方面使用效果相当。

(3) 在特种覆膜砂的开发应用中, 50%陶粒覆膜砂与40%宝珠覆膜砂相比, 高温抗压耐热时间和膨胀性能更优, 砂芯固化脱壳倾向更小, 稳定满足我公司高端产品缸盖水夹层砂芯的制芯工艺及铸件内腔质量需求。

#### 参考文献:

- [1] 连炜, 李宏兴. 碱性酚醛树脂陶粒砂使用性能研究 [J]. 铸造技术, 2016, 37 (8): 1784-1787.
- [2] 韦幸, 马江达, 黄启丁, 等. 铸造烧结陶粒砂在实际生产中的应用 [J]. 装备制造技术, 2019 (2): 146-149.
- [3] 杨小平, 郭永斌, 刘轶, 等. 陶粒砂与硅砂在3D打印砂型中的性能对比研究 [J]. 现代铸铁, 2019 (4): 46-48.
- [4] 孙清洲, 毕相锋, 王晋槐. 金刚烧结陶瓷铸造砂及其应用 [J]. 铸造技术, 2017, 38 (8): 1965-1977.
- [5] 丁富才, 耿国芳, 伍启华, 等. 宝珠砂在防止砂芯断芯中的应用 [J]. 铸造, 2016, 65 (5): 466-469.
- [6] 李远才. 覆膜砂及制型(芯)技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.

---

## Application of Foundry Sintered Ceramsite Sand to Core Making

LI Na<sup>1</sup>, FENG Yue-xue<sup>1</sup>, GAO Yong-ju<sup>1</sup>, LI Fei<sup>2</sup>

(1. Weichai Power Co., Ltd., Weifang 261061, Shandong, China; 2. Weichai Power (Weifang) Casting and Forging Co., Ltd., Weifang 261061, Shandong, China)

#### Abstract:

This paper presents main performance characteristics, composition and fire resistance of the sintered ceramsite sand, as well as main performance index of sintered ceramsite sand and Baozhu sand. The paper also describes the development background and application of foundry sintered ceramsite sand in core making process of cold box and precoated sand.

#### Key words:

sintered ceramsite sand; molten ceramic sand; cold box; precoated sand

---