● 工艺技术 Technology ●
DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2021.01.007

烧结陶粒砂在树脂砂中的应用效果

钟飞升[1,2],张雅丹[1,2],常 成[1,2],张希兴[1,2],李家波[1,2],冀运东[3]
(1.彰武县联信铸造硅砂有限公司,辽宁 阜新 123200;2.彰武联信金莹铸造材料有限公司,辽宁 阜新 123200;3.武汉理工大学 材料科学与工程学院,湖北 武汉 430070)

摘 要:烧结陶粒砂是由耐火粉料、粘接剂、助熔剂等粉料,经过造粒、干燥、筛分、烧结制成。具有耐火度高,球形度高等优点。主要应用于覆膜砂,其他应用较少。结果表明,通过烧结陶粒砂实际应用于三乙胺冷芯盒工艺制芯发现,烧结陶粒砂表面有孔洞,造成冷芯盒强度低。烧结陶粒砂在覆膜砂中应用,具有强度高,膨胀率低的优势。

关键词:烧结陶粒砂;孔隙;强度低;冷芯盒工艺
中图分类号:TG221 **文献标识码**:A **文章编号**:1000-8365(2021)01-0025-04

Application Effect of Sintered Ceramsite Sand in Resin-bonded Sand

ZHONG Feisheng[1,2], ZHANG Yadan[1,2], CHANG Cheng[1,2], ZHANG Xixing[1,2], LI Jiabo[1,2], JI Yundong[3]
(1. Zhangwu Lianxin Foundry Material Co., Ltd., Fuxin 123200, China; 2. School of Materials Science and Engineering, Fuxin 123200, China; 3. School of Materials Science and Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China)

Abstract: Sintered ceramsite sand is obtained by granulation, drying, sieving and sintering of refractory powder, binder, flux and other powder materials. The utility model has the advantages of high refractory degree, high spherical degree and the like. At present, it is mainly used in resin coated sand technology, but less in other resin coated sand technology. In this paper, it is found that there are holes in the surface of sintered ceramsite sand in the triethylamine cold box process, sintered ceramsite sand has the advantages of high strength and low expansion rate when used in coated sand.

Key words: sintered ceramsite sand; porosity; low strength; cold box process

原砂是砂型铸造中最为重要的原材料之一,它的物理化学性能决定着铸件的表面质量和尺寸精度,对铸件内部质量也有较大的影响。传统铸造工艺中硅砂的用量最大。但是,随着对铸件质量要求的不断提高,硅砂本身的缺点变得越来越突出。硅砂耐火度低,在浇注大型铸钢件时会产生严重的粘砂和金属渗透等缺陷,硅砂的热膨胀系数大,容易引起铸件开裂或变形,影响尺寸精度。为此,人们开发了锆砂、铬铁矿砂、镁橄榄石砂等特种砂[1]。但是特种砂的资源少,人工破碎后角型系数差,容易造成砂芯不致密,强度低,砂子复用性差等问题。为了寻求优质的造型材料,国内开发出了适合于铸造的陶粒砂。目前使铸造中常用的陶粒砂分为电熔陶粒砂和烧结陶粒砂。电熔陶粒砂,俗称"宝珠砂"。在电弧炉中加入铝矾土矿石原材料,利用电弧放电产生的高温电弧将铝矾土熔化成液态(温度达到2 000 ℃以上),再以高压空气进行喷吹(空气压力在0.3~0.8 MPa),形成颗粒,筛分得到需要的目数。烧结陶粒砂生产工艺为磨粉→造粒(制球)→筛粉→烧结[2]。目前电熔陶粒砂已经在铸造中得到广泛的应用,国内对电熔陶粒砂在铸造上的应用已经进行广泛的研究,丁富才等人将宝珠砂应用在覆膜砂中,通过优化宝珠砂的配比和制芯工艺,可以达到降低砂芯膨胀,提高砂芯强度的效果,减少了气缸盖砂芯的断芯问题[3]。张昕等人将宝珠砂制成覆膜砂,应用在激光烧结工艺中,获得了质量很好的砂芯,通过优化制芯工艺降低了打印的成本[4]。但是宝珠砂的制造工艺也具有明显的缺陷,如成品率低:由于喷吹工艺控制不好控制,成品适合于铸造的仅占60%~70%,剩余的砂粒度过粗或者过细不适合于铸造。能耗高:采用电弧炉熔炼的方式,需要消耗大量的电能。环境污染严重:喷吹过程中会产生大量的飞絮,导致车间环境恶化。

烧结陶粒砂也是人造砂的一种,因其具有成本优势,产品可设计性强,目前正逐步在铸造中推广应用,烧结陶粒砂在铸造中应用尚处于起步阶段,还没有形成大批量的应用。王琳琳,刘 越,魏长锁等研究

收稿日期:2020-10-19
作者简介:钟飞升(1988-),广西来宾人,本科.主要从事铸造用硅砂表面处理、特种覆膜砂制造、铸造废砂再生工艺方面的工作.电话:13065343977,
E-mail:360058065@qq.com

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

了几种不同的陶粒砂在铸造中的应用情况。并对人造球形砂的发展趋势进行了展望[5]。孙清洲，曾华生，许荣福等人以工业尾矿和固体废弃物为原料制备出适合铸造使用的陶粒砂，应用在覆膜砂和呋喃树脂砂工艺中所生产铸件表面光洁，尺寸精度高，表现出了良好的铸造工艺性[6]。陶粒砂生产工艺流程为：将铝矾土、焦宝石等耐火材料经破碎、配料、球磨制粉、制粒、煅烧、冷却、筛分这一过程得到的烧结陶粒，其煅烧温度范围大概在 1 300~1 750 ℃。

本文取市售的两种烧结陶粒砂应用在覆膜砂、三乙胺冷芯盒树脂砂中制芯检测砂芯性能，并通过与其他常用的砂进行对比，探索陶粒砂在铸造砂型材料中的应用价值。

1 实验材料与方法

1.1 实验材料

电熔陶粒砂、烘干砂、焙烧砂；冷芯盒树脂、三乙胺、热塑性酚醛树脂（SQ1904）；乌洛托品、硬质酸钙：工业级；烧结陶粒砂 1、烧结陶粒砂 2：某公司市售砂。（以铝矾土为主要原料）。各材料主要性能指标与成份见表 1、表 2。

表1 材料主要性能指标
Tab.1 Main properties of materials

材料名称	规格	含泥量（%）	酸耗值 /50g×mL^{-1}	灼减量（%）	热膨胀率 1 000 ℃（%）	真实密度 /×10^3 kg·m^{-3}	堆积密度 /g×mL^{-1}
烧结陶粒砂 1		0.17	2.0	0.05	0.12	2.83	1.73
烧结陶粒砂 2		0.12	1.8	0.08	0.12	2.93	1.76
电熔陶粒砂	50/100	0.05	0.8	0.03	0.10	3.07	1.90
烘干砂		0.25	3.2	0.35	1.34	2.71	1.67
焙烧砂		0.12	1.2	0.15	1.25	2.72	1.66

表2 材料主要化学成份 w（%）
Tab.2 Main chemical composition of materials

材料名称	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3
烧结陶粒砂 1	62.32	35.21	2.52
烧结陶粒砂 2	60.00	38.05	1.21
电熔陶粒砂	69.69	20.99	3.34
烘干砂	/	91.8	/
焙烧砂	/	92.0	/

1.2 实验设备

树脂砂混砂机、WYS 液压万能强度试验机、筛砂机、涡式洗砂机、冷芯制芯机、覆膜砂混砂机。

1.3 性能测试

砂性能检测：根据 GB/T2684-2009 进行，检测含泥量、角型系数、堆积密度。

冷芯强度测试：在 SHY 树脂混砂机中分别加入破碎石英砂、整形石英砂和冷芯盒树脂制备树脂砂，树脂中组分 1 与组分 2 的质量为 50:50，硅砂与树脂的质量比为 100:1.4，然后混砂 3 min。采用苏州三信机器制造有限公司生产的 RLA1 式冷芯制样机将树脂砂制成标准“8”字型试块，采用无锡市三峰仪器设备有限公司的 WYS 液压万能强度试验机测定标准“8”字型试块 0、24 h 的抗拉强度值每次测定以 3 个试块为一组然后求平均值分别记为 σ_{0h} 和 σ_{24h}。

覆膜砂混制与检测：将砂样加热到设定温度，然后加入到覆膜砂混砂机中，再加入设计重量的热塑性酚醛树脂，搅拌 60 s 后加入固化剂水溶液，搅拌 60 s 后，加入钙粉搅拌 20 s，将砂排出设备冷却获得覆膜砂。按标准检测覆膜砂热态强度和常温强度、抗折强度、砂块重量。

2 实验结果与分析

2.1 陶粒砂在覆膜砂中的使用情况

采用相同的覆膜砂配方，树脂加入量占砂重的 2.0%，固化剂加入量占树脂重量的 15%，钙粉加入量占砂重的 0.2%。表 3 为陶粒砂与其他砂在覆膜砂性能比较，通过对比发现烧结陶粒砂应用在覆膜砂中能提高覆膜砂的强度，其中烧结陶粒砂 1 与天然烘干砂相比常温抗拉强度提高有明显的提高

表 3 覆膜砂性能比较
Tab.3 Comparison of properties of coating sand

砂种类	热抗拉 /MPa	常温抗拉 /MPa	热抗弯 /MPa	常温抗弯 /MPa	融点 /℃	发气量 /(mL/g)	膨胀率(%)，1 000 ℃
烘干砂	1.32	3.70	2.9	6.1	94	15.7	1.25
焙烧砂	1.52	4.50	3.7	8.0	96	14.6	1.20
烧结陶粒砂 1	1.62	6.98	4.7	12.2	96	14.5	0.08
烧结陶粒砂 2	1.42	4.00	3.1	7.0	94	14.8	0.09
电熔陶粒砂	1.70	8.00	4.7	13.5	97	14.7	0.05

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

88.65%，与焙烧砂相比常温抗拉强度提高了55.11%，强度提高明显。由于烧结陶粒砂经过高温处理，表面有机物较少，相同条件做的树脂砂发气量明显低于烘干砂和焙烧砂。这种陶粒砂非常适合用于制作要求性能较高的覆膜砂，如汽车发动机的水套，油道等砂芯。而相比而言烧结陶粒砂2，做成覆膜砂后，强度性能略有提升，常温抗拉比烘干砂提高8.1%，抗弯强度比烘干砂强度提高11.5%。这种砂不适合做高强度覆膜砂。针对两种陶粒砂的覆膜砂性能差别，我们对两种陶粒砂进行电镜扫描观察外表面分析。如图1~图6。

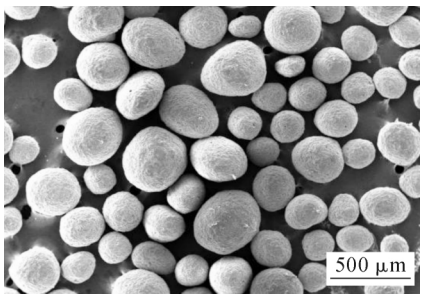

图1 烧结陶粒砂1电镜图
Fig.1 SEM image of sintered ceramsite sand no.1

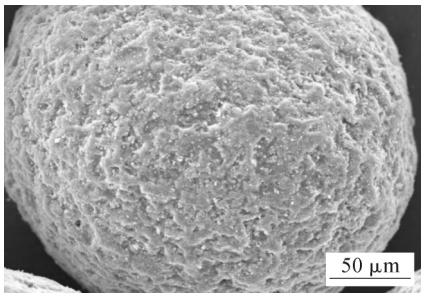

图2 烧结陶粒砂1电镜图
Fig.2 SEM image of sintered ceramsite sand No.1

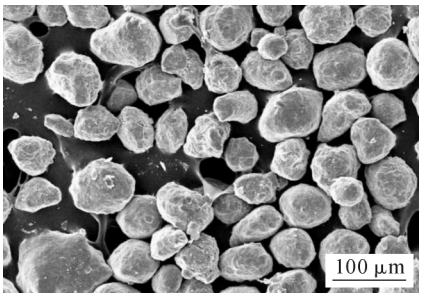

图3 烧结陶粒砂2电镜图
Fig.3 SEM image of sintered ceramsite sand No.2

图1、图2为烧结陶粒砂1的电镜图，图3、图4为烧结陶粒砂2的电镜图，图5、图6为电熔陶粒砂的电镜图，从图中观察陶粒砂1粒型圆整，表面光洁，没有凹坑等缺陷，砂表面液相包裹均匀，因此用于做覆膜砂强度高。烧结陶粒砂2的从电镜下观看，砂的粒型不如烧结陶粒砂1圆整，这是由于在生产的造粒过程中没有控制好，导致成品的角型系数大。

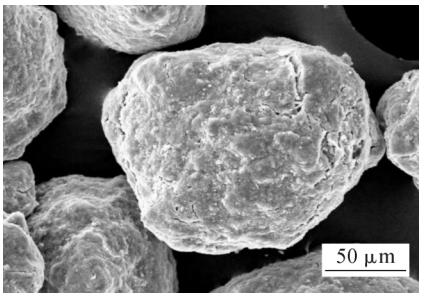

图4 烧结陶粒砂2电镜图
Fig.4 SEM image of sintered ceramsite sand No.2

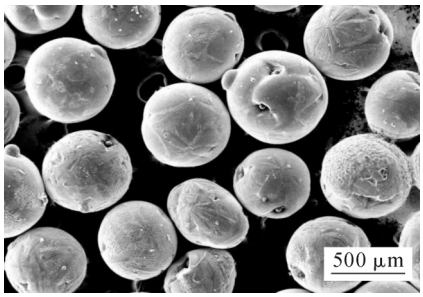

图5 电熔陶粒砂电镜图
Fig.5 SEM image of fused ceramsite sand

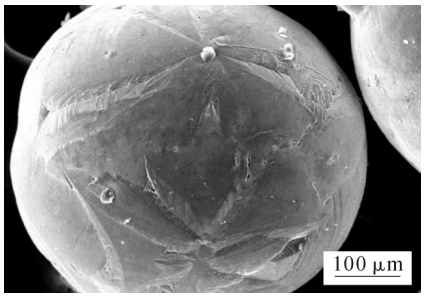

图6 电熔陶粒砂电镜图
Fig.6 SEM image of fused ceramsite sand

同时该砂的表面有较多的凹坑，导致在混覆膜砂时造成树脂浪费，做出的覆膜砂强度不高。对比烧结陶粒和电熔陶粒的电镜图也能看出，电熔陶粒砂由于生产过程中直接把铝矾土融化成液态，经过高温喷吹冷却成型，在表面张力的作用下形成球形度很高的砂，因此球形度较好，表面光滑。用电熔陶粒砂做成的覆膜砂在以上3种砂中强度也是最好的。

从表3数据对比看出，烧结陶粒砂和电熔陶粒砂都具有明显的低膨胀优势，膨胀率仅为硅砂的6.7%。这是由于烧结陶粒原来为铝矾土，经过高温烧结之后形成莫来石晶相。莫来石在1 000 ℃内没有相变过程，不会有体积变化。而石英砂主要是常温下是α石英，在加热过程中发生晶相转变，发生体积膨胀[7]。由于烧结陶粒砂，电熔陶粒砂等特种人造，在生产过程中已经经过高温处理，其表面没有污染物，砂自身的发气量相比天然硅砂要低。

2.2 陶粒砂在冷芯盒工艺中的制芯情况

采用相同的混砂配方测试陶粒砂在冷芯盒工艺

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

上的制芯情况，树脂加入量占砂重的 1.4%，组分 1∶组分 2=50∶50，对比烧结陶粒砂、宝珠砂、硅砂在冷芯盒工艺中的强度，探究其在冷芯盒工艺上的应用价值。将混好树脂的砂在室内放置 1 h 后，再测其强度，以此判断砂的可使用时间长短。

表4 冷芯强度对比/MPa
Tab.4 Comparison of properties of coating sand

砂种类	0 h	24 h	1 h 后 ~0 h	1 h 后 ~24 h
烘干砂	1.30	1.73	1.28	1.68
焙烧砂	1.52	2.12	1.48	2.20
烧结陶粒砂 1	1.40	1.99	1.32	1.85
烧结陶粒砂 2	0.96	1.34	0.85	1.15
电熔陶粒砂	2.34	3.61	2.25	3.52

注：温度：24 ℃，湿度：50%。

从表 4 的强度数据对比可以看出，电熔陶粒砂应用在冷芯盒工艺上时是以上几种砂中强度最高的，一方面是有电熔陶粒砂自身砂表面光滑，树脂利用率高。另一方面是由于电熔陶粒砂的堆积密度大（从表 1 可以看出，电熔陶粒砂堆积密度 1.9×10^3 kg/m^3 而烧结陶粒砂和硅砂的堆积密度为 $1.6\sim1.7\times10^3$ kg/m^3，导致相同按相同的混砂条件混的树脂砂，电熔陶粒砂的树脂膜厚度大，间接提高了强度）。

烧结陶粒砂 1 应用在覆膜砂上时，抗拉强度比焙烧砂高约 55%，然而应在冷芯盒工艺上时，强度却比焙烧砂低。烧结陶粒砂 2 虽然表面质量差，但用在覆膜砂上时，强度还是比烘干砂高出 8%，然而应用在冷芯盒工艺上时，24 h 强度却比烘干砂低 22.5%。说明了覆膜砂和冷芯盒树脂砂对砂要求不一样，是因其树脂的特性决定的，覆膜砂树脂是固态的，通过加热硅砂，用热的砂将树脂剐蹭在砂表面上，树脂的流动性较差，不容易流动到砂的凹坑，缝隙中。而冷芯盒树脂常温下是液态的，液体的树脂流动性较好，在搅拌挤压时很容易挤压到到砂表面的凹坑中，造成树脂的利用率低。特别是一些陶粒砂原材料设计不合理，烧结不够充分时，其表面会有形成连接砂内部的孔洞，在混砂过程中，树脂容易浸入烧结陶粒砂内部，造成砂芯强度低，严重的时候甚至不能成型。电熔陶粒砂从电镜上看，表面光滑致密，不存在树脂渗透的问题，其应用在冷芯盒砂中强度也是最高的。要想烧结陶粒砂在冷芯盒树脂砂中获得较好的强度，通过对原材料的设计，烧结温度的控制，提高砂的表面质量，使陶粒砂表面形成充足的液相，包裹表面减少砂表面的孔隙，提高树脂的利用率。

烧结陶粒砂 2 混完树脂后放 1 h，强度降低 11.5%，24 h 强度降低 14.2%，强度比烘干砂衰退的明显，可以使用时间短于烘干砂。根据以往的研究，导致三乙胺冷芯砂可使用变短的主要原因是硅砂表面的碱性氧化物与树脂反应，导致树脂固化，造成强度低，可通过酸耗值判断砂的碱性强弱。虽然烧结陶粒砂 2 的含泥量、酸耗值均低于烘干砂，但是其可使用时间还是短于烘干砂。这其中造成可使用时间短的原因不是碱性氧化物引起的，我认为是陶粒砂的表面孔隙率导致的，由于烧结陶粒砂表面存在联通内部的孔隙，树脂容易渗透进入砂内部，这种渗透随着时间的延长会不断进行，直到树脂流动性变差，不能渗透为止。

3 结论

通过将烧结陶粒砂应用在覆膜砂和冷芯盒树脂砂中对比制芯情况，可发现烧结陶粒砂适合应用在覆膜砂中能提高覆膜砂的强度，其中烧结陶粒砂 1 与天然烘干砂相比常温抗拉强度提高 88.65%，与焙烧砂相比常温抗拉强度提高了 55.11%，强度提高明显。同时烧结陶粒砂还具有膨胀率低的优势，烧结陶粒砂适合生产一些对强度、耐火度、膨胀率要求高的铸件。

烧结陶粒砂应用在冷芯盒工艺上时，需要提高烧结陶粒砂的表面质量，减少表面孔隙率，否则砂芯强度低，将影响其在冷芯盒树脂中的应用。

参考文献：

[1] 宋会宗，黄乃瑜，周静，等. 人造球形砂的国内外发展概况[J]. 热加工工艺，2000(4)：48.
[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)：147-148.
[3] 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.
[4] 张昕，白培康，李玉新，等. 覆膜宝珠砂激光烧结工艺影响因素的优化研究[J]. 铸造技术，2016，37(2)：282-284.
[5] 王琳琳，刘越，魏长锁，等. 绿色环保人造球形砂在铸造生产中的研究与应用 [C]// 第十三届中国铸造协会年会论文集，北京：2020：113-121.
[6] 孙清洲，曾华生，许荣福，等. CPS 陶粒砂及在铸造生产中的应用 [C]// 第十三届全国铸造年会暨 2016 中国铸造活动周论文集. 北京：2019：1-4.
[7] 罗丹，朱世根. 覆膜砂用原砂的预处理 [J]. 机械设计与制造，2005(6)：156-158.

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net