● 工艺技术 Technology ●
DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2021.04.008

壳型铸钢覆膜砂的研制与应用效果研究

熊 杰[1],韩 跃[1],吴长松[1],姚武李[2],蔡 颖[2],顾小刚[2],吴剑云[3]
(1.重庆长江造型材料(集团)股份有限公司,重庆 400700;2.十堰长江造型材料有限公司,河北 十堰 442000;3,重庆长江造型材料常州有限公司,江苏 常州 213200)

摘 要:自主研制了一种铸钢专用覆膜砂,并对比研究了实际应用效果。结果表明,该铸钢覆膜砂专门用于壳型铸钢工艺,可以裸浇而不需要喷涂,还可以用于壳型铸钢工艺,并减少宝珠砂的使用。采用该铸钢覆膜砂,可以将壳型铸造工艺部分替代熔模铸钢工艺。使用该覆膜砂,不仅具有良好的质量改善效果和显著的经济效益,而且具有良好的环保性。

关键词:铸钢;覆膜砂;取消喷涂;壳型;铸造工艺
中图分类号:TG221 **文献标识码**:A **文章编号**:1000-8365(2021)04-0279-05

Development and Application Effect of Coated Sand for Shell Mold Cast Steel

XIONG jie[1], HAN Yue[1], WU Changsong[1], YAO Wuli[2], CAI Ying[2], GU Xiaogang[2], WU Jianyun[3]
(1. Chongqing Changjiang Molding Materials (Group) Co., Ltd., Chongqing 400700, China; 2. Shiyan Changjiang Moulding Material Co., Ltd., Shiyan 442000, China; 3. Chongqing Changjiang Moulding Material Changzhou Co., Ltd., Changzhou 213200, China)

Abstract: A special novel coated sand for casting steel was developed independently and its application effect was compared and studied. The results show that the cast steel coated sand is specially used for shell mold casting process, which can be cast naked without spraying, and can also be used for shell mold casting process, and can reduce the use of ceramic sand . The shell mold casting process can partially replace the investment casting process by using the coated sand. The use of the coated sand, not only has a good quality improvement effect and remarkable economic benefits, but also has a good environmental protection.

Key words: casting steel; coated sand; cancel the spraying; shell mold; casting process

传统铸钢用的熔模铸造(又称失蜡铸造)工艺,生产流程长(包括压蜡、修蜡、组树、沾浆、熔蜡、浇注、后处理等),生产效率低、工作强度大、污染较大、人工成本高,经济效益差[1]。为提高生产效率、降低生产成本和环境污染,对于部分结构较为简单、表面精度要求不高(表面粗糙度 $Ra \geqslant 6.3\ \mu m$)的铸钢件,采用覆膜砂壳型铸造来取代熔模铸造。覆膜砂壳型铸造优点在于:工序流程短(仅需工艺设计、开模、制芯、组芯、浇注、清理),热芯盒制壳工艺简单,设备和人工投入小,工作强度低,铸件清理难度小,环境污染小,且废砂可回收循环利用,经济效益高。

普通覆膜砂通常采用硅砂为原砂骨料,但天然硅砂的 SiO_2 纯度不够高,降低了覆膜砂耐火度,使得覆膜砂及壳型高温性能不足。如果采用壳型工艺浇注铸钢件,浇注温度一般在 1 560~1 620 ℃,温度较高,普通覆膜砂砂壳或砂芯容易烧结,易造成铸件粘砂或结疤,对铸件的后期清理难度增大,甚至造成铸件报废。

解决铸钢件烧结问题的一种常见方式是在砂壳(芯)易烧结处喷涂一层涂料,避免高温金属液与覆膜砂直接接触,解决烧结问题。然而,喷涂带了一系列问题[2]:喷涂工艺难以控制,不合理的喷涂工艺会给铸件带来其他缺陷,如涂层太薄不能起到防烧结作用,涂层太厚涂料易剥落使铸件夹渣,涂料烘干不彻底使铸件产生气孔、脉纹缺陷等;喷涂有可能使铸件尺寸精度降低;新增喷涂工序使铸造控制点增加,铸造过程管理难度增大;增加了生产工序、涂料的消耗、喷涂及干燥设备的投入、人工成本等使铸造成本增加;涂料制造、喷涂过程和涂料烘干过程都存在环境污染问题。

收稿日期:2021-03-17
作者简介:熊 杰(1964—),四川成都人,高级工程师.主要从事环保造型材料及再生处理方面的工作.
电话:023-68256374,Email:ccrmmoffice@ccrmm.com.cn
通讯作者:吴长松(1962—),山东德州人,硕士,高级工程师.主要从事环保造型材料及再生处理方面的工作.
电话:15823120685,E-mail:wcs@ccrmm.com.cn

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

解决铸钢件烧结问题的另一种常见方式是使用宝珠砂。宝珠砂,又称电熔陶粒,属于铸造特种砂,主要成分是 Al_2O_3,耐火度高(≥1 790 ℃),具有低热导率,热膨胀小的特性。宝珠砂粒形圆整,烧结层颗粒之间为点接触,能有效地降低烧结层的强度,适于各种金属铸件。宝珠砂成本非常高,其应用有着明显的局限。

为了解决壳型铸钢工艺的烧结问题,同时解决喷涂在壳型铸钢上存在的问题及宝珠砂的局限性,重庆长江造型材料(集团)股份有限公司研制了一种壳型铸钢专用覆膜砂(以下简称"长江铸钢砂"),用其制成壳(芯)型,无需喷涂且无需埋箱(裸浇),仅使用粘结剂或夹具固定即可用于浇注铸钢,生产工序减少,生产效率高,所得铸件表面质量可达到宝珠砂铸造水平,达到了减少工序且降低生产成本的目的。

1 长江铸钢砂特点

长江铸钢砂采用优选原材料及添加剂,壳型强度高,耐高温性能好。主要用于壳型裸浇铸钢时不跑火,铸件表面质量高,具有低成本、防粘砂、耐高温、低臭味等特性。

(1)优选原材料　常见的 3 种原砂(石英砂)技术参数如表 1 所示。原砂中 SiO_2 含量较高(>85%),耐火度高,抗烧结能力好;含泥量低,壳型的透气性好,强度高;含水量低,发气小;细粉含量低,可保证砂壳(芯)强度,耐高温时间长;角形系数较小,原砂粒形圆整度好,流动性好,覆膜能力和结壳能力好。根据铸件生产和工艺需求,选择合适技术参数的原砂。

表 1 天然石英砂技术指标
Tab.1 Technical indexes of natural quartz sand

原砂种类	SiO_2 含量(%)	含泥量(%)	含水量(%)(袋装烘干)	细粉含量(%)	角形系数
天然石英水洗砂	85~93	≤0.8	≤0.5	≤3.0	≤1.3
天然石英擦洗砂	90~93	≤0.2	≤0.2	≤0.7	≤1.3
高硅石英砂	≥98	≤0.3	≤0.2	≤0.7	≤1.3

(2)覆膜砂性能良好,壳型性能高　如表 2 所示,长江铸钢砂优于传统铸钢用覆膜砂的性能,热态抗弯强度和常温抗弯强度均高于传统铸钢用覆膜砂,高温膨胀降低,高温性能良好,可满足裸浇要求;灼减和发气量均降低 19%以上,有效降低了铸件气孔、结疤、皱皮等缺陷产生的可能性。

使用长江铸钢砂制壳,壳型强度高,耐高温时间长,高温膨胀小,裸浇时不跑火,如图 1 所示。在生产使用中,长江铸钢覆膜砂壳型可裸浇,减少埋箱工序,降低生产成本,提高生产效率。

表2 传统铸钢用覆膜砂和长江铸钢砂性能参数对比
Tab.2 Comparison of performance parameters between traditional coated sand and Changjiang cast steel sand

覆膜砂种类	传统铸钢用覆膜砂	长江铸钢砂	改变幅度
热态抗弯强度 /MPa	3.36	3.94	提升 17.26%
常温抗弯强度 /MPa	9.43	9.67	提升 2.55%
耐高温时间 /s	83	118	提升 42.17%
高温膨胀率(%)	1.2	0.997	降低 36.92%
熔点 /℃	99	99	不变
灼减(%)	3.65	2.93	降低 19.73%
发气量 /(mL/g)	19.39	15.59	降低 19.60%

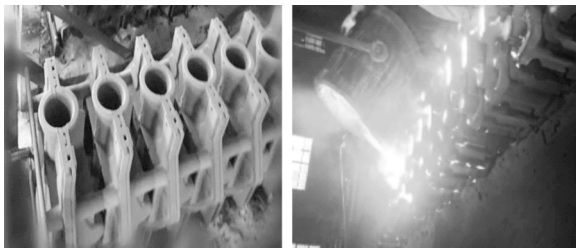

图 1 长江铸钢砂壳型裸浇
Fig.1 Pouring shell mold assemblies made by Changjiang cast steel sand

(3)浇注的铸件表面质量好　长江铸钢砂采用专利添加剂,改善了覆膜砂性能,可有效解决铸件粘砂问题,还可有效减少脉纹、针眼、气孔、烧结、渗碳等问题。未使用添加剂的铸件内腔粘砂问题严重,加入 4.5%添加剂后铸件粘砂问题解决,表面质量提升明显,如图 2 所示。

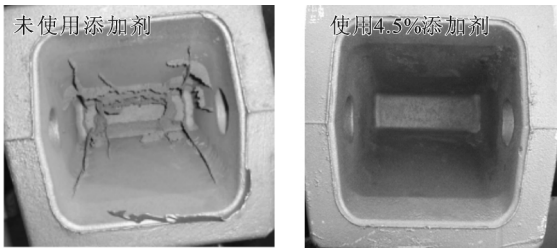

图 2 添加剂加入显著改善铸件表面质量
Fig.2 Adding additive significantly improves casting surface quality

长江铸钢砂在实际应用于铸钢壳型铸造时,浇注所得铸件的表面质量精度可达到宝珠砂铸件同一水平(表面粗糙度 6.3~12.5 μm),如图 3 所示。

(4)低臭味、环境友好　长江铸钢砂属于低臭环保覆膜砂。根据第三方检测表明,长江铸钢砂满足行业标准 JB/T 13039-2017《铸造用低氨覆膜砂》要求。低臭环保覆膜砂应用于铸造的造型和浇注过程中,具有更低的游离氨、游离酚、游离醛排放、浇注烟气排放明显降低的特性、更低膨胀性和更好的高温性能,产品的环境友好性明显优于普通覆膜砂。如表 3

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

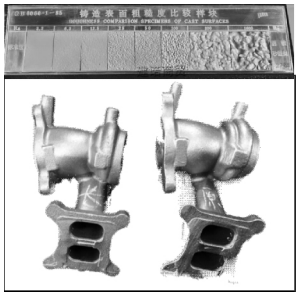

图 3 长江铸钢砂铸件(左)表面质量达到宝珠砂铸件(右)水平

Fig.3 Casting surface quality made by Changjiang cast steel sand (right) equal to the quality level made by ceramic sand shell (right)

表3 长江铸钢砂与普通覆膜砂的发气成分含量对比

Tab.3 Comparison of gas components between Changjiang cast steel sand and common coated sand

覆膜砂种类	发气量 /(mL/g)	游离氨 ($\times10^{-4}$%)	游离酚 ($\times10^{-4}$%)	游离醛 ($\times10^{-4}$%)
普通覆膜砂	19.39	1524	72.85	469.66
长江铸钢砂	15.59	843	51.53	328.76
下降幅度	19.60%	44.68%	29.27%	30.00%

所示，长江铸钢砂发气量较普通覆膜砂降低 3.80 mL/g(降幅 19.60%),且恶臭气体成分(游离氨、游离酚、游离醛)相对普通覆膜砂降低约 30%~45%,降幅显著,有效提升了造型和浇注工作场所的环境质量。

2　应用实例

(1)A 客户:长江铸钢砂壳型工艺取代熔模铸造工艺　A 客户产品材质为碳钢。原工艺为熔模铸造,现采用覆膜砂壳型铸造工艺取代。如表 4 所示,壳型铸造工艺简化了流程,降低了浇注失败率和废品率,环保问题得到明显改善,材料成本降低,具体数据见表 5 和表 6。

表4 熔模铸造与覆膜砂壳型铸造工艺对比

Tab.4 Comparison of investment casting and coated sand shell casting process

工艺	熔模铸造	覆膜砂壳型铸造
工艺流程	打蜡模→组树→制壳→脱蜡→风干→焙烧→浇注→震动脱壳	制壳→合箱→浇注→自然脱落
浇注失败率	跑火 15%	无跑火
废品率	15%	＜5%
环保问题	废水、烟气、废砂排放难度大	微量烟气、废砂可回收
材料成本	高	低

如表 5 所示，采用壳型铸造工艺取代熔模铸造,减少 5 道生产工序,生产周期耗时减少 5~9 天(仅为原来耗时的 10%~30%)，工艺流程简化明显;减员 40 人（28.6%）的情况下，实现了人均产能

表5 A客户产品铸造工艺改进效果对比

Tab.5 Comparison of casting process improvement effect of products of customer A

生产工艺	原熔模铸造	覆膜砂壳型铸造	变化幅度
工序数量	9	4	减少 5 道工序
周期 /d	7~10	1~2	降低 71.4%~90%
人员	140	100	减员 40 人(28.6%)
产能 /(t/ 月)	400	1 000	提升 150%
人均产量 /(t/ 月)	3	10	提升 233%
浇注跑火概率	15%	0	降低 100%
废品率	15%	＜5%	降低 66.7%以上

表 6 A 客户产品使用长江铸钢砂的经济效益

Tab.6 Economic benefits of using Changjiang cast steel sand for products of customer A

成本明细	人工成本 /(元 /t)	壳模成本 /(元 /t)	质量成本 /(元 /t)	动能成本 /(耗电)(元/t)	总计 /(元 /t)
原熔模工艺	1 400	2 359	1 800	312	5 871
覆膜砂壳型工艺	400	1 527	300	240	2 467
成本降低	1 000	832	1 500	72	3 404
成本降幅	71.43%	35.27%	83.33%	23.08%	57.98%

233%的提升和月度产能提升 150%，生产效率提升显著;浇注跑火现象消除且废品率降低 66.7%以上,生产质量稳定性显著提升。

如表 6 所示,工艺变更后,A 客户每吨产品可节省成本 3 404 元,以每月产量 1 000 t 计算,每年可节省成本 4 084.8 万元;成本降低幅度高达 57.98%,降本效果显著。

(2)B 客户:长江铸钢砂不喷涂工艺取代普通覆膜砂喷涂工艺　B 客户的产品是涡轮壳，材质为耐热不锈钢,月产量 1 万件。原有的工艺是普通覆膜砂壳型喷涂工艺,现使用长江铸钢砂不喷涂工艺取代,不改变制壳参数,如表 7 所示。

表7　B客户产品制壳参数

Tab.7 Shell making parameters of customer product B

覆膜砂种类	射砂时间 /s	排气时间 /s	固化时间 /s	射砂压力 /MPa	固化温度 /℃
普通覆膜砂	4	11	240	0.5	235
长江铸钢砂	4	11	240	0.5	235

如表 8 所示，长江铸钢砂工艺比普通覆膜砂工艺,每件砂壳多使用了 20 g 覆膜砂,但减少了涂料和喷涂工序的成本。此外,长江铸钢砂壳型工艺采用

表8　B客户产品的浇注工艺对比

Tab.8 Pouring process comparison of products of customer B

浇注工艺参数	喷涂	浇注方式	砂壳重量 /(kg/ 套)	涂料用量 /(kg/ 套)	喷涂人工	涂料烘干时间 /min
普通覆膜砂	是	埋箱	1.115	0.1	3	60
长江铸钢砂	否	裸浇	1.135	无	无	无

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

裸浇方式,减少了埋箱工序,提高生产效率并降低生产成本。

两种工艺的砂壳,如图 4 所示,浇注结果,如图 5 所示。使用长江铸钢砂不喷涂工艺所得铸件,表面质量可达到普通覆膜砂上涂料工艺所得铸件的水平。

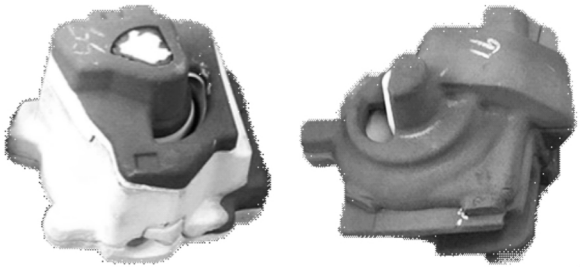

图 4 喷涂涂料的普通覆膜砂砂壳(左)和长江铸钢砂砂壳(右)

Fig.4 Sprayed ordinary coated sand shell (left) and Changjiang cast steel shell without spraying (right)

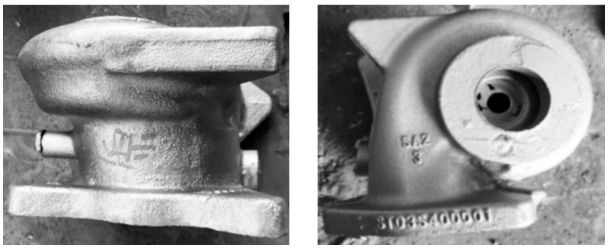

图 5 普通覆膜砂上涂料的铸件(左)和长江铸钢砂无涂料的铸件(右)

Fig.5 Castings made by sprayed ordinary coated sand shell (left) and Changjiang cast steel shell without spraying (right)

表9 B客户产品使用长江铸钢砂取代普通覆膜砂喷涂的经济效益

Tab.9 Economic benefits of using Changjiang cast steel sand instead of ordinary coated sand for products of customer B

工艺 / 成本	壳型成本 /(元 / 件)	喷涂成本 /(元 / 件)	成本合计 /(元 / 件)
普通覆膜砂需要喷涂	1.23	4.59	5.82
长江铸钢砂不需要喷涂	1.82	0	1.82
成本降低	-0.59	4.59	4
成本降幅	-47.97%	100%	68.73%

采用长江铸钢砂壳型工艺取代普通覆膜砂壳型工艺,仅在覆膜砂壳型和喷涂环节,每件产品可节省 4 元,降低幅度高达 68.73%,降本效果显著,如表 9 所示;以每月 1 万件产量计,每年的直接经济效益可达 48 万元。

(3)C 客户:长江铸钢砂壳型工艺取代宝珠砂壳型工艺　C 客户的产品是耐热不锈钢排气管,铸件单重 5.6 kg,原有工艺是宝珠砂壳型工艺,不喷涂、裸浇。使用长江铸钢砂壳型工艺取代原有工艺,浇注工艺不变,仅砂壳重量发生变化,如表 10 所示。

如图 6 和表 10 所示,长江铸钢砂壳型比宝珠砂壳型结构复杂,但重量更小(减重 7.79%),使用长江铸钢砂起到了壳型轻量化的作用。长江铸钢砂铸件表面质量良好,可达到宝珠砂铸件水平,如图 7 所示。

表10 C客户产品的浇注工艺对比

Tab.10 Pouring process comparison of products of customer C

浇注工艺参数	喷涂	浇注方式	壳型重量 /kg	一型件数	浇注温度 /℃
宝珠砂	否	裸浇	14.38	2	1 640
长江铸钢砂	否	裸浇	13.26	2	1 640

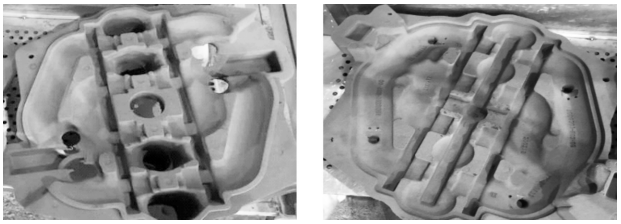

图 6 C 客户产品宝珠砂壳型(左)和长江铸钢砂壳型(右)

Fig.6 For customer C: ceramic sand shell (left) and Changjiang cast steel shell (right)

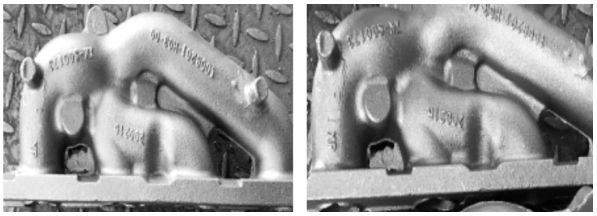

图 7 C 客户产品宝珠砂铸件(左)和长江铸钢砂铸件(右)

Fig.7 For customer C: Casting made by ceramic sand shell (left) and Changjiang cast steel shell (right)

C 客户产品使用长江铸钢砂取代宝珠砂,每月可降低成本 19.52 万元,每年可降低成本 234.24 万元,成本降低幅度高达 75.43%,降本效果显著,如表 11 所示。

表11 C客户产品使用长江铸钢砂取代宝珠砂的经济效益

Tab.11 Economic benefits of using Changjiang cast steel sand instead of Baozhu sand for products of customer C

覆膜砂种类	壳型重量 /(kg/ 件)	覆膜砂单价 /(元 /kg)	单件壳型成本 /(元 / 件)	月产量 /(件 / 月)	月成本投入 /(万元 / 月)
宝珠砂	14.38	6.00	86.28	3 000	25.88
长江铸钢砂	13.26	1.60	21.22	3 000	6.36
成本降低	-	-	-	-	19.52
成本降幅	-	-	-	-	75.43%

3 结论

(1)长江铸钢砂在壳型铸钢工艺应用中使用效果优越,可取代部分熔模铸钢工艺,大幅降本增

(下转第 286 页)

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

纯净度差时，会在冷却凝固时析出杂质，沉积在熔合层时形成熔合层夹杂缺陷。高镍铬无限冷硬球墨铸铁轧辊熔合层夹杂缺陷的夹杂物主要来源是保护渣，以及熔炼过程种加入的脱氧产物和浇注过程中铁液和空气的二次氧化产物，是造成熔合层夹杂的重要原因。

防止熔合不良缺陷的措施：

(1)根据产品尺寸及工艺设计措施，合理加入“O”型玻璃渣。

(2)离心机停机要选择在工作层金属结晶平台温度以下 10~20 ℃。

(3)采用顶注法浇注芯部铁液，温度控制在 1 385~1 410 ℃。

(4)减少离心机停机到芯部铁液浇注的时间间隔。实践证明，ϕ480×900 离心复合铸造高镍铬无限冷硬铸铁轧辊配箱时间控制在 3 min 以内，可以工作层及球墨铸铁芯部得到良好的冶金熔合。

3 结论

ϕ480×900 离心复合铸造高镍铬无限冷硬铸铁轧辊熔合不良的原因有工作层停机时温度、铁液纯净度、离心冷型涂料、“O”型玻璃渣加入量浇注芯部铁液的温度及离心机停机到芯部铁液浇注的时间间隔联合因素等。为了确保 ϕ480×900 离心复合铸造高镍铬无限冷硬铸铁轧辊工作层具有高的硬度、强度、耐热疲劳性能，芯部具有较高的抗拉强度和屈服强度，工作层和芯部冶金熔合良好，无夹杂缺陷，必须按照工艺规程组织生产，保证原材料优质可靠，控制好铁液纯净度、离心铸造过程及好配箱时间，在生产实践中不断优化工艺设计，确保生产出优质的轧辊产品。

参考文献：

[1] 彭展南，杨帅. 钒含量对含铌高镍铬无限冷硬铸铁组织及耐磨性的影响[J]. 金属热处理, 2015, 40(11):6-11.
[2] 陈兴富，董国卿，孙建勋，等. 离心铸造高镍铬复合轧辊中夹杂物分析[J]. 铸造, 2017, 66(11):1213-1215，1219.
[3] 蒋一. 离心铸造高硼高速钢辊环组织及性能研究[D]. 昆明：昆明理工大学, 2013.
[4] 符寒光. 高速钢轧辊制造技术[M]. 北京:冶金工业出版社, 2007.
[5] 杨智强，起华荣，郭红星，等. 高镍铬钼无限冷硬球铁轧辊熔合层夹杂缺陷形成原因及预防 [J]. 铸造技术, 2018, 39(6): 1271-1273.

(上接第 282 页)

效、降低污染。

(2)可取代普通覆膜砂壳型铸钢工艺，无需喷涂且可裸浇，减少工序且显著降低成本，降低污染，提升工作环境质量。

(3)可取代宝珠砂铸钢工艺，壳(芯)型轻量化且显著降低生产成本。

参考文献：

[1] 李荣德，米国发. 铸造工艺学[M]. 北京：机械工业出版社, 2013.
[2] 黄天佑. 铸造手册：造型材料(第 4 卷)(第 3 版)[M]. 北京：机械工业出版社, 2012.
[3] 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.
[4] 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.

技术资料邮购

《铸件均衡凝固技术及应用实例》

本书由西安理工大学魏兵教授编著。共8章：1 铸铁件均衡凝固与有限补缩；2 铸铁件冒口补缩设计及应用；3 压边浇冒口系统；4 浇注系统大孔出流理论与设计；5 铸件均衡凝固工艺；6 铸钢、白口铸铁、铝、铜合金铸件的均衡凝固工艺；7 浇注系统当冒口补缩设计方法；8 铸件填充与补缩工艺定量设计实例。全书320页。

特快专递邮购价：280元。

邮购咨询：李巧凤　　电话/传真：029-83222071　　技术咨询：13609155628

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