

石墨砂在精铸型壳中应用机理探讨

陈建华¹ 阳 鹏² 罗锐祥¹ 翁福君¹

(1. 中山市广重铸轧钢有限公司; 2. 台州量晟精密机械有限公司)

摘 要 利用石墨在高温下氧化的特性,将颗粒状的石墨砂替代耐火砂粒应用到型壳的某一层或某两层,可改变型壳的潜热、热导率、蓄热系数等指标,使浇注的铸件温度场改变,延长金属液的补缩时间和扩大补缩面积;石墨砂氧化后在铸件的界面形成还原性气氛,使铸件表面粗糙度降低,麻点和脱碳层减少;石墨的烧蚀和烧失过程可减少铸件的收缩阻力,形成的空隙有助于解决清砂难的问题。在实际的硅溶胶型壳精密铸造生产中,通过对前板、套筒、双流道泵体等典型铸件制壳时采用的石墨砂工艺,均达到了预期的效果,体现了石墨砂的应用优势。

关键词 石墨; 热交换; 铸件凝固; 压力; 裂纹

中图分类号 TG249.5 **文献标志码** A

DOI:10.15980/j.tzzz.2023.06.024

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Application Mechanism of Graphite Sand in Shell Mold by Investment Casting

Chen Jianhua¹, Yang Peng², Luo Ruixiang¹, Weng Fujun¹

(1.Zhongshan Guangzhong Foundry&Rolling Co., Ltd.; 2.Taizhou Liangsheng Precision Machinery Co., Ltd.)

Abstract: Owing to the characteristics of graphite oxidation at high temperature, granular graphite sand instead of refractory sand was applied to one or two layers of shell mold to change the thermal performance indicators such as latent heat, thermal conductivity, heat storage coefficient, and pouring temperature field, thus extending the feeding time and distance of metal liquid. A reducing atmosphere is formed on the interface of casting after graphite sand oxidization, which improves the surface roughness and reduces oxygen pitting and decarburization layer. The graphite ablation and loss process can reduce the shrinkage resistance of the casting, helping to solve the problem of sand removal. In the actual investment casting production of silica sol shell, graphite sand was adopted during the shell making of typical castings such as slide plate, sleeve, double channel pump body, etc, and the expected effect was achieved, reflecting the advantages of graphite sand.

Key Words: Graphite, Heat Transfer, Casting Solidification, Fracture, Cracks

石墨是一种晶质形碳,为六方晶系,外表呈铁墨色至深灰色^[1]。用天然的晶质块状石墨或人造石墨电极加工的石墨砂,用到精铸型壳的加固层中以相同目数替代原耐火砂的一层或两层,可达到改善精铸件品质,延长浇注系统的补缩时间和距离及扩大面积,提高工艺出品率。

石墨砂对一些金属熔点低或浇注温度不高的铸件,可降低型壳的焙烧时间、降低焙烧温度。天然石墨大约在 750 ℃开始去除有机物及其他挥发物^[1-2];人造石墨出现固-气反应的温度约为 850 ℃,在此温度下石墨开始氧化,可使型壳中的结晶水及早去除。将石墨砂用到第二层型壳,浇注的铜件特别是紫铜件具有非常好的效

收稿日期:2022-11-10;修改稿收到日期:2022-12-20

第一作者简介:陈建华,男,1974 年出生,工程师,广东中山(528429),E-mail:chenjianhua86@163.com

引用格式:陈建华,阳鹏,罗锐祥,等. 石墨砂在精铸型壳中应用机理探讨[J]. 特种铸造及有色合金,2023,43(6):856-859.

CHEN J H, YANG P, LUO R X, et al. Application mechanism of graphite sand in shell mold by investment casting[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2023, 43(6):856-859.

[7] 吴玲,于树洪,赵磊等.A380 合金薄壁壳体压铸工艺研究[J].特种铸造及有色合金,2022,42(5):655-657.
[8] 柯春松,唐杰,庄舰等.八挡自动变速器主壳体压铸工艺优化[J].铸造,2022,71(8):997-1 004.
[9] 刘红娟,刘海.汽车发动机铝合金前盖的压铸工艺优化[J].特种铸造及有色合金,2019,39(12):1 305-1 308.
[10] 李彬.基于 Magma 软件的支架压铸数值模拟及工艺优化[J].特种

铸造及有色合金,2019,39(9):952-955.
[11] 徐秋湘,赵占西.工艺参数对铝合金梯级铸件压铸过程的影响[J].特种铸造及有色合金,2018,38(5):518-521.
[12] 邹如峰,赵占西,徐秋湘.YL102 梯级压铸工艺方案分析及数值模拟[J].信息记录材料,2019,20(3):245-248.

(编辑:张正贺)

果。对薄壁类的小铸件只单纯考虑防止麻点时,也可将石墨砂用于二层型壳中。石墨在高温下氧化发热,应用到型壳中后改变了型壳的热导率、比热容、蓄热系数等,使铸件的温度场和冷却时的温度梯度发生改变,延长或扩展补缩通道和补缩时间,以达到补缩的目的。石墨在高温条件下氧化,将在铸件表面和型腔表面间形成还原性气氛,可防止“麻点”缺陷产生,改善表面粗糙度,同时对脱碳层的缓解有利,也解决了“麻点”缺陷。石墨烧蚀留下的空位可减少铸件的收缩阻力,降低铸件裂纹风险,同时还可减轻清砂的难度。

通过具体的产品来分析石墨砂的应用效果,旨在为类似问题解决提供参考。

1 石墨砂在焙烧温度下的变化

选用 5 支 50 mm×50 mm×510 mm 的浇口棒作

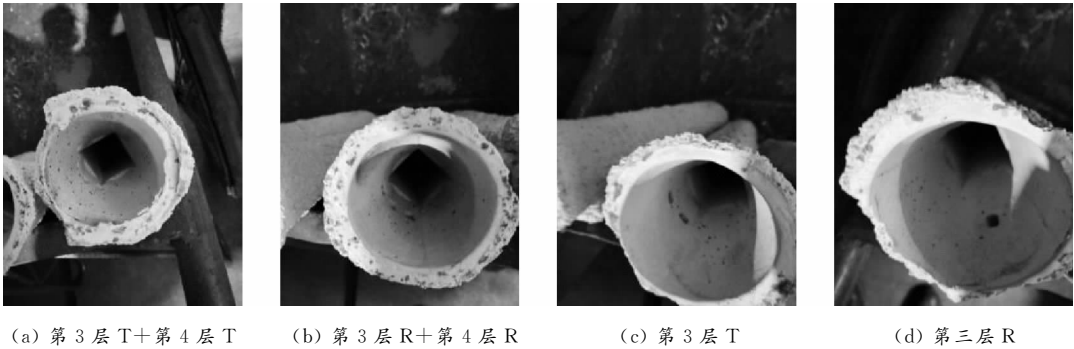


图 1 型壳采用天然石墨和人造石墨分砂别在 3、4 层焙烧后的形貌

Fig.1 Shell morphologies after roasting with natural graphite and artificial graphite in 3th and 4th layers

然石墨出现的黑点要少。分析这些浇口杯表面的黑色润湿痕迹发现型壳焙烧时,石墨灼烧的挥发物渗透到型壳表面的沉积物,而天然石墨中的灼烧减量比人造石墨要高。

型壳重复焙烧时(2 次焙烧或 3 次焙烧),未见明显被烧蚀的孔洞和烧失分层现象,也未见裂纹的扩张和增多,初发的黑点在颜色上没有被加深和扩大,数量上也没有增加。另外可见,型壳的外表面,除浇口杯杯口面和制壳用盖板外的莫来石料的表面有几个黑点外,其他

试验。分别用天然石墨(T)^[3]和普通电极用的加工切削料(人造石墨碎,R),在 4 支浇口棒中分别用筛出的颗粒在第 3 层或第 4 层做 1 层,然后再用 2 种石墨砂交替混做于第 3 层、第 4 层,另 1 支不添加石墨砂的按常规工艺制壳,均为 5 层+封浆,通过脱蜡→焙烧(1 050 ℃×30 min),观测型壳的状态。

图 1 为石墨砂的型壳烧蚀和烧失形貌。可以看出,型壳无明显的烧蚀形成的空隙和分层现象,与不加石墨砂的型壳作比较发现,其型壳致密状况的差别可忽略。

从型壳表面看,在锆英粉面层均有黑点分布,其中天然石墨砂的黑点要比人造石墨砂的多且大,剥落锆英粉面层后再深入到莫来砂层看,其黑点发展痕迹是渐淡且渐小。采用天然石墨砂的型壳,锆英粉面层最大的黑点直径约为 φ3 mm,见图 2。用人造石墨做的型壳黑点相对要小且少,连续做两层人造石墨砂的型壳比一层天

地方均未见黑点,在生产中即使将石墨砂做到靠外的最后一层,也未见石墨的黑点;从浇口杯到直浇道底的方向,黑点渐小且数是变少,约至直浇道 1/4 深度处已完全没有黑点,见图 3 和图 4。

采用石墨砂制壳,在 1 050 ℃下还没有产生氧化分解和质量损失。从图 1~图 4 的黑点痕迹看,黑点在型壳的型腔面而不在具有封浆层的型壳外表面,这是因锆英粉面层和莫来石质浆的封浆层的透气性的差别所致;黑点多少主要与石墨的种类有关,石墨中挥发物含量高

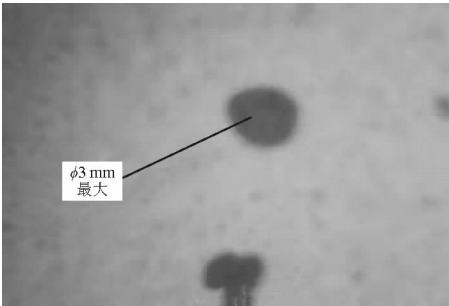


图 2 石墨润湿点形貌

Fig.2 Enlarge view of graphite wetting point

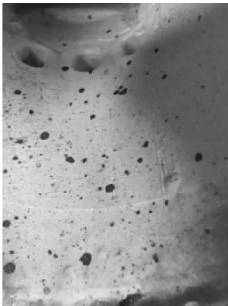


图 3 浇口杯杯口形貌

Fig.3 Pouring cup rim



图 4 直浇棒到缓冲窝底形貌

Fig.4 Pouring rod straight to bottom of buffer socket

即灼烧减量大的则黑点大且数量多。

2 石墨砂的氧化分解

在浇注时当高温钢水进入型壳后,铸件表面和前几层的型壳产生了与石墨砂不同的膨胀,从而在石墨砂周边产生间隙,有利于氧气在石墨砂周边的流动,在 1 500 ℃下,使石墨砂进入到活性氧化期,与热空气反应生成 CO、CO₂ 气体,在铸件外表面与型腔界面间的活性成分再反应,聚集并形成一定的压力作用于铸件的外表面,形成还原性气氛保护铸件不被氧化。

运用石墨砂制备型壳时要注意:①参与制壳各层耐火材料的膨胀系数差别不可太大;②由型壳的结构可分析到型壳是分层结构还是整体结构,使用石墨砂的作用和影响不同,见图 5 和图 6;③石墨的品种很多,其固定碳含量和挥发分等指标相差很大;④形成的还原性气氛和压力需与铸件的外壳厚度和金属的刚度相匹配。

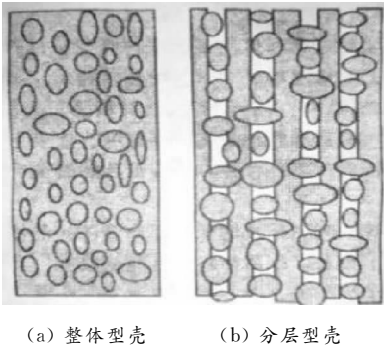


图 5 两种不同结构的型壳



图 6 制作的分层型壳

3 石墨砂的应用案例

在制壳时采用石墨砂,以低碳合金钢为材质,铸件串重为 100 kg 以上的型壳,研究石墨砂对铸件力学性能的影响。

3.1 解决“麻点”问题

图 7 为加入石墨砂制壳后浇注的铸件。板厚为 48 mm,高为 118 mm,长为 555 mm,铸件质量为 65.9 kg,

材质为 1.4317 马氏体钢,其中 $w(C)$ 含量 $\leq 0.06\%$ (质量分数)。为防止加石墨砂增碳,采用盖箱方法处理,但由于铸件的体积大,型壳较厚(约 18 mm),盖箱后的还原性气氛无法渗透到型壳与铸件的界面上,因此,“麻点”较多且最大直径为 5 mm。从厚度和透气率分析,再结合其表面积、壁厚与浇注温度,分别在第 5 层和第 6 层撒人造石墨砂(粒度均为 10~20 目)且连续撒两层,浇注后的铸件表面品质完好无缺陷,其 C 含量同熔炼出炉前检测试样基本一致,见表 1。



图 7 加入石墨砂制壳的铸件

表 1 1.4317 合金标准和铸件表面取样成分

取样位置	1.4317 alloy castings									%
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	
标准	≤ 0.06	≤ 1.00	≤ 1.00	≤ 0.035	≤ 0.025	12.0~13.5	3.5~5.0	0.4~0.6	≤ 0.3	余量
铸件表面	0.017	0.682	0.709	0.030	0.007	12.71	3.82	0.50	0.06	余量

3.2 解决“麻点和气呛”问题

图 8 为套筒零件图。材质为 304 不锈钢,铸件质量为 320 kg。法兰直径为 $\phi 530$ mm,壁厚最薄处为 37.5 mm,浇注系统见图 9。制壳 12 层,厚度约为 28 mm,浇注后铸件有“麻点”。为解决这一问题,曾采用 5 号詹氏杯测量的粘度为 12~15 s 的低浆料粘度撒上 10~20 目莫来砂,目的是用分层结构的型壳来增加型壳的透气性,以达到铸件快冷的目的,但结果不理想。后在第 5 层和第 6 层撒石墨砂,“麻点”问题解决,但出现了“气

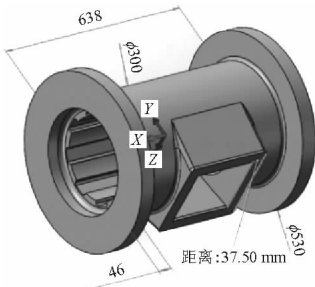


图 8 套筒



图 9 浇注系统

呛”缺陷,见图 10 方框处。经加工后表面存在凹陷,最深约为 2 mm,且铸件表面有深 0.2 mm 的增碳层,后改为在第 6 层和第 7 层间撒石墨砂,型壳温度降到 750~800 ℃,浇注温度为 1 560~1 570 ℃,铸件外观缺陷消失。

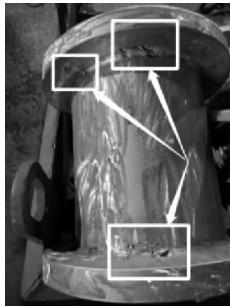


图 10 气呛缺陷
Fig.10 Defect of gas choke

3.3 提高工艺出品率

图 11 为双流道泵三维图及浇注系统。铸件质量为 116.4 kg,进水法兰壁厚为 32 mm,泵底板与法兰的距离为 118 mm。按常规生产既要补缩,又要对进水法兰补缩,因为二者之间的进水管道长,不需要进行独立补缩,否则在支撑筋板以及转角处均会产生缩孔和缩裂。如果将直浇棒穿管设置,则因管道内径小直浇棒无法放大而产生反缩;如绕道又使出品率大大降低。因此在泵底板上设置一个横浇道,制壳时在进水管壁上和泵底板的外壁上,第 4 层和第 5 层间撒两层石墨砂。在其他工艺参数不变的情况下,铸件清理后做探伤没有发现问题。加工后双流道泵在 2.5 MPa 压力下保压 30 min 未渗漏。

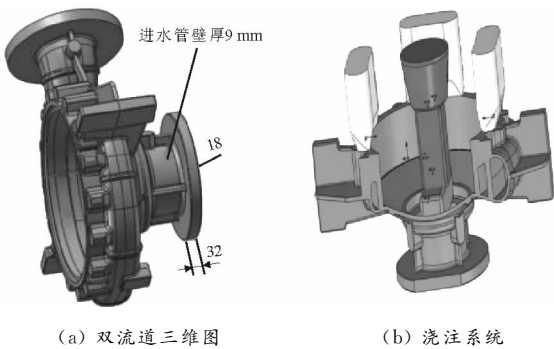


图 11 双流道泵和浇注系统
Fig.11 Double channel pump and gating system

3.4 应用实例

图 12 为加石墨砂浇注的某泵体铸件。材质为双相钢,铸件质量为 144 kg。从图 12 看出,断面结构及隔层痕迹很明显;铸件清理后未见毛刺、铁豆、裂纹、鼓包和夹铁等缺陷,铸件表面更为光洁、细腻。图13为加石墨

砂与未加石墨砂的型壳。可以看出,加石墨砂型壳脱壳后的铸件表面状态完整。

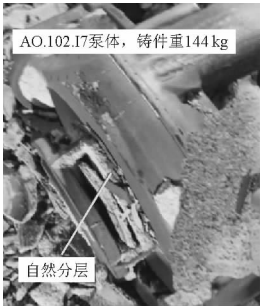


图 12 加石墨砂浇注的某泵体铸件
Fig.12 A pump casting poured with graphite sand

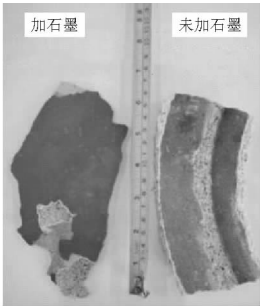


图 13 加石墨砂与未加石墨砂的型壳断面
Fig.13 Shell section with and without graphite sand

4 结 语

石墨砂在硅溶胶型壳中的应用,从氧化烧蚀到烧失的过程看,当焙烧温度接近 1 050 ℃时其挥发物已全部烧失,其晶质石墨开始处于氧化的初级阶段但尚未烧失。当钢水浇注入型壳后,型壳亦处于高温状态,型壳中的石墨砂与其他材料之间出现间隙,使空气与其充分接触而加速氧化,此时将放出还原性气氛,同时这种氧化生成大量的热,使型壳温度升高,最后石墨砂长时间氧化后烧失,致密的型壳内部出现孔隙。因而有利于解决麻点、缩松、缩孔、清砂难等缺陷,而且石墨砂的随型性好,操作便利。

参 考 文 献

[1] 耿浩然、姜青河.实用铸件重力成形技术[M].北京:化学工业出版社,2003.
[2] 阳海清,周泽衡.石墨砂在硅溶胶型壳中的应用[A].第十二届精铸年会论文集[C].南京,2011.
[3] 钱承欣.石墨的类型、性能、选矿和使用[J].选矿,1992(2): 12-13.

(编辑:刘卫)

蔚来 SUV ES6 车身后地板与 C/D 柱采用一体压铸

全新换代的蔚来智能电动全能 SUV——ES6 正式上市。车身性能方面,蔚来汽车全自研智能底盘控制器 ICC,前后悬挂都是 5 连杆,1:1 的前后轴荷比,让驾驶性能得到保证。ES6 车前端采用了双防撞梁的设计,车身后地板与 C/D 柱都采用了最新的一体式压铸技术。

(摘自压铸周刊)