

熔模铸造

熔模铸造400系列不锈钢铸件表面麻点缺陷探索

鞠富, 武志勇, 李翠薇, 郝素斌, 徐贵强
(石家庄盛华企业集团有限公司, 河北石家庄 050800)

摘要: 400系列不锈钢材质在熔模铸造生产中易发生氧化, 导致铸件产生麻点及麻坑缺陷。在制壳过程中加一层石墨砂, 使浇注后钢液与型壳接触面形成还原性气氛, 可防止麻点麻坑的产生, 保证成品率, 提高生产效率。

关键词: 400系列不锈钢; 熔模铸造; 麻点; 麻坑; 石墨砂

中图分类号: TG245 **文献标识码:** B **文章编号:** 1001-4977 (2017) 07-0707-04

Research of Mechanical Pitting Defects on the Surface of 400 Series Stainless Steel Casting by Investment Casting

JU Fu, WU Zhi-yong, LI Cui-wei, HAO Su-bin, XU Gui-qi-ang
(Shijiazhuang Shenghua Group., Ltd., Shijiazhuang 050800, Hebei, China)

Abstract: Mechanical pitting and pockmark defects are often founded on the surface of 400 series stainless steel casting by investment casting because of oxidation. A layer of graphite sand was added during the shell mold making process, which can make the reducing atmosphere between the steel melt and surface of the mold. The above measures can prevent the mechanical pitting and pockmark defects, ensure the yield of the castings, and improve production efficiency

Key words: 400 series stainless steel; investment casting; mechanical pitting; pockmark; graphite sand

熔模铸造中的硅溶胶+莫来石砂工艺由于生产的铸件表面质量较好, 得到广泛应用^[1]。但是在生产一些不锈钢材质时, 铸件表面易出现麻点、麻坑缺陷, 尤其是400系列不锈钢, 其产生麻点麻坑缺陷的倾向非常高。扣桶不及时, 钢料、炉料或型壳材料不纯净都会造成麻点麻坑缺陷。此缺陷修补异常困难, 极易造成废品, 增加生产成本及影响交货期。针对该系列铸件产生的麻点麻坑现象, 进行了以下研究。

1 麻点麻坑缺陷原因及预防措施

我公司生产400系列材质有410、420、430、420F、416、430F、431等。其中以431材质为例, 化学成分(质量分数): $\leq 0.20\% C$, $\leq 1.00\% Si$, $\leq 1.00\% Mn$, $\leq 0.04\% P$, $\leq 0.03\% S$, $15.0\% \sim 17.0\% Cr$, $1.25\% \sim 2.50\% Ni$ 。

麻点、麻坑是该系列材质易产生的缺陷, 麻点缺陷大多呈规则的半球形小坑, 凹坑直径为0.3~0.8 mm, 深0.3~0.5 mm, 麻点在铸件局部呈密集状分布, 见图1。该缺陷虽不影响铸件使用性能, 但无法修整, 严重影响铸件的表面品质, 对铸件表面要求高的铸件易导致铸件成批报废。经光谱分析, 麻点缺陷多为一些金属氧化物^[2]。而对麻坑缺陷, 经光谱分析, 缺

陷处金属中硅含量增加, 而锰含量极少。熔渣的金相分析表明, 熔渣含有硅酸铁、硅酸锰及硅酸钴等化合物。X射线衍射证明黑色麻点是由磁铁矿 Fe_3O_4 和铁铬尖晶石 $FeO \cdot Cr_2O_3$ 组成。



图1 铸件上的麻点缺陷

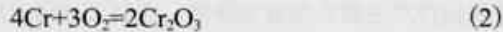
Fig. 1 The mechanical pitting defects on the casting

通过以上分析, 麻点缺陷主要是高温钢液浇入型壳后, 长时间与周围氧化性气氛接触, 金属液中的金属元素(如Cr、Ni、Ti、Mn、Al等)与氧化性气体在高温下反应, 生成金属氧化物; 还有从炉料带入的铁锈, 从而产生麻点。麻坑缺陷主要是型壳材料中的杂质(Fe的氧化性物质)与金属液中的金属氧化物(主要是 Cr_2O_3)反应所致。对缺陷处金属成分和熔渣成分进行分析后认为: 麻坑是金属液中氧化物与型壳材料中氧化物发生化学反应形成的^[3,4]。其来源于型壳材料

收稿日期: 2017-03-16收到初稿, 2017-04-06收到修订稿。

作者简介: 鞠富 (1972-), 男, 满族, 工程师, 主要从事精密铸造工艺及精密铸造材料研究。电话: 15031172438, E-mail: jufu93111@163.com

中的杂质 (Fe_3O_4)，当型壳焙烧时， Fe_3O_4 中的二价铁与型壳中的 SiO_2 反应生成低熔点的硅酸铁 ($\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$) 会以液体状态透过型壳孔隙渗透扩散至面层，与面层金属液中Cr的氧化物反应，生成的高熔点、高粘度的铁铬尖晶石附着在型壳表面，最终导致出现表面麻点和麻坑缺陷。具体反应式为：



通常为避免麻点麻坑产生，铸造厂家多采用以下应对方案^[9]。第一是严格控制炉料纯净度，无锈、干燥无水；第二是浇注后扣箱，为型壳内的钢液制造还原性保护气氛；第三是严格控制型壳材料中的杂质含量；第四是降低浇注温度以及型壳温度，以减少金属元素与氧化气体接触时间，减少氧化倾向（表1）。

表1 麻坑缺陷的产生原因及对策

Table 1 Reasons and countermeasure of mechanical pitting defects

产生原因	对策
炉料不纯有锈、有水	熔炼前烘干钢料并对钢料进行抛丸处理
铸件表面氧化	浇注后立即取少许废蜡屑或其他易燃的碳氢化合物(其量按每kg钢液约1g计)，撒在红热的型壳上令其燃烧，随即将开口朝下的铁皮箱迅速扣在模组上。由于罩内氧气被耗尽，在模组周围造成保护性还原气氛
型壳材料中的杂质含量高	严格限制面层以及背层耐火粉料中的杂质含量
浇注温度或型壳温度高，铸件冷却慢	适当降低浇注温度和型壳温度，加快铸件冷却速度

现实生产中，尽管针对400系列产品进行以上控制，但表面麻点麻坑缺陷还会时有发生。经过反复试验分析，认为产生麻点麻坑的主要原因是：①扣箱不及时，或是扣箱不严，个别树组漏树后无法扣箱，在有氧环境下发生反应，从而导致麻点麻坑的产生；②扣箱产生的还原性气氛阻止不了型壳材料中的氧化性杂质与金属液中金属元素的反应；③降低浇注温度和型壳焙烧温度，减少钢液的凝固时间；浇注温度，型壳温度太低，会形成浇不足冷隔缺陷，因此该方法不能无限地降低浇注温度及型壳温度。

2 型壳面层制备中使用石墨砂

扣箱方法是在浇注后在模组周围制造还原气氛，防止钢液被空气中的氧气二次氧化，但扣箱等解决不了型壳材料中的氧化性杂质对钢液的腐蚀，且控制不稳定，工作环境差，劳动强度高，污染环境。

石墨耐高温，即使在超高温的电弧灼烧下，重量损失也很小；线膨胀系数为 2×10^{-6} ，是电熔刚玉的1/4，锆英石的2/5，因此抗热震性高，温度突变时体积变化也小，故不会因为石墨的加入而使型壳开裂。人造石墨砂在低温下几乎不氧化，400℃以上才开始轻微氧化，当在1000℃以下时氧化生成 CO_2 ，在1000℃以上时氧化生成CO，可对型壳面层的钢液形成很好的还原性保护气氛^[6-7]。而且高纯致密的人造石墨砂在高温缺氧环境下焙烧时，不会因烧蚀而溃退，不影响型壳强度，还能够有效阻止背层材料Fe元素以硅酸铁形式的迁移。在431材质产品制壳时使用石墨砂做一层过渡层代替扣箱操作，为浇注后的模组营造还原气氛，防止空气中的氧气接触到钢液。将石墨砂涂在第三层过渡层目的是，能够阻止背层材料中的氧化性夹杂物的迁

移，其高温下产生的CO也起到阻止钢液中的Cr、Fe等金属元素的二次氧化。

2.1 试验方案及过程

2.1.1 铸件要求

试验产品为户外运动类零件，一种挂钩（图2）。热处理要求：退火+淬火+回火。洛氏硬度HRC 28/36，屈服强度 ≥ 590 MPa，抗拉强度 ≥ 780 MPa。表面要求酸洗后拉丝抛光，再进行抛丸处理镀锌，要通过72 h盐雾试验。



图2 挂钩产品

Fig. 2 Pothook products

2.1.2 试验方案

客户对产品的力学性能、表面粗糙度有严格要求，在生产中一旦出现麻点麻坑缺陷即成废品，产生极大的浪费。

2.1.2.1 组树工艺

图3是挂钩产品结构及组树工艺，采用两枝模头，每个模组12件。

2.1.2.2 制壳工艺

试验采用两种制壳工艺方案，方案1使用石墨砂制壳工艺，方案2为原始制壳工艺。产品制壳层数为5层半，原工艺第三层为30/60目莫来石砂，现采用同样粒度的石墨砂代替莫来石砂，其余层次砂型粒度及层数保持不变，具体粒度及层数见表2，挂石墨砂后的模组见图4，整个型壳表面沾满了黑色的石墨砂粒。试验中所用石墨砂的主要成分见表3。

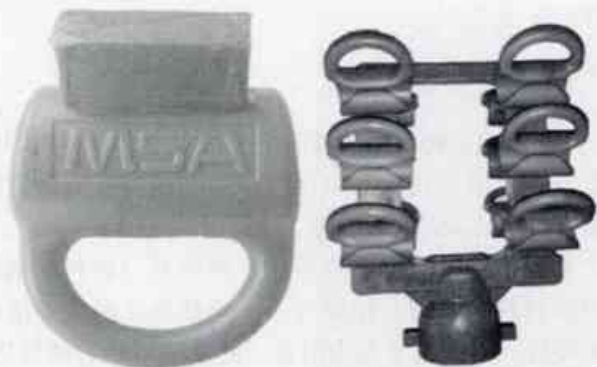


图3 挂钩产品及组树工艺
Fig. 3 The pothook and patterns cluster

表2 制壳方案

Table 2 Scheme of shell making

位置	砂子类型	粒度/目
面层	锆英砂	80/120
二层	莫来砂	30/60
三层	方案1采用石墨砂；方案2采用莫来砂	30/60
四层	莫来砂	16/30
五层	莫来砂	16/30

表3 石墨砂成分

Table 3 Graphite sand composition

			W _w /%
固定碳	挥发分	灰分	硫
99.47	0.21	0.32	0.02



图4 第三层使用石墨砂后的型壳表面状态

Fig. 4 Shell mold's surface condition after using graphite sand as third layer

2.1.2.3 熔炼工艺

制壳方案均严格按以下熔炼工艺要求进行操作。

(1) 首先选用干净无锈蚀经过抛丸处理过的原料，以降低钢液中非金属夹杂物的含量。

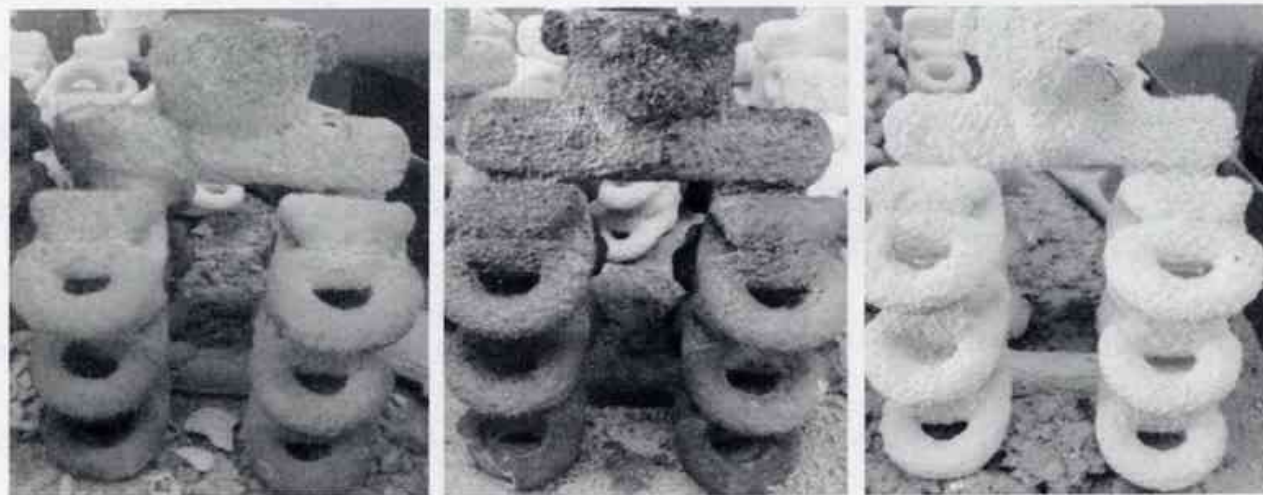
(2) 脱氧剂使用纯硅、硅铁、锰铁、金属锰脱氧，并确保砂床干燥^[8,9]。

(3) 严格控制浇注温度1 630~1 640 ℃，型壳焙烧温度1 050 ℃，快速浇注。

浇注时两种制壳工艺的型壳同炉焙烧，同炉浇注，确保型壳焙烧时间、浇注温度和冷却散热条件一致。其中，方案2采用扣箱冷却，方案1不扣箱，空冷。浇注后的模壳如图5所示。图5a为浇注时扣箱不严（底部火苗冒出），图5b扣箱严实，表面比图5a深，图5c为无扣箱方案，表面呈白色。将其分别进行清砂，观察表面麻坑情况。

2.1.2.4 结果对比

无石墨砂扣箱不严模组，由于扣箱不严，导致箱子内部还原性气氛被破坏，钢液氧化，出现麻点麻坑



(a) 无石墨砂扣箱不严

(b) 无石墨砂扣箱严

(c) 有石墨砂无扣箱

图5 浇注后型壳颜色

Fig. 5 Shell's surface color after pouring

缺陷,见图6。无石墨砂及时扣箱且扣箱严的产品,在箱子内部形成还原性保护气氛,钢液未氧化,表面无麻点麻坑缺陷,见图7。使用石墨砂不扣箱产品,由于石墨砂的存在,外界氧气被拦截在石墨砂外面,钢液未氧化,表面无麻点麻坑,见图8。

后续使用石墨砂工艺生产一批挂钩产品,初检1 650件,无一件麻点麻坑缺陷。生产的416系列材质铸件使用同样方法,表面无麻点麻坑缺陷。由此可见,控制钢液的纯净度,并用石墨砂为钢液营造良好的保护性还原气氛,可有效防止钢液氧化形成麻点麻坑。

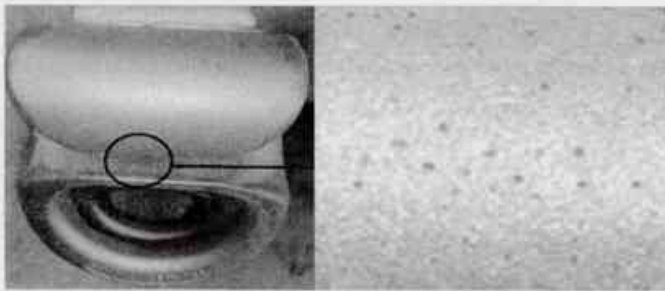


图6 无石墨砂扣箱不严

Fig. 6 Without graphite sand and with loose box

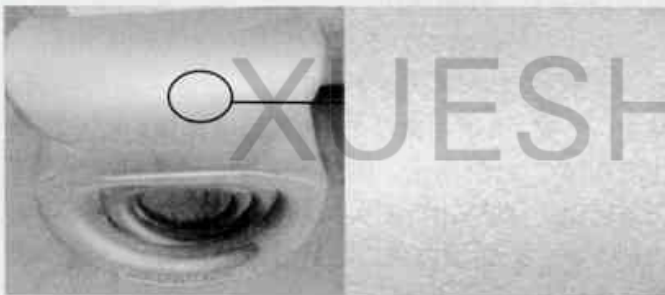


图7 无石墨砂扣箱严

Fig. 7 Without graphite sand and with close box

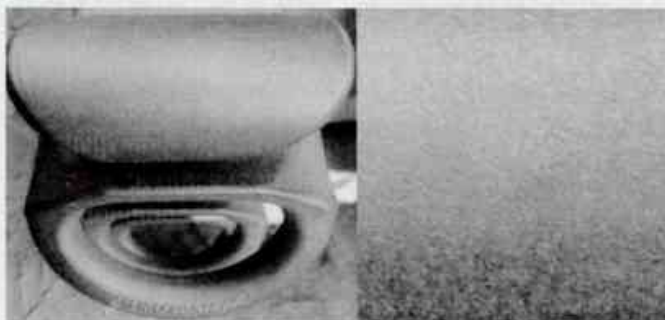


图8 有石墨砂无扣箱

Fig. 8 With graphite sand and without box

2.2 成本分析

使用石墨砂后,熔炼车间无扣桶人工费,无废品

费用,总生产成本为2 510.46元。而第三层使用莫来石砂,制壳成本2 224.26元,熔炼车间扣桶人工费为 $0.4 \times 216 = 86.4$ 元,废品费用为3 600元(在未使用石墨砂时,由于麻坑缺陷产生的废品率为8%,生产1 t铸件约有80 kg麻坑废品,按产品价值为45元/kg计算,废品的费用约3 600元/t),总生产成本为5 910.66元。也就是说,第三层使用石墨砂后,每吨铸件可节约成本3 400.2元。同时减轻工人的劳动强度,改善工作环境,生产顺利进行。

3 结论

(1) 400系列不锈钢材质由于炉料不纯、钢料、面层以及过渡层材料中的氧化物杂质与钢液反应易造成表面麻点麻坑缺陷,增加废品率。

(2) 麻点麻坑缺陷可采用严格原料(炉料、钢料和型砂材料)管理,扣箱方法,降低浇注温度等措施得到缓解。但是由于人为因素,此缺陷不能有效解决,一旦出现就会造成大量废品,产生浪费。

(3) 型壳过渡层使用石墨砂,浇注时为钢液营造还原性气氛,可以防止钢液与型壳材料中氧化物发生反应,进而防止麻点麻坑缺陷的产生。生产一吨铸件可节约3 400.2元,既降低熔炼车间工人劳动强度,改善工作环境,又提高铸件表面质量和合格率,减少废品,值得推广应用。

参考文献:

- [1] 籍君豪. 精密铸造4种制壳工艺特点分析及改进方向探讨[J]. 特种铸造及有色合金, 2006, 26 (7): 441-444.
- [2] 汤彬, 李双寿, 高精秀, 等. 不锈钢熔模铸造缺陷分析及质量控制[J]. 特种铸造及有色合金, 2008, 28 (8): 624-626.
- [3] 陈国栋, 肖柯则, 姜不居. 铸件缺陷和对策手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 1996.
- [4] 陈冰. 精铸型壳“墨点”和铸件“黑皮”分析[J]. 特种铸造及有色合金, 2006, 26 (12): 805-807.
- [5] 陈冰. 熔模铸件缺陷分析及对策[M]. 中国铸造协会精铸分会, 2007.
- [6] 阳海清, 吴旭承, 阳鹏, 等. 石墨砂在硅溶胶型壳中的应用[C]//中国铸造协会精密铸造分会第十二届年会论文集. 2011: 25.
- [7] 黄炳荣, 车顺强, 景宗梁. 熔模精铸麻点和麻坑缺陷的工艺改善实践[J]. 铸造, 2011, 60 (7): 648-651.
- [8] 秦维顺, 赵而团, 张志敏. 熔模铸件表面麻点缺陷成因分析及对策[J]. 铸造设备研究, 2007 (5): 19-20.
- [9] 潘玉洪. 熔模铸件常见麻点缺陷分析[J]. 金属加工: 热加工, 2013 (7): 70-72.

(编辑: 潘继勇, pjy@foundryworld.com)