

# 高镍壳类产品皮下气孔的产生原因及解决措施

李卫忠, 张 伟, 胡自群

(中车戚墅堰机车车辆工艺研究所有限公司, 江苏常州 213000)

**摘要:** 高镍球铁因其优良的耐高温、耐磨损、抗腐蚀以及良好的力学性能而被广泛应用于汽车相关零部件。目前对高镍材质的性能、工艺特点等相关研究较多, 但针对高镍材质壳类产品的生产过程中出现问题的研究较少, 尤其是针状的皮下气孔。皮下气孔形成的原因有很多, 覆膜砂的特性、型腔内铁液温度以及砂芯等均会对皮下气孔的形成有重大影响。本文结合实际开发的某款产品分析了覆膜砂特性对皮下气孔的影响机理; 利用Magma模拟软件研究了型腔内铁液温度对皮下气孔的影响, 提出了提高型腔铁液温度的措施; 并根据实际生产经验总结了砂芯处理方法。

**关键词:** 高镍球铁; 皮下气孔; 覆膜砂; 浇注温度

我公司主要从事汽车零部件相关产品的生产, 包括铸造及机加工。其中高镍壳类产品的铸造方式采用覆膜砂全包壳在东久自动造型线上生产。此种生产方式的优点就是可以实现自动化生产, 铸件的表面质量也能够得到有效保证, 但透气性相对较差, 温降也较大, 这就导致在生产高镍壳类产品时比较容易容易出现气孔类缺陷, 其中皮下气孔出现的比较频繁, 且原因不易查找。针孔状的皮下气孔大多出现在铸件远离浇口位置的低温区, 或者出现在某些薄壁区域。

## 1 背景介绍

我公司生产的某款高镍壳类产品单重2.2 kg, 材质为高镍球铁, 一型六件, 壁厚4.2 mm。铸件采用覆膜砂包壳在东久线上生产, 两处浇道, 其中进气法兰处为主浇道, 流道管壁处为辅助薄片浇道。浇注时间12~14 s, 浇注温度1 480~1 490 ℃。化学成分见表1, 具体工艺见图1。

在浇注后的铸件检查中, 发现铸件表面及加工面上出现较严重的皮下气孔, 废品率达到70%以上, 具体形态及位置如图2。

气孔均出现在凝固温度相对较低的薄壁区域, 在抛丸后即可在铸件表面看到密集的点状气孔, 切开后发现气孔外小内大, 气孔底部光滑, 有些呈现淡蓝色。部分需加工后才显露出来, 但位置均比较固定, 在远离浇道的薄壁低温区, 该类型气孔判定为典型的皮下气孔。

## 2 气孔产生原因分析

皮下气孔属于反应性气孔, 因金属液与铸型界面发生化学反应的气孔, 金属液与铸型(砂芯)发生化学反应的过程是铁液的降温过程, 所以只能停留在铸件的表面。反应性气孔特征是多发生在铸件表面, 离铸件表面1~3 mm处, 出现密布的细小气孔, 热处理和抛丸后能清晰地发现这种缺陷, 通常为针状或蝌蚪状, 因而又叫皮下气孔<sup>[1]</sup>。高镍壳类产品的表面质量要求较高, 主要采用覆膜砂壳型生产, 在铁液质量一致的情况下, 产生皮下气孔主要有三个原因: 一是由于覆膜砂的特性产生, 二是由于铁液温度原因引起, 三是由于砂芯表面残存的水汽或污渍与铁液反应产生。

作者简介:

李卫忠(1985-), 男, 工程师, 本科, 从事铸造工艺及原辅材料研究。电话: 13584576555, E-mail: liweizhong@csrqsyri.com.cn

中图分类号: TG250.6

文献标识码: B

文章编号: 1001-4977(2021)01-0109-04

收稿日期:

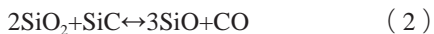
2020-11-09 收到初稿,  
2020-12-09 收到修订稿。

表1 高镍球铁壳类产品的化学成分  
Table 1 Chemical composition of high nickel ductile iron products

C	Si	Mn	P	S	Cu	Mg	Mo	Ni	Cr	$w_B/\%$
1.97	5.22	0.190	0.022	0.005	0.019	0.075	0.128	34.67	1.95	

### 2.1 覆膜砂的原因

由于高镍球铁液流动性较差，需要较高的浇注温度，高温的铁液浇入铸型后，覆膜砂发气速度极快，高温铁液与覆膜砂中添加的硬化剂-乌洛托品 $[(CH_2)_6N_4]$ ，其含氮量40%]反应，产生N、H原子。当铁液冷却开始凝固时，液相中的氮、氢会富集为过饱和状态，此时将以型壁砂粒间的碗形气泡核为气核，氮、氢扩散进去，长大成气泡，成为有喷出口的皮下气孔<sup>[2]</sup>。另外，在 $SiO_2$ 酚醛树脂体系中，在不同的温度下会发生如下反应：



产生的CO气体加剧了表面针孔的产生，最终形成大量气体通过铸型毛细管克服铁液阻力侵入金属液而形成气孔。

### 2.2 铁液温度的原因

铁液温度是高镍球铁铸件产生皮下气孔的另一个重要原因。高镍球铁液的流动性较差，铁液从直浇道、横浇道进入型腔后温度损失也较大，Magma模拟的温度场如图3所示（型腔内的温度分布），开浇温度设置为1500℃，浇注时间10s。由图3可以明显看出，在铸件出现气孔的位置温度明显偏低，模拟显示只有1322.8℃，尤其是远离直浇道的四个件尤为明显，这是产生气孔的重要原因。当铁液温度偏低时，铁液中的气体溢出时间则变短，气体不能溢出铁液，则产生气孔缺陷。

### 2.3 砂芯的原因

当砂芯受潮或长期存放后，砂芯表面可能存在一定的水分，当铁液中的硫化镁与铸型中的水相遇时，则产生硫化氢。



结果是，形成的 $H_2S$ 气体在铸件快速凝固时，来不及上浮，就停留在靠近铸件表面处。皮下气孔也可能由产生的氢气造成的。在经球化处理后的铁液中，会发生如（4）和（5）的反应，产生的 $H_2$ 在铸件表面形成皮下气孔<sup>[3]</sup>。

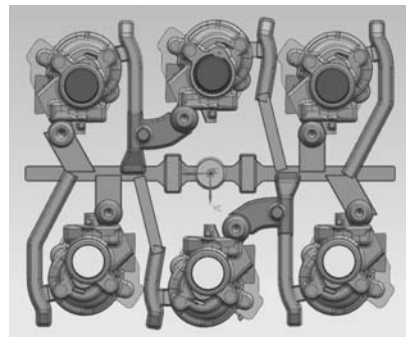
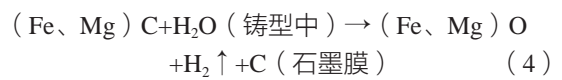
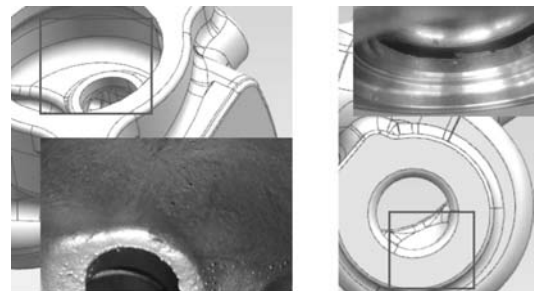


图1 产品工艺图

Fig. 1 Casting process diagram of products

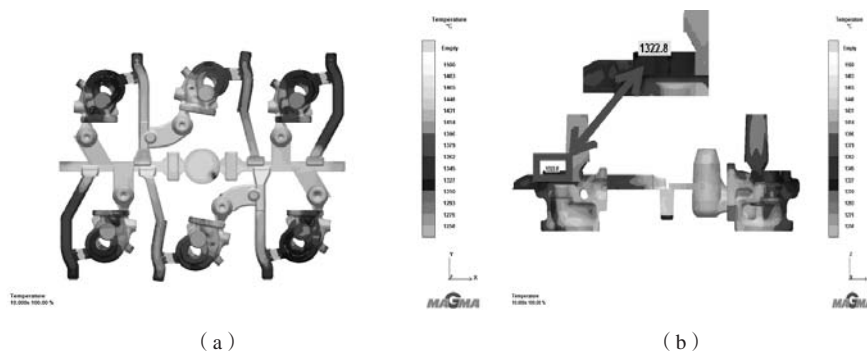


(a) 废气孔旁

(b) 中间体连接面

图2 铸件缺陷图

Fig. 2 Subsurface blowholes in casting



(a)

(b)

图3 充型温度场

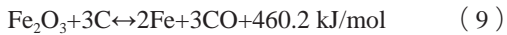
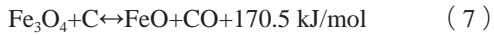
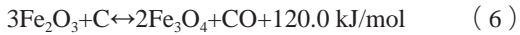
Fig. 3 Temperature field simulation of mold filling



### 3 改善措施

#### 3.1 覆膜砂特性改良

在覆膜砂中添加氧化铁, 则可能发生如下吸热反应:



由反应式可见, 添加氧化铁后吸热反应易于发生, 热屏蔽作用明显增加。由于添加 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 后热屏蔽作用激增, 液态金属与型芯界面上的温度梯度增大, 益于顺序凝固, 促使铸件表层硬皮及早生成, 可有效抑制铸件表面针孔缺陷的产生<sup>[2]</sup>。

#### 3.2 提高型内铁液温度

(1) 提高浇注温度(最高可提高到 $1520\text{ }^\circ\text{C}$ ), 但提高浇注温度是把双刃剑, 提高浇注温度有利于解决皮下气孔, 但也会引起一系列其他问题, 如能耗增加、球化不良等, 所以提高浇注温度需谨慎;

(2) 提高浇注速度, 缩短浇道长度, 减少温降, 使铁液快速进入型腔, 从而实现提高型内铁液温度的目的;

(3) 在铸件的低温区增加保温措施, 可以在低温区设置溢流冒口或溢流块(图4), 将部分前沿的低温铁液排出型腔, 并利用溢流块对低温区域进行保温, 从而实现提高型腔铁液温度的目的。

#### 3.3 砂芯处理

避免砂芯表面潮湿是避免产生皮下气孔的另一个重要措施, 故在砂芯浇注前需对砂芯进行烘烤处理, 并且保持一定的温度。建议烘烤温度 $180\text{ }^\circ\text{C}$ , 烘烤 $1\sim 2\text{ h}$ 。对砂芯进行烘烤不仅可以去除砂芯表面的水汽, 更可以显著降低砂芯浇注时的发气量, 可以降低其他类型气孔缺陷的产生。

## 4 改进生产方案

根据上述分析, 我们制定了新的工艺方案:

(1) 重新选购合格的高镍用覆膜砂, 该覆膜砂添加适量的铁红, 使其具有较低的发气量(发气量 $< 14\text{ ml/g}$ )和合适的强度;

(2) 所有砂芯组芯前进行烘烤处理,  $180\text{ }^\circ\text{C}$ 下烘烤 $2\text{ h}$ , 组芯后再烘烤 $0.5\text{ h}$ , 并尽可能的将部分砂芯芯头掏空, 去除未固化的覆膜砂, 在保证砂芯强度的前提下尽可能降低砂芯的发气量;

(3) 重新设计浇注系统, 新的浇注系统见图5, 采用全开放的浇注方式, 提高浇注速度; 尽量缩短浇道以尽可能的减少温降; 在低温区域增加溢流保温块, 既排出前沿冷铁液又对铸件该位置进行保温; 并适当提高浇注温度, 浇注温度 $1500\sim 1510\text{ }^\circ\text{C}$ 。

针对新的浇注工艺运用Magma模拟分析充型的温度场, 浇注温度仍设定为 $1500\text{ }^\circ\text{C}$ , 浇注时间 $10\text{ s}$ 。模拟结果见图6。结果显示, 充型结束时, 铸件原先的低

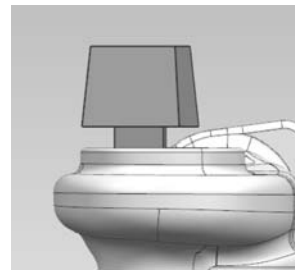


图4 溢流保温块

Fig. 4 Overflow preservation block

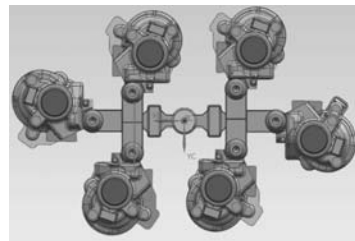
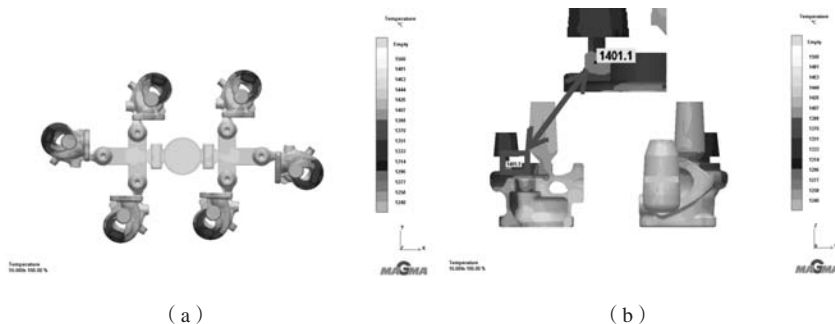


图5 改进的浇注工艺

Fig. 5 The improved casting process



(a)

(b)

图6 改进的浇注工艺充型温度场

Fig. 6 Temperature field simulation of mold filling after casting process improvement

温区的温度明显提升,达到了1 401.1 ℃,这对解决气孔问题将有很大帮助。

## 5 生产验证

采用新措施后再进行生产验证,总计生产三批,每批300件,检查总计发现气孔5件,比例为0.56%,改善效果明显,通过上述三个措施基本解决这类皮下气孔问题。

## 6 结论

高镍壳类产品皮下气孔是较为常见的缺陷,引起的原因较多,解决也比较困难。通过一系列试验及探索,总结了一些行之有效的解决措施:

(1) 覆膜砂的性能对高镍壳类产品的皮下气孔有非常大的影响,覆膜砂中添加适量的铁红对解决皮下气孔有非常显著的作用。

(2) 尽量提高浇注速度,提高型腔内的温度尤其是低温区的温度对解决皮下气孔有明显作用。

(3) 砂芯烘烤是解决高镍壳类产品气孔问题的另一个重要措施,不仅可以降低皮下气孔的产生几率,更可以避免其他类型气孔的产生。

### 参考文献:

- [1] 赵新武. 气孔缺陷的防止措施 [J]. 现代铸铁, 2019 (2): 17-20.
- [2] 游敏. 氧化铁添加物对覆膜砂热裂倾向的影响 [J]. 中国铸机, 1994 (5): 38-41.
- [3] 张伯明. 铸造手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2010 (11): 365.

---

# Causes and Solutions of Subsurface Blowholes in High Nickel Shell Products

LI Wei-zhong, ZHANG Wei, HU Zi-qun  
( CRRC Qishuyan Institute Co., Ltd., Changzhou 213000, Jiangsu, China )

### Abstract:

High nickel ductile iron is widely used in automobile parts because of its excellent high temperature resistance, wear resistance, corrosion resistance and good mechanical properties. At present, there are many researches on the properties and process characteristics of high nickel materials, but few researches are focused on these problems arising in the production process of shell products made of high nickel material, especially needle-like subsurface blowholes. There are many reasons for the formation of subsurface blowholes, such as the characteristics of coated sand, the temperature of molten iron in the mold cavity and sand core, etc. In this study, the influence mechanism of the characteristics of coated sand on the subsurface blowhole was analyzed based on a product developed in practice. The influence of molten iron temperature in the mold cavity on the subsurface blowholes was studied and analyzed by using the Magma simulation software. Then, several measures to increase the temperature of the molten iron in the mold cavity were adopted. According to the actual production experience, the sand core treatment methods are given.

### Key words:

high nickel ductile iron; subsurface blowhole; percoated sand; pouring temperature