

# 质量工具在降低铸钢件气孔缺陷中的应用

严运涛<sup>1</sup>, 白冬冬<sup>2</sup>, 吕昌略<sup>2</sup>

(1. 中车戚墅堰机车车辆工艺研究所有限公司, 江苏常州 213025;

2. 江苏朗锐茂达铸造有限公司, 江苏无锡 214400)

**摘要:** 介绍了G10MnMoV6-3某铸件的产品性能要求, 重点论述了利用因果图分析G10MnMoV6-3铸件气孔, 确定产生的主要原因, 并制定对策表, 采取相应的措施, 验证措施实施后的效果: 特定位置粗加工后出现气孔缺陷的比例由原来的60%减低至10%以内。

**关键词:** 铸钢件; 气孔; G10MnMoV6-3; 因果图

EN 10293—2015 中G10MnMoV6-3材料中含碳量较低, 钢液的流动性不佳, 采用传统的熔炼工艺方法, 容易出现气孔缺陷。所谓因果图, 又叫石川图, 是一种用于分析质量特性(结果)与影响质量特性的因素(原因)之间关系的图, 通过质量特性的因素进行全面系统地分析, 可以找出质量因素与质量特性的因果关系, 最终找出解决问题的办法<sup>[1]</sup>。因果图在质量改进中应用广泛。因此, 本文利用因果图对铸钢件气孔缺陷产生的原因进行分析, 确定主要原因, 并制定对策表, 采取相应的措施, 取得了较好的效果。

## 1 产品性能要求

### 1.1 化学成分和力学性能要求

某铸件结构如图1所示, 轮廓尺寸约为700 mm × 360 mm × 140 mm, 最大壁厚为50 mm。材质为EN 10293—2015 中的G10MnMoV6-3, 其化学成分、力学性能要求如表1、表2所示。

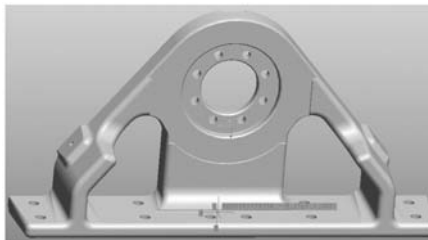


图1 铸件的3D模型

Fig. 1 3D model of the casting

表1 G10MnMoV6-3化学成分要求

Table 1 Chemical composition requirements of the G10MnMoV6-3  $w_B$  /%

C	Si	Mn	P	S	Mo	V	Ni	Cr	Cu
≤0.12	≤0.60	1.20~1.80	≤0.025	≤0.02	0.20~0.40	0.05~0.10	≤0.40	≤0.30	≤0.30

表2 G10MnMoV6-3力学性能要求

Table 2 Mechanical properties requirements of the G10MnMoV6-3

抗拉强度 $R_m$ /MPa	屈服强度 $R_{el}$ /MPa	断后伸长率 $A$ /%	冲击吸收能量 $A_{kv}$ (-20 °C)/J
600~750	≥500	≥18	≥27

作者简介:

严运涛(1982-), 男, 高级工程师, 工程硕士, 主要从事铸造技术、质量工作。

E-mail: yanyuntao2004@163.com

com

中图分类号: TG247

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2023)

06-0742-04

收稿日期:

2022-12-27 收到初稿,

2023-02-14 收到修订稿。

### 1.2 表面质量和内部质量要求

产品全表面需要磁粉探伤，关键部位优于EN 1369 Lm1/Am1~Sm2。加工面关键区域不允许存在目视可见缺陷，其他区域不允许存在直径大于1 mm 的缺陷。

产品粗加工后100%超声波探伤，超声波探伤验收标准：一级区和焊接区，不允许存在超过Φ3 mm当量缺陷的反射波；最终加工区及钻孔区不允许存在超过Φ1.5 mm当量缺陷的反射波。产品需要进行射线探伤，射线探伤合格等级：一级区、焊接区，ASTM E446/E186 2级及优于ASTM E446/E186 2级；其他区域，ASTM E446/E186 3级及优于ASTM E446/E186 3级。

## 2 试制质量问题

试制过程中，采用传统的熔炼工艺——采用硅铁及锰铁预脱氧，出钢时采用铝锭进行沉淀脱氧。铸件在如图2所示的A、B、C位置粗加工后出现气孔缺陷，

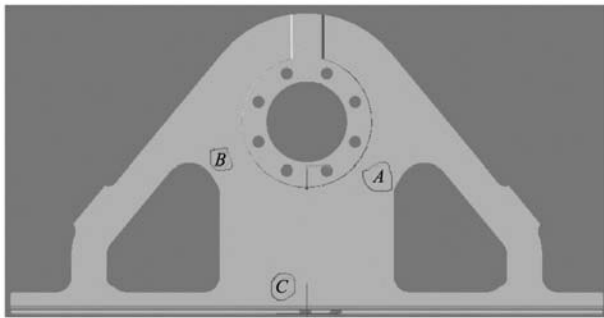


图2 粗加工后气孔缺陷分布图

Fig. 2 Porosity defect distribution after rough machining

个别铸件甚至出现大面积气孔。为了确定导致气孔缺陷的原因，对气孔缺陷严重的铸件，按照《GB/T 223.82—2018 钢铁 氢含量的测定 惰性脉冲熔融热导法》和《ASTM E1019—18 用各种燃烧和熔融技术测定钢、铁、镍和钴合金中碳、硫、氮、氧含量的试验方法》，采用ON 836 氧氮测定仪和EMGA-821 氢测定仪检测铸件本体的氮、氢、氧元素的含量，如表3所示。氮、氧元素的含量明显高于正常值，是造成铸件气孔的重要原因。

表3 气孔严重铸件气体含量

Table 3 Gas contents of the casting with serious blowhole

试样编号	[N]/×10 <sup>6</sup>	[H]/×10 <sup>6</sup>	[O]/×10 <sup>6</sup>
210001	170	48	100

## 3 分析与讨论

针对铸件试制过程中出现的气孔质量问题，笔者所在的公司组织技术工艺、质量、现场操作人员和专家组成多功能团队牵头解决，从人、机、料、法、环、测5M1E讨论G10MnMoV6-3铸件气孔形成原因，结果如图3所示。

在1 873 K、101.3 kPa时，钢中合金元素与氮的溶解度关系如下：

$$[N]=0.044-0.01[C]-0.0025[Mn]-0.003[Si]-0.0043[P]-0.001[S]+0.0069[Cr]+0.013[V]-0.001[Ni]-0.01[Al]+0.1[Ti]+0.0015[Mo]+0.0102[Nb]-0004[Cu]$$

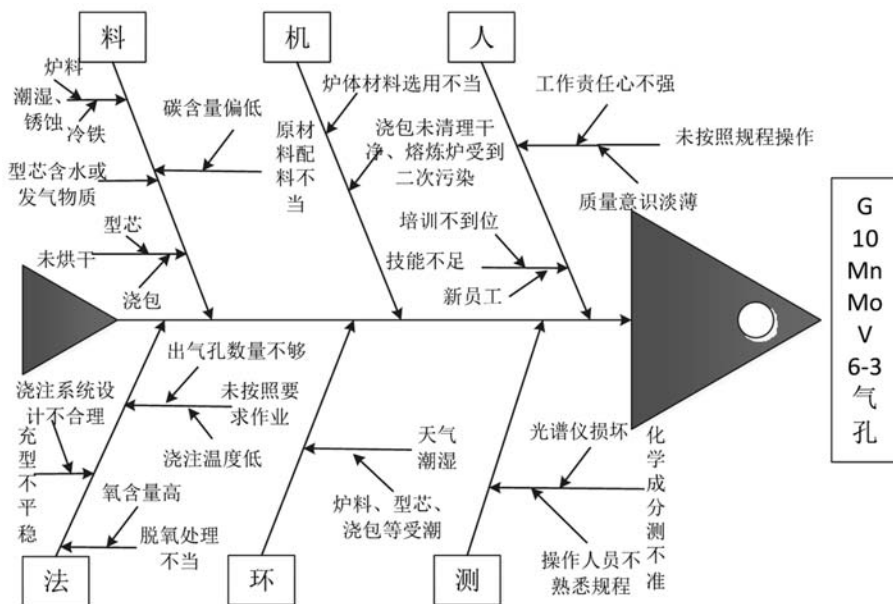


图3 G10MnMoV6-3铸件气孔因果图

Fig. 3 Fish bone diagram of the porosity of the G 10MnMoV6-3 casting

从式中可以看出, [Ti]、[Al]、[C]、[Nb]、[V]对氮的溶解度影响较大, Ti、Al、C、Nb、V元素与氮的亲合力强, 形成氮化物和碳氮化物等。但是[C]的增加有利于氮的溶解度降低。因此, 提高钢中碳元素的含量, 有助于降低氮元素的含量。

结合上述分析, 针对因果图中的17条末端因素, 采用调查分析、试验验证的方式逐一进行验证, 最终确定了3条要因——原材料配料不当导致碳含量偏低、浇注温度低及脱氧处理不当导致氧含量高, 如表4所示。要因确认的过程在此不赘述。

针对确定的3条要因, 多功能小组提出了多种方案, 从可靠性、经济性、可操作性等方面进行分析评价, 最终制定了相应的对策, 如表5所示。

表4 要因确认表

Table 4 The confirmation table of the main causes

序号	末端因素	确认内容	确认方法	确认标准	是否为要因
1	碳含量偏低	碳含量	试验验证	[C]≤0.12%	是
2	浇注温度低	浇注温度	试验验证	(1 580±20)℃	是
3	氧含量高	氧含量	试验验证	[O]≤60×10 <sup>-6</sup>	是

## 4 工艺验证

根据表5中制定的措施实施: 按照碳含量0.12%配料, 采用电解锰替代高碳锰铁调整Mn含量; 浇注温度调整至(1 590±10)℃; 在原有脱氧工艺的基础上增加炉底吹氩, 出钢时随流复合脱氧剂脱氧。质量攻关

表5 要因对策表

Table 5 The countermeasures table of the main causes

序号	要因	现状	对策	目标	措施
1	碳含量偏低	[C]≤0.08%	提高碳含量	0.10% < [C] ≤ 0.12%	按照碳含量0.12%配料, 采用电解锰替代高碳锰铁调整Mn含量
2	浇注温度低	≤1 570℃	适当提高浇注温度	(1 590±10)℃	浇注温度调整至(1 590±10)℃
3	氧含量高	[O]≥100×10 <sup>-6</sup>	降低氧含量	[O]≤60×10 <sup>-6</sup>	在原有脱氧工艺的基础上增加炉底吹氩, 出钢时随流复合脱氧剂脱氧

小组检测10个炉次的碳含量、浇注温度及氧含量, 如图4、5、6所示。

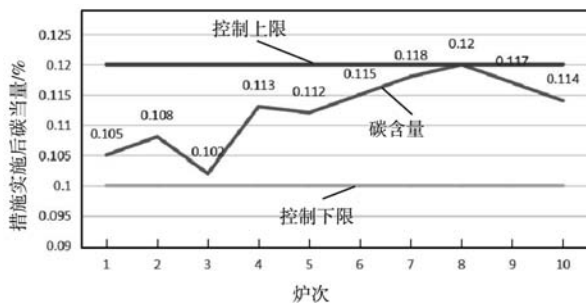


图4 措施实施后10炉碳含量

Fig. 4 Carbon contents of ten furnaces after implementation of the countermeasures

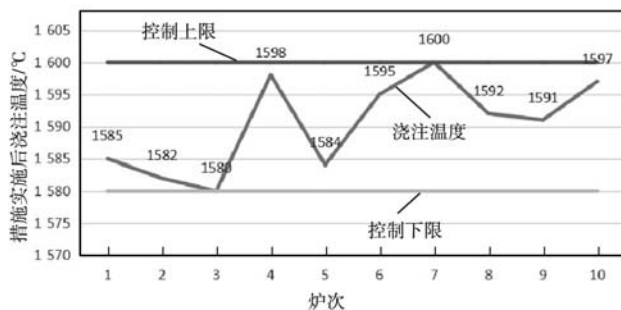


图5 措施实施后10炉浇注温度

Fig. 5 Pouring temperatures of ten furnaces after implementation of the countermeasures

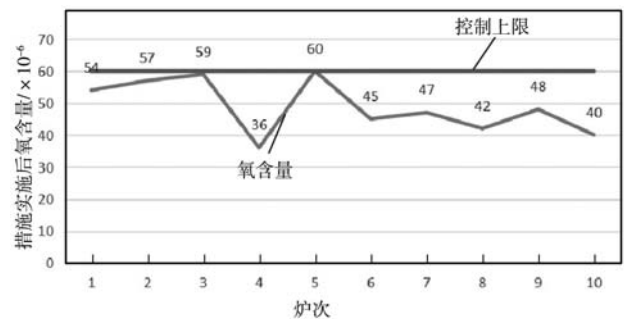


图6 措施实施后10炉氧含量

Fig. 6 Oxygen contents of ten furnaces after implementation of the countermeasures

统计措施实施后的10炉G10MnMoV6-3铸件, A、B、C位置粗加工后出现气孔缺陷的比例由原来的60%减至10%以内, 未出现大面积气孔, 经射线探伤、超声波探伤均合格。

## 5 结论

(1) 对于G10MnMoV6-3铸件, 配料时提高碳含量, 熔炼时增加炉底吹氩, 浇注时提高浇注温度, 随流复合脱氧剂脱氧。采取这些措施, 经验证能显著降低气孔缺陷。

(2) 利用因果图分析G10MnMoV6-3铸件气孔,

确定主要原因，并制定对策表，采取相应的措施，验证措施实施后的效果。质量工具是铸件质量改善的有效方法。

(3) 在后续质量管理过程中，需重视现场数据的

收集与分析，及时发现过程异常，运用质量工具，发挥多功能团队的作用，推动质量问题的改善，提升公司的质量管理水平。

#### 参考文献:

[1] 方志耕, 建军. 质量管理 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2015: 25-26.

---

## Application of Quality Tools in Reducing Blowhole Defect of Steel Casting

YAN Yun-tao<sup>1</sup>, BAI Dong-dong<sup>2</sup>, LÜ Chang-lue<sup>2</sup>

(1. CRRC Qishuyan Institute Co., Ltd., Changzhou 213025, Jiangsu, China; 2. Jiangsu Leadrun Maoda Casting Co., Ltd., Wuxi 214400, Jiangsu, China)

#### Abstract:

This paper introduced the performance requirements of G10MnMoV6-3 casting, discussed the use of fish bone diagram emphatically to analyze blowhole of the G10MnMoV6-3 casting, determined the main causes, formulated the countermeasure table, taken the corresponding measures, verified measures after the implementation of the effect: the rate of blowhole in specific locations after rough machining reduced from 60% to less than 10%.

#### Key words:

steel casting; blowhole; G10MnMoV6-3; cause and effect diagram