

厚壁铸铁件裂隙状气孔的成因分析与解决措施

蔡安克¹, 程俊伟¹, 龚出群², 曹淑芬¹, 杨永录²

(1. 中国一拖集团有限公司工艺材料研究所, 河南洛阳 471004; 2. 一拖(洛阳)铸造有限公司, 河南洛阳 471004)

摘要: 简述了生产中厚壁铸铁件出现孔洞缺陷的特征与条件, 并利用扫描电镜和能谱分析仪分析了缺陷的类型和成因。结果表明, 此缺陷为裂隙状气孔缺陷, 是由于铁液中氮气含量过高所致。并指出减少中氮呋喃树脂的加入量, 冬季生产时提高铸件的浇注温度, 避免使用合金废钢或减少废钢用量, 适当提高炉料中生铁加入量, 采用含锆孕育剂, 是防止或减少铸铁件裂隙状气孔产生的主要措施。

关键词: 铸铁件; 裂隙状气孔; 分析; 措施

中图分类号: TG250.6 **文献标识码:** B **文章编号:** 1001-4977 (2013) 06-0557-04

Reason Analysis and Solving Measures of Crack-Shaped Blowhole in Thick Wall Gray Iron Casting

CAI An-ke¹, CHENG Jun-wei¹, GONG Chu-qun², CAO Shu-fen¹, YANG Yong-lu²

(1. Technology & Materials Research Institute of China Yituo Group Co., Ltd., Luoyang 471004, Henan, China;
2. Yituo Casting Co., Ltd., Luoyang 471004, Henan, China)

Abstract: The producing condition and macroscopic characteristics of blowhole defects in producing thick wall casting were described briefly. The reason for these crack-shaped blowhole defects was analyzed by scanning electron microscope and EDS. The results show that the blowhole defects resulted from excessive nitrogen content in liquid melt. The main measures to prevent or reduce the crack-shaped blowhole were put forward, such as reducing addition of the middle nitrogen content furan resin in sand core, increasing pouring temperature in winter and avoiding use of alloy steel scrap or reducing steel scrap amount, increasing the proportion of pig iron in the melting charges and using zirconium inoculant.

Key words: gray iron casting; crack-shaped blowhole; analysis; measures

在铸造生产中, 为了降低铸件成本和废物排放, 提高铸件的可靠性, 消除铸件缺陷是极其重要的一环。采用扫描电镜和能谱分析仪器能够深入分析缺陷的微观特征和成分组成, 为确定缺陷种类和成因提供了重要的依据。裂隙状气孔是铸铁件上并不常出现的一种典型气孔缺陷, 其宏观特征与铸铁件的内部疏松缺陷非常相似, 因此很容易混淆而难以解决。

1 铸件缺陷的特征与产生条件

生产中出现缺陷的厚壁铸件采用国产静压造型线湿型砂造型, 呋喃树脂自硬砂手工制芯; 10 t/h冷风冲天炉与30 t有芯工频感应电炉双联熔炼生产。铸件重133 kg, 主要壁厚20~50 mm, 铸件材质为HT250。2011年2月某日夜班生产的铸件, 抛丸清理后发现上型高点的厚大部位, 部分铸件有轻微外露孔洞缺陷, 在未加工表面发现6~8个细小的孔洞, 如图1所示。当对

其进行常规加热焊补作业, 在扩孔清创时, 发现内部缺陷很大, 超出铸件允许挽救范围而报废。与此同时, 已经检测合格进行加工的铸件, 在钻孔时, 发现孔内存在严重缺陷, 由于缺陷部位壁厚在50 mm以上, 又处于最高点, 最初曾怀疑是缩孔疏松缺陷。

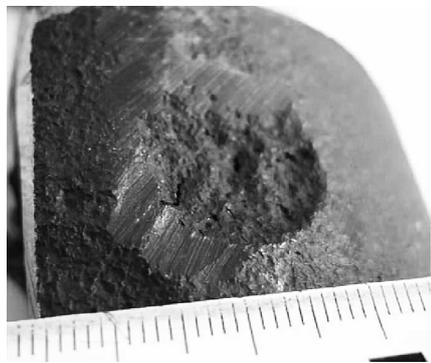


图1 铸件缺陷表面特征

Fig. 1 The macroscopic feature of the casting defect

收稿日期: 2013-02-22收到初稿, 2013-04-10收到修订稿。

作者简介: 蔡安克 (1959-), 男, 博士, 教授级高级工程师, 主要从事机械工艺及材料的开发与研究工作。

通讯作者: 程俊伟, 男, 高级工程师。E-mail: lycjw@ytogroup.com

该铸件当班生产610件,报废81件,废品率13.28%,其中内废65件,加工后废16件,所有报废件的流水号集中在440~580号之间,比例高达57.8%,而此前后没有发现类似缺陷。缺陷不仅出现在厚部、上部、最高处,而且也出现在薄部、下部和低处,不仅与树脂砂接触的前端面有,而且不与树脂砂接触,只与湿型砂接触的表面也有,加工过程中发现的缺陷特征如图2所示,缺陷形貌表现为撕裂状,内壁粗糙。

用机械方法剖开铸件后,断面缺陷分散而数量较多,与外观特征基本一致,但破坏了大部分缺陷的原貌。进一步选定方向锤击断开后,在缺陷的原生断面上发现有大量排列整齐的枝晶乳突存在,如图3所示。

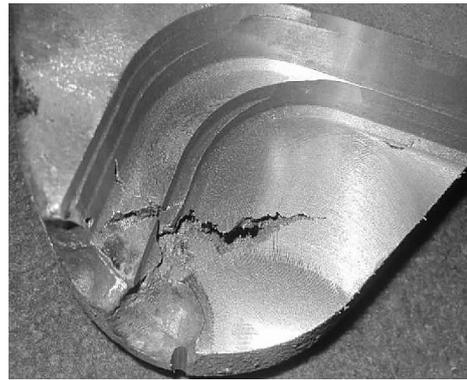
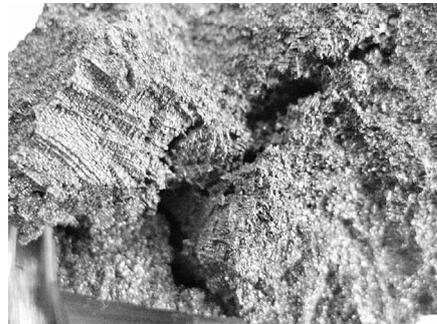


图2 铸件加工后缺陷特征

Fig. 2 The macroscopic feature of the casting defect after machining



(a)



(b)

图3 铸件缺陷的断面特征

Fig. 3 The macroscopic feature of the casting defect section

2 铸件缺陷断面检测与成因分析

2.1 铸件缺陷部位断面组织与成分分析

为了对铸件的缺陷类型进行确认,先对铸件缺陷断面组织进行检测,共检测了两个铸件,结果如表1所示,由表1可见,除了石墨形态有部分B、E型石墨外,没有发现与收缩缺陷有关的其他组织异常情况。

表1 铸件缺陷部位组织

Table 1 The defect position microstructure of castings

铸件	石墨形态	石墨长度	珠光体/%	磷共晶/%	碳化物量/%
1	A+B	3-4级	98	1	<1
2	A+B+E	3-4级	98	1	<1

为了确定缺陷是否是缩松缺陷,先对铸铁缩松有影响的化学成分进行检测分析,缺陷铸件化学成分分析结果如表2所示。化学成分中只有一个硅量偏低,但铁液的碳当量、铬和磷含量都处于工艺控制范围之内,以前生产过程中也多次出现此成分,有时甚至更低,但均未出现此缺陷;此外当天前后成分均如此,为何

表2 铸件化学成分

Table 2 Chemical composition of casting

主要成分	CE	C	Si	Cr	P	N
缺陷铸件1	3.88	3.19	1.82	0.26	0.043	0.0091
缺陷铸件2	3.87	3.21	1.74	0.24	0.052	

仅中间一段出现这种缺陷呢?这说明缺陷与基础成分关系不大,也进一步确定了铸件出现的缺陷不是缩松缺陷,而是裂隙状气孔缺陷。因此又取样对缺陷部位的氮含量进行了检测,其值为 91×10^{-6} 。

2.2 铸件缺陷微观特征分析

为了深入分析铸件缺陷的形成原因,又对铸件的缺陷部位进行了电镜扫描和能谱分析,断面的微观特征如图4所示。整个断面树枝晶排列整齐,有序分布,在枝晶之间覆盖着一层碳膜,没有任何夹杂存在。对缺陷部位枝晶之间的成分进行能谱分析,如图5所示,其中碳膜占69.63%,以及极少量的氧化物。由于含氧量极低,氧化物可能在破开铸件缺陷后,保存和检测过程中与空气接触所致,而非凝固过程中形成。缺陷断面的微观特征与气孔的特征相似,因此缺陷确定为气孔。

就表面特征而言,该种气孔缺陷特征与铸铁件内部缩松非常相似,但不同之处在于缩松缺陷多集中在厚壁等热节部位,数量少而集中,而裂隙状气孔却是大面积出现,相对于缩松缺陷比较分散,不仅分布在厚壁部位,也出现在薄壁部位,数量较多。因此根据该铸件的缺陷断面特征和弥散分布位置,依据对缺陷进行的成分和微观组织分析,确定缺陷为裂隙状气孔。

2.3 缺陷成因分析

综合国内外文献资料,铸铁件裂隙状气孔大致分

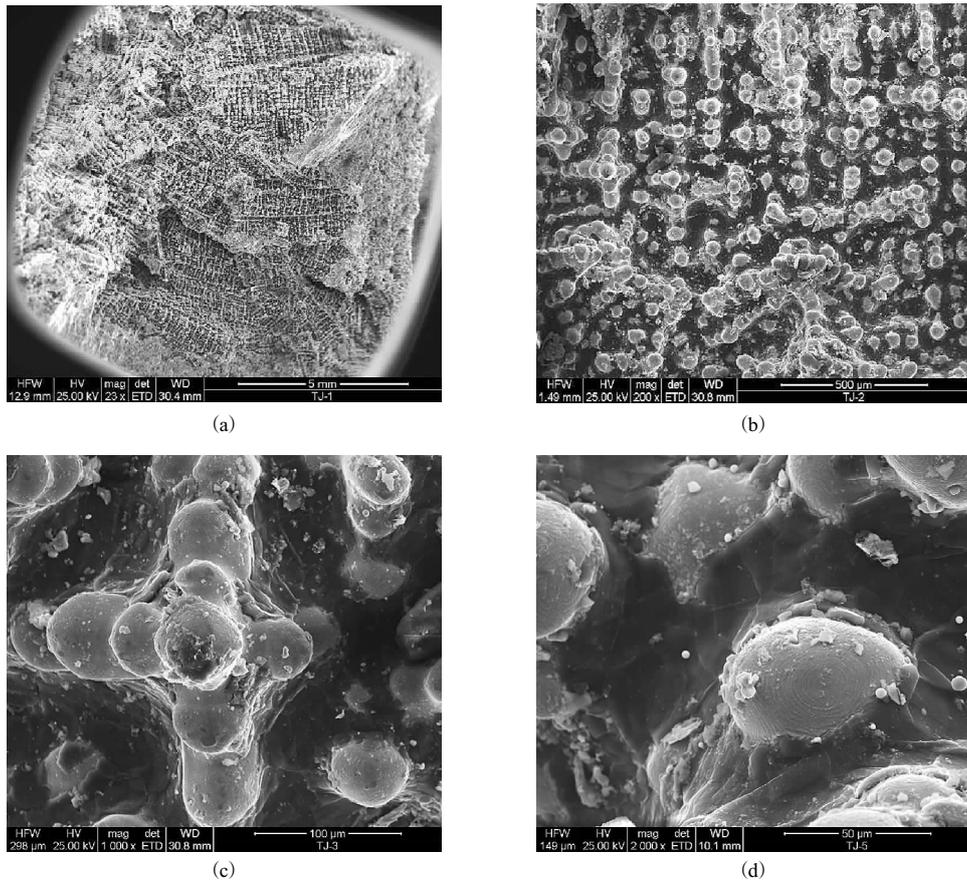


图4 缺陷断面的电镜扫描

Fig. 4 The SEM of the casting defect section

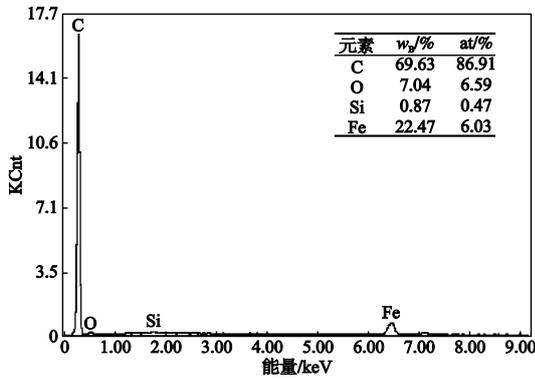


图5 缺陷断面的能谱分析图

Fig. 5 The EDS of the casting defect section

为三种：氮气引起的气孔，氢气引起的气孔，氮氢混合引起的气孔。陈国桢等人在文献资料中^[1]指出：这种裂隙状气孔为氮氢混合皮下气孔。形成原因主要是铁液浇注后，呋喃树脂分解出氨，氨又分解出氮和氢。因此使得铁液-砂芯界面的金属液层溶解的氮和氢急剧增加，金属液层凝固时液相中的氮、氢更为富集而达到过饱和状态。此时砂芯的砂粒间突入金属液的气泡核为气核，金属液中氮、氢扩散进去，长大成气泡，成为开口的、有喷出口的气孔；或凝固时，沿树枝晶体的凹坑，沟槽形成氮或氢气泡，继而长大成为气泡，

成为封闭的皮下气孔。由于气孔由氮、氢混合而形成，因此产生的气孔为氮氢混合气孔。

金仲信在资料[2]中也归纳了国外文献资料对气孔的分类，把这类由氮气或氢气引起的气孔归类为溶解性皮下气孔。在亚共晶铸铁中溶解在树枝状晶间隙的气体而产生裂隙、裂缝状气孔。缺陷内部无氧化，一般也无夹杂物。灰铸铁件薄壁部位含氮量若超过 130×10^{-6} ，厚壁部位含氮量若超过 80×10^{-6} ，则可能产生裂隙状气孔。铁液表面张力下降时会助长缺陷的形成，铁液中氮气、氢气的浓度增高增加了气泡的压力，而最容易形成裂隙状气孔。一汽无锡柴油机厂生产中也检测出有裂隙状气孔缺陷的铸铁件氮含量在 $(80 \sim 125) \times 10^{-6}$ 。

灰铸铁中的氮气主要来源于树脂砂型或砂芯，废钢，增碳剂等材料。随着HT250、HT300等高牌号铸铁件的生产，废钢的大量使用成为必然的趋势，由于废钢中的硫含量低，且钢中的奥氏体相可溶解不少氮，所以在熔化过程中氮含量会不断增加。加上用量不断增加的增碳剂，以及使用的含氮树脂，都不断累加了铁液中氮气的含量，从而引起裂隙状气孔。一般铸铁件中，氮的含量^[3]在 $(40 \sim 70) \times 10^{-6}$ ，日本工学会研究^[4]指出：控制铁液中的氮含量，不使用沥青焦炭增碳剂，严格控制含氮高的炉料，减少或不使用含氮高的造型、

制芯材料,就能控制裂隙状气孔的发生。

缺陷铸件在生产时使用中氮呋喃树脂制芯,含氮量在2%以下。同时采用醇基涂料。该铸件中检测氮含量在 91×10^{-6} ,可以确定缺陷是氮气引起的裂隙状气孔,但为什么同一班生产,废品只在某个时段出现,而其他生产时间没有发现同一类型缺陷呢?该类型气孔缺陷的产生一方面与铁液温度存在直接关系,氮在铁液中扩散速度比较低,随着温度下降,过饱和原子氮以氢气泡或已有气泡为核心析出长大,由于其形成温度低,扩散速度降低,气体分布在奥氏体枝晶之间,呈裂隙状分布。另一方面与铁液中高废钢加入量,砂芯中加入过量树脂或砂芯未烘干,炉前使用增碳剂也有最直接关系,增加的氮气或氢气使原来并不能析出的气泡浓度增加,气泡压力增大,从而形成气孔。

在实验室针对本厂使用的高温石墨化增碳剂进行了大量缺陷复制试验。试验采用湿型砂造型,金属炉料配比与生产现场一致。但试验时炉内加入了0.48%增碳剂,包内加入0.5%增碳剂,出铁后搅拌均匀。结果显示浇注温度在 $1340 \sim 1450$ °C时,并没有出现过裂隙状气孔,但在温度低时会出现渣气孔及未溶解的增碳剂,说明这种合资企业产的高温石墨化增碳剂不是形成气孔的因素。当班生产过程中也没有使用记录。

在大批量制芯过程中,混入的呋喃树脂量基本是在工艺范围之内,但不能排除使用的砂芯可能不在一个班完成,另一班使用的呋喃树脂量有增加的可能,而在下芯过程中使用了这批砂芯。砂芯采用醇基涂料,不存在未烘干现象。

当班生产的铸件,废钢加入量为40%,调整炉料与否,没有明确记录,中间段增加废钢用量或混入奥氏体合金钢,都可能使处于欠饱和的气泡浓度增加,从而形成裂隙状气孔。

2.4 工艺预防措施

(1) 采用中氮呋喃树脂时,保证树脂砂中树脂加入量尽可能低,且保持加入量的一致性,必要时采用低氮呋喃树脂。

(2) 在高强度铸铁中减少废钢的加入量势必会影响强度,在保证30%~40%废钢加入量时,尽可能减少具有奥氏体相的废钢使用,适当提高生铁的加入比例。因为生铁中带入的微量钛能够中和一部分铁液中的自

由氮,形成化合物而不以游离气体析出。

(3) 适当提高铁液的出炉温度。在严寒的冬季凌晨生产时,铁液温度降低速度是非常明显的,氮在铁液中扩散速度比较低,随着温度下降,容易形成更多的气孔。几次裂隙状气孔都出现在11~3月份之间,也说明了这个问题。

(4) 由于锆和氮容易形成化合物,因此采用硅锆孕育剂,能够减少氮气孔的产生概率。但是由于成本原因,硅锆孕育剂很难被大批量推广使用。

生产结果表明:厚壁铸件改用低氮树脂制芯,同时改进芯砂质量,降低树脂加入量,保证较高的浇注温度等措施实施后一年多时间没有出现类似的缺陷。另一种壁厚相对较薄、重量较大的铸件使用呋喃树脂砂芯,由于一直没有出现裂隙状气孔,而继续使用中氮呋喃树脂。随着熔炼电炉的使用,增碳剂使用量增大,尤其是价格较低,质量一般的增碳剂的大量使用,使一直不出现裂隙状气孔的铸件也出现了裂隙状气孔缺陷,进一步说明了中氮呋喃树脂、质量低下的增碳剂等综合因素会使铸件产生此类气孔。

3 结束语

针对厚壁铸件出现的孔洞缺陷,根据缺陷断面特征和弥散分布位置,确定缺陷为裂隙状气孔,其主要原因是铁液中氮气、氢气析出较多造成的。分析结果和生产实践均说明,在使用呋喃树脂制芯时,尽可能采用低氮树脂,选用优质的高温石墨化增碳剂,提高生铁加入量,减少奥氏体相废钢加入量,冬季生产时,适当提高铸件的浇注温度等措施,能够减少裂隙状气孔出现的概率。

参考文献:

- [1] 陈国桢,肖柯则,姜不居.铸件缺陷和对策[M].北京:机械工业出版社,2007:120-124.
- [2] 金仲信.用SEM/EDS观察和分析铸铁件皮下气孔[J].现代铸铁,2012(6):79-81.
- [3] 金仲信.灰铸铁件裂隙状氮气孔及其防止[J].铸造,2001(6):357-359.
- [4] 日本工学会.铸造缺陷及其对策[M].北京:机械工业出版社,2008:65-67.

(编辑:刘冬梅,ldm@foundryworld.com)

(选自《铸造》2013年第6期)