

覆膜砂铸件气孔问题的成因与防治

巩建强, 曹 峤

(江苏万恒铸业有限公司, 江苏盐城 224000)

摘要: 分析了覆膜砂造型工艺生产阀门类铸件气孔的各种成因, 并提出相应的防治对策。从原材料、工艺设计和生产过程三方面分析了铸件气孔缺陷的成因。具体包括: 覆膜砂的发气量和发气速度; 铸造工艺设计及模具设计; 制型(芯)、涂料、烘烤、合型、熔解、浇注等。在产品之初, 应考虑气孔缺陷产生的所有因素并加以预防, 可以有效降低铸件气孔的产生, 提高铸件质量, 缩短试制周期并降低生产成本。

关键词: 覆膜砂; 铸件; 气孔; 排气道; 烘烤

覆膜砂性能优良, 砂型(芯)成形性好, 轮廓清晰, 覆膜砂壳型生产的铸件尺寸精度高, 表面质量好。覆膜砂砂型一般是只有数十毫米的壳型, 浇注时树脂粘结剂能完全燃烧, 故其游离苯酚的排放与其他树脂砂系统相比最少, 随着国家对环保问题的日益重视, 覆膜砂铸造工艺也越来越受到重视^[1]。

随着化学、材料工业的发展和机械装备制造业的进步, 覆膜砂及其制型(芯)工艺、设备取得了快速的发展, 因覆膜砂粘结剂为树脂, 且固化剂中含氮, 浇注过程中, 壳型(芯)在金属液的作用下, 树脂、固化剂等挥发、分解、燃烧, 使得气孔成为覆膜砂铸件最常见的铸造缺陷。我司有一条生产阀门类覆膜砂铸件的自动化生产线, 技术人员在解决生产过程因各种成因使铸件产生气孔的过程中积累了大量宝贵的技术经验。依据实际生产经验, 现从覆膜砂性能、工艺设计、模具设计、制型(芯)、涂料、烘烤、合型、熔解、浇注等各环节分析铸件产生气孔的可能成因, 并提出相应防治措施。

1 覆膜砂性能引起铸件气孔的成因与防治

覆膜砂壳型(芯)在浇注过程中受到钢液的热作用及化学作用, 树脂及其他发气物挥发、分解、燃烧产生大量气体, 故其发气量的大小直接影响铸件是否产生气孔缺陷。覆膜砂铸件产生的气孔一般为侵入性及反应性气孔, 其中侵入性气孔较为常见, 而反应性气孔不常见, 以下就两种气孔类型形成原理、气孔形貌及位置作以说明。

1.1 侵入性气孔的形成原理及气孔形貌与位置

在浇注过程中, 壳型(芯)在金属液的热作用及化学作用下, 树脂及其他发气物挥发、分解、燃烧而形成壳型(芯)与金属液界面靠壳型(芯)侧的气体背压; 当此背压超过一定值后, 如果界面金属尚未凝固成壳, 则分子态的气体就会侵入金属液, 使铸件形成侵入性气孔。侵入性气孔的特征基本相同, 形状为圆球形、团球形, 有时呈梨形, 梨形气孔小端所指的方向就是气流方向, 即外部气孔源的所在位置; 气孔孔壁表面光滑, 且尺寸较大, 一般为内部气孔, 常位于铸件浇注时的上型中, 有时会在铸件表面形成表面气孔, 或在表皮下形成皮下气孔, 且大多数情况下是单个的或聚集的尺寸较大的气孔^[2]。

作者简介:

巩建强(1994-), 男, 铸造工程师, 主要从事阀门铸钢件开发和设计工作。

E-mail: m13959637147@163.com

中图分类号: TG245

文献标识码: B

文章编号: 1001-4977(2021)01-0090-04

收稿日期:

2020-06-01 收到初稿,
2020-07-16 收到修订稿。

1.2 反应性气孔的形成原理及气孔形貌与位置

当前覆膜砂普遍使用的固化剂为乌洛托品，别称六亚甲基四胺，化学式为 $C_6H_{12}N_4$ 。在浇注过程中，乌洛托品受热易分解成 NH_3 、CN等，由于 NH_3 化学性质极为活泼，受热易分解成活性的[N]、[H]原子，部分[N]、[H]原子在高温液态金属的作用下通过吸附、溶解、扩散，被钢液所吸收，钢液温度越高，氮的溶解度就越大，扩散的深度越深。随着钢液温度的降低，氮在钢液中的溶解度也降低，如果钢液中所含的氮与吸收的氮之和超过了氮在固态金属中的溶解度，就会以分子态析出，并以微小的氧化质点气膜、微小缩孔和壳型（芯）表面微孔气膜生成气泡核，形成圆形气泡，气泡在脱落和迁徙过程中来不及逸出，停留在钢液内，就会在铸件表皮下形成皮下气孔或针孔，气孔或单个或多个聚集在一起，呈圆形或接近圆形^[3]。

反应性气孔缺陷是由覆膜砂中的固化剂乌洛托品引起，反应性气孔的解决方法是降低乌洛托品的加入量，反应性气孔一般出现得较少，我们主要防治由覆膜砂发气量大引起的铸件侵入性气孔，主要从以下方面改善：

（1）使用高强度覆膜砂。高强度覆膜砂是通过添加相关添加剂制成的，在覆膜砂强度相同时，其树脂加入量比一般覆膜砂少，相应发气量会减少。

（2）使用低发气覆膜砂。低发气覆膜砂由特殊工艺配方制作，具有发气速度慢的特性；在金属浇注完成后，表面最先凝固一层硬壳（凝固肤层），待壳形成并具有一定的强度后，壳型才开始发气，则该气体不会进入到金属内部而形成气孔，发气速度慢这一特性能有效防治铸件气孔。

我司主要使用的覆膜砂为耐高温高强度低发气低膨胀覆膜砂，并依据标准JB/T 8583—2008要求覆膜砂厂家对其必测项目进行检测，也会对每批进厂的覆膜砂进行抽测，其测量项目及及要求如表1。覆膜砂性能满足表1要求时，基本能满足常规阀门铸件质量要求。

2 设计不合理引起铸件气孔的成因与防治

2.1 铸造工艺设计方面

在设计铸造工艺时，优质、合理的排气系统是非常关键。由于工艺设计不合理导致铸件产生气孔的主要成因是壳型（芯）排气不畅，即型腔中的气体及浇注过程中壳型（芯）产生的气体很难或根本无法排出到外界，当型腔中的气体压力可以穿透铸件凝固肤层时，就会形成侵入性气孔缺陷。

壳型（芯）排气不畅产生气孔的主要原因是：①铸造工艺方案设计中没有明冒口而仅使用暗冒口；②

在钢液流动末端或铸件局部高点无排气设计。如上设计时无法将型腔中的气体及壳型（芯）产生的气体排出到外界，使铸件形成气孔缺陷。

表1 覆膜砂检测项目及标准值

Table 1 Test items and standard values of resin coated sand

热态抗弯 强度/MPa	常温抗弯 强度/MPa	灼烧 减量/%	熔点 /°C	SiO ₂ 含量 /%	发气量 /(mL·g ⁻¹)
2.6~3.6	4.0~5.0	<4.0	97~107	>94	<25

针对以上不合理的工艺设计，防治方法：在一个浇冒口系统里，至少设计一个明冒口，可以让型腔中的气体及浇注过程壳型（芯）产生的气体通过此明冒口更好地排出。需要注意的是此明冒口位置最好位于钢液流动末端或铸件的最高点，才能达到最佳的排气效果；当工艺设计因零件结构、钢液利用率等的考量而无法设计明冒口时，必须要设计合理的排气系统，可以将型腔及壳型（芯）中产生的气体顺利排出。

作者在设计覆膜砂工艺设计时，除了设计至少一个明冒口外，还会在钢液流动末端及铸件局部高点会设计一圆锥形透气锥，如图1，此透气锥尖端壳型厚度在2~2.5 mm，如此设计，气体可以聚集在此透气锥内，即使形成气孔缺陷，缺陷也是在透气锥内，而不会影响到铸件本体；且透气锥尖端壳模厚度薄，气体也更容易排出。在实际制型时，有些透气锥尖端不能完整成形，会形成一个与外界大气相通的孔洞，当此孔洞直径小于3 mm时，在浇注过程中，因其位于钢液流动末端及高点，钢液流动压力小且透气锥处钢液温度较低，故钢液不会从此孔洞中溢出，但型腔中的气体及浇注过程中壳型（芯）产生的气体可以很容易的从此孔洞中排出，能有效解决因排气不畅而造起的气孔缺陷。

2.2 模具设计方面

模具的设计直接影响壳型的质量，由模具设计导致铸件气孔的原因主要有以下两方面：

①壳型厚度不均。当壳型厚度不均时，在制型（芯）过程中，壳型薄的位置已完全固化，而较厚位置的壳型未完全固化（未熟透）。而未完全固化的生砂在浇注过程中遇到钢液受热发气，其发气量远远大于完全固化的熟砂，从而导致铸件产生气孔缺陷；②砂芯未做排气设计。砂芯的排气能力对铸件气孔有很大的影响，砂芯产生的气体容易排出时，铸件产生气孔的机率很小，反之亦然。

针对模具设计不合理导致铸件气孔的防治方式：

（1）壳型厚度的一致性。模具设计时，尽量使整个壳型的厚度一致，以保证生产的壳型在同样的制型参数下，各个位置的砂能够完全固化（即不夹带生砂，也不发生过熟），从而减少壳型的发气，降低铸件发生气孔缺陷的概率。

(2) 砂芯应尽量做成中空结构。当砂芯因结构、尺寸等无法做成中空结构时, 可将生产的砂芯用电钻钻通, 如此即可增加砂芯的排气效果, 亦能减少砂芯的发气量。

(3) 排气道的设计。针对砂芯的排气, 尤为重要的是要在砂型芯头位置保留排气通道, 使合型后砂芯中的气体能沿着排气通道向外排出。在设计阀门类砂芯时, 当砂芯是三抽芯时, 因机台不满足生产条件, 会要求模具厂将砂芯设计成组合模, 以保证生产的砂芯都为中空壳型; 设计砂芯芯头排气通道为“V”形, 如图2, 如此设计对气体的排放无影响, 但可以防止浇注过程发生穿芯缺陷时钢液从砂芯排气通道流出, 从而保证生产安全。

(4) 壳型的公母配合。模具设计时, 应注意壳型的公母配合, 下型打胶位置为下凹, 上型为凸出, 如图3, 如此可防止壳型粘结(胶合)剂进入型腔, 壳型粘结剂一般为树脂类, 如进入型腔, 浇注过程中遇到钢液, 粘结剂燃烧发气, 造成铸件气孔缺陷。

3 各生产过程引起铸件气孔的成因与防治

3.1 制型(芯)

制型(芯)环节引起铸件气孔的主要成因是生产的壳型夹带有未完全固化的生砂, 未完全固化的生砂在浇注过程中遇到钢液受热产生大量的气体, 其发气量远远大于完全固化的熟砂, 使铸件产生气孔缺陷。

其防治方法是调整制型(芯)参数, 使生产的壳型(芯)完全固化, 壳型没有夹带未固化的生砂。每一个新产品试制时, 都需制定出最佳的制型(芯)参数, 要求制型人员使用不同的工艺参数打制壳型, 对试制的壳型做破坏检测, 检测壳型的固化程度, 直至确定出最佳制壳参数。另外, 对于工艺上无法做出中空的实芯砂芯, 都会要求将实芯砂芯钻出一个排气通道, 如此既可使砂芯产生的气体通过排气通道排除, 也可减少砂芯的发气量, 可以解决因砂芯排气不畅导致的铸件气孔。

3.2 施涂、壳型的烘烤及合型

为提高覆膜砂铸件的表面质量, 有需求时会在壳型(芯)表面施涂涂料, 因壳型(芯)表面疏水性强, 覆膜砂用涂料一般为润湿性强的水基涂料, 壳型(芯)施涂后, 如渗透进壳型(芯)内的水分不能去除, 或是因涂料堆积而在浇注前堆积的涂料没有完全干燥, 则会在浇注过程中产生大量的气体, 致使铸件产生气孔缺陷。施涂时, 有时涂料会堆积在砂芯芯头“V”形排气通道或合型时将壳型粘结(胶合)剂打在

“V”形排气通道上而堵塞砂芯的排气, 导致砂芯的气体无法排出而使铸件形成气孔缺陷。

由施涂及合型不当引起的铸件气孔缺陷防治方法有: ①施涂时, 应做到不使涂料堆积; ②施涂后, 要对壳型进行烘烤, 保证涂料干燥及壳型内无水分; ③在浇注前对壳型进行再次烘烤, 可以进一步去除壳型内的水分及其他易发气物质, 从而有效预防铸件气孔缺陷; ④合型时, 应清理堆积在砂芯芯头位置排气通道的堆积涂料, 打胶时也应绕开排气通道; ⑤合型应做到随炉合型, 保证浇注时壳型的温度高于环境温度10℃以上。

我司在实际生产时, 涂料的施涂方式为喷涂, 喷涂后会立即用瓦斯烤枪进行烘烤, 浇注前再将壳型放在网带炉中进行二次烘烤, 从网带炉出来后立即合型

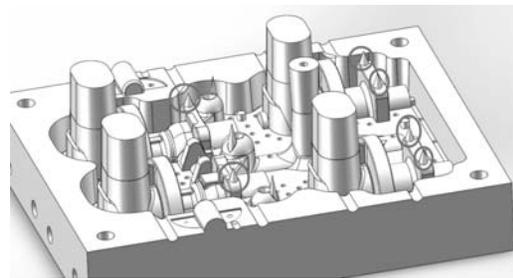


图1 国标球阀DN25主副阀体工艺设计排气锥示意图
Fig. 1 Venting cone sketch in process design of body and body cap for GB standard ball valve DN25

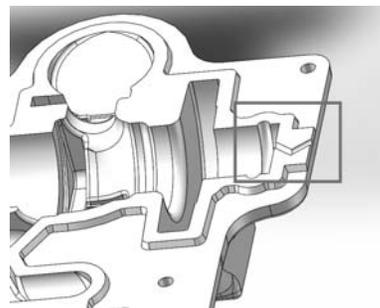


图2 芯头“V”形排气通道
Fig. 2 Core print V venting channel

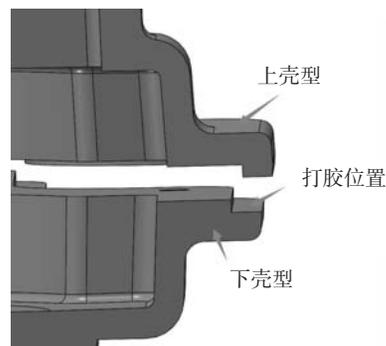


图3 壳型公母配合示意图
Fig. 3 Schematic diagram of male & female surfaces matching of shell mold

并浇注,网带炉的烘烤参数为:烘烤温度160℃,烘烤时间1h,如此既可将壳型中的水分去除,也可将壳型内未完全固化的覆膜砂完全固化,从而减少壳型的发气量,有效防治铸件气孔缺陷。

3.3 熔解、浇注

熔解、浇注导致铸件产生气孔的原因:①原料废钢不干净或脱氧不充分,使钢液中含有过量的H、O元素;②浇注用浇包未烘干或烘干不彻底;③浇注温度低,当钢液浇注温度过低时,增加金属液的粘度,使侵入金属液的气泡难以上浮排出,从而形成侵入性气孔缺陷;④浇注速度过快,使气体卷入壳型中或型腔内的气体来不及排出,使铸件产生气孔缺陷。

由熔解、浇注引起的铸件气孔的防治方法有。

(1) 保证原材料废钢、合金等干燥,不潮湿,废钢等无锈蚀及其他夹杂物等;熔解完成后需要将钢液中杂质使用除渣剂去除干净,对钢液进行充分脱氧。我司的钢液脱氧作业为:出钢时,在茶壶包包底加入铝丝(加入量为浇包所盛钢液的0.08%),当钢液倒入浇包1/3~1/2时,加入硅钙合金(加入量为浇包所装钢液的0.08%)。

(2) 对浇包进行烘烤作业,使浇包内壁温度达到800℃以上,实际操作时通过红外测温仪进行测量或目视浇包为红热状态即可。

(3) 适当提高浇注温度,降低金属液的粘度,

有利于侵入金属液的气泡上浮排出,从而有效降低侵入性气孔的形成。我司生产时浇注温度控制在1550~1580℃,因为在每包钢液的浇注末期,随着浇注温度的降低,产生气孔缺陷的机率增加,所以末期钢液用来浇注压板等非承压件,以减少阀体等承压件产生气孔的机率。

(4) 保证平稳的浇注速度,浇注速度过快容易产生湍流而卷入气体,且型腔内的气体排出也较为困难,易形成气孔缺陷,而浇注速度太慢,又会引起浇注不足等其他缺陷。

4 结语

分析了覆膜砂铸件产生气孔缺陷的各种成因,并相应地提出气孔缺陷的防治措施。设计铸造工艺时,应对铸造流程中产生气孔缺陷的所有成因进行考虑,如覆膜砂发气量大、排气设计不合理、模具设计不当、壳型(芯)未完全固化、烘烤不到位、钢液不干净、浇注温度低、浇注操作不当等会造成什么样的问题,产生哪一类气孔缺陷,该如何预防等。一般来说,从源头上预防气孔缺陷,往往能够得到意想不到的收益,如降低废品率、缩短生产周期、降低返工率及降低生产成本等。此外,铸造生产过程复杂,同一种缺陷的影响因素可能由几种成因叠加产生,故在生产中,应对各生产制程进行严格管控,才能从根本上预防覆膜砂铸件气孔问题。

参考文献:

- [1] 巩建强,倪国勇,刘超,等.覆膜砂在阀门铸钢件中的应用[J].铸造,2019(9):1048-1051.
- [2] 黄志光,叶学贤.砂型铸造生产技术500问[M].北京:化学工业出版社,2007:260-261.
- [3] 李远才.覆膜砂及制型(芯)技术[M].北京:机械工业出版社,2008:204-207.

Causes and Precaution of Blowhole in Resin Coated Sand Castings

GONG Jian-qiang, CAO Qiao

(Jiangsu Wanheng Casting Industry Co., Ltd., Yancheng 224000, Jiangsu, China)

Abstract:

The causes of blowholes in valve castings produced by resin coated sand molding process are analyzed, and corresponding prevention measures are put forward. The causes of blowhole defects in castings are analyzed from three aspects of raw materials, process design and production process. It includes: gas evolution rate of coated sand; casting process design and mold design; mold (core) making, coating, baking, mold assembling, melting, pouring, etc. At the beginning of product design, all factors causing blowholes should be considered and prevented, which can effectively reduce the occurrence rate of blowholes, improve the quality of castings, shorten the trial production cycle and reduce the production cost.

Key words:

resin coated sand; casting; blowhole; vent; baking