DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2021.11.010

铝合金低压铸造中孔洞类缺陷及预防措施浅析

王　磊[1,2],郑峰峰[1,2],韩　明[1,2],赵　伟[1,2],门忠家[1]
(1. 山东豪迈机械科技股份有限公司,山东 高密 261500; 2. 山东省轮胎模具关键技术重点实验室,山东 高密 261500)

摘　要:低压铸造作为一种先进的铸造工艺,易于实现自动及机械化,能够获得性能优良的铸件,近年来得到了广泛的应用和快速发展,在轮胎模具铸造领域发挥了重要作用。分析了铝合金低压铸造孔洞缺陷的名称及特征、孔洞类缺陷的形成机理。综述了低压铸造铝合金轮胎模具气孔类缺陷形成原因及解决措施,以期为此类缺陷的消除提供依据。

关键词:低压铸造;轮胎模具;孔洞缺陷;措施

中图分类号:TG249;TG245　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2021)11-0969-04

Analysis on Types and Prevention Measures of Cavity Defects in Low Pressure Casting of Aluminum Alloy

WANG Lei[1,2], ZHENG Fengfeng[1,2], HAN Ming[1,2], ZHAO Wei[1,2], MEN Zhongjia[1]
(1. Shandong Himile Mechanical Science and Technology Co., Ltd., Gaomi 261500, China; 2. Shandong Key Laboratory of Tire Mould Technology, Gaomi 261500, China)

Abstract: Low pressure casting, as an advanced casting process, is easy to achieve automatic and mechanized, and can obtain excellent castings. In recent years, it has been widely used and developed rapidly, playing an important role in the field of tire mold casting. In this paper, the names and characteristics of cavity defects in low pressure casting of aluminum alloy and the formation mechanism of porosity defects were analyzed. The causes and solutions of blowhole defects in low pressure casting aluminum alloy tire die were summarized in order to provide basis for eliminating such defects.

Key words: low pressure casting; tire mold; cavity defects; measures

低压铸造是液体金属在压力作用下,由下而上充型然后凝固以获得铸件的一种铸造方法,由于施加在液面上的压力很低,故称之为低压铸造[1]。低压铸造成形具有如下优点:金属液充型平稳;金属液的流动性好,有利于薄壁件形成轮廓清晰、表面光洁的铸件;铸件组织致密,力学性能高。因此,低压铸造在汽车、航空航天、军工、机电等领域有着良好的应用[2]。但低压铸造也存在明显的缺陷:效率低;加压压力参数的控制精度低;铝液品质波动大,洞类缺陷尤为突出[3]。本文作者针对铸件中孔洞类缺陷,着重分析了缺陷的形态及形成机理与解决措施。

1　气孔分类及气孔形成机理

在合金铸件中,孔洞类缺陷的形成原因大题可分为3种:析出性气孔、反应性气孔及侵入性气孔。析出性气孔产生的原因是合金液凝固结晶时,溶解在其中的气体因合金液温度下降溶解度降低而析出,此部分气体未全部排出金属模,从而产生气孔。反应性气孔产生的原因是合金液与炉衬、扒渣工具、铝锭表面杂质等发生化学反应。侵入性气体形成的原因如下:

$$P_{气} < P_{静} + P_{型} + P_{阻} \tag{1}$$

式中,$P_{气}$为与液态金属接触的铸型表面的气膜压力,Pa;$P_{静}$液态金属在铸型内形成的静压力;$P_{型}$为液态金属自由表面上气体压力,Pa;$P_{阻}$为气体侵入液态金属时所受到的阻力,该力与液态金属表面张力有关。

$$P = h \cdot \gamma \tag{2}$$

式中,h为所研究处的液态金属到液面的高度(m),γ为液态金属的重度(N/m^3)。

$$P_{阻} = 2\sigma / r_0 \tag{3}$$

式中,σ为液态金属的表面张力;r_0为侵入性气孔初生核半径。

当不满足上式时产生侵入性气孔。特征是数量较少,体积较大,孔壁光滑,表面有氧化色,常出现在铸件表层与近表层,形状呈梨形、椭圆形或梨形,梨尖所指的方向一般为气体侵入的方向[4]。

收稿日期:2019-03-18

作者简介:王　磊(1983—),河南新乡人,本科,中级工程师.主要从事轮胎模具先进铸造及加工工艺研究方面的工作.电话:05362212505,Email:hm@himile.com

2 孔洞类缺陷名称、定义及特征

孔洞类缺陷名称、定义及特征列于表 1。

表1 孔洞类缺陷名称、定义及特征

Tab.1 Name, definition and characteristics of cavity defects

代号	名称	定义与特征
1	针孔	针孔形貌缺陷一般出现在铸件表面或者截面上，此缺陷形成原因为析出性气体。对铸件的危害大。
2	表面针孔	大量且杂乱的分布在铸件的表层，有些缺陷隐藏在铸件表层以下，经过表面处理，喷砂后可见。分布无规律可循，杂乱无章，对铸件质量及其表面粗糙度有极大的影响。
3	皮下气孔	分布在铸件表皮以下的气孔。形成原因为反应性气孔。是铝合金液与铸型间发生化学反应而产生的气体。
4	呛火	铸件在浇注成型过程中，由于浇注速度过快，金属模型腔内部气孔来不及排出，铝液包裹进气体而造成的缺陷，此类缺陷危害较大，一般经过加工后才能发现，严重的可能造成制品的报废。
5	收缩缺陷	合金液在凝固收缩过程中，由于铸件结构或者合金液流动性等原因造成的缺陷，如缩孔、缩松等
6	缩孔	合金液在凝固结晶过程中，由于未达到顺序凝固的条件，或者补缩性不良形成的孔洞缺陷。常出现铸件的下模，也就是铸件最后结晶处。
7	缩松	此类缺陷常常产生的部位是铸件断面处，一般形貌细小且分散。铸件出现这类问题后，进行试压等试验易发生渗漏。
8	疏松	铸件缓慢凝固区出现的很细小的孔洞。分布在枝晶内和枝晶间。是弥散性气孔、显微缩松、组织粗大的混合缺陷，使铸件致密性降低，易造成渗漏

图 1 为精密铸造铝合金轮胎模具铸件的宏观结构、微观组织及 EDS 能谱分析结果。可以看出，气孔内壁有些较为光滑，有些组织疏松且孔壁为枝晶状形态。

3 气体产生原因

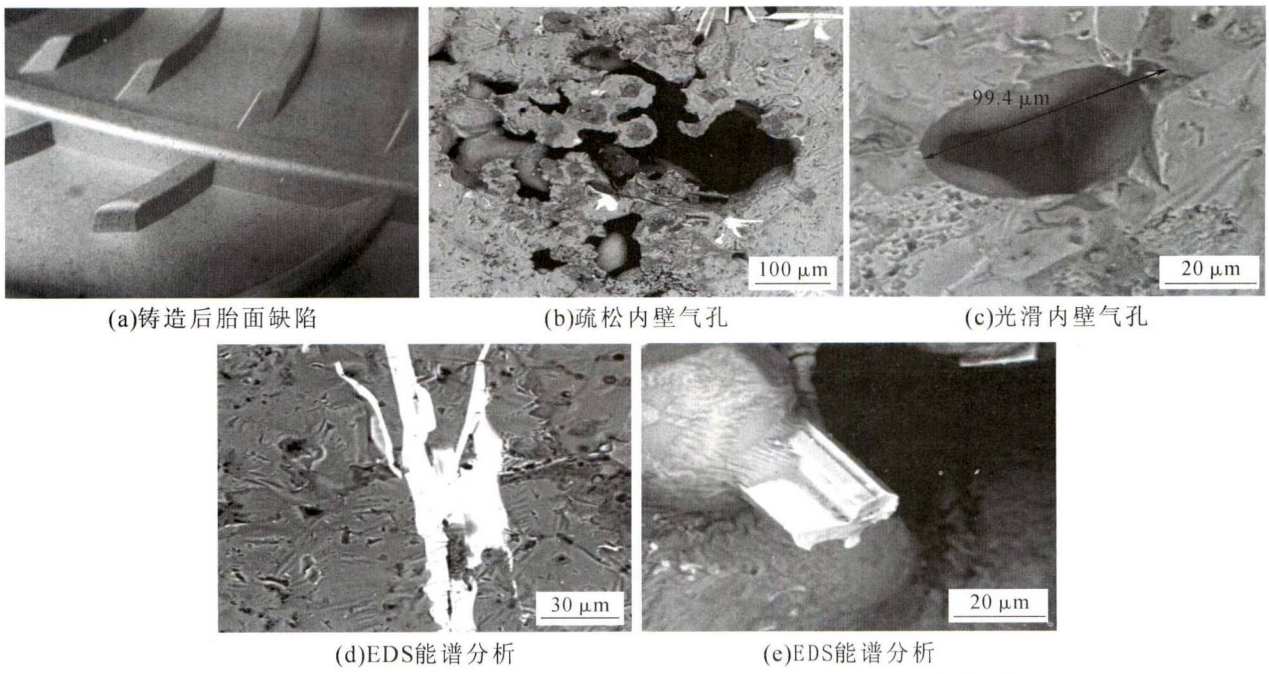
3.1 由于充型速度大于排气速度而产生的孔穴

对于薄壁带叶片的铸件，如果充型时，金属液的上升速度超过了型腔的排气速度，则铸件叶片上就会产生“包气”现象(见图 2)。这种“包气”现象主要就是因为型腔里的“反压力”作用，在此“反压力”的作用下合金液的上升呈涡流态的流动，导致型腔中气体来不及排出，部分气体被合金液包裹形成气泡。由于液体表面张力等原因，孔洞内部边缘一般较光滑且干净。

如果出于同样的原因($V_{充}>V_{排}$)，对于厚壁铸件来说，就不易在铸件表面出现明显的孔洞，但往往会在铸件皮下出现孔穴，这种缺陷要在精加工时才能发现。由于“包气”现象是充型最后阶段才形成的 所以这种孔洞的位置多半是出现在铸件的顶部，或者是在排气通道的旁边。对于具有厚壁大平面的金属型铸件最易引起这种缺陷。防止办法，最根本的就是使金属液的充型速度不超过型腔的排气速度。需要掌握合理的充型速度，并在铸型适当位置设置排气通道[4]。一般情况下选择充型速度应考虑以下几个因素：铸件高度、壁厚、复杂程度、铸型用材料等[6]。

3.2 升液管漏气而造成的气孔

由于使用升液管时间过长，使升液管受到合金液的腐蚀或者由于焊接不良，暴露在合金液上部的



(a)铸造后胎面缺陷　(b)疏松内壁气孔　(c)光滑内壁气孔

(d)EDS能谱分析　(e)EDS能谱分析

图 1 精密铸造铝合金轮胎模具铸件的宏观结构、微观组织及 EDS 能谱分析结果

Fig.1 Microstructure and EDS results of tire molds made by precision casting aluminum

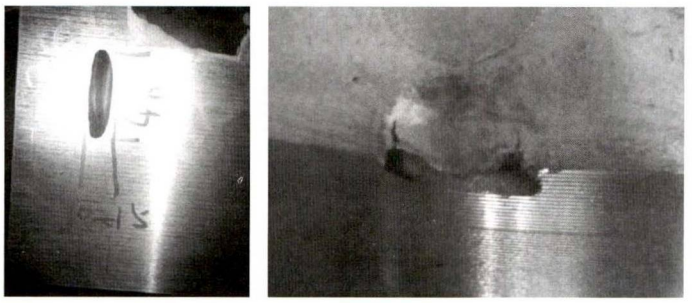


图 2 花纹圈立面和顶部窝气

Fig.2 blowhole defects on the pattern ring and top surface of tire molds

升液管发生漏气的话，则坩埚内部的压缩空气会从裂缝处进入升液管，随着合金液上升到铸件内部。漏气严重的会形成大的窝气，轻微的漏气会在铸件内部形成类似鱼吹泡的气孔。

3.3 由于涂料脱落和排气结构设计不合理而产生的气穴

在合金液充型过程中，若铸型的排气结构设计不合理和蓄气能力差，除了易在铸件死角处产生“包气”或“气孔”的缺陷外，金属型涂料脱落处还会出现气穴。由于脱落了涂料，使这里的蓄气性能和热传导性能都不利于铸件的成形，因此在这样的部位极易形成气穴。这类缺陷实际上是由于金属液流动性和气体的综合作用所引起的。

3.4 铝合金液吸气性

铝合金与铝锭或者炉衬及铝锭表面杂质反应产生气体，产生的气体有部分被铝液吸收，最后结晶凝固时析出气体，造成铸造缺陷。

$$2Al+3H_2O \rightarrow Al_2O_3+3H_2$$

铝合金液对 H_2 的吸收量随着合金液温度的升高而增大。当合金液达到 700 ℃时，氢的溶解度为 0.5~0.9 cm^3/100 g，当合金液达到 850 ℃时，H_2 的溶解度约为 2.0~3.0 cm^3/100 g [7]。

当温度低于 250 ℃时，铝锭与水汽发生反应：

$$2Al(s)+6H_2O(g)=2Al(OH)_3(s)+3H_2(g)$$

$Al(OH)_3$ 分布在铝锭的表面，为白色粉末状态且组织疏松，对铝锭无保护作用。当进行熔化时，$Al(OH)_3$ 分解为氧化铝及水分。形成的氧化铝组织疏松，吸附水汽及氢，增加了铝液中气体及夹杂的含量[8]。

铝合金液除了在进行熔化精炼阶段吸收气体外，在倒包以及浇注充型阶段也会吸收部分气体。随着合金的结晶凝固，温度的下降，溶解的气体会析出。附着在铸件的表层等部位，形成类似“针孔”的缺陷。同时，气孔与缩孔等缺陷结合，形成的缩孔，气泡所受压力大，则气孔周边光亮；受压力小，则多皱纹，形貌类似“苍蝇脚”。

4 预防与解决措施

4.1 从熔炼方面考虑

为避免合金液长时间暴露在空气中而吸收大量的气体，熔炼金属尽可能控制在一定的时间内进行。

铝合金液避免使用工频炉熔炼，由于此种炉子的搅拌能力太强，造成铝液的过渡翻滚，大量的铝液与空气接触而氧化，形成 Al_2O_3。随着搅拌的继续此氧化铝被合金液包裹进去铝液中，形成杂质。也为气体的吸收与析出提供了机会。同时氧化夹杂也极易与 H_2O 发生反应，使液态金属吸入 H_2 气。如果使用电阻反射炉、远红外线加热炉等。用这些炉子熔炼的铝合金其含气量、杂质量都较少。

投料时应先投入熔点低的料，依次投入熔点高的料。这样会使金属吸气量少，其原因就在于炉料与空气接触面积和时间均减少。

液态金属精炼除气后应立即扒渣，而后浇注，不可停留过久，以防再吸气。

夏季湿度较高的情况下可适当提高除气精炼时间。

用六氯乙烷或氩气精炼除气或真空除气。

除气处理时配合使用覆盖剂，加入量最好为 0.15%~0.50%，当空气湿度较高时，取高值。精炼过程最佳时间为 10~15 min。

铝及铝合金熔炼时，不能够过热，最高不超过 760 ℃。避免铝液大吸气。

加入的覆盖剂纯度要高且干燥[9]。

4.2 从铸造工艺方面考虑

快速凝固，使气体来不及析出。例如，采用金属型铸造。液态金属在压力下凝固。例如：采用差压铸造。在铸型内安放过滤网除去金属液中的渣和气。在铸造车间放置除湿机，降低模具周边空气的湿度。

4.3 从辅助工具方面考虑

所有与合金液接触的工具需要认真涂涂料。尽量减少组装模具时间，减少铸型吸气。熔炼以及组装

模具时通干燥氩气防护。

5 总结

铝合金铸件在铸造后产生的孔洞类缺陷多种多样，为得到优良的铸件应该注意：①铝合金液避免使用工频炉熔炼；②控制铝液熔炼时间，避免铝液长时间暴露在空气中；③夏季适当提高除气精炼时间，添加覆盖剂等；④铸件注意添加滤网，控制铸造车间温湿度；⑤仔细喷涂辅助工具以及减少吸潮。

参考文献：

[1] 万里. 特种铸造工学基础[M]. 北京：化学工业出版社，2008.

[2] KOGYO H G, KANISHA K. Low-pressure castings of light metal alloy: UK Patent, GB2208817A [P]. 1989.

[3] 许豪劲，万里，吴克亦，等. 连续式低压铸造技术的研究与开发[J]. 特种铸造及有色合金，2013，33(1): 29-32.

[4] 王振东. 低压铸造新工艺新技术与铸件缺陷防治及机械设备运行维护实用手册[M]. 北方工业出版社，2012 .

[5] 陈宗民，于文强. 铸造金属凝固原理[M]. 北京：北京大学出版社，2014.[6] 邬京利，毕维生. 影响低压铸造铸件质量的几种因素[J]. 中国铸造装备与技术，2004(6): 52-53.

[7] 张士林，任颂赞. 简明铝合金手册[M]. 上海：上海科学技术文献出版社，2000.

[8] 仇俭. 铸造有色合金及其熔炼[M]. 北京：国防工业出版社，1980.

[9] 周国桢. 铝合金熔炼中覆盖剂的作用 [J]. 上海金属，1982(2): 8-12.

招贤纳士

襄阳聚力新材料科技有限公司

一、招聘销售工程师

任职要求：

1. 本科及以上学历，铸造、耐火材料、冶金、有色金属专业，熟悉二维、三维绘图软件者优先考虑。
2. 2 年以上铸造行业耐火材料销售或铸造涂料销售经验者。
3. 2 年以上铸造行业用中频炉或压铸行业工业炉销售经验者。
4. 2 年以上铸造行业铁合金生产或销售经验者。
5. 2 年以上耐火材料技术研发或产品应用经验者。
6. 2 年以上铸造涂料技术研发或产品应用经验者。
7. 2 年以上有在铸造厂工作经验，对中频炉熔炼或造型工艺熟悉者。
8. 在压铸厂或铝厂工作 2 年以上，对有色金属铜铝熔炼工艺流程熟悉者。

二、招聘销售经理

任职要求：

1. 大专及以上学历，铸造、耐火材料、冶金、有色金属专业，熟练掌握办公软件，懂产品市场宣传，营销策划者优先考虑。
2. 5 年以上铸造行业耐火材料销售、铸造涂料或类似工业品销售经验者。
3. 5 年以上铸造行业用中频炉或压铸行业工业炉销售经验者。
4. 性格外向，诚信可靠，乐观向上，抗压力强。
5. 逻辑思维清晰，做事干净利落，工作效率高。
6. 善于多部门或多层次沟通协调。

三、销售助理

任职要求：

1. 男性，30 岁以下，本科学历，身体健康，适合经常出差。
2. 性格外向，诚信可靠，乐观向上，抗压力强。
3. 逻辑思维清晰，做事干净利落，工作效率高。
4. 善于多部门或多层次沟通协调。

有意向者请将简历发送至邮箱 wuhaiyan@xyjllc.com