低压铸造ZL205A铸件缺陷分析及工艺优化

张西生，赵磊，周正海

摘要：针对铸件在低压铸造过程中产生的气孔、缩松缺陷的情况，分析了该铸件产生缺陷的原因，优化浇注系统结构，改善内浇道，改变冷铁材质，优化低压铸造参数等工艺措施，成功解决铸件缩松及气孔等缺陷，生产出满足使用要求的铸件。

关键词：ZL205A合金铸件；低压铸造；缩松；气孔；工艺优化

ZAlCu5MnCdVA（合金代号ZL205A）是一种高纯高强度铸造铝合金，是目前世界上使用强度最高的铝合金之一，具有非常好的强度、塑性、韧性和耐蚀性能，因此在航空航天领域应用广泛。但由于该合金具有宽结晶温度范围，铸造性能较差，不易实现顺序凝固，壁厚敏感性较大，在结晶时易产生缩松、气孔、热裂、偏析和氧化夹渣等铸造缺陷，其中气孔和缩松是ZL205A合金铸件最常见的缺陷。

其化学成分和力学性能见表1、表2。

剂加入，而感应加热冒口长期处于高温状态，钢液的吸气及氧化作用更严重，Si、Mn元素作为脱氧剂被消耗了一部分，最后达到平衡含量。同时，这种吸气和氧化作用也解释了为什么O、N元素在感应加热冒口中含量增加的原因。从表2中可以看出，它们分别增加了0.00310%和0.00269%，这是一个显著的变化。

（3）力学性能　两个试验件均按取样图进行了取样。我们把两个试验件相同位置的力学性能结果进行了统计，求得其均值（见表3）。

从表3可以看出，两者的力学性能基本相同，这与化学成分检测结果可以得到相互印证，并且两者的屈服强度波动都比较小，表现出较高的一致性。

表3　力学性能对比

项目	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	断后伸长率（%）	断面收缩率（%）
感应冒口	294.5	578.0	18.1	24.3
普通冒口	283.9	573.3	14.9	24.3
均值差	-10.6	-4.7	-3.1	0.1

5. 结语

感应加热技术应用到冒口上是一次新的尝试和探索，涉及到多专业的交叉应用。通过本次对比试验，我们得出如下结论：

（1）与普通冒口工艺参数相比，感应加热冒口实际补缩钢液重量约为铸件重量5%，冒口补缩效率约为35%，最长有效补缩距离与普通工艺设计一致。

（2）与普通冒口在铸件质量方面的差异：化学成分偏析与常规冒口差异不大，不会因冒口长时间高温加热而产生质量问题；相同位置试样力学性能与常规冒口相比差异较小；由于加热过程吸气氧化，感应冒口下部产生气孔等缺陷的可能性比普通冒口要高。

（3）感应冒口在加热过程中不能出现水电等因素的干扰，否则容易出现缩孔缺陷。

作者简介：许诺、张亚才，天津重型装备工程研究有限公司，长期从事大型铸锻件工艺及产品的研究开发工作。

MW 20160612

1. 铸件结构及铸件缺陷

该铸件为产品外套筒，材料为ZL205A，最大轮廓尺寸为ϕ173mm×707mm，结构如图1所示。铸件最大壁厚为70mm，最小壁厚为40mm，铸件重量为76kg，且该铸件内部要求放置壁厚为4mm、内径为25mm的钢管，因此铸件属于壁厚较大、一般复杂类铸件。考虑到铸件使用要求较高，需整体X射线无损检测，要求无气孔、缩松等铸造缺陷，生产中采用低压铸造，以减少铸件凝固时产生的热裂倾向，提高铸件内部质量。

该铸件实际生产中，经X射线无损检测发现，气孔和缩松常出现在铸件的顶部和钢管下方（见图2、图3），且多出现在铸件壁厚最大区域。缺陷的主要特征有：①缺陷区域宏观组织形貌为线状缩松，断口有氧化现象。②缺陷位置主要位于铸件里面钢管的接触面上和顶部，且接近厚壁部位。

2. 铸件原工艺设计

通过对该铸件缺陷的位置和断口形貌分析，出现上述缺陷的原因主要是合金补缩不到位，造成铸件凝固时没有足够的铝液补充，从而使铸件壁厚较大的热节部位比内浇口晚凝固，从而造成铸件在该部位产生缩松；铸件顶部和钢管处排气不顺利，钢管表面未处理，造成大面积气孔，严重影响了铸件质量。

铸件原浇注参数及浇注系统设计：该铸件采用树脂砂低压铸造方式浇注来保证铸件质量，由于铸件在压力下充型及凝固，使铸件的致密性得到提高，减少铸件内部缺陷。浇注过程分为升液、充型、增压I、结壳、增压II、保压，具体参数见表3。

浇注系统采用底注充型，浇注系统主要结构为直浇道、横浇道、内浇道。浇注系统中内浇道分布如图4所示。

内浇道数量为16个，尺寸为60mm×50mm×(16/24)；对于热节较大的铸件上部，采用铝冷铁激冷，使铸件形成从上到下的顺序凝固，最后凝固的部位为热节最大的横浇道。

3. 铸造工艺方案的优化

根据上述缺陷分析，造成铸件缩松和气孔的主要原因：①铸件凝固过程中增压压力不足。②铸件浇注系统中内浇道较小，且分布不合理。③热节较大部位冷铁激冷效果不好。④钢管表面未做处理。针对上述原因分析主要

图1 铸件实物

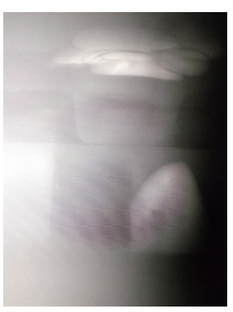

图2 铸件气孔X射线无损检测片

图3 铸件缩松X射线无损检测片

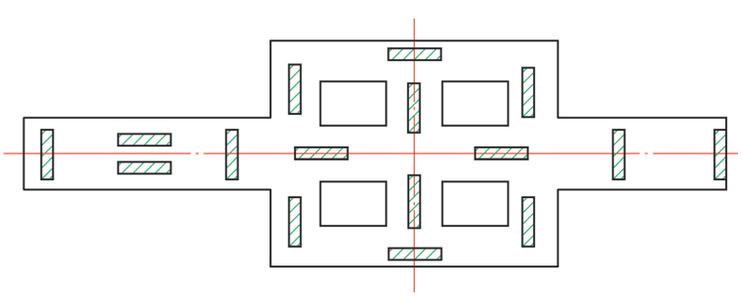

图4 浇注系统中内浇道示意

表1 ZL205A合金化学成分（质量分数） （%）

Cu	Mn	Ti	Cd	V	Zr	B	Al
4.6~5.3	0.3~0.5	0.15~0.35	0.15~0.25	0.05~0.3	0.05~0.2	0.005~0.06	余量

表2 ZL205A合金国家标准力学性能

热处理状态	抗拉强度	断后伸长率δ_5（%）
	σ_b/MPa	
T5	≥440	≥7
T6	≥470	≥3
T7	≥460	≥2

采取以下几种措施来改善铸件的铸造质量。

（1）提高结壳速率，减少结壳时间，加大增压II过程的增压速率，增大保压时间，使铸件得到充分补缩，防止铸件在凝固时因补缩不足引起的缩松等缺陷。优化后的浇注工艺参数见表4。

（2）改变铸件浇注系统内浇道分布，让内浇道位置处于铸件的热节部位和壁厚突变部位；同时将底部平面内浇道由10个减少到4个，增大内浇道，并在两侧增加4个立柱浇道，使单位时间内铸件的进铝量增加，以起到更好的补缩作用。设计内浇道*A*2个，尺寸为110mm×55mm×(20/34)，内浇道*B*2个，尺寸为150mm×60mm×(18/32)，增加立柱浇道4个，尺寸为ϕ55mm×15mm，如图5所示。在顶部增加排气槽，尺寸为600mm×10mm×50mm。

（3）原铸件热节较大部位和壁厚较厚部位的冷铁为厚度15mm的铝合金冷铁，换成厚度为15mm的钢质冷铁，冷铁激冷效果更好，使铸件远离浇口和不容易补缩的部位先凝固，从而使铸件整体的凝固符合顺序凝固。

（4）对铸件内部钢管进行表面加工，然后在200℃烘烤箱内烘烤1h。

4. 生产验证

按照改进后的工艺方案生产出的铸件，外观质量良好。经X射线无损检测，铸件本体未见缩松、气孔等缺陷。铸件尺寸及内部质量要求满足设计要求。

表3　低压铸造浇注原工艺参数

充型过程	充型速率/mbar•s^{-1}①	时间/s
升 液	20	—
充 型	20	—
增压 I	15	3
结 壳	5	4
增压II	15	5
保 压	—	360

①1bar=105Pa，下同。

表4　低压铸造浇注优化后工艺参数

充型过程	充型速率/mbar•s^{-1}	时间/s
升 液	15	—
充 型	15	—
增压 I	15	3
结 壳	10	3
增压II	20	5
保 压	—	420

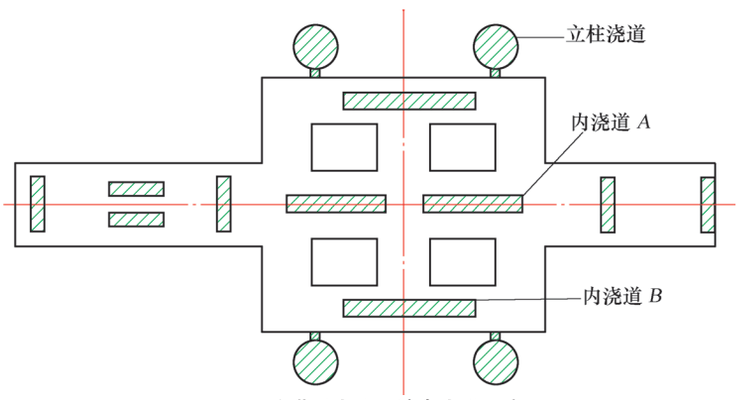

图5　改进后浇注系统内浇道示意

5. 结语

通过对该铸件产生缩松、气孔等缺陷分析后，在原工艺的基础上加大了铸件凝固时铸件型腔的压力，增加了单位时间内的铝液进入量，使铸件凝固时得到充分补缩，对铸件不易补缩部位采取更好的激冷措施，增加立柱浇道，增加排气槽，能够有效地解决铸件厚大部位缩松和气孔等缺陷，从而有效提高铸件的产品质量。

参考文献

[1] 李宏英,赵志成. 铸造工艺设计[M]. 北京：机械工业出版社,2006.

[2]董秀琦. 低压及差压铸造理论与实践 [M]. 北京：机械工业出版社,2003.

[3]郭忠民,陈大胜. 薄壁复杂铝合金铸件低压铸造工艺实践[J]. 压铸，2007，28(7)：62-64.

[4] 范金龙. 低压铸造液面加压控制[D]. 长春：吉林大学，2011.

[5] 毛卫民,赵新兵. 金属的再结晶与晶粒长大[M]. 北京：冶金工业出版社，1994.

作者简介：张西生、赵磊、周正海，陕西黄河集团，主要研究方向：铸造工艺。

MW 20160520