薄壁多筋铝合金腔体低压铸造工艺

陈正周,宋朝辉,王菊清

(宁波中大力德智能传动股份有限公司,浙江慈溪 315301)

摘要:根据铝合金薄壁多筋腔体的结构特性,设计了低压铸造工艺并进行了实际生产,发现 铸件存在缩松。为了消除缩松缺陷,分别采用优化充型参数和利用铸件的筋条充当内浇道这 两种工艺措施,并利用X射线实时成像设备对铸件缩松区域进行实时检测。结果表明:优化 充型参数对解决铸件缩松的效果不太明显,增大内浇道的截面积对解决铸件缩松非常有效, 铸件良品率也大大提高。

关键词:低压铸造;薄壁多筋;腔体;缩松

低压铸造因其成形容易、气体夹杂少、工艺出品率高、容易自动化等优点被广 泛使用,特别是对于大型复杂薄壁铸件而言,低压铸造有着独特的成形优势^[1-4]。大 型复杂薄壁铝合金铸件的内部结构复杂、筋条密集,很多文献通过数值模拟研究了 这类铸件的成形工艺,探讨了充型压力、升压速率及型腔厚度因素与充填能力的关 系,通过充型和凝固过程温度场的数值模拟研究,发现充型过程流动平稳,温度场 比较均匀,但是由于结构的复杂性,在厚壁和热节处仍然出现缩松缺陷^[5-8]。在改进 方案中,一般是通过在铸件厚壁处设置冷铁(如紫铜、黄铜和石墨等)来缩短凝固 时间,或者增大横浇道截面积来强化补缩通道,最终获得合格铸件。本文通过对铝 合金薄壁多筋腔体的结构特点及低压铸造工艺进行分析,分别采用优化充型参数和 利用铸件筋条充当内浇道这两种工艺,并对检测结果进行了比较。

1 铸件简述

1.1 铸件结构特征

铸件重9.5 kg,材料为ZL101A,外形尺寸560 mm×292 mm×80 mm,铸件机加 工后的照片如图1所示,三维如图2所示。铸件特点:筋条密集、孤立热节多、大平 面壁厚过渡较大[最薄处为2.5 mm,最厚处为7 mm(不包括筋条)]、机加工螺纹 孔多。为了使大平面的粗糙度达到3.2 μm,铸件大平面必须全部机加工。

1.2 铸件技术要求

铸件本体试棒力学性能要求:抗拉强度≥240 MPa、伸长率≥3%、布氏硬度 HB≥90,本体试棒的取样位置在图2中标记方框内,本体试棒尺寸如图3所示。在铸 件一端承载500 kg重物并持续10 min后,铸件变形小于0.5 mm。根据铸件力学性能要 求,铸件必须进行T6热处理。铸件加工面上不允许有气孔、缩松、夹杂和其他任何 铸造缺陷;在非加工面上允许直径小于2 mm、深度小于1 mm的孔洞类铸造缺陷, 总数不超过10个,且距铸件边缘不小于10 mm,但是不允许有冷隔。用X射线实时成 像检验铸件受力区域(图2右边图标记的方框内),要求内部缺陷达到2级(GB/T1 1346),其余区域达到3级。铸件内部不允许存在裂纹。

1.3 生产条件

低压铸造设备采用WF-458型低压铸造机。X射线实时成像检测采用XYG-1502型 设备,其缺陷最小分辨率为0.3 mm。本体试棒测试采用QX-W70万能拉伸机,承载测

作者简介: 陈正周(1971-),男,高 级工程师,博士,主要从 事金属材料加工的研究。 E-mail: chzz19710425@126. com

中图分类号:TG249.2 文献标识码:B 文章编号:1001-4977(2019) 06-0613-05

收稿日期: 2019-01-14 收到初稿, 2019-03-11 收到修订稿。

· TG249.2

614 **括**造 FOUNDRY 压力铸造



(a) 正面

(b) 反面

图1 铸件机加工后的照片 Fig. 1 Machined casting

试采用悬挂重物的办法。炉料配比为新铝锭90%+回炉 料10%,经过精炼后转运至低压保温炉。

2 铸造工艺

2.1 铸造工艺分析

根据铸件结构特点,在筋条、螺柱搭子和6个凸 台等这些热节处很可能会产生缩松。由于加工表面 大,机加工后大平面处容易暴露气孔和夹杂。铸造工 艺设计时必须避免这些铸造缺陷出现。在主浇道(横 浇道)设计时,既考虑到将主浇道设置在热节最大 处,便于充分发挥主浇道的补缩功能,又考虑到提高 工艺出品率,最终将主浇道设置在6个凸台的正下方, 如图4所示。主浇道宽40 mm、高30 mm,直浇道直径 60 mm,使用筋条充当内浇道。为了加强型腔的排气, 在上模和四周的滑块上设置了大量排气塞,排气塞直径 16 mm,模具和排气塞都喷涂低压模具专用涂料。

在模具温度设计时,由于铸件厚薄不均,模具 温度分为"1区"和"2区",如图4a所示,其中"1 区"为(370±5)℃,"2区"为(320±5)℃,因 为"2"区正好在分流包上方,所以温度要求较低,



图2 铸件机加工后的三维照片(标记线框内取本体试棒) Fig. 2 Three-dimensional photographs of machined casting

(taking the body test rod in the green wire frame)



图3 腔体本体试棒尺寸 Fig. 3 Size of cavity body test rod



图4 模具温度分布图 Fig. 4 Temperature distribution of die

需要进行风冷来降温。上模6个凸台在模具上(见图 4b)进行点冷却,冷却介质为水,此处模具温度为 (250±10)℃。其余区域为(350±5)℃。

由于该低压铸造机只有一个升液管,所以在升液管 的上方需安装分流包对铝液进行分流。使用分流包的缺 点:在升液充型阶段,铝液长时间与包壁接触,很容易 产生铝皮,而铝皮很难再次熔化,在下次充型时,铝皮 进入模具型腔,最终形成夹杂。因此,分流包外壁必须 保温效果良好,内壁必须涂覆耐高温的涂料。

在铸造工艺设计时,采用了模拟分析软件对充型 和凝固过程温度场进行了数值模拟分析,但是分析结果 与实际生产的结果相差较大,生产出的铸件仍然出现缩 松。在后续工艺改进过程中,针对铸件出现的缩松,主 要改进的工艺内容包括充型参数和内浇道的优化。

2.2 充型参数优化与结果分析

浇注系统如图5所示,充型参数的优化共进行了三 个生产批次,充型参数见表1。

充型时铝液温度为(710±5)℃。第一生产批次 时,第一阶段充型时间为14 s,充型压力为20 kPa,此 时,铝液正好充满横浇道,说明第一阶段的充型参数 设计比较合理。第二阶段充型时间为8 s,充型压力为 23 kPa,此时,铝液完全充满型腔,说明第二阶段充型 压力设计比较合理。第三阶段充型实际是持续增压的 过程,增压速度为1.5 kPa/s。第四和第五阶段,实际上 铸件处于保压阶段。充型结束后,保压时间为230 s,泄 压后冷却时间为70 s。铸件经过X射线实时成像检测,发 现2区和右侧1区没有缩松,在左侧1区内有缩松,如图5 标注方框内,此处的X射线实时成像如图6a和e所示,缩 松级别达到5级。这些缺陷的比例占生产总数的50%。

在右侧1区内,筋条数量较少,而且铝液在筋条内 流程较短,因此能够得到主浇道的有效补缩,所以没 有缩松。2区处于两个主浇道之间,能够从两侧得到主 浇道的有效补缩,所以也没有缩松。但是,左侧1区内 的筋条较多,而且方向不断改变,铝液在筋条内的流 程较长,补缩距离较长,因此流动能力损失较大。所 以,距离主浇道较远的筋条很容易出现缩松。

根据第一生产批次的工艺设计和检测结果,说明充型的第二阶段和第三阶段的充型参数的适应性和容错性 较差,充型结束后的保压时间不合理,需要优化。

第二生产批次的充型参数见表1,主要优化参数为 延长第二阶段的充型时间,提高第三阶段的增压速度 和延长保压时间。第二生产批次的铸件X射线检测结果 如图6b和f所示,缩松级别达到4级。缩松略有改善,但 是效果不明显。生产结果表明,延长第二阶段的充型 时间,可以对缩松区域起到液态补缩作用。第三阶段 的增压速度提高到2 kPa/s,可以提高筋条凝固时的补缩 压力,延长保压时间同样起到补缩压力的作用。

第三生产批次的充型参数见表1,第二阶段的充型 时间进一步延长,第三阶段的增压速度进一步提高到 25 kPa/s,将保压时间延长至275 s。第三生产批次的铸 件X射线检测结果如图6c和g所示,缩松级别仍然达到 3级和4级。检测结果表明,缩松的改善效果仍然不明 显。

上述生产和检测结果表明,通过延长充型时间、 提高增压速度、增大充型压力和延长保压时间的工艺 措施,很难实现顺序凝固的目的,对远离主浇道的缩



图5 浇注系统 Fig. 5 Gating system of castings

	表1	主要	充型参	数
Table 1	Main	mold	filling	parameters

充型	第一生产批次		第二生产批次		第三生产批次		第四生产批次	
阶段	充型时间/s	充型压力/kPa	充型时间/s	充型压力/kPa	充型时间/s	充型压力/ kPa	充型时间/s	充型压力/kPa
第一段	14	20	14	20	14	20	14	20
第二段	8	23	10	23	12	23	8	23
第三段	8	35	8	39	8	43	8	35
第四段	14	56	14	56	14	56	14	56
第五段	14	56	14	56	14	56	14	56
铝液温度/℃	710 ± 5		710 ± 5		710 ± 5		710 ± 5	
保压时间/ s	230		250		275		230	
冷却时间/s	70		70		70		70	

616 转进 FOUNDRY 压力铸造



Fig. 6 X-ray real time imaging of dispersed shrinkage zone

松区域补缩效果不太明显,这也是低压铸造工艺不足 之处。

2.3 内浇道优化与结果分析

通过优化充型参数的办法无法根本解决缩松问题,所以尝试采用加大内浇道截面积的办法来解决。 改进后的浇注系统如图7所示。将左侧1区主浇道左侧 筋条间的间隙填平,如图7方框内。在铸件机加工时, 再将这些填平的地方加工去除。间隙填平后,实际上 与筋条相连的内浇道的截面积增大了1倍以上。第四生 产批次的充型参数见表1,与第一生产批次的参数完全 一样。铸件X射线检测结果如图6d和h所示,缩松级别 达到1级,完全符合客户要求。

筋条间的间隙被填平后,与主浇道连接的筋条 (实际上充当内浇道)的截面积被增大,在充型参数 不变的情况下,此处凝固时间被延迟,有效地提高并 延长了通过内浇道对远端缩松区域的增压压力,从而 提高对流场末端的补缩能力,使整个补缩通道通畅。 这与在缩松处放置冷铁或者进行点冷却的工艺方法不 同,放置冷铁或者点冷却的目的使该处先于相邻区域 凝固,这种工艺方法对于远离浇道的孤立热节是有用 的。例如本铸件上模6个凸台是孤立热节,进行点冷 却,效果良好。采用冷铁或者点冷却,对于那些热节 圆较大的热节,很可能产生浇不足和冷隔。如果在这 些较大的热节处,采用补缩冒口的办法进行补缩,效



图7 改进后的浇注系统 Fig. 7 Improved gating system

果也不理想。

低压铸造铝合金复杂薄壁铸件,对于解决缩松的 工艺方法有很多。要分析铸件的具体结构,并充分利 用铸件本身的结构特点,例如充分利用铸件加强筋或 者筋条充当内浇道进行分流和传递压力,保证充型阶 段和保压阶段的压力传递,从而实现从热节到主浇道 之间的顺序凝固。

3 力学性能检测结果

铸件T6热处理工艺为:固溶温度538 ℃保温5 h+ 时效温度175 ℃保温3 h,炉温波动±5 ℃。测试三根 本体试棒并取平均值,抗拉强度为258 MPa、伸长率 为5.3%、布氏硬度HB为98。承载测试时,按照客户 要求,在机加工后的铸件的末端用钢绳悬挂500 kg的 重物,持续10 min,如图8所示。卸载后进行平面度测 量,铸件无变形,检测结果完全符合客户要求。

4 结论

(1)对低压铸造铝合金复杂多筋的腔体铸件,优 化充型参数对铸件缩松的补缩效果不太明显。

(2)在不使用冷铁和点冷却的前提下,可以利用 铸件多筋的结构特点,充分利用铸件加强筋或者筋条充 当内浇道进行分流和传递压力。

(3)将与主浇道相连的筋条适当连接和贯通,即 增加内浇道的截面积,保证充型阶段和保压阶段的压力 传递,从热节到主浇道之间实现顺序凝固,从而实现对 铸件缩松处的有效补缩,提高铸件良品率。



图8 铸件机加工后的承载测试 Fig. 8 Load test of castings after machining

参考文献:

- [1] 郑小秋,谢世坤,易荣喜,等.低压铸造技术:发展历程、研究现状和未来趋势[J].材料导报,2016,30(4):74-81.
- [2] 李美娥,王友序,吕衣礼.充型形态对低压铸造薄壁铸件凝固过程的影响[J].铸造,2000,49(7):418.
- [3] 廖可,舒惠明,万慧,等.低压铸造在大型复杂薄壁结构铝合金铸件的工艺研究[J].科技创新与应用,2017(30):78–79.
- [4] 周中波,李金山,寇宏超,等.工艺参数对低压铸造薄壁件充型能力的影响 [J].特种铸造及有色合金,2008,28(1):23-25.
- [5] 习海潮,王洋,石红利.大型铝合金耐压壳体的低压铸造工艺 [J].铸造技术,2005,26(1):57-58.
- [6] 李落星,张立强,高文理,等.铝合金薄壁件金属型低压铸造成形工艺研究 [C]// 2007年中国机械工程学会年会论文集,沈阳, 2007: 812-818.
- [7] 熊华平,熊博文,蔡长春,等.薄壁铝合金壳体低压铸造工艺设计及模拟优化 [J]. 特种铸造及有色合金, 2014, 34 (8): 831-833.
- [8] 王群,孙占春,范云波.铝合金箱体低压铸造数值模拟及其优化设计 [J].特种铸造及有色合金,2017,37(3):284-287.

Low Pressure Casting Process of Thin-Wall Ribbed Aluminum Alloy Cavity

CHEN Zheng-zhou, SONG Zhao-hui, WANG Ju-qing

(Ningbo Zhongda Leader Intelligent Transmission Co., Ltd., Cixi 315301, Zhejiang, China)

Abstract:

According to the structural characteristics of thin-wall ribbed aluminum alloy cavity, initial low pressure casting process was designed. The production shows that there is the dispersed shrinkage in the castings. In order to remove the defects, both technical measures, improving filling parameters and using the ribs in the casting as the ingate, were adopted and the X-ray real time imaging equipment was used to conduct a real time test on the dispersed shrinkage zone. The results show that the improvement of filling parameters has no obvious effect on the reduction of the dispersed shrinkage. However, it is very effective to increase the sectional area of ingates, and the yield of casting is also greatly improved.

Key words:

low pressure casting; thin-wall ribbed; cavity; dispersed shrinkage