

基于数值模拟仿真技术的机柜壳体铸造工艺优化

李燕霞, 邵明辉, 付 军, 赵翠翠

(河北汉光重工有限责任公司, 河北邯郸 056028)

摘要: 介绍了机柜壳体的结构及原铸造工艺, 对铸件尺寸超差、缩孔、缩松产生原因进行了分析。通过调整分型方法、改变浇注方式、增强补缩、加强熔炼过程控制等进行工艺优化, 利用ProCAST软件对优化后的工艺进行模拟仿真, 预判合格后投入实际生产。优化后铸件关键部位缩孔明显减少, 尺寸一致性提高, 综合成品率由55%提升至94%。

关键词: 机柜壳体; ZL101A; 数值模拟; 工艺优化

机柜壳体铸件尺寸约为1 600 mm × 550 mm × 320 mm, 毛坯重量约95 kg, 壁厚不均匀, 壁厚最大处为22 mm, 最小处为8 mm。壁厚不均匀会影响金属液的流动性, 且容易产生缩松、缩孔等缺陷。2020年5月生产一批20件该铸件, 其中因缺陷问题报废6件, 因中部阶梯面厚度尺寸超差报废3件, 合格率仅为55%。针对以上问题, 对铸造分型进行重新设计, 在数值模拟技术的基础上对优化后工艺方案进行仿真, 优化后铸件的合格率明显提高。

1 产品性能要求

机柜壳体材质为ZL101A, II类铝合金铸件, T6热处理状态。根据GB/T 1173-2013铸造铝合金的要求, 铸件化学成分必须满足表1要求, 力学性能必须满足表2要求, 加工面质量需满足II类铸件标准要求。

机柜壳体的结构形状较为规整, 整体呈长方体结构, 主体分上下两腔, 中间部位有薄壁阶梯平面, 内部有多处凸台和加强筋, 如图1所示。外形和箱体周沿有许多平面和精度孔要加工, 加工后表面不能出现缩孔、裂纹、夹渣等缺陷。铸件成形难点集中在机柜壳体薄壁面、中间阶梯平面及精度孔所在周沿。

2 原铸造工艺方案

机柜壳体采用树脂砂重力铸造工艺方法。模具材质为红松, 芯盒采用拆分式的结构。造型时冒口、浇道设置在上箱, 并扎透气孔。型砂强度及紧实度适中, 砂箱刚度足够。砂芯表面涂抹均匀涂料, 并进行点火烘干。

作者简介:

李燕霞(1988-), 女, 硕士, 工程师, 从事铸造工艺及模具设计工作。E-mail: liyanxia_120@163.com

中图分类号: TG292

文献标识码: A

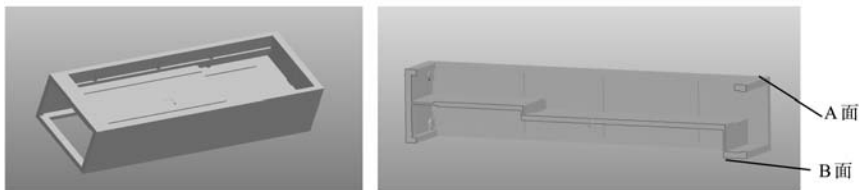
文章编号: 1001-4977(2021)

06-0736-04

收稿日期:

2021-01-25 收到初稿,

2021-04-02 收到修订稿。



(a) 整体结构

(b) 内部结构

图1 柜体骨架结构三维图

Fig. 1 3D structural diagram of cabinet shell

2.1 砂芯设计

选择中间阶梯面为分型面，上下分型，上下砂芯之间没有明显的定位结构，且砂芯重量较大，造型组芯难度大。组合砂芯包含外皮芯、顶芯和底芯。顶芯依靠外皮搭接定位，砂芯之间定位必须明确，保证位置准确。各砂芯依靠彼此之间的定位组成整体砂芯。浇注系统定制于底箱和外皮芯内部。

2.2 浇冒口设计

采用开放式浇注系统，单侧浇注顶面进液，内浇道宽且薄，横浇道置于上箱，浇注过程中利于浮渣。造型时在内浇道前端设置过滤网，一方面降低铝液对铸型的冲击力，防止冲砂；另一方面，可以避免铝液产生紊流，保证铝液充型平稳^[1]。

采用热节圆法设置13个冒口，中部阶梯平面上设置三个暗冒口，其余均为明冒口，工艺方案如图2所示。明冒口有利于金属液在充型过程中的排渣、排气。暗冒口散热比明冒口慢，补缩效率高，并且可以节省金属液^[2]。

在铸件底部，中部平面热节处及内部厚大凸台处放置冷铁，一方面保证顺序凝固方式；另一方面加强了侧壁处的补缩，降低该处出现缩孔缩松等缺陷的概率。冷铁选择与铸件同材质，冷铁形状根据安放位置确定。

3 质量情况及原因分析

机柜壳体铸造试制后出现中部薄壁缩孔严重，侧壁上打孔A面缩孔严重，中部平面厚度一致性不好等问题。经过生产现场调查，产生这些问题的原因是：

①中间平面薄壁部位补缩、排气不畅，虽设置了冒口和冷铁，但是需补缩面积较大且壁厚不均匀，最终不能完全补缩，如盲目加大冷铁面积或冒口尺寸，则会影响到铝液充型和降低铸件的工艺出品率；②A面造型时在上部，为集渣排气部位，容易产生缩孔、夹渣缺陷；③砂芯设计定位不准确，该铸件分上下两腔，上下砂芯定位只能依靠与外皮砂芯的搭接，且该部位为盲视区域，造型时不能准确检验上下腔之间的厚度。

4 工艺优化及验证

4.1 工艺优化

对原工艺方案采用数值模拟仿真的方法进行分析，如图3所示，发现A面周沿、侧臂、中部薄壁出现不同程度的缩孔缺陷，与实际生产中遇见的问题一和问题二相符。原工艺方案以中间阶梯面作为分型面，中部薄壁阶梯平面补缩排气不畅，极易造成缩孔、夹

渣缺陷，为改善这一问题更改造型方法，继续采用阶梯面为分型面，但调整为左右分型，工艺方案如图4所示。

相较于原工艺，这种工艺方法的优点是，造型组芯操作难度降低；中部阶梯厚度可以直接测量，有效保证阶梯面厚度的一致性；中部阶梯平面可以通过上箱明冒口直接补缩；缺点是，铸件造型方向改变后，浇注高度增大，如继续采用顶浇，铝液下倾剧烈容易产生紊流，所以将浇注方式改为底部浇注。为满足铝液快速均匀充型，将直浇道分布铸件两侧中间位置。

铸件横向跨度较大，为了保证金属液快速平稳充型，采用开放式浇注系统。设置专用浇注系统，直浇道、横浇道、内浇道总截面积比为 $\sum F_{直} : \sum F_{横} : \sum F_{内} = 1 : 2.8 : 3.6$ 。在铸件热节圆处加设13个冒口，全部为明冒口，利于充型过程中的补缩、排气、排渣。为加强补缩效果，在铸件底部及厚大凸台位置放置冷铁。

表1 铸件化学成分要求
Table 1 Chemical composition requirements of casting

				$w_B / \%$
Si	Mg	Ti	Fe (S)	
6.5 ~ 7.5	0.25 ~ 0.45	0.08 ~ 0.2	≤ 0.2	

表2 铸件力学性能要求
Table 2 Mechanical properties requirements of casting

热处理状态	抗拉强度/MPa	伸长率/%	硬度HB
淬火+人工时效	≥ 275	≥ 2	≥ 80

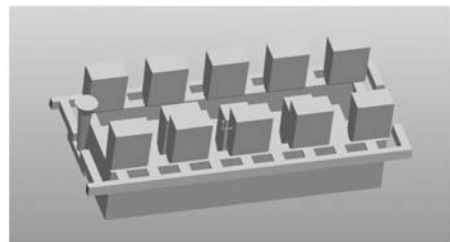


图2 原铸造工艺图

Fig. 2 Original casting process of cabinet shell

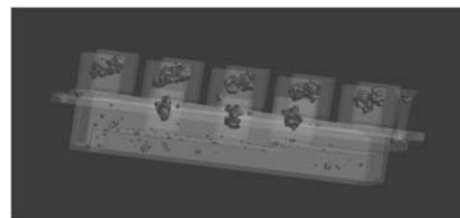


图3 工艺模拟结果

Fig. 3 Original casting process simulation results

4.2 模拟结果及分析

运用ProCAST模拟仿真软件对优化后的铸造工艺进行数值模拟分析。采用呋喃树脂砂造型重力浇注方式，浇注温度为720℃，砂型温度20℃，冷却方式为空冷。充型时铸件两侧同时浇注，液流由内浇道进入铸型中，沿铸型高度方向自下而上顺序充型，如图5所示。整个充型过程由下至上层次分明，未出现明显紊流。金属液最后进入冒口位置，温度呈由下向上分布趋势，冒口位置温度较高。凝固中后期，如图6所示，因铸件高度较高，在中部薄壁位置出现少许孤立液相区，冒口为最后凝固位置，铸件四周侧壁厚大部位补缩良好。

图7为铸件缩孔、缩松分布模拟图。从图中可以看出，缩孔缩松缺陷多分布于浇注系统、冒口处。中间薄壁及底部出现少量缩孔、缩松，可以在这些位置加

设冷铁，辅助补缩，进一步减少缺陷。A、B面周沿精度孔位置未出现缩孔、缩松等缺陷。相较于原工艺方案，优化后的工艺方案缺陷均分布在非安装面的非加工面，且数量明显减少。

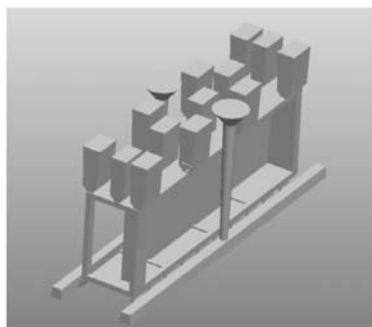


图4 铸造工艺图

Fig. 4 Optimized casting process

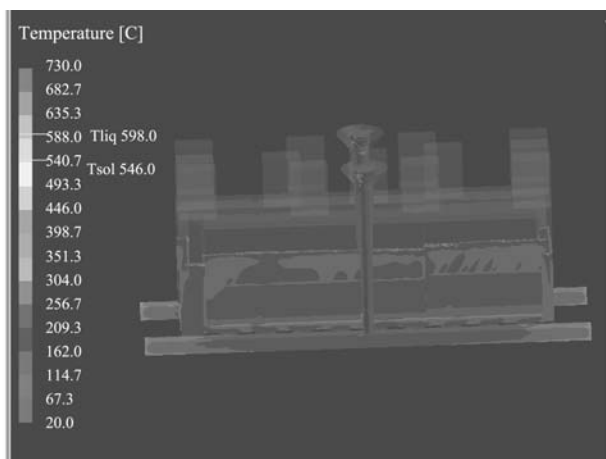


图5 铸件充型模拟

Fig. 5 Simulation result of mold filling

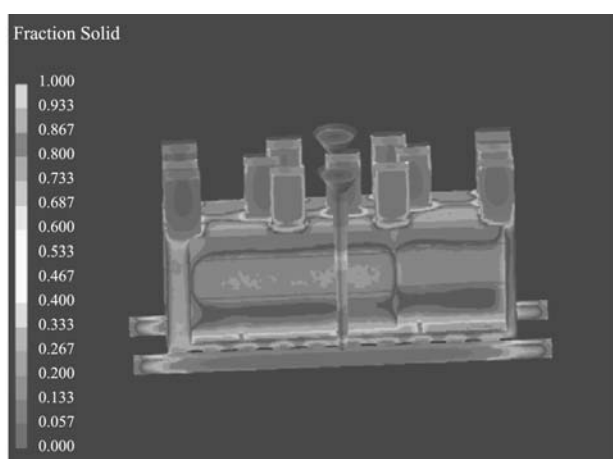
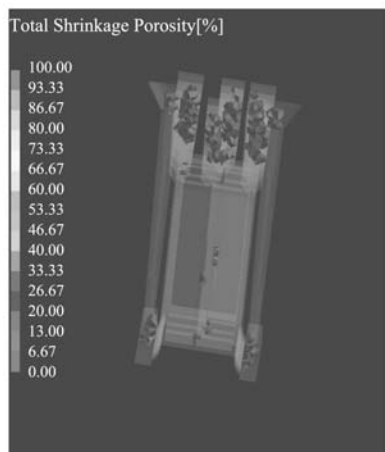
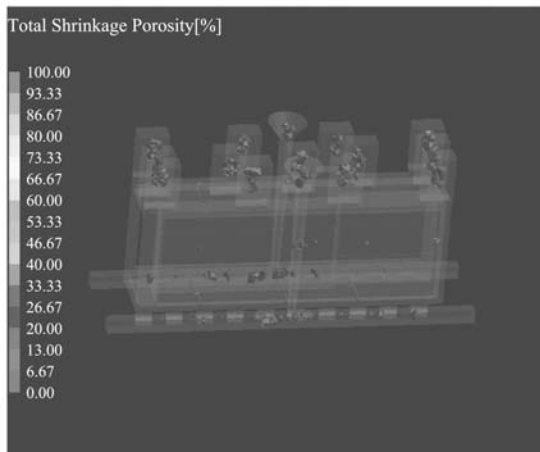


图6 铸件凝固过程模拟

Fig. 6 Simulation result of solidification process



(a) 铸件侧面缺陷分布



(b) 铸件正面缺陷分布

图7 铸件缺陷分布

Fig. 7 Casting defects distribution

4.3 生产验证

按照工艺设计方案进行一型一件的工艺布局。模具设计与制作中对模具结构、尺寸及配合性进行检查,确定无误后投入造型生产。砂型和砂芯强度符合工艺要求,组合造型前进行烘干,避免砂芯潮湿增大发气量。砂芯整体规整,出模方便,在起模时没有出现掉砂情况,造型时型腔内的砂粒清理干净。

采用中频感应电炉对铝合金进行熔炼,并于电阻保温炉内进行精炼、变质处理。控制精炼温度在710~730℃,操作时均匀缓慢做顺时针转动,以避免金属液大幅度搅动增加氢含量和卷入夹杂。采用铝合金液真空试样密度检测方法检测铝液效果,密度大于2.64 g/cm³方可使用。精炼完成静置15 min后进行二次除气,此操作只通氩气。炉前制作试块,光谱检测化学成分合格后方可浇注

浇注结束8 h后进行开箱振动清砂,切除浇注系统和冒口。清理完成后对铸件毛坯及随炉试样进行T6处理,即淬火+人工时效热处理操作。热处理完成后对铸件毛坯尺寸进行检验,并进行校形。

经检验铸件毛坯整体质量良好,轮廓清晰,内外表面平整,未发现裂纹、缩孔、缩松、冷隔等铸造缺

陷。局部出现少量飞边,打磨清理即可。铸件尺寸符合标准要求,其中阶梯面厚度满足要求。对随炉试样进行检验,铸件化学成分和力学性能检测结果符合技术要求。通过后期机械加工检验,铸件内、外部质量符合技术要求,已经通过客户联合验收检查。经统计工艺优化以来,铸件综合成品率由55%提升至94%。

5 结论

(1) 两侧底部浇注方法的使用,避免了浇注过程中产生的液流不稳的现象,有利于补缩和排气,充型充分,有效控制铸件质量。

(2) 改变分型方法,一方面,更容易补缩中部阶梯薄壁;另一方面,在下芯时更容易测量检查中部阶梯平面厚度,有利于保证铸件尺寸一致性。

(3) 工艺优化后,铸件综合成品率由55%提升至94%。

(4) 实际生产验证了优化后工艺方案的合理性和可行性,为今后研制更为复杂的铸件打下了坚实的基础。

参考文献:

- [1] 柳百成, 黄天佑. 铸造成形手册 [M]. 北京: 化学工业出版社. 2009.
- [2] 中国机械工程学会铸造分会. 铸造手册: 铸造工艺 [M]. 第2版. 北京: 机械工业出版社. 2002.
- [3] 铸造有色金属及其熔炼联合编写组. 铸造有色金属及其熔炼 [M]. 北京: 国防工业出版社. 1985.
- [4] 陈延伟, 刘佳琳, 赵亚鹏. 铸造铝合金在舰船装备应用中存在的问题及发展趋势 [J]. 铸造, 2020, 69 (4): 329-334.
- [5] 冯志军, 孙学敏, 马春江. 大型薄壁铝合金箱体的铸造工艺 [J]. 铸造, 1995 (9): 23-25.
- [6] 王君卿, 孙逊, 关洋, 等. 大型铸件成形过程数值模拟及工艺优化 [J]. 铸造, 2006, 55 (9): 916-921.
- [7] 李燕霞. U型支架铸造工艺设计 [J]. 铸造, 2020, 69 (1): 89-92.

Optimization of Casting Process of Cabinet Shell Based on Numerical Simulation Technology

LI Yan-xia, SHAO Ming-hui, FU Jun, ZHAO Cui-cui
(Hebei Hanguang Industry Co., Ltd., Handan 056028, Hebei, China)

Abstract:

Based on the structure characteristics of the cabinet shell, its original casting process and the reasons for the size out of tolerance, slag inclusion and porosity in the production process were analyzed. The casting process was optimized by adjusting the mold parting method, changing the pouring mode, enhancing the feeding, and strengthening the control of the melting process. The optimized process was simulated by ProCAST software and actual production was carried out after verification. After the process optimization, the comprehensive yield of casting was increased from 55% to 94%.

Key words:

cabinet shell; ZL101A; numerical simulation; process optimization