

基于 ProCAST 的 ZL107 合金进气管倾转铸造工艺优化

肖良红^{1,2,3} 艾自祯^{1,2} 陆东^{1,2} 汪宇^{1,3}

(1.湘潭大学机械工程学院; 2.湘潭大学复杂轨迹加工工艺及装备教育部工程研究中心;
3.湘潭大学焊接机器人与应用技术湖南省重点实验室)

摘 要 倾转铸造生产 ZL107 铝合金进气管及用 ProCAST 模拟发现铸件上多处出现了缩松、缩孔,通过正交试验研究了模具预热温度、浇注温度、倾转速度、浇口杯预热温度对铸件缩孔、缩松缺陷的影响。结果发现,影响顺序为模具预热温度>浇注温度>倾转速度>浇口杯预热温度。最优工艺参数:浇注温度为 740 ℃、上下模分别预热 400 ℃和 350 ℃、倾转速度为 9.0°/s、浇口杯预热温度为 300 ℃。对厚壁部位进行激冷、修改浇冒口结构并保温处理后,数值模拟发现优化后铸件的凝固顺序合理,缩松、缩孔消失,并进行了实际生产验证。

关键词 ZL107 铝合金进气管;倾转铸造;正交试验;工艺优化

中图分类号 TG249.3;TP391.9

文献标志码 A

DOI:10.15980/j.tzzz.2021.10.025

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Optimization of Tilting Casting Process for ZL107 Alloy Intake Pipe
Based on ProCAST

Xiao Lianghong^{1,2,3}, Ai Zizhen^{1,2}, Lu Dong^{1,2}, Wang Yu^{1,3}

(1.School of Mechanical Engineering, Xiangtan University; 2.Engineering Research Center of Complex
Tracks Processing Technology and Equipment of Ministry of Education, Xiangtan University;
3.Key Laboratory of Welding Robot and Application Technology of Hunan Province, Xiangtan University)

Abstract: According to the shrinkage porosity and cavity in ZL107 aluminum alloy intake pipe during the tilting casting and numerical simulation on ProCAST, the tilting casting process was optimized by orthogonal numerical simulation experiments to eliminate these defects. The results indicate that the influence of factors on shrinkage porosity present as follows: mould preheating temperature>pouring temperature>tilting speed>gate cup preheating temperature. The optimized tilting casting process parameters are as follows: pouring temperature of 740 ℃, preheating temperature of 400 ℃ and 350 ℃ for upper and lower mould, respectively, mould tilting speed of 9.0°/s, preheating temperature of gate cup of 300 ℃. After chilling the thick wall, modifying structure of riser system and insulation, the numerical simulation reveals that the solidification sequence of the casting is reasonable, and the shrinkage porosity and cavity disappear after optimizing, which is verified by practical production.

Key Words: ZL107 Aluminum Alloy Intake Pipe, Tilting Casting, Orthogonal Experiment, Process Optimization

进气管是汽车发动机的重要零部件之一,传统的进气管大多采用铸铁制造。近年来,为解决可再生能源短缺和环境污染带来的问题,铝合金用于生产汽车发动机进气管得到重视^[1]。进气系统决定着发动机的进气效率和各缸充气均匀性,对发动机整机性能有着重要影响^[2],从而要求进气管有光滑的铸造内壁,不允许出现粘砂、裂纹、缩松缩孔等缺陷^[3]。铝合金进气管一般采用砂型、金属型、消失模、压铸等工艺生产^[4]。由于金属型倾转铸造在充型过程中液面平稳,充型顺序合理,极

大地改善了铸件的品质^[5],因而被广泛采用。

对铸件的成形过程进行有限元数值模拟分析,能有效预测铸造过程中出现缺陷的位置和大小,并且可以通过优化工艺有效地消除这些缺陷^[6]。近年来,国内外学者对倾转铸造过程的数值模拟分析进行了许多研究。吴士平等^[7]运用 AnyCasting 软件分别模拟了常规重力铸造和倾转铸造铝合金排水管的過程,得出倾转铸造的金属液流动速度比常规重力铸造的流速要小,倾转铸造时铸件的温度梯度更合理,并用倾转铸造生产了铝合金

收稿日期:2021-03-30;修改稿收到日期:2021-04-22

基金项目:湘潭大学博士启动基金资助项目(12QDZ1)

第一作者简介:肖良红,男,1968 年出生,副教授,湖南湘潭(411105),E-mail:lhxiao@xtu.edu.cn

引用格式:肖良红,艾自祯,陆东,等. 基于 ProCAST 的 ZL107 合金进气管倾转铸造工艺优化[J]. 特种铸造及有色合金,2021,41(10):1 306-1 312.

XIAO L H, AI Z Z, LU D, et al. Optimization of tilting casting process for ZL107 alloy intake pipe based on ProCAST[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2021, 41(10):1 306-1 312.

排水管来验证模拟的准确性。WANG Y 等^[8]通过单因素和多因素正交试验方法设计了数值模拟工艺,研究了浇注温度、倾斜时间和模具预热温度等参数对倾转铸造铝合金汽车排水管品质的影响,研究了倾转铸造下缺陷产生的位置及大小,并对工艺进行了优化。WANG H 等^[9]研究了 γ -TiAl 合金涡轮叶片倾转铸造过程中模具旋转速度对铸件品质的影响,并通过数值模拟优化了倾转铸造工艺。

某六缸发动机 ZL107 进气管采用倾转铸造时,出现缩孔等缺陷,需对其铸造工艺进行优化,以便消除这些缺陷。基于先前的研究,分析了 ZL107 合金成分对其性能的影响,基于合金的热物理性能,初步确定 ZL107 合金进气管的铸造工艺参数,并针对原有工艺生产的进气管出现的问题,利用 ProCAST 软件对其充型和凝固过程进行数值模拟,分析成形过程中的温度场、凝固过程以及缩松、缩孔分布^[10],验证铸造缺陷所在的位置和类型。通过选取铝液浇注温度、模具预热温度、浇口杯预热温度、倾转速度设计正交试验方案,借助数值模拟分析这些工艺参数对铸件品质的影响,并获得合理的倾转铸造工艺参数,从而对工艺和模具结构进行优化,消除 ZL107 合金进气管铸件所产生的缺陷,提高铸件品质。

1 进气管倾转铸造工艺及产生的缺陷

某六缸发动机进气管的零件形状见图 1。其轮廓尺寸为 938.5 mm×194 mm×165 mm,最小壁厚为 5.0 mm,属于薄壁类铸件,铸件材质为 ZL107 铝合金,质量约为 9.15 kg。采用倾转铸造成形,铸件上部为 6 个矩形截面弯管,见图 1b;下部为一个水平直通矩形截面管,其与 6 个弯管联通,管外壁前侧凸出一个厚大平面,见图 1a;水平矩形截面管的右端为圆形出口,左端为方形出口,左右两端出口处周围均需钻孔,在钻孔处内侧

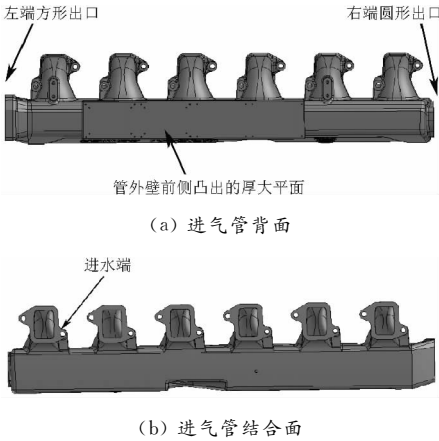


图 1 六缸进气管的三维零件图

Fig.1 3D diagram of intake pipe with six cylinders

均设有小凸起以增加孔壁强度。根据产品使用性能要求,不允许出现砂眼、针孔、窝气、冷隔、浇不足、夹渣、缩松、缩孔等缺陷。

ZL107 合金化学成分见表 1。合金中 Si 能改善合金的流动性,降低热裂倾向,减少缩松,提高气密性;Cu 可使合金强度和硬度提高;合金中加入 Mg、Zn 和 Mn 等微量元素可提高合金的强度和硬度^[11~14]。ZL107 合金的密度和力学性能见表 2^[15]。

表 1 ZL107 合金的化学成分

Tab.1 Chemical composition of ZL107 alloy %					
w_B					
Si	Cu	Mg	Zn	Mn	Al
6.9	4.1	0.08	0.18	0.25	余量

表 2 ZL107 合金室温下的密度和力学性能

Tab.2 Density and mechanical properties of ZL107 alloy at room temperature			
密度/(g·cm ⁻³)	抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	硬度(HBS)
2.77	165~275	125~185	65~100

在 JMatPro 软件平台上输入合金成分,计算获得 ZL107 合金相图,见图 2。可以看出,ZL107 合金主要有 α -Al、Si、 θ -Al₂Cu 以及液相等 4 个相区,以及极少量的 Mg₂Si。分析相图得出该合金的固液相区间为 526~603 ℃,在低于 526 ℃时,合金主要以 α -Al 相为主,还存在 θ -Al₂Cu 相以及极少量的 Mg₂Si 相。在 526~565 ℃范围内,ZL107 合金主要以 α -Al、Si 以及液相存在;在 565~603 ℃内,则为液相与 α -Al 相共存,在该温度区间内,随温度降低,液相逐渐析出 α -Al 相。铸铝件一般浇注温度在液相线温度以上 70~110 ℃^[16],通过对 ZL107 合金相图的分析,考虑液态合金运输过程的热损耗,故实际生产时选取初始浇注温度为 720 ℃。其他倾转重力铸造工艺参数:浇口杯预热温度为 320 ℃,上模预热温度为 400 ℃,下模预热温度为 350 ℃,砂芯温度为 25 ℃,倾转时间为 12 s,倾转角度为 90°。

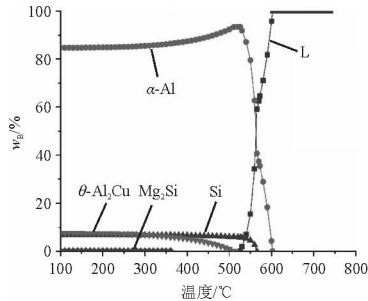


图 2 ZL107 合金的铸造相图
Fig.2 Phase diagram of ZL107 alloy

而 ZL107 铝合金的密度、导热系数等与铸造成形密切相关的物性参数随温度变化而变化,见图 3。

ZL107 合金进气管采用金属型倾转铸造,模具材质为球墨铸铁,型芯用树脂砂制作,在下部水平直通矩形

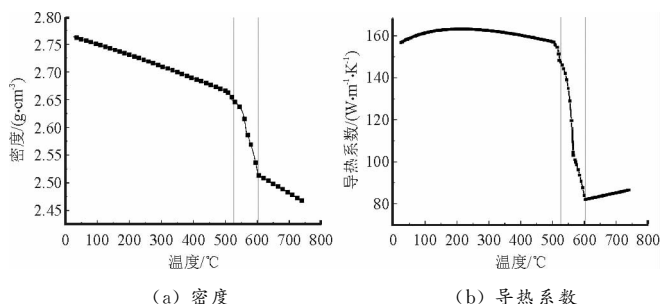
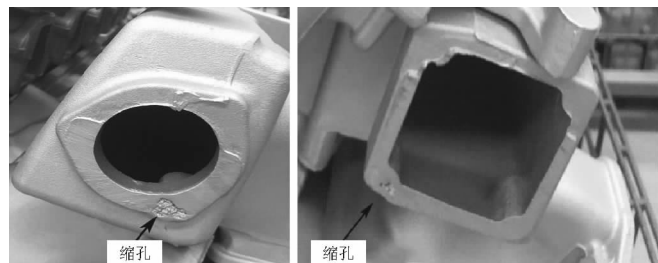


图 3 ZL107 合金的密度和导热系数随温度变化曲线

Fig.3 Variation curves of density and thermal conductivity of ZL107 with temperature

截面管左右两端各设置 1 个厚度为 20 mm 的冒口,并在进气管 6 个结合面处(见图 1b)分别设置了内浇道,采用 6 个内浇道均匀分散进液,在下部前侧厚大平面处设置了外冷铁。但是原工艺生产的进气管主要存在缩孔等缺陷,其中水平矩形截面管左右两端出口处的缺陷见图 4,需通过工艺优化解决这些铸造缺陷。



(a) 右端圆形出口处缩孔 (b) 左端方形出口处缩孔

图 4 铸件实物缺陷图

Fig.4 Shrinkage porosities in casting entity

2 进气管倾转铸造过程数值模拟

2.1 有限元模型建立

ZL107 铝合金进气管铸件采用倾转式重力铸造。首先将金属液倒入浇杯,通过浇注设备,将模具倾转,金属液在重力作用下,流入型腔^[17]。按现有倾转铸造工艺,首先用 UG 软件对带浇注系统的进气管铸件进行三维实体建模,见图 5。再将三维实体模型导入到 ProCAST 软件,设置 Z 轴为旋转轴,在 X-Y 平面内,由 Y 轴方向往 X 轴方向旋转。

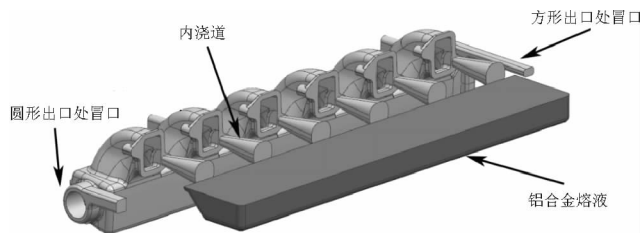
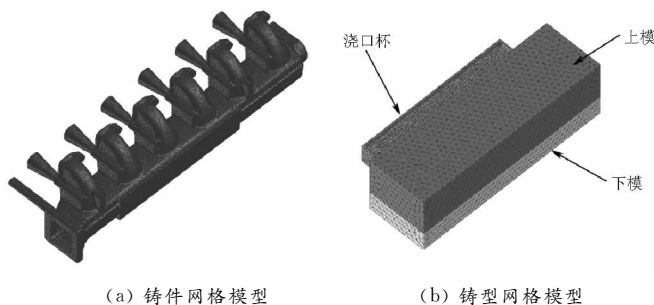


图 5 带浇注系统的进气管铸件三维实体模型

Fig.5 3D model of intake pipe with gating system

利用 ProCAST 的 mesh 模块对铸件以及铸型进行

有限元网格划分:先用三角形单元划分面网格,修复面网格后生成四面体网格。共划分面网格 139 313 个,最后获得 2 071 284 个四面体单元,所得进气管倾转铸造有限元模型见图 6。据现有倾铸铸造工艺参数进行进气管铸造有限元数值模拟前处理设置:ZL107 铝合金的浇注温度为 720 °C,浇口杯预热温度为 320 °C,上模预热温度为 400 °C,下模预热温度为 350 °C,砂芯温度为 25 °C,倾转时间为 12 s,最大倾转角度为 90°。浇注开始时,浇口杯轴线呈水平状态,在铝液全部倒入浇口杯后,立即通过铸造设备,在 12 s 内,将模具倾转 90°,使浇口杯轴线呈竖直状态,在倾转过程中金属液充填铸型并同时凝固。铸件与砂芯、铸件与铸型之间的传热系数设置分别为 500、1 500 W/(m² · K)^[18,19]。



(a) 铸件网格模型 (b) 铸型网格模型

图 6 进气管倾转铸造有限元数值模拟网格模型

Fig.6 Mesh model for finite element numerical simulation of intake pipe casting

2.2 数值模拟结果分析

2.2.1 充型过程分析

为了获得品质良好的铸件,应该使铸件底部金属液温度较低,冒口温度较高,以便形成自下而上的顺序凝固,让冒口起到补缩作用。对倾转铸造过程速度场的分析^[7],可得知倾转铸造时,铝液在铸型内的流速比普通重力铸造要小,与模具以及砂芯换热的时间延长,金属液散热量大。倾转速度不同,在充型过程中会出现不同的温度梯度。

充型过程的温度场分布见图 7。可以看出,充型 25% 时(即倾转了 1.8 s,模具约倾转了 13.5°),由于铸件底部铝液流速较慢,与金属型模具以及砂芯的传热时间较长,从而散热量较大,温度下降较快,其中薄壁圆角处的温度下降最快,但是合金温度仍高于液相线温度,呈液态。随着模具继续倾转,铸型内的金属液平面缓慢上升,充型 50% 时(即倾转了 2.5 s,模具倾转约 18.75°),见图 7b,铸件底部已经充满,铸件下部前侧厚大平面处由于受到金属铸型以及冷铁的激冷,外表面温度急剧下降至 620 °C 左右。充型 75% 时(即倾转了 3.1 s,模具倾转了约 22.5°),见图 7c,铸件右侧圆孔出口处的暗冒口已经充满,左侧方形出口处的冒口也充满了大

部分,两侧的冒口由于受到金属铸型的激冷,温度下降较快,并且右侧圆孔出口处的暗冒口顶端温度相比铸件温度略低,易造成铸件内部凸起部分的补缩通道关闭,从而可能产生缩松缩孔缺陷。当充型时间为 6 s 时(模

具倾转了约 45°),见图 7d,铸型已充满,管身薄壁处总体温度较低,两侧冒口温度也下降至 580 ℃左右,而 6 个靠近内浇道处的圆柱厚大部位温度较高,内浇道金属液温度最高,有利于及时补缩。

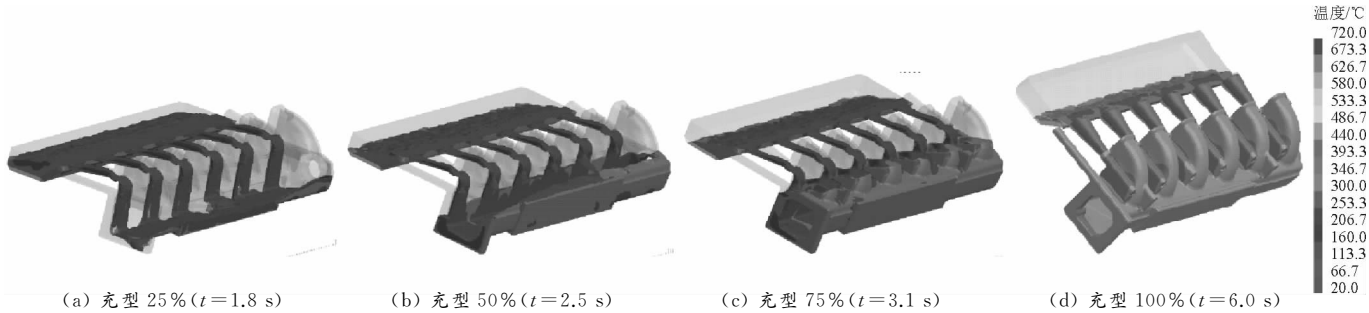


图 7 进气管倾转铸造充型过程温度场

Fig.7 Temperature field of intake pipe by tilting casting during filling process

从整个填充过程来看,ZL107 合金填充过程良好,填充过程金属液的温度始终高于固相线温度(526 ℃),倾转过程金属液流速较低,并未产生浇不足现象,完成了从下至上的顺序充型过程。但由于冒口结构及位置设计不合理,右侧圆形出口处的暗冒口与铸件相连部分出现了新的热节;并且由于冒口的温度下降较快,铸件得不到补缩。另外,铸件一些冷却速度较慢的厚壁区域产生热节。

2.2.2 凝固过程分析

一般可用固相率的分布图来描述铸件的凝固顺序,ZL107 铝合金进气管倾转重力铸造时,其固相率 0~70% 的分布图见图 8。可以看出,金属液在充型过程中,温度降到液相线温度(603 ℃)以下的合金开始凝固。从图 8a 可以看出,由于管身薄壁处受到金属铸型的激冷,散热较大,温度下降较快,首先开始凝固,而内部有一个小突起的铸件管身厚壁处最后凝固(见图 8a

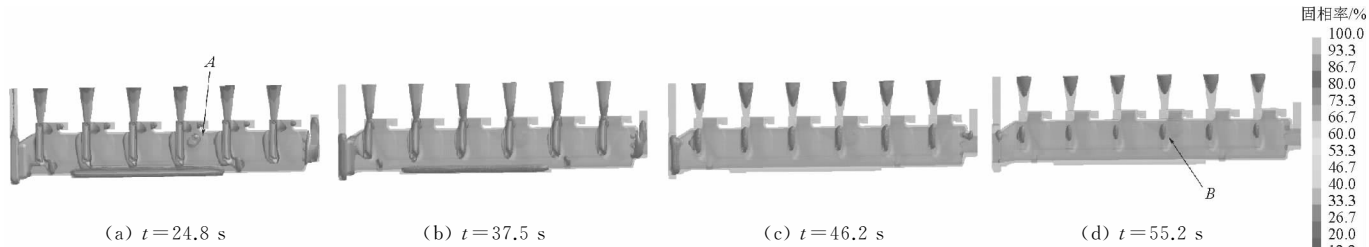


图 8 铸件固相率 0~70% 分布图

Fig.8 Distribution diagrams of castings with solid fraction in range of 0~70%

中 A 处),此时周围薄壁部分已经凝固完成,而此处得不到金属液的及时补缩,可能会产生缩松、缩孔缺陷。

随着凝固的持续进行,铸件上部的管身薄壁处已凝固完成,铸件下部厚壁未完全凝固,而下部前侧厚大平面处的凝固顺序为四周往中间开始凝固,凝固顺序不合理,最后凝固的中间部位得不到补缩而容易产生缩孔缺陷。同时可以看出,冒口的凝固顺序也不合理,冒口顶端先一步凝固,左右两端出口处厚壁部位的补缩通道关闭,见图 8c,容易产生热节。同样,内浇道末端的金属液先已凝固,而图 8d 中 B 处的金属液还未完全凝固,由于补缩通道关闭,在 B 处得不到补缩,也会产生缩松、缩孔等铸造缺陷。

2.2.3 缩松、缩孔预测

铸造过程数值模拟能预测铸件的缩松、缩孔等缺陷,进气管倾转铸造的缩松、缩孔概率分布云图见图 9。

可以看出,主要有 A~G 等部位会出现缩松、缩孔缺陷,分别为左右两端冒口附近的 B 和 F 处、下部前侧厚大平面的 D 处、上部弯管前侧两厚大凸台 E 处、结合面凸台 C 处、管内部螺孔凸台 G 处以及管身圆柱 A 处等厚大部位。在这些部位出现缩松、缩孔的主要原因是

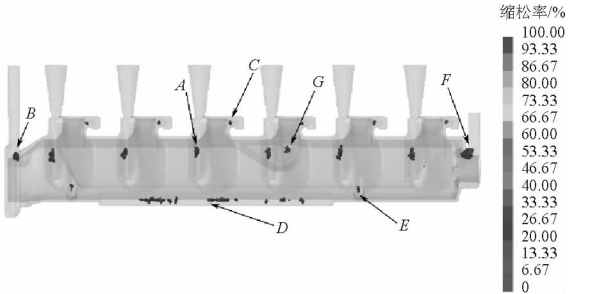


图 9 缩松缩孔分布云图

Fig.9 Nephogram of shrinkage porosity and cavity distribution

这些地方为局部热节,同时补缩通道关闭,这与前述铸件充型过程和凝固过程的数值模拟分析结果一致。其中 *B* 和 *F* 处的缩松、缩孔模拟分析结果与图 4 中缩孔缺陷位置一致,一定程度上证明了用 ProCAST 软件模拟 ZL107 铝合金进气管倾转重力铸造过程的准确性。

3 进气管倾转铸造成形工艺优化

3.1 正交模拟试验方案设计

铸造成形时,主要有铝合金浇注温度、模具预热温度、倾转速度以及浇口杯预热温度等工艺参数影响铸件质量。为了探讨这些工艺参数对 ZL107 进气管品质的影响,基于生产实际,设计了 4 因素 3 水平正交试验表,见表 3^[20]。以缩松、缩孔量作为评价指标,建立的 4 因素 3 水平 $L_9(3^4)$ 正交模拟试验方案及缩松、缩孔体积模拟结果见表 4。

表 3 4 因素 3 水平表

Tab.3 Four factors to three level

水平	浇注温度 A/℃	模具预热 温度 B/℃	倾转速度 C/(°·s ⁻¹)	浇口杯预热 温度 D/℃
1	720	上模 400 下模 350	7.5	320
2	700	300	6.0	340
3	740	350	9.0	300

表 4 正交模拟试验方案及模拟结果

Tab.4 Scheme and simulation results orthogonal simulation tests

试验号	因素				缩松缩孔体积/ cm ³
	A	B	C	D	
1	1	1	1	1	109.85
2	1	2	2	2	120.94
3	1	3	3	3	126.05
4	2	1	2	3	108.22
5	2	2	3	1	119.06
6	2	3	1	2	132.42
7	3	1	3	2	95.47
8	3	2	1	3	111.17
9	3	3	2	1	125.60
均值 k_1	118.95	104.51	117.81	118.17	—
均值 k_2	119.90	117.06	118.25	116.28	—
均值 k_3	110.75	128.02	113.53	115.15	—
R	9.15	23.51	4.73	3.02	—

从表 4 可知,第 7 号试验所得缩松、缩孔体积最小,即浇注温度为 740 ℃、上模预热温度为 400 ℃、下模预热温度为 350 ℃、倾转速度为 9.0°/s 以及浇口杯预热温度为 340 ℃时缩孔体积为 95.47 cm³。而各工艺参数对铸件缩松、缩孔体积影响曲线见图 10,极差越大的因素对缩松缩孔体积的影响也越大^[21]。可以看出,模具预热温度 $B >$ 浇注温度 $A >$ 倾转速度 $C >$ 浇口杯预热温度 D ; 选用各影响因素中缩松缩孔体积水平均值最小的工艺参数组成工艺参数的优化组合^[21] 为

A3B1C3D3,即浇注温度为 740 ℃、上模预热温度为 400 ℃、下模预热温度为 350 ℃、倾转速度为 9.0°/s 及浇口杯预热温度为 300 ℃,这组优化工艺参数与缩松缩孔体积最小的第 7 号试验参数 A3B1C3D2 相差不大。

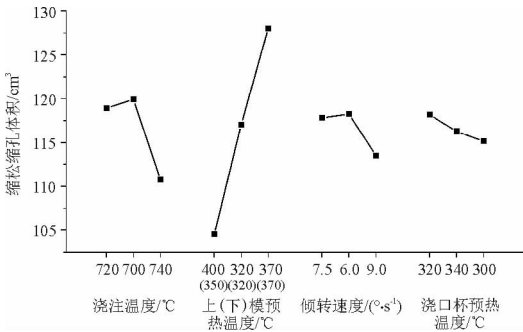


图 10 各因素对缩松缩孔体积的影响

Fig.10 Influence of various factors on the volume of shrinkage porosity and cavity

3.2 工艺改进及结果分析

通过 ProCAST 软件模拟 ZL107 铝合金进气管倾转重力铸造过程,发现采用原工艺下进气管存在许多缩松缩孔等缺陷。主要是局部热节及补缩通道关闭造成的,故需对原有倾转铸造工艺进行改进。

(1)将浇口杯改为带有分流块的结构 改进的浇注系统见图 11。从图 11a 可知,在进水口位置增设分流块,能有效分流并引导金属液流入模具型腔;另外,在浇口杯内喷涂一层厚度约 1.5 mm 的保温涂料改善金属液在充型过程的温度分布。模拟时,将保温涂料与金属液之间的传热系数设为 100 W/(m² · K)。

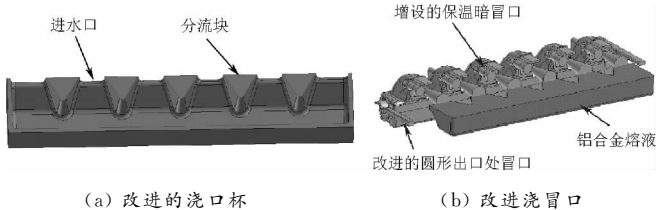


图 11 改进的浇注系统

Fig.11 Modified gating system

(2)增设陶瓷保温冒口 在铸件 6 个矩形截面弯管结合面有钻孔凸台的顶面各设置一个陶瓷套保温暗冒口,陶瓷套能保温^[22],使凸台在凝固时能够及时得到陶瓷套暗冒口内金属液的补缩。模拟时,将其与铸件之间的传热系数设为 100 W/(m² · K)。

(3)砂芯表面涂刷激冷涂料 在下部前侧厚大平面及左右两端出口内侧小凸台(见图 9 中 *D*、*B*、*F* 处)所对应的砂芯表面涂刷激冷涂料^[23]。在图 9 中 *E*、*G* 处所对应的砂芯表面涂刷激冷涂料并在铸型上增设冷铁。模拟时,将冷铁和激冷涂料与铸件之间的传热系数设为 2 500 W/(m² · K)。

(4)暗冒口改为明冒口 将铸件右端的暗冒口改为明冒口,并对内浇道以及左右两侧冒口喷涂 1.5 mm 厚的保温涂料进行保温处理。改进浇冒口的铸件三维几何模型见图 11b。

按优化的工艺参数(浇注温度为 740 ℃、上模预热 400 ℃、下模预热 350 ℃、倾转速度为 9.0 °/s、浇口杯预热温度 300 ℃)进行有限元建模,同时通过定义局部不同的材料特性以及传热系数来实现激冷涂料和保温涂料的作用。用优化后的工艺方案对铝合金进气管充型及凝固过程进行数值模拟,得到铸件上曾出现铸造缺陷的部位的温度变化曲线,见图 12。从图 12b 可以看出,铸件上不同部位的冷却速率不同,冷却速率大小依次为 $A>D>C>E>B$,即铸件最先凝固的区域为 A 区域,最后凝固区域为 B、E 区域。由此可见,在铸件凝固过程中,增设冷铁和激冷涂料的部位先完成凝固;做保温处理的部位在凝固过程中保持了补缩通道畅通,实现了浇冒口最后凝固。

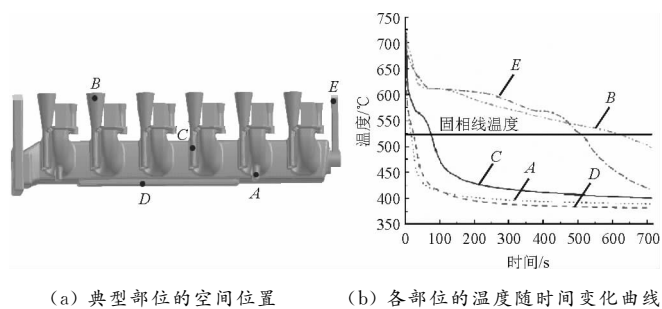


图 12 优化设计后的温度场分析

Fig.12 Analysis of temperature field after optimizing design

优化后进气管的缩松、缩孔预测见图 13。可以看出,缩松、缩孔均出现在浇冒口中,铸件上曾因局部热节造成的缩松、缩孔已消失,达到了工艺优化目的。

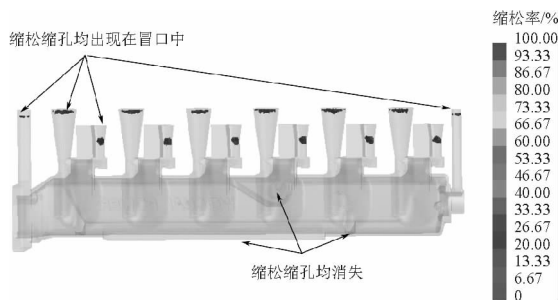


图 13 优化后的缩松缩孔概率分布云图

Fig.13 Probability distribution nephogram of shrinkage porosity and cavity after optimizing design

3.3 生产验证

按优化的倾转重力铸造工艺参数,采用改进的工艺措施,试生产的某六缸发动机 ZL107 铝合金进气管,见图 14。机加工后(尤其钻孔内壁)未发现露出的缩松、缩孔,在 0.5 MPa 压力下,保压 1 min 后未发生漏气现

象,满足了气密性要求。这说明用 ProCAST 软件模拟 ZL107 铝合金进气管倾转重力铸造过程,优化倾转铸造工艺是成功的。



(a) 右端圆形出口 (b) 左端方形出口

图 14 工艺优化后生产的铸件

Fig.14 Produced castings after process optimization

4 结 论

(1)对 ZL107 铝合金进气管倾转铸造过程进行数值模拟分析,发现铸件上多处厚大部位出现了缩松、缩孔缺陷,与实际生产发现的缺陷一致,找出了产生缺陷的原因。

(2)通过正交试验,分析了各倾铸工艺参数对铸件缩松、缩孔的影响,发现不同工艺参数对缩松、缩孔体积的影响程度不尽相同,从大到小依次为模具预热温度>浇注温度>倾转速度>浇口杯预热温度;得到最优倾转铸造工艺参数组合:浇注温度为 740 ℃、上模预热温度为 400 ℃、下模预热温度为 350 ℃、倾转速度为 9.0°/s,浇口杯预热温度为 300 ℃。

(3)对原倾转铸造工艺进行了改进,按优化的倾铸工艺参数模拟,发现优化后铸件的凝固顺序合理,铸件上曾因局部热节造成的缩松、缩孔已消失,达到了工艺优化目的,并被实际生产所验证。

参 考 文 献

- [1] 陈红兵.镁合金进气管倾转铸造工艺研究[D].重庆:重庆大学, 2008.
- [2] 徐慧,段友丽,赵建华.铸造模拟对几种典型铸件的工艺改进[J].铝加工, 2009(1): 40-42.
- [3] 朱勇,龚伟,白朝中,等.基于 ProCAST 的进气管砂型铸造的充型凝固数值模拟[J].铸造技术, 2014, 35(8): 1 859-1 862.
- [4] 赵建华,陈红兵,徐慧.镁合金进气管金属型倾转铸造工艺[J].特种铸造及有色合金, 2008, 28(11): 843-845.
- [5] 袁焕龙,曹喜彪,黄挺挺.铝合金缸盖倾转铸造数值模拟及优化研究[J].特种铸造及有色合金, 2019, 39(10): 1 068-1 071.
- [6] 江长,向思雨.基于 ProCAST 的主轴箱铸造工艺数值模拟及优化[J].铸造工程, 2020, 44(5): 40-43.
- [7] 吴士平,王晔,陈立亮,等.汽车铝合金排水管倾转铸造数值模拟[J].特种铸造及有色合金, 2011, 31(6): 514-516.
- [8] WANG Y, WU S P, XUE X, et al. Optimization of tilt-casting of aluminum alloy automobile drain pipes through numerical simulation[J]. Materials Science Forum, 2013, 762(1): 633-638.

消失模铸造球墨铸铁马鞍式管卡开发与应用

陈建华^{1,2} 李 哲^{1,2}

(1.新兴铸管股份有限公司; 2.芜湖新兴铸管有限责任公司)

摘 要 随着市政管道工程改、扩建越来越频繁,迫切需要解决管道施工过程中开挖漏水以及需要开孔等问题。对马鞍式管卡几类产品结构设计,采用东久线、静压线以及消失模等铸造工艺试生产,经过试验,在多个地方工程项目应用,产品性能、结构等符合设计要求,解决了管道工程抢修慢、施工效率低的问题,节约施工成本,符合客户的要求。

关键词 管道堵漏;消失模铸造;马鞍式管卡

中图分类号 TG249.6;TG255 **文献标志码** A

DOI:10.15980/j.tzzz.2021.10.026

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Development and Application of Nodular Cast Iron Saddle-type Pipe Clamp
by Lost Foam Casting
Chen Jianhua^{1,2}, Li Zhe^{1,2}
(1.Xinxing Ductile Iron Pipes Co., Ltd.; 2.Wuhu Xinxing Ductile Iron Pipes Co., Ltd.)

Abstract: With the more frequently reconstruction and expansion of municipal pipeline engineering, it is urgent to solve the problems of water leakage and opening holes in the process of pipeline construction. The structure of saddle-type pipe clamp products was designed and trial production was carried out by Dongjiu line, static pressure line and lost foam technology. Through type test and the project application, the performance and structure of products all meet the design requirements, solving the problems of slow repair and low construction efficiency, saving construction cost, which also meet the requirements of customers.

Key Words: Pipeline Plugging, Lost Foam Casting, Saddle-type Pipe Clamp

给水管道中传统的维修改水通常采用截断破损管道更换新管道、增加三通管件和修补管道承口等方式来进行,因其停水时间过长、劳动强度较大、工作效率较低、工艺手段落后,已远远不能满足现代城市发展的需

收稿日期:2021-04-06;**修改稿收到日期:**2021-05-06
第一作者简介:陈建华,男,1976 年出生,高级工程师,河北邯郸(056000),E-mail:13603109502@163.com
引用格式:陈建华,李哲. 消失模铸造球墨铸铁马鞍式管卡开发与应用[J]. 特种铸造及有色合金,2021,41(10):1 312-1 314.
CHEN J H, LI Z. Development and application of nodular cast iron saddle-type pipe clamp by lost foam casting[J]. Special Casting & Non-ferrous Alloys, 2021, 41(10):1 312-1 314.

[9] WANG H, DJAMBAZOV G, PERICLEOUS K, et al. Numerical modelling of tilt casting process for γ -TiAl alloys[J]. Cast Metals, 2012, 25(2): 65-74.

[10] GUO J K, LI Y X, FU J. Design and improvement of the investment casting process for the ring-shaped aluminum alloy based on ProCAST software[J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, 382(4): 042 006.

[11] 袁宗齐. 发动机缸盖用铸造铝合金的成分与性能研究[J]. 铸造技术, 2015, 36(11): 2 732-2 734.

[12] 程晓敏, 吕兰兰, 吴兴文, 等. 合金元素对 ZL107 组织与力学性能的影响[J]. 热加工工艺, 2007, 36(5): 35-36.

[13] 于静波, 胡建华, 吴兴文. 微量元素对 ZL107 力学性能的影响[J]. 特种铸造及有色合金, 2009, 29(10): 945-947.

[14] 王翠玲, 李华基, 薛寒松, 等. 微量元素及热处理对 ZL107 组织和性能的影响[J]. 重庆大学学报(自然科学版), 2005, 28(5): 51-53.

[15] 田荣璋. 铸造铝合金[M]. 长沙: 中南大学出版社, 2009.

[16] 郭居魁, 李永新. 基于 ProCAST 的铝合金环形件熔模铸造工艺设计及改进[A]. 第十八届中国科协年会-分 6 军民融合高端论坛论文集[C]. 西安, 2016.

[17] 王国祥. 铝合金缸盖倾转铸造数值模拟[J]. 铸造技术, 2009, 30(9): 1 229-1 231.

[18] 赵艳红, 姚国海, 黄勇. 轴承支架半固态压铸过程数值模拟[J]. 特种铸造及有色合金, 2012, 32(4): 341-344.

[19] 张雅晴, 谭建波. C5M4 铝合金端盖低压铸造工艺模拟及优化[J]. 特种铸造及有色合金, 2019, 39(8): 863-866.

[20] 曹喜彪, 赵杰, 张敏红, 等. 铝合金缸盖铸造工艺参数优化[J]. 特种铸造及有色合金, 2015, 35(2): 143-146.

[21] 肖良红, 胡建强. 基于翘曲变形的薄壁塑件成型工艺优化[J]. 中国塑料, 2014, 28(3): 106-111.

[22] 孙义, 赵玉刚, 刘广新, 等. 基于 AnyCasting 的减速器下箱体铸造模拟及工艺优化[J]. 热加工工艺, 2020, 49(7): 60-62, 67.

[23] 夏永喜, 尹珍珍, 阴瑜娟, 等. 仿真计算在 GIS 产品铸件工艺设计中的应用[J]. 铸造技术, 2020, 41(8): 764-766.

(编辑:栗万仲)