

汽车垫块铸造工艺设计与优化

鄢天灿, 梅 益, 杨昌伟

(贵州大学机械工程学院, 贵州贵阳 550025)

摘要: 以某汽车垫块为研究对象, 根据铸件的结构特点, 设计了底注搭边式浇注系统的砂型铸造工艺。对铸件上无法直接成形部分, 采用分块设计的砂芯成形, 且砂芯之间设置了定位和芯头, 有效避免了铸型错位。运用AnyCasting软件对铸件进行数值模拟分析, 针对铸件出现的缺陷, 设计了冒口和冷铁对其进行补缩, 使铸件实现了顺序凝固。最终生产出的铸件精度较高, 质量得以保证, 满足工作要求。

关键词: 汽车垫块; 砂型铸造; 工艺设计; 数值模拟

1 垫块的结构及工艺分析

1.1 垫块的结构分析

1.1.1 铸件结构特点

垫块属于平板类铸件, 运用于汽车领域, 是汽车传动设备的主要结构部件, 起到减震的作用。该铸件在使用过程中受到交变机械冲击载荷的影响, 因此对其强度有较高要求。根据其技术要求, 铸件不得有冷隔、裂纹、缩孔和缩松等缺陷^[1]; 考虑到铸件上的多个小孔尺寸较小, 故不铸出。垫块轮廓尺寸为259 mm × 179 mm × 102 mm, 最大壁厚为18 mm, 平均壁厚为8.8 mm, 最小壁厚为8 mm, 其净重达到7.4 kg。垫块整体结构相对对称, 含有较多孔和槽, 其内部有两个圆柱空腔, 两圆柱空腔周围有9个加强肋, 对铸件外围起到保护和密封的作用, 加强肋的厚度均为8 mm。垫块三维模型如图1所示。

1.1.2 铸件材料选择

垫块主要运用于汽车领域, 需满足其减震性要求, 其内部两圆柱空腔部分精度要求较高。铸件材料选择QT450-10, 并选用冲天炉—感应电炉双联熔炼炉对其进行熔炼。QT450-10的化学成分如表1所示。

本铸件的生产方式为砂型铸造, 一箱两件。垫块为中型小批量生产, 根据铸件结构特点, 采用机器造型制芯无法将其内部复杂结构做出, 故选用手工造型和制芯^[2]。本铸件为球墨铸铁件, 选用自硬树脂砂作为砂型和砂芯的造型材料, 选用的原砂为硅砂, 制芯所用的砂选择呋喃树脂自硬砂。

1.2 垫块的铸造工艺性分析

1.2.1 铸件最小壁厚分析

考虑金属液的充型能力有限, 在保证铸件使用性能不受影响的前提下, 为避免金属液浇注不到, 或金属液浇注到一部分后凝固形成冷隔、裂纹等缺陷, 故需设置一个最小壁厚来限制铸件的极限尺寸。设计铸件结构时, 铸件壁厚应大于其最小壁厚。本铸件的最大轮廓尺寸为259 mm, 球墨铸铁件充型浇注的最小壁厚为4~8 mm, 而垫块最小壁厚为8 mm, 故满足铸件最小壁厚要求。

作者简介:

鄢天灿(1995-), 男, 硕士生, 研究方向为现代制造工艺及装备。E-mail: 2428232659@qq.com

通讯作者:

梅 益, 男, 博士, 教授。E-mail: mei_yi@163.com

中图分类号: TG242

文献标识码: B

文章编号: 1001-4977(2020)03-0277-06

基金项目:

贵州省科技计划项目(黔科合支撑[2019]2019); 贵州省科技支撑计划(黔科合支撑[2018]2175)。

收稿日期:

2019-09-03 收到初稿,

2019-10-29 收到修订稿。

1.2.2 铸肋分析

为保证铸件满足使用要求，铸件中设计了9个加强肋。肋的厚度应小于或等于铸件最小壁厚，本铸件所有加强肋厚度均为8 mm，结合铸件三维图，可知铸件加强肋的形状、尺寸以及放置位置均符合设计要求，故无需再设计加强肋。

2 垫块铸造工艺

2.1 铸件分型面和浇注位置的选择

根据铸件结构特点，可知铸件底部两个平面为其重要工作面，这两个平面中存在空腔结构，对定位要求较高。两个空腔、两两加强肋之间都需要设计砂芯，所以选择分型面时，应以两个分开的底面为重要

面，这样便于放置砂芯，并且能够减少砂芯数量。在选择铸件浇注位置的时候，应考虑将浇注位置和分型面设置在一个平面，铸件主体位于上箱，这样能减少错位，方便设置浇注系统，降低后期工艺成本，提高铸件质量。除此以外，浇注位置的选择应保证铸件的重要加工面朝下或呈侧立面^[3]，且尽量减少砂芯数量^[4]。综上所述，设计了如图2所示的4种方案进行对比分析。

方案1和方案2，将两个重要的平面置于上表面（图2a、b），考虑到这两个平面不宜加工，且这两种浇注方案所需砂芯较多，故排除方案1和方案2；反观方案3和方案4，把两个重要平面置于底面（图2c、d），这样方便设置上下芯头，减少了砂芯数量。顶面是一个不规则

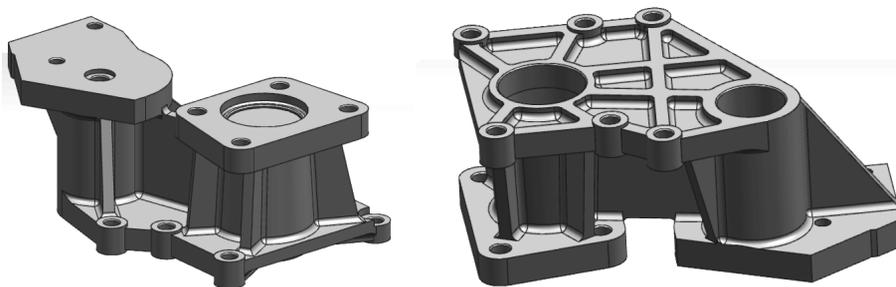


图1 垫块三维模型

Fig. 1 Three-dimensional model of cushion block

表1 QT450-10的化学成分要求

Table 1 Chemical composition requirements of QT450-10

C	Si	Mn	P	S	Mg	RE	$w_B/\%$
3.70 ~ 4.00	2.15 ~ 2.93	0.46 ~ 0.66	0.027 ~ 0.035	0.010 ~ 0.016	0.027 ~ 0.050	0.026 ~ 0.043	

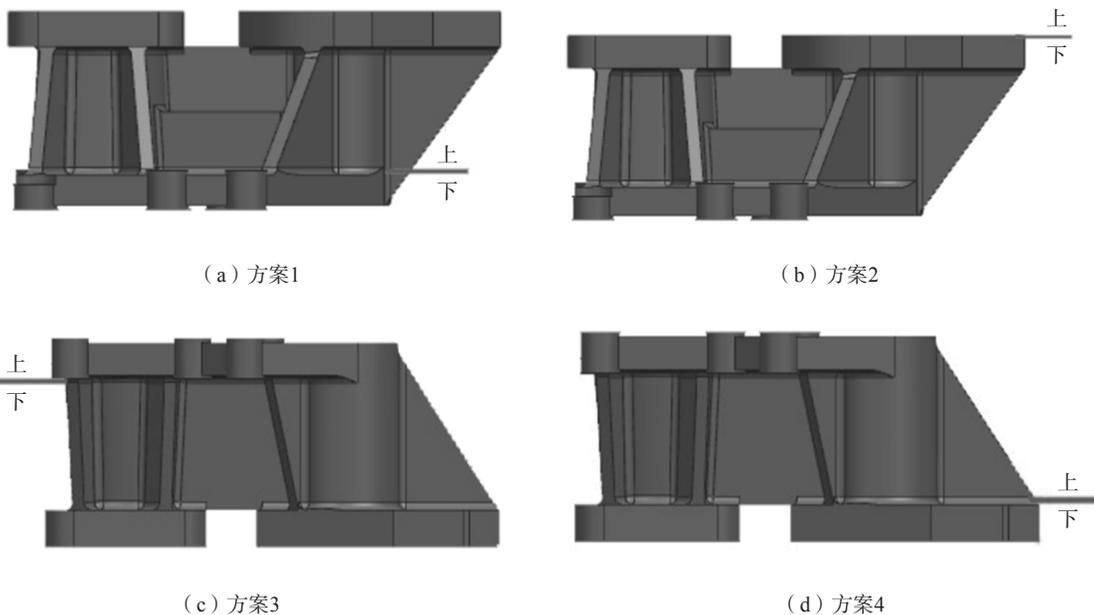


图2 分型方案

Fig. 2 Parting face schemes

则面,存在较多的加强肋和圆柱突出块,突出块可以收集缺陷,这样使得铸件上表面的缺陷都集中于圆柱形突出块中,在圆柱形突出块处设置冒口,使缺陷集中于冒口上,减少了铸件的缺陷,成形出的铸件精度较高,同时也提高了铸件出品率。本铸件属于小型铸件,采用一箱两件成形,分析方案3和方案4可知,方案4中金属液从铸件底部注入型腔,而方案3中金属液从铸件顶部注入型腔,金属液对铸件底部会产生很大的冲击力,容易造成冲砂,而方案4的底注式浇注可以避免金属液飞溅产生氧化和卷气现象,故方案4为最佳方案。

2.2 浇注系统的设计

根据铸件结构特点,设计了底注搭边式浇注系统,浇口杯选择普通漏斗形浇口杯。浇注系统横浇道断面为梯形,内浇道制成扁平梯形,在横浇道两端设置冒渣口。金属液从直浇道流入横浇道时经过急弯,故在直浇道下端设置一个集渣包,集渣包既能过滤金属液中的浮渣,对金属液也有一定的缓冲作用。本铸件要求浇注系统有一定的排渣能力,故在直浇道底端设置过滤网,过滤网网孔尺寸为 $2.5\text{ mm} \times 2.5\text{ mm}$ 。

2.3 铸件工艺参数的确定

为保证铸件加工面尺寸精度,在铸造工艺设计时,将加工表面增加一定的厚度。本铸件所选材质为球墨铸铁,机械加工等级范围选择为E~G级。结合铸件的浇注位置,对铸件不同部位设置不同等级的“加工余量等级”。铸件需设置加工余量位置如图3所示。本铸件的铸造公差等级为CT11级,经计算,各面加工余量:A面为 1.5 mm ,B面为 1.5 mm ,C面为 0.5 mm ,D面为 2 mm 。

金属由液态转变为固态时会产生收缩,铸件上有9个加强肋,加强肋的设置能有效阻碍铸件收缩,本铸件的铸造收缩率设为 0.8% ^[5]。为便于取出模样或砂芯,应在模样、芯盒的出模方向留有一定斜度,铸件整体被砂芯包裹,整体为组芯造型,所以本铸件的拔模斜度设为 $0^\circ 35'$ 。

3 砂芯设计

3.1 砂芯设计的主要内容

垫块属于平板类铸件,其结构较为复杂,铸件中间位置存在多处加强肋和凹槽,故成形砂芯采用分块设计,降低了砂芯的制造难度,且在各砂芯之间设置定位和芯头,使砂芯在上下型之间的位置保持固定,有效的避免错位,提高铸件精度。如图4所示,设计了5个砂芯,其中1#、2#、3#三个砂芯放置于同一水平面,

与4#、5#两个砂芯定位。1#、2#、3#砂芯通过接触面上的一个凸台定位,4#、5#砂芯通过台阶定位。本铸件中所有砂芯均属于小型砂芯,砂芯体积均小于 0.05 m^3 ,故不需设置芯骨。

3.2 砂芯排气

金属液进入型腔后,砂芯在高温金属液作用下发生物化反应,在短时间内产生大量气体,严重影响了铸件精度,故需对砂芯进行排气处理。结合砂芯的放置位置,在5个砂芯上都设置了排气,其中4#、5#两个砂芯主要通过上表面排气,1#、2#、3#三个砂芯除上表面排气外,在其与铸型侧面接触位置也设置了砂芯排气。

4 铸造工艺模拟分析与优化

4.1 铸造工艺模拟前处理

垫块铸件采用一箱两件进行生产,考虑到浇注系统到铸件各部分的距离相同,故对一个铸件进行了模拟分析。将铸件三维模型导入AnyCasting中,进行网格划分并修复,使模型达到分析要求。

参数设定:设置空气与其他实体传热系数为 $0.001\text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$,铸型与砂型传热系数为 $0.1\text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$,浇注温度为 $1350\text{ }^\circ\text{C}$,球墨铸铁材料收缩率为 0.8% ,数据采集频率选择充型,凝固每完成 5% 采集一次,结束条件选择铸件 100% 凝固。

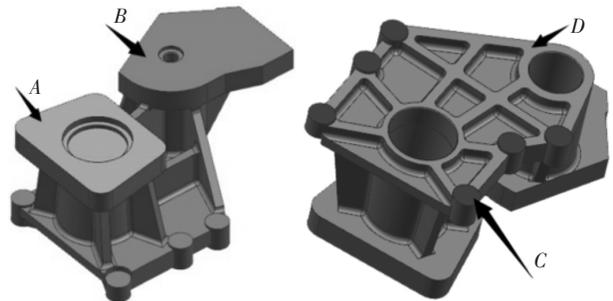


图3 铸件的加工位置

Fig. 3 Machining locations of cushion block

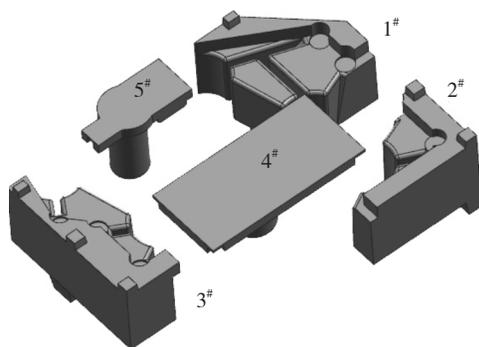


图4 砂芯模型

Fig. 4 Sand core model

4.2 模拟结果分析

4.2.1 充型过程分析

由图5的充型过程模拟分析可知,铸件充型时间为4.01 s。当充型时间到达1.0 s时,金属液填充了铸件两个底面部分型腔,从色带上可看出,此阶段金属液相对稳定,充型过程中未出现金属液的飞溅、卷气现象;当充型时间到达2.01 s时,金属液填充至铸件上半部;充型到3.02 s时,金属液已经充满铸件绝大部分型腔,铸件除顶板外的大部分轮廓显现出来;充型到4.01 s时,金属液填充至铸件最高部分,充型完毕,铸件充型总体效果良好。

4.2.2 凝固顺序分析

观察图6铸件凝固顺序可知,图6a中铸件外围轮廓和内浇口处首先冷却凝固;分析图6a和图6b可知,铸件的凝固是通过外围向内侧的方式冷却,因为铸件外侧壁厚且结构单一,冷却速度较快;图6c中铸件的一些热节部位未冷却,这些热节位于铸件内侧底部;图6d中铸件整体温度到达球墨铸铁固相线温度以下,铸件冷却完毕,呈现出完全固体的状态。

考虑到仅分析铸件凝固顺序难以准确判断铸件缺陷位置或大小,故需对铸件概率缺陷参数(残余熔体模数)进行分析。如图7所示,由于金属液凝固滞后,铸件内部出现多处缺陷,且缺陷分布较为分散,铸件潜在缺陷占其体积的0.18%。

4.3 铸造工艺优化

4.3.1 补缩系统和出气口的设计

结合分析结果,铸件顶部区域最后凝固,故需设置冒口对其进行补缩^[6]。冒口设置在铸件顶部两圆柱空腔周围,呈环形排列,冒口数为9个,其高度均为14.4 mm。浇注时,型腔内是封闭的,不利于金属液进入型腔,且浇注过程中会产生一系列混合气体,故需设置出气口将气体排出。将出气口设置在铸件顶部一侧,这样便于金属液顺利进入型腔,产生的气体也可通过出气口排出。

4.3.2 冷铁的设置

根据模拟结果,铸件底部环状部位较厚,金属液冷却较慢,产生凝固滞后,进而形成热节,故需在此处设置冷铁,控制铸件凝固顺序^[7]。笔者设置了8块冷铁,布置在热节较集中位置,每处设置4块冷铁,组成一个圆环,如图8所示。

4.4 铸造工艺优化分析

铸件工艺改良后,对模型进行分析。工艺改良后铸件充型分析如图9所示。在铸件顶部添加冒口和出气口之后,铸件充型过程金属液色带更均匀,充型更加平稳。

对优化后铸件的整个充型凝固过程进行模拟,如图10所示。工艺改良后,铸件凝固更加有序,其局部

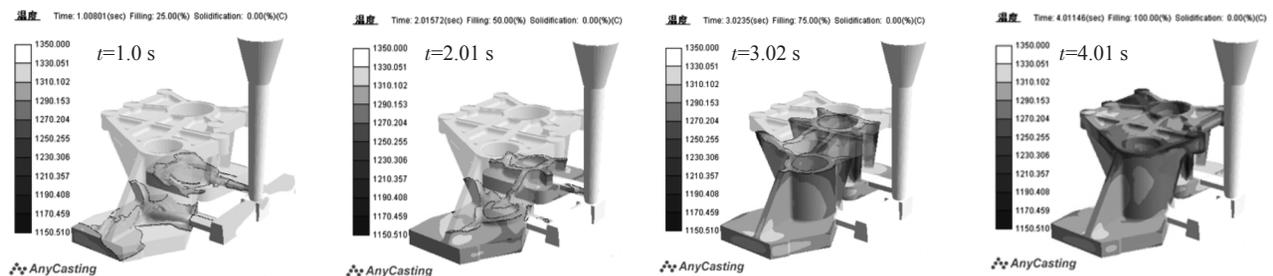


图5 充型过程温度场

Fig. 5 Temperature field of filling process

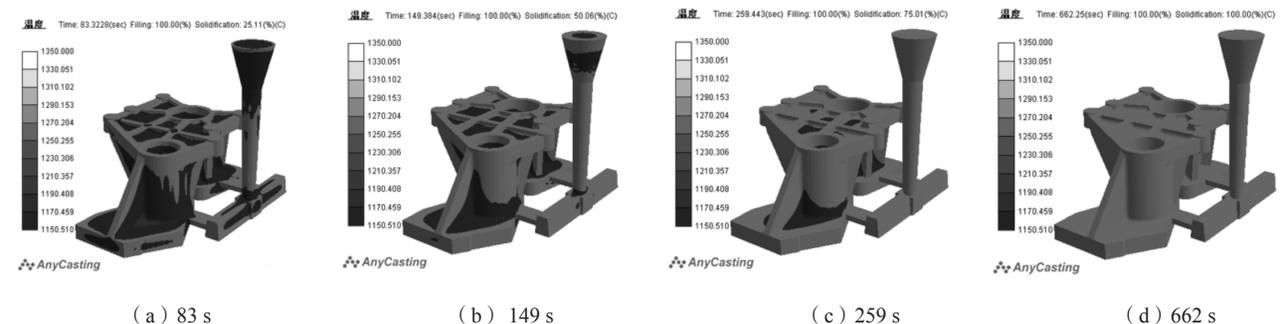


图6 凝固过程温度场

Fig. 6 Temperature field of solidification process

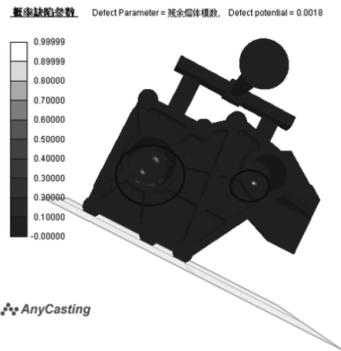


图7 铸件概率缺陷参数

Fig. 7 Probabilistic defect parameters of casting

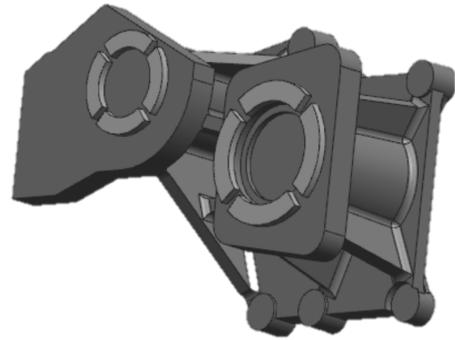


图8 冷铁设计

Fig. 8 Chill design

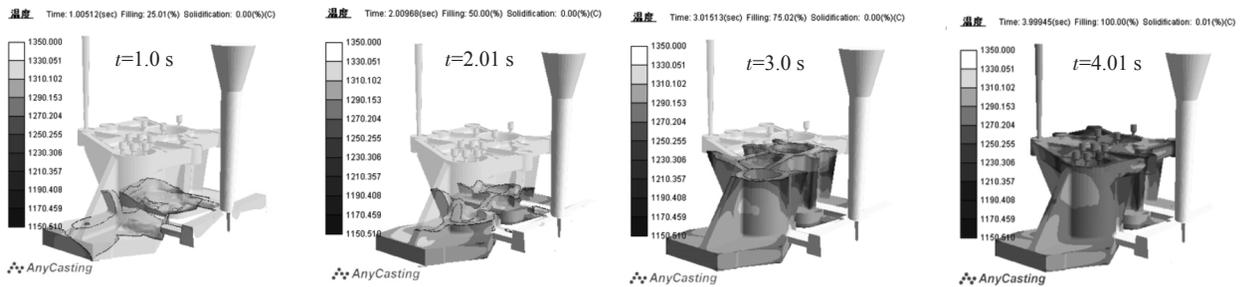


图9 优化后充型过程温度场

Fig. 9 Temperature field of filling process after casting process optimization

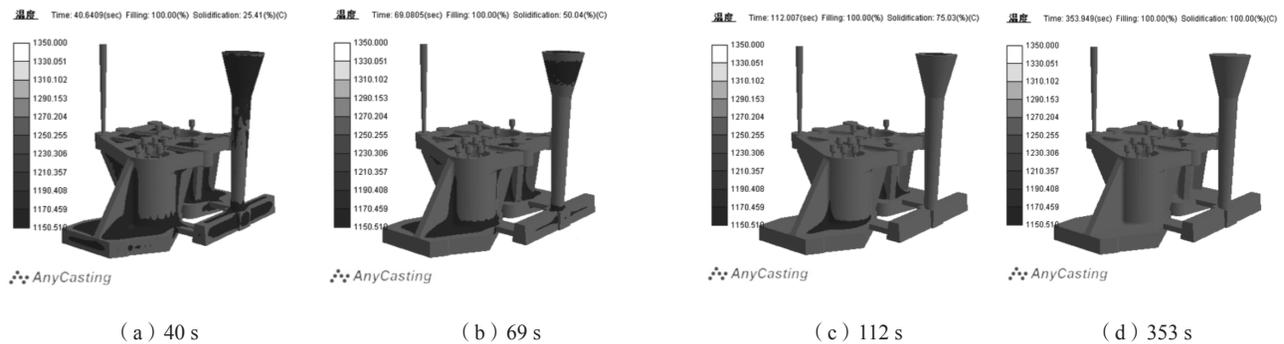


图10 优化后凝固过程温度场

Fig. 10 Temperature field of solidification process after casting process optimization

残余热量减少，铸件内部存在热节的地方明显改善。从图10c中可看出，浇注系统已经完全冷却，此时铸件冷却率达到75%左右。在铸件底部热节处设置冷铁，铸件冷却速度加快，且冒口、冷铁的配合使用对铸件的补缩起到很大作用。同理，对优化后铸件概率缺陷参数进行分析，如图11所示，铸件底部与两圆柱内腔结合处缺陷明显消失，潜在缺陷占铸件体积的0.09%，较之前的缺陷占比降低了一半，且铸件缺陷集中在一个位置，可通过后期机加工去除。因此，在工艺中设置了补缩系统和出气口，有效减少了铸件缺陷，提高了铸件的出品率。分析优化后铸件缺陷区域可知，其铸造工艺出品率达到90%以上。

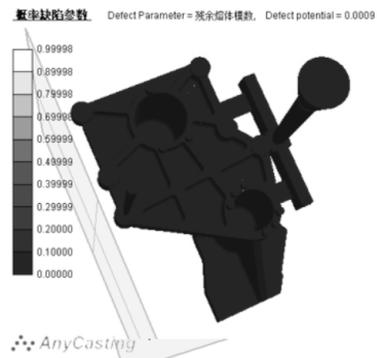


图11 优化后概率缺陷参数

Fig. 11 Optimized probabilistic defect parameters

5 结论

(1) 汽车垫块结构复杂, 采用组芯造型成形铸件, 并设置砂芯定位, 在砂芯上开设排气, 提高了铸件精度; 同时为保证铸件加工面尺寸精度, 在铸件表面设置了合适的加工余量。

(2) 利用AnyCasting软件对铸件进行数值模拟, 合理设计了冒口、冷铁和出气口对其工艺进行优化, 最终实现铸件顺序凝固并减少了凝固缺陷, 提高了产品的合格率。

参考文献:

- [1] 于汇峰. 急冷油泵泵体的铸造工艺设计 [J]. 铸造, 2019, 68 (6): 644-647.
- [2] 陶承闯, 赵海涛, 王浩磊, 等. 奥氏体不锈钢蜗壳铸造工艺设计与优化 [J]. 铸造, 2019, 68 (2): 192-197.
- [3] 秦大鹏, 张琛, 刘升阳. 大断面球墨铸铁注塑机头板铸造工艺 [J]. 铸造, 2019, 68 (5): 492-494.
- [4] 陈敏, 林金忠, 林昌, 等. 大型水阀铸造工艺设计及优化 [J]. 特种铸造及有色合金, 2018, 38 (5): 508-510.
- [5] 刘涛, 董中友, 武永亮, 等. 铁路货车钩舌铸造工艺优化 [J]. 铸造, 2016, 65 (12): 1234-1237.
- [6] 冯苗, 黄引平. 铝合金轴承座快速铸造工艺设计与验证 [J]. 热加工工艺, 2017, 46 (23): 98-100.
- [7] 林雪健, 黄宏军, 王浩磊, 等. 水轮机转轮体铸造工艺设计与优化 [J]. 铸造, 2018, 67 (1): 41-44.

Design and Optimization of Casting Process for Automobile Cushion Block

YAN Tian-can, MEI Yi, YANG Chang-wei

(College of Mechanical Engineering, Guizhou University, Guiyang 550025, Guizhou, China)

Abstract:

According to the structural characteristics of the automobile cushion block, the sand casting process of the bottom pouring and lap gating system was designed. For the portions that cannot be directly formed on the casting, the sand core with block design is used for forming, and the positioning and core head are set between the sand cores, effectively avoiding the mold dislocation. By using AnyCasting software numerical simulation analysis is carried out on the casting. Aiming at the defects of the casting, the riser and chills are designed, effectively controlling the sequential solidification of the casting. The precision of the final casting is high, the quality can be guaranteed and meet the work requirements.

Key words:

automobile cushion block; sand casting; process design; numerical simulation
