DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2021.09.012

汽车轮毂支架的铸造工艺模拟及优化

张梦琪,冯典东,韩　英,宋晓雷,陈　华,冉　旭
(长春工业大学 材料科学与工程学院 先进结构材料教育部重点实验室 轨道交通先进材料加工及应用吉林省重点实验室,吉林 长春 130012)

摘　要:对球墨铸铁汽车轮毂支架的铸造工艺进行设计,并利用 MAGMA 软件对汽车轮毂支架铸造充型和凝固过程进行数值模拟,预测了在铸造过程中可能产生的缩松、缩孔缺陷,并分析了缺陷形成的原因。结果表明,通过增设冷铁,增加铸件上端盖大尺寸区域的凝固速度,消除了铸件中缩松、缩孔缺陷。

关键词:球墨铸铁; 轮毂支架; 铸造工艺; 数值模拟

中图分类号: TG255　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2021)09-0793-04

Simulation and Optimization of Casting Process of Automobile Wheel Hub Bracket

ZHANG Mengqi, FENG Diandong, HAN Ying, SONG Xiaolei, CHEN Hua, RAN Xu
(School of Material Science and Engineering, Key Laboratory of Advanced Structural Materials, Ministry of Education, Jilin Province Key Laboratory of Advanced Materials Processing and Application for Rail Transit, Changchun University of Technology, Changchun 130012, China)

Abstract: The casting process of ductile iron automotive wheel hub support was designed, and the filling and solidification process of automobile wheel hub support was numerically simulated by MAGMA software. The possible shrinkage porosity and cavity defects during the casting process were predicted, and the causes of the defects were analyzed. The results show that by adding chills, the solidification speed of the large-size area of the upper end cover of the casting is increased, and the shrinkage porosity and cavity defects in the casting are eliminated.

Key words: ductile iron; wheel hub bracket; casting process; numerical simulation

轮毂支架是汽车后悬挂系统的重要组成部分,左右后轮各一件,用于支承车轮,在汽车行驶过程中承受交变冲击载荷,疲劳破坏是其主要失效形式。轮毂支架作为汽车上受应力最为集中的部件,其性能直接关系到汽车安全性及舒适性[1-2],因此对其强度、塑韧性和减震性都有较高要求。为了确保服役安全性,轮毂支架的设计标准十分严格,要求铸件关键部位不允许存在缩松、缩孔等缺陷,但为了获得高质量铸件,传统的工艺优化过程往往耗时费力。利用计算机数值模拟技术对铸造过程中可能产生的缺陷进行预测,并对铸造工艺进行优化,可以有效缩短试制周期,在节约成本的前提下提高铸件质量[3]。因此,本文作者利用 MAGMA 数值模拟软件对轮毂支架铸件充型和凝固过程进行模拟,并依据模拟结果进行工艺方案优化,可有效消除铸件内的缩松、缩孔缺陷。

收稿日期:2021-05-23
基金项目:吉林省科技发展计划项目(20190302003GX)
作者简介:张梦琪(1996—),女,江苏徐州人,硕士生.研究方向:铸造工艺设计及数值模拟.电话:18361232916,Email:mqzhang_0728@163.com
通讯作者:韩　英(1986—),黑龙江鸡西人,副教授.研究方向:先进钢铁材料研发及应用.电话:13341576601,Email:hanying_118@sina.com

1　铸造工艺设计

汽车轮毂支架铸件结构如图 1。可以看出,轮毂支架铸件的结构较为复杂,且壁厚分布不均,经测量铸件的最大壁厚为 31.75 mm,最小壁厚为 4.75 mm,铸件单件质量为 6.9 kg。铸件材质是以 QT450-10 化学成分为基础[4-5],通过合金化设计出的珠光体+铁素体型高强韧球墨铸铁,化学成分如表 1。

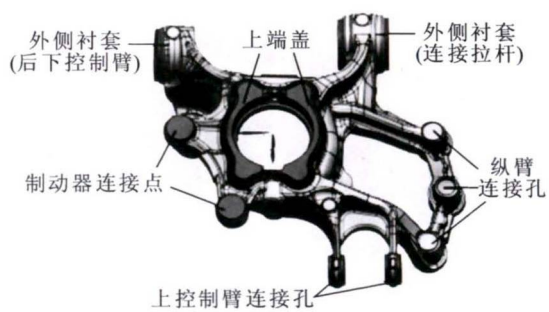


图 1 轮毂支架结构示意图
Fig.1 Schematic diagram of wheel hub bracket

表1 轮毂支架材料的化学成分 w(%)
Tab.1 Chemical composition of hub bracket

C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Sb	Mg
3.5~3.7	2.6~2.8	0.2~0.4	<0.05	<0.02	0.3~0.4	0.04	0.003	0.03~0.05

经分析铸件的结构特点,吃砂量和造型线砂箱规格,采用一箱两件的造型方案,砂箱尺寸为 600 mm×700 mm×380 mm。砂芯以冷芯工艺制作,每模共两种 4 个砂芯。分型面选取在砂芯孔截面处,以便于下芯清理。根据铸件尺寸,参照国家标准[6],确定铸件的尺寸公差为 2.5 mm,重量公差为 12%,线收缩率为 1.2%。

为了在保证挡渣效果的同时使金属液充型更加平稳,采用半封闭式浇注系统,确定浇注系统各单位断面比为 $A_{直}:A_{横}:A_{内}=1.7:2.2:1.0$。系统内阻流截面积 $A_{内}=570\ mm^2$, 按照浇注系统截面比例关系,确定 $A_{横}=1\ 248\ mm^2$,$A_{直}=962\ mm^2$。将内浇道开设在铸件中部, 使金属液从分型面位置冲入型腔。同时在分型面上部设置两级内浇道,并在铸件与内浇道之间设置暗冒口, 增加金属液流动阻力,使充型更加平稳,提高冒口的补缩能力[7]。

设置两个侧冒口和一个中部冒口对两个铸件进行补缩,并根据球墨铸铁糊状凝固的特点计算冒口尺寸。由于中间冒口同时补缩两个铸件,因此其直径应较侧冒口增大 1.05~1.30 倍。本文取 $D_{R中}=60$ mm, $H_{R中}=70$ mm;$D_{R侧}=54.5$ mm,$H_{R侧}=90$ mm。冒口颈因此采用宽而薄的冒口颈,冒口颈长度 $L=18.5$ mm,冒口颈截面积尺寸为 188 mm²。轮毂支架浇注补缩系统如图 2。

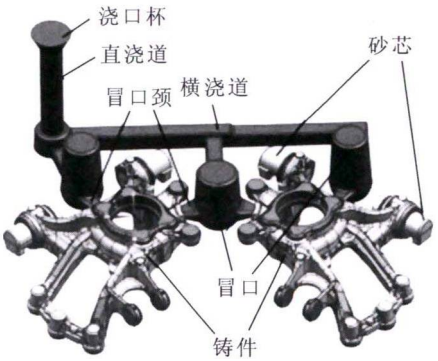


图 2 轮毂支架浇冒口系统
Fig.2 Gating and feeding system of hub bracket

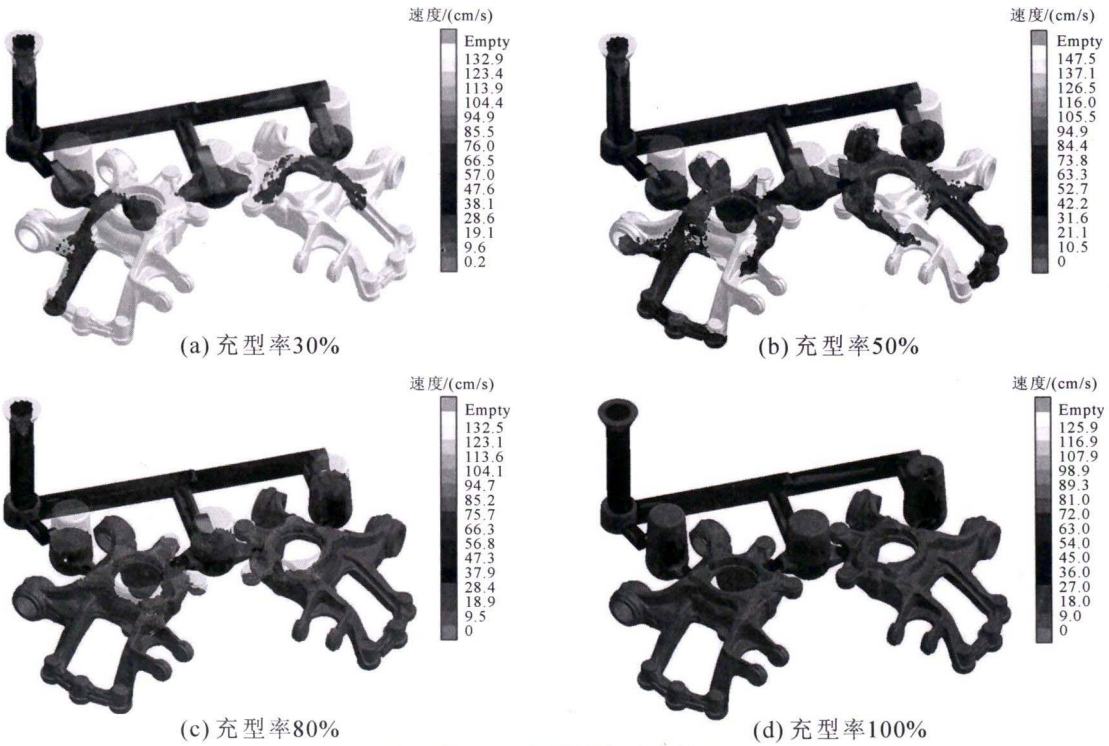
2 轮毂支架的铸造数值模拟及分析

2.1 模拟前处理

将轮毂支架铸造系统模型导出为.stl 格式导入 MAGMA 并进行网格划分。在网格划分后对网格质量进行检视,共划分出 1 993 200 个网格,无流动受阻的闭塞网格; 砂型与铸件之间的传热系数选用“TempIron”,浇注时间为 8 s,浇注温度设为 1 425 ℃,砂型初始温度设为室温 20 ℃,停止计算温度设为材料的固相线温度 1 166 ℃。

2.2 充型过程模拟

轮毂支架充型过程中的速度场分布情况如图 3。根据图中金属液流动情况可以看出,充型初期



(a) 充型率30%　(b) 充型率50%

(c) 充型率80%　(d) 充型率100%

图 3 充型过程的速度场分布情况
Fig.3 Velocity field of filling process

金属液由浇口杯进入直浇道后流入横浇道，然后流入3条内浇道，通过冒口和冒口颈后流入铸型内。液流在内浇道与冒口相连处速度最大，约为113.9~123.4 cm/s，进入铸型内流速降低至70 cm/s以下，说明在铸件与内浇道间设置冒口防止了液流以较快速度冲入铸型，降低了对砂型的冲击力，从而预防了可能导致的砂型破坏及夹砂缺陷。充型率达80%时(图3c)，金属液在铸型内以约为28.4 cm/s的较小速度平稳上升，直至8 s充型完成。在充型过程中，没有出现明显的紊流、飞溅和浇不足情况。

根据图4充型结束时的温度分布结果看出，铸件内充型较早的外侧衬套及上控制臂连接孔等部位与最后填充区域温差较大。但充型结束时，型内最低温度仍高于铸件液相线温度1 167 ℃，说明金属液流动性较好，不会出现浇不足现象，温度场分布较合理。

图4 充型结束时的温度场分布情况

Fig.4 Temperature field distribution at the end of filling

2.3 凝固过程模拟

图5为铸件在凝固过程中的温度场分布结果。如图5(a)，当t=74.12 s时(文内所提及的时间，均以开始浇注时间为t=0 s)，铸件大部分位置仍处于高温状态，温度在液相线温度以上，但与砂芯接触的外侧衬套孔边缘以及壁厚较小的上控制臂连接孔区域已最先开始凝固。当t=113.13 s时(图5b)，铸件凝固率达到50%，但此时冒口颈尚未凝固，冒口对铸件仍有补缩作用。随着时间延长，如t=215.31 s时(图5c)，所有冒口颈都已凝固，补缩通道封闭，此后铸件只能依靠自身石墨化体积膨胀来自补缩[8-9]。当t=411.3 s时，铸件各部位温度均降至固相线温度以下，说明铸件已经完全凝固。

图6是铸件凝固过程中的缺陷分布结果，可以发现热节主要集中在铸件壁厚较大的上端盖区域(图6a)，由于该部位属于充填较晚的区域，壁厚较大，区域温度较高，在凝固过程中其补缩通道会被旁边薄壁区域先凝固的金属液隔开，造成补缩困难，在上端盖位置(图6b)形成了缩松缺陷。因此，尝试在该部位放置冷铁，以增加厚大处的凝固速度，促进该部位与旁边壁厚较薄区同时凝固，以期防止缺陷产生。

3 工艺方案的改进及模拟

根据以上分析，从促进顺序凝固的角度对原工艺方案进行改进，需在铸件壁厚较大、凝固较慢，且

(a)t=74.12 s

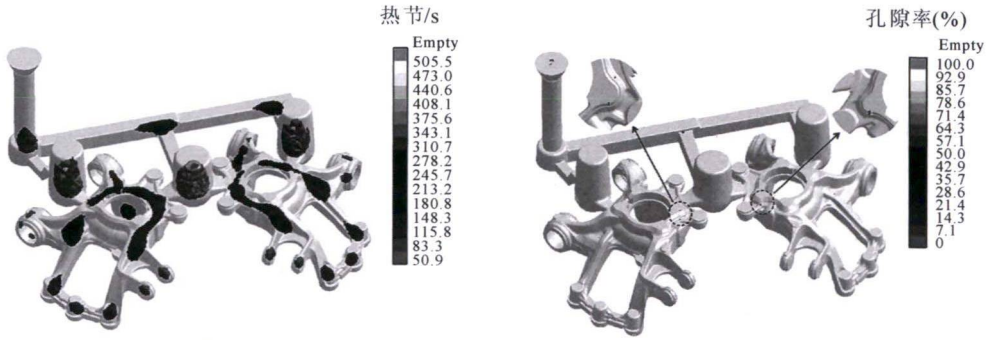
(b)t=113.13 s

(c)t=215.31 s

(d)t=411.3 s

图5 充型结束后凝固过程不同时间的温度场

Fig.5 Temperature field at different time after filling complete



(a) 热节分布　　(b) 缩松缩孔缺陷

图 6 凝固缺陷模拟结果

Fig.6 Simulation results of solidification defects

热节集中的上端盖区域增设冷铁，以加快厚壁处的凝固速度，促使该部位与其他壁厚较薄区域趋于同时凝固。修改后的工艺方案及其模拟结果如图 7。

从图 7 中看到，通过增设冷铁，有效吸收铸件上端盖表面靠近中间冒口厚大部位的金属液热量，消除了连续的大片热节，加快了这些区域的凝固速度，降低了凝固后期厚大部位产生孤立液相区的可能性，也消除了原方案模拟时出现的缩松缩孔缺陷，使得缩松缩孔全部转移到了浇冒口系统中。虽然铸件砂芯孔与侧肋交接厚大处仍存在部分热节，但该热节区未导致产生孤立液相区或形成缩松、缩孔缺陷，将对铸件整体铸造质量影响较小，因此通过增设冷铁来优化工艺方案是合理有效的。

(a) 改进后的工艺方案　　(b) 热节分布　　(c) 缩松缩孔缺陷

图 7 改进后的工艺方案及模拟结果

Fig.7 The improved casting process and the simulation results

4 结语

根据汽车轮毂支架铸件的结构特点，制定了铸造工艺方案。利用 MAGMA 数值模拟软件对工艺方案的充型和凝固过程进行了模拟，结果表明铸件充型过程整体合理，但铸件上端盖厚壁区域冷却速度较慢，在凝固过程中补缩困难，形成了缩松缺陷。通过增设冷铁，有效消除了存在于上端盖厚壁区域的连续热节，避免了铸件中的缩松、缩孔缺陷。

参考文献：

[1] 张永新. 轿车后轮毂支架加工工艺及设备[J]. 工程建设与设计，1997(4)：22-25.

[2] 杨志刚. 轮毂支架的锻造工艺[J]. 锻压技术，1998，23(6)：12-14.

[3] 张良，赵旭平. 计算机模拟技术在铸造中的应用[J]. 石油机械，2006，34(9)：92-94.

[4] 陈文珂. QT450-10 桥壳铸造工艺数值模拟及其优化设计[D]. 合肥：合肥工业大学，2013.

[5] 钱怡君. QT450-10 汽车差速器壳铸造工艺数值模拟及其优化[D]. 合肥：合肥工业大学，2012.

[6] 中国机械工程学会铸造分会组. 铸造手册.第 5 卷,铸造工艺.第 3 版[M]. 北京：机械工业出版社，2011.

[7] 李晨希. 铸造工艺设计及铸件缺陷控制[M]. 北京：化学工业出版社，2009.

[8] 张振波，盛文斌，孙策，等. 大型球墨铸铁下箱体铸造过程数值模拟及工艺优化[J]. 热加工工艺，2019(7)：113-116.

[9] 钱怡君，程和法，程兆虎，等. CAE 技术在改善球墨铸铁轮毂缩孔中的应用[J]. 铸造技术，2011，32(11)：1505-1508.

欢迎到当地邮政局(所)订阅 2022 年《铸造技术》杂志

国内邮发代号：52-64　国外发行号：M855　国内定价：25 元/本　海外定价：25 美元/本