

铝合金轮毂连接盘挤压铸造数值模拟

王伟, 崔晓明, 石博, 白朴存

(内蒙古工业大学 材料科学与工程学院, 内蒙古呼和浩特 010321)

摘要: 采用ProCAST软件对6061铝合金轮毂连接盘挤压铸造过程进行模拟。研究了浇注温度、模具预热温度、比压对铸件缩孔缩松的影响。结果表明, 浇注温度700 ℃、模具预热温度300 ℃、比压50 MPa为最佳铸造方案。

关键词: 铝合金; 轮毂连接盘; 挤压铸造; 数值模拟

在挤压铸造过程中, 计算机仿真技术得到大范围推广应用^[1]。数值模拟技术可以帮助工程师预测铸造工艺设计阶段铸件中可能出现的缺陷及其大小、位置, 以便改进工艺方案, 从而确保铸件质量, 缩短研发周期, 降低生产成本^[2]。现今数值模拟技术被广泛应用于汽车零部件的生产制造, 其中R.A.Vdovin等人利用ProCAST软件对叶片铸造过程进行模拟, 研究了温度场、凝固场对铸件缺陷的影响, 并根据模拟结果调整铸造参数, 从而减少铸件缺陷^[3], 李云帅等人运用ProCAST软件对轮毂的充型及凝固过程进行了数值模拟, 研究了温度场、流场、应力场对铸件的影响, 并根据模拟结果对铸造工艺进行优化, 从而提高铸件质量^[4]。通过对已有研究分析发现, 通过ProCAST软件对铸造过程进行数值模拟, 并根据其结果对铸造工艺方案进行改进, 可以有效减少铸件产生的缺陷。

本研究通过ProCAST软件对铝合金轮毂连接盘铸造过程进行模拟, 并通过对铸件缺陷进行分析, 得出浇注温度、模具预热温度、比压对铸件缩孔缩松的影响, 从而确定铸件的最佳铸造方案。

1 数值模拟前处理

1.1 铸件三维模型的建立

运用Solidworks绘制轮毂连接盘三维图保存为*.igs, 其主要结构见图1, 将轮毂连接盘三维图形导入ProCAST软件中, 构建虚拟砂箱, 其尺寸为600 mm × 600 mm × 200 mm, 图2为虚拟砂箱构建结果。

1.2 划分三维网格

划分网格的基本原则有: (1) 网格单元长度一定小于零件最薄壁厚, 并且保证最薄壁至少厚两层网格, 以确保数值模拟结果的精度; (2) 相邻网格单元长度的变化不能太大, 同一个网格在不同方向上的长度不应相差过大, 否则一个方向上的计算误差可能会引起另一个方向上更大的误差; (3) 从精度和效率两方面考虑, 应将铸件网格划分得细一些, 而模具的网格可以划得相对较大, 软件自动生成网格时, 模具和铸件接触位置为过渡区, 此处网格也会相对细小, 因此不再细致划分^[5]。图3是网格划分结果, 其中模具网格划分为30 mm, 铸件网格划分7 mm, 共划分二维网格26 646个, 三维网格332 451个。

作者简介:

王伟(1996-), 男, 硕士生, 研究方向为铸造工艺数值模拟。电话: 15033463039, E-mail: 15033463039@163.com

通讯作者:

崔晓明, 男, 副教授, 硕士生导师。电话: 15849180102, E-mail: xmcui@imut.edu.cn

中图分类号: TG249.2

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2021)03-0306-05

基金项目:

内蒙古科技计划项目(201802029); 内蒙古自治区科技重大专项(zdxx2018031)。

收稿日期:

2020-09-07 收到初稿,
2020-11-18 收到修订稿。

2 数值模拟工艺参数的确定

2.1 铸件材料

模拟铸件材料选用6061铝合金，表1为其成分，6061铝合金固-液相线温度为542~652℃。模具材料选用4Cr5MoSiV，其成分见表2。

2.2 初始条件的确定

挤压成形中有几种界面，不同材料之间界面换热系数也不同，所以要对各材料间的界面进行设定。金属液凝固过程就是金属液放热和模具吸热的过程，所以界面换热系数的设定尤为重要^[6]。设定模具和铸件之间的换热系数为2 000 W/(m²·K)。冷却方式为空冷，换热系数10 W/(m²·K)。

在挤压铸造过程中，金属液在压力的作用下进行凝固，保压补缩就是在充型结束之后，金属液体在压力的作用下弥补金属的凝固收缩。因此，挤压铸造工艺模拟中保压补缩的设置是重要的一部分^[7]。本研究采用浇口补缩法，在不考虑压实的情况下，只要设置浇口处的温度和压力实现金属液的充型。ProCAST计算程序可根据动量方程算出金属液在压力下的速度变化情况。在设置保压补缩时，只需要在运行参数中开启保压补缩功能即可^[8]。

3 数值模拟结果分析

3.1 浇注温度对铸件缩孔缩松的影响

为了研究浇注温度对铸件缩孔缩松的影响，初步设定模具温度250℃，比压40 MPa，分别对660℃、670℃、680℃、690℃、700℃、710℃、720℃等浇注温度进行模拟。

图4是不同浇注温度下的缩孔缩松模拟结果，图中深色部分为铸件可能出现缩孔缩松的位置。可以看出图4b中深色区域明显少于图4a、c。通过对铸件中缩孔缩松体积进行量化处理，得到图5浇注温度-缩孔缩松曲线，从图5中可以看出，在660~700℃缩孔缩松随温度的升高逐渐减少，但在710℃、720℃缩孔缩松出现上升趋势。这说明：在温度过高和过低的情况下，铸件的缩孔缩松都会增加。这是因为低温浇注过程中，铸件表面的金属液快速凝固，在型腔中产生阻力，这些阻力不利于补缩压力传递，妨碍了冲头对远端热节处的持续补缩。当浇注温度过高时，金属液液态收缩量大，凝固时间增长，晶体骨架形成时，单独存在的金属液，后续凝固时只能自行收缩，没有足够压力补缩，因此渐渐发展成缩孔缩松。根据模拟结果看出当浇注温度为700℃时，铸件的缩孔缩松出现最低值，说明700℃为最佳浇注温度。

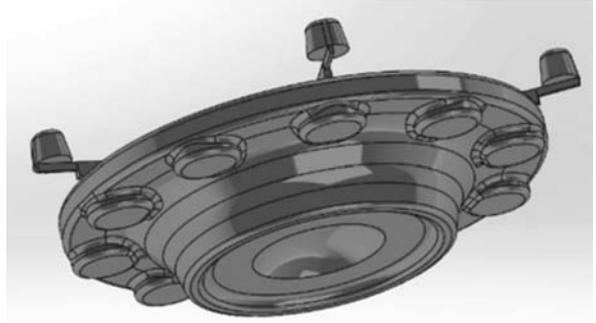


图1 轮毂连接盘三维建模

Fig. 1 Three dimensional model of wheel hub connecting plate

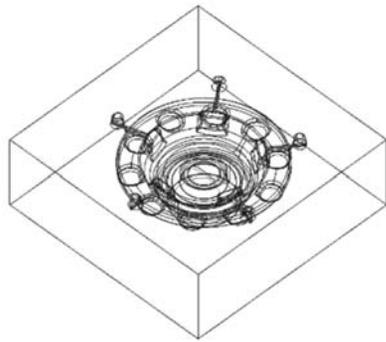


图2 虚拟砂箱

Fig. 2 Virtual sandbox

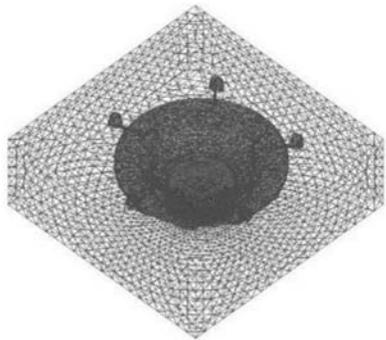


图3 三维网格划分

Fig. 3 3D meshing

表1 6061铝合金成分

Table 1 Chemical composition of 6061 aluminum alloy w_B /%

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Al
0.3~0.7	0.5	0.1	0.03	0.35~0.8	0.03	0.1	余量

表2 4Cr5MoSiV成分表

Table 2 Chemical composition of 4Cr5MoSiV w_B /%

C	Si	Mn	Cr	Mo	V	Fe
0.32~0.45	0.8~1.2	0.2~0.5	4.75~5.5	1.1~1.75	0.8~1.2	余量

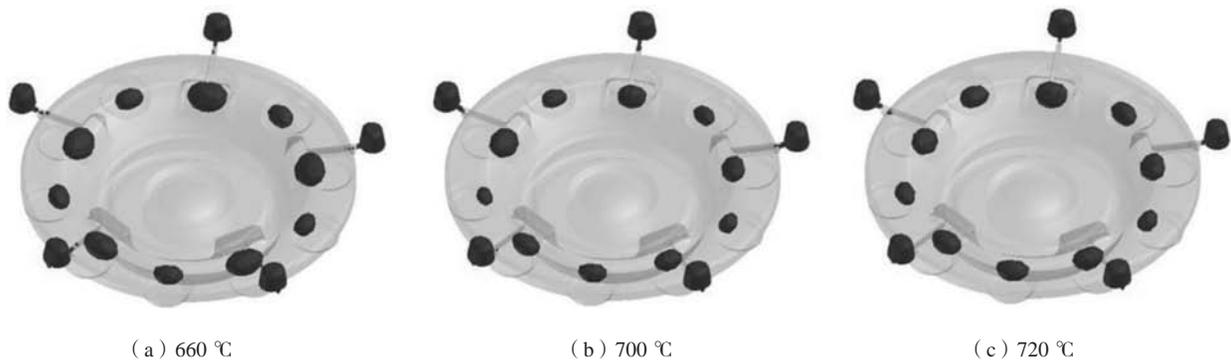


图4 不同浇注温度下的缩孔缩松

Fig. 4 Simulation results for shrinkage defects at different pouring temperatures

3.2 模具预热温度对铸件缩孔缩松的影响

为了研究模具预热温度对铸件缩孔缩松的影响,初步设定浇注温度700 °C,比压40 MPa,分别对20 °C、50 °C、100 °C、150 °C、200 °C、250 °C、300 °C、350 °C等预热温度进行模拟。

图6是不同预热温度下的缩孔缩松的模拟结果。可以看出图6c中的深色区域明显少于图6a、b,说明当预热温度为300 °C时,铸件的缩孔缩松最少。图7为预热温度-缩孔缩松曲线图,可以看出随着模具温度的升高,铸件的缩孔缩松缺陷逐渐减少。

模具预热温度过低会导致金属液和模具之间的换热增大,导致金属液表层的快速凝固,在型腔中形成阻力,妨碍了冲头压力对边缘位置的保压补缩,从而加剧铸件缩孔缩松的产生。从图7可以看出模具预热温度300 °C和350 °C之间相差不大,模具预热温度过高会加剧模具损耗,所以确定300 °C为最佳预热温度。

3.3 比压的初步确定及对铸件缩孔缩松的影响

为了初步研究比压对铸件缩孔缩松的影响,初步设定浇注温度700 °C,模具预热温度300 °C,分别对

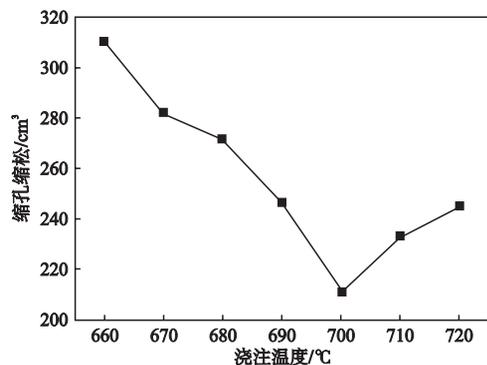


图5 浇注温度-缩孔缩松曲线

Fig. 5 Pouring temperature vs shrinkage defects curve

30 MPa、40 MPa、50 MPa、60 MPa进行模拟,模拟研究不同比压对铸件缩孔缩松的影响。图8是不同比压下的缩孔缩松。从图8看出比压为50 MPa时,铸件内已经没有了明显的缩孔缩松。图9是比压-缩孔缩松曲线图,可知50 MPa时铸件缩孔缩松最少。

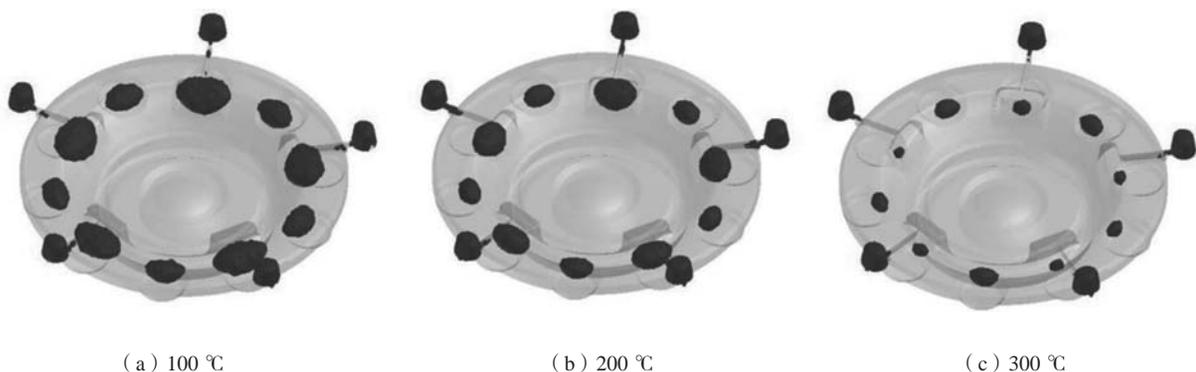


图6 不同预热温度下的缩孔缩松

Fig. 6 Simulation results for shrinkage defects at different preheating temperatures

4 最优参数模拟结果分析

根据浇注温度、模具预热温度、比压对铸件缩孔缩松的影响趋势，确定浇注温度700℃、模具预热温度300℃、比压50 MPa为最佳铸造方案。图10是铸件的缩孔缩松预测图，图中深色部分代表可能出现缺陷的位置，从图中看出，除了铸件顶端的冒口处其他位置已经没有缺陷。图11为铸件冷却时间图，图中标尺为铸件冷却时间，从图中可以看出铸件实现了从边缘到铸件中心的顺序凝固，可以保证冲头所加载压力能达到铸件边缘位置。

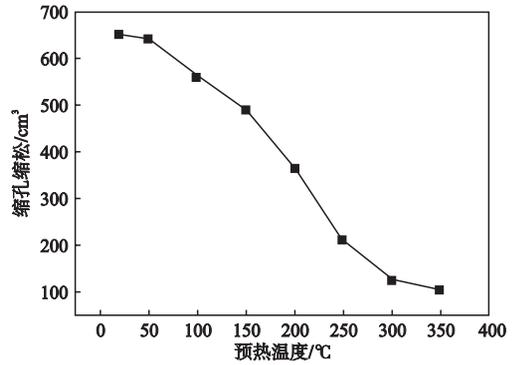


图7 预热温度-缩孔缩松曲线

Fig. 7 Preheating temperature vs shrinkage defects curve



图8 不同比压下缩孔缩松模拟结果

Fig. 8 Simulation results for shrinkage defects under different specific pressures

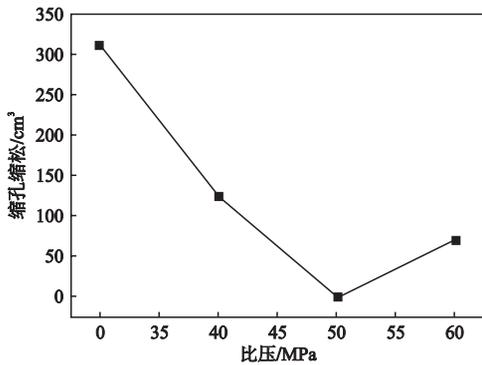


图9 比压-缩孔缩松曲线

Fig. 9 Specific pressure vs shrinkage defects curve



图10 铸件缩孔缩松预测

Fig. 10 Prediction results of shrinkage defects in casting

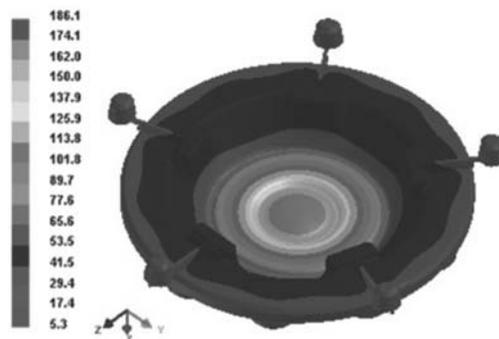


图11 铸件冷却时间预测

Fig. 11 Prediction results of cooling time of casting

5 结束语

根据对6061铝合金轮毂连接盘模拟结果分析得到,浇注温度在660~720℃之间时,浇注温度过高和过低都会使铸件出现缩孔缩松的概率增加,当浇注温度为700℃时,铸件的缩孔缩松出现最低值,说明700℃为最佳浇注温度。预热温度在20~350℃之间,铸件出现缩孔缩松的概率会随着模具预热温度的增加而减少,模具预热温度在300℃和350℃之间相差不大,模具预热温度过高会加剧模具损耗,300℃为最佳预热温度。对浇注温度为700℃、模具预热温度为300℃、比压50 MPa进行模拟,发现铸件基本实现了从边缘到铸件中心的顺序凝固,可以保证冲头所加载压力能达到铸件边缘位置,并且铸件内部没有明显的缩孔缩松,此组工艺参数为轮毂连接盘挤压铸造的最佳工艺参数。

参考文献:

- [1] 罗道宝,曾显恒.基于Procast的汽车框形铸件的挤压铸造工艺参数优化[J].铸造技术,2016,37(1):170-172.
- [2] 谢世坤,黄玉祥,张庭芳,等.铝合金汽车轮毂低压铸造模拟研究[J].热加工工艺,2015,44(15):71-73.
- [3] VDVIN R A, SMELOV V G. Research and optimization of the technological process of manufacturing a GTE blades using computer-aided design [C]// Top Conference Series: Material Science and Engineering, 2016.
- [4] 李云帅,朱小倩,林文华,等.基于ProCAST的汽车轮毂铸造模拟[J].铸造,2020,69(5):547-551.
- [5] 邢小锋.间接挤压铸造充型速度研究[D].杭州:浙江工业大学,2010.
- [6] 史德旗.铝铜合金连杆反重力挤压铸造与热处理数值模拟分析[D].镇江:江苏大学,2010.
- [7] 李敏华.挤压铸造工艺数值模拟的研究[D].武汉:武汉理工大学,2007.
- [8] 陈娟娟.铝合金连杆的挤压铸造成形技术及应用研究[D].重庆:重庆大学,2011.

Numerical Simulation of Squeeze Casting of Aluminum Alloy Wheel Hub Connecting Plate

WANG Wei, CUI Xiao-ming, SHI Bo, BAI Pu-cun

(Inner Mongolia University of Technology, Materials Science and Engineering College, Hohhot 010321, Inner Mongolia, China)

Abstract:

ProCAST software was used to simulate the squeeze casting process of 6061 aluminum alloy wheel hub. The effects of pouring temperature, mold preheating temperature and specific pressure on the shrinkage defects of castings were studied. It is concluded that the optimal casting process is the pouring temperature of 700℃, the mold preheating temperature of 300℃, and the specific pressure of 50 MPa.

Key words:

aluminum alloy; wheel hub connecting plate; squeeze casting; numerical simulation
