

# AnyCasting 虚拟仿真在砂型铸造中的应用及缺陷分析

邢小颖, 汤彬, 马运, 徐江波

(清华大学基础工业训练中心, 北京 100084)

**摘要:** 基于AnyCasting虚拟仿真软件, 论述了实践教学案例侧枕模型模拟预测砂型铸造过程中填充和凝固的顺序以及可能存在的缺陷。经过AnyPRE前处理、AnySOLVER计算求解和AnyPOST后处理, 观察分析充型时间、凝固时间、温度、压力、卷气、水平涡流等。通过结果合并功能发现二维或三维的凝固缺陷, 并对缺陷进行分析解决方案。

**关键词:** AnyCasting; 模拟浇注; 凝固缺陷

铸造工艺对生产不同精度的产品非常重要。在铸造过程中, 因为铸型的阻隔, 很难观测到合金液体充型和凝固过程, 而数字化模拟技术可以提供铸件充型和凝固的可视化信息。所以, 数字化模拟技术与试验研究成为提高铸造技术的有效手段。数字化模拟技术在工艺设计之初以及设计方案更改论证过程中起到重要作用。AnyCasting可以快速准确地分析铸造过程中铸型内合金填充和凝固的信息, 掌握验证流态、凝固和缺陷的方法。

通常情况AnyCasting在进行虚拟仿真浇注时需经过三个过程, 即AnyPRE前处理、AnySOLVER求解和AnyPOST后处理。

## 1 AnyPRE对侧枕模型的前处理

作为AnyCasting的前处理器, AnyPRE可以从导入的CAD数据直接生成有限差分网格, 同时还可为铸造过程指定不同的设置, 包括: 铸造工艺的选择、材料、边界条件、热流、浇口条件以及不同的仪器和模型。以侧枕模型为例, 所选用的铸造方法为砂型铸造, 所导入的STL文件包括铸件、流道、浇口、砂型和砂芯, 浇注温度720℃, 铸造材料为铝硅共晶合金, 砂型用普通粘土砂。对于浇注系统实体, 因为是空腔区域, 因此假设在填充之前充满空气。对于仅进行传热/凝固计算时, 对模具进行预热, 初始温度默认为25℃。导入的STL侧枕模型如图1所示, 通过实体属性、模具、求解域的设置建立非均匀剖分网格, 生成网格剖分报告, 如图2所示。热传导系数的设定, 针对砂型铸造总结出不同材料之间的HTC值见表1。

浇口条件为从浇口杯直接进行浇注, 所选方向为重力方向, 收缩模型临界固相分数为0.5。因为此案例为砂型铸造, 所以对于氧化夹渣和粒子追踪也需进行设置, 所有的参数设置完成即可结束输出条件。保存为\*.gsc文件。

## 2 运行AnySOLVER进行求解

AnySOLVER是AnyCasting基于有限差分法的三维流动和传热/凝固仿真求解器, 对于收缩模型、表面张力模型、氧化夹渣、真空排气、粒子追踪等可进行快速求解及分析。如图3所示。当充型率和凝固率均计算完成, 点击所计算项目进入AnyPOST界面。

作者简介:

邢小颖(1994-), 女, 本科, 研究方向为砂型铸造、消失模铸造和3D石膏型精密铸造。电话: 15600647714, E-mail: 913268740@qq.com

中图分类号: TG245

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2019)

05-0508-04

收稿日期:

2019-01-04 收到初稿,

2019-01-22 收到修订稿。

### 3 AnyPOST对侧枕模型的后处理

作为AnyCasting的后处理器，AnyPOST通过读取AnySOLVER中生成的网格数据和结果文件在屏幕上输出图形结果。可以用二维和三维观察充型时间、凝固时间、等高线（温度、压力、速率）和速度向量。此程序具备动画功能，将模拟计算结果编辑成播放文件，通过结果合并来观察缺陷凝固。

图4为充型顺序的模拟。在实际浇注过程中，看不到型腔内部的充型过程。可利用模拟结果分析，对充型过程有更加直观的认识，对产生的缺陷有更深入的分析。

如图5，在高级铸造分析中的概率缺陷参数，可发现一般情况下，液态收缩及凝固收缩如果不能得到及时的补偿，在相应部位就会形成孔洞。如图所示，缩孔一般出现在铸件顶部或最后凝固部位。

在图6、7对于浇注温度的模拟中，可观察充型及凝固过程中的温度变化。当液态金属充满型腔后，由于铸型的热交换，液态金属温度降低产生液态收缩。当铸件表面温度降至凝固温度时，表面开始凝固结壳，发生凝固收缩且凝固层开始固态收缩。此时，内部的液态收缩仍在进行，液面有下降趋势，但当凝固层不断加厚时，残余液体液面不断下降，截面积减小，最后在铸件中形成缩孔。

如图8，通过浇注速度矢量模拟，粒子追踪可观察到卷气的分布情况，从而确定气孔有可能出现的位置。气孔一般不在铸件表面显露，大孔常孤立存在，小孔则成群出现。

### 4 产生内部缺陷和水平涡流现象的原因及解决方案

针对铸件内部缩孔原因与应对措施，经过分析可得到以下结论：合理设计铸造工艺及铸件结构，用加工余量调整铸件壁厚，建立顺序凝固条件，从工艺上采取各种措施，使铸件上从远离冒口或浇口的部分到冒口或浇口之间建立一个逐渐递增的温度梯度，如图9

表1 不同材料之间的HTC值  
Table 1 HTC values among different materials

实体1	实体2	HTC
空气	所有	0.001
铸件	模具/型芯	0.1
铸件	附属件	0.2
模具	型芯	0.6
模具	模具	0.6
发热物	铸件	0.1
发热物	模具	0.001



图1 侧枕模型  
Fig. 1 Side pillow model

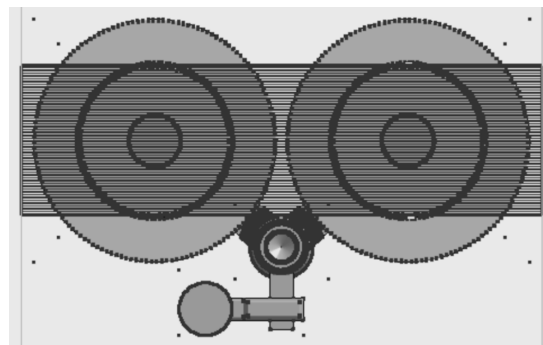


图2 网格结构  
Fig. 2 Grid structure



图3 求解计算  
Fig. 3 Solving calculation

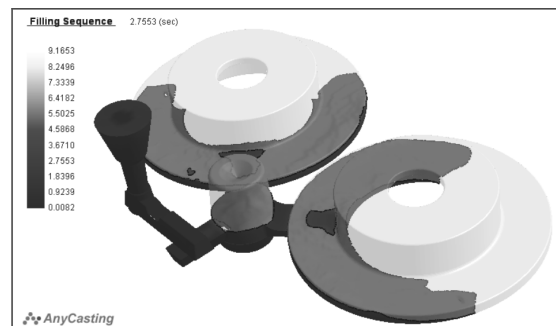


图4 充型顺序模拟  
Fig. 4 Simulation of filling sequence

所示, 这样就可使远离冒口薄的部分先凝固, 然后逐渐向着冒口或浇口的方向凝固, 以实现铸件厚大部分补缩细薄部分。而冒口又最后补缩厚大部分, 从而将缩孔移入冒口中, 最终获得致密而健全的铸件。对于壁厚差距过大的铸件, 可以设置暗冒口进行补缩。铸件厚大部位采取强制冷却措施如加冷铁。在实际浇注的过程中, 在保证铝液充满的情况下, 适当降低铝液的温度, 会减少铝合金收缩时的凝固量。在充型凝固过程中, 由于砂芯散热较慢, 局部温度高达548 ℃, 超过了材料固相温度, 使得铸件在此区域最后凝固。因此, 为了提高补缩能力, 在实际操作过程中, 通常在砂芯上下型腔扎入通气孔, 并增加内浇道厚度。

在模拟浇注过程中, 当浇口杯中的金属液流向直浇道时, 会使汇流在直浇道上部的金属液旋转起来,

形成水平涡流, 如图10所示。试验过程中发现, 水平涡流的产生, 使距离涡流中心(直浇道中心)越近的金属液, 旋转速度越快, 压力越低, 甚至形成负压,

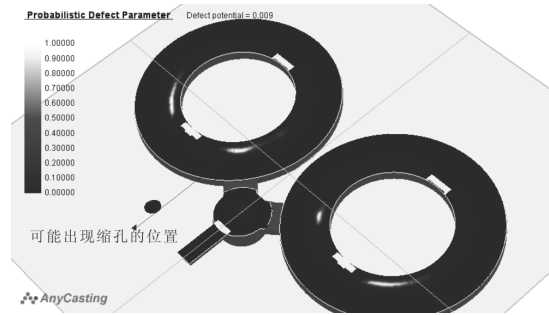


图5 缩孔位置预测  
Fig. 5 Prediction of shrinkage

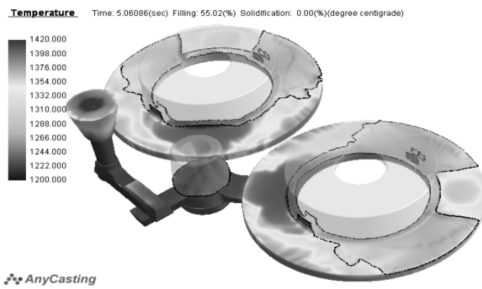


图6 充型阶段温度变化  
Fig. 6 Temperature change in filling stage

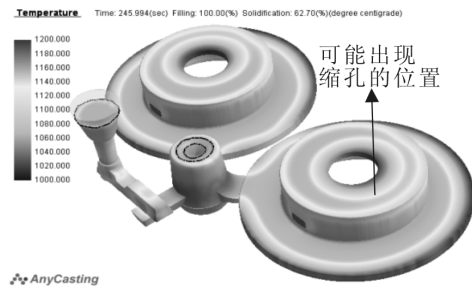


图7 凝固阶段温度变化  
Fig. 7 Temperature change in solidification stage

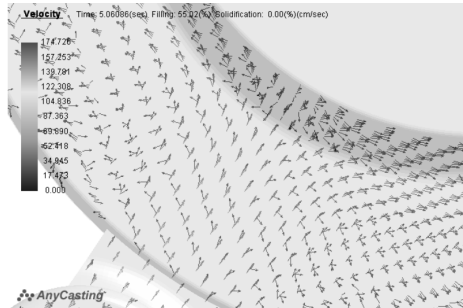
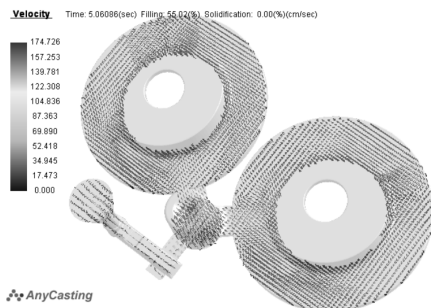


图8 浇注速度模拟  
Fig. 8 Simulation of casting speed

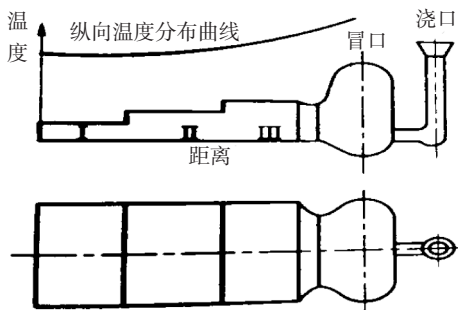


图9 顺序凝固原则示意图  
Fig. 9 Schematic diagram of sequential solidification principle

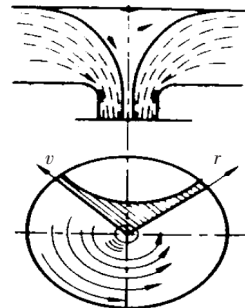


图10 浇口杯中的水平涡流  
Fig. 10 Horizontal eddy current in gate cup

在涡流中心形成喇叭口的低压空穴区，从而使附近的渣和气被吸入直浇道中。在模拟过程中发现，给定不同的浇口深度和直浇道直径，对水平涡流的产生会有不同的影响。如图11，当浇口杯中的金属液面高而浇包位置较低时，流入直浇道的流线陡峭，水平分速度小，不易产生高速度的水平涡流（图11a）。当浇口杯中的金属液面低，流线趋向平坦，水平分速度大，则容易产生水平涡流（11b）。当浇包位置较高时，尽管浇口杯的液面也较高，仍会产生水平涡流（11c）。这是因为高速的熔体穿入金属液面，对液面产生较大的冲击，使流线变得比较平坦，形成水平流股而产生涡流。

## 5 结束语

AnyCasting数值模拟在改善初步设计和验证设计方面是非常有效的。因为数值模拟过程能够提供充型和

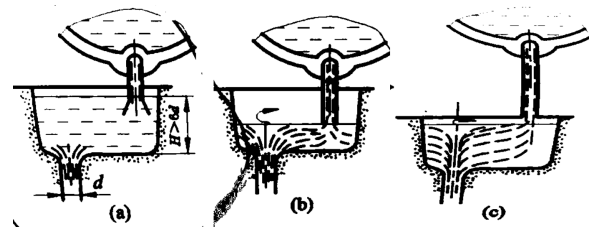


图11 液面高度与浇包包嘴高度对水平涡流的影响  
Fig. 11 Effect of liquid level height and ladle nozzle height on horizontal eddy current

和凝固过程的信息，甚至在铸型封闭而不能看到的地方也能提供过程信息。通过铸造模拟分析，能预先得到铸件缺陷的有效数据，从而指导模具设计，有利于在模具设计阶段把铸件缺陷发生率降到最低。引入AnyCasting软件，操作更加现代化，设计结果可视化，提高了设计工作的技术层次和质量。

### 参考文献:

- [1] 曹流, 廖敦明, 胡柏乐, 等. 铸造充型过程中浇不足缺陷的数值计算研究 [J]. 铸造, 2018 (6): 487-491.
- [2] 彭泽普, 殷亚军, 沈旭, 等. 基于统计特征识别算法的冒口工艺推荐方法 [J]. 铸造, 2018 (9): 794-798.
- [3] 康丽, 李秋书, 王荣峰. 铸造过程CAD/CAE一体化教学方法研究与实践 [J]. 铸造设备与工艺, 2013 (2): 57-59.

## Application of AnyCasting Virtual Simulation in Sand Casting and Defect Analysis

XING Xiao-ying, TANG Bin, MA Yun, XU Jiang-bo  
(Basic Industrial Training Center, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

### Abstract:

In this paper, the filling and solidification sequence, and possible defects in sand mould casting process were simulated and predicted using side pillow model of practical teaching case based on AnyCasting virtual simulation software. After AnyPRE pretreatment, AnySOLVER calculation solution and AnyPOST post-processing were conducted, filling time, solidification time, temperature, pressure, entrainment gas and horizontal eddy current were observed and analyzed. Using the result merging function can find two-dimensional or three-dimensional solidification defects, and through analysis and improvement of the casting process, the defects can be prevented.

### Key words:

AnyCasting; simulated casting; solidification defects