

ProCAST 软件在铸造凝固模拟中的应用

胡红军, 杨明波, 罗 静, 王春欢, 陈 康

(重庆工学院 材料科学与工程学院, 四川 重庆 450050, E-mail: hhj@cqit.edu.cn)

摘 要: 为研究铸造工艺对铸件质量的影响, 利用计算机进行了铸件的凝固模拟。介绍了有限元软件 ProCAST 的组成模块、功能以及应用, 在应用实例中利用 ProCAST 软件模拟预测了铸件砂铸工艺中产生的宏观缩孔缺陷。研究表明: 铸件中存在模拟预测的宏观缩孔缺陷; 对浇注系统和冒口设置参数进行了优化, 优化后的工艺提高了铸件产量, 降低了成本; 模拟结果表明, 铸造模拟软件 ProCAST 能够准确地预测铸件在充型凝固过程中可能产生的缺陷。

关键词: FEM 模拟; ProCAST 软件; 凝固模拟; 浇注系统

中图分类号: TP311.13 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005 - 0299 (2006) 03 - 0293 - 03

Application of the software ProCAST in the casting of solidification simulation

HU Hong-jun, YANG Ming-bo, LUO Jing, WANG Chun-huan, CHEN Kang

(Chongqing Institute of Technology, College of Material Science and Engineering, Chongqing 400050, China, E-mail: hhj@cqit.edu.cn)

Abstract: For researching the influence of casting process on the quality of castings, the solidification simulation of casting is developed by computer. Composing modules and functions of the FEM software ProCAST are introduced and the defects of the casting process are simulated. We then present an example for the ProCAST software to instruct the design of casting process. Workflow of ProCAST is described. The shrinkage defects of castings cast by sand molding process have been predicted using FEM software ProCAST. The simulated result laid down a foundation for improving the cast technology of the castings. The parameters of pouring system and riser system are optimized. The optimized process improved the casting yields and decreased the costs. The simulation way and approach used in this paper can be seen as a guideline in the design of other casting processes.

Key words: FEM simulation; ProCAST software; solidification simulation; pouring system

铸造 CAE 模拟技术是利用计算机技术改造和提升传统铸造技术, 对降低产品的成本、提高铸造企业的竞争力有着不可替代的作用, 它的应用和推广为铸造行业带来很大的经济和社会效益。传统铸件的生产主要依靠工程技术人员的实际工作经验, 缺乏科学的理论依据。特别对于复杂件和重要件, 生产中往往要反复地修改铸件结构或铸造工艺方案来达到最终的技术要求, 这种“经验 + 实验”的工艺方法, 导致铸件的研制周期长、成本高、质量不可靠等弊端, 已不能适应工业发展的要求^[1~3]。

本文针对某砂型铸造铸件, 以铸造专业模拟软件 ProCAST 为工具, 对该铸件凝固过程进行了数值模拟, 预测了该铸件的质量和可能发生的缺陷, 针对模拟出现的缺陷, 在 UG 软件中改造浇冒口系统的三维模型, 然后再次应用 ProCAST 软件进行模拟, 直到模拟结果符合工艺的要求。应用该软件进行模拟分析的流程见图 1。

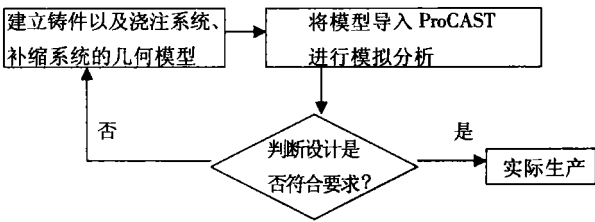


图 1 ProCAST 的应用流程

收稿日期: 2004 - 04 - 08

基金项目: 重庆市自然科学基金资助项目 (8659); 重庆市教委应用基础研究资助项目 (KJ050603)。

作者简介: 胡红军 (1976 -), 男, 讲师。

1 ProCAST软件的组成模块

ProCAST是针对铸造过程进行流动-传热-应力耦合做出分析的系统,共有8个模块,可以灵活地选用其中的模块。对于普通用户,ProCAST应有基本模块-传热分析及前后处理,流动分析模块,应力分析模块和网格划分模块。对于铸造模拟有更高要求的用户则需要有更多其他功能的模块。基本模块(传热分析模块),是进行传热计算并包括ProCAST的前后处理功能。前处理用于设定各种初始和边界条件。边界条件可以是常数或是时间或温度的函数。后处理功能可以显示温度、压力和速度场,同时可以将这些信息与应力和变形的信息集于一体。ProCAST还可以使用X射线的方式确定缩孔的位置。缩孔和缩松还可以使用缩孔判据或Niyama判据进行评估。流体分析模块,该模块可以模拟包括充型在内的液体和固体流动的效应,通过完全的Navier-Stokes流动方程对流体流动和传热进行耦合计算。该模块还包括非牛顿流体的分析计算等,可以模拟紊流、触变行为及多孔介质流动如过滤网中的流动。流动分析模块包括以下求解模型:Navier-Stokes流动方程;自由表面的非稳态充型;气体模型;滤模型;牛顿流体模型;紊流模型;消失模模型;倾斜浇注模型等^[4,5]。

2 应 用

2.1 缩孔预测

缩孔是由于凝固收缩过程中铸件不能有效地从浇注系统和冒口得到补缩造成的。利用ProCAST可以确认缩孔的位置。使用特殊的判据,如宏观缩孔或Niyama判据确认缩孔缩松是否会在这些敏感区域内发生。同时ProCAST可以计算与缩孔缩松有关的补缩长度。在砂铸中,可以优化冒口的位置、大小和绝热保温冒口的使用。在压铸中,ProCAST可以准确计算模型中的热节、冷却加热通道的位置和大小以及溢流口的位置。利用宏观缩孔判据,可进行可靠的缩孔预测。这一判据有助于识别封闭的金属液穴,定量地计算出由于凝固收缩而导致的缩孔量。如图2大型船用发动机球墨铸铁缸体的冷却过程模拟,下面红色表示可能发生缩孔的位置^[6,7]。

2.2 裹气模拟

液体充填受阻而产生的气泡和氧化夹杂物会影响铸件的机械性能,ProCAST能够非常清楚地证明充型过程中的紊流可以导致氧化夹杂物的产

生,这些缺陷的位置可以在计算机上通过显示进行跟踪。能够直接监视裹气的运行轨迹,优化设计浇注系统、合理安排出气孔和溢流孔。图3是车轮铸件的裹气模拟,并预测了铸件中的缺陷,可以看到冒口低部有很多气孔。

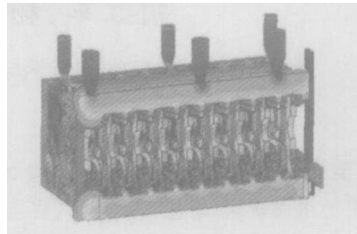


图2 大型船用发动机球墨铸铁缸体的冷却过程模拟

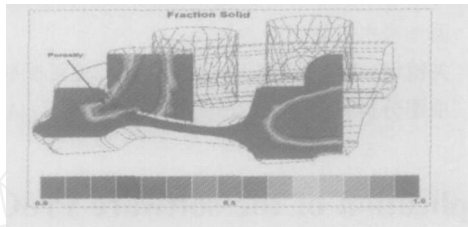


图3 车轮铸件的模拟

2.3 裂纹

铸造在凝固过程中容易产生热裂以至在随后的冷却过程中产生裂纹。利用热应力分析,ProCAST可以模拟凝固和随后冷却过程中产生的裂纹。在实际生产之前,这些模拟结果可以用来检验为防止缺陷产生而进行的各种设计尝试。

2.4 冲砂

在砂铸中,有时冲砂是不可避免的。如果冲砂发生在铸件的关键部位,将影响铸件的质量。ProCAST可以通过对速度场和压力场的分析确认冲砂的产生。通过虚拟粒子跟踪则能很容易确认最终夹砂的区域。

2.5 冷隔及浇不足

在浇注成型过程中,一些不当的工艺参数如型腔过冷、浇速过慢、金属液温度过低等会导致一些缺陷的产生。通过传热和流动的耦合计算,设计者可以准确计算充型过程中的液体温度下降。在充型过程中凝固了的金属将会改变充型的流动形式。ProCAST可预测这些铸造充型过程中发生的现象,并可以随后快速地检验相应的改进设计方案。

2.6 压铸模寿命

热循环疲劳导致降低压铸模的使用寿命。ProCAST能够预测压铸模中的应力周期和最大抗压应力,结合与之相应的温度场便可准确预测关键部位进而优化设计以延长压铸模的使用寿命。

3 典型应用实例

图4是用UG软件绘制的铸件、冒口、浇注系统的

3D模型;用 MeshCAST模块对模型进行网格划分,由于几何模型是中心对称的,可以对模型进行简化,只选取对称面一侧进行分析;在前处理模块中对模型的表面条件、边界条件、初始条件进行了设定,见表 1,这样就形成了一个虚拟的模具及浇注环境。

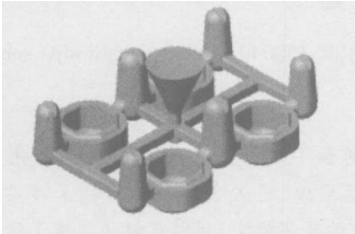


图 4 铸件的 3D 模型

表 1 初始条件

模具温度 /	金属液温度 /	填充速度 / (m · s ⁻¹)
25	1634	0.08

通过定量分析发现,在 P_{ro}CAST的基本模块中,宏观孔隙占铸件体积的 0.08 % (见图 5),这不能满足该铸件的要求,因此必须修改模型。对浇注系统进行了修改 (见图 6),同样进行网格划分和边界条件设置,然后进行模拟,评估铸件的质量,直到符合铸件的要求为止。通过实验验证,改进后的工艺提高铸件产量 9%,模具的体积显著减小 (大约 22%),同时降低了成本。

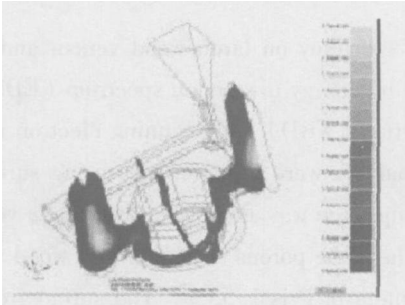


图 5 初始模型的宏观孔隙预测

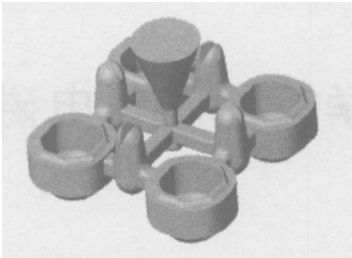


图 6 修改后的 3D 模型

4 结 论

用有限元软件 P_{ro}CAST预测铸件中存在的宏观缩孔,直观地显示出充型凝固的温度场分布、温度梯度、金属液流动行为、热节部位、缩松缩孔等。针对模拟的结果,修改铸件工艺设计的 3D 模型,修改了原始的浇冒口设计。实验表明应用修改后的铸造工艺进行铸造,提高了铸件的质量,提高了工艺出品率,降低了成本。

参考文献:

[1]柳百成,荆涛. 铸造工程的模拟仿真与质量控制 [M]. 北京:机械工业出版社,2001.
[2]柴增田. 计算机技术与熔模精密铸造 [J]. 铸造纵横, 2004, 2: 4 - 17.
[3]蔡临宁,杨秉俭,苏俊义. 充填过程数值模拟技术的现状和发展 [J]. 铸造技术, 1996, 3: 30 - 34.
[4]周业明,李莉,胡志男,等. 铸造有限元模拟预测铸钢件的宏观缩孔缺陷 [J]. 铸造, 2001, 11: 743 - 745.
[5]许庆彦,周进. 铸造凝固组织模拟的图形显示策略研究 [J]. 材料科学与工艺, 2001, 9 (2): 157 - 161.
[6]张兴国,曹志强,田正宏,等. 电磁铸造铝扁锭的电磁场数值模拟 [J]. 材料科学与工艺, 2003, 11 (4): 375 - 378
[7]薛祥,张跃冰. 充型过程的数值模拟及水力模拟实验验证 [J]. 材料科学与工艺, 2002, 10 (1): 77 - 80

(编辑 吕雪梅)

(上接第 292 页)

3)蒙脱土 3 个亚层之间的作用力比片层之间的分子间作用力大两个数量级,证明了蒙脱土的 3 个亚层结构稳定,因此,在极性介质中可以改变蒙脱土片层间距,但 3 个亚层不易分离。

参考文献:

[1]王鸿禧. 膨润土 [M]. 北京:地质出版社,1980.
[2]CHEN GM, MA YM, QIZN. Preparation and morphogical study of an exfoliated polystyrene/montmorillonite nanocomposite[J]. Scripta Mater, 2001, 44: 125 - 128
[3]TARASEVICH Y I, AKSENENKO E V. Quantum chemical modelling of ion exchange for alkali earth cations localised in interlayer structural gaps of layer Silicate montmorillonite

[J]. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 2001, 180: 33 - 39
[4]陆佩文. 无机材料科学基础 [M]. 武汉:武汉工业大学出版社,1996.
[5]CHATTERJEE A, WASAKIT, HAYASHIH, et al. Electronic and structural properties of montmorillonite—a quantum chemical study[J]. Journal of Molecular Catalysis A: Chemical, 1998, 136: 195 - 202
[6]潘金生,全健民,田民波. 材料科学基础 [M]. 北京:清华大学出版社,1998.
[7]谭训彦,王昕,尹衍升,等. $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 的晶体结构与价电子结构 [J]. 中国有色金属学报, 2002, 12 (S1): 18 - 23
[8]张瑞林. 固体与分子经验电子理论 [M]. 长春:吉林科学技术出版社,1993

(编辑 吕雪梅)