

·成果简介·

大型铸件模拟技术及质量控制研究

柳百成 熊守美 荆涛 李永保

(清华大学机械工程系, 北京 100084)

[关键词] 数值模拟、充型过程、凝固过程、微观组织、应力场、缩孔缩松

大型铸锻件的质量控制直接关系到机械工业的发展水平。1992年下半年起,由清华大学、大连理工大学和东北重型机械学院共同承担的国家自然科学基金重点项目“大型铸锻件的模拟技术及质量控制研究”启动。在子项目“大型铸件的模拟技术及质量控制研究”中,预期研究考虑温度变化的铸造充型过程数值模拟,研究铸件缩孔缩松、裂纹形成机理及建立相应判据,以建立大型铸件三维凝固模拟分析工艺优化及质量控制系统。该项研究取得的创新成果主要有以下几个方面:

1. 关于铸钢件缩孔的定量预测,在国内首次提出并建立了多热节定量预测铸钢件缩孔新方法。该方法把孤立熔池域搜索法和收缩量累计计算法结合起来,定量且动态地计算缩孔的大小、形状和位置,为优化大型铸件冒口设计提供了定量依据。

对于球墨铸铁缩孔的预测,我们在实验室实验及生产性试验基础上,综合考虑碳当量 CE 、模数 M 、孕育强度 I 及铸型刚度 H 等工艺因素,建立了影响球墨铸铁收缩倾向 Y 的两个数学回归方程:

对湿型

$$Y\% = 0.00641 T_p - 0.556 CE_1 + 10.645 I - 4.659 I^2 + 2.712 M - 0.5156 M^2 - 0.163 H + 0.0012 H^2 - 7.857$$

对干型

$$Y\% = 0.00037 T_p - 16.069 CE_1 + 1.904 CE_1^2 + 7.770 I - 3.620 I^2 + 1.891 M - 0.386 M^2 - 27.406$$

其中: $CE_1 = C + 1/7Si\%$ 。从而在国内外首次提出并建立了定量预测球墨铸铁缩孔新方法,即动态收缩膨胀叠加法(DECAM)的数学模型^[1]。该方法的原理是在每一时刻计算球铁件的总体积变化,对于过共晶成分的球铁件,体积变化考虑了液体收缩量、初生石墨膨胀、共晶奥氏体收缩、以及因型壁移动引起的体积变化。

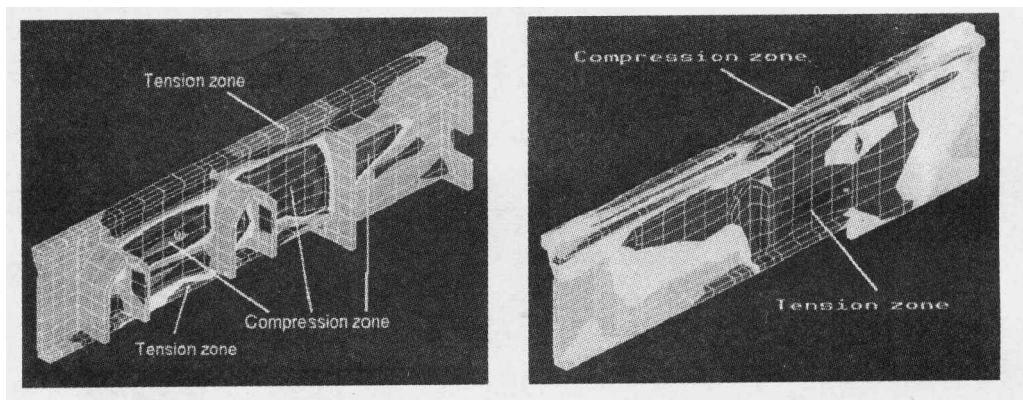
球墨铸铁及铸钢缩孔缩松预测新方法,已用于商品化软件包“铸造之星”,国内已有30余家工厂采用该软件包。

国家自然科学基金重点项目,批准号:59235100.

本文于1997年7月7日收到.

2. 铸造充型过程的数值模拟涉及复杂的物理过程, 本研究采用并改进 SOLA/VOF 三维流场数值分析方法, 提出一种三维自由表面处理新方法, 可以进行三维复杂铸件充型过程耦合流场及温度场数值计算。同时, 还对充型模拟计算方法做了多方面改进, 在对层流模型进行了实验验证后, 引入 $K-\epsilon$ 双方程模型模拟铸造充型过程的紊流现象, 并用预处理共距梯度法求解差分方程, 提高了运算速度, 开发成功的流场模拟分析软件已达到工程实用化程度。流场分析结果不仅给出了铸件凝固过程的初始温度场, 同时预测了浇注过程的铸造缺陷^[2]。

3. 在国内首次提出并实现有限差分/有限元方法集成的技术路线, 解决了温度载荷转换关键技术, 可以分析铸件的温度场、应力场及残余应力。用试验和数值模拟相结合, 分析了机床床身铸件凝固冷却过程温度场、应力场及残余应力分布, 并提出了改善机床床身铸件残余应力分析及提高尺寸稳定性的措施^[3]。图 1(a) 显示机床床身铸件在原始工艺条件下的应力分布, 可见导轨部拉应力分布, 易产生变形; 图 1(b) 显示了机床床身铸件优化工艺下的残余应力分布, 可见冷却条件改善, 导轨部位残留压应力, 机床铸件变形情况得以改善



(a) 原始工艺条件下机床导轨方向残余应力分布 (b) 改进工艺条件下机床导轨方向残余应力分布

图 1 机床铸件残余应力模拟

4. 在实验室试验基础上, 根据结晶及相变动力学理论, 建立了凝固冷却过程各阶段的形核及其长大动力学模型, 包括非自发瞬时过冷生核模型、石墨球生长界面控制扩散生长模型和共晶共析转变生长模型, 并提出了微观组织与机械性能关系的经验公式。在此基础上, 在国内首次开发了相应的微观组织与机械性能预测实用化软件, 并以球墨铸铁曲轴为代表铸件, 实现了三维微观组织及铸态机械性能模拟分析, 可以预测石墨球数、珠光体/铁素体量、抗拉强度、延伸率及布氏硬度^[4]。

5. 产品的优化合理设计离不开制造工艺的优化合理设计, 因而近年来并行工程在发展中提出了合理的产品设计/工艺设计新概念。本研究在国内率先建立了并行工程环境下的铸造 CAD/CAE 集成系统, 把铸造工艺 CAD 与凝固模拟技术 CAE 集成起来。并行工程环境下包括温度场、流场及应力场的铸造 CAD/CAE 集成系统也已在原国家科委并行工程等项目得到实际工程应用^[5]。

在国内外共发表学术论文 28 篇; 参加九次国际学术会议, 宣读论文 15 篇。部分论文被国内外引用。培养博士后 2 名, 博士生 6 名, 硕士生 3 名及一批青年研究骨干。

参 考 文 献

- [1] Li J, Liu B C. Study of formation and prediction of shrinkage cavity and porosity of S. G. iron casting. Proceedings of the 61st World Foundry Congress, Beijing, China, 1995, 39—50.
- [2] 高志强, 邱伟, 张为善, 柳百成. 铸造充型过程初始温度场的数值模拟及实验研究. 清华大学学报, 1996 (8): 50—55.
- [3] Xiong S M, Liu B C et al. Numerical simulation and analysis of residual stress in machine tool bed casting. Tsinghua Science and Technology, June 1996, 1 (2): 176—180.
- [4] Li W Z, Liu B C. Microstructure simulation and property prediction of S. G. iron castings. Proceedings of the 62nd World Foundry Congress, U. S. A, 1996, No. 6.
- [5] 柳百成, 荆涛, 李永保. 并行工程环境下成形铸件制造工艺 CAD/CAE 系统. 高技术通讯, 1996 (3): 40—42.

STUDY ON THE SIMULATION TECHNOLOGY AND QUALITY CONTROL OF LARGE CASTING

Liu Baicheng Xiong Shoumei Jing Tao Li Yongbao

(Department of Mechanical Engineering, Qinghua University, Beijing 100084)

Key words numerical simulation, mold filling, solidification process, microstructure, stress distribution, shrinkage porosity/cavity

·资料·信息·

越南科技环境部代表团访华

越南社会主义共和国与我国南部边疆毗邻。受前苏联影响,其国家管理体制基本为计划经济模式。近年来越南政府也在推行改革政策,力图纠正旧体制下的各种弊端。其中改革科技管理体制,成立科学基金会已在计划之中。为了了解中国国家自然科学基金的管理体制和现状及其在中国科学界中的作用,为在越南成立科学基金会做准备。自然科学与社会科学司苏廷绚副司长率越南科技环境部代表团于1998年9月8—20日来华访问。在国家自然科学基金委员会访问期间,袁海波秘书长,政策局吴述尧局长等会见了外宾并分别向他们介绍了有关情况。

此外,越南代表团还访问了北京大学、复旦大学、中山大学、中国科学院环境化学研究中心、上海硅酸盐研究所、广州地球化学研究所、广州电子科学研究所等单位。

越南外宾对我国科技经费的分配,基金项目的评审、管理、成果评价以及成果转化体制、科研人员生活待遇等问题显示了极大的兴趣,并希望国家自然科学基金委员会在1999年度派团出访越南。

(国际合作局 王逸 供稿)