● 特种铸造 Special Casting ●
DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2019.07.020

ProCast 在铝合金熔模铸造中的应用

高云鹏,董晟全
(西安工业大学 西北兵器工业研究院,陕西 西安 710072)

摘　要:利用 Procast 这一类专业的数值模拟软件。对产品的充型与凝固过程进行模拟和分析,预测出可能出现的问题(例如:缩孔),利用软件反馈的信息,对工艺方案进行优化,能够提高产品的合格率。实践表明,Procast 能够准确预测出可能存在的问题,从而辅助工艺人员对方案进行优化。

关键词:熔模铸造;Procast;数值模拟

中图分类号:TG249.5　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2019)07-0712-03

Application of ProCast in Investment Casting of Aluminum Alloy

GAO Yunpeng, DONG Shengquan
(Northwest Institutes of Advanced Technology, Xi'an Technological University, Xi'an 710072, China)

Abstract: It maybe have shrinkage cavity and crack in the production process of casting. For the sake of the question will be resolved, it can use ProCAST as a professional numerical simulation software. It has a function of simulating and analyzing the filling and solidification process of castings, it predicts possible problems (e.g. shrinkage). Take advantage of information from software feedback, the technical process and the plan will be optimized. The qualified rate of the products has been significantly improved. According to production practice, it is shown that casting simulation software can accurately predict the problem about shrinkage and porosity, so as to assist technicians to optimize the scheme.

Key words: investment casting; ProCAST; numerical simulation

随着社会的发展,人们对节能减排、环境保护的认识程度越来越高,在制造业领域,实现轻量化能有效地降低能耗。因此,轻量化设计已经成为了时代的主流。大量的轻质材料被发明和使用,促进了材料领域的科技发展。在众多的材料中,尤为重要的是铝合金,因为其具有质量轻、易成型、耐腐蚀等优点,已经在航空航天、武器装备、汽车、家电等领域得到了广泛的应用。

本文以发动机连杆为研究对象,采用特种铸造中的熔模铸造方式进行加工成型。连杆是组成发动机的重要部件之一,完成其轻量化,可以提高效率,降低燃油排放量,起到节约能源,保护环境的作用。在进行连杆加工过程中,采用铸造方式进行加工,比起锻造、钣金等工艺进行加工,具有提高刚度、缩短生产周期的优点。为了保证铸造件的精度,此次工艺选用熔模铸造方式,但是熔模铸造存在研发的成本高、周期长的问题,如果使用"试错法"的方式进行工艺方案的设计,不利于企业的长久发展。

采用 CAE 技术进行数值模拟,可以预先预测出可能存在的问题,在虚拟的情况下进行工艺方案的修改和优化。本次生产加工采用 Procast 软件进行仿真计算,可以让工艺人员在完成工艺编程之前,就能对可能存在的因素进行分析,优化工艺,提高产品质量。在此次的研究过程中,应用 Procast 软件进行模拟,对加工过程进行了数值分析,发现存在的缩松缩孔现象,改善了工艺,解决了缺陷问题,利用这种方式,缩短了研发周期,降低了企业成本。

1　数学模型

铸造的过程中,需要解决有限元模型。它的基础和前提是数学模型。可以将液态金属视作不可压缩的牛顿流体,下面是流体、温度场的耦合控制过程。

1.1　连续性方程

对流体的运动进行控制的一般方程采用连续性方程,在理想流体、粘性流体均可适用。其数学表达式为:

$$D=\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}+\frac{\partial w}{\partial z}=0$$

收稿日期:2019-05-07

作者简介:高云鹏(1993-),山东潍坊人,硕士生.研究方向:铸造成型,镁铝合金.电话:15680612426,
E-mail:328035148@qq.com

式中，D 为散度；u,v,w 为速度矢量在坐标中 X,Y,Z 方向上的分量。

1.2 Navier-Stokes 方程

动量守恒定律是动力学研究领域的基础，粘性流体运动微分方程是根据牛顿第二定律得出的，它的一般表达式为：

$$\rho\left(\frac{\partial u}{\partial t}+u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}+w\frac{\partial u}{\partial z}\right)=-\frac{\partial p}{\partial x}+\rho g_x+\mu\nabla^2 u$$

$$\rho\left(\frac{\partial v}{\partial t}+u\frac{\partial v}{\partial x}+v\frac{\partial v}{\partial y}+w\frac{\partial v}{\partial z}\right)=-\frac{\partial p}{\partial y}+\rho g_y+\mu\nabla^2 v$$

$$\rho\left(\frac{\partial w}{\partial t}+u\frac{\partial w}{\partial x}+v\frac{\partial w}{\partial y}+w\frac{\partial w}{\partial z}\right)=-\frac{\partial p}{\partial z}+\rho g_z+\mu\nabla^2 w$$

式中，ρ 为流体的密度；μ 为液体金属的运动粘度；g_x,g_y,g_z 为重力加速度在 3 个坐标方向上的分量，∇^2 为拉普拉斯算子；P 为单位密度的压力

1.3 能量方程式

$$\frac{de}{dt}+\rho\frac{d}{dt}\left(\frac{1}{\rho}\right)\mathrm{div}(\lambda\,\mathrm{grad}T)\frac{\phi}{\rho}$$

式中，e 为流体的内能；ρ 为流体密度；ϕ 为耗能函数。

2 数值模拟前处理

2.1 模型建立和网格划分

首先，利用 UG 软件进行零件模型的设计和建模。将建立的三维模型进行保存，保存格式一般为.prt，将模型的信息导入 Procast 软件进行二维和三维网格的划分，由于本次设计采用熔模铸造的方式进行铸造加工，在模拟过程中，需要考虑型壳的形状，在零件外生成厚度为 4 mm 的均匀型壳，在进行网格划分的时候，二维网格大小设置为 2 mm，共生成 30 458 个面单元，图 1 为该铸件与型壳总的有限元体网格，大约存在 206 768 个体单元。

图 1 铸件与型壳的体网格
Fig.1 3D mesh of casting and shell

2.2 边界条件以及热物性参数设置

在进行软件计算模拟之前，需要选择合适的制造工艺参数，本次采用铸件材料为 AlCu4MgTi，液相线温度为 648 ℃，固相线温度为 530 ℃。常温状态下密度为 2.792 g/cm^3，按照实际的浇铸方向确定重量重力的加速度方向，型壳的预热温度为 300 ℃，浇铸温度为 700 ℃，浇注时间约为 10 了 s，运行参数采用重力浇注的默认设定值，中止计算的条件为冷却到 500 ℃，计算步数大约 1 040，前处理完毕后，使用 procast 软件进行求解计算。

3 原方案的模拟结果

图 2 是该铸件浇铸过程中某一时刻的模拟结果，图中色标表示温度值的大小，充型过程中，金属液体从顶部沿浇道流入，没有非常明显的卷气、夹渣等现象，说明在浇注的过程中，流场比较好，设计比较合理。图 3 表示结束时刻的铸件，在浇道附近有明显的缩孔缺陷。图 4 表示铸件在凝固的过程中，某一时间的固相分数的模拟结果，从上图中可以得知，在各个部位的温度场变化规律和热节部位的形成。图 5 表示凝固后在内部出现缩松缩孔可能性比较大的地方，依据数值模拟的结果，根据 Procast 自带的 Niyama 判断可以对可能出现缩松、缩孔的地方进行

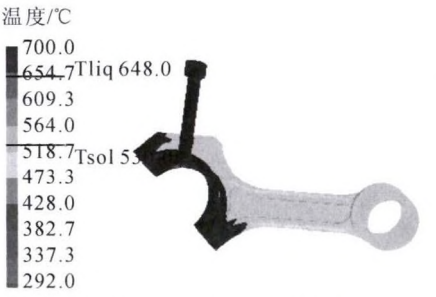

图 2 t=0.04 s 的温度场分布
Fig.2 t=0.04 s temperature filed distribution

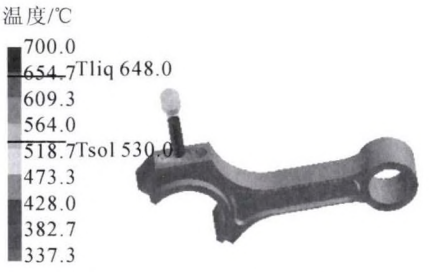

图 3 t=20 s 的温度场分布
Fig.3 t=20 s temperature filed distribution

图 4 某一时刻的固相分数分布
Fig.4 Solid distribution at a certain time

图 5 缩松缩孔计算结果
Fig.5 Computational results of shrinkage and contraction cavities

预测，结果显示在浇道口与铸件交界处有明显的缩孔现象。

4 优化后的方案设计

根据图 6 的原方案设计的工艺可知，在 procast 的充型和凝固过程，浇道口附近存在缺陷，根据分析可知，可以通过加压的方式解决问题，由于设备有限，无法实现加压，所以我们采用另一种方式解决缩松缩孔问题，即在浇道口进入零件处增加一定厚度的接触表面积(增加一定加工余量)，保证铸件无缺陷区域。具体方案优化如图 7，经过方案调整后，再进行数值分析，缺陷区域已不在铸件内，如图 8 所示。在加工过程中适当增加预热温度，可以使得

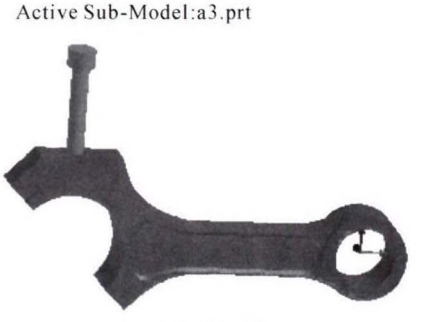

图 6 原方案
Fig.6 Original scheme

图 7 优化后方案
Fig.7 Optimized scheme

图 8 优化后结果
Fig.8 Optimized results

产品合格率提高。

5 结论

(1)应用 Procast 软件可以预测铸件在充型过程中的温度场的变化以及可能存在的缩孔、缩松现象。

(2)应用 Procast 软件，进行工艺方案的修改，能够节约成本、缩减生产周期、提高生产效率，保证企业稳步发展。

参考文献：

[1] 耿浩然，丁宏升，张景德，等. 铸造钛、轴承合金 [M]. 北京：化学工业出版社，2007.

[2] 胡敏，樊自田，张大付，等. 铝合金消失模真空低压铸造的充型特性 [J]. 特种铸造及有色合金，2003 (2)：56-58.

[3] Liu Z，Hu J，Ding W，et al. Effect of Processing Parameters on mold filling in magnesium alloy EPC Process [J]. AFS Transactions，2001 (109)：1425-1438.

[4] Yang J，Huang T，Fu J. Study of gas pressure in EPC (LFC)molds [J]. AFS Transactions，1998 (128)：21-26.

[5] 铁道部武汉工程机械厂. 真空密封造型 [M]. 北京：中国铁道出版社，1982.

[6] 刘全坤，祖方遒，李萌盛，等. 材料成型基本原理 [M]. 北京：机械工业出版社，2004.

[7] Ito M, Yamagishi T, Oshida Y, Munoz C A. Effect of selected physical properties of waxes on investments and casting shrinkage. The Journal of Prosthetic Dentistry, 1996, 75(2):211-216.

[8] Ferreira J C, Mateus A. A numerical and experimental study of fracture in RP stereolithography patterns and ceramic shells for investment casting. Journal of Materials Processing Technology, 2003, 134(1): 135-144.

[9] Gafur M A, Haque M N, Prabhu K N. Effect of chill thickness and superheat on casting/chill interfacial heat transfer during solidification of commercially pure aluminium. Journal of Materials Processing Technology, 2003, 133(3): 257-265.

[10] Liu B C, Kang J W, Xiong S M. A study on the numerical simulation of thermal stress during the solidifi cation of shaped castings. Science and Technology of Advanced Materials, 2001, 2 (1): 157-164.