

# 采用虚拟试验解决金属粉末注射成形制品的质量问题

蒋炳炎<sup>1,2</sup>, 黄伯云<sup>1</sup>

(1. 中南大学 粉末冶金国家重点实验室, 湖南 长沙, 410083;  
2. 中南大学 机电工程学院, 湖南 长沙, 410083)

**摘要:** 针对在金属粉末注射成形中, 反复试模法优化工艺参数成本高、时间长的不足, 通过扩充 MoldFlow MPI 软件中的材料数据库, 对 316L 不锈钢合金模芯零件进行虚拟实验研究。研究表明, 由于熔体流动的“跑道效应”, 当采用单浇口注射成形时, 模芯两侧熔体流动严重不平衡, 端面 4 个波峰和波谷明显, 中部芯柱出现欠注, 零件中间芯轴处成形最困难。通过优化单浇口位置、数量和零件的结构设计, 采用对称双浇口设计方案解决了实际生产中存在的断裂、欠注和不良流动等质量问题。

**关键词:** 金属粉末注射成形; 虚拟实验; 316L 不锈钢

中图分类号: TP31; TF124

文献标识码: A

文章编号: 1672-7207(2004)05-0748-05

## Solution of Quality of Metal Injection Molding with Virtual Experiment

JIANG Bing-yan<sup>1,2</sup>, HUANG Baiyun<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Powder Metallurgy, Central South University, Changsha 410083, China;  
2. College of Mechanical and Electrical Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

**Abstract:** To avoid the disadvantages, such as higher cost, and longer period of time, caused by the trying mold in optimizing processing parameters of metal injection molding (MIM), MoldFlow MPI was applied to MIM and virtual experiments for 316L stainless steel alloy mold core were carried out, which is realized through extending the database of MPI to MIM feedstock. The results show that because of "Runway effect", there is a serious disequilibrium flow on two sides in injection molding with a single gate, there are four obvious wave crests and troughs on flow front, there is short shot at central pole, and there is an area to most difficultly mold in the core axis. The quality problems of breakage, short shot and defective flow are solved by optimizing the single gate position, gate numbers and structure design of parts. Finally, the design scheme of symmetrically double gates is adapted and the developing efficiency is improved obviously.

**Key words:** metal injection molding; virtual experiment; 316L stainless steel

金属粉末注射成形技术(MIM)是将传统的粉末冶金技术与热塑性塑料注射成形技术相结合而产生的一种高新技术,具有大批量、高效率生产形状复

杂零件的优点<sup>[1-6]</sup>。利用MIM仿真软件,可以在模具加工前模拟注射成形全过程,预测制品可能出现的缺陷,找到缺陷产生的原因,在模具加工之前得到

收稿日期: 2004-04-05

基金项目: 国家重点基础研究发展规划计划项目(G2000067200)

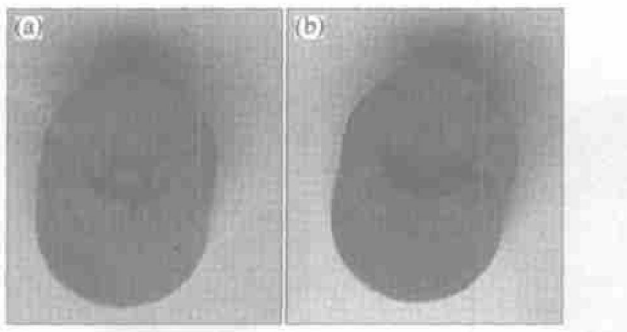
作者简介: 蒋炳炎(1963-),男,浙江浦江人,教授,从事先进制造技术、注射成形模具CAD/CAE/CAM研究

论文联系人: 蒋炳炎,男,教授;电话: 13873182288(手机);E-mail: jby@mail.csu.edu.cn

最优的制品设计、模具设计和成形工艺条件,可以减少甚至避免模具返修和报废,提高制品质量、缩短生产周期和降低成本。在此,作者应用 MoldFlow MPI 软件<sup>[7]</sup>,对 316L 不锈钢模芯零件单浇口位置、数量和零件的结构设计进行优化,解决制品中存在的质量问题。

## 1 不锈钢模芯存在的质量问题

在 316L 不锈钢喂料注射成形模芯的过程中,经常出现模芯的中间小柱欠注和柱根部断开等现象(如图 1 所示),造成产品的废品率较高。结构分型面的确定以及浇口位置的选择,直接影响模具设计、产品质量以及生产效率。



(a) 一中间小柱填充不满; (b) 一柱根部断开

图 1 模芯废品缺陷

Fig. 1 Pictures of mold core waster

## 2 不锈钢模芯 MIM 虚拟实验

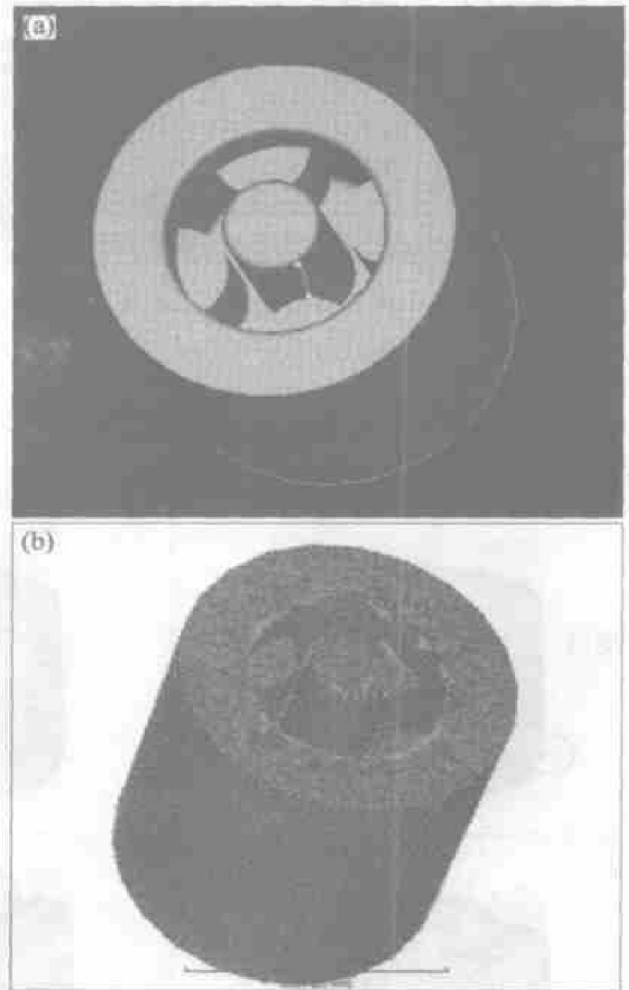
### 2.1 不锈钢模芯 3D 实体造型与网格划分

在用 MoldFlow MPI 进行仿真之前,必须建立不锈钢模芯 3D 实体模型和有限元网格划分。采用参数化设计软件 ProE 2000 得到的不锈钢模芯 3D 实体造型如图 2(a) 所示,其中零件直径为 2.596 cm,高度为 2.796 cm,属厚壁零件。用 MPI 对实体造型进行的 3D 有限元网格划分如图 2(b) 所示,其中四面体单元为 63 360 个,节点为 12 551 个,体积为 12.145 2 cm<sup>3</sup>。

### 2.2 不锈钢粉末喂料流变参数在 MPI 中的扩充应用

熔体粘度模型参数的准确性直接影响注射成型充模过程的仿真精度,因此,在使用 MoldFlow MPI 软件进行 MIM 虚拟实验之前必须将充填喂料准确

的粘度模型参数输入 MPI 材料数据库中。作者采用自适应快速遗传算法对 316L 不锈钢喂料的实验测试流变数据进行拟合,得到喂料 Cross-WLF 粘度模型参数<sup>[8]</sup>。



(a) 一ProE 中模芯实体; (b) 一MPI 中模芯的 3D 网格划分

图 2 316L 模芯实体与 3D 网格划分

Fig. 2 Entity and 3D mesh of 316L mold core

由于 MoldFlow MPI 仿真软件的材料数据库为用户提供了添加自定义材料的功能,只需将求得的喂料流变参数输入 MPI 的用户接口界面(如图 3 所示),即可生成用户自定义的材料,实现 MoldFlow MPI 软件在 MIM 领域中的扩充应用。

### 2.3 不锈钢模芯填充过程分析

设定 MPI 中的控制参数,对不锈钢模芯进行虚拟实验,拟定若干组方案对模芯流动过程进行仿真研究<sup>[9-12]</sup>,筛选出较优的工艺方案。

#### 2.3.1 单侧下方浇口方案的填充过程分析

采用单侧下方浇口方案,进行虚拟实验,实验结果如图 4 所示。

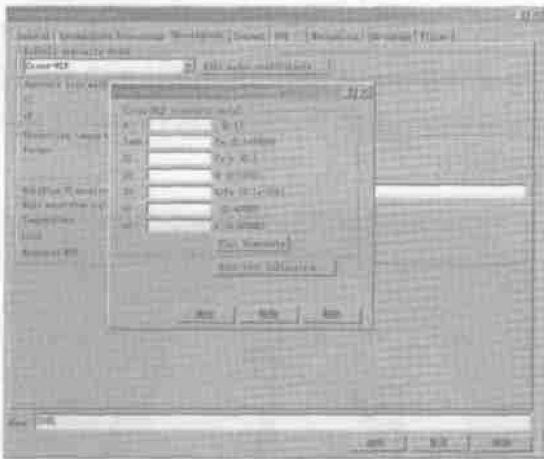
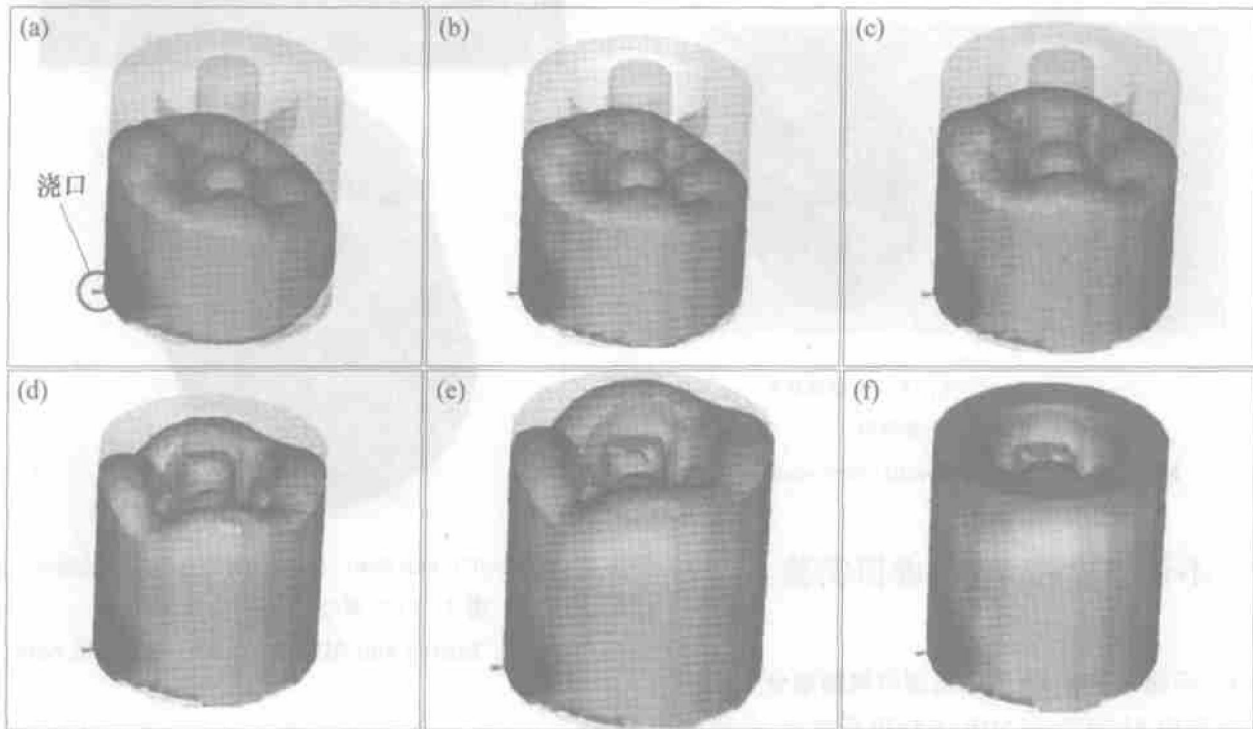


图 3 MoldFlow MPI 材料数据库用户输入接口界面  
Fig. 3 User input interface of MoldFlow MPI material database

从图 4 可以看出,在采用单浇口方案的注射填充过程中,模芯两侧流动严重不平衡,端面的 4 个波峰和波谷明显,中部芯柱出现欠注,且成形时间较长。在模芯实际注射填充过程实验中,通过设置不同的注射时间使零件人为欠注,观察喂料熔体在填充过程中流动前沿的变化(如图 5 所示)。比较虚拟实验和实际实验结果可见,采用单浇口填充过程的虚拟实验结果与在实际注射成形过程中得到的实物照片基本一致。实际实验仅在注射成形初期,有明显的“喷射”现象出现,虚拟实验未显示出“喷射”现象,但在达到稳态注射后两者的填充过程相吻合。

2.3.2 双侧对称下方浇口方案的填充过程分析

采用双侧对称下方浇口布置方案的填充过程如图 6 所示。



填充率: (a)—45.0%; (b)—50.0%; (c)—55.0%; (d)—70.0%; (e)—80.0%; (f)—99.5%

图 4 单侧浇口模芯填充状态图

Fig. 4 Filling states of mold core with single gate

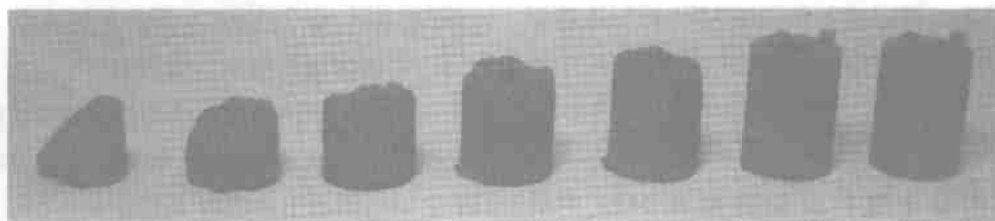
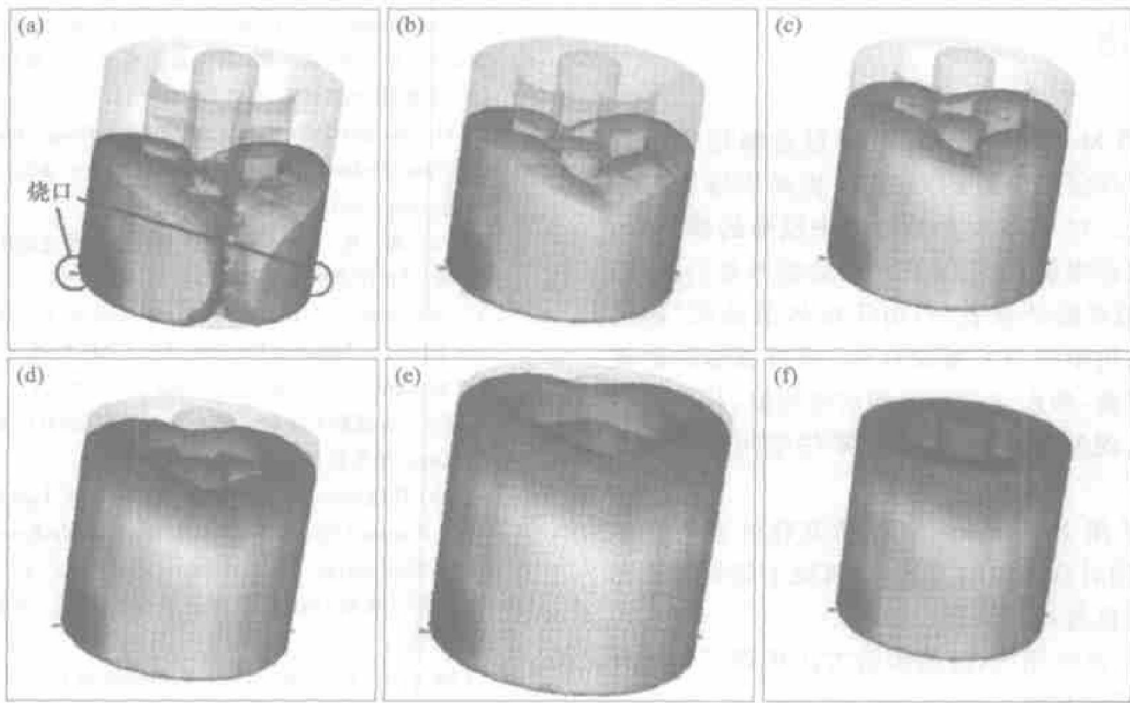


图 5 单侧浇口填充不同注射阶段的不锈钢模芯

Fig. 5 Stainless steel mold core in with single gate various injection stage



填充率: (a) —48%; (b) —58%; (c) —68%; (d) —83%; (e) —91%; (f) —100%

图 6 双侧对称浇口模芯填充过程状态图

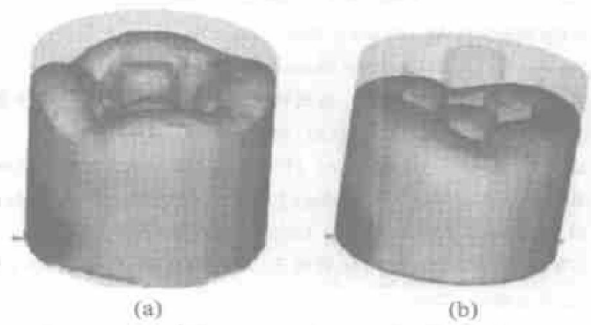
Fig. 6 Filling state of mold core with symmetrically double gates

比较图 4 和图 6 所示的模芯填充过程状态图可以看出, 将浇口从单侧下方改到双侧下方对称位置, 模芯两侧流体熔合过程明显, 缩短了填充时间, 端面波浪较平坦, 中部芯柱没有出现欠注现象, 形状完整, 提高了实际生产的成品率和产品质量。

### 3 结果分析

在进行流动模拟之前, 在选择浇口位置时需要考虑零件的轴对称性。仿真分析结果表明, 由于模芯壁厚的差异, 造成流动阻力不平衡, 产生了流变力学中的“跑道效应”, 使在充模过程中模芯的端面呈波浪状。当采用单浇口时, 模芯端面出现 4 个波谷, 如图 7(a) 所示; 而采用双浇口时, 模芯端面只出现 2 个波谷, 克服了“跑道效应”产生的波谷, 如图 7(b) 所示。当采用底部中心浇口时, 同样会出现类似图 6(a) 所示的现象。若采用 4 个浇口, 则可完全克服“跑道效应”带来的填充过程不均匀现象, 但同时会造成模具流道系统复杂, 熔接线过多等不足。

在采用双浇口设计中, 若不允许修改零件的结构, 浇口位置应选择在壁厚相对较薄的部分, 如图 8 所示的薄壁区。仿真分析结果表明, 模芯的中间芯轴难以成形。在实际实验中, 同样会出现芯轴根部易断裂, 顶部容易产生填充不满的现象。



(a) 单浇口方案模具; (b) 一双浇口方案模具  
图 7 单浇口方案模具与双浇口方案的比较

Fig. 7 Comparison between single gate mold and double gates mold

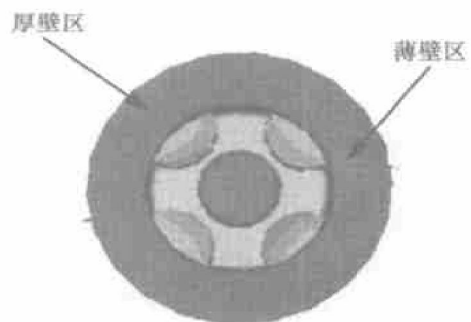


图 8 壁厚示意图

Fig. 8 Wall thickness of mold

## 4 结 论

a. 采用 MoldFlow MPI 软件对金属粉末注射成型过程进行定性分析的方法,可提高实际生产中的产品质量。对 MPI 材料数据库中不存在的新材料,可以进行数据库扩充,以解决材料数据不足的问题。

b. 虚拟实验结果表明,由于熔体流动的“跑道效应”,当采用单浇口方案设计时,注射成形两侧流动严重不平衡,端面 4 个波峰和波谷明显,从而使得中部芯柱出现欠注现象,并导致零件中间芯轴处成形最困难。

c. 当采用 MoldFlow MPI 仿真软件进行虚拟实验时,选用对称浇口的工艺,可解决不锈钢模芯芯部断裂和不良流动等问题。

d. 与实模法相比,虚拟实验方法提高了制品开发效率,降低了成本。

### 参考文献:

- [1] GERMANN R M. Powder Injection Molding [R]. Princeton: American Metal Powder Industries Federation, 1990.
- [2] GERMAN R M. Powder Metallurgy Science [R]. Princeton: American Metal Powder Industries Federation, 1984.
- [3] 曲选辉,李益民,黄伯云.金属粉末注射成形技术[J].粉末冶金材料科学与工程,1996,1(2):33-37.  
QU Xuanhui, LI Yimin, HUANG Baiyun. Metal Powder Injection Molding Technology [J]. Powder Metallurgy Material Science & Engineering, 1996, 1(2): 33-37.
- [4] GERMAN R M. 粉末注射成形[M].曲选辉,等译.长沙:中南大学出版社,2001.  
GERMAN R M. Powder Injection Molding [M]. QU Xuanhui, *et al.*, translate. Changsha: Press of Central South University, 2001.
- [5] NAJMIL A, LEE D. Application of Mold Filling Simulation to Powder Injection Molding [J]. The International Journal of Powder Metallurgy, 1994, 30(2): 231-240.
- [6] 李益民,钟孝贤,唐 嵘.高比重钨合金的金属注射成形技术[J].中国钨业,1999,14(6):153-157.  
LI Yimin, ZHONG Xiaoxian, TANG Rong. Metal Injection Molding Technology of Heavy Tungsten Alloy [J]. China Tungsten, 1999, 14(6): 153-157.
- [7] 余卫东,陈 建. Moldflow 技术在注塑成型过程中的应用[J]. CAD/CAE 计算机辅助设计与制造,2001,(6):59-61.  
YU Weidong, CHEN Jian. Application of Moldflow in Plastics Injection Molding Process [J]. CAD/CAE Computer Aided Design and Manufacture, 2001, (6): 59-61.
- [8] 蒋炳炎.金属粉末注射成形流动过程研究[D].长沙:中南大学机电工程学院,2004.  
JIANG Bingyan. Study of Metal Powder Injection Molding Flow Process [D]. Changsha: College of Mechanical and Electrical Engineering, Central South University, 2004.
- [9] 李德群.注塑模 CAE 技术的进展与趋势[J].中国机械工程,1992,(6):41-45.  
LI Dequn. Development and Tendency of CAE Technology in Injection Molding [J]. China Mechanical Engineering, 1992, (6): 41-45.
- [10] GODDEN P. New Hardware and Software Make CAD/CAM More Accessible, Flexible [J]. Modern Plastics International, 1990, (12): 51-54.
- [11] 王 麟,蒋炳炎,谢 磊,等.粉末注射成形充模过程仿真软件的 UML 建模[J].中南大学学报(自然科学版),2004,35(1):11-15.  
WANG Lin, JIANG Bingyan, XIE Lei, *et al.* UML Modeling of PIM Filling Simulation Software [J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2004, 35(1): 11-15.
- [12] 蒋炳炎,王 麟,谢 磊,等.STL 格式的 PIM 仿真软件前处理系统的实现[J].中南工业大学学报(自然科学版),2003,34(6):641-644.  
JIANG Bingyan, WANG Lin, XIE Lie, *et al.* Pre-processing System of PIM Simulation Software for STL [J]. Journal of Central South University of Technology (Natural Science), 2003, 34(6): 641-644.