

基于 Moldex3D 的 MIM 注射仿真分析及烧结预报相关参数的计算

番禺得意精密电子工业有限公司 王康

广州中国科学院工业技术研究院 刘红武 岳昊

鉴于相关课题 MIM 工艺的烧结仿真预报软件开发的需要，本文基于 Moldex3D 的 PIM 分析模块对烧结标定阶段的两种试件进行注射分析，通过考察“填充－保压－冷却”阶段的注射性能以及适用于烧结分析相关参数的计算结果，经过仿真分析发现 Moldex3D 计算结果对于后续的烧结仿真预报具有重要指导意义。

一、引言

金属粉末注射成形工艺 (Metal Powder Injection Molding) 简称 MIM，适用于制造形状复杂、高精密度和高性能材质的小型机械零件，是利用粉末冶金及塑胶射出成形之独具特色而发展出的一种新工艺。MIM 工艺数值仿真的研究工作主要涉及到注射、脱脂和烧结三个工序，其中烧结是 MIM 的关键工艺之一，因为零件在烧结过程中发生较大的收缩（一般为 10%～20%），这直接决定了产品的精度和性能。

针对本公司承担的项目课题“金属粉末注射成型烧结工艺仿真系统开发与试验研究 (2016CX001)”中 MIM 烧结预测算法的开发需要，鉴于该过程仿真准确性很大程度上受到注射成型质量的影响，其计算的主要初始参数（如烧结初始几何网格、密度分布以及粉末浓度分布等）均可由此得到，因此首先需要评估 MIM 注射成型工艺的仿真分析工作，评

价其对于烧结算法研究的指导意义。

二、标定模型设计及其注射方案

根据试验条件限制和算法研究需要，本课题设计两种试件用于针对烧结过程不同方向的形变特征算法研究的试验标定，分别为数量若干的圆柱（高 10mm，直径 6mm）和长方体（长 60mm，宽 10mm，高 3mm）标准试件。注射粉末选择常用的铁镍合金（Fe 粉和 Ni 粉混合，二者质量比为 2Fe-2Ni），混合粉末的理论密度为 $7.888\text{g}/\text{cm}^3$ ，其平均粒径分别为 Fe 粉 $5.6\mu\text{m}$ ，Ni 粉 $2.18\mu\text{m}$ ，装载量体积比为 58%。

根据标定试件产品的形状特征，具体注射方案如图 1 所示，分别选择针点式和侧边式浇口作为圆柱体和长方体试件的浇口方案。

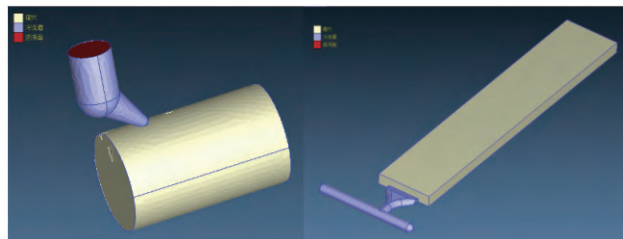


图 1 待注射试件的尺寸结构及浇口方案

三、MIM 注射过程的仿真分析

Moldex3D 是针对注射成型工艺进行模流分析仿真的计算机辅助工程分析 (CAE) 软件, 其中 Moldex 是 Mold Expert (模具专家) 的缩写。目前 Moldex3D 已经在塑料行业的注射工艺仿真范畴进行了广泛运用, 其实用性和准确性已经得到大量工程实例和产品开发的验证。近年来 Moldex 3D 推出了 PIM (Powder Injection Method) 分析模块以应对陶瓷粉末成型和金属粉末成型为代表的粉末成型工艺预测生胚的射出成型阶段的仿真需求, 除了对于注射工艺常用的缺陷 (如短射、熔接痕、困气和翘曲变形等) 进行判断评估, 还可以通过追踪粉末粒子流动, 评估生胚的密度分布和粉末浓度分布, 对后续的工艺分析具有重要的参考意义。基于 Moldex3D 的 PIM 分析模块过程如图 2 所示。

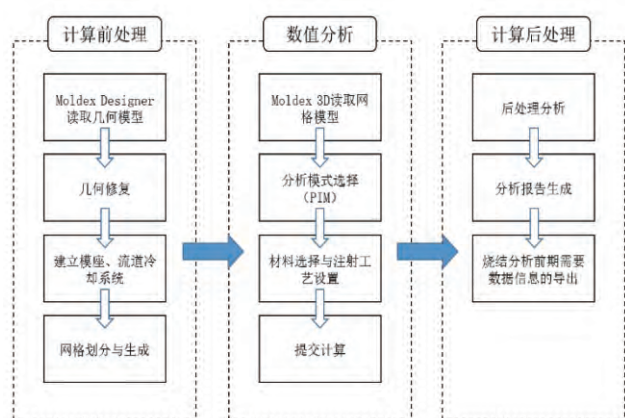


图 2 基于 Moldex3D 的 PIM 注射分析计算流程

根据注射设计, 最终适用于 MIM 烧结标定试验的注射产品及其浇注系统的网格如图 3 所示: 网格均采用带边界层的体网格形式; 仅对注射产品和浇注系统进行网格划分, 冷却系统和模座结构不进行有限元分析; 根据尺寸大小设定网格洒点分别为圆柱体 0.2mm 和长方体 0.5mm; 最终用于计算的圆柱体标定件的网格数为 24 万, 长方体标定件的网格数为 40 万。

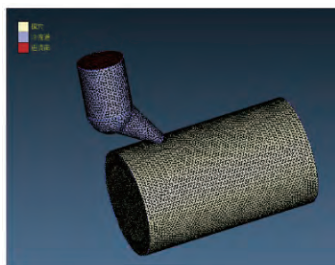
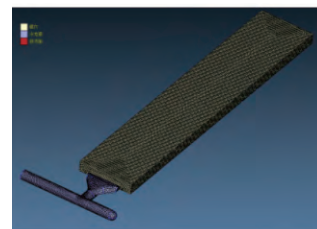


图 3 Moldex3D 待注射试件的网格结构

结合试件结构与注射材料特点, 注射过程的主要工艺参数选择 Moldex3D 软件推荐参数, 工艺流程为“注射—保压—冷却”, 主要工艺参数设定如表 1 所示。

表 1 注射工艺主要参数

	充填时间	保压时间	冷却时间	模具温度
软件设置	0.21s	6.17s	16.5s	80s

计算完成后, 通过后处理分析查看两个试件的填充过程分别如图 4、图 5 所示。通过不同时刻流动波前图可以看出, 虽然只有一个浇口, 但是由于产品结构相对简单, 填充阶段的流动较为均匀, 未发现明显的迟滞现象, 能够实现充分注射。

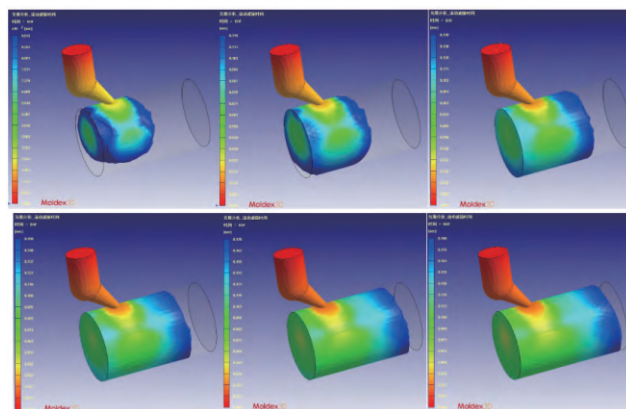


图 4 圆柱体试件填充阶段流动波前图

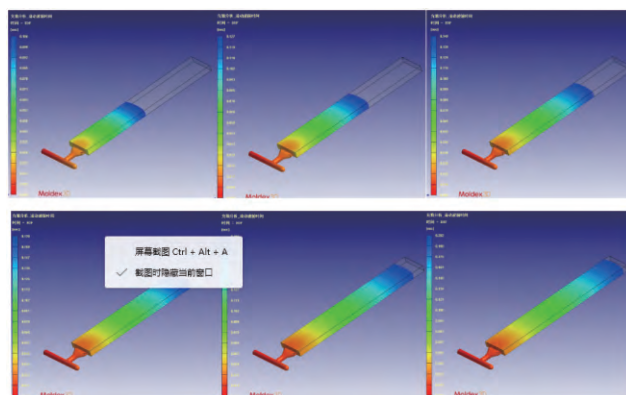


图 5 长方体试件填充阶段流动波前图

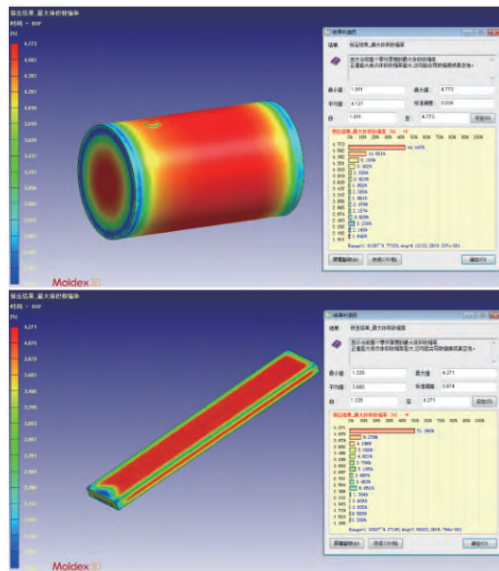


图6 试件保压阶段最大体积收缩率分布图

通过保压阶段最大体积收缩率分布云图(图6)可知,圆柱体和长方体试件的最大体积收缩率分别为4.773%和4.271%,平均值分别为4.121%和3.680%,均小于5%且分布较为均匀,表示保压过程中试件不容易发生翘曲以及脱模变形。

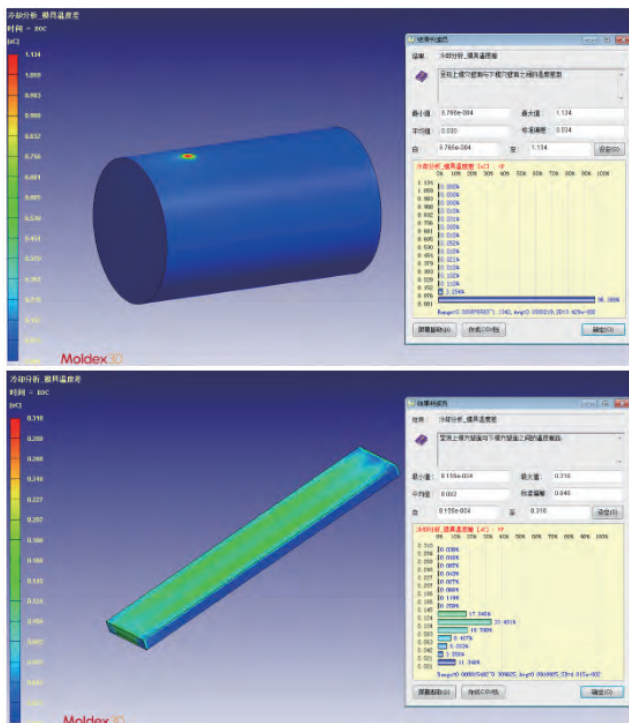


图7 试件冷却阶段公母模温差分布图

通过冷却阶段公母模温差分布图(图7)可知,圆柱体和长方体试件的最大体积温差分别为1.134℃和0.31℃,平均温差分别为0.030℃和0.092℃,公母模温差较小,表示产品模具冷却效果较好。

通过对于注射过程各个阶段的产品特性的查看和分析,可以看出 Moldex3D 的 PIM 分析模块有助于实现 MIM 产品成型过程中的注射过程的准确把控和结果预测,进而实现基于产品质量提高的注射工艺的优化工作。

四、烧结算法开发的信息收集

根据 MIM 烧结预测相关的算法调研,注射环节对于烧结过程影响最大的参数为质量密度分布和金属粉末分布。结合有限元法的算法特征,这些信息需要以节点为单位即同时需要相关参数的网格信息。通过 Moldex3D 后处理分析可知,PIM 分析能够得到注射完成后生胚的密度和粉末浓度分布信息情况,如图8和图9所示,据此判断烧结分析的初始条件理论上可以通过 Moldex3D 的计算分析过程提供。

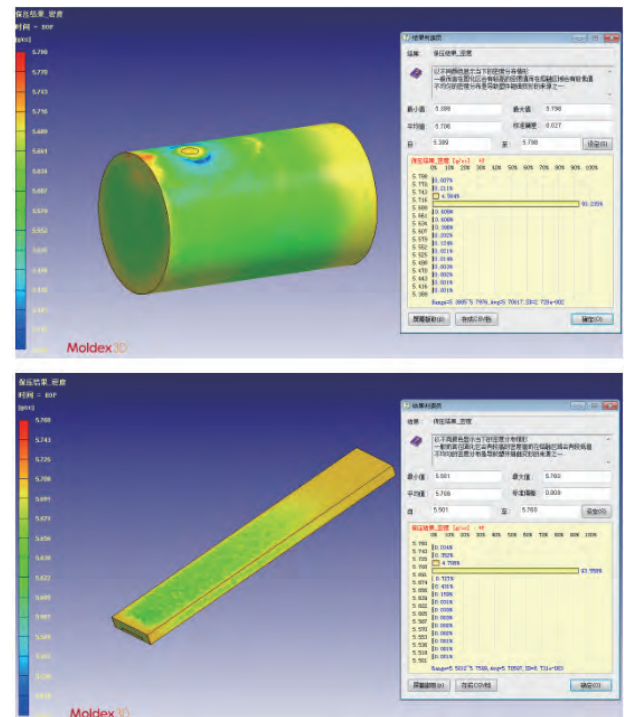


图8 注射试件生胚密度分布图



智能制造 2018.2-3
www.idnovo.com.cn

五、结语

借助于 Moldex3D 模流分析软件, 实现对适用于 MIM 烧结算法研发的标定试件的注射过程的 PIM 分析, 能够直观发现 MIM 试件在注射成型过程中存在的问题和缺陷, 同时能够获取注射生胚的密度分布和金属粉末浓度分布信息, 这对于 MIM 烧结预测算法程序的开发至关重要。同时, 这也为 MIM 生产工艺的“注射成型—脱脂烧结”两大工艺流程的 CAE 联合仿真的实现提供了重要基础。

Moldex3D MIM 注射分析	分析结果	输出接口
网格信息	有	有
密度分布	有	有
粉末浓度分布	有	待后续开发

五、结语

借助于 Moldex3D 模流分析软件, 实现对适用于 MIM 烧结算法研发的标定试件的注射过程的 PIM 分析, 能够直观发现 MIM 试件在注射成型过程中存在的问题和缺陷, 同时能够获取注射生胚的密度分布和金属粉末浓度分布信息, 这对于 MIM 烧结预测算法程序的开发至关重要。同时, 这也为 MIM 生产工艺的“注射成型—脱脂烧结”两大工艺流程的 CAE 联合仿真的实现提供了重要基础。

