

注射模充填模拟软件的实验验证^{*}

董斌斌 杨 扬 申长雨

(郑州大学橡塑模具国家工程研究中心, 郑州 450002)

摘要 对商品化注射模模拟软件 C-MOLD 和 Moldflow-Insight 的充填过程理论进行了详尽的描述,将两种常见几何结构的制品用这两种 CAE 软件进行了充填模拟,并将模拟结果与实验值进行了定量的对比。结果表明,对于实验中出现的滞流和短射现象,软件都能很好地预测出来,基本能正确地反映真实的充填过程,从而验证了 CAE 软件分析的可靠性与准确性。

关键词 C-MOLD Moldflow-Insight 滞流 短射 充填模拟

目前,许多商品化注射模 CAE 分析软件如 C-MOLD 软件和 Moldflow-Insight (MPI) 软件在模具制造和塑料制品生产中发挥着重要的作用,而这些软件分析结果的可靠性、准确性是应用人员最为关心的问题。笔者通过对两种常见的几何结构,用不同材料、不同注射时间、不同熔体入口温度等工艺条件进行了模拟计算并与实验结果^[1] 进行比较。结果表明,C-MOLD(99.7 版)和 MPI(3.1 版)能够准确计算出某些条件下的注射充填结果,模拟结果有较强的可信度。

1 模拟与实验的准备

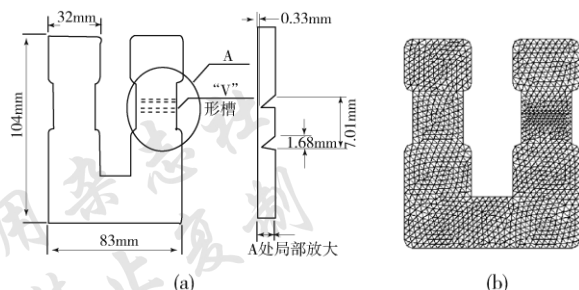
1.1 制品几何模型的准备^[2]

以电子产品中常用的塑料件为研究对象。该类制品平均厚度为 2.54 mm,并带有两种典型特征,一种带有两个“V”形槽的几何特征,制品的几何尺寸如图 1a 所示;另一种带有薄壁组合件的几何特征,制品的几何尺寸如图 2a 所示。实验结果表明在充填过程中“V”形槽部分会引起滞流的问题;而薄壁组合件由于其厚度为平均厚度的 1/15,存在充填不满的问题。

用 C-MOLD 软件和 MPI 软件进行充填模拟分析时都是用中面模型,对“V”形槽或薄壁组合件区域要进行适当的简化,网格划分时要对该区域进行网格加密,以免产生畸形三角形网格。C-MOLD 软件划分的网格模型如图 1b(共划分 2125 个网格单元)和图 2b(共划分 2060 个网格单元)所示。

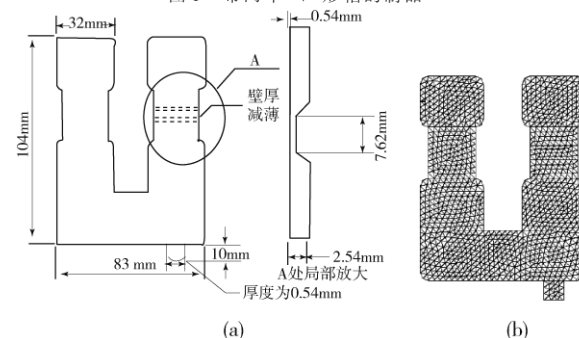
1.2 工艺条件的设置

选用两种塑料材料进行研究。一种是美国 DOW CHEMICAL 生产的 HIPS Styron 478 无定形材料;另一种是美国 GE PLASTIC 生产的 PC Lexan 141 无定形材料。这两种塑料材料常用于电子产品的制造,其加工特性见表 1。



a—制品几何尺寸; b—制品网格模型图

图 1 带两个“V”形槽的制品



a—制品几何尺寸; b—制品网格模型图

图 2 带薄壁组合件的制品

表 1 两种塑料材料的加工特性

项目	HIPS	PC
加工温度 / °C	287 ~ 315	180 ~ 260
开模温度 / °C	127	84
模具温度 / °C	71 ~ 93	21 ~ 48
剪切应力 / MPa	0.5	0.24
最大剪切速率 / s ⁻¹	40 000	40 000

(1) 试模工艺条件

注塑机用的是 Ludwing Engel 公司生产的 Engel 60TL (带 cc100 控制系统)。其最大注塑压力 15 MPa, 保压时间 10 s, 冷却时间 10 s。

^{*} 河南省重大科技攻关资助项目(991080031)

(2) CAE 软件模拟工艺条件

对带两个“V”形槽的制品进行初始设计,其工艺条件见表2。

表 2 带“V”形槽的制品模拟分析的工艺条件方案				
方案编号	塑料	充填时间 /s	入口温度 /℃	模具温度 /℃
1-1	HIPS	1.1	232	40
1-2	HIPS	0.6	232	40
1-3	PC	1.9	293	71
1-4	PC	1.1	293	71

对带薄壁组合件的制品进行初始设计,其工艺条件见表3。

表 3 薄壁的制品模拟分析的工艺条件方案				
方案编号	塑料	充填时间 /s	入口温度 /℃	模具温度 /℃
2-1	HIPS	3.2	232	40
2-2	HIPS	1.6	232	40
2-3	PC	1.4	293	71
2-4	PC	0.9	293	71

2 CAE 软件充填过程的数值模拟^[3]

注射成型 CAE 模拟技术是以塑料加工流变学和传热学为基础理论,通过建立熔体在模具型腔中的流动和传热的数学模型,利用计算机图形学将动态充填过程直观地显示到屏幕上。在充填流动阶段,由连续介质力学及热力学理论,可以得到一般流体流动和热传导过程控制方程:

(1) 连续性方程

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + (\rho \cdot v) = 0 \tag{1}$$

(2) 动量方程

$$\frac{\partial (\rho v)}{\partial t} = \rho g + [\rho \cdot \sigma] - [\rho \cdot P] \tag{2}$$

(3) 能量方程

$$\rho_p \left(\frac{T}{t} + v \cdot \nabla T \right) = \beta \left(\frac{P}{t} + v \cdot \nabla P \right) + \rho \cdot v + (\sigma : \nabla v) - \nabla \cdot (k \nabla T) \tag{3}$$

式中: ρ 、 v 、 g 、 c_p 、 T 、 β 、 σ 、 k 分别为密度、速度矢量、重力加速度、比定压热容、热力学温度、线胀系数、应力张量和热传导系数。

对于注射充模过程,熔体主要表现为两个区域的流动行为:低剪切速率下的牛顿行为和高剪切速率下的剪切变稀行为。常用的粘度模型包括幂律粘度模型, Cross-WLF 粘度模型。商品化数值模拟软件 C-MOLD 和 MPI 用的是 Cross-WLF 粘度模型。

(4) Cross-WLF 粘度模型

Cross-WLF 粘度模型中聚合物粘度为温度、剪

切速率的函数,并考虑了压力对粘度的影响,它能够同时处理牛顿区和剪切变稀区的流变行为。

$$\eta(T, \gamma p) = \frac{\eta(T, p)}{1 + \left(\frac{\eta \gamma}{\dot{\gamma}} \right)^{1-n}} \tag{4}$$

$$\eta(T, p) = D_1 \exp \left[\frac{A_1 (T - T^*)}{A_2 + (T - T^*)} \right] \tag{5}$$

式中: $T^* = D_2 + D_3 p$; $A_2 = A_2 + D_3 p$; η 为粘度; n 为幂律指数; $\dot{\gamma}$ 表示熔体由牛顿流体区向剪切变稀流体区所受的剪切应力水平; $(1-n)$ 为剪切变稀区粘度对数曲线的斜率; $\eta(T, p)$ 为零剪切粘度; T^* 为材料的玻璃化转变温度; D_2 代表在低压力下(如 0.1 MPa)玻璃化转变温度;而 D_3 表示依赖 $T^*(p)$ 的线性压力。

3 实验结果与软件模拟结果

3.1 带“V”形槽制品的实验结果与模拟结果

带两个“V”形槽制品的实验结果表明实验方案 1-3 发生了短射,方案 1-1 发生了严重的滞流,方案 1-2、1-4 也有滞流现象。图 3a 为方案 1-2 的实验结果。

MPI 软件预测出方案 1-3 发生了短射,方案 1-1 滞流约 0.35 s、方案 1-2 滞流约 0.07 s,其熔体流动前沿如图 3b 所示。方案 1-4 滞流约 0.15 s。

C-MOLD 软件预测出方案 1-3、方案 1-4 发生了短射,方案 1-1 滞流约 0.16 s,方案 1-2 滞流约 0.10 s,其熔体流动前沿如图 3c 所示。熔体前沿在

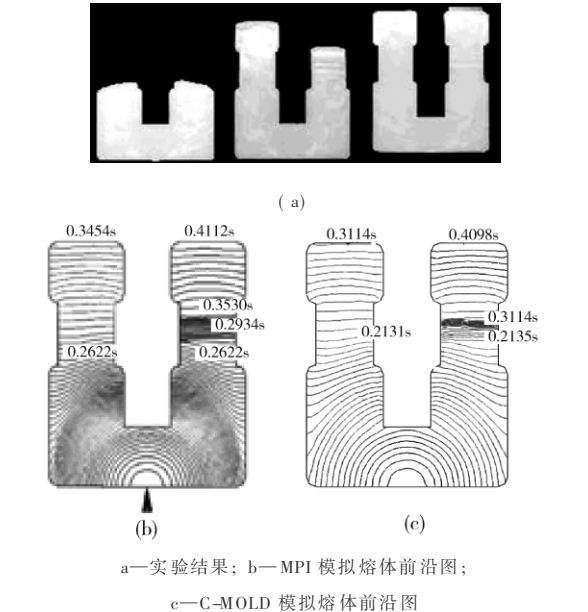


图 3 带“V”形槽制品方案 1-2 的实验结果与模拟结果

达到右边厚度突变区域前的流动是均衡的。MPI 和 C-MOLD 软件都准确地预测出短射现象,而且滞流的严重程度也与实验结果有很好的吻合。

3.2 带薄壁组合件制品的实验结果与模拟结果

带薄壁组合件制品的实验结果表明,实验方案 2-1、方案 2-3 发生了短射,方案 2-2、方案 2-4 发生了严重的滞流。图 4a 为方案 2-3 的实验结果。

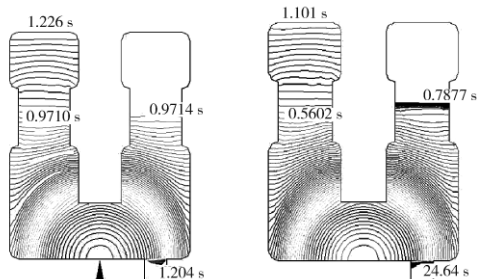
MPI 软件预测出方案 2-1、方案 2-3、方案 2-4 发生了短射,方案 2-2 滞流约 0.44 s。其中图 4b 为 MPI 软件模拟方案 2-3 的熔体前沿图。

C-MOLD 软件预测出方案 2-1、方案 2-2、方案 2-3、方案 2-4 均发生了短射。其中图 4c 为 C-MOLD 软件模拟方案 2-3 的熔体前沿图。

两种软件都预测出了短射现象,但是短射的程度与实验值有出入,特别是小凸起部分,软件模拟结果表明该处没有足够熔体充入。而实验结果却是熔体完全充满凸起部分。方案 2-2 的实验表明,在薄壁处有明显滞流,这一现象用 MPI 和 C-MOLD 都能准确地计算出来。



(a)



a—实验结果; b—MPI 模拟熔体前沿图;
c—C-MOLD 模拟熔体前沿图

图 4 带薄壁组合件制品的方案 2-3 实验结果与模拟结果

4 滞流与短射

熔体没有充满型腔就冷凝了,称之为短射。其产生的主要原因有:流经太长或流阻太大;较薄处发生了滞流;充填时裹入的气体没有完全排出。图 5 为熔体前沿图。由图 5 可直观地看到右边“V”形槽

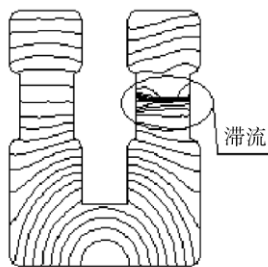


图 5 滞流的熔体前沿图

区域发生了滞流而引起了短射。

在制品结构中有时有多个方向的流径或厚薄不一的区域,当熔体流动到薄壁或较窄区域时流速减慢或不再向前流动,停滞不前,而厚壁处的熔体继续充填易充填的区域,直到易充填区域充填完毕,熔体才重新开始继续充填薄壁或窄区域,这种现象称之为滞流。而且滞流会使熔体在薄壁或较窄区域渐渐冷却,并在充填结束前可能会冷凝而导致短射。滞流常发生在较薄的隔板、铰链结构和小筋板处。图 6 为熔体充填到 2.13 s 时短射的型腔温度分布图。由图 6 可见,右边薄壁组合件区域的温度只有 51.6℃,右边较薄过渡区域熔体温度也只有 140℃,这两个温度都远远低于熔体的凝固温度,所以熔体无法继续充填而发生短射。

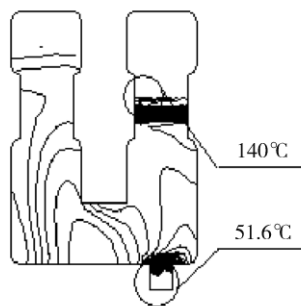


图 6 短射的型腔温度分布图

5 结论

由于制品的几何特征处厚度远远薄于其它位置,而且它们的位置又在充填的主流方向上,所以很容易发生滞流和短射。

通过与实验结果的对比可以看出,CAE 软件模拟结果基本上能正确地描述真实的充填过程,对工程分析有指导意义。

值得注意的是,类似“V”形槽这类特殊的几何形状在建立中型面时要作适当的简化,而且对于局部特征区域如厚度的突变等,进行网格划分时要注意定义网格密度,这对 CAE 计算的准确性有直接影响。

总的来讲,对于这两种带典型特征的制品, MPI (3.1 版) 较 C-MOLD (99.7 版) 能更准确清楚地反映充填过程的真实性。

参考文献

1 Louis G, Reifschneider. Accuracy of desktop injection molding simu-

lation for part design. SPE conference, ANTEC, 2001. 669

2 董斌斌. 注塑成型过程 CAE 的工程技术应用研究: [硕士学位论文]. 郑州: 郑州大学, 2002.

3 申长雨, 陈静波, 王国中, 等. 塑料模具计算机辅助工程. 郑州: 河南科学技术出版社, 1998.

EXPERIMENTAL VALIDATION OF INJECTION MOLDING CAE SOFTWARES

Dong Binbin, Yang Yang, Shen Changyu

(APPT NERC, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China)

ABSTRACT The theory of the filling process for the commercial CAE software of C-MOLD and Moldflow-Insight was narrated. Compared with experience, two kinds of parts having common structure were used to validate the reliability and veracity of CAE softwares. As the result, CAE softwares can predict the hesitation and short shot phenomena. And it can actually reflect the filling process. So CAE softwares have the significant affect on the part design.

KEYWORDS C-MOLD, Moldflow-Insight, hesitation, short shot, injection simulation

巴陵 SEBS 成套技术实现零跨越

由中国石化巴陵石化公司合成橡胶厂自主研制开发的 300 t/a SEBS(加氢 SBS)成套中试技术,近日通过了中石化组织的技术鉴定。该厂在去年建成了国内首套 SEBS 中试装置,已生产出 4 个牌号的合格产品,其中 3 种牌号的产品各项性能指标达到国外同类产品水平,另一牌号的产品属自主开发产品,可替代进口。

据了解,多年来国内该产品全部依赖进口,价格十分昂贵,目前世界上的 SEBS 生产能力仅 15 t/a 左右。

SEBS 是一种新型热塑性弹性体,除具有 SBS 产品的诸多性能外,还具有优异的耐老化性、可塑性、高弹性及无需硫化等特点。该产品使用寿命长,在 150℃ 高温或 -60℃ 的低温下,其性能不发生改变。SEBS 广泛用于生产高档弹性体、胶粘剂、润滑油增粘剂、高档电缆电线的填充料和护套料等,可制作各种软接触材料如手柄、文具、玩具、运动器材的把手及汽车密封条等,其边角余料可重复使用。(彭展)

高效保温防火材料在京推出

一种高效保温、防火的外墙内保温系统——柏特内保温系统近日在京推出。该保温系统以酚醛泡沫塑料作保温芯材,通过专用粘合剂使之与无机建筑围护结构完美结合,形成永久性结构连接,具有阻燃防火、防湿防潮、防裂、抗老化等显著优点,节能效果 50% 以上,是非常理想的外墙内保温系统。

该系统由北京黄金海岸瑞荣科技发展有限公司研制成功。这种新型内保温系统导热系数低、保温层厚度小、防火性能强、使用温度范围广,可在 -196 ~ 180℃ 温度范围内长期使用。由于采用非氟里昂发泡,系统安全环保,长期暴露在阳光下,不但没有老化现象,强度反而会有所增加,闭孔率可达 97% 以上,具有良好的抗吸水性和抗水蒸气渗透性等。

该环保隔热保温材料在国内的推出,解决了酚醛泡沫塑料板用于民用建筑保温技术,符合国家质量体系标准,也符

合我国建筑节能现状,市场潜力和应用前景非常广阔。

(赵飞)

我国成为聚碳酸酯消费主力

近日国外权威机构推出的聚碳酸酯(PC)市场调查报告表明,2002 年全球 PC 需求量增加主要是中国需求量增加。2002 年中国进口 PC 40 万 t 以上,比 2001 年增加 15 万 t。

据不完全统计,目前国内建有 PC 建材中空板生产线 20 余条,年需用 PC 7 万 t 左右,预计到 2005 年将达 14 万 t。国内光盘生产能力也迅速增长,现有生产线 200 余条,年需用 PC 达 3 万 t,预计到 2005 年将达 5 万 t,而目前我国光盘用 PC 的生产仍是空白。用 PC 制作的非一次性饮水水桶、瓶等容器也增长很快,目前每年约耗用 3 万 t PC,预计到 2005 年将达 6 万 t。而发达国家消耗 PC 的数据表明,其在电子电气、汽车制造业中使用比例占 40% ~ 50%。目前我国在该领域的使用比例仅 10% 左右,这将是使用迅速增长的领域。

鉴于国内 PC 产量严重不足,每年要靠大量进口来弥补,2001 年进口量就达 26.6 万 t,预计 2005 年国内消费量将达 35 万 ~ 45 万 t,供需矛盾十分突出。

我国 PC 生产规模小而分散,全国总产量很小。上海中联化工厂和重庆长风化工厂 2 套装置总年产能只有 2600 t。常州有机化工厂将其年产能增加到 5000 t,但这些装置产品质量不稳定,开工率仅 20% 左右。

由于对中国未来 PC 需求看好,国外企业已开始在华投资建厂。拜耳已与上海华谊集团所属氯碱化工公司组建合资企业,将在上海化学工业区建设 PC 装置,同时建设双酚 A 和 2 万 t/a 掺混物装置。其 5 万 t/a PC 装置将于 2003 年投产,2005 年完成二期工程,产能达到 10 万 t/a。鉴于中国需求快速增长,拜耳决定最终将使该装置扩能至 20 万 t/a。帝人化学公司也计划在中国嘉兴建设世界级规模装置,可行性研究已完成,能力为 5 万 t/a,可望 2005 年投产。帝人是继拜耳之后在中国建设 PC 装置的第 2 家跨国公司。

(陈毛平)