

先进的型材模具研发技术：模拟与模具设计、型材质量控制相结合

刘寒龙

北京创联智软科技有限公司

摘要：本文提出了一种基于自动模具设计软件和有限元模拟软件作为验证工具的挤压模具及工艺研发方法。对新研发的模具进行了挤压工艺过程的模拟，包括耦合模具弹性变形和瞬态温度变化情况下的材料流动模拟。该模拟预测了模具开发早期可能存在的缺陷，如材料流动不平衡、型材形状畸变和可能的表面缺陷，如条纹线，然后利用模具设计软件对模具进行必要的修正。本工作通过改变分流孔和焊合室的设计，然后修改工作带长度，最终获得平衡的型材流动。经过模具设计的三次迭代修改，材料流动已经足够平衡，可以获得质量良好的挤出型材。

关键词：模具设计，型材质量，模拟，QForm，耦合变形

介绍

由于模具形状和模具内部材料流动的复杂性，空心铝型材挤压的设计需要大量的经验和专业的知识。此外模具受力产生弹性变形，影响材料流动和最终的型材尺寸。在模具设计阶段，这个因素更难预测和考虑，因为以前的经验很难帮助新的挤压模具设计。因此，大多数为新的复杂型材设计的模具试模后通过修模来修正，这会延长开发周期，增加产品成本。实验试错方法的替代方法是使用挤压模拟软件，本论文采用 QForm 软件^[1]，在工业案例研究中使用验证。

分流模用于生产空心型材，包括上模、下模和模垫装配在一起。上模形状比较复杂包括分流孔，分流桥连接模芯和模具体形成并校准型材内表面。模芯在另外一个方向没有支撑，因此模芯由于压力的变形很大程度上取决于分流桥和模芯的设计形状。由于材料的压力，模芯会在轴向发生变形，在实际设计中，工作带起始位置会比下模偏移 0.5-1mm。同时，模芯还会发生不可预测的横向变形，也会对材料流动产生显著的影响。

工艺参数.

本例中初始的模具设计是使用从客户收到的设计图纸，总尺寸为 120.5 毫米×141.3 毫米。根据模具设计的一般规则，添加焊接室、预焊合室和分流桥，使用专门的挤压模具设计软件 QExDD(QForm Extrusion Die Design)^[2]快速创建了模具组合体的三维模型。该软件使用二维模型可以快速扩展为三维模型，并添加所有其他必要的特征，生成专门的挤压模具(图 1)。初始模具设计的三维模型如图 2 和 3 所示。

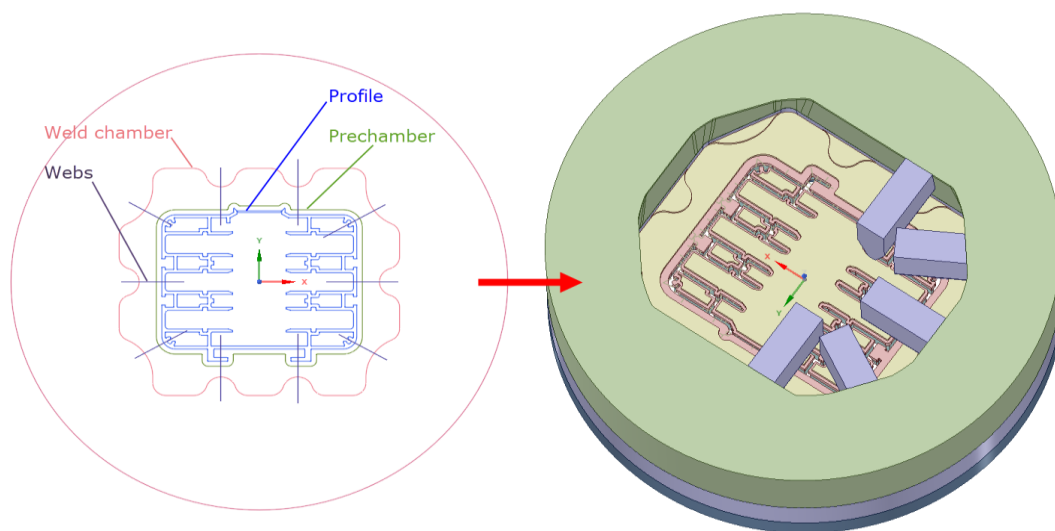


图 1. 把挤压模具特征的二维设计草图(左) 转化为三维模型(右). 图中展示了未完成的三维几何

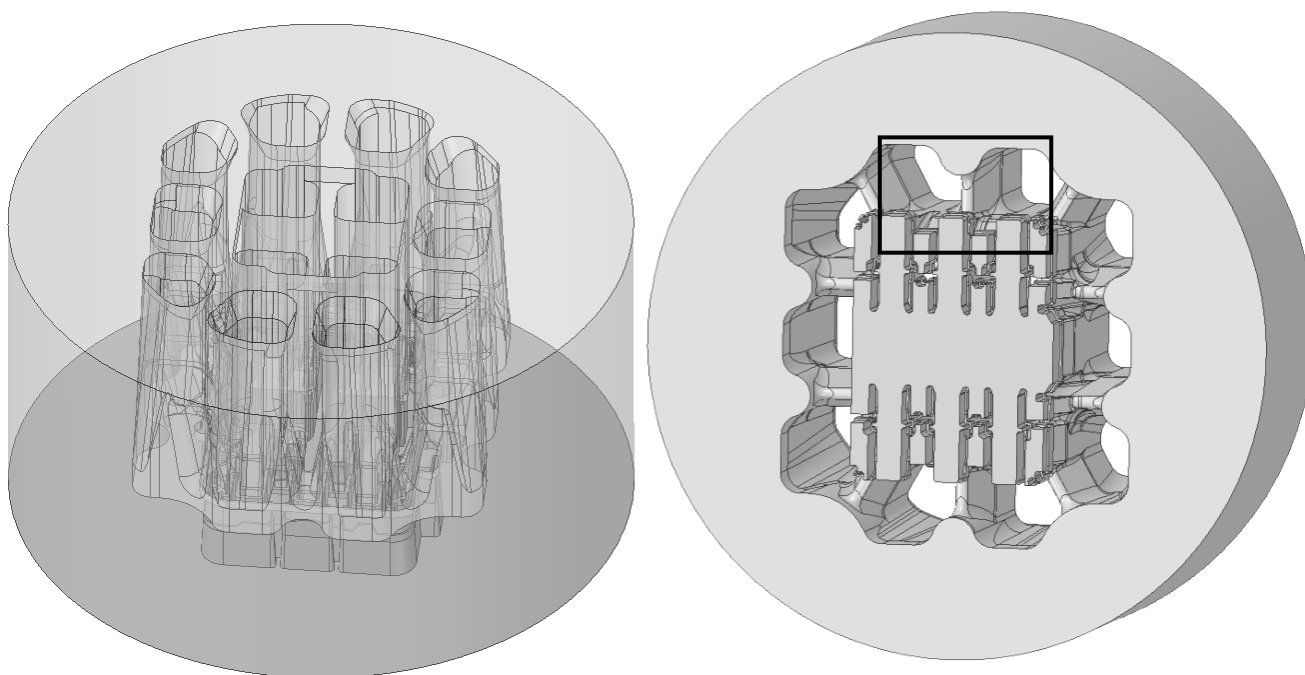


图 2. 合并后的三维模型（左）和上模（右）框选了与下图中实际模具对应的区域



图 3. 模具部分位置照片

初始模具设计的模拟

对初始设计的挤出模具组合体进行了实验测试，结果不理想，型材料头发生了明显扭曲。将模具的这种结构进行模拟，能够清晰地分析材料流动，并估计出问题的可能原因。模拟结果显示了速度偏离高达 120%，如图 4 所示引起型材显著变形。

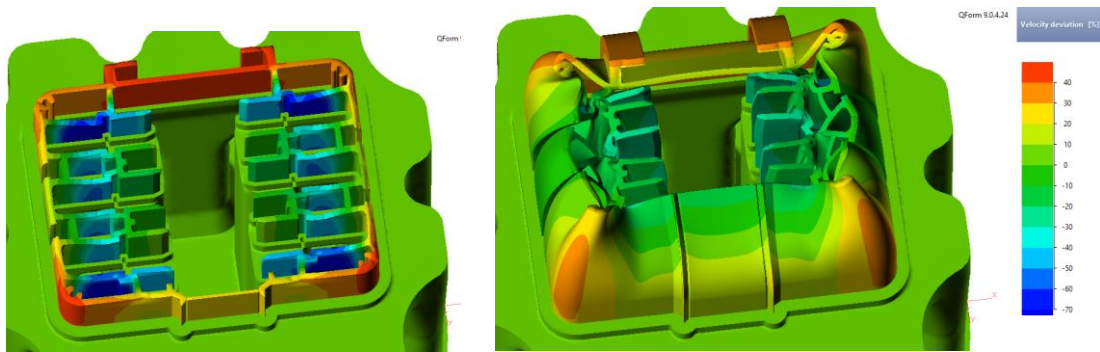


图 4. 速度偏离结果 材料刚挤出工作带时（左）料头成形时（右）

从图 4（左）中可以看出：周边边框区域速度偏离(红色)大约 40% 以上，而一些内部位置有高达-75% 的速度偏离(浅蓝色和深蓝色)。随着型材挤压的进行，其刚度的提高及互相拉扯作用，有助于平衡不同位置之间的材料流动。对材料流动的进一步模拟表明，速度偏离正在减小，但仍然很大（约 80%），导致型材料头变形，如图 4（右）所示。模拟中得到料头的扭曲形状与实验试验中观察到的非常相似，这证明了模型的充分性。因此，必须修改模具设计。

分流孔修改

为了获得平衡的材料流动，必须在低速区域提供更多的材料供给，在高速区减缓材料的挤出速度。为了达到这个效果，分流桥与模芯合并的区域(见图 5 中的蓝色框)将被修改，扩大分流孔，加大材料供水。QExDD 软件基于“直接建模”技术，允许单独地改变任何几何特征，这种几何修改十分简单。下面是一种模具修改方案，改变分流孔过渡位置如图 6（截面）和图 7 所示。

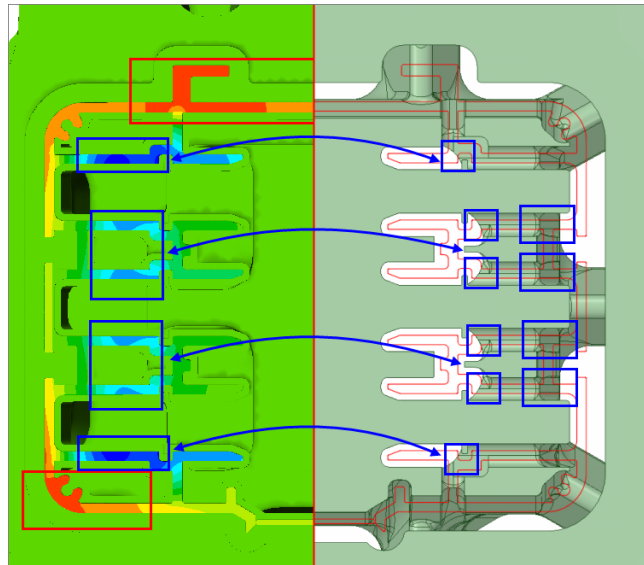


图 5. 型材的速度偏离结果（左），可能影响材料流动速度的对应位置的模具设计特征（右）

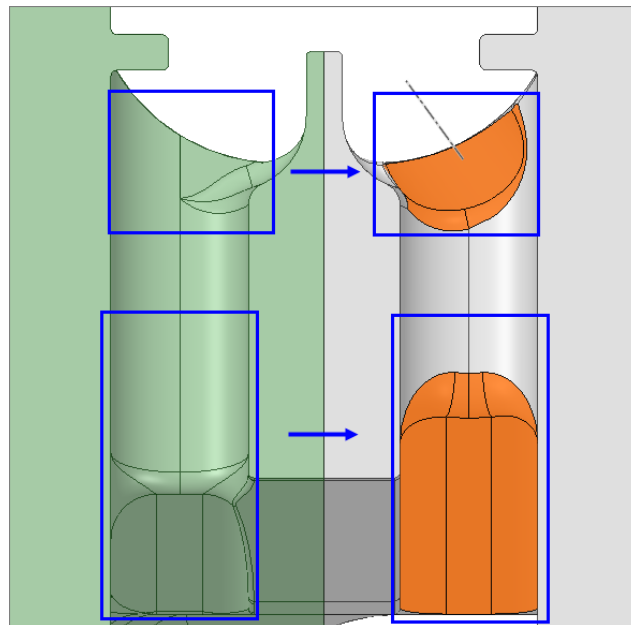


图 6. 初始分流孔设计（左），修改后的分流孔设计（右）

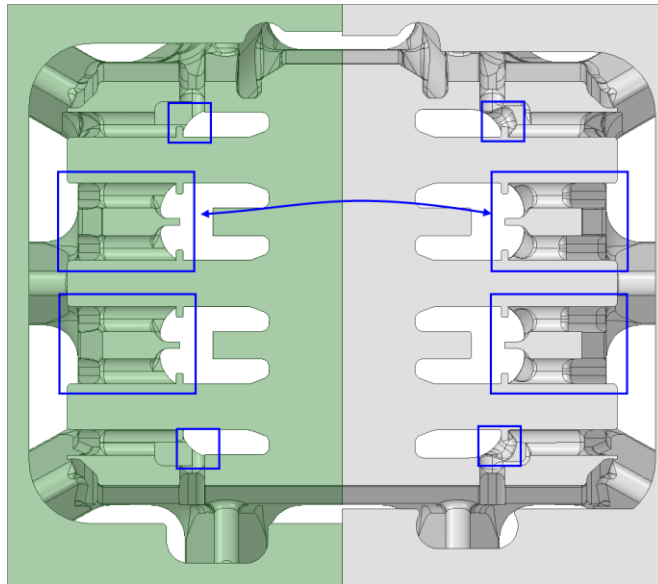


图 7. 初始分流孔设计（左），修改后的分流孔设计（右）

要降低图 5 中红框位置的材料流动速度，预焊接室的外壁沿着图 8 中的箭头方向向内侧工作带位置移动，减少这些区域的材料供给。

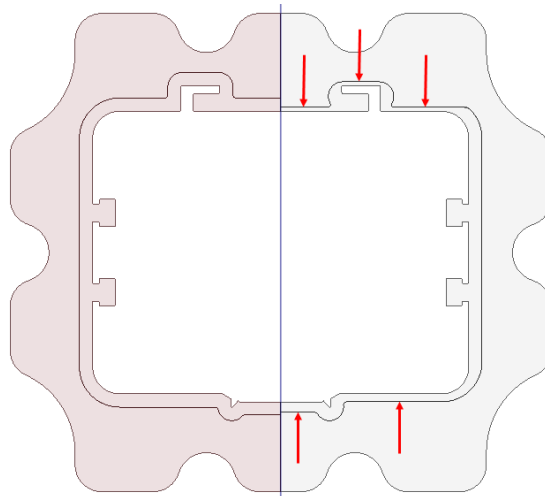


图 8. 焊接室的初始设计（左）和修改后的设计（右）

对分流孔和预焊接室修改之后，把模型导入 QForm 软件进行仿真计算，可以发现型材刚挤出时的速度偏离已经降低到 90% 左右(图 9 左)，而进一步的材料流动之后的速度偏差减少到 15% 左右(图 9 右)。从仿真结果可以看出，型材的中心区域仍然比型材外框区域慢。这可以通过改变工作带设计来实现。

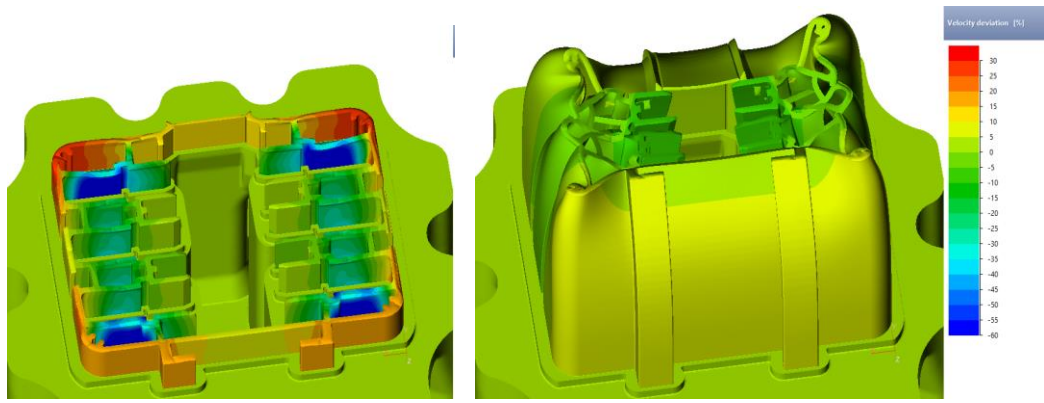


图 9. 速度偏离结果 材料刚挤出工作带时（左）料头成形时（右）

工作带修改

接下来我们通过改变工作带长度来补偿速度偏离。使用工作带编辑器可以通过特定位置的材料速度成反比来修改工作带的长度。工作带轮廓通过过渡区进行分割，然后每个区域的长度修改如图 10 所示，边框位置工作带长度修改最为明显。

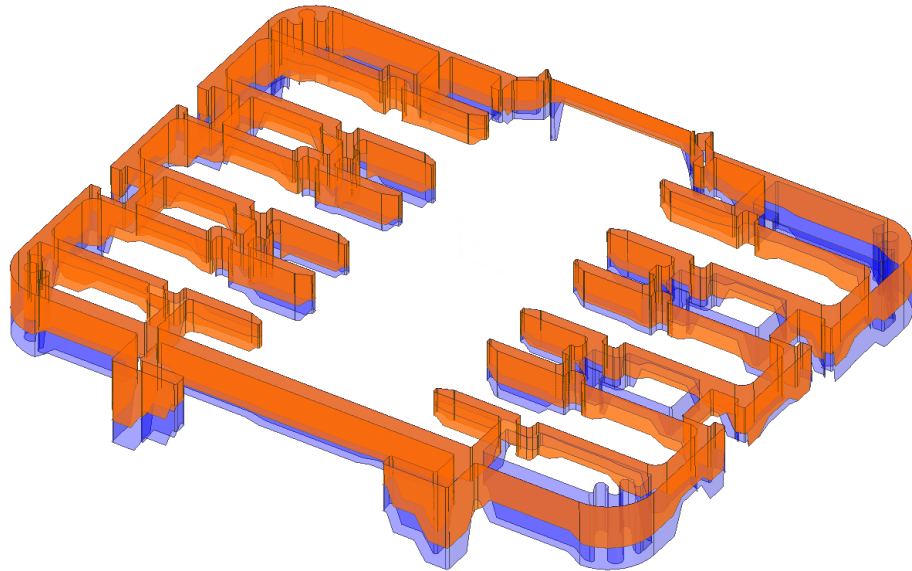


图 10. 初始工作带长度（橙色），修改后工作带长度（蓝色）

然后我们对这种改进的工作带设计进行仿真测试，结果表明，在稳定阶段，速度偏离已降低到 7% 左右(图 11 左)。材料流动现在是可接受的，料头扭曲减少(图 11 右)。因为牵引机可以提供进一步的速度平衡，这种速度偏离在挤压过程中可以成功地挤出型材并进行生产。

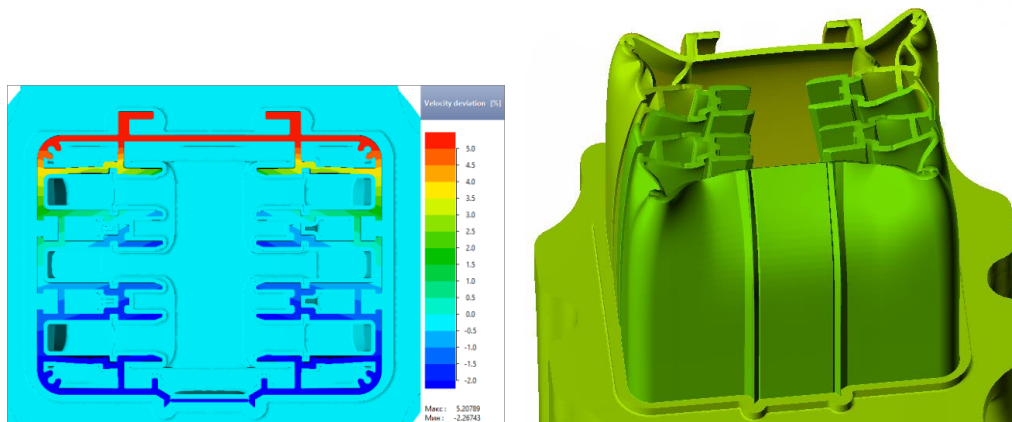


图 11. 型材截面上的速度偏离结果（左），料头形状（右）

结论

利用仿真软件和模具自动设计软件，对速度高度不平衡的型材的挤出情况进行了分析和改进。

通过自动的模具设计系统，修改了分流孔和预焊合室设计。

通过自动的工作带修改对型材挤出速度进行了再次改进。

最终使用修改后的模具，速度偏离显著减少，型材产品无缺陷，证明了此方法的实际适用性。

参考文献

- [1] N. Biba, S. Stebunov, A. Lishnij, Simulation of material flow coupled with die analysis in complex shape extrusion, Key Engineering Materials, Vol. 585 (2014), pp. 85-92.
- [2] N. Biba, S. Stebunov, A. Lishnij, Automated Extrusion Die Design Integrated With Simulation, ET'16, Eleventh International Aluminum Extrusion Technology Seminar, Chicago, Illinois USA, May 2-6, 2016.

Comprehensive Extrusion Technology Development: Process Simulation Integrated with Die Design and Product Quality Control

Liu Hanlong¹, Nikolay Biba², Stanislav Kanevskiy², Kuanysh Kenzhaliyev²

1 Beijing Intelligent United Innovation Technology Co., Ltd., 2 QFX Simulations Ltd.

ABSTRACT. The paper presents an approach to extrusion technology development based on combination of an automated die design and use of a finite element software as a verification tool. The newly created die shape undergoes simulation of the material flow coupled with elastic tool deformation and transient temperature evolution during the entire extrusion process. This simulation detects possible defects such as unbalanced material flow, profile shape distortion and possible surface defects like streaking lines at the early stage of die development and helps to make necessary corrections using facilities of the die design program. The aim of this work was to obtain balanced material flow by changing the porthole and welding chamber design and then modifying configuration of a bearing. After three iterations of the die design the material flow has been balanced enough to get extruded profile of good quality.

Key words: die design, Profile Quality, simulation, QForm, coupled