

基于 QForm 模拟的工作带及焊合室优化方案

刘寒龙¹, 孙立科¹, Ivan Kniazkin², Ivan Kulakov²

(1. 北京创联智软科技有限公司, 北京, 100027; 2. QuantorForm Ltd)

铝型材挤压是金属成形中最常见、最有效的工艺之一。目前, 铝型材的应用范围很广: 从汽车、铁路和其他行业的简单实心型材到复杂空心型材。而生产周期的限制又要求即使是复杂的模具也需要在短时间内设计出来。在这种情况下, 大多数公司都是需要根据设计师的经验设计出模具。在一些公司, 也会使用一些内部开发的专业设计辅助工具。QuantorForm 公司提供了一个模具设计的集成解决方案, 该解决方案将挤压模具建模设计软件 (QExDD) 和功能强大的挤压有限元软件 (QForm Extrusion) 与自动优化程序相结合。

1 QForm Extrusion

目前, 计算机的计算性能不断提高, 使企业可以有效地使用有限元模拟技术来进行模具设计。QForm Extrusion 是一个可以通过模具热机耦合来模拟材料流动的型材挤出模拟软件, 即使是非常复杂的薄壁型材也能快速得到计算结果。使用该仿真软件的典型设计过程如下: 先使用任一三维建模软件进行二维和三维设计, 然后在 QForm Extrusion 中进行网格划分和模拟。最后图 1 中的两个步骤循环执行, 直到获得满意的结果。

然而使用通用的建模软件, 调整模具设计的过程需要熟练的三维设计技巧以及模拟结果解读知识。使用一个与模拟结果具有高级接口的软件, 可以简化这一过程, QExDD 软件可以读取 QForm 的计算结果, 使用参数化建模, 简化设计修改过程, 最终加快设计阶段。

2 QForm Extrusion Die Designer (QExDD)

QExDD 是一个参数化建模软件, 可以快速创建三维挤压模具: 上模、下模和其他部分。该软件使用特殊的参数化设计逐步创建模具的三维模型。用户通过模型的二维几何和基本尺寸参数来快速设计并创建模具

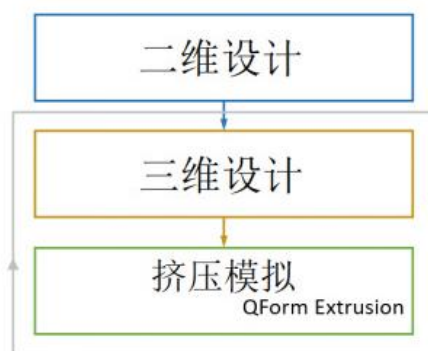


图 1 挤压模具设计流程

几何。这种参数化自动建模过程比传统模具设计快很多。由于建模的常规部分由软件自动完成, 用户可以将注意力集中在更重要的任务上。QExDD 提供高质量的三维模型, 可应用于模拟软件, 特别是在 QForm Extrusion 中。如果模拟显示材料流动存在问题, 则可以在模具模型中轻松修改模具设计并重新模拟。这会让模具的模拟和分析更快、更有效。借助于工作带和焊合室的内置优化器 (图 2), 这种效果更明显。

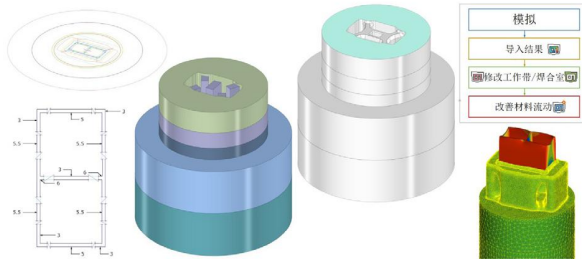


图 2 模具优化流程

3 焊合室与工作带

焊合室是下模的一部分，位于金属进入模具工作带之前。它通过改变工作带入口边缘和焊合室壁之间的距离来控制和平衡金属流动。在局部流速缓慢的情况下，可以缩短该距离，相反的情况下可以延长该距离。

工作带是模具中最重要的部位之一，对于空心型材，工作带设计在下模和模芯上，对于实心型材，工作带仅设计在下模上。工作带表面的质量决定了型材表面的质量。可以沿型材轮廓改变工作带的长度，以平衡流量，在需要减速的区域加长工作带，在应该提高速度的区域缩短工作带。

上述两个部位在影响型材流动方面都存在一些限制。在某些情况下，如果模具设计不当，则无法通过改变工作带长度或焊合室形状来消除流量不平衡。这是因为为了确保所需的模具寿命工作带不应太短，另一方面，它们也不能太长，因为它们的有效长度取决于实际条件下的模具变形。因此，工作带实际上只在一定范围内影响流速。对于焊合室也是同样：其轮廓受一侧焊接室轮廓和另一侧轮廓的限制。然而，考虑到模具设计公司的现有经验和知识，焊合室和工作带在模具调整中起着重要作用。

4 优化

模具设计和优化的目标之一是平衡截面流速。具体来说，优化的目标是使截面速度偏离 VD 最小。这里 $VD = \frac{V_i - V_a}{V_a} \times 100\%$ ， V_i — 型材上某点的速度， V_a — 型材平均速度。正值代表速度大于平均速度，负值代表小于平均速度。因此，我们的目标是平衡流速，使整个型材的速度偏离尽量接近 0。另一个类似的可以表示流速平衡的参数 VR ，这里 $VR = \frac{V_i}{V_a}$ 。大于 1 表示速度大于平均速度，小于 1 代表小于平均速度。这种情况下优化目标就变为 VR 接近 1。

众所周知，与稳定状态下的流动趋势相比，挤压开始时料头流动速度通常是完全不同的。例如，在实际挤出或模拟开始时的速度分布看不到慢速型材区域对快速型材区域的相对影响。在稳定状态下，流动趋势更加清晰，可以为改进设计提供参考（图 3）。

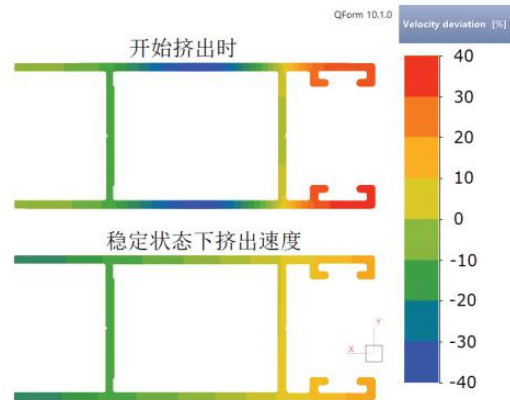


图 3 开始挤压时及稳定状态下的速度偏离分布

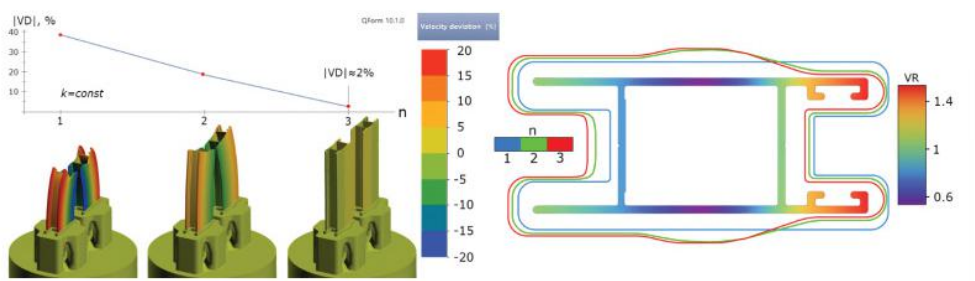


图 4 焊合室顺序优化

另一方面，消除挤压开始时的流速不平衡，可进一步确保流速均匀。此外，通过消除截面初始流速的不平衡，可以确保料头和模具空刀接触的可能降至最低，避免可能由此产生的问题。因此，最终的想法是在工艺开始时尽量减少 VD 和 VR。为了实现这一点，有两种基本类型的优化方法可应用于上述 QExDD 和 QForm 挤压组合中的模具设计优化：顺序优化和批量优化。

5 顺序优化

为了确保设计的每次修改基本都能改善金属流动，通常使用顺序优化的方式。对于复杂和要求很高的设计，可以应用此方法。在这种情况下，修正方程的系数 k 逐步改进初始模具设计 n 直到收敛。因此，使用这种类型的优化可以通过更易于理解的方式逐步自动改变焊合室轮廓，使焊合室更接近速度偏差的最小值(图 4)：在流速低于平均值的地方使焊合室变大，在流量高于平均值的地方使焊合室变小。

同样的方法也适用于工作带，其中工作带高度是变量。对于焊合室，采用顺序优化可以逐步接近型材流动平衡。

6 批量优化

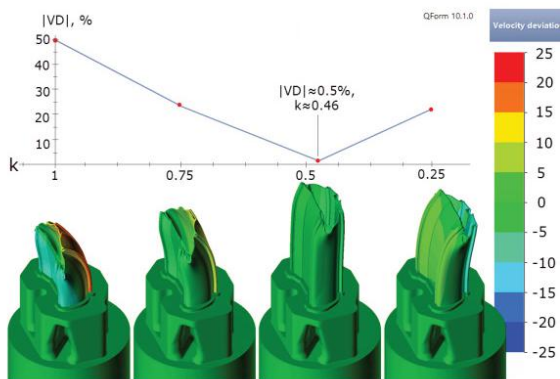


图 5 找到最优设计

批量优化的思想也是通过改变校正公式系数 k 来寻找最优设计。在这种情况下，可以根据使用最初设计的模具获得的模拟结果，创建具有不同系数的多个新设计。这种方法需要同时并行运行大量仿真，从而加快优化过程并缩短总设计时间。因此，这种类型的优化所需

的计算能力明显高于顺序优化方法。

进行模拟的目标是找到校正公式的最佳系数，找到速度偏差最小的最佳设计(图 5)。

这类优化是整体优化过程中的一个良好起点，目的是为初始设计找到一个最佳系数。如果无法找到可接受的流速结果，则可使用混合方法将结果进一步优化。

7 混合方法

混合方法结合了 QExDD 中的两种可用优化方法的优点。根据初始三维模具计算的模拟结果，可以生成新的一批不同设计，把其中最佳的设计作为下一次迭代的基础。这种方法能够以最有效的方式获得良好的结果，因为它考虑了每个特定迭代的最佳优化系数。与顺序优化相比，这可以更快的收敛，特别是对于复杂模具(图 6)。

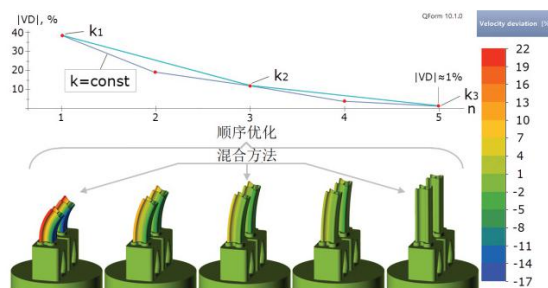


图 6 顺序优化与混合方法比较

8 总结

目前，铝型材挤压技术越来越依赖有限元专用软件进行工艺和模具设计。对于挤出模拟，有必要将先进的三维建模、挤压模拟与挤压基本知识相结合，作为模具设计更有效的手段。本文提出的 QExDD 和 QForm Extrusion 及优化工具的组合可以极大地支持了设计过程，增加了设计的可靠性。这将使设计迭代最小化，并在一次迭代中加快优化过程，可以使用内置的金属流动优化以自动化方式获得高质量的三维模型。此外，在设计复杂形状的模具时，这两种类型的优化有助于节省时间。使用这种先进的方法，可以实现平衡型材流动，改善型材质量，这在实际工具和挤压试验中由于时间和试验成本几乎是不可能的。