

基于 QForm 的挤压型材的淬火变形分析

刘寒龙¹, 孙立科¹, Kniazkin², H.-W. raedt²

(1. 北京创联智软科技有限公司; 2. Micas simulations Ltd , prosimalys GmbH)

摘 要: 为了提高铝型材产品的竞争力, 必须仔细考虑生产过程中一些关键的指标, 可以概括为缺陷率、材料性能的合格率、尺寸与公差的一致性和生产率。缺陷的减少和生产率的提高主要由挤压条件决定, 其它参数则更多的受到挤压之后工序的影响。大多数铝型材产品都是由经过热处理的铝合金制成, 例如 2xxx、4xxx、6xxx 和 7xxx 系列。这意味着使用淬火工艺和时效硬化(自然或人工方式)以使型材达到所需的力学性能。目前最常用的初始热处理方式分为型材从挤压机出来后立即淬火和冷型材在炉中专门加热并在专用水箱中淬火两种。目前有多种淬火方法可用于型材从挤压机出来后立即淬火冷却。市场上有许多不同的系统可以提供不同的冷却环境: 压缩空气、水雾或喷水。尽管目标相同, 但这些方法的却各有优缺点。全自动牵引机的应用极大地改善了型材扭曲现象, 并显著提高了整个工艺效率。

Quenching of extruded profiles

– QForm as a tool to minimize profile distortion

Abstract: In profile extrusion, there are a number of output parameters that have to be considered closely in order to produce a competitive aluminum profile. These parameters are defined by tight requirements applied to the profiles and can be summarized as the absence of defects, acceptability of properties, conformity of dimensions to the tolerances, and productivity. The lack of defects and productivity are mostly defined by extrusion conditions, but the other characteristics can be affected by subsequent steps in extrusion production. The majority of aluminum profiles are made from heat-treated aluminum alloys such as 2xxx, 4xxx, 6xxx and 7xxx series. This means that quenching and subsequent hardening by aging (natural or artificial) should be used to reach the required mechanical properties. The most commonly used types of initial heat treatment are quenching right after the profile comes out of the extrusion press and post-process of cold profiles specially heated in furnaces and quenched in special water tanks. For quenching right after press, various quenching methods are currently available to cool down the profile once it leaves the press. There is a number of different systems available in the market that can provide different cooling environments: pressurized air, water mist or water spray. Each of these methods has its own advantages and disadvantages despite sharing the same goal. The application of fully automated puller systems provides unsurpassed capabilities in reducing profile twisting and significantly increases the efficiency of the entire process.

1 淬火工艺

型材从挤压机挤出之后, 冷却速度就会对型材的强度、硬度和弯曲等参数产生影响。当型材通过冷却系统时, 型材的温度会降低到环境温度。为了保持挤压过程中获得优异的性能, 防止合金元素析出, 需要冷却速

率尽可能高。然而在考虑尺寸公差的情况下，为了防止型材在截面和纵向上产生严重变形，需要对冷却速率进行调整，尤其是壁厚差异较大的型材，在冷却过程中温度分布不均匀时会产生较大的热应力。另外，型材截面的形状也会影响产品内部硬度及其在淬火过程中的变形。这就是为什么在工业条件下，设置合理的冷却系统是一项非常具有挑战性的任务。

为了简化这项任务，QForm 团队开发了一个全新的模块，它可以确定产品的最佳冷却速度，即所需的冷却速度和冷却环境。这就提高了型材最终具有所需的结构和性能，同时产生最小变形的可能性。

2 淬火时型材变形

考虑到挤压过程对型材淬火时的后续影响，将挤压模拟计算得到的温度场作为冷却操作的输入数据(图 1)。这种方法使精确计算型材每个特定区域的温度变为可能，因此根据挤压结果，型材可能对淬火有不同的反应。喷雾喷嘴是在挤出型材周围的三维空间中具有固定位置和确定喷出方向的实体。

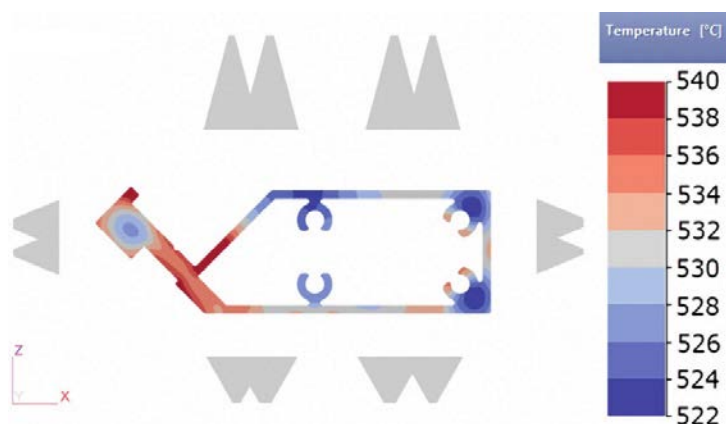


图 1 挤压后型材中的温度分布和喷嘴位置

为了验证淬火条件对型材性能的影响，在模拟中设置了具有不同液体压力的三种不同冷却模式作为喷水系统的参数。对各个模式模拟中的 AA 6061 合金型材挠度在两个方向上进行测量（图 2）。

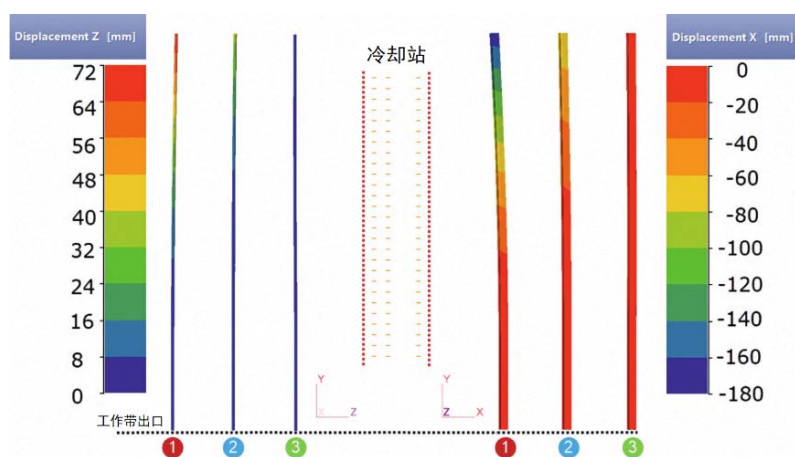


图 2 三种不同冷却方式的淬火过程中的型材变形

通过模拟结果可以清楚地看到，某些冷却方式可能导致型材明显弯曲和扭曲（模式 1）。这可能导致截面以波浪的形式出现不可逆的变形。另一方面，优化冷却速率并适当调整其它的淬火参数可以保证型材的直线均匀挤出（模式 3）。型材的挤出长度决定了型材的变形和扭曲角，定量结果总结为图表（图 3）。

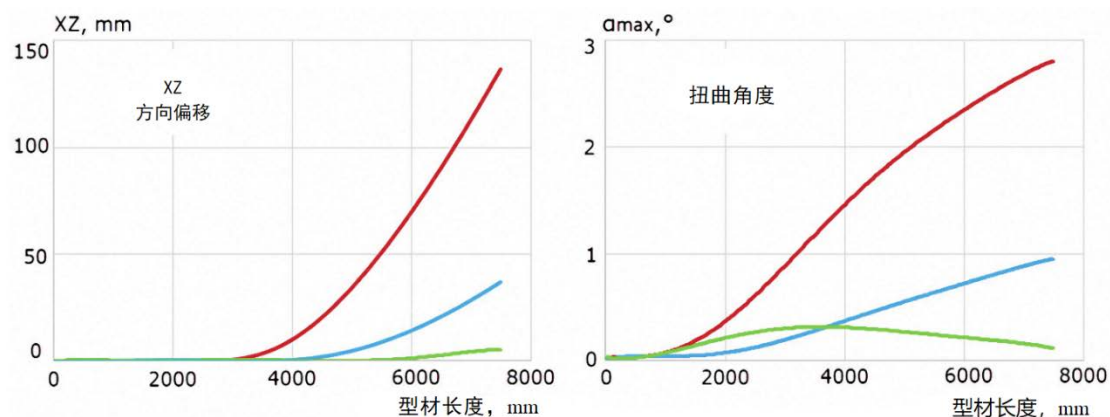


图 3 型材变形和扭曲角度取决于型材长度。颜色代码见图 2

3 牵引机设置

牵引机是一种用于挤出生产线的特殊装置，主要作用是防止型材不受控制的运动。牵引机的主要设置之一是速度，它通常等于型材截面的平均挤出速度，也可以使其速度高于平均挤出速度，以达到拉伸型材效果。当型材在淬火箱中出现明显的变形时，使用牵引机可以消除该问题（图 4）。因此在连续挤出过程中牵引机也可以消除型材变形和扭曲。

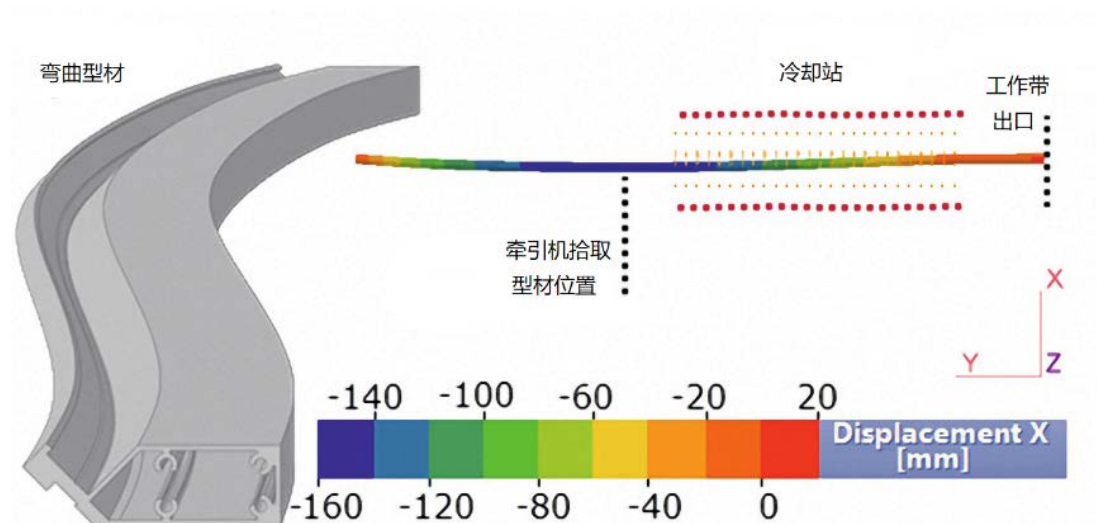


图 4 使用牵引机以型材平均挤出速度拉伸弯曲型材

4 力学性能

除了型材的几何要求外，对于影响产品质量的力学性能也有许多要求。一般来说，这些力学性能是对热处理

理状态非常敏感的抗拉强度和硬度。

为了证明这种影响，对型材采用了两种不同的淬火模式：没有任何特殊设置的自然空气冷却和喷水冷却。使用硬度预测模型计算的结果表明，自然冷却和随后的时效硬化没有获得这种特殊合金的最佳性能（图 5）。

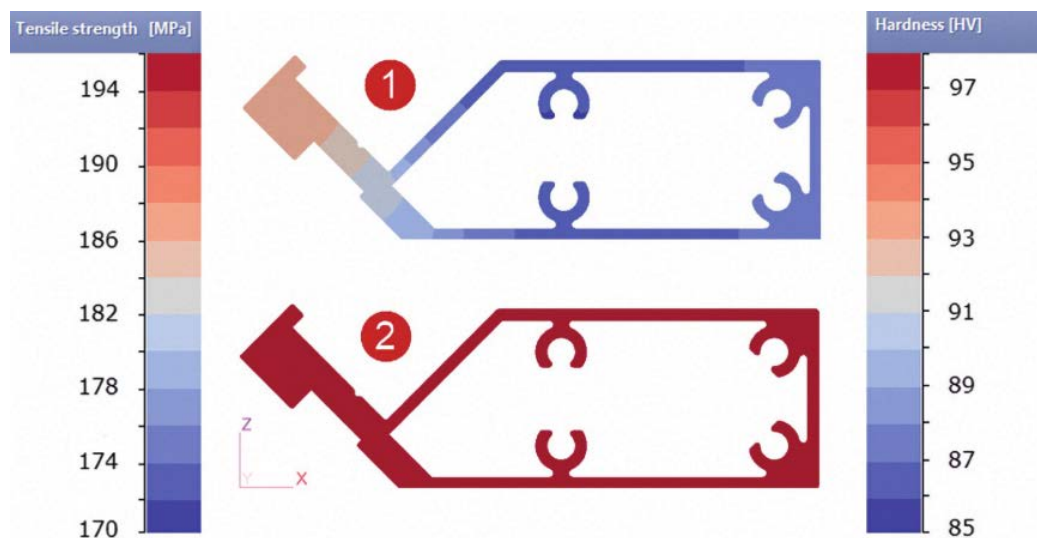


图 5 不同淬火条件下最终产品的力学性能

除了型材的几何要求外，对于影响产品质量的力学性能也有许多要求。一般来说，这些力学性能是对热处理状态非常敏感的抗拉强度和硬度。

为了证明这种影响，对型材采用了两种不同的淬火模式：没有任何特殊设置的自然空气冷却和喷水冷却。使用硬度预测模型计算的结果表明，自然冷却和随后的时效硬化没有获得这种特殊合金的最佳性能（图 5）。

5 结论

如今，对于型材挤压工艺和后续操作的要求越加严格，对整个生产链中的工程师提出来更高的技术要求。基于 FEM 的模拟软件 QForm 现在能够提供对整个生产过程的全面分析：从模具设计和挤压工艺开始，到模拟淬火过程中型材行为的可能性，包括最终产品力学性能的预测。这使得我们可以达成零试验项目（一次成功），此功能显著提高了准时交付指标，并可以为用户获取丰厚的回报。