

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2013.01.008

基于HyperXtrude的铝型材稳态模拟及模具优化

何 畅, 倪正顺, 谢要花

(湖南工业大学 机械工程学院, 湖南 株洲 412007)

摘 要: 采用挤压仿真软件 HyperXtrude 模拟某种铝型材的挤压过程, 得到了在稳态模拟状态下挤出型材的位移分布、速度分布以及金属流动情况。针对模拟结果, 提出了通过修改下模结构和调整工作带长度来优化金属在模具中流动不均匀的问题, 为铝型材挤压模具的设计提供参考依据。

关键词: 铝型材; 挤压模具; 数值模拟; HyperXtrude

中图分类号: TG375+.41

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2013)01-0033-05

Steady-State Simulation of Aluminum Profiles Based on HyperXtrude and Optimization Design of the Die

He Chang, Ni Zhengshun, Xie Yaohua

(School of Mechanical Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

Abstract: Simulates the extrusion process of some aluminum profile through the extrusion simulation software HyperXtrude, and obtains the displacement, velocity distribution and metal flow of the extrusion profile under the steady state simulation condition. According to the simulation results, puts forward the solution for non-uniform velocity distribution by modifying the lower die structure and optimizing the bearing length, and provides reference basis for the aluminum extrusion die design.

Keywords: aluminum profile; extrusion die; numerical simulation; HyperXtrude

0 引言

铝型材具有密度小、耐腐蚀、可塑性强、表面处理性能良好、化学性能稳定、可重复回收利用等特点, 因此在交通运输、建筑、航空等领域有广泛应用^[1]。铝型材挤压是一个发生在高温、高压下的复杂非线性大变形塑性成型的过程, 仅根据工程设计人员的经验难以掌握好其变化规律。传统的试模、修模要消耗大量人力、物力和能源, 这不仅使生产成本增加, 而且型材的质量和模具寿命也难以保证。应用有限元分析软件对铝型材的挤压过程进行数值

模拟, 直观地了解金属在模具中的流动情况及挤出型材的变形、速度分布, 可以为设计人员提供可靠的设计依据。

在铝型材挤压过程中, 金属坯料在挤压力的作用下发生非常复杂的塑性变形, 涉及力学的几何非线性, 以及多种物理场的耦合。传统的理论解析法对此类问题难以求解, 从而大大制约了铝型材的生产和发展。随着有限元分析和塑性成型理论及计算机相关技术(如CAD/CAM/CAE)的快速发展, 有限元数值模拟技术在金属成型过程中得到了越来越多的应用^[2-4]。

收稿日期: 2012-09-21

作者简介: 何 畅(1988-), 男, 湖南邵阳人, 湖南工业大学硕士生, 主要研究方向为塑性成型理论及应用,

E-mail: hechang0928@163.com

本文以某中型交通运输铝型材为例，采用基于任意拉格朗日-欧拉 (arbitrary Lagrangian-Eulerian, ALE) 算法的有限元分析软件 HyperXtrude，对初始模具进行数值稳态模拟仿真，分析模拟结果，指出初始设计方案中存在的缺陷，提出相应的修改方案，并进行模拟试验验证。

1 模具设计与模型建立

1.1 型材描述

图 1 为某种交通运输所用铝型材的三维示意图；图 2 为其截面图，其中型材壁厚为 3.0 mm，截面积为 1 032.6 mm²，挤压筒直径为 240.0 mm，挤压比为 43.6。

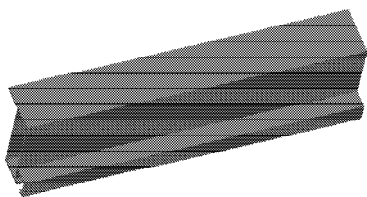


图 1 型材三维图

Fig. 1 Three-dimensional of profile

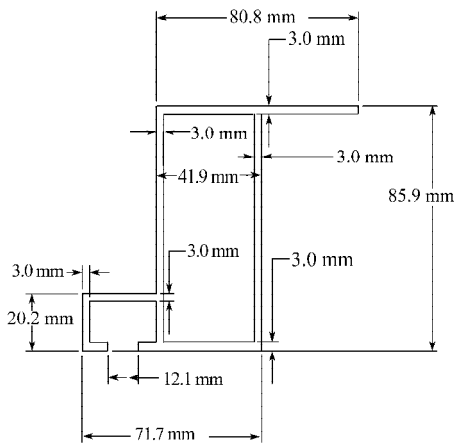
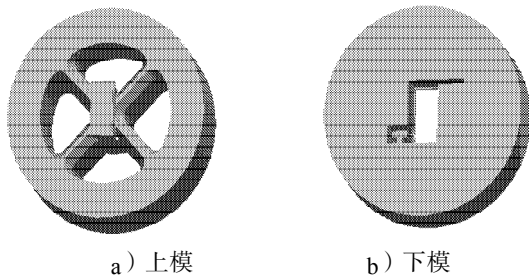


图 2 型材截面图

Fig. 2 Profile section

1.2 模具设计及材料模型

模具的三维结构如图 3 所示，分流组合模的尺寸为 Φ 300 mm × 150 mm，其初始的工作带长度分布如图 4 所示。



a) 上模

b) 下模

图 3 挤压模具结构图

Fig. 3 The structure of extrusion die

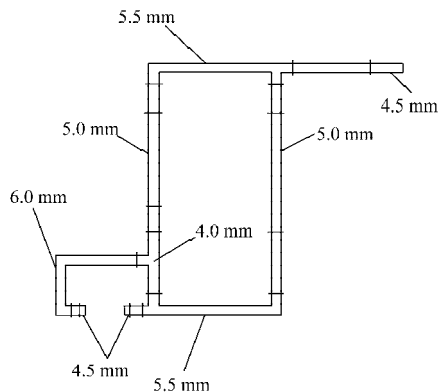


图 4 工作带长度分布图

Fig. 4 The length distribution of bearing

本文的模拟材料采用在建筑行业应用较广泛的 6063 铝合金，其相应的双曲正弦流变应力模型^[5]为

$$\sigma_s = B_0 \operatorname{arsinh} \left[\frac{\dot{\epsilon} + \dot{\epsilon}_0(T)}{A} e^{\frac{Q}{RT}} \right]^{\frac{1}{m}},$$

式中： B_0 为应力常数；

$\dot{\epsilon}$ 为应变速率；

$\dot{\epsilon}_0(T)$ 为初始应变速率，其大小取决于温度场的设定；

A 为应变因子的倒数；

Q 为激活能；

R 为气体常数；

T 为热力学温度；

m 为应力系数。

6063 铝合金性能参数的取值如表 1 所示。

表 1 6063 铝合金性能参数值

Table 1 Parameters of 6063 aluminum alloy

材料密度 (ρ) / ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	应力常数 (B_0) / Mpa	激活能 (Q) / ($\text{J} \cdot \text{mol}^{-1}$)
2 700	25	141 550
气体常数 (R) / ($\text{J} \cdot (\text{mol} \cdot \text{K})^{-1}$)	应力系数 (m)	应变因子倒数 (A)
8.314	5.385	$5.910 52 \times 10^9$

2 摩擦模型及挤压工艺参数

在软件 HyperXtrude 11.0 的挤压向导中，默认金属与模腔的摩擦模型为“full stick”即“完全黏着”，表明金属移动质点与模具模腔表面完全黏着；金属流经工作带区域时，与模具之间的摩擦模型为“Viscoplastic”即“黏塑性”摩擦模型，该模型类似库仑摩擦模型，其剪应力是一个关于压力和流量的函数，在本例中摩擦因数取 0.3。

将设计好的三维模型直接导入 HyperXtrude 软件中进行几何清理后, 对其进行网格划分, 建立有限元网格模型, 相应的网格信息如表 2 所示。然后采用挤压向导对有限元模型添加如表 3 所示的工艺参数, 软件自动完成对边界条件的设置, 得到最终的有限元分析模型, 如图 5 所示。

表 2 有限元模型网格信息

Table 2 The grid information of FEM model

单元类型	区域	单元个数	节点个数
四面体四节点单元	棒料区	64 060	13 689
	模腔区	150 919	32 509
三棱柱六节点单元	工作带区	25 884	18 460
	型材区	129 420	86 620

表 3 挤压工艺参数

Table 3 Extrusion process parameters

挤压筒直径 / mm	挤压垫速度 / (mm · s ⁻¹)	坯料初始温度 / ℃	模具及挤压筒 初始温度 / ℃
240	5	480	450

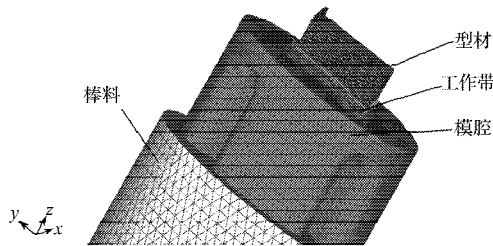


图 5 有限元分析模型

Fig. 5 The finite element analysis model

3 模拟结果分析

要得到质量合格的挤出型材, 需要金属在模具中流动时具有均匀分布的速度场。各质点在工作带出口截面处朝挤压方向的流动速度范围的大小, 是决定型材出料头平齐与否和型材质量好坏的关键。图 6~7 分别为型材变形和挤出速度分布图, 图 8~9 为金属流经分流孔和模孔时的速度分布图。

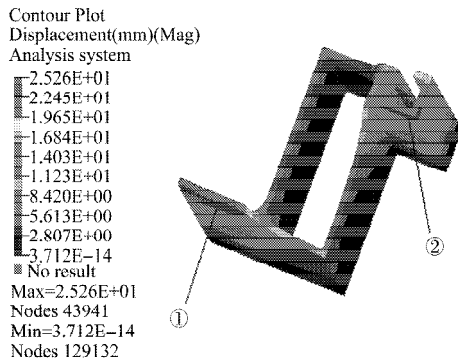


图 6 型材位移分布图

Fig. 6 The displacement of profile

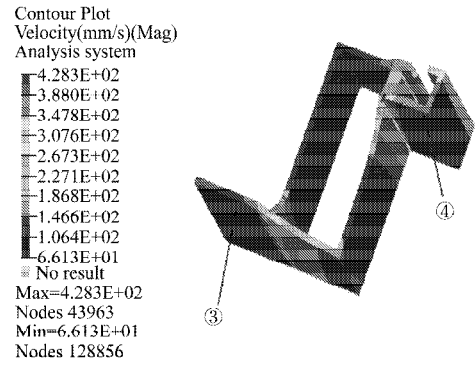


图 7 型材速度分布图

Fig. 7 The velocity of profile

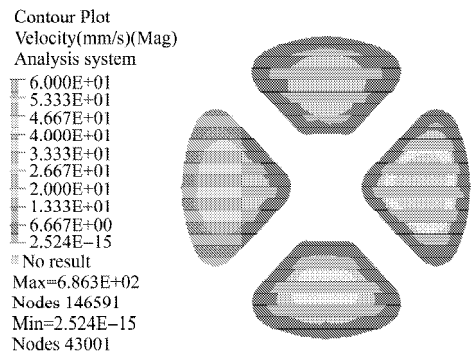


图 8 金属流经分流孔时速度分布

Fig. 8 Velocity distribution of the metal flow in the porthole

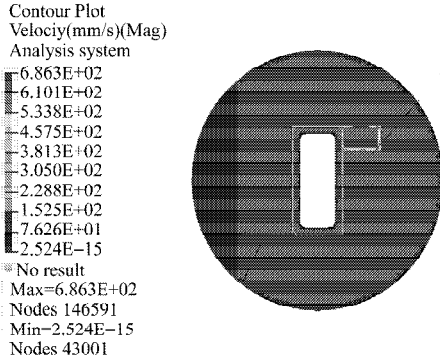


图 9 金属流经模孔时速度分布

Fig. 9 Velocity distribution of the metal flow in the die hole

图 6~9 表明, 由于模具初始设计的结构不合理, 导致金属在模具中的流动不均匀。图 7 中区域 ③和④的金属挤出速度远大于其它区域, 与此相对应的图 6 中区域 ①和②的型材变形较大, 容易使挤出型材出现扭拧、弯曲等缺陷。

4 模具修改方案及验证

4.1 下模结构修改

针对模拟结果反映出的模具缺陷, 对模具的下模结构进行修改。在图 7 出现的金属流动速度过快的区域 ③和④相对应的区域增加阻流台, 减缓该区域金属的流动速度^[6-7], 同时增加导流槽, 如图 10 所示。

对修改后的模具进行数值模拟，得到型材的位移和速度分布，如图 11 和 12 所示。

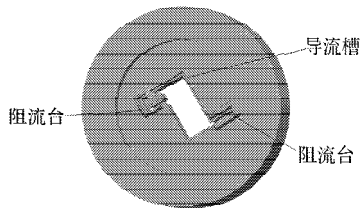


图 10 修改后的下模

Fig. 10 Modified bottom die

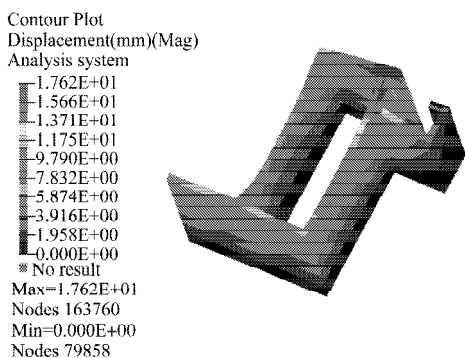


图 11 修改后型材位移图

Fig. 11 The displacement of profile with modified die

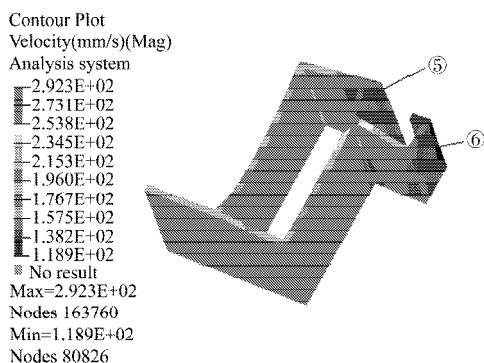


图 12 修改后型材速度图

Fig. 12 The velocity of profile with modified die

由图 11 和图 12 可知，通过对下模结构进行修改后，金属在模具中流动的均匀性得到改善，型材的最大位移由 25.2 mm 变为 17.6 mm，型材的最大速度由 428.3 mm/s 变为 292.3 mm/s，而型材挤出的理论平均速度为

$$\bar{V} = \lambda V_{in} = 43.6 \times 5 = 218 \text{ mm/s}$$

式中： λ 为挤压比； V_{in} 为挤压垫的速度。

与初始设计方案相比，模具经过修改后，型材出口挤出速度的范围有了明显的缩小，型材的质量有较大幅度的提高。但是与理论平均速度相比，仍有一定的偏差。图 12 表明在图中区域⑤金属流速偏大，而区域⑥金属的流速偏小，因此，仍需要对模具的结构进行调整。

4.2 工作带长度优化

工作带对金属的流动起阻碍作用，增加工作带的长度可以增大摩擦阻力，从而迫使金属流向阻力较小的部位，从而使金属的挤出速度趋于均匀。

参照图 12 中的型材速度分布图，结合工作带长度设计方法，对模具的工作带长度进行调整。如图 13 所示，将区域⑦工作带的长度增加 0.5 mm，即由 4.5 mm 增加到 5 mm；区域⑧工作带的长度减少 1 mm，即由 4.5 mm 减小到 3.5 mm；同时对其它区域的工作带长度进行微调。对工作带长度优化后的模具进行模拟试验分析，得到型材的位移和速度分布图如图 14 和 15 所示。

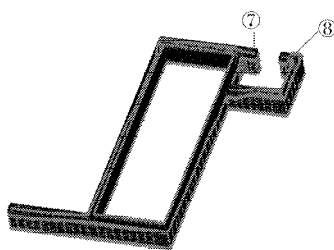


图 13 工作带长度优化示意图

Fig. 13 The die bearing length optimization

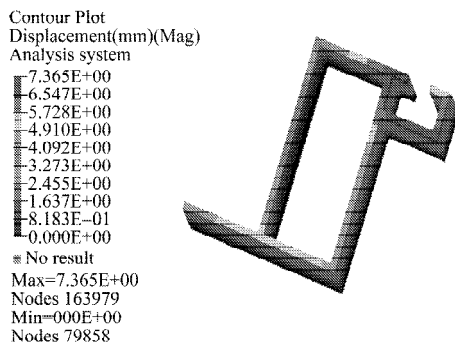


图 14 最终方案所得型材位移图

Fig. 14 The profile displacement for final design

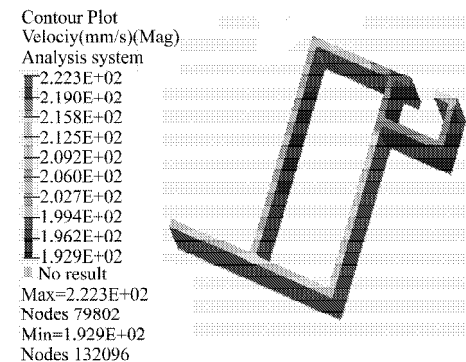


图 15 最终方案所得型材速度图

Fig. 15 The profile velocity for final design

模拟结果表明，型材截面的挤出速度分布已经比较均匀，挤出型材的变形也大大减小，能符合生产要求。

5 结论

通过对某种铝型材的挤压成型过程进行数值模拟, 在分析模拟结果的基础上, 对模具结构进行相应改进, 得到如下结论:

1) 采用基于任意拉格朗日 - 欧拉算法的 HyperXtrude 软件对铝型材的挤压成型过程进行数值模拟, 可得到型材的位移、速度分布图和金属在模具中的流动情况。

2) 在下模增设阻流台, 并调整工作带长度, 能有效改善金属流动不均匀的现象, 减小挤出型材的变形量, 提高型材的质量。

3) 通过对挤压过程进行数值模拟, 可以直观地了解金属材料在模具中的流动情况, 能提高模具设计成功率, 减少返修次数。

参考文献:

- [1] 刘静安, 谢水生. 铝合金材料的应用与技术开发[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2004: 10-140.
Liu Jing'an, Xie Shuisheng. Aluminum Alloys Application and Development[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2004: 10-140.
- [2] 郑庆, 徐万和. 基于 HyperXtrude 的铝型材稳态模拟[J]. 机械制造与自动化, 2012, 41(2): 124-126.
Zheng Qing, Xu Wanhe. Steadystate Simulation of Aluminium Profiles Based on HyperXtrude[J]. Machine Building & Automation, 2012, 41(2): 124-126.
- [3] 倪正顺, 刘石柏, 何畅. 基于 HyperXtrude 的铝型材

挤压成型的数值模拟[J]. 湖南工业大学学报, 2012, 26(2): 38-42.

- Ni Zhengshun, Liu Shibai, He Chang. Numerical Simulation of Aluminum Profile Extrusion Based on HyperXtrude[J]. Journal of Hunan University of Technology, 2012, 26(2): 38-42.
- [4] 倪正顺, 刘石柏, 田胜利, 等. 铝型材挤压成型数值模拟与模具优化设计[J]. 铸造技术, 2012, 33(5): 596-599.
Ni Zhengshun, Liu Shibai, Tian Shengli, et al. Numerical Simulation on Aluminum Profile Extrusion Process and Optimization Design of Die[J]. Foundry Technology, 2012, 33(5): 596-599.
- [5] Lof J, Blokhuis Y. FEM Simulations of the Extrusion of Complex Thin-Walled Aluminum Sections[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2002, 122(2/3): 344-354.
- [6] 陈彪彪, 邝卫华. 散热器铝型材挤压的数值模拟[J]. 轻合金加工技术, 2012, 40(4): 47-51.
Chen Biaobiao, Kuang Weihua. Numerical Simulation of Extruded Aluminum Alloy Profile Used for Producing Radiator[J]. Light Alloy Fabrication Technology, 2012, 40(4): 47-51.
- [7] 徐磊, 赵国群, 张存生, 等. 多腔壁板铝型材挤压过程数值模拟及模具优化[J]. 机械工程学报, 2011, 47(22): 61-67.
Xu Lei, Zhao Guoqun, Zhang Cunsheng, et al. Numerical Simulation of Extrusion Process and Die Optimization for Aluminum Multi-Cavity Profile[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2011, 47(22): 61-67.

(责任编辑: 邓光辉)