

[文章编号] 1004-0609(2001)02-0202-04

角铝型材挤压过程的数值模拟^①

闫 洪, 包忠诩, 柳和生, 罗忠民
(南昌大学 机电工程学院, 南昌 330029)

[摘 要] 采用大变形弹塑性有限元理论, 对角铝型材挤压过程进行了数值模拟。分析了型材挤压过程中各阶段的网格畸变情况, 给出了挤压变形时的流速、应变和应力分布, 揭示了造成异型型材挤压时出现扭拧、波浪和弯曲等缺陷的重要原因是变形体内存在一个涡流场。模拟结果为正确地设计型材挤压模具和工艺参数的选择提供了可靠依据。

[关键词] 角铝型材; 挤压; 数值模拟; 弹塑性有限元

[中图分类号] TG 376.2

[文献标识码] A

铝型材由于其优异特性, 因而在航空、航天、汽车、建筑、电气、化工、机械制造等行业得到越来越广泛的应用。然而, 传统的型材挤压工艺分析和模具设计主要是依靠工程类比和设计经验, 经反复试模和修模, 调整工艺以期消除挤压成形过程中的产品缺陷, 显然, 这已无法满足高速发展的型材加工业的要求, 表明建立适当的“过程模拟”非常重要^[1, 2]。

随着计算机技术和有限元法的迅速发展, 对挤压成形过程进行全面、系统的过程模拟已成为现实^[3~5]。Park^[6]采用刚塑性有限元法对非扭曲截面的三维螺旋稳态挤压过程进行了模拟, 获得了变形网格图和等效应变分布。Yany^[7]对曲线凹模三维非圆截面棒料稳态挤压过程进行了有限元分析。Shin^[8]采用简化的三维有限元法获得了由圆形坯料挤压成方形、正六边形、“T”形截面的网格变形图。张新泉^[9]采用简化的三维刚粘塑性有限元模拟了型材挤压过程的流动状态, 获得了典型截面上的等效应变、流动速度分布和模具表面上的压力分布。周飞^[10]采用三维刚粘塑性有限元方法, 对一典型的铝型材非等温成形过程进行了数值模拟, 给出了成形各阶段的应力、应变和温度场分布情况。于沪平^[11]采用 DEFORM 软件对平面分流模的挤压成形过程进行了二维模拟, 获得了挤压过程中应力、应变、温度及流动速度等分布。本文作者试图对角铝型材挤压过程进行三维弹塑性有限元模拟。

1 大变形弹塑性有限元的基本理论

1.1 虚功率方程(平衡方程)

由于大变形会引起构形的变化, 对平衡方程也会产生影响。按 Lagrange 描述的虚功率方程为^[12]

$$\int_{V_0} S_{ij} \delta E_{ij} dV_0 = \int_{S_0} p_i^0 \delta w_i dS_0 + \int_{V_0} b_i^0 \delta w_i dV_0 \quad (1)$$

式中 S_{ij} —第二 Piola-Kirchhoff 应力张量的分量, E_{ij} —Green 应变张量变化率的分量, p_i^0 —在初始构形中受载表面 S_0 上的表面力分量, b_i^0 —在初始构形中单位体积的体力分量, V_0 —在初始构形时的体积, δw_i —虚位移。

1.2 本构方程

目前, 在大变形弹塑性有限元实施过程中, 对于本构矩阵的计算是采用构形间的“共旋”变换来实现相关场量的客观条件, 以简化 Jaumann 应力率的计算复杂性。因而 Bar form 形式的本构方程^[13]为

$$\dot{\bar{\sigma}} = L[D - D^p] \quad (2)$$

式中 $\bar{\sigma}$ —Cauchy 应力的 Bar form 导数, D —总的 Bar form 应变率张量, D^p —Bar form 塑性应变张量, L —四阶弹塑性本构张量。

采用 Radial Return 算法对速率形式的本构方程进行积分, 就可以得到应力。

1.3 有限元列式

① [基金项目] 江西省教委重大科技资助项目; 南昌大学基金资助项目

[收稿日期] 2000-07-07; [修订日期] 2000-09-15

[作者简介] 闫 洪(1962), 男, 副教授, 博士生。

由于几何非线性和材料非线性, 需将平衡方程离散化为一个关于节点位移增量的非线性方程组, 通过 Newton-Raphson 算法迭代求解。大变形弹塑性有限元方程的矩阵形式可描述为

$$\mathbf{K}_t \Delta u = \mathbf{F}^a - \mathbf{F}^{nr}$$

(3)

式中 Δu —节点位移增量, $\mathbf{F}^a$ —等效外载荷, $\mathbf{F}^{nr}$ —Newton-Raphson 失衡力, $\mathbf{K}_t$ —切线刚度矩阵,

$$\mathbf{K}_t = \mathbf{K} + \mathbf{S}$$

式中 $\mathbf{K}$ —通常的刚度矩阵,

$$\mathbf{K} = \int \mathbf{B}^T \mathbf{D} \mathbf{B} dV;$$

$\mathbf{S}$ —应力刚度的贡献矩阵,

$$\mathbf{S} = \int \mathbf{G}^T \boldsymbol{\tau} \mathbf{G} dV,$$

$\mathbf{G}^T$ —形函数导数矩阵, $\boldsymbol{\tau}$ —整体坐标系中当前时刻 Cauchy 应力的矩阵。

2 角铝型材挤压过程三维有限元模拟

图 1 所示为某厂生产的角铝型材产品截面图。

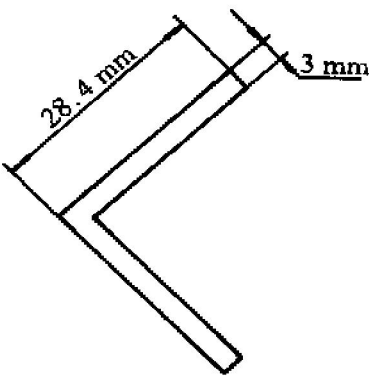


图 1 角铝型材产品截面图

Fig. 1 Section of an angle aluminum material

材料为铝合金 6062, 挤压筒直径为 100 mm, 模具与工件间的摩擦因子为 0.25, 挤压比为 48.7, 流动应力应变关系^[14]为

$$\bar{\sigma}/(\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}) = 209(\bar{\epsilon})^{0.122}$$

(4)

由于角铝型材为对称零件, 取其二分之一模型进行分析, 并对初始坯料进行了非均匀性离散, 离散后的网格如图 2(a) 所示。该模型采用了八节点六面体单元, 共有 4 431 个节点, 4 144 个单元。

图 2 所示为挤压坯料的初始及变形过程中网格

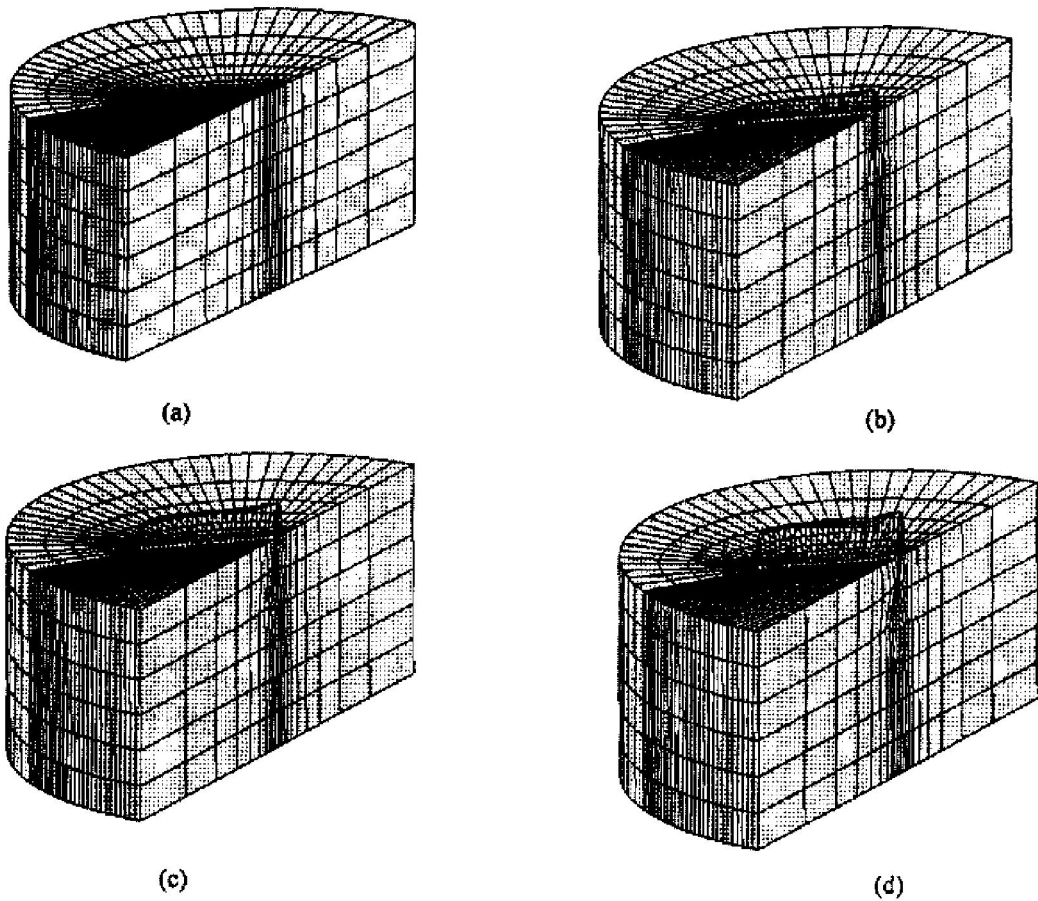


图 2 不同变形阶段时的网格畸变情况

Fig. 2 Grid distortion of fillet in different stages

(a) —0th incremental step; (b) —78th incremental step; (c) —104th incremental step; (d) —170th incremental step

的畸变情况。由图 2 可以看出, 塑性变形首先由模口下部区域开始发生, 逐渐发展到附近的局部区域, 其他区域的网格几乎没有发生畸变, 说明挤压塑性变形区主要集中在模口下附近的局部区域。从模口挤出的挤压件高度各处不相等, 靠近挤压筒中心区域挤出的高度较高, 远离挤压中心筒区域挤出的高度较低, 表明挤压时变形不均匀。图 3 所示为挤压变形后的流速分布。由图 3 可以发现, 在挤压坯料中存在一个以模口纵轴为中心的涡流场, 这是造成异型型材挤压时出现扭拧、波浪和弯曲等缺陷的重要原因。图 4 和 5 所示分别为挤压变形后的

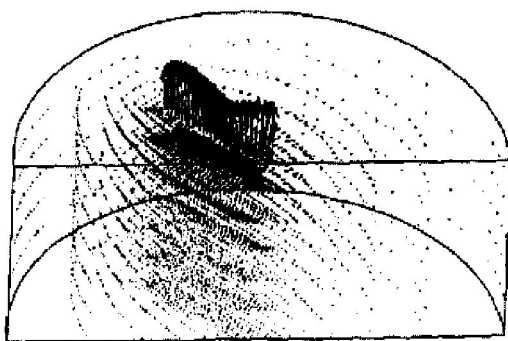
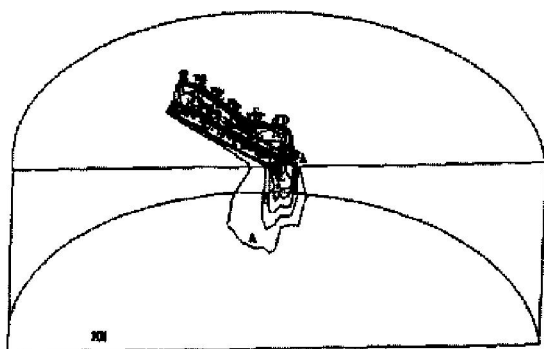


图 3 增量步为 170 时的流速分布

Fig. 3 Distribution of metal velocity at 170th incremental step



A = .116852
B = .350529
C = .584207
D = .817884
E = 1.052
F = 1.285
G = 1.519
H = 1.753
I = 1.986

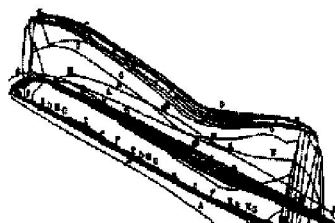
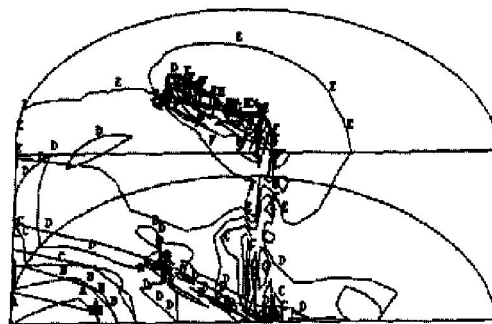


图 4 增量步为 170 时的等效应变分布

Fig. 4 Distribution of equivalent strain at 170th incremental step



A = 28.955
B = 50.512
C = 72.069
D = 93.626
E = 115.183
F = 136.74
G = 158.297
H = 179.854
I = 201.411



图 5 增量步为 170 时的等效应力分布

Fig. 5 Distribution of equivalent stress at 170th incremental step

等效应变分布情况。由图可以得出, 模口周围区域的等效应力和等效应变都为最大, 表明模口周围区域金属变形最为激烈, 因而模具模口部分最先磨损。

3 结论

通过采用大变形弹塑性有限元方法数值模拟型材挤压变形过程获得以下结论:

- 1) 挤压塑性变形区主要集中在模口下附近的局部区域;
- 2) 揭示了造成异型型材挤压时出现扭拧, 波浪和弯曲等缺陷的原因是变形体内存在一个涡流场;
- 3) 模具模口处最易发生磨损, 应重点在此处进行表面渗氮处理, 以提高耐磨能力。

[REFERENCES]

- [1] YAN Hong(闫 洪), BAO Zhong-xu(包忠诩) and LIU He-sheng(柳和生). 铝型材挤压模 CAD/CAE/CAM 研究进展 [J]. Qinghejin Jiagong Jishu(轻合金加工技术), 1999, 27(10): 1-4.
- [2] YAN Hong(闫 洪), BAO Zhong-xu(包忠诩), JIANG Xiong-xin(江雄心), et al. 型材挤压成形技术的研究 [J]. Metalforming Machinery(锻压机械), 1999, 34(6): 50-52.

- [3] PENG Ying-hong(彭颖红), PENG Da-shu(彭大署), ZUO Tie-yong(左铁镛), et al. CONFORM 连续挤压变形过程的刚粘塑性有限元模拟 [J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals(中国有色金属学报), 1993, 3(4): 42–47.
- [4] PENG Ying-hong(彭颖红), RUAN Xue-yu(阮雪榆), ZUO Tie-yong(左铁镛), et al. CONFORM 连续挤压耦合热变形过程的刚粘塑性有限元分析 [J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals(中国有色金属学报), 1994, 4(3): 60–64.
- [5] PENG Ying-hong(彭颖红), ZHOU Fei(周 飞), RUAN Xue-yu(阮雪榆), et al. 金属塑性流动过程的计算机仿真技术 [J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals(中国有色金属学报), 1995, 5(Suppl. 2): 8–11.
- [6] Park Y B, Yoon J H and Yang D Y, et al. Finite element analysis of steady-state three-dimensional helical extrusion of twisted sections using recurrent boundary condition [J]. Int J Mech Sci, 1994, 36(2): 137–148.
- [7] Yang D Y, Lee C M and Yoon J H. Finite element analysis of steady-state three-dimensional extrusion of section through curved dies [J]. Int J Mech Sci, 1989, 31(2): 145–156.
- [8] Shin Hyun-woo, Kim Dong-woo and Kim Nak-soo. A simplified three dimensional finite element analysis of the non-axisymmetric extrusion processes [J]. J Mater Proc Tech, 1993, 38: 567–587.
- [9] ZHANG Xir-quan(张新泉). 铝型材挤压导流模设计的开发与数值分析 [D]. Beijing: Tsinghua University, 1988.
- [10] ZHOU Fei(周 飞), PENG Ying-hong(彭颖红) and RUAN Xue-yu(阮雪榆). 铝型材挤压过程有限元数值模拟 [J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals(中国有色金属学报), 1998, 8(4): 637–642.
- [11] YU Hu-ping(于沪平), PENG Ying-hong(彭颖红) and RUAN Xue-yu(阮雪榆). 平面分流焊合模成型过程的数值模拟 [J]. Forging & Stamping Technology(锻压技术), 1999, 5: 9–11.
- [12] LI Shang-jian(李尚健). Simulation of Plastic Forming Process of Metal(金属塑性成形过程模拟) [M]. Beijing: Mechanical Industry Press, 1999.
- [13] Werber G G, Lush A M, Zavaliangos A, et al. An objective time integration procedure for isotropic rate independent and rate dependent elastic-plastic constitutive equations [J]. International Journal of Plasticity, 1990, 6: 701–749.
- [14] Altan T. Modern Forging, Material and Technique(现代锻造、材料和工艺) [M]. Beijing: Guofang Industry Press, 1982.

Numerical simulation of angle aluminum profile extrusion processes

YAN Hong, BAO Zhong-xu, LIU He-sheng, LUO Zhong-min
(Institute of Mechanical-Electrical Engineering, Nanchang University,
Nanchang 330029, P. R. China)

[Abstract] An angle aluminum profile extrusion processes was done by numerical simulation with large deformation elastoplastic finite element theory, and the mesh distortion of different stages of profile extrusion processes were described in detail, the distributions of stress and strain field were also obtained. It is pointed out that the cross cracking, bending, distorting and twisting on the asymmetry extruded profile are caused by a vortex flow field in the deforming body of extrusion processes. The simulating results can be applied to design of dies and the selection of technological parameters for the aluminum profile extrusion processes.

[Key words] angle aluminum profile; extrusion; numerical simulation; elastoplastic finite element method

(编辑 何学锋)