

银大塑性变形的有限元模拟

许福太, 陈敬超, 刘满门, 武淑珍, 于 杰

(昆明理工大学, 云南 昆明 650093)

摘 要:应用 CAE(computer aided engineering)模拟仿真软件 MSC.Marc, 采用热力耦合弹塑性有限元分析模块, 对纯银的挤压过程进行计算机模拟仿真。对挤压过程中银的流动情况进行分析, 得出银的挤压流线与实际的情况相符, 说明采用有限元软件模拟金属流动过程是可行的; 对挤压过程中银所受到的应力应变进行分析, 得出银在变形区内受到的应力最大, 而银变形最剧烈的地方是从变形区进入定径带的部位。

关键词:银挤压; 应力; 应变; 有限元模拟

中图分类号: TG146.3²

文献标识码: A

文章编号: 1002-185X(2009)10-1761-04

银是贵金属中相对比较便宜的一种金属。由于它具有良好的物理与化学性能, 在工业和人们日常生活中有着非常广泛的用途, 主要应用于: (1) 感光材料; (2) 装饰材料; (3) 电接触材料; (4) 复合材料; (5) 银合金焊料; (6) 银浆; (7) 能源工业用银; (8) 银在催化剂中的应用; (9) 银在医药中的应用; (10) 银系列抗菌材料等领域。银的加工技术也日益成熟, 其中, 在电接触材料应用领域中, 银及其合金主要被加工成丝材, 再加工成各种铆钉应用于各种电器。自有限元法应用以来, 伴随着计算机技术的不断发展, 运用有限元法模拟金属塑性成形过程是当前国际上塑性加工领域的前沿研究内容, 已成功用于多种成形工艺的理论分析^[1,2], 其中以镁及其合金与铝及其合金等领域应用得最为显著^[3~5], 但利用有限元模拟仿真软件模拟银的大塑性变形过程的研究鲜见报道。本实验采用能较真实地反映材料加工过程的塑性大变形软件 MSC.Marc^[6,7]建立了挤压模型, 采用热力耦合法研究了银在大塑性变形挤压过程中的金属流动情况, 分析了金属变形情况和应力分布情况。

1 模型的建立

由于在实际的挤压过程中, 银锭坯是一个典型的轴对称成形, 所以只需建立半个几何模型即可, 把它当作轴对称问题处理。模具入口内径为 30 mm, 出口内径为 4 mm, 挤压比为 56.25。考虑到计算机的运算能力, 在建立模型时, 将模型的比例适当缩小, 如图

1 所示, 取矩形长 0.15 mm, 宽 0.076 mm, 出口高度为 0.02 mm, 按平面分布进行处理。将建立好的模型进行网格划分, 为了得到理想的网格, 将矩形的四边以 0.002 mm 的等距离划分种子点, 再用 AUTOMASH 自动生成四节点四边形单元, 共生成 2850 个正四边形单元。

在本研究中, Ag 是变形体, 模具、挤压轴和对称轴是刚体, 接触定义顺序为 Ag、模具、挤压轴和对称轴。接触定义为: Ag、模具、挤压轴、对称轴的接触都为接触。挤压轴的挤压速度为 5 mm/s。

本研究只需定义初始温度, 初始挤压温度为 850 °C。采用纯银材料, 在挤压过程中, 由于温度变化不大, 所以不考虑温度对材料性能的影响, 定义材料参数为:

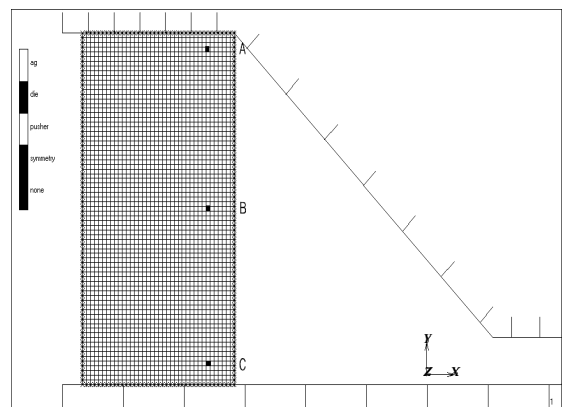


图 1 银挤压模型

Fig.1 Silver extrusion model

收稿日期: 2008-11-19

基金项目: “973”计划前期研究专项(2008CB617609); 国家自然科学基金(50361003); 云南省应用基础研究计划重点项目(2006E0003Z)

作者简介: 许福太, 男, 1977年生, 硕士生, 昆明理工大学稀有及有色先进材料教育部重点实验室, 云南 昆明 650093, 电话: 0769-83206618, E-mail: xufutai1234@163.com; 通讯作者: 陈敬超, 教授, 电话: 0871-5334185, E-mail: chenjingchao@kmust.edu.cn

杨氏模量 $E=7.6 \times 10^4$ MPa，泊松比 $\nu=0.37$ ，密度 $\rho=10.491 \times 10^{-3}$ g/mm³，比热容 $C=0.234$ J/(g·K)，导热率 $k=429$ W/(m·K)。弹塑性变形满足弹塑性材料的基本假设和力学基本方程；材料的屈服强度 $S_s=140$ MPa。所有单位采用模拟仿真软件 MSC.Marc 的单位。

2 模拟结果与分析

2.1 挤压轴的受力

从图 2 可以看到，在 330 步前，挤压轴所受到的力平稳上升且很小，开始时接近 0，从 330 步开始，挤压力直线上升，增至最大 2338 N。这是由于从 330 步开始，锭坯前端的金属开始由变形区进入定径区，锭坯也与模具全面的接触，受到模具对锭坯的阻力也越来越大。

2.2 银的挤压流线

流线模拟结果如图 3 所示，图中锭坯中心的轴向网格线明显向挤压方向突出，说明中心的金属流动速度比模具边缘的金属流动速度快。沿径向上，中心的网格纵向延伸成为近似矩形，而外层的网格变为近似的平行四边形。这说明外层金属不仅承受了纵向变形，还因为和模具的摩擦作用而承受了附加的剪切变形。从银的挤压流线图可以看出，在变形区与定径区附近，流线的变化更加明显，说明银在挤压的过程中，在变形区与定径区之间，金属的流动速度瞬间增大。

2.3 应力分析

从图 4 中可以看到，锭坯在挤压过程中等效应力的变化。锭坯进入变形区后，靠近模具的锭坯首先受到应力，然后应力区域逐渐扩大，直到锭坯完全进入变形区。

挤压金属的流动情况可分为 3 个阶段^[8]，如图 4 所示：第 1 阶段为开始挤压阶段，金属受挤压轴向压力后，首先充满挤压筒和模孔。在此阶段，边部的银

在受到轴向挤压力的同时，也受到了模具对其的径向作用力，边部的银所受到的作用力大于中心的银所受到的作用力。第 2 阶段为平流挤压阶段，金属开始从模孔中流出瞬间进入此阶段，此阶段中金属的流动相当于无数同心薄壁圆管的流动，坯料的内外层金属基本上不发生交错或反向的紊乱流动，金属流出模孔后仍处于制品的内层或外层，同一横断面上的金属质点以一定速度进入定径区，此阶段中银受到应力将逐渐减小。这是因为，在挤压模填充结束时，银与模具的摩擦力减小，从而导致模具对其的径向作用力的减小。第 3 阶段为终了挤压阶段，此阶段中，变形区内的金属向着挤压轴线方向由周围向中心发生剧烈横向流动。

为了更好分析整个挤压进程中锭坯所受到的应力，本研究对锭坯中有代表性的 3 个点进行了分析(图 5)。如图 1 所示 A、B、C 3 点即所要分析的点。A 点在锭坯表层，C 点在中心部分，B 点介于 A、C 两点之间。从图 5 中 3 点等效范米赛斯应力上可以看出，A 点首先受到力，并且在 20 步以前，A 点所受到应力要比 B、C 两点受到的应力大得多，这是因为 A 点除了受到纵向的作用力外，还受到模具对其的剪切作用力。到达 50 步时，A、B、C 3 点都达到应力最大值 142 MPa。在 0 到 50 步时，B、C 两点所受到的应力基本相同，说明在此阶段，银内部所受到的应力基本相同。从 340 步开始，3 个颗粒开始从变形区进入定径带，A、B 点所受到应力发生变化，并且呈下降的趋势，这可能是由于表层的锭坯在进入定径带后，所受到模具对其的剪切作用力大幅度减小，而 C 点受到的应力没有发生变化。

2.4 应变分析

图 6 是锭坯在挤压过程中 0 到 400 步的等效应变图。从中可以看出，塑性应变首先发生在进入变形区锭坯的边缘，当锭坯逐渐进入变形区时，锭坯的塑性

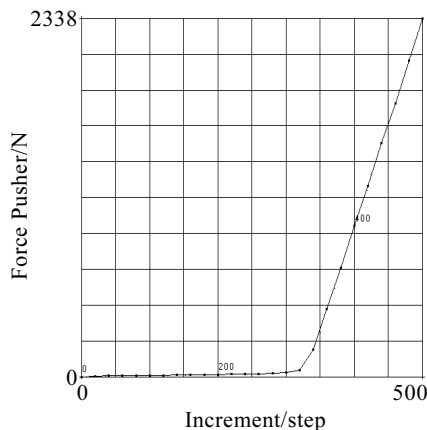


图 2 挤压轴的受力情况
Fig.2 Force of extrusion

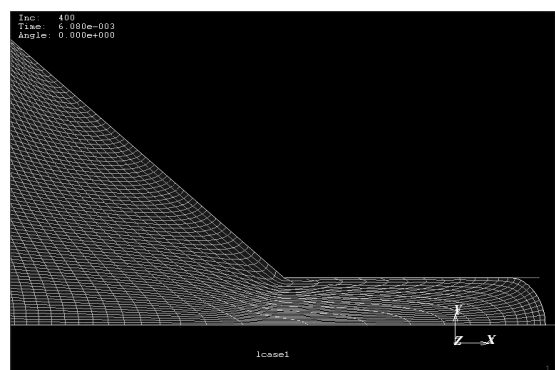


图 3 银的挤压流线
Fig.3 Flowlines after extrusion of Ag

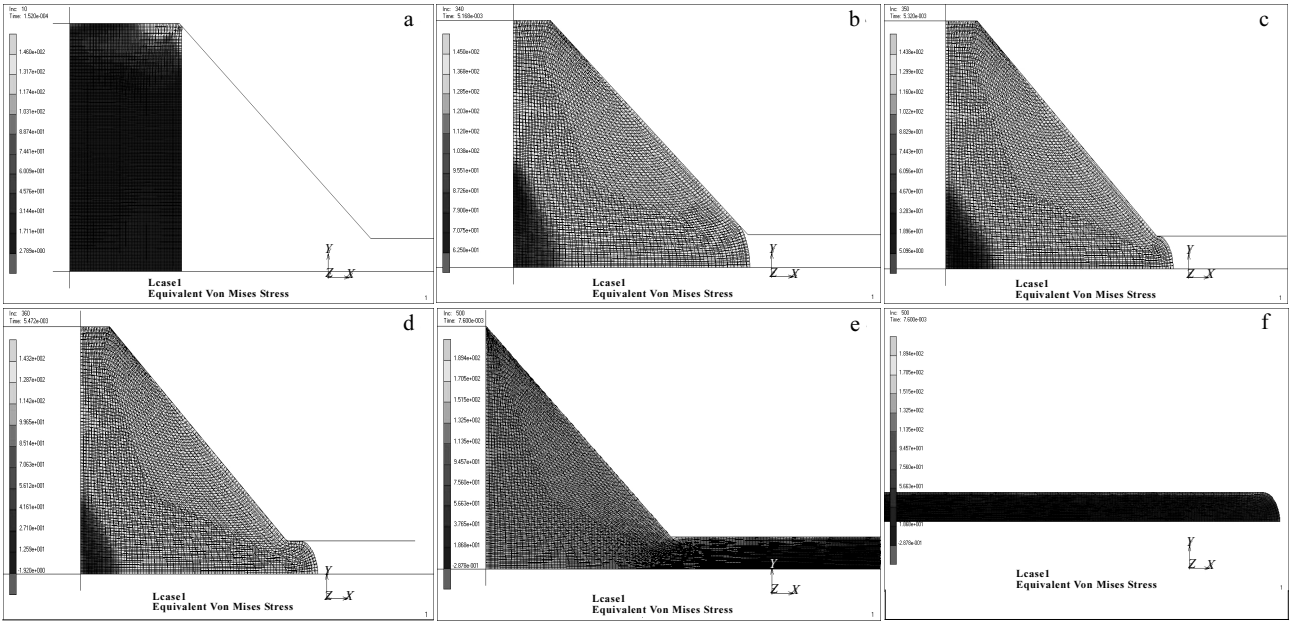


图 4 挤压变形过程/等效米赛斯应力图

Fig.4 Extrusion deformation process/Equivalent Von Mises Stress: (a, b) stage 1, (c, d) stage 2, and (e, f) stage 3

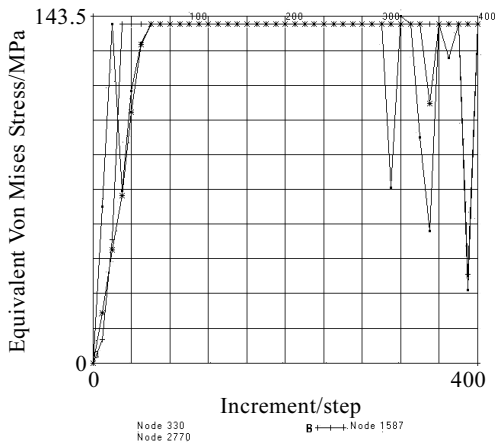


图 5 图 1 中 A、B、C 3 点等效范米赛斯应力

Fig.5 Equivalent Von Mises Stress of points A, B, C in Fig.1

变形也逐渐扩大。塑性应变最大的地方为定径带附近。这个现象说明，在挤压过程中，银变形最剧烈的地方是从变形区进入定径带的部位。

3 结 论

1) 在建立合适的几何模型基础上，采用热力耦合弹塑性有限元分析模块，可以对银的挤压过程进行模拟。挤压后流线中心的金属流动速度比模具边缘的金属流动速度快，在变形区与定径区附近，这种现象更加明显。这与实际的情况相符，说明采用有限元软件模拟金属流动过程是可行的。

2) 锭坯进入变形区后，边部靠近模具的锭坯首先受到应力，然后应力区域逐渐扩大，直到锭坯完全进入变形区。进入定径区后，边部的锭坯受到应力开始减小。而在挤压过程中，银变形最剧烈的地方是从变形区进入定径带的部位。

参考文献 References

[1] Zienkiewicz O C, Godbole P N. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*[J], 1974(8): 3

[2] Shiro Kobayashi, Sooi Oh, *Taylan Altan. Metal Forming and the Finite Element Method*[M]. New York: Oxford University Press, 1989: 32

[3] Luo Yongxing(罗永新), Hu Wenjun(胡文俊), Li Luoxing(李落星) et al. *Hot Working Technology(热加工工艺)*[J], 2007,

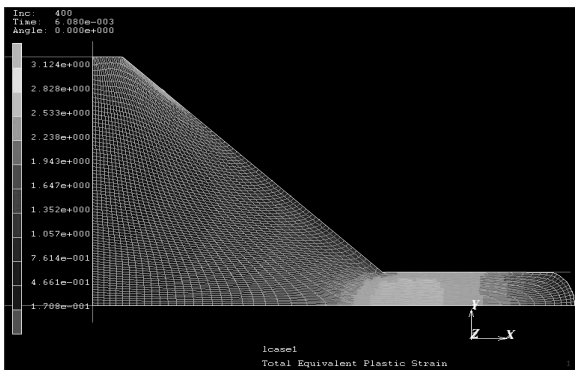


图 6 等效塑性应变云图

Fig.6 Equivalent plastic strain

- 6(1): 69
- [4] Duan Xinfen(段新峰), Liang Yanfeng(梁岩峰), Wang Zhinan(汪指南) *et al.* *Journal of Anhui University of Technology and Science*(安徽工程科技学院学报)[J], 2003, 18(3): 57
- [5] Zhang Jun(张 军), Deng Xiaomin(邓小民). *Foundry Technology*(铸造技术)[J], 2005, 26(12): 1149
- [6] Chen Huohang(陈火红). *MSC.Marc Finite Element Analysis Examples Guide*(Marc 有限元实例分析教程)[M]. Beijing: Machinery Industry Press, 2002: 4
- [7] Chen Huohang(陈火红), Yu Junchuan(于军泉), Xi Yuanshan(席源山) *et al.* *MSC Marc/Mentat 2003*[M]. Beijing: Science Press, 2004: 3
- [8] Xie Jianxin(谢建新), Lui Jin'an(刘静安). *Theory and Metal Extrusion Technology*(金属挤压理论与技术)[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2001: 12

Finite Element Simulation of Silver Severe Plastic Deformation

Xu Futai, Chen Jingchao, Liu Manmen, Wu Shuzhen, Yu Jie
(Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

Abstract: The extrusion process of silver was simulated by thermal coupling elastic-plastic finite element analysis module, using the CAE (Computer Aided Engineering) simulation software package-*MSC.Marc*. By analyzing the flow situation of the silver in the extrusion process, it is found that the simulated extrusion flow line agrees with the experimental, which shows that it is feasible to simulate metal flowing process by the finite element software. The stress and the strain in this extrusion process were analyzed. The biggest stress of the silver is in the deforming region. However, the zone from the deforming region to the calibrating strap is the most intense deformed zone.

Key words: silver extrusion; stress; strain; finite element simulation

Biography: Xu Futai, Candidate for Master Degree, Key Laboratory of Advanced Materials of Precious-Nonferrous Metals, Education Ministry of China, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, P. R. China, Tel: 0086-769-83206618, E-mail: xufutai1234@163.com; Corresponding Author: Chen Jingchao, Professor, Tel: 0086-871-5334185, E-mail: chenjingchao@kmust.edu.cn