

# 基于 DEFORM 三维多晶体材料微结构的有限元分析

何凤兰, 李旭东, 王国梁

(兰州理工大学 甘肃省有色金属新材料省部共建国家重点实验室, 甘肃 兰州 730050)

**摘要:**利用本课题组自主开发的计算机软件 AutoRVE, 实现三维多晶体材料微结构的几何建模, 网格划分, 并将生成的 Input 的文件通过脚本语言 Python 的编译, 实现在 DEFORM 中建立三维多晶体微结构的具体材料模型, 并进行挤压过程热力耦合仿真分析, 演示出了三维多晶体材料微结构的温度场及等效应力、等效应变分布结果。

**关键词:**三维多晶体; 材料微结构; Key 文件; Input 文件

**中图分类号:** TG14

## 1 DEFORM 简介

DEFORM-3D 是一套基于工艺模拟系统的有限元系统(FEM), 专门设计用于分析各种金属成形过程中的三维(3D)流动, 提供极有价值的工艺分析数据, 及有关成形过程中的材料和温度流动。主要包括前处理器、模拟器、后处理器三大模块。前处理器处理模具和坯料的材料信息及几何信息的输入、成形条件的输入, 建立边界条件, 它还包括有限元网格自动生成器; 模拟器是集弹性、弹塑性、刚(粘)塑性、热传导于一体的有限元求解器; 后处理器是将模拟结果可视化, 支持 OpenGL 图形模式, 并输出用户所需的模拟数据。DEFORM 允许用户对其数据库进行操作, 对系统设置进行修改, 以及定义自己的材料模型等<sup>[1]</sup>, 如图1所示。

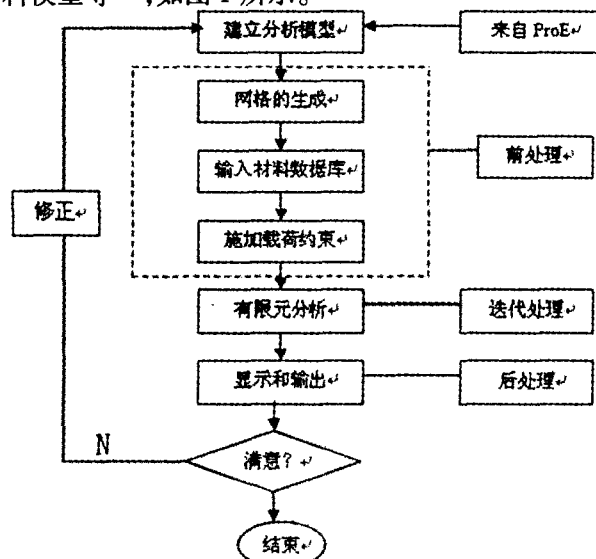


图1 有限元分析流程图

## 2 DEFORM 前处理程序的二次开发

### 2.1 材料代表性体积单元(RVE)

材料微结构细观力学响应的数值计算建立在材料微观组织结构的“代表性体积单元”(RVE)技术上。微观组织结构的“代表性体积单元”定义在材料的细观尺度上。“代表性体积单元”其体积尺寸是最小的, 但体积单元内却包含了足够多微观组织结构组成物的几何信息、晶体学取向信息、分布信息与相场信息, 并能在统计学意义上(统计平均性质)代表材料微观组织结构的基本特征, 由“代表性体积单元”组成的材料称为统计均匀材料, 统计均匀材料受到均匀边界条件的作用, 则介质内的场变量是统计均匀场。值得指出的是, 应该根据材料实际(或模拟)的微观组织结构组成物的几何构造、取向分布与结构, 计算材料微观组织结构的“代表性体积单元”内的细观力学响应以及材料性能。“代表性体积单元”的细观应力的体积平均响应程度必须与“代表性体积单元”边界上所承受的外加载荷程度相一致<sup>[2-6]</sup>。

### 2.2 几何模型的建立

挤压件原始尺寸为: 1000mm × 1000mm × 500mm(长度 × 宽度 × 厚度), 其开始温度为 900℃, 上下模具温度都为 300℃。材料假定是各相同性的, 挤压件和上下模之间采用剪切摩擦模型, 摩擦系数是 0.3。工件的自由表面与周围环境之间的等效换热系数取为 180.2N/(s · m<sup>2</sup> · c), 工件与上下模之间的接触传热系数取为 5N/(s · m<sup>2</sup> · c), 辐射率为 0.7。坐标系的建立为: Z 轴的负方向为挤压方向。

### 2.3 多晶体材料微结构的数据准备

利用本课题组自主开发的计算机软件 AutoRVE,即可在 ABAQUS 有限元软件中,建立材料微结构的“代表性体积单元”(RVE)的几何模型,并根据几何模型画出有限元计算网格,单元体数目:199738,结点:36000,总模拟步数为 100,模拟时间步长为:0.01s。由于 DEFORM 对工件赋予不同材料属性的限制,在编译的过程中,设置 6 种材料属性。实现对所有的单元赋材料属性,具体是将同一晶粒对应的多个单元赋予同一材料属性。而后利用 C 语言编译生成 6 种新材料,为了使整个工件的材料属性差别不易过大,在编译材料属性时仅对材料的杨氏模量进行少量的增加,分别命名为 NEW-I ( $I=1-6$ )。这样即可将每个晶粒可视化显现出来。图 2 显示了含有 1000 个晶粒的三维多晶体网格划分材料微结构(挤压件模型)。

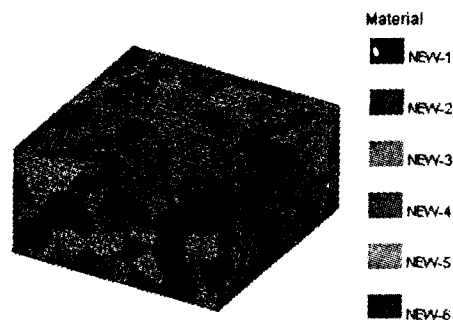
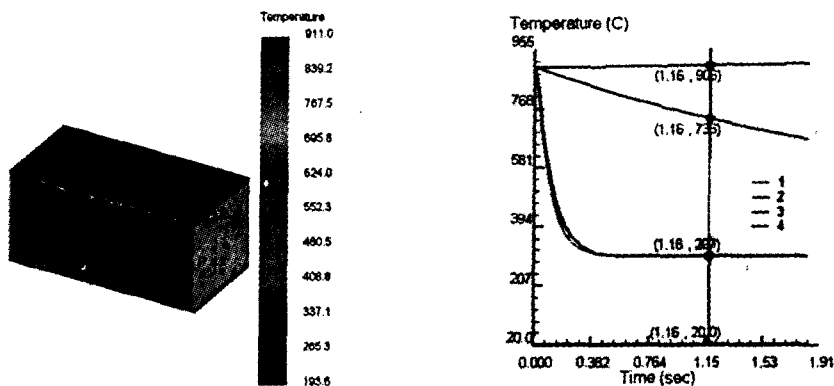


图 2 三维多晶体网格划分材料微结构(挤压工件模型)  
提取截面上的关键点进行温度跟踪分析,将各点的温度随时间变化作曲线,演示了含有 1000 个晶粒的多晶体材料挤压过程中温度分布,如图 3 所示。P1 为多晶体材料商标名的中心点,P2 为多晶体材料的内部中心点,P3 为上表面的侧面中点,P4 为侧面的中心点。结果表明,工件各部位关键点的温度随挤压过程时间的增加均呈现下降的趋势,特别是工件表面中心节点 P1,及工件边部节点 P3 在挤压过程中,与上模具产生接触温度曲线起伏显著,温度急剧下降;工件在与空气的热交换过程中温度变化缓慢,P4 的温降变化不太明显。中心处节点 P2 温度略有提升(这是因为塑性功转化为热的结果)。

## 3 三维多晶体材料微结构模拟结果及分析

### 3.1 温度场分布

为更好地反映整个挤压过程中工件各部位温度的变化规律,在工件的中心和表面,沿工件长度方向



(a) 第 50 步温度分布

(b) 节点温度随时间变化分布

图 3 多晶体材料挤压过程温度场分布

### 3.2 应力分析

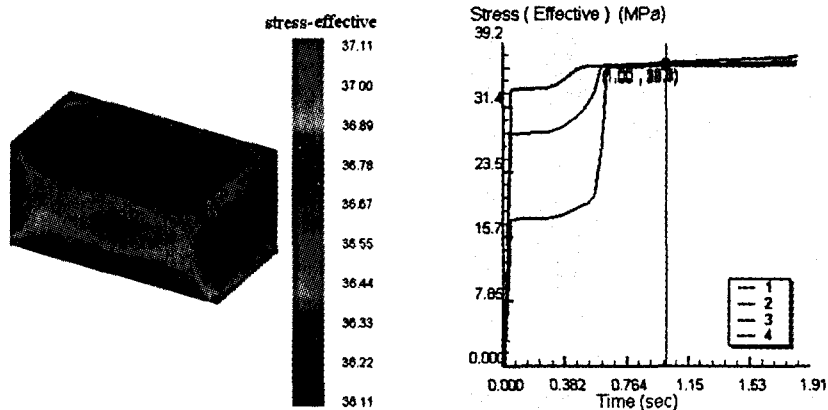
通过对关键点等效应力变化进行跟踪,图 4 演示了含有 1000 个晶粒的三维多晶体材料微结构模型算例及其等效应力分析结果。当工件开始与上下模接触时,如图 4(a)所示,挤压变形内部中心区节点 P2 的应力最大,工件边部节点 P3 在挤压过程中与上模具产生接触应力曲线起伏不大,如图 4(b)为等效应力随计算时间的变化曲线。各节点的应力急剧上升,而后在达到稳定状态呈缓慢增长趋势,在整个挤压过程中,节点 P1 应力曲线起伏相当大。

### 3.3 应变分析

通过对关键点等效应变变化进行跟踪,图 5 演示了含有 1000 个晶粒的三维多晶体材料微结构模型算例及其等效应变分析结果。如图 5(a)所示,在整个挤压过程中,在工件边部及挤压变形内部中心区呈现出较大的等效应变,表面中心处和侧面处应变相对较小。图 5(b)为等效应变随计算时间的变化曲线,可以看出:关键点等效应变首先增长缓慢几乎趋近于零,在工件挤压后塑性变形逐渐增大,等效塑性应变也随之增大。在整个挤压过程中,工件边

部节点 P3 与上模具产生接触应变曲线起伏最大,随

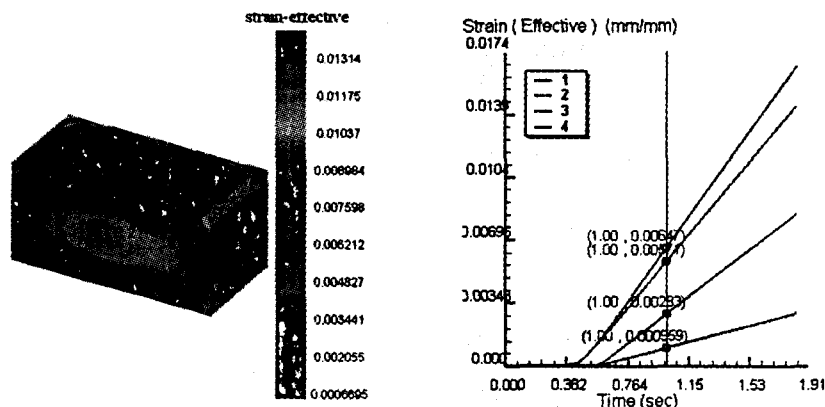
着时间的增大,各节点的应变几乎呈直线急剧上升。



(a) 第 50 步等效应力分布

(b) 节点等效应力随时间变化图

图 4 多晶体材料挤压过程等效应力分析



(a) 第 50 步应变分布

(b) 节点等效应变随时间变化图

图 5 多晶体材料挤压过程等效应变分析

## 4 结论

采用商业有限元软件 DEFORM 对多晶体材料进行了挤压过程模拟分析,模拟结果表明:

(1) 通过脚本语言 Python 的编译,对外部数据 Input 文件提取 Key 文件所需要的有效数据,进而对已产生的 Key 文件进行替换及添加,实现在 DEFORM 中建立三维多晶体微结构的具体材料模型,完成该细观模型的建立。

(2) 对 DEFORM-3D 进行前处理二次开发,导入多晶体材料的微结构模型,并进行挤压过程热力耦合仿真分析。得到了三维多晶体材料微结构的温度场及等效应力、等效应变分布结果。

(3) 用户可以返回 DEFORM 中通过 GUI 环境下的操作实现某些用户自定义的特性,如,具体的某种材料、具体所需的分析步、具体的边界条件与加载方式,或者通过更改模型的 Key 文件实现对模型的用户自定义,再对模型进行分析。

## 参考文献:

- [1] 周朝辉,曹海桥,吉卫,等. DEFORM 有限元分析系统软件及其应用[J]. 2003(4):51-52.
- [2] 龙弟德,李旭东,余斌,等. ABAQUS 前处理程序二次开发在多晶体材料微结构建模中的应用[J]. 甘肃科技,2008,24(6):91-93.
- [3] 李俊琛,李旭东,刘德学. 空间点集 Voronoi 图的海量构造算法及可视化技术[J]. 兰州理工大学学报,2008,33(5):99-104.
- [4] 任淮辉,李旭东,李俊琛. 三维多晶体材料微结构的力学响应计算[J]. 兰州理工大学学报,2008,34(1):1-5.
- [5] 任淮辉,李旭东,刘德学,等. 三维复合材料微结构的力学响应分析[J]. 兰州理工大学学报,2008,34(2):1-5.
- [6] Li Xudong. An innovative concept and novel microstructure related parameter - material structure weakness[J]. Material Science and Engineering A,2004,386(1):415-419.