

椭圆孔型轧制合金钢方坯三维弹塑性有限元模拟

洪慧平 康永林

北京科技大学材料科学与工程学院, 北京 100083

摘要 为设计安全合理的合金钢椭圆孔型系统, 采用三维热力耦合弹塑性有限元模拟仿真技术, 超前再现了合金钢方坯在椭圆孔型中金属的三维流动过程并获得了轧制力及力矩等重要参数的变化规律. 结果表明: 表面和心部金属沿轧制方向流动速率的不同导致合金钢方坯端部横断面产生凹形; 轧制力和轴向力及轧制力矩和径向力矩具有相似的变化趋势, 即咬入和抛钢阶段其值变化较大而稳定轧制阶段变化较小.

关键词 合金钢; 椭圆孔型; 有限元模拟

分类号 TG 331; TP 391.9

当前有限元仿真技术被认为是能够较为全面而准确地预测和描述金属塑性变形和传热等过程的有效工具之一^[1,2], 它具有成本低、开发周期短并能超前再现许多用物理模拟或实验难以进行的加工过程等一系列优点^[3], 而且通过改变原始条件能进行大量工艺方案的筛选^[4]. 本文采用三维热力耦合弹塑性有限元法, 根据实验研究的数据结果建立的材料仿真数据库, 对合金钢方形轧件在立辊椭圆孔型中热轧变形过程进行了全三维模拟仿真, 对轧件形状和轧制力参数的变化进行了分析.

1 有限元模型的建立

现将横断面边长为 268 mm 的方件送入椭圆孔型(见图1)中轧制. 钢种属于中碳铬合金工具钢, 开轧温度为 950℃, 轧辊转速为 14.54 r/min. 其他相关轧制工艺设备参数表1所示.

在 MSC.MARC 前处理器 Mentat 中定义材料特性时要结合实验研究的结果确定该种合金钢材料的各项热物性参数, 其中包括弹性模量、比热容、热膨胀系数、导热率和变形抗力等, 这些参

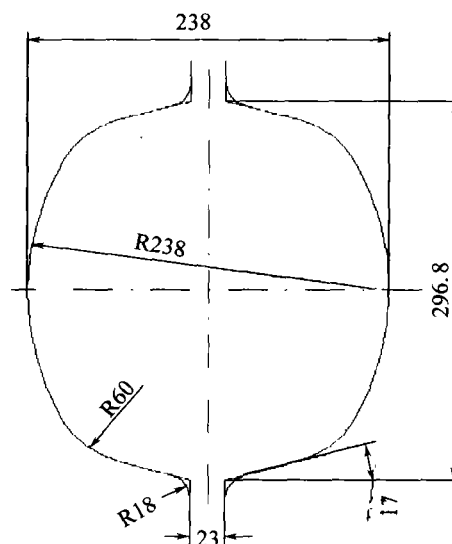


图1 孔型尺寸(单位:mm)

Fig.1 Oval pass dimensions

表1 轧制工艺和设备参数

Table 1 Rolling process and equipment parameters

ε	$v/(mm \cdot s^{-1})$	$n/(r \cdot min^{-1})$	新轧辊标准/mm	
			原始辊径	辊缝
1.23	445.4	14.54	800	23

数均为变形温度的函数. 根据热力耦合大变形弹塑性有限元方法建立轧件以及轧辊等接触体的三维有限元模型, 如图2所示. 在此选择八节点

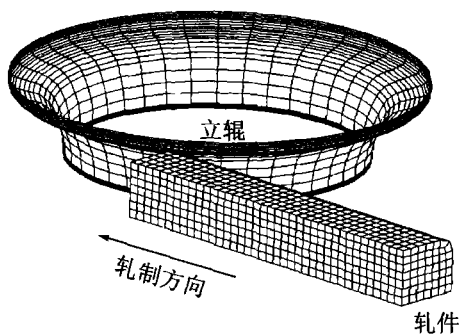


图 2 有限元模型

Fig.2 Finite element simulation model

六面体单元分网, 采用更新的 Lagrange 算法、Prandtl-Reuss 流动方程以及 Von Mises 屈服准则等理论处理热连轧过程中轧件的热力耦合大变形问题. 轧辊作为刚性接触体定义, 轧辊与轧件之间采用剪切摩擦模型, 摩擦因子取 0.7, 材料的泊松比取 0.3, 密度 7.75 mg/mm^3 [9].

在确定传热边界条件时主要考虑轧件与周围环境的对流和辐射换热以及轧件和轧辊孔型接触时的热传导. 包含对流和辐射的等效换热系数取 $0.17 \text{ kW}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, 轧件与轧辊的接触热传导系数取 $20 \text{ kW}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ [6].

根据对称性, 取 1/4 轧件为分析对象, 考虑到给予轧件足够长的稳态轧制过程以便分析, 轧件长度在此取 722 mm , 轧件沿长度方向取 38 等份, 轧件横断面取 48 个单元, 共采用 1824 个单元及 2418 个节点.

2 模拟结果与分析

2.1 各阶段轧制变形的特点

轧件在立辊椭圆孔型中变形时不同阶段网格畸变情况如图 3 所示. 当增量步为 0 步时开始咬入, $0 \sim 250$ 步时是轧件的咬入阶段, $250 \sim 750$ 步轧件处在稳态轧制过程, 到 $750 \sim 920$ 步是轧件进入非稳态轧制阶段, 到 920 步时轧件尾部完全脱离立椭圆孔型从而结束整个轧制过程.

开轧时轧件的四个角部首先与孔型接触产生变形, 该变形逐渐由表面向轧件心部渗透, 因此开始阶段轧件角部周围侧面的纵向流速大于心部的纵向流速从而导致轧件头部出现凹形, 如图 3(b) 所示. 同理轧件尾部逐渐从孔型中脱离时也导致轧件尾部出现类似的内凹. 这类头部和尾部的内凹缺陷可通过增大进立椭圆孔型前中间方

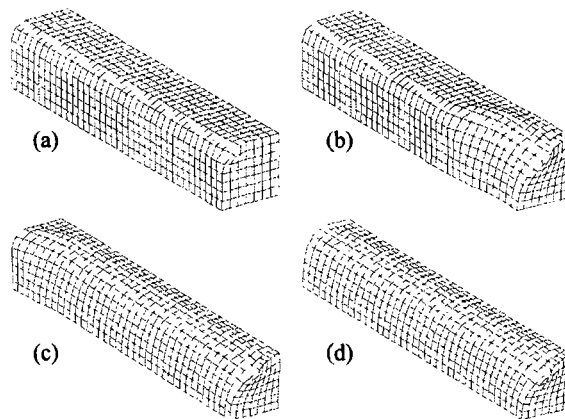


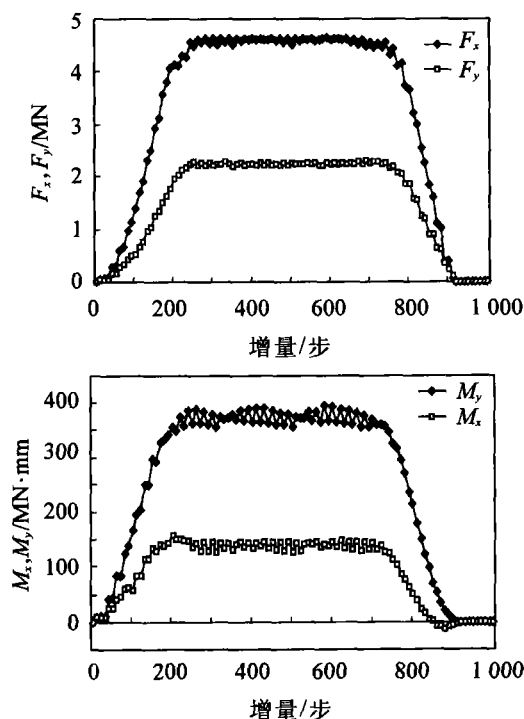
图 3 不同增量步时轧件的变形情况. (a) 0, (b) 250, (c) 750, (d) 920 步

Fig.3 Deformation of a billet at different increments

坯断面的圆角来缓解.

2.2 轧制力和轧制力矩的变化

图 4 为在立辊椭圆孔型中轧制时 1/4 轧件轧制力 (F_x) 和轧辊轴向力 (F_y) 以及轧制力矩 (M_y) 和径向力矩 (M_x) 随增量步的变化曲线. 从中可见, 轧制力、轴向力和轧制力矩及径向力矩具有相似的变化趋势, 即在咬入不稳定轧制阶段 ($0 \sim 250$ 步) 力和力矩随增量步的增加而升高, 在稳定轧制阶段 ($250 \sim 750$ 步), 力和力矩的波动范围

图 4 轧制力和轴向力(a)以及轧制力矩(b)的变化曲线
Fig.4 Variations of rolling force, axial force (a) and rolling torque (b)

较小,750步以后力和力矩开始下降,轧件进入非稳定的抛钢轧制阶段直至轧件尾部完全脱离椭圆孔型(920步),这时力和力矩均减小到零。

根据图4所示的1/4轧件的计算结果不难得到整个轧件的最大轧制力为9.27 MN,最大力矩为789.4 MN·mm,以此为基础可以验算轧辊的辊身强度,具体方法参见相关文献[7,8]。虽然在计算辊身危险断面应力时用到材料力学原理,但由于根据有限元仿真得到的轧制力和轧制力矩,计算精度显然要远高于单纯用传统的轧制力和力矩公式。将轧辊应力的计算结果(辊身应力205.93 MPa,辊颈应力133.94 MPa,辊头应力133.55 MPa),与许用应力(280 MPa)进行比较,满足强度要求。

3 结论

采用三维热力耦合有限元模拟仿真技术,在准确建立材料仿真数据库、模型库、相关边界条件和初始轧制条件的基础上,可以对合金钢在孔型中轧制变形进行较为准确的分析,超前再现轧件的形变和轧制力变化过程,为合理制定轧制工

艺方案提供科学的理论依据。

参 考 文 献

- 1 Li G, Jinn J T, Wu W T, et al. Recent development and applications of three-dimensional finite element modeling in bulk forming processes [J]. J Mater Proc Technol, 2001 (113): 40
- 2 Galantucci L M, Tricarico L. Thermal-mechanical simulation of a rolling process with an FEM approach [J]. J Mater Proc Technol, 1999 (92-93): 494
- 3 张士宏,尚彦凌. 金属塑性加工的物理模拟[J]. 塑性工程学报, 2000, 7(1): 45
- 4 鹿守理. 计算机辅助孔型设计[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1992
- 5 美国金属学会编. 金属学手册(中译本)[M]. 北京: 机械工业出版社, 1991. 486
- 6 Wang Y W, Kang Y L, Yuan D H, et al. Numerical simulation of round to oval rolling process [J]. Acta Metallurgical Sinica (English Letters), 2000, 13(2): 428
- 7 刘宝珩. 轧钢机械设备[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1984. 18
- 8 黄华清. 轧钢机械[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1980. 77

Three Dimensional Elastoplastic Finite Element Simulation on the Hot-rolling in Oval Pass of a Steel Billet

HONG Huiping, KANG Yonglin

Material Science and Engineering School, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China

ABSTRACT The hot rolling of a steel billet in oval pass and the variations of rolling force and torque are simulated by three-dimensional thermo-mechanical coupled elastoplastic finite element simulation. It is shown that the difference between the velocities of the metal flow along the rolling direction on the surface and in the inner part of the billet results in the concave section at the rolled steel ends. The rolling force, the axial force, rolling torque and radial torque have a similar variation, which is large during the period of the steel billet being engaged with or leaving from the oval-pass and small during the period of the stable rolling.

KEY WORDS oval pass; hot rolling; finite element simulation