

# 热作模具钢连轧过程力学参数的有限元分析

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** 采用三维热力耦合弹塑性有限元软件及其接触分析技术,在准确制定相关边界条件基础上对 $\phi 200$  mm规格的热作模具钢二机架热连轧过程的金属三维流动进行了有限元模拟,准确地计算了力学参数(如轧制力和力矩)的分布情况并对轧辊强度进行了分析,从中确定了安全可行的轧制方案。

**关键词** 热作模具钢; 孔型; 有限元; 仿真  
**分类号** TG331; TP391.9

与耗资大、成本高的试错法相比,借助当前大型CAE计算机模拟仿真技术和高性能的计算机硬件系统,能够更为准确而有效地超前再现并控制轧制过程,为全面提高产品质量、开发产品品种提供可靠依据<sup>[1]</sup>。事实上,准确给定材料成形过程的相关边界条件并建立材料仿真数据库,运用热力耦合弹塑性有限元模拟理论是能够较精确地计算轧制过程的重要工艺参数(如轧制力和力矩等)的变化情况。例如,研究者运用有限元模拟仿真理论预测方件在箱形孔型中变形的轧制力误差仅为0.65%<sup>[2]</sup>,棒材成品孔中宽展误差为0.15%,成品圆钢高向直径误差为1.93%,宽向直径误差为0.2%<sup>[3]</sup>。

当前,为了扩大市场亟需的 $\phi 200$  mm大规格热作模具圆钢生产,首要任务是通过挖掘现有工艺及设备潜力,确定轧制负荷及力能参数的动态分布,分析连轧机组各机架轧辊强度等安全性因素,以便开发合理、安全、可靠的孔型系统及其轧制方案。本文采用大型CAE仿真软件MSC.MARC的热力耦合分析模块,进行了 $\phi 200$  mm热作模具圆钢连轧过程三维热力耦合弹塑性有限元模拟研究。

## 1 孔型系统方案与有限元模型

在孔型设计中,钢种为中碳中铬型热作模具钢,成品为 $\phi 200$  mm规格大圆钢。根据现场工艺

设备特点及生产情况,可将两道次连轧孔型系统确定为“椭孔-圆孔”。首先在MARC的Mentat前处理器中进行孔型系统的有限元建模,求解后在后处理器中进行结果分析,以此为基础修正相关工艺设备参数并对孔型作进一步改进。

在进行连轧过程模拟仿真之前,需建立材料模拟仿真数据库,包括材料热物性参数,如弹性模量、比热、热膨胀系数、轧件和轧辊热传导系数以及变形抗力等<sup>[4]</sup>。根据实际生产的统计数据,将连轧开轧温度设定在950℃<sup>[4]</sup>。末架轧辊转速取值为11.76 r/mm。进连轧机组前中间坯料横断面的边长为200 mm,圆角为40 mm,面缩率为11.11%~11.66%,轧制速度 $v=332.5\sim 374.1$  mm/s,轧辊转速为10.00~11.76 r/mm,原始辊径为700~800 mm,辊缝为10~20 mm。

在MSC.Marc的前处理环境里,根据热力耦合大变形弹塑性有限元方法建立轧件和各机架轧辊等接触体的三维有限元模型,如图1所示。

在划分网格时选择八节点六面体单元,采用更新Lagrange算法、Prandtl-Reuss流动方程和Von Mises屈服准则等原理处理热连轧过程中轧件热力耦合大变形问题。轧辊作为刚性接触体,轧辊与轧件之间采用剪切摩擦模型,摩擦因子取0.7,材料泊松比取0.3<sup>[5]</sup>。

根据对称性,取1/4轧件作为分析对象,机架间距取250 mm。为了形成稳态轧制过程,开轧前轧件长度取840 mm,轧件沿长度方向取60等份,轧件横断面取47个单元,故共采用了2820个单元和3721个节点。

收稿日期 2002-03-27 洪慧平 男, 39岁, 讲师, 博士生

\* 国家自然科学基金资助课题(No.59995440)

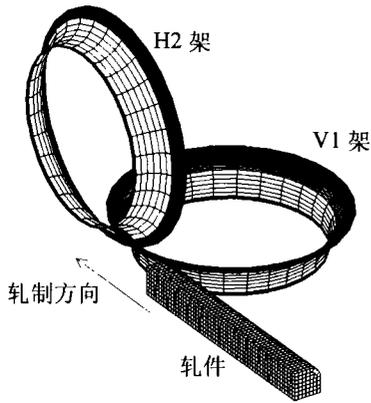


图1 二架连轧φ200 mm 圆钢有限元模型

Fig.1. FEM model of two-pass continuous rolling for φ200 mm

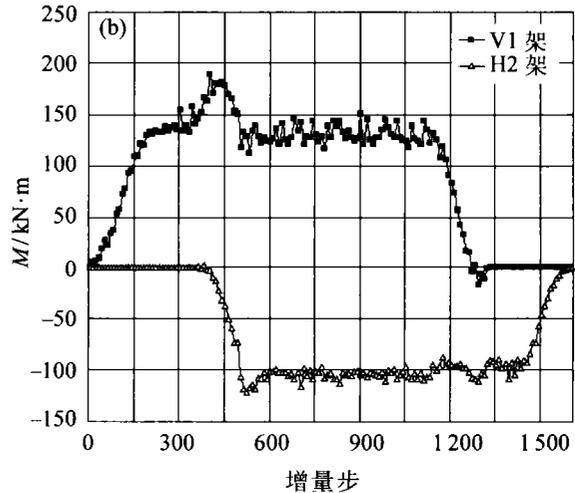
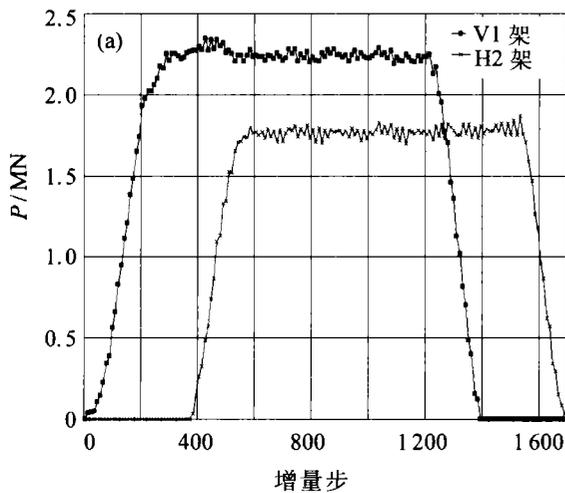


图2 二机架连轧φ200 mm 大圆钢力能参数变化曲线。(a)轧制力；(b)轧制力矩

Fig.2 Rolling force (a) and torque (b) diagrams of two-pass continuous rolling for φ200 mm round bars

表1 φ200 mm 圆钢二架连轧轧制力和力矩

Table 1 Maximum rolling force and torque of two-pass continuous rolling for φ200 mm round bars

孔型	轧制力P/MN	轧制力矩/kN·mm
V1 机架椭圆孔	4.700	377.8
H2 机架圆孔	3.744	244.0

表2 φ200 mm 圆钢二架连轧轧辊应力的计算结果

Table 2 Roll stresses of two-pass continuous rolling for φ200 mm round bar

孔型	MPa		
	辊身应力σ <sub>1</sub>	辊颈应力σ <sub>2</sub>	辊头应力σ <sub>3</sub>
V1 椭圆孔	81.60	66.88	61.90
H2 圆孔	70.13	50.90	41.30

### 3 结论

在准确建立材料数据库、模型库和相关边界条件、初始轧制条件的基础上，采用三维热力耦合弹塑性有限元分析模块，可以对热连轧时轧件

## 2 计算结果和讨论

根据模拟仿真结果可以得出二机架连轧过程各架轧制力、扭矩的动态变化值(见图2)及其最大值(见表1),以此为基础计算各机架轧辊(辊身、辊颈、辊头)危险断面处的应力(见表2),具体方法参见相关文献[6]. 由于采用有限元模拟得到的轧制力和力矩,轧辊应力的计算精度显然要远高于单纯用半经验的传统轧制力公式的计算结果. 计算的轧辊辊身、辊颈、辊头应力均低于轧辊许用应力,满足强度要求,因此按这种孔型系统方案组织生产可以满足轧辊安全条件.

的变形过程进行较为精确的分析计算,得出连轧过程轧制力和轧制力矩等重要力学参数的动态变化值和最大值,根据分析结果有针对性地去修正相关工艺参数,选择安全、合理、可行的孔型方案,达到减少甚至代替试轧的目的.

### 参 考 文 献

- 1 鹿守理. 计算机辅助孔型设计[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1992
- 2 王艳文, 康永林. 轧制方坯的三维弹塑性有限元研究 [M]. 钢铁, 2000, 35(2): 38
- 3 王艳文. 特殊钢棒线材热连轧过程三维热力耦合有限元模拟及实验研究[D]. 北京: 北京科技大学, 2000
- 4 冯长桃. H11 芯棒钢热轧、控冷工艺及组织性能研究 [D]. 北京: 北京科技大学, 2000
- 5 Metals Handbook, Volume III, 9th Ed [M]. Ohio: American Society for Metals, 1980
- 6 刘宝珩. 轧钢机械设备[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1984. 18

(下转第 49 页)

- ary phase in iron rare-earth boron magnets [J]. J Appl Phys, 1987, 61(8): 2993
- 5 解伟, 丁开鸿. 高性能钕铁硼粉末氧化和吸附行为动力学[J]. 稀土, 2000, 12: 6
- 6 车广灿, 梁敬魁, 王选章. Nd-Fe-B(B≤50%)三元系相图的研究 [J]. 中国科学 A, 1985, 10: 909
- 7 赵伯麟. 金属物理研究方法(第一分册)[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1981

## Preparation of Anisotropic NdFeB Powders by Crushing Sintered Magnet at High Temperatures (I)

JIA Junrong, QIANG Wenjiang, YOU Caihong

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

**ABSTRACT** In order to manufacture anisotropic magnet powders from sintered NdFeB magnet, the fracture behavior of sintered NdFeB magnet in the mechanical crush process at high temperatures was studied. The experimental results show that the sintered NdFeB magnet can be crushed to fine powders much more easily than that at room temperature as the crushing temperature is raised to above 600 °C, which results from eutectic formation of the minor liquid phase at the grain boundary area. The morphology of the crushed powders exhibits that the fracture at temperatures higher than the eutectic temperature tends to be intergranular instead of transgranular which occurs at lower temperatures. Through X-ray diffraction analysis the magnetic powders obtained by a crush process at higher temperatures shows much higher diffraction peaks of the Nd-rich phase.

**KEY WORDS** sintered magnet; magnet powders; fracture

\*\*\*\*\*

(上接第 45 页)

## Finite Element Analysis of Rolling Force and Torque during Hot Continuous Rolling of Hot Work Steel

HONG Huiping, KANG Yonglin

Material Science and Engineering School, School, University of Science and Technology Beijing, Beijing 10083, China

**ABSTRACT** The hot continuous rolling process for  $\phi 200$  mm round bars of a hot work steel is simulated by using the three-dimensional thermal-mechanical coupled elastoplastic finite element method. The changes in rolling force and torque during the rolling process are calculated precisely. As a result, the roll strength and profiles can be verified and/or modified, from which a more reliable roll pass schedule can be chosen.

**KEY WORDS** hot work steel; roll pass; finite element method; imulation