

试验研究

辊速不等的非对称轧制条件下变形区内的变形分析*

袁福顺,孙蓓泉

(北京科技大学 材料科学与工程学院,北京 100083)

摘要:采用三维大变形热-力耦合有限元法分析了辊速不等的非对称热轧板带变形区内轧件的变形情况,得到了不同辊速比条件下变形区内应力、应变和应变能量密度的分布规律。结果表明:在辊速比不同的非对称轧制条件下,会产生不同于普通压缩变形的附加剪切变形,而且这种附加剪切变形为组织细化提供了有利条件。

关键词:热轧;非对称轧制;辊速比;剪切应变;变形

中图分类号: TG335.11

文献标识码: A

文章编号: 1004-4620(2010)06-0025-03

1 前言

近十多年来,热连轧技术有了很大的发展。在轧制工艺上,日本最近发明了“异步轧制技术”,而国内对此研究很少^[1]。本研究采用三维大变形热-力耦合有限元法,着重从辊速不等的非对称轧制条件下对变形区的变形行为进行分析,得到了不同辊速比条件下变形区内应力、应变和应变能量密度的分布规律。

2 有限元模型及计算条件

2.1 基本假设和网格划分

有限元建模过程是为了满足有限元求解的要求而对实际模型的合理处理,通常要对实际模型进行一定的简化,但要求模型应能正确反映实际条件。本模拟计算以 $\Phi 1\ 600 \times 300$ 两辊可逆热轧机为基本轧制变形工具,其轧辊直径为 $\Phi 1\ 600$ mm,辊身长300 mm;轧件长45 mm,宽6 mm,厚度30 mm。网格划分成 $(45 \times 6 \times 30)8\ 100$ 个单元(共9 614个节点),每个单元的尺寸为 $1\ \text{mm} \times 1\ \text{mm} \times 1\ \text{mm}$,以保证计算精度。并采用如下假设^[2]:1)材料的材质均匀,各向同性。2)轧辊和辊道定义为刚性体,没有变形。3)轧件为可变形体,材料的物理性能参数(比热、导热系数、屈服强度、弹性模量、热膨胀系数)随温度变化。4)轧制接触摩擦过程采用库仑(Coulomb)摩擦模型描述。5)材料的屈服服从 Von Mises 屈服准则。6)塑性区内的行为,服从流动准则和硬化定律。

该模型综合考虑了各种影响因素,如重力边界条件和轧制速度等,是一个动态轧制模型,与实际轧制工况基本吻合。从 Marc 材料库中取材料 C15

的各种物性参数赋给轧件。

2.2 边界条件

轧件与环境间的换热主要是对流和热辐射,等效换热系数为对流换热系数与辐射换热系数之和。取轧件的初始温度为 $1\ 000\ ^\circ\text{C}$,环境温度为 $25\ ^\circ\text{C}$,材料热辐射率取0.8,斯蒂芬-玻尔兹曼常数为 $5.67\ \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$,计算得轧件与环境的等效换热系数为 $172\ \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 。轧件与除鳞水和冷却水对流换热的等效换热系数与水流密度及轧件表面温度有关,水的温度取 $20\ ^\circ\text{C}$,它们之间的对流换热系数取 $1\ 000\ \text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ 。轧件与轧辊之间的接触热传导系数受轧件材质、轧辊材质、轧制速度等多种因数的影响,实验测定为 $30\ \text{kW}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$,作为轧件与轧辊之间的接触热传导系数,轧辊温度为 $400\ ^\circ\text{C}$ 。对于大多数金属,其塑性变形功的95%可转化为热量,即热转化系数为0.95。

2.3 计算条件

在以上所述的条件下,上辊转速为 $2\ \text{rad/s}$,下辊转速分别置为 $2, 2.2, 2.4, 2.6, 2.8\ \text{rad/s}$,对应的速比*i*分别为 $1, 1.1, 1.2, 1.3, 1.4$;上下轧辊半径均为 $800\ \text{mm}$,压下率40%,摩擦系数0.3。其他条件不变。

3 模拟结果分析

本研究考察不同辊速比对变形的影响,则研究不同工况条件下相同的截面和节点即可。笔者将5 072、4 962、4 852这三个节点所在的截面1作为参考截面,具体位置见图1。

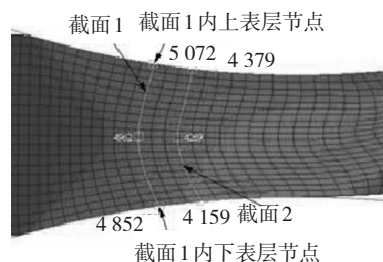


图1 截面和节点示意图

*“十一五”国家科技支撑计划基金项目(2006BAE03A06)。

收稿日期:2010-09-13

作者简介:袁福顺,男,1984年生,北京科技大学材料与工程学院材料加工专业2008级硕士研究生。

3.1 不同速比下的等效应力

图2为不同辊速比下截面1内节点的等效塑性应力沿轧件厚度方向的分布状态。可以看出,不同辊速比下的等效应力沿轧件厚度方向的分布基本一致。这证明,非对称轧制与对称轧制相比,其等效应力沿轧件厚度方向的分布相同,由于异步轧制附加剪应力的存在,剪应力为0的中性层偏离几何中性层导致等效应力沿厚度方向的分布是非对称曲线,这种影响甚微。这是因为在变形区内,轧件整个厚度方向都处于屈服状态,其等效应力就等于屈服应力^[3]。图3为截面1内中心节点及上下表层节点的等效应力随时间步的变化。可以看出:1)在轧制过程中,位于中心的节点的等效应力比上下表层节点的等效应力相对较小,原因是心部节点变形速度高,变形温度低,变形程度小,金属的变形抗力

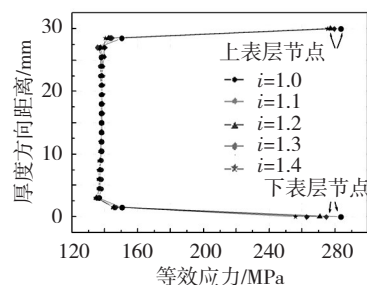


图2 等效应力沿厚度方向分布

低,造成中心节点变形抗力低,再者由于边界摩擦的存在,表层金属节点为三向受压状态,不利于塑性变形的发展,变形阻力大,所以边部节点的等效应力高。2)不同辊速比,相同位置节点的等效应力随时间变化状态基本重合,这说明不同辊速比的异步轧制与对称轧制对轧件节点等效应力的影响一致,与前者吻合。

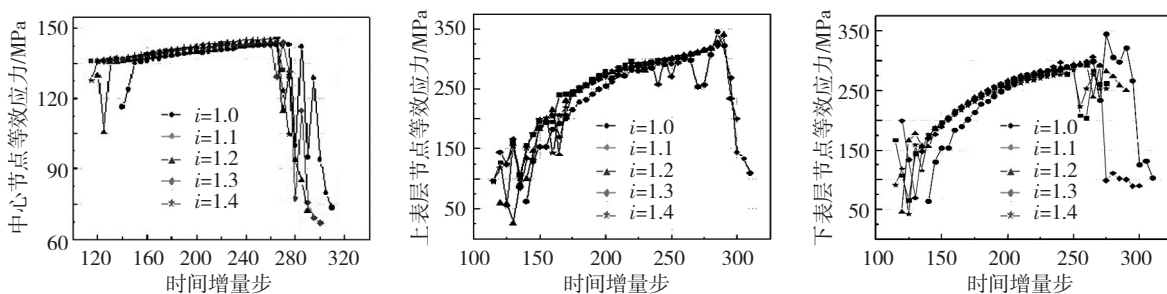


图3 中心节点及上下表层节点的等效应力随时间步的变化

3.2 不同速比下的等效应变

图4和图5分别为不同速比下截面1内节点的等效塑性应变沿厚向分布和沿时间步的变化,由于上下辊速不等,造成界面摩擦不同,可假定为 $\mu=f(v)$ 这导致轧件上下表面的金属变形程度随厚度的变化而变化,同时可以得出速比越大,等效应变沿厚度方向变化越大,则变形区内的附加剪切变形也越大,对组织的细化也更为有利^[4]。还可以看出,在对称轧制工况条件下,由于边界摩擦的存在,阻碍轧件表面塑性变形的发展,上下表面节点的等效塑性

应变由一定值沿厚度增加后再递减。这种情况由于辊速不对称异步轧制的存在,曲线两端分别向两侧移动(见图4)。下表面节点的等效应变大于上表面节点的等效塑性应变,原因在于小表面为快滚侧,快滚一侧的轧件变形程度大,金属流量多,并随着异速比的增大而增大。在下表面的节点,等效塑性应变随着辊速比的增加而增加,而在上表面的节点,等效塑性应变随着辊速比的增加而减少。这是因为压下量一定,快辊一侧的变形量大,则慢辊一侧就相应地减少的缘故。

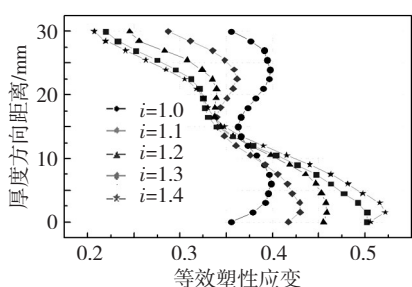


图4 等效塑性应变沿厚度方向分布

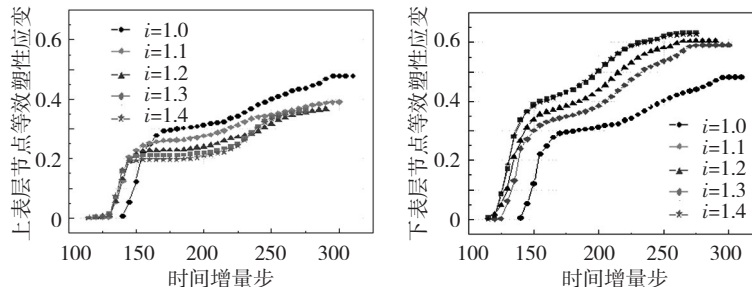


图5 上下两表层节点的等效塑性应变随时间步的变化

之增大。异步轧制条件下,从图5也可以看出,随轧制时间的延长,轧件上、下表面的等效塑性应变是不对称的,这与等效塑性应变沿轧件厚度方向的分布情况相吻合,进一步说明等效塑性应变的不对称程度是随辊速比的增加而增加的,而附加剪切变形也随

之增大。

3.3 不同速比下的塑性应变能量密度

图6为不同速比下截面1内节点的塑性应变能量密度沿厚度方向分布,图7为不同速比下截面1内上下两表层节点的塑性应变能量密度随时间步

的变化情况。从这两图中可以看出,能量密度和等效应变的分布规律一样,在厚度方向上和在轧制连续过程中都是轧辊速度大的下表层能量密度大于

轧辊速度小的上层。能量大的部位,相变和再结晶驱动力也大,晶粒有可能通过相变和再结晶达到细化^[5]。

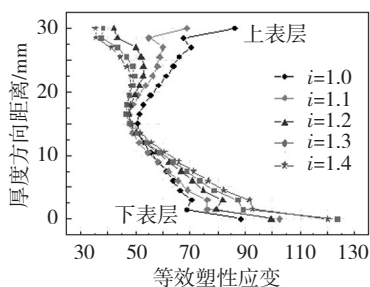


图6 节点的塑性应变能量密度沿厚度方向分布

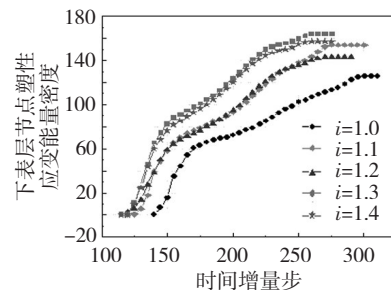
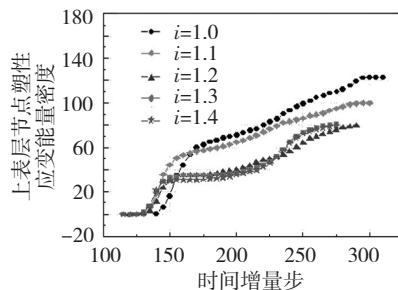


图7 上下两层节点的塑性应变能量密度随时间步的变化

4 结 语

两轧辊的辊速比不一致对轧件变形区内等效应力的影响不大,这与普通对称轧制情况基本一致,但会导致等效塑性应变在轧件厚度方向上不对称分布,因而产生附加剪切变形。而且辊速比越大,等效塑性应变沿轧件厚度方向分布的不对称程度越大,产生的附加剪切变形也越大。这种剪切变形为其组织细化提供了有利条件。不同速比下的等效塑性应变能量密度沿轧件厚度方向的分布与等效应变情况基本一致,辊速比的增加,等效塑性应变随之增大。等效塑性应变能大,相变和再结晶驱动力也大,晶粒有可能通过相变和再结晶达到

细化。

参考文献:

- [1] 孙一康.带钢热轧连轧数学模型基础[M].北京:冶金工业出版社,1979.
- [2] 陈火红.MARC有限元实例分析教程[M].北京:机械工业出版社,2002.
- [3] 机械工程材料性能数据手册编委会.机械工程材料性能数据手册[M].北京:机械工业出版社,1995.
- [4] 高木节雄.加工诱起マルテンサイトのオーステナイトへの逆変態と結晶粒超微細化機構[J].铁と钢,1994(80):529-535.
- [5] Kyung-Keun UM, Hyo-Tae JEONG, et al.Effect of Initial Sheet Thickness on Shear Deformation in Ferritic Rolling of IF-Steel Sheets[J].ISIJ International,2000,40(1):58-64.

Deformation Analysis in Deformation Zone during Asymmetric Rolling with Different Roller Speed Ratio

YUAN Fu-shun, SUN Ji-quan

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

Abstract: The 3D elastic-plastic thermo-mechanical coupled FEM for large strain was used to analyze metal deformation in the deformation zone for asymmetric rolling with different roller speed ratio. Then the distribution rules of stress, strain and strain energy density in different roller speed ratio were gained. The results showed that the additional shearing strain, which is different from the normal compressive deformation, was generated during asymmetric rolling. This additional shearing strain is beneficial to grain refinement.

Key words: hot roll; asymmetric rolling; roller speed ratio; shear strain; deformation

信息园地

热轧无缝钢管机组未来的发展趋势

1) 机组的新建和改造更趋于理性和专业化品种方向发展。随着钢管产能的过剩和竞争的日趋激烈,前些年盲目、攀比的投资趋势逐渐得到了改善,投资更趋向于专业化品种方向发展。2) 三辊连轧管机将成为连轧管机的发展趋势。3) 小口径($\Phi 180$ mm 以下)轧管机组在一段时期内将成为发展的主流。4) 大口径厚壁管机组的发展趋势。大口径三辊(ASEEL)轧管机,20世纪以来,大口径厚壁管的生产一直采用周期式轧管和顶管工艺; PFP工艺,该工艺是将传统的挤压和锻压工艺有机的结合起来,生产中厚壁、厚壁钢管,可以采用连铸坯、模铸坯

直接热加工成型,降低生产成本,降低能耗;采用离心浇注的毛坯生产钢管。20世纪90年代俄罗斯、乌克兰就已经开始研究并试验采用离心浇注的毛坯生产不锈钢管。5) 工艺控制软件和在线检/监测技术进一步发展。随着市场竞争更趋激烈以及用户对产品质量、服务的要求越来越高,企业精益化生产和管理的要求也越来越高。为了进一步提高产品质量、降低成本、提高生产效率,一些新的工艺软件和管理软件被开发出来。如为了满足高精度钢管轧制的需要,对钢管全长壁厚进行实时控制的工艺软件技术和配套的检测装置等。(庄钢)