

U75V 重轨钢 BD2 开坯过程有限元数值模拟和分析

陈 林 孙盛志

(内蒙古科技大学材料与冶金学院, 包头 014010)

摘 要 通过 ANSYS/LS-DYNA 非线性有限元软件对重轨钢 U75V ($\% : 0.70 \sim 0.78C, 0.50 \sim 0.70Si, 0.75 \sim 1.05Mn, \leq 0.025P, 0.008 \sim 0.025S, 0.04 \sim 0.08V$) 在 BD2 轧机于 1 200 °C 开坯 5 道次轧制过程进行了数值模拟, 分析了各道次稳定断面处等效应力、等效应变的分布情况。结果表明, 轧件头部、腰部和底部随每道次的变化其应力、应变分布存在差异; 稳定截面处轨头、轨腰和轨底各道次应力曲线的分析得出, 轨头应力变化最大, 最大值达 64.8 MPa, 提高重轨轨头的屈服强度有利于延长重轨寿命。

关键词 重轨钢 BD2 有限元 等效应力 等效应变 数值模拟

Finite Element Numerical-Simulation and Analysis on BD2 Blooming Process of Heavy Rail Steel U75V

Chen Lin and Sun Shengzhi

(Material and Metallurgy School, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou 014010)

Abstract The numerical-simulation on blooming and rolling process with 5 passes of BD2 mill at 1 200 °C for heavy rail steel U75V ($\% : 0.70 \sim 0.78C, 0.50 \sim 0.70Si, 0.75 \sim 1.05Mn, \leq 0.025P, 0.008 \sim 0.025S, 0.04 \sim 0.08V$) has been carried out by using nonlinear finite element software ANSYS/LS-DY, and the distribution of equivalent stress and equivalent strain at stable-section of rolling piece in each pass is analyzed. Results show that with change of each pass the distribution of stress and strain in head, waist and bottom of rolling piece is deferent; it is obtained by analysis on rail head, waist and bottom at stable-section of rolling piece that the change of stress in head is largest, its maximum value is up to 64.8 MPa, so increasing the yield strength of head of heavy rail is available to prolong the life of heavy rail.

Material Index Heavy Rail Steel, BD2, Finite Element, Equivalent Stress, Equivalent Strain, Numerical Simulation

重轨钢在轧制过程中, 材料的塑性变形规律、轧辊和轧件之间的摩擦现象, 材料中温度和微观组织的变化, 轧制过程中的轧件压下率、轧辊直径、轧制速度等因素的影响都是非常复杂的问题。通过研究轧制过程中的金属变形规律, 可以最大程度地接近生产实际, 为设备的设计和生产工艺提供准确的参考数据。由于钢轨的轧制涉及到金属的流动、温度场、应力场等场量的定量计算, 且轧制过程中前后横断面差别大, 形状复杂, 金属变形极不均匀, 所以传统的实验手段很难处理这类问题^[1]。随着大型通用有限元软件的开发, 有限元方法在轧制领域得到了越来越广泛的应用, 从而弥补了传统研究方法的不足, 为深入研究钢轨轧制过程中的变形问题提供了一种有效的研究手段^[2]。

本文采用显式动力学有限元软件 ANSYS/LS-DYNA, 模拟研究了钢轨轧制过程。

1 有限元模型的建立

1.1 建立几何模型

轧件与轧辊单元选取均采用适合轧制的 SOL-

ID164 单元来进行模拟。在模拟过程中, 模型的尺寸采用实际尺寸。

图 1(a) 和图 1(b) 分别表示 BD2 第 1 道次坯料断面及 D 孔建立的网格模型。

1.2 材料参数及边界条件

轧辊均定义成刚性体, 选择刚性材料模型, 其基本参数见表 1。

轧件材料根据包钢现场的实际钢种选用 U75V

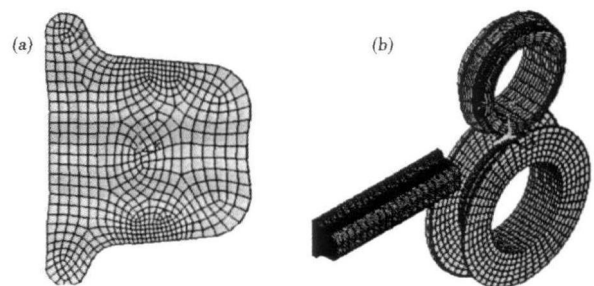


图 1 BD2 D 孔第 1 道次轧件断面 (a) 和 D 孔轧件与轧辊 (b) 网格划分

Fig.1 Grid meshing of rolling stock section (a) and rolling piece and roller (b), D groove in 1st pass, BD2

表1 轧辊材料和U75V重轨钢的物理参数

Table 1 Physical parameters of roller material and heavy rail steel U75V

材料	密度/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	杨氏模量/ MPa	泊松比
轧辊	7.9×10^3	2.0×10^5	0.29
U75V重轨钢 (1 200 °C)	7.8×10^3	1.03×10^4	0.332

表2 BD2轧机技术参数

Table 2 Technical parameters of BD2 mill

名义功率/ kW	轧辊直径/ mm	辊身长度/ mm	辊环直径/ mm	轧辊转速/($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)	
				基本	最大
3 500	850	2 300	1 150	75	150

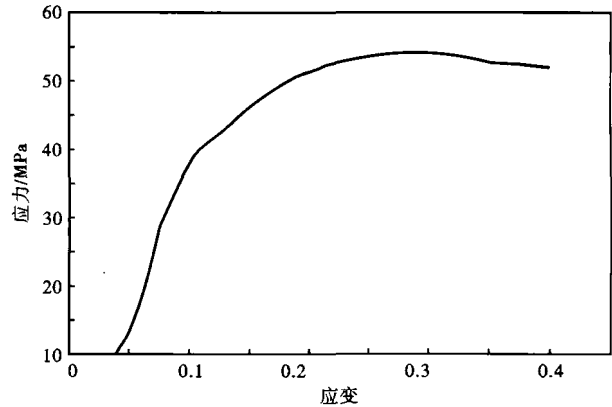


图2 U75V钢轨1 200 °C的应力-应变曲线

Fig.2 Curve of stress-strain of heavy rail steel U75V at 1 200 °C

重轨钢,钢轨的化学成分(%):0.70~0.78C、0.50~0.70Si、0.75~1.05Mn、 $\leq 0.025\text{P}$ 、0.008~0.025S、0.04~0.08V,材料模型选择弹塑性材料模型,由于开坯轧制温度在1 160~1 200 °C,故轧件的应力应变曲线选取的是1 200 °C状态下的应力应变曲线,其应力应变曲线如图2。同样,轧件的杨氏模量和泊松比是选取1 200 °C状态下的值,U75V重轨钢的基本参数见表1。BD2轧机的各参数见表2。

轧制过程是靠旋转的轧辊与轧件之间的摩擦力将轧件拖进辊缝之间,并使之受到压缩产生弹塑性变形的过程^[3]。在模拟过程中,整个轧制过程的实现是通过以下方式进行的:轧辊与轧件的接触面上的摩擦采用库仑摩擦规律,轧辊保持恒定转速转动,轧件以一定的初始速度向辊缝运动,咬入后靠轧辊与轧件之间的接触摩擦带动轧件,完成整个轧制过程。

2 模拟结果分析

2.1 BD2开坯轧制变形有限元模拟

在开坯轧制过程中,BD1孔型主要形成帽形截面,在BD2孔型中,帽形截面变形为轨形,主要的变形为轧腰切深轧制。BD2轧制中切深孔型变形量大,金属流动复杂,其应力和应变变化剧烈,如果能全面的掌握应力应变的变化规律,将为开坯轧制孔型设计及轧制规程制定提供一定理论依据。

在BD2开坯轧制的有限元模拟中,轧制规程为德国西马克公司提供,表3为BD2轧制规程。

2.2 BD2各道次断面等效应力分析

选择轧件中部轧制稳定段的一层单元,提取其

表3 BD2轧机5道次轧制规程

Table 3 5 passes rolling schedule of BD2 mill

道次	轧槽 No.	尺寸/ mm	工作 辊隙/ mm	面积/ mm^2	压下 量/%	长度/ m	工作 直径/ mm	速度/ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	轧制 时间/ s
1	1/D	120.0	42	32 800	6.4	25.4	706	2.0	13.6
2	1/D	91.0	13	29 057	11.4	28.7	706	2.5	12.5
3	2/C	69.5	13	24 692	15.0	33.7	735	2.8	13.2
4	3/B	54.0	13	20 394	17.4	40.9	757	3.0	14.9
5	4/A	43.0	13	17 970	11.9	46.4	772	3.2	15.9

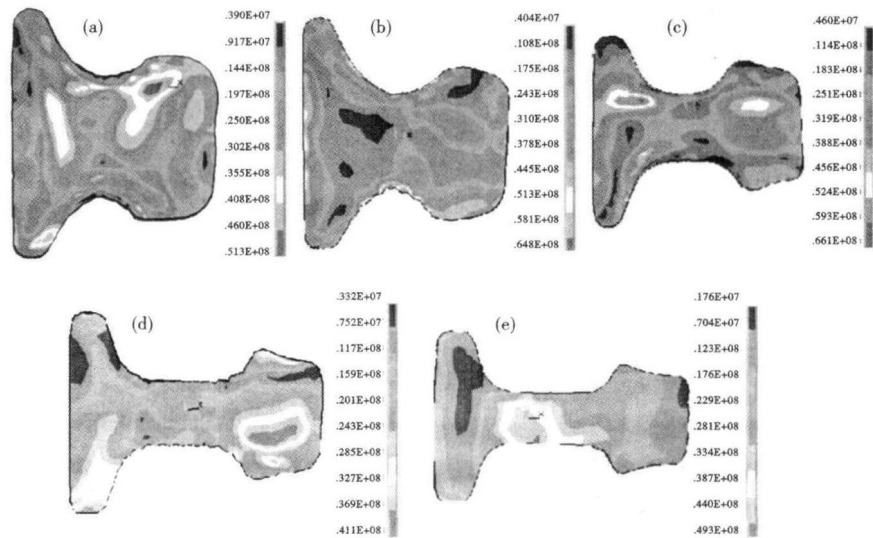


图3 BD2轧机第1(a),第2(b),第3(c),第4(d)和第5(e)道次轧件断面等效应力等值线图

Fig.3 Contour plot of equivalent stress at section of rolling piece in 1st (a), 2nd (b), 3rd (c), 4th (d) and 5th (e) pass, BD2 mill

等效应力。利用后处理器显示出各个道次的等效应力分布状态,如图 3 所示。

在钢轨轧制变形过程中,轧件中部大部分区域处于三向压应力状态,有利于保证较好的钢轨质量。从图 3 中可以看出,轧件上的各部分应力并不沿断面对称轴对称,如在第 2 道次 BD2-D 孔中轨底两侧等效应力分别为 46.8 MPa 和 19.6 MPa。主要是因为孔型为切深孔型,上下两轧辊辊径不同,并且轧辊为非等径轧辊,轧制接触处各点线速度不同,造成各点轧制速率不同,应力分布不同。最后一道时,孔型为上下对称孔型,此道次将前 4 道次切深孔型轧制的不对称轧件轧制为对称轧件,由于上道次的轨头不对称,轧制时必将产生等效应力的不对称性,如图 3, BD2-5 轨头两侧等效应力相差 10 MPa 左右。

2.3 BD2 各道次断面等效应变分析

图 4 为 BD2 各道次断面等效应变的等值线云图。

BD2 第 1 道次是切深孔型,其主要目的是对上一道次形成的帽形孔进行切深轧制^[4],应变主要出现在轨腰,等效应变最大值出现在轨腰下侧,最大值为 1.011,轨头和轨底压下较小,第 3 道次的应变主要集中在轨腰处,因为该切深孔型主要用于减小轨腰厚度和轨底的成型,等效应变最大值也多出现在轨腰处及轨底和轨腰交界处,最大值为 2.73,轨头和轨底应变最小约为 0.39。

BD2 第 4 道次进行轨腰高度方向和轨头的成形轧制,所以轧制时会控制轨头与轨腰及轨底与轨腰的变形,交界处变形较大,应变主要集中在轨腰,最大值在轨头和轨腰交界处,最大值为 1.245。等效应变最小值在轨底边部为 0.264, BD2 第 5 道次进行轧件对称性的修整,使轧件更好的进入下一道的万能轧制,经此道后轧件要得到较对称的形状,主要应变在轨头和轨腰,轨底宽度也进行改善,特别是在轨底端部有较大变形。最大值在轨头与轨腰连接处,约为 0.571。

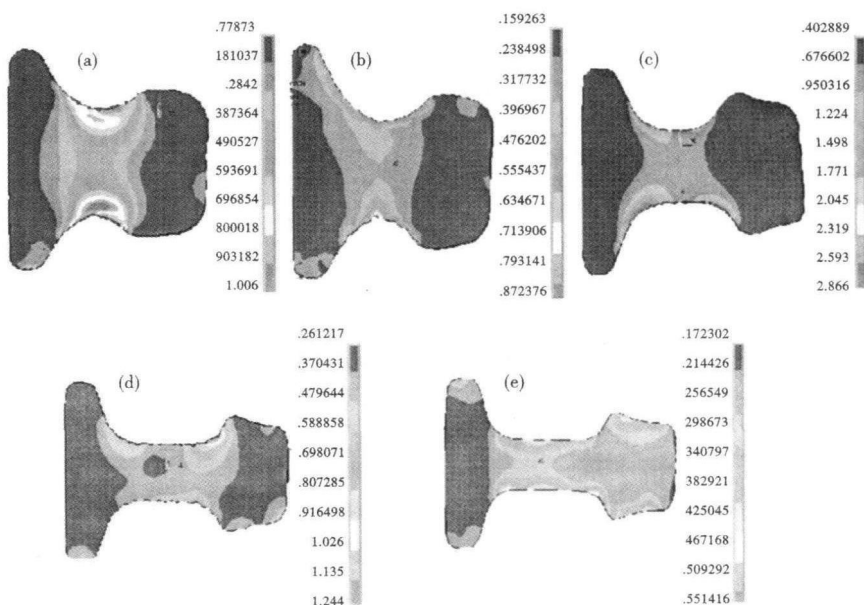


图 4 BD2 轧机第 1(a), 第 2(b), 第 3(c), 第 4(d) 和第 5(e) 道次轧件断面等效应变等值线云图

Fig. 4 Contour plot of equivalent strain at section of rolling piece in 1st (a), 2nd (b), 3rd (c), 4th (d) and 5th (e) pass, BD2 mill

3 结论

(1) 由于钢轨断面的不对称性,导致重轨的头、中和尾部各道次变形都不相同,制定合理的压下规程将有利于各道次轧件的表面质量。

(2) 对稳定截面处轨头、轨腰和轨底取各道次的应力曲线发现轨头应力变化较大,最大值达到了 64.8 MPa,提高重轨轨头的屈服极限有利于延长重轨寿命。

(3) 切深孔型的作用是对从 BD1 出来的帽形孔进行切深轧制,使轧件的轨腰更加接近钢轨的锥形。因此,如何设计更好的切深孔型还需做进一步研究。

参考文献

- 董永刚. 钢轨万能轧制过程理论与实验研究:[博士学位]. 秦皇岛:燕山大学,2007
- 杨建锋. 钢轨万能轧制规程优化及有限元模拟:[博士学位]. 秦皇岛:燕山大学,2010
- 许秀梅,张文志. 钢轨万能轧制过程的数值模拟. 塑性工程学报, 2005, 12(4):47
- 陈林,宗伟,田仲良,等. 重轨开坯轧制的有限元模拟、优化和应力分析. 特殊钢, 2008, 29(6):4

陈林(1963-),男,硕士,教授,1989年北京科技大学毕业,轧钢工艺技术和数值模拟。

收稿日期:2011-11-13