

重轨开坯轧制的有限元模拟、优化和应力分析

陈 林¹ 宗 伟¹ 田仲良¹ 高密超¹ 汝 静²

(1 内蒙古科技大学材料与冶金学院, 包头 014010; 2 中冶东方工程技术有限公司, 包头 014010)

摘 要 用 ANSYS/LS-DYNA 软件对 U75V 重轨钢 280 mm × 380 mm 铸坯开坯轧制重轨过程进行数值模拟, 优化切深孔 C 孔的孔型, 并分析优化前后开坯轧制重轨横截面的应力分布。结果表明, 经孔型优化, 降低了轧制过程重轨的等效应力, 中轴线等效应力状态得到改善, 原始孔型应力波动范围为 9 ~ 44 MPa, 优化孔型为 8 ~ 30 MPa, 中轴线纵向最大应力由原来的 41.4 MPa 降至 21.1 MPa。

关键词 有限元模拟 重轨 开坯 切深孔 孔型优化

Finite Element Simulation, Optimization and Stress Analysis on Blooming and Rolling Heavy Rail

Chen Lin¹, Zong Wei¹, Tian Zhongliang¹, Gao Michao¹ and Ru Jing²

(1 Material and Metallurgy School, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou 014010;
2 Zhongye Dongfang Engineering and Research Corp, Baotou 014010)

Abstract Numerical simulation on blooming and rolling process for U75V steel heavy rail with 280 mm × 380 mm cast bloom has been carried out by ANSYS/LS-DYNA software to optimize C pass of knifing pass and analyze on stress distribution of cross section of blooming heavy rail before and after optimization. Results show that with pass optimization, the equivalent stress of heavy rail during rolling decreases, the equivalent stress status of middle axle is improved, the fluctuation range of stress for original pass is 9 ~ 44 MPa and that for optimized pass is 8 ~ 30 MPa, and the middle axle vertical maximum stress decreases to 21.1 MPa from 41.4 MPa with original pass.

Material Index Finite Element Simulation, Heavy Rail, Blooming, Knifing Pass, Pass Optimization

包钢 100 m 长尺钢轨改造工程项目已经正式进入生产阶段。轧制钢轨的连铸坯断面尺寸 (mm) 为 280 × 380, 在钢轨轧制变形中有 3 个关键的成型过程, 即腿部劈分、腰部切深和头部底部的压缩。本研究用 ANSYS/LS-DYNA 软件对 U75V 钢重轨 BD2 (breakdown mill2) 开坯轧制机组中的切深孔型 D 和 C 孔型进行模拟, 提出优化方案, 并进行前后对比。

1 弹塑性有限元模拟的模型建立

1.1 模型的主要几何和物理参数

重轨的轧制过程是材料非线性、几何非线性和

边界条件非线性问题, 物体变形运动描述采用修正的拉格朗日法, 即 Updated Lagrange 描述^[1]。

以钢轨开坯机 BD1 轧制完成的帽型为轧制模型, 钢轨在 BD2 切深孔型中为不对称变形, 模型采用全尺寸模型。轧辊直径依据现场为 0.85 m, 轧辊材料模型选用刚体, 轧辊材料密度 $7.9 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, 杨氏模量 $3.0 \times 10^5 \text{ MPa}$, 泊松比 0.29。

材料模型选择塑性材料模型。利用学校实验室 Gleeble-1500 热模拟机测得 U75V 在 1 200 °C 时材料的杨氏模量 $1.03 \times 10^4 \text{ MPa}$ 、泊松比 0.332 及应力-

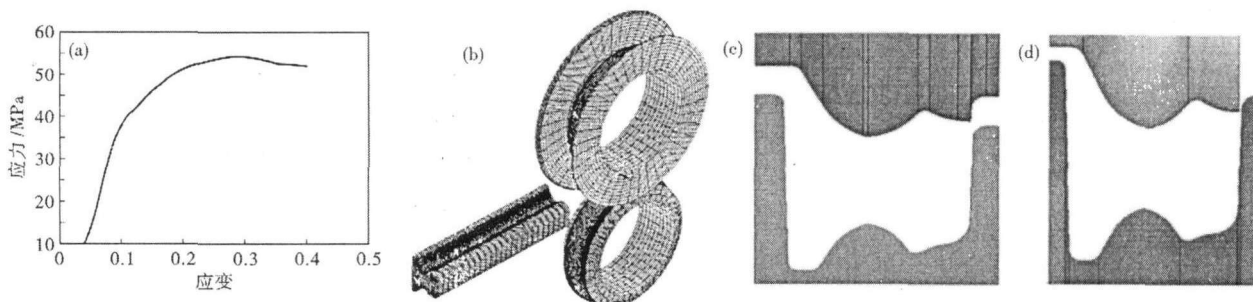


图 1 (a) 塑性应变与材料的单轴硬化关系; (b) 模型及网格划分; (c) 原始和 (d) 优化孔型的 3 维有限元模拟

Fig. 1 (a) relation between plastic strain and material single axle hardening; (b) model and meshing; (c) 3-D finite element model of original pass and (d) optimized pass

应变曲线(图1a)。

1.2 模型边界条件及约束

在1 200 ℃时轧辊和轧件的静动摩擦系数分别为0.48和0.36;轧辊的转速在3个道次的轧制中分别为54.10、67.63和72.76(r/min);钢轨的初速度为1 m/s,以使钢轨被轧辊咬入。图1(b)为BD2第3道次即C孔轧制的模型及网格划分情况。

1.3 孔型及其优化

原始孔型由德国SMS公司提供,通过对原始孔型的优化,主要修改了切深轧辊接触面积,修改了圆弧半径大小,改变了钢轨高度方向尺寸,腰部压下量进行了修改(表1)。图1(c,d)是第1个道次D孔模拟时建立的孔型外形。

表1 原始和优化轧制参数

Table 1 Rolling parameters with original pass and optimized pass

孔型 编号	腰厚/mm		腰厚变化量/ mm		轧制速度/ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	转速/ ($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)	轧制时间/ s
	原始	优化	原始	优化			
1/D	120	115	72	77	2	54.10	13.6
1/D	91	91	29	24	2.5	67.63	12.5
2/C	69.5	59.5	21.5	31.5	2.8	72.76	13.2

2 计算结果及分析

2.1 等效应力分析

计算时间设定为2 s,通过计算得到模拟结果,选取钢轨中部轧制稳定阶段的一层单元,在结果中选取轧制过程结束后的结果步,显示并提取其等效

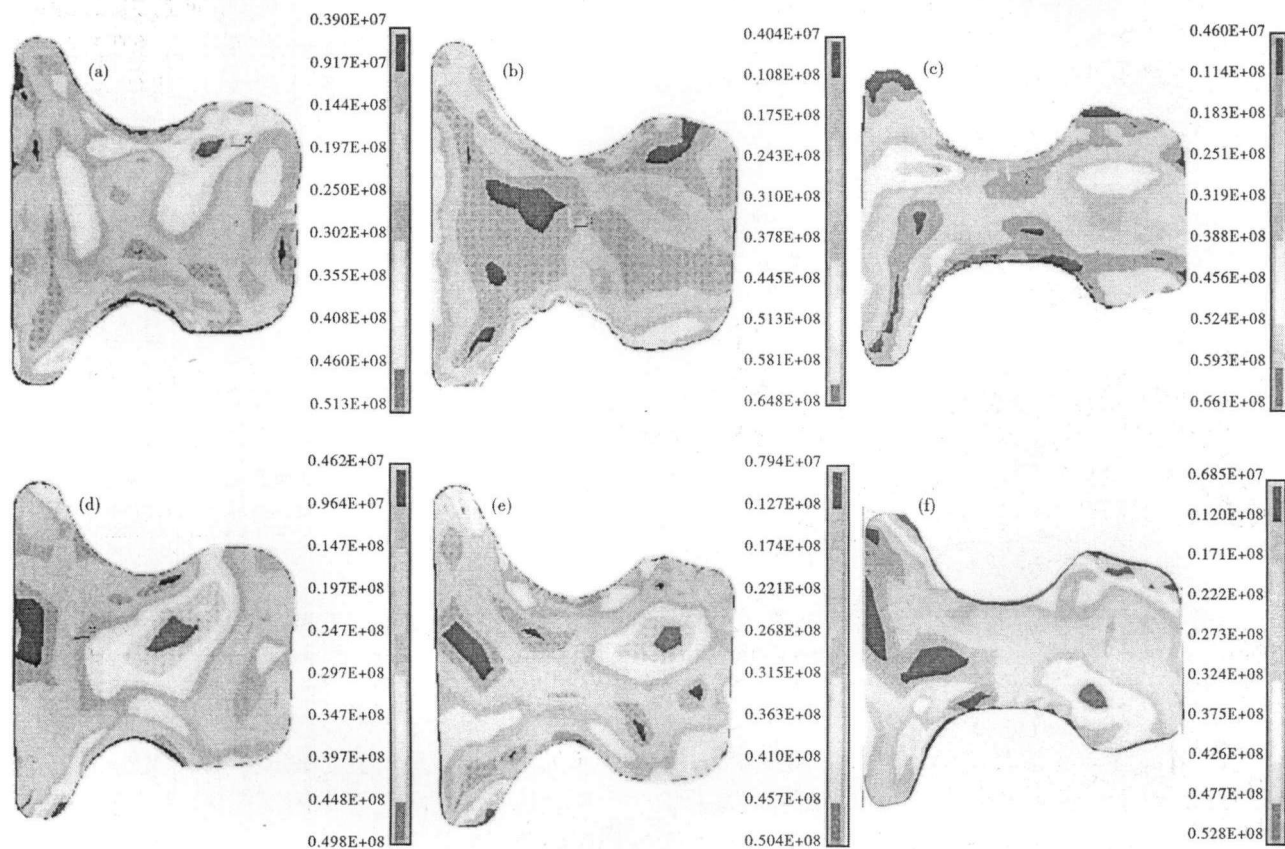


图2 原始孔型(a,b,c)和优化孔型(d,e,f)轧制应力等值线图

Fig. 2 Equivalent stress contour plot for rolling with original pass (a, b, c) and optimized pass (d, e, f)

应力值。图2为原始孔型(a,b,c)和优化孔型(d,e,f)轧制应力等值线图。

由表2可见,利用优化后的孔型及规程轧制后,等效应力分布状态有了明显的改善。

选取第3道次C孔轧制后高度方向上中轴的等效应力值,绘制成曲线(图3)。由图3可见,在高度

方向中轴线的等效应力有了明显的改善,优化后的应力波动范围在8~30 MPa,而原始孔型在9~44 MPa;优化后的应力波动较小,起伏明显比原始孔型小。

2.2 底部纵向应力分析

EN(欧洲标准)钢轨标准规定轨底最大纵向残余拉应力应 $\leq 250 \text{ MPa}$ ^[2]。通过 ANSYS/LS-DYNA

表 2 原始孔型和优化孔型 3 个道次等效应力值的比较 / MPa

Table 2 Comparison of equivalent stress at 3 passes between original pass and optimized pass / MPa

道次		原始孔型	优化孔型
1	最小值	3.90	4.62
	最大值	51.30	49.80
2	最小值	4.04	7.94
	最大值	64.80	50.40
3	最小值	4.60	6.85
	最大值	66.10	52.80

处理器提取结果,图 4(a,b)是轧制完成后轧件横截面纵向应力等值线云图。由图 4(a,b)可见,在原始孔型轧制过程中,纵向应力最大值(55.6 MPa)出现在轨底偏上;而通过优化后的孔型进行轧制后,纵向的应力最大值(51.8 MPa)在头部。优化后的应力分布中,应力较大的部位集中在头部,远离了腿部危险区域,因为在产品中,腿部是最容易由于纵向应力产生裂纹的区域。

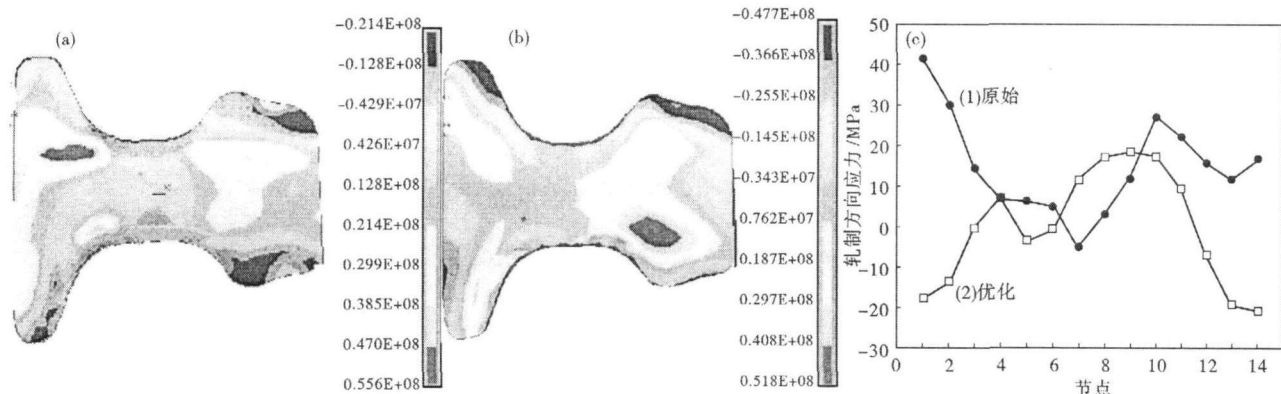


图 4 原始(a)与优化(b)轧制后纵向应力等值云图比较;(c)原始孔型(1)与优化(2)轧制后中轴线纵向应力值比较

Fig. 4 Comparison of longitudinal stress contour plot between (a) original pass and (b) optimized pass; (c) comparison of longitudinal stress value of axle contour plot between original pass (1) and optimized pass (2)

18.3 MPa(无须考虑其正负值)。在原始孔型中的应力最大值为 41.4 MPa,出现在钢轨底部,最小应力值出现在腰部为 -4.89 MPa;优化后孔型最大值出现在腰部为 18.2 MPa;最小值出现在头部为 -21.1 MPa。

3 结论

(1)通过对孔型很小的改进优化,可以降低轧制过程中重轨的等效应力,中轴线等效应力状态改善,优化后的应力波动范围在 8~30 MPa,而原始孔型为 9~44 MPa,可降低成品的残余应力。

(2)通过孔型优化,钢轨纵向应力降低,在原始孔型中的应力最大值为底部的 41.4 MPa(绝对值),

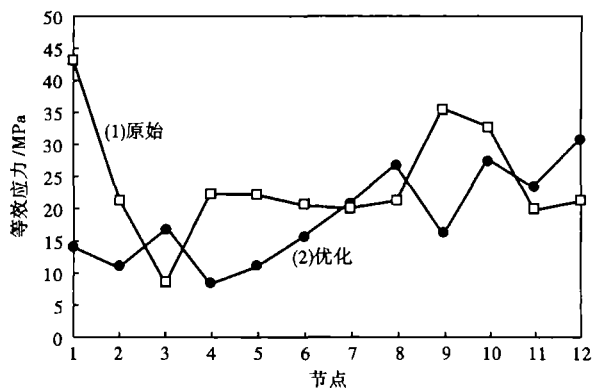


图 3 C 孔轧制后高度方向中轴等效应力值:(1)原始;(2)优化

Fig. 3 Vertical equivalent stress contour plot of middle axle after C pass: (1) original pass; (2) optimized pass

提取钢轨中轴线上节点的纵向应力值,绘制成曲线,如图 4(c)。由图 4(c)可见,原始孔型轧制后的钢轨底部纵向应力值比较大,达到 41.4 MPa;而利用优化后的孔型轧制出的钢轨底部纵向应力仅

而优化后孔型最大值在头部为 21.1 MPa(绝对值),特别是腿部纵向应力降低,可以降低成品底部出现裂纹的几率。

包头市 2006 年重大科技攻关项目(2006Z1006)

参考文献

- 1 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
- 2 詹新伟,周清跃. 钢轨轨底残余应力限定值的研究. 铁道技术监督, 2000(12): 9

陈 林(1963-),男,教授,硕士生导师,1989 年北京科技大学毕业,材料加工数值模拟轧钢工艺新技术。

收稿日期:2008-05-12