

钢板桩轧制过程充型模拟及轧制力有限元分析

李浩进 杭乃勤 孙志亮 喻 威

(武汉科技大学材料与冶金学院, 武汉 430081)

摘 要 采用二辊可逆式轧机和万能轧机组轧制钢板桩(γ : 0.12 ~ 0.22C, 0.15 ~ 0.55Si, 0.80 ~ 1.50Mn)。通过热模拟试验得出该钢在 980 ~ 1 030 °C、变形速率 0.5 ~ 5.0 s⁻¹ 时的应力-应变曲线。借助 ABAQUS 软件, 采用弹塑性有限元法对钢板桩轧制过程进行了三维热力耦合模拟。针对生产中出现的轧机过载问题, 分析了轧制过程各道次的轧制力, 通过改变相关道次孔型辊缝改善了充型和降低轧制力。

关键词 钢板桩 弹塑性 轧机过载 热力耦合 有限元法

Simulation of Groove Filling in Sheet Piling Rolling Process and Finite Element Analysis on Rolling Load

Li Haojin, Hang Naiqin, Sun Zhiliang and Yu Wei

(College of Materials Science and Metallurgical Engineering, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081)

Abstract The sheet piling (γ : 0.12 ~ 0.22C, 0.15 ~ 0.55Si, 0.80 ~ 1.50Mn) is rolled by two-high reversing mills and universal tandem reversing mill. The stress-strain curves of the steel of sheet piling with strain rate 0.5 ~ 5.0 s⁻¹ at 980 ~ 1 030 °C are obtained by thermal simulation test, and the three dimensional thermo-mechanical coupling simulation on sheet piling in rolling process has been carried out by using elastic-plasticity finite element method and software ABAQUS. In view of occurring mill overload situation in rolling process, the rolling load in each pass in rolling process is analyzed, and the groove filling improves and the rolling load decreases by changing relative passes roll gap.

Material Index Sheet piling, Elastic-Plasticity, Mill Overload, Thermo-Mechanical Coupling, Finite Element Method

钢板桩作为一种节能环保型钢材, 在国外已得到广泛使用, 但目前国内仍处于开发试生产阶段^[1-7]。由于钢板桩的轧制变形过程复杂, 试生产中往往出现孔型欠充满或过充满, 主电机过载跳闸等现象。利用有限元数值分析技术计算孔型轧制变形过程, 有助于缩短开发周期, 降低试轧成本。

1 钢板桩试轧条件

钢厂生产钢板桩的连铸坯尺寸为 320 mm × 480 mm。材料化学成分为(γ : 0.12 ~ 0.22C, 0.15 ~ 0.55Si, 0.80 ~ 1.50Mn)。通过热模拟实验得到该材料在不同的温度和变形速率下的流动应力曲线, 如图 1 所示。

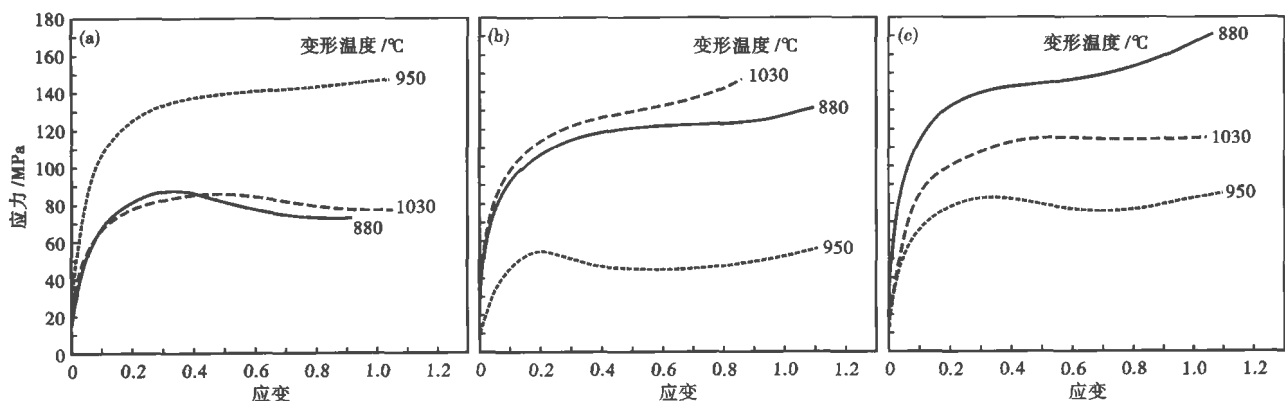


图 1 钢板桩的应力应变曲线; 变形速率/s⁻¹ - (a) 0.5; (b) 1.0; (c) 5.0

Fig. 1 Stress-strain curves of steel of sheet piling; strain rate/s⁻¹ - (a) 0.5; (b) 1.0; and (c) 5.0

通讯作者: 杭乃勤, 教授, 武汉科技大学材料与冶金学院, 武汉 430081

现场生产采用万能轧制法生产钢板桩, BD1、BD2 为二辊可逆式轧机, 来料分别通过 BD1 和 BD2 轧制成型后, 进入万能轧机组, 多道次轧制轧成最终

成品。其中, 箱式孔型 K 轧制 3 个道次, 箱式孔型 J 轧制 2 个道次, 其它异形孔型各轧制 1 个道次, 钢板桩一共轧制 14 个道次。K~A 系统图如图 2 所示。

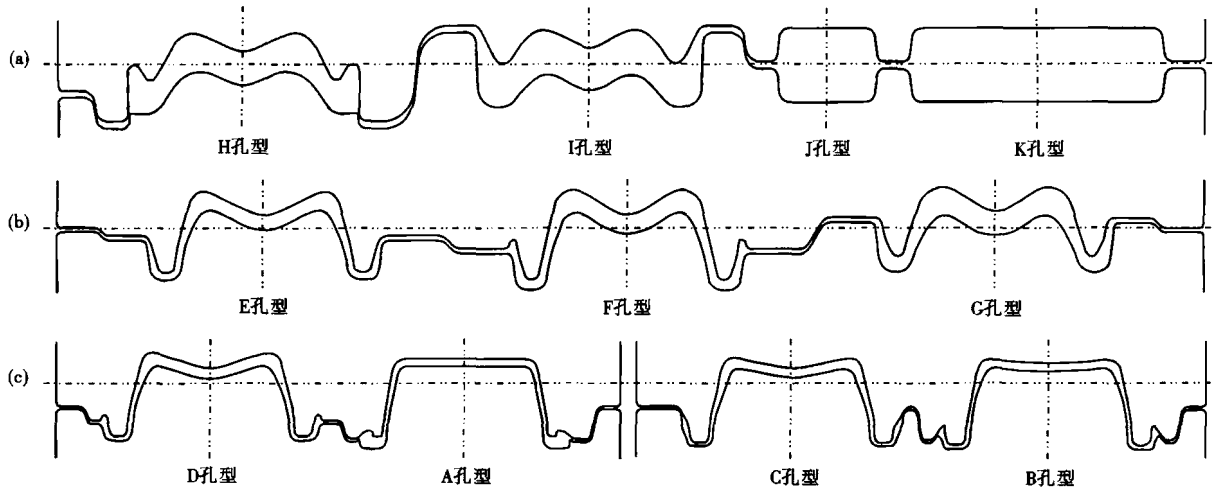


图 2 轧机孔型配辊图: (a)BD1; (b)BD2; (c) 万能轧机
Fig. 2 Schematics of roll pass outline of mill BD1 (a), BD2 (b) and universal tandem reversing mill (c)

BD1 与 BD2 都是可逆式轧机, 轧辊辊身长度为 2 300 mm, 轧辊中心距最大 1 120 mm, 最大轧制力为 8 000 kN, 在生产过程中, 轧件在 H 孔型和 E 孔型中轧制时, 轧制力很大, 接近甚至超过 BD1 与 BD2 的最大轧制力, 导致电机跳闸, 生产中断。

2 有限元模型的建立

模型的假设条件为: (1) 轧件为变形体, 材料的物理性能参数随时间的变化而变化, 比热容、导热系数等是随温度变化的。轧件的材质均匀, 为各向同性, 温度分布均匀; (2) 为了简化计算步骤, 节约计算时间, 将轧辊定义为刚体; (3) 轧制接触摩擦过程采用库仑摩擦模型; 材料遵循 Von Mises 屈服准则; 塑性变形区内的行为服从流动准则。

本文主要考虑在异形孔型中的充型情况, 进行每一道次模拟时, 分别取该道次的孔型参数通过旋转建立为轧辊几何模型。根据连铸坯的实际尺寸, 建立来料的三维模型。在上一道次轧件稳定变形部位取一截面, 然后拉伸建立实体模型, 作为下一道次来料。有限元模型取其中一个道次如图 3 所示, 其他孔型模拟的模型类似。

轧辊为刚体, 不需要设置材料属性, 主要对轧件设置材料属性。在热力耦合计算中, 导热率和比热容均为温度的函数, 为了保证计算结果的精度和准确性, 必须考虑这种温度的相关性(图 4)。

在模拟过程中, 轧件与轧辊之间采用常系数库

仑摩擦条件, 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。对轧辊部件的参考点施加 X、Y、Z 方向的约束, 同时施加绕 X 轴旋转方向的约束, 绕 Y 轴旋转方向的约束。

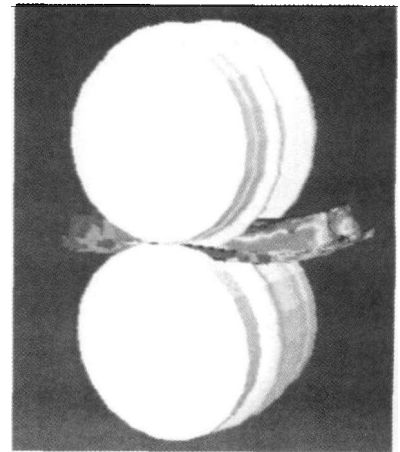


图 3 三维有限元模型图
Fig. 3 Schematic of 3-dimensional finite element model

轧制过程的传热方式主要由 3 部分组成: 由于辐射引起的轧件在各道次之间的热损失、轧制过程中的变形热以及与轧辊接触时轧件向轧辊的传热。轧件处于空气中, 与周围的环境以两种方式进行热交换: (1) 轧件与空气的自然对流换热; (2) 轧件与周围的辐射换热。在仿真计算时将轧件外表面作第 3 类边界条件处理, 考虑对流换热系数和辐射换热系数。本论文中周围环境温度设为 25 ℃。模拟过程中, 轧辊的初始温度设为 60 ℃, 轧件初始温度值

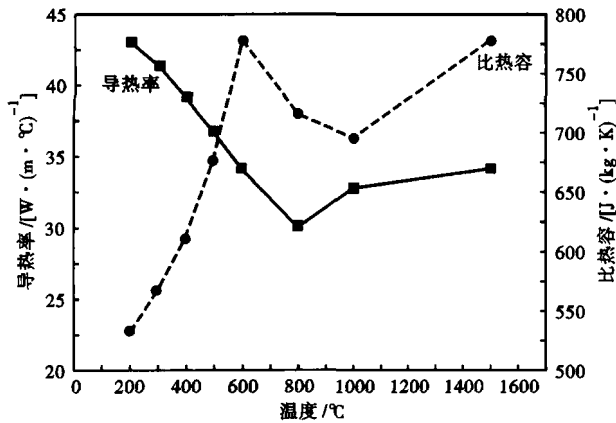


图 4 轧件的导热系数与比热容曲线

Fig.4 Curves of coefficient of heat conductivity and specific heat capacity of stock

取1 200 °C,然后每道次轧制后轧件的平均温度值作为下道次轧件的初始温度。对于大多数金属,其塑性变形功的 90%可转化为热量,即热功转换系数为 0.9;轧件与轧辊有相对滑动,故有摩擦生热转换系数,本模型中取值 0.35。

3 模拟结果及分析

3.1 轧制过程中的充型情况

鉴于 H 孔型和 E 孔型中轧制时轧制力较大,本文重点关注异型孔型 I~D 的填充情况,对每个异型孔型进行模拟,截取各孔型稳定轧制时的填充图见图 5。

从图 5 中可知,H、E 孔型轧制中充型过满,G 孔

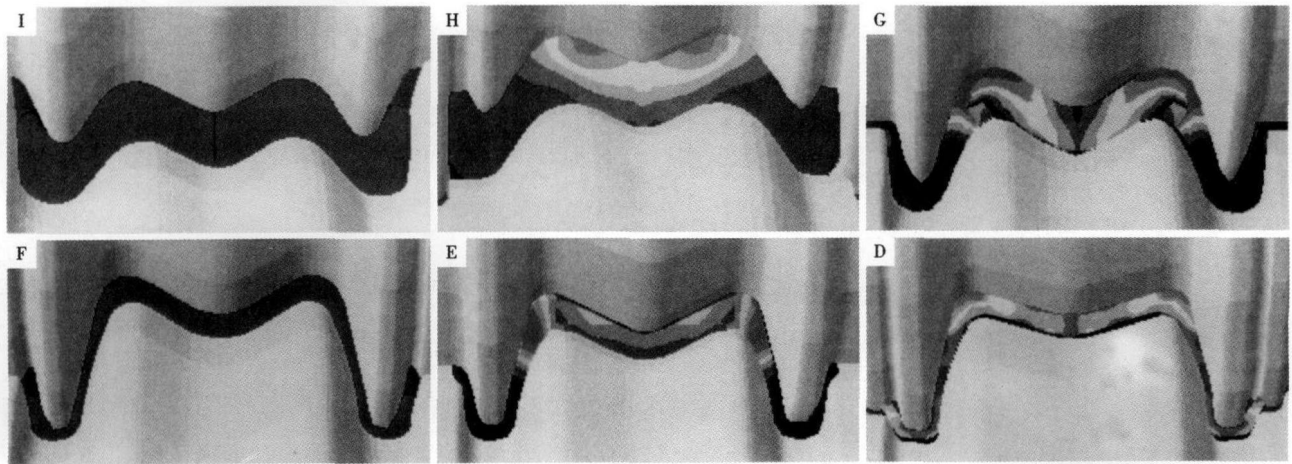


图 5 改进前 I~D 孔型稳定轧制充型图

Fig.5 Schematics of groove filling of I pass ~ D pass during stable rolling process before improvement

型在轧制过程中充型较好,I、F 孔型轧制中充型欠缺。在 I、H、E、F 处的充型问题会影响到后续轧制的顺利进行及最后成品的尺寸。可以考虑改变压下量来改善这种充型情况。

3.2 轧制力分析

经过对 I~D 每一道次模拟计算得到轧制力见图 6。图 6 轧制力曲线图显示,在每一道次的轧制过程中,随着轧件逐渐咬入,轧制力逐渐增大,完全咬入后进入稳定轧制状态,轧制力较平稳,波动较小,随着轧件慢慢脱离轧辊,轧制力也逐渐降低。可以看出,H、E 孔型稳定轧制时平均轧制力是高于其它道次。

该厂型钢轧机 BD1、BD2 及万能轧机的最大轧制力为 8 000 kN,H、E 孔型最大轧制力分别为 8 155、7 603 kN,非常接近轧机的最大轧制力,很容易导致停机跳闸。可以减小 H 孔型压下量,分配一部分压

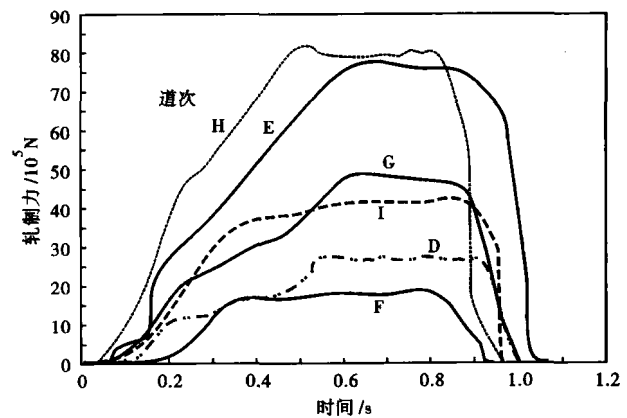


图 6 改进前 I~D 道次轧制力曲线

Fig.6 Curves of rolling load of I pass ~ D pass before improvement

下量到 I 孔型,减小 E 孔型压下量,分配一部分压下量到 F 孔型,以降低轧制压力,保证生产的顺利进

行。而这一点正好与控制充型的措施相一致。

3.3 轧制工艺改进

通过改变 I、H、G、F、E 的辊缝以改善充型和降低轧制力,经过多次有限元计算,对比每次改变后的充型情况和轧制力的大小,最终确定当 I 孔型辊缝减小 9.8 mm, H 孔型辊缝增加 9.8 mm, G 孔型辊缝减小 2 mm, F 孔型辊缝减小 12.6 mm, E 孔型辊缝增

加 13 mm 时,充型和轧制力情况较符合要求。调整辊缝后的充型图如图 7,各道次最大轧制力见图 8。

图 7、图 8 表明,经过调整轧制工艺后,I、H、F、E 充型较好,没有出现充型过满或缺的问题。H、E 道次的轧制力降低到安全范围内,均在安全的轧制范围内。从 I 孔型一直轧到 D 孔型,各道次充型均较好,轧制力大小也均符合电机工作要求。

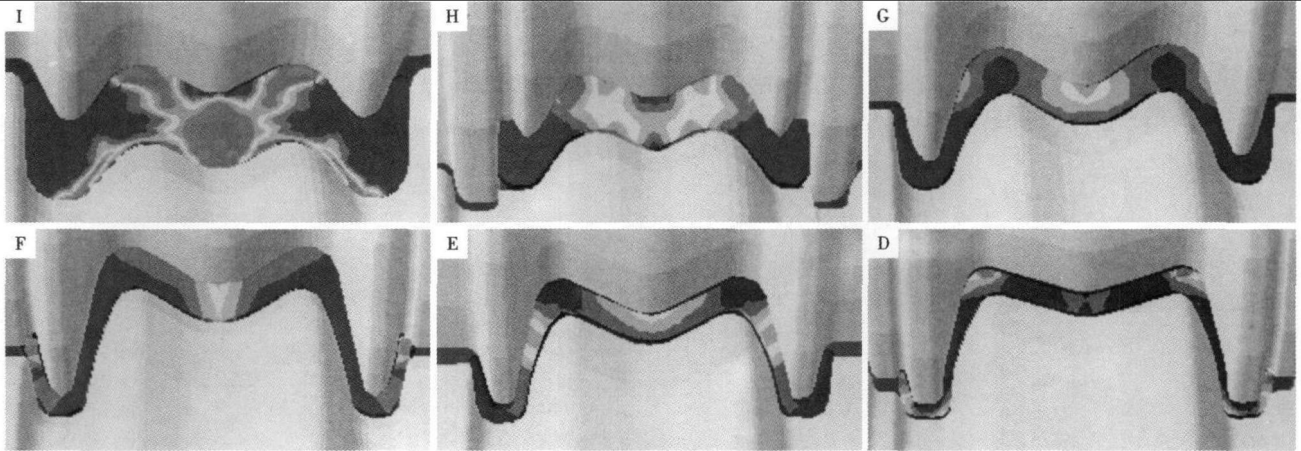


图 7 改进后 I ~ D 孔型稳定轧制充型图

Fig. 7 Schematic of groove filling of I pass ~ D pass during stable rolling process after improvement

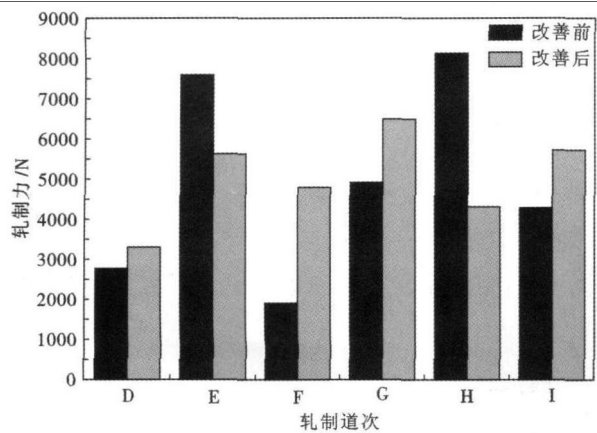


图 8 改进前后各道次的最大轧制力

Fig. 8 Maximum rolling force of each pass before and after improvement

4 结论

(1)采用有限元软件 ABAQUS 模拟钢板桩各道次轧制过程,直观的分析各个异型孔型充型情况并找出轧制压力过大的轧制道次,模拟结果与现场故障情况相符。

(2)通过分析轧制过程中的充型及轧制力,结合现场轧机的实际情况,通过减小 H 孔型的压下量,分配一部分压下量到 I 孔型,减小 E 孔型的压下

量,并采取增加 F 孔型的压下量的措施,来改善孔型的充型情况和降低轧制压力,给现场试轧钢板桩,优化钢板桩轧制工艺提供理论依据。

参考文献

- 1 Byfield M P, Crawford R J. Oblique Bending in U-section Steel Sheet Piles. Structures and Buildings, 2003, 156(3): 255
- 2 Byfield M P, Mawer R W. Analysis of Reduced Modulus Action in U-section Steel Sheet Pile. Journal of Constructional Steel Research, 2004, 60(3-5): 401
- 3 Crawford R J, Byfield M P. A Numerical Model for Predicting the Bending Strength of Larssen Steel Sheet Piles. Journal of Constructional Steel Research, 2002, 58(10): 1361
- 4 任安超,周桂峰,吉玉,等. 热轧钢板桩的发展和前景. 特殊钢, 2009, 30(1): 22
- 5 林炳宏. 钢板桩支护在深基坑开挖中的应用. 建筑与工程, 2007, 16(3): 113
- 6 刘传达. AZ26 型钢板桩的应用. 建筑技术开发, 2003, 30(10): 64
- 7 孙愚男. 钢板桩在泵站基坑支护中的应用. 沿海企业与科技, 2010(2): 115

李浩进(1987-),男,硕士研究生,2009年武汉科技大学毕业,塑性成形工艺优化和计算机模拟。

收稿日期:2011-06-19