

● 试验与研究

ERW 直缝焊管排辊成型过程 模拟与试验研究

王仕杰¹, 吴云卿², 陈宝华³, 杨鹏², 双远华⁴

(1. 西安重型机械研究所, 西安 710032;

2. 青岛昊坤重型机械技术有限公司, 山东 青岛 266001;

3. 辽阳大泽钢管有限公司, 辽宁 辽阳 111000;

4. 太原科技大学 材料科学与工程学院, 太原 030024)

摘要: 采用大型非线性有限元软件 Marc 对 ERW 直缝焊管的排辊成型过程进行了模拟, 获得了管坯各截面形状和管坯应变场分布。分析了带材成型过程中的变形情况与试验的对比以及应变的分布规律, 为 ERW 焊管机组的孔型设计及排辊调整提供理论依据。

关键词: ERW 直缝焊管; 排辊成型; 有限元; 模拟

中图分类号: TG335.75 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3938(2007)06-0024-04

0 引言

在众多 ERW 焊管成型工艺中, 排辊成型工艺 (cage forming process) 以其生产能力大、生产成本低、设备重量轻、轧辊共用性强、投资少等诸多优点备受人们关注^[1-2]。日本学者木内学, 根据半解析法提出了利用形函数 $s(x) = \sin \frac{\rho}{2} \left(\frac{x}{l} \right)^n$ 来描述两个机架间管坯的构形^[3]; 小野田等人长期研究焊管成型的有限元模拟问题, 他们使用刚塑性有限元分析分别对焊管管坯在开口孔型和闭口孔型中的变形进行研究, 得到了管坯处于开口孔型和闭口孔型时的网格划分及边界条件^[4]。国内学者刘才、周瑛和韩志武分别在将基于全量 Lagrangian 法的小变形有限元法和基于 Updated-lagrangian 法的大变形有限元法应用到排辊成型过程分析方面, 做了大量工作^[5]。

随着 ERW 直缝焊管机组国产化设计的深入发展, 2006 年 5 月由青岛昊坤重型机械技术有限公司为辽阳大泽钢管有限公司设计制造的 ERW 610 直缝焊管机组顺利投产。本文针对该机组采用大型非线性有限元软件 Marc, 使用动态显式弹塑性有限元法, 对厚度为 10 mm 的钢带成型为

φ508 mm 直缝焊管的排辊成型过程进行了模拟, 为 ERW 直缝焊管机组成型工艺的进一步国产化设计提供理论依据。

1 排辊成型机理

ERW 直缝焊管的排辊成型过程如图 1 所示, 板带在进入排辊成型段以前首先经历了预成型机架, 使板带形成了一定半径的圆弧管坯, 从而能较顺利地进入排辊成型段。进入排辊成型段后, 管坯内部有 4 对水平辊驱动管坯前进, 两侧由一系列被动排辊对组成一个笼子, 预成型管坯从中经过。通过调整排辊依照变形花 (如图 2 所示) 迫使板带在前进的同时渐进变形, 在穿过排辊笼子的过程中均匀地成型为开口管坯。所以, 大部分的变形是在排辊成型段通过一系列离散的排辊和水平辊以及辅助成型的内衬辊来完成。

2 排辊成型过程模拟

2.1 几何模型的简化和建立

对实际成型过程中的某个瞬间而言, 板带在经过每个排辊处产生局部变形, 整个板带上的应

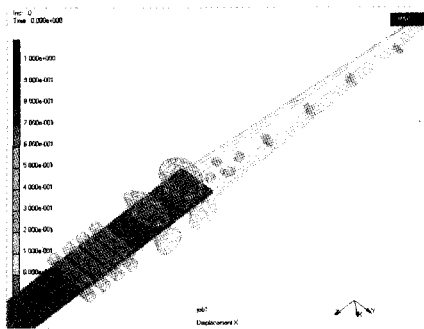


图1 直缝焊管排辊成型有限元模型

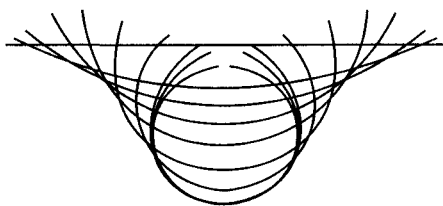


图2 直缝焊管排辊成型变形花

力分布是离散的,而不是连续的。但就其整个成型过程,板带的变形是连续的,是由有限个局部变形形成了整个的连续变形,其原理是用有限(离散)实现了无限(连续)^[6]。因此,如果排辊成型段采用连续的孔型模拟其成型过程,所获得的参数应该是最佳的工艺参数。

为了获得最佳的工艺参数,在模拟过程中采用了连续的排辊成型直纹曲面来代替离散的排辊面,使成型过程中的应力分布更加均匀。为此,这里采用了具有连续孔型的两段直纹曲面来代替两侧离散的排辊。为了使成型更加理想,确定尺寸从 $R760 \sim R280$ mm 连续过渡,尺寸的确定主要是依据板带的成型半径。

为了给板带提供足够的动力,在预成型架之前加入3架递送辊,并且排辊成型段的底辊也为主动辊。同时,根据实际的生产过程,先将板带穿过预成型机架,然后将机架的上辊逐渐压下,使得辊缝的大小等于板带的厚度,再启动成型机。

模型中确定的工艺参数见表1。板带为变形体,采用3D Shell 四边形单元。轧辊采用刚体,不考虑变形。

表1 模型工艺参数

板宽/ mm	板长/ mm	递送机 辊径/mm	预1架辊径 (上/下)/mm	预2架辊径 (上/下)/mm	板带速度/ (mm/s)
1 580	16 000	440	1 670/1 680	1 070/1 080	100

2.2 模型材料特性定义

板带材料采用Q235,屈服强度为235 MPa,弹性模量 $E = 2.06 \times 10^5$ MPa,泊松比 $\nu = 0.30$,密度 $\rho = 7.8 \times 10^{-6}$ kg/mm³。

2.3 边界条件的确定

为了保证板带在前进过程中不偏离中心线,对板带施加边界条件约束,使得板带中心线上的节点只沿着板带运动方向(z 向)和上下运动方向(x 向)产生位移,左右偏移的方向上位移为0。

2.4 模型接触条件定义

该模型中涉及的接触体比较多(27个),从开始的板带推进装置,经过递送辊、预成型辊、排辊成型面、内排辊以及底辊等一系列的接触体。板带与经过的所有辊子均为接触。模型中采用库仑摩擦模型^[7-8],板带与所有轧辊间的摩擦系数均假定为0.2,与推进启动装置的摩擦系数为0.02。模型中轧辊都绕其自身的轴线旋转,旋转速度均在接触体中定义,保证各处的线速度为轧制速度,采用无张力轧制。

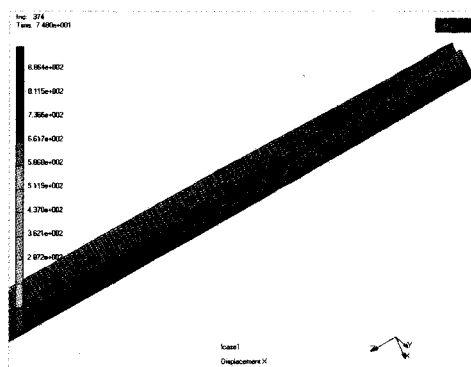


图3 模拟成型后的管坯形状

3 模拟结果与试验的分析比较

3.1 管坯变形情况的对比分析

从图3可以看出,排辊成型段结束时,即将进入精成型的开口管坯形状为一个顶部开口的“O”形,而管坯边缘呈直线状态,减少了局部成型区同样长度上钢带非接触区与弹复区边缘的运动轨迹,钢带边缘没有出现“鼓包”“边浪”等缺陷。在分别距递送辊前方2 610 mm,4 070 mm,6 330 mm,8 255 mm,9 455 mm和10 735 mm处,选择各个截面的变形情况,通过试验测得管坯形状与理

论模拟得到的数据对比如图 4 所示(该部分不涉及下山量)。

从图 4(a)和图 4(b)的板形数据可以看出,在经过预成型机架后,板带发生明显回弹,板带中心到边缘之间的过渡近似于线性。图 4(c)和图 4(d)的图形显示,管坯底部呈现较好的圆弧形状,而边缘部分较平直,这也使得管坯边缘的变形

过渡比较缓慢,有利于保持管坯边缘的自然变形,避免边缘缺陷的产生,体现了直缘排辊成型的特点。从图 4(e)可以看出,板带边缘的变形逐渐加大,所以在调整排辊时应注意将排辊调整到位,减少伸出排辊的板带宽度,使板带边缘变形比较充分,否则将加大后续机架的成型任务,使得变形分配不均。

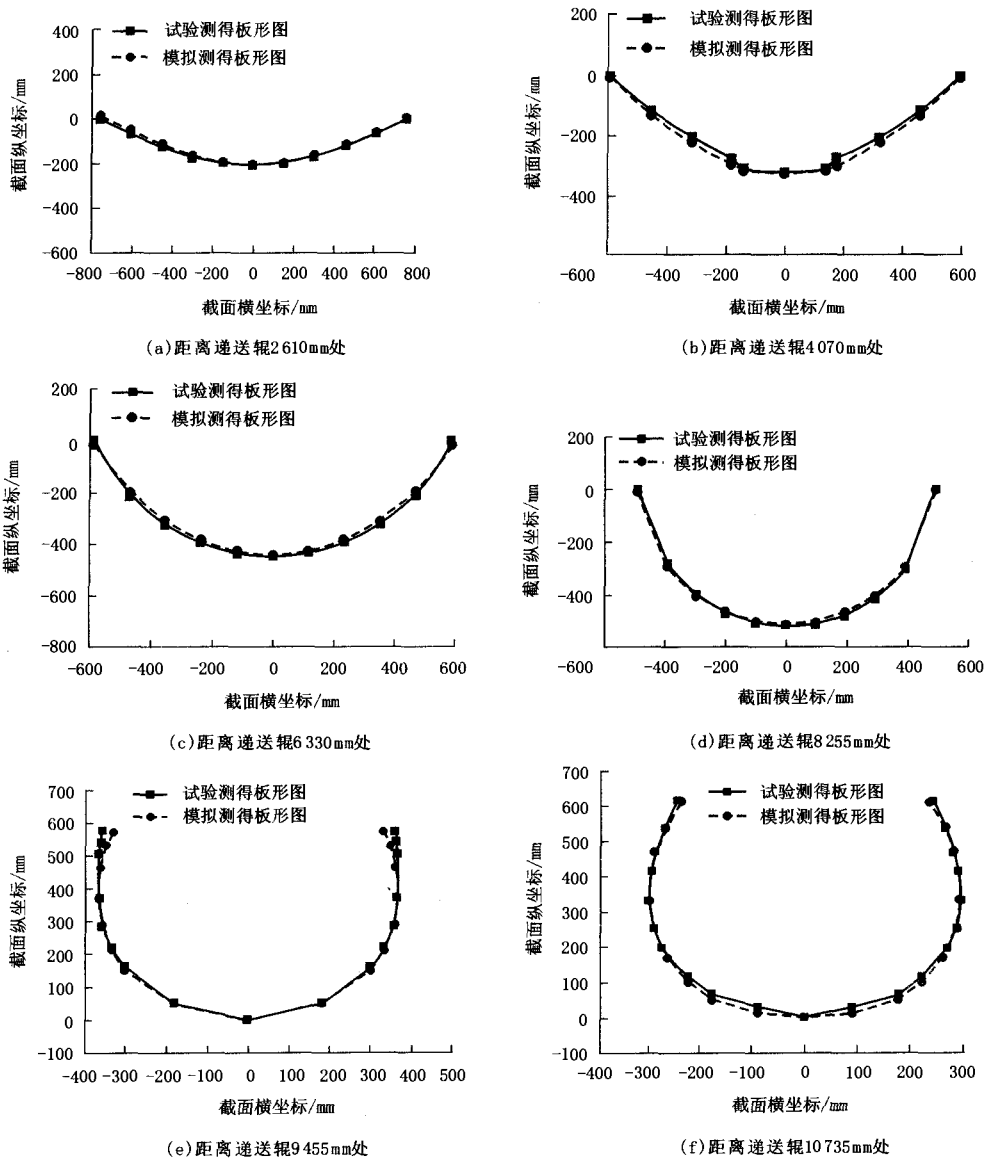


图 4 管坯截面形状图

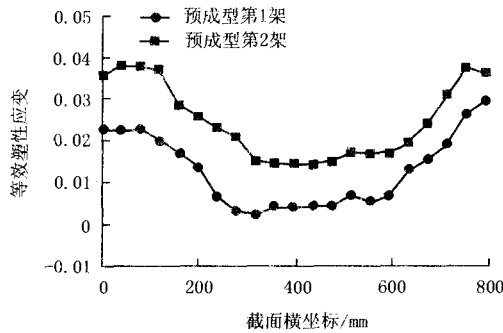
3.2 管坯应变分布分析

由图 5 可见,等效塑性应变值从板带中心到边缘逐渐减小,而在边缘处又出现增大的趋势。在预成型第 1 架截面处,板带边缘处的等效塑性应变值大于板带中心处。在预成型第 2 架截面

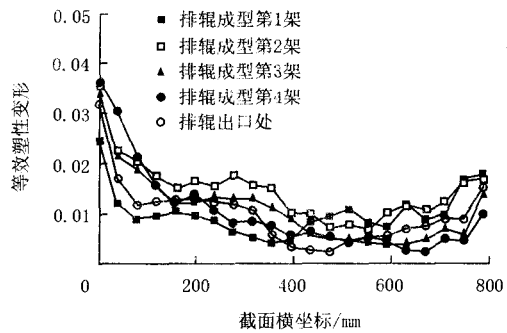
处,板带边缘和中心处的值比较接近,但在排辊成型段的截面中,边缘的应变值小于中心应变值,边缘应变值比中心应变值减小 50% 左右。沿管坯纵向的等效塑性应变值的分布如图 6 所示,管坯边缘处的应变值从递送机逐渐增大,在进入排辊

成型段以后相对保持稳定。而管坯中心处的应变值则随变形量的增大逐渐变大。由于排辊成型段

采用了连续成型面来逼近管坯的自然成型,使得管坯的边缘和中心应变较小。



(a)预成型机架



(b)排辊成型机架

图5 管坯截面等效塑性应变图

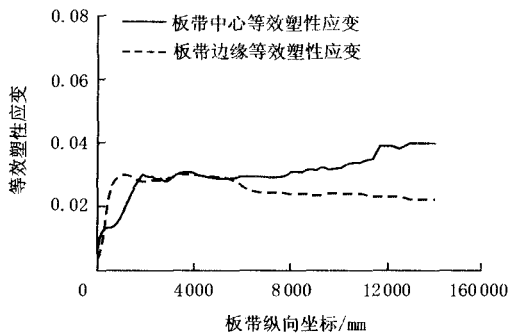


图6 沿管坯纵向等效塑性应变分布

4 结论

(1)通过对管坯形状的模拟和试验情况的对比,验证了ERW直缝焊管排辊成型有限元分析模型的合理性和可靠性。

(2)通过对大直径ERW直缝焊管排辊成型的有限元模拟,可以清晰看到管坯成型的整个过程,得到管坯各个截面的变形情况,从而预测管坯缺陷的发生,为成型过程中的辊型设计和实际生产中的轧辊调整等生产工艺的制定提供参考。

(3)模拟结果表明,直缘排辊成型中排辊成型段管坯边缘的等效塑性应变值约为管坯中心处

的一半,避免了管坯边缘“边浪”和“鼓包”等缺陷的产生。

参考文献:

[1]冯世功.排辊成型(Cage Roll Forming Process)[J].焊管,1994,17(6):55-57.

[2]李国栋,张浩.大中口径直缝焊管的排辊成型工艺[J].钢管,2002,31(2):43-49.

[3]KIUCHI M. Analytical Study on Cold Roll Forming Process[D]. Report of the Ints. of Ind. Sci., No. 23, University of Tokyo, 1973.

[4]孙占刚,韩志凌.焊管成型过程研究综述[J].承德民族职业技术学院学报,2004(1):87-89.

[5]韩志武,刘才,任露泉,等.有限元法模拟直缝焊管成型过程[J].金属学报,2000,36(11):1219-1222.

[6]陈慧琴,冯少鹏,双远华.四层卷焊管成型过程的模拟研究[J].机械工程学报,2004,40(10):161-164.

[7]陈火红. Marc 有限元实例分析教程[M].北京:机械工业出版社,2002:342-364.

[8]阚前华,常志宇. MSC. Marc 工程应用实例分析与二次开发[M].北京:中国水利水电出版社,2005:145-150.

作者简介:王仕杰(1982-),男,研究生,主要研究方向为钢管生产及自动化。

收稿日期:2007-04-29

=====
欢迎访问《焊管》期刊网站:www.hgqks.com