

文章编号:1673-5005(2010)04-0123-04

高频直缝焊管成型过程仿真分析

孙宝福, 金有海

(中国石油大学 机电工程学院, 山东 东营 257061)

摘要:分析直缝焊管的成型力,在给定带材的机械性能、成型管坯尺寸、辊型配置前提下,对成型阶段焊管金属变形状况进行计算机模拟和仿真,得出了直缝焊管在成型各阶段的应力分布。结果表明:高频直缝电阻焊钢管成型过程可分为 3 个阶段,前两阶段和最后一个阶段轧制力不同;成型过程中,各道轧辊咬入时板料受到较大的应力和应变,之后应力、应变均匀;应力的分布是从中间到两端逐渐减小的。

关键词:焊接; 钢管; 应力分布; 仿真

中图分类号:TE 951.02 **文献标志码:**A doi:10.3969/j.issn.1673-5005.2010.04.024

Simulation analysis of shaping process of high frequency longitudinal electric resistance welded pipe

SUN Bao-fu, JIN You-hai

(College of Electromechanical Engineering in China University of Petroleum, Dongying 257061, China)

Abstract: Under the conditions of given mechanical properties of the pipe material, size of the pipe blank, configuration of the rollers, the deformation of the pipe blank in shaping was simulated and the stress distributions in different shaping stages were obtained. The results show that the shaping process can be divided into 3 stages, and the rolling forces of stage 1 and stage 2 are different from that of stage 3. The stress and strain are large at the beginning of the plate entering the roller, and then become uniform. The distribution of the stress gets smaller from middle to the two ends.

Key words: welding; steel pipe; stress distribution; simulation

高频直缝电阻焊(ERW)钢管是将热轧卷板经过成型机成型后,利用高频电流的集肤效应和邻近效应,使管坯边缘迅速加热到焊接温度后在挤压辊的作用下进行压力焊接生产的^[1]。与无缝钢管相比,直缝电阻焊管具有生产效率高、尺寸精度高、力学性能好等优点。目前我国石油行业的 ERW 焊管主要用于输送管和套管两部分。在工业发达国家,已经用 ERW 套管取代了 J55, N80, L80 以及 P110 钢级的无缝钢管并有日益扩大的趋势,而我国 ERW 套管仅限于 J55 钢级、N80 级套管,处于试制阶段。国产的 ERW 钢管产品质量不稳定,主要原因在于成型、焊接工艺参数不是很合理。对高频直缝焊管的成型过程进行仿真,有助于掌握焊管的成型过程以及焊接参数,使焊接参数达到最佳,从而确保焊管的质量。笔者分析直缝焊管的成型力,并对成型阶段焊管金属变形状况进行模

拟仿真,得出直缝焊管在成型各阶段的应力分布。

1 直缝焊管成型力的计算

ERW 钢管成型过程大致可分为 3 个阶段:初(粗)成型段、中间过渡成型阶段、精成型阶段。

1.1 初、中间过渡成型轧制力的计算

带钢初成型水平轧机中的变形情况如图 1 所示。成型力为

$$F=0.072\sigma Bt^2 \frac{\sin(B/(2\rho))}{\mu} \left(\frac{4}{r} + \frac{1}{r_1} + \frac{\sin(B/(2\rho))}{r_2} \right), \quad (1)$$

其中

$$r \cong \rho - t/2, \quad r_2 = \rho(1 - \cos(B/(2\rho))) + r_3,$$

式中, F 为成型力, N; σ 为带钢的最大屈服极限, kg/mm²; B 为带钢宽度, mm; t 为带钢厚度, mm; μ 为带钢与轧辊间的摩擦系数; r 为带钢中性层的曲率半

收稿日期:2009-12-03

作者简介:孙宝福(1962-),男(汉族),天津宁河人,教授级高级工程师,博士研究生,主要从事石油装备研究和管理工。

径,mm; ρ 为带钢的曲率半径,mm; r_1, r_2, r_3 分别为凸轧辊的最大旋转半径、管坯边缘的旋转半径、轧辊的最小半径,mm。

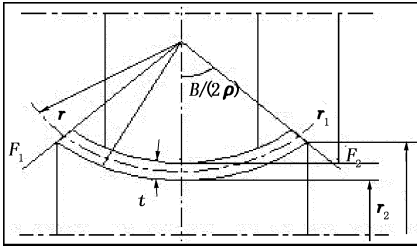


图 1 初成型水平轧机中的变形

Fig. 1 Deformation of primary moulding roller

1.2 精成型轧制力的计算

所谓精成型轧制力即管坯在导向环辊水平轧机变形时的成型力。在导向环辊中管坯的孔型及受轧辊作用力如图 2 所示。

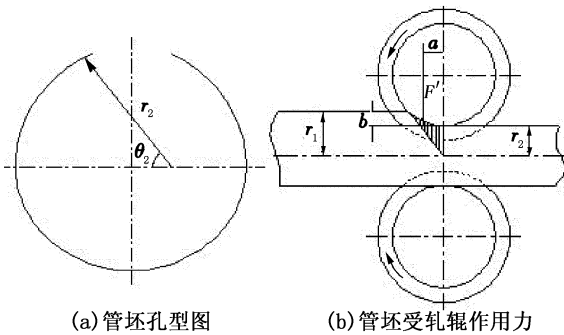


图 2 精成型管坯孔型和受轧辊作用力图

Fig. 2 Hole shape of fine shaping pipe and force on fine shaping pipe

轧制力 F' 为

$$F' = 2\sigma t \varphi \sqrt{R_{\min}(r_1 \sin \theta_1 - r_2 \sin \theta_2)} + \alpha \sigma t^2.$$

式中, α 为力臂,mm; φ, θ_1 分别为轧辊的安装角,钢板的一次成型角,(°)。

2 成型过程仿真

2.1 轧辊模型的建立

ERW 管成型过程经历 8 架成型辊,共 21 个轧辊。在成型过程中,板带在常温、低速条件下发生变形,并且轧辊的刚性远远大于板带的刚性,所以轧辊可设置为刚性体。刚性体内所有节点的自由度都耦合到刚性体的质心上。因此,刚性体不论定义了多少节点都只有 6 个自由度。刚性体的质量、质心和惯性距都可以由刚性体的体积和单元密度计算得到。作用在刚性体上的力和力矩由每个时间步的节点力和力矩合成,计算刚体的运动,再转换到节点位移。

刚性轧辊采用 SOLID164 单元体划分网格。

SOLID164 是用于三维的现实结构实体单元,由 8 节点构成,每个节点具有 9 个自由度。对成型辊进行单元定义和网格划分时,每一组单元属性由相应的单元类型和材料模型组成。

2.2 板带单元的建立

对于板料,采用 SHELL163 单元(壳单元),壳单元沿厚度方向可以有任意多个积分点,对弹性变形沿厚度方向用 2 个积分点即可,对于塑性变形沿厚度方向则需要 3~5 个积分点。考虑到结构的对称性,取带钢的 1/2 作为分析模型,取带钢的长度为辊弯时能够保证带钢在所有成型机架下共同作用时的长度。模型共有 7 道轧辊,建模如图 3 所示。

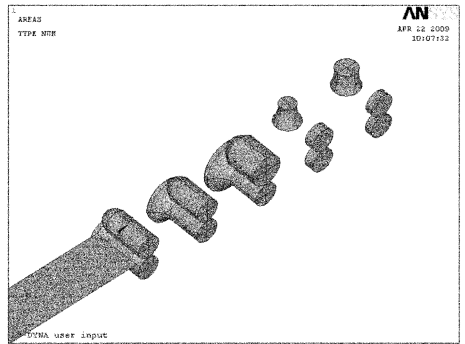


图 3 辊弯成型模型示意图

Fig. 3 Schematic diagram of roll forming model

2.3 约束、载荷及接触的定义

2.3.1 约 束

由于轧辊被定义为刚性体,每个成型辊内所有节点的自由度都耦合到了成型辊的质心上。在考虑成型辊的实际运动时,成型辊只绕轴旋转,其他方向均约束。因此,成型辊的 6 个自由度(UX,UY,UZ,ROTX,ROTY,ROYZ)除了绕轴旋转不加约束外,其余 5 个自由度均约束。对于金属板带而言,由传动辊施加推力沿轧辊滚动方向运动,禁止其横向移动,根据其受力特点,纵向部分加以 Z 向约束。

2.3.2 载 荷

ERW 管成型过程的模拟条件为:刚型辊以恒定的转速旋转,板带以恒定的初速度向辊缝运动,直至进入辊缝。在成型过程中,沿辊片轴线方向上各点的线速度不一致,板带接触成型辊时,板带前端与成型辊辊片的接触面积很小,单靠成型辊对板带的摩擦无法使板带进入辊缝,所以板带是由传送辊提供推力,迫使板带进入辊缝。因此,在模拟过程中,在板带后端施加位移载荷,以得到与实际相同的结果。在实际生产中,冷弯成型的过程是比较缓慢的,如果完全按照实际情况来模拟,计算量非常大,所以为了

减少整个成型过程的模拟计算量,需要人为地提高轧辊和轧件的运动速度,但这样会增加虚拟的惯性效应。在模拟板带冷弯成型过程中,不能对模型施加过多的约束,否则会影响板带的正常变形,但不加约束的板带模型在运动速度过大时,所增加的虚拟惯性效应和沙漏都会非常大,这样的模拟结果不可用。当板带模拟速度低于 1 m/s 时,可以得到与实际较为一致的结果,但计算速度特别慢;当模拟速度高于 5 m/s 时,若无足够的约束,板带模型的沙漏会非常大,与实际不太相符,导致计算结果不可用。文中采用 5 m/s 的速度。

2.3.3 接 触

接触问题是典型的具有非连续性质的边界条件非线性问题。接触问题中的边界条件不是在计算前就可以给出,而是计算的结果。两接触体间的接触面积与压力分布随外载荷的变化而变化,并与接触体的刚性有关。

在 ANSYS 有限元程序中,运动物体之间的接触作用由接触对来模拟。但是,在 LS-DYNA 中,没有接触对,只能定义可能接触的接触表面、接触类型以及与接触相关的一些参数。在 LS-DYNA 中,有 22 种不同接触类型,3 种接触算法。确定哪一种接触

类型能最准确地描述所建模型是很困难的,因而理解 LS-DYNA 所提供的不同接触算法和接触类型对正确选择给定模型的接触面是非常重要的。

本文中采用面-面接触方式,对于面-面接触,需要用节点组元和 part 号来定义接触面和目标面,节点可以从属于多个接触面。接触算法采用罚函数法,其基本原理是:在每一个时间步首先检查各个从节点是否穿透主面,如果没有穿透不作任何处理,如果穿透则在该从节点与被穿透主面间引入一个较大的界面接触力,其大小与穿透深度、主面的刚度成正比。这相当于在两者之间放置一法向弹簧以限制从节点对主面的穿透。接触力称为罚函数值。

2.4 成型过程仿真与结果分析

2.4.1 ERW 管成型的全流程仿真

在焊管成型整个过程中采用了水平辊和立辊混合成型。焊管成型是一个连续的过程,为了说明情况,只选取了几个有代表性的过程进行模拟,在几个过程的成型中,只是成型力大小有所改变,成型情况并没有不同。

ERW 管成型的全流程模型包括 7 道轧辊,轧辊间距 0.5 m,板料施加 5 m/s 的位移载荷。板料咬入各轧辊的等效应力如图 4 所示。

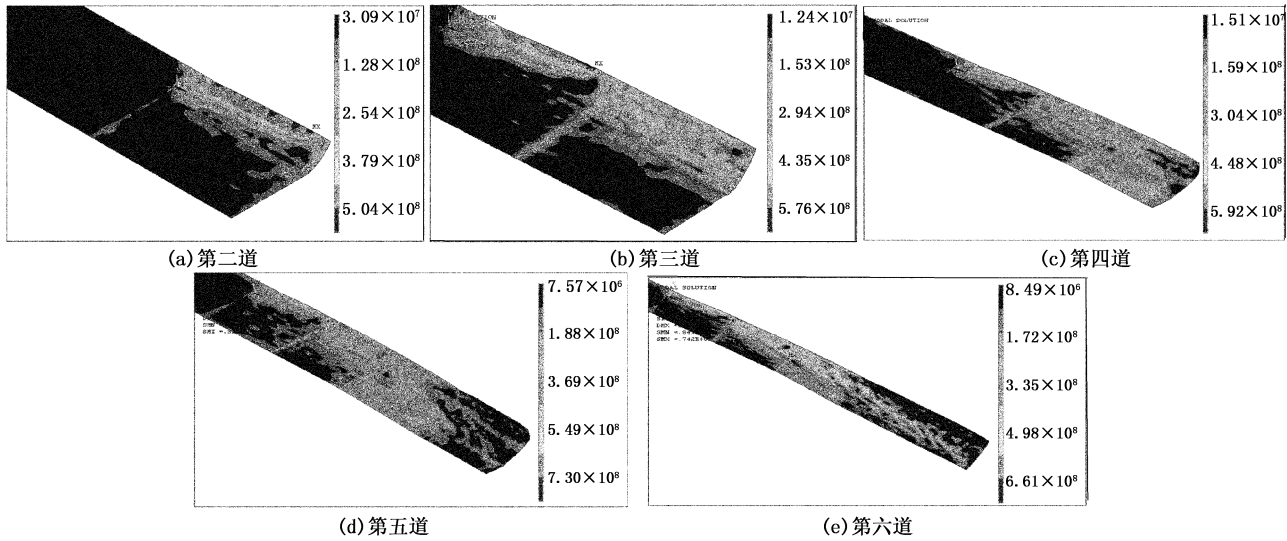


图 4 板料咬入各道轧辊时的应力图

Fig. 4 Stress diagram when sheet entering every roll respectively

2.4.2 结果分析

通过应力图可以看出,板料在咬入各道轧辊时的应力和应变最大。被咬入前,应力增大,应变保持不变,直至被咬入,应力达到最大值,应变大幅度增大。在远离前一轧辊时,受它影响越来越小,应力先

减少,而后又逐渐增大,是因为板料将要被咬入下一道轧辊。

由各轧辊应力可知,在板料咬入时,轧辊应力达到最大,与板料应力相对应。对于轧辊的应力,还应在以后的研究中,通过试验进一步加以确定。

3 结 论

(1) ERW 钢管成型过程大致可分 3 个阶段, 前两个阶段和最后一个阶段轧制力不同。

(2) 成型过程中, 各道轧辊咬入时板料受到较大的应力和应变, 之后应力、应变均匀; 应力的分布是从中间到两端逐渐减小的。

参考文献:

- [1] 刘庚申, 富平原. 高频直缝电焊钢管焊接质量的控制[J]. 焊管, 1999, 22(5): 51-52.
LIU Geng-shen, FU Ping-yuan. Control of welding quality for ERW pipe[J]. Welded Pipe and Tube, 1999, 22(5): 51-52.
- [2] 孙永喜. 我国 ERW 钢管生产现状与经营发展策略(上)[J]. 钢管, 2002, 31(1): 5-8.
SUN Yong-xi. Current situation and development strategy of domestic ERW tube-making sector(part 1)[J]. Steel Pipe, 2002, 31(1): 5-8.
- [3] 丁作礼. 大直径直缝焊管生产现状与发展[J]. 鞍钢技术, 1996, 2: 1-3.
DING Zuo-li. Current producing situation and develop-

ment of large diameter ERW pipe[J]. AISC Techniques, 1996, 2: 1-3.

- [4] 贾十周. 直缝电阻焊钢管与无缝管对比[J]. 焊管, 1995, 18(3): 12-15.
JIA Shi-zhou. Contrast between ERW pipe and seamless pipe[J]. Welded Pipe and Tube, 1995, 18(3): 12-15.
- [5] 陈永真. 直缝焊管所需带钢宽度计算公式探讨[J]. 钢管, 2000, 29(3): 35-36.
CHEN Yong-zhen. Discussion on formula for calculation of width of steel strip used for weld straight pipe-making[J]. Steel Pipe, 2000, 29(3): 35-36.
- [6] 冯世功. ERW 焊管成型力、轧制力矩及电机功率的计算[J]. 焊管, 1994, 17(5): 31-37.
FENG Shi-gong. Calculation of shaping force, rolling moment and motor power[J]. Welded Pipe and Tube, 1994, 17(5): 31-37.
- [7] NEFUSSI G A. Simulation of cold-roll forming for elastoplastic materials[J]. Int J Mech Sci, 1998, 40(1): 15-20.
- [8] CHEUNG M S, NG S F. Finite strip analysis of beams and plates with material nonlinearity[J]. Computer & Structures, 1989, 33(1): 289-294.

(编辑 沈玉英)

(上接第 122 页)

- [6] JASSIM E, ABEDINZADAGAN A M, MUZYCHKA Y. Computational fluid dynamics study for flow of natural gas through high-pressure supersonic nozzles: nozzle geometry and vorticity[J]. Petroleum Science and Technology, 2008, 26(15): 1773-1785.
- [7] 曹学文. 超声速旋流天然气分离研究[D]. 西安: 西安交通大学能源与动力工程学院, 2006.
CAO Xue-wen. A study on the supersonic swirling separation of natural gas[D]. Xi'an: School of Energy & Power Engineering, Xi'an Jiaotong University, 2006.
- [8] 曹学文, 陈丽, 林宗虎, 等. 用于超声速旋流分离器中的超声速喷管研究[J]. 天然气工业, 2007, 27

(7): 112-114.

- CAO Xue-wen, CHEN Li, LIN Zong-hu, et al. The nozzle used in supersonic swirling separators[J]. Natural Gas Industry, 2007, 27(7): 112-114.
- [9] POPE S B. Turbulent flows[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.
- [10] REUTHER J, ALONSOB J J, RIMLINGER M J, et al. Aerodynamic shape optimization of supersonic aircraft configurations via an adjoint formulation on distributed memory parallel computers[J]. Computers & Fluids, 1999, 28(5): 675-700.

(编辑 沈玉英)