

21 机架张力减径机椭圆孔型的有限元分析*

石建辉, 赵春江, 江连运, 俞洪杰, 卞丽萍

(太原科技大学机械电子工程学院, 山西 太原 030024)

摘要: 根据钢管在张力减径时的变形特点, 利用 ANSYS 软件对 21 机架张力减径机进行三维建模有限元分析, 模拟荒管在减径过程中的变形过程, 比较圆孔型参数模拟和椭圆孔型参数模拟时荒管产生“内六方”的趋势和壁厚变化情况。分析认为, 采用椭圆孔型参数模拟时, 荒管产生“内六方”的趋势较小, 且壁厚波动也较小。

关键词: 无缝钢管; 定(减)径; 张力减径机; 有限元分析; ANSYS 软件; 圆孔型; 椭圆孔型; “内六方”

中图分类号: TG332; TB115.1 **文献标志码:** B **文章编号:** 1001-2311(2012)04-0018-05

FEA of Oval Pass of 21-stand Stretch Reducing Mill

Shi Jianhui, Zhao Chunjiang, Jiang Lianyun, Yu Hongjie, Bian Liping

(School of Mechanical and Electronic Engineering, Taiyuan University

of Science and Technology, Taiyuan 030024, China)

Abstract: According to the deformation characteristics of the steel pipe during the stretch-reducing process, the rolling process of the 21-stand stretch reducing mill is finite element analyzed (FEA) with the 3D model as set up via the ANSYS software. The analysis involves simulating the deformation course of the pipe being reduced, and a comparison of the pipe hexagonal ID occurrence trend and wall thickness variation resulting from the round pass parameter simulation to those resulting from the oval pass parameter simulation, which leads to the conclusion that in case of the oval pass parameter simulation, the occurrence trend of the hexagonal ID formation is smaller, and the wall thickness variation is also rather less.

Key words: Seamless steel pipe; Sizing (reducing) mill; Finite element analysis (FEA); The ANSYS software; Round pass; Oval pass; Hexagonal ID

定(减)径是热轧无缝钢管生产中的精轧工序, 其工艺水平的高低直接影响成品质量和成材率, 而张力减径机是无缝钢管连轧管机组的重要设备^[1]。无缝钢管在张力定(减)径时, 受张力减径机孔型形状、张力分布、机架间距等诸多因素影响, 在轧制过程中容易发生横向壁厚不均、头尾端增厚及内壁产生“内六方”等质量缺陷^[2]。

本文利用 ANSYS 软件对 21 机架三辊张力减径机进行三维建模有限元分析, 模拟荒管在减径过程中的变形情况, 并分析采用两种不同孔型参数时

荒管的横向壁厚变化情况^[3-4], 从而为轧辊的孔型设计以及各机架间距和速度匹配设计提供参考。

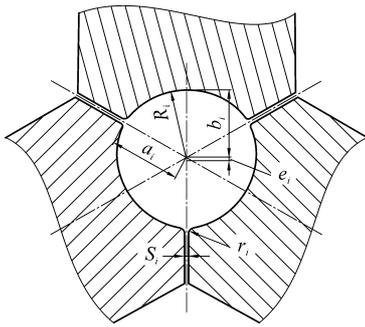
1 模型的建立

1.1 实体模型的建立

根据给定的 RR 系列轧辊椭圆孔型参数(图 1), 采用 Pro/E 软件对各机架的轧辊孔型进行实体建模。该减径机共 21 个机架, 每个机架的 3 个轧辊呈 120°分布, 前后相邻机架间呈 60°交错布置, 共有 21 道次孔型。轧辊的孔型尺寸及转速见表 1。由于机架架次较多, 为了减少单元格数目, 轧辊采用单层厚的刚性体, 如图 2 所示。网格采用扫略划分, 每个轧辊的网格数约为 2 000 个; 钢管采用单层和两层两种网格划分, 网格数为 39 600 个。

* 山西省自然科学基金项目(200901159-10)

石建辉(1985-), 男, 在读硕士研究生, 研究方向为现代轧制设备设计理论及关键技术。



R_i —圆弧半径 a_i —长半轴 b_i —短半轴
 e_i —偏心距 S_i —轧辊装配间隙 r_i —倒角半径

图1 轧辊椭圆孔型参数示意

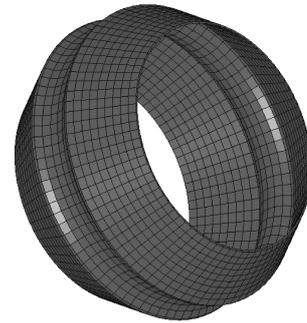


图2 轧辊单元划分示意

表1 轧辊的孔型尺寸及转速

架次	圆弧半径 R_i /mm	长半轴 a_i /mm	短半轴 b_i /mm	偏心距 e_i /mm	轧辊转速/($r \cdot \text{min}^{-1}$)
1	87.543	87.426	85.225	2.317 6	84.225 0
2	85.668	85.323	81.654	4.013 9	94.147 9
3	82.549	81.861	76.886	5.662 8	98.141 0
4	78.314	77.186	71.128	7.186 1	105.774 4
5	73.171	72.142	66.540	6.631 0	110.663 1
6	68.424	67.484	62.301	6.123 3	116.098 0
7	64.039	63.176	58.380	5.658 5	122.080 2
8	59.985	59.199	54.752	5.232 7	128.616 7
9	56.235	55.516	51.393	4.842 4	135.719 6
10	52.764	52.105	48.279	4.484 4	143.404 8
11	49.548	48.945	45.392	4.155 7	151.691 5
12	46.567	46.015	42.714	3.853 9	160.601 8
13	43.803	43.296	40.226	3.576 4	170.160 3
14	41.237	40.771	37.915	3.321 3	180.393 6
15	38.853	38.426	35.767	3.086 4	191.330 4
16	36.638	36.246	33.768	2.870 2	203.001 5
17	34.578	34.218	31.908	2.670 9	217.014 4
18	32.749	32.558	30.890	1.859 1	228.423 6
19	31.535	31.444	30.292	1.243 0	234.183 9
20	30.452	30.452	30.452	0	240.000 0
21	30.452	30.452	30.452	0	240.000 0

21 机架张力减径机的整体模型如图 3 所示, 其机架间距为 355 mm, 荒管尺寸为 $\Phi 182 \text{ mm} \times 14 \text{ mm}$, 成品尺寸为 $\Phi 60.3 \text{ mm} \times 14 \text{ mm}$ 。

1.2 模型参数的定义

模型单元类型选择为实体 3D Solid164 单元,

轧件材料选用各向同性的塑性材料。将轧件的初始速度设为 1.27 m/s, 当轧件与轧辊接触咬入后轧制速度取决于轧辊速度。轧辊是刚性体, 约束所有平动位移以及两个旋转自由度, 只留下旋转轴方向的旋转, 按照实际给定的参数设定轧辊转速, 各架次

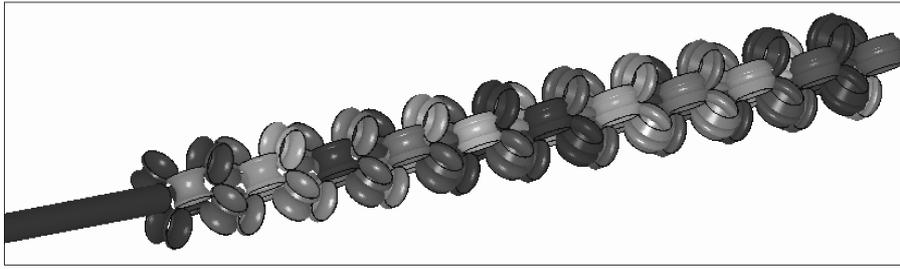
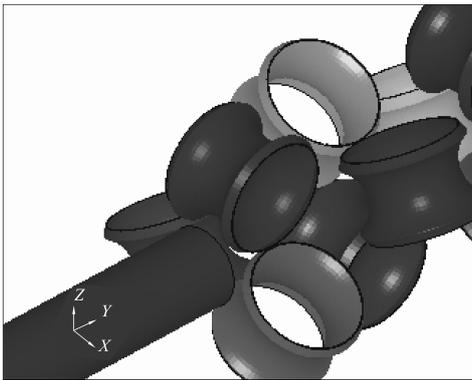


图3 21 机架张力减径机整体模型示意

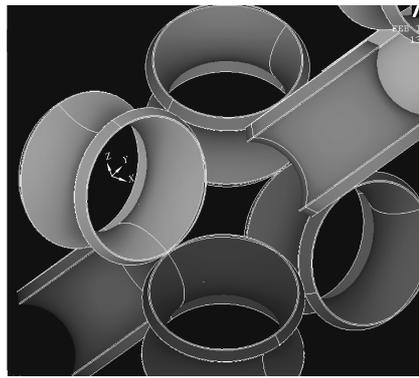
间的张力由金属的流动变形确定。轧件的弹性模量为 2.1×10^5 MPa, 屈服极限为 80 MPa, 剪切模量为 1.7×10^5 MPa, 密度为 7.85×10^{-6} kg/mm³, 泊松比为 0.3, 接触类型采用面-面接触, 静摩擦因数为 0.3, 动摩擦因数为 0.2。轧制温度为 950 °C, 在实际的轧制过程中是有温降的, 但考虑发生缺陷只在后面几个机架, 影响不是很大, 故可忽略热力耦合产生的问题。本文只模拟轧件在 950 °C 恒屈服应力下的轧制情况。

1.3 轧辊旋转向量的定义

轧辊旋转通过轧辊旋转轴来定义。21 机架张力减径机模型的坐标系如图 4 所示, 其中 Y 轴正方向为轧制方向, 每个机架的 3 个轧辊中只有 1 个是绕 X 轴或绕平行于 X 轴的轴旋转, 而其他两个则不同, 需要专门定义。采用创建旋转向量的方法, 具体就是找两个交点来创建旋转向量, 这两个点就是侧面的中点 (图 5 中的点 5 和点 6), 它们的坐标可通过图 5 中的点 1~4 这 4 个点来确定^[5-6]。



a) 减径机模型的整体坐标系



b) 轧辊旋转轴的局部坐标系

图4 21 机架张力减径机模型坐标系示意

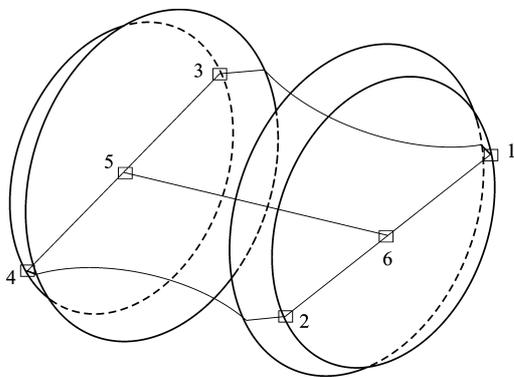


图5 轧辊旋转轴的定义

2 仿真结果及分析

根据建立的模型及定义参数进行有限元数值分析, 得到荒管在 21 机架张力减径机减径过程中的变形情况 (图 6), 此时轧件正穿过机架。圆孔型参数模拟分析时荒管的断面形状如图 7 所示, 椭圆孔型参数模拟分析时荒管的断面形状如图 8 所示。采用两种不同孔型参数模拟时荒管的壁厚变化曲线如图 9 所示。

通过对每道次断面形状进行对比可以发现, 虽然两种孔型在模拟过程中都出现了“内六方”问题, 但椭圆孔型出现“内六方”的情况要比圆孔型滞后,



图6 荒管在21机架张力减径机减径过程中外部的变形情况

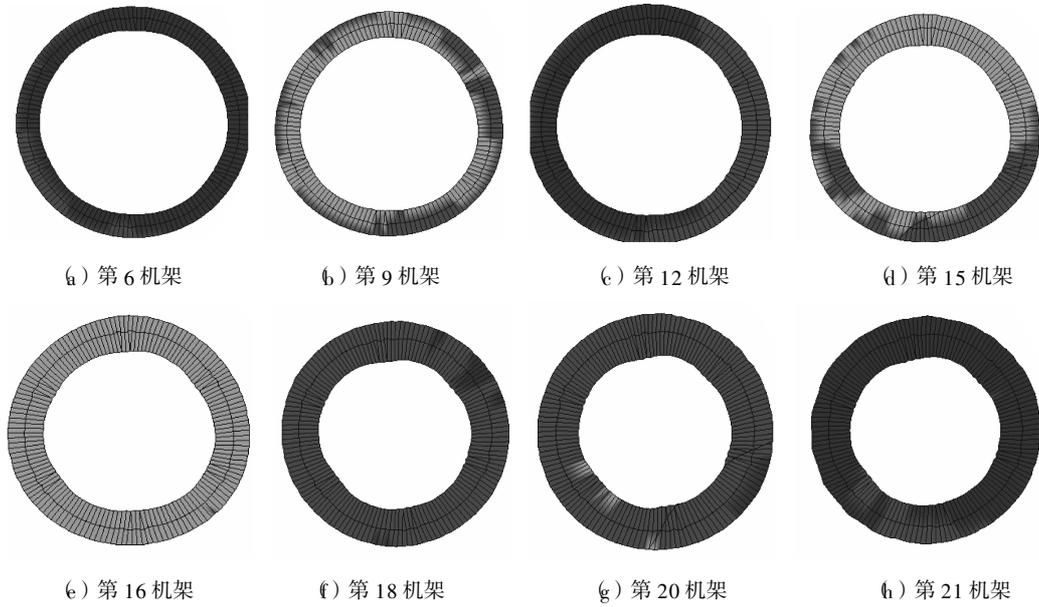


图7 圆孔型参数模拟分析时荒管的断面形状

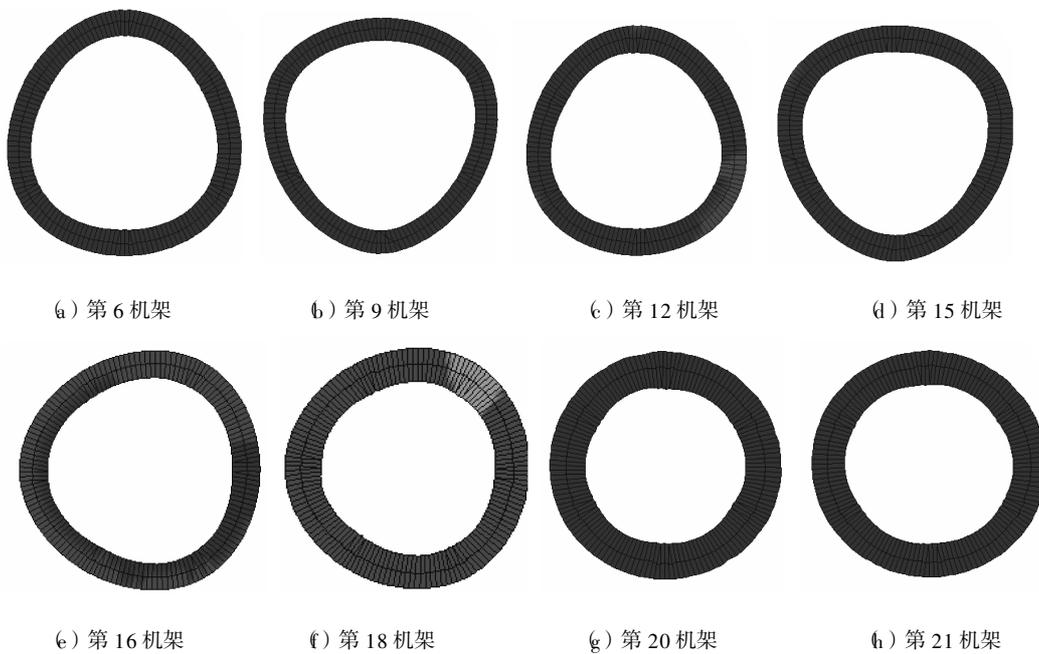


图8 椭圆孔型参数模拟分析时荒管的断面形状

圆孔型一般出现在第15机架左右，而椭圆孔型在第18机架左右。椭圆孔型参数模拟时，荒管的轧

制断面形状比圆孔型的要好，而且壁厚变化波动也较小。

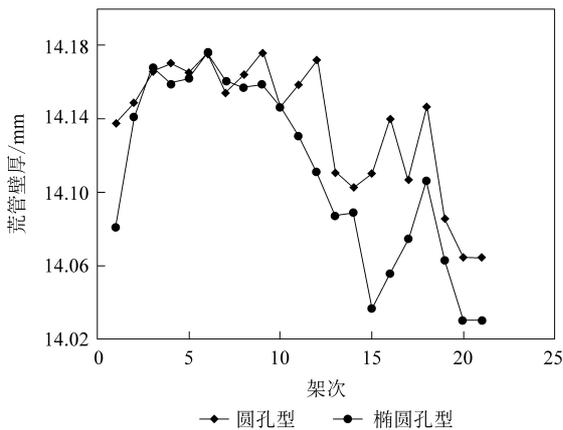


图9 采用两种不同孔型参数模拟时荒管的壁厚变化曲线

3 结 语

建立了21机架张力减径机有限元模型，并成功地实现了21机架张力减径的有限元仿真分析。模拟分析显示，椭圆孔型参数模拟时荒管产生“内六方”的趋势比圆孔型模拟时要小，而且壁厚变化

波动也较小。这为定(减)径仿真提供了依据，同时也为设计减径的工艺参数和力能参数提供了参考。

4 参考文献

- [1] 金如崧, 李长穆. 钢管张力减径 [M]. 北京: 中国工业出版社, 1964.
- [2] 赵晓林, 边勇兴. 钢管“内六方”成因分析及对策 [J]. 钢管, 2004, 33(6): 35-38.
- [3] 于辉, 杜凤山, 臧新良, 等. 14机架微张力定(减)径过程壁厚分布的有限元研究 [J]. 钢管, 2006, 35(5): 17-20.
- [4] 王会刚, 臧勇, 刘学江, 等. 钢管定径过程的有限元仿真 [J]. 钢铁研究学报, 2006, 18(8): 35-38.
- [5] 时党勇, 李裕春, 张胜民. 基于ANSYS/LS-DYNA 8.1进行显式动力分析 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [6] 张波, 盛和太. ANSYS有限元数值分析原理与工程应用 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.

(收稿日期: 2012-01-04)

● 信 息

浙江格洛斯无缝钢管有限公司采用旋转定径工艺成功生产出大直径特厚壁无缝钢管

2012年5月, 浙江格洛斯无缝钢管有限公司采用旋转定径工艺成功生产出 $\Phi 570\text{ mm}\times 100\text{ mm}$ 、 $\Phi 610\text{ mm}\times 100\text{ mm}$ 、 $\Phi 610\text{ mm}\times 120\text{ mm}$ 、 $\Phi 660\text{ mm}\times 100\text{ mm}$ 、 $\Phi 660\text{ mm}\times 150\text{ mm}$ 等规格的大直径特厚壁无缝钢管。该公司采用的旋转定径工艺是利用两辊精轧机, 通过合理设计穿孔顶头、优化辊型设计和轧管工艺, 使精轧机既能实现精密轧制又可以进行两辊旋转定径, 能有效控制无缝钢管的壁厚精度和外径精度, 无缝钢管表面无波浪缺欠且内螺旋轻微。采用旋转定径工艺生产大直径特厚壁无缝钢管在国内尚属首创, 扩大了公司的产品规格。

目前, 采用旋转定径工艺生产的大直径特厚壁无缝钢管产品已进入批量生产阶段, 壁厚精度可达 $\pm 5\%$, 外径偏差可控制在 $\pm 0.75\%$, 椭圆度仅为外径公差 $的50\%$ 。

(浙江格洛斯无缝钢管有限公司 郑世建)

中国石油集团渤海石油装备制造有限公司的7项新成果通过天津市科技成果鉴定

2012年6月, 中国石油集团渤海石油装备制造有限公司的7项科技成果顺利通过天津市科技成果鉴定, 鉴定认为“海底管线用直缝埋弧焊管开发”、“JHF00焦化塔底阀”等4项成果已达到国际先进水平; “钻机 and 钻修机集成配套技术”、“高含气潜油泵机组”等3项成果已达到国内领先水平。这7项新成果的顺利通过, 进一步提升了公司的科技研发实力, 提升了企业知名度。

此次鉴定会由天津市高新技术成果转化中心组织, 中国石油集团渤海石油装备制造有限公司承办。

(渤海装备华油钢管有限公司 闵祥玲)