

①29-32
圆孔型系统张力减径后钢管横向壁厚不均匀性的模拟潘克云¹, 王先进², 秦国庆²

(1. 宝山钢铁集团公司钢铁研究院, 上海 201900; 2. 北京科技大学压加系, 北京 100083)

摘 要:用有限元法模拟 152.5 BR 圆孔型系统主变形四机架连轧过程发现:张力减径后钢管的横向壁厚分布不均匀,产生内六方趋势,内六方趋势的大小与主变形机架的数量呈直线关系。利用这种关系可预测 152.5 BR 圆孔型系统生产的各种规格钢管的横向壁厚不均匀程度。实际生产轧制试验验证了该有限元模拟结果的正确性。

关键词:连轧;张力减径;有限元;钢管**中图分类号:**TG356.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0963(2000)02-0029-04

模拟 壁厚

TG332

**Simulation on Inhomogeneity of Wall Thickness for
Tube Stretch-Reduced by Round Passes System**

TG335.7/

PAN Ke-yun¹, WANG Xian-jin², QIN Guo-qing²

(1. Baoshan Iron & Steel Group Corporation, Shanghai 201900, China; 2. University of Science & Technology Beijing, Beijing 100083, China)

Abstract:According to the finite element simulation for four-stand continuous rolling of tube produced by 152.5 BR passes system in stretch-reducing mill, the distribution of tube wall thickness along the across-section is inhomogeneous, which can results in polygonization. The degree of polygonization is directly proportional to the number of stands used. The inhomogeneity of wall thickness can be evaluated by the degree of polygonization. The results of Rolling tests for 152.5 BR passes systems validate the correctness of finite element simulation.

Key words:continuous rolling;stretch-reducing;FEM;tube

无缝钢管的尺寸精度主要是指钢管的壁厚精度。多年来,研究大多集中在张力减径引起的钢管纵向壁厚不均匀现象上^[1~4],而对钢管横向壁厚不均匀现象研究得不多,相关的文献也主要是对张力减径中产生的内六方趋势作定性的讨论^[5~7]。但是在实际生产中,张力减径对钢管横向壁厚精度的影响很大,特别是生产厚壁管时容易产生内六方趋势。本文旨在用三维弹塑性有限元方法,模拟生产厚壁管的 152.5 BR 圆孔型系统主变形机架的轧制过程,定量分析其张力减径对钢管横向壁厚精度的影响,从而预测 152.5 BR 圆孔型系统生产各种规格钢管的横向壁厚不均匀性。

1 有限元模拟原理

有限元模拟原理为:把连续的实体离散成有限个小的单元体,经集成和数值分析计算后,求得有限个单元体的数值解,从而得到整个问题的近似解。本研究的主要模拟工作使用 MARC 三维弹塑性有限元软件,前后处理使用 MENTAT 软件。MARC 的工作过程如图 1 所示。

2 四机架连轧后的等效塑性应变分布

根据近几年某 $\phi 140$ 机组无缝钢管厂的统计,目

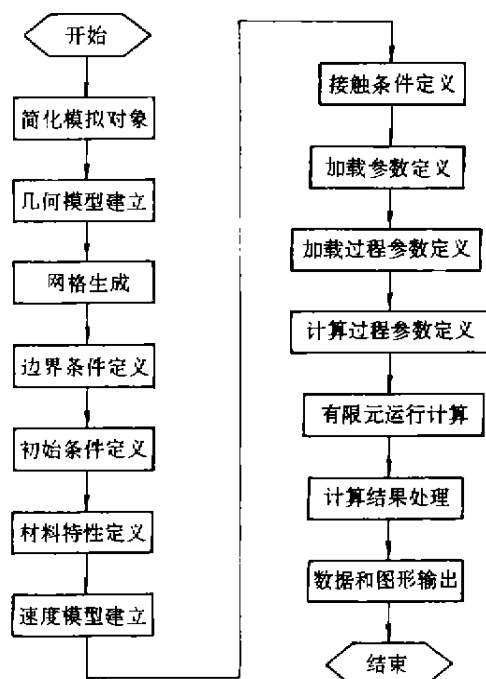


图 1 MARC 模拟过程图

Fig. 1 The illustration of finite element simulation

前最常用的孔型系统为:152.5 BO 椭圆孔型系统和 152.5 BR 圆孔型系统。其中,152.5 BO 椭圆孔型系统用于生产薄壁管,152.5 BR 圆孔型系统用于生产厚壁管。在此仅对 152.5 BR 圆孔型系统进行有限元模拟。

由于张力减径机组相邻机架间呈 60° 交叉布置,因此根据对称边界条件,只取 $\frac{1}{6}$ 的钢管进行模拟。目前,152.5 BR 圆孔型系统所生产的钢管的壁厚规格范围为 4~16 mm。模拟时不可能对每一种壁厚规格都进行模拟,所以仅选择壁厚 $S_0=4.0, 5.0, 6.0, 7.0, 8.0, 10, 12.5, 16$ mm 8 种规格。受计算时间的限制,本研究对各种规格的钢管都只模拟主变形四机架的连轧过程。

图 2 所示为四机架连轧时壁厚 8 mm 的钢管在第四机架变形区及轧出第四机架后区域内的有限元模拟等效塑性应变分布。由图 2 可知,在钢管壁厚方向上,等效塑性应变由外向内逐渐增大。比较不同壁厚钢管的模拟结果可以看出,随着钢管壁厚的加大,等效塑性应变最大值增大。

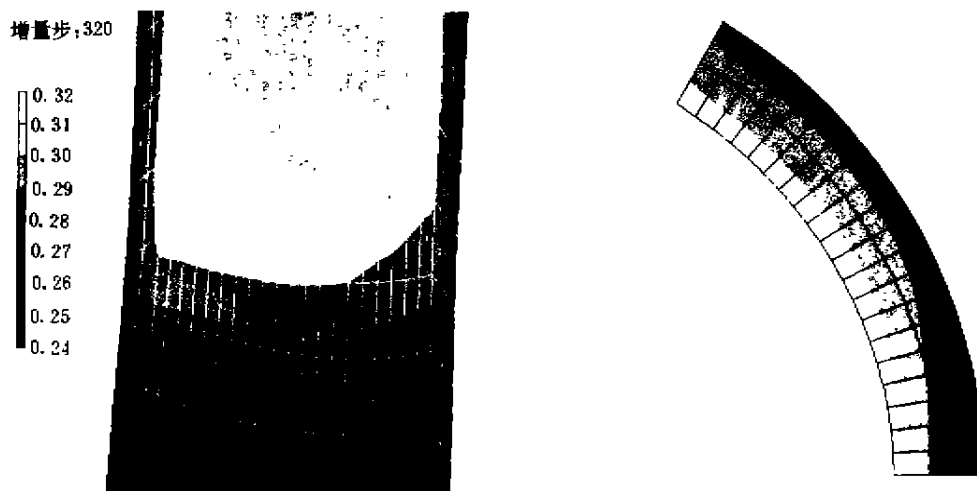


图 2 四机架连轧后钢管的等效塑性应变分布

左 - 纵向; 右 - 横向

Fig. 2 Distribution of equivalent plastic strain of tube after four-stand continuous rolling

3 连轧对钢管横向壁厚分布的影响

图 3 为用 152.5 BR 圆孔型系统轧制壁厚 8 mm 钢管时,经一、二、三和四机架的主变形机架连轧后造成沿管壁圆周方向内六方趋势的壁厚偏差值。可看出:随着机架数的增加,钢管的内六方趋势增强。

4 张力减径后不同壁厚钢管的横向壁厚分布预测

经一、二、三和四机架轧制后,不同壁厚的钢管产生内六方趋势的最大壁厚与最小壁厚的差值 $S_{\max}$

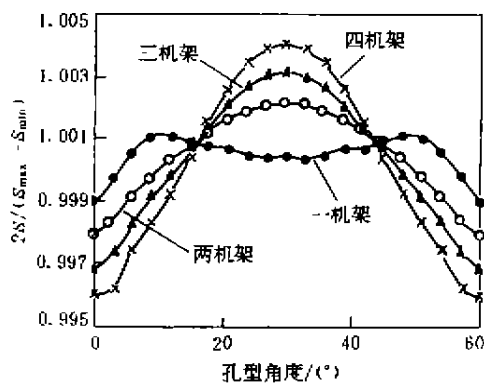


图3 主变形四机架减径时各机架轧制后钢管的内六方趋势

S ——钢管任意处的壁厚

Fig. 3 Trends of polygonization of tube after four-stand continuous rolling

$-S_{min}$ 如图4所示。由图4可以看出:对某一特定壁厚钢管而言,连轧后产生内六方趋势的最大壁厚与最小壁厚的差值随着机架数的增加而近似呈直线关系。但当钢管壁厚不同时,直线的斜率不同。钢管壁厚对上述差值的影响如图5所示。由图5可知:当钢管壁厚小于10 mm时,随着壁厚的加大,内六方趋势增强,而且连轧机架数增加对内六方趋势的影响增大。当钢管壁厚为10 mm时,连轧机架数对内六方趋势的影响最大。

钢管壁厚对单机架减径后产生内六方趋势的影响可用下列公式来表示:

$$\Delta S_1 = K_1 \times S_0 - C_1 \quad (1)$$

$$K_1 = \begin{cases} 0.003\ 516 & (S_0 \leq 10\text{ mm}) \\ 0.000\ 893 & (S_0 > 10\text{ mm}) \end{cases}$$

$$C_1 = \begin{cases} -0.011\ 59 & (S_0 \leq 10\text{ mm}) \\ 0.014\ 646 & (S_0 > 10\text{ mm}) \end{cases}$$

式中 ΔS_1 ——单机架减径后钢管横向壁厚的差值;

S_0 ——钢管的原始壁厚;

K_1 ——钢管壁厚变化时的分段直线斜率;

C_1 ——分段式直线方程式的常数项。

由图4可知,随着钢管壁厚的加大和机架数的增加,内六方趋势增强的程度发生变化。将图4中不同壁厚钢管的直线斜率回归得到图6所示结果。由图6可以看出:不同壁厚的钢管,其内六方趋势随主变形机架数增加的直线斜率变化同样可以用分段式直线来表示,其公式如下:

$$K_s = K_2 \times S_0 - C_2 \quad (2)$$

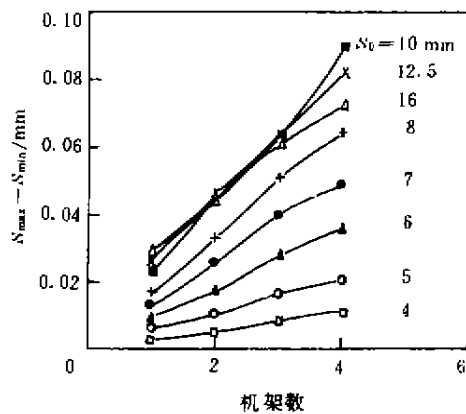


图4 不同壁厚的钢管经多机架轧制后的内六方趋势

Fig. 4 The difference between maximum and minimum polygonization after rolling

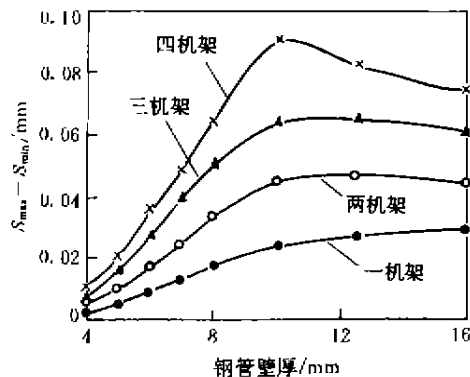


图5 钢管壁厚对产生内六方趋势的最大壁厚与最小壁厚差值的影响

Fig. 5 Effects of wall thickness of tube on difference between maximum and minimum of polygonization after rolling

$$K_2 = \begin{cases} 0.003\ 413\ 66 & (S_0 \leq 10\text{ mm}) \\ -0.001\ 219\ 1 & (S_0 > 10\text{ mm}) \end{cases}$$

$$C_2 = \begin{cases} -0.012\ 103\ 2 & (S_0 \leq 10\text{ mm}) \\ 0.034\ 161\ 2 & (S_0 > 10\text{ mm}) \end{cases}$$

式中 K_s ——主变形机架增加引起钢管内六方趋势增大的直线斜率;

K_2 —— K_s 随钢管壁厚变化的直线方程斜率;

C_2 ——直线方程式的常数项。

生产某一特定规格钢管时,已知成品管的外径和壁厚,经张力减径后钢管的横向壁厚差值可用下式计算:

$$\Delta S = S_{max} - S_{min} = N \times K_s + \Delta S_1 \quad (3)$$

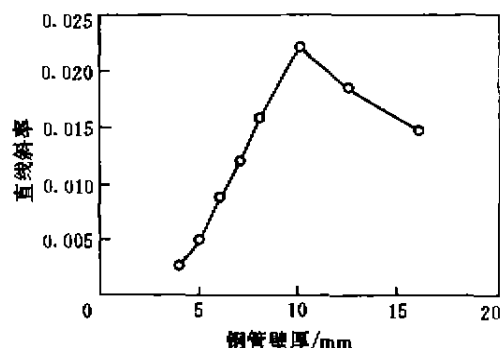


图 6 内六方趋势的直线斜率与钢管壁厚的关系

Fig. 6 Relation of the polygonization and wall thickness of tube

式中 N ——主变形机架数($N=M-6$);

M ——张力减径机机架数。

内六方趋势的计算公式为:

$$\rho = \frac{\bar{S}_{\max} - \bar{S}_{\min}}{0.135 \times (D_0 - \bar{S}_{\min})} \times 100 \% \quad (4)$$

式中 D_0 ——成品管的名义直径。

以用 152.5 BR 圆孔型系统所能生产的最小外径极限壁厚规格的 $\phi 44.5 \text{ mm} \times 6.0 \text{ mm}$ 钢管为例, 预测得到:

$N=22$

$$\Delta S = 0.1947 \text{ mm}, \quad \rho = 3.74 \%$$

当用 152.5 BR 圆孔型系统生产 $\phi 70 \text{ mm} \times 10.0 \text{ mm}$ 的钢管时, 预测得到:

$N=13$

$$\Delta S = 0.312 \text{ mm}, \quad \rho = 4.19 \%$$

当用 152.5 BR 圆孔型系统生产 $\phi 70 \text{ mm} \times 8.8 \text{ mm}$ 的钢管时, 预测得到:

$$\Delta S = 0.254 \text{ mm}, \quad \rho = 3.10 \%$$

5 实际生产验证

用 152.5 BR 圆孔型系统实际生产的 $\phi 70 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ 钢管的实物形状照片见图 7。实测统计分析该钢管的横向壁厚差值为: $\Delta S = 0.248 \text{ mm}$ 。

实测数据证明用连轧模拟结果来预测张力减径后钢管的横向壁厚精度是正确可信的。

6 结 论

(1)通过对 152.5 BR 圆孔型系统主变形四机架连轧过程的模拟得知:经张力减径后沿钢管圆周方向的等效塑性应变呈不均匀分布,使钢管产生内六

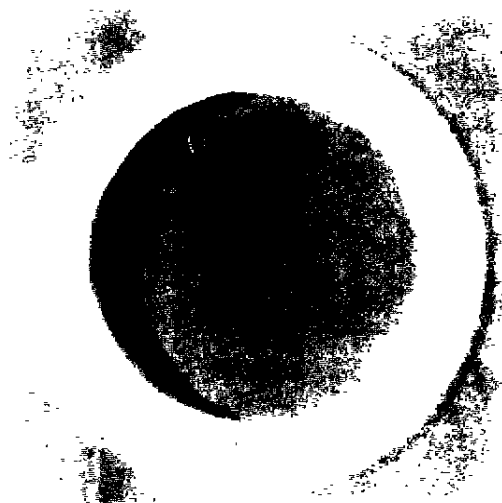
图 7 用 152.5 BR 圆孔型系统生产的 $\phi 70 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ 钢管的实物照片

Fig. 7 The photograph of tube rolled by 152.5 BR passes system

方趋势,其横向壁厚差值计算式如下:

$$\Delta S = S_{\max} - S_{\min} = N \times K_s + \Delta S_1$$

(2)当用 152.5 BR 圆孔型系统生产极限规格钢管时,钢管经张力减径机产生的横向壁厚差值达 0.312 mm,内六方趋势达 4 % 左右。

参考文献:

- [1] Voswinckel K. Process Management for Stretch-Reducing Tube Rolling Mills [J]. Tube Intern, 1995, 64(14): 75-79.
- [2] Holmstrom A, Linder S. New Technology for In-Line Control [J]. Tube Intern, 1992, 49(11): 219-222.
- [3] Mihara Y. Study on the Accuracy of Wall Thickness in Seamless Tube Rolling Process [R]. Nippon Kokan Tech Rep, 1985, 106(2): 21-30.
- [4] Pfeiffer H. Method for Rolling Tubular Material Stock in a Stretch Reducing Mill [P]. 德国专利, DE 364521, 1972-02-15.
- [5] Mihara Y, Hirakawa T, Sodani Y. Polygoning Formation in Stretch Reducing Mill [R]. Nippon Kokan Tech Rep, 1985, 107(11): 22-29.
- [6] Sodani Y, Hirakawa T, Mihara Y. Mechanism Polygoning Formation of Tube Bore in Stretch Reducing [J]. Advanced Technology of Plasticity, 1987, 2(8): 24-28.
- [7] Yamada T, Yamada M, Matsukura S. Internal polygon Formation of Stretch Reduced Tubes——The Influence of Tension and Compression during Rolling on Internal Polygon Formation [J]. Technology Plastic, 1993, 34(12): 1326-1331.