

张力减径机不同孔型横向壁厚分布的有限元模拟分析

周晓岚

(宝钢股份公司 钢管分公司,上海 201900)

摘要:借助有限元分析软件模拟钢管张力减径的轧制过程,由 3 种不同张力减径机孔型轧制的同一规格钢管产品的横向壁厚分布的比较表明,采用宝钢专有技术设计的新孔型轧制的钢管与原有的德国传统孔型轧制的钢管相比,其横向壁厚较为均匀,并对钢管“辊印”缺陷的产生有抑制作用。

关键词:钢管;张力减径;孔型;有限元

中图分类号: TG335.19 **文献标识码:** B **文章编号:** 1008-0716(2004)04-0030-03

Analysis of Wall Thickness Distribution for Different Stretch-Reducing Pass by FEM

ZHOU Xiao-lan

(Baosteel Steel Tube Branch, Shanghai 201900, China)

Abstract: According to the finite element simulation for steel tube stretch-reducing processes, the distribution of tube transverse wall thickness produced by three kinds of passes in the stretch-reducing mill was compared. It is confirmed that the new passes patented by Baosteel can lead to more homogeneous wall thickness than the traditional passes formerly introduced from Germany and can suppress the “roll marks”.

Key Words: Steel tube; Stretch-reducing; Pass; Finite element method

1 引言

张力减径作为钢管连轧机组的成品工序,对成品管的轧制质量有较大影响。而张减机孔型设计的好坏直接关系到金属变形的均匀性,对改善张减过程产生的横向壁厚不均及由孔型辊缝处过充产生的“辊印”缺陷,具有实际意义。宝钢钢管分公司的 3 辊张力减径机机组长期以来一直使用德国曼内斯曼传统的椭圆孔型 Bo 及圆孔型 Br。2001 年起,采用宝钢专有技术设计的 100D、RDBH 多边化优化孔型,全面取代原德国引进的传统孔型并取得显著效果。本文借助 MARC 有限元分析软件分别对 100D、RDBH、Br 孔型进行模拟轧制分析。

2 钢管张减过程有限元模拟

2.1 钢管张力减径工艺过程

钢管张力减径时的外工具是轧辊,管子在由 3 个轧辊所组成的孔型中变形,没有内工具,在减径的同时减壁。钢管的外径尺寸主要由孔型限定。为了达到减壁的目的,需在管子上施加张力,金属变形发生在三维空间,金属流动非常复杂。MARC 作为目前世界上功能较强的非线性结构分析有限元软件,在处理这类几何非线性、材料非线性及边界非线性的三维问题上,与同类软件相比,具有明显的优势。

2.2 模拟对象产品规格的选择及其张减机孔型参数

模拟对象选择成品外径 $\phi 108$ mm,壁厚 12.5 mm 的钢管产品,使用的孔型分别为 152.5B100D、152.5BRDBH、152.5Br,张减机的机架数都是 11 架。由于这 3 种孔型的 5 架成品机架均采用 Br 孔型,为了缩短计算时间及避免有限元网格的畸变,只模拟前 6 个主变形机架的连轧过程,孔型参数详见表 1。

周晓岚 工程师 1968 年生 1991 年毕业于上海工业大学 现从事轧钢专业 电话 26649553

表 1 孔型参数表

Table 1 Parameters of passes

机架号	152.5B100D			152.5BRDBH			152.5Br		
	直径/mm	减径率	椭圆度	直径/mm	减径率	椭圆度	直径/mm	减径率	椭圆度
1	149.51	0.019 6	1.019 0	149.51	0.019 6	1.013 1	149.51	0.019 6	1.018 8
2	145.16	0.029 1	1.008 6	145.06	0.029 8	1.007 2	145.16	0.029 1	1.009 7
3	139.65	0.038 0	1.027 7	139.40	0.039 0	1.018 0	139.57	0.038 5	1.027 2
4	131.59	0.057 7	1.026 6	131.59	0.056 0	1.018 6	131.50	0.057 8	1.028 1
5	124.07	0.057 1	1.026 0	124.17	0.056 4	1.018 7	124.01	0.057 0	1.025 3
6	117.00	0.057 0	1.025 3	117.00	0.057 7	1.019 0	117.06	0.056 0	1.026 3

2.3 MARC 软件有限元模型描述

轧件根据孔型对称性取荒管整个截面的六分之一,以对称面节点切向位移为零作为边界条件。网格单元采用 8 节点等参元描述,共 640 个单元。

轧辊孔型是对轧辊轴线对称的旋转面。奇数机架与偶数机架互成 60 排列。

为了减少计算时间,在不影响计算精度的情况下,对模型作以下简化:(1)轧辊看作刚体,只考虑轧件的变形;(2)轧辊间距缩短至变形区长度的 2.5 倍;(3)轧辊与轧件间的接触摩擦采用轧制剪切模型,摩擦因数取平均值 0.4。

不考虑张力减径过程中的热效应。

各机架轧辊转速参考实际的轧辊转速给定,在机架间建立一定的张力。

模拟开始时,先将轧件推入第 1 机架,然后轧件在轧辊的带动下依次被各个机架咬入,当轧件到达第 6 机架出口后,模拟计算结束。

轧件和轧辊的几何模型见图 1。

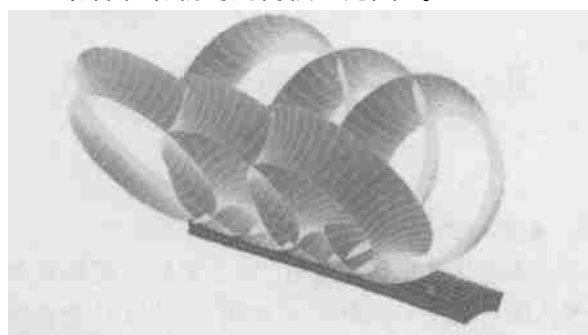


图 1 有限元模拟模型图

Fig. 1 A finite element simulation model

3 模拟结果分析

在模拟结果文件中,取稳定轧制阶段轧件在最后 1 个机架出口截面的数值作分析。按图 2 所示方位进行取值。

3.1 横向壁厚分析

图 3 为 BRDBH、B100D、Br 孔型轧后轧件横向

壁厚分布图。由图可见,BRDBH 和 B100D 孔型轧制钢管的横向壁厚分布具有相似性,两者之间只有程度上的差异,没有规律上的分别。而 Br 孔型轧制钢管的横向壁厚分布规律与之有明显的不同,这是由孔型结构决定的。B100D 和 BRDBH 孔型同属多边形孔型,两者具有相同的孔型结构。

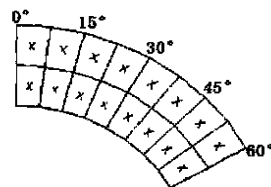


图 2 轧件横截面示意图

Fig. 2 Illustration of cross section of a rolled tube

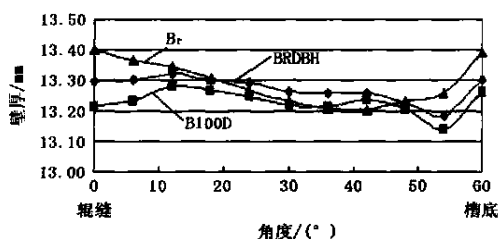


图 3 3 种孔型轧件横向壁厚分布

Fig. 3 Cross distribution of tube wall thickness with 3 passes

分析 BRDBH、B100D、Br 孔型轧后轧件横向壁厚极差值可见,3 种孔型中,经 BRDBH 孔型轧制的轧件壁厚极差值最小,B100D 孔型与 BRDBH 孔型相当,而 Br 孔型最差,见图 4。

张力减径时钢管在轧辊辊缝处的壁厚会出现不同程度的增厚。BRDBH、B100D、Br 这 3 种孔型的辊缝处轧件壁厚的比较(图 5)可知,Br 孔型所轧钢管辊缝处壁厚的增厚现象最为明显,B100D 和 BRDBH 孔型的情况相当,B100D 孔型略好于 BRDBH 孔型,即:Br 孔型与 B100D 和 BRDBH 孔型相比更易产生外表“辊印”缺陷。

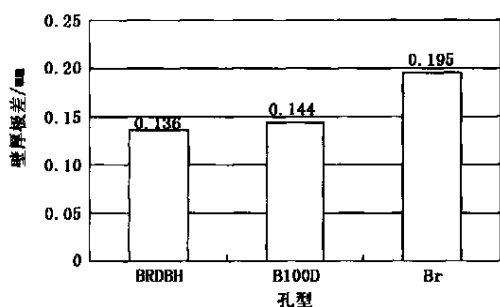


图 4 3 种孔型轧件横向壁厚极差对比

Fig. 4 Comparison of tube wall cross thickness gradation with 3 passes

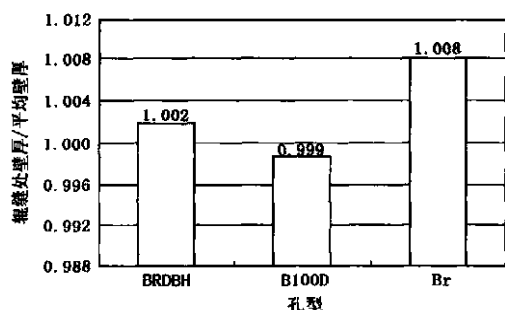


图 5 3 种孔型轧件孔型辊缝处增厚现象对比

Fig. 5 Comparison of thickening phenomenon at roll gaps with 3 passes

3.2 等效塑性应变分析

图 6~8 分别为 BRDBH、B100D、Br 孔型轧后轧件等效塑性应变分布图。



图 6 BRDBH 孔型轧件横向等效塑性应变图

Fig. 6 Equivalent plastic strain of tube cross section of BRDBH passes

如图所示,3 种孔型的等效塑性应变呈层状分布,其数值沿轧件径向由外至内逐渐增大,孔型辊缝处的等效塑性应变小于槽底处的等效塑性应变。由于模拟同一规格的产品,等效塑性应变的最大值相当接近,但分布规律却有明显的不同。多边化孔型的等效塑性应变呈不对称分布,最大值出现在槽底,辊缝处的等效塑性应变明显比槽

底处小,而 Br 孔型的等效塑性应变呈对称分布,虽然最大值同样出现在槽底,但辊缝和槽底处的数值很接近。也就是说,多边化孔型结构大大改善了孔型辊缝处的变形状态,可避免出现严重的轧折现象,对钢管外表“辊印”缺陷有抑制作用。另外,Br 孔型等效塑性应变呈对称分布的特性,致使 Br 孔型在轧制中小口径厚壁管时,与多边化孔型相比,更易形成较规则的内六方缺陷,严重影响钢管的管形甚至导致壁厚超差而判废。

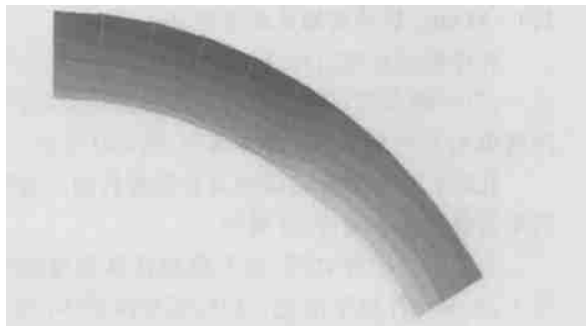


图 7 B100D 孔型轧件横向等效塑性应变图

Fig. 7 Equivalent plastic strain of tube across section of B100D passes

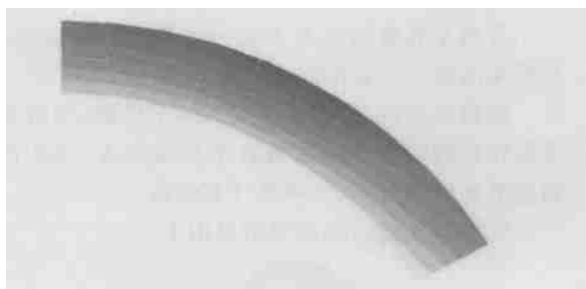


图 8 Br 孔型轧件横向等效塑性应变图

Fig. 8 Equivalent plastic strain of tube across section of Br passes

4 实际生产情况

多边化孔型已于 2001 年全面替代传统孔型投入生产应用。实际生产表明,多边化孔型在壁厚均匀性和外表质量方面都优于传统孔型,与模拟结果较为一致。图 9 为 BRDBH、B100D、Br 孔型轧制钢管的壁厚相对极差正态分布。

5 结语

通过 BRDBH、B100D、Br 孔型对轧制 $\phi 108 \text{ mm} \times 12.5 \text{ mm}$ 规格钢管产品的张力减径过程的有限元模拟,以及模拟管子横向壁厚分布的分析,可得

(下转第 11 页)

$\text{Fe}_2\text{Al}_5\text{Zn}_x$, 悬浮在锌液中的锌渣大小为 15 ~ 30 μm 。GI 和 GA 生产时在锌锅死角都发现了底渣, 且此处的底渣最大, 尺寸为 80 ~ 400 μm , 另

外, GA 生产状态下在锌锅其他处也发现了由很多小锌渣组成的底渣簇, 是没有来得及集聚长大的底渣。各种锌渣的特点如表 2 所示。

表 2 各种锌渣和镀层的特点

Table 2 Characteristics of zinc dross and coatings

	Al/ %	Fe/ %	Zn/ %	尺寸/ μm	硬度 HV	形状
面渣	34 ~ 44	37 ~ 42	19 ~ 23	40 ~ 100	669	颗粒状多边形
底渣	1.2 ~ 2.2	6 ~ 8	90	80 ~ 400	295	长条状或多边形
悬浮锌渣				20 ~ 40		小颗粒
纯锌镀层	0.3 ~ 0.5	0.035	99.0		60	
GA 镀层	0.2 ~ 0.3	8 ~ 12	90		136	

5 结语

通过对宝钢 1550mm 冷轧厂热镀锌机组 (CCL) 的锌锅物质平衡的测试, 锌锅的温度场、浓度场的测定以及各种锌渣的分析, 对锌锅在正常生产运行状态中锌锅温度和成分的空间分布有了一个较为全面的描述。

(1) 物质平衡测试的结果表明, 由锌锭输入的锌、铝物质, 在 GI 生产时有着较高的利用率, 其中形成锌层的锌占 90.7%, 锌渣中的耗锌量占 9.3%; 而 GA 生产时, 形成镀层所用的锌占 75.3%, 其余 24.7% 形成了锌渣。

(2) 无论是 GI 还是 GA 生产状态下, 锌锅中锌液的温度和成分基本上是均匀的。从水平面来看, 锌锅深度大于 20cm 后, 温度较为均匀, 从纵向截面来看, 炉鼻前温度较低, 其中在气刀前方靠近加锌锭的一边 (图 2 的位置 5) 温度最低, 温度场并非完全对称。

(3) GI 生产时, 锌锅深度大于 150cm 后, 锌液中的铁含量明显减少, 相应的锌渣量减少。GA 生

产时, 沿锌锅深度方向, 锌液中的铁含量基本处于一个水平上, 没有明显的减小趋势, 相应的锌渣量随深度也没有明显下降的趋势。

(4) 锌锅中有面渣、悬浮于锌液中的锌渣和底渣等各种锌渣, 底渣为锌—铁金属化合物, 含铝量较低, 硬度大于镀层硬度, 形状为棱角分明的多边形、长条状或由多个小颗粒集聚而成的锌渣颗粒簇, 大小为 80 ~ 400 μm ; 面渣为含铝量较高的铁—锌—铝金属化合物, 硬度最高, 棱角也较为圆滑, 大小一般为 40 ~ 150 μm ; 当锌渣颗粒大小为 15 ~ 40 μm 时一般悬浮于锌液中。

参 考 文 献

- 1 Linares I. The Operating Conditions of The Zinc Bath of A Galvanizing. GALVATECH 95, 1995: 657 ~ 661
- 2 李九岭. 带钢的连续热镀锌. 北京: 冶金工业出版社出版, 1981: 176

编辑 李仁江

(改稿日期: 2004 - 03 - 15)

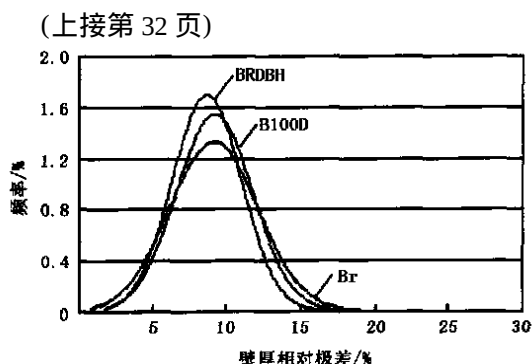


图 9 3 种孔型轧制钢管的壁厚
相对极差正态分布图

Fig. 9 Gaussian distribution of relative gradation of
tube wall thickness with 3 passes

到以下结论: 从孔型角度而言, 德国 Br 孔型所轧钢管的横向壁厚极差较大, 也更易在钢管外表面产生“辊印”缺陷; BRDBH 孔型和 B100D 孔型所轧钢管在壁厚均匀性和外表质量方面都优于 Br 孔型, 其中 BRDBH 孔型在壁厚均匀性上比 B100D 孔型好, 而 B100D 孔型抑制外表“辊印”缺陷的能力更强一些。模拟结果得到了实际生产的验证。

编辑 李仁江

(改稿日期: 2004 - 04 - 22)