

异形管两辊双道次成型过程研究

刘志宏, 郁 杰, 吴杰峰

(中国科学院等离子体物理研究所, 安徽 合肥 230031)

摘 要: 利用显示动力学有限元法模拟了异形管两辊双道次成型过程, 结合实验对异形管两辊双道次成型过程中轧制道次与轧制力的关系、轧制力与轧制速度的关系、轧制力与壁厚的关系、轧制力与摩擦系数的关系、轧制力与辊轮大小的关系等方面进行了分析, 模拟结果与实验结果相符。研究结果为实际生产提供了有益依据。

关键词: 异形管; 有限元法; 轧制力; 双道次; 辊挤成型

中图分类号: TG335.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-9996(2008)01-0027-03

FEM Simulation of Two Rollers Double-pass Extrusion Forming Process of Square Shaped Tube

LIU Zhi-hong, YU Jie, WU Jie-feng

(Institute of Plasma Physics, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China)

Abstract: The explicit dynamic finite element analysis software ANSYS/LS-DYNA was used to simulate the two rollers double-pass roll extrusion process of square shaped tube. Relation between rolling speed, thickness of the tube, friction coefficient, size of the rolls and rolling force were studied. The simulate results were verified by experiments.

Key words: shaped tube; finite element method(FEM); rolling force; double-pass; roll extrusion forming

异形管是一种经济断面钢材, 具有重量轻、强度高、抗弯截面模量大、节省材料、易于安装等优点。以圆管为坯料采用无芯棒辊挤成型法与传统的固定模拉拔加工异形管相比, 具有摩擦力小、模具使用寿命长、产品表面质量好、生产成本低等优点^[1,2]。因此对异形管辊挤成型工艺、设备及力能参数的计算等进行研究对生产实践具有重要的现实意义。但是整个成型过程具有复杂的几何非线性、物理非线性、边界非线性和接触非线性等特征, 传统的解析法或半解析法无法合理求解其三维变形问题, 所以本文采用显示动力学有限元法^[3], 结合实验对异形管两辊双道次成型过程中轧制力与轧制速度的关系、轧制力与壁厚的关系、轧制力与摩擦系数的关系、辊轮大小与轧制力的关系进行了分析研究, 其模型见图 1。

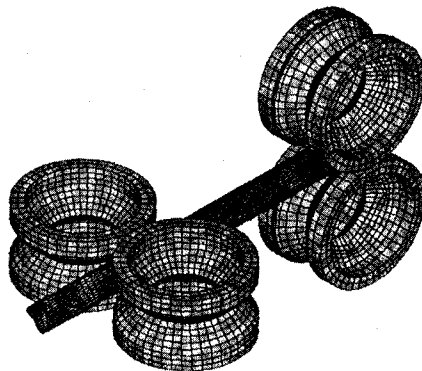


图 1 异形管两辊双道次挤压模型

1 有限元模拟

1.1 相关问题

异形管成型是典型的弹塑性问题, 涉及材料的非线性、接触非线性等多重非线性问题^[4]。

收稿日期: 2007-09-21

作者简介: 刘志宏(1983-), 男(汉族), 四川南充人, 博士研究生。

中
国
魔
环
导
卫
TEL: 0576-7552101 Fax: 0576-7552616

ANSYS/LS-DYNA 采用增强的拉格朗日法描述,单元刚度矩阵可表示为^[5]:

$$([K_0]^e + [K_\delta]^e + [K_1]^e)\Delta U = f + q - r \quad (1)$$

式中, $[K_0]^e$ 、 $[K_\delta]^e$ 为小位移和大位移的弹塑性刚度矩阵; $[K_1]^e$ 为初应力刚度矩阵; ΔU 为位移增量; f 为点载荷; q 为面载荷; r 为初应力的节点向量。

另外,分析接触问题存在两大难点:①在求解问题之前尚不知接触区域表面之间是接触还是分开;②需要计算摩擦力。由于摩擦模型都是非线性的,致使问题的收敛性变得困难。

分析摩擦时采用库仑摩擦^[6],接触的本构方程为:

$$\sigma_c = [K_c]\epsilon_c \quad (2)$$

式中, σ_c 为接触应力; ϵ_c 为接触应变; $[K_c]$ 为接触刚度矩阵。

通过建立接触对来描述程序,同时采用实常数 P 指定容许的最大渗透量,用实常数 K 决定接触刚度,但是 K 的选择要结合 P 值来进行。本模型中这两个参数最后取值为 $P = 5, K = 0.01$ 。

1.2 有限元模型

在采用 ANSYS/LS-DYNA 显示动力学方法计算过程中,由于圆管的对称性采用 1/4 部分建立模型,根据有限元分析的原理,在圆管的对称面上施加与对称面法线方向一致的位移约束,从而保证在法向方向上没有位移产生,但可以在和法线垂直的两个方向上产生位移。两个辊轮则只允许其绕着各自的轴线旋转,而不能产生其他的位移和旋转,见图 2。

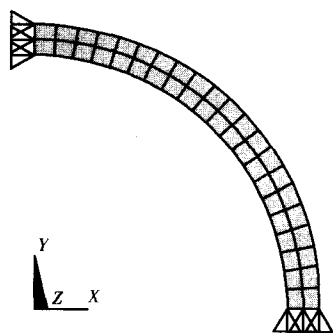


图2 圆管约束模型

根据辊轮和其支撑装置变形非常小的特点,在建模时不考虑辊轮的变形,把它定义为不可变形的刚性体,而产生大变形的圆管则采用弹塑性

材料,并用双线性强化模型表示其本构关系。轧辊和轧件均采用八节点实体单元 SOLID164 划分网格,得到轧辊和轧件的单元数分别为 1408 和 5040。轧制过程的模拟:轧辊保持匀速转动,轧件以接近于轧辊圆周线速度的初始速度向轧辊运动,直至卷入轧辊后,靠轧辊和轧件之间的摩擦力完成轧制过程。轧辊和轧件的物性参数见表 1。

表1 轧辊和轧件的物性参数

部件	材质	弹性模量/MPa	密度/kg·m ⁻³	泊松比
轧辊	Cr12MoV	210	7850	0.300
轧件	SS316LN	196	8000	0.294

2 实验及结果分析

2.1 实验模型^[7,8]

在两辊双道次成型过程中,需要将外径为 $\Phi 26\text{mm}$ 、壁厚为 1.5mm 的不锈钢圆管首先经过第 1 道次轧制得到边长为 23mm 的矩形管,然后经过第 2 道次轧制得到边长为 21mm 的矩形管,见图 3。

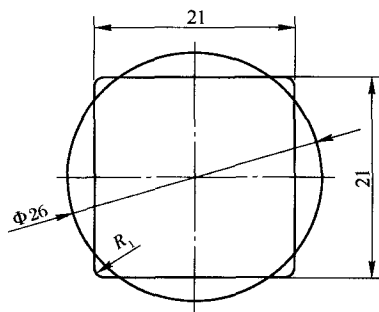


图3 成型示意图

2.2 模拟结果与实验结果的比较

将实验得到的不锈钢管利用切割设备,在距端面不同距离的各个截面截开,获得成型后的异形管的截面形状。通过比较数值模拟得到的截面形状(见图 4)和实验所得的截面形状(见图 5),可以看出模拟结果和实验结果一致,在距端面大约 10~20mm 处矩形管的截面形状趋于稳定,这和实验中轧制力的变化情况也是相符的,从而验证了利用所建立的分析模型模拟异形管两辊双道次成型过程的可行性和正确性。

2.3 轧制速度对轧制力的影响

本次实验分别对轧制速度为 0.05、0.10、0.20m/s 3 种情况进行了模拟计算。轧制速度与轧制力的关系如图 6 所示。从图 6 可以看出,轧制力随着轧制速度的增加而减小,第 2 道次的轧

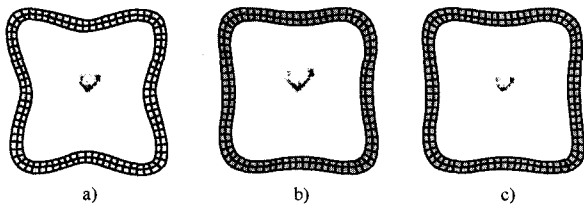


图 4 模拟计算的钢管截面形状

a)端面;b)距端面 30mm;c)距端面 60mm

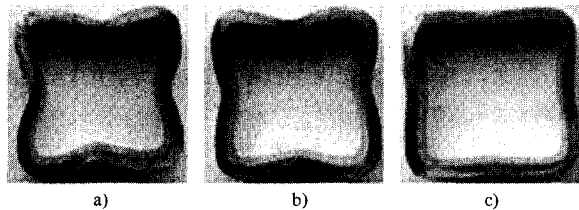


图 5 实测钢管截面形状

a)端面;b)距端面 30mm;c)距端面 60mm

制力明显高于第 1 道次,这是由于第 1 道次轧制时所产生的加工硬化增加了钢管变形抗力的原因。在模拟过程中发现,低速度轧制轧件的表面质量明显好于高速度轧制轧件的表面质量。

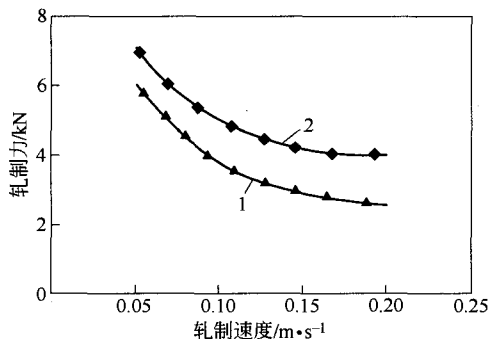


图 6 轧制速度与轧制力的关系

1—第 1 道次;2—第 2 道次

2.4 摩擦系数对轧制力的影响

在实际轧制过程中,为了减小轧件温度的升高,以及减缓轧辊的磨损,需要对轧件和轧辊的接触进行润滑,在实验过程中分别对摩擦系数为 0.05、0.10、0.20、0.30 时 4 种情况进行了模拟,图 7 为轧制力与摩擦系数的关系。从图 7 可以看出,轧制力随着摩擦系数的增加而增大。在实验过程中发现,当摩擦系数为 0.05 时,轧件运动到轧辊处便停止前进了,其原因是摩擦系数太小而导致产生的摩擦力不足以带动轧件继续前进。

2.5 轧辊辊径对轧制力的影响

在实验过程中采用直径分别为 $\Phi 50$ 、 $\Phi 100$ 、

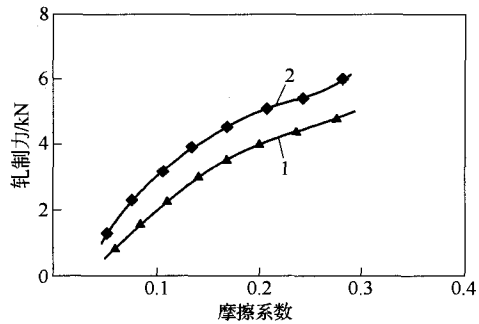


图 7 轧制力与摩擦系数的关系

1—第 1 道次;2—第 2 道次

$\Phi 150$ mm 3 种尺寸的轧辊进行模拟计算,轧辊辊径与轧制力的关系如图 8 所示。从图 8 可以看出,轧制力随着轧辊直径的增加而增大,在模拟过程中发现轧辊直径越大,轧制后的钢管在其半径方向上的回弹位移越小,但是增大轧辊直径会明显增加整个轧制设备的体积,所以轧辊直径的增加是有一定限度的。

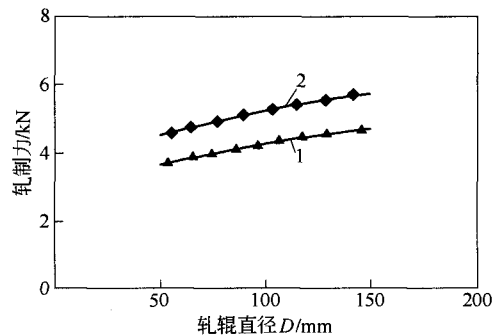


图 8 轧制力与轧辊辊径的关系

1—第 1 道次;2—第 2 道次

2.6 钢管壁厚对轧制力的影响

在本次实验中,对钢管壁厚分别为 1.5、3.0、6.0mm 3 种情况进行了模拟计算。钢管壁厚与轧制力的关系如图 9 所示。从图 9 可以看出,轧制力随着钢管壁厚的增加显著增大。从模拟结果可以得到,在方管尺寸一定的情况下,圆管的管壁越厚,端部形状不合格的长度就会越短。

3 结论

采用 ANSYS/LS-DYNA 显示动力学有限元法对用经典解析法无法进行计算的异形管成型过程进行非线性模拟计算,并通过实验的方法验证了所建立的分析模型模拟异形管两辊双道次一次成型过程的可行性和正确性。实验结果表明,轧

中国魔环卫士
 浙江沪环机械有限公司
 TEL:0576-7552101 Fax:0576-7552616

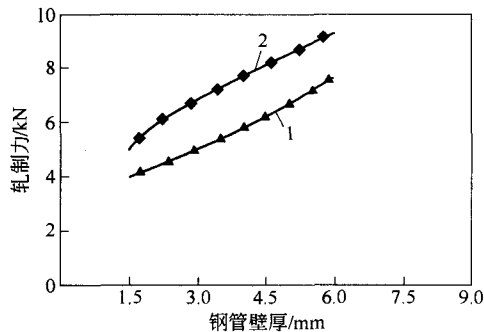


图9 轧制力与钢管壁厚的关系

1—第1道次;2—第2道次

制力随着轧制速度的增加而减小,但是过快的轧制速度将不能保证轧件的表面质量。轧制力随着摩擦系数的增加而增大,但是过小的摩擦系数产生的摩擦力将不足以保证能够带动轧件持续运动,因此当轧制产生的摩擦力过小时,应当对钢管施加一个轴向的输送力。轧制力随着轧辊辊径的增加而增大,大的轧制力有助于减小轧制后的钢管在半径方向上的回弹位移,但是出于整个轧制设备体积上的考虑,轧辊直径的增加是有一定限度的。轧制力随着轧件壁厚的增加而增大,轧制后的厚壁钢管的端面形状明显好于薄壁钢管。在

实验过程中发现,轧制得到的异形管有一定的菱形度,因此,为了提高产品的质量,在实际生产过程中应当再增加一组定径的辊轮以消除其菱形度。

参考文献:

- [1]周纪华,管克智.金属塑性变形阻力[M].北京:机械工业出版社,1989.
- [2]孙一康.带钢热连轧的模型与控制[M].北京:冶金工业出版社,2002.
- [3]刘立忠,刘相华,王国栋.轧制过程的显示动力学有限元法模拟[J].东北大学学报,2001,22(3):327-330.
- [4]徐秉业,刘信声.应用塑性力学[M].北京:清华大学出版社,1995.
- [5]Shire Kobayashi, Oh S I, A Itan T. Metal Forming and Finite Element Method[M]. New York: Oxford University Press, 1989.
- [6]Hideaki Furumoto, Kenji Yamada. Effect of the Number of Work-roll Surface Division on Prediction of Contact Length in Coupled Analysis of Roll and Strip Deformation during Sheet Rolling[J]. ISIJ International, 2002, 42(7): 736-743.
- [7]日本钢铁协会.板带轧制理论与实践[M].北京:中国铁道出版社,1990.
- [8]张小平,柳玉伟,李志永.双道次辊挤成型过程挤压力公式的建立[J].太原重型机械学院学报,2005,26(1):16-21.

节约除鳞水的新方法

热轧件的除鳞效果主要取决于水的冲击强度,其表达式为喷射力与水覆盖面积的商。而决定冲击强度的因子主要有5个,即除鳞喷嘴的类型(尺寸)、喷射角度、单位时间水流量、钢表面的喷射压力及水的喷射高度。

研究表明,喷射压力、喷嘴尺寸、喷射角度和单位时间水流量对冲击强度呈线性关系;而喷射高度则与其呈指数关系。当喷射高度变化时,喷嘴的喷射宽度和喷射深度都受影响。因此喷射高度是最具有影响力的参数,它对冲击强度影响因素约为4。这意味着,为使成本效益最佳化,要尽可能缩短喷射距离,虽然在实际生产时这会带来热能损失等问题。

除鳞系统的设计取决于氧化铁皮类型。大多数氧化铁皮是在加热炉中形成的。为了使加热炉中的铁皮易于除去,

加热炉内通常为氧化气氛。所产生的铁皮大多很厚且是干性的。这种铁鳞要薄但紧紧附着在钢表面的铁皮更易于去除。采用激冷法即可除去这类氧化铁皮。但对于高合金钢和低碳钢,即使是在氧化气氛下,也会出现难以去除的薄且紧紧附着在钢表面的氧化铁皮。此时要采用脉冲式冲击方式,要求每单位面积水的冲击强度要大,而水量要小,即水的喷射距离必须短且喷嘴要小。

目前德国莱克勒公司开发出一套除鳞软件使除鳞系统具有可靠的除鳞性能。软件提供了不同的喷嘴排列、操作条件及喷射方式,并计算出了所有参数。

它除了降低喷射高度,还提供了更多的喷嘴类型和调整喷嘴的方法,而无需调整整个水流速,结果用水量减少了,同时保证了冲击强度。

为了确保阀门不漏水 and 除鳞后钢表面不留水印,采用了非刚性密封件。通过精密过滤器(网眼小于等于 $50\mu\text{m}$)或砂芯过滤,使除鳞水中的固状物质极少,从而减少了喷嘴和阀门的磨损。另外,由于除鳞水箱采用了陶瓷保护元件并用高强钢制造,因而提高了水箱寿命。

为了进一步节水,对于宽度达到或大于1500mm的热带轧机,还采用了2套除鳞方案。这类除鳞机的喷头分成两部分。在轧制较宽带钢时,两倍分的喷头均投入使用;在轧制较窄带钢时,仅使用一部分,从而降低了水的消耗,另外,该公司在进行高压除鳞之前,先用低压水将水循环系统中的空气排除。

陆 岩摘自《MPT》,2007,(4):54-60