304 不锈钢线材椭圆孔型冷连轧过程有限元模拟

张继祥[1]，王华[2]，文辉[1]
（1. 重庆交通大学 机电与汽车工程学院，重庆 400074；2. 上海大学 材料科学与工程学院，上海 200072）

摘要：借助有限元模拟软件 ANSYS/LS-DYNA 对 304 不锈钢线材椭圆孔型两道次冷连轧过程进行三维弹塑性有限元模拟，得出轧件在轧制过程中的等效应力、应变、金属流动、宽展等结果。模拟所得轧件的宽展与实验值的对比证实了利用有限元软件 ANSYS/LS-DYNA 进行模拟的可靠性。

关键词：线材；冷连轧；有限元；模拟
中图分类号：TG331 **文献标识码**：A
文章编号：1674-6457(2010)01-0015-04

FEM Simulation on the Two Pass Continuous Cold Rolling of Oval Profile 304 Stainless Steel Wire

ZHANG Ji-xiang[1], *WANG Hua*[2], *WEN Hui*[1]
(1. School of Machine and Electronic, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China;
2. School of Materials Science and Engineering, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

Abstract: This paper presents details of numerical simulation on the two pass continuous cold rolling of oval profile 304 stainless steel wire with the aid of FE code ANSYS\LS-DYNA. The equivalent stress, metal flowage, equivalent strain, spread coefficient ratio of the workpiece which provide theoretical guidance to actual production are gotten. The comparison of simulation spread coefficient ratio with experiment data shows good agreement, which confirms the reliability of ANSYS/LS-DYNA in analyzing problems of shape rolling.

Key words: wire rod; continuous cold rolling; FEM; simulation

金属异型材在轧制过程中变形情况比较复杂，纯粹依靠数学式计算出金属流动情况以及应力和应变规律等结果是非常困难的。计算力学与数值模拟相结合，大大地降低了轧制过程的研究难度。随着有限元法技术的发展，其在异型材轧制过程中模拟研究日益增多。例如东北大学[1]、北京科技大学[2]等都做过椭圆孔型轧制合金钢方坯的有限元模拟，东北大学的雄尚武等人还做出了棒材轧制过程中的三维有限元模拟[3]。国外对有限元模拟的运用较多，日本[4-5]、韩国[6]、澳大利亚[7-8]等都在钢板的轧制过程中运用了有限元模拟方法。美国也在很早就将有限元运用到钢的轧制过程分析中[9]。虽然有限元模拟研究在钢铁材料轧制领域已经发展了 10 多年，但是在棒线材椭圆孔型连轧过程的应用较少，目前文献中还没有建立确定的计算模型。文中根据山东大山金属压延有限公司生产的一批不锈钢异型线材，针对 304 不锈钢线材椭圆孔型两道次冷连轧变形过程，建立 ANSYS/LS-DYNA 显式动力学分析模

收稿日期：2009-11-16
基金项目：重庆市自然科学基金计划项目(CSTC,2007BB4436)；重庆市教育委员会科学技术研究项目(KJ080407)
作者简介：张继祥(1971-)，男，山东单县人，博士，副教授，主要研究方向为材料成形与模具。

型,并进行变形计算,为实际生产提供工艺数据。

1　模型建立及参数设置

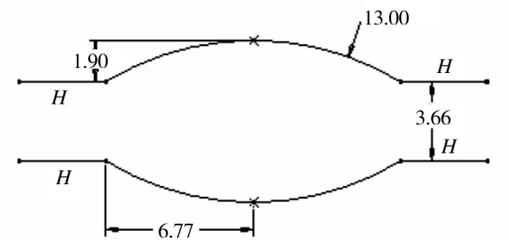
模拟过程中轧辊间距及轧件长度根据模拟情况选取,轧材为线材 304EST 不锈钢,退火状态。轧辊材料为 Cr12MoV,具体参数见表 1。模拟过程采用 Lagrange 算法及 Von Mises 屈服准则处理大变形问题。

表 1　模拟过程中参数设置

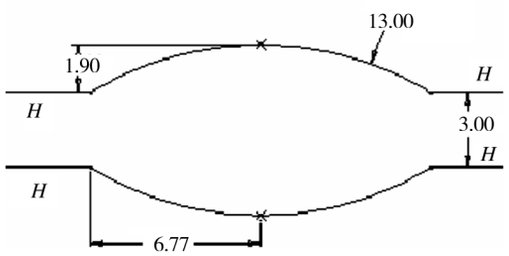
Table 1 Parameters of simulation process

轧 件	
密度	7.950×10^3 kg/m^3
弹性模量	200 GPa
泊松比	0.3
屈服强度	550 MPa
材料类型	双线性各向同性材料
单元类型	Solid 164
进给速度	27.85 cm/s
原始直径	10.213 mm
求解时间	2.6 s
轧件长度	27 mm
摩擦系数	动静摩擦系数均设为 0.19
轧 辊	
密度	7.7×103 kg/m^3
弹性模量	206 GPa
泊松比	0.25
材料类型	刚性体
单元类型	Solid 164
直径	250 mm
转速	第 1 道次:2.618 rad/s 第 2 道次:2.750 rad/s
辊间距	10 cm

由于轧件及轧辊都是几何对称体,所以在模拟过程中采用四分之一的轧件及轧辊进行计算。四分之一的轧件划分后得到 39000 个单元格,每半个轧辊划分为 7860 个单元格。两道次的轧辊孔型如图 1 所示。



a　孔型 1



b　孔型 2

图 1　椭圆孔型尺寸

Fig. 1　Oval profile dimensions

2　模拟结果及讨论

2.1　轧件横截面的应力、应变分布

轧件横截面等效应力分布如图 2 所示。可以看出,第 1 道次开始时,最大应力出现在坯料上部,此处与孔型弧顶局部接触,受力集中、条件苛刻;轧制过程中,最大应力转移到坯料中心部位,使心部发生大的塑性变形,宽展量大;轧制结束时,坯料宽展受侧壁阻碍,压下受阻,应力转移到孔型弧顶和侧壁处。第 2 道次轧制受力变化趋势基本与第 1 道次相同,主要不同点在于:轧制开始时由于压下量较小,而且孔型与坯料接触面较大,所以受力由弧顶向中心转移。各个道次最大轧制应力都小于 600 MPa,属于材料塑性范畴,没有过大载荷。

轧件的应变分布如图 3 所示。可以看出,随轧制进行,第 1 道次开始时应变集中在坯料上表面,即孔型弧顶处,随着压下,由于受到孔型与坯料的摩擦等因素影响,应变向内部迁移,总体应变逐渐增大;轧制后最大应变集中在工件心部。这时发生最大的宽展,坯料心部受拉容易形成裂纹;第 2 道次与第 1 道次变形基本相同,只是轧制开始是坯料与孔型接触面较大,受摩擦影响,变形主要出现在坯料中心。

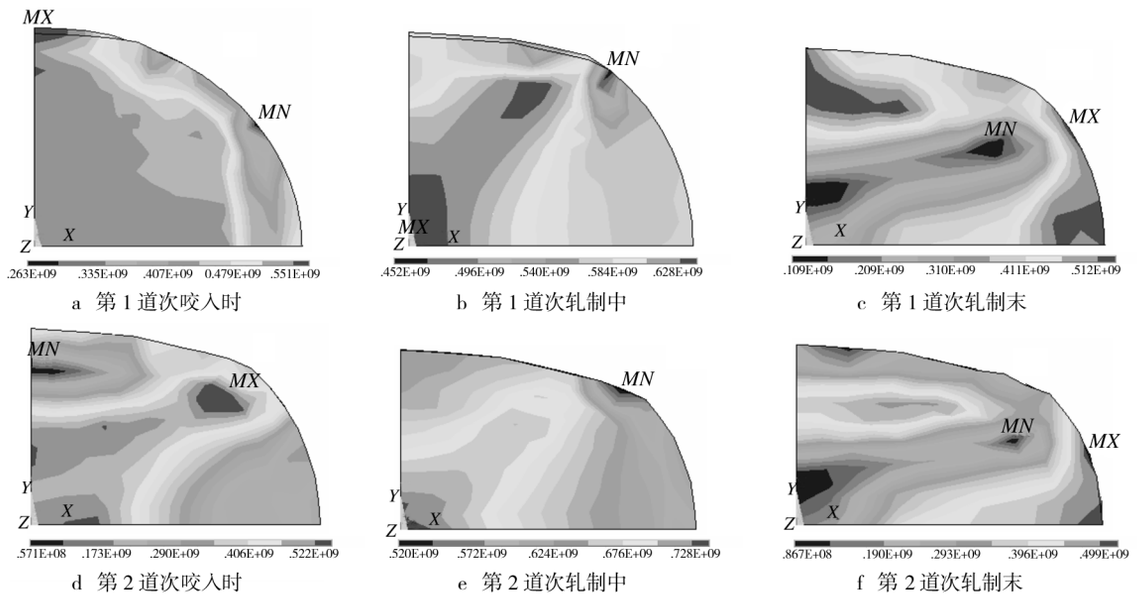


图 2 轧件横截面等效应力分布

Fig. 2 Equivalent stress of cross section

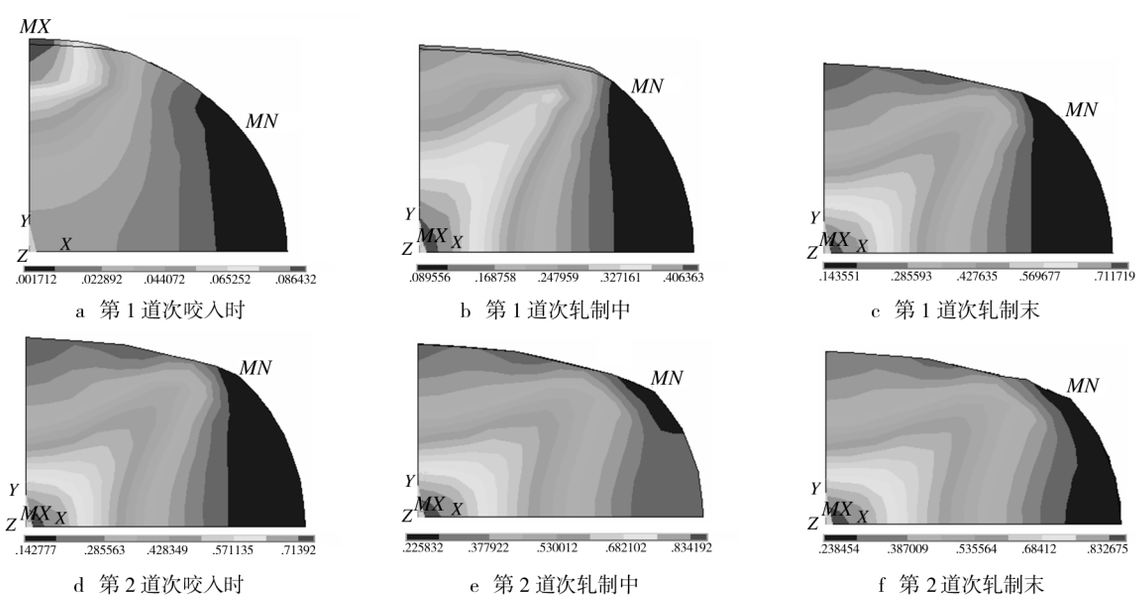


图 3 轧件横截面等效应变分布

Fig. 3 Equivalent strain of cross section

2.2 轧件内部金属流动情况

轧件内部金属流动情况是通过轧件内部的变形情况得出的。第 2 道次轧制中轧件各个不同方向的变形情况(轧件横截面)如图 4 所示。

图 4 表明,轧件沿各个方向的变形极不均匀。在 *TD* 方向上(如图 4a 所示)宽展主要来自心部的受拉变形,而上下表面和侧壁处的坯料受到的是压缩变形,但变形量不大; 在 *ND* 方向上(如图 4b 所示)轧件全部受到压缩变形,最大变形处出现在坯料的心部。心部材料在 *RD* 截面上受到拉伸和压缩复合变形,变形复杂。*RD* 方向(如图 4c 所示)基本

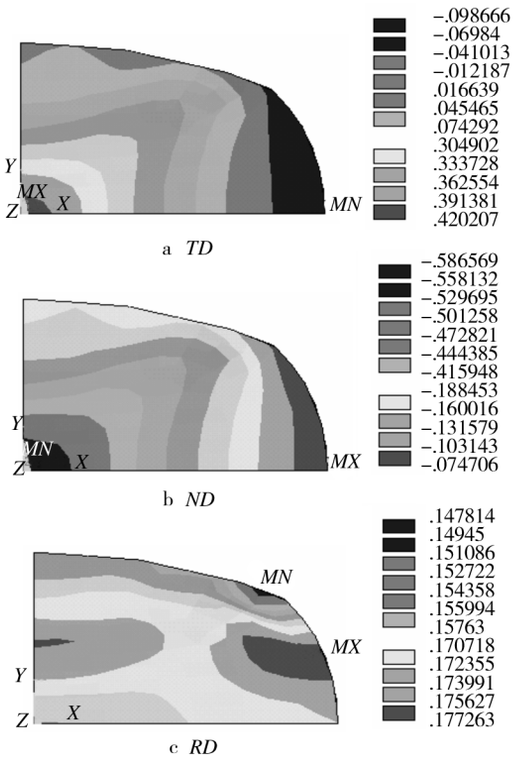


图 4　轧件各方向应变分布

Fig. 4　Equivalent strain in different directions

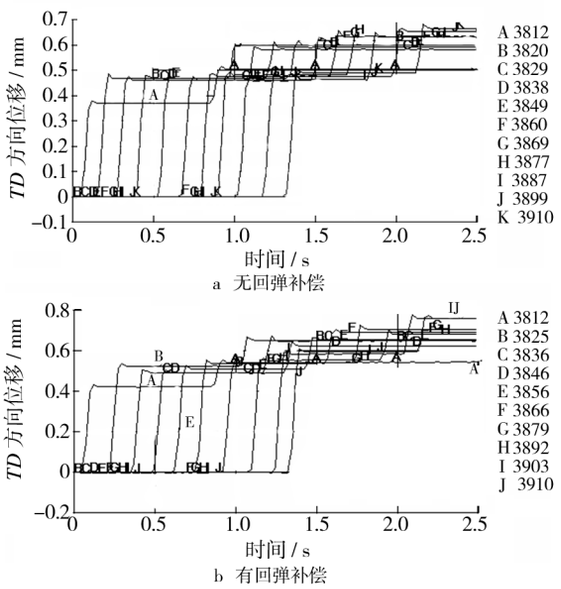


图 5　轧件宽度端点的位移

Fig. 5　Displacement of edge points

都是拉伸变形,工件轧长变形。对比轧长和宽展变形,宽展变形量大于轧长变形量,说明工件轧制时进行了充分的宽展,更好的充填孔型,保证了异形件轧制成形。

2.3　轧件宽展量

轧件的宽展量是通过轧件宽度左右端点沿宽度方向的位移值得出的,模拟结果所得轧件宽度左右端点沿宽度方向的位移如图 5 所示。

该轧制过程轧件宽度边缘点沿轧件宽度方向的位移如图 5a 所示,其中 A、K 为轧件前后两端点,其余点为从轧件中部所取。根据图 5 示得轧件在宽度方向的延长量为 $0.00065\times2=0.0013$ m,即宽展量为 1.3 mm,这与实际生产中的宽展 1.707 mm 相差 0.4 mm。

考虑到回弹作用的影响,当将辊缝减小 0.1 mm 时所得轧件的宽展及压缩量如图 5b 所示。可以看出,将辊缝减小 0.1 mm 后,得到的轧件宽展量约为 1.4 mm,这与实际生产中的宽展 1.707 mm 相差约 0.3 mm,误差明显减小。

以上结果说明,ANSYS/LS-DYNA 可以有效地计算异形件轧制宽展变形量。因此可以用来指导轧制孔型充填分析,指导孔型优化设计。

3　结语

1) 利用 ANSYS/LS-DYNA 可以简捷方便地计算不锈钢棒线材椭圆孔型连轧过程等效应力、应变、轧件内部金属流动情况、宽展量等结果,为实际生产提供理论指导。

2) 轧件在轧制过程中受力状态在不断变化,组织中没有出现过大载荷;变形极不均匀, 工件心部受力复杂,容易出现裂纹;宽展变形量大于轧长变形量,保证了异形件的宽展充填成形。

3) 模拟异形件宽展变形,变形量与实测结果基本一致,ANSYS/LS-DYNA 可以用来指导轧制孔型充填分析,指导孔型优化设计。

参考文献:

[1]　李建超,吴迪,赵宪明,等. 椭圆孔轧制方坯的显式动力学模拟[J]. 塑性工程学报, 2001,10(1): 57-59.

(下转第 27 页)

Table 5 Shear rate of the four inspection points

	N81642	N81560	N63634	N57488
剪切速率/s^{-1}	373.30	9910.5	9474.5	28823

由表 5 得,剪切速率都在材料允许值 40000 s^{-1} 范围内,从而可以在一定程度上保证整个制件在这种参数设置下,材料的性质是基本稳定的。

5 结语

研究了注塑工艺对 PMH 制件成形的影响。通过田口实验设计方法来安排模拟实验,利用信躁比分析得到如下结论。

1) PMH 填充行为和体收缩率的影响因素程度从大到小依次为:金属温度、模具温度、保压压力、保压时间、熔体温度。

2) 金属温度过低,PMH 制件将不能填充完整,至少要 180 ℃以上。随着金属温度的升高,各点的料流前锋的温度都明显呈现上升的趋势。

3) 在优化的工艺参数组合的基础上,特征点处的体收缩率为 4.461%,且分布均匀,有效地提高了注塑件的质量。

参考文献:

[1] GRUJICIC M, SELLAPPAN V, ARAKERE G, et al. Computational Feasibility Analysis of Direct-adhesion Polymer-to-metal Hybrid Technology for Load-bearing Body-in-white Structural Components[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2008,195(1-3):282-298.

[2] RAMANI K, TAGLE J. Process-induced Effects in Thin-film Bonding of PEKEKK in Metal-polymer Joints[J]. Polymer Composites,1996,17(6):879-885.

[3] GRUJICIC M, SELLAPPAN V, OMAT M A, et al. An Overview of the Polymer-to-metal Direct-adhesion Hybrid Technologies for Load-bearing Automotive Components [J]. Journal of Materials Processing Technology,2008, 197(1-3):363-373.

[4] GRUJICIC M, SELLAPPAN V, PANDURANGAN B, et al. Computational Analysis of Injection-molding Residual-stress Development in Direct-adhesion Polymer-to-metal Hybrid Body-in-white Components[J]. Journal of Materials Processing Technology,2008,203(1-3):19-36.

[5] 杨德. 试验设计与分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002:171-199.

[6] Moldflow company. MPI training manual[M]. Australia: Moldflow company,2006:200-227.

(上接第 18 页)

[2] 洪慧萍, 康永林. 椭圆孔型轧制合金钢方坯三维弹塑性有限元模拟[J]. 北京科技大学学报, 2003,25(2): 171-173.

[3] XIONG Shang-wu, LIU Xiang-hua, WANG Guo-dong, et al. A Three-dimensional Finite Element Simulation of the Vertical-horizontal Rolling Process in the Width Reduction of Slab[J]. Journal of Materials Processing Technology,2000,101:146-151.

[4] MORI K K. OSAKADA. Simulation of Three-dimensional Deformation in Rolling by the Finite-element Method[J]. International Journal of Mechanical Sciences, 1984, 26: 515-525.

[5] HIROSHI Hirano, HARUHIRO Ibata, HIROSHI Kawatani, et al. Width Necking at the Rougher in a Hot-strip Mill[J]. Journal of Mechanical Working Technology, 1983,7:367-383.

[6] SUN Cheng-gang. Investigation of Interfacial Behaviors Between the Strip and Roll in Hot Strip Rolling by Finite Element Method[J]. Tribology International, 2005,38 (4):413-422.

[7] JIANG Z Y, TIEU A K. A 3-D Finite Element Method Analysis of Cold Rolling of Thin Strip with Friction Variation[J]. Tribology International, 2004,37:185-191.

[8] JIANG Z Y, TIEU A K. Elastic-plastic Finite Element Method Simulation of Thin Strip with Tension in Cold Rolling[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2002:130-131.

[9] HWANG S M, SHIRO Kobayashi. Preform Design in Plane-strain Rolling by the Finite-element Method [J]. International Journal of Machine Tool Design and Research,1984,24(4):253-266.