

Y型三辊轧制变形过程有限元模拟与实验

胡海萍 孙吉先 朱为昌 刘雅政

北京科技大学材料科学与工程学院, 北京 100083

摘要 在弹塑性有限变形理论的基础上,应用大型通用有限元分析软件 ANSYS 对平三角孔型中轧件的变形进行了模拟.该分析软件是基于 Newton-Raphson 法的迭代过程,用一系列近似值逐渐收敛于实际的非线性解.为验证有限元模拟的准确性,还应用视塑性方法进行了实验研究.为保证实验精度,采用数控技术和激光技术刻制网格,并采用体视显微镜放大网格,以及采用计算机图像处理系统自动采集数据.计算结果与实验符合较好.

关键词 Y型三辊轧制;弹塑性有限元;视塑性法

分类号 TG 301

Y型三辊轧机是一种采用“无扭转、单线、微张力”工艺条件轧制简单断面型钢的连轧机组.其轧辊布置如图1所示.孔型是由3个互呈 120° 分布的盘状轧辊构成.由于轧辊布置象大写字母“Y”而得名.Y型三辊冷连轧机具有变形效率高,可连续生产,成材率高,产品综合性能优良等优点,能轧制难变形金属.在丝线材生产方面成为扩大品种、改善质量和提高效益的一项有效的新技术.

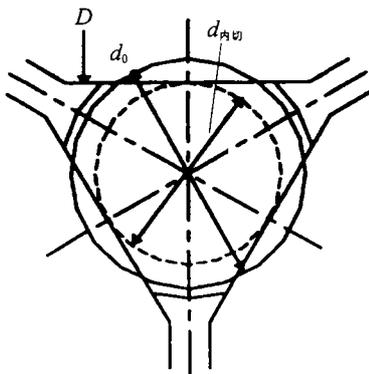


图1 平三角孔型示意图

在Y型三辊轧制方式下,轧件承受复杂的三维变形.虽然这项技术的应用从本世纪50年代初到现在有近50年的历史了,但对其变形规律研究还很少.所采用的方法主要有能量法、刚塑性有限元法和流函数法等^[1-3].本文应用弹塑性有限元法对Y型三辊轧制中轧件的变形进行模拟,并与视塑性实验结果进行比较.

1 有限元模拟

1.1 几何模型与材料模型

平三角孔型在Y型三辊轧机中的应用非常广泛,示意图如图1.将轧件模拟为弹塑性、多线性、各向同性应变硬化材料,这对于变形速度不大的冷轧过程是合适的.所模拟的材料为普碳钢,他遵从 Von Mises 屈服准则和 Reues 流动法则.其应力应变曲线由单轴压缩试验得到,如图2所示.计算所用到的参数列于表1中.

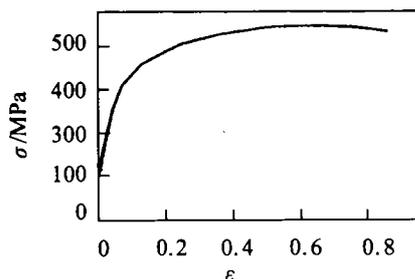


图2 轧件材料的应变硬化曲线

表1 计算参数列表

轧辊直径	$D=174.13$ mm
辊面宽度	$b=8.97$ mm
孔型内切圆直径	$d_{内切}=5.87$ mm
轧件原始直径	$d_0=8$ mm
名义压下率	$R=25\%$
轧件弹性模量	$E=210 \times 10^3$ MPa
泊松比	$\nu=0.29$
摩擦因数	$\mu=0.2$
轧件的流动应力	见图2

根据对称性,仅选取了轧件的1/6进行分析.

采用 1080 个 8 节点三维等参单元对轧件进行离散.如图 3 所示.在辊缝处自由表面节点划分得较密,以便观察轧件的宽展情况.轧件的长度为 70mm,大约是接触弧长的 5 倍.

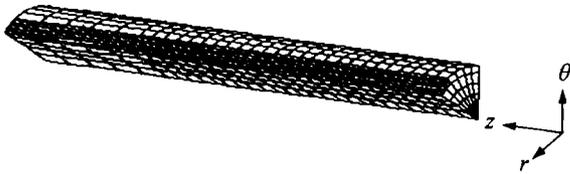


图 3 轧件的单元划分

在计算开始时,首先推动轧件,使其与轧辊接触,然后使轧辊旋转,将轧件咬入,直至稳定轧制过程的建立.

2.3 结果与讨论

轧件变形后,出口处横截面单元的形状如图 4 所示.由图可以看出轧件在辊缝处发生宽展,并且宽展是不均匀的,在靠近轧辊的地方宽展较小,在辊缝中央产生鼓肚.这是因为越靠近轧辊,受轧辊约束作用越大的缘故.

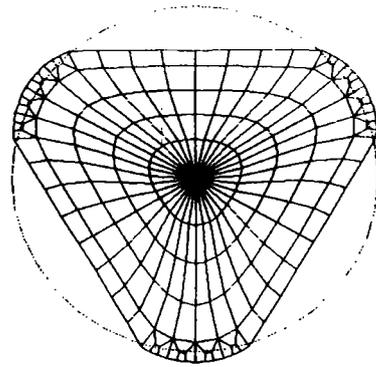


图 4 出口处轧件横截面上单元的形状

图 5 为稳定轧制阶段,轧件出口处横截面上的应变分布.图 5(a)为轧件的等效应变 ϵ_{eq} 的分布.金属的最大变形发生的部位不是轧件表面上与轧辊直接接触的地方,而是渗透到轧件内部.由图 5(b)轧件的径向应变 ϵ_r 分布可以看出,轧件总体上是受径向压缩变形的,只是在靠近辊缝的小区域受拉伸变形.在辊缝处的自由

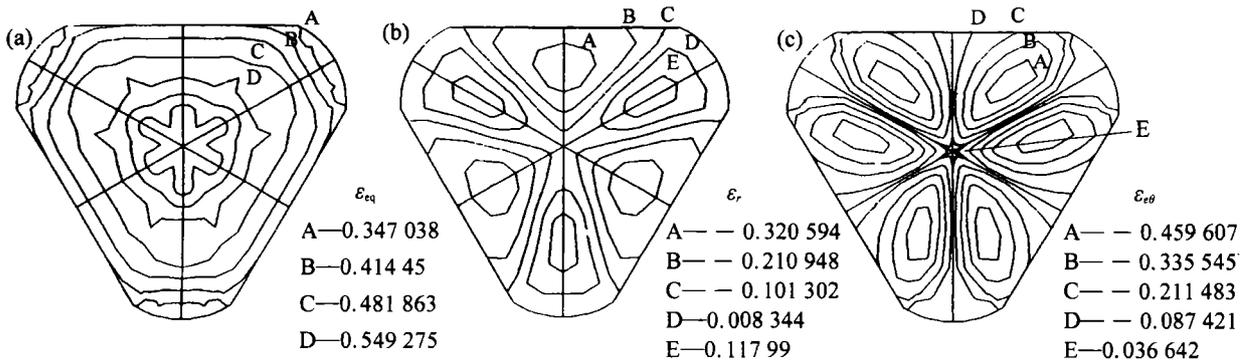


图 5 轧件横截面上的应变分布 (a)等效应变 ϵ_{eq} , (b)径向应变 ϵ_r , (c)剪切应变 ϵ_{θ}

表面附近,金属在此处受到压缩,这在很大程度上限制了金属的宽展.在作者所掌握的文献中这个现象还没有被提到过.图 5(c)为轧件横截面上剪切应变 ϵ_{θ} 的分布.如果将与轧辊接触的部分对应的扇形区域称为压下区,将与辊缝对应的扇形区域称为辊缝区,则在压下区和辊缝区交界面附近存在较大的剪切应变.这是由金属在此处流动方向发生剧烈变化造成的.文献 [3] 中用流函数上限法解析三辊轧制时,将压下区和辊缝区的交界面假设为速度不连续面,有限元模拟结果也说明这种假设是基本合理的.

图 6 为过轧件中心线与辊面垂直的对称面上的应变分布.可以看出金属沿轧制方向的变形很均匀,文献[3]中在用上限法解析时,采用平

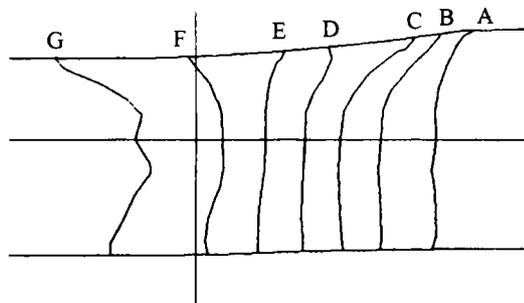


图 6 过轧件中心线与轧辊垂直的纵剖面上的应变分布
A—0.014 083, B—0.046 606, C—0.079 128,
D—0.111 651, E—0.144 174, F—0.176 696,
G—0.209 219, H—0.241 742

截面假设,有限元计算结果表明这种假设是基本合理的.

图 7 所示为卸载后,轧件出口处横截面的残余应力分布.残余应力的存在影响产品的力

学性能,使产品塑性降低.图7(a)为等效残余应力 σ_{eq} ,其在整个横截面上分布是不均匀的,在辊缝处数值较大.图7(b)为轧件的轴向残余应力 σ_z ,在辊缝处自由表面附近,轧件沿纵向受到较大的拉应力,而在与轧辊的接触面上沿纵向受到较大的压应力,并且在两个面交界处其值变化很剧烈.可以看出,在轧制完成以后,轧件辊缝处金属的受力状态比较恶劣.

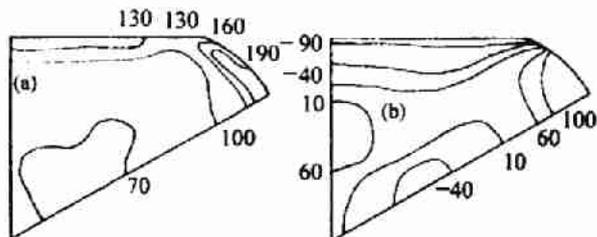


图7 轧件的残余应力分布

(a)等效残余应力 σ_{eq} , (b)轴向残余应力 σ_z

3 实验研究

为了验证有限元计算结果的准确性,用视塑性方法进行了实验研究.由于这种方法能够比较直观地了解金属塑性流动的特性,因此在塑性加工领域,特别是在拉拔、挤压的加工中应用较为广泛.文献[4~5]介绍了这种方法在轧制中的一些应用.视塑性方法的可靠性与实验精度密切相关,尤其是网格的制作和测量精度对实验结果的可靠性有着重要的影响.采用了数控加工技术和激光技术刻制网格以保证网格的精度.在数据采集集中使用了计算机图像处理软件自动读取网格点坐标,提高了实验的精度.

3.1 实验过程

(1) 试样准备. 试样材料为加工成 8.00 mm×120 mm 的普碳钢.将试样在中部沿横向切断,并将断面磨光.采用激光加工技术在断面上刻制如图8所示的极坐标网格.将两段试样经

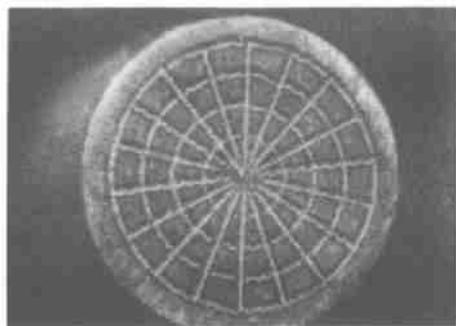


图8 激光加工的极坐标网格

表面焊接后制成组合试样.本实验应用真空电子束焊接技术,可以保证熔深 ≤ 0.2 mm,而且具有热影响区窄及焊后变形小的特点.

(2) 轧制.轧制是在Y型三辊轧机上进行的.采用与表1相同尺寸的孔型.轧制条件为室温,无润滑状态.

(3) 实验数据测量.轧制后将组合试样从焊接处断开,即可观察试样横截面上的网格变形情况(图9).将试样经体视显微镜放大后,拍成照片,然后经扫描仪制成图像文件,在图像处理软件中可以直接采集网格点的坐标.



图9 横截面网格变形

3.2 实验结果与分析

将试样横截面的变形简化为二维问题来处理.由变形前后网格点坐标的变化可以求出径向位移 u_r 及周向位移 u_θ .图10为有限元法与实验的位移结果比较.有限元计算的结果与实验结果是比较接近的.利用多项式拟合法分别拟合 $u_r-r, u_r-\theta, u_\theta-r, u_\theta-\theta$ 的关系.由应变一位移的几何方程可以得到应变分量 $\epsilon_r, \epsilon_\theta, \epsilon_{r\theta}$,代入等效应变公式后,可确定横截面的等效应变分布.图11分别是等效应变和应变分量的分布.比较图5与图11,两种方法得到的应变分布规律基本一致,只是在数值上有较大差别,这是由于实验中网格点太少,拟合时误差较大造成的.

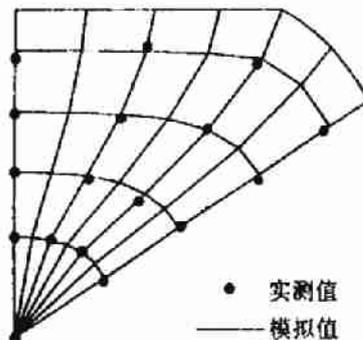


图10 网格点位移的实验结果与模拟结果的比较

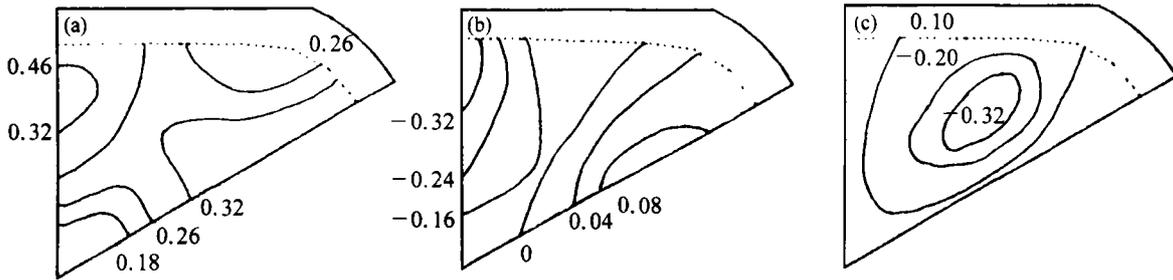


图 11 轧件横断面上的应变分布 (a)等效应变 ε_{eq} , (b)径向应变 ε_r , (c)剪切应变 ε_s (数字为 ε 值)

4 结论

(1) 利用有限元法对金属的变形规律进行了研究,得到了轧件的应变和残余应力的分布规律.

(2) 实验中采用数控加工技术和激光技术加工网格,采用体视显微镜放大网格,采用计算机图像处理软件自动采集数据.实验精度较高,实验结果较可靠.

(3) 通过有限元模拟结果与实验结果比较,证明利用有限变形弹塑性有限元法对Y型三辊轧制变形过程是可行的,结果是可靠的.

参考文献

- 1 Mashik O. Theoretical Analysis of 3-roll Rolling Process by the Energy Method. Tran ISIJ, 1988,28: 434
- 2 柳本润. 2 ロールおよび 3 ロール方式による棒・线材圧延の变形・负荷特性の数值シミュレーションによる検討—数值圧延机の应用技术に関する研究 1. 塑性と加工, 1993,34(1):75
- 3 王振范, 木内学. 棒线材平辊轧制三维流函数法解析. 东北大学学报, 1995,16(2):135
- 4 刘小平. 视塑性法研究轧制过程金属塑性变形: [硕士论文]. 北京: 北京科技大学, 1979
- 5 孙吉先. Y型三辊轧制过程的有限元模拟与实验研究: [硕士论文]. 北京: 北京科技大学, 1998

Deformation Simulation of 3-Roll Rolling with Finite Element Method and Visual-plasticity Approach

Hu Haiping, Sun Jixian, Zhu Weichang, Liu Yazheng

Material Science and Engineering UST Beijing, Beijing 100083, China

ABSTRACT The deformation characteristics are complicated in 3-roll rolling process. The deformation of the workpiece in round-flat pass was simulated with the general FEM software package ANSYS, on the basis of the elastic-plastic deformation theory. The Newton-Raphson method is used to the actual nonlinear result. In order to verify the finite element simulation, the same deformation process was experimentally investigated with the visual-plasticity approach. In the experiment the digital control technology and the laser marking system were used to make the grids, the microscope to enlarge the grids and the computer image analysis system to read the original data automatically. The FEM results agree with the experiment well.

KEY WORDS 3-roll rolling; elastic-plastic FEM; visual-plasticity approach