第36卷 第4期
2001年4月

钢 铁
IRON AND STEEL

Vol. 36, No. 4
April 2001

轧辊倾角对二辊斜轧实心坯应变、应力场的影响*

李胜祗 陈大宏 孙中建 李连诗 王起江 郑坚敏

（安徽工业大学） （北京科技大学） （上海宝钢集团公司）

TG333 A

摘 要 轧辊倾角在斜轧过程中是积极工艺参数，其对产品的产量和质量有重要影响。用MARC/Autoforge软件对圆坯二辊斜轧过程进行了三维热—力耦合弹塑性数值模拟，得到了不同轧辊倾角条件下的应力、应变场，验证了塑性变形强度沿圆坯直径的W形分布形态，并分析了轧辊倾角对场变量的影响规律。结果表明，在通常轧辊倾角范围内，随送进角的增大，横断面上的变形不均匀性减轻，横向拉应力最大值σ_{xmax}增大；随辗轧角的增大，横断面上的变形不均匀性加重，但σ_{xmax}变化不大。

关键词 斜轧 应力场 应变场 调整参数 三维热—力耦合有限元模拟

INFLUENCE OF CROSS ANGLE ON STRESS AND STRAIN OF TUBE BLANKS DURING ROTARY ROLLING

LI Shengzhi CHEN Dahong SUN Zhongjian

(Anhui University of Technology)

LI Lianshi

(University of Science and Technology Beijing)

WANG Qijiang ZHENG Jianmin

(Shangai Baosteel Group Corp.)

ABSTRACT The roll cross angle is an active parameter for rotary rolling because of it's influence on both the productivity and product quality. With MARC/Autoforge, this paper presents details of 3-D numerical simulation during rotary rolling of tube blanks and verifies the radial W-shape distribution of strain in blank. Furthermore, it analyzes the influence of cross-angle on the strain and stress. The result shows that within the range of common used cross-angles, the larger the feed angle, the slighter is the inhomogeneity of deformation and the larger the maximum transverse tensile stress in horizontal section. The larger the toe-in angle, the more inhomogeneous is the distribution of deformation, but there is no remarkable difference for maximum transverse tensile stress.

KEY WORDS rotary rolling, stress field, strain field, parameter adjustment, 3-D thermo-mechanical coupling FE simulation

1 前言

斜轧穿孔工艺中力求防止在顶头前预先形成孔腔，以避免造成内折叠缺陷。孔腔的形成归根结底是金属中特定的应力和应变状态所致，故研究实心坯斜轧的应力应变状态及其影响因素对合理确定穿孔工艺参数，提高毛管的内表质量有重要意义。Siebel研究了平板间压缩圆柱体的应力状态[1]，得出的结论是：在圆柱体的中心产生拉应力和压应力，其中压

* 安徽省教育厅重点科研计划项目(99JR0178ZD)

联系人：李胜祗，教授，马鞍山(243002)安徽工业大学冶金工程系

万方数据

应力沿外力作用方向，拉应力垂直于外力方向。光塑性实验[2]也证明圆坯压缩时其中心应力状态确实存在以上属性。但这两项实验都不能反映斜轧的变形特点，即无法反映轧辊辊面锥角和轧辊倾角包括送进角和辗轧角对应变的影响规律。轧辊倾角是斜轧过程中的积极工艺参数，其对产品的产量、质量以及能耗等有重要影响，而这种影响正是通过改变其应力、应变的分布来实现的。国外近期的研究[3,4]采用物理模拟的方法，研究轧辊倾角对轧件中心孔腔形成的影响，但物理模拟的方法难以对圆坯二辊斜轧时的应力应变进行定量研究，对此类问题，应采用数值模拟的方法进行研究。

MARC 程序[5]在求解非线性问题方面属世界一流的软件，其功能和可靠性被人们所公认。本文采用 MARC/Autoforge 分析软件，对实心圆坯斜轧过程进行三维热力耦合分析，以了解二辊斜轧实心圆坯时，轧辊倾角包括送进角 α 和辗轧角 φ 对应力、应变场的影响规律。

2　数值模拟的模型与边界条件

2.1　孔型构成

实心坯斜轧孔型由轧辊和导盘构成，这里考虑二种辊型，即当辗轧角 $\varphi=0$ 时，轧辊为桶形辊；当 $\varphi\neq0$ 时，轧辊为锥形辊。图 1 所示为锥形辊的情形，桶形辊可作为它的一个特例。在桶形辊的情况下，变形工具的主要尺寸、转速及调整参数(取自宝钢钢管公司狄舍尔穿孔机实际参数)如下：

轧辊直径 $D_g=1000$ mm，轧辊转速 $n_g=120$ r/min；导盘工作直径 $D_{pan}=1800$ mm，导盘转速 $n_{pan}=26$ r/min；轧辊距离 $B_{c\text{-}k}=154.6$ mm，导盘距离 $L_{c\text{-}k}=173$ mm。

送进角变化范围为 $\alpha=8°\sim16°$，辗轧角为 $\varphi=12°\sim16°$。

轧辊辊面锥角：对桶形辊的情形，辊面锥角即为工作锥角，入口锥角 $\beta_1=2.5°$(这里作了简化，实际入口锥为二段锥)，出口锥角 $\beta_2=2.75°$。对锥形辊的情形，辊面锥角按下式确定：

$$\begin{cases}\beta_1'=\varphi+\beta_1\\ \beta_2'=\varphi-\beta_2\end{cases}\tag{1}$$

式中　β_1、β_2——锥形辊入、出口工作锥度，(°)。

2.2　圆坯尺寸、材质及单元划分

圆坯直径 $D_B=178$ mm，材质为 C22，相当于中国的 20 钢。圆坯长度的取定，一方面应保证轧件充满变形区并稍有盈余，另一方面要考虑缩短计算时间。这里取 $L_B=225$ mm，用 1800 个六面体单元离散轧件，横断面上单元数为 120 个，长度方向单元数为 15 个。材料的热物理性能(热传导系数、热容、热膨胀系数)是随温度变化的，变形抗力是热力学参数(变形程度、变形速度和变形温度)的函数，这些材料数据均由 MARC/Autoforge 的材料库中读取。

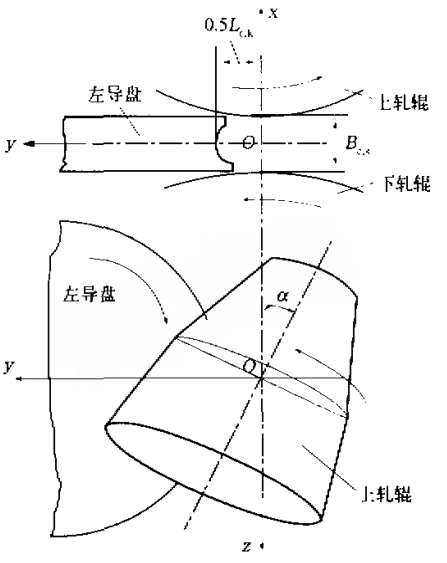


图 1　斜轧变形区构成示意图

Fig. 1　Sketch of deformation zone configuration for rotary rolling

2.3　初始条件和边界条件

轧辊和导盘均视为恒温刚性体，圆坯开轧温度为 1250 ℃，边界条件如下：

(1) 位移边界条件：圆坯中心所有节点的位移 $u_x=u_y=0$；

(2) 摩擦条件：变形工具与轧件接触面间遵循库仑摩擦定律，轧辊与轧件间摩擦系数取为 $\mu_r=0.4$。这里作了简化，实际轧辊的入口工作锥分为二段，分别经过了喷砂和刻纹处理。若不简化，则可将每个轧辊定义为转速相同的二个接触体，并取不同的摩擦系数。导盘与轧件间摩擦系数为 $\mu_d=0.3$。

(3) 传热边界条件：轧制过程中的热传导现象是一个复杂的热力学问题，求解这类问题的有关理论描述详见文献[6]，求解本问题的边界条件参考了文献[7]。本模拟忽略了圆坯端部与环境的传热。关于变形热效应的影响，Wertheimer T B[6]认为对于大多数金属，变形功的 90 %转化为热量。

3　模拟结果及其分析

在 Pentium 200 双 CPU 微机上进行了模拟，得

万方数据

到了圆坯在不同轧辊倾角轧制时的应力、应变场。为保证模拟结果的可比性，对不同轧辊送进角和辗轧角的组合，均让轧件前端到达轧辊轧制带为止。以下就模拟的结果进行分析讨论。

3.1　圆坯斜轧时的应变场

3.1.1　应变分布特性

圆坯经轧制后，原来平直的纵向切片发生了翘曲，反映了斜轧过程中的扭转变形和横切变形；轧件前端出现了“漏斗”形凹穴，变形沿圆坯直径的分布明显不均，呈现为“W”形[8]，即与轧辊接触的表面区域变形量大，中心部位次之，过渡层的变形最小，见图2。

3.1.2　送进角对应变场的影响

送进角对应变分布的影响显著。图2为不同送进角条件下轧件变形后（轧件前端刚接触顶头）纵切面的形状和等效应变 $\bar{\varepsilon}$ 分布情况。可以看出，随着送进角的增大，轧件前端（右侧）的“漏斗”变小，虽然其变形分布模式均为“W”形，但程度变浅，这是由于变形区（穿孔准备区）随送进角的增大而缩短。送进角 α 在8°～12°范围内变化时，等效应变 $\bar{\varepsilon}$ 的分布梯度变化较大，而 α 在12°～16°范围内，梯度变化很小。

3.1.3　辗轧角对应变场的影响

模拟了送进角 $\alpha=9°$、辗轧角 $\varphi=12°$、16°条件下实心坯的斜轧过程。图3为轧件纵向切片上等效应变 $\bar{\varepsilon}$（代表着变形强度）的分布。由图中可以看出，增大辗轧角时，$\bar{\varepsilon}$ 的分布虽然保持为“W”形，但其不均匀性表现得更加突出。

3.2　圆坯斜轧时的应力场

3.2.1　送进角对应力场的影响

二辊斜轧穿孔时，往往产生中心孔腔，故研究圆坯中心部分的应力有实际意义，而圆坯中心线上的应力状态具有代表性。

图4为各应力分量沿轧件中心线的分布，节点801位于轧件前端。由图中可以看出，横向应力 σ_y 基本上呈现为拉应力，只是在轧件尾部邻近节点上存在负的 σ_y。其最大值随送进角的增大而增大。

轴向应力 σ_z 也基本上呈现为拉应力，其最大值亦随送进角增大而增大，但数值比 σ_y 小。轧辊作用方向的应力 σ_x 基本上为压应力。但应该注意到，在局部区域内存在 $\sigma_x>0$，这是一个新的发现。这种拉应力的存在完全不同于斯米尔诺夫理论[9]关于拉应力形成的“积累说”，因其并不是一个逐渐积累的过程。

图5为轧件纵切面上静水压力 σ_m 分布。对应于三个不同的送进角，静水压力具有不同的分布状态。值得注意的是，静水压力最大值随着送进角的增大而增大。

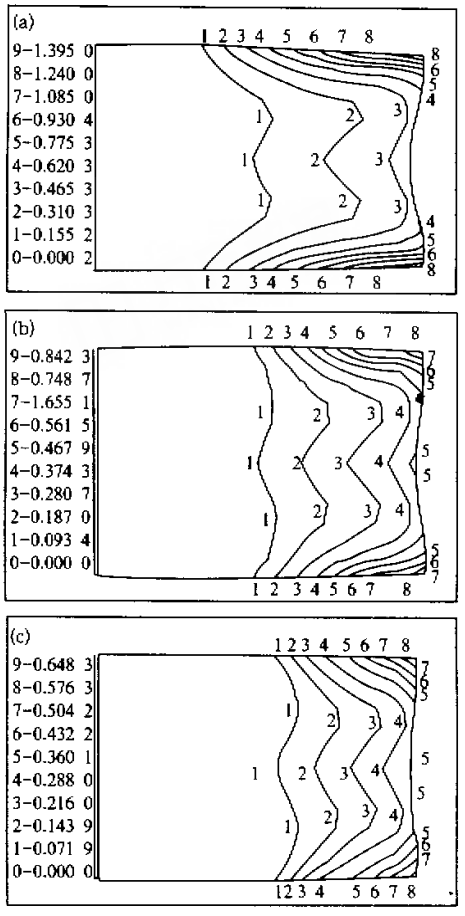


图2　桶形辊斜轧实心圆坯纵切面上等效应变 $\bar{\varepsilon}$ 分布

Fig. 2　Distribution of equivalent plastic strain in the longitudinal section of the tube round rolled by barrel rolls

(a) $\alpha=8°$; (b) $\alpha=12°$; (c) $\alpha=16°$

3.2.2　辗轧角对应力场的影响

图6为各应力分量沿轧件中心线的分布，节点816位于轧件前端。由图中可以看出：

（1）σ_x（近似于轧辊作用力方向的应力）的分布形态完全不同于桶形轧辊轧制时的情形，并存在拉应力区段；

（2）除位于轧件尾部的节点801以外，其余节点上的横向应力 $\sigma_y>0$，且数值很大，最大值 $\sigma_{y\max}$ 大

万方数据

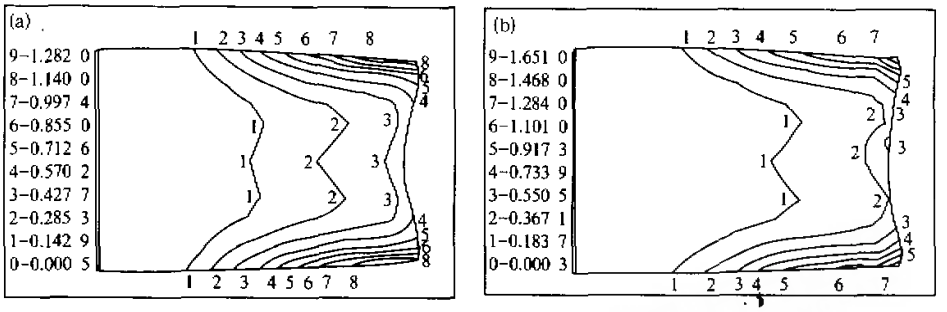


图 3　锥形辊斜轧实心圆坯纵切面上等效应变分布(送进角 $\alpha=9°$)

Fig. 3　Distribution of equivalent plastic strain in the longitudinal section of the tube round rolled by cone rolls with feed angle $\alpha=9°$

(a) $\varphi=12°$; (b) $\varphi=16°$

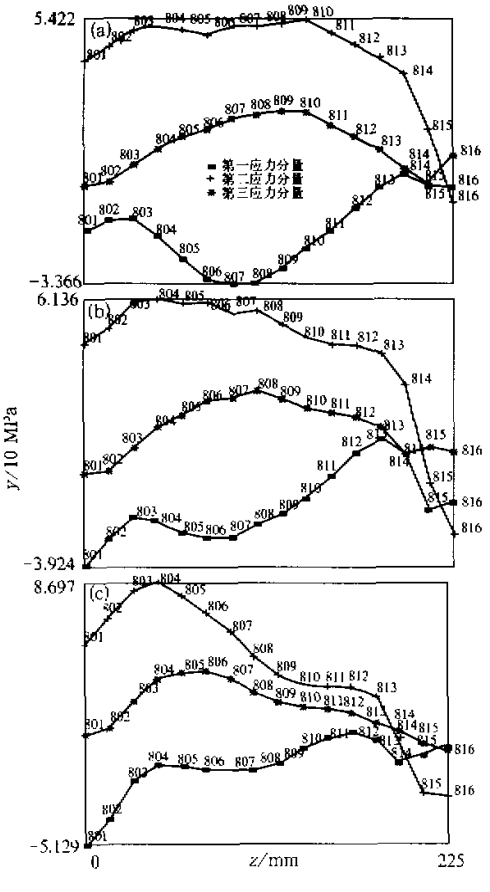


图 4　桶形辊轧制时轧件中心线上应力分布

Fig. 4　Stress distribution on the center line of the tube round rolled by barrel rolls

(a) $\alpha=8°$; (b) $\alpha=12°$; (c) $\alpha=16°$

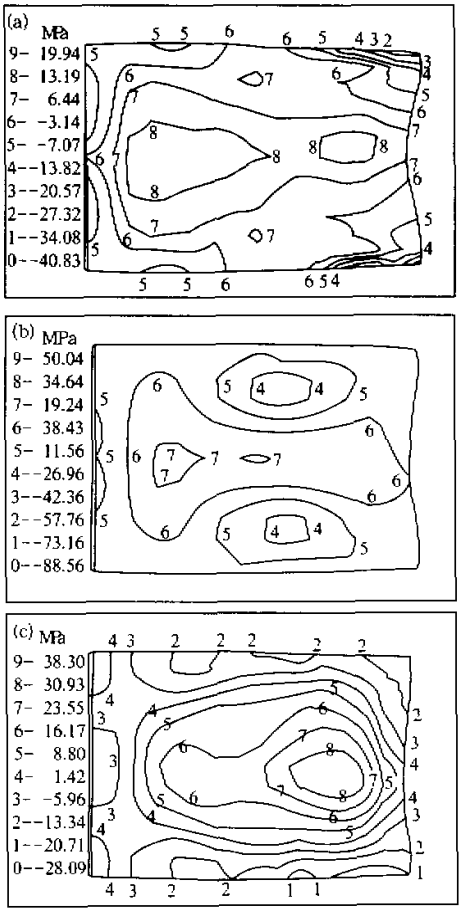


图 5　桶形辊轧制时轧件纵切面上静水压力 σ_m 等值线图

Fig. 5　Isogram of hydrostatic pressure in longitudinal section of the tube round rolled by barrel rolls

(a) $\alpha=8°$; (b) $\alpha=12°$; (c) $\alpha=16°$

万方数据

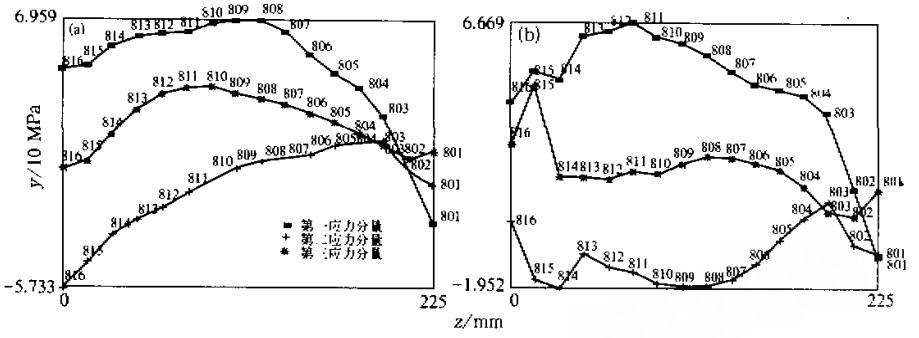


图6　锥形辊条件下轧件中心线上应力分布

Fig. 6　Stress distribution on the center line of the tube round rolled by cone rolls with feed angle $\alpha=9°$

(a) $\varphi=12°$; (b) $\varphi=16°$

于等值送进角的桶形辊轧制时的横向拉应力，参见图4和图6；

(3) 轴向应力 $\sigma_z>0$，除轧件尾部以外，大部分区段内的 σ_z 远小于 σ_y。

4　结论

(1) 实心坯二辊斜轧时，变形强度沿轧件直径的分布呈现为"W"形，这与其他研究者所做的物理模拟结果是吻合的；随送进角的增大，"W"形的深度变浅，变形不均匀性减轻，并在不同的送进角范围内，变形强度的变化梯度是有差异的。

(2) 在轧辊作用方向有局部拉应力存在，但这种拉应力完全不同于中心孔腔形成理论中"拉应力积累"说。

(3) 轧件中心部分的金属承受很大的拉应力作用，且横向拉应力 σ_y 的最大值随送进角的增大而增大；轴向应力 σ_z 基本上为拉应力，但在数值上远小于 σ_y；静水压力的最大值也随送进角的增大而增大。

(4) 在锥形辊条件下(辗轧角 $\varphi\neq0$)，等效应变分布的不均匀性增强，且辗轧角越大，不均匀性就越突出；在轧辊作用方向的应力 σ_y 强度随辗轧角 φ 的增大逐渐减弱，而横向拉应力最大值大于等值送进角条件下桶形辊轧制时的相应值，但其随辗轧角的变化不明显。

(5) 从数值模拟的结果看，横向拉应力随轧辊倾角的增大而增大，这在表面上与大送进角有利于抑制中心孔腔的预先形成的已有结论相矛盾，但实际上仅凭横向拉应力的大小作为判据是不够的，也是片面的，而应该综合考虑等效应力、静水压力和应变历史来加以判定。

参考文献

1　Зибель Э. Обработка металлов в Пластическом Состоянии. Металлургиздат, 1934. 181.

2　加藤健三. 金属塑性加工学. 东京都：丸善株式会社，1971，187～188.

3　Hayashi C, Yamakawa T. Influence of Feed and Cross-angle on Rotary Forging Effects and Redundant Shear Deformation in Rotary Piercing Process. ISIJ, 1997, 37(2): 146～152.

4　Hayashi C, Yamakawa T. Influence of Feed and Cross-angle on Inside Bore and Lamination Defects in Expansion Piercing for Materials With Poor Hot Workability. ISIJ, 1997, 37(2): 153～160.

5　MARC Analysis Research Corporation. MARC/AutoForge Command Reference 2.3. Palo Alto, CA, USA: 1998. 1～23.

6　Wertheimer T B. In: Pittman J F T, Wood R D, Alexander J M, *et al*. eds., Numerical Methods in Industrial Forming Process. SWANSEA: Pineridge Press Ltd., 1982. 425～434.

7　张　鹏，鹿守理，高永生，等. 椭圆孔型中热轧过程温度场的三维热力耦合有限元模拟. 钢铁，1997，32(7)：39.

8　卢于述，王先进. 二辊斜轧穿孔时圆坯断面的变形分布和发展. 金属学报，1980，16(12)：470～479.

9　Смирнов В С. Поперчная Прокатка в Машинострения. Машгиз, 1957. 5～72.

万方数据

轧辊倾角对二辊斜轧实心坯应变、应力场的影响*

万方数据 WANFANG DATA 文献链接

作者： 李胜祇， 陈大宏， 孙中建， 李连诗， 王起江， 郑坚敏
作者单位： 李胜祇,陈大宏,孙中建(安徽工业大学)， 李连诗(北京科技大学)， 王起江,郑坚敏(上海宝钢集团公司)
刊名： 钢铁 ISTIC PKU
英文刊名： IRON & STEEL
年，卷(期)： 2001，36(4)
被引用次数： 4次

参考文献(9条)

1. Энбель Э Обработка металлов в Пластическом Состоянии 1934

2. 加藤健三 金属塑性加工学 1971

3. Hayashi C. Yamakawa T Influence of Feed and Cross-angle on Rotary Forging Effects and Redundant Shear Deformation in Rotary Piercing Process 1997(02)

4. Hayashi C. Yamakawa T Influence of Feed and Cross-angle on Inside Bore and Lamination Defects in Expansion Piercing for Materials With Poor Hot Workability 1997(02)

5. Marc Analysis Research Corporation MARC/AutoForge Command Reference 2 3 1998

6. Wertheimer T B 查看详情 1982

7. 张鹏. 鹿守理. 高永生 椭圆孔型中热轧过程温度场的三维热力耦合有限元模拟 1997(07)

8. 卢于述. 王先进 二辊斜轧穿孔时圆坯断面的变形分布和发展 1980(12)

9. Смнов В С Поперчная Прокатка в Мащиностреения 1957

相似文献(4条)

1. 学位论文 周永平 斜轧磷铜球成形过程的数值模拟 2007

螺旋孔型斜轧技术是一种连续、局部加载的回转成形工艺，具有生产效率高和材料利用率高、产品质量好、成本低等优点，在实际生产中得到了日益广泛的应用。

随着电子技术的飞速发展，各种电路板的生产需求量大大增加，铜球作为电镀阳极是电路板生产的重要原材料。铜球的传统生产工艺为：连铸—锻造—抛光，该工艺生产效率低，材料消耗大，工人劳动强度大，产品质量较差。为此，北京科技大学零件轧制研究中心开展利用斜轧技术生产阳极磷铜球的实验研究，并生产出阳极磷铜球。但是其质量有待于进一步提高，生产品种有待扩大；为提高质量和扩大应用范围，本文开展斜轧磷铜球成形过程的数值模拟，对变形机理进行详尽的分析。

通过对斜轧工艺特点的分析，确定了单叶双曲回转面作为斜轧轧辊的顶圆曲面模式，应用空间曲面包络理论得出了斜轧球类零件辊型型腔的曲面方程，通过VC++编程和Pro/E建模建立了球类斜轧辊的实体模型。

利用有限元软件DEFORMTM模拟了斜轧磷铜球的轧制过程，首次将有限元数值模拟分析方法应用于螺旋孔型球类零件斜轧工艺研究中。针对磷铜球这种新型的产品，在DEFORM中建立了斜轧磷铜球的材料数据库和有限元分析模型，首次实现了螺旋孔型球类零件斜轧过程的数值模拟，反映出轧件的成形。

通过对斜轧磷铜球轧制过程的数值模拟，得到了轧件变形过程中不同时刻、不同部位的应力场、应变场以及温度场分布规律。在进行分析后，初步分析了斜轧磷铜球的变形机理和金属流动规律，揭示了轧件出现环沟的原因并提出解决措施。分析了斜轧磷铜球变形过程中出现的中心疏松，提出了斜轧铜球内部的疏松是在交变应力作用下产生的低周损伤和破坏。

对连接颈上的应力应变场分布规律进行了较全面系统地分析，初步揭示了连接颈早断的位置和产生的原因，并提出了预防措施，对实际生产具有一定指导作用，为模具设计和和工艺参数的确定提供了重要的理论依据。

2. 学位论文 双远华 斜轧(穿孔)过程质量控制理论与实验研究 1999

本文从质量分析入手,采用三维刚塑性有限元方法对斜轧穿孔过程进行模拟分析,为毛管质量的提高进行工艺方案优化.在有限元分析中解决了变形区构形问题.首次提出了轧制复合道次原理.对变形区内速度场、应变场、应力场及力能参数进行了计算.针对二辊斜轧穿孔中变形区复杂的边界条件和椭圆度、辊型、送进角、孔喉、顶头前伸量等与毛管质量关系做了分析.开发了有限元与人工神经网络的耦合技术,为有限元的反向模拟做了基础工作.应用实测数据和有限元正向模拟数据对网络权值、阈值分别进行了训练学习,建立了工艺参数和毛管质量参数之间的映射关系.分析了网络精度.将有限元数据存入数据库作为经网络样本,建立反向映射数学模型,优化其工艺参数.分析证明:神经网络具有较高精度.实验研究针对Φ76无缝钢管穿孔机作了全面的测试.对于电机电流、电压及转速,轧辊和顶头温度分布,轧制压力和顶杆力,轧件温度等做了在线测试.制作了轧卡试件观察并测量出室温内部及流线情况.应用管形测量装置对各种工艺生产的管形做了离线测量.实验中,开发并研制了顶头温度测量装置、管形测量装置以及其相应的计算机采集系统.其中管形测量装置精度较高.总之,在理论与实验研究中,全面分析了各种工艺条件下的管形质量情况.建立了有限元斜轧(穿孔)数学模型,对毛管尺寸精度与内部微观组织进行了模拟和预测.建立了有限元与神经网络耦合数学模型,优化了工艺参数.

3. 学位论文 夏龙伟 钢管穿孔有限元虚拟仿真集成系统开发 2009

全世界每年钢管制品的消耗量近5亿吨，钢管生产新技术的发展始终是世界钢铁行业所关注的焦点问题之一。钢管斜轧穿孔过程金属变形非常复杂，金属流动规律难以掌握，在缺乏系统精确分析的条件下，实际生产中不得不以多次反复试验来决定轧制生产工艺流程，从而造成产品成本高，生产周期长，开发新产品困难等问题。因此，系统地研究钢管穿孔过程中的金属变形规律、温度变化以及金属组织的演变，具有重要的现实意义和理论价值。针对上述问题本文开展了一系列的研究工作。

本文以钢管穿孔过程三维刚塑性热力耦合有限元程序为核心，开发了钢管虚拟仿真系统，该系统具有完善的前后置处理功能，采用模块化的程序结构设计，易于扩充，为进一步研究钢管生产全过程的“虚拟生产系统”的关键技术奠定了坚实的基础。

首先，针对钢管斜轧过程的自身特点，结合当前大型通用有限元分析软件的利弊分析，提出了开发专用的有限元软件的实现方式。

其次，推导了三维刚塑性有限元求解列式以及求解温度场的有限元列式，并对采用三维热力耦合刚塑性有限元法模拟分析钢管穿孔过程所涉及的一些关键技术问题进行了系统深入的研究，给出了相应的处理方法和计算公式。

再次，建立了热力耦合模型和内部组织预测模型，为斜轧穿孔过程的全面模拟做好了准备。

最后，针对上述模型，应用所开发的系统对钢管穿孔过程的典型算例进行了模拟分析，获得了应力场、应变场、速度场、温度场、晶粒度等场量值的分布情况和结果。通过对理论计算与实验结果的分析，也验证了本系统是正确的、可靠的。

4.学位论文 吴锦刚 斜轧钢质环状高翅片管的耦合温度场数值模拟 2009

换热器在工业生产中的应用已经越来越普遍，在化工、制冷等行业中，换热器是主要的工业设备之一。翅片管是组成各种热交换器的核心元件，其质量的优劣直接影响到热交换器的工作性能。传统的翅片管都有不同的自身缺陷，随着生产的发展和社会需求，整体高翅片管正代替传统翅片管成为各种热交换器的核心元件。钢质整体高翅片管在锅炉等需要高温换热的行业使用十分广泛，但翅片管生产技术相对落后，严重制约了生产的进一步发展。

针对这一现状，本文以斜轧钢质环状高翅片管为研究对象，通过Pro/E建模建立了钢质环状翅片管斜轧辊的实体模型。以DEFORM-3D为仿真工具，建立了斜轧有限元模型，利用该模型模拟了钢质环状高翅片管斜轧的轧制过程，研究了轧件在轧制过程中的变形机理。

通过分析不同时刻应力场、应变场和温度场，以及特征点在轧制过程中应力、应变和温度场的变化情况，得到了轧制过程中轧件的应力、应变和温度场的变化规律和金属流动规律，得出翅片主要是由两侧轧辊凸棱压下，同时受到轧辊槽底阻碍的共同作用下最终成形。

通过不同工况的比较，分析了轧件初始温度对轧件在成形过程中温度场和轧制成形的影响。研究辊转速和轧辊参数对轧制过程中轧件温度场和轧制成形的影响，通过对模拟参数的分析，设计了较为合理的轧辊，轧制出较为理想的钢质整体高翅片管。

本文比较系统分析了的斜轧钢质环状高翅片管的变形机理，同时根据轧制过程中的体积不变原则优化轧辊辊型，为实际生产和轧辊设计提供了重要的理论指导。

引证文献(4条)

1.周永平 斜轧磷铜球成形过程的数值模拟[学位论文]硕士 2007

2.Jürgen Pietsch.Peter Thieven.周晓岚 采用FEM法研究斜轧穿孔工艺[期刊论文]-世界钢铁 2006(6)

3.杨海波 斜轧零件基本成形过程模拟与心部疏松机理研究[学位论文]博士 2006

4.杨海波 斜轧零件基本成形过程模拟与心部疏松机理研究[学位论文]博士 2006

本文链接：http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_gt200104010.aspx

授权使用：燕山大学(ysdx)，授权号：661cc255-6914-46f1-87fc-9e6800b7507f

下载时间：2011年1月11日