

偏心轴类零件楔横轧制力分析

王宝雨 何涛 胡正寰

北京科技大学机械工程学院, 北京 100083

摘要 利用有限元手段对偏心轴类零件楔横轧制成形中的轧制区轧制力进行了系统全面地研究, 在此基础上分析了偏心轴类零件楔横轧非轧制区接触力的产生原因及其对偏心轴类零件楔横轧轧制成形带来的影响, 研究结果对认清偏心轴类零件楔横轧轧制成形机理、旋转条件、偏心极限都具有十分重要的意义。

关键词 楔横轧; 偏心轴; 接触力; 轧制力

分类号 TG335.19

偏心轴类零件广泛应用于汽车、水利、采矿、家电等机械产品上。随着市场需求量与日俱增, 专业化大批量生产偏心轴类零件成为满足市场需求的主要手段。传统的锻造工艺生产方法存在生产效率低、材料利用率低、投资大、成本高等缺点, 因而逐渐被生产效率高、材料利用率高、成本低、适合于专业化大批量生产的楔横轧技术所取代^[1]。

偏心轴类零件楔横轧成形理论与技术, 无论是国内还是国外基本上处于空白或是起步阶段。任广升、白志斌等学者在 20 世纪 90 年代提出了楔横轧成形偏心轴的工艺方法, 其研究的成形方法为楔入、展宽阶段的同心轴成形以及精整阶段的偏心轴成形的“双阶段法”^[2-4], 显然, 该成形方式无疑使偏心成形时金属材料变形难度大, 因而难于成形偏心量较大的产品, 其工艺应用范围较小。

为此提出了偏心轴类零件楔横轧成形的“单阶段法”, 即从楔入开始就直接将偏心部分轧制成形。该方法不仅能有效地扩大轧制偏心极限, 而且适用于凸轮轴、方轴等轧制前后体积发生变化的非回转体轴类零件。

在单阶段偏心轴类零件二辊楔横轧成形工艺中, 上下轧辊的辊型是一对有相位差的周期性高低不等的曲面, 因而其轧制力与同心轴类零件楔横轧成形的轧制力有着很大的区别, 所以对偏心轴类零件楔横轧轧制成形中的轧制力进行研究对认清轧制

机理、轧件的旋转条件问题、偏心极限问题都具有十分重要的意义。

1 有限元模型及边界条件的建立

1.1 有限元模型

对于二辊轧制, 则其辊形曲线方程如下:

$$\begin{cases} x = [R \cos \theta + a] \cos \left[\frac{A}{R_k} \varphi \right] - [R \sin \theta + b] \sin \left[\frac{A}{R_k} \varphi \right] + A \sin \frac{r_k}{R_k} \varphi \\ y = [R \cos \theta + a] \sin \left[\frac{A}{R_k} \varphi \right] + [R \sin \theta + b] \cos \left[\frac{A}{R_k} \varphi \right] - A \cos \frac{r_k}{R_k} \varphi \\ \varphi = \arccos \left[\frac{b \cos \theta - a \sin \theta}{r_k} \right] - \theta \end{cases}$$

式中, R 为偏心圆截面半径, a 、 b 分别为 x 、 y 方向上的偏心量, R_k 、 r_k 分别为轧辊、轧件轧制半径, A 为轧辊与轧件之间的中心距, θ 、 φ 分别为偏心圆及辊型的参数。

图 1 所示为偏心轴类零件楔横轧成形数值模拟采用的有限元模型图, 考虑到轧辊结构的对称性, 取模型的 1/2 进行计算以减少计算时间。

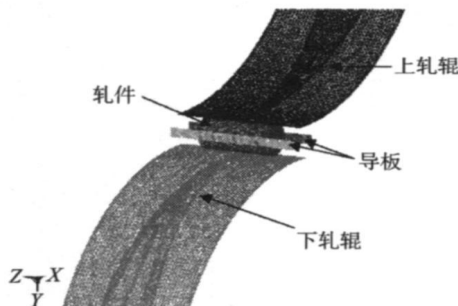


图 1 偏心轴楔横轧有限元模型图

1.2 材料模型及边界条件

为了简化计算, 不考虑轧辊及导板的变形而将

收稿日期: 2006-09-12 修回日期: 2007-11-20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No. 50435010; No. 50675019); 国家科技支撑计划资助项目 (No. 2006BAF04B03); 华中科技大学塑性成形模拟及模具技术国家重点实验室资助项目 (No. 06-4)

作者简介: 王宝雨 (1964—), 男, 研究员, 博士; 何涛 (1979—), 男, 博士研究生; 胡正寰 (1934—), 男, 教授, 院士

其视为刚体. 轧件则采用与应变率相关的分段线性塑性模型. 其非线性特性采用 Cowper-Symbols 模型考虑应变率的影响, 其本构方程如下:

$$\sigma_y(\dot{\epsilon}_{eff}^P, \epsilon_{eff}^P) = \sigma_y(\epsilon_{eff}^P) \left[1 + \left(\frac{\dot{\epsilon}_{eff}^P}{C} \right)^{\frac{1}{P}} \right] \quad (1)$$

式中, $\sigma_y(\epsilon_{eff}^P)$ 是没有考虑应变率时的屈服应力, 这个屈服应力值用图 2 所示的真实应力应变曲线表示; $\dot{\epsilon}'$ 为有效应变率; C 和 P 为应变率参数, 其影响规律则用图 3 所示的应变率影响曲线表示^[3].

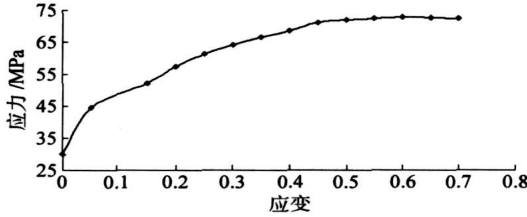


图 2 真实应力-应变曲线

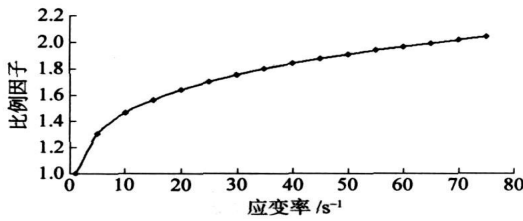


图 3 应变率影响因子曲线

轧件与上下轧辊及导板均采用自动的面面接触形式. 由于只取了模型的 1/2 进行运算, 因此还必须对轧辊与轧件施加对称面约束^[4].

2 轧制区轧制力分析

当垂直于轧制轴线且通过起楔点剖开时, 其轧制区横截面受力分析如图 4 所示. 轧辊对轧件作用 P_1 、 P_2 及 T_1 、 T_2 . P 为正压力, 它的方向一边通过轧件中心, 另一边通过接触弧的中间位置; T 为轧辊给轧件的摩擦力, 它与 P 力垂直, 其大小与正压

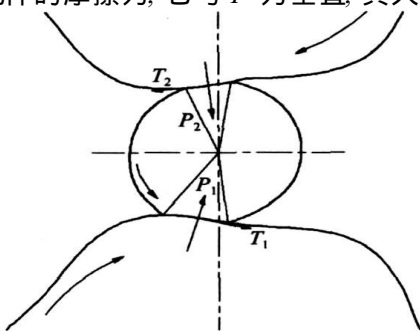


图 4 偏心轴类零件楔横轧制区横截面受力图

力 P 成正比, 即

$$T = \mu P \quad (2)$$

式中, μ 轧辊与轧件间的摩擦因数.

2.1 轧制力

图 5 所示为偏心轴类零件楔横轧成形中上下轧辊对轧件轧制区的轧制力 F . 从图中可以看出: 在楔入段, 上下轧辊对轧件的轧制力 F 急剧增大, 且在楔入结束附近达到最大值. 这是由于随着轧制的进行, 轧辊与轧件的接触面积急剧增大, 且在楔入结束附近达到最大值.

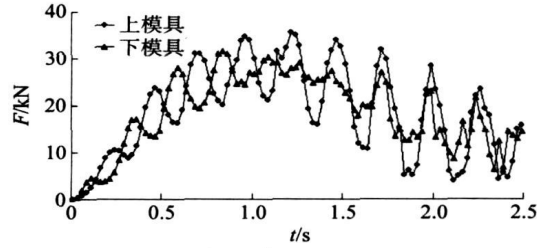


图 5 偏心轴类零件楔横轧制力

从图 5 中还可以看出: 上下轧辊对轧件轧制区的轧制力呈现波浪式周期变化规律, 轧件旋转一周, 轧制力周期变化一次, 且同时刻上下轧辊对轧件轧制区的轧制力大小是不同的. 这是由于上下轧辊的辊型是一对有相位差的周期曲面造成的. 这种轧制力的周期不对称性是偏心轴类零件楔横轧区别于同心轴类零件楔横轧(图 6)的一个显著特征.

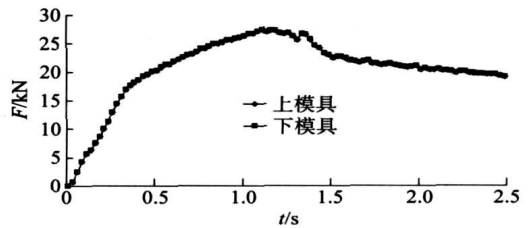


图 6 同心轴类零件楔横轧制力

2.2 横向合力和径向合力

由轧制力分析可知: 对于偏心轴类零件楔横轧成形, 上下轧辊对轧件轧制区的轧制力是不相等的, 因而其横向分量与径向分量的合力也不为 0, 设为 F_{rx} 、 F_{ry} , 则有:

$$\begin{cases} F_{rx} = (P_{1x} + T_{1x}) - (P_{2x} + T_{2x}) \\ F_{ry} = (P_{1y} + T_{1y}) - (P_{2y} + T_{2y}) \end{cases} \quad (3)$$

图 7 和图 8 所示分别为偏心轴类零件楔横轧轧制成形中上下轧辊对轧件轧制区的横向、径向力合力图. 从图中可以看出: 偏心轴类零件楔横轧轧制成形, 上下轧辊对轧件轧制区的横向力、径向力均不

为 0, 且呈现波浪式周期性变化, 这是由于上下轧辊轧件的不对称性轧制力造成的. 而同心轴类零件楔横轧轧制成形, 上下轧辊对轧件轧制区的横向合力和径向合力均为 0.

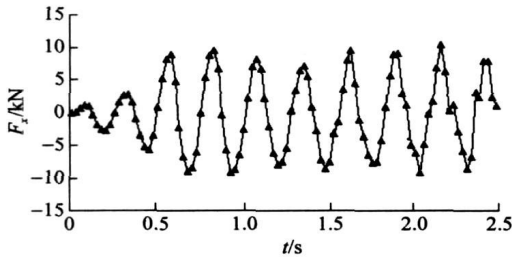


图 7 偏心轴楔横轧轧制区横向合力

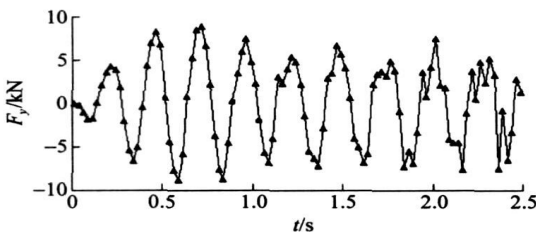


图 8 偏心轴类零件楔横轧径向合力

2.3 轴向力

图 9 所示为偏心轴类零件与同心轴类零件楔横轧轧制成形中上下轧辊对轧件轧制区的轴向力对比图. 从图中可以看出: 同轧制力类似, 对于同心轴类零件楔横轧轧制成形, 上下轧辊对轧件的轴向力相等; 而对于偏心轴类零件楔横轧轧制成形, 上下轧辊对轧件的轴向力不同, 因而偏心轴类零件楔横轧容易出现轴向串动的现象. 从图中还可以看出: 相同

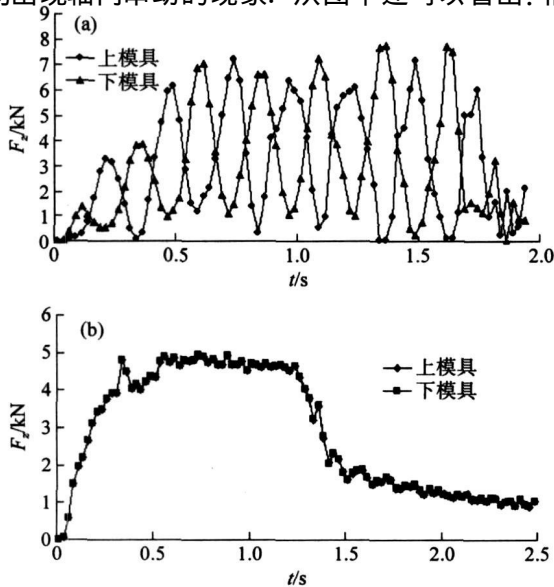


图 9 (a) 偏心轴类零件和 (b) 同心轴类零件楔横轧轴向力对比

参数下, 偏心轴楔横轧的轴向力峰值比同心楔横轧的轴向力峰值大, 而大的轴向力更容易导致轧件内部出现疏松.

3 非轧制区接触力及对成形的影响

当平行于轧制轴线剖开时, 其轧制区纵截面受力分析如图 10 所示. 由式 (3) 可知, 无论是径向还是横向, 其轧制区的径向合力与横向合力均不为 0; 为了平衡轧制区不为 0 的横向合力 F_{rx} 和径向合力 F_{ry} , 上轧辊或下轧辊必须对轧件的非轧制区施加大小相等、方向相反的接触力 F_{cx} 、 F_{cy} , 即:

$$\begin{cases} F_{cx} = -F_{rx} = -(P_{rx} + T_{rx}) \\ F_{cy} = -F_{ry} = -(P_{ry} + T_{ry}) \end{cases} \quad (4)$$

偏心轴类零件楔横轧轧制的非轧制区接触力 F_{cx} 、 F_{cy} 对偏心轴的轧制产生十分重要的影响, 主要体现在以下三个方面:

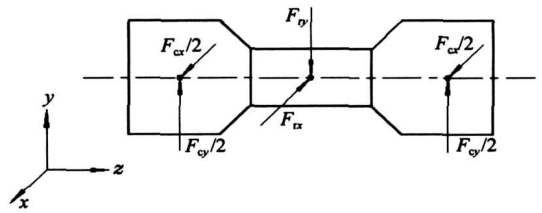


图 10 偏心轴楔横轧纵截面受力分析图

(1) 不为 0 的径向、横向非轧制区接触力必然产生一个摩擦力, 这会进一步恶化轧件的旋转条件.

(2) 不为 0 的径向、横向非轧制区接触力会使轧件的旋转中心发生串动, 这会影响到轧辊与轧件的正常共扼运动关系, 进而进一步降低轧件的几何成形质量.

(3) 轧件的几何成形质量问题、旋转条件问题又进一步影响到偏心轴类零件楔横轧的轧制偏心极限问题.

4 结论

利用有限元和理论分析手段对偏心轴类零件楔横轧轧制成形的轧制力进行了研究, 得到以下结论:

(1) 上下轧辊对轧件轧制区的轧制力呈现波浪式周期性变化趋势, 且同一时刻其大小不相等.

(2) 上下轧辊对轧件的轴向力不相等, 因而导致轧件在轧制过程中出现轴向串动; 且其峰值相对同心楔横轧更大, 因而更容易导致轧件内部出现疏松.

(3) 不为 0 的径向、横向非轧制区接触力, 会使轧件的原始坯料直径处会与导板甚至轧辊发生接触、挤压, 进而恶化轧件的旋转条件和降低轧件的

成形质量.

(4)非轧制区接触力是影响偏心轴类零件楔横轧的轧制偏心极限的一个重要因素.

参 考 文 献

- [1] 胡正寰, 张康生, 王宝雨, 等. 楔横轧零件成形技术与模拟仿真. 北京: 冶金工业出版社, 2004
- [2] 任广升, 白志斌, 洪忠延, 等. 楔横轧成形偏心件的条件与相位

效应. 农业机械学报, 1992, 23(4): 71

- [3] 白志斌, 李东平, 洪钟延. 汽车刹车蹄片轴的偏心精密成形. 吉林工业大学自然科学学报, 2000(4): 21
- [4] 虞跃生, 万贤毅. 汽车上偏心轴类件的楔横轧工艺研究及应用. 汽车科技, 2003(3): 34
- [5] 周纪华, 管克智. 金属塑性变形阻力. 北京: 机械工业出版社, 1989
- [6] 何涛, 杨竞, 金鑫. ANSYS10.0/LS-DYNA 非线性有限元分析实例指导教程. 北京: 机械工业出版社, 2007

Research on rolling pressure of cross wedge rolling of parts with eccentric section

WANG Baoyu, HE Tao, HU Zhenghuan

Mechanical Engineering School, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China

ABSTRACT The rolling force of rolling zone were completely and systematically analyzed by using FEM. Based on these researches, the cause and the affection of contact force of non-rolling zone were found out. The researches were benefit to understanding of the forming mechanism, rotating conditions and eccentric limit of cross wedge rolling of parts with eccentric section.

KEY WORDS cross wedge rolling; parts with eccentric section; contact force; rolling force