

# 多楔同步轧制铁路车轴模具设计关键技术研究

束学道 李传民 胡正寰

北京科技大学机械工程学院, 北京 100083

**摘要** 针对车轴多楔模具设计互联因素较多, 运用有限元模拟与实验相结合的方法, 对多楔内楔实际展宽量及多楔的衔接坡角进行了研究, 并提出应用等效应变作为衡量楔横轧轧件表面及内部金属变形的均匀性标准, 找到了车轴多楔模具的设计的最佳参数. 研究结果为车轴实现以轧代锻提供基础, 对优化楔横轧模具具有指导意义.

**关键词** 多楔轧制; 铁路车轴; 模具

**分类号** TG335.19

我国铁路车轴的年需求量已达到 30 万根, 随着铁路运输事业的持续发展, 其需求量会大幅度上升<sup>[1]</sup>. 目前, 铁路车轴的先进生产技术和奥地利精锻机锻造, 其材料利用率为 65%~74.5%, 效率为每根 4 min. 如果采用楔横轧多楔同步轧制技术生产车轴(以 RD2 轴为例), 其材料利用率将为 82%~86%, 效率为 2 根/min. 通过以上数据对比可知, 楔横轧多楔同步轧制车轴具有节材显著、生产效率高的优点, 且该项技术已广泛应用于汽车、拖拉机等轴类零件的生产中<sup>[2]</sup>.

文献[3]和文献[4]详细论述了楔横轧大型轴件与铁路车轴的可行性, 为多楔轧制铁路车轴奠定了理论依据. 然而, 要轧制出加工余量小、承载能力强的铁路车轴毛坯, 就必须提高多楔同步轧制段(如图 1 虚线所示)的表面质量和轧制过程中此区域金属流动的均匀性. 解决这些问题, 需要优化多楔模具楔的设计参数、衔接坡角和轧制任务的分配. 为此, 本文将通过有限元数值模拟与轧制实验相结合的方法对多楔模具的设计参数进行研究.

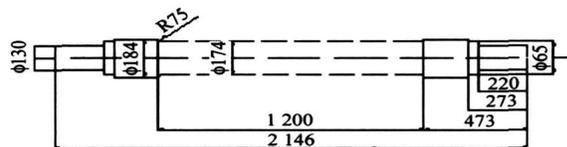


图 1 RD2 轴

等效应变是反映金属变形均匀性的一个指标, 有限元数值模拟可计算出轧件在轧制过程中的等效应变. 本文利用有限元模拟结果, 建立了基于变形均匀性的楔横轧模具优化设计方法, 并对所设计的多组楔横轧多楔模具进行有限元模拟, 弄清了影响多楔轧制零件变形不均匀的主要因素. 多楔模具设计的主要参数 1 楔展宽长度  $L_1$ , 过渡坡角  $\gamma$ (如图 2 所示)的选取, 通过实验方法给出.

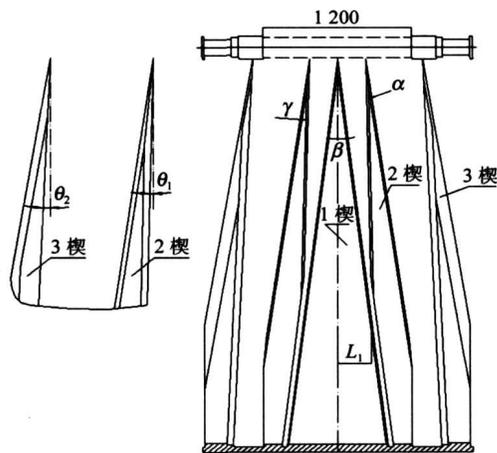


图 2 车轴多楔模具示意图

## 1 多楔轧制车轴模具设计的基本原则

楔横轧多楔模具每个楔的基本设计参数, 如展宽角  $\beta$ 、成形角  $\alpha$  及断面收缩  $\psi$  的选取范围与楔横轧单楔模具应相同. 多楔模具根据内外楔入楔的前后顺序可分为 3 种<sup>[5]</sup>, 由于轧制车轴的断面收缩率  $\psi$  较小, 因此采取内外楔同步楔入的方案, 这样有利于减少辊面长度.

为了保证 1 楔和 2 楔共同精确轧制出 1200mm 段尺寸, 则 2 楔的精整起点应在 1 楔完成衔接任务

收稿日期: 2007-09-25

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(No. 50475175, No. 50435010); 模具技术国家重点实验室开放基金资助项目(No. 07-06); 国家十一五支撑计划(No. 2006BAF04B03)

作者简介: 束学道(1968—), 男, 教授, 博士生导师

后开始。同理,为了保证车轴的整体尺寸,则3楔的精整起点应在2楔完成轧制任务后开始;或者3楔的轧制任务在1楔进入衔接之前完成,这样也可保证车轴长度尺寸的精确性。

### 1.1 楔展宽长度 $L_1$ 的确定

多楔模具共同轧制等直径段时,两楔之间的金属在受到内楔的径向压下后,轴向流动会受到外楔的阻碍,因此内楔的展宽长度与理论计算值有差别,如按常规设计,则轧制任务结束后,1楔与2楔之间会留有未经过轧制的金属。则根据图2分析,理论上1楔径向压下的金属应该全部转移到轴端,则1楔的展宽长度  $L_1$  可按式(1)计算:

$$L_1 = \frac{d_0^2}{d_1^2} L_0 \quad (1)$$

式中,  $d_0$  为轧制坯料直径;  $d_1$  为轧后直径;  $L_0$  为分配给1楔轧制的坯料长度。

然而当这部分金属流经2楔时,由于摩擦力的作用,2楔阻碍了部分金属向轴端流动,也就是说被1楔轧制的金属没有完全地被拉伸到轴端,而是随着楔的运动在两楔之间作螺旋移动,最后未被1楔轧制完成。那么为了使1楔轧制完残留在1楔、2楔之间的金属,就应该使1楔的实际展宽量大于理论计算值。

为了证明以上现象的存在,设计了如图3所示的多楔模具,其中模具内楔展宽角为  $8^\circ$ 、成形角为  $28^\circ$ 、可展宽量为270mm,并用此模具轧制直径为40mm、断面收缩率为55%、内楔理论展宽量为212mm的轧件,得到如图4所示的零件,经过测量,发现内楔实际展宽长度为245mm,除去轧后直径误差的影响,则内楔实际展宽量大于理论展宽量29mm。

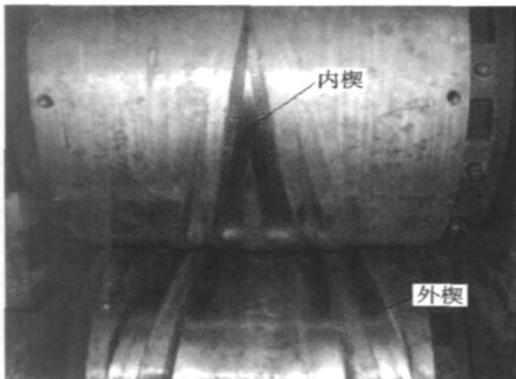


图3 多楔模具

考虑到RD2轴的坯料直径为207mm、长度为1200mm段的轧制断面收缩率为22.7%,所以取1楔的设计展宽量  $L_1$  等于理论轧制展宽量加40mm。

### 1.2 衔接坡角的确定

衔接坡角是指内楔轧制逐步向外楔轧制段过渡的锥面倾角,它是由外楔在轧制过程中切出来的斜锥面。衔接坡角  $\gamma$  是多楔模具设计的一个重要工艺参数,因为如果  $\gamma$  角度取值过大,则内楔在轧制衔接斜坡面时,楔对轧件的轴向力会推倒衔接坡面,造成折皮甚至裂纹等现象;反之,  $\gamma$  角度取值过小,则衔接部分的截面收缩率小,轧件所受轴向力就小,则金属不易被模具赶出,造成轧件衔接处横向变形加大,影响轧件内部质量,并且会加大1楔的辊幅。

为了得到多楔轧制车轴光滑衔接坡角的最佳值,通过对图3所示多楔模具选取不同的  $\gamma$  值,对直径为40mm圆钢进行了轧制实验,实验参数如表1所示,得到了如图5所示的轧制结果。结果表明轧制断面收缩率为55%时,衔接坡角取  $30^\circ$  时,多楔轧制等直径段的衔接质量最好。

表1 衔接坡角实验参数表

断面收缩率/%	展宽角/ $(^\circ)$	成形角/ $(^\circ)$	衔接坡角/ $(^\circ)$
55	8	28	30, 45, 60, 75



图4 多楔轧制的试验零件

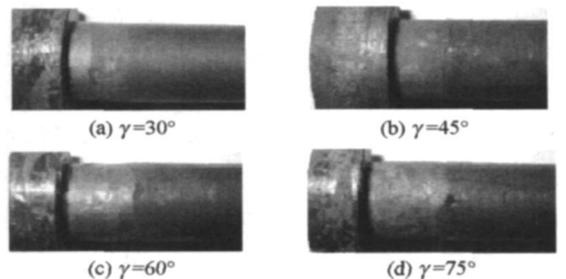


图5 衔接坡角轧制实验

多楔轧制车轴衔接段的断面收缩率小于55%,因此衔接坡角取  $30^\circ$  作为车轴多楔模具的衔接坡角将满足光滑衔接的要求。

### 1.3 多楔轧制等直径段任务的分配

车轴1200mm等直径段的轧制任务是由1楔和2楔共同完成的,所以存在轧制任务的分配问题。当多楔模具1楔的基本参数和轧制任务确定后,根据多楔模具的设计原则,2楔和3楔的基本参数和轧制任务就会计算出。所以轧制任务分配的不同,会引起1楔和2楔展宽角  $\beta$  的不同(不含附加转角)。表2是根据1楔轧制任务不同而设计的多楔模具参数表,本文根据此表参数,设计轧制车轴的多楔模具,并进行了有限元模拟。

表 2 轧制车轴的多楔模具参数

序号	展宽角 $\beta/(\circ)$			成形角 $\alpha/(\circ)$			断面收缩率/%			转角	转角	1 楔理论轧制长度, $L/\text{mm}$
	1 楔	2 楔	3 楔	1 楔	2 楔	3 楔	1 楔	2 楔	3 楔	$\theta_1/(\circ)$	$\theta_2/(\circ)$	
1	8	9.1	4.8	36	36	28	22	22	56	1.83	3.93	300
2	8	7.7	4.5	36	36	28	22	22	56	1.83	3.60	270
3	8	6.1	9.1	36	36	28	22	22	56	1.83	3.20	240

注: 衔接坡角为  $30^\circ$

## 2 有限元模拟结果及分析

根据表 2 提供的实验参数, 建立有限元模型, 并对直径为 207 mm、长度为 1720 mm、材料为 45 号钢的坯料进行模拟轧制, 图 6 反映的是轧件轴向剖面的等效应变的分布, 图 7 表示轧件表面等效应变的分布。各图序号与模拟实验序号相同。

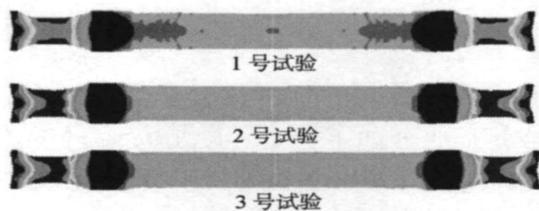


图 6 轧件轴向剖面等效应变图

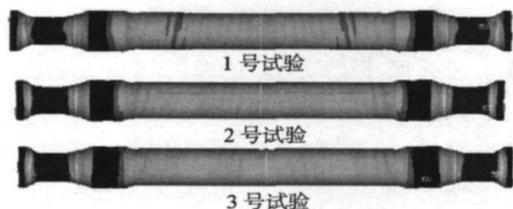


图 7 轧件表面等效应变

从轧件轴向剖面 and 表面等效应变分布图可以看出(1200 mm 段), 按多楔模具设计原则设计出的模具都轧制出了 RD2 轴, 并且等直径段的衔接光滑, 没有出现残料与折皮现象; 按第 1 组参数所设计的模具轧出的轧件内部与表层金属的变形都不均匀, 表层金属变形不均匀则轧件表面加工余量就较大,

内部变形的不均匀会影响轧件的力学性能; 按第 2 组参数设计的模具轧出的轧件内部与表层金属的变形都很均匀, 因此轧件的质量较好; 第 3 组参数设计的模具轧出的轧件内部金属变形均匀, 但表层金属的变形不太均匀。

## 3 结论

(1) 多楔模具内楔实际展宽量是大于理论展宽量的, 这是因为内楔轧制的金属向轴端流动时受到外楔摩擦力的阻碍, 致使一部分金属在两楔之间滞留, 只有加大 1 楔的展宽量才可逐渐轧制完此部分金属。

(2) 当车轴多楔模具楔接坡角为  $30^\circ$  时, 可得到表面衔接光滑的轧件。

(3) 以等效应变作为轧件表面和内部金属变形均匀的判定条件, 通过有限元模拟实验找到了模具合理的设计参数。

## 参 考 文 献

- [1] 李传民, 束学道, 胡正寰. 铁道车辆用车轴成形方法现状与研究. 冶金设备, 2006, 6: 5
- [2] 束学道, 邢希东, 胡正寰. 工艺参数对楔横轧多楔轧制成形机理影响分析. 北京科技大学学报, 2005, 2: 222
- [3] 李传民, 束学道, 胡正寰. 楔横轧多楔轧制铁路车轴可行性有限元分析. 中国机械工程, 2006, 19(17): 2017
- [4] 束学道. 特大型楔横轧工艺与设备研究[学位论文]. 北京: 北京科技大学, 2002
- [5] 赵静. 楔横轧多楔成长轴类零件关键技术研究[学位论文]. 北京: 北京科技大学, 2007

## The study on key technology to design multi-wedge dies of rolling railway axles

SHU Xuedao, LI Chuanmin, HU Zhenghuan

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

**ABSTRACT** There are many influence factors of designing multi-wedge die. In this paper, the actual spread span of interior wedge and interface angle were studied by experiment and finite element analysis. Meanwhile, a new optimization design method for multi-wedge die was developed. The paper suggests that an effective strain is a standard of judging uniform deformation within multi-wedge rolling. The optimal parameters for the design of railway axles die were obtained. The results have an instructional action for designing multi-wedge die.

**KEY WORDS** multi-wedge rolling; railway axle; die