

汽车后桥主动齿轮坯的楔横轧成形工艺

刘 鑫¹, 周宇飞², 朱春东³, 门正兴¹, 苏艳红¹, 冉茂文¹

(1. 成都航空职业技术学院 航空装备制造产业学院, 四川 成都 610100; 2. 哈尔滨电机厂有限责任公司 制造工艺部, 黑龙江 哈尔滨 150000; 3. 武汉理工大学 材料科学与工程学院, 湖北 武汉 430070)

摘要: 汽车后桥主动齿轮是汽车动力传动系统中的关键零件, 针对其传统制造工艺“锤上拔长-模锻成形”存在的生产效率低、材料利用率低的问题, 提出采用“楔横轧-模锻成形”工艺来生产汽车后桥主动齿轮, 并对主动齿轮零件进行结构优化, 取消杆部台阶, 最终轧制出杆部倾斜角度约为 2° 的轧制坯件, 实现了主动齿轮零件的楔横轧制坯模具的通用化。针对楔横轧工序中轧件不旋转的问题, 提出了在楔横轧模具侧面加工半圆形截面或三角形截面的槽, 结果发现三角形截面的槽更能满足旋转条件。另外, 还研究了不同工艺参数对心部损伤值的影响规律, 研究结果有利于提高主动齿轮的生产效率。

关键词: 汽车后桥; 楔横轧; 主动齿轮; 开槽; 心部损伤

DOI: 10.13330/j.issn.1000-3940.2022.10.027

中图分类号: TG331 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3940 (2022) 10-0198-06

Cross wedge rolling process for automobile rear axle drive gear billet

Liu Xin¹, Zhou Yufei², Zhu Chundong³, Men Zhengxing¹, Su Yanhong¹, Ran Maowen¹

(1. School of Aeronautical Manufacturing Industry, Chengdu Aeronautic Polytechnic, Chengdu 610100, China;
2. Manufacturing Technology Department, Harbin Electric Machinery Company Limited, Harbin 150000, China;
3. School of Material Science and Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China)

Abstract: The automobile rear axle drive gear is the key part of automobile power transmission system. Therefore, for the problems of low production efficiency and low material utilization rate in its traditional manufacturing process “hammer drawing-die forging”, “wedge cross rolling-die forging” process was proposed to produce the rear axle drive gear of automobile, and the structure of drive gear part was optimized. Then, the step of rod part was cancelled, and the rolling billet with a rod inclination angle of about 2° was rolled, so as to realize the universalization of blank making die of cross wedge rolling for the drive gear. Furthermore, in order to solve the problem that the rolling part did not rotate in the process of cross wedge rolling, the groove with semicircular cross section or triangular cross section produced on the side wedge surface of the cross wedge rolling die was proposed, and it was found that the groove with triangular cross-section was more suitable for the rotation condition. Finally, the influence laws of different process parameters on the damage value of the core were studied. The results are helpful to improve the production efficiency of the drive gear.

Key words: automobile rear axle; cross wedge rolling; drive gear; slotting; core damage

汽车后桥主动齿轮作为汽车动力传动系统中的关键零件, 需求量较大, 改进其生产工艺、提高生产效率及产品质量是非常有意义的。目前, 汽车后桥主动齿轮锻件的主要生产工艺为: 锤上拔长-模锻压力机模锻成形, 该工艺所需设备的吨位高、打击次数多、生产效率低、尺寸精度差、材料利用率低^[1]。

楔横轧是一种先进的成形技术^[2]。束学道等^[3-4]对大型轴类件成形过程中的等效应力、等效应变的分布, 以及工艺参数和力能参数等进行了系统的研究。胡正寰等^[5]对轧制参数和稳定轧制条件进行了分析。Bartnicki J 和 Pater Z^[6]开展了楔横轧空心件模具的设计优化, 并研究了稳定轧制问题。江洋等^[7]对楔横轧成形厚壁空心轴件的不圆度进行了分析。朱德彪等^[8]研究了工艺参数对楔横轧 GH4169 合金轴类件的力能参数的影响。赵静等^[9]分析了楔横轧铝合金轴类零件的成形机理。熊毅等^[10]基于有限元模拟, 分析了高碳钢棒件温楔横轧成形过程。霍元明等^[11]分析了楔横轧高铁车轴钢的

收稿日期: 2021-09-15; 修订日期: 2021-12-14

基金项目: 四川省科技计划项目 (2019YJ0519)

作者简介: 刘 鑫 (1995-), 男, 硕士, 助教

E-mail: liuxin102112@sina.com

通信作者: 周宇飞 (1995-), 男, 硕士, 中级工程师

E-mail: 2992372688@qq.com

塑性损伤形成机理。黄超群等^[12]以连杆楔横轧制坯工艺为研究对象，得到了连杆毛坯楔横轧工艺的最优参数组合。

本文利用楔横轧工艺成形汽车后桥主动齿轮坯，并对主动齿轮零件进行结构优化，提高了生产效率。针对楔横轧工序中轧件不旋转的问题，提出了在楔横轧模具侧楔面加工半圆形截面或三角形截面的槽，并分析了两种槽的特点。同时，基于可靠的有限元模拟，分析了不同工艺参数对心部损伤值的影响规律。研究结果能有效地提高汽车后桥主动齿轮的生产效率，提高产品质量。

1 汽车后桥主动齿轮坯成形工艺

后桥主动齿轮的种类很多，并且齿轮杆部台阶的位置和尺寸均不相同，如果要楔横轧一步成形，则需要每种零件匹配一种楔横轧模具，但楔横轧模具的制造费用高，尤其当进行生产试制或小批量生产时，会极大地增加生产成本、降低生产效率。因此，按图 1 所示进行结构优化，取消杆部台阶，将杆部优化为锥形。选取多种型号的主动齿轮零件进行优化，杆部倾斜角 θ 的范围为 $1^{\circ}\sim 3^{\circ}$ ，为了包含更多型号和减小成本，选定轧制杆部倾斜角 θ 为 2° 的轧件，之后再通过模锻工序成形，设计的轧制坯如图 2 所示。

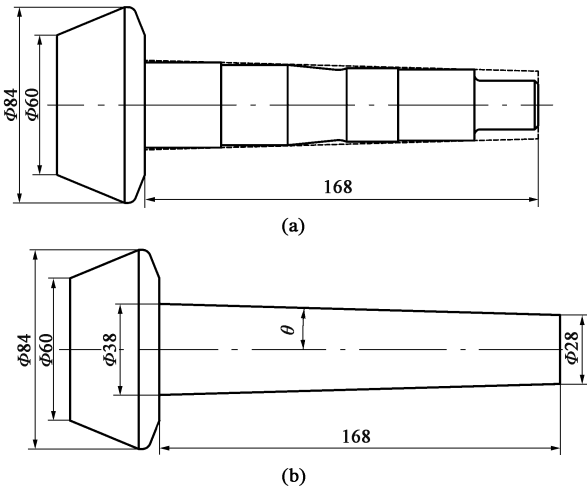


图 1 主动齿轮零件的结构简化
(a) 优化前 (b) 优化后
Fig. 1 Structure simplification of drive gear part
(a) Before optimization (b) After optimization

2 楔横轧成形数值模拟

利用刚塑性有限元法模拟汽车后桥主动齿轮坯

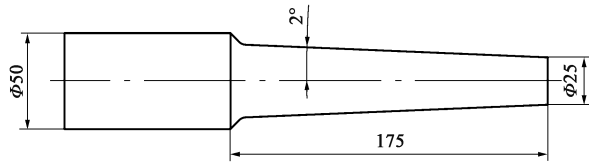


图 2 主动齿轮的轧制坯图
Fig. 2 Rolling blank drawing of drive gear

的楔横轧成形过程，模具设为刚体，坯料设置为塑性体，材料为 20CrMnTiH 钢，采用四面体单元对工件进行网格划分，网格总数为 50000。工件与模具之间的传热系数为 $5\text{ N}\cdot(\text{s}\cdot\text{mm}\cdot^{\circ}\text{C})^{-1}$ ，摩擦边界条件选择常剪切因子摩擦模型^[10-11]。楔横轧件的断面收缩率 $Z=64.4\%$ ，成形角 $\alpha=25^{\circ}$ ，展宽角 $\beta=7.5^{\circ}$ 。仿真模型如图 3 所示。表 1 为模拟过程中采用的工艺参数。

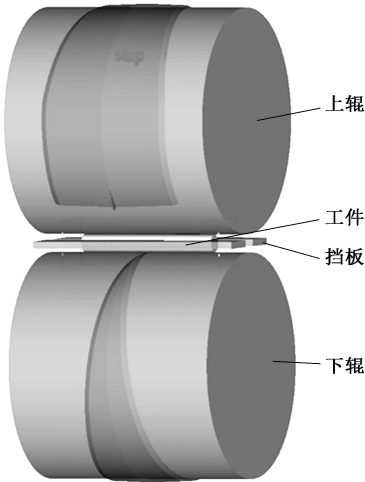


图 3 楔横轧成形的仿真模型
Fig. 3 Simulation model of cross wedge rolling

表 1 楔横轧成形模拟参数			
Table 1 Simulation parameters of cross wedge rolling			
参数	初始温度/ ℃	轧辊旋转速度/ ($\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$)	坯料直径/ mm
数值	1150	0.8	$\Phi 50$

3 模拟结果分析

轧件的成形效果如图 4 所示，其中 t 为轧制时间。轧制开始后，第 1 阶段为楔入段，模具楔入轧件，将其轧为 V 形槽，随着轧制的进行，轧件逐渐被轧扁，但未成形为所需要的形状。由轧件轧扁的情况可以直观地看出，轧件在轧制开始后不久即不再旋转，而是直接被上下模具压扁。这主要是由于

特种成形栏目由北京机电研究所有限公司 赞助刊出

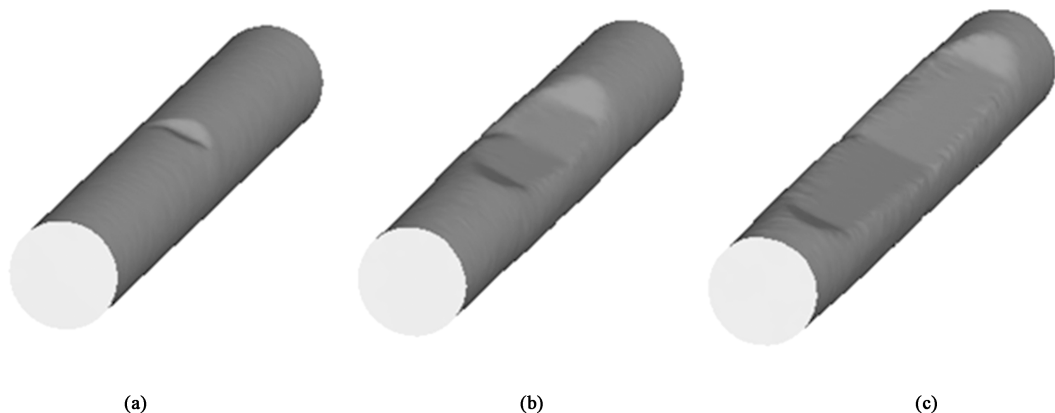


图 4 轧件初始成形效果

(a) $t=1\text{ s}$ (b) $t=6\text{ s}$ (c) $t=12\text{ s}$

Fig. 4 Initial forming results of rolling part

轧件所受摩擦力过小, 未满足轧件的旋转条件。

为增大轧件所受的摩擦力, 在模具侧楔面开槽, 通过增大金属流动阻力来增大轧件所受的摩擦力, 使轧件受力满足旋转条件。本文选用两种截面形状的开槽方式: 半圆形和三角形, 如图 5 和图 6 所示。前文设计的楔形成形角 $\alpha=25^\circ$, 由于侧楔面的面积较小, 现将成形角修改为 $\alpha=15^\circ$, 以增大侧楔面开槽的面积。

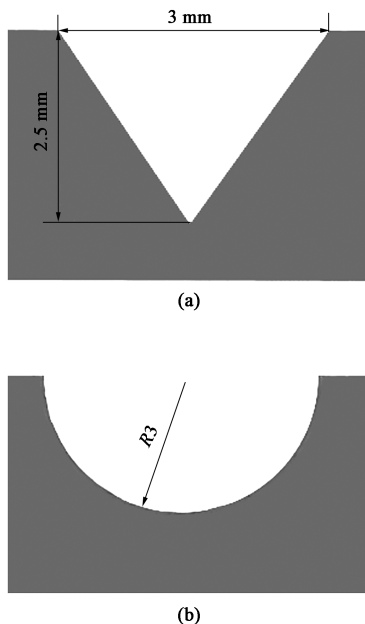


图 5 开槽截面形状

(a) 三角形 (b) 半圆形

Fig. 5 Slotted section shapes

(a) Triangle (b) Semicircle

图 7 为楔横轧成形过程中展宽段的轧件成形情况。从图 7 中可以看出, 无论是半圆形截面槽还是

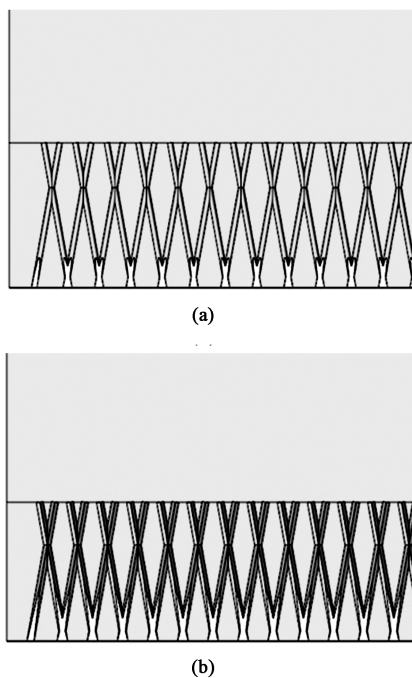


图 6 开槽分布情况

(b) 三角形 (b) 半圆形

Fig. 6 Slotting distribution conditions

(a) Triangle (b) Semicircle

三角形截面槽, 均未出现轧扁的现象, 说明轧件已经正常旋转。

为了对轧件的运动情况进行更深入的分析, 在轧件的轴向剖面进行点追踪, 如图 8 所示。图 9 为追踪点 $P1$ 和 $P2$ 的速度变化曲线。从图 9 中可以看出: 在轧件成形的开始阶段, 各追踪点的速度逐渐变大, 稳定在 $200\text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右; 轧制继续进行, 当轧件进入展宽段时, 模具上开半圆形截面槽的轧件所选追踪点的速度逐渐下降, 在轧制进行至 5 s

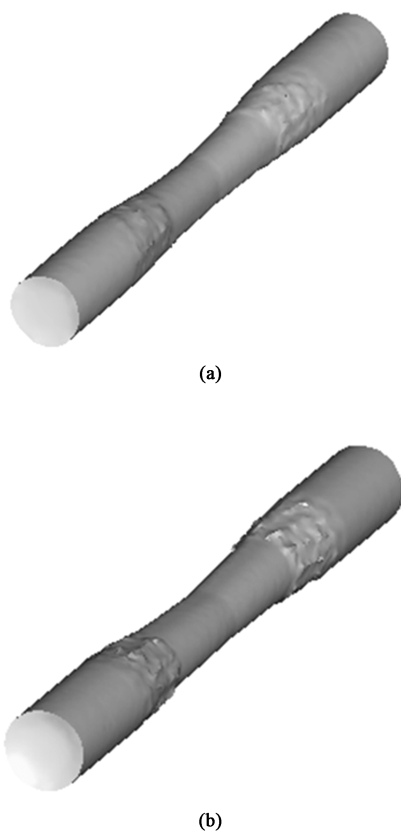


图7 不同开槽方式的成形效果
(a) 半圆形槽 (b) 三角形槽
Fig. 7 Forming effects of different slotting methods
(a) Semicircular groove (b) Triangle groove

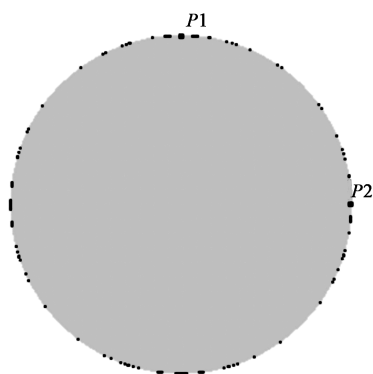


图8 追踪点位置
Fig. 8 Positions of tracking points

时追踪点的速度逐渐减为零,这说明随着轧制的进行,楔入深度加大,轧件所受的压力增大,所受摩擦力产生的力矩不足以使速度维持在初始速度;而模具上开三角形截面槽的轧件所选追踪点的速度在达到 $200 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ 后逐渐降低至 $100 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$,直至轧制末期,模具脱离轧件后追踪点的速度减为零,这说明在模具侧楔面开三角形截面槽使得轧件增加

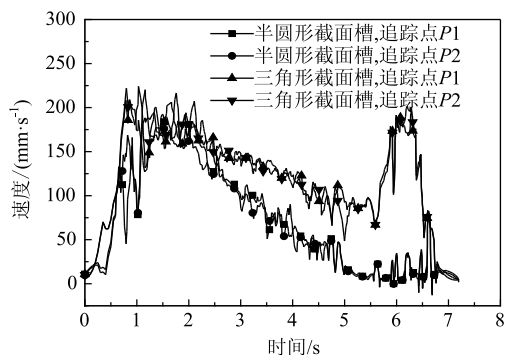


图9 不同开槽截面形状的追踪点速度曲线
Fig. 9 Velocity curves of tracking points under different slotted section shapes

的摩擦力产生的力矩可以抵抗压力产生的力矩,从而稳定了轧件的速度。因此,选用在楔横轧模具侧楔面加工三角形截面槽的方式进行轧制。

4 工艺参数对心部损伤的影响

图10为不同成形角下心部点的损伤值曲线。从图10中可以看出,不同成形角下的4条曲线的变化路径相差不大,展宽段的曲线斜率较大,在展宽段后期和精整段下的斜率逐渐减小。成形结束时,随着成形角的增大,损伤值略有减小。这是因为成形角变大后,金属的轴向流动变得困难,使得径向和切向变形的金属增多,从而使轧件变形的不均匀程度加剧,心部产生较大的拉应力,加大了心部金属的破坏程度。

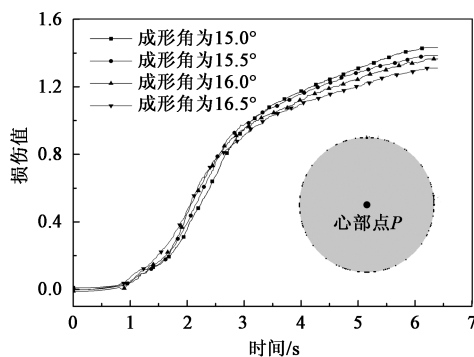


图10 不同成形角下心部点的损伤值曲线
Fig. 10 Damage value curves of center point under different forming angles

图11为不同展宽角下心部点的损伤值曲线。从图11中可以看出,在轧制展宽段,随着展宽角的增大,损伤值增大,而在轧制结束时损伤值相差不是很大。这是因为:当展宽角变大时,轧件金属沿轴

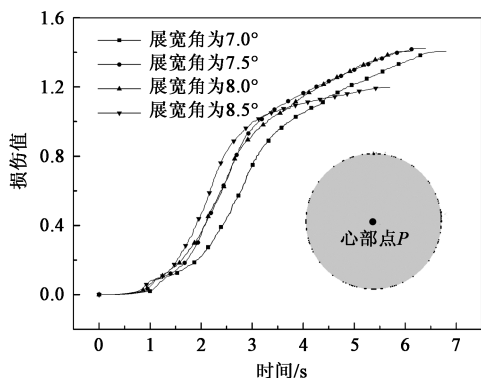


图 11 不同展宽角下心部点的损伤值曲线

Fig. 11 Damage value curves of center point under different widening angles

向流动的趋势加强,使得心部金属的变形累积增多,从而产生较大的拉应力,加大了心部金属的破坏;另一方面,展宽角变大后,轧制时间减少,即轧件旋转的次数减少,金属受揉搓的时间减少,会减轻金属的破坏。

5 生产验证

为了验证所建立的有限元模型和实验结论的正确性,在 H630 楔横轧机进行汽车后桥主动齿轮坯的轧制实验,设备如图 12 所示。根据数值模拟结果,确定轧制模具的成形角为 16.5° 、展宽角为 8.5° ,侧楔面开制三角形截面槽,如图 13 所示。坯料初始温度为 1150°C ,轧辊的旋转速度为 $0.8\text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ 。图 14 为轧制成形后的工件,工件质量良好,轮廓清晰。仿真结果与实验结果吻合较好,证明了本文方法的正确性。



图 12 H630 楔横轧机

Fig. 12 H630 cross wedge rolling machine

6 结语

本文提出了汽车后桥主动齿轮楔横轧制坯的新

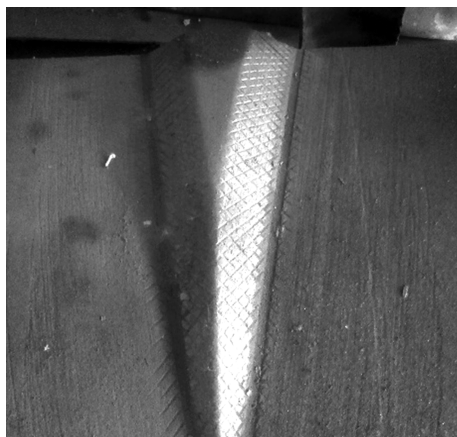


图 13 楔横轧模具

Fig. 13 Cross wedge rolling die



图 14 成形工件

Fig. 14 Formed workpiece

方法,即采用一套楔横轧模具完成汽车后桥主动齿轮的楔横轧制坯工序。对主动齿轮零件进行结构优化,在满足杆部各个台阶最小加工余量的情况下,取消杆部台阶,轧制出杆部倾斜角度约为 2° 的轧制坯件。在一定程度上实现了主动齿轮件的楔横轧制坯模具的通用化。

针对楔横轧工序中轧件不旋转的问题,在楔横轧模具侧楔面加工半圆形截面或三角形截面的槽,模拟发现三角形截面槽更满足旋转条件。同时,研究了不同工艺参数对心部损伤的影响规律,发现增大成形角和展宽角可以减轻心部破坏,提高轧件质量。

参考文献:

- [1] 冯玮,李明丽. 浮动凹模温精密成形圆柱斜齿轮变形规律分析 [J]. 精密成形工程, 2017, 9 (1): 35-40.
Feng W, Li M L. Analysis of deformation law for warm precision forging helical gears using floating die process [J]. Journal of Net-shape Forming Engineering, 2017, 9 (1): 35-40.
- [2] 刘伟东. 三辊楔横轧轧制空心轧件工艺参数对轧制力的影响规律 [J]. 精密成形工程, 2017, 9 (5): 220-224.

(下转第 215 页)