

工艺参数对高铁轴承外圈端面成形质量的影响

位 杰^{1,2}, 束学道^{1,2*}, 何 杰^{1,2}

(1. 宁波大学 机械工程与力学学院, 浙江 宁波 315211; 2. 浙江省零件轧制成形技术研究重点实验室, 浙江 宁波 315211)

摘要: 为了实现高铁轴承外圈的精确成形, 应用 ABAQUS 有限元软件, 对不同工艺参数下的冷辗扩轧制过程进行了有限元模拟, 得到了工艺参数对高铁轴承外圈端面成形质量的影响规律为: 较大的驱动辊转速和芯辊直线进给速度有利于坯料上端面的成形, 较小的轧制比获得的坯料上端面成形质量较好。

关键词: 高铁轴承; 成形质量; 工艺参数; 冷辗扩

中图分类号: TG335.19

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2016) 03-0103-04

随着交通、装备制造业和能源行业的飞速发展, 高铁轴承服役环境向高速、高精度、重载方向转化, 市场对高铁轴承套圈的制造提出了更高的要求^[1]。目前, 我国国产化高性能高铁轴承制造的缺陷严重制约了高铁行业的发展, 因此研究高铁轴承套圈的端面成形质量对推动我国高铁行业的发展具有重大意义^[2]。

通过对高铁轴承外圈冷辗扩成形机理的研究^[3], 分析金属流动规律得知, 坯料在冷辗扩轧制过程中主要出现的缺陷为“鱼尾”缺陷^[4], 即在冷辗扩轧制过程中, 坯料在芯辊的紧压作用下出现径向压缩、周向和轴向拉伸的塑性变形趋势, 坯料颈部上端面由于变形的不均匀, 心部区域出现小幅度的轴向内凹变形, 上端面轴向向外表面区域出现小幅度的轴向向上的拉伸变形, 如图 1 所示。坯料“鱼尾”缺陷会造成坯料直径达不到成品要求尺寸。所以研究“鱼尾”缺陷对控制高铁轴承外圈坯料颈部上端面的平整度, 提高坯料尺寸的成形精度, 进而提高生产效率有着重要意义^[5-6]。

为揭示工艺参数对高铁轴承外圈端面成形质量的影响规律, 本文应用 ABAQUS 有限元软件, 对冷辗扩轧制过程在驱动辊转速、芯辊直线进给速度和坯料轧制比 3 种工艺参数下进行模拟, 研究结果为生产加工高铁轴承外圈提供了理论基础。

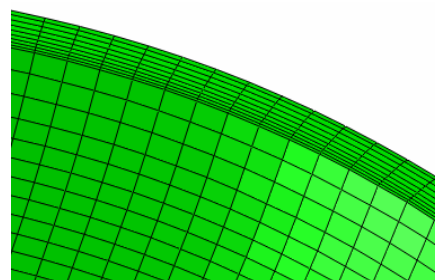


图 1 “鱼尾”缺陷现象

1 工艺参数的选取及端面缺陷研究方法

1.1 工艺参数的选取

为使高铁轴承外圈坯料顺利、稳定地进行冷辗扩轧制, 驱动辊的旋转速度和芯辊的直线进给速度必须满足咬入条件和锻透条件^[7-8]。我们选高铁轴承外圈坯料形状为斜锥面, 故在轧制初期芯辊外表面能与坯料内表面完全贴合, 其尺寸参数为: 坯料外径 $R=98.39\text{ mm}$, 内径 $r=74.99\text{ mm}$, 高度 $H=80\text{ mm}$ 。驱动辊外径 $R_1=200\text{ mm}$, 芯辊上端面外径 $R_2=40\text{ mm}$ 。根据实际生产经验以及轴承套圈加工工艺, 取 4 组驱动辊旋转速度分别为 $14, 17, 20, 23\text{ r}\cdot\text{s}^{-1}$ 。采用单因素方法研究, 在研究芯辊直线进给速度对高铁轴承冷辗扩变形影响时, 选定驱动辊转速为 $17\text{ r}\cdot\text{s}^{-1}$, 通过式(1)和式(2)得出芯辊直线进给速度的取值范围。

收稿日期: 2015-07-10.

宁波大学学报(理工版) 网址: <http://journallg.nbu.edu.cn/>

基金项目: 国家自然科学基金(51475247); 宁波市重点学科项目(XKL14D2048)。

第一作者: 位杰(1990—), 男, 山东曹县人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 塑性成形技术。E-mail: 1216491542@qq.com

*通信作者: 束学道(1968—), 男, 安徽舒城人, 教授, 主要研究方向: 塑性加工工艺与设备。E-mail: shuxuedao@nbu.edu.cn

$$v \leq v_{\max} = \frac{2\beta^2 n R_1}{R(1 + R_1/R_2)} \left(1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{R_1}{R} - \frac{R_1}{r} \right), \quad (1)$$

$$v \geq v_{\min} = 6.55 \times 10^{-3} n \frac{R_1}{R} \cdot \left(\frac{R}{R_1} - \frac{r}{R_1} \right) \left(1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{R_1}{R} - \frac{R_1}{r} \right). \quad (2)$$

由式(1)和(2)可以得到芯辊的直线进给速度范围是 $0.26 \sim 14.72 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$. 基于实际生产经验, 芯辊的直线进给速度不能取过大, 否则会影响高铁轴承外圈冷辗扩轧制的稳定性; 同时对坯料的冲击也会过大, 故取 4 组进给速度为: 0.6 、 0.8 、 1.0 、 $1.2 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$. 轴承套圈冷辗扩轧制比的取值范围一般为 $1.2 \sim 1.6$, 取 4 组轧制比为: 1.2 、 1.3 、 1.4 、 1.5 . 具体工艺参数取值见表 1.

表 1 工艺参数取值

组数	1	2	3	4
驱动辊转速/($\text{r} \cdot \text{s}^{-1}$)	14	17	20	23
芯辊进给速度/($\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$)	0.6	0.8	1.0	1.2
轧制比	1.2	1.3	1.4	1.5

1.2 端面缺陷研究方法

由于高铁轴承外圈在实际的冷辗扩轧制过程中, 轴向有少量的端面位移, 故要研究坯料颈部长端面成形质量问题, 需观测上端面的平整度和测量整个端面的轴向位移. 利用 ABAQUS 有限元分析软件, 对颈部长端面进行取点(图 2), 分析其轴向位移的变化情况.

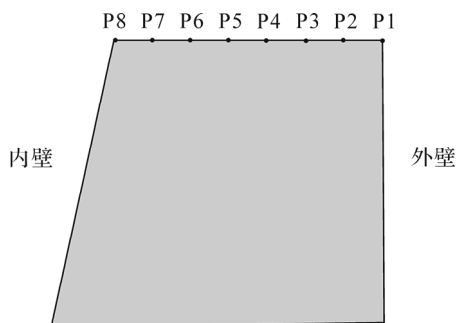


图 2 上端面取点

2 有限元模拟结果及分析

2.1 有限元模型的建立

假设驱动辊、芯辊为刚体, 不考虑轧制过程中变形情况. 坯料选用 $40\text{Cr}^{[9]}$, 轧制温度为常温. 考虑到高铁轴承颈部壁薄和成品截面在轴向的对称

性, 需要合理划分网格. 为了方便计算、节省时间, 我们只分析对称结构^[10]. 高铁轴承冷辗扩有限元模型如图 3 所示.

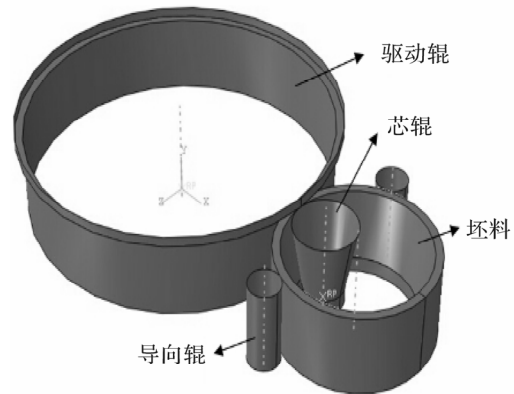


图 3 高铁轴承冷辗扩装配模型

2.2 驱动辊转速的影响

在研究驱动辊转速对高铁轴承外圈端面成形质量的影响时, 首先需要对驱动辊转速分组取值. 设定芯辊直线进给速度为 $0.8 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$, 轧制比为 1.2 , 驱动辊转速取 4 组, 分别为 14 、 17 、 20 、 $23 \text{ r} \cdot \text{s}^{-1}$; 然后在 ABAQUS 有限元分析软件中进行模拟, 得到坯料颈部长端面 8 个节点的轴向位移分布曲线, 如图 4 所示, 进而分析出驱动辊转速对上端面成形质量的影响.

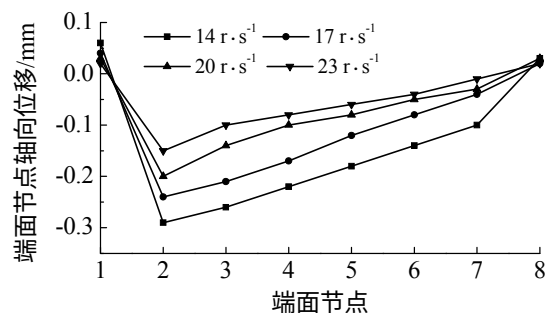


图 4 驱动辊转速对端面成形质量的影响

从图 4 可以看出, 坯料上端面内凹最严重区域靠近坯料外表面, 驱动辊转速为 $14 \text{ r} \cdot \text{s}^{-1}$ 时, 坯料端面的最大轴向位移为 -0.29 mm ; 驱动辊转速为 $17 \text{ r} \cdot \text{s}^{-1}$ 时, 坯料端面的最大轴向位移为 -0.24 mm ; 驱动辊转速为 $20 \text{ r} \cdot \text{s}^{-1}$ 时, 坯料端面的最大轴向位移为 -0.2 mm ; 驱动辊转速为 $23 \text{ r} \cdot \text{s}^{-1}$ 时, 坯料端面的最大轴向位移为 -0.15 mm . 从 4 条曲线的变化趋势可以得出, 当芯辊直线进给速度和轧制比一定时, 随着驱动辊转速的提高, 上端面节点的轴向位

移量逐渐减小, 说明提高驱动辊转速, 有助于坯料上端面的平整性, 即成形的质量越好. 这是因为当驱动辊转速提高时, 带动坯料的旋转速度也提高, 这样坯料每转的变形就比较均匀, 从而上端面成形质量更好.

2.3 芯辊进给速度的影响

在研究芯辊直线进给速度对高铁轴承外圈颈部上端面成形质量影响时, 首先需要对芯辊直线进给速度分组取值, 取驱动辊转速为 $17 \text{ r} \cdot \text{s}^{-1}$, 轧制比为 1.2, 芯辊直线进给速度分别为 0.6 、 0.8 、 1.0 、 $1.2 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$; 然后在 ABAQUS 有限元分析软件中进行模拟, 得到坯料颈部上端面 8 个节点的轴向位移分布曲线, 如图 5 所示. 进而分析出芯辊直线进给速度对上端面成形质量的影响.

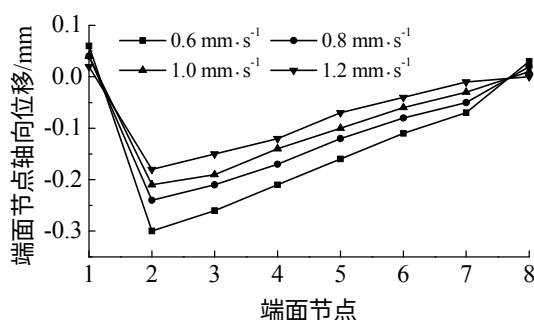


图5 芯辊进给速度对端面成形质量的影响

从图 5 可以看出, 芯辊直线进给速度对坯料上端面成形质量的影响与驱动辊转速对上端面质量影响相似, 坯料端面“鱼尾”曲线最严重区域位于靠近坯料外表面. 当芯辊直线进给速度为 $0.6 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ 时, 坯料端面的最大轴向位移为 -0.3 mm ; 芯辊直线进给速度为 $0.8 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ 时, 坯料端面的最大轴向位移为 -0.24 mm ; 芯辊直线进给速度为 $1.0 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ 时, 坯料端面的最大轴向位移为 -0.21 mm ; 芯辊直线进给速度为 $1.2 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ 时, 坯料端面的最大轴向位移为 -0.18 mm . 从 4 条曲线的变化趋势可以得出, 当驱动辊转速和轧制比一定时, 随着芯辊直线进给速度的增加, 上端面节点的轴向位移量逐渐减小, 说明芯辊直线进给速度与上端面成形质量成正比, 适当提升芯辊直线进给速度, 有助于坯料上端面的平整性. 这是因为当提高芯辊直线进给速度时, 坯料每转的进给量都有所提升, 这样坯料的塑性变形量就会随之增大, 塑性成形完全穿透坯料的颈部上端面, 使得坯料上端面变形更

加均匀, 坯料颈部端面较为平整. 但是, 当芯辊直线进给速度较小时, 坯料颈部上端面的等效应变主要发生在与芯辊和驱动辊接触的外表面附近区域, 塑性变形并没有渗透到上端面的芯部, 这样在冷辗扩轧制过程中, 上端面的塑性变形就不均匀, 会出现较为严重的“鱼尾”缺陷. 所以在实际的生产加工时, 要选取较大的芯辊进给速度以避免出现坯料颈部上端面的“鱼尾”缺陷.

2.4 坯料轧制比的影响

研究坯料轧制比对高铁轴承外圈颈部上端面成形质量影响时, 首先需要对轧制比分组取值, 设定驱动辊转速为 $17 \text{ r} \cdot \text{s}^{-1}$, 芯辊直线进给速度为 $0.8 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$, 坯料轧制比分别为 1.2、1.3、1.4、1.5; 然后在 ABAQUS 有限元分析软件中进行模拟, 得到坯料颈部上端面 8 个节点的轴向位移分布曲线, 如图 6 所示. 进而分析出坯料轧制比对上端面成形质量的影响.

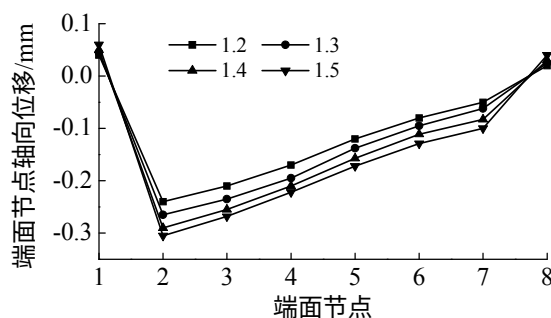


图6 坯料轧制比对端面成形质量的影响

从图 6 可以看出, 轧制比对坯料上端面成形质量的影响与驱动辊转速和芯辊进给速度对上端面质量影响情况相似, 坯料端面“鱼尾”曲线最严重区域位于靠近坯料外表附近. 当坯料轧制比为 1.2 时, 坯料端面的最大轴向位移为 -0.240 mm ; 坯料轧制比为 1.3 时, 坯料端面的最大轴向位移为 -0.265 mm ; 坯料轧制比为 1.4 时, 坯料端面的最大轴向位移为 -0.290 mm ; 坯料轧制比为 1.5 时, 坯料端面的最大轴向位移为 -0.305 mm . 从 4 条曲线的变化趋势可以得出, 当驱动辊转速和芯辊直线进给速度一定时, 随着坯料轧制比的增加, 上端面节点的轴向位移量逐渐减小, 说明坯料轧制比的变化与上端面成形质量成反比. 这是因为当驱动辊转速和芯辊直线进给速度一定时, 即坯料每转所受进给量都相同, 轧制比越大, 坯料上端面越厚, 塑性变

形越不均匀,端面成形质量越差;而轧制比越小,坯料上端面较薄,内部金属越容易发生塑性变形,并且成形速度较快,端面成形质量好。所以在实际生产加工时,要选取较小的坯料轧制比来避免坯料颈部上端面的“鱼尾”缺陷现象。

3 结论

(1)采用单因素方法,研究驱动辊转速的影响时,当其他2个因素值一定时,随着驱动辊转速的增加,上端面节点的轴向位移量逐渐减小;研究芯辊进给速度的影响,得到与驱动辊转速相同的结论;研究坯料轧制比的影响,则得到了与驱动辊转速相反的结论。

(2)工艺参数对端面成形质量的影响为:较大的驱动辊转速和芯辊直线进给速度有利于坯料上端面的成形,较小的轧制比获得的坯料上端面成形质量较好。

参考文献:

- [1] 洪哲,孙宝寿,束学道,等. 轴承内圈冷辗扩封闭成形热力耦合有限元分析[J]. 热加工工艺, 2014, 21:107-109; 113.
- [2] 华林. 环件轧制成形原理和技术设计方法[D]. 西安: 西安交通大学, 2000.
- [3] 何杰,束学道,彭文飞,等. 高铁轴承外圈的冷辗扩变形机理研究[J]. 热加工工艺, 2014, 21:101-103.
- [4] 肖旻. 高颈法兰封闭轧制成形关键技术研究[D]. 宁波: 宁波大学, 2011.
- [5] JOHNSON W, MACLEOD I, NEEDHAM G. An experimental investigation into the process of ring or metal tyre rolling[J]. International Journal of Mechanical Sciences, 1968, 10:455-468.
- [6] JOHNSON W, NEEDHAM G. Plastic hinges in ring indentation in relation to ring rolling[J]. International Journal of Mechanical Sciences, 1968, 10:487-490.
- [7] 漆良涛. 轴承套圈冷辗扩成形关键技术研究[D]. 宁波: 宁波大学, 2012.
- [8] 胡正寰,张康生,王宝雨,等. 楔横轧零件成形技术与模拟仿真[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2004:35-43.
- [9] 左治江. 环件冷辗扩变形规律和工艺模拟研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2006.
- [10] 肖旻,束学道. 坯料形状对轧制成形高颈法兰影响分析[J]. 热加工工艺, 2010, 17:120-123.

Influence of Process Parameters on End Face Shaping Quality of Bearing Outer Ring for High-speed Rail

WEI Jie^{1,2}, SHU Xue-dao^{1,2*}, HE Jie^{1,2}

(1.Faculty of Mechanical Engineering & Mechanics, Ningbo University, Ningbo 315211, China;

2.Zhejiang Provincial Key Laboratory of Part Rolling Technology, Ningbo 315211, China)

Abstract: To achieve precision in forming of bearing outer ring for high-speed rail, the finite element simulation of cold rolling process with varying parameters is conducted using ABAQUS finite element software. The influence of process parameters on end face shaping quality of bearing outer ring for high-speed rail is investigated. It is concluded that higher drive roller speed and core roll feed rate are conducive for the forming of high speed rail bearing billet, and smaller rolling ratio is beneficial to the forming quality of the upper end face of the billet. The study results provide reliable theoretical foundation for the actual production of bearing outer ring for high-speed rail.

Key words: high-speed rail bearings; forming quality; process parameters; cold rolling process

(责任编辑 史小丽)