

# 1600 mm 辊锻机及其在轨道交通用车轴生产中的应用

石一馨, 杨 勇, 李海涛, 陈宪明, 张艳朝, 孙国强, 陈祥龙, 张彬成  
(北京机电研究所有限公司, 北京 100083)

**摘要:** 主要介绍了 1600 mm 辊锻机及其在轨道交通用车轴生产中的应用。现场实验结果表明: 1600 mm 辊锻机完成冷调和热调后, 设备的能力、可靠性得到了有效验证, 各项性能参数指标均达到设计要求; 车轴采用精密辊锻成形, 质量良好, 满足锻件设计要求, 各项力学性能指标均满足要求, 表明车轴采用精密辊锻成形是可行的; 与快锻、径向锻生产车轴的对比结果显示, 车轴采用精密辊锻成形, 生产效率高、材料利用率高且后续机加工量小, 经济效益比较显著。1600 mm 辊锻机的研发及在轨道交通用车轴生产中的应用对一些大型轴类件的精密辊锻成形有很好的示范作用。

**关键词:** 1600 mm 辊锻机; 轨道交通; 车轴; 精密辊锻成形; 力学性能

**DOI:** 10.13330/j.issn.1000-3940.2022.06.029

**中图分类号:** TG315.7      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000-3940 (2022) 06-0209-05

## 1600 mm roll forging machine and its application in production of axles used in rail transit

Shi Yiqing, Yang Yong, Li Haitao, Chen Xianming, Zhang Yanzhao, Sun Guoqiang,  
Chen Xianglong, Zhang Bincheng  
(Beijing Electromechanical Research Institute Co., Ltd., Beijing 100083, China)

**Abstract:** 1600 mm roll forging machine and its application in production of axles used in rail transit were mainly introduced. The results of field experiments show that after the cold and hot tests on 1600 mm roll forging machine are completed, the ability and reliability of the equipment are verified, and the performance parameters and indicators reach the design requirements. The axle is formed by precision roll forging, and the quality is good, which meets the design requirements of forgings, and the requirements of various mechanical properties and indicators, indicating that precision roll forging for axle is feasible. The comparison results with axles produced by fast forging and radial forging show that the precision roll forging of axles has high production efficiency, high material utilization rate and less follow-up machining allowance, and its economic benefits are relatively significant. Thus, the research and development of 1600 mm roll forging machine and its application in the production of axles used in rail transit play a good exemplary role on the precision roll forging for some large shaft parts.

**Key words:** 1600 mm roll forging machine; rail transit; axle; precision roll forging; mechanical property

辊锻作为金属材料成形的一种传统加工方式, 使用一对相向旋转的扇形模具使坯料产生连续的局部塑性变形, 其原理是“以轧代锻, 化整为零”, 从而获得所需的锻件或锻坯。它具有节能减材、生产效率高、工作环境好等一系列优点, 应用空间广阔, 符合国家“双碳”发展的技术需求<sup>[1-5]</sup>。

辊锻机是一种锻压机械, 是辊锻工艺的载体。按其结构和用途可分为悬臂式、双支承式、复合式(悬臂式和双支承式的复合)及专用辊锻机等4

类, 其中应用较广泛的是双支承式辊锻机。随着辊锻工艺的迅速发展及广泛应用, 也同时带动了辊锻机的不断进步。目前, 我国的辊锻机正朝着大型化、自动化、高效率与高精度的方向大步迈进<sup>[6-8]</sup>。

目前, 国内外车轴的生产工艺主要采用快锻或径向锻造, 这两种工艺的设备投资大、能耗高、污染重、劳动条件差<sup>[9-12]</sup>。因此, 有必要对车轴生产工艺进行技术创新。本文主要介绍了世界首台(套) 1600 mm 辊锻机及其在轨道交通用车轴生产中的应用, 通过现场实验验证了设备和工艺的可行性, 本文中工艺和装备的研发对轨道交通用车轴等一些大型轴类件的精密辊锻成形有很好的示范作用。

收稿日期: 2022-04-12; 修订日期: 2022-05-05

作者简介: 石一馨(1982-), 男, 学士, 正高级工程师

E-mail: shiyiqing1005@163.com

通信作者: 杨 勇(1982-), 男, 博士, 正高级工程师

E-mail: yy19821110@163.com

1 1600 mm 辊锻机介绍

1.1 1600 mm 辊锻机的基本参数

基本参数是辊锻机的基本技术数据，是根据辊锻机的工艺用途及结构类型来确定的，它反映了辊锻机的工作能力及特点，也是用户选购时的主要数据。本文以某锻造企业提供的车轴锻件为工艺开发对象，其结构简图如图 1 所示，材质为 50 钢，最大截面直径为  $\Phi 230$  mm，最小截面直径为  $\Phi 176$  mm，锻件总长度为 2350 mm，质量约为 600 kg。利用三维造型软件对车轴锻件进行截面积测量，并按照 TB/T 2945—1999<sup>[13]</sup> 标准对车轴锻件的使用坯料进行规范。通过计算，采用两道次辊锻成形，通过计算



图 1 车轴锻件简图  
Fig. 1 Schematic diagram of axle forgings

各道次的力学性能参数，并结合数值模拟，最终确定的 1600 mm 辊锻机的主要技术参数如表 1 所示。

表 1 1600 mm 辊锻机主要技术参数  
Table 1 Main technical parameters of 1600 mm roll forging machine

参数	数值
轧辊中心距/mm	1600
有效装模宽度/mm	1600
轧辊转速/( $r \cdot \min^{-1}$ )	15
最大辊锻扭矩/( $kN \cdot m$ )	2100
最大辊锻力/kN	7000
最大轧制能量/kJ	3500

1.2 1600 mm 辊锻机主要结构

1600 mm 辊锻机采用双支承式结构。该机由机身、工作部分和传动部分等组成，具有液压慢速启动、快速辊锻成形的特点，并采用偏心调整中心距和消除大齿轮齿侧间隙的机构，整个设备结构紧凑、布局合理，且带有离合器与制动器，能够实现单动、连动、点动等功能。图 2 为设备各部位的结构简图。

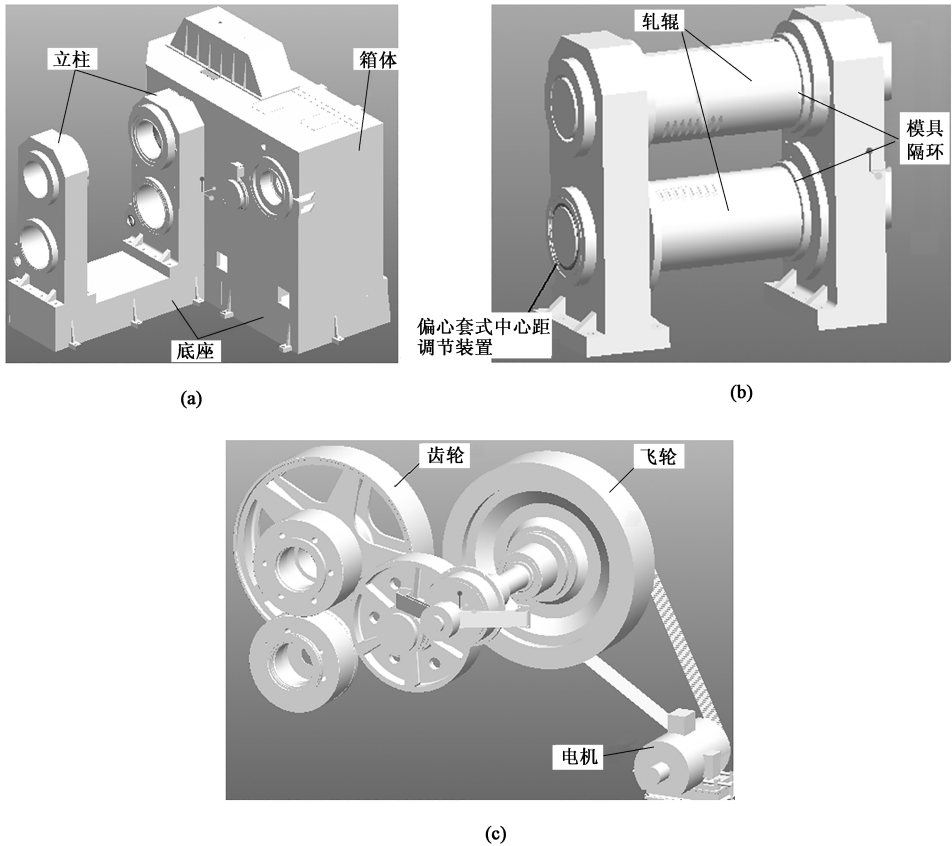


图 2 1600 mm 辊锻机结构简图  
(a) 机身 (b) 工作部分 (c) 传动部分  
Fig. 2 Schematic diagrams of 1600 mm roll forging machine structure  
(a) Fuselage (b) Working part (c) Transmission part

机身由底座、箱体、左右立柱等组成,它是机器的主体,所有部件均安装于该机身上。在进行机身箱体设计时,一方面直接将其安装在底座上,使得整体机身的结构更加稳定,同时传动系统各轴的定位也更加精准;另一方面,箱盖分为两盖板设计,除了可以节约材料外,也优化了装拆工艺。

工作部分主要由轧辊、偏心套式中心距调节装置、模具隔环等组成。轧辊置于立柱内,通过滑动轴承、偏心套和立柱相连。由于采用偏心套式中心距调节装置,辊锻机的整体刚度较压下螺钉调整中心距结构有所提高。轧辊和立柱在辊锻过程中承受锻件变形所需的辊锻力和辊锻力矩。

传动部分主要由电机、齿轮和飞轮等组成。齿轮机构是在各种机构中应用最为广泛的一种传动系统,它通过依靠轮齿齿廓直接接触来传递空间任意两轴间的运动和动力,并具有传递功率范围大、传动效率高、传动比准确、使用寿命长、工作可靠等

优点。综合考虑,1600 mm 辊锻机采用直齿轮传动形式,考虑到设备能量较大,飞轮设计时结构和材料均要求较高以满足使用需求。

### 1.3 1600 mm 辊锻机机身箱体部位仿真

由于辊锻机的所有部件均安装于机身上,它是机器的主体,而且1600 mm 辊锻机机身箱体设计又创新性地采用两盖板设计结构,所以,机身的强度和刚度必须满足设计要求。本文使用模拟软件对机身箱体部位进行了模拟,模拟结果显示,等效应力最大值为22.737 MPa,位置在卸荷套和机身连接位置区域的正下方,这是因为:该处承载着设备飞轮的较大重量和飞轮工作时的转动惯量,而且其周边区域的等效应力值也相对较大。等效应变最大值为 $12.5700 \times 10^{-5}$ ,最大等效应变位置基本与最大等效应力位置相同。可以看出,等效应力和等效应变均小于规定指标,强度和刚度均满足要求。图3为机身箱体部位模拟的等效应力、等效应变分布。

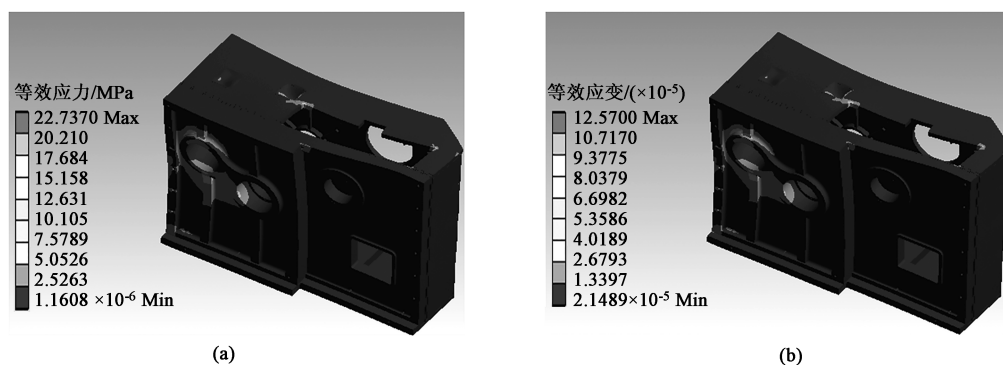


图3 1600 mm 辊锻机机身箱体部位模拟结果

(a) 等效应力分布 (b) 等效应变分布

Fig. 3 Simulation results of fuselage box part for 1600 mm roll forging machine

(a) Equivalent stress distribution (b) Equivalent strain distribution

## 2 1600 mm 辊锻机在轨道交通用车轴生产中的应用

工艺设备实验是在某车轴锻造厂完成的,目前,该厂采用快锻方法生产车轴,存在生产效率低、能耗高、污染重且后续机加工量大等问题,因此,对车轴生产工艺技术的创新有迫切需求。现场实验验证了1600 mm 辊锻机设备的能力和可靠性、车轴采用辊锻成形这种新型工艺的可行性及其经济效益。

### 2.1 实验条件

实验的工艺流程为:下料→加热→两道次精密辊锻→热处理。

主要的生产线工艺模具、设备介绍如下:

(1) 工艺模具,车轴辊锻成形分两道次完成,下料规格为250 mm×250 mm,坯料的加热温度为1180 ℃,辊锻模具材料均为5CrNiMo钢。

(2) 按照TB/T 2945—1999<sup>[13]</sup>要求,采用燃气式步进加热炉进行加热,准确控制轴坯的加热温度和时间,保证始锻温度。

(3) 辊锻设备采用北京机电研究所有限公司生产的1600 mm 辊锻机,如图4所示。

(4) 采用电加热悬挂链式热处理生产线,进行一次正火+风冷、二次正火+风冷、回火的热处理操作。

### 2.2 实验结果与分析

图5为车轴辊锻过程及最终车轴辊锻件的现场

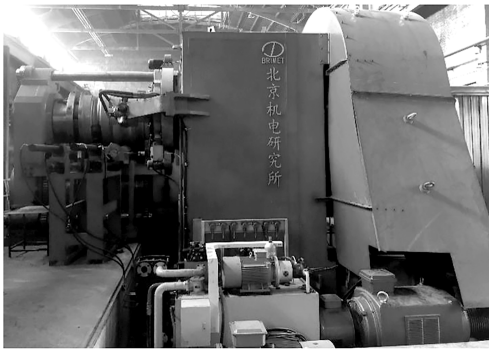
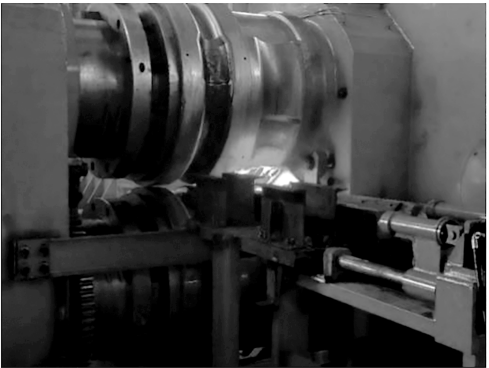


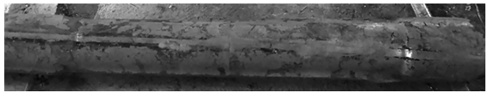
图 4 实验用 1600 mm 辊锻机

Fig. 4 1600 mm roll forging machine used in experiment

照片。1600 mm 辊锻机完成了冷调和热调，设备运行良好，通过现场实验验证了设备的能力和可靠性。表 2 为车轴精密辊锻过程中对 1600 mm 辊锻机设备主要性能参数的检测结果，可以看出，设备的各项参数指标均达到设计要求。



(a)



(b)

图 5 现场照片

(a) 车轴辊锻过程 (b) 车轴辊锻件

Fig. 5 On-site photos

(a) Roll forging process of axle (b) Axle roll forgings

表 2 1600 mm 辊锻机性能检测结果

Table 2 Performance test results of 1600 mm roll forging machine

参数	设计值	实测值
轧辊中心距/mm	1600	1600
有效装模宽度/mm	1600	1600
轧辊转速/( $r \cdot \min^{-1}$ )	15	15
最大辊锻扭矩/( $kN \cdot m$ )	2100	2310
最大辊锻力/kN	7000	7100
最大轧制能量/kJ	3500	3629

对车轴辊锻件的实际测量结果表明，车轴精密辊锻成形锻件的外形规整，锻件的形状和尺寸满足图纸的设计要求，成形质量良好。经过热处理后对精密辊锻车轴进行检测，其屈服强度达到 370 MPa，抗拉强度达到 710 MPa，断后伸长率达到 23%，断面收缩率达到 24.5%，各项力学性能指标均满足 TB/T 2945—1999<sup>[13]</sup> 的要求，因此，车轴采用精密辊锻成形这种新工艺来生产是可行的。

表 3 为车轴精密辊锻成形工艺与快锻及径向锻造成形工艺的经济性对比分析。可以看出，精密辊锻成形的生产效率高、材料利用率高且后续机加工量小，经济效益比较显著。1600 mm 辊锻机装备和车轴辊锻成形工艺的研发对轨道交通用车轴等一些大型轴类件的精密辊锻成形有很好的示范作用。

表 3 不同工艺的经济性对比

Table 3 Economic comparison of different processes

参数	快锻	径向锻造	精密辊锻
材料利用率/%	58~65	65~70	达到 70
生产效率/(件· $h^{-1}$ )	10	18	24
径向单边余量/mm	10~15	5~8	3~6

### 3 结论

(1) 现场实验表明，1600 mm 辊锻机设备运行良好，设备各项参数指标均达到设计要求，设备的能力和可靠性得到了验证。

(2) 车轴成形质量良好，各项力学性能指标均满足要求，表明车轴采用精密辊锻成形是可行的。

(3) 与快锻、径向锻造工艺的对比结果显示，精密辊锻成形的生产效率高、材料利用率高且后续机加工量小，经济效益比较显著。

#### 参考文献：

[1] 陶善虎. 前轴精密辊锻-整体模锻成形工艺改进 [J]. 精密成形工程, 2016, 8 (3): 61-64.  
Tao S H. Precision roll forging and die forging process of the vehicle [J]. Journal of Netshape Forming Engineering, 2016, 8 (3): 61-64.

[2] 王星, 刘宁, 潘琪琛, 等. 某重型卡车前轴精密辊锻工艺设计与优化 [J]. 模具工业, 2021, 47 (3): 47-49, 60.  
Wang X, Liu N, Pan Q C, et al. Process design and optimization of precision roll forging on heavy truck front axle [J]. Die & Mould Industry, 2021, 47 (3): 47-49, 60.

[3] 何卫华, 赵林强. 基于 QForm 的钢轨辊锻成形有限元仿真 [J]. 热加工工艺, 2020, 49 (23): 76-79, 83.



- He W H, Zhao L Q. Finite element simulation of rail roll forging based on QForm [J]. Hot Working Technology, 2020, 49 (23): 76-79, 83.
- [4] 曹树森, 于江. 我国辊锻机的发展现状及展望 [J]. 中国重型装备, 2015, (1): 18-20, 23.
- Cao S S, Y J. Current status and forecasts of roll forging press development in China [J]. China Heavy Equipment, 2015, (1): 18-20, 23.
- [5] 余世浩, 尚帅. 基于数值模拟和正交试验的卡车前轴辊锻工艺优化 [J]. 锻压装备与制造技术, 2016, 51 (4): 93-97.
- Yu S H, Shang S. Optimization of roll forging process for truck front-axle based on numerical simulation and orthogonal experimental method [J]. China Metalforming Equipment & Manufacturing Technology, 2016, 51 (4): 93-97.
- [6] 艾志超. 全自动分体式 800 辊锻机的设计及应用 [J]. 内燃机与配件, 2020, (11): 92-93.
- Ai Z C. Design and application of automatic split type 800 roll forging machine [J]. Internal Combustion Engine & Parts, 2020, (11): 92-93.
- [7] 于江, 邹宗园, 杜俊雷. 560 mm 伺服辊锻机结构特点及有限元静力学分析 [J]. 中国重型装备, 2018, (3): 22-27.
- Yu J, Zou Z Y, Du J L. Structural characteristics and finite element statics analysis of 560 mm servo roll forging machine [J]. China Heavy Equipment, 2018, (3): 22-27.
- [8] 李伟, 魏永彬. 自动辊锻机在汽车连接臂锻造成形工艺中的应用 [J]. 锻造与冲压, 2017, (1): 56-59.
- Li W, Wei Y B. Application of automatic roll forging machine in automotive connecting arm forging forming process [J]. Forging & Metalforming, 2017, (1): 56-59.
- [9] 初俊林. 高速列车轴轴坯新型成形工艺与设备的理论研究 [D]. 济南: 山东建筑大学, 2018.
- Chu J L. Theoretical Study on New Forming Process and Equipment of High Speed Train Axle Billet [D]. Jinan: Shandong Jianzhu University, 2018.
- [10] 张伟. 10 MN 快锻机在重载车轴生产线中的应用技术 [J]. 机械工程与自动化, 2017, (5): 193-195.
- Zhang W. Control techniques of high speed oil hydraulic forging machine for heavy load axle production line [J]. Mechanical Engineering and Automation, 2017, (5): 193-195.
- [11] 许畅, 束学道, 朱颖. 高铁空心车轴三辊斜轧成形仿真及分析 [J]. 宁波大学学报: 理工版, 2018, 31 (4): 16-19.
- Xu C, Shu X D, Z Y. Simulation and analysis of three-roll skew rolling forming of the railway hollow shaft [J]. Journal of Ningbo University: Natural Science & Engineering Edition, 2018, 31 (4): 16-19.
- [12] 陶炫宇, 付传锋. 中国高速铁路几个重要零件的精锻成形 [J]. 兵器装备工程学报, 2016, 37 (6): 119-123.
- Tao H Y, Fu C F. Precision forging and shaping of several important parts of Chinese high-speed railway [J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering, 2016, 37 (6): 119-123.
- [13] TB/T 2945—1999, 铁道车辆用 LZ50 钢车轴及钢坯技术条件 [S].
- TB/T 2945—1999, Specifications for LZ50 steel axles and billets for railway vehicles [S].

# 锻压技术

## DUANYA JISHU

### FORGING & STAMPING TECHNOLOGY

我们藉行业 翘楚之势  
为您搭建 广阔的信息桥梁

欢迎订阅 欢迎投稿 欢迎刊登广告

1958年创刊。中国机械工业联合会主管，北京机电研究有限公司和中国机械工程学会塑性工程分会合办。

全国锻压行业会刊，全国中文核心期刊。中文核心期刊要目总览(北京大学)、中国科学引文数据库(核心版，CSCD)、中国科技期刊引证报告(CJCR)、中国学术期刊文摘数据库(核心版，CSAD-C)、中国学术期刊文摘数据库(英文版)、中国学术期刊综合评价数据库、中国学术期刊(光盘版)、中国知网、万方数字化期刊群、RCCSE中国核心学术期刊、美国剑桥科学文摘(CSA)、美国化学文摘(CA)、日本科学技术振兴机构数据库(JST)、俄罗斯文摘杂志(AJ)。

主要栏目

综述	技术交流
锻造	节能技术
模具	摩擦与润滑
标准化	计算机应用
管材成形	装备与成套技术
板材成形	加热与热处理
特种成形	材料与成形性能
测试技术	理论与实验研究

金属塑性工程行业专业技术(月刊)期刊 国内外公开发行

地址: 北京市海淀区学清路18号 《锻压技术》编辑部 100083  
电话: 010-62920652 82415085  
E-mail: fst@263.net (稿件咨询) fst\_linyutong@163.com (广告咨询)

发表文章请登录网站在线投稿 <http://www.fstjournal.net>

◆ 国内邮发代号: 2-322  
◆ 国外邮发代号: BM5549  
◆ 国内定价: 25元/册, 300元/年  
◆ 国内刊号: CN 11-1942/TG  
◆ 国际刊号: ISSN 1000-3940  
◆ 广告许可证: 京海工商广登字20170021号 杂志网站 微信公众号