

文章编号:1000-582X(2008)11-1247-04

# 制动梁架整体成形工艺开发与技术实现

陈锡侯<sup>1</sup>,王梦寒<sup>2</sup>,门正兴<sup>2</sup>,温雪峰<sup>3</sup>

(1. 重庆工学院 电子信息与自动化学院,重庆 400050;

2. 重庆大学 机械工程学院,重庆 400030;3. 重庆重型铸锻厂,重庆 400083)

**摘要:**为满足铁路货车运输对新型制动梁架产品性能的要求,在分析了制动梁架产品结构特点的基础上,提出了采用“模锻-拉制”工艺成形制动梁架的新方法。对不同设计参数下制动梁架模锻预成形过程和拉制成形过程进行有限元模拟,获得了制动梁架预成形模的优化截面形状,发现金属局部“回流”是拉制过程中产生缩颈缺陷的主要原因,并据此确定拉制成形的最佳速度范围为87~96 mm/s。生产试制及产品检验表明,采用“模锻-拉制”工艺成形整体结构的新型制动梁架是可行的。

**关键词:**制动梁架;模锻;预成形设计;拉制;有限元仿真

**中图分类号:**TP391;TG316;TG356

**文献标志码:**A

## Forming process planning and technology realization of the monoblock break beam frame

CHEN Xi-hou<sup>1</sup>, WANG Meng-han<sup>2</sup>, MEN Zheng-xing<sup>2</sup>, WEN Xue-feng<sup>3</sup>

(1. College of Electronic Engineering, Chongqing Institute of Technology, Chongqing 400050, P. R. China;

2. College of Mechanical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, P. R. China;

3. Chongqing Heavy Duty Casting and Forging Plant, Chongqing 400083, P. R. China)

**Abstract:** In order to meet the performance demands of train lorry, a die forging-drawing method based on structure features analysis was proposed to form the L-A break beam frame. The finite element method was used to simulate a series of die-forging processes and the drawing processes with different parameters. The optimum cross-section shape of the performing die was obtained from these simulation results. It is found that local back-flow of the metal is the primary cause of necking defects in drawing. Furthermore, the best drawing speed is determined to be from 87 mm/s to 96 mm/s. The results of trial manufacturing and product detection indicate that employing a die forging-drawing process to form the monobloc break beam frame is feasible.

**Key words:** break beam frame; die forging; performing design; drawing; finite element method simulation

铁路货车转向架所用的制动梁架是采用杆件组焊方式连接组装而成,使用过程中存在着开焊、裂纹、折断等典型制动梁故障,危及列车行车安全。铁路运输的发展,要求运营货车的速度由120 km/h提

高到140 km/h,实现载重从60 t增加到80 t,刹车制动力从8 t提高到10 t等<sup>[1]</sup>。原组装结构的制动梁架,其安全可靠已无法满足发展的要求,制动梁的换代势在必行。而作为制动梁的核心部件的制动

收稿日期:2008-07-12

基金项目:“十一·五”科技攻关重大项目(CSTC2005AA3012)

作者简介:陈锡侯(1976-),男,重庆工学院博士,主要从事金属塑性成形工艺及检测技术的研究,(Tel)023-60605801;  
(E-mail)cxxh0458@cqit.edu.cn.

欢迎访问重庆大学期刊网 <http://qks.cqu.edu.cn>

梁架,其性能直接影响到制动梁的使用性能<sup>[2-3]</sup>。应铁道部的要求,需开发不能有焊接和其他机械接头的新型制动梁架产品,要求制动梁架要整体成型。综合考虑各种材料成形方法的特点及对制动梁架性能的要求,确定采用锻造工艺进行成形。但由于制动梁架产品结构尺寸较大,且存在带异形截面的三角形框架结构,其锻造成型难度非常高。文献检索显示,目前国内外还没有制动梁架整体锻造成形工艺的相关技术资料,制动梁架整体成形工艺的可行性也不确定。为节能降耗及缩短新产品的开发周期,建立了成形过程有限元仿真模型,通过对制动梁架成形过程的模拟,探索影响成形的关键因素,为工艺流程的设置及模具制造等提供技术指导。

## 1 制动梁架成形工艺分析

利用 CAD 软件绘制的制动梁架三维模型及典型的截面形状分别如图 1 所示。由图 1(a)知,制动梁架产品中间部位开档距离较大,若直接锻造成形,金属材料流动多、料流分配改变较大,不符合锻造工艺成形时金属分配特点。在图 1(b)所示的产品截面图中,由于异形近十字形状结构的存在,锻打时,金属在模具型腔的流动困难,若直接锻造成形,锻件很容易出现充不满或折叠等锻造缺陷。另外,根据产品特点,直接锻造成形,所需辅料多、材料利用率低,根据投影面积估算所得的打击能量也远远超过工厂现有模锻设备能力。

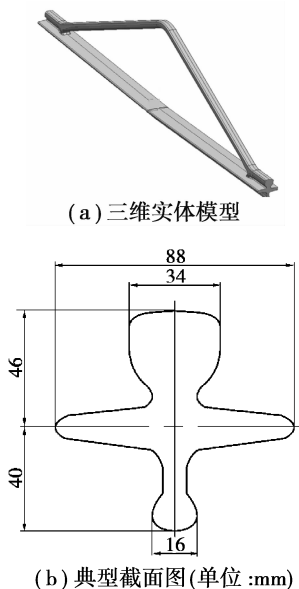


图 1 制动梁架三维实体模型及典型截面图

综合分析,制动梁架采用锻造直接成型不可行,且成形困难的主要矛盾集中在三角支架位置。那么,可否考虑首先成形具有复杂截面的主体部分,然

后采用拉制的方法将三角支架部位拉制成形呢?为了验证该方案的可行性,借助 CAE 软件对其成形过程进行模拟。

## 2 制动梁架成形过程模拟

根据制动梁架的结构特点,首先将产品模锻成形成如图 2 所示的长轴形锻件,利用机加的方法加工一个工艺切口,然后拉制成要求的形状。



图 2 制动梁架锻件三维模型

由图 1(b)所示的典型截面图可知,制动梁架锻件是截面为近十字形的典型细长结构锻件,模具型腔不可避免地存在深窄结构,若一次锻打成形,金属充模困难。因此,必须考虑设置预锻工步,一方面对坯料进行合理的分配,另一方面也有利于提高终锻工步模具的寿命。初步拟定的工艺流程为:预锻→终锻→切口→拉制→机加。

### 2.1 制动梁架锻造过程模拟

由图 1(b)知,制动梁架截面是典型的深腔窄壁结构,为更好地实现模锻成形过程的模拟,需要处理的主要技术问题有预锻模具形状、变形坯料的网格重划分条件、毛坯与模具之间的接触边界及摩擦边界条件等<sup>[4-9]</sup>。为此,初步设计了如图 3 所示的预锻截面形状,以达到分配坯料、初步成形上下筋板处的细薄形状目的。根据最小阻力定律,金属将沿着阻力小的方向流动,为方便定位,在模拟分析时将坯料与模具的中心线重合。

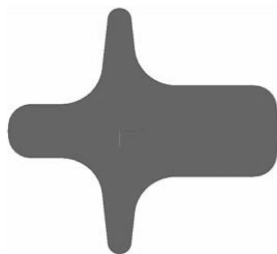


图 3 预锻截面形状

在模拟开始中,建立了刚-粘塑性模型,坯料为塑性、模具为刚性,模具型腔的表面采用参数曲面的方式描述。采用四节点三维砖单元对变形坯料进行有限元网格划分,坯料与模具之间的摩擦模型采用常摩擦模型,即:

$$f = mk = m \frac{\sigma}{\sqrt{3}} \quad (1)$$

式中: $f$ 为摩擦力; $k$ 为剪切屈服应力; $m$ 为摩擦因子,模拟时,取 $m=0.25$ 。

预锻模拟结束时,坯料的充模情况截面图如图 4 所示,此时模具中间型腔已基本充满。终锻模拟结束时,金属模具内的充模情况如图 5 所示,此时锻件已成型,终锻过程结束。

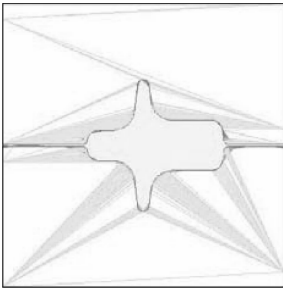


图 4 预锻模拟结果

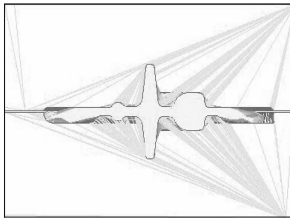


图 5 终锻模拟结果

## 2.2 拉制成形过程模拟

制动梁架锻坯模锻成形后,通过机加的方式将锻坯中间切口,为拉制做准备。拉制工艺<sup>[10-12]</sup>过程中整个机构运动动作比较复杂,先用夹头将筋板部下压到贴合下模,再将杆部拉开 90 mm,最后才将拉头伸进中间开档处,把整个梁架拉制成型。由于前面几个动作变形很小,对后期的拉制变形结果影响也很小。为了便于模拟,直接把模型简化为最后一个工步拉头拉制杆部时的初始状态,如图 6 所示,梁架锻坯与下模贴合,两端由压板将梁架固定。拉制模拟结束时的速度场分布如图 7 所示。

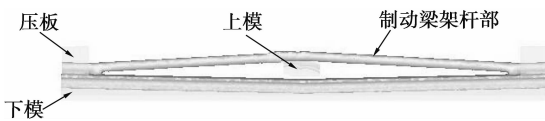


图 6 拉制模拟时锻坯与模具的初始状态

图 7 所示的速度矢量分布图表明,拉制成形的主要缺陷是在制动梁架 3 个角处产生了缩颈,其主要原因是由于拉制速度控制不合理,金属在拉制过程中出现局部“回流”现象,从而产生缩颈<sup>[13-14]</sup>,经模拟分析,最后确定拉制速度控制在 87~96 mm/s。通过对 3 个角处尺寸的测量,最大收缩值为 0.5 mm,满足产品在该处 $\pm 1$  mm 的误差要求。

通过对制动梁架锻造过程及拉制过程的模拟分

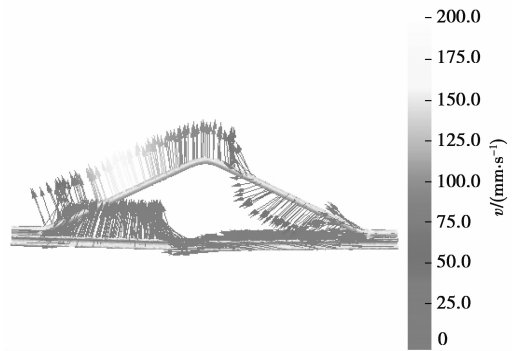


图 7 拉制模拟结束时速度矢量图

析,说明前面所提出的采用“预锻→终锻→切口→拉制→机加”的工艺流程生产整体结构的制动梁架,其工艺具有可行性。但模拟结论是否准确?实际生产中工艺是否可行?这些都有待进行实际的生产验证。

## 3 实验试制

为了说明工艺的可行性,依照模拟所用的模具模型及相应的工艺参数,设计了相应的预锻模具、终锻模具、切边模具及拉制工艺工装,在工厂进行了生产试制。试制中,模锻后的制动梁架锻件如图 8 所示;拉制成形后的制动梁架产品实物照片如图 9(a)所示;角部的局部放大图片如图 9(b)所示。实验结果与图 7 所示的模拟结果吻合,即在制动梁架 3 个角部产生缩颈。产品外观检验与性能测试表明,生产试制得到的整体结构的制动梁架产品符合铁道部要求<sup>[15-16]</sup>。

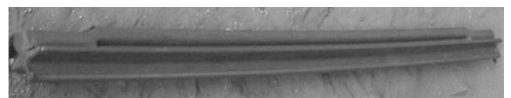
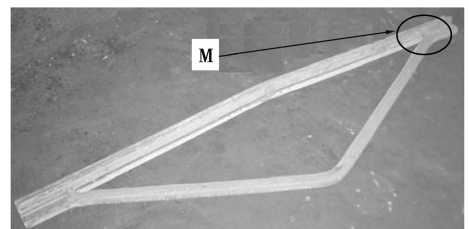
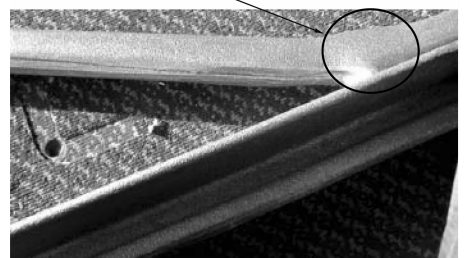


图 8 模锻成形后的制动梁架锻坯



(a) 制动梁架锻件实物照片  
缩径



(b) 图(a)中M处的局部放大

图 9 制动梁架锻件

## 4 结 语

借助材料成形 CAD/CAE 技术指导了制动梁架锻件的开发,减少了试模次数,降低了模具材料及能源成本。生产试制表明:按照“模锻(预锻-终锻)→切口→拉制→机加”的工艺流程生产制动梁架是可行的。质检部门按照铁道部的标准,对工厂生产的产品随机抽样进行了强度和疲劳试验,试验结果表明,研制的制动梁架完全符合铁道部有关标准要求,其强度值和抗疲劳寿命都在标准要求值的1.5倍以上。

研究表明,制动梁架锻件的“模锻-拉制”工艺是可行的,但预锻模腔形状的优化及影响拉制成形的关键工艺参数等还需要进一步的深入研究。

### 参考文献:

- [1] 汤漾平,王君明,冯清秀,等. 基于 DSP 运动控制卡的货车制动梁自动焊接机[J]. 制造技术与机床, 2005(2):35-37.  
TANG YANG-PING, WANG JUN-MING, FENG QING-XIU, et al. Automatic welder based on DSP motion control card for van brake beam [J]. Manufacturing Technology & Machine Tool, 2005(2): 35-37.
- [2] 赵玉珊,宋立志. 货车制动梁闸瓦托铣床的液压系统设计[J]. 液压与气动, 2006(5):4-5.  
ZHAO YU-SHAN, SONG LI-ZHI. Design of the hydraulic system of milling machine for the brake head of braking beam used in freight train [J]. Chinese Hydraulics & Pneumatics, 2006(5):4-5.
- [3] QUAN G Z, ZHOU J. Research on the precision forming technology about transmission shaft flange yoke [C] // Proceedings of the International Conference. Beijing: Science Press, 2006.
- [4] WANG M H, ZHOU J, LI W X. New process development of thrust cone based on simulation technology [C] // Proceedings of the International Conference on Mechanical Transmissions. Beijing: Science Press, 2006, 2:1646-1649.
- [5] 王梦寒,陈锡侯,周杰. 支撑座铸改锻工艺仿真与实验分析[J]. 重庆大学学报, 2008, 31(2):126-129.  
WANG MENG-HAN, CHEN XI-HOU, ZHOU JIE. Numerical simulation and experiment research on the process of supporting pedestal formed by forging instead of casting [J]. Journal of Chongqing University, 2008, 31(2):126-129.
- [6] 高永超,华林,赵玉民,等. 汽车发电机磁极精锻成形三

维有限元模拟和工艺优化[J]. 中国机械工程, 2005, 16(12):1110-1113.

GAO YONG-CHAO, HUA LIN, ZHAO YU-MING, et al. 3D FEM simulation and optimization of precision alternator pole forging process [J]. China Mechanical Engineering, 2005, 16(12):1110-1113.

- [7] 陈学文,王进,陈军,等. 热锻成形过程数值模拟与多目标设计优化技术研究[J]. 塑性工程学报, 2005, 12(14):80-84.

CHEN XUE-WEN, WANG JIN, CHEN JUN, et al. Research on multiple objective design optimization and numerical simulation of hot forging process [J]. Journal of Plasticity Engineering, 2005, 12(14):80-84.

- [8] QUAN G Z, ZHOU J, WANG M H, et al. Deforming mechanism of non-mandrel drawing process of circular aluminum tube by simulation [J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2006 (16): 1301-1304.

- [9] KOBAYASHI S, OH S I, ALTAN T. Metal forming and the finite element method [M]. New York: Oxford University Press, 1989.

- [10] GRACIOUS N, HIROYUKI S, LIQUN R, et al. A tribo-testing method for high performance cold forging lubricants [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2007(262):684-692.

- [11] FURUSHIMA T, MANABE K. FE analysis of size effect on deformation and heat transfer behavior in microtube dieless drawing [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2008(201):123-127.

- [12] LEE S K, KO D C, KIM B M, et al. A study on monobloc tube drawing for steering input shaft [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2007(191):55-58.

- [13] SASSO M, NEWAZ G, AMODIO D. Material characterization at high strain rate by Hopkinson bar tests and finite element optimization [J]. Materials Science and Engineering: A, 2008(487):289-300.

- [14] NORASETHASOPON S, YOSHIDAB K. Influences of inclusion shape and size in drawing of copper shaped-wire [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2006(172):400-406.

- [15] 中华人民共和国铁道部. TB/ T 1335 —1996 铁道车辆强度设计及试验鉴定规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 1996.

- [16] 中华人民共和国铁道部. GB/ T 5599 —1985 铁道车辆动力学性能评定和试验鉴定规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 1985.