

文章编号:1000-582X(2007)05-0083-04

铁路货车支撑座锻造成形过程仿真与实验

王梦寒¹,陈锡侯²,周 杰¹

(1. 重庆大学 机械工程学院,重庆 400030;2. 重庆工学院 电子信息及自动化学院,重庆 400050)

摘 要:分析了支撑座的锻造成形性,提出了一模两件、左右支撑座合二为一的锻造新工艺、新方法,采用塑性成形有限元(FEM)软件 DEFORM-3D,基于三维刚粘塑性有限元理论对支撑座的锻造成形过程进行了模拟分析及优化,并利用优化后的工艺方案进行了生产试制。产品检验及应用实践表明:支撑座锻造新工艺可行、锻钢支撑座产品性能稳定可靠。工厂已实现了锻钢支撑座系列产品的批量生产。

关键词:支撑座;锻造成形;有限元模拟;工艺优化

中图分类号: TP312

文献标志码: A

近年来,随着铁路运输高速、重载、安全的策略的提出,列车关键部件也不断地更新、升级,支撑座作为铁路货车交叉支撑技术转向架的关键受力部件,其性能和质量对铁路货车重载提速有着重要影响。在欧美等国家广泛采用精铸工艺成形支撑座,中国以前的铁路货车转向架支撑座也为精铸件,由于原铸钢支撑座产品的固有局限(如铸钢件本身的机械性能、疲劳韧性、抗冲击性能都不高,铸件产品无法避免地存在气孔、缩松、夹杂、裂纹等)对铁路高速安全运行已构成威胁,为满足铁路运输重载、提速和安全的需要,确保货车提速后的安全性和可靠性,提出了采用锻造工艺成形支撑座的思想^[1]。然而,由于支撑座形状复杂,产品存在高筋、薄壁等结构,支撑座的锻造成形对其成形工艺及模具要求很高,同时其锻造成形工艺性也难以确定,采用传统的试错法开发支撑座锻造工艺及模具,一方面试模周期长,另一方面产品开发成本高,材料及能源浪费大。为节能降耗,降低新产品开发成本,缩短锻钢支撑座新产品的开发周期,应用有限元模拟技术对锻钢支撑座的成形过程进行模拟,获得成形全过程的各种场变量的分布,预测成形缺陷,为工艺方案的确定和工艺参数的选择提供有效的依据。

1 支撑座锻造成形性分析

支撑座产品有左支撑座和右支撑座两种结构,转 8A 型左锻钢支撑座产品的三维实体模型如图 1 所示,支撑座后筋板在图 1 中高度方向的最大尺寸达 210 mm,底板面积约为 200 mm × 300 mm、厚度为 16 mm。采用传统的一模一件的工艺设计方法锻打支撑座,存在明显缺陷:1)高筋、薄壁结构的存在,使成形过程中金属充填模具型腔困难、错模力大,取件时锻件脱模困难、锻件易变形;2)锻件的敷料太多,机加量大且很困难;3)锻件需要多火成形、氧化脱碳严重,锻件的薄壁处容易产生过热甚至过烧,锻件表面有较深的氧化坑,难以保证金属组织和机械性能等要求,且产品易产生折叠等锻造缺陷。因此,传统锻造方法因工艺性差而很难获得所需形状的锻件^[2]。

针对锻钢支撑座产品的特点,在传统锻造设计方法上进行创新,将左、右支撑座以适当角度拼成一体进行连体锻造(左、右支撑座拼合在一起的实体模型如图 2 所示),并初步确定其工艺过程为:锯切下料→感应加热→锻造成形→锻件检验→切割锻件→锻件热处理→机械加工。采用这种工艺方法具备有如下技术特点:将左、右锻钢支撑座以一定角度拼合,锻造成形过

收稿日期:2007-01-10。

基金项目:重庆市科技攻关重点项目(CSTC,2005AA3012-4)。

作者简介:王梦寒(1975-),女,重庆大学博士,主要从事金属塑性成形仿真技术与模具技术及模具 CAD/CAE/CAM 方向的研究
(Tel)023-66990160;(E-mail)WMH9792@163.com。

程中的错模力可以相互抵消;稍微加大锻件的拔模斜度,成形非常容易,脱模方便;采用一火成形,工件氧化脱碳少、表面质量好,锻件机械性能、晶粒度及使用功能均达到规定要求;一次锻造出二件产品,可大大提高模具使用寿命和锻造生产效率,降低生产成本。

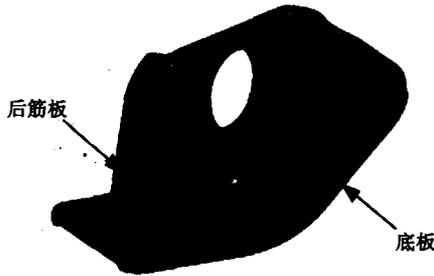


图1 左锻钢支撑座三维模型

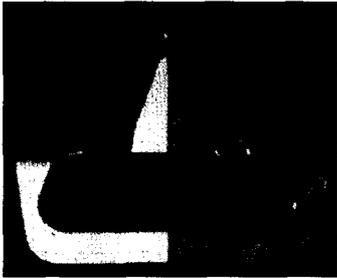


图2 左、右支撑座拼合在一起的三维模型

由图2可知,左、右锻钢支撑座拼合在一起后,其形状复杂,锻造成形过程中金属流动量大、毛坯的形状尺寸及锻模的模具结构对支撑座的锻造成形影响很大,成形方案的确定和工艺参数的选择没有现成的规律可循,工艺试制的成本高。同时,采用传统的试错法摸索锻钢支撑座的锻造工序,其开发周期长、投入的设计制造等成本高。由于锻钢支撑座属于铁路运输急需和大量需要的锻件新产品,为了提高产品的市场竞争力,采用塑性成形有限元模拟技术,应用专用的塑性有限元软件 DEFORM-3D 模拟分析支撑座的锻造成形过程、了解不同工艺及模具参数下金属坯料的应力场、应变场、速度场等各种场变量的分布,优化锻钢支撑座的锻造成形工序。

2 支撑座锻造成形有限元模拟和工艺优化

在金属塑性有限元法中,刚粘塑性有限元法是求解金属高温塑性成形问题的一种有效的数值模拟方法,能对金属成形过程进行全面的分析,预测成形缺陷及各种场变量的分布,使过去传统的依靠定性分析和实践经验的工艺分析转变为定量的数值分析,大大地节约了时间和实验费用,同时可以获得在实验过程中所不能得到的许多有用的信息^[3]。由于支撑座形状

复杂,毛坯变形大,在对支撑座模锻成形过程进行模拟时,需要处理的技术问题有模具形状、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。

2.1 模型建立

2.1.1 力学模型

在 DEFORM-3D 模拟软件的程序中使用的有限元公式是以刚-粘塑性材料为基础的,成形过程的本构关系为: $\sigma'_{ij} = \frac{2\bar{\sigma}}{3\bar{\epsilon}} \dot{\epsilon}_{ij}$, 其中 σ'_{ij} 为偏斜应力分量; $\epsilon_{ij} = \frac{1}{2}(v_{i,j} + v_{j,i})$ 为应变速率分量; v_i 为速度分量; j 表示微分; $\bar{\sigma}$ 、 $\bar{\epsilon}$ 分别为等效应力和等效应变率。采用四节点四面体单元对变形坯料进行有限元网格离散,则第 e 个单元基于罚函数法的刚-粘塑性材料的泛函数为^[1]

$$\pi^e = \int_V \bar{\sigma} \dot{\epsilon} dV + \frac{K}{2} \int_V (\epsilon_v)^2 dV - \int_{S_F} F_i u_i dS. \quad (1)$$

集合各单元的泛函得

$$\pi = \sum_j \pi^e(j). \quad (2)$$

根据 Markov 变分原理可知,对式(2)取一阶变分,并求驻值,即可得到满足要求的问题的真实解。式(1)中 $K(10^5 \sim 10^6)$ 为一个正数。

2.1.2 摩擦模型

模拟过程坯料设定为塑性、模具设定为刚性,模具型腔的表面为复杂曲面,采用参数曲面的方式描述模具型腔的表面信息。坯料与模具之间的摩擦模型采用常摩擦模型,即

$$f = mk = m \frac{\bar{\sigma}}{\sqrt{3}},$$

式中: f 为摩擦力; k 为屈服应力; m 为摩擦因子,模拟过程中,取 $m = 0.3$ 。

2.1.3 模拟初始条件

模拟过程中坯料的初始加热温度为 1100°C , 由于模锻时间短,锻造过程设定为等温锻造,上模速度为 200 mm/s 。采用 Newton-Raphson 迭代算法,通过非线性方程的线性化来实现模拟过程的有限元求解运算^[4-6]。

2.2 成形过程模拟和工艺优化

应用 DEFORM-3D 模拟软件对支撑座锻造过程进行三维有限元模拟和工艺优化,其主要结论如下:

1) 初步设计方案的模拟。通常情况下锻坯的原材料一般为圆钢,合理选择圆钢直径和确定下料长度

是锻造毛坯过程中的重要环节。借助三维造型软件,采用复合建模技术,完成支撑座联体锻件的三维实体模型的建模,计算锻件重量及投料重量。初步设计支撑座锻造工艺方案为:锯切下料(坯料尺寸 $\phi 160\text{ mm} \times 329\text{ mm}$)→感应加热→圆坯料镦粗→模锻(将镦粗后的坯料横放到模锻模膛内进行模锻成形)。由于坯料的镦粗成形成容易,模拟结果显示其变形情况良好,未出现失稳、折叠等锻造缺陷,可以为后续工序提供良好状态的变形坯料。取圆棒料由 329 mm 高镦粗到 245 mm 高后的坯料,将其横放到模锻模膛内进行模锻成形,坯料在不同压下量时的坯料的变形及网格分布如图3所示。

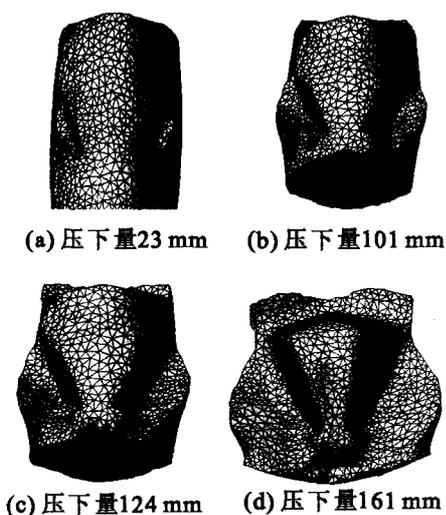


图3 不同压下量的坯料变形及网格分布

模拟分析结果表明,随着上模压下量的增加,坯料的变形量增大,当终锻上模的压下量为 161 mm ,即终锻成形结束时,模拟结果显示坯料的飞边分布不合理,整个坯料呈明显的八字形,在不可预见的条件下,锻件有可能会出现充不满。经过分析,认为造成此现象的主要原因是锻件在模锻过程中,金属坯料分配不合理,从而造成坯料分布不均的现象。根据对此方案下模拟结果的分析,确定初步优化的方案。

2) 优化的工艺方案模拟。根据对初步优化方案模拟结果的分析,进一步优化工艺方案,采用镦锻相结合的方法进行成形,确定最终优化的工艺方案:锯切下料、感应加热、模锻成形。在此方案中,坯料的下料尺寸为 $\phi 170\text{ mm} \times 300\text{ mm}$,感应加热后镦粗,当坯料镦粗到 140 mm 高时,将其“立放”在模膛内成形。不同压下量时支撑座模锻成形过程的坯料变形及网格分布如图4所示。

根据图4所示模拟结果,最终优化的工艺方案改善了原方案中存在的飞边分布不均、锻件头部可能充

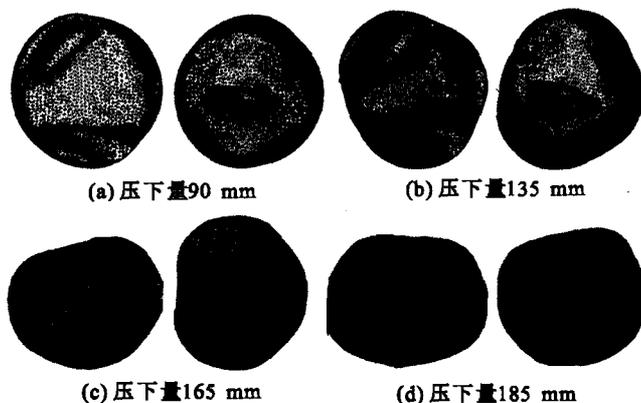


图4 不同压下量时坯料在不同角度的变形及网格分布不满的状态。模拟结果显示,此工艺方案下,锻件成形饱满,锻件成形质量良好,图5所示的模拟结束时几个典型截面的网格分布也说明了这一问题。



图5 模拟结束时典型截面的坯料网格分布

综上所述,有限元模拟结果表明,采用最终优化后的支撑座锻造工艺,其方案可行,锻件的模拟结果满足目标的要求。

3 工艺生产试制

为了验证支撑座锻造新工艺的可行性,实现锻钢支撑座的生产,工厂对基于模拟技术开发的支撑座锻造工艺进行工艺生产试制。工艺试制中坯料的材料为Q235D,模锻工序为镦粗、模锻成形及切飞边。锻造在 10 t 模锻锤上进行,采用一火锻造成形。经首次试锻,锻件成形情况良好。模锻后的支撑座锻件如图6所示。因支撑座采用左、右连体锻造,模锻件为一模两件,锻造成形后需“一剖二”进入后续工序。为此,需要用带锯将模锻成形后的支撑座锻件从中间锯切分割,然后进行抛丸处理,抛丸后的左支撑座锻件实物照片如图7所示,经过机械加工处理的转8A型锻钢支撑座产品实物照片如图8所示。

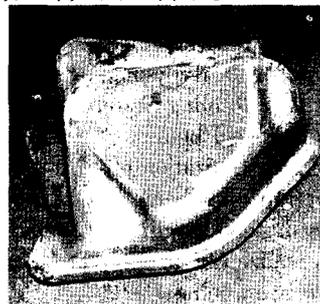


图6 模锻后的联体支撑座锻件



图7 左支撑座锻件

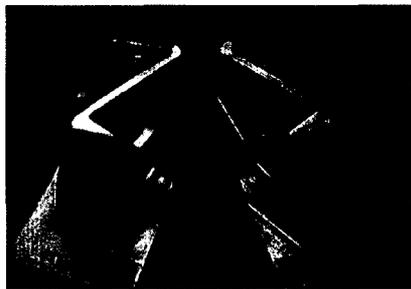


图8 左、右支撑座产品实物照片

对支撑座锻件及机械加工产品进行质量检测,其结果均表明,采用新工艺生产的锻钢支撑座,其质量及产品几何尺寸满足要求。

4 结论

锻钢支撑座锻件属于铁路运输急需的新产品,其产品结构复杂。运用锻造工艺理论,对支撑座的锻造成形工艺性进行了研究;运用有限元模拟技术,利用模拟软件对支撑座锻造成形工艺进行模拟和优化,经工艺试制,验证了新工艺的可行性,并实现了批量生产。研究结果表明:

1)根据铁路货车转向架支撑座零件的产品形状特点,分析了支撑座锻造工艺性,首次提出并实现了一模两件、左右支撑座合二为一的锻造成形新工艺及新方法。通过有限元模拟及优化,分析了支撑座锻造成形过程,优化了锻造成形工艺方案。

2)支撑座锻件及产品的质量和外观检测表明,新工艺生产的支撑座锻件其形状及质量满足要求,生产及应用实践表明,锻钢支撑座符合铁道部生产质量要求。

3)该工艺方法已经推广到支撑座其它同类产品的开发,并相继实现了转8G型支撑座、转K2型支撑座的铸改锻及批量生产,为企业创造了显著的经济效益和社会效益。

参考文献:

- [1] 王梦寒,陈锡侯,周杰. 支撑座结构有限元仿真及优化[J]. 计算机仿真, 2006,23(1):108-111.
- [2] 王梦寒. 铁路货车转向架支撑座铸改锻工艺研究[D]. 重庆:重庆大学机械工程学院, 2005.
- [3] 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.
- [4] KOBAYASHI S, OH S I, ALTAN T. Metal forming and the finite element method[M]. New York: Oxford University Press, 1989.
- [5] 彭颖红. 金属塑性成形仿真技术[M]. 上海:上海交通大学出版社, 1999.
- [6] 万胜秋. 金属塑性成形原理[M]. 北京:机械工业出版社, 1995.

Simulation and Experiment of the Forging Process of Railway Lorry Bomsster

WANG Meng-han¹, CHEN Xi-hou², ZHOU Jie¹

(1. College of Mechanical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China;

2. College of Electronic Information and Automation, Chongqing Institute of Technology, Chongqing 400050, China)

Abstract: Bomsster is a key load-bearing part of railway lorry bogie. Because of its inherent defects casting-steel bomsster could not meet the demands of the heavy load, acceleration and security for lorry. So forging process is proposed to form it. The forming performance of forging-steel bomsster is analyzed. A forging technology is presented which realizes two forging-steel bomsster parts formed in one die. With the plastic forming simulation software DEFORM-3D, the simulation and optimization of the forming process of forging bomsster has been taken based on 3D rigid visco-plastic FEM theory. Optimized scheme has been used to direct the pilot product. The results of product's testing and application suggest that the new forging technology is feasible and the performance of the product is credibility and stabilization. The factory has realized large scale production of a series of forging-steel bomsster. Remarkable benefits of both economy and society have been achieved.

Key words: bomsster; forging forming; finite element simulation; process optimization

(编辑 李胜春)