

工艺优化设计

法兰盘热挤压工艺设计

马勇, 赵亚培, 彭程, 钱小青

(合肥工业大学 材料科学与工程学院, 合肥 230009)

摘要: 以法兰盘为研究对象,对法兰盘进行了结构及工艺性分析,并对变形程度进行了校核,拟定了先锻挤法兰和台阶,然后分步成形中心孔的工艺方案。利用有限元分析软件对法兰盘成形过程进行了模拟分析,预测了法兰盘成形过程中的缺陷,缩短了试模周期。用方案一锻挤法兰和台阶时变形量过大,无法同时成形,因此提出先成形法兰后成形台阶的方案二,但成形台阶时坯料受力不均匀且变形量很大,也无法成形。方案三先成形台阶,后成形法兰,最后反挤中心孔,并对成形过程各工步成形载荷进行了校核,结果显示,各工步成形效果良好,单工步最大载荷及总的载荷均满足设备要求。

关键词: 法兰盘; 热挤压; 工艺设计; 数值模拟

DOI: 10.3969/j.issn.1674-6457.2013.06.004

中图分类号: TG376.2

文献标识码: A

文章编号: 1674-6457(2013)06-0015-05

Process Design and Analysis of Hot Extrusion of Flange

MA Yong, ZHAO Ya-pei, PENG Cheng, QIAN Xiao-qing

(School of Materials Science and Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: In this paper, the structure and process analysis of flange was performed. The degree of deformation was checked, and then a process scheme was drawn up as follows: upsetting extrusion of flange and stair as the first process then forming center hole step by step. The finite element analysis software was used to simulate the forming process, which predicted the defects during forming process of flange and shortened the tryout period. In the first scheme, the flange and stairs could not be formed simultaneously because of excessive deformation. Therefore, the second scheme of forming flange first and then forming stairs were draw up, but the stairs still could not be formed because of uneven loading and large deformation. Finally, the third scheme of forming stairs first and then forming flange, then forming of flange center hole by backward extrusion as the final step were draw up, during which the forming load of each step was checked. The results showed that shaping was well during each step and the maximum load of single step and the total load met the equipment requirements.

Key words: flange; hot extrusion; process design; numerical simulation

法兰盘常用来连接各种设备上的管道或器材,广泛用于汽车、造纸、电力等行业。由于在使用过程中常常需要承受很大的载荷,还要有较强的气密性,因此对其力学性能和外形结构要求较严格^[1-3]。根

据实际生产需要,有些法兰盘采用铸造、机械加工^[4]、液态模锻^[5]、等温塑性成形^[6]等方式进行加工,多存在加工余量大、生产效率低、材料利用率低、加工周期长等问题。文中以汽车上某型号法兰盘为

收稿日期: 2013-08-16

基金项目: 安徽省自然科学基金资助项目(1308085QE72)

作者简介: 马勇(1979-),女,吉林人,博士,副教授,主要研究方向为塑性成型与模具 CAD。

研究对象,该零件形状比较复杂,外形具有多个台阶、中间有大法兰、内部又有深孔,为此采用热挤压精锻成形工艺,所成形的制件达到或接近成品零件的形状和尺寸,深孔无需再进行机加工,可以大大提高法兰盘的力学性能^[7-8],而且加工效率和材料利用率都大大提高。

文中利用有限元模拟软件研究法兰盘的成形过程,了解金属在模具型腔内的流动状况,及各种缺陷产生的原因和影响因素,为法兰盘成形工艺设计和优化提供理论依据,同时对法兰盘热挤压精锻成形技术的发展具有一定的作用。

1 产品结构及工艺分析

法兰盘所用材料 42CrMo 钢属于中碳低合金钢,具有一定的强度和韧性,淬透性也较好,无明显的回火脆性,调质处理后有较高的疲劳极限和抗多次冲击能力,低温冲击韧性良好,但由于其室温下强度高,综合考虑采用热挤压成形工艺^[9]。图 1 为研究的法兰盘三维图,该件具有台阶和法兰的空心凸缘,因其法兰的直径较大,中心孔较深,台阶较多,所以其法兰部分以及台阶部分能否完全充型是影响产品质量的重要因素,且在法兰处易产生折叠也是该零件的主要缺陷。

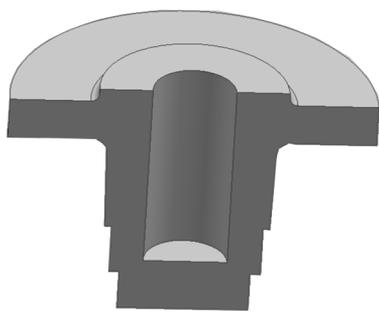


图 1 法兰盘三维图

Fig. 1 Three-dimension graph of flange

根据资料^[4]计算可得,该件挤压变形程度为 25%,小于 42CrMo 钢的许用变形程度 $[\Psi] = 45\%$ 。厂家提供设备为 20 000 kN 自动送料热锻机,要求变形量最大的工序不能超过 1400 kN,总吨位共不能大于 2000 kN,根据挤压力的计算选择该设备。毛坯尺寸为 $\phi 60 \text{ mm} \times 130 \text{ mm}$ 。根据法兰盘零件的结构特点和性能要求,拟定的工艺方案一为:先镦挤

成形法兰和台阶外形,后分步成形内腔中心孔,如图 2 所示。

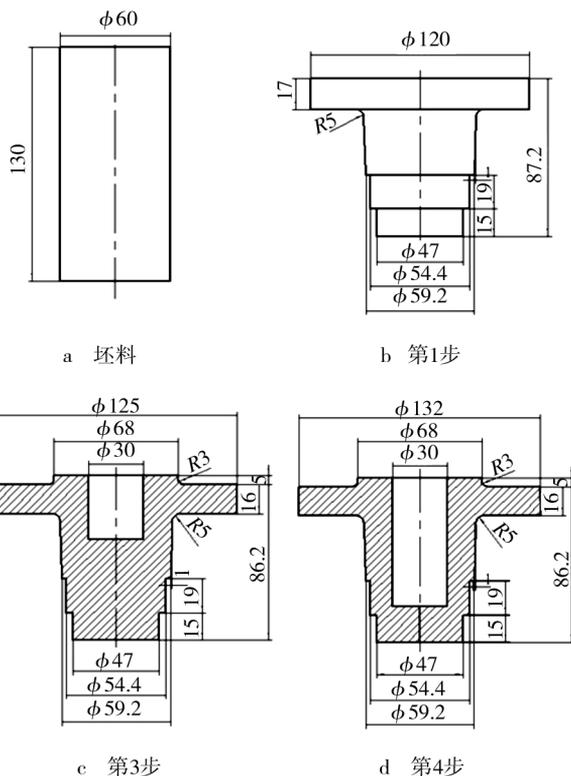


图 2 工艺方案一

Fig. 2 The first scheme of process

2 有限元模型建立

利用有限元模拟技术,可以方便地优化坯料在模具中的流动情况,即将“试错”过程在计算机中完成,提高了设计效率,节约了成本,缩短了开发周期^[2]。法兰盘的材料为 42CrMo,在 DEFORM 的材料库中选择 AISI-4140 [1650-2200F (900-1200C)],始锻温度为 1200 °C,凸模和凹模预热到 300 °C,模具为刚性体,热传导系数为 $11 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{k})$,挤压速度为 1 mm/s。对于摩擦选择塑性剪切摩擦模型,坯料挤压前磷皂化处理,摩擦因子为 0.3。由于零件为旋转体,所以取其 1/4 进行模拟计算,网格数为 8000 个,且网格畸变较大时系统自动重划网格,增量步为 0.2 mm/步。文中的重点为工艺设计及分析,根据零件图设计出模具型腔,根据挤压模具简明设计手册设计挤压件外观尺寸^[5],图 3 列出了工艺方案 3 个工步的模拟模具图。

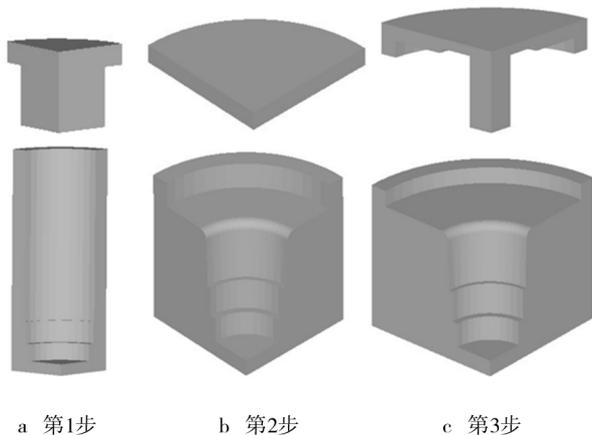


图3 工艺方案一模具图

Fig.3 Mold figure of the first scheme

3 模拟结果及工艺改进

3.1 方案一充填情况

将圆棒料进行镦粗,使其顶部成形为 $\phi 120\text{ mm} \times 17\text{ mm}$ 的法兰,下端成形为 $\phi 47\text{ mm} \times 15\text{ mm}$, $\phi 54.4\text{ mm} \times 19\text{ mm}$,形状如零件最终尺寸的台阶。图4为最终成形的等效应力分布图,等效应力的最大值分别集中在零件的台阶边缘处和法兰边缘处,这两处金属流动阻力大,充型困难。而从成形效果也可以看出,零件底部两处台阶只充填了一处,而法兰的上端却有多余的金属溢出,零件整体的充填效果不好。

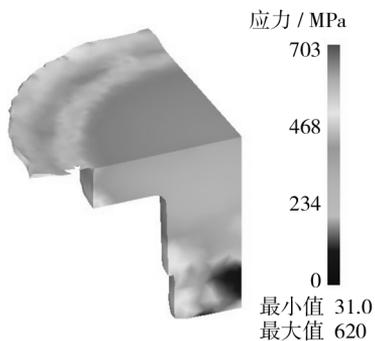


图4 工艺方案一镦挤成形应力分布

Fig.4 Upsetting extrusion stress distribution diagram of the first scheme

3.2 工艺改进

因方案一顶镦变形量过大,金属无法完全填充,因此考虑第一步先顶镦头部法兰,然后在成形台阶

的同时正挤中心孔,最后反挤中心孔,即工艺方案二,如图5所示。

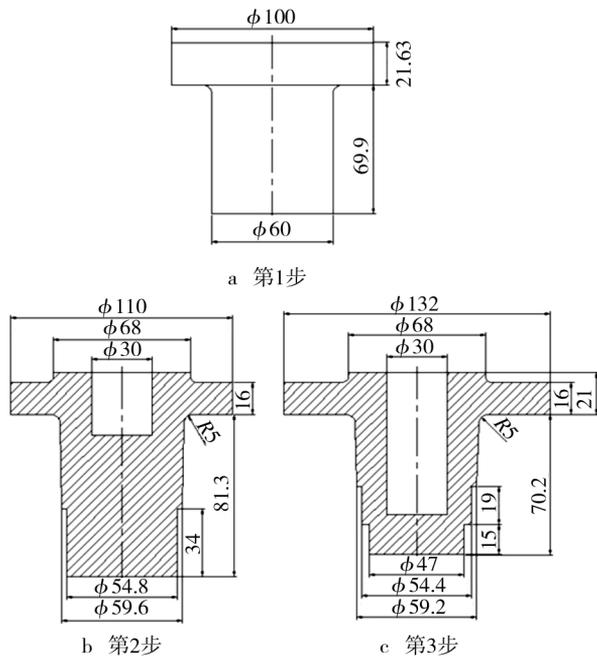


图5 工艺方案二

Fig.5 The second scheme of process

将圆棒料进行镦粗,使其顶部成形为 $\phi 100\text{ mm} \times 21\text{ mm}$ 的法兰,下端不变,图6所示为成形效果图。从图6的成形效果图中模具与坯料接触情况可以看出,工件此次成形较为容易,整体充填效果好,没有毛刺,符合挤压件的技术要求,因此可以进行下一工步的模拟。将模拟的结果导入第2步凸模和凹模型腔中进行模拟,使其底部成形为台阶,并预挤中心孔,模拟结果如图7所示。从图7a的成形效果图中模具与坯料接触情况可以看出,工件中心孔的底部最终没有和凸模相接触,而台阶的底部没有和凹模相接触,充填效果不好,没有达到预期目的。从图7b的折叠缺陷图分析可得出,工件在法兰的上下拐

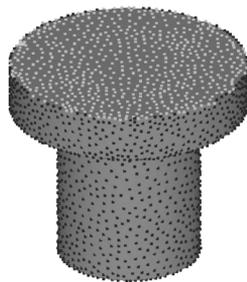


图6 方案二顶镦成形效果

Fig.6 Top upsetting diagram of the second scheme

角处折叠严重,中心孔和台阶的拐角处也有折叠发生。综上可知,该工步的预成形件形状尺寸设计不合理,需要改善。

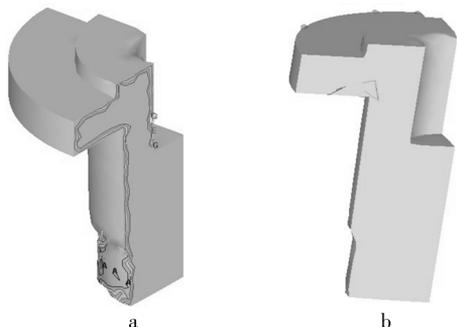


图7 方案二正挤成形效果

Fig. 7 Forward extrusion diagram of the second scheme

通过对前两次的方案的分析得出方案三:根据锻件尺寸要求并经过计算,对毛坯的尺寸做适当的修改,把零件的台阶、法兰和中心孔分开成形,先正挤台阶,再压法兰,最后挤中心孔,如图8所示。

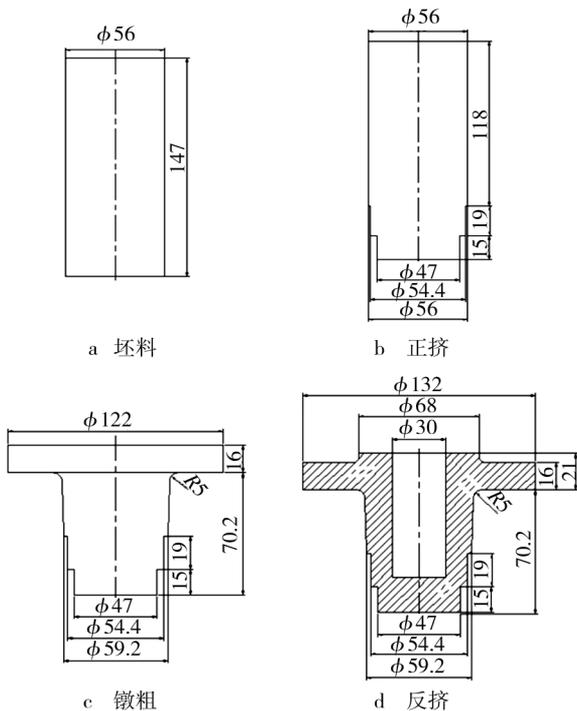


图8 工艺方案三

Fig. 8 The third scheme of process

将 $\phi 56 \text{ mm} \times 147 \text{ mm}$ 的圆棒料进行正挤压,使其底端成形为 $\phi 47 \text{ mm} \times 15 \text{ mm}$, $\phi 54.4 \text{ mm} \times 19 \text{ mm}$ 的台阶,图9为成形过程效果图。由图9a可以看出,正挤压底部台阶成形效果良好,零件各部分充填

完全,且挤压过程中始终没有出现折叠现象。由图9b可以看出,头部法兰成形效果非常好,零件各部分充填完全,没有毛刺,且挤压过程中始终没有出现折叠现象。由图9c可以看出,中心孔成形效果良好,零件各部分充填完全,且挤压过程中始终没有出现折叠现象。

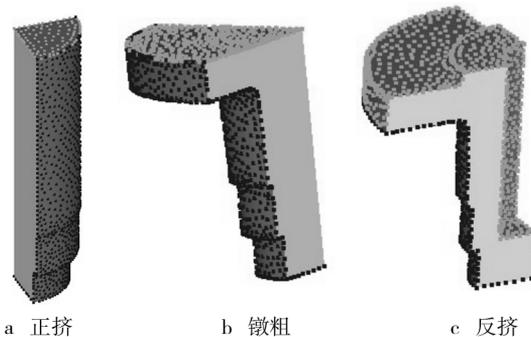


图9 方案三各工步成形效果

Fig. 9 Forming diagram of each step in the third scheme

3.3 方案三载荷分析

图10为法兰盘成形工艺方案三的行程-载荷曲

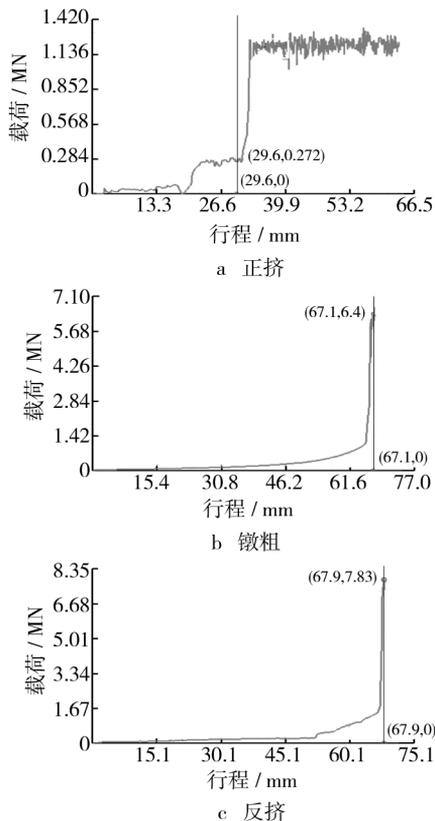


图10 方案三各工步行程-载荷曲线

Fig. 10 Stroke-load curve of each step in the third scheme

线。由图 10 可以看出,各个工步在成形阶段载荷缓慢增大,在最后的靠模阶段载荷都明显上升,根据行程-载荷曲线中最高点处的载荷值可知,3 个工步最大载荷分别为 1400,6400,7830 kN,单工步载荷小于 14 000 kN,而且载荷总和也小于 20 000 kN,因此满足设备要求。经过改进,工艺方案 3 各个工步金属流动更加合理,这对提高模具寿命、降低能耗、节约生产成本具有积极的作用。

4 结论

针对法兰盘的热挤压成形过程进行了工艺设计,采用数值模拟仿真的方法,对法兰盘的成形过程进行了模拟,取得了以下结论。

1) 利用有限元模拟软件模拟法兰盘的成形过程,可预测法兰盘成形过程中的缺陷,在计算机上进行了分析改进,消除了缺陷,减少了试模次数,缩短了试模周期。

2) 方案一第一步镦挤成形零件的法兰和台阶,因变形量过大,无法得到预期的成形效果。因此对第一种方案提出改进,得到方案二:第 1 步顶镦头部法兰,第 2 步挤台阶并预挤中心孔。在对方案二的模拟中,第 1 步法兰成形较好,但是第 2 步因金属受力不均且变形量也很大,亦无法得到预期的模拟效果。第三种方案吸取了前两种方案的经验,台阶、法兰和中心孔分三步成形。成形效果良好,得到了合格的零件。该锻件合理的工艺方案为:正挤台阶-压法兰-反挤中心孔。

3) 根据设备要求,对方案三成形过程的载荷进行了校核,单工步最大载荷及总的载荷均满足要求。

参考文献:

- [1] 朱凯,徐心洁,何军,等. 法兰盘接头断裂原因分析[J]. 失效分析与预防,2013,8(3):188-190.
ZHU Kai,XU Xin-jie,HE Jun,et al. Analysis on Cracks of Flange Joint[J]. Failure Analysis and Prevention,2013,8(3):188-190.
- [2] 陈亦,马星,王肇民. 无肋法兰盘节点的研究与应用[J]. 建筑结构,2002,32(5):15-18.
CHEN Yi,MA Xing,WANG Zhao-min. Research and Ap-

plication for Flange Nodes with No Rib[J]. Building structure,2002,32(5):15-18.

- [3] 李云松,李彩霞,毕江涛. 基于有限元方法的支承法兰盘结构优化研究[J]. 设计与研究,2010,37(5):15-17.
LI Yun-song,LI Cai-xia,BI Jiang-tao. A Study of Structural Optimization of Bearing Flange Based on Finite Element Method[J]. Design and Research,2010,37(5):15-17.
- [4] 张成武,姜全营. 钛合金法兰盘加工技术研究[J]. 中国新技术新产品,2012,(04):8-9.
ZHANG Cheng-wu,JIANG Quan-ying. Processing Technology of Titanium Flange[J]. China New Technology and New Products,2012,(04):8-9.
- [5] 王超. 铝合金法兰盘成形工艺及模具设计[J]. 金属铸锻焊技术,2011,40(13):199-200.
WANG Chao. Forming Process and Die Design of Aluminium Alloy Flange[J]. Casting Forging Welding,2011,40(13):199-200.
- [6] 诸葛跃,王家宣,李春. 5083 铝合金法兰盘液态模锻成形技术[J]. 金属铸锻焊技术,2009,38(7):80-82.
ZHU Ge-yue,WANG Jia-xuan,LI Chun. Liquid Die Forging Technology for 5083 Aluminium Alloy Flange[J]. Casting Forging Welding,2009,38(7):80-82.
- [7] 高锦张. 塑性成形工艺与模具设计[M]. 北京,机械工业出版社,2007.
GAO Jin-zhang. Plastic Forming Process and Die Design. [M]. Beijing: Machinery Industry Press,2007.
- [8] 伍太宾. 精密锻造成形技术在我国的应用[J]. 精密成形工程,2009,1(2):12-17.
WU Tai-bin. Present Utilization State of the Precision Forging Technology in China[J]. Precision Forming Engineering,2009,1(2):12-17.
- [9] 郝滨海. 挤压模具简明设计手册[M]. 北京:化学工业出版社,2005.
HAO Bin-hai. Extrusion Die Concise Design Manual[M]. Beijing:Chemical Industry Press,2005.
- [10] 李建洲,成国兴,马少义,等. 精密等温体积成形技术在航天产品上的应用[J]. 制造技术研究,2008,2(1):21-24.
LI Jian-zhou,CHENG Guo-xing,MA Shao-yi,et al. Isothermal Precision Bulk Forming Technique in the Application of Aerospace Product[J]. Manufacturing Technology Research,2008,2(1):21-24.