

上横臂锻造成形模拟及工艺优化

李月明, 付传锋, 张晨

中车戚墅堰机车车辆工艺研究所股份有限公司 江苏常州 213203

摘要: 钢质上横臂是某越野车的關鍵承力部件, 该产品截面变化大、形状较复杂, 存在不容易锻造的开叉、高筋。采用Deform-3D软件进行锻造成形模拟研究, 在现有22000t压力机生产线进行锻造试制。模拟表明: 采用制坯-模锻的工艺成形良好, 试制得到的锻件充型饱满, 但切边后锻件凸耳变形(向外侧张开), 通过夹钳工装校正凸耳, 得到形状、尺寸、性能良好的上横臂锻件。

关键词: 上横臂; 数值模拟; 锻造; 凸耳变形

Simulation and process optimization of forging formation for the upper lateral arm

LI Yueming, FU Chuanfeng, ZHANG Chen

CRRC Qishuyan Institute Co., Ltd., Changzhou 213203, Jiangsu, China

Abstract: The steel upper lateral arm is a critical load-bearing component of off-road vehicles. This part features significant cross-sectional variations and a complex geometry, including forked sections and high ribs that pose challenges for forging. To address these challenges, Deform-3D software was utilized to simulate the forging process, followed by forging trials on an existing 22000-ton press production line. Simulation results indicate that the blanking-die forging process yields excellent forming outcomes. While the trial-produced forged parts were fully formed, their lugs exhibited outward deformation after trimming. Subsequently, the lugs were corrected using clamp tooling, resulting in upper lateral arm forged parts with satisfactory shape, dimensions, and performance.

Keywords: upper lateral arm; numerical simulation; forging; lug deformation

1 序言

上横臂位于车辆底盘, 作为悬挂系统的关键零件, 传递作用在车轮与车身之间的力和力矩, 承受车体重量和地面冲击, 保证车辆行驶的稳定性^[1], 其性能直接影响车辆运载及行车安全。对悬架横臂的结构设计已有较多研究^[2-6], 然而对悬架横臂的生产综述较少。铸造悬架横臂内部致密性较差, 锻造悬架横臂组织致密, 具有完整的金属流线, 综合性能更优良, 因此锻造悬架横臂具有很好的发展前景。上横臂形状较复杂, 具有长枝杈、高筋结构,

模锻时易造成锻件局部充不满、折叠等缺陷, 需要合理设计锻件、坯料和工艺。本文采用数值模拟进行成形分析, 再进行锻造试制, 实现复杂零件的优质成形, 为后续批量生产提供参考。

2 上横臂锻件

左上横臂锻件如图1所示, 材质为42CrMo钢, 可看成由圆柱头部、杆身、叉形脚臂及凸耳等4个部分组成。右上横臂与左上横臂呈镜像对称, 凸耳在杆身左侧为左上横臂, 凸耳在杆身右侧为右上横臂。上横臂总长581mm, 最大宽度296mm, 最窄处

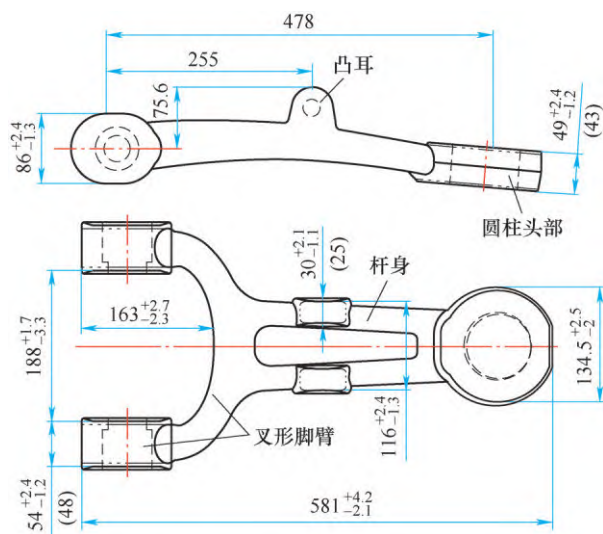


图1 左上横臂锻件

90mm, 最大高度差125mm, 最薄处32mm, 脚臂开档188mm, 属长轴叉类件。

锻件分模位置选在最大轮廓线处, 上横臂的头部螺纹孔、叉形脚臂螺纹孔及凸耳孔在锻造时均不能直接锻出, 需将其补上余块; 上横臂的凸耳尺寸较小, 可将左上横臂杆身右侧补上凸耳余块, 设计成一种锻件, 锻后机械加工去除右(左)侧凸耳, 即为左(右)上横臂, 这样既可节省一副模具, 又可减少换模次数。上横臂的头部厚度方向、叉形脚臂宽度方向和凸耳宽度方向为加工面, 其余为非加工面。根据GB/T 12362—2003《钢质模锻件 公差及机械加工余量》规定及生产经验设计锻件余量, 上横臂头部厚度方向单边余量3mm, 脚臂宽度方向单边余量3mm, 凸耳宽度方向单边余量2.5mm, 模锻斜度 $3^{\circ} \sim 5^{\circ}$ 。上横臂锻件三维造型如图2所示。

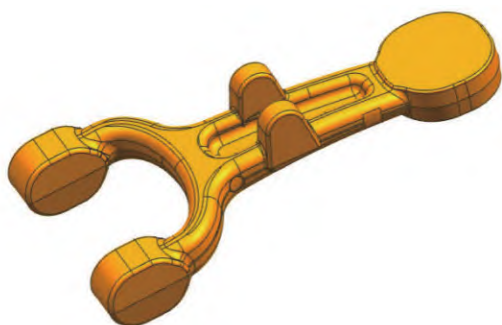


图2 上横臂锻件三维模型

3 上横臂成形工艺

上横臂锻件截面积相差较大, 直接采用圆棒形

模锻材料利用率很低, 会造成原材料的浪费。采用圆棒料经自由锻制坯后模锻成形, 能有效提升材料利用率。根据计算毛坯图得到坯料的形状尺寸, 上横臂锻件的坯料形状如图3所示。上横臂锻件的成形工艺流程为下料→加热→制坯→加热→模锻→切边→空冷→热处理(调质)→抛丸→打磨。



图3 坯料形状

4 上横臂锻件模锻数值模拟

采用Deform-3D软件对锻造成形进行模拟。上横臂锻件是对称几何体, 锻造过程具有载荷作用的对称性, 其锻造过程也是对称问题^[5], 为减少计算量, 选取一半坯料作为研究对象。坯料材质为42CrMo钢, 加热温度为1200℃, 坯料划分网格数为60000, 模具温度为250℃, 坯料与模具的摩擦因子为0.3, 上模加载速度为300mm/s, 坯料与空气环境热传导系数取50W/(mm²·K), 模具与空气换热忽略不计^[7]。

4.1 模锻成形载荷力

模锻数值模拟结果如图4所示。模具闭合时, 上横臂锻件刚好充满, 头部周围飞边尺寸、脚臂最远处飞边均很小, 锻件充满时的载荷力为9700t (1t=9800N)。现有设备为22000t电动螺旋压力机, 在其压力范围内可模锻成形。

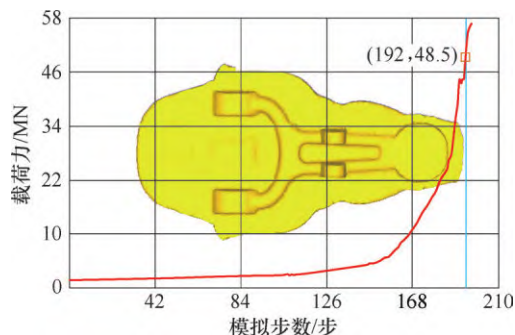


图4 上横臂模锻成形载荷力

4.2 模锻过程金属流动

下模型腔设计一弧形定位凹槽, 坯料大头放置于凹槽处(见图5a红色方框处), 小头卡在下模型

腔，坯料在型腔内定位恰当、牢靠；随着上模的下压，坯料大头先接触上模，坯料小头翘起，并仍会卡在上模型腔，坯料不会跑偏，如图5b所示；随着上模继续下压，坯料小头接触上模，此时坯料大头受力向两侧流动，坯料整体高度降低，宽度变宽，如图5c所示；叉形脚臂外侧先成形，杆身、头部已基本成形，叉形脚臂内测、杆身凸耳及头部外侧还未充满（见图5d），此3处为锻件最后充满处，锻造

时需特别关注。

整个模锻过程中，在锻件即将充满时折叠角最大，如图6所示。由图6可知，折叠角最大为 252° ，模锻过程折叠角均 $<270^{\circ}$ ，锻件无折叠产生。但脚臂内侧（见图6椭圆处）成形时的折叠角较大，因压力作用金属向两侧流动，但在桥部的阻力下，金属向内侧回流，金属三向流动易产生折叠，实际生产时注意此处折叠情况。

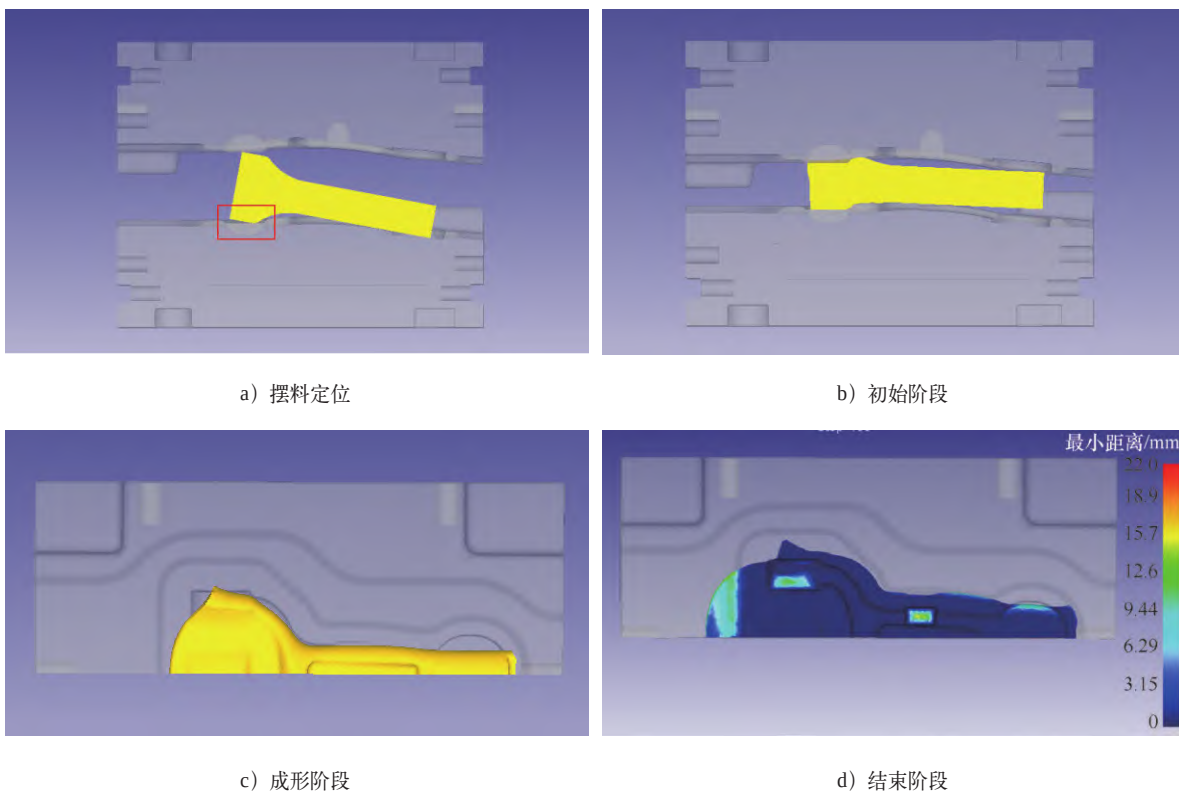


图5 上横臂模锻过程数值模拟

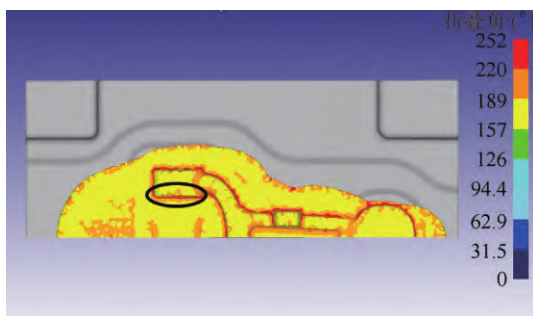


图6 上横臂模锻折叠角

5 锻造试制

采用制坯-模锻的工艺，根据现有设备空气锤、22000t螺旋压力机及2000t液压机进行制坯、模锻和切边。如图7所示，试制得到的锻件与模拟结果一

致，锻件充满良好且无折叠、裂纹缺陷；但切边后发现锻件凸耳有变形（见图8），凸耳单侧向外张开 $2\sim 3\text{mm}$ 。原因可能是锻件凸耳薄且长，切边时凸耳受水平拉应力，凸耳受力向外侧张开，凸耳变形



图7 上横臂热锻件

将导致后续切削加工时凸耳内侧因加工余量不足而造成报废,这需要通过锻件设计、模具结构、锻造过程控制、锻后冷却摆放,以及翘曲校正等方面来进行质量控制^[6]。

基于此,制作了夹钳工装,切边后进行校正,锻件热切边后利用夹钳夹住凸耳,中间垫块控制开档距离,经校正后得到形状、尺寸良好的上横臂锻件,经抛丸、打磨处理后得到的样件如图9所示。



图8 上横臂锻件 (凸耳变形)



图9 上横臂锻件 (已校正)

6 性能检测

上横臂锻后调质处理,力学性能需满足GB/T 3077—2015《合金结构钢》的要求,允许使用随炉试块进行检测,结果见表1。从表1可看出,上横臂的力学性能合格。

表1 上横臂的力学性能检测结果

项目	抗拉强度 R_m /MPa	屈服强度 $R_{p0.2}$ /MPa	断后伸 长率A (%)	断面收 缩率Z (%)	冲击吸收 能量KU/J
实测值	1181	1096	13.0	51	66、65、 68
	1156	1057	14.0	57	
标准值	≥ 1080	≥ 930	≥ 12.0	≥ 45	≥ 63

因此,上横臂锻件改进锻造成形工艺流程为:下料→加热→制坯→加热→模锻→切边→校正→空冷→热处理(调质)→抛丸→打磨。

7 结束语

1) 钢质上横臂锻件的成形模拟表明,坯料在模具内能准确定位,金属流动趋势合理,折叠角 $< 270^\circ$,不会产生折叠缺陷,锻件成形饱满,制坯的形状、尺寸合理。

2) 钢质上横臂的锻造试制表明,坯料在压力机下成形良好,表面无缺陷,但锻件热切边时造成凸耳变形(向外侧张开),为此利用夹钳工装校正,可实现形状、尺寸、性能合格的锻件,为后续批量生产做准备。

参考文献:

- [1] 任帅. 电动汽车前悬架的结构优化研究[D]. 沈阳: 沈阳工业大学, 2016.
- [2] 王秀梅, 张庆涛, 王雨. 采用混合算法优化车辆被动悬架参数及仿真[J]. 中国工程机械学报, 2019, 17(1): 24-28.
- [3] 郑明军, 张晓磊, 吴文江. 半主动空气悬架的滑膜变结构控制[J]. 机械设计与制造, 2015(1): 87-90.
- [4] 施睿, 赵春霞. 双横臂独立悬架运动学分析与优化设计[J]. 车辆与动力技术, 2014(3): 35-41.
- [5] 康学忠. 基于ADAMS/Insight的汽车前悬架仿真与优化[J]. 汽车实用技术, 2022, 47(12): 39-43.
- [6] 胡建军, 行东伟, 徐博铭, 等. 某汽车悬架摆臂有限元分析及疲劳试验验证[J]. 机电一体化, 2018, 24(1): 52-55.
- [7] 小板田, 宏造, 王欣. 锻造成形的计算机模拟[J]. 金属加工(热加工), 2013(3): 46-48.
- [8] 刘成, 陈爱成, 占立水. 控制钛合金连杆锻件翘曲变形的研究[J]. 模具工业, 2023, 49(11): 66-70.

MW 20241218