

汽车转向节热锻工艺分析及模具结构优化设计

赵毅, 刘淑梅, 何文涛, 刘雅辉, 张明浩
(上海工程技术大学 材料工程学院, 上海 201620)

摘要: **目的** 以某皮卡转向节的热锻模具为研究对象, 基于热锻成形工艺分析对其模具结构进行优化设计。**方法** 采用DEFORM 3D模拟转向节热锻成形过程, 获得金属流动的规律, 得到锻件难以充填的原因。继而采用阻力墙结构改进模具, 并分析阻力墙对转向节成形过程的影响。**结果** 原始模具长叉外围桥口阻力太小, 致使预锻和终锻时长叉处金属过早流向飞边, 坯料补给不足, 导致长叉未能完全充满, 形成塌角。**结论** “大小台阶”式阻力墙相配合, 可以合理设置各方向上的成形阻力, 使金属变形均匀, 并能在保证成形载荷波动不大的前提下获得较好的充填效果, 解决了长叉充不满的问题。

关键词: 转向节; 工艺分析; 数值模拟; 阻力墙; 模具结构优化

DOI: 10.3969/j.issn.1674-6457.2016.03.009

中图分类号: TG316 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-6457(2016)03-0040-05

Automobile Steering Knuckle Hot Forging Process Analysis and Optimized Design of Die Structure

ZHAO Yi, LIU Shu-mei, HE Wen-tao, LIU Ya-hui, ZHANG Ming-hao

(College of Materials Engineering, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

ABSTRACT: Hot-forging die of steering knuckle in the pickup as the research object in this paper, the steering knuckle hot forging forming process were simulated by using DEFORM 3D software and the metal flow rule were studied. The reason of forgings fill difficultly was got, namely the flash land resistance of long fork peripheral is too small, cause the metal premature flow to flash, billet supply shortage, lead to the long fork failed to full completely and forming corner collapse. Based on the results of numerical simulation, the die structure was optimized design by using the resistance wall structure. The results showing that: through different forms of resistance wall forming resistance on each direction can be reasonable setting, make the metal deformation uniformity, and on the premise of forming load fluctuation is not big to obtain good filling effect, the problem of the long forks filling was solved.

KEY WORDS: steering knuckle; process analysis; numerical simulation; resistance wall; die structure optimization

转向节是汽车转向系统的关键零件, 为确保优异的性能, 目前主要是通过锻造生产。随着汽车家族的不断扩大, 转向节种类愈来愈多, 组成转向节锻件的主要形体要素有轴、孔、盘、耳、筒、臂, 不同形体要素组成的转向节, 其锻造成形过程差别明显甚至迥然有异^[1]。就目前的工艺水平看, 绝大多数转向节锻件的

最适宜的成形方式为开式模锻。

转向节锻件形状大多数为S4复杂级, 成形难度较大, 是汽车锻件中最难生产的锻件之一^[1-3]。其锻造工艺复杂, 对模具设计要求非常高。不合理的模具结构容易使锻件充不满、形成折叠等锻造缺陷, 为了提高锻件质量, 促进锻件成形, 需对模具结构等进行优化。

收稿日期: 2016-04-02

基金项目: 上海市内涵科研建设项目(nhky-2013-05); 上海工程技术大学大学生创新训练项目(cx1505001)

作者简介: 赵毅(1993—), 男, 山西人, 本科生, 主要研究方向为金属材料成形。

通讯作者: 刘淑梅(1968—), 女, 上海人, 副教授, 主要研究方向为模具CAD/CAM/CAE

文中以某皮卡转向节热锻模具为研究对象,通过模拟转向节热锻成形过程了解金属流动规律,研究原始模具存在的问题,继而优化模具结构,并分析阻力墙结构对转向节充填情况、金属流动和成形载荷的影响。

1 转向节成形工艺

1.1 转向节结构分析

某皮卡转向节锻件三维模型如图1所示,是一种用于转向驱动桥的转向节。



图1 转向节锻件三维模型
Fig.1 3D model of steering knuckle forging

该转向节结构有如下特点:中央需冲孔,孔四周带5个叉和1个长臂,长臂有弯曲;锻件高度方向有落差,各叉也不在同一平面,造成分模困难;枝叉①较长,且在高度上向上有所倾斜,在模锻成形时容易充不满。

1.2 转向节模锻工艺

转向节材料为非调质钢38MnSiVS5,锻后只需进行可控冷却处理。由于锻件大头带枝叉,小头有弯曲,形状复杂,沿轴线截面变化较大,采用辊锻进行制坯,且在辊锻与预锻之间加入一道弯曲工序,然后在热模锻压力机上成形,如图2所示。

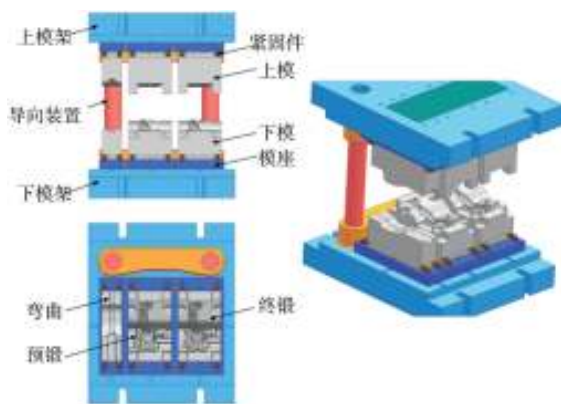


图2 转向节锻模总体结构
Fig.2 General structure of the die

2 转向节模锻数值模拟分析

2.1 原始锻模结构

对于形状较复杂的锻件,能否通过模锻得到合格的锻件,很大程度与模膛的设计有关系^[4]。图3为原始终锻模膛下模。

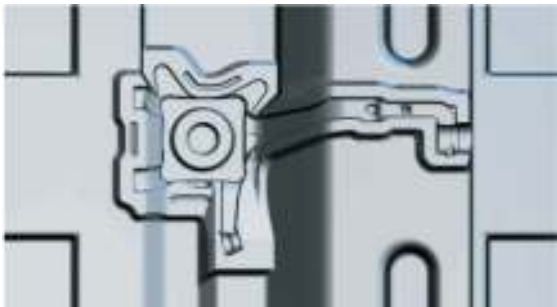


图3 终锻下模
Fig.3 Lower die of finish forging

由于锻件各分叉不在同一平面上,需采用立体分模。叉①垂直于长臂且长度较长,充填困难,为了使金属易于向叉①方向流动,增大其入口圆角半径,以减小金属流动阻力。在各叉局部位置设置阻力沟,增大桥部阻力,迫使金属向各叉型腔流动并充满各叉。

2.2 模拟结果分析

采用DEFORM 3D软件对该原始模具进行数值模拟,分析存在的问题。根据实际工艺流程,建立有限元模型,坯料初始加热温度为1250℃,模具温度为225℃,坯料初始网格数6万个,工件与模具、空气均存在热传导,剪切摩擦因子为0.3,上模的运动速度为50 mm/s,加热工序时间步长为0.5 s,变形工序位移步长为0.5 mm。

了解金属流动情况有利于对模具结构进行有的放矢的改进和优化。图4为预锻和终锻成形后期金属流动速度的分布情况和贴模效果。

对锻件长叉端部和左右两侧飞边进行金属流速点追踪,如图5所示。

结合图4图5,分析可知,在预锻阶段大头各部分金属流动速度均较大,且均匀上升,这有利于各叉的充填。由于叉④、叉⑤型腔较浅,充填较容易,预锻阶段已基本成形,多余金属较多,故在预锻后期P3处飞边流速较大。叉①长度较长,在成形过程中需较多的坯料进行补充,在预锻时,金属坯料较充分,P1处金属保持较大流速。而叉①左侧飞边P2处金属流速与

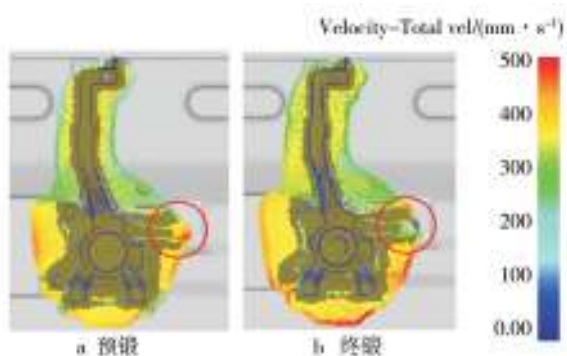


图4 金属流动速度分布和贴模效果

Fig.4 The metal flow velocity distribution and contact

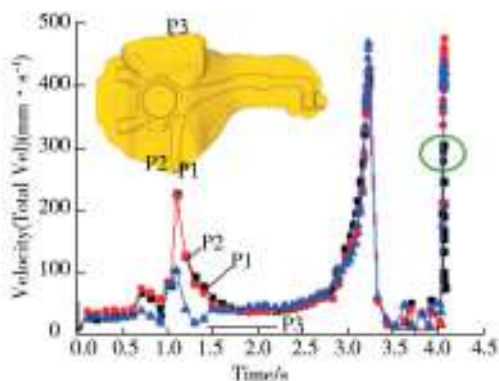


图5 坯料上3个点的金属流速

Fig.5 Velocity of 3 points on the billet

P1处相当,预锻时长叉处金属大部分过早地流向了飞边,这将对叉①的最终成形产生不利影响。在终锻后期两侧飞边P2,P3处流速较大,P3处达到450 mm/s,而叉①末端P1处金属流动速度显著降低,仅300 mm/s。由此可知,长叉左侧桥口阻力太小,致使预锻和终锻时长叉外围飞边流动速度一直处于较大水平,使金属过多地流向此处,坯料补给不足,最终导致叉①未能完全充满,形成塌角。

模拟得到预锻载荷为1971 t,终锻载荷为2342 t,该转向节可在5000 t的热模锻压力机上进行生产。可知,转向节模具的优化空间较大,其成形难点在于合理分配各部分金属的流动,促进叉①充填饱满。

3 模具结构优化及模拟分析

3.1 模具结构优化设计

变形金属的具体流动情况主要取决于各流动方向上阻力间的关系,对模具优化改进就是要合理设置各方向上的阻力^[5]。

经过初步模拟分析,仅靠普通飞边槽的结构难以保证该转向节的充填,周杰等人^[6]提出了一种带阻力

墙的新型飞边槽结构,利用阻力墙的斜面获得较大的水平方向流动阻力,迫使坯料向高度方向流动,保证型腔深处的充填,多用于曲轴等带深腔锻件的成形。而转向节长叉距离模膛中心线较远,金属充填难度较大,本文利用该结构阻止速度过快的坯料过早流向飞边,从而促使金属向未充满的长叉方向流动,以达到合理分配坯料促进充填的目的。

如图6所示,在长叉①外侧设置“大台阶”式阻力墙;而叉④、叉⑤侧设置“小台阶”式阻力墙,以避免阻力过大。终锻阻力墙具体参数如图7所示。

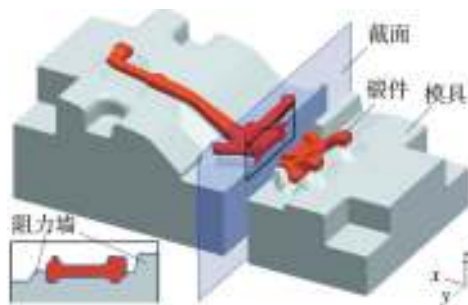


图6 模具结构优化方案

Fig.6 Die structure optimization program

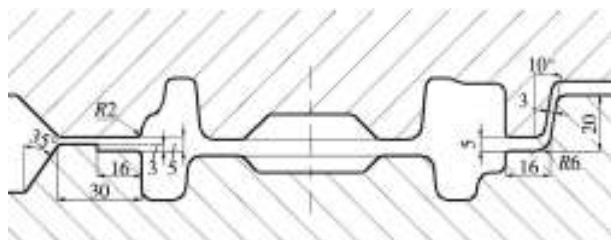


图7 终锻阻力墙参数

Fig.7 Parameter of resistance wall

3.2 模拟结果分析

采用优化后的模具进行数值模拟,分析阻力墙结构对转向节充填情况、金属流动和成形载荷的影响。

3.2.1 充填效果分析

图8为有无反力墙的金属充填效果,阴影区域表

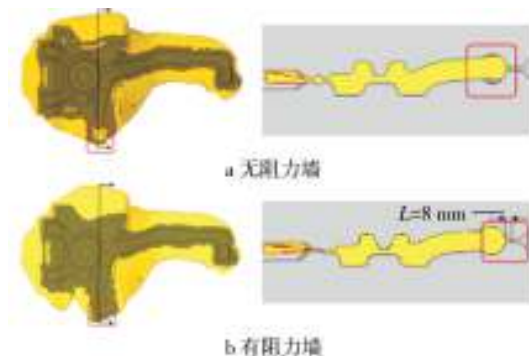


图8 终锻坯料充填效果

Fig.8 The blank filling effect of finish forging

示贴模,其中转向节叉①的充填情况见右侧剖视图。无阻力墙的原模具充填,长叉末端(矩形区域)金属未贴模且在桥口处未产生飞边,充模效果较差。而设置阻力墙后矩形区域贴模,达到完好的充模效果,且桥口产生了一定宽度的飞边,长度为8 mm。这表明阻力墙的设置可以增大各叉外侧飞边排出的阻力,延缓金属坯料过早地流向飞边,促使金属向型腔充填,保证坯料成形后期的补给,实现转向节叉①的良好成形。

3.2.2 变形均匀性分析

图9为阻力墙结构对坯料充模过程中金属流动速度的影响,可见速度场关于转向节孔中心近似对称分布,预锻、终锻最高速度均处于左右飞边桥区域,且金属流速均匀,有利于飞边平稳流出,这表明两侧阻力墙阻力作用均衡且结构较合理。

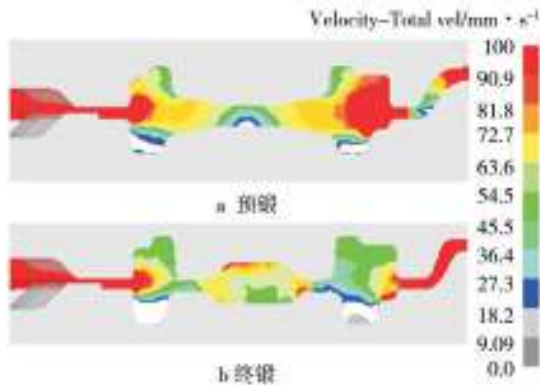


图9 阻力墙对金属流速的影响

Fig.9 Effect of resistance wall on metal flowing

热模锻过程中坯料温度不断下降,金属变形抗力上升,变形难度加大,若变形不均匀容易导致锻件性能下降。转向节锻件截面面积变化较大且空间结构复杂,故需要保证模锻过程中坯料变形均匀以控制锻件质量。由图10可见,预锻时锻件本体等效应变均匀,变形剧烈的区域在桥部及飞边处,金属流动容易,变形效果较好;终锻时锻件等效应变偏大,这是由于

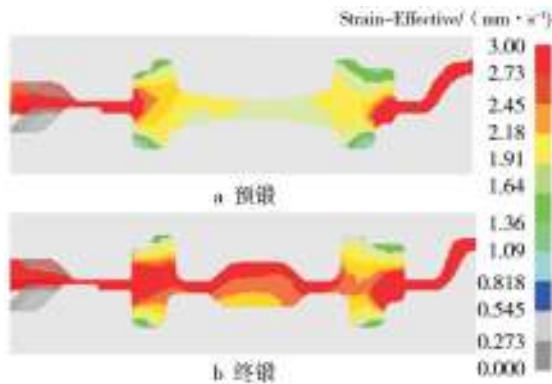


图10 等效应变分布

Fig.10 Effective strain distribution

成形后期各部位基本充填完毕,多余的金属和斜底连皮部分金属需排出锻件本体并流向仓部。

3.2.3 成形载荷分析

阻力墙的设置对成形载荷具有较大的影响^[6-7],对于大质量和形状复杂的锻件,在进行模具优化改进时,应合理控制成形载荷。

初始方案预锻载荷为1971 t,终锻载荷为2342 t,图11为模具优化后的成形载荷曲线,可见预锻和终锻成形载荷上升幅度不大,在300 t左右。说明采用“大小台阶”式阻力墙相配合的形式,可以合理设置各方向上的成形阻力,在保证成形载荷波动不大的前提下获得较好的成形效果。

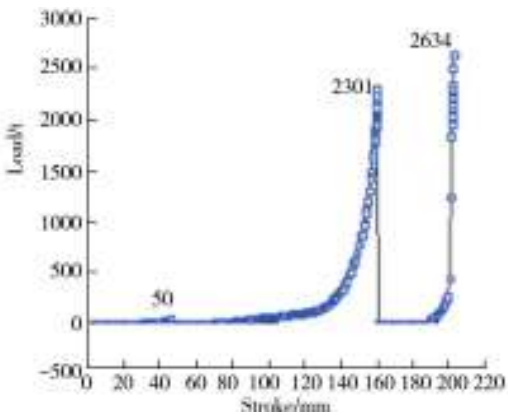


图11 成形载荷曲线

Fig.11 Forming load curves

3.3 生产验证

模拟结果表明,阻力墙的设置合理地分配了各叉外围金属,得到成形饱满的终锻件,避免了长叉末端塌角,且其成形载荷变化不大,处于较低的水平。采用改进后的模具在5000 t的热模锻压力机上进行生产试制,所得锻件如图12所示。从图12中可以看出,金属在模具型腔中成形良好,锻件长叉处未出现塌角,与数值模拟结果一致。



图12 转向节终锻件

Fig.12 Steering knuckle forging part

4 结语

1) 通过数值模拟分析了转向节成形过程中的金属流动,并对转向节长叉末端金属速度进行点追踪,找到了锻件难以充填的原因,即长叉外围桥口阻力太小,致使预锻和终锻时长叉处金属过早流向飞边,坯料补给不足,导致长叉未能完全充满,形成塌角。

2) 采用阻力墙结构优化改进模具,并分析阻力墙对转向节成形过程的影响。结果表明,“大小台阶”式阻力墙相配合可以合理设置各方向上的成形阻力,金属变形均匀,在保证成形载荷波动不大的前提下获得较好的充填效果,解决了长叉充不满的问题。

参考文献:

- [1] 张如华,韩向银,赵一平,等.明晰汽车转向节锻件结构类型的初步建议[J].锻压技术,2008,33(5):5—9.
ZHANG Ru-hua, HAN Xiang-yin, ZHAO Yi-ping, et al. Primary Suggestion for Defining Forging Structure Types of Steering Knuckle[J]. Forging and Stamping Technology, 2008, 33(5): 5—9.
- [2] 唐庆顺,杨元慧,卢森加,等.汽车转向节模锻工艺改进[J].热加工工艺,2014,43(19):128—130.
TANG Qing-shun, YANG Yuan-hui, LU Sen-jia, et al. Die Forging Process Improvement of Automobile Steering Knuckle [J]. Hot Working Technology, 2014, 43(19): 128—130.
- [3] 付翔.汽车转向节的锻造工艺[J].锻压装备与制造技术, 2012(1):58—62.
FU Xiang. Forging Process of Truck Knuckle[J]. China Metalforming Equipment & Manufacturing Technology, 2012 (1): 58—62.
- [4] 邹德祥.高宽比值大的预锻型槽设计[J].金属成形工艺, 1999,17(5):30—31.
ZOU De-xiang. Pre-forging Type Groove Design of the Big Height to Width Ratio[J]. Metal forming Technology, 1999, 17 (5): 30—31.
- [5] 王广春.金属体积成形工艺及数值模拟技术[M].北京:机械工业出版社,2010.
WANG Guang-chun. Metal Bulk Forming Process and Numerical Simulation Technology[M]. Beijing: China Machine Press, 2010.
- [6] 周杰,刘敏,王平,等.汽车曲轴终锻模阻力墙新型结构参数试验[J].机械工程学报,2007,43(8):299—233.
ZHOU Jie, LIU Min, WANG Ping, et al. Experiment on Parameters of New Finish Forging Die Structure of Automobile Crankshaft Called Resistance Wall[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2007, 43(8): 299—233.
- [7] 姬金金,周杰,卢先正.某微车曲轴模具结构的优化[J].热加工工艺,2011,40(23):231—234.
JI Jin-jin, ZHOU Jie, LU Xian-zheng. Die Structure Optimization of Minicar Crankshaft Die[J]. Hot Working Technology, 2011, 40(23): 231—234.
- [10] 彭雯雯,曾卫东,闫文巧,等.回火工艺对Aermet100超高强度钢组织与韧性的影响[J].材料热处理学报,2013,34(6):58—61.
PENG Wen-wen, ZENG Wei-dong, YAN Wen-qiao, et al. Effect of Tempering Process on Microstructure and Toughness of Aermet100 Ultrahigh Strength Steel[J]. Transactions of Materials and Heat Treatment, 2013, 34(6): 58—61.
- [11] 纪国亮,李付国,李庆华,等. Research on the Dynamic Recrystallization Kinetics of Aermet100 Steel[J]. Materials Science and Engineering A, 2010: 2350—2355.
- [12] IMBERT C, RYAN N D, MCQUEEN H J. Hot Workability of Three Grades of Tool Steel[J]. Metallurgical and Materials Transactions A, 1984, 15(10): 1855—1864.
- [13] MILOVIC R, MANOJLOVIC D, ANDJELIC M. Hot Workability of M2 Type High Speed Steel[J]. Steel Research, 1992, 63(2): 78—84.
- [14] SICILIANO F, MINAMI K, MACCAGNO T M. Mathematical Modeling of the Mean Flow Stress, Fractional Softening and Grain Size during the Hot Strip Rolling of C-Mn Steels[J]. ISIJ International, 1996, 36(12): 1500—1506.
- [15] SELLARS C M, WHITEMAN J A. Recrystallization and Grain Growth in Hot Rolling[J]. Materials Science and Engineering, 1979, 13: 187—194.

(上接第14页)