

34CrNiMo6 钢三拐曲轴热模锻成形工艺方案设计及数值模拟分析

袁 磊, 冉均均

(成都理工大学工程技术学院 核工程与新能源技术系, 四川 乐山 614000)

摘要: 以某款材质为 34CrNiMo6 高强度结构钢的三拐曲轴为研究对象, 通过数值模拟与工艺实验相结合的方法, 开发热模锻成形工艺方案。首先, 研究该三拐曲轴用锻态 34CrNiMo6 高强度结构钢的高温流变行为, 建立 34CrNiMo6 钢在 DEFORM 软件中的高温流变模型。其次, 对初始工艺方案进行数值模拟, 分析预锻件和终锻件的成形过程、填充情况、温度分布和等效应变分布。分析初始工艺方案下三拐曲轴平衡块充填不饱满的原因为: 金属不易充填“高筋薄壁”的平衡块型腔而更容易从阻力较小的桥部流出, 导致形成飞边。在此基础上, 提出在模具局部增加阻力墙结构的改进工艺方案, 数值模拟结果显示, 预锻件和终锻件的充填效果均得到了有效提升。最后, 采用带阻力墙的改进工艺方案进行工艺实验, 结果表明, 锻件充填饱满, 无锻造缺陷。

关键词: 34CrNiMo6 钢; 三拐曲轴; 热模锻; 填充效果; 阻力墙

DOI: 10.13330/j.issn.1000-3940.2022.08.002

中图分类号: TG316

文献标志码: A

文章编号: 1000-3940 (2022) 08-0007-08

Process scheme design and numerical simulation analysis on hot die forging for 34CrNiMo6 steel three-turn crankshaft

Yuan Lei, Ran Junjun

(Department of Nuclear Engineering and New Energy Technology, The Engineering & Technical College of Chengdu University of Technology, Leshan 614000, China)

Abstract: For a three-turn crankshaft made of 34CrNiMo6 high strength construction steel, the hot die forging process scheme was developed by the combination of numerical simulation and process experiment. Firstly, the high temperature rheological behavior of as-forged 34CrNiMo6 high strength construction steel for the three-turn crankshaft was studied, and the high temperature rheological model of 34CrNiMo6 steel was established by software DEFORM. Secondly, the initial process scheme was simulated to analysis forming process, filling situation, temperature distribution and equivalent strain distribution of pre-forging and final forging parts, and the three-turn crankshaft balance block was not fully filled. The reason was that the metal was hard to fill the “high rib and thin wall” balance block cavity and it was easier to flow out from the bridge with less resistance to form flash. On this basis, a modified process scheme was proposed to add a resistance wall structure in the local part of die. The numerical simulation results show that the filling effect of pre-forging and final forging parts is effectively improved. Finally, the process experiment was carried out with the modified process scheme of adding resistance wall, and the results show that the forgings are fully filled and no forging defects.

Key words: 34CrNiMo6 steel; three-turn crankshaft; hot die forging; filling effect; resistance wall

三拐曲轴是汽车发动机重要的组成零件之一, 其与连杆联接推动活塞往复运动, 从而将动力输出。鉴于曲轴的工作环境较恶劣, 在工作过程中连续承受交变载荷和传递大扭矩, 因此, 三拐曲轴多采用

高强度结构钢来进行热模锻成形, 以满足其强度、刚度和精度的需求^[1-2]。

近年来, 汽车曲轴多采用热模锻进行成形加工, 但由于曲轴的复杂性和特殊性, 在成形过程中常常出现填充不饱满、模具使用寿命低、成形载荷高等问题。为此, 很多研究者对于曲轴热模锻成形工艺方案的设计进行了大量的研究工作。Wang X X 等^[3]通过调整预锻模具设计以降低预、终锻成形载荷和模具磨损深度。舒鹤鹏^[4]研究了坯料的直径、锻造

收稿日期: 2021-08-09; 修订日期: 2021-11-10

基金项目: 乐山市科技局重点研究项目 (21GZD029)

作者简介: 袁 磊 (1986-), 男, 硕士, 讲师

E-mail: yuanlei11@163.com

的温度以及坯料与模具间的摩擦因数对四缸曲轴锻造成形过程的影响。郑书华等^[5]应用 DEFORM 模拟分析了 3 种飞边槽结构对金属填充模具型腔的影响规律。朱颖等^[6]提出一种类似拱底连皮的凸形连皮结构, 既有效地储备金属, 提高平衡块充填率, 又保证了切除连皮后的锻件变形小。周杰等^[7-10]提出一种以提高材料利用率和降低模具磨损为目标的四缸曲轴终锻阻力墙设计方法。Zhang Y J 等^[11]通过模拟仿真分析了曲轴的热模锻成形过程, 并总结了曲轴成形过程中金属流动规律与温度场的关系。上述研究对于难成形材料的曲轴热模锻工艺方案设计具有一定的参考意义, 但是, 对于难成形材料和“高筋薄壁”难充填的曲轴热模锻成形的研究尚少。同时, 关于阻力墙的设计一般采用整体式设计, 而仅在难充填部分设计局部阻力墙的研究较少。

为此, 本文以某款三拐曲轴为研究对象, 首先获取该曲轴材料 34CrNiMo6 钢的高温流变数据。其次, 分析该三拐曲轴的结构特点, 设计其热模锻成形工艺方案, 并应用有限元分析软件 DEFORM 进行数值模拟仿真, 根据模拟结果提出修正工艺方案。最后, 采用工艺实验验证工艺方案的可行性。

1 34CrNiMo6 钢高温流变曲线

高温流变实验材料为本文研究对象三拐曲轴所采用的锻态 34CrNiMo6 高强度结构钢, 其化学成分见表 1。应用线切割加工设备将实验材料加工至 $\Phi 8 \text{ mm} \times 12 \text{ mm}$ 规格, 并对切割表面进行人工轻微打磨, 简单去除电加工痕迹以降低摩擦对实验的影响, 试样如图 1 所示。

表 1 34CrNiMo6 钢化学成分 (%, 质量分数)
Table 1 Chemical compositions of 34CrNiMo6 steel
(%, mass fraction)

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	P	S	Fe
0.350	0.280	0.560	1.540	1.430	0.230	0.015	0.012	余量

使用 Geeble-3500 热模拟实验机进行单向等温热压缩实验以获取 34CrNiMo6 钢的流变应力数据, 实验参数见表 2。实验步骤为: (1) 试样以 $5 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$ 的加热速度升至指定温度; (2) 保温 180 s; (3) 按设定的应变速率进行单向热压缩, 压缩至指定变形量; (4) 变形完毕后迅速水冷。整个实验过程的数据由 Gleeble-3500 热模拟实验机采集。

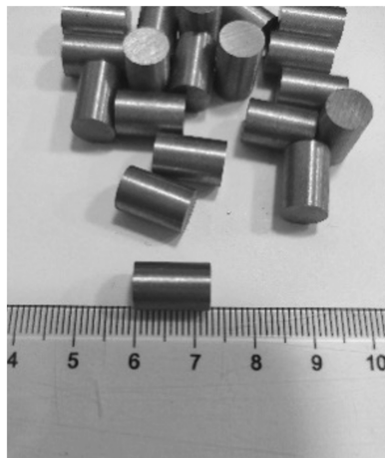


图 1 热压缩实验试样

Fig. 1 Samples of hot compression experiment

表 2 热压缩实验参数

Table 2 Parameters of hot compression experiment

试样 编号	应变速率/ s^{-1}	加热温度/ $^{\circ}\text{C}$	冷却 条件	变形 量/%	加热速度/ $(^{\circ}\text{C} \cdot \text{s}^{-1})$
1~7	0.001				
8~14	0.01	900、950、1000、 1050、1100、1150、 1200	水冷	60	5
15~21	0.1				
22~28	1				

通过高温热压缩实验, 得到如图 2 所示的 34CrNiMo6 钢在不同变形温度和应变速率区间的真实应力-真实应变曲线, 其中 $\dot{\epsilon}$ 为应变速率。由图 2 可看出, 34CrNiMo6 钢为正应变速率敏感、负温度敏感材料^[12], 当真实应变相同时, 在同一应变速率下, 真实应力随着变形温度的升高而降低; 在同一变形温度下, 真实应力随着应变速率的升高而升高。

2 热模锻成形工艺分析

2.1 锻件结构及成形难点分析

本文研究对象某款 34CrNiMo6 钢三拐曲轴的三维模型如图 3 所示, 形状结构较复杂, 总重量约为 13.6 kg, 总长度为 380 mm, 其中 3 个连杆轴颈呈 120° 分布, 6 个平衡块中 (平衡块 1~6), 最大高度 $H_{\max} = 145.613 \text{ mm}$ (平衡块 3、4), 最小宽度 $W_{\min} = 77.884 \text{ mm}$ (平衡块 3、4), 最小厚度为 $T_{\min} = 10.782 \text{ mm}$ (平衡块 3、4)。计算该三拐曲轴各平衡块的高宽比 α 和高厚比 β , 其结果如表 3 所示。由表 3 可看出, 平衡块 3、4 的 α 和 β 值均大于其他平衡块, 表明这 2 个平衡块在高度与宽度方向为

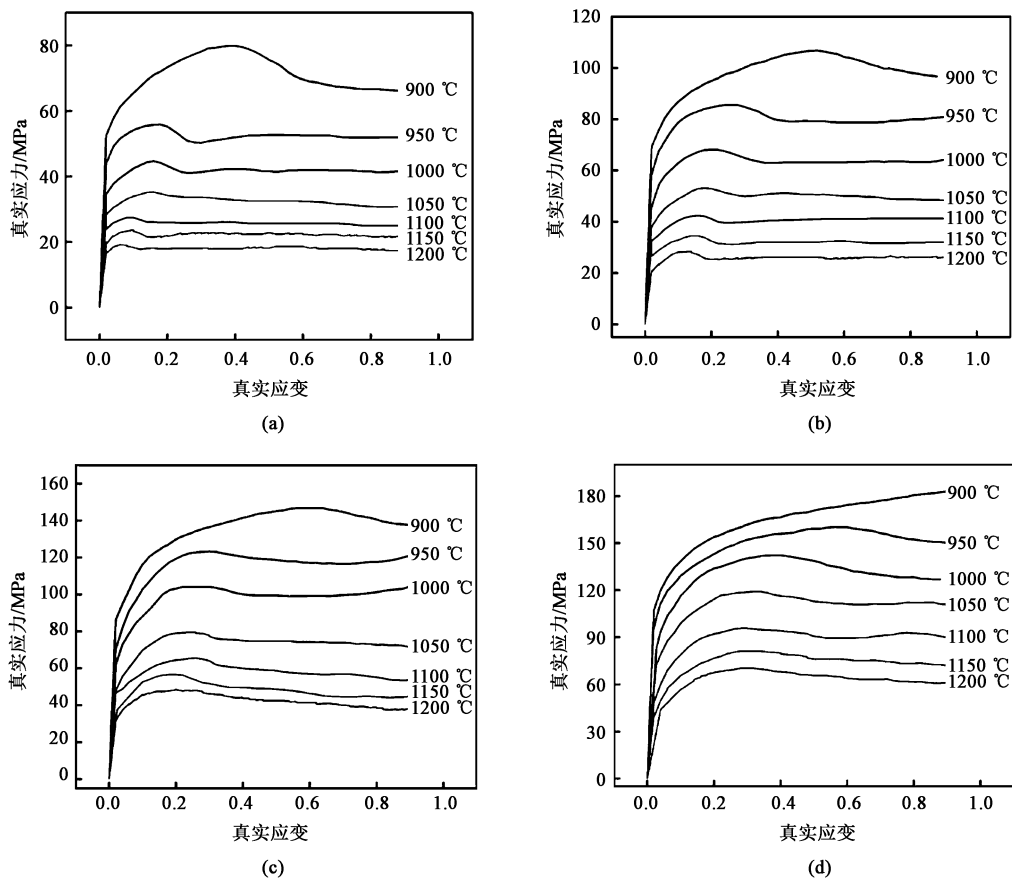


图 2 34CrNiMo6 钢在不同变形条件下的真实应力-真实应变曲线
(a) $\dot{\varepsilon}=0.001\text{ s}^{-1}$ (b) $\dot{\varepsilon}=0.01\text{ s}^{-1}$ (c) $\dot{\varepsilon}=0.1\text{ s}^{-1}$ (d) $\dot{\varepsilon}=1\text{ s}^{-1}$
Fig. 2 True stress-true strain curves of 34CrNiMo6 steel under different deformation conditions

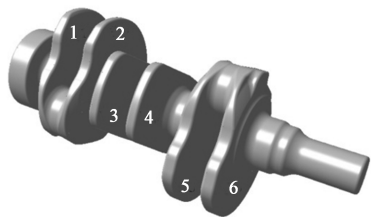


图 3 三拐曲轴三维模型
Fig. 3 3D model of three-turn crankshaft

表 3 三拐曲轴各平衡块计算参数

Table 3 Calculation parameters of each balance block for three-turn crankshaft			
参数	平衡块 1、2	平衡块 3、4	平衡块 5、6
α	1. 047	1. 869	1. 068
β	12. 024	13. 505	11. 021

“高筋”结构、在高度与厚度方向为“薄板”结构，使得其在锻造过程中不易被金属充填型腔，容易出现充不满的缺陷。同时，考虑到该三拐曲轴的空间结构特点，结合以往的设计经验，该三拐曲轴模锻分模面应设计为空间阶梯式分模，这也使得平衡块

对应的型腔在上、下模的分布不均衡，甚至出现大部分型腔处于单一模具内而形成“深腔”结构，从而导致充填性差。

根据以上分析，初步定制该三拐曲轴的热模锻成形工艺方案为：锯切下料—加热（ 1100 ± 50 ） $^{\circ}\text{C}$ —压扁—预锻—终锻—热切边—热校。根据平衡块 1 与平衡块 6 之间的体积计算坯料直径 D ，如式（1）所示。

$$D=\sqrt{\frac{V_{\text{a}}}{\pi L_{\text{a}}/4}}\text{ mm}=\sqrt{\frac{1387000}{3.14\times217/4}}\text{ mm}\approx90.235\text{ mm}$$

(1)

式中： V_{a} 为平衡块 1 与平衡块 6 之间的体积， mm^3 ； L_{a} 为平衡块 1 与平衡块 6 之间的长度， mm 。

根据计算结果以及国际钢材的规格，选择坯料直径 $D=\Phi95\text{ mm}$ 的圆钢作为三拐曲轴锻造的坯料。其次，根据传统的设计经验并结合工厂的实际生产工况，同种品类的曲轴锻件材料利用率通常为 65%~75%，坯料的重量为 18.13~20.92 kg。根据已选定

的坯料直径可以换算出坯料长度 L 为 326~376 mm。因此,下料尺寸设定为 $\Phi 95\text{ mm}\times 350\text{ mm}$,材料利用率为 69.83%。

2.2 成形数值模拟

为了检验设计工艺方案及模具设计是否能够保

证三拐曲轴热模锻成形,应用有限元分析软件 DEFORM 进行数值模拟仿真。将第 1 节实验得到的真实应力-真实应变曲线导入 DEFORM 软件中,构建 34CrNiMo6 钢的高温流变模型。模拟参数见表 4。

表 4 有限元模拟参数设置
Table 4 Setting parameters of finite element simulation

参数	坯料温度/ ℃	模具预热温度/ ℃	坯料网格	换热系数/ ($\text{N}\cdot(\text{s}\cdot\text{mm}\cdot^\circ\text{C})^{-1}$)	热对流系数/ ($\text{N}\cdot(\text{s}\cdot\text{mm}\cdot^\circ\text{C})^{-1}$)	下压速度/ ($\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$)	摩擦因数
数值	1100	250	100000	5	0.02	250	0.3

三拐曲轴的预锻成形过程根据金属充填情况大致可以分为 3 个阶段:第 1 阶段为镦粗变形阶段,即坯料随上模下压,沿水平最小阻力方向逐渐镦粗,如图 4a 所示;第 2 阶段为充填阶段,金属塑性流动并逐渐充填模具型腔,如图 4b 所示;第 3 阶段为形成飞边阶段,部分金属从桥部流出形成飞边,如图 4c 所示。预锻件充填效果如图 4d 所示,所有平衡块均未充满,预锻件未见折叠缺陷。预锻件的温度

分布如图 4e 所示,预锻件小头部的温度最低,为 987 ℃,小头部外飞边处的温度最高,为 1210 ℃,预锻件的平均温度为 1110 ℃,预锻后温度分布尚可。预锻件的等效应变分布如图 4f 所示,等效应变的平均值为 1.33,预锻件小头部两侧飞边的等效应变比较大,这是因为:在成形小头部时,大量金属从桥部流出形成飞边,因此该处的等效应变值较大。

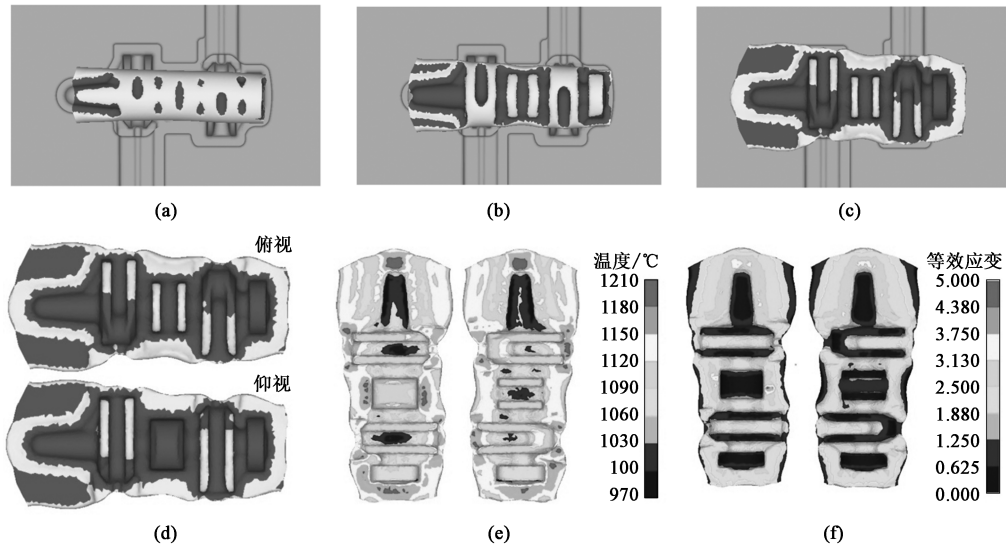


图 4 预锻成形过程及预锻件的数值模拟结果

(a) 阶段 1 (b) 阶段 2 (c) 阶段 3 (d) 预锻件充填情况 (e) 预锻件温度分布云图 (f) 预锻件等效应变分布云图

Fig. 4 Pre-forging process and numerical simulation results of pre-forgings

(a) Stage 1 (b) Stage 2 (c) Stage 3 (d) Filling condition of pre-forgings

(e) Distribution nephogram of temperature for pre-forgings (f) Distribution nephogram of equivalent strain for pre-forgings

三拐曲轴终锻成形过程也大致可以分为 3 个阶段:第 1 阶段,上模下压成形中间连杆颈,如图 5a 所示;第 2 阶段,金属塑性流动并逐渐充填模具型腔,如图 5b 所示;第 3 阶段,部分金属沿横向从桥部流出形成飞边,如图 5c 所示。终锻件的充填效果

如图 5d 所示,平衡块 1、2、5、6 与下模接触区域未充满,平衡块 3、4 与上模接触区域未充满,终锻件未见折叠缺陷。导致平衡块充填不饱满的原因:该三拐曲轴平衡块为典型的高筋薄板,尤其是平衡块 3、4,金属充填该平衡块较困难,更容易从阻力

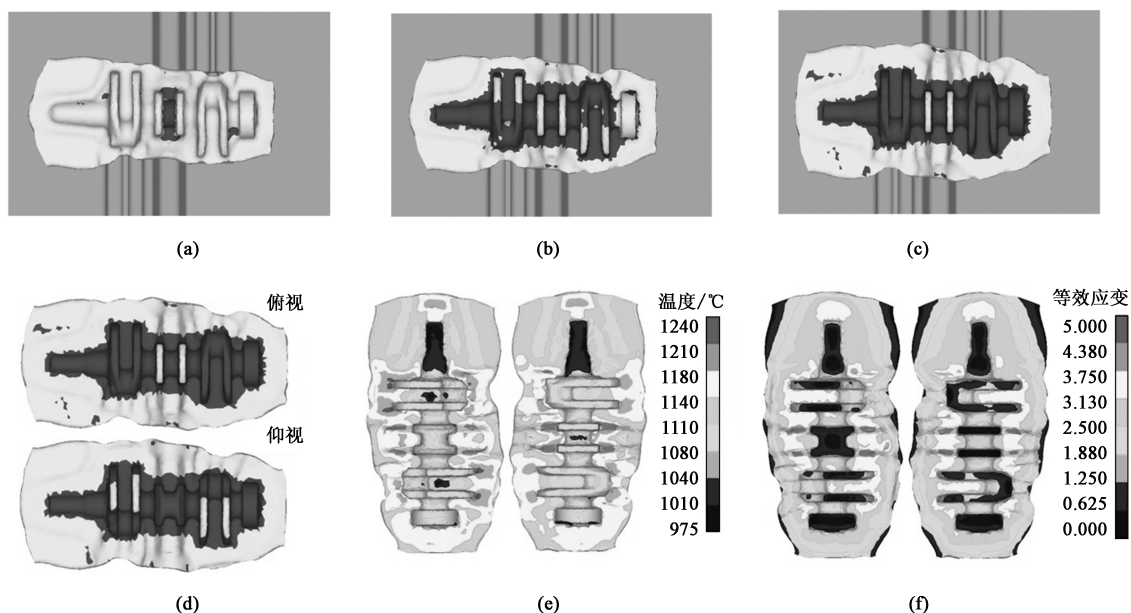


图 5 终锻成形过程和终锻件数值模拟结果

(a) 阶段 1 (b) 阶段 2 (c) 阶段 3 (d) 终锻件充填情况 (e) 终锻件温度分布云图 (f) 终锻件等效应变分布云图

Fig. 5 Final forging process and numerical simulation results of final forgings

(a) Stage 1 (b) Stage 2 (c) Stage 3 (d) Filling condition of final forgings

(e) Distribution nephogram of temperature for final forgings (f) Distribution nephogram of equivalent strain for final forgings

较小的桥部流出形成飞边；同时，平衡块 1、2、5、6 对应的型腔在上、下模分布不均衡，并且在模锻成形时下模的充填性劣于上模。终锻件的温度分布如图 5e 所示，终锻件小头部的温度最低，为 973 °C，平衡块 1、2、5、6 对应的外飞边处的温度最高，为 1240 °C，终锻件的平均温度为 1120 °C，终锻件的温度分布可保证该三拐曲轴锻件具有良好的组织和机械性能。终锻件的等效应变分布如图 5f 所示，等效应变的平均值为 1.97，而平衡块 3、4 对应的飞边处的等效应变最大，这也表明该处变形大、金属流出较多。

2.3 工艺方案修正

根据 2.2 节分析可知，初始工艺方案不能成形合格的三拐曲轴锻件，其主要原因为平衡块处的金属充填性差。为了解决该问题，在模具上引入阻力墙结构，在平衡块对应区域增加阻力墙，从而起到限制金属在水平方向上的流动和促进金属在高度方向上填充的作用。

图 6a 为在平衡块对应处增加了阻力墙结构的预锻下模，其中 O 为该模型结构中心，其充填效果如图 6b 所示。由图 6c~图 6e 对比可以看出，通过增加阻力墙结构，预锻件的充填效果得到了明显改进。为了量化分析改进的效果，应用 DEFORM 软件后处

理中“State Variable Between Two Point”的功能，选择平衡块 1、3 和 5 中间截面轮廓上的两点，输出锻件与模具的轮廓坐标值，量化分析充填效果，其结果见表 5。量化结果表明，通过在预锻模具相应位置增加阻力墙结构，预锻件所有平衡块的充填性均得到了明显的提升，并且上模的提升效果优于下模。

虽然在预锻模具上增加阻力墙结构，提升了预锻件的充填效果。但是考虑平衡块 1、2、5、6 预锻后与下模接触的部分仍有较大距离的未充满区域，结合考虑该平衡块高筋薄壁的结构特点，因此，在终锻模具上同样增加阻力墙结构以改善终锻过程中锻件的充填性，如图 7a 所示。终锻件的充填效果如图 7b 所示，锻件充填饱满，未见折叠缺陷。

对比分析有无限阻力墙结构的三拐曲轴热模锻成形载荷，如图 8 所示。无阻力墙预锻的最大成形载荷为 24.4 MN，增加阻力墙后预锻的最大成形载荷为 33.2 MN，成形载荷提高了 36.1%；无阻力墙终锻的最大成形载荷为 25.7 MN，增加阻力墙后预锻的最大成形载荷为 36.5 MN，成形载荷提高了 42.0%。可以发现，无论预锻还是终锻，增加阻力墙后均使最大成形载荷明显提高，导致成形载荷升高的主要原因为：金属流过阻力墙结构时阻力增大，从而导致成形所需要的载荷增加。

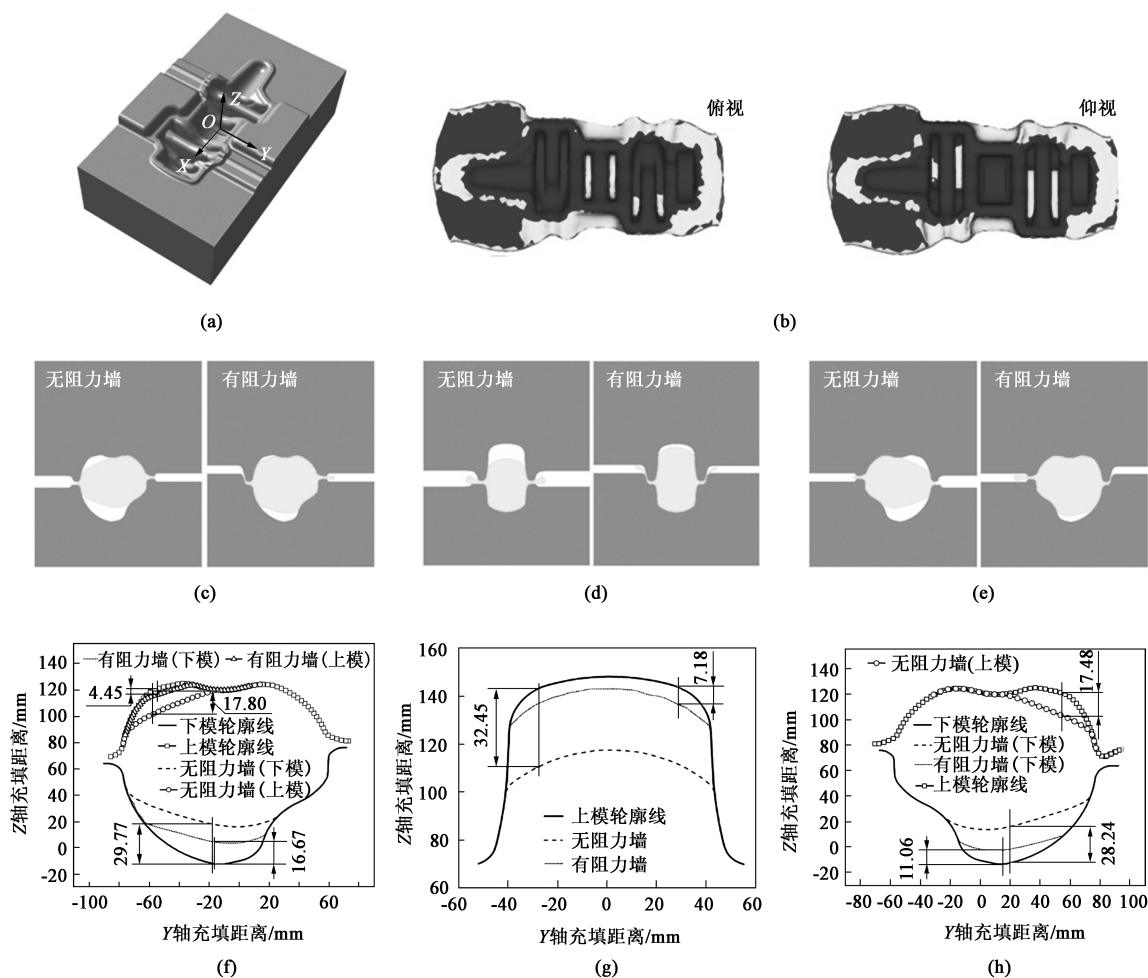


图 6 有阻力墙的预锻下模和预锻件数值模拟结果

(a) 带局部阻力墙结构的预锻下模 (b) 终锻件充填情况 (c) 平衡块 1 的充填情况 (d) 平衡块 3 的充填情况
(e) 平衡块 5 的充填情况 (f) 平衡块 1 的未充填距离 (g) 平衡块 3 的未充填距离 (h) 平衡块 5 的未充填距离

Fig. 6 Bottom dies of pre-forging with and without resistance wall and numerical simulation results of pre-forgings

(a) Bottom die of pre-forging with local resistance wall structure (b) Filling condition of final forgings (c) Filling condition of balance block 1
(d) Filling condition of balance block 3 (e) Filling condition of balance block 5 (f) Unfilled distance of balance block 1
(g) Unfilled distance of balance block 3 (h) Unfilled distance of balance block 5

表 5 带阻力墙结构的预锻件充填效果的量化结果

Table 5 Measurement results of filling effect for pre-forgings with resistance wall structure

接触模具	最大未充填距离/mm				
	平衡块 1		平衡块 3	平衡块 5	
	上模	下模	上模	上模	下模
无阻力墙	17.80	29.77	32.45	17.48	28.24
有阻力墙	4.45	16.67	7.18	0.00	11.06
充填效果提升情况	75.0%	44.0%	77.87%	100%	60.84%

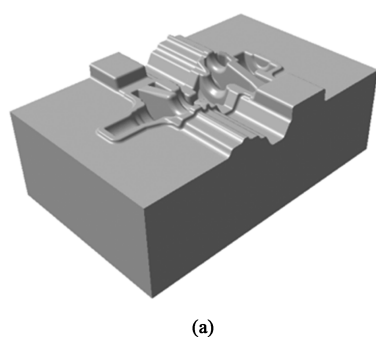
3 工艺实验

以修正方案进行相关工艺实验, 相关模具如图

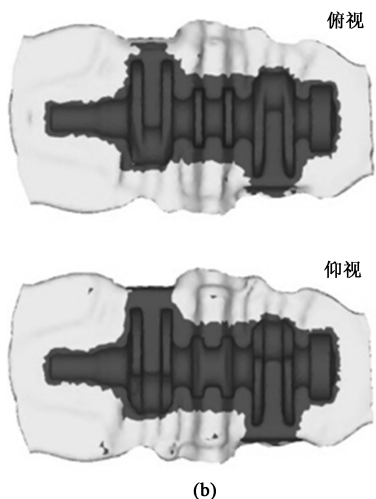
9a 和图 9b 所示。加热设备为 4000 kW 的中频感应加热炉, 加热温度控制在 $(1100 \pm 50)^\circ\text{C}$, 锻造设备为 63 MN 热模锻压力机, 锻后进行热切边和热校正。图 9c 为生产后的锻件, 各平衡块充填饱满、未见折叠等锻造缺陷。

4 结论

(1) 以某三拐曲轴锻件为研究对象, 研究该曲轴用锻态 34CrNiMo6 高强度结构钢的高温流变行为。通过等温热压缩实验获取锻态 34CrNiMo6 高强度结构钢在变形温度为 $900 \sim 1200^\circ\text{C}$ 、应变速率为 $0.001 \sim 1 \text{ s}^{-1}$ 和变形量为 60% 条件下的真实应力-真实应变曲线, 应用该数据在 DEFORM 软件中建立 34CrNiMo6



(a)



(b)

图 7 带局部阻力墙结构的终锻下模 (a) 和终锻件充填情况 (b)

Fig. 7 Bottom die of final forging with local resistance wall structure (a) and filling condition of final forgings (b)

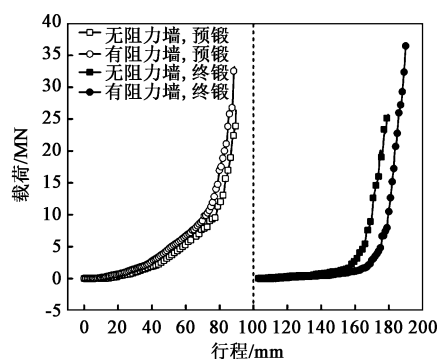


图 8 成形载荷-行程曲线

Fig. 8 Forming load-stroke curves

钢的高温流变模型。

(2) 通过构建三拐曲轴热模锻有限元模型, 模拟分析了三拐曲轴的预锻和终锻成形过程, 并获取预锻件和终锻件的填充情况、温度分布和等效应变分布情况。分析该三拐曲轴平衡块充填不饱满的原因为: 平衡块为典型的高筋薄板, 金属充填平衡块型腔较困难而更容易从阻力较小的桥部流出形成飞边。

(3) 提出在模具局部增加阻力墙结构的改进工艺方案。通过对比改进前后工艺方案的数值模拟结果, 并对填充效果进行量化分析, 结果表明, 预锻件和终锻件的充填效果均得到了有效提升。工艺实验结果表明, 采用带阻力墙结构的改进工艺方案进行热模锻成形, 锻件充填饱满, 无锻造缺陷。



(a)



(b)



(c)

图 9 模具及锻件

(a) 预锻下模 (b) 终锻下模 (c) 锻件

Fig. 9 Dies and forgings

(a) Bottom die of pre-forging (b) Bottom die of final forging (c) Forgings

参考文献:

- [1] 岳镇, 周久红, 蔡宏伟, 等. 某三缸曲轴自动线锻造工艺开发实例 [J]. 金属加工: 热加工, 2018, (11): 12-15.
Yue Z, Zhou J H, Cai H W, et al. Development example of forging process used in a three-cylinder crankshaft automatic production lines [J]. MW Metal Working, 2018, (11): 12-15.
- [2] 王林春, 王开坤, 李亨. S34MnV 锻造曲轴调质处理数值模

- 拟研究 [J]. 热加工工艺, 2021, 50 (12): 125-128, 131.
Wang L C, Wang K K, Li H. Study on numerical simulation of S34MnV forged crankshaft during quenching and tempering [J]. Hot Working Technology, 2021, 50 (12): 125-128, 131.
- [3] Wang X X, Qi Z C, Chen K, et al. Study on the forming accuracy of the three-cylinder crankshaft using a specific die with a pre-formed dressing [J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2019, 104 (1-4): 551-564.

- [4] 舒鹤鹏. 基于 Deform 的汽车发动机曲轴模锻数值模拟及模具优化 [J]. 热加工工艺, 2019, 48 (3): 173-175.
Shu D P. Numerical simulation and die optimization of automotive engine crankshaft die forging based on Deform [J]. Hot Working Technology, 2019, 48 (3): 173-175.
- [5] 郑书华, 占斐龙. 基于 Deform 的飞边槽结构参数对曲轴平衡块模锻质量的影响 [J]. 热加工工艺, 2018, 47 (21): 187-190.
Zheng S H, Zhan F L. Influence of structural parameters of flash groove on die forging quality of crankshaft balance block based on Deform [J]. Hot Working Technology, 2018, 47 (21): 187-190.
- [6] 朱颖, 于洪兵, 张亚岐, 等. 连皮结构对曲轴模锻成形的影响 [J]. 塑性工程学报, 2018, 25 (6): 105-110.
Zhu Y, Yu H B, Zhang Y Q, et al. Influence of wad structure on die-forging of crankshaft [J]. Journal of Plasticity Engineering, 2018, 25 (6): 105-110.
- [7] 周杰, 张渝, 安治国, 等. 基于遗传算法的锻模阻力墙结构多目标优化设计 [J]. 机械工程学报, 2010, 46 (14): 85-90.
Zhou J, Zhang Y, An Z G, et al. Multi-objective optimization design of forging-die resistance wall structure based on genetic algorithm [J]. Journal of Mechanical Engineering, 2010, 46 (14): 85-90.
- [8] 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 J J, Zhou J, Lu X Z. Die structure optimization of minicar crankshaft die [J]. Hot Working Technology, 2011, 40 (23): 231-234.
- [9] 周杰, 舒锐志, 卢先正, 等. 一种双拔模加变斜面锻模结构参数优化设计 [J]. 热加工工艺, 2011, 40 (17): 19-22.
Zhou J, Shu R Z, Lu X Z, et al. Structural parameters design on forging die of a double-pull mode with variable slope [J]. Hot Working Technology, 2011, 40 (17): 19-22.
- [10] 张渝, 安治国, 周杰. 曲轴锻模新型飞边结构的智能优化设计 [J]. 重庆大学学报, 2010, 33 (11): 70-76.
Zhang Y, An Z G, Zhou J. Intelligent optimization design of novel flash structure for crank-shaft forging dies [J]. Journal of Chongqing University, 2010, 33 (11): 70-76.
- [11] Zhang Y J, Hui W J, Dong H. Hot forging simulation analysis and application of microalloyed steel crankshaft [J]. Journal of Iron and Steel Research International, 2007, 14 (5): 189-194.
- [12] 康凤, 杨鄂川, 林军, 等. 曲轴用 34CrNiMo6 高强结构钢的热变形行为研究 [J]. 材料导报, 2013, 27 (4): 49-51, 55.
Kang F, Yang E C, Lin J, et al. Study on hot deformation behavior of high strength construction steel 34CrNiMo6 for crankshafts [J]. Materials Review, 2013, 27 (4): 49-51, 55.

欢迎订阅《锻压技术》杂志 (月刊)

国内外公开发行, 全国各地邮局均可订阅, 逾期末订上者可与编辑部联系邮购

《锻压技术》杂志 1958 年创刊, 中国机械工业联合会主管、北京机电研究所有限公司和中国机械工程学会塑性工程分会主办。本刊是全国锻压行业会刊, 全国中文核心期刊, 被国内外多个著名检索系统收录。突出技术内容, 注重技术和信息相结合, 全面反映锻压行业的技术进步和发展趋势。

主要栏目: 综述、锻造、板料成形、管材成形、特种成形、轧制、装备与成套技术、模具、摩擦与润滑、加热与热处理、测试技术、节能技术、材料与成形性能、理论与实验研究、计算机应用、技术交流、标准化、行业信息等。

读者对象: 大专院校的师生, 金属塑性成形(锻压)领域的科研、设计、生产部门的工程技术人员以及中等以上文化程度的工人等。

本刊为月刊, 每月 25 日出版, 大 16 开本, 232 页。统一刊号: CN11-1942/TG。邮发代号: 2-322。

(一) 购买期刊: ● 每册定价: 25.00 元; ● 年定价: 300.00 元。

(二) 购买合订本: ● 1991-2011 年合订本 (每本包含全年 1-6 期杂志): 110 元/本;

● 2012-2013 年合订本 (每本包含全年 1-6 期杂志): 140 元/本;

● 2014-2018 年合订本 (上册) (包含上半年 1-6 期杂志)、2014-2018 年合订本 (下册) (包含下半年 7-12 期杂志): 180 元/本。

直接通过编辑部订阅者, 请与杂志发行部负责人林玉彤联系。并按编辑部地址汇款, 款到后我们会定期寄给您刊物。

邮局汇款信息:

地址: 北京市海淀区学清路 18 号北京机电研究所有限公司 709 室

邮编: 100083

收款人: 《锻压技术》编辑部

附言处: 请注明“订阅《锻压技术》”

联系人: 林玉彤 电话: 010-62920652-801

E-mail: fst_linyutong@163.com

《锻压技术》编辑部