

SCM435 合金钢接头的冷镦工艺研究与数值模拟

陈永强¹, 陈 玉², 杨 群¹

(1. 芜湖职业技术学院 机械工程学院, 安徽 芜湖 241006; 2. 安徽工程大学 机械工程学院, 安徽 芜湖 241000)

摘要: 某规格的 SCM435 合金钢接头采用“热镦+铣槽”的生产方式, 工序复杂、生产效率低、产品质量不稳定, 针对该问题, 提出了产品质量更稳定、适合批量化加工的多工位冷镦成形工艺。基于单向拉伸试验, 通过 Deform-3D 有限元软件建立了 SCM435 合金钢材料的本构关系和临界损伤模型, 并对合金钢接头各工位的连续冷镦成形过程进行了动态模拟, 从金属流动规律、成形饱满度、成形载荷变化以及损伤值分析等角度来预判潜在的缺陷, 从而验证工艺的可行性。研究结果表明: 针对该合金钢接头制定的 6 工位冷镦工艺方案切实可行, 各工位零件成形良好, 无折叠、开裂缺陷, 金属流动合理, 成形载荷分布均匀, 最大损伤值均小于材料的损伤阈值。最后通过多工位冷镦机进行了试生产, 获得了符合要求的合金钢接头。

关键词: SCM435 合金钢; 多工位冷镦; 接头; 本构关系; 临界损伤模型; 金属流动; 成形载荷

DOI: 10.13330/j.issn.1000-3940.2022.11.004

中图分类号: TG376.3

文献标志码: A

文章编号: 1000-3940 (2022) 11-0028-08

Research and numerical simulation on cold heading process of SCM435 alloy steel joint

Chen Yongqiang¹, Chen Yu², Yang Qun¹

(1. School of Mechanical Engineering, Wuhu Institute of Technology, Wuhu 241006, China;

2. School of Mechanical Engineering, Anhui Polytechnic University, Wuhu 241000, China)

Abstract: A SCM435 alloy steel joint adopts the production mode of “hot upsetting + slot milling”, which has complicated process, low production efficiency and unstable product quality. In view of this problem, a multi-station cold heading process with more stable product quality and suitable for batch processing was proposed to replace it. Based on the uniaxial tensile test, the constitutive relationship and critical damage model of SCM435 alloy steel were established by finite element software Deform-3D, and the continuous cold heading process of each station for alloy steel joint was dynamically simulated. Then, the potential defects were predicted from the perspectives of metal flow law, forming plumpness, forming load change and damage value analysis, and the feasibility of the process was verified. The results show that the six-station cold heading process scheme for the alloy steel joint is feasible, the parts in each station are well formed without folding and cracking defects, the metal flow is reasonable, the forming load distribution is uniform, and the maximum damage value is less than the damage threshold of the material. Finally, the trial production is conducted by the multi-station cold heading machine, and the alloy steel joint that meets the requirements is obtained.

Key words: SCM435 alloy steel; multi-station cold heading; joint; constitutive relationship; critical damage model; metal flow; forming load

随着时代的发展, 各行各业对于连接件的需求越来越广, 尤其是高强度连接件, 在一些特殊的场合的使用过程中需要承受较大的冲击和振动载荷, 因此, 对材料、产品结构等均有一定的要求, 而由于生

产工艺的不足, 不仅生产效率低, 产品的性能也较差, 导致这些零件大部分均依赖于进口。本文研究的合金钢接头如图 1 所示, 该接头是汽车车桥悬架系统中的常用连接件, 对抗疲劳强度和抗冲击韧性等要求较高, 使用的材料为 SCM435 合金钢, 当前采用的加工工艺为先进行“热镦+铣槽”成形, 再进行攻丝, 如图 2 所示。但存在以下主要问题: (1) 由于成形过程中需要加热, 会造成氧化, 需增加去氧化皮工序, 并且存在过热、过烧风险^[1], 成本高; (2) 槽部经铣削成形, 导致连续的组织被切断, 影响强度,

收稿日期: 2021-11-29; 修订日期: 2022-03-01

基金项目: 安徽省质量工程项目 (2019xfzx03)

作者简介: 陈永强 (1982-), 男, 硕士, 副教授

E-mail: chenyc198206@163.com

通信作者: 杨 群 (1982-), 男, 硕士, 讲师

E-mail: yangqun@whit.edu.cn

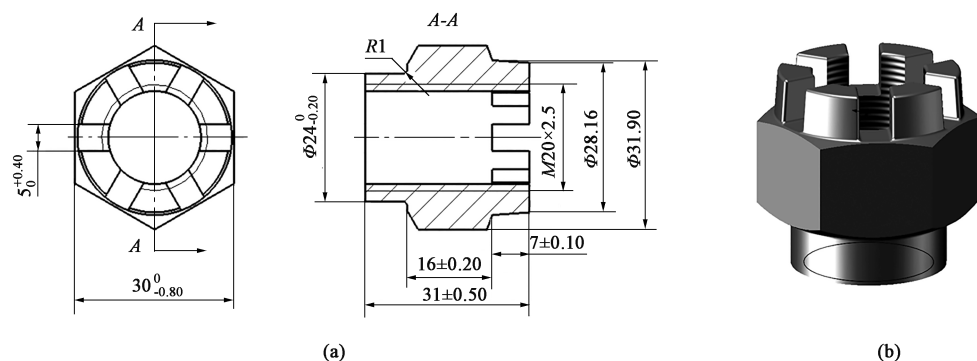


图 1 合金钢接头结构图

(a) 尺寸图 (b) 三维模型

Fig. 1 Structural drawings of alloy steel joint

(a) Dimension drawing (b) Three-dimensional model

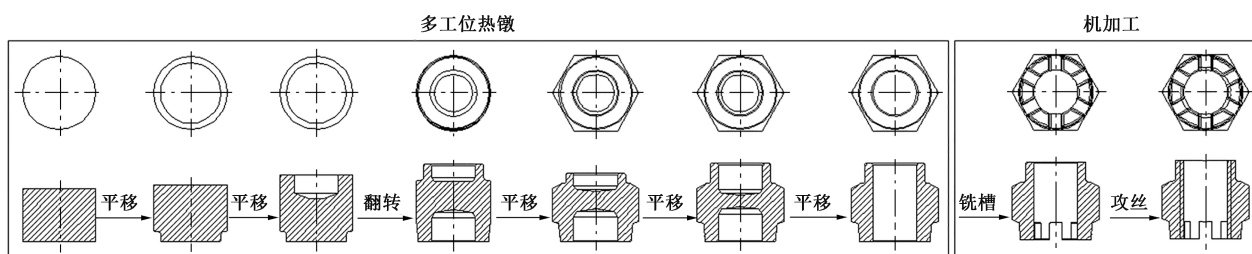


图 2 合金钢接头生产工艺现状

Fig. 2 Present situation of production process for alloy steel joint

使用过程中槽部易发生折断,同时铣削加工会造成材料浪费;(3)工序多,生产效率低,不利于批量化生产。

为了改变现状,拒绝过度依赖进口,提高国产化水平,解决上述存在的问题,必须对现有工艺进行改进,本文提出了生产效率和材料利用率更高、能够提高零件生产质量和力学性能的多工位冷锻加工工艺^[2]。目前,国内对于多工位冷锻技术的应用正由紧固件、简单的标准件向更为复杂的异形件拓展,从而实现产业升级,因此,本文的研究具有一定的意义。冷锻与热锻相比,由于冷作硬化的作用,塑性降低,金属变形抗力更大,变形过大时会引起开裂,使得成形工位数量更多,因此,必须合理地安排各工位的变形量。同时,零件表面刮伤、褶皱、材料折叠、冲头受载过大而严重磨损或断裂等均为冷锻的常见缺陷^[3-4],而通过实际试模来确定缺陷情况会导致成本过高,且偶然性较大,因此,随着计算机技术的发展,更倾向于采用计算机仿真手段进行工艺的设计与确定,并取得了不错的成绩。孙恒^[5]通过 Deform-3D 仿真,对球销的冷锻工艺参数进行了优化,降低了冲

头载荷,提高了冲头寿命。丛兵兵等^[6]基于有限元仿真,对马车螺栓的多工位冷锻工艺进行了研究,通过优化模具结构,消除了充不满、台阶等缺陷,同时缓解了模具受力。姚文俊等^[7]通过有限元分析,从金属流动规律、成形载荷等方面对比研究了法兰轴的两种冷锻成形工艺,有效地防止了折叠缺陷的产生,避免了大量的试模费用。莫德赞^[8]为提高球头拉杆的生产效率,提出了冷锻成形工艺,利用有限元技术进行了成形验证,并以成形载荷及损伤值为优化目标,对工艺进行了优化。因此,本文采用有限元技术,以 SCM435 合金钢接头为研究对象,对其冷锻过程进行了动态模拟,通过金属流动规律、成形饱满度、成形载荷变化和损伤值的分析,验证了工艺的可行性,预测了潜在的缺陷。

1 合金钢接头改进工艺的提出

多工位冷锻成形的关键在于合理地分配各工位零件的变形量,使其处于 SCM435 合金钢的许用变形量 60%~65% 内,保证金属材料在成形中保持良好的塑性和流动性。根据图 1 可知,接头结构可分

为上、中、下 3 部分,初步分析可知:上部凹槽结构可通过反挤压成形,中部六角结构可通过局部镦粗成形,而下部空心柱体结构可通过先正挤压后反挤压成形,因此,最终拟定了如图 3 所示的成形方

案。分 6 步成形:工位 1,正挤压;工位 2,反挤压预成形凹槽;工位 3,预成形空心柱体及再次成形凹槽;工位 4,镦粗成形六角;工位 5,加深上、下端盲孔;工位 6,冲孔成形。

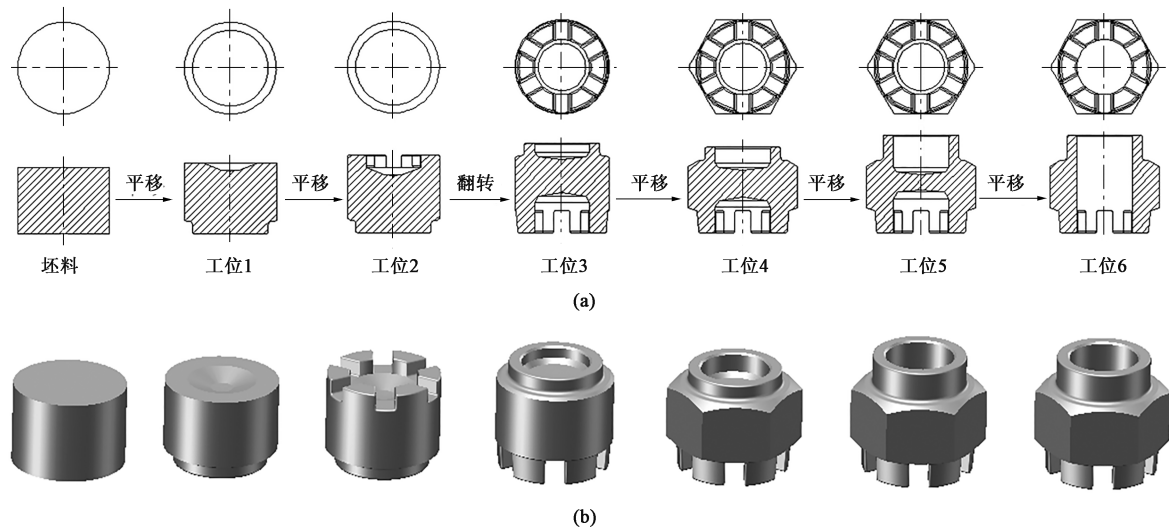


图 3 合金钢接头的 6 工位冷锻成形方案

(a) 二维图 (b) 三维模型图

Fig. 3 Six-station cold heading forming scheme of alloy steel joint

(a) 2D drawing (b) 3D model drawing

2 建立冷锻模拟模型

2.1 模型建立及模拟设置

依照制定的冷锻方案,利用 Solidworks 进行实体建模,绘制坯料及各工位的凸凹模、顶杆等模型,完成位置定位装配后导入 Deform-3D 软件中进行模拟设置,具体内容:(1)采用刚塑性有限元法,将模具设置为刚体,坯料设置为塑性体,坯料材质选择 SCM435 合金钢;(2)温度设置,坯料、模具、环境等温度均设置为 20 ℃;(3)对坯料进行网格划分,变形严重部位进行细化处理;(4)确定动模、定模,设置运动条件;(5)设置接触条件,摩擦类型选择常剪切摩擦,摩擦因数按现场润滑条件设定为 0.1;(6)模拟条件设置,选择步长控制,步长取最小网格尺寸的 1/3^[9],停止条件为各工位动模的运动达到行程范围内的最大值或最小值。工位 1 模拟结束后,更换凸、凹模,进行工位 2 的模拟,依此分阶段完成 6 个工位的连续模拟。

2.2 SCM435 合金钢材料的本构关系

材料本构关系可以用来描述材料变形过程中的应力、应变关系,是确保模拟可靠性的关键。通过

单向拉伸试验获得载荷 T 与伸长量 L 的关系,经式 (1) 转化后可获得材料的工程应力-工程应变曲线,然后通过式 (2) 可获得材料的真实应力-真实应变曲线。由于 Hollomon 幂指数硬化模型更能反映材料的塑性变形,因此,本文采用该模型对真实应力-真实应变曲线进行拟合,数学表达式如式 (3) 所示,对式 (3) 等式两端取对数,拟合后可知硬化因子 k 值为 761.932,应变硬化指数 n 为 0.158。随后导入 Deform-3D 中进行建模。

$$\begin{cases} \sigma_0 = T/A_0 \\ \varepsilon_0 = L/L_0 \end{cases} \quad (1)$$

式中: σ_0 为工程应力; A_0 为原始截面面积; ε_0 为工程应变; L_0 为原始标距。

$$\begin{cases} \sigma = \sigma_0(1 + \varepsilon_0) \\ \varepsilon = \ln(1 + \varepsilon_0) \end{cases} \quad (2)$$

式中: σ 为真实应力; ε 为真实应变。

$$\sigma = k \cdot \varepsilon^n \quad (3)$$

2.3 材料临界损伤模型的建立

为了解各工位零件在发生剧烈塑性变形后的损伤情况,以及是否会出现因损伤过大而造成的材料断裂趋势,引入 Normalized Cockcroft & Latham 损伤理论

来预测材料的断裂行为^[10-11], 其数学表达式如式(4)所示。

$$C = \int_{\bar{\varepsilon}_p} \frac{\sigma_1}{\sigma} d\varepsilon \quad (4)$$

式中: C 为损伤阈值, 锻锻成形中材料某处损伤高于该值, 则认为存在开裂倾向; $\bar{\varepsilon}_p$ 为断裂出现时的应变; σ_1 为最大主应力。

$\bar{\varepsilon}_p$ 及 σ_1 可通过单向拉伸试验获得, 结合式(3)和式(4)可求得损伤阈值 C , 并导入 Deform-3D 中建立拉伸仿真模型进行验证, 对比断面直径, 不断调整直至吻合, 最终确定损伤阈值 C 为 0.46。

3 冷锻模拟结果分析

3.1 金属流动规律分析

由上述冷锻方案可知, 工位 6 冲孔成形为纯剪切工位, 模拟意义不大, 因此不做分析。各工位成形过程如图 4 所示, 工位 1 正挤压, 凸模下压使坯料产生变形, 材料主要向下流动, 成形简单, 变形剧烈部位位于减径处, 见图 4a, 未出现缺陷; 工位 2 反挤压后预成形凹槽阶段是整个方案的关键, 由于受到凹模和顶杆的限制, 下端材料处于难变形区, 几乎不参与变形, 材料变形区位于凸模周边区域, 材料主要向上端流动成形凹槽, 见图 4b~图 4d, 材料流动合理, 未出现折叠等缺陷; 工位 3 预成形空心柱体及再次成形凹槽, 成形初期, 材料受压后向下流动以成形凹槽为主, 而随着工件与凹模接触面积的增加, 增大的阻力限制了材料向下流动, 部分材料转而向上流动成形空心柱体结构, 待上部空间填充完成后, 材料继续向下流动成形凹槽, 见图 4e~图 4g, 无缺陷产生; 工位 4 镦粗成形六角, 成形简单, 材料主要以径向流动为主, 不易产生缺陷, 见图 4h; 工位 5 加深上、下端盲孔, 凹槽结构及空心柱体结构不处于塑性变形区域, 仅进行刚性平移, 剧烈变形主要出现在中间连皮部位, 材料先向下流动完成填充后再向上流动直至成形结束, 见图 4i~图 4j, 材料流动正常, 无折叠等缺陷。

3.2 成形饱满度分析

合金钢接头各工位的成形结果如图 5 所示, 图 5 中的节点通过 Deform-3D 中的 Contact Node 功能显示, 浅色节点表示零件与凸模的接触区域, 深色节点表示零件与凹模及顶杆的接触区域。多工位连续冷锻中, 零件是利用模具组成的封闭空间所产生的约束作用成形的, 因此, 可根据与模具壁面的贴合

情况对零件进行成形饱满度分析, 判断是否存在材料不合理流动而形成的局部空腔, 或过度聚料产生飞边等, 同时也可对初始坯料尺寸进行检验。由图 5 可知, 各工位零件成形饱满, 与模具的接触节点分布均匀, 贴合完整, 未出现充不满及其他缺陷, 表明该多工位冷锻方案是可行的, 各工位零件成形尺寸能够达到要求。

3.3 损伤值分析

由于建立了材料的临界损伤模型, 因此, 可通过损伤值分析来判断各工位零件是否会出现断裂趋势。各工位损伤值分布情况如图 6 所示, 由图 6 可知: 工位 1、4 和 5 的最大损伤值分别为 0.3250、0.2990、0.2090, 与另外两个工位相比相对较小, 不易出现裂纹, 这是由于这 3 个工位成形简单, 变形小, 材料流动容易, 最大损伤均出现在与模具摩擦严重的部位; 工位 2 和 3 的最大损伤值分别达到 0.4110 和 0.4020, 最大损伤部位位于关键的槽部(工位 2)和空心柱体外表面(工位 3), 但损伤值仍然小于 SCM435 合金钢的损伤阈值 0.46, 因此, 出现裂纹的风险较小。但如果采用一次成形槽部时, 极有可能出现断裂现象, 因此, 损伤值分析对于工艺设计的意义重大, 具有一定的指导价值, 就本文而言, 各工位的安排较为合理, 不会出现断裂缺陷。

3.4 成形载荷变化规律

图 7 为不同工位下的成形载荷-行程变化曲线, 各工位成形载荷均随着变形进程的进行呈现不断增长的趋势, 这符合实际规律, 随着零件的成形, 与模具的接触面积必然增加, 增大的阻力产生了限流作用, 因此, 需要更大的成形力, 导致成形载荷不断上升。图 7 中工位 1~工位 5 的最大成形载荷分别为 311、858、823、466 和 524 kN, 工位 1、4 和 5 的变形量较小, 对应的最大成形载荷也相对较小, 同理, 工位 2 和 3 对应的最大成形载荷较大, 也与上述分析相符。由最大成形载荷及模具的有效工作面积可获得模具承受的单位压力^[12], 从而有效地指导模具结构设计, 避免实际冷锻中对模具造成损坏。

4 合金钢接头冷锻试验

4.1 冷锻前处理

合金钢接头改进后的生产工艺为: 材料改制—6 工位冷锻—攻丝—热处理—表面处理—检测—包装。

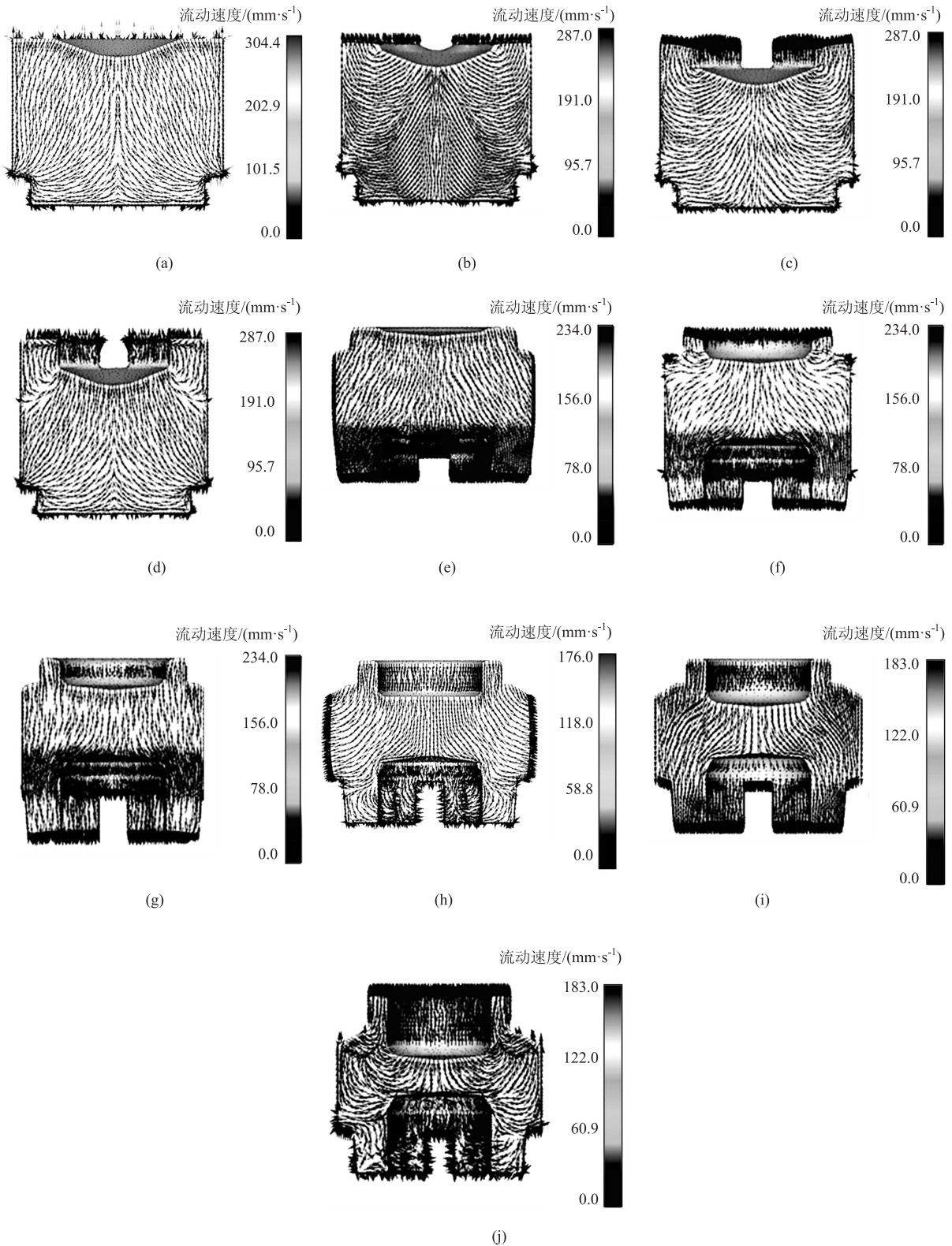


图 4 合金钢接头成形过程

(a) 工位 1 (b) 工位 2 初期 (c) 工位 2 中期 (d) 工位 2 末期 (e) 工位 3 初期 (f) 工位 3 中期 (g) 工位 3 末期
(h) 工位 4 (i) 工位 5 初期 (j) 工位 5 末期

Fig. 4 Forming process of alloy steel joint

(a) Station 1 (b) Initial stage of station 2 (c) Middle stage of station 2 (d) End of station 2 (e) Initial stage of station 3
(f) Middle stage of station 3 (g) End of station 3 (h) Station 4 (i) Initial stage of station 5 (j) End of station 5

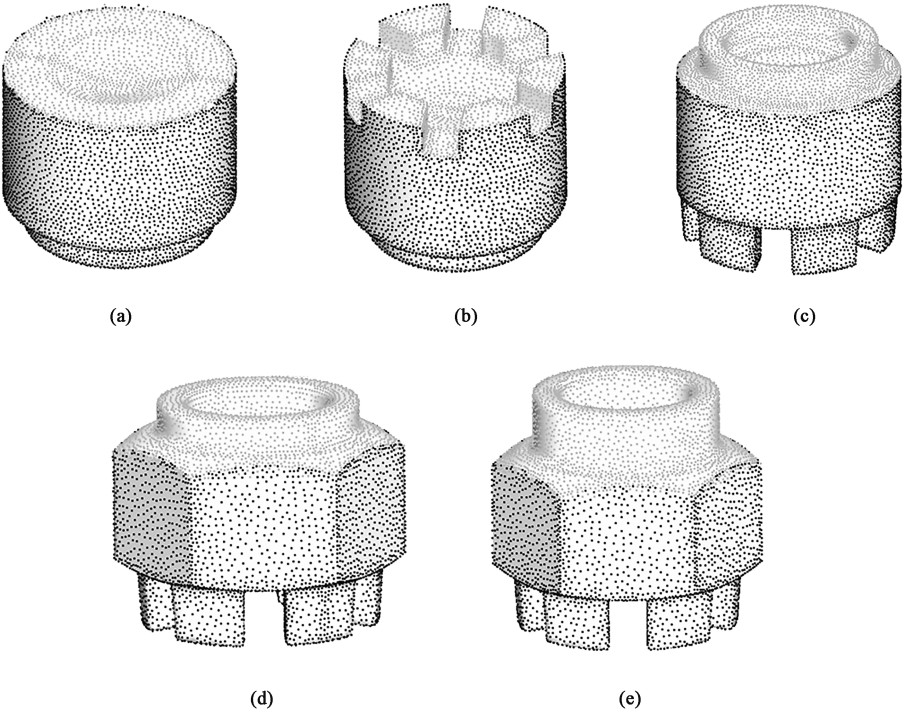


图 5 各工位零件成形形状
(a) 工位 1 (b) 工位 2 (c) 工位 3 (d) 工位 4 (e) 工位 5
Fig. 5 Forming shapes of parts at each station
(a) Station 1 (b) Station 2 (c) Station 3 (d) Station 4 (e) Station 5

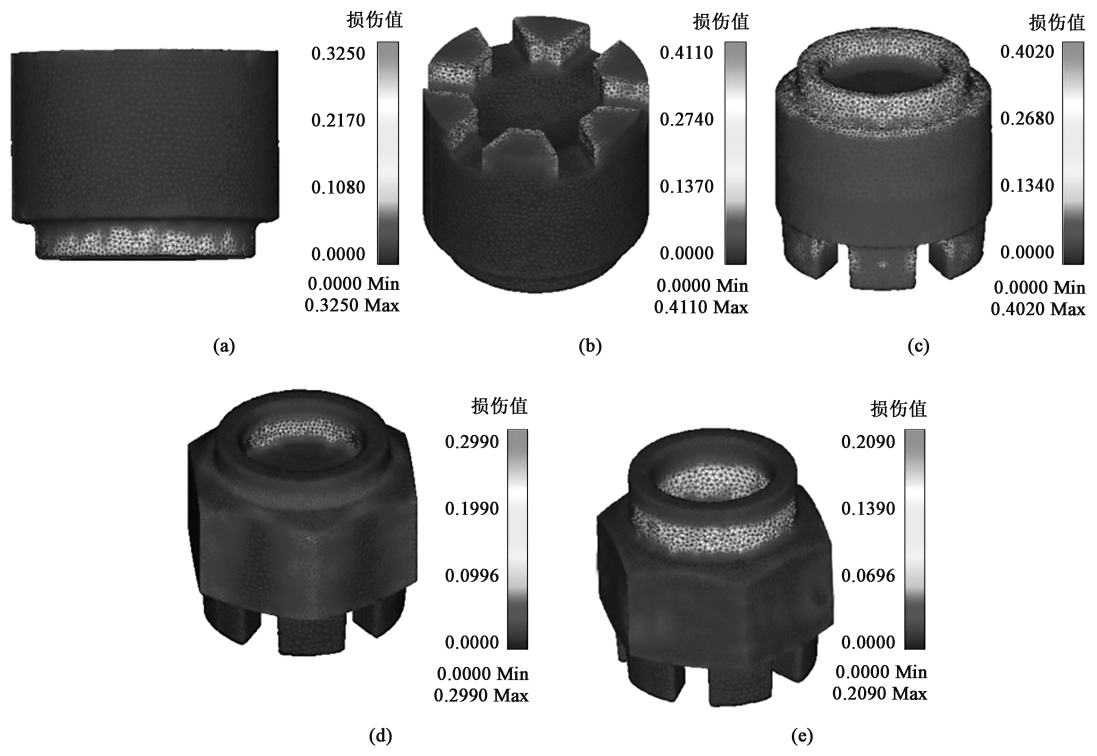


图 6 各工位损伤分布情况
(a) 工位 1 (b) 工位 2 (c) 工位 3 (d) 工位 4 (e) 工位 5
Fig. 6 Damage distribution conditions of each station
(a) Station 1 (b) Station 2 (c) Station 3 (d) Station 4 (e) Station 5

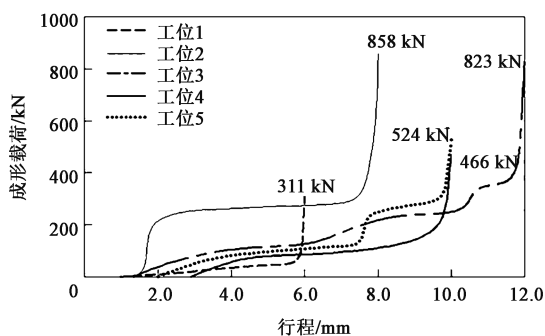


图7 各工位的成形载荷-行程变化曲线

Fig. 7 Variation curves of forming load-stroke for each station

SCM435 合金钢材料的改制方案采用两球两拉工艺, 球化退火后球化率接近 100%, 如图 8 所示, 改制的目的是使线材达到最优的塑性和硬度, 并拉至需要的料径 $\Phi 29\text{mm}$, 其中: 酸洗工序用于去除表面氧化膜和杂

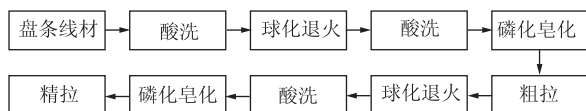
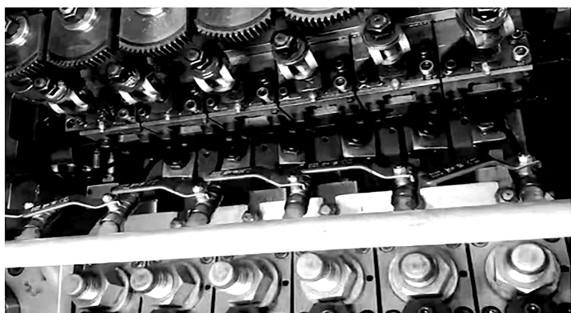


图8 材料改制方案

Fig. 8 Material restructuring scheme



(a)



(b)

图9 合金钢接头冷镦试验结果

(a) 现场模具安装示意图 (b) 各工位零件冷镦结果

Fig. 9 Cold heading test results of alloy steel joint

(a) Schematic diagram of die installation on site (b) Cold heading results of parts at each station

5 结论

(1) 基于单向拉伸试验, 在软件中建立了 SCM435 合金钢材料的本构关系和临界损伤模型, 保证了有限元模拟的正确性, 更贴近实际冷镦条件。模拟结果显示: 各工位成形中, 材料流动合理, 不会出现折叠等缺陷; 零件成形饱满, 能够达到尺寸要求; 零件损伤小于材料的损伤阈值, 不易出现材料断裂, 零件表面质量良好。

质; 第 1 次退火工序用于线材软化; 第 2 次退火工序用于消除粗拉产生的应力; 磷化用于形成磷酸盐薄膜, 但其摩擦因数并不小, 因此, 需要进行皂化处理, 使线材表面形成金属皂层, 增加其润滑性。

4.2 冷镦试验

采用台湾的 JNF 系列 32B6S 冷镦机 (最大切断直径为 $\Phi 32\text{ mm}$) 进行合金钢接头的冷镦试验, 每分钟最大产能为 90 件, 包括 1 个切断工位和 6 个成形工位, 线材切断长度为 20.9 mm。模具安装结果如图 9a 所示, 采用康达特冷镦油对模具进行润滑, 最终获得的各工位零件成形情况如图 9b 所示, 整体成形完整, 表面质量良好, 成形精度高, 制件尺寸能够达到设计要求, 与模拟分析结果一致。其次, 经检测零件内部无质量缺陷, 也与模拟结果相符, 验证了上述建模分析的准确性。同时表明采用该多工位冷镦方案来生产合金钢接头是切实可行的, 能够取代原来的“热镦+铣槽”生产工艺, 有限元技术能够有效地应用于冷镦工艺的研究, 指导模具设计, 减少大量现场试验成本, 对同类型零件的新工艺研发具有一定的借鉴作用。

(2) 有限元模拟能够对实际冷镦试验提供可靠的理论支撑, 通过冷镦试验获得了满足使用要求的合金钢接头, 减少了大量现场试验成本。

参考文献:

- [1] 周恩明. 42CrMo 钢制螺栓断裂失效分析 [J]. 金属热处理, 2019, 44 (11): 241-244.
Zhou E M. Fracture failure analysis of 42CrMo steel bolt [J]. Heat Treatment of Metals, 2019, 44 (11): 241-244.
- [2] Sun M C, Tzou G Y, Zheng L A. Processing animation simulation and FEM analysis of multi-stage cold forging of stainless automotive

battery fastener [J]. Indian Journal of Engineering and Materials Sciences, 2013, 20 (3): 219-224.

[3] 杨万博, 霍元明, 何涛, 等. TC16 钛合金航空紧固件冷锻成形实验研究 [J]. 塑性工程学报, 2020, 27 (10): 7-12.
Yang W B, Huo Y M, He T, et al. Experimental study on cold heading forming of TC16 titanium alloy aerospace fastener [J]. Journal of Plasticity Engineering, 2020, 27 (10): 7-12.

[4] Dikshit S, Gurjar V, Dasgupta R, et al. Studies on cold upsetting behaviour of AA2014-based metal matrix composites, FEM simulation, and comparison with experimental results [J]. Journal of Materials Science, 2010, 45 (15): 4174-4179.

[5] 孙恒. 基于响应面法的球销终锻工艺优化 [J]. 煤矿机械, 2020, 41 (5): 105-108.
Sun H. Optimization of final upsetting process of ball pin based on response surface method [J]. Coal Mine Machinery, 2020, 41 (5): 105-108.

[6] 丛兵兵, 孔明, 张弘斌, 等. 马车螺栓冷锻成形有限元模拟及模具设计 [J]. 塑性工程学报, 2022, 29 (2): 76-81.
Cong B B, Kong M, Zhang H B, et al. Finite element simulation and die design of cold heading forming for carriage bolt [J]. Journal of Plasticity Engineering, 2022, 29 (2): 76-81.

[7] 姚文俊, 陈松. 汽车法兰轴结构件塑性成形工艺分析及改进 [J]. 锻压技术, 2020, 45 (11): 7-12.
Yao W J, Chen S. Analysis and improvement on plastic forming process for structure part of automobile flange shaft [J]. Forging & Stamping Technology, 2020, 45 (11): 7-12.

[8] 莫德赞. 汽车悬架球头拉杆冷锻成形技术 [J]. 锻压技术, 2020, 45 (2): 55-60.
Mo D Y. Cold forming technology of ball head tie rod for automobile suspension [J]. Forging & Stamping Technology, 2020, 45 (2): 55-60.

[9] 胡建军, 李小平. Deform-3D 塑性成形 CAE 应用教程 [M]. 北京: 北京大学出版社, 2011.
Hu J J, Li X P. Deform-3D Plastic Forming CAE Application Tutorial [M]. Beijing: Peking University Press, 2011.

[10] 金城旭, 闫萌萌, 任靖日, 等. 轮毂螺栓断裂有限元分析 [J]. 塑性工程学报, 2016, 23 (5): 192-196.
Jin C X, Yan M M, Ren J R, et al. FE analysis of fracture for hub bolt [J]. Journal of Plasticity Engineering, 2016, 23 (5): 192-196.

[11] 刘德政, 李炎, 王羽, 等. 韧性断裂阈值在冲压工艺分析中的应用研究 [J]. 制造业自动化, 2019, 41 (8): 24-28.
Liu D Z, Li Y, Wang Y, et al. Research on critical value of ductile fracture for stamping process [J]. Manufacturing Automation, 2019, 41 (8): 24-28.

[12] 刘光辉, 刘华, 王涛, 等. 六角抽孔螺栓多工位冷锻成形工艺 [J]. 锻压技术, 2020, 45 (2): 49-55.
Liu G H, Liu H, Wang T, et al. Multi-station cold upsetting process for six-angle hole bolt [J]. Forging & Stamping Technology, 2020, 45 (2): 49-55.

喜讯：《锻压技术》杂志五篇论文荣获“2022 年度中国机械工程学会优秀论文”奖

近日，中国机械工程学会公布了 2022 年优秀论文遴选结果的通知，经过评审专家网上评议和评审专家委员会会议评审，遴选出 100 篇优秀论文，其中综述型 7 篇、基础研究论文 34 篇、应用研究论文 59 篇。《锻压技术》杂志共 5 篇论文入选。

《锻压技术》杂志获得“2022 年度中国机械工程学会优秀论文”奖清单

序号	论文题目	作者	单位	刊期
1	弯曲预成形和液压成形对汽车装饰尾管壁厚分布的影响	李明; 徐勇; 张士宏; 夏亮亮; 任纯磊; 陆翰; 李经明; 李博	中国科学院金属研究所、中国科学技术大学、苏州事达同泰汽车零部件有限公司、河南孟电集团兴迪锻压设备制造有限公司	2020 年 3 期
2	面向节能的冲压车间调度优化方法	陈帆; 刘志峰; 黄海鸿; 熊玮	合肥工业大学	2018 年 1 期
3	铝合金管材超低温介质压力胀形行为	凡晓波; 王旭刚; 陈险烁; 苑世剑	大连理工大学、哈尔滨工业大学	2021 年 4 期
4	智能锻压设备及其实施途径的探讨	赵升吨; 张鹏; 范淑琴; 李靖祥; 董朋; 王永飞; 张海霞	西安交通大学	2018 年 7 期
5	TA32 钛合金板成形性能与电磁辅助弯曲成形实验研究	林遵东; 吕枫; 韩玉杰; 王耀奇; 董淑辉; 于海平	哈尔滨工业大学、中国航空制造技术研究院	2021 年 1 期

恭喜以上论文作者获得“2022 年度中国机械工程学会优秀论文”奖！

感谢广大作者、读者对《锻压技术》杂志长久以来的信任与支持！《锻压技术》将会不懈努力，继续秉承办刊宗旨，不忘初心，努力刊登出更多锻压领域具有高影响力的文章，努力促进锻压新技术、新成果的交流、普及和发展。

《锻压技术》编辑部