

安全带高强度钢阶梯螺栓精密锻造成形工艺设计与优化

吴小亮¹ 蔡雅芳^{2,3} 方洁^{2,3} 陶惠敏² 童泽奇² 周裕鹏¹ 陈万吉²

1. 自立紧固科技(湖州)有限公司; 2. 浙江水利水电学院 机械与汽车工程学院; 3. 中国计量大学 机电工程学院

DOI: 10.12238/ems.v6i7.8196

[摘要] 为解决一种安全带用 10B21 冷镦钢阶梯螺栓多工位冷镦成形出现的飞边缺陷、模具寿命低问题, 本文设计了一种新型安全带螺栓紧固件成形工艺, 并运用 DEFORM-3D 软件对安全带螺栓成形各工位的锻造过程依次进行了模拟分析。首先通过将有限元软件模拟仿真结果与实际加工结果比较, 证明了仿真结果的可靠性。其次根据引起飞边缺陷的起因, 改进了第四道工序的凹模结构, 解决了原有凹模结构磨损严重, 寿命低的问题, 最后对改进的凹模结构进行了检验, 结果表明: 改进的凹模结构试验与仿真结果相符, 安全带螺栓紧固件无飞边缺陷, 成形饱满, 形状、尺寸均达到产品加工工艺要求。

[关键词] 安全带螺栓; 飞边缺陷; 凹模优化; 模具寿命延长

Design and optimization of precision forging forming process for high strength steel step bolt of safety belt

Wu Xiaoliang¹ Cai Yafang^{2,3} Fang Jie^{2,3} Tao Huimin² Tong Zeqi² Zhou Yupeng¹ Chen Wanji²

1. Self-reliance fastening Technology (Huzhou) Co., Ltd., 2. Zhejiang University of Water Resources and Electric Power School of Mechanical and Automotive Engineering; 3. China Jiliang University College of Mechanical and Electrical Engineering

[Abstract] In order to solve the problems of flash defects and low die life in multi-station cold heading forming of a 10B21 cold heading steel step bolt for seat belt, a new forming process of seat belt bolt was designed in this paper. The forging process of each station of seat belt bolt forming was simulated and analyzed by DEFORM-3D software. Firstly, the reliability of the simulation results is proved by comparing the finite element software simulation results with the actual machining results. Secondly, according to the causes of flash defects, the concave die structure of the fourth station is improved to solve the problems of serious wear and low life of the original concave die structure. Finally, the improved concave die structure is tested. The results show that: The improved die structure test is consistent with the simulation results. The safety belt bolt fastener has no flash defect, the shape is full, and the shape and size meet the processing requirements of the product.

[Keywords] safety belt bolt; Flash defect; Bottom die optimization; Die life extension

引言

汽车安全带系统的固定点大量使用高强度螺栓连接,主要用于拉力和剪切力的传递,其对于车辆实现安全性能非常重要^[1]。基于此种原因,本文设计了一种安全带螺栓紧固件多工位冷镦成形工艺和模具结构。但在实际生产过程中发现,由于安全带螺栓凹模采用分片式结构,成形过程中凹模受力不均匀,造成产品尺寸过大,凹模磨损严重。为了解决模具寿命过短的问题,设计了整体式的凹模结构,并借助有限元软件 Deform-3D,完成了安全带螺栓各个工位成形过程的模拟,并与实际成形结果进行对比,验证模拟成形工序的准确性。通过工厂实际生产验证,改进后,每套模具至少成形 7 万件产品,模具寿命大大提高。

1. 安全带螺栓成形工艺介绍

本文中的安全帶螺栓紧固件利用的是 10B21 钢材料。其拥有良好的力学性能, 具有高强度和硬度, 被广泛用于机械、电子等行业^[2-3]。

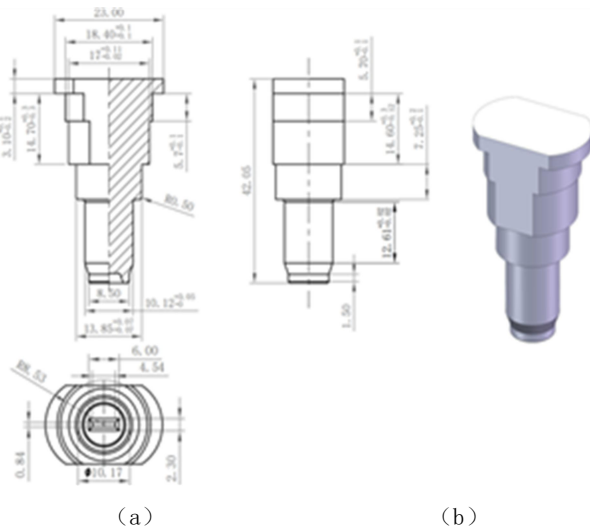


图 1 安全带螺栓结构图

(a) 二维图 (b) 三维图

安全带螺栓紧固件结构如图 1 所示, 整体截面尺寸变化大, 需要同时成形上下两端带阶梯和圆角结构的杆部结构, 一次性冷锻成形容易出现模具锻件开裂、飞边严重等问题。因此, 适合采用多步锻造成形, 更易控制缺陷^[4]。本文设计了下料→缩径→一次镦粗→二次镦粗→终锻这 4 个工位的冷锻成形工艺: (1) 下料, 锻件的初始坯料尺寸为 $\Phi 13.5\text{mm} \times 46.53\text{mm}$; (2) 工位 1 缩径, 对初始坯料进行重塑直径和倒圆角处理。 (3) 工位 2 一次镦粗, 将缩径得到的成形件, 进行

切边、圆角化和阶梯化处理，形成三层分段结构；（4）工位 3 二次镦粗，该工位主要对锻件顶部和中部进行去圆角化和重塑外形处理；（5）工位 4 终锻，对锻件进行圆角化和重塑阶梯化处理，最终得到安全带螺栓紧固件成品。

2. 安全带螺栓锻造成形模拟与分析

2.1 模型建立及模拟参数设定

利用 SolidWorks 分别对四个工位的凸模、凹模和中间坯料进行三维建模, 转换为 STL 格式后再导入 Deform-3D。在运动条件设置模块, 凸模、凹模和中间坯料三者中只有凸模发生运动, 所以需对凸模的运动方向及速度大小进行设定, 凸模速度设置为 5mm/s, 并且根据凸模下压行程来确定模拟的终止条件; 在接触条件设置模块, 将模具与坯料的摩擦因数设置为 0.12; 在模拟控制模块, 温度根据实际加工情况设定为 20℃; 采用四面体网格进行划分, 最小模拟步长根据最小网格尺寸的 1/3 来设定^[5]。

2.2 模拟结果分析

图 3、图 4 分别为各工位成形后的等效应力图和等效应变变图。工位 1 的最大等效应力和最大等效应变主要集中在坯料的减径处和坯料下端,这也说明凸模对坯料的挤压较充分。工位 2 由于坯料顶端的运动和变形都超前于坯料下端,因此坯料受力整体上也随之呈现出从上至下逐渐减小的趋势。工位 3 的最大等效应力主要集中在坯料顶部、末端和减径处,由于凸模运动到一定位置后,金属材料会集中向缝隙、角落等细节处流动,随着凸模的挤压,所以也会承受较大的力。工位 4 为成形工位,变形和受力主要发生在坯料的减径处和顶端,且由图可看出坯料表面受力较为均匀,不会导致微裂纹和其他缺陷产生。

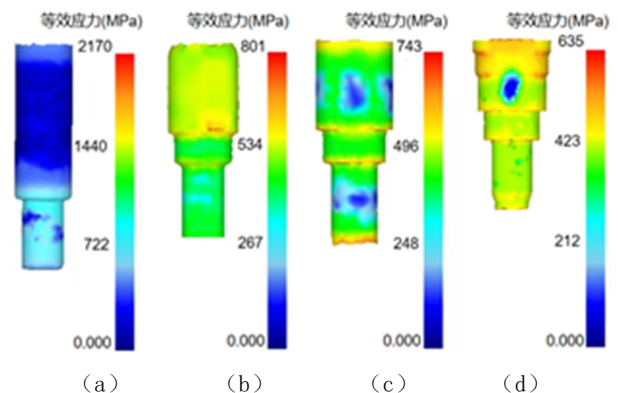


图3 各工位等效应力图

(a) 工位 1 (b) 工位 2 (c) 工位 3 (d) 工位 4

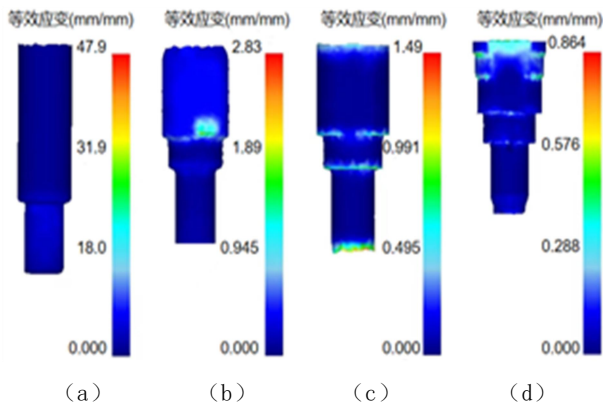


图4 各工位等效应变图

(a) 工位1 (b) 工位2 (c) 工位3 (d) 工位4

3. 安全带螺栓模具设计

按照成形工艺方案确定四个工位的坯料尺寸, 分别设计各个工位的凹、凸模结构。四个工位的模具工作情况相同, 凸模向下运动, 凹模固定不动。在整个成形过程中坯料始终与凹凸模的顶针保持接触, 成形后凸模上行, 凹模顶针将坯料推出。工位1模具为缩径模, 工位2是对坯料头部进行镦粗。由于采用上模成形法镦制的螺栓, 成形效果更好^[6], 因此工位2采用上模成形。工位3是将坯料头部镦平, 整个坯料都处于凹模中且凹模外圈采用预应力结构。

工位4所得到的产品会出现飞边、毛刺等缺陷, 且产生的飞边毛刺在锻造结束退模时会对模具造成损伤。因此针对这些问题, 对工位4的凹模结构进行了改进, 新凹模三维图如图5。可见, 新凹模对应成品切边部位由一整块材料加工而成, 对应图中红色区域。且凹模外圈采用预应力结构, 可延长模具寿命。



图5 工位4新凹模三维图

4. 试制

模拟结果表明, 改进后的凹模结构能够有效解决原工艺

凹模结构不能连续生产, 寿命低的问题。试模后各个工位的成形件见图6, 各工位的零件成形良好, 无明显缺陷, 模具使用寿命大大提高。

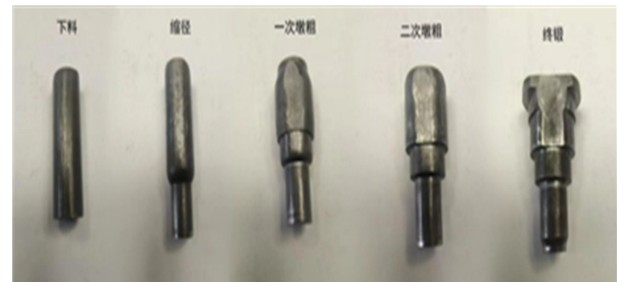


图6 安全带螺栓各工位成形件

5. 结论

(1) Deform-3D 仿真和试验结果表明本文四个工位的工艺设计均合理, 未出现由于受力不均导致的毛刺、尺寸偏大、飞边等缺陷。

(2) 通过改进终锻工位的凹模结构, 能够优化材料流动过程, 降低产品成形时模具的应力。采用新凹模锻造坯料受力均匀, 无飞边毛刺产生, 大大提高了模具寿命。

[参考文献]

[1] 彭龙, 余标华. 汽车安全带高强度螺栓表面处理技术应用及展望[J]. 南方农机, 2021, 52 (08): 23-6.

[2] 郭静, 李明星. 基于 Deform-3D 的汽车差速器壳体模锻工艺改进[J]. 锻压技术, 2023, 48 (04): 38-47.

[3] 卜军伟, 蔡云. 基于 DEFORM 的直齿圆柱齿轮精锻工艺[J]. 锻压技术, 2021, 46 (11): 43-8.

[4] 吴思远, 董莹, 邵恒睿, 等. 基于 DEFORM-3D 的高压油轨热锻工艺数值模拟及晶粒度预测[J]. 锻压技术, 2024, 49 (01): 38-46.

[5] 孙如梦, 周礼菊, 司大强, 等. 基于 DEFORM-3D 的新能源电池壳底部台阶镦挤成形工艺改进与优化[J]. 锻压技术, 2023, 48 (09): 1-6.

[6] 史艳霞. 一种高强度螺栓零件加工工艺研究[D]. 大连理工大学, 2017.

基金项目: 浙江省尖兵领雁项目: 新能源汽车零部件的绿色智能压铸关键技术和装备研发 (编号: 2023C01156); 浙江省公益项目: 提高热模锻机床瞬态动刚度的等效敏感度—HC A 方法研究 (编号: LGG22E050034); 浙江省尖兵领雁项目: 新能源汽车高性能驱动电机研发及应用示范 (编号: 2022C01070)。