

文章编号:1672-0121(2006)01-0049-03

# 汽车离合器衬套冲锻复合工艺研究及其数值模拟

李雪松, 陈 军, 吴公明, 王 刚

(上海交通大学 国家模具 CAD 工程技术研究中心, 上海 200030)

**摘要:**介绍了冲锻复合成形工艺,并将其应用于所研究的汽车离合器衬套的局部增厚。借助专业有限元模拟软件 DEFORM-3D 模拟了冲锻复合成形这个工艺过程并对其进行了优化,比较分析其模拟结果可知优化后的两步冲锻复合成形比原先的一步冲锻复合成形更加合理。

**关键词:**机械制造;冲锻复合成形;离合器衬套;数值模拟

中图分类号: TG386

文献标识码: A

## 1 引言

在塑性成形技术的发展过程中,复合化一直是一种技术创新的重要途径,其特点是在成形过程中将原来分属不同范畴的加工方法组合起来使用。其目的是节约材料和能源,减少加工难度和加工工序,提高零件的加工精度,尽可能做到无切削(即净形 Net Shape)或少切削(即近净形 Near Net Shape)加工,提高劳动生产率和降低成本,以满足日益发展的工业和社会需求<sup>[1]</sup>。

板料成形变形力小,成形过程简单,但仅能成形等壁厚件,限制了它的应用范围。随着汽车工业中一些薄壁但壁厚有变化的零件的大量出现,板料冲压与冷锻复合塑性成形技术得到发展,其工艺路线为上述两种工艺路线的交叉和综合:板料平面应力变形+三向应力体积成形冲压冷锻件。

作为一种复合成形工艺,冲锻复合技术兼有板料冲压和冷锻技术的特点:①原材料为板料或金属带料,材料利用率和普通板料冲压相当;②变形过程

中至少在局部有明显的塑性流动;③可成形壁厚有变化的零件,成形件精度高,和冷锻件相当<sup>[2]</sup>。

对金属塑成形过程的计算机模拟,是取代目前在金属成形企业仍被广泛应用的试错法最有力的方法<sup>[3]</sup>。文中借助塑性加工专用有限元分析软件 DEFORM-3D,对所设计的工艺过程进行数值模拟,预测板料变形过程的金属流动情况,应力场、应变场的空间分布,以及是否会产生成形缺陷,并对工艺进行优化。

## 2 汽车离合器衬套冲锻复合成形工艺研究及其数值模拟



图1 离合器衬套的三维模型

图1是本文所研究的汽车离合器衬套的三维模型。其底壁中心的直径为 $\phi 40$ 的圆孔,在圆孔边缘外侧有一厚度为3.5mm的突出部分,另外还有一 $45^\circ$ 倒角斜面,如图2所示。

圆孔边缘外侧的

收稿日期:2005-10-26

作者简介:李雪松(1981-),男,硕士在读,主攻金属塑性成形的数值模拟

## Hydraulic Pressure Drawing Technique in Bodywork Manufacture

WANG Hongjun<sup>1</sup>, FAN Haiyan<sup>2</sup>

(1.Shanghai Volkswagen Automotive Co.Ltd, Shanghai 201805, China;

2.Shanghai University of Science and Technology, Shanghai 200093,China)

**Abstract:**The application of hydraulic pressure drawing techniques in stamping forming part of car bodywork has been mainly introduced.

**Keywords:**Hydraulic pressure drawing; Technique; Bodywork manufacture

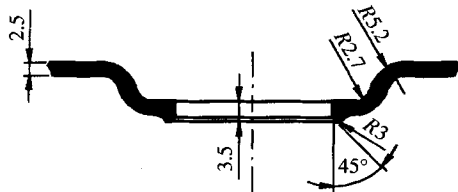


图2 圆孔边缘外侧形状

厚度为 3.5mm 的突出部分需要通过一个聚料工序才能形成, 所以先要通过一个冲锻复合工艺进行聚料, 使圆孔边缘外侧增厚, 然后再把中心  $\phi 40$  的圆孔冲掉。图 3 为冲锻复合成形和冲孔成形后的工件形状示意图。

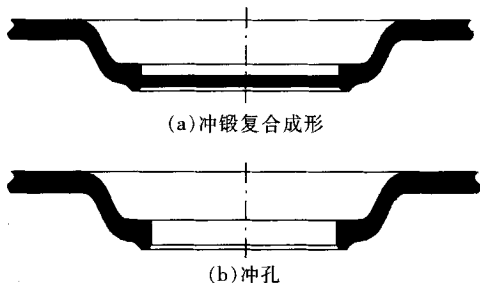


图3 冲锻复合成形和冲孔成形后的工件形状示意图

为便于进行有限元分析计算并保证具有较高的精度, 本文作出如下基本假设: 模具视为刚体; 坯料视为刚塑性应变硬化材料; 忽略变形中的温度变化。模具型腔曲面采用细密的三角形网格描述, 坯料采用四节点四面体单元描述。考虑工件的轴对称性和工艺的特点, 为了提高模拟的效率, 选用整个工件的 1/6 (即  $60^\circ$ ) 进行模拟。对坯料的网格划分采用绝对划分的方法, 最小单元尺寸为 0.8mm, 尺寸比率为 2, 同时对复杂部位采用添加网格窗口的形式予以局部细化。该零件工艺过程的数值模拟相关参数设置为: 工作温度室温 ( $20^\circ\text{C}$ ), 摩擦系数 0.12, 冲头速度  $20\text{mm/s}$ 。

材料 ST14, 性能参数见表 1, 应力应变曲线由公式  $\bar{\sigma} = K \bar{\varepsilon}^n$  确定, 式中参数分别取为:  $K=596.7, n=0.223$ 。另外, 因板料厚度 2.6mm, 模拟时考虑了其各向异性对成形的影响。

### 2.1 初始冲锻工艺方案

表 1 ST14 材料性能参数表<sup>[4]</sup>

牌号	方向	厚度	屈服强度 $\sigma_{0.2}/\text{MPa}$	抗拉强度 $\sigma_t/\text{MPa}$	均匀伸长率 $\delta/\%$	断裂伸长率 $\delta_t/\%$	厚向异性系数 $r_{15\%}$	硬化指数	K 值
ST14		1.0	167	319	25	44	1.828	0.226	561
	0°		178	329	23	42	1.262	0.218	672
	45°		172	317	24	41	2.032	0.224	557
	90°		172.3	321.7	24	42.3	1.596	0.223	596.7

图 4 为初始冲锻工艺方案示意图, 由于工件在底部圆孔边缘外侧的增厚量仅为 1mm, 增厚量比较小, 为此尝试采用一步冲锻成形。模具由上、下凹模

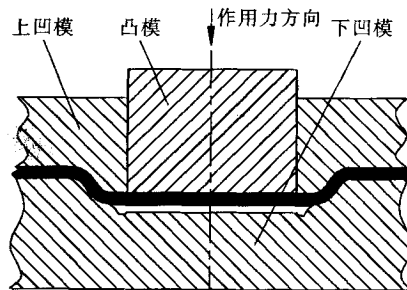


图4 初始冲锻复合工艺示意图

和凸模组成, 成形时, 凸模首先向下运动, 对工件进行冲压; 当下行的金属接触到下凹模底部时, 将迫使金属沿与凸模运动方向垂直的方向运动, 向下凹模的周边的空腔部位聚料, 类似于径向挤压。下凹模的设计中包含了圆孔边缘外侧的  $45^\circ$  倒角面的成形, 这样工件圆孔边缘的形状就能够一步成形出来。上凹模起压料的作用。

图 5 为初始方案成形最终状态的数值模拟等效应变、应力分布图以及轴向载荷—行程图。

从图 5a、b 可以看出, 工件在增厚的部位应变、应力高度集中, 金属变形异常剧烈, 容易产生成形缺陷。从图 5c 分析可知, 在冲压阶段轴向载荷增加的速率比较缓慢, 到了迫使金属沿与凸模运动方向相垂直的方向运动时, 所需的轴向载荷骤然上升, 变形比较困难。从图上得到的最终总加载力为  $7220\text{kN}$ , 由于模拟的只是整个工件的 1/6, 故总加载力为  $722 \times 6 = 4332\text{t} = 43320\text{kN}$ , 这对压力机以及模具提出了很高的要求。

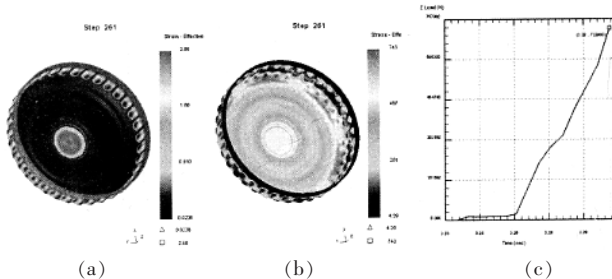


图5 初始冲锻方案模拟结果图

(a) 等效应变图 (b) 等效应力图 (c) 轴向载荷—行程图

### 2.2 优化后的冲锻工艺方案

针对初始方案中增厚部位应力过于集中以及凸模加载力过大的问题, 对初始方案进行了改进, 优化工艺方案变形开始阶段示意图见图 6。冲冷锻复合工艺分两步实现, 第一步上凸模向下运动, 其他模具不动, 下凹模 1 的顶部形状为一个由中心向四周呈

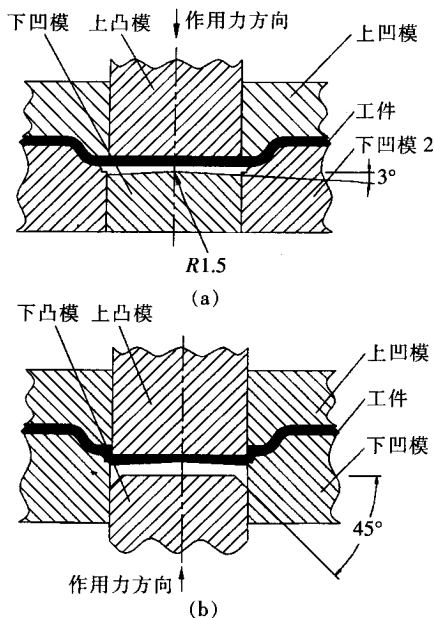


图6 优化冲锻复合成形示意图

(a)成形第一阶段 (b)成形第二阶段

斜度为 $3^\circ$ 的斜面,这样有利于金属向四周流动,从而有利于聚料。为了避免中心部位应力过于集中,中心部位由一段半径为 $R1.5$ 的圆弧过渡。第二步下凸模向上运动,其他模具不动。下凸模四周倒 $45^\circ$ 的斜面,以成形工件圆孔边缘部位的 $45^\circ$ 倒角斜面。

图7为优化冲锻复合工艺方案成形最终状态的

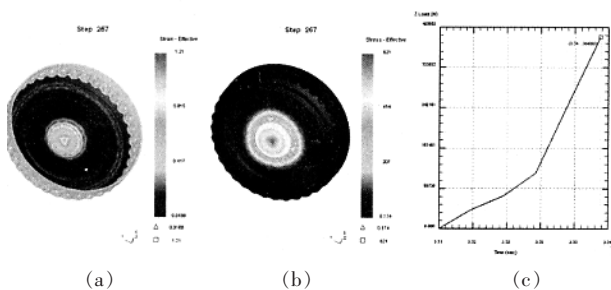


图7 冲锻优化方案模拟结果图

(a)等效应变图 (b)等效应力图

(c)轴向载荷—行程图

数值模拟等效塑性应变、应力分布图以及轴向载荷—行程图。

与初始冲锻复合工艺方案相比,增厚的部位的应力过于集中状况有了很大的改善,金属流动也更加容易。可以看出圆孔中心部位有应力比较集中,容易造成模具相应部位的磨损,但此处的料最终是要冲掉的,所以对整个工件的形状精度并无影响。从轴向载荷—行程图上分析可知轴向载荷增加的速率变化没有初始方案中那么急剧。最终状态整个工件成形时的加载力为 $384 \times 6 = 2304t = 23040\text{kN}$ ,比初始方案的加载力有了明显下降,从而降低了对压力机的要求,降低了生产成本,减少了成形缺陷形成的可能性,说明该优化工艺方案更加切实可行。

### 3 结论

采用冲锻复合塑性工艺,成功地实现了汽车离合器衬套底部圆孔边缘外侧部位的增厚。从数值模拟的结果分析可知,初始设计的一步成形冲锻方案在增厚部位的应力、应变出现高度集中,容易造成成形缺陷,而且要求的加载力过高,这对压力机和模具提出了很高的要求。优化后的两步成形冲锻方案使情况得到了很好的改善,比一步成形冲锻方案更加切实可行。

#### 【参考文献】

- [1] 蒋鹏,贺小毛,等.复合塑性成形新技术及其应用.锻压技术,2000,(1):38-41.
- [2] 蒋鹏.板料冲压冷锻复合成形技术及其应用.汽车工艺与材料,2000,(9):8-11.
- [3] Ken-ichi Matsuno..Recent research and development in metal forming in Japan.Journal of Materials Processing Technology,1997:1-3.
- [4] 艾健.汽车覆盖件冲压工艺的稳健设计研究.上海交通大学硕士学位论文,2003.

## Research of Stamping-forging Composite Process of Automobile Clutch Bush and its Numerical Simulation

LI Xuesong, CHRN Jun, WU Gongming, WANG Gang

(Shanghai Research Institute of Tool & Die Technology, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China)

**Abstract:** Stamping-forging composite process has been introduced and employed in thickening some part of clutch bush. In order to design reasonable forming process, DEFORM-3D FE software has been employed to analyze this process. The analysis of numerical simulation results demonstrated that the two-step stamping-forging composite process was more reasonable than one-step stamping-forging composite process.

**Keywords:** Clutch bush; Stamping-forging composite process; Numerical simulation