

冲压梁类零件侧壁回弹缺陷分析及解决措施

潘远安¹, 王强², 肖冰¹

1. 长春汽车工业高等专科学校 吉林长春 130013

2. 中国第一汽车集团公司 吉林长春 130013

摘要: 轿车车身中梁类零件侧壁回弹缺陷是冲压工艺难点问题, 其质量好坏直接影响到车身的性能指标。基于对多个轿车车型平台梁类零件冲压成形设计、工艺与生产的经验积累, 深度分析轿车梁类零件拉伸过程中回弹缺陷产生原因, 通过选取零件在模具制造和调试过程中遇到的三类典型的梁类冲压回弹缺陷解决方案, 从产品设计、冲压工艺、模具设计及模具调试等方面提出梁类零件冲压回弹缺陷控制措施, 节约后期调试、维修和改造成本, 有利于缩短车型生产周期。

关键词: 梁类零件; 回弹; 解决方法; 控制措施

梁类零件是汽车车身典型骨架零件, 对整个车身有着举足轻重的作用; 又是车身的重要承载部件, 很大程度上保证了车身的强度和刚度^[1-3]。车身梁的强度和刚度不足会使传动系统的各部件配合不好, 导致零件早期损坏^[4]; 底部结构的刚性不足也会引起前后风窗及门洞口尺寸的变化, 影响风窗玻璃安装和车门的正常开关^[5]。另外, 梁结构的刚性不足还会引起车身的共振, 产生噪声, 破坏整车的舒适性^[6]。其材料多选用高强钢, 以提供较高的屈服强度和抗拉强度来增强车身的强度和刚度。因此, 在制造过程中, 回弹缺陷成为冲压工艺难点问题^[7-8]。

为解决梁类零件冲压工艺中出现的难点问题, 段磊等人利用AutoForm软件分析预测汽车前梁后部零件

成形后的回弹量, 对模面进行补偿, 从而有效地控制了回弹^[9]; 陈泽中等人利用Dynaform 软件对汽车前防撞梁热进行模拟分析, 并建立耦合模型, 避免了过渡圆角的开裂缺陷, 成形质量显著提高^[10]; 喻旻等人利用PAM-STAMP 软件对汽车前纵梁进行成形分析, 获得了最佳成形方案^[11]; 孙俪等人从整体成形的角度解决扳手型梁类零件脱模困难问题, 有效地实现脱模^[12]。然而, 对于梁类零件从产品设计到冲压件成品的整个过程中回弹控制措施方面尚有待研究。

本文针对梁类零件出现的回弹问题进行系统的分析, 特别是对三类典型零件如前地板前后纵梁, 后边梁的回弹问题解决方法归纳总结。

轿车梁类零件成形工艺及回弹缺陷分析

1. 梁类零件成形工艺

梁类零件横截面多为“几”字形，纵向形状则为曲线，截面沿纵向不断变化，且屈服强度在380MPa以上的高强度板。这些特性增加了冲压成形的难度，特别是零件侧壁回弹和尺寸精度的控制。冲压工艺采用先拉伸的成形工序，然后进行修边冲孔的分离工序，最后根据工艺需要采用翻边整形的成形工序获得最终的零件。在各工序中，拉伸工序是主要的成形工序，其成形质量的好坏对最终产品的尺寸起着决定性作用。典型梁类零件拉伸工序模具结构如图1所示，模具由凸模、凹模和压料圈组成，拉伸成形时凹模和压料圈压住板料四周一起向下运动，使板料包裹在凸模上，最终板料被凸模和凹模形成的型腔约束成一定形状的拉伸工序件。

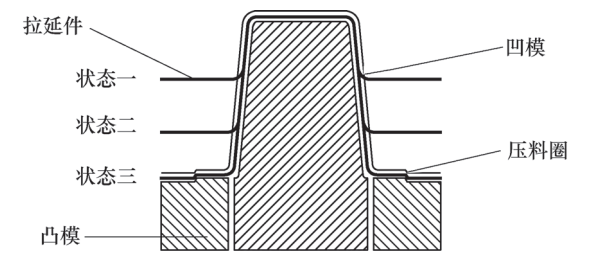


图1 典型梁类零件拉伸模具结构及成形过程

2. 梁类零件回弹缺陷分析

梁类零件拉伸成形时，板料在模具作用下变形，最终形成拉伸工序件。经过拉伸模具对板料加工后，得到的工序件往往和目标值有偏差，如图2所示。这是由于板料在变形过程中产生了变形，包括材料成形时的塑性变形和去掉变形力以后消失的弹性变形，当拉伸成形结束模具打开后，施加在板料的变形力消失，弹性变形恢复，零件产生回弹。

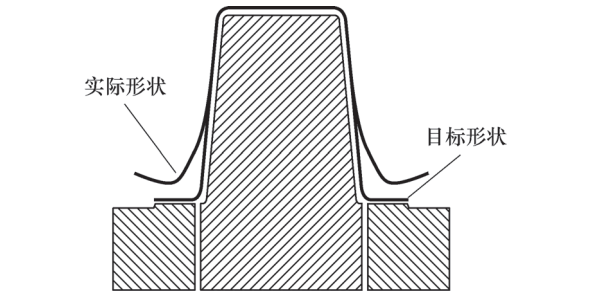


图2 梁类件拉伸成形及回弹缺陷示意

通过对拉伸成形过程分析可知，板料在流过凹模圆角时产生很大的变形，板料流过凹模圆角过程中板料厚度方向变形情况为：零件内侧板料先产生线长伸长的变形，后产生线长缩短的变形；零件外侧板料先产生线长缩短的变形，后产生线长伸长的变形。变形结束后，零件内侧板料产生残余压应力，零件外侧板料产生残余拉应力。如图3所示，当模具所施加的变形力消失，零件内的板厚方向残余应力削弱，弹性变形释放，零件产生回弹翘曲。且高强度板料比低强度板料零件回弹趋势更大，回弹的控制更加困难。

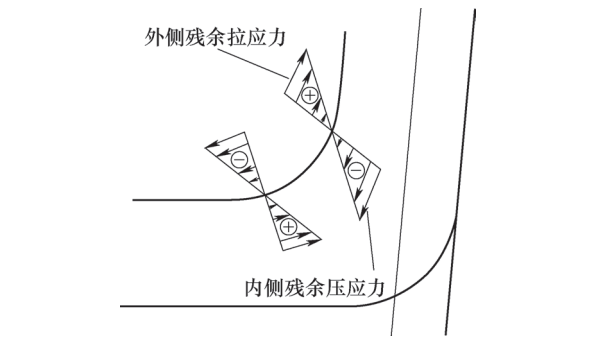
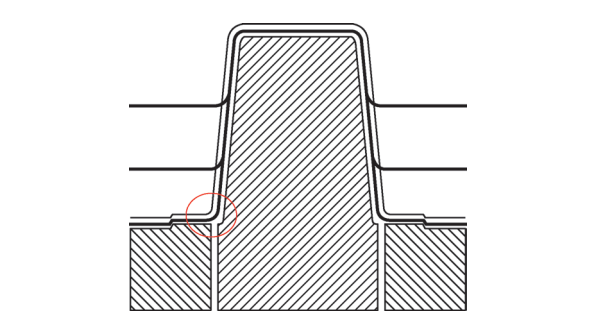


图3 梁类零件回弹缺陷分析示意

冲压拉伸成形过程板料变形复杂，各处应力应变状态不一致，而且随着变形而变化，控制困难。冲压工艺和模具的设计要根据具体零件进行具体分析，充分考虑到零件成形过程中可能存在的困难和缺陷，同时要保证模具制造维修便利，保证模具强度和延长模具寿命，提高生产效率，降低成本，还要考虑材料的

利用率，避免材料浪费。

梁类零件成形过程回弹控制

针对梁类零件成形过程出现的侧壁回弹缺陷，结合实际生产中三种典型梁类制件，从冲压工艺、模具设计、模具调试及产品设计等方面阐述回弹控制措施。

1.前地板后纵梁

如图4所示为某车型前地板后纵梁零件形状，零件材料为780Y的高强度板，材料厚度为1.0mm，材料性能参数见表1。

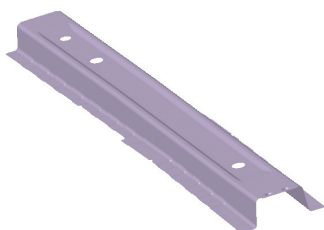


图4 前地板后纵梁

表1 780Y材料性能参数

牌号	屈服强度 σ_s /MPa	抗拉强度 σ_b /MPa	延伸率 A_{50} (%) ($L_0=50\text{mm}$, $b=25\text{mm}$)	拉伸应变硬化指数 n_{90}
(780Y)	400~625	≥ 780	≥ 16	≥ 0.11

前地板后纵梁零件形状较简单，零件截面变化小，零件纵向比较平直。对于此类形状简单的梁类零件，冲压工艺评审时应避免采用一次拉伸成形到位，而是先进行落料冲孔，再压弯预成形，最后翻边整形工艺得到最终产品形状，工艺如图5所示。

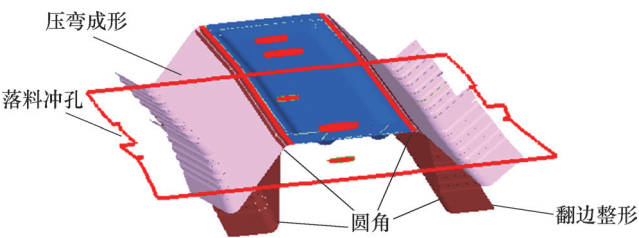


图5 前地板后纵梁冲压DL图

采用此冲压工艺板料变形区域主要集中在零件圆角位置，圆角位置变形量大，塑性变形充分，而零件侧壁位置基本不产生变形，避免了由于变形残余应力导致的侧壁回弹翘曲问题。拉伸成形相比，采用此工艺模具结构简单，模具制造维修便利，且板料尺寸

小，成形力小，可以降低零件的生产成本。因此，对于形状简单的梁类零件，优先采用先落料后成形的工艺，既减小了侧壁的回弹变形，又降低了零件的生产成本。如图6所示，零件成形后侧壁平直，符合产品尺寸和精度要求。

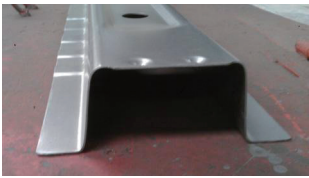


图6 前地板后纵梁

小结：对于形状简单的梁类零件，冲压工艺尽量采用简单的落料成形工艺，这样既可以保证零件质量，又使模具结构简单，便于维修，同时减小料片尺寸，降低设备吨位，降低零件生产成本。

2.前地板前纵梁

图7所示为某车型前地板前纵梁零件形状，零件材料为TRIP800的高强度板，料厚为1.4mm和2.0mm拼焊，材料参数见表2。此类型零件形状为曲线的梁，其冲压工艺在落料冲孔、压弯成形时，容易在零件的法兰边上产生叠料现象，AutoForm分析结果如图8所示。由于材料折叠使料厚增加，而模具的凸、凹模间隙不变，成形后制件拉伤、断裂或起皱，成为严重的质量缺陷。其原因是没有压料力，板料在模具中自由地流入凹模时，由于形状差异产生多余材料堆积，成为多层料。

对于此类零件，冲压成形工艺需要采用有压料装置的拉伸模具。拉伸工艺侧壁变形后残余应力会导致严重的回弹，如何控制侧壁回弹成为冲压工艺设计的一项重点。



图7 前地板前纵梁实物

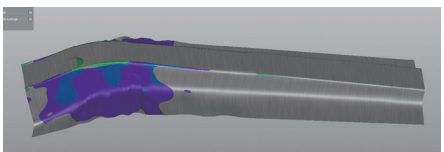


图8 前地板前纵梁模拟

表2 TRIP 800 材料性能参数

牌号	屈服强度 σ_s /MPa	抗拉强度 σ_b /MPa	延伸率 A_{80} (%) ($L_0=80\text{mm}$, $b=20\text{mm}$)	n_{90}
TRIP800	≥ 420	≥ 780	≥ 21	≥ 0.15

通过分析，前地板前纵梁零件截面为典型的“几”字形结构，侧壁夹角为 20° ，零件开口夹角较大。鉴于此，冲压工艺采用“扣回弹”的方案解决侧壁回弹。具体做法是，在拉伸凸模和凹模中间位置做出过成形量，模具实际开口尺寸比目标拉伸件开口尺寸小，即做出回弹量，如图9所示。当拉伸结束外力消失，工序件产生回弹后测量得出尺寸符合要求。

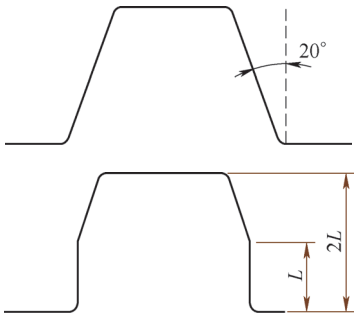


图9 “扣回弹”

采用“扣回弹”的冲压工艺应用于某车型前地板前纵梁，模具结构如图10所示，在模具凸模和凹模侧壁上做出矫正回弹角。拉伸成形时模具闭合，零件产生过成形余量，当拉伸成形结束后模具分开，零件侧壁产生回弹，回弹后零件侧壁变回平直状态，如图11所示。



a) 拉伸凹模 b) 拉伸凸模

图10 凸模和凹模侧壁



图11 前地板前纵梁零件侧壁

冲压工艺采用“扣回弹”，在模具设计时应预先估算出回弹值，并在模具上对应上述措施，使零件成形后，回弹基本得到补偿，从而达到产品要求。不仅提高了产品质量还可以减少冲压工序，减少模具数量，同时减少模具调试、制造及维修的时间。目前回弹量估算还都是AotoForm软件确定出回弹补偿量，反复试验后，保证回弹量在 $\pm 0.5\text{mm}$ 以内，再制造正式镶块，避免不必要的损失。

小结：对于需要采用拉伸成形的梁类零件，冲压工艺设计时应考虑侧壁回弹问题，在模具上预先做出回弹量，可以有效的减小回弹，减小模具调试难度，提高零件尺寸合格率。但此工艺只适合零件形状相对不复杂，零件侧壁夹角满足模具“扣回弹”后拉伸无负角的情况。

3.后边梁

如图12所示为某车型后边梁零件，其形状复杂，零件截面形状变化很大，零件纵向为复杂曲线，呈阶梯状。零件材料为590YD+Z-60/60的高强度板，材料性能见表3。

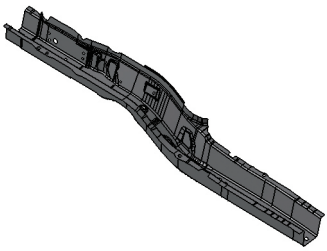


图12 后边梁

此零件在冲压工艺设计时，采用开口拉伸工艺，生产调试过程中制件侧壁回弹严重，尺寸偏差过大，无法满足装车要求。缺陷如图13所示，侧壁回弹严重，且零件翘曲。

零件形状复杂，根本无法采用落料成形工艺，必须采用拉伸工艺，必须找到合理措施来控制拉伸零件侧壁回弹的问题。测量零件开口夹角为 10° ，若在凸凹模具上做出足够“扣回弹”过成形量，将出现拉伸

表3 590Y 材料性能参数

牌 号	屈服强度 σ_s /MPa	抗拉强度 σ_b /MPa	A50 (%) ($L_0=50\text{mm}$, $b=25\text{mm}$)			n_{90}
			公称厚度/mm			
			0.7~1.0	1.0~1.2	1.2~2.0	
590Y	325~450	≥ 590	≥ 16	≥ 18	≥ 21	≥ 0.14

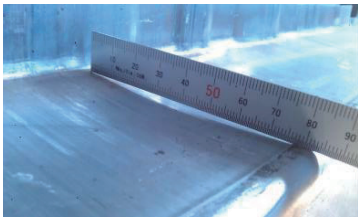
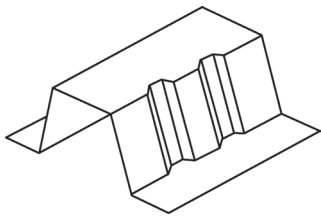


图13 后边梁侧壁回弹

负角，此方案不可行。考虑到零件产品形状及匹配关系，最终从产品设计角度增加零件刚性，更改产品设计，在零件侧壁增加形状冻结筋，增加零件侧壁成形后稳定性，减小侧壁回弹，如图14所示。



a) 冻结筋示意



b) 实际成形产品



c) 测量侧壁形状

图14 后边梁侧壁增加形状冻结筋

结果表明：后边梁侧壁增加形状冻结筋后，零件侧壁回弹缺陷得到明显改善，侧壁变得平直，零件回弹量尺寸与前期相比减小4~5mm。在调试过程中，采用大压边力，增加进料阻力，使侧壁产生一定的附加拉应力，在一定程度上可减小料厚两侧内应力不同带来的弹性变形。生产实践表明，采用300T压边力比采用200T压边力零件开口尺寸小1~2mm。

针对此类零件，在产品设计时应提前设计出形状冻结筋，根据实际生产中总结的经验给出建议。如图15所示：加强筋间距50mm，加强筋凹槽半径 $R=2\text{mm}$ ，两侧以 $R=2\text{mm}$ 的圆角均匀过渡。

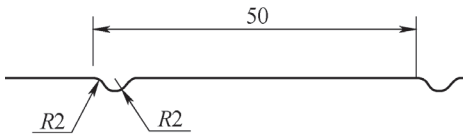


图15 形状冻结筋尺寸示意

小结：对于侧壁开口夹角较小而且形状复杂的梁类零件，冲压工艺在拉延成形时无法做出矫正侧壁的回弹时，只能增加整形工序来解决。即在产品设计时应适当增加形状冻结筋，可有效提高零件侧壁刚性，减小拉延成形后侧壁回弹问题。在满足零件不缩颈及开裂情况下，采用大的压边力有利于减小零件侧壁回弹问题。

结语

针对梁类零件的板料的变形特点不同，冲压工艺也不相同，具体如下：

1) 纵向形状为直线的简单梁类零件：冲压工艺采用落料冲孔、压弯成形，既可以保证零件质量，又使模具结构简单，便与维修，同时减小料片尺寸，降低设备吨位，降低零件生产成本。如前地板后纵梁。

2) 纵向形状为曲线的复杂梁类零件：冲压工艺采用“扣拉延”工艺，在模具上预先做出回弹量，可以有效减小回弹，减小模具调试难度，提高零件尺寸合格率。但此工艺只适合零件形状相对不复杂，零件侧壁夹角满足模具“扣回弹”后拉延无负角的情况。如前地板前纵梁。

3) 纵向形状为复杂曲线且侧壁开口夹角较小的复杂梁类零件：冲压工艺在拉延成形时无法做出回弹量矫正侧壁的回弹，只能增加整形工序。即在产品设计时应适当增加形状冻结筋，且在满足零件不缩颈及开裂情况下采用大的压边力有利于减小零件侧壁回弹问题。

参考文献

[1] 谢磊强.前纵梁冲压工艺分析[J].模具制造，2018，

圆锥滚子轴承预紧后轴向游隙的测量

黄苏刚¹, 徐雁超², 邹兵凤¹

1. 江西江铃底盘股份有限公司 江西抚州 344000
2. 三一重工股份有限公司 湖南长沙 410000

摘要: 为兼顾产品寿命和成本, 通常在汽车车桥中采用背对背配对的两个圆锥滚子轴承。现有文献对双列圆锥滚子轴承的轴向游隙定义及测量做了诸多介绍, 但均未涉及在装配预紧后特别是大负载下的轴向游隙的检测。
关键词: 圆锥滚子轴承; 预紧; 轴向游隙; 测量

为兼顾产品寿命和成本, 通常在汽车车桥中采用背对背配对的两个圆锥滚子轴承并施加一定的预紧载荷, 使得轴承处于寿命较高的游隙区间 (通常取0.03~0.1mm的微负游隙)。因此, 控制成对圆锥滚子轴承的轴向游隙非常重要。
现有标准对双列圆锥滚子轴承的轴向游隙做了定

18 (4) : 20-25.

[2] 胡星. 车身后纵梁结构优化及成本分析[J]. 汽车工程师, 2020 (3) : 18-21.

[3] 寇兆阳. 基于中纵梁加强板的成形性研究[J]. 汽车工艺与材料, 2019 (6) : 35-39.

[4] 毛卫国. 汽车纵梁冲压成形数值模拟及试验验证[J]. 锻压技术, 2017, 42 (4) : 55-58.

[5] 杨波. T18型SUV车身曲面与结构件设计开发[D]. 青岛大学, 2018.

[6] 刘佳, 赵悦, 凌亮, 等. 转向架构架工作模式及其对车下振动传递影响初探[J]. 噪声与振动控制, 2015, 35 (3) : 19-23.

[7] 楚伟峰, 崔礼春, 赵烈伟, 等. 冷冲压汽车高强度纵梁开发实例[J]. 锻压技术, 2018, 43 (6) : 24-27.

[8] 张恒, 江庆顺, 张玉成. 某车型高强度纵梁回弹问题及整改措施[J]. 模具工业, 2020, 46 (3) : 29-33.

[9] 段磊, 夏磊, 李庆宝, 等. 汽车前梁后部零件全工序成形回弹仿真及模面补偿研究[J]. 锻压技术, 2020, 45 (8) : 62-69.

[10] 陈泽中, 周燕芳, 隋鹏远, 等. 汽车前防撞梁热冲压结构改进与数值模拟[J]. 锻压技术, 2020, 45 (7) : 58-65.

[11] 喻旻, 肖海峰, 王敏. 基于有限元分析的汽车前纵梁外板工艺及模具设计[J]. 锻压技术, 2016, 41 (11) : 43-46.

[12] 孙丽, 周海龙, 黄冠鑫, 等. 扳手状梁类件整体冲压成形工艺[J]. 锻压技术, 2020, 45 (9) : 69-74.

AUTO1950