

# 高强板梁类件回弹控制技术研究

高硕遥<sup>1</sup>, 王子超<sup>2</sup>, 张慧彬<sup>1</sup>

1. 一汽轿车股份有限公司, 长春, 135100

2. 长春轨道客车股份有限公司, 135100

**摘要:** 针对高强钢梁类零件在成形时挠曲回弹问题, 本文以“U”形件为研究对象, 利用autoform钣金成形模拟分析软件, 通过高强钢梁类件回弹特性评估和预测、高强钢梁类件工艺开发及优化两个方面研究了不同材料牌号、不同侧壁角度、有无拉延筋、拉延筋高度、凹模圆角半径、侧壁间隙等工艺参数对制件侧壁挠曲回弹的影响, 以及采取的预防措施。

**关键词:** U形梁类件; 高强钢; 回弹控制

## Research on Springback Control Technology of High Strength steel Beam

Shuoyao GAO<sup>1</sup>, Zichao WANG<sup>2</sup>, Huibin ZHANG<sup>1</sup>

1. FAW Car Co., Ltd, Changchun, 135100

2. CRRC Changchun Rail Way VeCo., Ltd., Changchun, 135100

**Abstract:** Aiming at the problem of springback of high-strength steel beam parts in forming, this paper takes “U” shape as the research object, using AutoForm simulation analysis software, through the study of two aspects of high-strength steel beam parts, one is the evaluation and prediction of springback characteristics of high-strength steel beam parts, and the other is the development and optimization of high-strength steel beam parts. Study the Effect of different material, different wall angle, with or without drawbead, different drawbead height, different die radius, different wall clearance and other parameters on springback of side wall of part, and preventive measures.

**Key words:** U-shaped beam; High strength steel; Springback control

### 1 高强钢梁类件回弹特性评估和预测

#### 1.1 工艺参数对制件侧壁挠曲回弹的影响

高强钢回弹是材料塑性成形后, 随着变形应力的释放或消失, 成形过程中储存的弹性变形能释放出来, 引发应力重组, 进而导致零件整体形状

改变的一种现象。常见的高强钢回弹有角度变化、侧壁卷曲、扭曲三种类型, 详见图1。

**角度变化:** 有时也被直接称为回弹, 是指零件的弯曲边缘线偏离检具。

**侧壁卷曲:** 是板料在弯曲的时候, 由于应力分布不均造成的。

**扭曲:** 指两截面绕旋转轴发生不同程度的旋转或扭转。

高强钢梁类件按形状分类, 可以分为U-L形梁、U-A形梁、U-S形梁、U-Z形梁、U-h形梁, 详见表1。通过对比分析, 不同形状梁的截面都呈现“U”形, “U”形截面在成形后容易出现挠曲回弹现象。

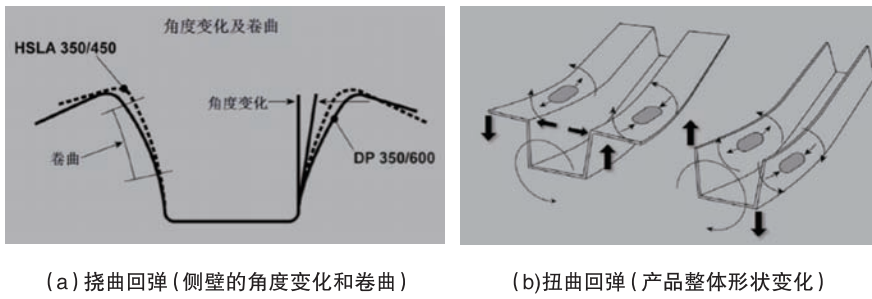


图1

表1 梁的种类及截面形式

梁种类	产品形状	截面图
U-L形梁	等截面的U形直条模型，因为形状类似字母L，姑且称之为U-L形梁。	
U-A形梁	等截面的U形直条模型相似，截面宽度呈线性变化，因其形状类似字母A。	
U-S形梁	等截面的U形梁的纵向形状在宽度方向有一个转折。	
U-Z形梁	等截面的U形，梁的纵向形状在高度方向有一个转折。	
U-h形梁	在U-Z形梁基础上的变化，梁的纵向形状在高度有一个转折。	

针对高强钢梁类零件在成形时挠曲回弹问题，本文以“U”形件为研究对象，利用autoform钣金成形模拟分析软件，采用单因素试验方法，模拟了不同材料牌号、不同侧壁角度、有无拉

延筋、拉延筋高度、凹模圆角半径、侧壁间隙六个工艺参数对制件侧壁挠曲回弹的影响，并绘制了每种工艺条件下的侧壁挠曲回弹规律曲线，如下图2所示。得出结论如下：

随着材料抗拉强度的升高，“U”形件侧壁挠曲回弹增大。

对于牌号为trip800的材料，侧壁角度、凹模圆角半径对“U”形件侧壁挠曲回弹无影响。

在模具上添加拉延筋、适当增加拉延筋高度、调整模具间隙可以控制帽形件侧壁的挠曲回弹。

### 1.2 高强板“U”形件侧壁挠曲回弹控制方法研究

针对trip800材料侧壁回弹规律，选取一种工艺条件下的挠曲回弹曲线，进行反向工艺补充，绘制了理论工艺补充曲线。为了保证模面不产生负角，对理论工艺补充曲线旋转绘制了实际工艺补充曲线并制作了工艺补充模面，利用工艺补充模面进行CAE模拟分析，验证反向补偿方法对控制制件侧壁挠曲回弹的有效性。

所选取的工艺条件详见表2：

表2 制件情况和工艺要求

材料		Trip800 $t=1.4$
制件情况	拉延深度	120mm
	侧壁角度	10°
工艺条件	凹模圆角	R6
	侧壁角度	1t

依据CAE模拟的拉延回弹情况绘制的挠曲回弹曲线和理论工艺补充曲线如图3所示；实际工艺补充曲线和实际工艺补充模面如图4所示；挠曲回弹控制方案的CAE模拟分析并绘制拉延工序件回弹曲线如图5所示。研究发现：利用实际挠曲回弹曲线进行的反向补偿方法是控制梁类制件侧壁挠曲回弹的有效方法，但制件的角度回弹增大，在后续整形模具的设计过程中应考虑对角度回弹的控制和补偿。

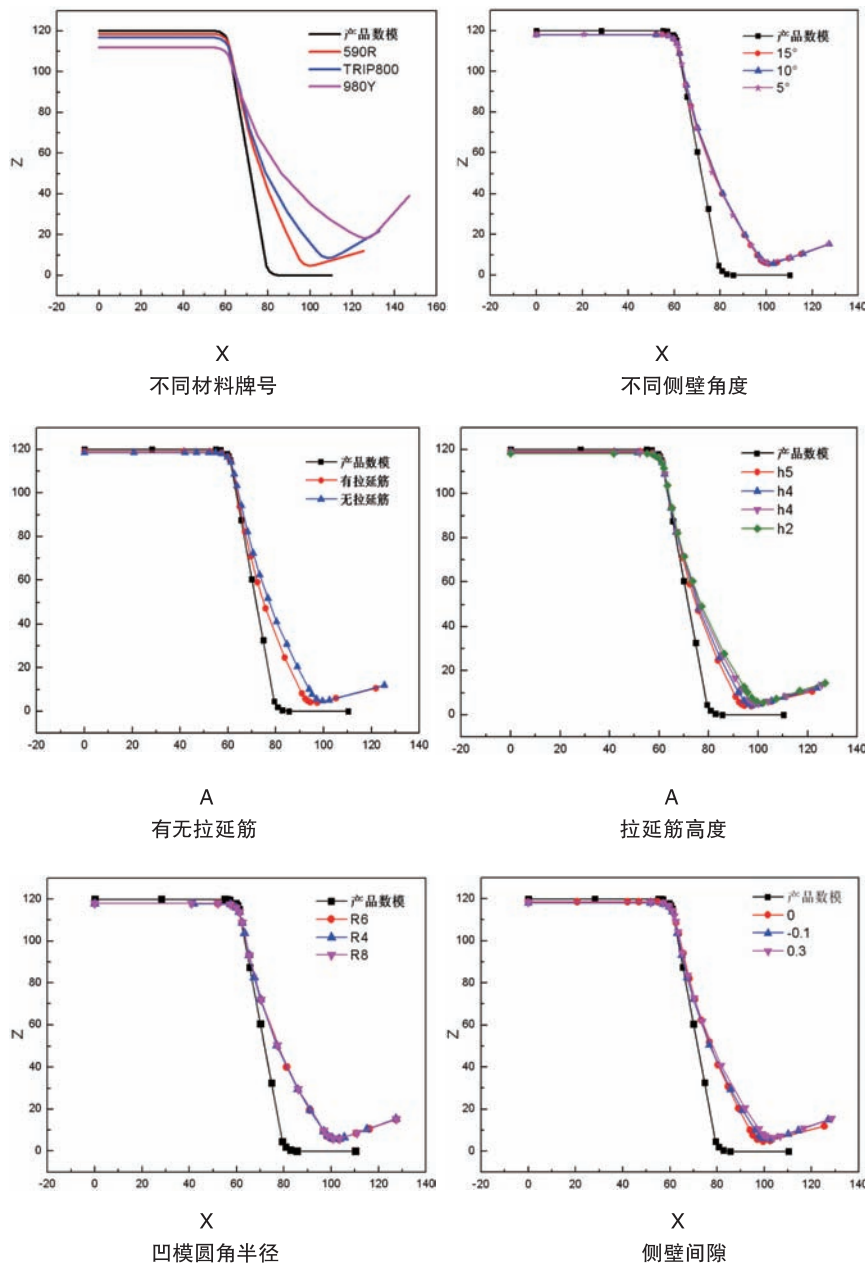


图2 六个工艺参数对制件侧壁挠曲回弹的影响

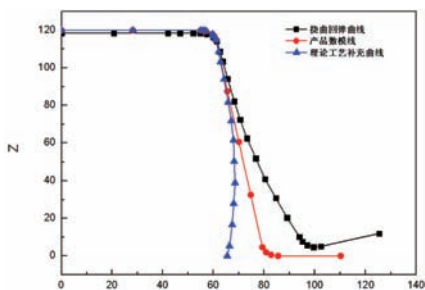


图3 理论工艺补充曲线

### 1.3 高强钢梁类件的回弹预防措施

#### (1) 局部压缩减小回弹

利用压缩工艺在弯曲部位压缩板料外侧，使压缩部位厚度减小5%~20%，同时避免弯曲内侧变化。这种方法的重点就是利用弯曲部位压缩板料外侧减薄导致板料局部强度降低控制回弹。

(2) 一处弯曲分成两道工序实现弯曲

将一次弯曲成形分成两道工序实现弯曲达到消除回弹的目的。即，第一道弯曲采用大间隙，约料厚的1.15~1.3倍实现弯曲。由于间隙大，板料倾斜，模具弯曲半径随之增大，使板料大致弯曲；第二道弯曲是将第一道弯曲的大弯曲率半径整形到产品要求的小曲率半径。第一道弯曲的曲率半径要根据回弹效果，从产品要求的曲率半径逐步放大。

#### (3) 消除残余应力

拉伸时在模具侧壁增加凸包或筋，在后道工序消除增加的形状，使板料内的应力平衡变化，达到消除回弹的目的。

#### (4) 加强筋冻结形状

在产品评审时，在不影响车身减重和功能的同时增加凸包或筋，同步开发产品，避免和改善回弹。

#### (5) 反向补偿

在模具表面加工时，保证模面不产生负角，设法使板料产生负向回弹，在制件产生回弹时，通过负回弹和回弹叠加的效果达到产品的质量要求。

#### (6) 淬火抑制回弹

对板料的弯曲部位局部淬或，降低屈服点，从而达到消除回弹的目的。

## 2 高强钢梁类件工艺开发及优化

### 2.1 B柱加强板工艺优化

选取轿车公司某车型B柱加强板零件，如图6所示，材料为抗拉强度780MPa的高强钢，此零件两侧立壁为曲面结构，冲压后整体易扭曲，A侧拉伸易产生挠曲回弹，翻边易产生波浪；B侧易产生回弹和法兰面不平整。

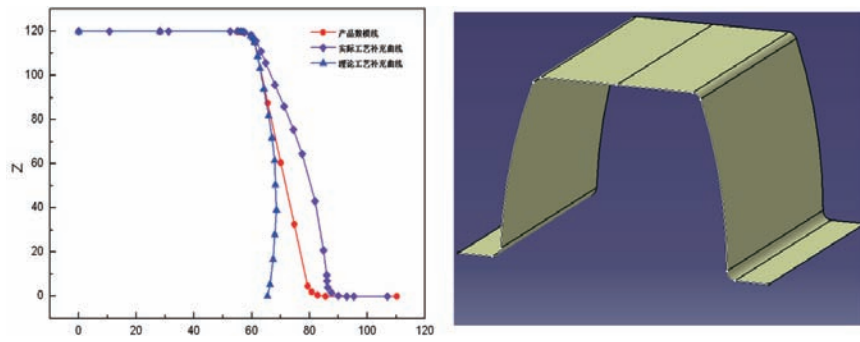


图4 实际工艺补充曲线和实际工艺补充模面

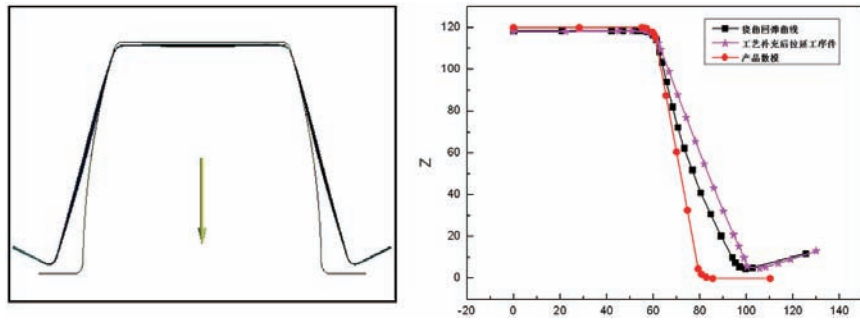


图5 工艺补充后CAE回弹模拟分析结果

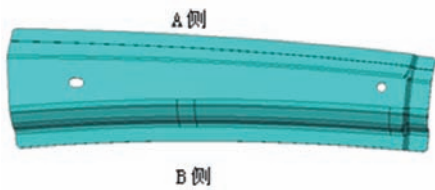


图6 产品形状及缺陷位置示意

回弹控制措施(详见图7):

(1) 产品全部拉延成形,使塑性变形充分,降低板厚两侧应力、应变差,控制回弹;

(2) 封闭式端头工艺设计,控制回弹及整体扭曲;

(3) A侧工艺补充缩小拔模角,控制侧壁挠曲回弹及搭接面波浪, B

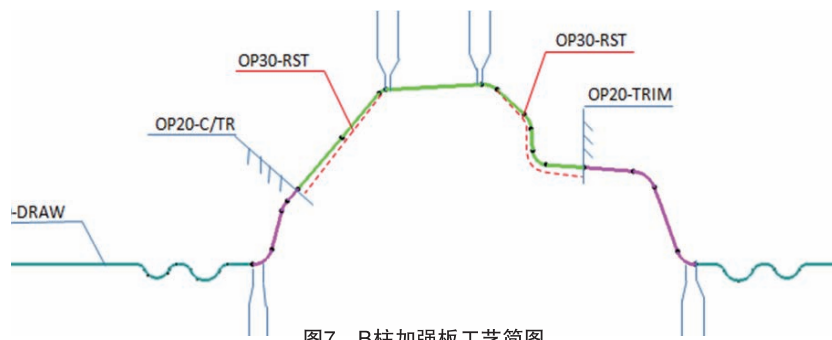


图7 B柱加强板工艺简图

	LH(左)			RH(右)		
	总点数	OK点数	合格率	总点数	OK点数	合格率
总点数	50	50	50	50	50	50
NG点数	1	1	2	1	0	0
OK点数	49	49	48	49	50	50
合格率	98%	98%	96%	98%	100%	100%

图8 出件情况和左/右B柱加强板合格率

侧降台阶,使成型充分,控制侧壁挠曲回弹及法兰平整度;

(4) 后序增加整形工序,工艺做出与模拟分析结果反向的回弹补偿,解决回弹问题。

OP30修边整形后,取左右各3个样件进行尺寸检测,详见图8。左侧平均合格率97.3%,右侧平均合格率99.3%,尺寸合格率达到90%以上,这说明在制件侧壁缩小拔模角度和适当降台阶,可有效控制制件侧壁的回弹。

## 2.2 地板纵梁工艺优化

选取轿车公司某车型地板纵梁后段零件,如图9所示,材料为抗拉强度为780MPa的高强钢,此零件顶面及法兰边都为弧形结构,冲压后整体易扭曲,侧壁及法兰回弹趋势复杂。

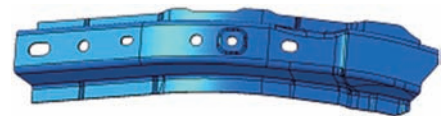


图9 地板纵梁后段产品形状示意

回弹控制措施(详见图10):

(1) 产品法兰面放在压料面上拉延成形,降低拉延深度,同时尽可能的使塑性变形充分,降低板厚两侧应力 and 应变差,控制回弹;

(2) 包端头,封闭式拉延,控制回弹及整体扭曲;

(3) 放大凹模圆角,即产品下部圆角由R5放大到R8,解决开裂问题;

(4) 后序增加侧整形工序,工艺做反弧形回弹补偿,解决制件回弹问题。

OP40修边整形后,取左右各3个样件进行尺寸检测,详见图11。左侧平均合格率100%,右侧平均合格率100%,尺寸合格率达到90%以上,这说明法兰面放在压料面上同时工艺做反