

# 低合金超高强度钢 HC950LA 典型零件应用 及回弹控制

温正略<sup>1,2</sup>, 徐栋恺<sup>1,2</sup>, 陈新平<sup>1,2</sup>

(1.宝山钢铁股份有限公司中央研究院, 上海 201900;  
2.汽车用钢开发与应用技术国家重点实验室(宝钢), 上海 201900)

**摘要:** **目的** 以低合金超高强度钢 HC950LA 为对象, 研究其在汽车座椅滑轨零件上的典型应用及回弹控制。**方法** 通过 V 弯试验分析 HC950LA 在不同弯曲角度下的最小弯曲半径, 根据试验结果优化滑轨零件折弯圆角设计, 使 HC950LA 满足滑轨零件的成形性要求, 并通过试制滑轨零件, 在成形过程中研究回弹控制进行方法。**结果** HC950LA 沿着垂直于轧制方向的折弯性能较好, 成形模具半径可以小至 1 mm, 满足滑轨零件成形需求。使用 HC950LA 试制座椅滑轨零件, 通过优化产品折弯圆角设计、模具型面调整及改变零件弯曲时的应力分布状态对零件进行回弹控制, 零件回弹控制效果明显。**结论** 低合金超高强度钢 HC950LA 冲压座椅滑轨零件成形性良好, 满足零件精度、性能要求。

**关键词:** HC950LA; 低合金超高强度钢; 汽车座椅滑轨; 回弹

**DOI:** 10.3969/j.issn.1674-6457.2017.06.012

**中图分类号:** TG386 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-6457(2017)06-0057-05

## Typical Parts Application and Springback Control of Low Alloy Ultra-high Strength Steel HC950LA

WEN Zheng-lue<sup>1,2</sup>, XU Dong-kai<sup>1,2</sup>, CHEN Xin-ping<sup>1,2</sup>

(1. Central Research Institute, Baoshan Iron & Steel Co., Ltd., Shanghai 201900, China;  
2. State Key Laboratory of Development and Application Technology of Automotive Steels (Baosteel), Shanghai 201900, China)

**ABSTRACT:** This paper focuses on the low alloy ultrahigh strength steel HC950LA, aiming to study its application in automotive seat rails and control of springback. The V bending method was used to analyze the minimum bending radius of HC950LA under varying bending conditions. The bend fillet design of slide parts was optimized based on the test results, to enable HC950LA to satisfy forming requirements. Springback control method in the forming process was also studied through trial of slide parts. It was found that better bending performance could be achieved when HC950LA was perpendicular to the rolling direction. The radius of the forming die could be as small as 1mm and well met the needs of rail parts forming. With usage of HC950LA, there was obvious springback control effect through optimizing product design on bend fillet, adjusting bending radius of the mold surface and changing parts bending stress. Parts of HC950LA punching seat slide made of low alloy ultra and high strength steel can be well formed with satisfaction of accuracy and performance requirements.

**KEY WORDS:** HC950LA; low alloy ultra-high strength steel; car seat slide; springback

随着汽车安全、燃油经济性及排放法规的日益严苛, 汽车轻量化目前成为钢铁行业关注的重点之一, 先进的钢铁企业与相关的汽车企业与行业协会均开展了汽车轻量化用材技术研究。超高强度钢作为实现汽

收稿日期: 2017-09-15

作者简介: 温正略(1989—), 男, 硕士, 助理研究员, 主要研究方向为汽车用钢冲压成形技术。

车安全性与轻量化的技术方案之一,在汽车车身上得到了愈加广泛的关注与运用<sup>[1-2]</sup>。

随着整车轻量化水平的不断提升,座椅骨架的轻量化要求也不断增加,滑轨零件作为座椅骨架的关键零件之一,对总成的轻量化具有重要影响。滑轨零件的轻量化主要采取超高强钢来实现,作为汽车结构中精度要求最高的零件之一,材料强度的提升对滑轨零件的制造工艺及回弹控制提出了新的挑战<sup>[3]</sup>。

座椅滑轨的功能性决定了其需要具备良好的刚性和抗变形能力,所以座椅滑轨常选用具有较高屈强比和良好弯曲性能的材料,目前滑轨多采用低合金高强度钢、DP钢以及CP钢,材料厚度一般在1.4~1.6 mm,文中将采用宝钢在研发的1.4 mm厚度的HC950LA材料作为研究对象,通过V弯试验获取材料的最小弯曲半径,从而判定滑轨零件的成形性,并通过样件试制进行回弹控制研究<sup>[4-6]</sup>。

## 1 HC950LA力学性能

低合金高强度钢是一类低碳工程结构用钢,具有较好的冷热加工成形性、良好的焊接性能等,在汽车结构类零件中应用较为广泛。传统的汽车用低合金高强度钢屈服强度大多在500 MPa以下,碳含量较低,具有较高的强度和塑性,能够很好地满足汽车制造对强度、塑性和韧性以及其他方面的要求。目前宝钢已实现量产屈服强度在800 MPa级别以内的低合金高强度钢产品,文中采用的HC950LA为宝钢正在研发的新一代低合金超高强钢,屈服强度达950 MPa以上,轧制方向上,屈服强度为1083 MPa,抗拉强度为1096 MPa,断裂伸长率为12.1%;在垂直于轧制方向上,屈服强度为1167 MPa,抗拉强度为1169 MPa,断裂伸长率为4.4%。HC950LA沿袭了宝钢低合金高强钢的特点,具有超高强度、高屈强比、良好的冷弯性能,且合金元素添加量少,与同级别的超高强钢相比碳当量最低,因此焊接性能最好<sup>[7]</sup>。

## 2 HC950LA最小弯曲半径试验

目前汽车座椅滑轨成形工艺主要为冷折弯成形,研究材料的最小弯曲半径可协助滑轨零件的折弯圆角设计,文中将采用HC950LA-1.4 mm材料进行最小弯曲半径试验。

### 2.1 试验方法

按照国家薄板冷弯标准GB/T 15825.5—2008,对试验材料分别进行弯曲角度为90°,120°,150°的压弯试验,按照图1所示方法,由大到小选择凸模规格,逐次对试样进行弯曲试验,直到试样变形区外侧表面在8倍放大镜下出现裂纹,或者显著凹陷时为止<sup>[8]</sup>。

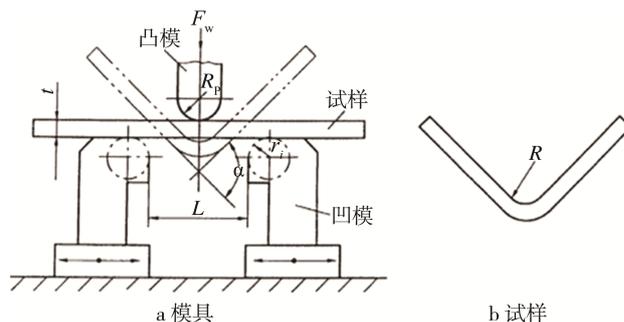


图1 压弯试验  
Fig.1 Bending test

### 2.2 试样尺寸

试样尺寸见图2,采用形状为120 mm×40 mm的矩形试样料片进行压弯试验。

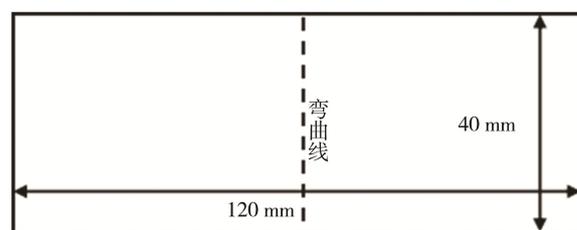


图2 试样形状尺寸  
Fig.2 Shape and size of specimens

### 2.3 试验设备及过程

试验采用宝钢国家重点实验室的超高强钢板弯曲试验机进行压弯试验,此试验机为液压伺服控制,载荷控制精度为±0.4%,位移控制精度为±0.02 mm,最大载荷为300 kN,设备实物见图3。压弯模具实物见图4。试验时弯曲加载力为45 kN,弯曲速度为20 mm/min。为避免试样加工缺陷造成的误差,每组试验进行3次有效重复试验。

试验结束后的试样见图5,通过体视显微镜(见图6)在8倍放大系数下观察弯曲线部位表面质量来判断对应角度下的最小弯曲半径。



图3 压弯试验机  
Fig.3 Bending test machine



图4 压弯模具  
Fig.4 Bending die

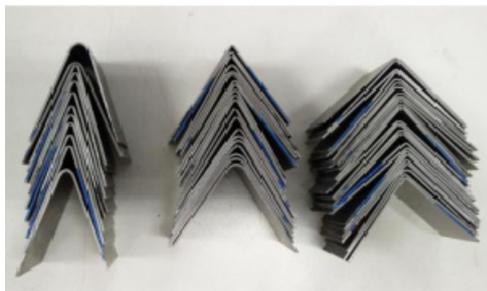


图5 压弯后的试样  
Fig.5 Specimens after bending

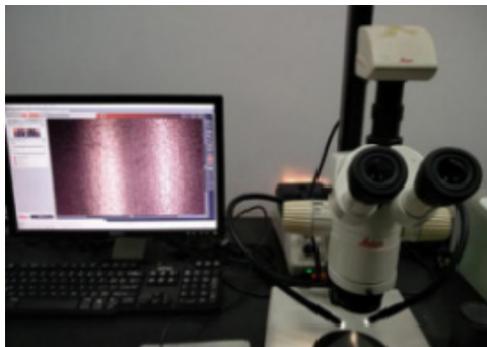


图6 体视显微镜观察弯曲表面  
Fig.6 Curved surface observed by stereo microscope

## 2.4 结果与数据

从压弯试验的实际结果来看，试验重复性较好，试验结果数据见表1。

表1 试验结果统计  
Tab.1 Statistics of test results

序号	弯曲角度/ (°)	试样长度方向 与轧制方向关系	最小弯曲 半径/mm
1	90	水平	1
2		垂直	3
3	120	水平	1.5
4		垂直	4
5	150	水平	1.5
6		垂直	5

从试验结果可得，HC950LA 沿着垂直于轧制方向的折弯性能较好，成形模具半径可以小到 1 mm；沿着轧制方向的最小弯曲半径为 3 mm。在滑轨零件设计时，需考虑材料在不同角度下的最小弯曲半径，同时落料时尽量使产品的变形方向垂直于轧制方向。

## 3 HC950LA 典型零件试制及回弹控制

采用 HC950LA-1.4 mm 冷折弯成形工艺对座椅滑轨零件进行样件试制，零件数模见图 7。由于 HC950LA 屈服强度较高，成形后零件回弹明显，完成两序折弯后的外滑轨零件见图 8，尺寸偏差较大。将试制后的内外滑轨通过蓝光扫描获取零件型面，通过与零件数模尺寸对比分析，进行回弹控制研究。



图7 座椅滑轨零件数据模型  
Fig.7 Seat rail part model



图8 完成二序折弯成形的滑轨零件  
Fig.8 Outer rail part after bending

针对该滑轨零件，文中将从产品弯曲圆角设计、模具型面设计及调整零件弯曲时的应力分布 3 个方面进行回弹控制研究。

### 3.1 调整滑轨零件弯曲半径

外滑轨零件数模见图 9，外滑轨各弯曲角①、②、③半径分别为 3, 2.9, 3.4 mm，成形时第一序对①处进行折弯，第二、三序分别完成②、③处圆角弯曲成形。

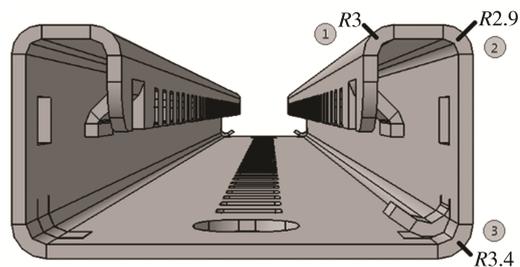


图9 外滑轨数模  
Fig.9 Outer rail part model

样件截面与零件设计数模截面对比见图 10，可以看出，在弯曲角 3 处的零件回弹在 30°左右。通过对样件截面旋转对比圆角①、②处的回弹误差见图 11，可以看出回弹较小，在 3°以内。

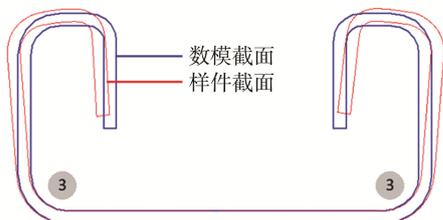
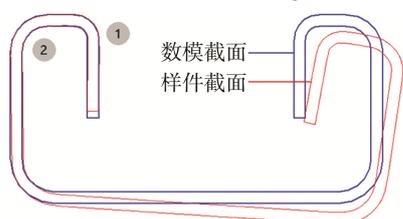
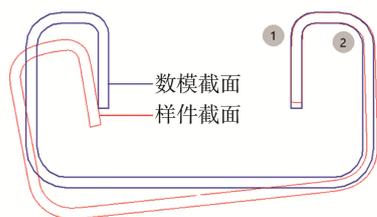


图 10 外滑轨产品截面与数模截面对比  
Fig.10 Comparison of cross section and numerical model section of outer sliding rail



a 左侧弯曲角重合



b 右侧弯曲角重合

图 11 弯曲角①、②处的产品截面和数模截面对比  
Fig.11 Comparison of product and mold cross section at bending angles ① and ②

从上述分析可知，弯曲圆角③比圆角①、②大，回弹相应也较大。较小的弯曲半径有利于降低回弹，考虑材料不同角度下的最小弯曲半径，并结合产品设计需求，尽量选取较小的弯曲半径。同时可以在弯曲区压制加强肋，以增加弯曲角的截面惯性矩，有利于抑制回弹。

### 3.2 调整模具型面

在设计弯曲模具的时候，可以利用回弹规律来控制回弹。根据回弹的趋势和回弹量的大小，预先对模具工作面部分做相应的形状和尺寸修正，使出模后的零件在回弹后正好是要求的形状和尺寸。如图 12 所示，将压料面做成带一定曲率的型面，利用底面的回弹来补偿双角弯曲的回弹。

### 3.3 改变弯曲时的应力状态

内滑轨产品截面与数模截面对比见图 13—14，可以看出，弯曲角③处回弹较大。这是由于弯曲角③处曲率半径大，造型过渡平缓，成形后回弹大，零件

精度无法保证。

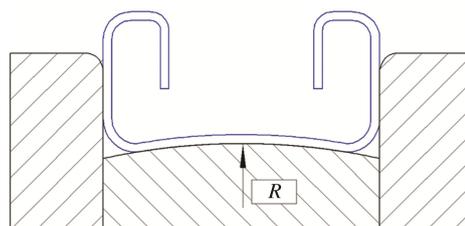


图 12 模具底面做成圆弧形  
Fig.12 Mold bottom made of circular arc

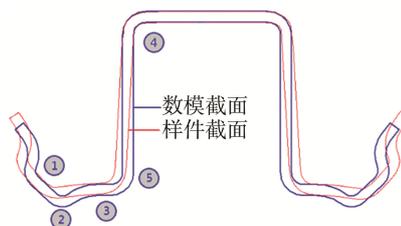
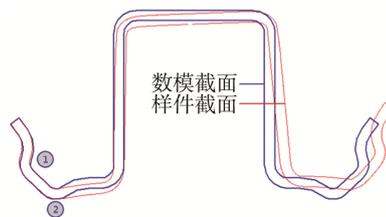
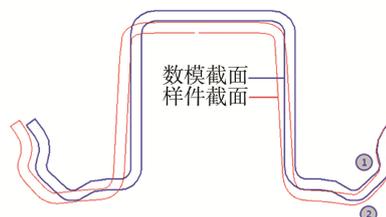


图 13 内滑轨产品截面与数模截面对比  
Fig.13 Comparison of cross section and numerical model section of inner sliding rail



a 左侧弯曲角重合



b 右侧弯曲角重合

图 14 旋转后对比弯曲角①、②处截面  
Fig.14 Contrast the bending angles of ① and ② sections after rotation,

针对该特征可以将弯曲凸模的角部做成局部突起的形状，见图 15，在弯曲成形结束时，内层金属受挤压应力，产生切向伸长应变，从而控制回弹。或在成形弯曲角③时，将压边力调大，使得弯曲角③处的板料受到挤压变形，厚度减薄 3%~4%，也将有效减小回弹。

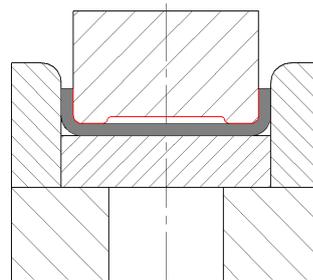


图 15 弯曲凸模的角部做成局部突起的形状  
Fig.15 Shape the part of a curved punch into a local protuberance

综合上述回弹控制方法, 对内外滑轨模具进行适度调整, 成形后零件见图 16。经检测, 零件成形良好, 尺寸精度提升, 回弹控制效果明显。



图 16 滑轨零件样件  
Fig.16 Sample of slide parts

## 4 结论

1) 对宝钢在研发的 HC950LA 进行最小弯曲半径试验, 获取不同弯曲角度下材料的最小弯曲半径, 结果显示, HC950LA 沿着垂直于轧制方向的折弯性能较好, 成形模具半径可以小到 1 mm; 沿着轧制方向的最小弯曲半径为 3 mm。

2) 在滑轨零件设计时, 需考虑材料在不同角度下的最小弯曲半径, 同时落料时尽量使产品的变形方向垂直于轧制方向。

3) 使用 HC950LA 试制座椅滑轨零件, 可通过产品弯曲圆角设计、模具型面调整及改变零件弯曲时的应力分布 3 个方面减小零件回弹。

### 参考文献:

- [1] 张祥. 浅谈汽车座椅的开发与发展[J]. 客车技术, 2004(1): 3—5.  
ZHANG Xiang. Discussion on the Development and Development of Automobile Seats[J]. Bus Technology, 2004(1): 3—5.
- [2] 燕峰, 李世国. 汽车座椅的设计与优化[J]. 鞍山科技大学学报, 2004, 27(5): 367—370.  
YAN Feng, LI Shi-guo. Design and Optimization of Automobile Seats[J]. Journal of University of Science and Technology Liaoning, 2004, 27(5): 367—370.
- [3] KEELER Stuart, KIMCHI Menachem. Advanced High-Strength Steels Application Guidelines Version 5.0[M]. World Auto Steel, 2015.
- [4] JIN Ko Young, JOONG Kim Jae, CHAN Park Soon, et al. Module Design Concept for Lightweight Automotive Seats[C]. Magnesium: Proceedings of the 6th International Conference Magnesium, 2004: 924—929.
- [5] MURATA Seishiro, ITO Hiroyuki, SOPHER Steven. Polyurethane-Free Lightweight Automotive Seat[J]. SAE Int J Mater Manf, 2014, 7(3): 655—661.
- [6] SAVESKI Alexander, ZEKAVICA Omela, AMODEO Catherine M. One-Piece Seat Bottom Chassis: United State, US2012/0193965A1[P/OL]. 2010.
- [7] 张爱文, 郑磊. 汽车用低合金高强度钢成份及控冷工艺[J]. 机械工程材料, 2006, 30(12): 11—14.  
ZHANG Ai-wen, ZHENG Lei. Composition and Controlled Cooling Process of Low Alloy High Strength Steel for Automobile[J]. Mechanical Engineering Materials, 2006, 30(12): 11—14.
- [8] 陈超, 吴有伍, 夏忠禹. 铝合金板材 V 型弯曲回弹研究[J]. 模具工业, 2006, 32(12): 43—46.  
CHEN Chao, WU You-wu, XIA Zhong-yu. Study on Bending Springback of V Type Sheet for Aluminum Alloy[J]. Die industry, 2006, 32(12): 43—46.
- [9] 徐雅冬. U 型件弯曲回弹的预测及优化方法的研究[D]. 天津: 天津理工大学, 2008.  
XU Ya-dong. Research on Prediction and Optimization Method of Bending Springback of U Type[D]. Tianjin: Tianjin University of Technology, 2008.
- [10] 陈磊, 杨继昌, 张立文. 板料弯曲回弹影响因素的有限元模拟研究[J]. 材料科学与工艺, 2007, 15(2): 269—272.  
CHEN Lei, YANG Ji-chang, ZHANG Li-wen. Finite Element Simulation Study on Influencing Factors of Springback of Sheet Metal Bending[J]. Materials Science and Technology, 2007, 15(2): 269—272.
- [11] FINN M J, GALLBRAITH P C. Use of Coupled Explicit-implicit Solver for Calculating Springback in Automotive Body Panels[J]. Journal of Mater Processing Technology, 1995, 50: 395—409.
- [12] 刁克山, 蒋浩民, 陈新平. 基于成形特性的宝钢 QP980 实验研究及典型应用[J]. 锻压技术, 2012, 37(6): 113—116.  
DIAO Ke-shan, JIANG Hao-min, CHEN Xin-ping. Research and Typical Application of QP980 Steel Produced by Baosteel Based on Formability[J]. Forging & Stamping Technology, 2012, 37(6): 113—116.
- [13] GB/T 15825.8—2008, 金属薄板成形性能与试验方法第 8 部分: 成形极限图(FLD)测定指南[S].  
GB/T 15825.8—2008, Sheet Metal Formability and Test Methods Part 8: Guidelines for the Determination of Forming-limit Diagrams[S].
- [14] PARIS P C, ERDOGAN F. A Critical Analysis of Crack Propagation Laws[J]. Journal of Basic Engineering, 1963, 85: 528—534.
- [15] FORMAN R G, KEARNEY V E, ENGLE R M. Numerical Analysis of Crack Propagation in Cyclic-loaded Structures[J]. Journal of Basic Engineering, 1967, 89: 459—464.