

# 低成本前围板冲压工艺开发与验证

陈亮 刘伟 利晓林 李梦瑶 李钊文

(广州汽车集团股份有限公司汽车工程研究院, 广州 511434)

**摘要:** 为提高车身结构轻量化水平,对汽车白车身前机舱的传统一体式前围板进行了上、下分体不等厚设计。针对前围板上板的典型特点,即左、右两翼轮罩避让区域的拱起形状,提出浅拉延和整形的工艺,简化了冲压生产工序,大幅提升了材料利用率。为解决前围上板的整形起皱、单件刚度不足以及轮罩避让区域的焊接不良问题,通过冲压CAE分析、冲压实际生产、焊接质量检测等验证了分体式前围板上板的浅拉延和整形工艺的可行性。最后通过冲压、焊装及涂装的全工艺生产链收益核算,确认该分体式前围板具有成本优势,同时实现了低成本前围板浅拉延加整形工艺的量产。

**关键词:** 白车身 前围板 冲压 材料利用率 冲压仿真

**中图分类号:** U466 **文献标志码:** B **DOI:** 10.19710/J.cnki.1003-8817.20250040

## Development and Verification of Low Cost Dashboard Panel Stamping Process

Chen Liang, Liu Wei, Li Xiaolin, Li Mengyao, Li Zhaowen

(GAC R&D Center, Guangzhou 511434)

**Abstract:** In order to realize the lightweight of auto body, the traditional one-piece BIW dashboard panel is designed into two parts (the upper one and the lower one) with different thickness. According to the typical features of the front dashboard panel, namely the arch shape of the evacuation area of the wheel cover, this paper proposes shallow drawing plus reshaping to simplify stamping process and greatly improve material utilization rate. In order to address the issues of corrugation of dashboard upper panel, insufficient stiffness of single part and poor welding of evacuation area of the wheel cover, the paper verifies the feasibility of shallow drawing plus reshaping through stamping CAE analysis, stamping physical production and welding quality verification. The cost saving advantage of split-type front dashboard panel is confirmed by the cost accounting of the whole process chain (stamping, welding, coating). Finally the low-cost front dashboard panel is put into mass production with shallow drawing plus reshaping process.

**Key words:** BIW, Dashboard panel, Stamping, Material utilization rate, Forming simulation

### 1 前言

汽车白车身成本是影响汽车成本的重要指标,为降低整车成本,研究在满足各项整车性能指标条件下的低成本白车身结构和工艺十分必要<sup>[1-3]</sup>。材料利用率直接影响白车身成本,目前,冲压工艺通过产品优化设计、工艺创新设计、拉延筋设计和合

模方案优化等可有效提升材料利用率<sup>[4-8]</sup>。

浅拉延作为材料利用率提升的有效方案之一,目前行业内主要应用于汽车外覆盖件(侧围、翼子板、门外板等)<sup>[9-13]</sup>。前围板是发动机舱与乘员舱的主要隔离构件,具有隔声、减振、隔热的作用。常规的一体式前围板拉延深度大、冲压开裂多,需采用拉延性能更佳、成本相对更高的深冲

**作者简介:** 陈亮(1990—),男,工程师,硕士学位,研究方向为整车结构件冲压、铸造及挤压工艺成型仿真、同步工程分析和工艺设计。

**参考文献引用格式:**

陈亮,刘伟,利晓林,等.低成本前围板冲压工艺开发与验证[J].汽车工艺与材料,2025(8):17-23.

CHEN L, LIU W, LI X L, et al. Development and Verification of Low Cost Dashboard Panel Stamping Process[J]. Automobile Technology & Material, 2025(8): 17-23.

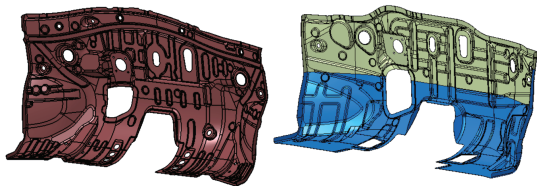
钢<sup>[14-15]</sup>,且冲压成形工序多,修边和冲孔需采用斜楔机构,模具结构复杂<sup>[16-17]</sup>,制造成本高,冲压的材料利用率较低。

为此,本文提出一种上、下分体不等厚设计的轻量化前围板结构,并进行浅拉延和整形工艺的研究和应用验证,经过成形 CAE 仿真分析、冲压成形工艺验证、焊接质量验证,分体式轻量化前围板成功量产,降低了前围板的成本。

## 2 零件设计及工艺思路

### 2.1 分体式前围板设计

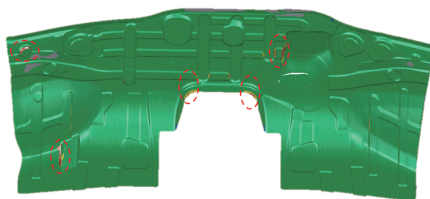
图 1 所示为常规一体式前围板,通常采用厚度为 1.0 mm 的冷轧钢 DC03 (或者无间隙原子高强度钢 HC260Y) 或上、下分体激光拼焊板(上、下板厚度分别为 1.0 mm、0.8 mm)。一体式前围板存在拉延开裂、材料利用率低和工序多的缺点,如图 2 所示。



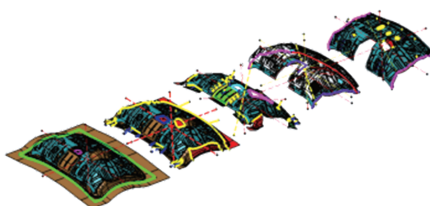
(a) 一体式等厚前围板 (b) 一体式激光拼焊前围板

图 1 常规一体式前围板

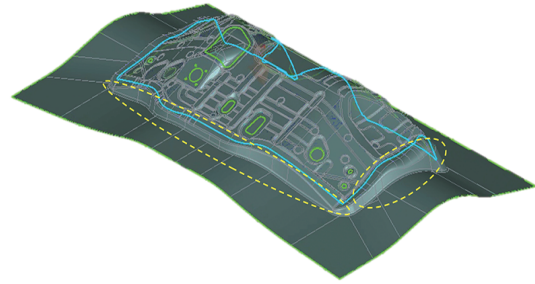
本文所设计的分体式前围板如图 3 所示,根据车身性能及碰撞需求,其前围上、下板料厚分别为 1.0 mm、0.8 mm,可提高车身结构轻量化水平,且由于分体式设计降低了零件成形难度,采用材料成本低于 DC03 的 DC01。



(a) 开裂



(b) 工序复杂且数量多



(c) 工艺补充冗余过多

图 2 一体式前围板存在的问题

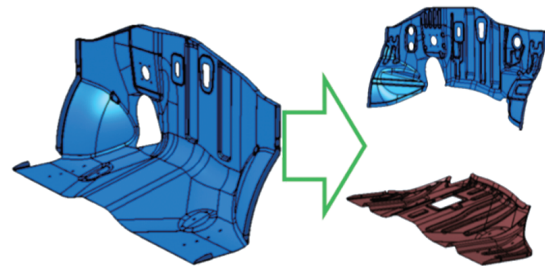
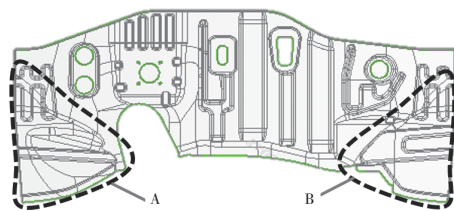


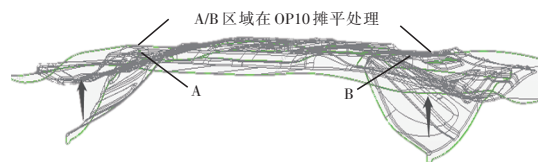
图 3 分体式前围板的设计

### 2.2 分体式前围板浅拉延整形工艺设计思路

针对分体式前围上板左、右轮罩避让区域的拱起形状特征,即图 4a 所示的 A 和 B 区域,将左、右两侧拱起特征在拉延工序(OP10)进行摊平处理,与主体在同一平面,之后通过 OP30 工序整形获得拱起形状。图 4b 所示为前围上板的核心工艺,产品的拉延深度大幅降低,同时拉延工序的工艺补充整体低矮,即产生的废料减少,提高了材料利用率。



(a) 轮罩拱起 A/B 区域



(b) A/B 区域摊平处理

图 4 前围上板浅拉延

图 5 所示为前围上板的工艺规划,仅 3 道工序,由于 OP20 工序修边包含正修和 OP30 工序的正整形翻边,模具结构得到简化且成本更低,无需复杂的侧整形侧修边的斜楔机构。

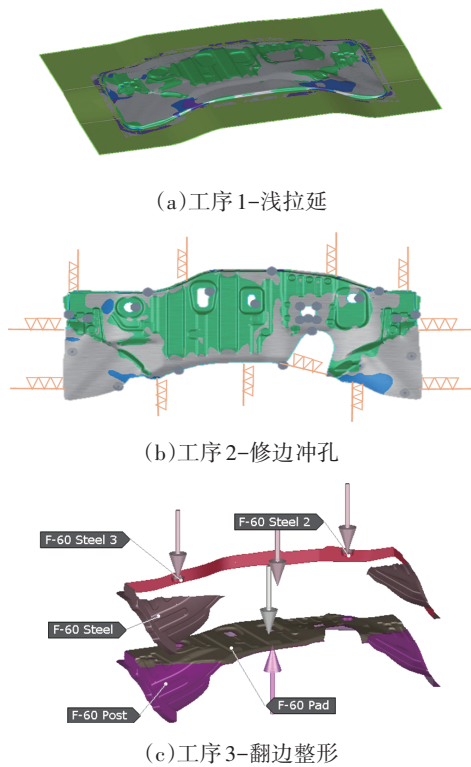


图5 前围上板工艺规划方案

按照图5工艺方案进行冲压成形仿真分析,由于该工艺为浅拉伸,成形深度低,不存在开裂风险,因此,重点关注起皱风险。图6a所示为OP10浅拉伸的CAE分析起皱趋势值(压边力设置为1 250 kN,料片设置为随形T形料),产品本体区域起皱趋势值(Potential Wrinkles, PW) $<0.01$ ,工艺补充及其压料面PW $\leq 0.03$ ,满足起皱可控的CAE评判标准。图6b所示为OP30翻边整形的CAE分析起皱趋势值(上压料力为1 600 kN,周圈整形翻边力为800 kN),产品轮罩避让区域PW $\geq 0.01$ ,即该区域存在起皱风险,需实际验证其起皱状态。

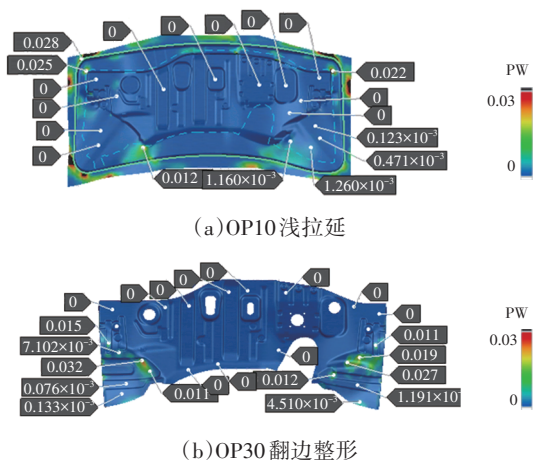


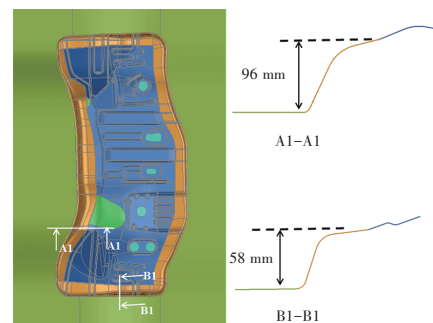
图6 前围上板起皱趋势值CAE分析

### 3 不同工艺方案下材料利用率对比

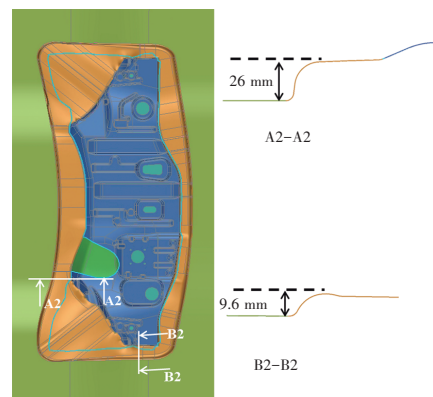
基于前期同步工程阶段的成形分析,针对分体式前围板常规拉伸、一体式前围板拉伸分别与分体式前围板浅拉伸整形工艺方案进行对比,分析料片尺寸、零件质量、材料利用率等方面的差异。

#### 3.1 分体式前围板常规拉伸与浅拉伸对比

图7所示为分体式前围上板常规拉伸(型面一次压延到位,无整形工序)与浅拉伸的工艺补充对比,由关键断面A-A及B-B可知,其工艺补充的高度分别由96 mm、58 mm下降至26 mm、9.6 mm,下降比例超过72%。



(a)常规拉伸工艺的典型工艺补充高度



(b)浅拉伸工艺的典型工艺补充高度

图7 分体式前围上板的常规拉伸和浅拉伸工艺补充

板料尺寸及材料利用率的对比如表1所示。分体式前围板常规拉伸的板料尺寸为1 740 mm $\times$ 830 mm,材料利用率为56.19%。由于浅拉伸方案工艺补充的大幅降低,其板料尺寸减小为1 720 mm $\times$ 760 mm,其材料利用率提升为62.08%,板料使用量减少1.08 kg,板料成本降低5.4元/件(以DC01材料单价为5 000元/t为核算基础)。

表 1 分体式前围上板的常规拉延和浅拉延的材料利用率

拉延工艺	料片尺寸 /mm	料片质量/kg	零件质量/kg	材料利用率/%
常规拉延	1 740×830	11.34	6.37	56.19
浅拉延	1 720×760	10.26	6.37	62.08

### 3.2 一体式前围板常规拉延与分体式浅拉延对比

图 8 所示为一体式前围板常规拉延与图 7b 中的分体式前围上板浅拉延的工艺补充对比,由图中关键断面 A-A 及 B-B 可知,其工艺补充高度分别由 108 mm、88 mm 下降至 26 mm、9.6 mm,下降比例超过 76%,与图 7a 中的的分体式前围板常规拉延相比,具有更高的工艺补充下降幅度。

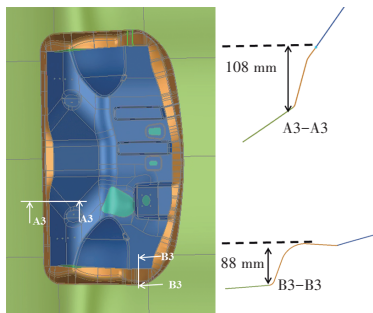


图 8 一体式前围板常规拉延方案的工艺补充

如表 2 所示,一体式前围板拉延的板料尺寸为 1 922 mm×1 285 mm,板料质量为 19.39 kg,材料利用率仅为 58.5%。如表 3 所示,分体式前围板的上板采用浅拉延方案,由于其工艺补充的大幅降低,前围上、下板尺寸分别为 1 720 mm×760 mm、1 565 mm×650 mm,总质量为 16.65 kg,综合材料利用率提升至 62.04%,板料使用量减少约 2.64 kg,板料成本降低约 20 元(以 DC01 材料单价为 5 000 元/t,DC03 材料单价为 5 300 元/t 为核算基础)。

表 2 一体式前围板常规拉延方案的材料利用率

示意图	料片尺寸 /mm	料片质量/kg	零件质量/kg	材料利用率/%
一体式常规拉延	1 922×1 285	19.39	11.35	58.5

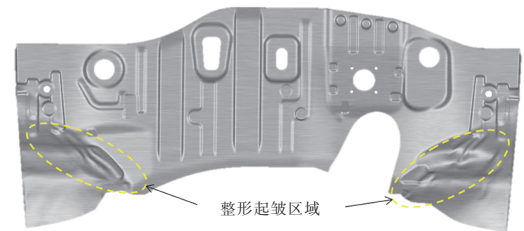
表 3 分体式前围板浅拉延方案的材料利用率

位置	料片尺寸 /mm	料片质量/kg	零件质量/kg	材料利用率/%
前围上板	1 720×760	10.26	6.37	62.08
前围下板	1 565×650	6.39	3.96	62.05
合计		16.65	10.33	62.04

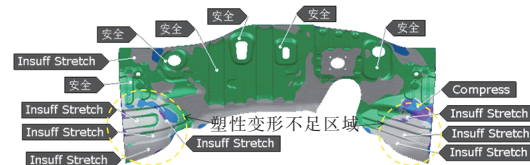
由表 2 和表 3 可知,与等厚一体式前围板(厚度为 1.0 mm)相比,采用分体式前围板(上、下板厚度分别为 1.0 mm、0.8 mm)时,质量由 11.35 kg 降为 10.33 kg,同时材料由 DC03 替换为成本更低的 DC01,有效降低了原材料成本。

### 4 生产验证

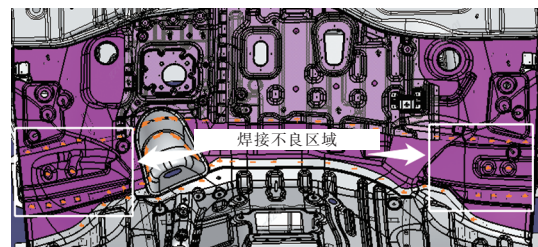
如图 9 所示,经过冲压成形仿真 CAE 分析和产品匹配区域焊接搭接情况等综合分析,分体式前围板浅拉延工艺方案存在 3 项风险需现场实物验证:轮罩区域的冲压整形起皱风险验证;刚性不足验证;轮罩起皱区域焊接质量验证。



(a) 整形起皱



(b) 刚性不足



(c) 焊接不良

图 9 分体式前围板工艺验证的风险

#### 4.1 冲压起皱验证

针对前围板上板 OP30 整形翻边工序,选取距离底部 20 mm、10 mm、5 mm、0 mm 的位置对比实际冲压结果与 CAE 分析结果,如图 10 所示。在距离底部 20 mm、10 mm 位置,前围上板轮罩区域的起皱波浪明显,主要来源于整形翻边圆角处不光顺区域。但随着整形刀具的进一步作用,在距离底部 5 mm 处,由于产品区域出现加强筋特征,其起皱问题得到缓解,仅存在轻微波浪。

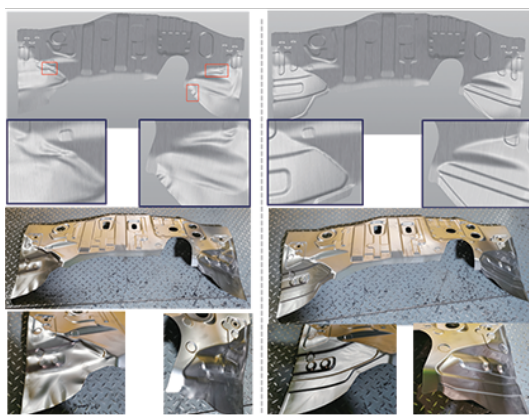
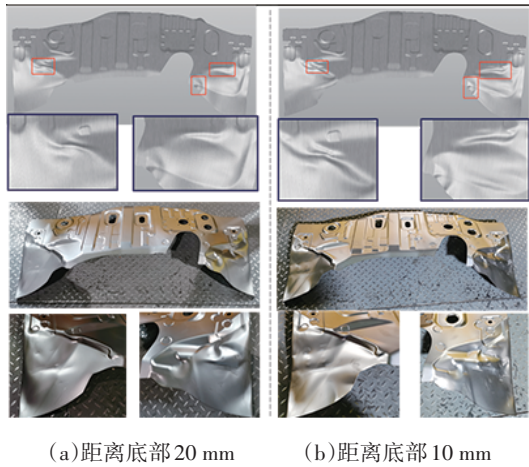


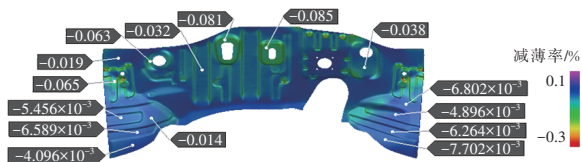
图 10 一体式前围上板轮罩区域整形起皱

最终在成形时,轮罩区域的起皱基本消除,仅在平坦区域存在部分残留的波浪痕。由于该区域存在与前围横梁的焊接搭接,因此,需进一步验证焊接质量。

#### 4.2 单件刚度验证

图 11a 和图 9b 所示的冲压 CAE 分析结果显示,由于前围上板采用浅拉延工艺,其左、右侧翼轮罩避让区大部分区域的变薄率不足 3%,存在塑性变形不充分带来的单件刚度不足风险<sup>[18-19]</sup>。

如图 11b 所示,针对现场零件进行人工搬抬及旋转等操作验证,前围板上板的单件刚度不存在变形及严重抖动问题,即单件刚度无问题,满足批量生产要求。



(a)CAE 分析减薄结果



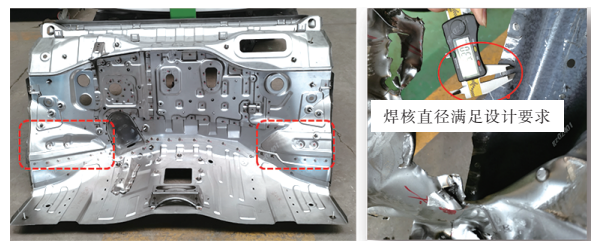
(b)操作验证

图 11 前围上板刚度不足风险现场验证

#### 4.3 焊接质量验证

针对 4.1 节中前围上板轮罩避让区两翼存在的残留波浪痕,由于该区域与前围横梁存在搭接焊点,需对焊接质量进行实物验证。

图 12 所示为通过破拆检测焊核直径以及超声波无损检测焊点质量,结果均显示该波浪痕迹区域的焊点质量合格,不存在虚焊等焊接不良问题。



(a)红框内风险区域焊点破拆检测验证

判定	理由	焊点	C扫描	安全	三层板	直径	压板	机器人	定制	时间	操作员	注释	路径	检测描述
通过	ER010	通过	No	Yes	5.7	-	0.28	-	-	2021/8/25 17:06:49	Admin	LH (9)	a79-i015-ser-lh	
通过	ER011	通过	No	Yes	7.5	-	0.3	-	-	2021/8/25 17:07:17	Admin	LH (10)	a79-i015-ser-lh	
通过	ER012	通过	No	Yes	5.2	-	0.24	-	-	2021/8/25 17:08:33	Admin	LH (11)	a79-i015-ser-lh	
通过	ER013	通过	No	Yes	6.0	-	0.59	-	-	2021/8/25 17:09:07	Admin	LH (12)	a79-i015-ser-lh	

(b)风险区域的焊点超声波无损检测

图 12 前围上板起皱区域焊接质量验证

### 5 成本核算

对一体式和分体式前围板的冲压、焊装和涂装环节的成本进行分析,获得了 2 种产品设计的工艺成本。

#### 5.1 冲压环节成本核算

如表 2 和表 3 所示,针对冲压环节的一体式及分体式前围板进行成本核算,采用分体式后,材料利用率由 58.5% 提升至 62.04%,车身减轻 1.02 kg,材料牌号由 DC03 替换为成本更低的 DC01,成本降低约 20 元/车。

## 5.2 全工艺链成本核算

与一体式前围板相比,由于分体式前围板在上、下板连接处增加了点焊、点焊胶和密封胶,因此,需要核算冲压、焊装及涂装全工艺链的成本。

表4所示为一体式与分体式前围板全工艺链

的成本信息,采用分体式后,焊装及涂装工艺环节成本增加5.6元/车,以项目企划销量目标30万辆为核算基础,冲压模具的工装降低成本与焊装夹具的工装增加成本基本持平,因此,分体式前围板全工艺链预计约降本14.4元/车。

表4 一体式与分体式前围板全工艺生产链的成本对比

前围板形式	原材料板材成本/元	冲压模具成本/万元	焊接工装成本/万元	焊点成本/元	涂装成本/元
一体式前围板	103(19.39 kg)	320	0	0	0
分体式前围板	83(16.65 kg)	300	23	4.8	0.8
分体式收益	降低20	降低20	增加23	增加4.8	增加0.8

## 6 结束语

本文选取前围板零件为研究对象,从减料厚、降牌号以及提升材料利用率等方面进行了轻量化和低成本工艺开发与验证,得出如下结论:

a. 分体式前围板上板应用浅拉延及整形工艺,针对CAE分析中存在的起皱、零件刚度不足及焊接质量风险,通过实际冲压及焊接验证,其冲压单件及焊接品质满足要求,确认了该分体式前围板上板产品设计的工艺可行性。

b. 针对一体式等厚前围板提出分体式上、下段前围板设计,可降低成本并提高轻量化水平,本案例降低质量1.02 kg,全工艺链综合降本14.4元/车。

### 参考文献:

[1] MA Y H, CHEN R, BAI J T, et al. Shape Optimization of Thin-Walled Cross Section for Automobile Body Considering Stamping Cost, Manufacturability and Structural Stiffness[J]. International Journal of Automotive Technology, 2020, 21(2): 503-512.

[2] PETERSON G, PETERSON A. Cost-Effectiveness of A Lightweight BIW Design for 2020-2025: An Assessment of a Midsize Crossover Utility Vehicle Body Structure[J]. SAE Technical Paper, 2013.

[3] 郭涛, 高义峰, 左四雨. 汽车冲压材料成本控制策略探讨[J]. 汽车工艺与材料, 2024(6): 51-57.

[4] 佟鑫. 数据设计阶段白车身冲压件材料利用率提升方法[J]. 锻造与冲压, 2023(16): 35-39.

[5] 王道超, 单浩, 花明. 汽车车身冲压件材料利用率提升方案的研究[J]. 模具制造, 2023, 23(8): 5-9.

[6] 蒋磊, 陈天铎, 王龙, 等. 提升白车身覆盖件材料利用率的冲压工艺方案[J]. 汽车工程师, 2020(9): 13-16.

[7] HORTON P M, ALLWOOD J M. Yield Improvement Opportunities for Manufacturing Automotive Sheet Metal Components[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2017, 249: 78-88.

[8] HORTON P M, ALLWOOD J M, CLEAVER C. Implementing Material Efficiency in Practice: A Case Study to Improve the Material Utilisation of Automotive Sheet Metal Components[J]. Resources, Conservation and Recycling, 2019, 145: 49-66.

[9] 叶梦彬. 浅拉延技术在汽车覆盖件冲压工艺上的应用[J]. 锻造与冲压, 2023(16): 50-54.

[10] 李东育, 陈劲松. 浅拉延模技术的研究与应用[J]. 装备制造技术, 2007(2): 53-55.

[11] 蒋磊, 龚剑, 王龙, 等. 侧围外板浅拉延成形工艺数值模拟[J]. 塑性工程学报, 2020, 27(9): 73-81.

[12] 程瑞贺, 赵焯, 孙小会, 等. 翼子板浅拉延工艺的应用研究[J]. 汽车工艺与材料, 2019(1): 26-29.

[13] 刘磊. 背门内板浅成形工艺开发与模具设计[J]. 时代汽车, 2018(8): 94-95.

[14] 陈青山, 潘书华, 黄瑶, 等. 基于响应面与遗传算法的汽车前围板拉延工艺参数优化[J]. 锻压技术, 2023, 48(8): 72-77.

[15] 李雷, 吴小俊. 基于正交试验的前围板拉延成形工艺参数优化[J]. 锻压技术, 2017, 42(3): 48-51.

[16] 王涛, 孙占军, 武彩峰. 5182铝合金前围板冲压工艺研究[J]. 汽车实用技术, 2020(8): 178-180+193.

[17] 沈现青, 黄昭明, 陈森林, 等. 基于CAE技术的轿车前围板全工序模面设计方法[J]. 南京工程学院学报(自然科学版), 2019, 17(1): 14-18.

- [18] HOLMBERG S, THILDERKVIST P. Influence of Material Properties and Stamping Conditions on the Stiffness and Staticdent Resistance of Automotive Panels[J]. Materials and Design, 2002, 23(8): 681-691.
- [19] SHEN H Q, LI S H, CHEN G L. Numerical Analysis of Panels' Dent Resistance Considering the BAUSCHINGEREFFECT[J]. Materials and Design, 2010, 31(2): 870-876.

