

车门外水切芯金结构分析及缺陷问题解决

陈秀岭 王晓云

(秦皇岛威卡威汽车零部件有限公司, 秦皇岛 066000)

摘要: 为保证汽车车门外水切的尺寸精度, 减少挤出生产缺陷并保证水切安装后的稳定性, 芯金的形状及成形精度尤为重要。对一类不对称芯金断面辊压成形工艺进行研究, 使用计算机辅助工程(CAE)对断面结构进行仿真分析, 在确保不影响性能的情况下, 对芯金结构型式和现有辊压工装结构进行优化, 解决了一类非对称断面产品生产中的窜料缺陷和碾料问题, 并以此为依据完成了多套辊压工装开发, 有效提高了汽车零部件的生产品质。

关键词: 车门外水切 芯金 结构优化 辊压成形

中图分类号: U463.83; TG386

文献标志码: B

DOI: 10.19710/J.cnki.1003-8817.20240061

Structure Analysis and Defect Solution of Metal Insert for Outer Belt Weather-Strip of the Door

Chen Xiuling, Wang Xiaoyun

(Qinhuangdao WKW Automotive Parts Co., Ltd., Qinhuangdao 066000)

Abstract: In order to ensure the dimensional accuracy of the outer belt weather-strip, reduce the extrusion production defects and ensure the stability of the outer belt weather-strip installation on the door, the shape of the metal insert and the forming accuracy are particularly important. In this paper, the roll forming process of a kind of asymmetric metal insert section is studied, the cross-section structure is simulated and analyzed by CAE method, and the metal insert structure is optimized and the structure of the existing roll-forming tooling is optimized without affecting the performance, thus solving the defects of material crossing and grinding in the production of a kind of asymmetric section products. Based on this, multiple sets of roll-forming tooling are developed, which effectively improves the production quality of auto parts.

Key words: Outer belt weather-strips, Metal insert, Structure optimization, Roll forming

1 前言

汽车车门的外水切和内水切通过卡子固定或直接压入车门门板, 与车门处的玻璃配合, 保证玻璃平稳升降运行的同时起到车门装饰、防水、防尘、密封、减震、隔音以及玻璃导向的作用^[1-2]。车门水切结构及产品尺寸的精度直接影响整车造型美观性、密封性能以及噪声舒适度。

水切卡接在车门钣金上的部分称为水切骨

架, 一般为金属芯金与三元乙丙橡胶(Ethylene Propylene Diene Monomer, EPDM)、聚氯乙烯(Polyvinyl chloride, PVC)或热塑性弹性体(Thermoplastic Elastomer, TPE)共挤出成型, 通过水切骨架唇边与玻璃挤压压缩变形形成密封, 在密封唇边上进行植绒处理以减小运动过程中的摩擦阻力^[3]。水切要与车门钣金扣合, 故其对强度要求很高, 单纯依靠EPDM、PVC或TPE无法形成较大的结合力, 因此, 在其中嵌

作者简介: 陈秀岭(1979—), 男, 硕士学位, 工程师, 研究方向为零部件结构设计及成形工艺。

参考文献引用格式:

陈秀岭, 王晓云. 车门外水切芯金结构分析及缺陷问题解决[J]. 汽车工艺与材料, 2024(10): 60-65.

CHEN X L, WANG X Y. Structure Analysis and Defect Solution of Metal Insert for Outer Belt Weather-Strip of the Door[J]. Automobile Technology & Material, 2024(10): 60-65.

入金属芯金加强水切骨架,以保证水切的稳定性。

一般的金属芯金材质为钢或铝合金,为满足汽车轻量化需求,水切大多使用铝合金等轻质材料的金属芯金^[4]。

某断面不对称性较强的骨架铝合金芯金,在生产过程中出现了材料在辊轮中横向滑动的问题,导致断面长短边窜料严重,并出现碾边和掉铝屑现象,芯金断面进入挤出口模时出现刮边缺陷,影响了生产的稳定性和效率。

本文对此类不对称水切铝合金芯金的断面结构进行分析,在保证水切稳定性和牢固度的前提下,优化断面结构。芯金断面成形工艺方面,优化现有辊压工装孔型设计,解决生产缺陷问题。继而从产品结构设计和工艺开发方面总结经验,解决断面不对称性较强芯金断面的生产问题,避免缺陷产生,提高生产效率。

2 产品断面结构分析及设计

如图1a所示为某轿车车门外水切密封条,安装在车门窗外侧的车门钣金上。图1b为产品断面状态示意。

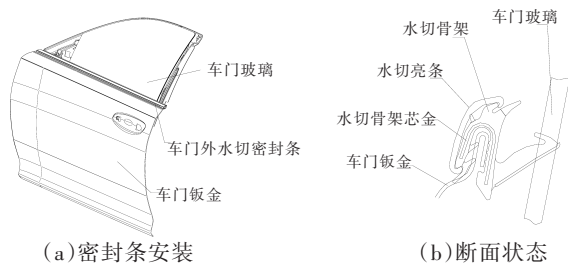


图1 产品三维安装和断面状态示意

为便于生产安装,水切结构一般需满足每100 mm长度安装所需的插入力不高于50 N,以确保安装效率;为保持水切装配在车门钣金上的牢固度和稳定性,避免水切在使用中松动或脱落,水切一般通过两端端盖固定结构、其自身结构中所带的芯金和夹持位置的弹性结构(夹持齿)固定,需满足每100 mm长度从钣金上拔出所需的力不低于100 N。

水切橡胶骨架类产品加工工艺流程为:芯金断面成形、骨架复合挤出、硫化、冷却、涂胶、植绒、固化、后成形、定尺切断、端头冲切、注塑端头端盖^[5]。

一般的水切产品断面结构中,水切金属芯金对称性较好,2条立边长度相差不大,差值不超过5 mm,如图1b所示。此类产品在生产过程中的尺寸稳定性较好。

如图2所示,某车型A产品断面长短边设计高度差为8 mm,实际成形后长立边长度偏差约为0.7 mm,存在较大偏差及生产缺陷。

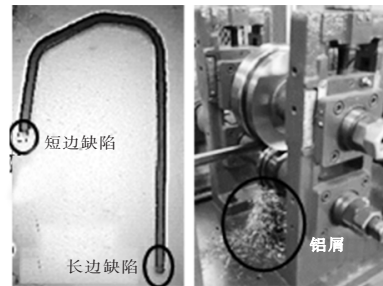


图2 现有车型A产品缺陷示意

由于某新车型B的车门钣金结构变化,水切芯金两立边长度差达到12.4 mm,图3所示为该车型的水切数据初始结构和芯金的部分尺寸。为降低工艺开发的难度和缺陷概率,需要分析断面结构,设计合理的断面型式。该车型要求水切每100 mm长度插入力不高于60 N,每100 mm长度拔出力不低于80 N。

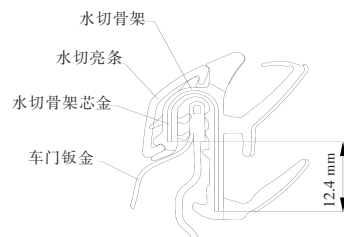


图3 某车型B水切结构及基本尺寸示意

从成形工艺设计考虑,原设计断面中部为圆弧段,在成形过程中材料在上下辊轮间的夹持稳定性较低,因此,考虑在中部区域添加直线段,以利于产品成形工艺设计。

骨架与钣金匹配接触区域结构型式保持不变,考虑设计4种不同的产品芯金结构,主要区别为骨架芯金中间区域是否带有直线段结构,芯金短边是否带折边结构。如图4所示:a型为初始结构,芯金中间区域为弧段,短边无折边结构;b型芯金中间区域为直线段,短边无折边结构;c型芯金中间区域为直线段,短边有折边结构;d型芯金中间区域为弧线,短边有折边结构。

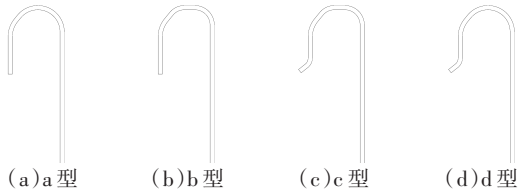


图4 4种芯金不同结构型式

在此基础上设计出4种不同的水切密封条断面结构用以进行对比分析,如图5所示。

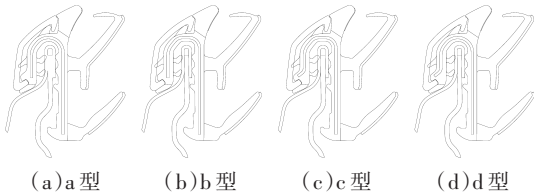


图5 4种外水切密封条不同结构断面对比

虽然水切芯金为线弹性材料,但水切橡胶骨架夹持部位的材料主要为硬胶和软胶,该材料具有大变形、高弹性和高延展率的特性;在较小应力作用下可产生大变形,具有典型几何非线性特征;在大应变状态下,应力应变关系呈非线性,属于材料非线性^[6]。为验证芯金结构对水切插入力、拔出力 and 夹持力的影响,得到较为理想的仿真结果,本文运用非线性有限元分析软件 Abaqus CAE 进行分析研究。

3 产品断面结构模拟分析

本文以车型 B 断面 a 型为例进行模拟分析。所分析外水切密封条产品材料由邵氏硬度 A 80±5 EPDM 硬胶、邵氏硬度 A 60±5 EPDM 软胶、芯金材料 5754H44 和装饰条 Al6060 组成。按照平面应变问题进行建模和计算^[7-8]。选用 CPE4H 四节点线性平面应变四边形单元进行分析^[9]。夹持部位的夹持齿与钣金间有相对滑动,利用罚函数模型精确描述切向行为,利用硬接触模型描述法向行为^[10-11]。

导入断面数据,建立零件几何模型,如图6所示。

仿真结果表明:水切骨架与车门钣金装配时,外侧上夹持齿与钣金接触时插入力达到最大;水切骨架从车门钣金上拔出,右侧下夹持齿与钣金接触时拔出力达到最大;水切骨架安装到位时,夹持力达到最大值。图7所示为以上3个位置的应力状态。

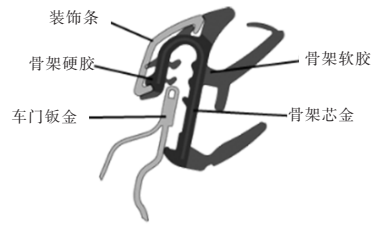
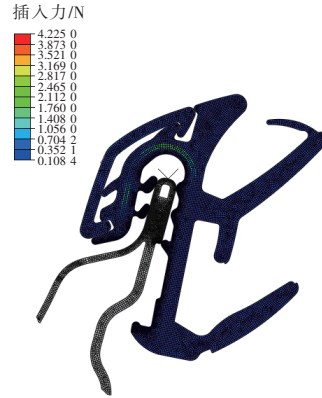
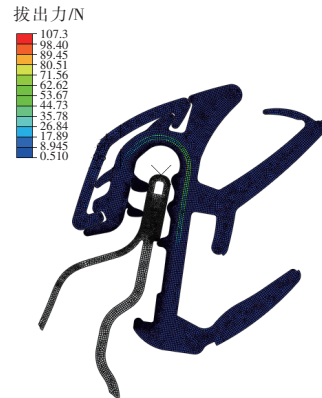


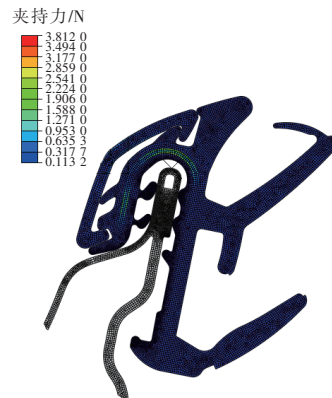
图6 几何模型建立



(a) 插入力最大值



(b) 拔出力最大值



(c) 夹持力最大值

图7 模拟分析结果

表1为4种水切橡胶骨架断面每100 mm长度插拔力和夹持力的计算结果。4种芯金结构的插入力、拔出力、夹持力和相对偏差率均满足车型要求。

表1 骨架插拔力和夹持力计算结果

芯金结构	插入力 $/N \cdot (100\text{ mm})^{-1}$	拔出力 $/N \cdot (100\text{ mm})^{-1}$	夹持力 $/N \cdot (100\text{ mm})^{-1}$
断面a	6.0	158.4	10.05
断面b	6.0	153.3	10.03
断面c	6.0	152.8	10.03
断面d	6.2	162.9	10.05
相对偏差率/%	3.33	6.61	0.21

参照仿真结果,在保持水切骨架与钣金匹配结构不变的情况下,对芯金结构进行调整,保持骨架稳定性的力值结果均在可接受范围内,故可在此范围内对芯金结构进行调整,以满足成形工艺要求。

4 芯金成形工艺设计及工装开发

芯金产品为复合挤出型材前工序零件,为避免芯金材料与挤出模具发生刮蹭,后工序复合挤出工艺对此类芯金尺寸的公差要求为 $\pm 0.2\text{ mm}$ 。此类芯金采用辊压成形工艺(Roll-Forming)成形。

辊压成形工艺开发的基本步骤为:建立成形断面、设定展开基准平面、计算板宽、设计辊花展开图、建立各道次轴线、变形模拟分析材料流动、配辊设计、拆图加工、装配调试^[12-13]。

对现有产品缺陷产生的原因进行分析发现,在成形工艺设计时,设定中间体素作为展开基准平面。由于零件的不对称性较大,而弯曲方向为同侧成形,零件成形基准两侧材料分布不均且差异较大,零件成形时两两边受辊轮压力和摩擦力不均匀,长边受力大,短边受力小,导致材料向受力较大一侧滑动,成形基准面无法保持稳定,易出现成形断面向长边窜料的情况。

为避免此缺陷,在成形过程中需尽量保证零件基准面成形的稳定,考虑在芯金中间基准成形区域对直段进行反向弯曲变形,增加反向变形筋,利用上下辊轮的阶梯咬合增大夹紧力,压紧材料,阻止材料在成形辊中的横向滑动。该车型要求不允许对芯金有较大改动,故该车型芯金选用b型断面进行开发。

根据复合挤出型材断面成形工艺要求,需展开零件2边作为预成形断面,展开角度为 5° ,如图

8a所示。芯金材料为5754H44铝合金,表面附着涂层,以提高与橡胶材料的附着力。

根据圆角半径及成形角度,设定中性层系数,计算料宽,使用定长变径法设计,根据经验进行角度分配,设计辊花图如图8b所示。成形基准面设定在中部直线段处,根据成形角度分析及双边展开角,共设计7组断面成形道次,1组校直道次。

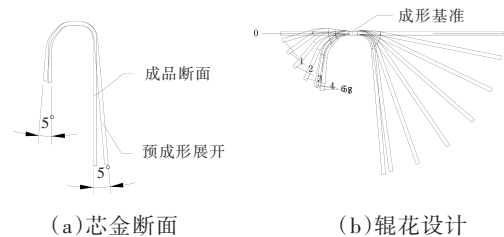


图8 芯金设计断面和辊花设计

结合生产线结构,选择使用35轴辊压预成型机,道次间距为260 mm。利用COPRA RF软件的DTM模块对各道次成形参数进行变形模拟,结果如图9a所示,最大纵向应变如图9b所示,各道次最大纵向应变值均未超过材料的应变极限,满足成形要求^[14-15]。

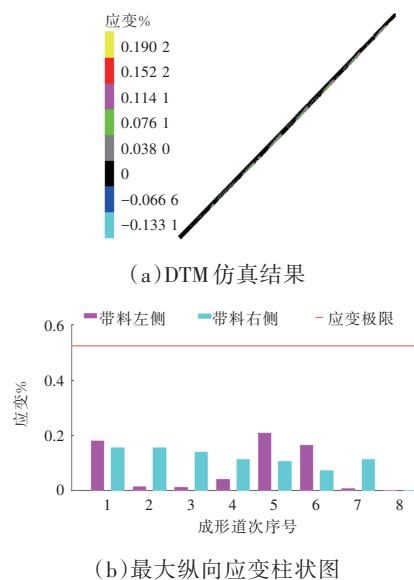


图9 DTM变形模拟

按此成形工艺参数对各道次配辊,进行辊轮设计。上下轴速比为1:1,初始辊轮基准直径设计为112 mm,每道次前滑量设计为1 mm。图10a所示为设计完成的辊轮三维结构,图10b为加工完成的辊压工装。

对辊压工装进行调试,断面成形形状如图10c

所示,长边偏差不高于0.2 mm,相比现有芯金产品(图2中产品的长边偏差约为0.7 mm)有大幅改善。可以满足后工序生产需求,但在生产过程中仍有少量铝屑出现,如图10d所示。

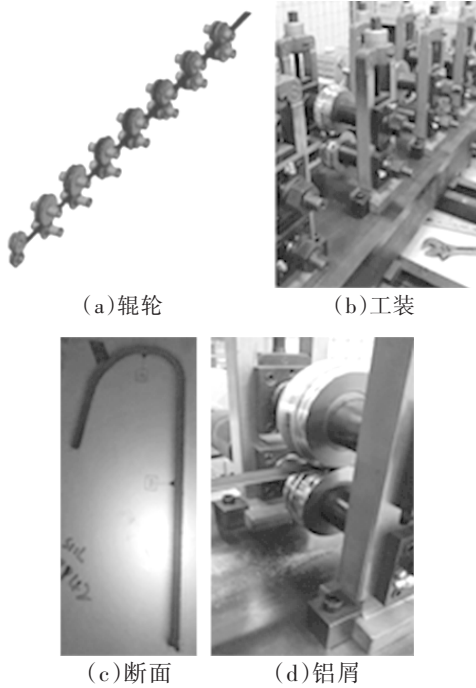


图10 辊轮设计三维结构及辊压工装

5 产品成形工艺调整及产品结构优化

对上述铝屑产生原因进行分析,产品中部成形基准区域有长度为1.35 mm的直段,但直段长度尺寸仍偏小,虽可在辊轮中设计反向弯曲进行材料受力补偿,但不能设计过大反向弯曲角,若变形程度过大需增加成形道次数,提高辊压工装开发成本。因此,在短边处增加折边,平衡材料受力。选用图4c所示的断面进行工艺优化,修改后断面及预成形展开断面如图11a所示,预成形断面辊花设计如图11b所示,工艺设计仍为7组断面成形道次,1组校直道次,不增加辊轮组数。原辊压工装部分辊轮进行修改加工。

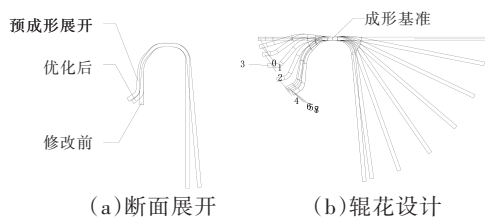


图11 断面优化方案及工艺优化

辊轮修改后进行成形调试,图12为10倍投影

放大图,断面整体公差尺寸均在±0.10 mm范围内,完全符合要求。辊压过程中碾出铝屑问题完全消除。

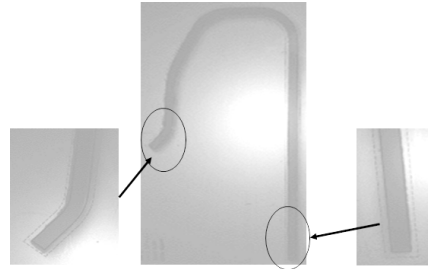


图12 车型B骨架芯金断面投影状态

6 现有产品缺陷问题解决

为解决现有产品缺陷,结合以上开发经验,本文对现有车型A的芯金断面成形工艺进行优化。由于此产品为量产车型,产品结构无法调整,故针对成形工艺进行优化。

图2所示的产品长短立边长度差为8 mm,调整其成形工艺,在中部直线段区域增加反向弯曲筋,修改后断面及预成形展开断面如图13a所示,辊花设计如图13b所示,工艺设计仍为7组断面成形道次,1组校直道次,不增加辊轮组数。原辊压工装部分辊轮进行修改加工。

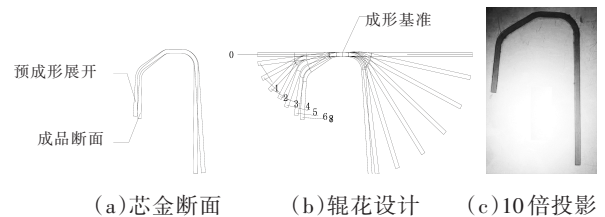


图13 车型A芯金断面及工艺优化

成形工艺优化后的产品断面10倍投影如图13c所示,断面尺寸已在±0.15 mm公差带内,缺陷消除。

7 新产品开发应用

结合以上产品开发经验和现有产品问题解决方法,在产品结构设计阶段时,对不对称芯金断面提出工艺优化建议。如车型C芯金断面中部区域为弧段,短边有折边结构,预成形断面和辊花设计如图14a所示;车型D芯金中部区域为直线段,短边有折边结构,预成形断面和辊花设计如图14b所示。

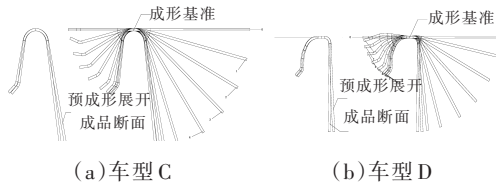


图14 类似断面车型C、车型D芯金开发方案

产品开发完成后的断面10倍放大投影如图15所示,断面整体公差尺寸均在 ± 0.1 mm范围内,完全符合要求,且均无碾边和铝屑缺陷。

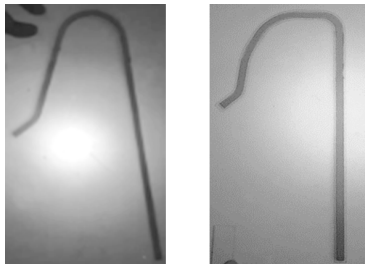


图15 车型C、车型D骨架芯金断面投影状态

8 结束语

本文针对芯金立边长度相差较大、不对称性较强的车门外水切结构,运用非线性有限元分析软件对不同型式芯金进行分析对比,从产品断面结构和成形工艺2个方面进行研究,解决了生产过程中原材料在辊轮中横向偏移、碾边和掉铝屑缺陷,并运用到新产品开发中,有效提高了汽车零部件的生产品质。经生产实践证明,完全满足此类产品批量生产要求。

总结以上开发经验,针对芯金立边长度差异较大,断面不对称性较强的产品,在产品结构设计阶段,需尽可能在短边增加小折边,以利于断面成形时平衡受力。而对于受断面宽度所限无法增加小折边的零件,在芯金断面中部设计直线段以利于成形工艺开发,同时降低缺陷发生概率。

参考文献:

- [1] 周银. 车门外水切结构形式及设计分析[J]. 汽车文摘, 2020(1): 49-53.
- [2] 张龙, 于涵. 汽车车门外水切密封条的设计解析与研究[J]. 汽车实用技术, 2017(5): 42-46.
- [3] 田永, 韦俊. 汽车车门密封条系统的结构与功能研究[J]. 汽车工程师, 2012(8): 17-20.
- [4] 黎泽永. 基于CAE技术的汽车零部件轻量化设计[J]. 装备制造技术, 2019(10): 73-80.
- [5] 魏敏. 汽车门窗外水切密封条冲孔模设计[J]. 广西轻工业, 2009(8): 62+123.
- [6] 熊巧巧, 何锋, 陈启鹏, 等. 基于非线性有限元分析的汽车密封条装配结构优化[J]. 制造业自动化, 2013, 35(14): 37-39.
- [7] 姚宇. 基于有限元的外水切结构优化设计[J]. 汽车实用技术, 2018(6): 44-45+86.
- [8] 黄小兰, 张坡, 邵唤梅. 有限元技术在密封条实际问题解决中的应用[J]. 汽车科技, 2021(4): 63-69.
- [9] 黄燕敏, 郭永进, 周致宏. 轿车导槽密封条的计算机仿真与结构改进研究[J]. 上海汽车, 2009(9): 12-15.
- [10] 赵胜东, 董永衡, 肖河容. 基于MARC外水切压缩负荷优化[J]. 时代汽车, 2022(4): 148-149.
- [11] 陈海燕. ABAQUS有限元分析从入门到精通[M]. 北京: 电子工业出版社, 2015.
- [12] 小奈弘, 刘继英. 冷弯成型技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.
- [13] HALMOS G T. 冷弯成型技术手册[M]. 刘继英, 艾正青, 译. 北京: 化学工业出版社, 2009.
- [14] 王传红, 骆晶, 黄勇军, 等. 基于COPRA的电梯导轨辊弯成型仿真与模具调试研究[J]. 机械设计与制造, 2020(1): 72-74+79.
- [15] 魏敏. 基于COPRA与正交试验的密封条钢带滚压成形工艺设计[J]. 模具工业, 2020, 46(6): 12-15.