

白车身薄板冲压件自重变形非线性仿真分析

刘永超 张建坤 马春辉 贡泽飞 李景鹏

(中国重型汽车集团有限公司, 济南 250000)

摘要:为分析自重变形对薄板冲压件尺寸检测合格率的影响,利用HyperMesh与Abaqus构建天窗顶盖外板和中通道焊接总成自重变形非线性联合仿真模型。结果表明,不同的摆放姿态克服自重变形的能力不同,凸放可以提高零件克服自重变形的能力,验证了自重变形非线性分析方法指导白车身薄板冲压件测量方案设计的可行性。

关键词:薄板冲压件 自重变形 非线性 仿真

中图分类号:U466 文献标志码:B DOI: 10.19710/J.cnki.1003-8817.20230277

Nonlinear Simulation Analysis of Gravity Deformation of Sheet Stampings for Body-in-White

Liu Yongchao, Zhang Jiankun, Ma Chunhui, Gong Zefei, Li Jingpeng

(China National Heavy Duty Truck Group Corporation, Jinan 250000)

Abstract: In order to analyze the influence of gravity deformation on the size pass rate of sheet stampings, Hypermesh and Abaqus were used to construct the nonlinear co-simulation model of gravity deformation of the sunroof cover plate and the tunnel welding assembly. The results show that different placement positions have different abilities to overcome gravity deformation, and the convex placement can improve the ability of parts to overcome gravity deformation. The simulation results verify the feasibility of nonlinear analysis method of gravity deformation to guide the measurement scheme design of sheet stampings of BIW.

Key words: Sheet stampings, Gravity distortion, Nonlinearity, Simulation

1 前言

白车身薄板冲压件尺寸大、结构复杂,自重变形会影响零件尺寸检测合格率^[1-2]。在设计薄板冲压件测量方案时,需要综合考虑其在检具上摆放姿态和定位基准的数量^[3],以减小自重变形对检测结果的影响。传统白车身薄板冲压件测量方案的设计往往依赖于过往车型资料 and 人员经验,但因工艺过程变更、零件形状变化和人员经验的影响,会出现摆放姿态不合理和定位基准数量不足无法满足克服自重变形要求的问题,甚至出现定位基准数量冗余的现象。定位基准数量冗余会导致零

作者简介:刘永超(1992—),男,硕士学位,主要研究方向为车身尺寸匹配技术。

参考文献引用格式:

刘永超,张建坤,马春辉,等.白车身薄板冲压件自重变形非线性仿真分析[J].汽车工艺与材料,2024(8):7-11.

LIU Y C, ZHANG J K, MA C H, et al. Nonlinear Simulation Analysis of Gravity Deformation of Sheet Stampings for Body-in-White[J]. Automobile Technology & Material, 2024(8): 7-11.

件与检具贴合不良,提高冲压件模具调试和焊接总成精度提升的难度。

利用HyperMesh与Abaqus构建接触非线性联合仿真模型,模拟不同摆放姿态和定位基准数量对自重变形的影响,为白车身薄板冲压件测量方案的设计提供指导。

2 建模思路

白车身冲压件在检具上的摆放姿态要求与整车坐标系一致,鉴于测量操作方便性和工艺过程要求等,允许将零件旋转 $\pm 90^\circ$ 或 $\pm 180^\circ$ ^[4]。将冲压件固定于检具上的一般过程为:首先将冲压件放在检

具上,然后插入定位销,最后按照检测要求依次夹紧零件。在检具上判断冲压件质量时,通常更关注冲压件在自由状态(未夹紧)下的精度。

在夹紧之前,检具定位面与薄板冲压件表面因重力作用相互接触,并产生相对小滑移。接触滑移属于边界条件非线性问题^[5],因此需要构建检具定位面与冲压件表面间的滑移非线性模型。白车身冲压件为薄板件,需要在抽取中性面后再进行网格划分,HyperMesh拥有丰富的有限元分析预处理功能,Abaqus具有强大的非线性分析能力,因此选择二者联合仿真建立白车身薄板冲压件自重变形非线性分析模型。

3 建模流程

3.1 HyperMesh 前处理

根据冲压件测量方案关于摆放姿态与定位面的位置和大小定义绘制定位面的数模,定位面的厚度设计为 5 mm。冲压件和定位面数模转为 stp 格式导入 HyperMesh 进行前处理;若为焊接总成,可删除螺母、螺柱等附属件再导入 HyperMesh,以降低模型的复杂程度。冲压件抽取中性面后划分网格,网格单元类型为壳单元;定位面可视为刚性体,划分为六面体网格,网格单元类型为实体单元。定义冲压件与定位面间的面接触属性。焊接总成的焊点采用 fastener。冲压件和定位面的材料密度、弹性模量、泊松比和摩擦因数等参数如表 1 所示。前处理完成后导出为 inp 文件。

表 1 仿真参数

仿真参数	数值
冲压件网格尺寸/mm	5
定位面网格尺寸/mm	3
重力加速度/mm·s ⁻²	9 806
钢密度/t·mm ⁻³	7.9×10 ⁻⁷
钢弹性模量/MPa	210 000
泊松比	0.3
摩擦因数	0.15

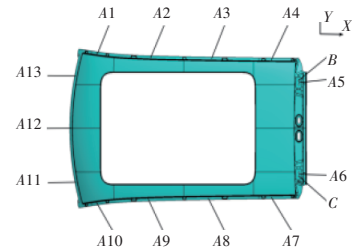
3.2 Abaqus 后处理

导入前处理 inp 文件,在 Abaqus 中分别建立每个定位面与冲压件的小滑移接触,小滑移接触参数采用默认设置。约束定位孔边缘节点在限制方向上的自由度,并在冲压件上施加重力。

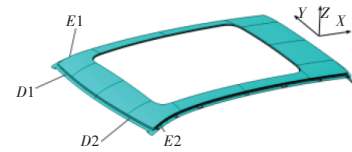
4 仿真分析

4.1 线性与非线性模型对比

某车型天窗顶盖外板 X 向长为 2 083 mm, Y 向宽为 1 225 mm, Z 向高为 178 mm,料厚为 0.7 mm,质量 7.4 kg,定位基准如图 1 所示。其中 B、C 为主轴定位孔, D1、D2、E1 和 E2 为限制其旋转的辅助定位面, A1~A13 为主定位基准面。定位基准信息如表 2 所示。



(a) 主定位基准面及主轴定位孔



(b) 辅助定位面

图 1 天窗顶盖外板定位基准

表 2 天窗顶盖外板定位基准信息

定位	方向	尺寸/mm	X/mm	Y/mm	Z/mm
B	X、Y	Φ12	3 987.13	370.00	2 181.03
C	X	Φ12	3 987.13	-370.00	2 181.03
D1	X	8×12	2 043.62	427.00	2 199.00
D2	X	8×12	2 043.62	-427.00	2 199.00
E1	Y	5×12	2 246.00	562.6	2 237.00
E2	Y	5×12	2 246.00	-562.6	2 237.00
A1	Z	10×20	2 229.00	578.00	2 224.26
A2	Z	10×20	2 699.00	549.00	2 263.88
A3	Z	10×20	3 222.00	539.00	2 254.33
A4	Z	10×20	3 758.00	532.00	2 214.62
A5	Z	20×50	3 987.00	355.00	2 181.04
A6	Z	20×50	3 987.00	-355.00	2 181.04
A7	Z	10×20	3 758.00	-532.00	2 214.62
A8	Z	10×20	3 222.00	-539.00	2 254.33
A9	Z	10×20	2 699.00	-549.00	2 263.88
A10	Z	10×20	2 229.00	-578.00	2 224.26
A11	Z	10×20	2 018.00	-365.00	2 189.05
A12	Z	10×20	1 981.00	0.00	2 198.91
A13	Z	10×20	2 018.00	365.00	2 189.05

4.1.1 线性模型

当位移边界条件为主定位孔 *B*、辅助定位孔 *C*、定位面 *D1*、*D2*、*E1* 和 *E2* 不起作用,仅定位面 *A1*~*A13* 与顶盖外板建立固定连接,即二者之间无滑移时,天窗顶盖外板的自重变形为线性问题。

天窗顶盖外板按照整车坐标系放置,即外表面向上(凸放)时,在重力作用下,天窗口后部沿 *Z* 轴负向的最大变形量为 0.36 mm,如图 2 所示。

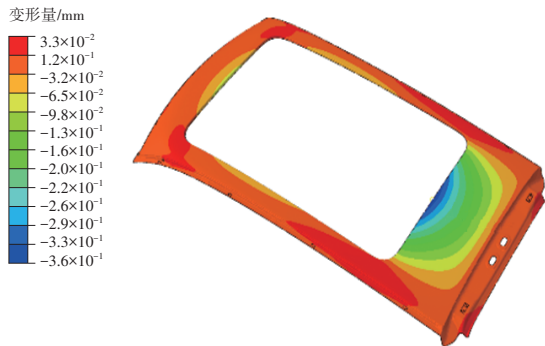


图2 天窗顶盖外板凸放线性自重变形

当天窗顶盖外板按照整车坐标系旋转 180° 放置,即外表面向下(凹放)时,在重力作用下,天窗口后部沿 *Z* 轴正向的最大变形量为 0.36 mm,如图 3 所示。

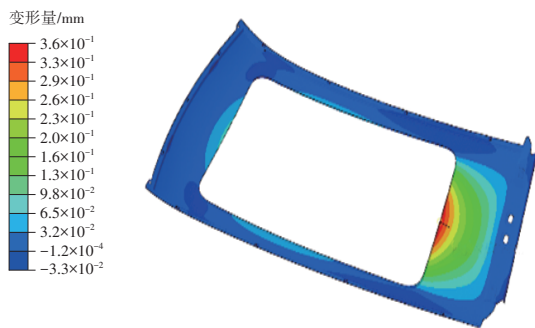


图3 天窗顶盖外板凹放线性自重变形

由图 2 和图 3 可知,当天窗顶盖外板自重变形为线性模型时,无论凸放还是凹放,其自重变形量一致。

4.1.2 非线性模型

设置位移边界条件为:约束主定位孔 *B* 节点的 5 个自由度,释放 *Z* 向的移动自由度;约束辅助定位孔 *C* 节点的 4 个自由度,释放 *Y* 向和 *Z* 向的移动自由度;并在 *D1*、*D2*、*E1*、*E2* 和 *A1*~*A13* 与天窗顶盖外板之间建立小滑移接触。因为存在小滑移接触,这时顶盖外板的自重变形为非线性问题。

当天窗顶盖外板凸放时,在重力作用下,天窗口后部沿 *Z* 轴负向的最大变形量为 0.57 mm,如图 4 所示。

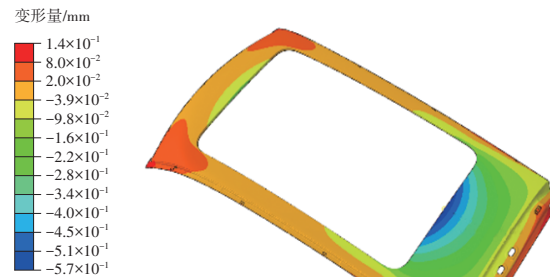


图4 天窗顶盖外板凸放非线性自重变形

当天窗顶盖外板凹放时,在重力作用下,天窗口后部沿 *Z* 轴正向的最大变形量为 0.68 mm,如图 5 所示。

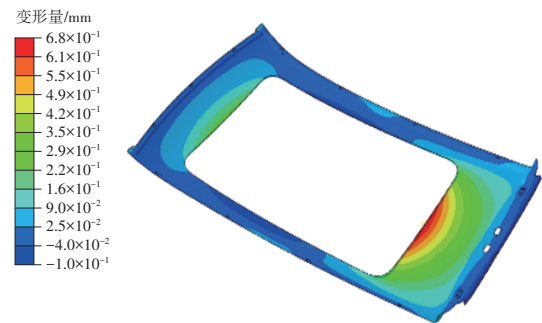


图5 天窗顶盖外板凹放非线性自重变形

由图 4 和图 5 可知,当天窗顶盖外板自重变形为非线性模型时,凸放比凹放变形量小 0.11 mm。说明凸放能提高天窗顶盖外板克服自重变形的能力。

通过图 4 与图 2 对比分析可知,非线性凸放比线性凸放变形量大 0.21 mm,说明在建立线性模型时,定位面 *A1*~*A13* 与天窗顶盖外板之间的固定连接限制了天窗顶盖外板在重力作用下与定位面之间的滑移,这种边界条件增大了天窗顶盖外板模型的刚度。白车身冲压件放在检具上的过程是先放件后夹紧,冲压件与检具定位面接触的瞬间,在重力作用下已产生小滑移,非线性自重变形的建模方式与实际更相符。

4.2 定位基准数量不足

由 4.1 节的仿真结果可知,天窗顶盖外板检测时的摆放姿态应定义为凸放。由图 4 可知,天窗顶盖外板天窗口后部沿 *Z* 轴负向的最大变形量为

0.57 mm, 超过冲压件一般公差 ± 0.5 mm, 说明定位基准数量不足, 需要增加定位面以克服自重变形。在天窗口后部中间位置增加定位面 A14, 如图 6 所示。定位面 A14 的信息如表 3 所示。

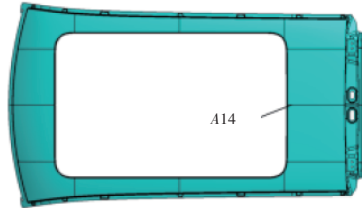


图 6 定位面 A14 位置示意

表 3 定位面 A14 信息

定位	方向	尺寸/mm	X/mm	Y/mm	Z/mm
A14	Z	10×10	3 617.00	0.00	2 282.63

构建天窗顶盖外板非线性凸放模型, 添加的位移边界条件为: 约束主定位孔 B 节点的 5 个自由度, 释放 Z 向的移动自由度; 约束辅助定位孔 C 节点的 4 个自由度, 释放 Y 向和 Z 向的移动自由度; 在 D1、D2、E1、E2 和 A1~A14 与天窗顶盖外板之间建立小滑动接触。如图 7 所示, 增加定位面 A14 后, 在重力作用下, 天窗口后部沿 Z 轴基本无变形; 最大变形位置出现在天窗口两侧, 沿 Z 轴负向最大变形量为 0.16 mm, 满足设计要求。

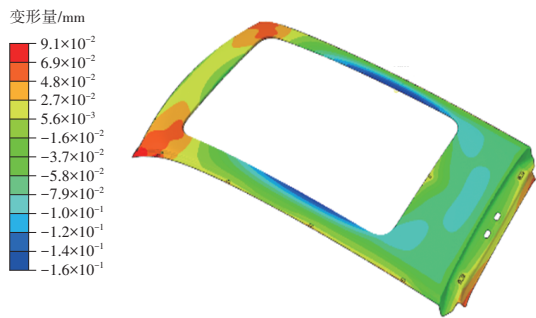


图 7 增加定位面天窗顶盖外板非线性自重变形

4.3 定位基准设计冗余

某车型中通道焊接总成由 6 个冲压件拼焊而成, X 向长度为 1 465 mm, Y 向宽度为 567 mm, Z 向高度为 311 mm, 质量为 15.9 kg, 其定位基准如图 8 所示。定位基准信息如表 4 所示。6 个冲压件料厚和质量信息如表 5 所示。

定义中通道焊接总成测量时按照整车坐标系凸放, 添加的位移边界条件为: 约束主定位孔 B 节点的 5 个自由度, 释放 Z 向的移动自由度; 约束辅

助定位孔 C 节点的 4 个自由度, 释放 X 向和 Z 向的移动自由度; 并在 A1~A11 与中通道焊接总成之间建立小滑动接触。中通道焊接总成非线性自重变形如图 9 所示, 沿 Z 轴负向的最大变形为 0.15 mm。

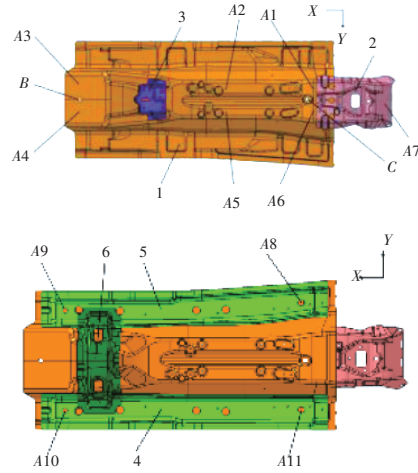


图 8 中通道焊接总成定位基准

表 4 中通道定位基准信息

定位	方向	尺寸/mm	X/mm	Y/mm	Z/mm
B	X、Y	$\Phi 16$	2 670.00	0.00	986.27
C	Y	16×20	1 659.00	0.00	1 107.00
A1	Z	20×20	1 631.00	-46.00	1 105.50
A2	Z	20×20	2 000.00	-51.00	1 118.00
A3	Z	20×20	2 676.00	-66.00	986.27
A4	Z	20×20	2 676.00	69.00	986.27
A5	Z	20×20	2 000.00	54.00	1 118.00
A6	Z	20×20	1 631.00	62.00	1 105.50
A7	Z	16×16	1 314.00	14.00	1 180.60
A8	Z	30×40	1 675.00	218.00	897.22
A9	Z	25×40	2 577.00	189.00	898.79
A10	Z	25×40	2 577.00	-189.00	898.79
A11	Z	30×40	1 675.00	-186.00	897.22

表 5 冲压件料厚和质量信息

零件名称	料厚/mm	质量/kg
中通道	1.4	9.5
中通道横梁 I	1.2	0.9
副仪表板支架	1.5	0.5
前地板左纵梁	1.2	2.1
前地板右纵梁	1.2	2.1
中通道加强支架	1.2	0.8

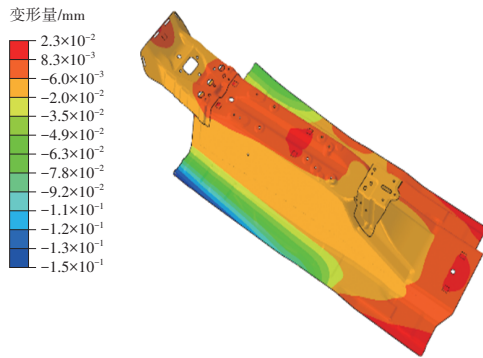


图9 中通道焊接总成非线性自重变形

取消定位面 A2、A5、A7、A9 和 A10,中通道焊接总自重变形如图 10 所示,沿 Z 轴负向的最大变形量为 0.15 mm,说明原定位基准设计冗余。

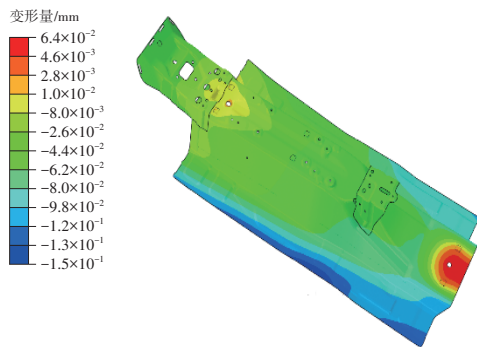


图 10 取消定位面后中通道焊接总成非线性自重变形

5 结论

薄板冲压件与检具定位面接触的瞬间,在重

力作用下,冲压件与检具定位面产生小滑移。冲压件与定位面之间建立固定连接的建模方式会增大冲压件的刚度,非线性自重变形的建模方式与实际更相符。

薄板冲压件在检具上不同的摆放姿态克服自重变形的能力不同,冲压件凸放可以提高自身刚度,克服自重变形的能力更强。

利用 HyperMesh 与 Abaqus 构建接触非线性联合仿真模型,可模拟薄板冲压件不同摆放姿态和定位基准数量对自重变形的影响,从而指导白车身薄板冲压件测量方案的设计。

参考文献:

- [1] 胡世光, 陈鹤峰. 板料冷压成形的工程解析[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2004: 11-15.
- [2] 罗仁平, 张博凡, 孙冬继. 汽车覆盖件重力变形的数值模拟方法[J]. 汽车工艺与材料, 2014(4): 6-9.
- [3] 刘庆上. 产品约束体系对检具开发和产品尺寸检测的影响[J]. 检测与维修, 2021(3): 99-103.
- [4] 危淼, 赵寒, 石存秀. 检具在汽车零件质量检测中的作用及设计的有效性分析[J]. 南方农机, 2020(16): 142-143.
- [5] 石亦平, 周玉蓉. ABAQUS有限元分析实例详解[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006: 125-126.