

ABAQUS 二次开发在自冲铆接模拟中的研究

周建君,许俊海,范青山,李晓宇
(广汽新能源汽车有限公司,广东 广州 511458)

摘要:在汽车白车身连接技术中,自冲铆接占据着重要的地位。基于 ABAQUS 有限元软件建立自冲铆接仿真模型。采用 Python 脚本语言和 RSG 功能对 ABAQUS 软件的前后处理模块进行二次开发,建立参数化建模的人机界面,有效简化建立模型的繁琐过程。通过对不同头高参数和底层板厚度的模型进行仿真与试验,验证仿真模型的准确性。研究结果表明:提高头高参数和底层板厚度都能够增加薄板搭接的铆接接头剩余厚度。

关键词:汽车;自冲铆接;ABAQUS 软件;二次开发;头高参数

中图分类号:TG457 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2021)05-0146-03

Application of Numerical Simulation for SPR Based on ABAQUS Secondary Development

ZHOU Jianjun, XU Junhai, FAN Qingshan, LI Xiaoyu

(Guangzhou New Energy Automobile Co., Ltd., Guangzhou 511458, China)

Abstract: Self-piercing riveting plays an important role in connection technologies of automobile BIW. Based on the ABAQUS software, a SPR simulation model was established. The Python script language and RSG function were used to complete the secondary development of ABAQUS software pre- and post-processing modules. A HMI of parametric modeling was built, which effectively simplified the tedious process of the modeling. Through the simulation and test of models with different head height parameters and bottom plate thickness, the accuracy of the simulation model was verified. The research results showed that the increase of the head height set and bottom plate thickness can both improve the remaining thickness of the riveting of the thin plate overlap.

Keywords: automobile; SPR; ABAQUS software; secondary development; head height parameter

0 引言

自冲铆接被应用于汽车下车体,以及汽车覆盖件和座椅的连接中^[1]。有限元仿真能够模拟自冲铆接的成型过程^[2]。ABAQUS 提供了 Python 语言接口供用户进行仿真的前后处理二次开发,鲁万彪等通过 ABAQUS 二次开发建立了压形件的成型仿真插件,简化了建模过程^[3]。本文选取焊装生产的实际搭接,建立仿真模型,并通过 Python 语言对自冲铆接的前后处理模块进行二次开发,建立了自冲铆接的快速建模和结果处理的 GUI 插件。自冲铆接接头截面参数的剩余厚度是连接质量的重要指标^[4]。针对生产中后地板和前机舱薄板搭接的剩余厚度不足的问题,本文通过仿真和试验相结合的方法研究了头高参数和底层板厚度对接头剩余厚度的影响规律。同时,本文的研究也为研究开发 Python 在其他连接技术的模拟应用提供指导和借鉴。

1 自冲铆接模型建立

1.1 装配体的建立

某汽车白车身后地板分总成的备胎面板与音响支架的搭接组合为薄板铝合金 5 754/1.4 mm+5 754/1.4 mm,铆

接设备是 TUCKER 公司产品,铆钉牌号为 C5.3×6.0H0,铆模为 M260468。图 1 是后地板薄板搭接的自冲铆接装配体和数值仿真模型。

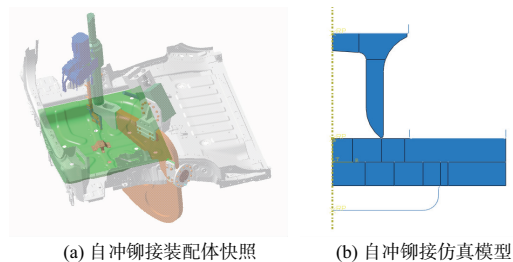


图 1 后地板薄板铆接示意图

铆钉及铆模的几何尺寸如图 2 所示,单位为 mm。在 ABAQUS 软件中建立轴对称装配体仿真模型,其中冲头、铆鼻和铆模为轴对称解析刚体。自冲铆钉和上下铝板为轴对称变形体。

1.2 铆钉和铝合金特性设定

金属定义为各向同性的材料属性。铝合金 5754 的材料属性如表 1 所示^[5]。自冲铆钉 C5.3×6.0H0 的材料为钢材 39NiCrMo3,硬度对应 280±30HV10,性能属性如表 2 所示。

第一作者简介:周建君(1995—),男,安徽阜南人,工程师,研究方向为汽车白车身连接工艺/焊装线体自动化。

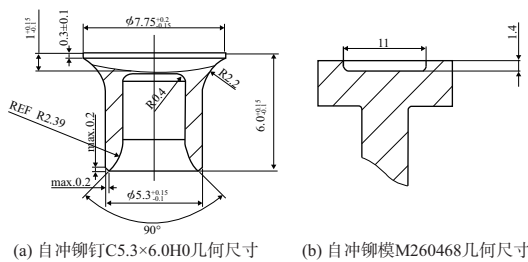


图2 铆钉和铆模的几何尺寸

表1 铝合金 5754 的力学性能

参数	数值	参数	数值
密度/(kg/m ³)	2 680	泊松比	0.33
弹性模量/GPa	70.3	屈服强度/MPa	106
切变模量/GPa	25.9	抗拉强度/MPa	232
塑性应变比(r_{10} 值)	0.6	伸长率/%	21
应变硬化指数(n_{10-20})	0.32		

表2 钢材 39NiCrMo3 的力学性能

参数	数值
密度/(kg/m ³)	7 850
弹性模量/MPa	210
泊松比	0.3
抗拉强度/MPa	936

1.3 边界条件及对象关系的设定

铆鼻和铆模设定为完全固定,冲头固定两个自由度 $U1=UR3=0$,留下一个自由度 $U2$,添加位移载荷,幅值为 6.0 mm,直线加载。冲头 and 自冲铆钉的对象关系设定为固接。许多接触问题如冲压、锻造、旋压、切削等在模拟过程中都可以使用罚摩擦行为^[6]。铆鼻、上下板材、铆模和铆钉之间的接触定义为罚函数,系数取值 0.2。

1.4 网格划分

上下层板采用结构化网格划分技术,单元类型选择四面体,静力学单元库、轴对称应力/位移单元族、线性减缩积分,即接受 CAX4R 单元,网格布置密度为 $0.1 \times 0.1 \text{ mm}^2$,上层板单元数量为 1 260 个,下层板单元数量为 1 260 个。自冲铆钉采用自由化网格划分技术为四面体单元,动力学单元库、轴对称应力/位移单元族、线性减缩积分,即接受 CAX4R 单元,网格布置密度为 $0.15 \times 0.15 \text{ mm}^2$,自冲铆钉的单元数量为 412 个。

2 ABAQUS 二次开发简介

GUI 插件程序可通过 RSG (really simple GUI) Dialog Builder 可视化操作得到,在 GUI 标签页中包括布局管理工具、文字、图标工具、输入框、文件选择等。在 Kernel 编辑标签页中包括文件打开按钮和函数选择下拉列表^[7]。

3 自冲铆接仿真插件的建立

3.1 内核程序

通过 ABAQUS 的宏录制功能,在工作目录得到 abaqusMarco.py 文件。使用文本编辑器 PyCharm 打开并修改源代码,得到铆模直径与深度、铆钉长度、板材厚度组合和头高设置的参数化建模脚本语言。以定义铆模深度和直径为例:

```
#对铆模的深度和直径进行参数化处理,深度:die_depth,直径:die_diameter
s1 = mdb.models['Model-2']. ConstrainedSketch ( name = '___profile___', sheetSize = 50.0)
g, v, d, c = s1.geometry, s1.vertices, s1.dimensions, s1.constraints
s1.sketchOptions.setValues ( viewStyle = AXISYM ), s1.setPrimaryObject ( option = STANDALONE)
s1.ConstructionLine ( point1 = (0.0, -25.0), point2 = (0.0, 25.0) )
s1.Line ( point1 = (0.0, die_depth), point2 = ( die_diameter/2, -2.0) ) ...
p = mdb.models ['Model-1']. Part ( name = 'die_name ', dimensionality = AXISYMMETRIC, type = ANALYTIC_RIGID_SURFACE)
```

3.2 插件界面

通过 RSG 构建 GUI 界面,对标签页中关键字进行定义,使其与前文脚本的参数关键字相对应。同样取铆模的深度和直径为例,产生的源代码如下:

```
#定义铆模的深度和直径
RsgTextField ( p = 'VFrame_4 ', fieldType = 'Float ', ncols = 12, labelText = 'Die_diameter (mm)', keyword = 'die_diameter', default = '')
RsgTextField ( p = 'VFrame_4 ', fieldType = 'Float ', ncols = 13, labelText = 'Die_depth (mm)', keyword = 'die_depth', default = '')
构建了如图 3 所示的用户输入参数界面。
```

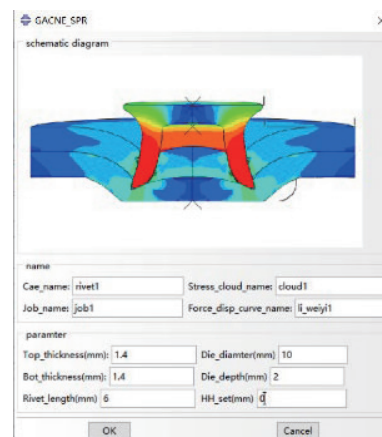


图3 用户输入参数界面

3.3 插件使用说明

利用图 3 所示的插件,在对话框中输入模型数据库文件 cae 和任务 Job 的名称,参数化定义上下层板、铆钉长度、铆模尺寸和头高参数。点击“OK”自动实现装配体生

产、部件分割、接触与耦合定义、工作步建立、场变量添加、历史变量添加、材料性能定义和任务运算提交等操作,再导出最后一个增量时的应力云图并命名图片名称。

4 自冲铆接仿真插件在薄板搭接中的应用

4.1 剩余厚度的头高参数影响研究

为了找到后地板中备胎面板和音响支架的合适连接工艺参数,进行了两种头高参数的铆接仿真和铆接试验。仿真与试验的金相截面如图 4 所示。取剩余厚度为目标结果,测量结果如表 3 所示。

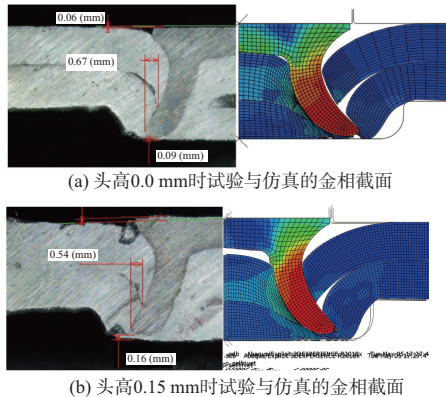


图 4 仿真与试验的金相截面

表 3 仿真与试验的剩余厚度测量值(头高)

试验序号	头高设置值/mm	试验结果/mm	仿真结果/mm	仿真误差/%
1	0.0	0.090	0.094	4.44
2	0.15	0.160	0.170	6.25

由表 3 可得出结论:1) 试验结果与仿真结果误差 < 10%,即仿真模型具有一定的准确性和可信度;2) 增加头高参数值能够提高铆接剩余厚度。

4.2 剩余厚度的底层板厚度影响研究

前机舱分总成结构中前纵梁和减震塔的连接处搭接组是 5 754/1.4 mm + 5 754/1.4 mm 或 2.0 mm,铆钉 C5.3 × 6.0H0,铆模 M260468,头高 0.0 mm,如图 5 所示。进行了两种状态下的铆接仿真和试验。仿真与试验的金相截面如图 6 所示。取剩余厚度为目标结果,测量结果如表 4 所示。

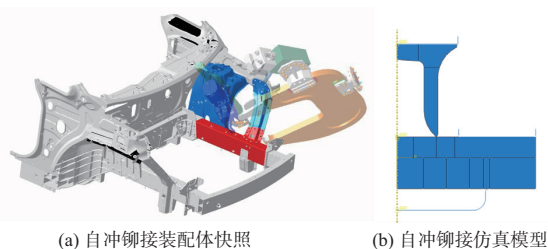


图 5 前机舱薄板搭接示意图

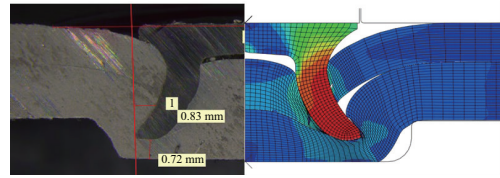


图 6 底板厚度为 2 mm 时试验与仿真的金相截面

表 4 仿真与试验的剩余厚度测量值(底板)

试验序号	底板厚度/mm	试验结果/mm	仿真结果/mm	仿真误差/%
1	1.4	0.090	0.094	4.44
2	2.0	0.720	0.730	1.17

由表 4 可得,增加底层板即铆模侧的材料厚度,能够明显地提高剩余厚度。在同步工程时提出设计变更,建议该处连接的减震塔铝材厚度设计变更为 2.0 mm。

5 结语

1) 基于自冲铆接实际应用案例,建立 ABAQUS 仿真模型。利用 Python 语言和 RSG 功能进行 ABAQUS 软件二次开发,得到自冲铆接仿真插件,提高了前后处理的效率。

2) 针对薄板搭接的剩余厚度较小问题,分别对头高 0.0 mm 和 0.15 mm 两种状态以及底板厚度 1.4 mm 和 2.0 mm 两种状态进行仿真和试验对比,验证了仿真模型的准确性,并得到了提高头高参数和底层板厚度都能够提高铆接接头剩余厚度的结论。

参考文献:

- [1] 李岩,胡志力,于海洋,等. 铝与钢异种材料连接技术及其研究进展[J]. 材料导报,2020,34(13):13167-13174.
- [2] POTGORSCHKE L, DOMITNER J, HÖNSCH F, et al. Numerical simulation of hybrid joining processes: self-piercing riveting combined with adhesive bonding [J]. Procedia Manufacturing, 2020,47:413-418.
- [3] 鲁万彪,李树栋,童娟,等. 基于 Abaqus 的轨道车辆压型件成形模拟系统开发[J]. 机械制造与自动化,2020,49(1):78-81.
- [4] 陈如明. 铝/钢异种金属板件自冲铆接数值模拟与试验研究[D]. 福州:福州大学,2018.
- [5] RODRIGUEZ - MILLAN M, GARCIA - GONZALEZ D, RUSINEK A, et al. Influence of stress state on the mechanical impact and deformation behaviors of aluminum alloys[J]. Metals, 2018,8(7):520.
- [6] 江敏,齐龙,周琴. 基于切削有限元模拟的刀具几何参数优化研究[J]. 机械制造与自动化,2020,49(3):83-86.
- [7] 贾利勇,富琛阳子,贺高,等. Abaqus GUI 程序开发指南[M]. 北京:人民邮电出版社,2016.

收稿日期:2020-05-29