

## 矿冶技术

# 冲压连接接头拉剪强度的有限元分析

钟毅 雷永平 林健 尹兰礼

(北京工业大学材料科学与工程学院,北京 100124)

**摘要** 针对冲压连接接头拉剪强度的数值模拟方法进行研究。对 0.7 mm 低碳钢 + 0.7 mm 低碳钢以及 1 mm 低碳钢 + 1 mm 低碳钢板冲压连接接头的剪切拉伸过程建立有限元模型,采用数值模拟的方法分析冲压连接接头的拉剪强度及失效形式。并且通过试验过程验证有限元模拟结果的可靠性。在确定有限元模型可靠的情况下,分析了冲压连接接头处的网格尺寸以及冲压连接接头的嵌入值对冲压连接接头的影响。研究结果表明:有限元模拟结果与试验结果吻合良好;合适的网格尺寸能够在优化计算时间的同时得到可靠的计算结果;冲压连接接头的拉剪强度受上板嵌入值影响。

**关键词** 冲压连接 拉剪强度 有限元 网格尺寸 嵌入值

**中图法分类号** TG386; **文献标志码** A

点焊是汽车工业中常用的金属板件连接方法。随着“节能减排,低碳时代”成为全球汽车产业的共同课题,轻金属以及各种复合材料在汽车工业中得到广泛应用。传统的点焊技术在使用时,常常受到不同连接材料的限制,在连接技术上出现了明显的不足,已经不能满足新的连接要求。另外,对于多层板材、复合板材、不等厚板材以及中间有夹层的板材之间的连接,点焊就更加不适用了。所以必须找出一种新的连接方法来改善这种情况<sup>[1,2]</sup>。

冲压连接技术(clinch)是由德国托克斯公司开发的一种新型的自冲铆接技术,它具有经济性好,环保性高,优良的可靠性,工艺简单,容易实现自动化等优势<sup>[3]</sup>。目前在欧美等工业发达的国家和地区已经广泛地应用于汽车制造业和家电制造业<sup>[4]</sup>。在德国奔驰汽车上,每年使用该技术的连接点就约有 2 224 万个<sup>[5]</sup>。

为使冲压连接技术得到更加广泛的应用,必须对冲压连接方法进行深入研究。然而,我国在冲压

连接技术上的研究远不如欧美等发达国家,目前国内的研究仅限于冲压连接的工艺以及冲压过程的分析。由内蒙古工业大学的杨晓宁<sup>[6]</sup>等人对铝板件冲压连接技术进行了试验研究,对冲压连接接头连接强度的影响因素进行了分析;此外,他们还使用有限元方法对冲压连接过程进行模拟分析,研究不同模具以及不同厚度的板材对成型后冲压连接接头的颈厚值及嵌入值的影响<sup>[7]</sup>。可是,对于冲压连接接头拉剪过程的预测模型却少有研究。现采用数值模拟与试验验证相结合的方法,针对 0.7 mm 以及 1 mm 板厚的冲压连接接头的拉剪过程进行研究,提出冲压连接接头拉剪强度的预测方法,希望能为冲压连接方法在汽车车身连接中应用提供依据。

## 1 研究对象

试验研究的对象为 0.7 mm 低碳钢(GMW2) + 0.7 mm 低碳钢,1 mm 低碳钢 + 1 mm 低碳钢两种不同的冲压连接接头的有限元模型。

## 2 有限元分析

模拟过程所使用的有限元软件为 ABAQUS。在

2011 年 3 月 7 日收到 国家自然科学基金项目(51005004)、

北京市自然科学基金项目(3102002)资助

第一作者简介:钟毅(1985—),男,硕士研究生,研究方向:材料连接方法。E-mail: zhongyi@emails.bjut.edu.cn。

模拟过程中,考虑到在冲压接头拉剪过程中,外加载荷对冲压连接接头所产生的作用,其传递和消耗的过程是通过材料间的接触和摩擦来完成的,所以板材之间的接触条件是一个重要的影响因素。为简化模型,在模拟过程中,仅考虑外部载荷及材料间的接触和摩擦情况等几个重要因素。

## 2.1 模型的建立

图1(a)为0.7 mm低碳钢+0.7 mm低碳钢冲压连接接头的截面图形,根据图1(a)中冲压连接接头的截面形状及尺寸,建立如图1(b)所示的冲压连接接头的有限元模型,接头模型的几何尺寸如图2所示。考虑接头沿中心面对称,故取1/2模型进行计算。并按相同方式建立另外一个冲压连接接头的模型。

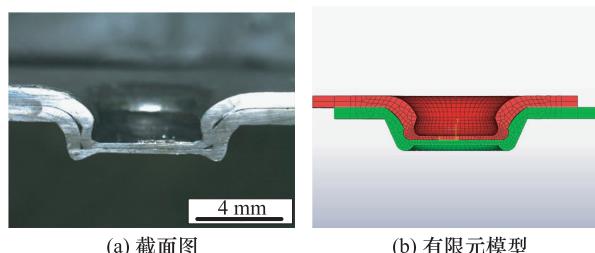


图1 0.7 mm + 0.7 mm 冲压连接接头截面图及有限元模型

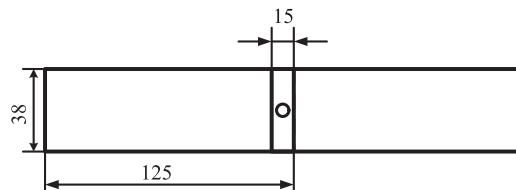


图2 冲压连接拉剪接头尺寸图

## 2.2 材料性能参数

研究钢-钢的冲压连接接头的剪切拉伸过程,其中钢为0.7 mm以及1 mm的低碳钢,其力学性能参数参见表1。

表1 材料力学性能参数

材料	杨氏模量/GPa	泊松比	屈服强度/MPa
GMW2	210	0.33	250

## 2.3 接触条件及边界条件

冲压连接接头分为上层板材,下层板材两个部

分,两个部分之间的接触关系定义为ABAQUS接触关系中的通用接触。另外,钢-钢之间的摩擦系数设为0.15。接头拉剪过程的边界条件设置与拉伸试验时情况一致,即一端固定,另一端施加载荷,经计算分析可得出冲压连接接头的力-位移载荷曲线。

## 2.4 模拟计算结果

试验主要研究0.7 mm+0.7 mm低碳钢和1 mm+1 mm低碳钢冲压连接接头的剪切拉伸过程。

图3(a)为板厚0.7 mm+0.7 mm低碳钢冲压连接接头剪切拉伸过程的模拟结果。从图中可以看出,上层板材已从接头处拉脱出来,发生了板材剥离失效。

图3(b)为该过程的试验验证结果,从试验结果中同样可以得出该接头发生的是板材剥离失效,其失效模式与模拟结果完全吻合。

图3(c)为试验与模拟结果所得出的力-位移曲线的对比,从图中可以看出,两条曲线所得出的峰值载荷相同,并且变化趋势基本一致。

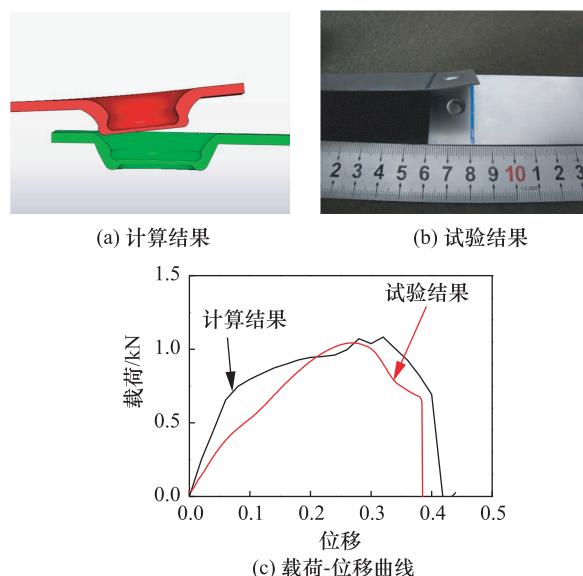


图3 0.7 mm + 0.7 mm 冲压连接接头结果

另外板厚为1 mm+1 mm低碳钢冲压连接接头剪切拉伸过程的模拟结果,与该过程验证试验结果的接头的失效形式相同。并且,该验证试验结果与模拟结果所得出的力-位移曲线的变化趋势也趋

于一致。从该结果可以看出,冲压连接接头的模拟结果与验证试验结果基本吻合。

## 2.5 验证试验

为了进一步确认模型的可靠性,改变 $0.7\text{ mm}+0.7\text{ mm}$ , $1\text{ mm}+1\text{ mm}$ 钢-钢的冲压连接接头的搭接宽度(overlap)为 $20\text{ mm}$ 以及 $25\text{ mm}$ ,重新进行模拟计算,然后再做相应试验进行验证,所得出结果如图4所示。图4(a)为 $0.7\text{ mm}+0.7\text{ mm}$ 冲压连接接头搭接宽度与载荷之间的关系,图4(b)为 $1\text{ mm}+1\text{ mm}$ 冲压连接接头搭接宽度与载荷之间的关系。

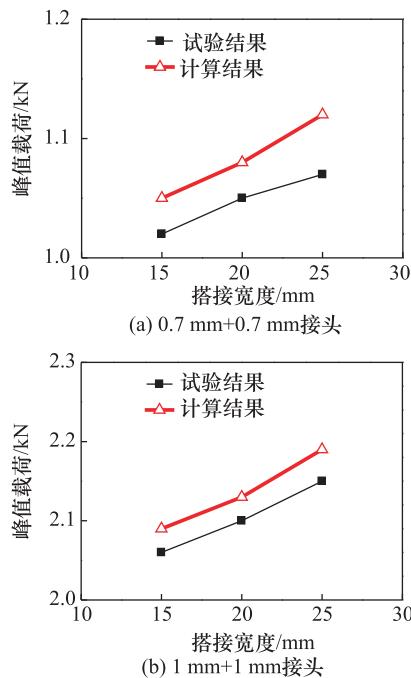


图4 冲压连接接头计算与试验  
结果力-搭接宽度曲线对比

模拟结果与试验结果的拉剪强度基本吻合,另外峰值载荷随搭接宽度增大而略微增加的趋势也一致,并且失效形式也完全相同。由此可以得出使用该方法对冲压连接接头剪切拉伸过程进行预测分析是可行的。

## 3 模拟研究中几个关键参数的影响

### 3.1 网格尺寸对冲压连接接头计算结果的影响

在数值模拟过程中,网格划分的好坏直接影响

到计算结果。合理的网格划分能在得到有效可靠的数据结果的同时,尽量地节约计算时间,提高计算效率。

在同一个冲压连接接头的模型上,保持其他条件不变,仅改变接头处的网格的尺寸,分别将接头处的网格尺寸划分为 $0.2\text{ mm}$ , $0.4\text{ mm}$ , $0.6\text{ mm}$ , $0.8\text{ mm}$ 以及 $1\text{ mm}$ ,如图5所示,其中图5(a)为 $0.7\text{ mm}+0.7\text{ mm}$ 冲压连接接头网格尺寸为 $0.2\text{ mm}$ 时的模型图,图5(b)为 $0.7\text{ mm}+0.7\text{ mm}$ 冲压连接接头网格尺寸为 $0.4\text{ mm}$ 时的模型图。

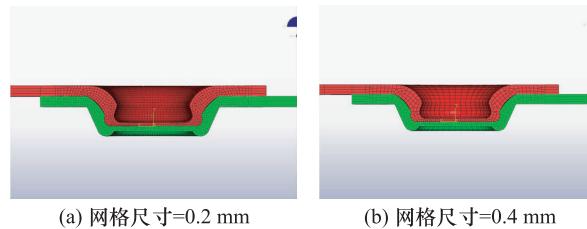


图5 0.7 mm + 0.7 mm 冲压连接接头不同网格尺寸模型图

通过计算得出如图6所示的结果,其中图6(a)为 $0.7\text{ mm}+0.7\text{ mm}$ 冲压连接接头网格尺寸-接头峰值载荷曲线,图6(b)为 $1\text{ mm}+1\text{ mm}$ 冲压连接接头网格尺寸-接头峰值载荷曲线。

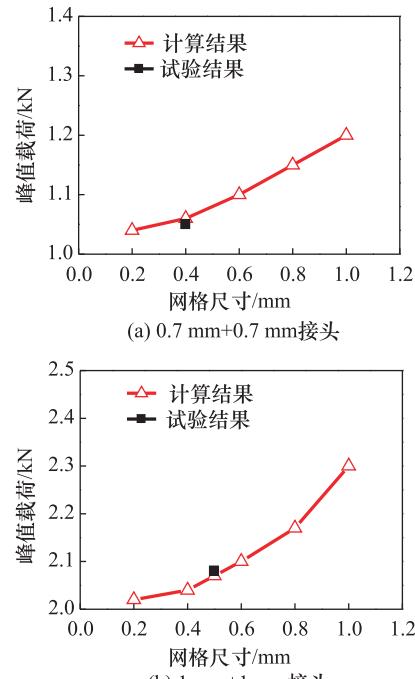


图6 不同冲压连接接头网格尺寸与峰值载荷曲线图

从曲线图中可以看出,0.7 mm + 0.7 mm 冲压连接接头强度的验证试验结果位于网格尺寸为0.2 mm—0.4 mm之间,而1 mm + 1 mm 冲压连接接头强度的验证试验结果位于网格尺寸为0.4 mm—0.6 mm之间。从上述结果可以得出网格尺寸越小,计算精度越高;另外在同厚度板冲压连接的情况下,网格尺寸低于板厚1/2时,即可以满足计算的精度要求。

### 3.2 嵌入值对冲压连接接头拉剪强度的影响

在冲压连接接头的剪切拉伸过程中,上板在接头处的嵌入值(undercut)是评价冲压连接接头强度的一个重要参数。

图7为不同1 mm + 1 mm 冲压连接接头其他条件不变情况下,不同上板嵌入值的模型图,其中图7(a)嵌入值为0.2 mm,图7(b)嵌入值为0.35 mm。

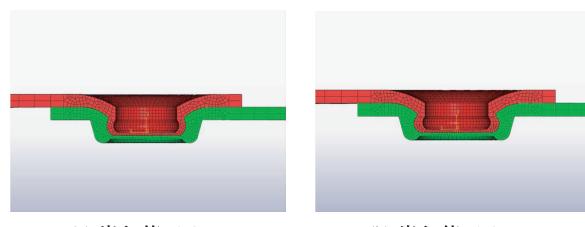


图7 1 mm + 1 mm 冲压连接接头不同嵌入值模型图

图8是上述情况下所得到的模拟计算结果,即上板嵌入值与冲压连接接头强度的曲线图。其中嵌入值分别选择了0.15 mm,0.2 mm,0.25 mm,0.3 mm以及0.35 mm。

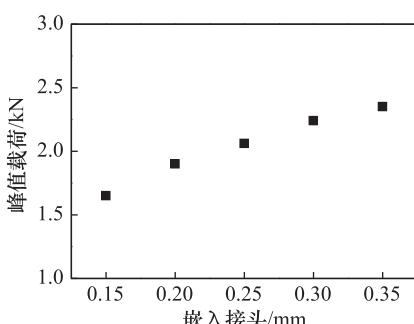


图8 1 mm + 1 mm 冲压连接接头  
嵌入值与峰值载荷曲线图

从图8中可以看出,上板嵌入值对冲压连接接头强度的影响比较明显,随着嵌入值的增大,冲压连接接头的强度也相应地提高。希望该结果对于以后冲压连接模具设计提供理论依据。

## 4 结论

(1) 根据冲压连接接头的截面形状及尺寸,综合考虑材料间的接触形式所建立的有限元模型,可以较好地预测冲压连接接头的失效形式和拉剪强度。

(2) 通过模拟计算可以得出网格尺寸越小,计算精度越高;同种板厚的冲压连接接头模型,网格尺寸低于板材厚度的1/2,即可满足计算精度要求。

(3) 由模拟计算结果可知,在其它条件不变的情况下,冲压连接接头的拉剪强度随着上板嵌入值的增加而提高。

## 参 考 文 献

- 1 匡锡红. 一种新型板件冲压连接技术及应用. 雷达与对抗, 2001;(1):72—75
- 2 宁农, 欧阳可居, 于立强. 汽车金属板件压接工艺研究. 锻压技术, 2004;(4):26—29
- 3 陈雷. 板件冲压连接技术及应用. 工程与技术, 2008;(9):6—7
- 4 张金海. 板件冲压连接技术在汽车工业中的应用. 模具设计, 2004;(1):57—62
- 5 Hahn O. Neu Maschinell Fugetechnik. Paderborn: Universitat Paderborn Laboratorium fur Werkstoff und Fugetechnik, 2000
- 6 杨小宁, 佟铮, 杨明, 等. 铝板件冲压连接技术的实验研究. 内蒙古工业大学学报, 2006;25(2): 107—111
- 7 杨小宁, 佟铮, 代雄杰, 等. 汽车板件冲压连接技术的有限元分析. 材料-工艺-设备, 2006;(10): 41—43

(下转第3811页)

## An Infrared Focal Plane Detector Temperature Monitoring Circuit

HOU Li-wei

(Shanghai Institute of Technical Physics of Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, P. R. China)

[Abstract] Working temperature of cooled infrared detectors seriously affects their performance. In the course of their work, their working temperature must be monitored. France sofradir's infrared detector components use emitter of transistor 2N2222 as their temperature sensors. A real-time infrared focal plane detector temperature monitoring circuit is presented, and a temperature calibration method is used alternative resistance.

[Key words] semiconductor temperature measurement    infrared detector    constant current source    signal conditioning

(上接第 3804 页)

## Finite Element Analysis of Lap-shear Strength of Clinch Joint

ZHONG Yi, LEI Yong-ping, LIN Jian, YIN Lan-li

(College of Materials Science and Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, P. R. China)

[Abstract] The numerical simulation method of lap shear strength of clinch joint is studied to predict the lap shear strength of clinch joint. Firstly, 0.7 mm low carbon steel + 0.7 mm low carbon steel, 1 mm low carbon steel + 1 mm low carbon steel clinch joints are modeled based on the experimental results. The lap shear process of these clinch joint can be simulated by finite element method. Then experiments of clinch joint's lap shear process are carried out to validate the simulating results. Finally, with the validating model, the mesh size and the undercut of the clinch joint model are considered to find out the effect of the strength of clinch joint. It is shown that the simulating results of clinch joint's shear strength have a good agreement with the experimental results; the appropriate mesh size can optimize the simulating time when get the credibility result; the strength of the clinch joint is mainly affected by the undercut.

[Key words] clinch    lap-shear strength    finite element method    mesh size    undercut