

## 应用技术

## 拼焊板车门内板冲压成形工艺研究

曹婷婷, 唐勇, 薛克敏

(合肥工业大学 材料科学与工程学院, 合肥 230009)

**摘要:** 采用数值模拟软件 Dynaform 5.5 对某拼焊板车门内板的拉深成形工艺进行研究, 探讨不同压边力和拉延筋对该复杂曲面零件成形性能以及焊缝移动的影响规律。通过调整压边力和拉延筋等工艺参数得到了成形性能较好且焊缝移动趋势较小的车门内板零件。

**关键词:** 拼焊板; 车门内板; 焊缝移动; 数值模拟

**中图分类号:** TG386      **文献标识码:** A

**文章编号:** 1674-6457(2010)05-0044-04

## Study of Stamping Process of Door Inner Made of Tailor-welded Blanks

CAO Ting-ting, TANG Yong, XUE Ke-min

(School of Materials Science and Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

**Abstract:** Weld line movement is another important problem in the stamping process of tailor-welded blanks besides rupture and wrinkle. The stamping process of door inner made of tailor-welded blanks was investigated by numerical simulation software Dynaform 5.5. The influence on the formability and the weld line movement of this complicated surface part on the condition of different blank holder forces and drawbeads was studied. Door inner with better formability and smaller weld line movement was got by adjusting the blank holder forces and drawbeads. And then the bases of process determining and die design of door inner made of tailor-welded blanks forming are supplied for actual production.

**Key words:** tailor-welded blanks; door inner; weld line movement; numerical simulation

汽车工业一直致力于在不降低轿车结构稳定性的同时减轻车重, 其中最成功的一项新技术是拼焊板技术的应用。拼焊板技术是指先将不同厚度、材质或不同表面涂层的平板焊接在一起, 然后进行冲压成形的方法<sup>[1-4]</sup>。许多零件, 例如汽车、飞机等运载工具和化工设备, 对板材零件不同部位有不同的要求。如果采用拼焊板技术, 对各部分坯料拼焊后再进行整体冲压成形, 不仅产品整体质量得到提高, 还可以明显降低产品质量和成本<sup>[5]</sup>。

目前, 国内外学者对拼焊板成形的研究多以筒形件、盒形件的拉深为对象, 定性分析其拉深成形性能及焊缝的移动规律<sup>[6-8]</sup>。对拼焊板复杂曲面零件成形性能以及焊缝移动规律的研究还不多见。文中以某车型拼焊板前车门内板的拉深成形工艺为例, 采用 Dynaform 5.5 对其冲压成形过程进行数值模拟, 研究了不同工艺参数对零件成形性能以及焊缝移动的影响规律, 进而得到该拼焊板车门内板零件拉深成形合适的工艺参数。

收稿日期: 2010-04-27

作者简介: 曹婷婷(1985—), 女, 安徽阜阳人, 硕士研究生, 主要研究方向为精密塑性成形新技术新工艺。

## 1 车门内板零件拉延工艺性分析

该车门内板覆盖件采用的是一模两件的生产模式,如图1所示。其形状复杂、结构尺寸大、材料厚

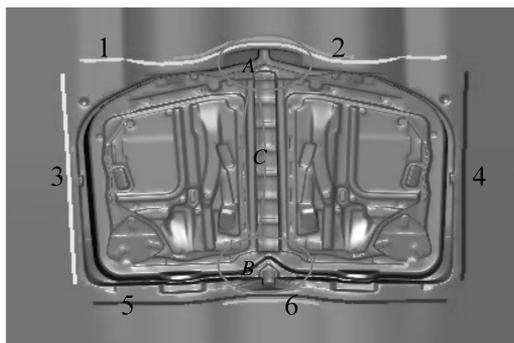


图1 拼焊板车门内板的三维模型

Fig.1 Model of door inner made of tailor-welded blanks

度相对较小,成形时有拉裂、起皱和局部变薄等缺陷。该零件在成形过程中除法兰处出现起皱(后续工序中被切除)外,A和B处为阶梯形状,拉深过程中下阶梯面的板料处于悬空状态,易压缩失稳产生起皱,因此,在A和B区域附近布置2条拉延筋,改善板料流动情况,从而减少起皱趋势。因为C处圆角半径较小易产生破裂(右侧类似),所以两侧边的拉延筋(拉延筋3,4)阻力不宜太大,从而有利于板料的流动,减小C处破裂趋势。

使用异厚拼焊板成形该车门内板零件时,由于拼焊板两侧母材的承载能力不同,成形过程中焊缝两侧材料流入和变形不均匀,使得焊缝发生移动,加剧了薄侧材料的应变集中,降低了拼焊板的成形性能,零件成形难度加大,因此对零件成形过程中焊缝的移动进行控制是拼焊板成形过程中的又一重要问题。

## 2 车门内板成形数值模拟及结果分析

### 2.1 车门内板有限元建模

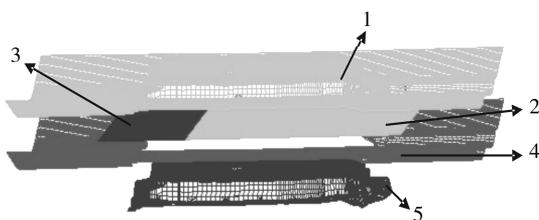
#### 2.1.1 拼焊板焊缝模型

拼焊板成形有限元分析过程中一个主要问题就是焊缝模型的建立。目前,对拼焊板焊缝和热影响区的建模主要有2种方法:一是考虑焊缝形状尺寸,焊缝和热影响区处的马氏体含量,细分焊缝附近区域的有限元网格,精确建立焊缝模型;二是忽略焊缝

类型,只考虑焊缝位置。大量研究表明:焊缝区域的硬度和强度稍高于母材,在拉深过程中,焊缝区域出现大的局部变形的可能性不大,数值模拟结果更依赖于拼焊板两侧材料强度和厚度的差别,对焊缝性能的依赖性不大,因而在数值模拟中焊缝的类型可以被忽略,仅采用梁单元或壳单元网格表示或仅采用刚性连接处理。这也是目前最常用的焊缝处理方法。

#### 2.1.2 有限元模型的建立

建立的车门内板的有限元模型如图2所示。考



1. 凹模 2. 薄板(0.8 mm) 3. 厚板(1.4 mm) 4. 压边圈 5. 凸模

图2 车门内板有限元模型

Fig.2 Finite element models of door inner

虑拼焊板两侧材料的厚度差异,采用平底凹模,在凸模以及压边圈上设置台阶。模具视为刚性体,接触类型为单向面-面接触。摩擦系数为0.125,采用库仑摩擦定律,覆盖件所用的材料为深冲钢板DC06,厚度分别为0.8 mm和1.4 mm,薄板和厚板之间采用刚性节点连接。有限元模型划分的网格单元采用B-T单元,材料模型采用36号厚向异性材料模型,即Barlat屈服模型:

$$\begin{aligned} \phi &= a|k_1 + k_2|^m + a|k_1 - k_2|^m + (2-a)|2k_2|^m \\ &= \bar{\sigma}^m \end{aligned} \quad (1)$$

式中: $\bar{\sigma}$ 为等效屈服应力; $k_1 = \frac{\sigma_x + h\sigma_y}{2}$ ;

$k_2 = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - h\sigma_y}{2}\right)^2 + p^2 \tau_{xy}^2}$ ;  $m$ 为Barlat-ian指数; $a, h, p$ 为材料常数。

采用等效拉延筋代替真实拉延筋对该车门内板的成形过程进行模拟。这样一方面可以避免建立复杂的拉延筋的过程,防止产生数值处理上的困难,更主要的是可以节省仿真过程所需的时间。该车门内板件拉延筋的设置条件见表1。

由于A和B区域易产生起皱,在这2个区域附近布置2条拉延筋,但A区板料厚度较小,拉延筋1,2应采用较小的拉延筋阻力系数。B区板料厚度

表1 拉延筋阻力系数设置条件

Table 1 Drag coefficients of drawbeads

拉延筋	阻力系数/%				
条件	拉延筋 1	拉延筋 2	拉延筋 3(4)	拉延筋 5	拉延筋 6
1	4	2	2	45	80
2	4	4	2	45	80
3	4	2	2	45	95
4	4	2	5	45	80

较大,拉延筋 5,6 采用较大的阻力系数。C 处圆角半径较小易产生破裂(右侧类似),拉延筋 3,4 阻力系数不宜太大。

## 2.2 模拟结果分析

### 2.2.1 压边力对成形性能以及焊缝移动的影响

板料的冲压成形过程中,为了防止起皱,通常需要对冲压件施加一定的压边力。考虑拼焊板两侧材料的厚度差异,为防止薄侧板料起皱,采用阶梯型压边圈。在材料参数以及初始模拟参数保持不变(拉延筋设置采用条件 1)的情况下,分别采用 600, 1 000, 1 200 kN 的压边力对零件的成形过程进行模拟,不同压边力条件下的模拟结果如图 3 所示。该车门内板零件左右件对称,以左件为例进行分析。从图 3 中可以看出,当压边力为 600 kN 时,薄板大部分区域得到充分延展,且在安全区域没有出现破裂,厚板变形不足,存在大量未充分变形区域,A 和 B 区起皱现象严重。随着压边力的增大,板料流动阻力增加,薄板和厚板的未充分变形区域减少,A 和 B 处起皱的趋势减小,但 C 处破裂趋势增加。当压边力为 1 200 kN 时,两侧的未充分变形区域较少,A 和 B 区的起皱现象也较少,但 C 处开始破裂。

当压边力为 600 kN 时,对零件成形过程中焊缝的移动量进行测量得到:如图 3a 所示,沿焊缝方向从 a(焊缝中点)到 b(左件焊缝终点),零件底部焊缝向厚侧移动且移动量逐渐减小,侧壁及法兰处焊缝向薄侧移动且移动量逐渐增加。这是因为拉深初始阶段,薄侧材料厚度小,更易满足塑性变形条件而首先发生屈服,塑性变形量较大,焊缝向厚侧移动。随着拉深的进行,塑性变形区转移到侧壁及法兰区域,零件底部成为传力区,焊缝不发生移动。而在侧壁及法兰部位,坯料切向受压,薄侧材料厚度小,更易产生切向压缩变形,于是焊缝向薄侧偏移。

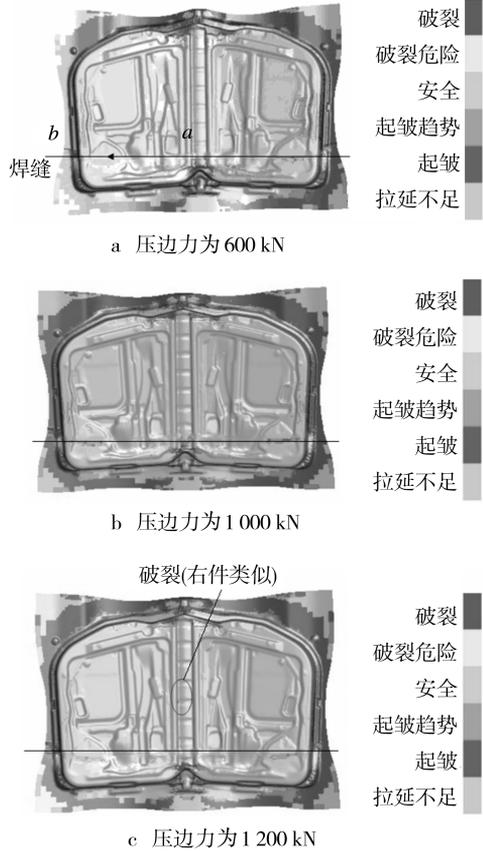


图3 不同压边力条件的模拟结果

Fig. 3 Forming parts with different blank holder forces

当压边力从 600 kN 增加到 1 200 kN 时,焊缝移动趋势不发生变化但移动量不同。图 3a 中 a, b 点分别为左件上焊缝移动量最大的 2 点(a 点为底部焊缝向厚侧移动最大值点, b 点为法兰焊缝向薄侧移动最大值点),不同压边力条件下最大焊缝移动量的对比见表 2。从表 2 中可以看出,随着压边力的增加,底部焊缝向厚侧的移动量减小,侧壁及法兰处焊缝向薄侧的移动量增加。压边力为 600 kN 时, a 点的焊缝移动量为 17.27 mm, b 点的焊缝移动量为 48.53 mm; 压边力为 1 200 kN 时, a 点的焊缝移动量为 8.49 mm, b 点的焊缝移动量为 56.03 mm。

表2 压边力对最大焊缝移动量的影响

Table 2 Influence on the maximal weld line movement on the condition of different blank holder forces

压边力/kN	a 点焊缝移动量/mm	b 点焊缝移动量/mm
600	17.27	48.53
1 000	9.79	54.46
1 200	8.49	56.03

### 2.2.2 拉延筋对成形性能以及焊缝移动的影响

由上面的分析可以看出,当压边力为 1 000 kN 时零件不产生破裂且焊缝移动趋势最小,因此,零件成形的压边力选择 1 000 kN,同时在保证零件不破裂的情况下改变拉延筋设置条件(见表 1),对车门内板的成形过程进行模拟,不同拉延筋条件下的模

拟结果如图 4 所示。采用拉延筋条件 1 时的模拟结果如图 4a 所示,增加薄侧或厚侧材料拉延筋阻力(拉延筋条件 2 或 3)时,板料流动阻力增加,相应薄板或厚板的未充分变形区域减少,同时 A 或 B 区起皱趋势减小。增加左右两侧边的拉延筋阻力(拉延筋条件 4)时,C 区破裂趋势增加。

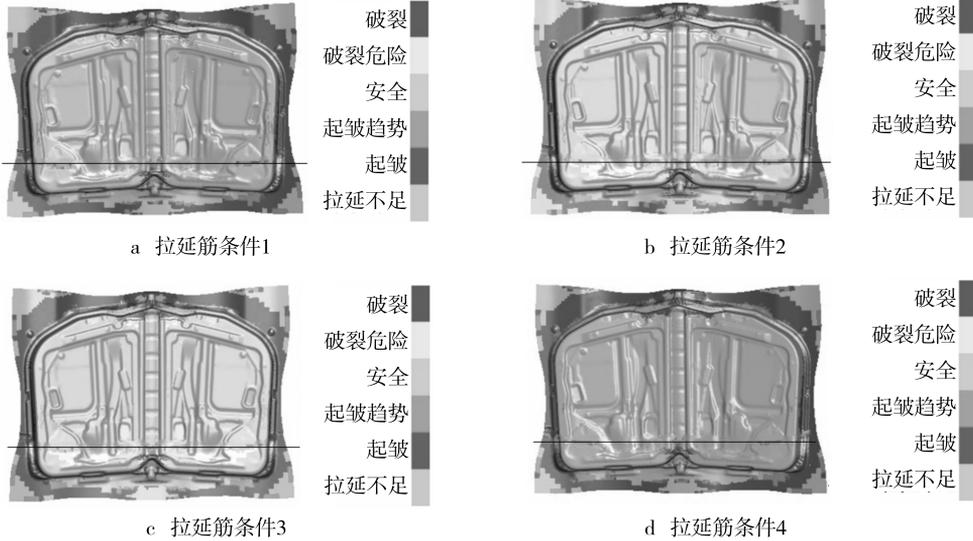


图 4 不同拉延筋条件的模拟结果

Fig. 4 Forming parts with different drawbeads

比较不同拉延筋条件下的焊缝移动量得到:改变拉延筋的设置条件会对焊缝的移动量产生影响但不会改变焊缝的移动趋势(底部焊缝向厚侧移动且移动量逐渐减小,侧壁及法兰处焊缝向薄侧移动且移动量逐渐增加)。拉延筋条件 2,3,4 和拉延筋条件 1 的最大焊缝移动量对比见表 3。

表 3 拉延筋对最大焊缝移动量的影响

Table 3 Influence on the maximal weld line movement on the condition of different drawbeads

拉延筋条件	a 点焊缝移动量/mm	b 点焊缝移动量/mm
1	9.79	54.46
2	8.51	55.23
3	10.11	54.40
4	9.88	54.42

从表 3 中可以看出:增加薄侧拉延筋阻力时,薄侧材料流动阻力增加,零件底部焊缝向厚侧的移动量减小(拉延筋条件 2 时,零件底部最大焊缝移动量达到最小 8.51 mm),侧壁及法兰处焊缝的最大焊

缝移动量增加。同理,增加厚侧拉延筋阻力,厚侧材料流动阻力增加,底部最大焊缝移动量增加,侧壁及法兰处最大焊缝移动量减小。增加两侧拉延筋阻力,底部最大焊缝移动量增加,侧壁及法兰处最大焊缝移动量减少,但改变都不大。

综合考虑零件的成形性能以及焊缝移动量,车门内板零件在压边力为 1 000 kN,拉延筋条件 2 的情况下,成形性能较好且焊缝移动趋势较小。

## 3 结语

1) 该车门内板零件在成形过程中出现 A 和 B 区起皱、C 区易产生破裂的成形性问题,采用合适的压边力及拉延筋条件可以减小甚至防止这些现象的发生。

2) 焊缝移动是拼焊板零件成形过程中出现的又一重要问题,可以通过调整压边力,合理布置拉延筋等措施减小焊缝移动。该车门内板在成形过程中

(下转第 51 页)

$$n = \frac{Q}{q} = \frac{U - I_a R_a - 2\Delta u_s}{C_e \Phi} \quad (15)$$

若预设最优油膜厚度值为  $\delta$ , 则通过式(12)可以计算出相应的供油泵输出流量, 通过式(15)计算出相应的电机转速。可见, 通过控制电机转速即可实现对工作台油膜厚度的控制。虽然直流电机便于调速, 但由于直流电机中有机械整流器和电刷的存在, 所以直流调速拖动系统有以下主要缺点: 维护较困难, 对环境要求高, 不适合用于易燃易爆以及环境恶劣等场合, 制造大容量高转速及高电压的直流电机较为困难。

### 3 结语

通过对几种导向机构的比较, 选择液体静压导轨为精冲机滑块的导向形式, 以满足精冲机对导向精度的要求。设计了精冲液压机滑块导向机构, 由左右2副对称导轨组成, 每副导轨又各设置2个主油垫和2个副油垫, 以此增加油膜的强度和刚度, 这种结构在精冲机上的应用可以更好地满足控制精度

(上接第47页)

底部焊缝向厚侧移动且移动量逐渐减小, 侧壁及法兰处焊缝向薄侧移动且移动量逐渐增加。在压边力为1000 kN, 拉伸筋条件2的情况下, 车门内板零件成形性能较好且焊缝移动趋势较小。

3) 提高拼焊板成形性能, 控制焊缝移动的相关理论以及试验方法仍需进一步研究。

#### 参考文献:

- [1] 施欲亮, 朱平, 沈利冰, 等. 汽车前纵梁的拼焊板轻量化设计研究[J]. 中国机械工程, 2008, 19(3): 374-377.
- [2] 蒋浩民, 陈新平, 李淑慧, 等. 激光拼焊板拉伸成形焊缝移动优化控制[J]. 材料科学与工艺, 2004, 12(5): 512-514
- [3] CHEN W, LIN G S, HU S J. A Comparison Study on the Effectiveness of Stepped Binder and Weld Line Clamping Pins on Formability Improvement for Tailor-welded Blanks [J]. Journal of Materials Processing

要求。

#### 参考文献:

- [1] 周开华. 精冲模具技术面临的挑战[J]. 模具工业, 1986(2): 6-8.
  - [2] 孟心斋, 杨建玺, 孟昭焱. 液体静压支承静态性能新表达式探索[J]. 中国工程科学, 2002, 4(5): 63-66.
  - [3] 机械设计手册编委会. 机械设计手册(第4卷)[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004: 23-31.
  - [4] 刘成祥. 液体静压导轨恒流量控制的设计与分析[J]. 机床与液压, 2008, 36(7): 125-128.
  - [5] 陈佩江. 机床静压导轨油膜厚度的控制方案研究[J]. 煤矿机械, 2008, 29(2): 159-161.
  - [6] 邵俊鹏, 张晓彤. 液体静压导轨油膜厚度的控制方案研究[J]. 节能技术, 2006, 24(6): 558-561.
- 
- Technology, 2008, 207: 204-210.
  - [4] SHI Yu-liang, ZHU Ping, SHEN Li-bing, et al. Light Weight Design of Automotive Front Side Rails with TWB Concept[J]. Science Direct, 2007, 45: 8-14.
  - [5] 张士宏, 许沂, 马占国, 等. 拼焊板方盒件拉深非均匀变形的计算机模拟研究[J]. 塑性工程学报, 2001, 8(2): 48-50.
  - [6] 姜银方, 丁新立, 朱元右, 等. 基于应变路径的激光拼焊板方盒件变压边力成形优化[J]. 中国机械工程, 2008, 19(17): 2118-2121.
  - [7] HEO Young-moo, WANG Sung-ho. The Effect of Drawbead Dimensions on the Weld-line Movements in the Deep Drawing of Tailor-welded Blanks [J]. Journal of materials processing technology, 2001, 113: 686-691.
  - [8] KIM Hong-jong, HEO Young-moo. Forming and Drawing Characteristics of Tailor Welded Sheets in a Circular Drawbead[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2000, 105: 294-301.