

文章编号:1000-582X(2009)12-1392-06

车身后壁板拉深型面设计优化及有限元分析

周 杰¹, 阳德森¹, 华俊杰¹, 易宗华¹, 杨 明²

(1. 重庆大学 材料科学与工程学院, 重庆 400070; 2. 五粮液普什模具公司, 四川 宜宾 644007)

摘 要:采用有限元分析软件 Dynaform 对车身后壁板的拉深成形过程进行了数值模拟仿真。首先对零件拉深型面进行了设计,重点对工艺补充面形状和拉深筋分布方式进行了优化分析,比较了两种工艺补充面(阶梯式和斜坡式)和三种拉深筋分布方式(封闭式、间断式以及斜拉深筋)状态下零件的应力应变状态以及 FLD 图,确定了合理的工艺补充面为斜坡式形状,拉深筋分布方式为斜拉深筋,模拟结果表明采用优化的拉深型面可以有效地改善零件角部材料的流动状况,提高成形质量。最后将上述优化的结果应用到实际生产中,得到了合格的零件,验证了优化结果的可靠性。

关键词:前壁板;数值模拟;补充面;拉深筋;工艺优化;有限元

中图分类号: TG386.3

文献标志码: A

Design and optimization of drawing surface and FE analysis for the front side panel of autobody

ZHOU Jie¹, YANG De-sen¹, HUA Jun-jie¹, YI Zong-hua¹, YANG Ming²

(1. College of Material Science and Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, P. R. China;
2. Wu Liangye Push Mold&Die Co. Ltd., Yibin 644007, Sichuan, P. R. China)

Abstract: The drawing process of the front side panel of autobody is simulated by using the finite element software, Dynaform. The drawing surface is designed, focusing on the optimization of the addendum and the drawbead layout. By comparing the stress/strain conditions and the FLD in two types of addendum (stepped and slope) and three types of drawbead layout (closed, discontinuous and oblique drawbead), the slope addendum is chosen as the optimized addendum and the oblique drawbead is chosen as the optimized drawbead layout. The simulation results show the material flow in the corner and the quality of the part can be improved effectively with the optimized drawing surface. The optimized parameters are employed in production and acceptable quality parts are produced. Therefore, the optimized drawing surface is verified to be effective.

Key words: front side panel; numerical simulation; addendum; drawbead; process optimization; finite element

汽车覆盖件由复杂的空间曲面组成,形状较为复杂,其冲压成形中受到诸多因素的影响,板料上的应力、应变分布情况非常复杂,变形规律不易掌握。以往汽车覆盖件模具的设计依靠人为经验和反复的

试模,其工艺参数的优化既费时又费力,使得模具的设计和工艺制定的周期长而且耗资巨大。近年来,随着计算机软硬件技术的飞速发展,以有限元为核心的塑性成形数值仿真技术日趋成熟,为人们认识

收稿日期:2009-05-31

基金项目:科技部技术创新项目(07C26215110824);重庆大学研究生科技创新基金重点资助项目(200811B1B0130302)

作者简介:周杰(1965-),男,重庆大学教授,博士生导师,主要从事模具技术及模具 CAD/CAM/CAE、材料成形过程数值模拟仿真与优化,(Tel)023-65111493;(E-mail)yds330@163.com。

金属塑性成形过程的本质规律提供了新途径,为实现塑性成形领域的虚拟制造提供了强有力的技术支持^[1]。数值模拟分析技术在工程中已得到了极大的推广,通过该技术手段的应用,可有效地降低覆盖件模具设计和制造成本,改善车身质量,缩短生产周期,提高企业的市场竞争力^[2-7]。

数值模拟技术虽然能够在一定程度上避免覆盖件前期设计中出现的错误,但由于国内在具有相似结构的覆盖件优化设计方面建立的数据库还不够,设计者对覆盖件成形工艺和模具的优化设计仍带有较大的盲目性,而且需要大量模拟工作来验证方案的优劣,本文的研究对象为车身后壁板,属典型的浅平类零件,对其拉深型面进行设计优化研究,可以为类似浅平结构覆盖件设计优化提供参考依据和指导意义。

笔者首先对拉深模型面进行设计,重点对影响成形质量的关键因素——工艺补充面形状和拉深筋分布方式进行了研究,通过分析比较,确定了相应的优化形式,最后经过生产实践,得知优化的模拟结果与实际生产结果吻合很好,验证了其实效性和可靠性。

1 零件工艺分析

前壁板属于左右覆盖件,产品三维模型如图 1 所示。由于左右件对称,考虑将两件设计成一个拉深件进行冲压。经过分析,其整个冲压过程由拉深、修边冲孔、翻边整形、切断侧冲孔等工序组成。而拉深工序中拉深制件变形不均、局部减薄过大而导致后续工序中产品不合格,因此拉深工序最为重要。为了创造良好的拉深条件,必须合理设计拉深型面,即对冲压方向、压料面、工艺补充型面及拉深筋布置等关键因素进行优化。

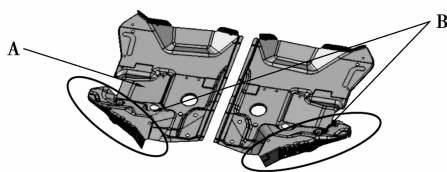


图 1 前壁板产品三维模型

2 拉深型面设计

汽车覆盖件拉深型面设计是在覆盖件产品三维模型基础上进行边界条件设计的创造性过程,它是汽车覆盖件拉深模设计的关键环节^[2]。其设计过程主要为确定冲压方向、设计压料面和工艺补充面,然

后再进行拉深筋和凹模圆角的设计。目前大部分国内外汽车模具企业对上述的设计工作是在大型 CAD 软件系统环境下完成的,本文对前壁板的拉深型面设计工作也是在 UGNX4.0 环境下进行的。

在设计冲压方向时,应保证凸模与毛坯有良好的接触状态,以减少毛坯与凸模间的相对滑动;同时要便于后续修边、冲孔和翻边加工^[8]。遵循上述原则,分析前壁板零件的特点,可以知道零件中间部位多为平面,而且孔位大多也分布在这些位置,零件翻边部分也与这些平面垂直,因此为保证毛坯良好的接触和后续工序的加工方便,确定前壁板拉深冲压方向如图 2 所示。

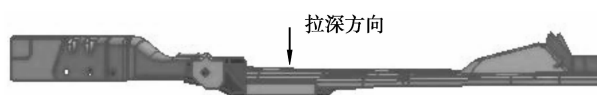


图 2 拉深方向

在确定冲压方向后,接着对压料面进行设计。压料面形状要尽量简单化,以水平压料面为最好,其阻力变化相对容易控制,有利于试模时调整到最有利于拉深成形所需要的最佳压料面阻力状态。而且当零件底部有反成形形状时,压料面必须高于反成形形状的最高点^[8]。因此,前壁板的拉深型面采用水平压料面,从图 1 中的 A 处可知零件存在反成形,所以压料面的位置必须超过该形状的最高点。设计压料面后,零件拉深深度的最大为 60 mm。

在前壁板的拉深型面设计工作中,难点是对图 1 中 B 处的工艺补充面形状的设计以及压料面上拉深筋的分布方式确定,下面着重进行讨论。

2.1 工艺补充面设计

工艺补充面是拉深件不可缺少的部分,它既是实现拉深的条件,又是增加变形程度和提高零件刚度的必要补充^[9],其设计得合理与否是冲压工艺设计先进与否的重要标志。它直接影响到拉深成形时毛坯的变形条件、变形量大小、应力应变分布、破裂以及起皱质量问题的产生等。因此,必须慎重考虑工艺补充部分的设计,这样才能保证拉深出合格的拉深件产品。

通过分析,零件采用双件拉深,填补内部孔洞,展平零件某些翻边部位后,左右件拼接后形状类似于盒形件,考虑修边模具的强度,中间搭接部分为 36 mm。零件工艺补充部分的设计重点考虑的是图 1 中的 B 处,如果将 B 处的翻边全部展平,将翻边形状全部由后续的翻边工序完成,但由于翻边高度大,

接近 43 mm,而且翻边部位的侧壁为曲面,势必造成翻边工序中该位置同时出现破裂和起皱质量问题。因此将该位置的部分形状在拉深工序中成形,只留下 26 mm 的翻边高度由后续翻边工序完成。为此,对该位置的工艺补充方式提出了图 3 所示的两种方案。

由于零件对称,此处只显示了一半的拉深型面,分别截取两种工艺补充型面的 C-C 截面如图 3(c) 所示,从图示中可以看出,两种截面分别为阶梯式和斜坡式。而图 3(a) 的阶梯式型面在翻边圆角处与最终产品形状相同,翻边工序只完成部分形状的翻边。而图 3(b) 带有斜坡式的型面在此处采用顺滑圆角过渡,最终的形状由翻边整形工序完成。

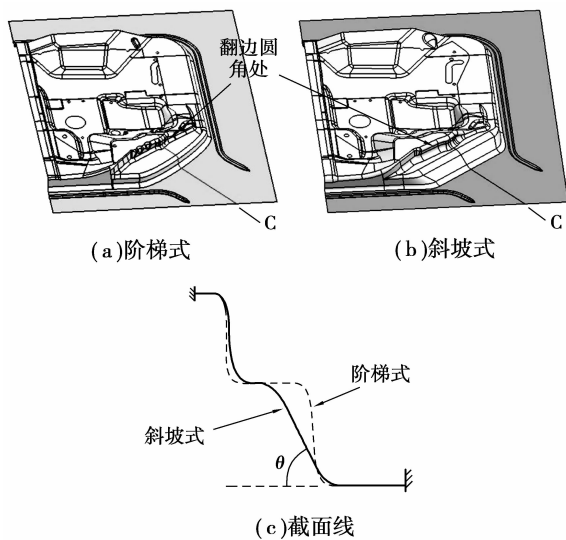


图 3 两种不同形式的工艺补充面

2.2 拉深筋分布设计

在拉深型面设计中,拉深筋的设计也尤为重要,主要包括其截面形状及分布方式的设计。在覆盖件成形中,拉深筋能够增加变形阻力,控制材料流动,增加板料成形时的拉伸量,以便于在较大范围内控制变形区毛坯的变形大小和分布,抑制破裂、起皱、面畸变等冲压质量问题的产生^[10-13]。因此,拉深筋设计的合理与否决定着冲压成形的成败。

由于半圆形筋制造和维修方便,而且在本零件的冲压过程中能满足拉深阻力的要求,所以拉深筋截面设计成半圆形,拉深筋圆角半径为 5 mm,高度为 4 mm。为了讨论不同拉深筋分布方式对前壁板拉深成形的影响,重点对零件 B 处(见图 1)的拉深筋设计了 3 种不同形式的分布方式,其中斜拉深筋^[14]形式见图 3 所示,另外两种形式见图 4 所示,

分别为封闭式拉深筋和间断式拉深筋。

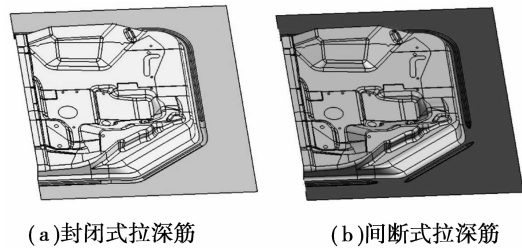


图 4 不同的拉深筋分布方式

3 有限元模拟及分析

为了研究何种工艺补充面形状和拉深筋分布方式对前壁板的拉深成形更有利,采用板料成形数值模拟软件 Dynaform 对不同设计方案下的拉深过程进行了仿真。

3.1 建立有限元模型

建立前壁板拉深成形有限元分析模型如图 5 所示。零件材料为 DC04,其主要性能为:硬化指数 $n=0.231$,厚向异性指数 $r_0=2.582$, $r_{15}=1.921$, $r_{90}=2.193$,屈服强度为 152.3 MPa,由于左右件对称,因此分析中采用对称约束,一半的板料尺寸为 $530\text{ mm} \times 740\text{ mm} \times 0.8\text{ mm}$ 。采用三参数 Barlat 屈服准则,板料单元为 BT 类型,网格自适应划分。摩擦条件为库仑摩擦,板料与所接触刚体的摩擦系数均取经验值 0.125。固定压边圈间隙为 0.88 mm。由于等效拉延筋模型的简单高效性,使其在板料成形数值模拟中得到了广泛的应用^[15],并且对简单冲压件分析有很大的实用价值,但对于复杂形状的零件,采用真实拉深筋进行模拟比采用等效拉深筋更能得到符合实际的结果,可明显减小误差^[16]。故本文的模拟仿真均采用真实拉深筋模型。

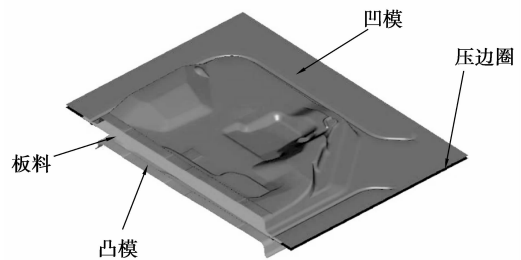


图 5 有限元模型

3.2 工艺补充面结果

通过模拟分析,得到不同工艺补充面下的拉深结果如图 6 所示。从图中可知,采用阶梯式的工艺补充面,零件在翻边圆角处已经发生严重的破裂现象

象,最大变薄率已经达到了 69%,远远超过了零件所允许的范围;而对于斜坡式的工艺补充面,零件在翻边圆角处未发生破裂,最大变薄率为 26%,大部分区域处于极限图的安全区域,只是在局部区域发生了破裂,这些区域的最大变薄率也仅仅为 40%左右,可见斜坡式工艺补充面的成形质量远好于阶梯式的工艺补充面,所以拉深型面中采用了斜坡式工艺补充面。

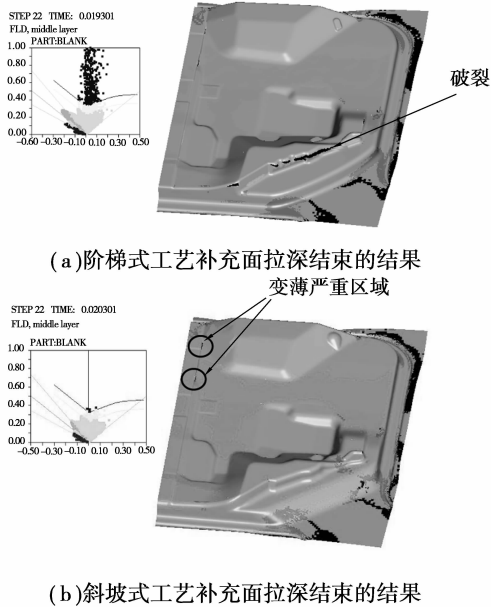


图 6 不同工艺补充面形状的拉深结果

为了进一步分析产生上述结果的原因,在两种工艺补充面处相同的位置近似选取 3 点进行应变路径分析,见图 7 所示。从图中可知,阶梯式工艺补充面下 3 点的应变路径都是平行于主应变轴,应变状态近似为平面应变,板料在一个方向的变形过大,而垂直于这个方向的变形小,材料不能及时补充,因此产生了破裂。而采用斜坡式工艺补充面,3 点中有 2 个点的应变状态近似为平面应变,另一点为双向拉伸状态,处于平面应变状态点的最高位置处于临界危险线以下,处于双向拉伸状态的点也远离危险线,安全裕度均很大,可见,采用斜坡式工艺补充面可以很大程度上改变材料的应变状态,从而提高零件的成形质量。通过再次对斜坡的角度进行优化,最终得到斜坡角度 θ 为 40° 时成形效果最佳, θ 的表征见图 3(c)。

3.3 拉深筋分布结果

在不同拉深筋分布方式的拉深模拟中,均采用优化后的 40° 斜坡式工艺补充面,封闭式拉深筋和间断式拉深筋的模拟结果如图 8 所示,为便于观察,选取影响零件成形质量的重要位置——翻边圆角处进

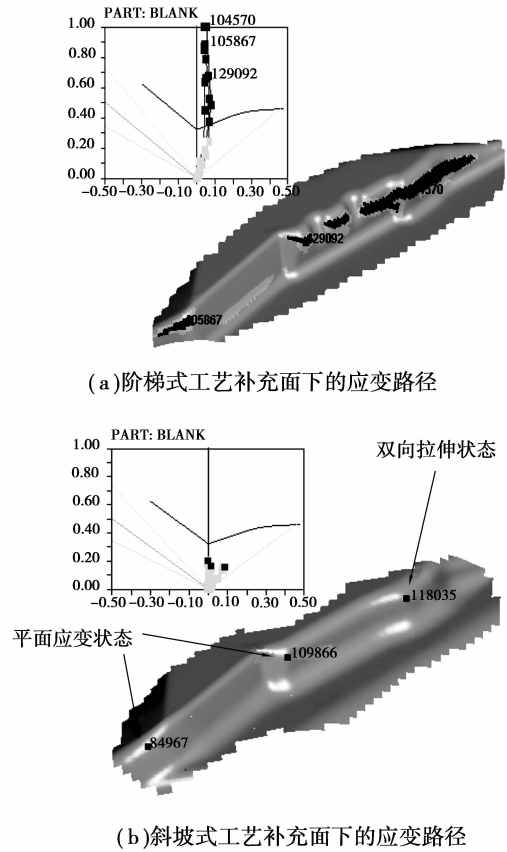


图 7 不同工艺补充面形状的应变路径

行分析,斜拉深筋形式的模拟结果如图 6(b)所示。从图中可知,采用封闭式拉深筋,在翻边圆角处出现了破裂,而间断式拉深筋零件在翻边圆角处未发生破裂,但有部分区域已位于临界危险区,而且零件在局部凸台处也发生了破裂,从图 6(b)可以得知,采用斜拉深筋的模拟结果良好,零件未发生开裂,虽然有很少区域位于临界危险区,但最大变薄率在 40%左右,变薄严重区域见图所示。

为了探讨不同拉深筋分布方式下零件的应力状态情况,在零件的 D、E、F 区域(见图 8(b))选取点进行比较,其等效应力的比较结果如表 1 所示。从表中可以看出在 3 种分布方式下 D、E、F 区域的等效应力均依次增大,而且斜拉深筋分布方式下,等效应力的大小较其它两种拉深筋分布方式要小,所以其成形质量也是最佳的。

表 1 不同拉深筋分布方式下相同位置的等效应力对比

拉深筋形式	测量点处的等效应力/MPa		
	D	E	F
封闭式拉深筋	388.57	467.29	499.83
间断式拉深筋	310.63	401.97	455.81
斜拉深筋	342.13	398.15	400.22

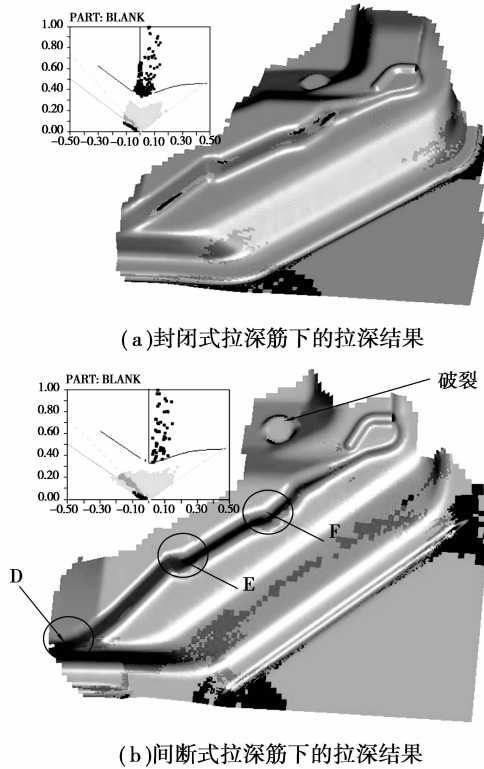


图 8 不同拉深筋分布方式的拉深结果

由于变薄率在 40% 左右, 零件容易出现暗裂, 需要对其进行处理, 为此, 通过对变薄严重区域的圆角进行优化, 将圆角半径增大 2 mm, 得到模拟结果如图 9 所示, 测量零件上述变薄严重区域的变薄率, 得知数值均在 30% 以内, 消除了暗裂隐患。

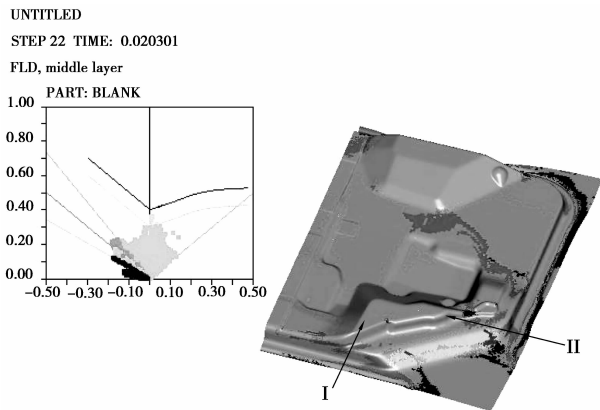


图 9 圆角优化后的拉深结果

4 生产试验验证

采用上述优化后的拉深型面加工模具, 在油压机上进行实冲, 经过稍许调试后得到如图 10 所示的拉深产品。经检测, 零件成形质量良好, 在翻边成形处未发生开裂。从图 9 中沿翻边圆角部位从 I 到 II

区间里依次选取 10 个测量点, 将零件放置于检具上, 利用三坐标测量零件选取点的实际厚度, 并与模拟结果进行比较, 结果如图 11 所示, 由图可知, 厚度数值反映零件变薄率均在 25% 以内, 模拟结果与实测结果变化趋势一致, 最大误差为 4% 左右, 表明数值模拟结果与实际生产结果吻合很好。



图 10 前壁板拉深模及拉深产品

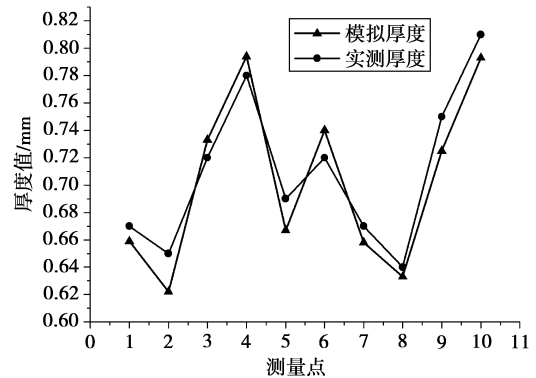


图 11 测量点模拟厚度与实测厚度对比

5 结论

采用有限元分析软件 Dynaform, 对前壁板的拉深成形进行模拟仿真, 得到如下结论:

- 1) 设计了前壁板的拉深工艺型面, 提出了两种不同的工艺补充形状和三种不同的拉深筋分布方式;
- 2) 通过数值模拟仿真, 比较不同设计方案下零件的应力应变状态以及 FLD 图, 确定了优化的工艺补充面为斜坡式工艺补充面, 拉深筋分布方式为斜拉深筋分布。并且通过实际生产, 得到了合格的拉深件, 比较了测量点处的模拟厚度与实际厚度, 验证了优化的拉深型面是可靠的;
- 3) 在类似盒形件的覆盖件拉深成形中, 斜拉深筋可以有效地改善零件角部的材料流动, 为这类零件拉深筋分布提供了参考依据和指导意义。

参考文献

[1] 阮雪榆, 娄臻亮. 21 世纪数字化塑性成形技术与科学 [J]. 模具技术, 2003 (2): 3-8.

- RUAN XUE-YU, LOU ZHEN-LIANG. Digital plasticity forming technology and science in 21 Century [J]. Die and Mould Technology, 2003 (2): 3-8.
- [2] 林忠钦. 车身覆盖件冲压成形仿真[M]. 北京:机械工业出版社, 2004.
- [3] BARATA DA ROCHA A, SANTOS ABEL D, BUTUC M C, et al. Analysis of plastic flow localization under strain paths changes and its coupling with finite element simulation in sheet metal forming [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2009, 209 (11): 5097-5109.
- [4] YAMASHITA M, HATTORI T, NISHIMURA N. Numerical simulation of sheet metal drawing by Maslennikov's technique [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2007, 187/188: 192-196.
- [5] SONG J L, HU D J, ZHANG Z L, et al. Study on the finite element numerical simulation of sheet metal forming [J]. Acta Metallurgica Sinica, 2004, 17 (3): 299-302.
- [6] TISZA M. Numerical modelling and simulation in sheet metal forming [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2004, 151 (1/3): 58-62.
- [7] 唐绍华, 陈国荣. 基于仿真技术的汽车拼焊板冲压成形研究 [J]. 热加工工艺, 2008, 37 (21): 85-87, 91.
TANG SHAO-HUA, CHEN GUO-RONG. Research of stamping forming for automotive tailor welded blank based on simulation technology [J]. Hot Working Technology, 2008, 37 (21): 85-87, 91.
- [8] 崔令江. 汽车覆盖件冲压成形技术[M]. 北京:机械工业出版社, 2003.
- [9] 王昶, 何玉林, 胡亚民, 等. 轿车车身覆盖件冲压模具工艺补充面设计与应用 [J]. 锻压技术, 2006, 31 (5): 100-103.
WANG CHANG, HE YU-LIN, HU YA-MIN, et al. Application and practice for addenda of stamp forming process of auto-body panel [J]. Forging & Stamping Technology, 2006, 31 (5): 100-103.
- [10] MOHAMED SHERIFF N, MOHAMED ISMAIL M. Numerical design optimization of drawbead position and experimental validation of cup drawing process [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2008, 206 (1/3): 83-91.
- [11] NACEUR H, GUO Y Q, BATOZ J L, et al. Optimization of drawbead restraining forces and drawbead design in sheet metal forming process [J]. International Journal of Mechanical Sciences, 2001, 43 (10): 2407-2434.
- [12] FIRAT M. An analysis of sheet drawing characteristics with drawbead elements [J]. Computational Materials Science, 2008, 41 (3): 266-274.
- [13] SAMUEL M. Influence of drawbead geometry on sheet metal forming [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2002, 122 (1): 94-103.
- [14] 李海波, 韩利芬, 刘静珏. 基于 CAE 的拉延筋布置对板料成形质量的影响研究 [J]. 塑性工程学报, 2007, 14(5): 18-22.
LI HAI-BO, HAN LI-FEN, LIU JING-JUE. Influence study on drawbead setting to formability of sheet metal basing CAE [J]. Journal of Plasticity Engineering, 2007, 14(5): 18-22.
- [15] 黄桂美, 詹艳然. 等效拉延筋模型及其在板料成形数值模拟中的应用 [J]. 现代制造工程, 2005(10): 57-58, 66.
HUANG GUI-MEI, ZHAN YAN-RAN. Modeling of equivalent drawbead and its application to the numerical simulation of sheet metal forming [J]. Machinery Manufacturing Engineer, 2005(10): 57-58, 66.
- [16] 张士宏, 程幸叶, 唐杰. 汽车覆盖件成形拉深筋的有限元模拟与优化 [J]. 锻压技术, 2008, 33 (6): 140-143.
ZHANG SHI-HONG, CHENG XING-YE, TANG JIE. Design and optimization of drawbead of automotive panels by FE simulation [J]. Forging & Stamping Technology, 2008, 33 (6): 140-143.

(编辑 张小强)