

基于 FEM 的翼子板充液成形工艺与优化

刘晓晶, 唐先林, 张晓华, 王 飞

(哈尔滨理工大学 材料科学与工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150040)

摘 要: 针对复杂结构零件冲压成形时出现的破裂与拉伸不足等问题, 采用板料成形模拟软件 Dynaform 对汽车前翼子板充液拉深工艺进行了有限元数值模拟研究。依据翼子板各处进料规律, 提出了三种拉伸阻力系数不同的拉伸方案。以零件的成形极限图(FLD)为分析标准, 研究了拉伸阻力系数、液室压力加载路径和压边力对翼子板成形质量的影响规律。研究结果表明: 设置合理的拉伸筋、加载路径和压边力, 可以改善翼子板的成形性能, 并且能够获得壁厚分布均匀的零件。

关键词: 翼子板; 充液拉深; 数值模拟; 拉伸筋

DOI: 10.15938/j.jhust.2018.01.011

中图分类号: TG386.41 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2683(2018)01-0055-06

Hydromechanical Deep Drawing Process and Optimization of Fender Based on FEM

LIU Xiao-jing, TANG Xian-lin, ZHANG Xiao-hua, WANG Fei

(School of Material Science and Engineering, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150040, China)

Abstract: Aiming at the problem of failure and insufficient drawing when stamping forming for complex structure parts, we conduct numerical simulation of hydromechanical deep drawing to automobile front fender. According to the feeding law of fender, we propose three different drawing resistance coefficient programs, study the influence rules of main forming parameters on fender forming quality, like drawing resistance coefficient, chamber pressure, loading path, blank holder force, with the standard of forming limit diagram. The results show that under the reasonable match of drawbeads, loading path and blank holder force, forming performance of fender could be ameliorate, and obtain the part with uniform wall thickness distribution.

Keywords: fender; HDD; numerical simulation; drawbeads

0 引 言

随着生活水平与科学技术的日益发展,人们对汽车的质量与外观上的要求与日俱增,进而随之而来的,涉及金属板材的应用领域也愈来愈广泛,而且

对于复杂件成形的生产要求亦越来越高。汽车覆盖件^[1-2]是汽车组成的重要部分,而且它与一般冲压件相比,具有薄壁结构,形状复杂,结构尺寸大,表面质量,以及尺寸精度要求高,以及生产成本高等特点。而其中翼子板^[3-5]是汽车覆盖件中成形困难的典型零件,由于它不仅具有外观要求质量高,尺寸精

收稿日期: 2016-04-15

基金项目: 黑龙江省自然科学基金(E201102)。

作者简介: 唐先林(1991—),男,硕士研究生;

王 飞(1984—),男,硕士研究生。

通信作者: 刘晓晶(1966—),女,博士,教授, E-mail: lxj812@126.com。

度要求高,模具设计与制造成本高等特点,而且需要经过拉延、切边、翻边和整形等多道工序,因此在成形过程中很容易出现起皱、破裂与变形不足等缺陷。传统的冲压成形^[6-9]由于自身工艺特点所限,零件缺陷较多,同时所需费用较高,而充液拉深^[10-13](hydromechanical deep drawing, HDD)具有拉深比大、成形零件表面质量高、尺寸精度高、以及能够进行复杂零件的成形等优点^[14-16],所以充液成形是翼子板成形的重要途径,能够很好地符合翼子板的成形需求。

以汽车前翼子板为研究对象,在零件成形工艺性分析的基础上,采用有限元分析软件对翼子板进行充液拉深模拟,以零件的成形极限图(FLD)为分析标准,分析了拉延阻力系数、液室压力以及压边力对翼子板成形质量的影响,再选取翼子板一截面,以壁厚分布为分析依据,进一步研究压边力对翼子板成形性能的影响规律。为覆盖件充液成形工艺的进一步研究提供了理论基础和生产依据。

1 零件成形工艺性分析

图1是某汽车前翼子板的三维模型,从图中可以看出翼子板与引擎盖配合处的形状较为复杂且存在台阶结构;与门板配合处拉延深度较浅,形状平坦,拉延时容易产生拉延不充分现象,同时在轮罩处存在凸起和翻边。按照传统加工方法很难实现一次拉深成形,需要经过拉延、切边、翻边和整形等多道工序,会耗费时间和材料,同时存在成形精度不足等问题,而采用充液拉深则只需一道工序,可以大大减少工作量,提高成形精度和成形极限。

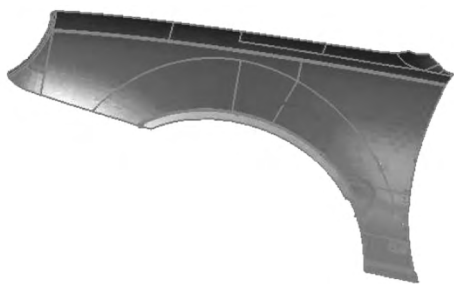


图1 汽车前翼子板三维模型

2 模型的建立

板料选取 St14ZF^[17] 深拉深冷轧钢板,厚度为 1 mm,其性能参数如表1所示。(E为杨氏模量, R_m 为屈服强度, R_e 为抗拉强度, r 为各向异性指数, n 为硬化指数, v 为泊松比。)材料模型为36号各向异性

弹塑性材料,板坯单元采用弹塑性材料。板坯单元采 Belytschko-Tsay^[18] 薄壳单元。毛坯与模具之间的接触类型为单向面-面接触。

表1 材料性能参数

E	R_m	R_e	r	n	v
207	175	320	1.8	0.23	0.28

有限元模型模拟的准确性高低在很大程度上取决于所采用的材料模型能否真实准确地反映材料变形时的屈服特征。由于三参数 Balart 模型能够合理地描述具有较强各向异性结构金属板材的屈服行为,故而它是专门针对金属薄板成形而建立起来的材料屈服准则模型^[19]。该模型是目前用于汽车覆盖件冲压成形分析时最理想的模型。三参数 Balart 材料模型所采用如下形式的各向异性屈服准则:

$$F = a |k_1 + k_2|^m + a |k_1 - k_2|^m + (2 - a) |2k_2|^m = 2 \bar{\sigma}^m$$

$$\text{式中: } k_1 = \frac{\sigma_{xx} + h\sigma_{yy}}{2}; k_2 = \sqrt{\frac{\sigma_{xx} - k\sigma_{yy}}{2} + p^2 \sigma_{xy}^2}; a = 2 -$$

$$2\sqrt{\frac{r_0 r_{90}}{(1+r_0)(1+r_{90})}}; h = \sqrt{\frac{r_0 r_{90}}{(1+r_0)(1+r_{90})}}.$$

式中的 x, y 分别表示板材的纤维方向和横向; a, h, p 是描述塑性各向异性的材料系数; $\bar{\sigma}$ 是等效应力; 对于体心立方晶体材料,指数 m 取 6; 对于面心立方晶体材料, m 取 8; r_0, r_{45}, r_{90} 为各向异性材料在轧制方向成 $0, 45^\circ, 90^\circ$ 时的各向异性值。三参数 Balart 对应 Dynaform 的 36 号材料模型^[20-21]。

2.1 工艺面补充

为了使汽车翼子板充分成形,同时减起皱与破裂缺陷等的产生,在汽车翼子板充液成形过程中,需要将翼子板空洞补充完整,使翼子板更好地成形,提高板料的整体利用率。经过分析研究,对其主截面线采取多端段设计,同时附加一段斜壁,为了使各段补充面光滑地连接起来,还需要手动进行局部补充面设计,最后确定完整的工艺补充面如图2所示。

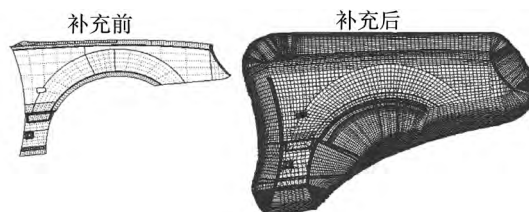


图2 工艺补充面

确定翼子板模型后,由于 BSE 板料估算坯料尺寸快速且准确,故而利用 Dynaform 里面的 BSE 模块进行坯料尺寸估算,零件以数据类型 IGS 格式导入有限元模拟软件中,1 号线为有限元软件估算出的

坯料尺寸,但是由于翼子板的复杂性以及需留出拉深余量,实际生产需将 1 号线扩大化与规则化为 2 号线,如图 3(a) 所示。模型导入仿真软件后,通过偏置和复制等工序,生成模拟所用的压边圈和充液凹模,得到其有限元模型如图 3(b) 所示。

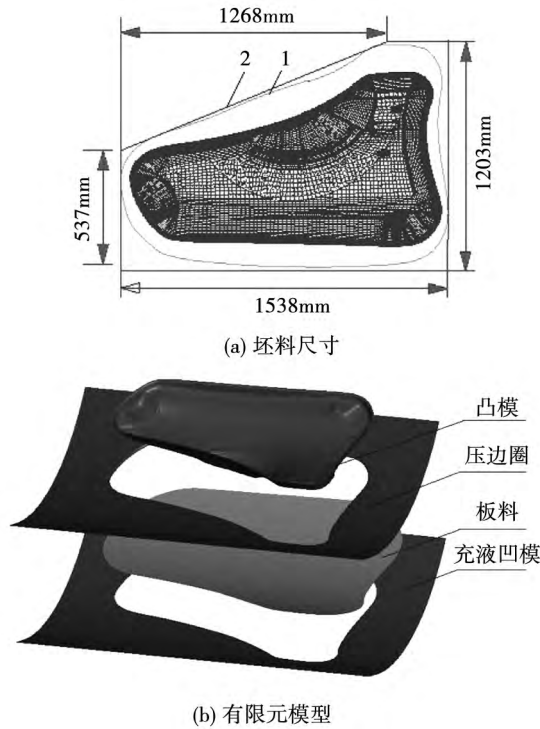


图 3 坯料尺寸及有限元模型

3 拉延筋参数的设定及优化

汽车翼子板结构复杂,拉深成形时各处板料进料不一致,成形件局部出现起皱和拉裂等缺陷,拉延筋的设置可以有效地改善板料的拉延情况,提高板料的变形均匀性。根据翼子板各处进料规律,将翼

子板设置为 8 段拉延筋,拉延筋采用半圆形,深度为 5 mm,如图 4 所示,由于直壁区进料过快,采用 3 段拉延筋,而弯曲处进料情况复杂,将拉延筋进行分段设计。

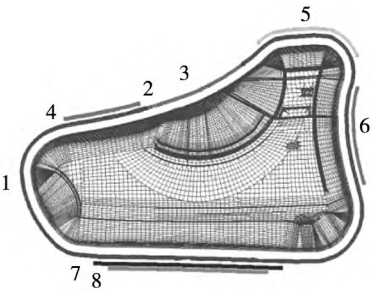


图 4 拉延筋设置

拉延筋所提供的阻力严重影响翼子板成形性能,根据大量的数值模拟,提出三种拉延筋研究方案,如表 2 所示。

按照表 2 的三组拉延阻力设定方案,采用 Dynaform 对翼子板成形性能进行模拟,分别按照 3 种研究方案进行加载,三组拉延方案翼子板成形极限图如图 5 所示。当采用方案 1 时,从图 5(a) 中可以看出翼子板局部发生严重开裂,翼子板整体拉延不充分,这是由于阻力系数比较小,拉延筋没有很好的发挥其作用,在翼子板成形时,各处板料发生严重进料流动不均匀;当采用方案 3 时,从图 5(c) 中可以看出,翼子板还没有完全成形就已经发生了局部破裂的现象,这是由于阻力系数设置过大,阻碍翼子板成形时板料进料,导致板料发生局部应力集中而破裂;当采用方案 2 时,从图 5(b) 中可以发现,板料流动性好,翼子板可以均匀成形,所以经过如上的对比分析确定方案 2 为拉延筋最佳加载方式。

表 2 拉延筋参数

拉延筋 编号	方案 1		方案 2		方案 3	
	阻力百分数	偏离距离	阻力百分数	偏离距离	阻力百分数	偏离距离
	/ %	/ mm	/ %	/ mm	/ %	/ mm
1	5	25	15	25	60	25
2	10	25	30	25	90	25
3	10	25	30	25	60	25
4	5	25	15	25	60	25
5	5	35	25	35	60	35
6	5	35	15	35	60	35
7	5	35	15	35	60	35
8	5	40	20	40	60	40

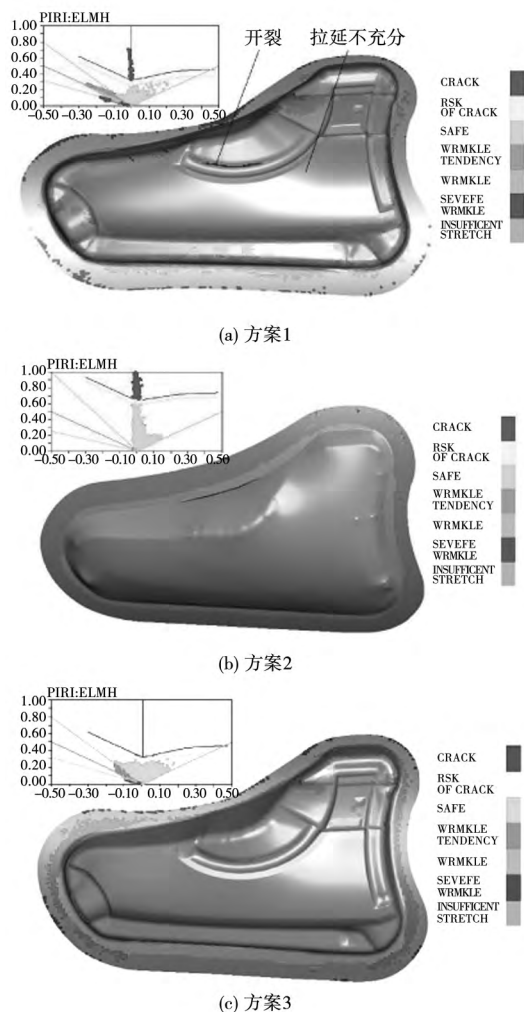


图5 翼子板成形极限图

4 加载路径的设定及优化

汽车翼子板充液拉深成形过程中,液室压力是翼子板成形性能的重要工艺参数,液室压力的加载时间与大小是液室压力的研究重点,根据翼子板的成形特点以及数值模拟研究,设计了三条液室压力加载曲线,如图6所示。

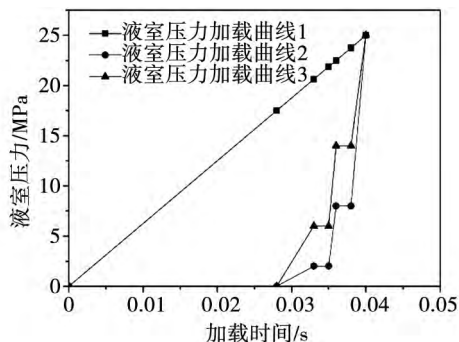


图6 液室压力加载曲线

加载曲线1 加载方式为在凸模开始之时就施加于板材提供背压,并随着加载时间的增大而增大,液室压力加载曲线3 是在 0.028 s 开始施加液压,在 0.033 s 时加载到 6 MPa,保持 0.002 s 后增加到 14 MPa,再保持 0.002 s,最后在 0.04 s 时达到 25 MPa。而液室压力加载曲线2 是在 0.028 s 开始施加液压,在 0.033 s 时加载到 2 MPa,保持 0.002 s 后增加到 8 MPa,再保持 0.002 s,最后在 0.04 s 时达到 25 MPa。

采用加载曲线1 时,液室压力加载过早,板料成形时出现大面积的凹陷而无法正常工作,故而不能满足翼子板成形需求,如图7(a)所示。采用加载曲线3 时,虽然翼子板能够成形,但是其多处出现破裂现象,如图7(c)所示,因此也不能满足翼子板需求。采用液室压力加载曲线2 时,翼子板可以成形而且没有破裂,如图7(b)所示。经过对比分析,确定方案2 为最优加载路径。

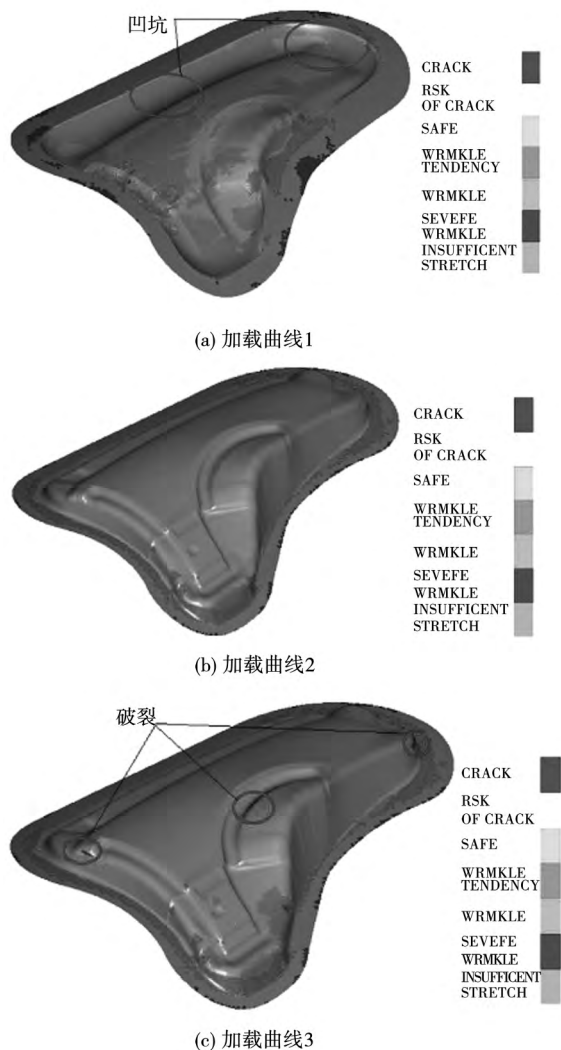


图7 翼子板成形模拟结果

5 压边力的设定及优化

由于压边力的大小会影响板料的流动,因此压边力是翼子板充液成形时的一个重要工艺参数。

经过大量的数值模拟的研究,设定三组翼子板压边力的加载方案,且分别为 750 kN, 1 000 kN 与 2 000 kN。

当压边力为 750 kN 时,局部区域出现了严重起皱和拉伸不充分的缺陷,如图 8(a) 所示,这是由于压边力过小,造成板材的流动不充分。当压边力为 2 000 kN 时,虽然翼子板没有出现严重起皱现象,但是其局部出现破裂,如图 8(c) 所示,这是由于压边力过大,所以阻碍了板料的正常成形,导致板料进料不充足而严重减薄。当压边力为 1 000 kN 时,翼子板成形质量较好,同时局部起皱得到了很好的控制,如图 8(b) 所示。

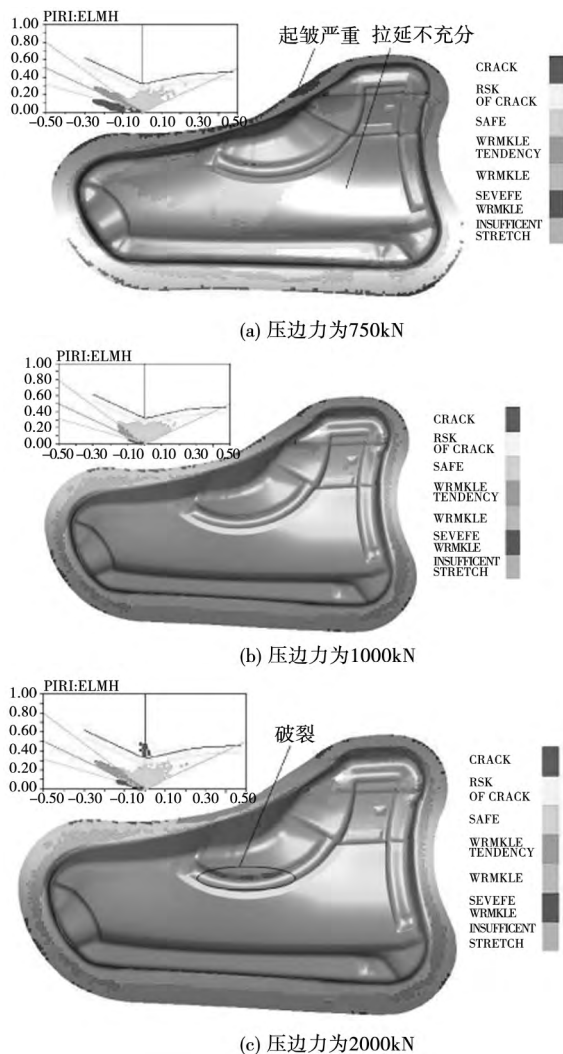


图8 翼子板成形极限图

为了进一步分析压边力对翼子板成形质量的影响规律,在其壁厚变化较大的沟槽区选取截面 A-A, 顺时针选取 15 个点,如图 9(a) 所示,分别测量每个点在不同压力值下的壁厚,得到各个点在不同压边力作用下壁厚分布曲线如图 9(b) 所示。从壁厚分布曲线中可以看出,翼子板在弯曲处 6 点的减薄量最大,最容易发生破裂缺陷;在 1 点、14 点、15 点处发生了起皱,壁厚值已经超过了板料的初始值 1 mm。通过对比分析三种不同压边力作用下的壁厚分布曲线,发现当压边力为 2 000 kN 时,各个典型点的减薄量最大,在点 6 处最小壁厚达到了 0.66 mm;当压边力为 75 kN 时,各处减薄量最小,点 6 处的最小壁厚为 0.78 mm;当压边力为 1 000 kN 时,点 6 处最小壁厚为 0.74 mm。结合不同压边力的成形极限图和壁厚分布曲线,发现当压边力为 1 000 kN 时既可以减少起皱又可以满足翼子板的成形需求,所以将压边力定为 1 000 kN。

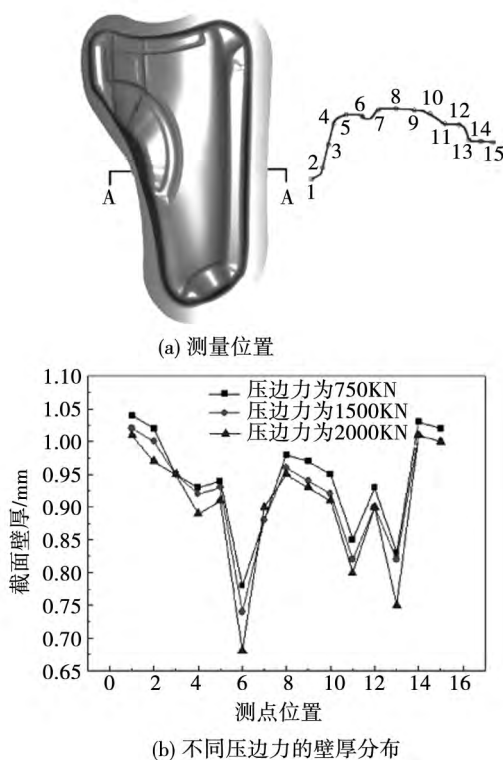


图9 翼子板壁厚分布

6 结 论

1) 根据汽车前翼子板成形的复杂性,成形时拉伸筋需要进行多处单独设置,保证板料成形时的进料均匀性,根据多次模拟分析,选择的拉伸筋为 8

段,同时设计了三组拉延阻力系数方案,以翼子板成形极限图作为评定标准,对比分析最优方案为:方案二;

2) 针对翼子板的充液成形,进行大量的数值模拟,从而设定三组液室压力路径加载方案,并以翼子板的成形极限图(FLD)作为评定标准,对比分析得出的最优加载方案是在 0.028 s 开始施加液压,在 0.033 s 时加载 2 MPa,保持 0.002 s 后增加到 8 MPa,再保 0.002 s,最后在 0.04 s 时达到 25 MPa;

3) 根据多次模拟研究,采用三组不同的压边力,并以翼子板的成形极限图(FLD)作为分析依据;选取翼子板沟槽区的一个截面,进一步分析压边力对其壁厚的影响情况,以截面的壁厚分布图作为分析标准,最终经过对比分析选取最优的压边力为 1 000 kN。

参考文献:

- [1] 刘晓晶,刘博,陈晓晓,等. 汽车复杂梁件冲压成形及回弹数值模拟[J]. 哈尔滨理工大学学报,2015,20(1):76-79.
- [2] 刘晓晶,王祥刚,李峰,等. 基于UG的汽车覆盖件模具的标准件库开发[J]. 哈尔滨理工大学学报,2011,16(2):19-21.
- [3] 吴文娟. 浅谈汽车前翼子板的结构设计[J]. 机电工程技术,2011,40(8):196-206.
- [4] 张德超. 汽车车身造型与结构分析[D]. 湖北:武汉理工大学,2006:1-69.
- [5] 武振锋,贾凡. 基于CATIA的轿车前翼子板曲面造型与质量分析[J]. 汽车技术,2011(1):54-57.
- [6] 肖冰娥,温彤,于建明. 大高径比H68铜套的多道次深拉深工艺与模具设计[J]. 热加工工艺,2013,42(9):87-89.
- [7] 陈文琳,路遥,彭李静,等. 多道次拉深复合成形工艺研究[J]. 精密成形工程,2011,3(1):23-26.
- [8] 陶宏之. 板料多道次拉深成形模拟技术研究与工艺优化[M]. 上海:上海交通大学,2000:45-74.
- [9] 汪建敏,钱春苗,崔会杰. 数值模拟技术在板料多次拉深成形中的应用[J]. 热加工工艺,2012,5:136-139.
- [10] 孙志莹,郎利辉,孔德帅. 铝合金马鞍形件充液成形工艺模拟分析[J]. 精密成形工程,2015,7(1):46-65.
- [11] XU Y C, CHENG Y, YUAN S J. Influences of Loading Paths on Thickness of Aluminum Alloy Cup with Hydromechanical Deep Drawing[J]. International Journal of Materials and Product Technology, 2010(38):173-183.
- [12] GRIZELJ B, CUMIN J, ERGIC T. Application of Hydroforming Process in Sheet Metal Formation[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2009, 51(4):333-340.
- [13] LEE M Y, SOHN S M, KANG C Y, et al. Study on the Hydroforming Process for Automobile Radiator Support Members[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2002(130):115-120.
- [14] KEUM Y T, LEE K B. Section Finite Element Analysis of Forming Processes for Aluminum-alloy Sheet Metals[J]. International Journal of Mechanical Sciences, 2000(42):1913-1918.
- [15] GUO J D, ZHAO C C, CAO M Y. Process of Back Pressure Deep Drawing with Solid Granule Medium on Sheet Metal[J]. Journal of Central South University, 2014, 21(7):2617-2626.
- [16] 赵军,易际明,倪颀. 基于数值模拟的深筒件多次拉深工艺与实验研究[J]. 热加工工艺,2012(5):94-101.
- [17] 张顺才. 超深冲冷轧钢板 St14ZF 退火组织与力学性能关系的探讨[J]. 宝钢技术,1994(1):41-51.
- [18] VIGNJEVIC R, CAVALCANTI M J. Numerical Simulation of the Lynx Helicopter Main Lift-frame Component Collapse[J]. International Journal of Crashworthiness,1997,2(1):25-38.
- [19] 陈正阳. 一种板料成形屈服准则的建立与应用[D]. 北京:北方工业大学,2015.
- [20] 赵海鸥. LS-DYNA 动力分析指南拉延筋技术[M]. 北京:兵器工业出版社,2003.
- [21] 许允超. 高强度冷热轧汽车板材成形性能数值模拟及实验研究[D]. 内蒙古:内蒙古科技大学,2015:1-24.

(编辑:关毅)