

高强钢复杂曲面件充液拉深工艺模拟研究

陈龙, 张超, 曹婷婷, 李萍

(合肥工业大学 材料科学与工程学院, 合肥 230009)

摘要: 对某高强钢复杂曲面件的充液拉深工艺进行有限元数值模拟, 分析了液室加载路径以及最高液室压力对成形结果的影响, 得到该零件充液拉深成形合理的液室加载路径及最高液室压力。

关键词: 高强钢; 充液拉深; 液室加载路径; 最高液室压力

中图分类号: TG386.3 **文献标识码:** A

文章编号: 1674-6457(2012)03-0039-04

Simulation Research of Sheet Hydroforming Process for High Strength Steel Complex Surface Part

CHEN Long, ZHANG Chao, CAO Ting-ting, LI Ping

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

Abstract: The sheet hydroforming process of high strength steel complex surface part is investigated by numerical simulation. Influence of hydraulic pressure loading path and the maximum hydraulic pressure on the forming results is analyzed. Reasonable hydraulic pressure loading path and the maximum hydraulic pressure of hydroforming process are got for this part.

Key words: high strength steel; sheet hydroforming; hydraulic pressure loading path; maximum hydraulic pressure

汽车工业的飞速发展,尤其是汽车轻量化和相关技术的发展,使高强钢的用量迅速增加^[1]。由于高强钢应变硬化指数和厚向异性指数较小,拉深成形性能较差,因而,有必要对传统的板材成形方法进行改进,发展适合于高强钢的成形方法。充液拉深工艺能够极大地提高板料拉深极限和表面质量,特别适合于对高强度材料和成形性能差的材料的成形^[2]。

充液拉深是利用液体替代普通拉深中的凹模,依靠液压将板料贴紧在凸模上成形。在充液拉深过程中,随着凸模下行,液室中的液体受压将坯料紧紧包覆在凸模上,形成摩擦保持效果、溢流润滑效果和

初始预胀形效果^[3-4],能够显著提高零件的成形极限,减少成形道次,改善制件质量,易于成形复杂曲面零件。近年来,充液拉深工艺越来越受到汽车、航空航天领域板材加工业的重视,并已经得到较为广泛的应用。

目前,国内外学者对锥形、筒形、方盒形、抛物线形等零件的充液拉深工艺进行了一系列研究。探讨了液室加载路径、最高液室压力、初始预胀形压力、压边力等因素对成形件的缺陷形成,壁厚分布,应力应变分布等的影响规律,然而对高强钢复杂形状零件充液拉深工艺的研究还较少^[5-9]。文中针对某高强钢复杂曲面件的充液拉深工艺进行研究,分析零

收稿日期: 2011-06-08

作者简介: 陈龙(1988—),男,安徽巢湖人,硕士研究生,主要研究方向先进塑性成形工艺与仿真。

件的可成形性,探索液室加载路径、最高液室压力等工艺参数对零件成形情况和应变分布的影响。

1 有限元模型的建立

某高强钢零件如图1所示,形状复杂,拉深深度起伏大,成形过程中材料的流动不易控制。同时,零件几何形状的非对称性以及拉深深度的变化增大了零件变形的不均性,过渡区域不易贴膜。笔者采用有限元模拟软件 ETA/Dynaform 5.6 对零件的充液拉深成形过程进行数值模拟分析,探索该类复杂零件充液拉深的可成形性。

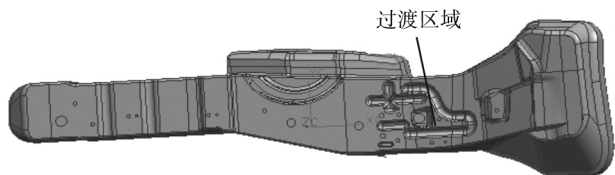


图1 零件

Fig.1 Diagram of part

材料选用高强钢 BIF340 板材,厚为 2 mm,材料模型为 37 号厚向各向异性材料模型,即 Hill 屈服模型。板料单元选用 BT 壳单元,接触类型为单向面-面接触,凸凹模以及压边圈均视为刚体。采用库伦摩擦条件,板料和凸模之间的摩擦因子取为 0.14,考虑液体的黏性,板料与液体之间的摩擦因子取为 0.04。零件充液拉深的有限元模型如图2所示。

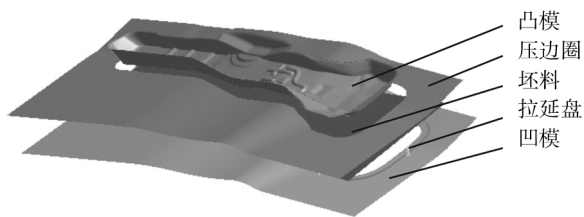


图2 零件充液拉深的有限元模型

Fig.2 Finite element model of sheet hydroforming

2 液室加载路径对成形结果的影响

为了研究液室加载路径对零件成形的影响,采用恒定压边力为 500 kN,同时保持拉深筋和材料性

能参数不变,借助成形极限 FLD 图,研究液室加载路径对成形结果的影响。成形该零件所采用的 4 种不同加载路径的液室加载曲线如图3所示。

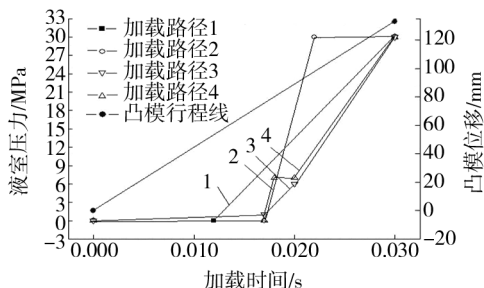


图3 不同的液室加载路径

Fig.3 Diagram of different hydraulic pressure loading paths

采用 1 号液室加载路径,液室压力加载过早,在凸模与板料刚接触时(0.018 s),液室中的液体压力就已经达到 10 MPa,凹模圆角处板料产生严重的反向胀形,从而使板料产生早期胀裂,拉深无法进行。

考虑到液室压力不能加载过早,采用 2 号液室加载路径,在 0.017~0.022 s 时间段内,液室压力从 0 逐渐上升到 30 MPa,然后保持不变直到成形结束。此时,拉深初期压力为 0,板料没有产生 1 号液室加载路径中的早期胀裂现象。随着变形的继续,液室压力迅速上升至 30 MPa,在 0.021 s 时液室压力已上升至 23 MPa,此时凹模圆角处板料再次形成反向胀形,板料承受较大的反向拉应力,凸模圆角处板料处于双向拉应力状态,板料减薄严重,出现破裂,同时凹模圆角处板料也由于方向拉应力较大而出现拉裂现象(如图 4a 所示),拉深无法进行。

为了避免凹模口处材料在拉深中出现破裂现象,采用 3 号液室加载路径。在 0~0.017 s 液室压力缓慢上升至 1 MPa,随后液室压力在 0.022 s 时上升至 6 MPa,0.03 s 时液室压力达到 30 MPa。成形过程中,凹模圆角处的板料产生一定的反向胀形(0.017~0.022 s),但没有产生胀裂现象。由于成形初期液室压力较低,板料反向胀形较小,初始预胀形效果不明显,板料起皱严重。同时随着成形的进行,凹模圆角处发生反向胀形的板料又产生胀形、弯曲、反弯曲变形而使板料过度减薄,导致靠近凸模圆角的侧壁材料破裂(如图 4b 所示)。

考虑到凹模圆角处板料在拉深初期的初始反胀

效果, 同时又要避免板料胀裂, 采用 4 号液室加载路径。在 $0 \sim 0.017$ s, 液室压力保持为 0。在 $0.017 \sim 0.018$ s, 液室压力迅速上升至 7 MPa, 使悬空区域坯料在液室压力的作用下胀形形成反向凸起, 改变变形区的应力状态, 使坯料周向压应力减小, 有效地防止凹模圆角处起皱。在 $0.018 \sim 0.020$ s, 液室压力保持在 7 MPa, 使坯料在液室压力的作用下逐渐与凸模接触, 包覆凸模。此时, 液室中的液体将坯料紧紧包覆在凸模上, 缓和了板料在变形过程中所受的径向拉应力, 提高了传力区的承载能力, 抑制了危险断面的减薄。为了使零件达到要求的形状和尺寸精度, 在 $0.02 \sim 0.03$ s 液室压力持续上升至 30 MPa, 使曲面凹槽部位更好地与凸模贴合 (如图 4c 所示)。

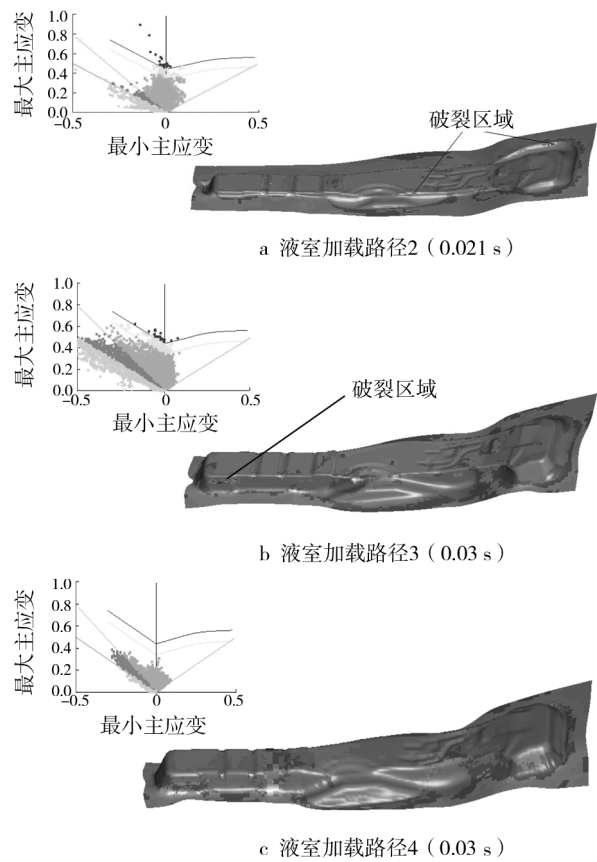


图 4 不同液室加载路径的模拟结果

Fig. 4 Simulation results under different hydraulic pressure loading paths

3 最高液室压力对成形结果的影响

充液拉深过程中, 液室中的最高液室压力也是

影响零件起皱和破裂的重要因素。为了能更明确分析最高液室压力对成形过程的影响, 在设定的初始模拟参数和材料性能参数不变的条件下, 采用 4 号液室加载路径, 最高液室压力分别采用 18, 25, 30, 45 以及 50 MPa (如图 5 所示), 借助成形极限 FLD 图, 研究单独改变最高液室压力对成形结果的影响。

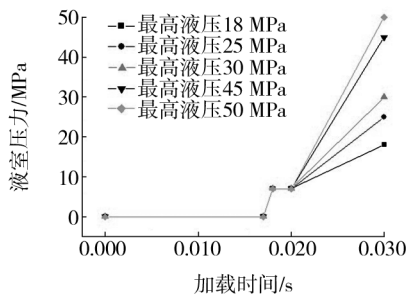


图 5 不同最高液室压力的加载过程

Fig. 5 The loading processes of different maximum hydraulic pressures

板料在凹模入口处尺寸较大, 与凸模底部接触的面积较小, 在成形过程中会形成较大的悬空带。该处主要承受沿拉深方向的拉应力, 以及由此拉应力产生的与之相垂直的压应力, 板料不易贴膜且起皱趋势较大。同时, 凹模口和凸模底部 2 个位置是板料承受较大拉力作用的位置, 都存在着破裂的危险。由图 6 可知: 当最高液室压力为 18 MPa 时, 零件在靠近凸模圆角的侧壁处破裂。这是因为在成形开始时, 此处材料因初始液压产生反向胀形, 在后来的成形过程中, 此处材料又产生胀形、弯曲及反弯曲而使板料变薄。同时由于液室压力较低, 凸模与板料之间的摩擦保持效果不明显, 不能有效地阻止板料的继续减薄, 板料出现破裂。当最高液室压力在 25~45 MPa 时, 零件均可顺利成形。这是因为最高液室压力较大, 凸模与板料之间的摩擦保持效果明显, 有效地阻止了板料的继续减薄, 但是过高的液室压力会使凹模口部板料破裂。由图 5 可见, 当最高液室压力达到 50 MPa 时, 成形末期, 液室压力较大, 凹模口部尚未贴膜的板料产生严重的反向胀形, 从而使凹模口部板料出现破裂现象。

综合以上分析, 充液拉深过程中液室加载路径和最高液室压力对成形过程和结果影响很大。要获得质量较好的拉深件, 就需要根据材料以及零件的变形特点, 找到合适的液室加载路径及最高液室压

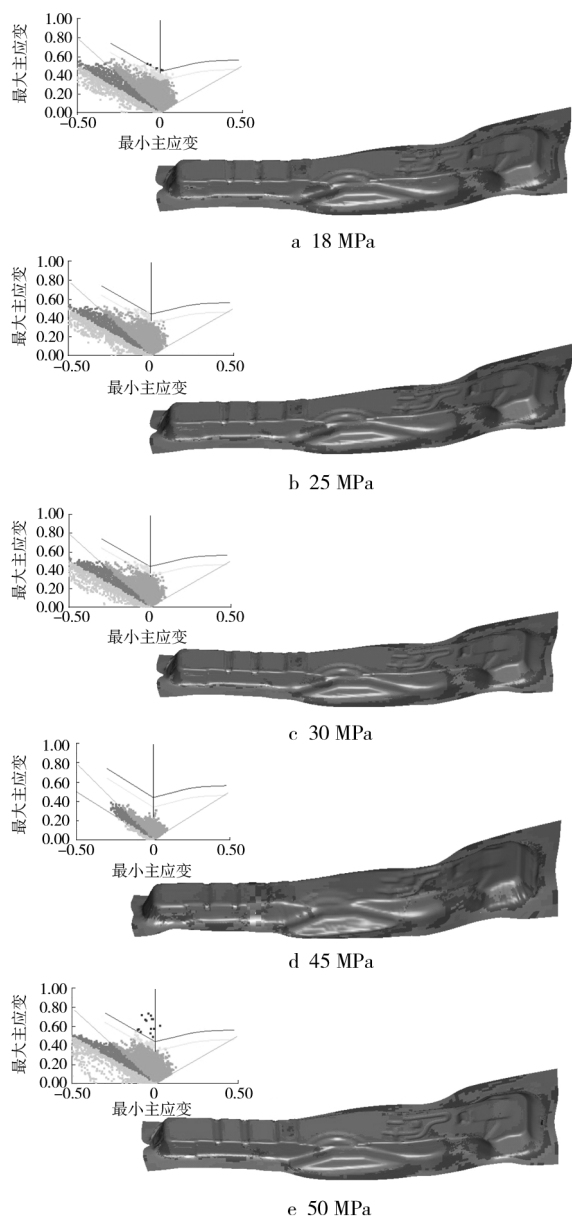


图6 不同最高液室压力的模拟结果

Fig. 6 Simulation results under different maximum hydraulic pressures

力。

4 结语

对某高强钢复杂曲面件的充液拉深过程进行了数值模拟,进而分析了液室加载路径和最高液室压力对成形结果的影响。初期的液室压力保持在0,以避免破裂;而后缓慢增加压力至7 MPa并保持稳定,提高零件过渡区域的贴模性;后期液室压力逐渐

增加至30 MPa,以满足最终的尺寸精度要求。最高液室压力有一个最优化的区域,当处于25~45 MPa时,能实现零件的顺利成形。

参考文献:

- [1] 马鸣图. 先进汽车用钢[M]. 北京:化学工业出版社, 2007.
- [2] 吴有生,夏巨谥,胡国安. 板料液压成形技术的发展动态及应用[J]. 精密成形工程(金属成形工艺), 2002, 20(4):1-3.
- [3] 李硕本. 冲压工艺理论与新技术[M]. 北京:机械工业出版社, 2002.
- [4] 曹婷婷. 拼焊板车门内板成形工艺研究[D]. 合肥:合肥工业大学, 2010.
- [5] 刘晓晶,徐永超,苑世剑. 平底筒形件主动径向加压充液拉深的数值模拟[J]. 材料科学与工艺, 2008, 16(6):763-767.
- [6] 刘晓晶,闫巍,郭立伟. 铝镁合金双路径加载充液拉深成形的数值模拟[J]. 中国有色金属学报, 2008, 18(4):698-702.
- [7] 王骥,赵升吨,袁建华,等. 筒形件充液拉深工艺参数的正交设计优化[J]. 塑性工程学报, 2005, 12(7):113-116.
- [8] 徐永超,陈宇,苑世剑. 半球底筒形件充液拉深加载路径优化研究[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2008, 40(7):1076-1080.
- [9] 刘晓晶,徐永超,苑世剑,等. 反胀压力对铝合金球底筒形件充液拉深过程的影响[J]. 塑性工程学报, 2008, 15(3):42-46.