irregularly shaped Prismatic shells with arbitrarily shaped flange. J. Mater Proc. Technol., 1997,63 :89-94

[112] 肖作义. AUTOCAD 在确定盒形件毛坯尺寸时的应用. 锻压技术， 2000，4：14~17

[113] 岳陆游，袁国定． 椭圆盒形拉延件合理毛坯的研究．金属成形工艺， 2001，19(6):11~13

[114] K .CHUNG, F.BARLAT, etc. Blank shape design for a planar anisotropic sheet based on ideal forming design theory and FEM analysis. International Journal of Mechanical science , 1997,39:105-120

[115] S.H. Park, J.W. Yoon, D.Y. Yang, Y.H. Kim. Optimum blank design in sheet metal forming by the deformation path iteration method. International Journal of Mechanical Sciences ,1999, 41: 1217-1232

[116] 朱谨，王学文，阮雪榆. 方盒形带凸缘件的板料形状优化设计. 塑性工程学报，1994，1(2)：57~64

[117] Hyunbo Shim. Determination of optimal shapes for the stampings of arbitrary shapes. Journal of Materials Processing Technology, 2002,121:116-122

[118] 徐国艳，施法中. 板料冲压成形盒形件的毛料计算. 中国机械工程，2003，14(9)：788~790

[119] Guo Y Q, Batoz J L. Finite Element Procedures for Strain Estimations of Sheet Metal Forming Parts. Ini .J .Num. Meth .Enging., 1990, 30(2):1385-1401

[120] Lee CH, Huh H. Blank Design and strain Prediction of Automobile Stamping Parts by an Inverse Finite Element Approach. J. Mat .Proc .Tech. 1997, 63(l):645-650

[121] Lee CH, Huh H. Blank Design and strain Estimates for Sheet Metal Forming Processes by a Finite Element Inverse Approach with Initial Guess of Linear Deformation . J. Mat . proc . Tech. 1998, 82(l):145-155

[122] 姚华，陈军． BP 神经网络在盒形件坯料外形预测中的应用． 模具技术，1999，5：15~20

[123] 姚华，罗仁平，陈军． 盒形件毛坯外形预测中ＢＰ网络结构的确定． 模具技术，1999， 6：26~30

[124] Kichan Son, Hyunbo Shim. Optimal blank shape design using the initial velocity of boundary nodes. Journal of Materials Processing Technology, 2003, 134: 92-98

[125] 丘宏扬，谢嘉生，孙延明. 盒形件拉延过渡毛坯智能化计算机辅助设计方法. 锻

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

压机械，2001，3：50~53

[126] 霍同如，徐秉业，宋军. 板材成形有限元数值模拟的研究进展. 力学进展，1996，26（3）：379~388

[127] 李晓星. 板材成形模拟的研究和应用. 金属成形工艺，2003，21(2)：6~9

[128] Joachim Danckert. Experimental investingation of a squre-cup deep-drawing process. Journal of Materials Processing Technology, 1995, 50: 375-384

[129] 嘉木工作室. UG18 实体建模实例教程. 北京：机械工业出版社，2002：3~4

[130] 张士宏，尚彦凌. 用动态显式有限元法对板材成形进行计算机模拟. 塑性工程学报，2001，8(1)：19~24

[131] Engineering Technology Associates, Inc. DYNAFORM-PC User's Manual. 1999. 7~10

[132] John O. Hallquist. LS-DYNA THEORETICAL MANUAL. Livemore Software Technology Corporation, 1998: 16.59-16.65

[133] 刘罡，林忠钦，张卫刚. 薄板成形仿真动力显式算法的虚拟凸模速度分析. 上海交通大学学报，2000，34(10)：1046~1049

[134] 宋玉泉. 精冲模架. 中国专利，03127639.3，2004.02.11

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

致　　谢

本论文是在我的导师宋玉泉教授的指导下完成的。宋老师渊博的知识、科学严谨的治学态度、敏锐的科研洞察力和无私无畏的奉献精神给了我良好的影响和深刻的启迪。宋老师对工作精益求精的态度，不断求索、创新的精神更是让我敬佩。在三年的研究生期间，宋老师给我提供了很多学习、锻练的机会，并给了我悉心的指导，还对我的生活给予了无微不至的关怀。在宋老师的培养和影响下，我分析问题、解决问题的能力有了很大的提高。在此谨向宋老师致以诚挚的谢意和深深的祝福。

助导师贾红杰对我的论文给予了热情的指导和帮助，不厌其烦的帮我审阅论文，并给我提出了许多宝贵的意见和建议。她对事的认真负责态度给我留下了很深的印象。在超塑性与塑性研究所学习的几年时间里，我得到了全所同志的关心和帮助。特别要提到的是李达老师、师姐刘颖、李志刚师兄和王明辉师兄，在我做论文期间他们给我提供了很大的帮助，在此向他们表示感谢。

同时还要感谢师母张学真女士在生活中所给予的关心和帮助。

最后，衷心的感谢我的父母和姐姐多年来对我的关心和支持。他们对我的期望在精神上给我以鼓励，他们在物质上对我的支持使我在生活上有了保证。

贺军涛

2004.05.05

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

摘　要

关键词：拉深，液压拉深，盒形件，数值模拟，板材成形，LS-DYNA

拉深又称拉延，在板料成形领域，拉深是最常用、最重要的成形方法。目前拉深工艺被广泛应用于生产中成形筒形件、阶梯形件、锥形件、球形件、方盒形件、汽车覆盖件和其它不规则形状的薄壁零件。对于简单形状零件如筒形、圆锥形等的拉深，人们已经进行了大量的研究，并提出了工艺条件相关的极限拉延比(TLDR)来辅助确定拉延的次数。然而，由于传统的拉深工艺采用刚性模具，容易引起起皱、拉裂等缺陷。现在广泛采用在反复试验的基础上控制压边力，调节摩擦的相关输入参数，比如润滑剂、润滑量和改变板材金属的表面微结构，修改模具等方法来避免这些缺陷。这延长了产品的开发周期，增加了生产成本。

1955 年提出的液压拉深技术使用弹性体代替了刚性模具，在拉深成形过程中存在“摩擦保持效果”和“溢流润滑效果”，能有效的提高板材的拉延极限和拉深件的表面质量，相比传统拉深工艺获得的工件厚度分布也更均匀。此外，还可以避免因制造非对称的、几何形状复杂的模具带来的困难，降低模具生产成本、缩短产品的试制周期。目前此工艺在日本、美国、瑞士等工业发达国家已经获得了应用。

对于大多数提出的液压拉深技术，人们只是简单介绍了其在成形筒形件上的优势，而对其在非轴对称件上的应用研究相对较少。而在实际工业生产中的拉深件多是盒形件、汽车覆盖件等非轴对称件。对盒形件和覆盖件的研究及成形分析，有助于指导生产、工艺的制定。目前人们对于盒形件拉深的变形特点、应力状态等成形机理有了一定的了解。然而，对于盒形件的拉深仍未能提出类似于轴对称壳形零件拉延极限比的确定公式。针对盒形件的传统拉深工艺过程，研究者已经提出了压边力大小对成形的影响的规律和新的压边力控制和装置方法；研究者还提出了采用神经网络、专家系统等来实现传统盒形件拉深工艺的参数选定。然而现在基本上还没有针对盒形件液压拉深技术的专门的研究。

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

从力学角度而言，板材成形是一个同时存在几何非线性（大位移、大应变）、物理非线性（弹塑性、弹粘塑性、各向异性）、接触和摩擦的非常复杂的力学过程。随着计算机的应用和发展和有限元方法的成熟，使得可以利用计算机的强大的计算能力进行板材成形的有限元分析。无凹模液压拉深技术，是由丹麦的 Aalborg 大学提出的一种新的液压拉深技术，他们已经针对筒形件的拉深作了实验和分析，证明此方法能提高盒形件的拉延极限比。另外，在此方法中由于没有下压边圈，所以不用考虑法兰部位的液体流动及压强变化。这种简单的边界条件使得可以对此工艺进行比较准确的数值模拟。本文使用动态显式有限元算法 LS-DYNA 对盒形件的传统拉深过程及无模液压拉深过程进行了模拟。为了证明本模拟中使用的材料参数及有限元程序的正确性。在传统拉深模拟中使用了 NUMISHEET'93 提出的盒形件及模具等，对压边力为 19.6KN、10.4KN、5.3KN 的模拟结果和 Joachim Danckert 的实验结果相吻合。通过液压拉深模拟结果和传统拉深工艺模拟结果的对比，证实了液压拉深应用于盒形件的拉深同样能获得更好的厚度分布的工件。然而，部分模拟结果也显示了使用无凹模液压拉深时，拐角处变形的抗力较大，如果液体压强变化曲线设置不当，在盒形件口部拐角处易出现褶皱。在传统拉深、充液拉深和液压机械拉深中的刚性凹模拐角能对拐角处产生很大的法向抗力，冲头的压力将促使其变形。无模液压拉深技术没有凹模，这种抗力是由液体压力来实现的，而过大的液体压强会导致直边处的材料不流动，造成侧壁拉裂。

在液压拉深过程中，成形效果同样受多种工艺参数的影响。和传统拉深过程一样，其拉深效果受冲头速度、毛坯外形、压边力等参数的影响。这些参数对成形的效果的影响和传统拉深工艺中的规律是基本相同的。此外，在液压拉深过程还受液体压力、冲头与毛坯之间的距离大小、冲头与上压边圈内圈之间的侧隙大小的影响。论文作者做了大量的有限元模拟分析以探讨这些参数对成形效果影响的基本规律，并从模拟中得出以下的结论：当预胀形的高度较大（即初始时冲头与毛坯的距离较大）时，初始的预胀形阶段就相当于一次浅拉深，而随后的拉深则是反拉深阶段了。这样，在冲头下压拉深阶段金属材料的流动方向与预胀形阶段时的材料流动方向相反，有利于抵消拉深成形的残余应力。此外，预胀形后靠近冲头处的毛

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net