

DYNAFORM在冲压成形中的应用研究

Application of DYNAFORM in Stamp-Forming Process

中航工业南方航空动力有限公司钣金焊接车间 皮克松 郑南松



皮克松

中航工业南方航空工业(集团)有限公司技术员,长期从事航空发动机钣金焊接零件的制造技术研究及实践,在薄板材料焊接与成形方面取得了突出成绩。

在模具设计初期,进行冲压件可成形性研究和设计改进,预测并解决在板材成形加工中可能遇到的质量问题是钣金成形制造业界的热门话题。作为虚拟制造技术之一的冲压成型数值模拟技术的日渐成熟以及它在新产品开发和模具设计中日益广泛的应用,为实现新的钣金制品和相应冲压模的设计提供了途

数值模拟分析技术对冲压工艺及模具设计的预测及指导作用使冲压工艺有了预见性和科学性,也提高了模具设计的准确性和可靠性。技术手段的提高,大幅度缩短了模具设计及制造调试的周期,也提升了企业对市场竞争的适应能力。

径。本文以典型冲压成形件为例,阐述了DYNAFORM数值模拟技术具体的应用研究,并提出和解答了DYNAFORM使用中的常见技术问题。

冲压数值模拟软件系统

板材成形有限元分析技术起源于20世纪70年代初期,在近20年内得到了迅速发展。其高效的计算功能使它的应用范围不断扩大,目前已用于分析复杂三维板材成形的过程,包括成形缺陷分析,如破裂、起皱和回弹等。这一技术既可应用于模具设计阶段,也可应用于分析和解决实际生产中出现的产品质量问题。有限元模拟技术涉及到数值方法、力学、材料科学、计算机技术以及塑性

加工技术等多门学科,是当今比较前沿的研究领域之一。

国外开发的板料成形模拟商品软件已经达到了工程实用的阶段,也获得越来越广泛的应用,并收到了很大的经济效益。国内外知名的飞机、航空制造厂家在虚拟制造领域已经有了多年的应用历史,也从冲压成形数值模拟技术中获得了丰厚的经济回报。我国近几年来在湖南大学、南昌航空大学、北京航空航天大学等一些院校及一汽集团、海尔集团等企业中也进行了这方面的应用研究。目前,已经达到实用阶段的数值模拟软件有法国的OPTRIS软件和美国ANSYS公司代理的eta/DYNAFORM软件,另外还有欧洲著名软件公司Quantech ATZ公司的

Stempack[®] 软件。以上 3 种软件都是专业的钣金成形数值模拟软件,是真正的面向工程实际的钣金成形仿真系统,具有功能强大、操作流程自动化、界面友好的特点。

为填补我国航空制造业在此方面的空白,我公司引进了 eta/DYNAFORM 软件,并开展了冲压成形模拟技术应用开发工作。

DYNAFORM 数值模拟分析系统

DYNAFORM 软件是由 ETA 公司研制的基于 LS-DYNA 的钣金冲压分析软件,它把 LS-DYNA、LS-NIKE3D 强大的分析能力与 eta/FEMB 的流程化前后处理功能结合起来。eta/DYNAFORM 分析的求解器是 LS-DYNA 和 LS-NIKE3D,这两个程序是通用的、非线性的、动态的有限元分析程序,利用显式和隐式计算方法来解决结构及流体等问题,已经成功地应用于钣金成形的数值模拟。

DYNAFORM 的主要功能包括分析拉伸、成形、弯曲、翻边、切边等板料成形过程中的不同工序,也可以进行多步成形(或多工序加工)分析。通过用户已定义好的冲压工艺及模具曲面形状来预测成形状态,其中包括减薄拉裂、起皱、回弹等各种问题;同时可以对成形力、压边力、拉伸筋、模具磨损等各种工艺问题进行分析,以便优化工艺和模具设计。DYNAFORM 的核心技术包括以下几个方面:(1) 动力显式积分算法;(2) 板壳有限元理论的研究;(3) 本构理论和屈服准则(材料模型);(4) 接触判断算法和网格细化自适应技术;(5) 多工步成形模拟技术;(6) CAD/CAM 软件和成形过程模拟 CAE 软件之间的数据转换技术;(7) 建立有限元模型的若干技巧;(8) 板材冲压成形模拟的一般过程。

作为专业化的钣金成形数值模

拟软件, DYNAFORM 具有界面友好、方便以及操作流程自动化的特点。例如,在做冲压数值模拟分析时,用户只需要控制重力载荷(Gravity Loading)、多工序加工(DANA IN)、自适应网格(Adaptive Mesh)、回弹(Spring Back)等开关,即可实现所需要的功能。

典型冲压件成形过程的数值模拟研究

结合生产中的实际需要,我车间针对典型冲压件进行了大量的数值模拟研究,预测和验证了冲压成形结果,解决了冲压成形过程中的质量问题,并参照数值模拟分析结果提出了对模具、工艺方案或产品设计的修改建议。为了保证冲压数值模拟分析的真实可靠性,首先要掌握本企业常用金属板材的成形性能参数并建立相应的材料库。常用的成形性能参数包括: 扬氏模量 E 、泊松比 μ 、屈服应力 σ 、硬化指数 η 、厚度、各向异性系数 R 等。获取板材成型性能的途径大致有两条: 一是由板材供应商提供,二是通过实验测得。DYNAFORM 材料库由 material.ind 和 material.lib 两个文件组成。material.ind 包含了所有保存在库中的材料名称和列表。用户第一次输出材料信息后,上述两个文件自动在用户计算机的根目录下生成。在之

后的分析中,只要读入相应的材料即可。

1 拉伸成形数值模拟

对于拉伸件而言,坯料形状、压边力对拉伸成形中料的流动阻力有很大的影响,同样的工件,由于坯料几何形状不同,压边力大小不同,在成形时产生的应力状态有很大的区别。所以,如何优化坯料的形状,调整合适的压边力显得尤为重要。我车间生产的某型发动机后壁是非规则的拉伸成形件,如图 1 所示。后壁采用厚度为 1mm 的 1Cr18Ni9Ti 材料,在薄板成形工艺中,它属于非规则的拉伸件。从图 1 可以看出,该零件在成形中容易出现减薄(图 2 所示)和断裂(CRACK)现象(图 1 所示)。

通过实验测得材料性能参数如下所示:(1) 扬氏模量 $E=184\text{MPa}$; (2) 泊松比 $\mu=0.3$; (3) 屈服应力 $\sigma=540\text{MPa}$; (4) 硬化指数 $\eta=0.186$; (5) 板厚 1mm; (6) 各向异性系数 $R=0.7$; (7) 凸凹模与板材之间的摩擦系数 $f=0.15$, 压边圈与板材之间的摩擦系数 $f=0.1$ 。

模具部件及板料的几何模型在 UG 中创建,由 DYNAFORM 的 IGES 接口读入,进行前处理。后壁零件其数值模拟有限元模型的单元个数为 2341 个,节点个数为 2183 个,其中板材的单元个数为 1578 个,节点个

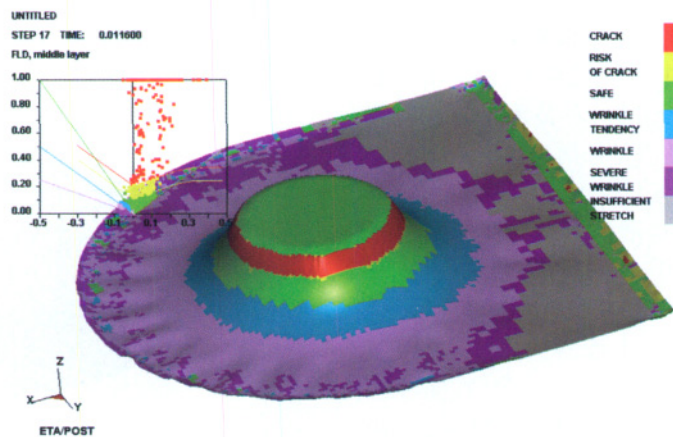


图1 板料优化前成形极限图

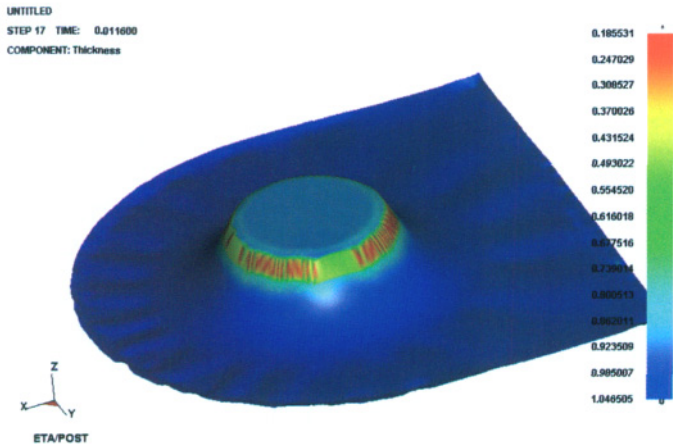


图2 板料优化前成形厚度云图

数为 1676 个。图 1、图 2 分别为板料优化前的成形极限云图和厚度变化云图 (FLD)；图 3、图 4 分别为成形极限云图和板料优化后的厚度变化云图。

从模拟结果可以知道，板料形状优化前，由于圆锥拉伸部分材料流动变形阻力较小，而形角部进料阻力较大，按成形最小阻力原理，形角部板料流动变形较少，导致底部圆角处开裂，该处厚度变薄达 80%，从 FLD 曲线看，该区域已经超过临界线，即使压边力降到 16T，模拟结果变化不大。

板料形状优化后，圆锥拉伸部分的板料尺寸适当加大，以平衡形角部进料阻力，压边力给定为 26T，从模拟结果看，盒形底部圆角处厚度变薄为 25%，从 FLD 曲线看，该区域处于临界线内。

2 多工序成形数值模拟

在板材冲压成形中，多工序成形是比较常用的一种技术。而在数值模拟中，关键是如何处理上一次成形所得到的板材应力和应变信息，使板材应力和应变信息包含在第二次成形的模型中。

在第一工序成形的数值模拟中，在输出分析文件时，打开多工序加工 (DANAIN) 开关，这样，在完成第一工序成形数值模拟计算后，在计算结果文件中就包括了 DANAIN 文

件。DANAIN 文件中包括了板材在第一次成形中所得到的应力和应变等信息；然后在做下一步的成形分析时，通过多工序成形输入接口把

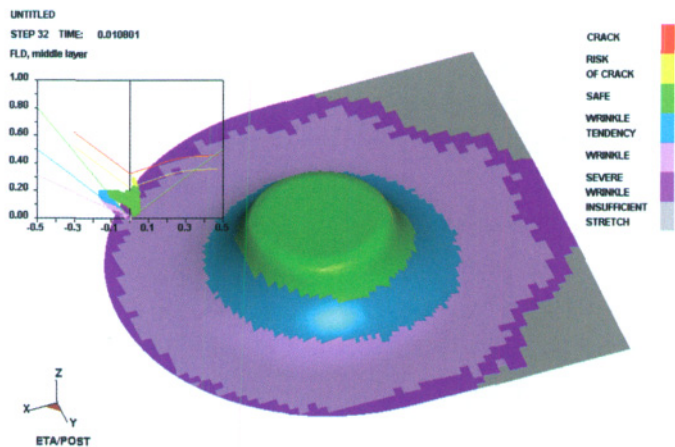


图3 板料优化后成形极限图

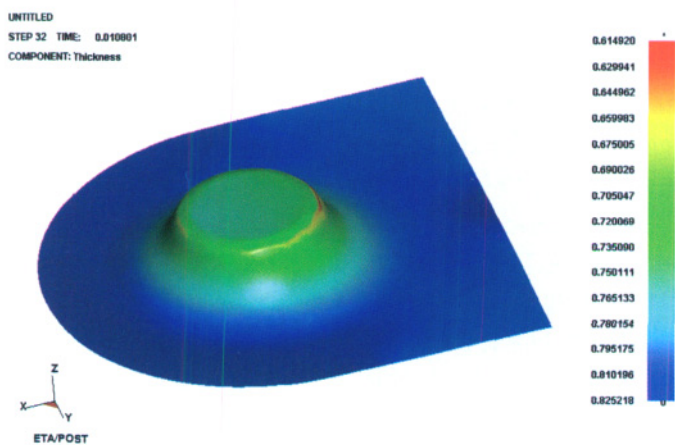


图4 板料优化后成形厚度云图

DANAIN 文件读入。图 5 是我公司内环后段两次拉伸成形数值的模拟结果。

3 管材成形数值模拟

在冲压成形领域内对管材弯曲成形的研究较少，只有对圆管件的弯曲有一定的论述，因而在管材弯曲成形方面没有较为成熟的理论及经验算法。在管材弯曲成形时对料的流动形式及成形回弹趋势都无法做出准确的预见。数值模拟技术的成熟与应用为管材弯曲成形的研究提供了可靠的解决方案。我车间在管材成形数值模拟方面取得了成功的经验，如图 6 所示为某发动机供油管成形模拟结果，坯料为外径 $\phi 20$ 的空心圆管，壁厚为 0.8mm，材料为 0Cr18Ni9 钢。

4 弯曲成形数值模拟

在航空制造业中,板料厚度 2mm 以下薄板料的圆弧弯曲成形较为常见。由于弯曲半径大(相对于

板料厚度),在弯曲时不可避免地会出现弹性变形,致使工件的弯曲角度和圆弧半径很难进行准确控制。DYNAFORM 具有分析回弹的功能,

只要在分析文件输出时打开回弹分析开关(Spring Back)即可进行分析。要说明的是,由于影响弯曲回弹的因素错综复杂,数值模拟结果在定量方面的精确度有待于进一步验证,但图中的显示表明,数值模拟结果在定向方面的可靠性是毋庸置疑的。在用 DYNAFORM 做回弹数值模拟时,可以采用修正材料性能参数和改变边界条件的办法来和真实结果拟合。

DYNAFORM 应用常见问题及处理办法

在 DYNAFORM 的应用时,其经常遇到的问题及处理办法如下所示:

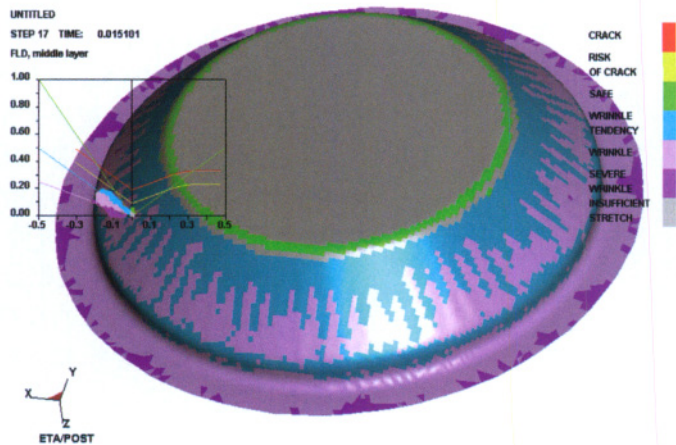
(1) 做回弹分析时,求解不收敛。

以下方法可用于提高收敛性:
a: 采用更多个载荷部。由 Control_implicit_general 关键字的 Nstepsb 参数给定。
b: 调整 Control_implicit_STABILISATION 的参数 SCALE, 如果第一个载荷步不收敛,即选择较大的数值; 如果接近结束时不收敛,选择较小的数值; 如果还不收敛,可增加载荷步。
c: 调整 Control_implicit_nonlinear 关键字的 Istol 参数,多数情况下选择较小的数。

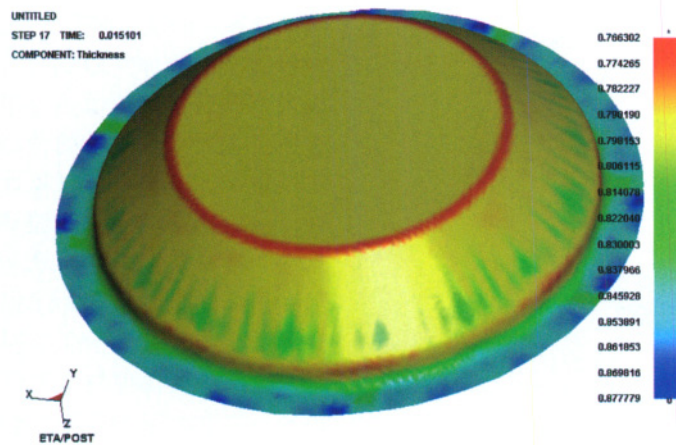
(2) 在 LSDYNA 中有许多接触类型供用户选择,在板成形分析中常使用哪种类型?

在冲压仿真中,常用的接触是专用于板成形的 FORMING 类接触。在这种接触里,不考虑模具的厚度,同时降低了对模具网格的连续性要求。通常用如下两种类型:一种是 CONTACT_FORMING_ONE_WAY_SURFACE_TO_SURFACE, 这种类型是最常用的。一种是 CONTACT_FORMING_SURFACE_TO_SURFACE, 这种要用更多的时间。当使用第一种方式时,如果模具的网格比板料的网格还要密,则往往出现较大的接触穿透,此时可使用这种接触类型。

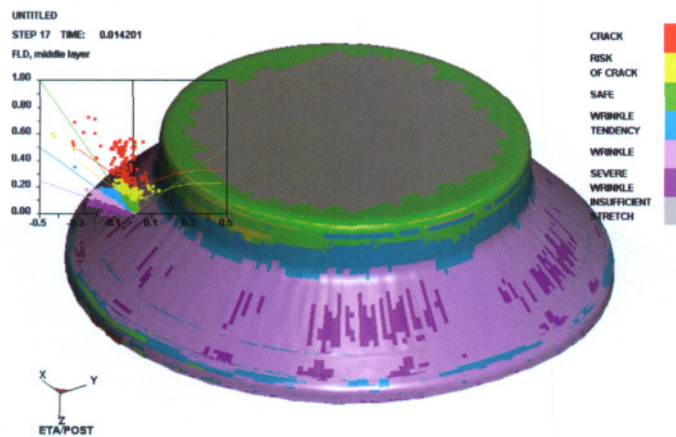
(3) 当做拉伸分析时,出现很明



(a) 第一次拉伸成形极限图



(b) 第一次拉伸成形厚度云图



(c) 第二次拉伸成形极限图

显的接触穿透,如何进行控制?

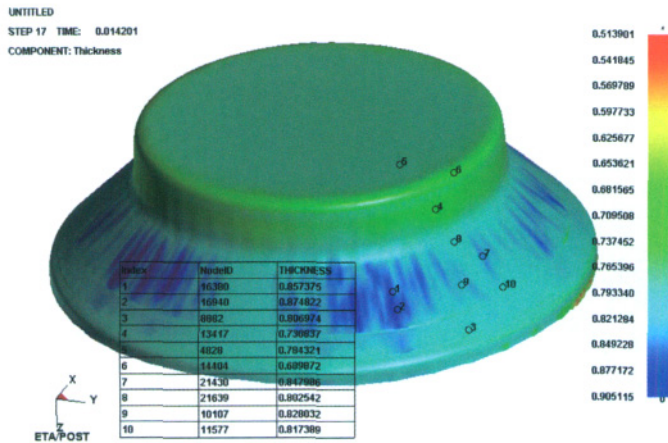
可尝试以下几种方式: a: 增大 CONTROL_CONTACT 关键字中的

SLSFAC 参数,此参数范围通常在 0.1 和 0.01 之间,由于稳定性原因,一般不超过 0.1。b: 选择其他的接触

类型。如果模具的网格比板料网格密,建议使用 CONTACT_FORMING_SURFACE_TO_SURFACE。c: 使用 Constrarint 接触类型,即 CONTACT_FORMING_ONE_WAY_SURFACE_TO_SURFACE,增加Optional CardA,其参数 SOFT=4 即可。

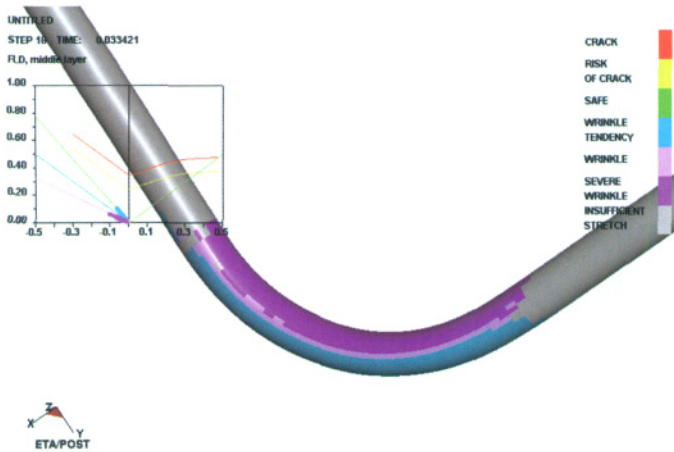
(4) 在 LS_DYNA 中有许多壳单元的算法,哪些适合板成形分析?

如果只是进行拉伸分析,选择 BT 壳单元(Element#2),速度很快,结果可以接受;如果拉伸之后要进行回弹分析,选择全积分壳单元(Element#16),好处是可获得较好的回弹结果及收敛效果,缺点是耗费时间长。

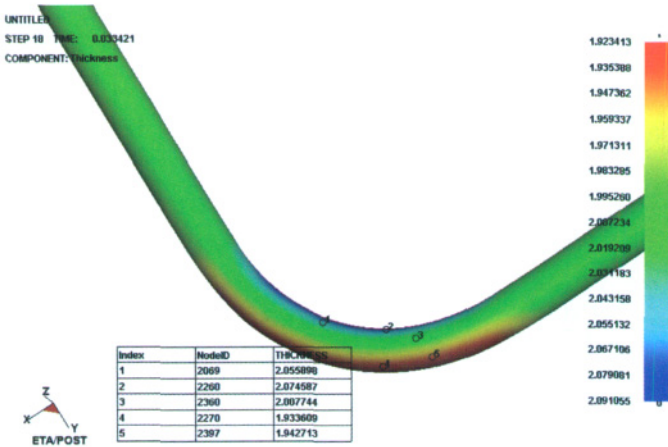


(d)第二次拉伸成形厚度云图

图5 内环后段两次拉伸成形数值模拟结果



(a)成形极限图



(b)成形厚度云图

图6 某发动机供油管成形模拟结果

结束语

通过数值模拟分析技术在冲压技术领域中的应用研究,改变了我公司传统的经验加实做试验为主的冲压加工模式。数值模拟分析技术对冲压工艺及模具设计的预测及指导作用使冲压工艺有了预见性和科学性,也提高了模具设计的准确性和可靠性。技术手段的提高,大幅度缩短了模具设计及制造调试的周期,也提升了企业对市场竞争的适应能力。

应用数值模拟技术可以成功地预测一个给定零件的成形过程,但是用模拟分析来代替传统的成形过程还有许多工作要做。板材成形性数值模拟技术的研究应该考虑到系统工程的概念,因为要涉及到材料、模具设计、成形过程的控制、调整拉伸筋和压边圈产生的约束力、润滑等多方面因素。要提高我国板材成形数值模拟技术的水平,在引进、吸收国外高新技术的前提下,还需要多学科的交流与合作,其中包括模具设计、冲压工艺、数值方法、力学、材料科学、计算机技术等,以便使这一高新技术能解决更多的实际工业生产问题,同时带来更大的经济效益。

(责编 泰山)