

钣金零件毛坯展开计算方法研究进展

Research Development of Sheet Metal Part Spreading Method

西北工业大学现代设计与集成制造技术教育部重点实验室 吴建军 郭军



吴建军

西北工业大学航空宇航制造工程系主任、教授、博士生导师,主要研究方向为塑性成形理论及计算机辅助塑性成形等。主持国家自然科学基金、国家“863”计划项目、航空科学基金、国防基础研究基金,以及留学回国人员基金等科研项目近30余项。在国内外刊物发表论文90余篇, EI/SCI 收录30篇,出版专著2部。

在金属板料成形过程中,初始毛坯对于钣金件的成形质量有着很大的影响,合理的毛坯设计不仅可以节约材料,更重要的是可以改善成形过

通过对钣金零件毛坯展开方法的论述,可以看出以几何映射法为基础发展起来的各种方法在确定钣金零件毛坯的初始解方面,有着不可替代的快速性优势;随着计算机技术和有限元技术的发展,软件使用进一步简单化,有限元增量法和有限元逆算法将会得到更为广泛的应用,同时也将成为数字化钣金精密成型的主要工艺手段;另外,随着人们对高分子复合材料性能的进一步探索研究,以及对物理逆向法实用化工艺问题的研究,物理逆向法在未来可能成为一种行之有效的方法。

程的应力应变分布,增强板料的成形性,从而明显地减少起皱、拉裂等现象的发生,并能降低凸耳高度,减少切边余量。此外,采用合理的毛坯形状,往往能够使某些需要二次拉深才能成形的零件,一次拉深便可达到零件要求的高度。对于形状不规则的复杂钣金件,还无法根据经验或采用解析法来求得其毛坯形状。因此,求解钣金零件毛坯展开的形状和尺寸已成为冲压工艺设计中的一个重要而亟待解决的问题。

飞机钣金零件毛坯展开方法

人们对零件展开计算问题的关注由来已久,许多研究者面向不同应用领域进行研究,提出了多种展开计算方法。不同的展开计算方法适应不同形状零件、不同成形工艺的需要。传统的钣金零件毛坯展开方法如经验公式法、垂直投影法、线性映射法、球面投影法、弧长法、几何映射法、径向长度展开法、均值投影法、截切线展开法、双截切线展开法等一般

是基于试验和简单的理论,而且只适合于一些形状相对规则的零件。近年来随着计算机技术的迅速发展,有限元方法得到了大力发展,有限元思想在钣金零件毛坯展开方面发展出一些方法并逐渐被认识和应用,如有限元增量法、有限元逆算法、结构进化优化方法、比例因子法和物理逆向法等。

1 经验公式法

经验公式法^[1-3]是通过总结出的经验公式来给出初始解,文献[4]提到用经验公式来确定毛坯展开的形状及尺寸,但没有给出具体的公式。由于成形过程力学分析复杂,人们经常采用近似的经验公式法和试模修正相结合的方法得到毛坯展开的近似形状。

2 垂直投影法

此方法是最简单的确定初始解的方法,其原理是把最终构形上离散的节点垂直投影(或沿冲压方向)到投影面上,从而得到初始解^[5]。该方法的优点是原理简单,编程容易。但据文献[6],当所有单元的法向和水平投影面的夹角较大($>60^\circ$)时,垂直投影法是可行的;而在单元的法向和投影面的夹角较小时,将会引起比较大的单元畸变,从而出现收敛性问题,如果单元的法向和投影面平行时,其投影的面积为零,使得计算无法进行。

3 线性映射法

线性映射法^[7-9]假设从最终产品构形到初始毛料构形是线性映射,首先通过2种变换(一种变换是垂直投影变换,另一种变换是先作绕平行于投影面的某个轴旋转,再垂直投影的变换)把最终构形上离散的单元变换到水平投影面上,然后计算2种变换结果之间的初始应变,认为该应变引起内应力,最后通过弹性有限元的方式得到初始解。这种方法在确定初始解时考虑了单元的变形,比完全依靠几何方法得到的初始解更接

近于真实解,但由于要将最终构形经过某种变换映射到水平面上,且采用了垂直投影法,所以无法避免在一些情况下出现零面积单元。

针对线性映射法的局限性,文献[10]对上述线性映射法中的变换作了改进,用弧长展开法来获得变换图形,避免了单元投影面积为零的情况。

4 球面投影法

球面投影法^[5]要选定一个投影球面和一个投影点,然后通过投影点把最终构形上的离散点投影到投影球面上,再将投影到投影球面上的点垂直投影到水平投影面上。这种方法虽然在一定程度上克服了垂直投影法的某些不足,对于轴对称构形和大多数平面对称构形都是适用的,但由于要选择投影点,如果投影点选择不当,就会出现与垂直投影法类似的问题。

5 弧长法

弧长法的原理^[5]在零件上选定一弧长计算的起点(一般取在最高点),过该点和当前要展开的点的连线作垂直于投影面的平面,此平面将最终构形一分为二,计算此平面与所有单元边的交点形成交点集 C ,然后提取满足一定条件的交点集 D ,将集合 D 中的交点按照一定的规则排列连接起来,累计每一线段的长度就得到当前节点的弧长,最后按照从弧长计算起点到当前节点的有向线段与 X 轴的夹角和弧长确定出当前节点在投影面上的位置。弧长法虽然比起垂直投影法和球面投影法使用范围要广,但由于对每个节点都要进行上述复杂的计算,如果一个最终产品构形离散的单元比较多,那么计算量将相当大。同时,当最终产品构形上有比较剧烈的局部胀形时,会导致相邻的2条弧长相差很大,严重时可能使投影后出现单元重叠。

基于弧长法和球面投影法,文献[11]又进一步把按上述方法得到的

解作为初始解的猜测值,将该初始解猜测值与最终构形之间的变形看作弹性变形,通过弹性应变能的释放,消去几何非线性,这样计算得到的结果作为反向法分析的初始解;通过这样的处理得到的初始解更接近于真实解,所以是合理可行的,是值得借鉴的。

6 几何映射法

几何映射法^[12-13]又称为几何模拟法,20世纪80年代首次由加拿大McMaste大学学者R.Sowerby等提出,它是针对钣金零件的成形过程进行近似预测分析的一种方法,该方法不考虑边界条件、金属塑性流动以及应力-应变关系。首先在所给的曲面模型上画出网格,然后将模型表面上的网格单元通过纯几何方式转换到平面上,从而得到毛坯外形^[14]。

1998年,席平等^[15]提出一种直纹面三角剖分展开方法,该方法将复杂曲面划分为若干条状区域,每一条状区域可近似认为是直纹面,按照映射规则,将各三角片依次绕前一个三角片旋转,使所有三角片都落在同一平面上,最后用样条曲线逼近由三角平面所确定的平面形状的外围轮廓点,即可得到直纹面的最终展开形状。康小明^[16]提出了不可展曲面近似展开的四边形等面积法,认为零件由平板状态成形为要求外形时发生的面内变形不大,并且不至于引起显著的厚度变化,由此零件成形前后的质量不变可以归结为面积不变;其展开过程分为4个步骤:曲面离散与网格化、展开中心的确定、网格的展开、零件结构信息的展开。

2008年,吴建军,杨汉平^[17]提出了基于法向量的几何映射法,此方法是在几何映射法的基础上发展起来的一种方法,避免了射线展开法中由于在不封闭的边界处参考点与节点投影点的射线指向零件不可能展开的区域的问题,此方法综合射线及法向量进行展开,得到了满意的结果。

2009年,吴建军,张舜颖^[18]以基于法向量展开的射线法为基础,针对框肋类零件中的扣边板件和带缺口板件展开过程中所遇到的问题,采用续用前截切单元外法线在展开平面投影方向的方法,对扣边件进行展开;同时文献[18]采用虚拟网格的方式为缺失的截切线提供网格,在构成截切线的必要处虚拟零件网格以使截切线完整,而计算完成后只显示真实网格轮廓,虚拟网格由程序自动删除。

几何映射法的突出优点即计算时间较短,能够快速计算出毛料外形,但是由于没有考虑力学和边界条件等因素,无法反映成形过程,展开精度只能依靠正确的假设条件,算法不具有通用性。

7 正交长度展开法

正交长度展开法^[19]是针对狭长形带内凹特征的零件提出的一种方法。此方法首先需要为零件选择一个中心曲线,然后对含有垂直壁或负斜率壁的部分进行成形方向的平衡化处理,最后按照各个节点到中心线的距离将各个节点在水平面上展开。但是严格的正交直线展开是不现实的,因为在零件拐角处将出现网格重叠现象,所以以某一点为中心的几何映射法仍然被使用;区域的曲率中心点是与其相邻两区域的角平分线的交点,两端区域以中心线端点为参考点使用几何映射法展开。

笔者在进一步的研究中发现,对于一些复杂的框肋类板件(图1),使用正交展开法时在不封闭的边界处



图1 具有内凹特征的零件

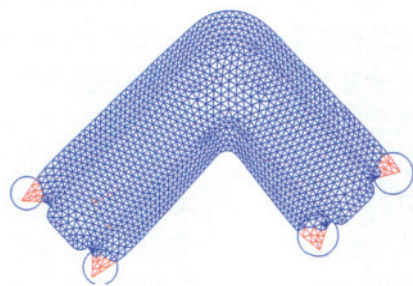


图2 运用正交直线法展开结果

展开结果会出现较大误差(图2),而使用考虑法向量的几何射线法展开会出现网格重叠现象(图3);笔者在研究中综合考虑两种展开方法的优点,展开过程中将其混合应用,将零件划分为2个区域,在区域1中的节点采用正交展开法进行展开,区域2中的节点采用考虑法向量的几何射线法进行展开,得到了满意的展开结果(图4)。

8 径向长度展开法

径向长度展开法^[20]是首先找到零件的重心,然后计算重心到当前展开节点之间的曲线长度,最后把计算的长度映射到水平展开平面上。

该方法与几何映射法的思想是类似的,但相对几何映射法更进一步。此外,文献[21]分别以径向长度展开法和垂直投影法得到的解作为初始解用反向法分析一缓冲器外壳,结果发现径向长度展开法更有利于问题的收敛,究其原因是由于径向长度展开法得到的初始解比起垂直投影法得到的初始解更接近真实解。

9 均值投影法

投影均值法^[11]是在垂直投影法的基础上改进的方法。虽然垂直投影法具有原理简便,编程易于实现等优点,但会产生零面积单元或近似零面积单元,针对这种情况,均值投影法首先把零件网格垂直投影到水平投影面上(与冲压方向垂直的面)得到初步的毛坯网格,然后对节点坐标进行平均处理从而达到消除零面积单元的目的。此方法在一定程度上

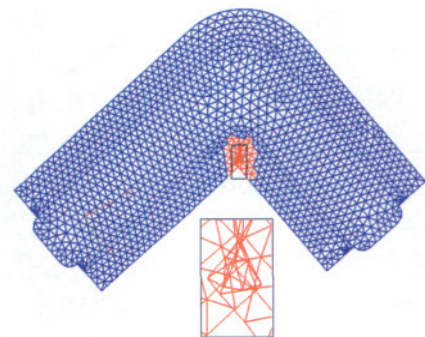


图3 考虑法向量的几何射线法的展开结果

克服了垂直投影法的不足,只要平均次数达到一定数目,总能消除零面积单元或近似零面积单元,但当零件拉深深度较深时,就需要多次的平均,这样无疑增加了计算的时间,同时有可能出现单元的交叉。文献[22]重点研究了反向法分析计算中初始解的确定方法,对徐国艳博士在文献[4]中提出的投影均值法作了进一步的改进和修正,取得了较好的效果。

10 截面线展开法

截面线展开法^[15]是一种改进的基于几何展开的初始解求解方法,与前面所述的弧长投影法、几何映射法以及径向长度展开法在思想上是类似的,但其在计算截面线的长度时使用排序的方法,效果较好。该方法在一定程度上克服了垂直投影法和几何展开法的缺点,但也存在一定的局限性,当构件上有比较剧烈的局部胀形时,会导致相邻的2条截面线长度差别很大,严重时可能出现单元重叠,从而使得计算失败。

11 双截面线法

陆善彬等^[11]提出“截面线法”来为进一步反向模拟法提供平板坯料



图4 运用混合展开法的展开结果

的初始值。2006年,唐炳涛等^[10]提出的“双截面线法”是基于“截面线法”的进一步改进,可以为各个中间构型计算出初始解,约束滑移面根据当前工步的凸凹模信息来确定,并且要求其凸缘要足够大,以保障在迭代过程中包罗中间构型及初始坯料上各个节点;用三角形网格将最终零件和约束滑移面离散,由此获得2组网格信息 Set1 和 Set2。

2008年,吴建军、朱华^[23]在总结前人研究成果的基础上,提出一种新的网格映射方法——“双展开平面映射法”,此方法快速获得了中间构型初始解,降低了映射的难度,提高了映射精度,增加了映射程序的通用性。

12 滑移线法(SLFM)

滑移线法^[24-26](Slip Line Field Method)是20世纪50年代前苏联楚达列夫^[24]首次提出,它的提出第一次为钣金毛坯的求算找到了理论依据。滑移线法的基本假设^[24-26]为:板料法兰厚度不变且处于平面应变状态;材料各向同性;无硬化;不考虑摩擦力对塑性流动的影响。在这样的假设下,导出拉深过程中模具轮廓与板料周界是主应力迹线,因此滑移线与这些轮廓呈 45° ,绘出每点的2个最大剪应力方向并作包络线,得到2组互相正交的表示最大剪应力方向的迹线网,即滑移线。当板料处于屈服时,各点的最大剪应力达到 K 值,塑性变形就沿着这些迹线进行滑移。滑移线场建立的方法,概括起来即数学解析法和分析推理法。但是,滑移线法由于以下两方面的应用前提而未能被生产实践广为:(1)忽略材料的应变刚效应,假定变形体为一理想刚塑性体,这会影响到毛坯预测的精度;(2)变形物体必须处于平面应变状态,在板料成形问题中,如果忽略厚度的变化,才可用于主应力异号的平面应力状态。

13 势场模拟法

势场模拟法^[1,27-30]是20世纪80年代出现的一种计算毛料的方法,比较有代表性的方法是电模拟法、流体模拟法和热传导模拟法。此方法假设冲压件板料为不可压缩的平面各向同性的刚塑性体,在冲压中介于工件边缘和准确坯料边缘之间的凸缘部分处于塑性状态,并在内边缘应力的作用下向凹模型腔内流动,根据许多物理问题数学描述的相似性,通过相似理论,采用其他物理介质构成的模型来模拟板料凸缘的金属流动。

1988年,廖卫献等^[28]提出了求不规则压延件展开毛料的热传导模拟法,通过计算机数值求解得到了不规则形状压延件的毛料外形;并通过典型零件的压延实验和实际生产零件毛料的对比分析证明热传导模拟法是合理可行的。

1997年,吴建军、马泽恩^[31]用不同高度上的截面形状对复杂形状斜壁拉深件的外形进行描述,应用势流原理和边界元法对拉深件进行逐层展开;通过验算,此方法可用于设计复杂形状拉深件的毛料展开。

2004年,吴建军、李顺平^[32]给出基于势流原理和边界元法以及几何映射的2种拉深件毛料展开方法;在第一种方法中,势流原理可以近似描述拉深变形中凸缘区材料的流动,而通过拉深件不同高度的分层展开可以获得毛坯的外形轮廓;在第二种方法中,依据参考点到拉深件上所要展开点的截线长度和方位确定所要展开点在展开毛料上的位置,最终得到毛料展开形状。将按以上2种方法所得展开毛料用于“一步法”的分析优化,根据优化计算结果以及试验对2种方法的展开精度进行分析和讨论,得出采用基于势流原理和边界元法的毛料设计结果明显优于采用几何映射的毛料设计结果。

势场模拟法虽然适合于任何边界形状的钣金零件毛坯展开问题,但是得出的结果是在一系列假设条件

下确定的,过于理想化。实际上,飞机钣金成形所使用的板料多为弹塑性材料,且存在加工硬化,实际成形过程中摩擦因素的影响较大,金属流动情况复杂,因而此方法得到的毛坯形状及尺寸依然存在一定误差。

14 有限元逆算法(一步法)

有限元逆算法的一个主要特点是将板料成形过程简化为一个或若干个简单加载的变形过程,采用全量理论进行分析,因此计算可以只考虑初始构型和最终构型,忽略中间构型的变化。

1997年,法国 Batoz 等^[33]受到几何映射法的启发,首先提出了所谓逆算法,这是一种预测板料成形中大变形的高效算法;该方法考虑了三角形 CST 膜单元、大弹塑性对数应变、厚向异性及塑性全量理论、静态隐式算法、模具运动引起的垂直或法向节点力,压边圈的摩擦和压边力以及冲头的摩擦和正压力用简化的外力矢量表示。而后 Batoz 对其算法进行了不断的改进,并用一些经典的标准测试件进行检测,取得了满意的结果。通过对各种算法的比较, Batoz 认为逆算法都能得到满意的结果,其中静态隐式算法最精确,动态显式算法速度最快,而动力松弛算法所需内存最少^[34]。同年, Lee 等^[35]继承了 Batoz 逆算法的基本思想,但在应变矢量的表示和虚功方程的建立上首先将最终构型形状近似为离散的三角形膜单元系统,最终构型中的应变分布表示为节点的初始构型坐标和位移的函数,然后计算塑性功;计算中假定塑性功遵循 Henchy 变形理论和 Hill 各向异性屈服准则;最后由塑性功和外力功导出塑性势能,以塑性势能为目标函数采用共轭梯度法和 Newton-Raphson 法,求出其在满足给定的约束条件下最小化时的未知量,从而得到板料的形状及尺寸,进而求得板料变形后的应力和应变分布情况。

2004年,吴建军,陈卫彬,李顺平^[36]采用大变形理论和理想变形假设,给出了用于复杂形状拉深件成形分析的一步法数学公式和有限元表达方式;在此基础上,对拉深件毛坯初始形状进行了优化,并就成形中拉深件厚向应变分布进行了分析,得到满意结果。

2008年,吴建军^[37]针对板件初始毛坯形状计算以及正交异性板的快速有限元分析问题,依据拉深件的UG模型导出了零件的三角网格数据,并采用几何映射方法得到了用于快速有限元分析的拉深件初始展开毛坯。在此基础上基于理想变形假设以及 Hill' 48 正交异性屈服准则,给出了用于拉深件成形过程快速分析的一步法数学公式和有限元表达,并在 Unigraphics 系统中进行了有限元分析的后置处理。同时对 TC1 钛板筒型拉深件毛坯初始形状进行了优化,并对成形中拉深件厚向应变分布进行分析,得到满意结果。

一步法中将成形过程简化为简单加载的变形过程,而且假定变形后板料厚度和面积都不变,基于全量理论进行分析,这些与实际情况存在差异,所以计算结果比较粗糙。目前,在一些商用软件上已经包括一步法模块。

15 结构进化优化方法 (ESOM)

Xie 等^[38-40]提出了一种结构进化优化方法 (Evolutionary Structural Optimization Method),用于结构及机械部件的拓扑结构优化。该方法主要是以一个面积较大且形状简单的板料开始计算,再逐步去除构件中多余的材料,直至获得理想零件所需要的板料,即为最佳板料形状及尺寸。与其他优化方法相比,该方法最大的优点在于简单且有效,无需计算梯度,只要一些网格数据(节点坐标、连续性)以及一些单元输出信息,如应变、应力和塑性势能功密度;然而不足之处是迭代速度太慢,由于采用

三角单元,使得最终板料轮廓不够光滑。

16 有限元增量法

有限元增量法^[41-42]的基本思想是利用计算机反复模拟,分析给定模具和工艺方案所冲压零件变形的全过程,能较准确地掌握材料流动的情况而计算出零件板料的外形轮廓线,将轮廓线以外的单元去掉就可以得出板料外形,经过多次反复计算和优化计算就能得出较合理的板料外形,以保证拉深顺利进行。

钣金成形过程中金属的塑性流动受模具形状、润滑条件和毛坯形状等因素的影响,有限元增量法正是全面考虑了各种因素的影响,因此也是最精确的方法。但是有限元增量法需要很长的计算时间,由于接触边界条件处理较为困难,因而计算模型十分复杂,计算的收敛性受到很大的影响。同时,有限元增量法必须先假定一个毛坯形状才能开始计算,然后根据计算结果对毛坯形状进行修正,每一次计算就相当于一次试模。其设计过程为:取较大的矩形板料→数值模拟→与理想拉深件比较→修正原始板料→重新模拟,重复该过程直至得到理想零件形状,这更加延长了设计周期。另外,有限元增量法对使用者要求较高,限制了该方法的推广使用。但随着计算机技术和有限元技术的发展,软件使用进一步简单化,有限元增量法将会得到广泛应用。

17 比例因子法

比例因子法^[43]是对轮廓线进行优化的一种算法,既可对冲压件的板料形状和尺寸进行优化,也可对需要翻边的冲压件的修边线进行优化。其基本思想为:首先给定必要的初始条件,包括拉延成形后的有限元模型、初始轮廓线、目标轮廓线、板料性质和厚度、冲压条件、摩擦因数等,通过调用有限元分析软件进行冲压模拟,获得终了轮廓线;然后将终了轮

廓线与目标轮廓线进行比较,如果形状误差在公差允许范围之内则结束运算,输出该初始轮廓线,反之则对该初始轮廓线进行特定的偏置,再调用有限元软件对偏置后的轮廓线进行冲压模拟获得偏置后的终了轮廓线;最后,计算出零件变形的比例因子。通过比例因子对初始轮廓线进行修正,再将修正后的轮廓线作为下一次迭代的初始轮廓线。这样不断循环直至形状误差均在公差允许范围之内,结束迭代,将最后一次迭代的轮廓线作为最优轮廓线输出。与有限元增量法相比,虽然此方法计算更精确,但此方法的初始轮廓线和目标轮廓线的确定有赖于经验的积累,而且形状误差的计算和初始轮廓线的偏置及调整工作量较大,所以此方法应用也十分有限。

18 物理逆向法

物理逆向法^[44]是一种确定毛坯形状的新方法,利用具有形状可恢复性的高分子聚合物进行模拟试验,同时要求使用的高分子材料与成形件材料具有相似性。使用实际的成形模具,由模拟材料制备出零件,然后对其进行修边,利用材料的形状可恢复特性对修边后的成形件进行高温退火展开,得到一个平面高分子聚合物平板,将这个平板的外缘形状作为钣金成形件的毛坯形状。

用模拟材料进行物理试验时模拟材料和原型材料必须符合相似理论,钣金成形中要求的力学相似条件有以下几点:

(1) 应力应变相似性的判别——当模拟材料与原型材料的 $\sigma/\sigma_s - E_e/\sigma_s$ 曲线重合时,两者的 $\sigma - \varepsilon$ 曲线完全相似(其中, σ 为应力, σ_s 为屈服强度, E 为弹性模量, ε 为应变)。

(2) 屈服准则的相似判据,即模拟材料与原型材料应服从相同的屈服准则。

(3) 泊松比的相似判据,即模拟材料与原型材料的泊松比变化规律

应一致。

选择与成形材料具有力学相似条件的模拟材料,用模拟材料进行物理成形试验。在成形中其他工艺条件应与原形材料具有相似性。通过物理成形试验,得到一个模拟材料的成形件,对其进行修边处理得到与实际零件几何形状相同的成形件。利用形状记忆性,将物理模拟试验中得到的经过修边的成形件进行加热,高温退火,使成形件恢复成板料;用恢复后的板料的形状作为钣金成形件毛坯的展开形状进行试压。如果不能满意,可将其作为第二次物理模拟试验的毛坯确定依据,重复上述过程,直到得到合理满意的毛坯展开形状。

钣金零件毛坯展开方法存在的问题

本文归纳和比较了钣金零件毛坯展开的多种方法,它反映了人们对毛坯计算方法研究的不断深入过程。然而,虽然致力于此领域研究的人很多,提出的方法也很多,但是,就目前发表的论文来看,仍然还存在许多的问题和难点亟待解决。

(1)飞机钣金零件类型多,所用材料种类多,工装品种多,成形方法多,其变形量及结构各不相同,影响成形的因素多,难以用一种通用的方法来设计不同形状的毛坯,因而需要针对不同类型的钣金零件来研究与开发相应的算法和系统。

(2)从目前发表的论文来看,对钣金零件毛坯形状及尺寸的确定大体上可分为2类:基于几何的方式和基于有限元数值模拟的方式。其中,基于几何的方式认为板材只是在遵循简单几何规则的条件下经受预计的形变,没有考虑力学和边界条件等因素,无法反映成形过程,展开精度只能依靠正确的假设条件,所得到的毛坯精度具有较大的误差;基于有限元数值模拟的方式又主要分为

两大类:即基于增量理论的增量法(Incremental Method)和基于形变理论的逆向法(Inverse Approach)或叫一步法(One-step Method)。有限元增量法综合考虑了各种因素的影响,但计算量大,计算时间长;有限元逆向法采用全量理论进行分析,只考虑初始构型和最终构型,忽略了中间构型的变化,其模拟精度不如增量法。

(3)从本文归纳的多种钣金零件毛坯展开方法来看,基于有限元数值模拟的有限元逆算法(Inverse Approach)是一种高效的数值模拟工具,能够预测冲压产品的毛坯展开形状和应变分布,能有效地应用到钣金零件的早期设计阶段以及工艺参数的优化设计中;但有限元逆算法方程采用Newton-Raphson方法进行迭代求解前需要一个与真实解相近的初始解,以保证有限元逆算法求解的稳定性和收敛性,于是如何基于几何方式快速的得到一个近似的初始解就显得尤为重要。

钣金零件毛坯展开方法的发展方向

现代飞机制造正朝着数字化、集成化方向发展,根据飞机钣金零件的特点,所发展的钣金零件展开算法应具备以下4方面的特性。

(1)通用性。飞机钣金零件类型多,应努力寻找一种通用的方法可用于设计不同形状的毛坯。

(2)精确性。设计出的毛坯应该在相应的工艺条件下能加工出满足质量要求的制件,因此零件展开后的毛料外形应该在满足质量要求的基础上尽可能地准确,减少后续修剪工序。

(3)集成性。钣金零件展开系统应能够与上游的产品设计系统和下游的排样与数控下料系统集成,建立数据共享。

(4)快速性。飞机钣金零件种类多、批次多,单件数量少,效率对于

零件展开具有十分重要的作用。

结束语

通过对钣金零件毛坯展开方法的论述,可以看出以几何映射法为基础发展起来的各种方法在确定钣金零件毛坯的初始解方面,有着不可替代的快速性优势;随着计算机技术和有限元技术的发展,软件使用进一步简单化,有限元增量法和有限元逆算法将会得到更为广泛的应用,同时也将成为数字化钣金精密成形的主要工艺手段;另外,随着人们对高分子复合材料性能的进一步探索研究,以及对物理逆向法实用化工艺问题的研究,物理逆向法在未来可能成为一种行之有效的方法。

参考文献

- [1] 梁炳文,胡世光.板料成形塑性理论.北京:机械工业出版社,1987.
- [2] ВИРОМАНОВСКИЙ.冷压手册.北京:机械工业出版社,1957.
- [3] 罗曼诺夫斯基,迟家骏译.冷压手册.北京:中国工业出版社,1965.
- [4] 徐国艳.板料冲压成形一步法有限元分析系统研究与实现.北京:北京航空航天大学,2003.
- [5] Lee C H, Huh H. Blank Design and strain estimates for sheet metal forming processes by a finite element inverse approach with initial guess of linear deformation. Journal of Materials Processing Technology, 1998, 82(1-3):145-155.
- [6] Lee C H, Huh H. Blank design and strain prediction of automobile stamping parts by an inverse finite element approach. Journal of Materials Processing Technology, 1997, 63 :645-650.
- [7] 刘来英.理想成形理论及其在板料成形中的应用.西安:西北工业大学,1998.
- [8] Guo Y Q, Naceur H. Initial solution estimation to speed up inverse approach in stamping modeling. Engineering Computations, 2003, 20 (7):810-833.

本文共有参考文献44篇,因篇幅有限,未能一一列出,如有需要,请向本刊编辑部索取。

(责编 良辰)