



基于 Pro/TOOLKIT 的弯曲件展开及排样设计研究

刘 韬, 傅 旻

(天津科技大学机械工程学院, 天津 300222)

摘 要: 为了优化排样以提高材料利用率,从而减少资源消耗、降低生产成本,以三维设计软件 Pro/E 为平台,调用 Pro/TOOLKIT 函数及 User-defined Feature,运用 Visual Studio.NET 语言编写程序,开发了排样的计算机辅助设计模块,可完成弯曲件的自动展开及其单排排样最大材料利用率的自动计算。

关键词: 材料利用率; 展开; Pro/TOOLKIT; 矩形包络; 排样

中图分类号: TG76; TP391 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6510(2010)02-0057-04

Research on Unbend and Layout Design of Bending Parts Based on Pro/TOOLKIT

LIU Tao, FU Min

(College of Mechanical Engineering, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300222, China)

Abstract: It has an important meaning for reduce resources consumption and production cost to find a way to optimizing layout. So, the program of layout design CAD system based on Pro/E was designed and compiled with Visual Studio.NET by invoking Pro/TOOLKIT functions and User-defined Feature. The system can unbend the bending parts and calculate the maximum material utilization of single-row layout automatically.

Keywords: material utilization; unbend; Pro/TOOLKIT; rectangular enclosure; layout

弯曲成形是冲压的五大成形工序之一,设计中经常遇到带有弯曲成形工艺的级进模设计,而弯曲件的展开及其排样设计是级进模设计成功的基础。排样是指根据毛坯零件形状的特点,按照成形工艺,在条料上按工步安排毛坯的排放位置^[1],在进行排样设计之前,需先对弯曲件进行展开以得到毛坯形状。材料利用率是衡量排样方案合理性的重要的技术经济指标之一,只有以较高的材料利用率为前提,合理的加工工艺才能有意义^[2]。

随着计算机技术的发展,人们开始借助计算机进行设计,主要的三维级进模设计软件有:PTC 公司开发的 PDX(Progressive Die Extension)模块,3Dquick-Press 公司开发的 SolidWorks 外挂模块 3Dquick-Press,UG NX 的连续冲模模块 Progressive Die Wizard 等^[3],这些软件可以对级进模进行整体结构的辅助设计,但排样设计功能不够完善,无法分析计算排

样的最大材料利用率,也未对弯曲件的展开进行平整补偿。

Pro/TOOLKIT 是 Pro/E 的一个应用程序接口(API),为用户提供了大型的 C 语言函数库,通过调用底层函数,能方便的访问 Pro/E 的数据库及对内部应用程序进行二次开发,扩展某些特定功能,满足客户的特定需求。本文基于 Pro/TOOLKIT 二次开发工具包对弯曲件展开及最大材料利用率计算的自动实现进行了研究。

1 弯曲件展开

制件折弯时,折弯部分材料会被拉伸。同样的,弯曲件展开时,折弯部分的材料会被压缩,因此,在对弯曲件进行展开前,要根据不同的材料类型、材料厚度、热处理、加工的状况以及折弯的角度等对平整材

料尺寸进行补偿^[4].

1.1 折弯的平整补偿

Pro/E 提供了两种方式计算折弯处的展平长度尺寸:第一种是使用 K 因子或 Y 因子代入公式计算;第二种是采用折弯表(Bend Table). 折弯表可对有多个不同弯曲半径的弯曲件进行展开,可以在折弯表中自动搜索或通过插值计算得到不同弯曲半径所对应的展开尺寸,且通过程序调用更加方便,因此,本文采用 Pro/E 缺省提供的三种折弯表进行计算^[5].

各折弯表对应于不同类型的材料,当具体的材料类型确定后,执行 ProSmtPartBendtableApply() 函数将相应折弯表所定义的材料属性赋给当前的弯曲件. 这样,系统就完成了展开前的平整补偿,便可以对弯曲件进行展开操作了.

1.2 弯曲区的展开

弯曲件以第一壁(First Wall)作为整个模型的基础,构建完成的模型的几何形状以基础底面(即建立第一壁时草绘的图形)及顶面来表示,两面之间为侧面,如图 1 所示. 基于模型的几何构成特点,设计出弯曲件的展开流程为:首先由用户任意选择一平面作为固定面,然后使用 ProSmtSurfaceTypeGet() 函数对第一壁做底面的搜索,再通过 ProSurfaceDataGet() 函数判断底面的曲面类型,筛选出所有的圆弧面并加入到数组中,记录数组的大小为 n ,进行 n 次循环,每次循环都以固定面和数组的第 i 个元素(即第 i 个折弯面)作为参照创建一个展平特征,循环完成后创建 n 个展平特征,即可获得弯曲件完整的展平形态.

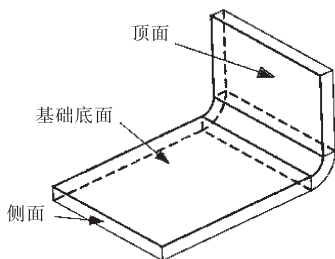


图 1 模型的几何表示

Fig.1 Geometric representation of model

关于展平特征的创建,Pro/TOOLKIT 的 API 函数提供了 4 种特征构建的方法,分别为:特征元素树法(Feature Element Tree)、用户定义特征法(User-defined Feature)、尺寸对象法(Dimension Object Setting)、参数设定法(Parameter setting)^[6]. 特征元素树法是最基本的构建特征的方法,但能构建的特征种类有限,且程序复杂,容易出现差错;而参数设定法、尺寸对象法只限定在尺寸的改变,无法对特征属性进行变更. 所以,主要采用用户定义特征法(UDF)构建

特征.

用户定义特征法是先将其现有的 Pro/E 特征构建成为 UDF,再用 Pro/TOOLKIT 函数对其进行赋值等操作,最后,在需要的位置以组的形式创建出所需的特征. 该方法在使用上比较灵活,可以创建各式各样的特征以完成多种功能,且操作程序清晰明了. UDF 程序调用过程中主要用到的 Pro/TOOLKIT 函数及各自的功能说明如下:

ProUdfdataAlloc()//为 UDF 分配存储空间

ProUdfdataNameSet()//根据 UDF 的名称对 UDF 进行初始化

ProUdfreferenceAlloc()//根据参照类型初始化参照

ProUdfdataReferenceAdd()//根据参照个数进行 UDF 参照添加

ProUdfCreate()//定义完所有参照后,创建 UDF

ProUdfdataFree()//释放 UDF 的存储空间

综合以上的分析,设计出自动展开程序的流程图如图 2 所示.

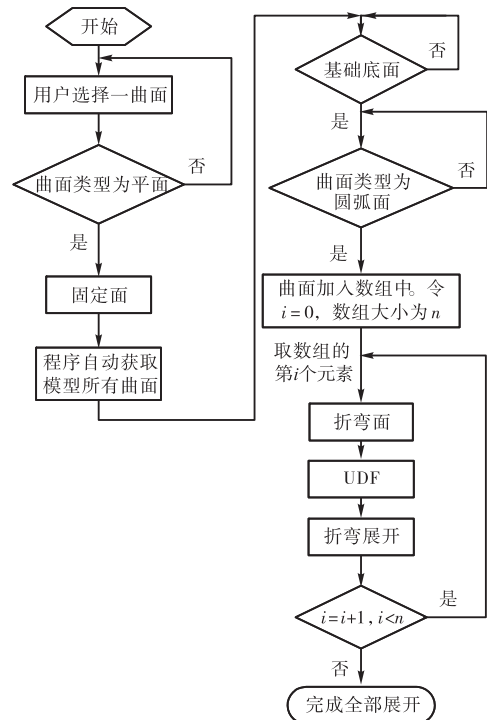


图 2 制件自动展开设计流程图

Fig.2 Flow chart of auto-unbend design of part

以任意选取的一个弯曲件为例,程序运行后,先由用户选择一平面作为展开时保持不动的固定面,其后程序会自动搜索出该制件包含的所有的折弯面,并调用 UDF 进行自动展开,其过程如图 3 所示.

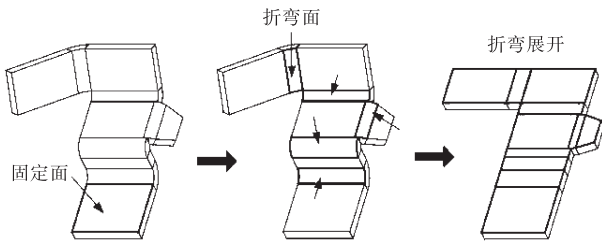


图3 折弯自动展开
Fig.3 Auto-unbend

2 最大材料利用率的计算

尽量提高材料利用率是排样设计要解决的核心问题,在完成弯曲件展开的程序设计,得到毛坯形状后,即可开始排样最大材料利用率的自动化求解设计.首先要对展开后的制件的姿态进行初始化,以去除制件厚度这一维度的尺寸影响,将计算由三维转换成二维.

2.1 制件姿态的初始化

材料利用率计算时不会涉及到制件厚度尺寸,为了去除厚度方向尺寸的影响,同时使另外两个方向上的尺寸是制件基础底面的外形包络尺寸,需要对制件在坐标系中的初始位姿进行调整.

ProMatrix 是一个用来描述两个坐标系统之间关系的转换矩阵,矩阵的定义为

typedef double ProMatrix;

$$\text{ProMatrix} = \begin{bmatrix} X_{v1} & X_{v2} & X_{v3} & 0 \\ Y_{v1} & Y_{v2} & Y_{v3} & 0 \\ Z_{v1} & Z_{v2} & Z_{v3} & 0 \\ X_s & Y_s & Z_s & 1 \end{bmatrix}$$

矩阵前3行、前3列构成的 3×3 阶子矩阵描述的是零件的方向(姿态信息),后3个变量描述的是零件的位置信息.由此可见,通过控制转换矩阵 ProMatrix 的前 3×3 阶子矩阵就可实现制件姿态的调整.首先,由 ProViewRetrieve() 函数获得建立弯曲件第一壁时的视图方向的指针,并将其传递给 ProViewMatrixGet() 函数以得到在该视图方向下的 ProMatrix 矩阵,再由 ProViewMatrixSet() 函数将得到的 ProMatrix 矩阵赋给当前模型,即可调整制件的姿态为厚度方向与默认系统坐标系的 Y 轴同向,从而完成了计算排样材料利用率前的初始化工作.位姿的调整如图4所示.

2.2 最大材料利用率的求解

自动排样有多种算法,如真实形状自动排样、矩形包络自动排样、矩形件通裁通剪自动排样、同种零件阵列式自动排样等^[7],综合考虑各种算法的实现机

理及 Pro/TOOLKIT 提供的 API 函数的功能,选择矩形包络法为基础进行排样材料利用率的计算.

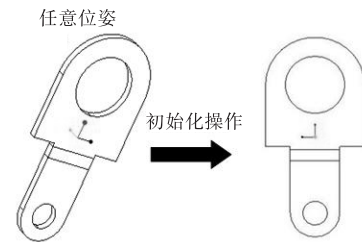


图4 制件姿态的初始化
Fig.4 Pose initialization of part

矩形包络法的基本思想是:给定多边形,任意做一个包络矩形,并计算出该包络矩形的面积 S ; 对称轴旋转 α 角度,以此新的对称轴作包络矩形,重复直到轴旋转 90° 为止,所有矩形包络中面积最小的包络矩形即为最小包络矩形^[8],如图5所示.

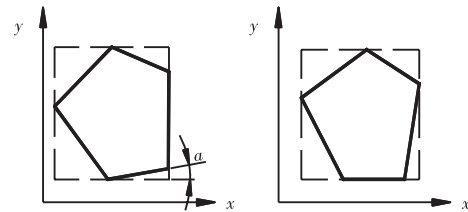


图5 最小包络矩形的求解

Fig.5 Solving of the minimum enclosure rectangular

要求解排样的最大材料利用率,其关键是如何在 Pro/E 平台下合理的运用矩形包络.在 Pro/TOOLKIT 函数库中,函数 ProSolidOutlineCompute() 能根据指定方向得到实体对象包络轮廓的对角线的两个顶点,此“指定方向”即 ProMatrix 矩阵,顶点的数据类型为 Pro3dPnt,是三维坐标点.将初始化工作完成后的 ProMatrix 矩阵传递给 ProSolidOutlineCompute() 函数后,即可根据得到的顶点坐标计算出当前位姿时毛坯包络矩形的长和宽.同样,由用户输入步进角后,ProViewRotate() 函数按给定的角度旋转模型,亦即模拟各角度的毛坯布置,可求得不同角度下毛坯矩形包络的大小.

由于实际排样时并非以计算出的包络矩形进行放样来得到材料利用率,而是在满足两相邻工位之间的最小搭边的尺寸大于等于规定的最小搭边值的条件下进行排样,各工位之间会有交错,因此,并非得到最小包络矩的排样就是材料利用率最高的排样.在对称轴每旋转 α 度后进行包络矩形面积计算的同时,还需加入排样的工艺参数,如:板料尺寸、板料的裁切方式、最小搭边值等,进行板料整体材料利用率的计算,在此条件下得到整体材料利用率最高的排样方式

即为最优排样. 由此, 得出本系统最大材料利用率求解流程如图 6 所示. 系统提供了板料及搭边的标准值数表以供用户参考, 当各参数由用户输入系统后, 即可自动计算出单排排样的最大材料利用率.

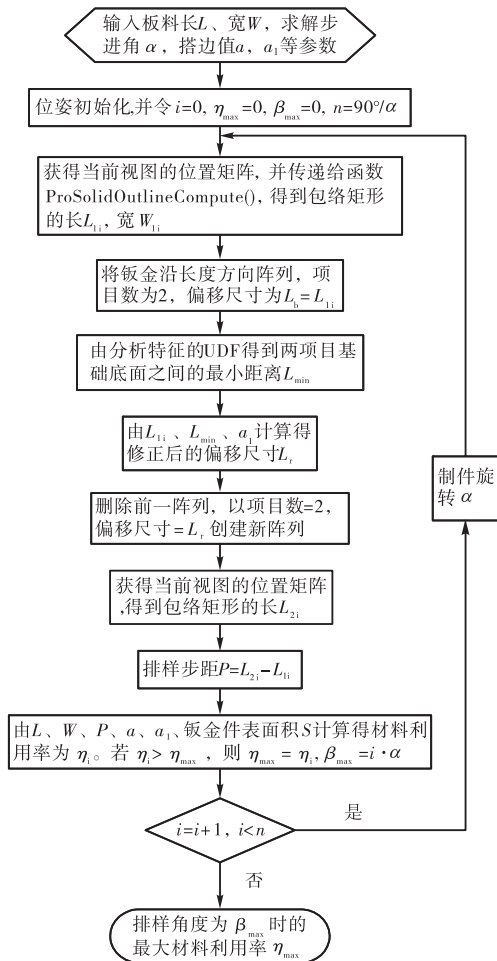


图 6 最大材料利用率的求解流程

Fig.6 Flow chart of solve maximal material utilization

3 实例

以图 7 所示的瓶塞压臂毛坯件为例, 求解精度设为 0.1° , 搭边值 $a = 1 \text{ mm}$, $a_1 = 0.8 \text{ mm}$, 板材规格为

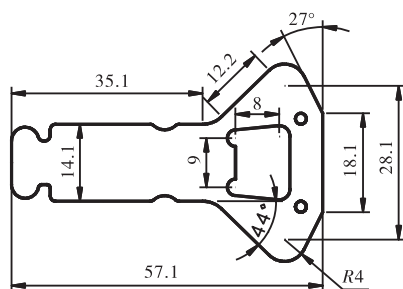


图 7 制件毛坯

Fig.7 Blank of part

1 500 mm×800 mm.

将参数输入系统后, 经计算得到板料裁切方式为横裁, 最佳排样角度 $\beta_{\max} = 0^\circ$, 即排样方式如图 8 所示. 可加工出 525 个制件, 材料利用率为 $\eta_{\max} = 43.16\%$. 与手动排样相比, 可快速的对更多的排样角度进行材料利用率的计算, 大大提高了计算的效率及准确度.

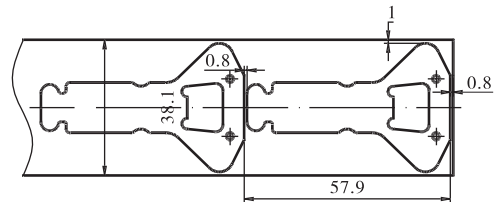


图 8 排样示意图

Fig.8 Schematic diagram of layout

4 结语

本系统以 VS.NET 为开发语言, 借鉴矩形包络法思想, 调用 Pro/TOOLKIT 函数, 完成了程序的设计, 并成功运行. 通过本系统可将任意的弯曲件展开得到毛坯形状, 并以此毛坯为基础自动进行单排排样最大材料利用率的计算, 计算最优排样角度及最大材料利用率. 不足之处是, 只能进行直排排样的计算, 后续可进行对排、混排等其他排样方式的研究.

参考文献:

- [1] 肖祥芷, 王义林. 模具 CAD/CAE/CAM[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.
- [2] 蒋德军. 基于 Pro/E 的模具 CAD 二次开发及应用[J]. 湖南工程学院学报, 2009, 19(1): 40-42.
- [3] Kumar S, Singh R. An intelligent system for modeling and material selection for progressive die components[J]. Key Engineering Materials, 2007, 344: 873-880.
- [4] 林清安. Pro/ENGINEER2001 钣金设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.
- [5] 韩飞. 基于 Pro/ENGINEER 平台的钣金件展开 CAD 系统的开发[D]. 兰州: 兰州理工大学, 2005.
- [6] 张斌. 基于 UDF 和 Pro/Toolkit 的轴类零件快速设计[J]. 轻工机械, 2006, 24(2): 68-70.
- [7] 尹树玲, 杨玉丽. 浅谈智能排样算法[J]. 中国科技信息, 2008(1): 168-169.
- [8] 薛迎春, 须文波, 孙俊. 基于遗传模拟退火混合算法的矩形包络求解[J]. 计算机工程与设计, 2007, 28(22): 5457-5460.