

板料折弯成形虚拟仿真技术研究

熊 雄¹, 姚 斌¹, 欧阳醒¹, 卢 杰¹, 李晓卉²

(1. 厦门大学 物理与机电工程学院, 福建 厦门 361005; 2. 固高科技 (深圳) 有限公司, 广东 深圳 518000)

摘要: 板料折弯成形是指把薄板材料弯成一定角度的加工方法。本文通过分析折弯机结构参数, 基于 OpenGL ES 在 WinCE 的平台上建立了数控折弯成形仿真的可视化界面, 实现了板料折弯成形的 3D 动态仿真。以树状结构为基础, 结合干涉检测等影响板料折弯成形的工艺因素, 探讨了板料折弯成形的工艺改进以及工序搜索方法, 计算判断出可行的板料折弯成形工序, 再由 OpenGL ES 直观显示板料折弯加工工艺信息。板料折弯成形试验表明, 该方法可以实现快速、精确的板料折弯成形。

关键词: 薄板折弯成形; 数控; OpenGL ES; 仿真

DOI: 10.13330/j.issn.1000-3940.2014.03.004

中图分类号: TG386 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3940 (2014) 03-0015-05

Study on virtual animation technology of sheet metal bending

Xiong Xiong¹, Yao Bin¹, Ouyang Kun¹, Lu Jie¹, Li Xiaohui²

(1. School of Physics and Mechanical & Electrical Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China;

2. Googol Technology (Shenzhen) Co., Ltd., Shenzhen 518000, China)

Abstract: Sheet metal bending is a method to bend the sheet metal with a certain angle. Through analysis of the structural parameters of bending machine and based on OpenGL ES, the visual interface of NC bending animation was established on the WinCE platform, and the 3D dynamic animation of sheet metal bending was achieved. Based on tree structure, the forming process development and search method of sheet metal bending were discussed combined with interference detection and some else factors affecting the forming process. And a feasible procedure of sheet metal bending was achieved, then the information of sheet metal bending procedure was showed with OpenGL ES. And the forming method of sheet metal bending can achieve accurate, rapid and precise sheet metal forming with field machining.

Key words: sheet metalbending; NC; openGL ES; animation

金属板料折弯加工是一种针对板材的成形工艺, 随着高效、智能、精密和可视化技术的发展。国外的数控折弯机系统已由传统的纯文本或 2D 显示发

展到 3D 几何模拟效果的折弯数控系统^[1]。用户根据产品的 3D 建模可以看到最终产品的空间三维效果。也可以根据 3D 成形仿真模拟直观板料加工的全部过程, 使用户能够时刻掌握板料从建模到最终实际产品的整个过程。国内的折弯机厂商虽然生产了各种不同型号的折弯机, 但所配置的折弯机数控系统基本上购于国外厂商, 如: 荷兰 Delem、瑞

收稿日期: 2013-08-09; 修订日期: 2013-09-20

作者简介: 熊 雄 (1988-), 男, 硕士研究生

E-mail: yaobin@xmu.edu.cn

Lang Lihui, Wang Yongming, Duan Xinmin, et al. Research on multi-step hydroforming of complicated thin wall circular part with small section [J]. Forging & Stamping Technology, 2011, 36 (2): 34-38.

[7] Gao Tiejun, He Ping, Wang Zhongjin. Viscous medium outer pressure necking forming and numerical simulation for thin-wall parts [J]. Machinery Design and Manufacture, 2010, (6): 132-133.

[8] 李继光, 宫海兰, 王忠金. 薄壁零件粘性介质外压多道次缩径研究 [J]. 锻压技术. 2010, 35 (3): 91-94.

Li Jiguang, Gong Hailan, Wang Zhongjin. Research on multi-steps tube-compression of thin-wall parts with variable diameter by viscous medium pressure forming [J]. Forging & Stamping Technolo-

gy, 2010, 35 (3): 91-94.

[9] 田雨, 张杰, 韦永继. 聚氨酯弹性体摩擦系数影响因素探讨 [J]. 聚氨酯工业, 2002, 17 (1): 37-40.

Tian Yu, Zhang Jie, Wei Yongji. The discussion on factors influencing the friction coefficient of polyurethane elastomers [J]. Polyurethane Industry, 2002, 17 (1): 37-40.

[10] 方昆范, 黄英. 机械工程材料实用手册 [M]. 沈阳: 东北大学出版社, 1995.

Fang Kunfan, Huang Ying. Practical Handbook of Mechanical Engineering Materials [M]. Shenyang: Northeastern University Press, 1995.

士 Cybelec 和美国 AutoBend20 等数控系统^[2]。

本文通过分析板料折弯产品的结构，以树状结构为基础，在保证产品与机床和其他部件不发生干涉碰撞的条件下，结合工艺可选项，自动计算出最优的板料折弯成形工序。并结合板料的 V 型自由折弯，通过 OpenGL ES 渲染，可以直观显示板料折弯成形工序的搜索结果。

1 折弯机 3D 建模

1.1 场景设计

场景图 (scene graph) 是组织和管理三维虚拟场景的一种数据结构，是一个有向无环的图，经常用于计算机图形学相关软件的数据结构设计方法，用于表现二维或三维图形场景的逻辑关系和空间表达^[3]。

根据设备结构和 3D 建模需要，将折弯机简化为 8 个部分，分别为机床框架、工作台、滑块、后挡料、上模夹具、上模、下模、产品。折弯机的场景图如图 1 所示。

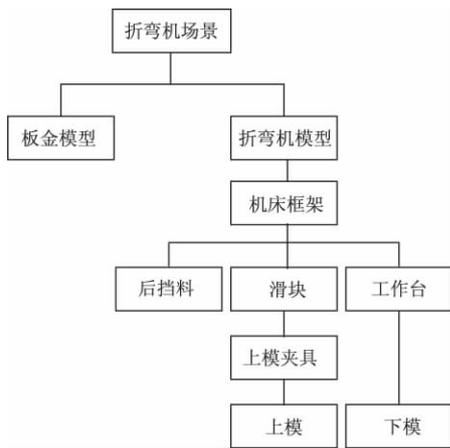


图 1 折弯机场景图

Fig. 1 Scene graph of bending machine

1.2 OpenGL ES 的场景实现

OpenGL ES 是针对嵌入式设备而设计的、功能完善的 2D 和 3D 图形应用程序接口 API^[4]。为了实现数控系统的柔性化，将折弯机各部件的渲染方式，采用参数化建模和人机交互性建模，再由 OpenGL ES 绘制到 HMI 上，直观显示折弯机 3D 效果。

图 2 表明了折弯机 3D 虚拟仿真的数据流向。系统主要采用数据库的形式存储机床加工的相关数据，数据库的资源不断扩展和积累，从而形成一个

学习型控制系统；而另一种以 xml 的存储方式为辅，保存当前机床配置的信息，实现一个记忆型控制系统，使得整个折弯机数控系统能快速恢复到断电等突发事件之前的状态。在折弯机 3D 场景中要实现折弯机工艺成形模拟仿真还要通过 OpenGL ES 分别要对产品、模具及机床其他部件的渲染，使得整个场景更鲜明。

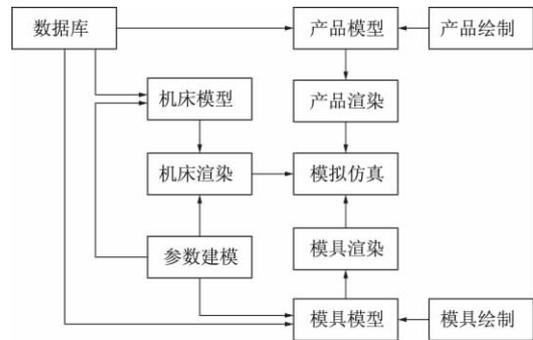


图 2 虚拟仿真数据流向图

Fig. 2 Data flow graph of virtual animation

2 板料折弯成形过程分析

在折弯机上进行的板料折弯成形通常为 V 型自由折弯。折弯工序计算是板料折弯成形工艺规划的关键环节，而折弯工序直接影响板料折弯成形的精度、效率^[5]。在折弯工序计算中必须满足无碰撞干涉条件的要求，即产品与机床框架、滑块、工作台、模具、后挡料不发生干涉碰撞，若是搜寻到所有工序都有干涉的情况下，则需要修改板料形状设计或者更换其他模具，再次进行工序搜索。而且在满足整个板料折弯成形工序不发生干涉的条件下，尽量保证折弯精度和生产效率。

2.1 产品模型

板料折弯产品是板材经过冷加工折弯成形的空间三维实体，通过投影把三维板料折弯产品模型抽象成二维的一系列矩形、扇环形^[6]，经过布尔和运算形成组合体，每两个矩形之间由一个扇环形连接，而且首、尾都是矩形，如图 3 所示。

2.2 干涉碰撞检测

通过分析产品和机床的机构，把三维图形根据投影性质转化为简单的平面二维图形，再根据二维直线的位置关系：相交或相离，计算产品与机床各部件是否发生干涉碰撞^[7]。根据单步折弯工艺是否

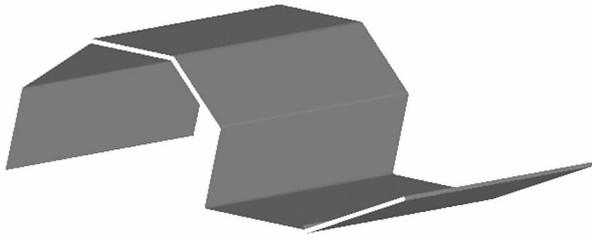


图 3 产品 3D 模型

Fig. 3 3D model of product

完成,干涉碰撞检测分为:折弯前干涉检测和折弯后干涉检测。折弯前的干涉检测计算主要是产品与下模、工作台、机床框架之间干涉碰撞;而折弯后的干涉碰撞检测是计算产品和上模、滑块、机床框架之间的干涉检测。

2.3 板料折弯成形工序顺序

在板料折弯成形工序中采用了树状图搜索法优化工艺。树是树型数据结构的简称,是一种重要的非线性结构。它是数据元素(在树中称为结点)按分支关系组织起来的结构。树(tree)有且仅有一个根结点,其余所有结点分属于互不相交的集合中,每个集合又构成一个树,称为树根结点的子树,每个子树又同样是一棵树^[8]。折弯工序的搜索过程就如同树一般,图 4 为一个三步折弯的板料折弯成形工序搜索的树状图。

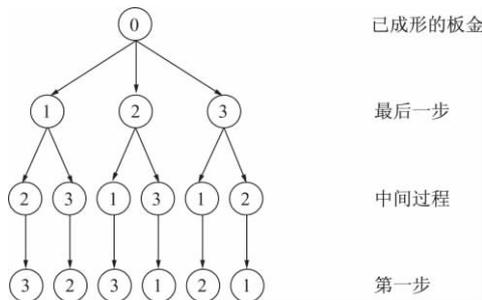


图 4 板料折弯成形工序搜索图

Fig. 3 Search graph of sheet metal bending forming

如图 3 所示,板料折弯成形工序的计算方式从已成形的产品开始搜索,即从板料折弯成形工艺相反的顺序开始进行工序计算,目的是为了快速排除干涉碰撞问题,提高板料折弯成形工序计算的搜索效率。板料在加工过程中的外形变化是由简单趋向于复杂的,通常随着板料折弯成形工艺的逐步进行,中间产品通过干涉碰撞检测的可选方案也在逐渐降低,而且板料在第一步加工时的可选方案总是最多

的,最后一步往往只有较少的、能通过干涉碰撞检测的工序可供选择。

但是这种树结构工序搜索方式的计算量很大,如果再考虑板料折弯成形工艺的每步折弯的掉头信息,即前置折弯和后置折弯(根据单步工件首段末端出现的位置,前置折弯是将图中的末端标记置于机床前方向即产品前段的折弯,后置折弯与之相反),则搜索的计算量是现在的两倍。这是因为模具的轮廓不一定对称,板料的前、后置折弯的选择将影响干涉碰撞计算结果。通过以上搜索工序的方法,结合工艺可选项优化工序,计算得到板料折弯成形工序。

2.3.1 单步折弯工序产品退化方法

为简化产品与模具分段干涉的计算量,本文采用在干涉检测前合并直段的方法,将每一步加工过程中没有变形的折弯部分与前后相邻的直段合并计算,使得参与相交运算的线段数目随搜索深度增加而减少,即运算量逐渐减少。退化后的板料产品定义为中间产品,以三段折弯产品为例,如图 5 所示。

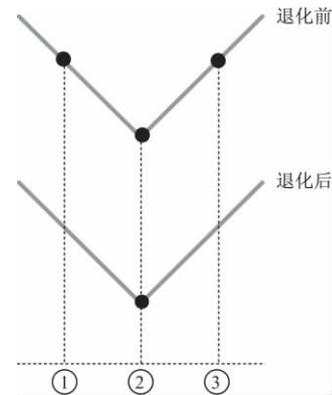


图 5 产品退化模型示意图

Fig. 5 Graph of product degradation model

图 5 表示具有三段折弯的板金产品,一个黑点代表一个折弯工步,图示②是正在折弯的工步,①、③为还未折弯处。合并前弯段②前后分别都有两段直段,退化后弯段②前后各只有一段直段,比较两种中间产品干涉碰撞检测的计算量(在同一机床模型上),前者的计算量是后者的两倍,推广到更多段的产品模型,干涉碰撞检测计算量更大。

2.3.2 基于中间产品的工序搜索

板料折弯成形的工序计算包含两个层次的内容:

每个单步中需要计算并存储的数据信息和工序的搜索及排序方法。为提高算法效率，同时覆盖尽可能多的折弯工序，工序计算方法设计以如下 3 个方面为出发点：

- (1) 在每个单步中不必储存其他（之前或之后）折弯节点的状态；
- (2) 每一次单步干涉判断算法是一致的，工艺可选项的标准一致；
- (3) 遍历当前结点所有可能工步；
- (4) 减少无用的单步计算的次数。

根据第（4）点，板料折弯成形的工序计算需按照实际折弯工序的倒序进行计算，可以尽早排除中间产品模型与机床各部件之间的干涉碰撞问题，

提高板料折弯成形工序计算的搜索效率。结合第（1）~（3）点，可以构造一个递归的函数，图 6 为板料折弯成形工序搜索的流程图。

根据以上讨论的折弯产品树结构的搜索方式，板料折弯成形的工序是从已折弯成形的产品模型开始计算。首先计算一个 N 步折弯产品模型 P 最后一步的、所有可行的折弯方式，比较当前结点所有可行的、折弯方式的工艺可选项，选择最优的工步，然后记录该折弯位置 M_1 ，并构造出新的中间 $P_{(N-1)}$ ，并判断 $P_{(N-1)}$ 最后一步的 $N-1$ 种折弯方式。以此类推，直到形成一个第一步的中间产品 $P_{(1)}$ ，退出迭代，此时将每一步记录的 $M_1 M_2 \dots M_N$ 值序列及其对应的其他折弯信息与计算值存入结果列表中。若是迭代到最后又回到原来 N 步折弯的产品模型 P ，则直接退出循环，即找不到可行板料折弯成形的工序。

根据以上搜索方式，计算出来的板料折弯成形工序保存在结果列表中，通过 OpenGL ES 直观地显示效果，如图 7 所示。

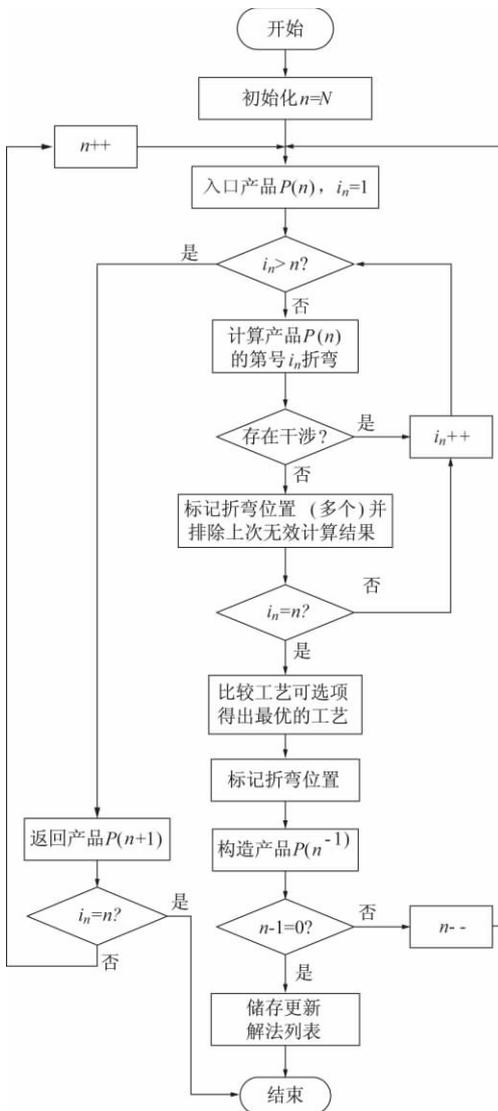


图 6 工序搜索流程

Fig. 6 Search graph of process

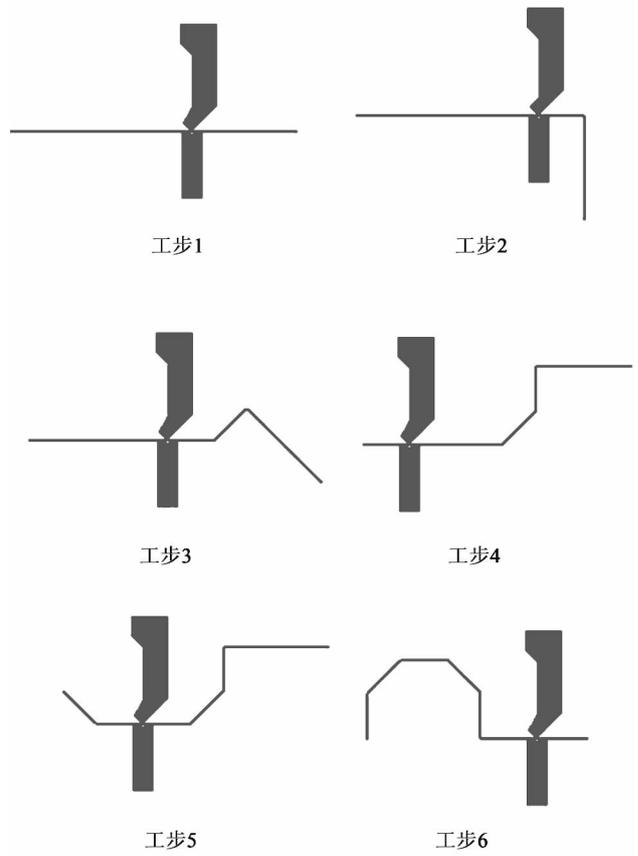


图 7 折弯工序结果显示

Fig. 7 Results of bending process

2.3.3 试验验证

根据本文提出的方法进行试验加工验证, 加工产品如图8所示。经过实际测量, 实际折弯与模拟仿真的板料各折弯角度误差符合检验标准 (90°角在30'以内、135°角在45'以内), 而且各段直线长度误差在10丝以内也符合检验标准, 证明该方法能够对板料进行快速、精确地折弯成形。

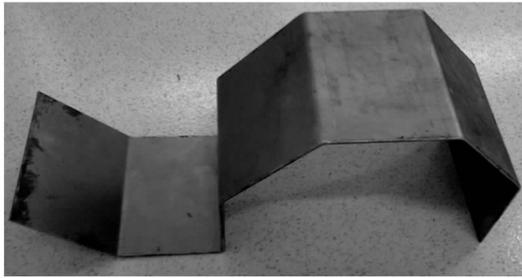


图8 加工产品

Fig.8 Processed product

3 结语

(1) 根据折弯机机床结构, 设计了折弯机场景逻辑图, 再根据场景图设计了折弯机虚拟仿真数据流向, 实现了3D折弯机虚拟仿真。

(2) 通过分析板料折弯产品的结构以及板料折弯成形工艺, 将板产品抽象成多个矩形、扇环形结构的结合体。并以树状结构为基础, 通过迭代的方式, 从已成形的产品模型开始计算, 在能通过干涉碰撞检测的条件下, 结合工艺可选项, 搜索出最优的工艺。

(3) 由OpenGL ES渲染机床结构和产品模型和直观显示了板料折弯成形工艺, 实现了准确、快速、精确板料折弯成形。

参考文献:

- [1] 彭良友, 张李超, 赵祖焯, 等. 虚拟折弯机及板料动态柔性仿真的研究与实现 [J]. 锻压技术, 2011, 36 (1): 82-87.
Peng Liangyou, Zhang Lichao, Zhao Zuyue, et al. Research and implementation of virtual scene for press brake and dynamic flexible sheet metal simulation [J]. Forging & Stamping Technology, 2011, 36 (1): 82-87.
- [2] 朱乃播. 国内外折弯机技术的最新发展 [J]. 锻压机械, 1995, (6): 9-13.

- Zhu Naibo. The latest development of press brake at home and abroad [J]. Metal Forming Machinery, 1995, (6): 9-13.
- [3] 吕庆, 孟剑萍. 基于场景图形管理技术的三维空中态势引擎设计与实现 [J]. 指挥控制与仿真, 2011, (12): 58-64.
Lv Qing, Meng Jianping. Design and realization of 3D engine for air information system based on the management of scene graph [J]. Command Control & Simulation, 2011, (12): 58-64.
- [4] 史扬, 吴金平. OpenGL ES 图形标准在嵌入式系统中的应用 [J]. 工业控制计算机, 2008, 21 (3): 27-29.
Shi Yang, Wu Jinping. Application of OpenGL ES for embedded system [J]. Industrial Control Computer, 2008, 21 (3): 27-29.
- [5] 陈国清, 沈其文. 板材折弯工艺过程优化 [J]. 锻压机械, 1994, (1): 52-54.
Chen Guoqing, Shen Qiwen. Sheet metal bending process optimization [J]. Metal Forming Machinery, 1994, (1): 52-54.
- [6] 章本照, 张金锁. 扇环形截面弯曲管道内的粘性流动 [J]. 空气动力学学报, 2000, 18 (2): 216-221.
Zhang Benzao, Zhang Jinsuo. Viscous flow in curved annular sector duct [J]. Acta Aerodynamica Sinica, 2000, 18 (2): 216-221.
- [7] 储林波, 凌云, 马玉林. 一种快速几何干涉检测方法 [J]. 计算机辅助设计与制造, 1999, (3): 42-44.
Chu Linbo, Ling Yun, Ma Yulin. A fast geometric interference detection method [J]. CAD/CAM, 1999, (3): 42-44.
- [8] 高红军. 普通树非递归遍历算法的实现 [J]. 信息技术, 2011, (3): 122-124.
Gao Hongjun. Realization of non-recursive traversing algorithm about common tree [J]. Information Technology, 2011, (3): 122-124.

《锻压技术》读者信息反馈卡声明

《锻压技术》杂志于2008年设立“读者信息反馈卡”, 旨在加强刊物与读者的交流, 促进刊物质量的提高, 并竭诚为读者服务。反馈卡填写要求: 内容填写完整、没有遗漏, 提供的信息准确、详细, 字迹书写清晰、整洁。如收到的反馈卡内容填写不完整, 字迹不清、无法辨认, 通讯地址模糊、不详细等, 编辑部将不予邮寄杂志, 特此声明。

另外, 自2014年起, “读者信息反馈卡”1~12期刊登, 位置在正文后, 请读者注意查看, 以免遗漏。

《锻压技术》编辑部