

◎工程与应用◎

基于包容矩形的优化排样算法及实现

李爱平,张 丰,刘雪梅

LI Ai-ping,ZHANG Feng,LIU Xue-mei

同济大学 现代制造技术研究所,上海 200092

Institute of Advanced Manufacturing Technology,Tongji University,Shanghai 200092,China

E-mail:Limuzi@mail.tongji.edu.cn

LI Ai-ping,ZHANG Feng,LIU Xue-mei.Range box-based algorithm for optimal blank layout.Computer Engineering and Applications,2007,43(1):198-200.

Abstract: The optimization of blank layout is an important part of computer aided die designing.Based on the polygonal vertices algorithm,a new method based on range box is introduced for optimal layout in the blanking process.The key parameters such as feed pitch and strip width can be calculated only in the range box of the original polygon.The offsetting of the polygon is avoided in this method which is frequently used in other traditional algorithms that may cause interference and error in the pretreatment.Moreover,a practical and efficient optimization system for blank layout is developed on Inventor 9 with Visual C++.

Key words: blanking;optimal layout;algorithm;Inventor

摘 要:毛坯优化排样问题是 CAD 技术结合冲模设计领域的一大课题。论文在多边形顶点算法的基础上,提出了基于包容矩形的优化排样算法。该算法只需在初始毛坯图的包容矩形内进行计算,即可得到排样的步距、料宽等关键参数;在预排样时不用进行传统排样算法所作的等距放大处理,避免了由此引起的图形自交干涉和排样误差增大的问题。并且在 Inventor 9 平台上运用 Visual C++对该算法予以实现,开发出效率高、实用性强、运行可靠的冲裁模智能排样系统。

关键词:冲裁件;优化排样;算法;Inventor

文章编号:1002-8331(2007)01-0198-03 文献标识码:A 中图分类号:TG385;TP391

1 引言

随着冲压制品日益广泛的应用,想要在激烈的市场竞争中获取利润,就必须降低成本。在冲压生产中,由于原材料消耗在成本中占有很大的比重,通常会达到 60%以上,所以提高材料利用率是节省成本的关键。排样是冲压生产的重要环节,排样方案直接决定了材料利用率的高低,传统的手工排样很大程度上取决于工人的经验,排样效率低,误差较大。目前结合计算机 CAD 技术实现智能优化排样是冲压的发展趋势,因此对优化排样来进行研究具有极其重要的意义。

近年来,国内外不少学者对排样已有不少研究,提出了一些算法,如平行线分割一步平移法^[1]、加密点逐步移动判定法^[2]、多边形顶点算法^[3]、最大截距法^[4]、遗传算法^[5]、启发式算法^[6]等,但这些算法都存在一些局限性,如预处理等距放大时会产生图形自交干涉、排样精度下降,运算量过大导致程序执行效率低等问题。在深入分析了多种排样算法后,本文在多边形顶点算法的基础上,提出了基于包容矩形的优化排样算法。该算法避开了等距放大处理,程序运算量较少、排样精度高,实用性强。

2 排样问题分析

在文中只考虑零件在“无限长”条料进行上排样,此时^[7]

$$\eta = \frac{n \times A}{P \times W} \times 100\% \quad (1)$$

其中, n —一个步距内毛坯数目;

A —单个毛坯面积;

P —送料步距;

W —料宽。

对于普通的单、双排排样, P 、 W 都取决于毛坯排放的旋转角度 α 和双排时相邻毛坯 Y 向的相对错移量 y ,式(1)可表示为^[7]

$$\eta(\alpha, y) = \frac{n \times A}{P(\alpha, y) \times W(\alpha, y)} \quad (2)$$

由式(2)可知,为得到较高的材料利用率 η ,只要取 $\eta_{\max} = \max(\eta(\alpha, y))$ 即可,在一定范围内改变 α 和 y 的值,计算得到最大的 η ,即可得到较高的材料利用率。根据选定的排样方式、角度变化参数和 Y 向变化参数,通过优化排样算法对毛坯图进行处理,得到一系列的排样方案,通过比较可得到该排样方式下的最优解。

基金项目:上海市“十五”重大科技攻关项目(04dz11006)。

作者简介:李爱平,女,工学博士,教授,博士生导师,主要研究领域:数字化制造及系统自动化、知识工程等,研究成果曾获省部级科技进步奖 3 项,出版专著 3 部,发表论文 50 余篇。

3 排样优化算法

3.1 预处理

零件轮廓一般可以看成由线段和圆弧组成的一组封闭轮廓,排样只涉及外轮廓,内轮廓不考虑。在排样前主要做以下两步预处理:线性化和求包容矩形。

线性化:由于排样的需要,将零件外轮廓线性化为一封闭多边形,即用一组线段来逼近圆弧。为尽量减少由线性化产生的误差,对凸圆弧用外切线段来逼近,对凹圆弧用内切线段逼近^[8]。

求包容矩形:如图1,求多边形在X和Y方向的极值点,即所有顶点坐标中的极值:

$$X_{\max} = \text{Max}(x_1, x_2, x_3, \dots);$$

$$X_{\min} = \text{Min}(x_1, x_2, x_3, \dots);$$

$$Y_{\max} = \text{Max}(y_1, y_2, y_3, \dots);$$

$$Y_{\min} = \text{Min}(y_1, y_2, y_3, \dots);$$

$$L = X_{\max} - X_{\min};$$

$$H = Y_{\max} - Y_{\min};$$

L和H就是包容矩形(虚线框所示)的宽和高,连接矩形对角线得到几何中心O点。

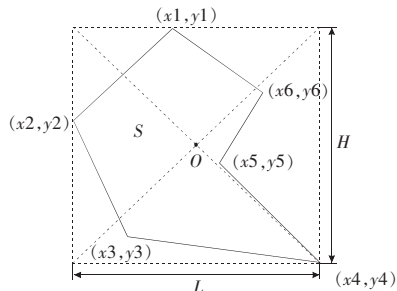


图1 包容矩形示意图

3.2 对头双排的优化算法

比较常见的排样方式有普通单排、对头单排、普通双排和对头双排。普通单排是最简单的一种排样方式,采用多边形顶点算法^[9]即可方便地进行排样,但是多边形顶点算法对其他几种较为复杂的排样方式不能很有效地进行优化。本算法主要针对的就是对头单排、普通双排和对头双排这几种情况。

当相邻零件在Y向相对错移量为0时,双排就可转化为单排,对头双排与普通双排的差别仅在于相邻零件是否有180°的相位差。所以,本文仅选取最典型的对头双排来讨论。

图2所示,多边形S(粗实线表示)的包容矩形为ABCD,将S绕O点旋转180°,得到S''(细实线表示),S''正好在包容矩形ABCD内。将S''沿Y轴平移 ΔY (ΔY 在 $-H \sim +H$ 之间)得S',S和S'在Y方向的重叠区域为Y'范围。易证Y'一定在S包容矩

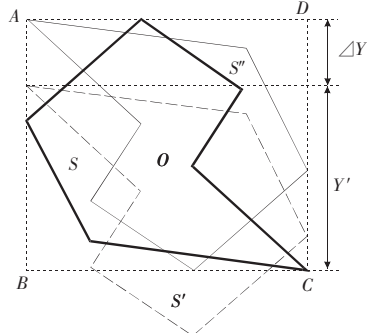


图2 S经旋转平移后得到S'

形ABCD内(ΔY 等于 $-H$ 、 $+H$ 时, Y' 为0)。以下排样算法的关键步骤都是在Y'区域内处理图形(普通排样时同理),即都在S的包容矩形范围内,所以算法称为基于包容矩形的优化排样算法。

3.2.1 步距的确定

优化排样的核心是旋转→平移→步距→材料利用率,通过比较获取较优的排样方案。这里首先就其中的主要问题“步距的确定”进行阐述。

如图3所示,将S复制旋转180°,再沿Y轴方向移动 ΔY ,得到S'。将S'沿X轴平移 $D1 + \Delta h$ (Δh 为工件间搭边值)得到S1;复制S,沿X轴正向平移 $D1 + D2 + 2 \times \Delta h$ 得到S2。此时S与S1、S1与S2的最小距离均为 Δh 。D1和D2是其中的关键,在S的包容矩形范围内即可计算得到,具体步骤详述如下。

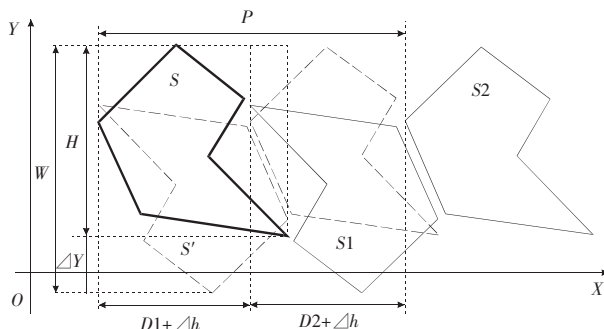


图3 对头双排优化排样

(1)D1的确定如图4,主要分以下几步:

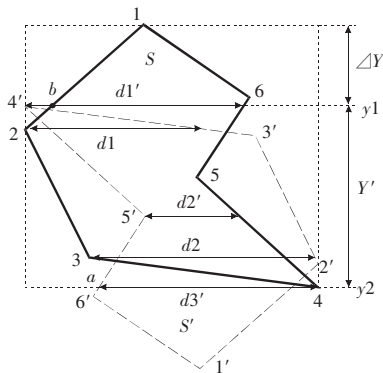


图4 D1、D2求解示意图

①求多边形S'(虚线)的所有顶点中最高和最低点,若出现多个最高(低)点,则取X坐标最小的点。图中S'的最高点4',最低点1',点1'和4'将多边形轮廓S'分为左右两部分折线^[9],左侧折线4'5'6'1',右侧折线1'2'3'4'。求多边形S的最高和最低点,若出现多个最高(低)点,则取X坐标最大的点。如图最高点1,最低点4,1和4将S分为左右两部分折线,得到右侧折线4561;

②求多边形S(实线表示)和S'在Y轴方向重叠的范围($y_2 \sim y_1$),即Y';

③在S的包容矩形范围内,得到S'的左侧折线4'5'6'1'在Y'区间内所有顶点的集合A,A为(4',5')。若集合A中有多点Y坐标相同,则只保留X坐标最大的点,舍去其余Y坐标相同的点;

④检查折线4'5'6'1'在重叠范围Y'边界上的情况,即求直线 $y=y_1$ 和 $y=y_2$ 与折线4'5'6'1'的交点。若交点正好是折线4'

5'6'1'的顶点,如图点4',则不作考虑;若交点是在折线4'5'6'1'的线段上,如图点a,则将a放入集合A中,此时A(4',5',a);

⑤分别过集合A中各点向X轴正方向作水平线,与S的右侧折线4561相交,得到线段d1',d2',d3';

⑥取 $D1=Max(d1',d2',d3')$ 。

(2)D2的求取与D1类似,主要有以下步骤:

①求多边形S的所有顶点中最高和最低点,如果出现多个最高(低)点,则取X坐标最小的点。如图最高点1,最低点4,以1和4将多边形轮廓分为左右两部分折线,得到左侧折线1234。求多边形S的所有顶点中最高和最低点,如果出现多个最高(低)点,则取X坐标最大的点。图中S'的最高点4',最低点1',点1'和4'将多边形轮廓分为左右两部分折线,得到右侧折线1'2'3'4';

②在S的包容矩形范围内,得到S的左侧折线1234在Y'区间内所有顶点集合B(2,3,4);

③检查折线1234在重叠范围Y'边界上的情况,即求直线 $y=y1$ 和 $y=y2$ 与折线1234的交点。若交点正好是折线1234的顶点,如图点4,则不作考虑;若交点是在折线1234的线段上,如图点b,则将b放入集合B中,此时B(2,3,4,b);

④分别过集合B中各点向X轴正方向作水平线,与S'右侧折线1'2'3'4'相交(其中b和4向X轴正方向作的水平线与折线1'2'3'4'无交点),得到线段d1,d2;

⑤取 $D2=Max(d1,d2)$ 。

由以上步骤得到D1、D2,根据公式 $P=D1+D2+2 \times \Delta h$ 即可计算出步距值。

3.2.2 排样算法流程

图5给出了对头双排的程序流程图,参照图3示意图,具体优化步骤如下:

①对毛坯轮廓作线性化处理,用近似的多边形表示原外

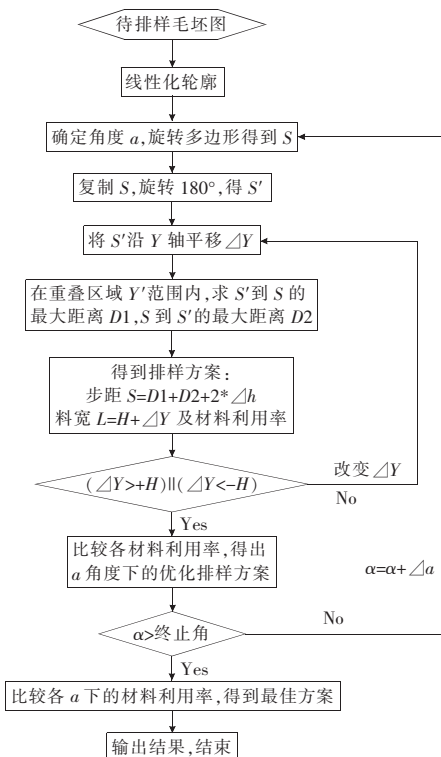


图5 对头双排程序流程图

轮廓;

②将多边形绕其包容矩形的几何中心旋转角度α,得S;

③复制S,并绕其包容矩形的几何中心旋转180°,再沿Y轴方向平移ΔY(ΔY在-H~+H范围),得S';

④将S'沿X轴正方向平移D1+Δh,得S1;

⑤复制S,沿X方向平移D2+Δh,得S2;

⑥此时S和S',S1和S2的最小距离均为工件间搭边值Δh。步距 $P=D1+D2+2 \times \Delta h$,料宽 $W=H+\Delta Y$,记录此时材料利用率 $\eta=(2 \times A)/(P \times W)$;

⑦改变Δh,重新确定S'位置,重复步骤③-⑥;

⑧在转角的情况下,得到η最大的方案,即为该角度下的较优排样;

⑨在0°-180°的范围内改变α的值,返回②,得出不同转角所对应的较优排样方案,通过比较不同转角下的材料利用率即可得到最佳方案。

4 算法实现

4.1 系统介绍

根据上述算法,在Autodesk公司的产品Inventor 9上运用Visual C++ 6.0开发出冲裁模智能排样系统。系统作为动态链接库被调用,当启动Inventor后自动加载。该排样系统通过调用Inventor的API函数,可直接访问图形文件数据,能方便、快捷地对图形进行优化排样。

优化排样主要由用户输入排样方式、排样角度优化范围、角度优化增量、Y向优化增量值或增量次数(双排时)和搭边值(包括上、下搭边及工件间搭边)等参数。系统自动记录下每一个旋转角度下的较优排样方案(即材料利用率最高的方案)以及步距、料宽等参数。用户可根据需要,得到任一旋转角度下的较优排样方案,并且通过比较各角度下的材料利用率得到最佳排样方案。

4.2 运行实例

在普通微机上,该系统仅需3s-5s即可完成优化排样计算。对某T型工件分别进行四种优化排样,用户输入参数为:转角增量1°,排样角度优化范围0°-180°,Y向优化增量次数15次(对于双排),工件间搭边、上下搭边3mm。系统运行的排样结果如图6和表1所示。

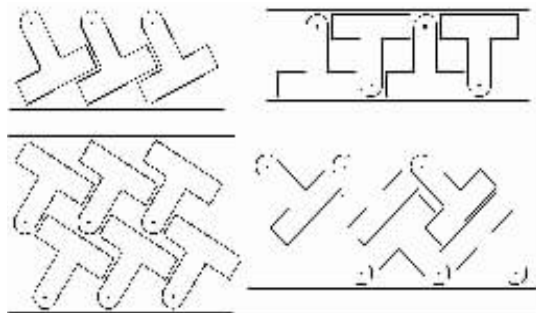


图6 四种排样方式的排样图

表1 四种排样方式的参数

	旋转角/°	材料利用率	步距/mm	料宽/mm
普通单排	27	52.36%	31.39	48.81
对头单排	0	64.54%	55.90	44.48
普通双排	148	56.61%	32.98	85.79
对头双排	45	62.78%	39.83	64.08