

文章编号: 0258-7025(2007)Supplement-0322-04

激光切割排样系统在硅钢板材加工中的应用

郭文兰¹, 张彤²

(¹哈尔滨理工大学 计算机科学与技术学院, 黑龙江 哈尔滨 150080
²哈尔滨工业大学 国家大学科技园, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要 激光切割技术是当前世界上最先进的切割工艺之一,加之排样软件的应用,使板材的利用率得到了很大提高。为了填补扇片零件研究的不足,借鉴传统多边形顶点射线算法的基本原理,提出扇片零件顶点射线算法,解决了任意包角以及任意半径的扇片零件在硅钢板材上的优化排样问题。同时,以该算法为基础,利用 VC++6.0 开发了一套激光切割排样系统,进行了大量实际排样优化计算。实验结果表明,该算法既满足了实际生产中激光切割的工艺要求,又能够有效地提高硅钢板材的利用率。

关键词 激光技术; 激光切割技术; 扇片; 算法

中图分类号 TG485 **文献标识码** A

Application of Laser Cutting Layout System in Silicon Steel Plate Machining

GUO Wen-lan¹, ZHANG Tong²

¹ Computer Science and Technology College, Harbin University of Science and Technology, Harbin, Heilongjiang 150080, China

² Technology Garden of China University, Harbin Institute of Technology, Harbin, Heilongjiang 150001, China

Abstract Laser cutting technology is one of the most advanced cutting technology in the world, adding to the application of layout software, so that the utilization of steel plate has been greatly improved. For filling the lack of sector-annularity parts' research, this paper puts forward the vertexes radial algorithm of sector-annularity parts drawing lessons from the basic principle of the traditional polygonal vertexes radial algorithm, which solves the cutting stock problem of discretionary included angle and discretionary radius' sector-annularity parts. At the same time, basing on this algorithm, this paper develops a laser cutting layout system using Visual C++6.0, and makes a lot of layout optimal calculations. The experimental results show that this algorithm not only satisfies the technologic requirements of laser cutting technology, but also improves the utilization of silicon steel plate effectively.

Key words laser technique; laser cutting technology; sector-annularity parts; algorithm

1 引言

激光切割已是激光加工^[1~3]中最成熟、应用最广泛的一种新技术,有逐步取代等离子切割、火焰切割等加工方式的新趋势。一个中等规模的电机制造企业,每年要消耗数千吨硅钢板材^[4],用以制造电机^[5]零件;采用先进的切割技术和有效的排样软件^[6]提高板材的利用率,降低电机的生产成本,对企业的经济发展具有十分重要的意义。在电机制造企业中,经常遇到扇形环状的零件,统称为扇片。按照人们对排样问题^[7,8](Cutting stock problem, CSP)

的划分,扇片排样应属于不规则零件排样的范畴。目前国外很少有学者研究该问题,而国内至今为止没有一篇可查阅的文献。从计算复杂性理论的角度来看,扇片排样问题已经被证明属于相当困难的 NP——完全问题,但多年来一直很少有学者对其进行深入的研究。为此,本文借鉴多边形顶点射线算法^[9]的基本原理,构造了一种简单实用的扇片零件顶点射线算法,为解决扇片的优化排样问题打开了新思路。

2 算法的原理及实现

2.1 算法的预处理

首先,读取板材、扇片和补偿量数据,根据实际生产中切割工艺的要求,对板材和扇片进行预处理。有:

$$\begin{cases} L = L - \Delta_1, \\ W = W - \Delta_1, \\ r_1 = r_1 + \frac{\Delta_2 \cdot (1 - \sin \theta/2)}{2 \cdot \sin \theta/2}, \\ r_2 = r_2 + \frac{\Delta_2 \cdot (1 + \sin \theta/2)}{2 \cdot \sin \theta/2}, \end{cases} \quad (1)$$

其中 L 为板材的长, W 为板材的宽, r_1 为扇片的内圆半径, r_2 为外圆半径, θ 为扇片的包角; 令 Δ_1 为扇片与板材之间的搭边值, Δ_2 为扇片之间的搭边值。板材的预处理就是将板材等距缩小了板材边缘与圆形件搭边值的一半, 即 $\Delta_1/2$; 而扇片的预处理就是将扇片沿半径方向放大 $\Delta_2/2$, 如图 1 所示, 虚线为预处理后的图形。

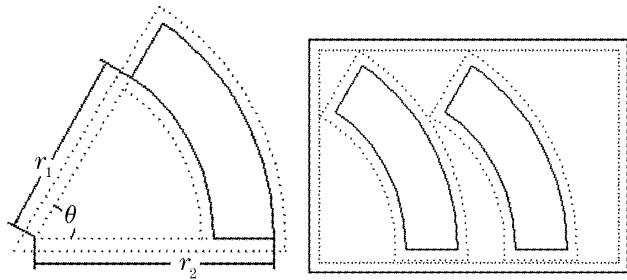


图 1 预处理示意图

Fig. 1 Sketch for pretreatment

扇片的角度 θ 不变, 板材和所有扇片数据更新后, 就可以进行排样计算了。当排样结束后, 再将数据按照上述过程逆变, 恢复到原始值, 画出排样结果图形。

2.2 算法分析

定义 α 为旋转角度, j 为旋转次数变量。在排样过程中, 扇片将绕圆心旋转 360° , 寻找利用率的最大值。考虑到图形的对称性, 只需要讨论扇片 G 在 $[0, 180^\circ]$ 范围内旋转排样的结果即可。当扇片的旋转角度在 $[180^\circ, 360^\circ]$ 范围内时, 所得到的排样利用率将与前面对应相同。将 α 在 $[0, 180^\circ]$ 范围内按照一定的角度精度 $\Delta\alpha$ 离散化, 本文取 $\Delta\alpha = 1^\circ$, 进而得到 $\alpha_0 = 0, \alpha_1 = \Delta\alpha = 1^\circ, \alpha_2 = 2\Delta\alpha = 2^\circ, \dots, \alpha_{180} = 180\Delta\alpha = 180^\circ$ 。于是, 当扇片 G 绕圆心逆时针旋转一定角度 α_j 时, 如图 2 所示, 其对应四点 $p_1(x_1, y_1), p_2(x_2, y_2), p_3(x_3, y_3)$ 和 $p_4(x_4, y_4)$ 坐标分别为:

$$\begin{cases} x_1 = r_1 \cdot \cos(\alpha_j + \theta), \\ y_1 = r_1 \cdot \sin(\alpha_j + \theta), \\ x_2 = r_1 \cdot \cos \alpha_j, \\ y_2 = r_1 \cdot \sin \alpha_j, \\ x_3 = r_2 \cdot \cos \alpha_j, \\ y_3 = r_2 \cdot \sin \alpha_j, \\ x_4 = r_2 \cdot \cos(\alpha_j + \theta), \\ y_4 = r_2 \cdot \sin(\alpha_j + \theta), \end{cases} \quad (2)$$

由于此时这四点的坐标与 α_j, θ, r_1 和 r_2 有关, 所以图形表达式要分为多种情况下分别讨论。假定 θ 为锐角, $\alpha_j + \theta \leq 90^\circ$, 其他情况原理与此类同。图形表达式为

$$\begin{cases} p_1 \sim p_2 \text{ 段:} \\ x^2 + y^2 = r_1^2, \\ x_1 \leq x \leq x_2, y_2 \leq y \leq y_1 \\ p_2 \sim p_3 \text{ 段:} \\ \sin \alpha_j \cdot x + \cos \alpha_j \cdot y = 0, \\ x_2 \leq x \leq x_3, y_2 \leq y \leq y_3 \\ p_3 \sim p_4 \text{ 段:} \\ x^2 + y^2 = r_2^2, \\ x_4 \leq x \leq x_3, y_3 \leq y \leq y_4 \\ p_4 \sim p_1 \text{ 段:} \\ \sin(\alpha_j + \theta) \cdot x + \cos(\alpha_j + \theta) \cdot y = 0, \\ x_1 \leq x \leq x_4, y_1 \leq y \leq y_4 \end{cases} \quad (3)$$

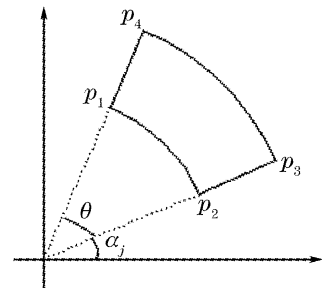


图 2 旋转示意图

Fig. 2 Sketch for circumrotation

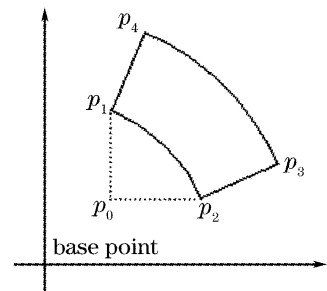


图 3 基点的确定

Fig. 3 Confirming the base point

为了确定扇形 G 的位置, 引入一个参考点, 称之为“基点”, 其横坐标为扇形 G 外轮廓的最小横坐

标值,其纵坐标为图形 G 外轮廓的最小纵坐标值。令基点为 $p_0(x_0, y_0)$, 则 $x_0 = \min\{x_i\}$, $y_0 = \min\{y_i\}$, 如图 3 所示。确定基点之后, 则由下式计算出基图的最大横坐标之差 $l(\alpha_j)$ 和最大纵坐标之差 $w(\alpha_j)$, 如图 4 所示。

$$\begin{cases} l(\alpha_j) = \max\{x_i\} - \min\{x_i\}, \\ w(\alpha_j) = \max\{y_i\} - \min\{y_i\}, \end{cases} \quad (4)$$

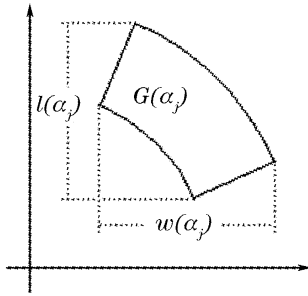


图 4 计算 $l(\alpha_j)$ 和 $w(\alpha_j)$ 示意图

Fig. 4 Sketch for calculating $l(\alpha_j)$ and $w(\alpha_j)$

定义板材的坐下角为排样坐标的原点, 将扇片 G 的基点 p_0 移到 $(\Delta_1/2, \Delta_1/2)$ 处, 此时得到的图形称为当旋转角度为 α_j 时的“基图” $G(\alpha_j)$, 以后简称基图, 如图 5 所示。从基图 $G(\alpha_j)$ 的每个顶点 $p_i (1 \leq i \leq 4)$ 处分别沿 x 轴向对边作水平射线, 当与对边相交时令交点为 p'_i , 计算每个顶点与交点的距离, 如图 6 所示。由于扇片的特殊性, 当连续出现两个交点时, 则计算此时该顶点与最远交点的距离; 当没有交点时, 则令该距离为 0。即:

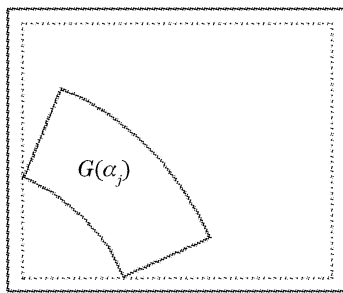


图 5 基图的确定

Fig. 5 Confirming the base picture

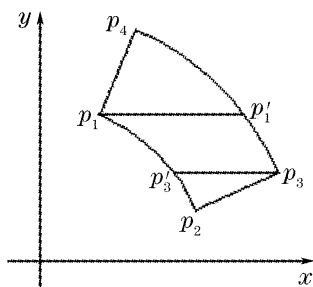


图 6 计算顶点与交点距离示意图

Fig. 6 Sketch for calculating the distance between vertexes and point of intersection

$$d_i(\alpha_j) = \begin{cases} |x'_i - x_i|, & \text{有交点时} \\ 0, & \text{无交点时} \end{cases} \quad (5)$$

于是, 沿 X 轴方向的送料步距 $\text{step}X(\alpha_j)$ 以及此时沿 X 轴方向排放扇片的个数 $n_x(\alpha_j)$ 分别为:

$$\text{step}X(\alpha_j) = \max\{d_i(\alpha_j)\}, \quad (6)$$

$$n_x(\alpha_j) = \text{int} \left[\frac{L - l(\alpha_j) + \text{step}X(\alpha_j)}{\text{step}X(\alpha_j)} \right], \quad (7)$$

同理, 从基图 $G(\alpha_j)$ 的每个顶点 p_i 分别沿平行 Y 轴方向向对边作射线, 并计算每个顶点与交点的距离, 即可求出 Y 轴方向的送料步距 $\text{step}Y(\alpha_j)$ 以及此时沿 Y 轴方向排放扇片的个数 $n_y(\alpha_j)$ 。

$$n_y(\alpha_j) = \text{int} \left[\frac{W - w(\alpha_j) + \text{step}Y(\alpha_j)}{\text{step}Y(\alpha_j)} \right], \quad (8)$$

整张板材上可排放的扇片 $G(\alpha_j)$ 的总数为:

$$n(\alpha_j) = n_x(\alpha_j) \cdot n_y(\alpha_j)$$

进而, 当旋转角度为 α_j 时板材的利用率为:

$$\eta(\alpha_j) = \frac{n(\alpha_j) \cdot s}{L \cdot W} \times 100\%. \quad (9)$$

这时, 扇片 $G(\alpha_j)$ 的优化排样问题就转化为: 在 $[0, 180^\circ]$ 范围内, 寻求最佳的旋转角度 α_j 使目标函数 $\eta(\alpha_j)$ 达到最大值。这个过程在程序运行期间是不断重复进行的, 最后, 将上述方法得到的 $\eta(\alpha_j)$ 进行比较, 求出板材最大利用率 $\eta = \max\{\eta(\alpha_j)\}$, 由此得到扇片 $G(\alpha_j)$ 的最优排样方案。

3 应用实例

扇片优化排样问题在计算机上编程实现时, 主要是数值计算方面的问题, 而图形处理方面的要求比较简单。本文利用 VisualC++6.0 作为开发工具, 完成了扇片零件顶点射线算法的编程与调试, 开发时间大约为 4 个月。根据本文开发的激光切割排样系统, 笔者利用扇片零件顶点射线算法对若干实际问题进行了排样计算。由于篇幅所限, 我们仅给出其中的一例排样结果示意图。板材长 1100 mm, 宽 600 mm, 搭边值 Δ_1 和 Δ_2 均取 8 mm, 扇片的

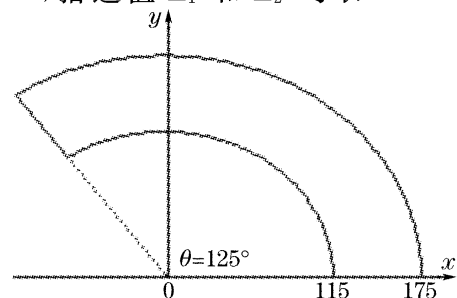


图 7 扇片示意图

Fig. 7 Sketch for sector-annularity parts

$r_1=115\text{ mm}$, $r_2=175\text{ mm}$, 包角 $\theta=125^\circ$, 如图 7 所示。排样结果示意图如图 8 所示。该扇片的最佳冲裁角度 $\alpha=105^\circ$, 最佳横向送料步距 $\text{step}X=113.46\text{ mm}$, 最佳纵向送料步距 $\text{step}Y=276.12\text{ mm}$, 板材可排放的扇片个数为 18 个, 利用率 $\eta=52.85\%$ 。

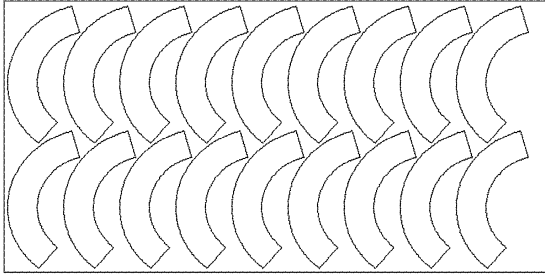


图 8 排样结果示意图

Fig. 8 Sketch for layout result

4 结 论

在借鉴多边形顶点射线算法优点的基础上, 本文的扇片顶点射线算法既能保证求得最优解, 又能提高计算效率, 具有一定的实用性和通用性。

本文的激光切割排样系统是在 VC++6.0 环境下开发的, 它具有操作简单、维护简便的优点, 但目前该系统功能单一, 还有待进一步改进。

致谢 感谢哈尔滨理工大学朱建良老师的大力支持。

参 考 文 献

1 Zhao Dianjia. Application and development of laser cutting machine [J]. *Coal Mine Machinery*, 2006, **27**(8): 5~6

赵殿甲. 激光切割技术的应用与发展 [J]. *煤矿机械*, 2006, **27**(8): 5~6

2 Zhang Wei, Song Xueliang. Laser cutting technology in process of sheet metal [J]. *Electronics Process Technology*, 2001, **22**(6): 267~269

张伟, 宋学亮. 激光切割技术在钣金加工中的应用 [J]. *电子工艺技术*, 2001, **22**(6): 267~269

3 Jing Qingshu. Application of laser on plate cutting for auto industry [J]. *New Technology & New Process*, 2003, **25**(10): 26~27

金清肃. 激光在汽车工业板材切割中的应用 [J]. *新技术新工艺*, 2003, **25**(10): 26~27

4 Song Xiaoxia, Cui Yaodong. Methods enhancing utilization ratio of silicon-steel piece in Zigzag blanking [J]. *Micro-motors Servo Technique*, 2003, **36**(6): 43~51

宋晓霞, 崔耀东. 提高硅钢片套裁下料利用率的几种方法 [J]. *微电机*, 2003, **36**(6): 43~51

5 Ji Jun, Cui Yaodong, Liu Lina. Selecting the sizes of silicon steel sheet for the manufacturing of electrical machines [J]. *Small & Special Machines*, 2005, **33**(3): 40~42

季君, 崔耀东, 刘丽娜. 电机用硅钢板材尺寸合理选用 [J]. *微特电机*, 2005, **33**(3): 40~42

6 Qiao Lanzhu, Zang Jianmin, Zhang Ruochuan *et al.*. Develop of an emulator for a program file of digital controlling laser cut [J]. *J. Hebei Academy of Sciences*, 2002, **19**(4): 233~236

乔兰柱, 臧建民, 张若川 等. 激光切割数控程序仿真软件设计 [J]. *河北省科学院学报*, 2002, **19**(4): 233~236

7 Wu Yuliang, Chan Chikong. On improved least flexibility first heuristics superior for packing and Stock cutting problems [J]. *Computer Science*, 2005, **37**(7): 70~81

8 Mhand Hifi. Dynamic programming and hill-climbing techniques for constrained two-dimensional cutting Stock problems [J]. *J. Combinatorial Optimization*, 2004, **8**(1): 65~84

9 Lei Hegong, Sun Houfang, Liu Hanxiong. A go-between polygonal vertices algorithm for the optimal layout system in blanking [J]. *Transactions of Beijing Institute of Technology*, 2004, **24**(9): 770~773

雷贺功, 孙厚芳, 刘汉雄. 冲裁件优化排样的多边形顶点射线算法 [J]. *北京理工大学学报*, 2004, **24**(9): 770~773