

一种矩形件分层排样算法

张伟 安鲁陵 邵晓明 郑盈盈

(南京航空航天大学机电学院,南京 210016)

文 摘 针对在具有宽度一定、长度不限的板材上进行矩形件排样的问题,结合模拟退火算法,设计了一种矩形件分层优化排样算法。该算法以板材宽来分层,层数依据待排零件而定,灵活性强,并且通过算例验证了该算法的有效性和合理性。

关键词 矩形件分层排样,一刀切,模拟退火算法,复合材料

Rectangular Layer Packing Algorithm

Zhang Wei An Luling Shao Xiaoming Zheng Yingying

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016)

Abstract A rectangular layer packing algorithm based on two - dimensional strip packing was designed. The algorithm is hybridized with simulated annealing algorithm to solve rectangular layer packing problem. The strip is divided into layers whose numbers depend on the components to be packed. Example shows that the presented rectangular packing algorithm is effective and reasonable.

Key words Rectangular layer packing, Guillotine, Simulated annealing algorithm, Composite

1 前言

复合材料性能独特在航空航天领域应用广泛。但是其价格昂贵,因此如何进行排样、下料,以减少废料、降低成本是航空业迫切需要解决的问题。复合材料的排样和切割问题,简称排样问题。排样是组合优化的一类典型问题,其实质就是对定量资源进行合理分配,使剩余量最小。

本文讨论在定宽无限长的复合材料板材上,裁剪出若干大小不同的小矩形,在加工工艺上,要求切割的每一刀均从板材的一端沿一直线切到另一端,而不能挖裁,这就是所谓的分层“一刀切”排样问题。Gilmore与Gomory^[1~3]用线性规划建立了一刀切数学模型,把线性规划的求解转化为一个背包问题,然后构造求解背包问题的有效方法,用的数学工具主要是线性规划、动态规划与背包函数。黄继进结合动态规划和人工智能启发式搜索的思想,提出待预选搜索步深的二维一刀切矩形优化排样算法^[4]。近年来分层

排样方式在解决SP问题中得到广泛应用^[5~8]。本文算法用一种新的分层剪切思路,解决矩形件排样中二维条料排放问题^[9],排样灵活性强,以达到提高材料利用率,降低成本的要求。

2 板材分层排样方式

分层排样方式是一种剪切排样方式,可以用普通剪床将板材剪切成毛坯。文献[10]中用水平线将板材分成多层,层宽等于板宽、层高等于该层最左边主毛坯的高度。而本文的分层方式层数和层的高度是随待排零件(本文中矩形件称为零件)的不同而不同。如图1所示,箭头所示的三条水平线把板材分为四层(阴影区域为板材上未被利用的区域),主毛坯分别为排在板材最底层的四个矩形毛坯。层的高度即排样高度随着待排零件的不断排入动态增大,是评价排样好坏的重要参数。

由图1可知,本文分层排样必须满足的约束有以下几点:

收稿日期:2009-05-26;修回日期:2009-07-27

作者简介:张伟,1983年出生,硕士研究生,主要从事CAD/CAM、数字化设计制造技术等方面的研究。E-mail: qiche2005@yahoo.com.cn

- (1)排样方案必须满足“一刀切”工艺要求;
- (2)排在板材最底端的零件必须在所有待排零件中长度最长;
- (3)零件相互紧靠,互不重叠,不能排到板材之外;
- (4)对已经排放好的零件,在排放下一个零件时,其位置不变。

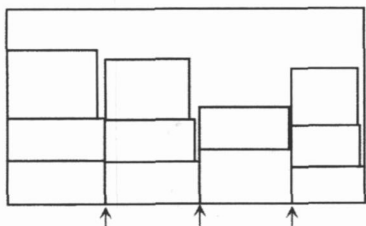


图 1 分层排样方式

Fig 1 Method of rectangular layer packing

3 基于最低轮廓线的分层排样算法

根据分层排放工艺的具体的要求及文献 [11] 中最低轮廓线的定义,提出了基于最低轮廓线的分层排样算法,尽可能大的增大板材利用效率。设待排的矩形零件分别为 $R_1, R_2, R_3, \dots, R_c, \dots, R_c$ 表示当前待排零件。以零件的长度值(矩形零件较长一边值)来进行排样。该算法实现的具体步骤如下。

(1)对待排的所有矩形零件按长度优先、面积次先的规则,从大到小排序。

(2)排放 R_1 在第一块板材的左下角,形成的可排轮廓由两条轮廓线段组成。记第 k 条水平轮廓线为 $L_k(x_1, x_2, y)$, x_1, x_2 分别表示线段起点、终点的横坐标, y 表示线段的纵坐标,则排放 R_1 后的两条线段为 $L_1(0, l, w_1), L_1(l, W, 0)$, W 表示板材的宽度, l 和 w_1 分别表示第 v 个待排零件的长度和宽度值。

(3)排放 R_c 时搜索高度最低的水平轮廓线段进行排放。根据下列三种情况分别处理。

第一种,若只有一条最低水平轮廓线可排,则在剩余待排零件中搜索长度最合适的 R_j ,将 R_j 调到 R_c 之前进行排放。排放 R_c 后更新水平轮廓线段。更新后的轮廓线段的首末点横坐标值必须在该层宽度所对应线段首末点横坐标值之间。第二种,若有若干条最低轮廓线段可排,则搜索长度最合适 R_j 的进行排放。排放 R_c 后更新水平轮廓线段。更新后的轮廓线段的首末点横坐标值必须在该层宽度所对应线段首末点横坐标值之间。

第三种,若所有最低水平轮廓线段都不能放下 R_c ,则进行搜索。如果最低水平轮廓线长度小于所有

剩余零件各自长度,那么将搜索合适的待排零件 R_m 旋转 90° 将 R_m 调到 R_c 之前进行排放,如 R_m 旋转 90° 后仍然不能在此最低轮廓线排放则将该轮廓线封闭,封闭后的轮廓线段的首末点横坐标值必须在该层宽度所对应线段首末点横坐标值之间。如果最低水平轮廓线长度大于 R_c 后的零件 R_k 的长度,则将 R_k 调到 R_c 之前进行排放,更新水平轮廓线段。

(4)重复步骤(3),直到所有待排零件排放完毕。

算法的具体程序流程图如图 2 所示,其中 l_{\min} 存储剩余待排零件中的长度最小值,会随排样过程动态变化;为了减少搜索空间,需要动态地记录轮廓线段的条数,同时同一层中相邻等高的两条线段统一为一条。

4 基于模拟退火算法的分层排样优化算法

上述最低轮廓线分层排样算法,虽然可以得到较优的排样结果,但还是得不到全局较优,主要是因此算法只能根据初始导入的排样顺序依次对每个零件在板材上排样,不能判断每个零件排放时在当前位置是否是合适。

利用模拟退火算法优化分层排样的目的是寻求一种较优的排样顺序,即考虑板材利用率尽可能大的原则,动态调整待排零件排放顺序,注意排满板材最底端的几个零件的初始顺序是不可以改变。基于模拟退火算法的优化排样算法流程图如图 3 所示。

按待排零件的长度优先、面积次先的原则所排的顺序为初始顺序,并且按此顺序把可以先排满板材最底端的零件排到板材上。然后将剩下的零件采用十进制编码方式将每一个零件进行编号,用零件的长度信息进行排样。零件编号的一个排列构成整数串

$$X = \{ p_m, p_{m+1}, \dots, p_n \}$$

m, p_i, n 表示一种排样图(即一个解)。模拟退火算法对一个解的好坏用函数评价,函数值越大,解的质量就越好,本文采用适应度函数

$$f(X) = A_{rea} / A_{reaII}$$

$$A_{reaII} = W \times H$$

其 A_{rea} 表示排入板材的所有矩形零件的面积, A_{reaII} 表示对应的排样高度所利用的板材总面积, H 表示排样高度, W 表示板材宽度。 X 代表某一种排样顺序。依据文献 [12] 的基本理论,实现求解过程如下。

(1)初始化排样顺序 (X_0 , 其值即为初始导入的排样顺序);初始化退火温度 T_k (令 $k=0$),本文中 T_k 表示排样高度, T_0 为所有矩形件仅排一层排放时最大高度值。

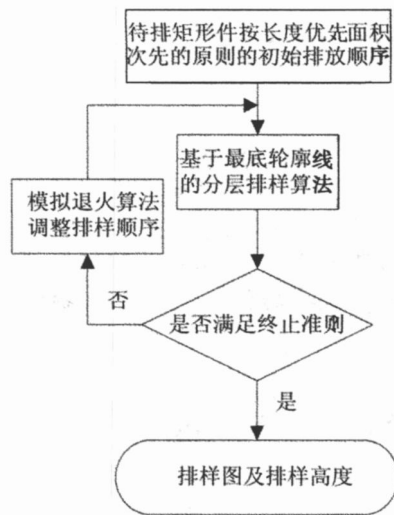


图 3 基于模拟算法的分层排样算法流程图

Fig 3 Process flow chart of layer packing algorithm based on simulated annealing algorithm

5 算例分析

本文算法已在 VC++ 上编程实现。现在让系统随机产生 100 个零件,在宽为 1 000 mm、长度不限的某种复合材料卷材上用本文算法进行分层排样。排样结果如图 4 所示。

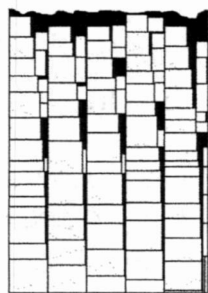


图 4 排样结果

Fig 4 Packing result

根据排样结果显示,该算法思想满足先前提出的“一刀切”工艺要求,且排样板材利用率在 91% 以上。

6 结论

结合实际应用的要求进行分析,设计了一种矩形件分层排样算法;并结合模拟退火算法优化了排样顺序,使复合材料板材在满足“一刀切”工艺要求后排样更紧凑,显著提高了材料的利用效率。

参考文献

- 1 Gilmore P C, Gomory R E. A linear programming approach to the cutting-stock problem (Part 1). *Operations Research*, 1961; 9: 849 ~ 859
- 2 Gilmore P C, Gomory R E. A linear programming approach to the cutting-stock problem (Part 2). *Operations Research*, 1963; 11: 863 ~ 888
- 3 Gilmore P C, Gomory R E. Multistage cutting-stock problems of two and more dimensions. *Operations Research*, 1965; 13: 94 ~ 120
- 4 黄继进. 带预选搜索步深的二维一刀切矩形优化排料. *计算机辅助设计与图形学学报*, 1994; 6(4): 313 ~ 316
- 5 Zhang D, Kang Y, Deng A. A new heuristic recursive algorithm for the strip rectangular packing problem. *Computers & Operations Research*, 2006; 33: 2 209 ~ 2 217
- 6 Cui Y, Yang Y, Cheng X et al. A recursive branch and bound algorithm for the rectangular guillotine strip packing problem. *Computer & Operations Research*, 2006
- 7 Bortfeldt A. A genetic algorithm for the two-dimensional strip packing problem with rectangular pieces. *European Journal of Operational Research*, 2006; 172: 814 ~ 837
- 8 Zhang D, Liu Y, Chen S et al. A meta-heuristic algorithm for the strip rectangular packing problem // *Lecture Notes in Computer Science* 2005; 3612: 1 235 ~ 1 241
- 9 邓冬梅, 周来水. 矩形件排样的研究进展. *宇航材料工艺*, 2006; 36(5): 16 ~ 20
- 10 何冬黎, 崔耀东. 一种高效的矩形套裁排样的带填充排样算法. *计算机工程与应用*, 2008; 44(10): 238 ~ 240
- 11 邓冬梅, 周来水, 安鲁陵等. 矩形件优化排样的研究. *宇航材料工艺*, 2007; 37(4): 15 ~ 18
- 12 贾志欣, 殷国富, 罗阳等. 矩形件排样的模拟退火算法求解. *四川大学学报(工程科学版)*, 2001; 33(5): 35 ~ 38

(编辑 任涛)