



М.А. Верхотуров, Г.Н. Верхотурова,
М.И. Айбулатов, Д.Р. Зарипов

О ЗАДАЧЕ ПОСТРОЕНИЯ ПУТИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА С УЧЕТОМ ТЕРМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ПРИ РАСКРОЕ ПЛОСКОГО МАТЕРИАЛА

(Уфимский государственный авиационный технический университет)

Аннотация

В работе рассматривается задача построения пути режущего инструмента с учётом термических воздействий на материал, возникающая в процессе раскроя плоского материала с использованием лазерного, газового и т.д. оборудования. Приведена постановка задачи. Предложен подход к решению задачи моделирования изменения температуры раскраиваемого материала на базе дискретно - логического подхода. Приведены результаты вычислительного эксперимента.

Введение

Процесс создания любого изделия начинается с изготовления его элементарных конструктивных составляющих — деталей. Детали представляют основную массу объектов на любом производственном предприятии, поэтому этап их изготовления является одним из наиболее трудоемких и сложных во всем производственном цикле создания изделия. Трудоемкость и сложность подготовки и организации изготовления деталей усугубляется тем, что многие изделия выпускаются в настоящее время в условиях единичного и мелкосерийного производства. В связи с большой номенклатурой деталей при производстве заготовок возникают сложности по организации технологического проектирования раскройно-заготовительных операций.

В процессе раскроя листовых материалов на фигурные заготовки одним из важнейших этапов является построение пути режущего инструмента. Оптимизация пути режущего инструмента может значительно снизить стоимость раскроя и в некоторой степени повысить качество получаемых заготовок [1].

Для изготовления заготовок и деталей из листовых материалов используют машины фигурной резки с числовым программным управлением (ЧПУ). Особую популярность приобрела лазерная резка, в основе которой используется сфокусированный лазерный луч, который нагревает поверхность в указанной точке до температуры испарения материала. Передвигая лазерный луч программно по заданному маршруту, создается рез материала нужной формы.

Обычно оптимизация пути сводится к минимизации длины холостого хода станка и уменьшения точек врезок, однако данный маршрут не учитывает соблюдение температурного режима материала. В зависимости от порядка вырезания фигур температура раскраиваемого материала может сильно варьироваться на различных локальных участках и вызывать перегрев материала с последующей возможной его деформацией, что может привести к ухудшению качества получаемых заготовок [2].



В связи с этим появляется необходимость учитывать термический фактор, позволяющий повысить качество получаемых заготовок по сравнению с обычной минимизацией пути холостого хода.

Постановка задачи

Дано (см. Рис.1.):

- $L(a \times b)$ – раскраиваемая прямоугольная область;
- Заготовки $\{S_i\}$, где $i = 1 \div n$ – номер заготовки;
- Контуры заготовок $\{C_{ij}\}$, где i – номер заготовки, j – номер контура заготовки i , $j = 1 \div m_i$ ($m_i \geq 1$ – кол-во внешних и внутренних контуров заготовки S_i);
- Точки врезки в контуры $\{P_{ij}\}$ – где i – номер заготовки, j – номер контура заготовки S_i ;
- $P_{нач}$ – начальное положение режущего инструмента.

Найти:

Такое R^* , что

$T(Tr(R^*), L) \leq t_{max}$, где:

- $R = (P_{нач}, \dots, P_{ij}, \dots, P_{нач})$ – последовательность точек врезки контуров, где $i = 1 \div n$, $j = 1 \div m_i$;
- $Tr(R)$ – путь режущего инструмента при движении по последовательности точек R
- $T(Tr(\cdot), L)$ – функция определяющая максимальную температуру точки (x, y) ($0 \leq x \leq a, 0 \leq y \leq b$) раскраиваемого листа L во время резки по пути $Tr(\cdot)$.

Дополнительные ограничения:

Пусть Q_{ij} – порядковый номер осуществления вырезания контура C_{ij} , ($Q_{ij} > 0, Q_{ij} \in Z$). При переходе от контура C_{ij} к контуру C_{kl} : $Q_{kl} - Q_{ij} = 1$

Ограничение 1: При переходе между контурами одной и той же заготовки необходимо сначала вырезать все внутренние контуры, после чего внешний контур:

$$\forall C_{kj}, C_{k1} : Q_{k1} - Q_{kj} = 1, j > 1$$

должно соблюдаться следующее условие:

$$\forall C_{kb} : b > 1 \exists Q_{kb} : Q_{kb} \leq Q_{kj}, 0 < Q_{k1} - Q_{kb} < m_k$$

Ограничение 2: Пусть $IN_{C_{il}} = \{D_k\}$ – множество всех заготовок, находящихся внутри контура C_{il} на первом уровне вложенности. Перед тем, как начать вырезать контур C_{il} , необходимо обязательно вырезать все заготовки, находящиеся во множестве $IN_{C_{il}}$

$$\forall C_{k1} : D_k \in IN_{C_{il}}, l \in (1; m_i] \exists Q_{k1} : Q_{k1} < \min\{Q_{il}\}_{l=2}^{m_i}$$

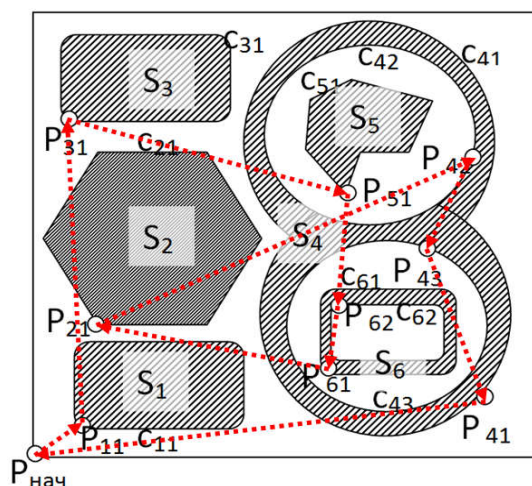


Рис. 1. Карта раскроя (заготовки S_i , контуры C_{ij} , точки врезки P_{ij}) и путь режущего инструмента (пунктирные стрелки)

Метод решения

Основная проблема при решении поставленной задачи заключается в сложности определения температуры любой точки листа в процессе его резки по тому или иному выбранному пути. Аналитически решить эту задачу не представляется возможным. В связи с этим был выбран подход, основанный на дискретно-логическом представлении информации, который был апробирован и показал хорошие результаты при решении задач двумерного и трёхмерного размещения объектов сложных геометрических форм [3,4].

Нагрев области раскроя во время резки

При движении режущего инструмента по пути $Tr(\cdot)$ те точки области раскроя (листа L), через которые он проходит во время резки контура C_{ij} , нагреваются до температуры плавления соответствующего материала.

Распространение температуры

Предложен следующий принцип распространения температуры в дискретном пространстве:

1) Для каждой области из 9 точек (при 8-связности) выбирается точка P с самой высокой температурой (Рис.2а).

2) Затем рассчитывается новая температура выбранной точки P в зависимости от:

T – температура точки;

ΔT – кол-во тепла, передаваемое каждой соседней точке;

$Count$ – количество соседних точек;

$K_{m/проводности}$ – коэффициент распространения тепла ($0 \leq K_{m/проводности} \leq 1$);

$K_{m/потери}$ – коэффициент теплоотдачи в окружающую среду ($0 \leq K_{m/потери} \leq 1$);

$\Delta T = P.T * K_{m/проводности}$;

$P.T = (P.T - \Delta T * count) * K_{теплопотери}$.

3) Для каждой из соседних точек S рассчитывается температура с учетом приращения ΔT в зависимости от коэффициента теплопроводности $K_{m/проводности}$ и теплопотери во внешнюю среду $K_{теплопотери}$:

$$S.T = (S.T + \Delta T) * K_{m/потери}$$

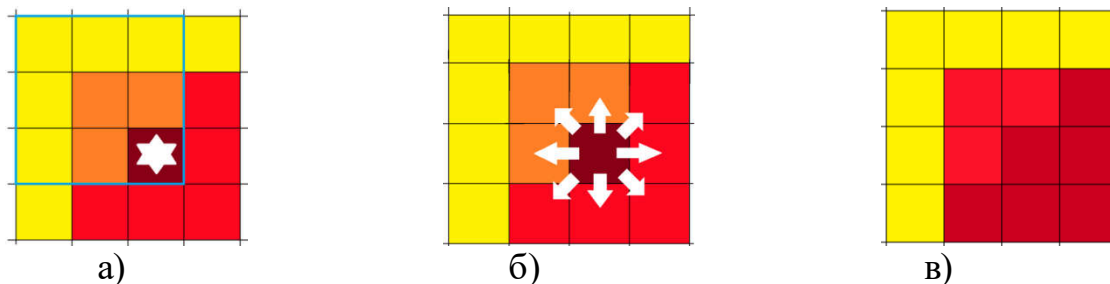


Рис. 2. Выбор точки с самой высокой температурой (а), направления распространение тепла (б) и результат распространения (в)

Вычислительный эксперимент

Для апробации разработанных методов и алгоритмов был проведен вычислительный эксперимент на базе примера из [5]. В роли показателя при моделировании процесса раскроя с учетом термических воздействий было выбрано количество локальных перегревов материала. Сравнивались три алгоритма: «кратчайшего пути», «случайные переходы» и «*Realtime*», разработанный в данной работе и основанный на определении температуры в масштабе реального времени. Результаты экспериментов представлены ниже:

Алгоритм построения пути режущего инструмента	Колич. локальных перегревов	Длина пути холостого хода
Минимизация длины пути	92	1891
Со случайными переходами	90	6968
« <i>Realtime</i> », разработанный в данной работе	68	4524

Заключение

В работе был рассмотрен подход, включающий в себя математическую модель, методы, алгоритмы и программное обеспечение, к решению задачи построения пути режущего инструмента с учетом термических воздействий при раскрое плоского материала, основанный на дискретно-логическом представлении информации. По результатам проведенного эксперимента алгоритм «*Realtime*», разработанный в данной работе, показал эффективность на 26% выше алгоритма «кратчайшего пути». Длина пути холостого хода при использовании разработанного алгоритма возросла в 2.4 раза, по сравнению с алгоритмом кратчайшего пути. Пример карты раскроя с визуализацией нагрева в процессе резки показан на Рис.3. В дальнейшем предполагается реализовать учет возможной деформации материала, описанный в [2].



Рис. 3. Карта раскроя, путь режущего инструмента и T точек листа

Литература

1. Таваева А.Ф., Петунин А.А. Точное вычисление стоимости резки заготовок из листового материала на машине лазерной резки с числовым программным управлением в задаче оптимизации маршрута перемещения режущего инструмента // Моделирование, оптимизация и информационные технологии: электрон. науч. журн. 2018. № 4 (23). URL: https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2018/10/TavaevaPetunin_4_18_1.pdf
2. Петунин А.А. О некоторых стратегиях формирования маршрута инструмента при разработке управляющих программ для машин термической резки материала // Вестн. Уфим. гос. авиац. техн. ун-т. Сер. Управление, вычислительная техника и информатика. 2009. Т. 13, № 2 (35). С. 280–286.
3. Мухачева Э.А., Верхотуров М.А., Мартынов В.В. Модели и методы расчета раскроя – упаковки геометрических объектов. - УГАТУ, Уфа: 1998.- 217с.
4. Verkhoturov M., Petunin A., Verkhoturova G., Danilov K., Kurennov D. The 3D Object Packing Problem into a Parallelepiped Container Based on Discrete-Logical Representation. IFAC-PapersOnLine 49 (12), 2016, 1-5.
5. Верхотуров М.А. Задача нерегулярного раскроя фигурных заготовок: оптимизация размещения и пути режущего инструмента // Вестн. Уфим. гос. авиац. техн. ун-т. Сер. Управление, вычислительная техника и информатика. 2007. Т. 9, № 2 (20). С. 106–118.