

# ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ ЛАЗЕРНОЙ МАРКИРОВКИ

Д.Петришев, к.т.н., ООО "Атеко Техноцентр", www.ateko-tm.ru

Перед нанесением маркировки на материал необходимо проанализировать символы наносимой информации, материал и форму маркируемого изделия. Это так называемый подготовительный этап автоматической маркировки, степень автоматизации которого недостаточна. Рассмотрены задачи комплексной автоматизации этапа подготовки системы лазерной маркировки к нанесению изображения.

Для любой системы лазерной маркировки основной входной информацией является изображение (чертеж, эскиз, рисунок), представленное в электронном виде (например, в виде файла в формате DXF). Однако этой информации, как правило, бывает недостаточно для выполнения маркировки. Так, порядок маркировки элементов изображения зачастую оказывает существенное влияние на длительность процесса нанесения маркировки. Если требуется нанести изображение с высокой точностью, может понадобиться специальная настройка оптической системы лазера. Цель такой настройки – минимизировать искажения, которые могут внести аберрации. Наконец, аппаратные особенности лазерного маркирующего комплекса накладывают определенные ограничения на технологические параметры маркировки. При этом играет роль материал, из которого изготовлено изделие. Таким образом, в большинстве случаев обязательным является этап подготовки системы лазерной маркировки к нанесению изображения. Анализ показал, что именно недостаточная степень автоматизации данного этапа снижает достоинства многих существующих систем лазерной маркировки. Комплексная автоматизация этого этапа подразумевает решение следующих задач:

- разработка и реализация алгоритмов автоматической сортировки элементов изображения с целью оптимизации времени

маркировки при заданном уровне качества;

- разработка и реализация алгоритмов программной коррекции искажений, вносимых оптической системой лазера;

- разработка средств, позволяющих сделать задачу определения технологических параметров маркировки изображения независимой от конкретной аппаратной конфигурации лазерного маркирующего комплекса; такими средствами являются возможность работы с библиотекой режимов маркировки, возможность управления координатным столом в автоматическом режиме.

Рассмотрим эти задачи более подробно.

## АВТОМАТИЧЕСКАЯ СОРТИРОВКА ЭЛЕМЕНТОВ ИЗОБРАЖЕНИЯ

Под элементом изображения будем понимать некоторый графический примитив (линия, дуга, текст, растровый рисунок и так далее) [1]. Исходя из соображений качества, маркировка элемента выполняется непрерывно. Замечено, что порядок маркировки элементов в ряде случаев не влияет на качество получаемого результата. Следовательно, если перед нами встает задача снижения времени нанесения маркировки, то можно изменить этот порядок. На практике часто встречаются изображения, состоящие из нескольких десятков элементов. Ручная сортировка такого изображения – длительная и сложная операция, именно этот

аргумент поднимает вопрос необходимости её автоматизации.

При сортировке элементов изображения важно учесть следующие факторы:

- расстояние между элементами;

- ограничения, вводимые на порядок маркировки элементов;

- ограничения, вводимые на максимальный угол отклонения луча лазера от нормали к поверхности изделия;

- необходимость переключения режимов работы лазера при переходе от одного элемента к другому;

- необходимость перемещения координатного стола перед маркировкой элемента, если элемент целиком или частично выходит за пределы рабочего поля лазера.

Из этого, между прочим, следует, что время маркировки изображения зависит от конкретной аппаратной конфигурации системы лазерной маркировки. Поэтому автоматическая сортировка изображения позволяет избежать необходимости многократной ручной сортировки для разных аппаратных конфигураций.

## ПРОГРАММНАЯ КОРРЕКЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ

В ряде моделей лазеров, присутствующих на рынке, для позиционирования луча используют оптическую систему [2]. Как показывает практика, это приводит к появлению значительных искажений маркируемого изображения. Имеющиеся системы аппаратной коррекции искажений не

решают данную проблему полностью. У них есть принципиальный недостаток – без вмешательства оператора маркирующего комплекса невозможно учесть все особенности оптической системы. Соответственно, процесс эксплуатации системы аппаратной коррекции сопровождается экспериментальным подбором коэффициентов коррекции, который производится вручную. Безусловно, при таком подходе оценка качества выбранного набора коэффициентов весьма сомнительна. Программные же системы коррекции искажений свободны от этого недостатка.

Рассмотрим, как происходит настройка такой системы. Первоначально маркировке подвергаются специальное тестовое изображение. Возникающие искажения могут быть статическими (погрешности оптики лазера) и динамическими (инерционность сканаторов лазера). Поэтому целесообразно тестовое изображение маркировать на небольшой скорости.

Далее, полученное тестовое изображение сканируется. Полученный файл с растровым изображением необходимо определенным образом обработать. Результат обработки – двумерная матрица искажений, взятая с некоторым шагом. На основе матрицы искажений рассчитывают величины искажений в узлах некоторой сетки. Чтобы повысить качество коррекции, необходимо интерполировать величину искажений в промежутках между узлами.

При выполнении рабочих проходов лазера диапазон перемещения луча разбивают на сегменты

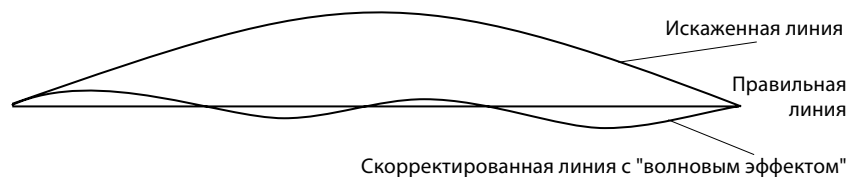


Рис.1. Пример коррекции искажений

небольшой длины. Координаты концов сегментов пересчитываются с учетом коррекции. При этом необходимо бороться с "волновым эффектом" (рис.1). Полностью избавиться от этого эффекта невозможно ввиду того, что входная информация является неполной и известна нам с определённой погрешностью. Однако при помощи моделирования можно определить оптимальные значения параметров алгоритма коррекции искажений, сводящие данный эффект к минимуму. Основными параметрами в данном случае являются шаг сетки тестового изображения, степень полинома двумерной интерполяции, шаг разбиения диапазона перемещения луча. Автору удалось подобрать значения параметров, при которых максимальное отклонение скорректированной линии от прямой линии составляет не более 0,1 миллиметра, среднее отклонение составляет не более 0,01 миллиметра. Тем не менее, на некоторых видах изображения даже столь небольшие отклонения, будучи регулярными, могут приводить к возникновению так называемого "муара". Избавиться от него удастся, используя переменный шаг разбиения диапазона перемещения луча, что препятствует возникновению регулярных структур в промаркированном изображении.

### БИБЛИОТЕКА РЕЖИМОВ МАРКИРОВКИ

Библиотека режимов маркировки содержит набор файлов режимов, предназначенных для разных материалов. В процессе подготовки изображения к маркировке пользователь указывает лишь названия режимов, характеризующие материал изделия и наименование технологической операции (например, "обрезка пластика", "гравировка алюминия" и т. п.). Конкретные значения технологических параметров маркировки – мощность и частота излучения, скорость перемещения луча при выполнении холостых и рабочих проходов, длительности различных технологических задержек – пользователь не указывает. Эти значения содержатся на управляющем компьютере (компьютере, выполняющем управление аппаратурой лазерного маркирующего комплекса). Ответственность за поддержание их корректности возлагается на оператора этого компьютера. Непосредственно перед маркировкой изображения эти значения считываются и подставляются вместо названий режимов. В этот момент осуществляется автоматическая сортировка порядка маркировки элементов изображения с уче-

том конкретных значений технологических параметров.

У ряда существующих моделей лазеров режимы маркировки изменяются со временем (например, по мере выработки ресурса лампы накачки). Если библиотека режимов отсутствует, то возникает необходимость периодической перенастройки режимов маркировки изображения. При организации библиотеки можно предусмотреть возможность автоматического обновления величин технологических параметров.

## АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ СТОЛОМ

В состав лазерного маркирующего комплекса иногда входит координатный стол. Его основное предназначение – маркировка деталей в случае, когда размер изображения превышает размеры

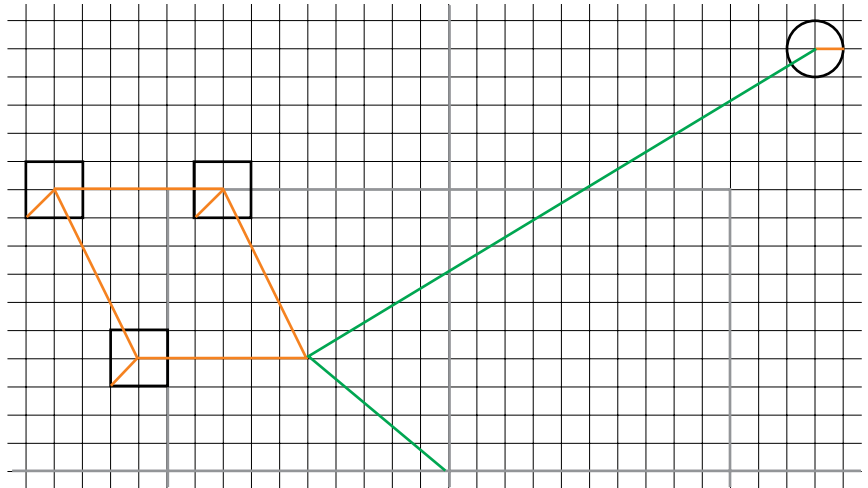


Рис.2. Траектория перемещения стола, вычисленная автоматически

рабочего поля лазера [2]. Управлять столом можно явным образом – то есть ручным указанием направления и расстояния перемещений стола при подготовке изображения к маркировке. При

этом пользователь решает ряд трудоёмких задач. Во-первых, определяет те элементы изображения, которые маркируются при помощи перемещений лазера, и те, для маркировки ко-

## ❶ СИНТЕЗ ГРАФЕНА С ПОМОЩЬЮ ЛАЗЕРА

К настоящему времени известно около 10 различных подходов к синтезу образцов графена. Некоторые из них основаны на получении графена в ходе расслоения графита под воздействием сильных окислителей. Другие включают в себя процедуру роста графена либо в результате разложения паров углеводородного прекурсора на металлической поверхности (CVD-процедура), либо в результате эпитаксиального термического разложения углеродсодержащего вещества (например, SiC). Несмотря на такое разнообразие подходов, регулярно в литературе появляются сообщения о разработке новых методов синтеза графена. Недавно исследователи из Университета Небраска (США) совместно с китайскими учеными разработали новый подход к получению графена [Min Q. et al. – Appl.Phys Lett., 2011, v.98, p.173108]. Он основан на расслоении кристаллического графита под воздействием лазерного излучения.

В качестве мишени использовали кристалл высокоупо-

рядоченного пиролитического графита (HOPG), который помещали на кремниевую подложку. Синтез графена проводили в атмосфере аргона при давлении около 1 Торр. В качестве источника облучения использовали импульсный Nd:YAG-лазер с длиной волны  $\lambda=532$  нм, длительностью импульса  $\tau=7$  нс. Лазерное облучение обеспечивало плотность энергии на мишени в интервале от 0,8 до 20 Дж/см<sup>2</sup>. Частицы углерода, образованные в результате лазерной абляции поверхности графита, попадали на Si-подложку. При плотности энергии лазерного излучения на мишени от 1 до 10 Дж/см<sup>2</sup> на поверхности HOPG возникали тонкие чешуйки, которые самопроизвольно отделялись и попадали на поверхность подложки. Полученные образцы графена на кремниевой подложке исследовали с помощью сканирующего электронного микроскопа (SEM), просвечивающего электронного микроскопа высокого разрешения (HRTEM), атомного силового микроскопа (AFM) и спектрометра комбинационного рассеива-

ния (КР) с микронным разрешением ( $\lambda=514$  нм). Анализ спектров КР показал, что образцы графена состоят из нескольких слоев, число которых достигает 10. На AFM определили толщину графеновой пленки, она составляет 3,9 нм. ТЕМ-изображения образца графеновой пленки размером в несколько микрометров свидетельствуют о ее волнистой структуре и наличии многочисленных изгибов.

С целью исследования механизма формирования графеновых листов под действием лазерного излучения наряду с образцами HOPG в качестве мишени использовали таблетки графита. Оказалось, что облучение таких таблеток при плотности энергии от 0,8 до 20 Дж/см<sup>2</sup> не приводит к формированию графеновых пленок, а сопровождается возникновением частиц аморфного углерода нанометровых размеров.

А.Елецкий. "ПерсТ", 2011, т. 18, в.15/16

Печатается с разрешения Информбюллетеня "ПерсТ"

торых необходимо перемещать стол. Во-вторых, определяет, в каких случаях стол выполняет перемещение между элементами изображения. При маркировке матриц указывает размер фрагмента матрицы, маркируемого без перемещения стола.

Если изображение содержит большое количество элементов, то время подготовки к маркировке, затрачиваемое на выполнение этих действий, будет увеличено. Кроме того, если в маркировке задействовано несколько лазеров с разным размером рабочего поля, то эти действия потребуются выполнять многократно.

Алгоритмы автоматического управления столом позволяют существенно сократить время подготовки изображения к маркировке. Отпадает необходимость учитывать размер поля лазера при подготовке изображения. Достаточно лишь указать требования к качеству маркировки. После этого маркирующая программа сама определит моменты перемещения стола. Помимо этого, автоматическое управление перемещением

стола позволяет использовать механизмы дополнительной оптимизации времени маркировки изображения. Таким образом, можно оптимизировать траекторию перемещения стола с учетом заданных требований к качеству маркировки. На рис.2 показан пример автоматически вычисленной траектории (перемещения стола показаны линиями зеленого цвета). Изображение состоит из четырех объектов – трех квадратов и одной окружности, которые расположены на значительном расстоянии друг от друга. Наиболее простой алгоритм перемещения стола в данной ситуации заключается в том, чтобы подходить к центру каждого объекта перед его маркировкой. Более эффективный алгоритм разбивает множество всех объектов на группы, после чего перемещение стола осуществляется между этими группами. В рассматриваемой ситуации стол перемещается к группе из трех квадратов, выполняется их маркировка, после чего происходит перемещение к центру окружности и маркировка окружности.

Наш опыт показал, что для эффективного использования лазерной маркирующей техники в состав комплекса обязательно должна входить компьютерная система обработки информации. Она решает две наиболее важные задачи: обработка изображений и управление маркировкой. Программное обеспечение позволяет автоматизировать ряд этапов технологического процесса, повысить производительность маркирующего комплекса и качество маркировки. Рассмотренные в статье способы автоматизации обладают значительным потенциалом для продвижения по этому пути.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Петрищев Д., Комалов С.** Автоматизация лазерной маркировки. Новые информационные технологии: материалы пятого научно-практического семинара. – М.: Изд-во МИЭМ, 2002.
2. **Полушкин С.** Эффективное управление комплексом лазерной гравировки. Часть 2. – Фотоника, 2011, №3.