

# ЛАЗЕРЫ НА ТОНКИХ ДИСКАХ

## ПРИНЦИП РАБОТЫ И ПРИМЕНЕНИЕ. ЧАСТЬ 2\*

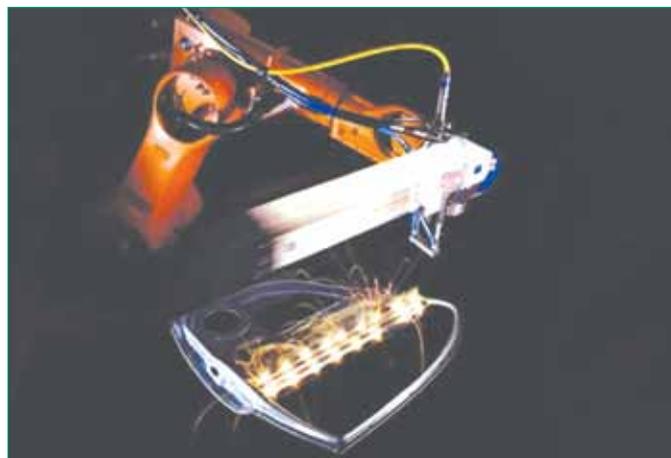
**В** первой части статьи были представлены распространенные схемы конструкций лазеров на тонких дисках. Вторая часть посвящена их техническим приложениям в зависимости от длительности импульса от микро- до фемтосекунд.

Самая большая ниша на рынке потребления мощных лазеров – это обработка материалов. Нагрев, плавление и испарение относятся к термической обработке. При этом важную роль играют различные физические эффекты. Поглощение лазерного излучения зависит от длины волны излучателя и от характеристик поглощения данного материала. Процесс обработки определяется характерным временем и интенсивностью взаимодействия лазерного излучения с обрабатываемым материалом. Замечено, что точность обработки повышается при более коротком времени взаимодействия. Но при уменьшении длительности импульса эффективность процесса обработки падает. Это связано с тем фактом, что удельная энергия, используемая для испарения, выше, чем энергия, требуемая для плавления. А средняя мощность излучателей с короткими импульсами обычно ниже, чем у излучателей с более длительными импульсами.

### НЕПРЕРЫВНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

Основной рынок мощных лазеров на тонких дисках приходится на обработку металлов в автомобильной промышленности. Там излучатели используются для сварки, а в последнее время и для резки металла. Обычно применяются излучатели с выходной мощностью 1–8 кВт. Более высокие мощности требуются, как правило, только в особых случаях, как например сварка толстых листов в судостроении. Качество луча примерно в 20 раз ниже дифракционного предела. И это является следствием компромисса между стремлением к более высокому качеству луча, увеличением глубины фокуса и технической необходимостью перекрыть расстояние между сва-

риваемыми деталями. Параметр распространения излучения практически равен параметру распространения типичного углекислотного CO<sub>2</sub>-лазера. Но зато, благодаря тому, что они работают на длине волны около 1 мкм, появляется дополнительная возможность доставки излучения от излучателя по оптоволокну. Тут проявляются большие преимущества данного типа лазеров для использования в металлообработке. Это практически прямоугольное распределение плотности излучения в фокусе и "врожденная" нечувствительность излучателя на тонких дисках к отражению света обратно в излучатель. Именно эти факторы привели к успешному использованию излучателей на тонких дисках в автомобильной промышленности. Высокое качество луча по сравнению с излучателями с активным элементом в форме стержня впервые дало возможность реализовать "удаленную сварку" (рис.7).



**Рис.7** Технология "удаленной сварки" с помощью лазеров на тонких дисках была введена на фирме "Daimler" в производство автомобильных корпусов (TRUMPF)

\* Часть 1 см.: Фотоника, 2009, №3.

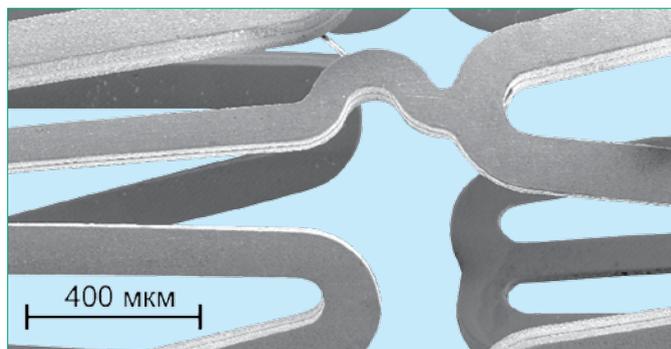


Рис. 8 Высокоточная резка при производстве стентов (Prenovatec)

Излучатели с генерацией второй и третьей гармоник широко применяются в медицине. Генерация гармоник может быть осуществлена с высокой эффективностью и надежностью, если в резонатор поместить нелинейный кристалл. Еще одной областью применения излучателей на тонких дисках является их использование в научных целях. Излучатели с узким спектром излучения, дифракционным качеством луча и с выходной мощностью в 10–100 Вт установлены во многих исследовательских институтах и аналитических центрах.

#### ИМПУЛЬСНЫЕ ИЗЛУЧАТЕЛИ: МИКРОСЕКУНДНЫЕ И СУБМИКРОСЕКУНДНЫЕ ИМПУЛЬСЫ

В этом режиме обрабатываемый материал нагревается излучением мощностью в импульсе до 1 МВт, что позволяет быстро плавить металл в зоне обработки. А использование таких дополнительных мер, как, например, выдувание расплава, удаляет жидкий металл из зоны взаимодействия излучения с веществом. Основное применение лазеров данной длительности импульсов – это прецизионная резка. Выдувание расплава позволяет получить очень гладкую поверхность после разреза. Процесс очень эффективен и высокопроизводителен. Подобная точность необходима, например, при вырезании стентов (рис.8). Компания Synova применяет для удаления расплава воду. Водяная струя одновременно и доставляет лазерное излучение к месту обработки, и охлаждает обрабатываемый материал. Транспортировка излучения в водяной струе, как по оптоволокну, автоматически центрует расплавленную зону и струю воды, удаляющую продукты плавления. Этот щадящий метод особенно подходит для обработки хрупких материалов, таких как кремний (рис.9).

#### ИМПУЛЬСНЫЕ ИЗЛУЧАТЕЛИ: НАНОСЕКУНДНЫЕ ИМПУЛЬСЫ

Для повышения точности обработки стремятся уменьшить количество возникающего расплава. Это достигается путем снижения времени взаимодействия до нескольких наносекунд при повышенной импульсной мощности, вплоть до нескольких мегаватт. В этом случае большая часть энергии

импульса уходит на испарение материала, и количество расплава уменьшается. Такая высокоточная обработка металлов и керамики применяется при создании трехмерных прессформ или для обработки поверхностей, работающих при больших контактных нагрузках (рис.10а). Произведенный расплав частично вылетает из зоны обработки под давлением образовавшегося пара, а частично остается на стенках обрабатываемой поверхности. Частицы осаждаются на стенках в виде напылов и искажают форму. Из-за этих напылов, остающихся после обработки лазером, часто требуется дополнительная механическая обработка. При производстве солнечных батарей такие излучатели применяются для изоляции края панели (рис.11). Кроме обработки материалов существуют иные приложения, где требуются наносекундные импульсы с узким спектром излучения и высокой импульсной мощностью. Например, для измерения параметров пламени с помощью анализа индуцированной флуоресценции (laser induced fluorescence, LIF) или для накачки параметрических генераторов и усилителей.

#### ИМПУЛЬСНЫЕ ИЗЛУЧАТЕЛИ: ПИКОСЕКУНДНЫЕ ИМПУЛЬСЫ

Для технологий, в которых исключена дополнительная механическая обработка, длительность импульса должна быть сокращена до нескольких пикосекунд. В этом случае время взаимодействия излучения с веществом становится (для металлов) примерно равным времени, которое требуется для передачи энергии от возбужденных лазерным излучением электронов кристаллической решетке. Для металлов соотношение расплавленного и испарившегося металла становится оптимальным при импульсе короче 10 пс. Так что эффекты, связанные с нагревом при обработке, минимальны. Для более коротких импульсов плотность излучения настолько велика, что происходит пробой воздуха [10]. При прохождении сквозь пробой луч рассеивается и его спектр уширяется, что отрицательно сказывается на результатах обработки. Поэтому для металлов оптимальной длительностью импуль-

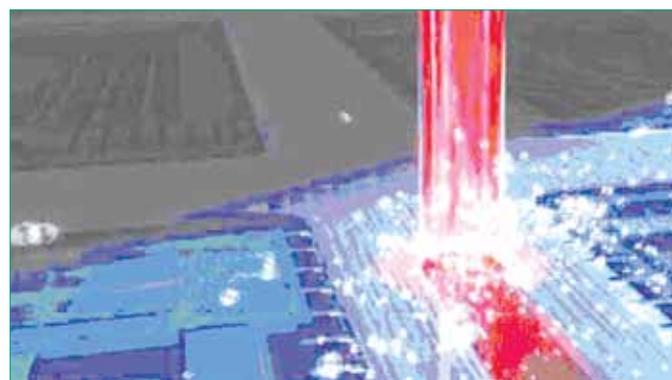


Рис.9 Аккуратная и эффективная резка лазерным лучом, заключенным в струю воды (Synova)

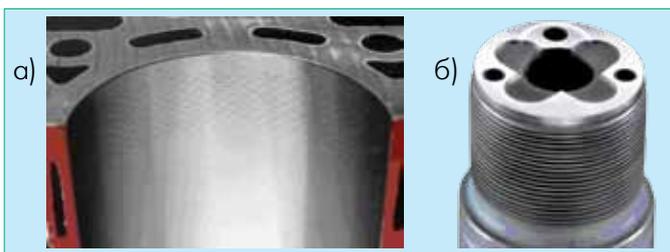


Рис.10 Применение лазеров на тонких дисках: а – поверхность цилиндра двигателя внутреннего сгорания (Gehring Technologies); б – инжектор (Robert Bosch)

са для высокоточной обработки является длительность в несколько пикосекунд (рис.12). Для неметаллических веществ оптимальны более короткие импульсы, при выполнении определенных условий. Эти условия обеспечивают меры против возникновения нелинейных эффектов и пробоя воздуха.

Высокие точность и качество обработки пикосекундными импульсами обеспечивают получение точных форм и сверления без последующей механической обработки. Надежные пикосекундные излучатели появились на рынке несколько лет назад (компании Lumega, TRUMPF). Уже существуют их промышленные применения, такие как, например, капсуляция и тримминг электронных компонентов или сверление дюзов в печатной промышленности. К этому, несомненно, добавятся многие приложения в автомобильной (рис.10б) и медицинской отраслях промышленности и в производстве солнечных батарей, находящихся сегодня в стадии разработки.

### ИМПУЛЬСНЫЕ ИЗЛУЧАТЕЛИ: СУБПИКОСЕКУНДНЫЕ ИМПУЛЬСЫ

Современные предложения по использованию в металлообработке субпикосекундных импульсных лазеров сильно ограничены, потому что для высокоточной обработки металлов достаточно длительности импульса в несколько пикосекунд [10]. Однако существуют теоретические расчеты, прогнозирующие увеличение спроса на такие короткоимпульсные лазеры. Это связано с высокоточной обработкой диэлектрических материалов, таких как алмаз, керамические и прозрачные материалы. Сейчас на рынке представлены излучатели на основе сапфира с примесью титана (Ti:Sa). Они работают с низкой частотой повторения и поэтому малопродуктивны при обработке материала. Сложность конструкции влечет



Рис.11 Удаление тонкого слоя покрытия панели солнечной батареи (TRUMPF)

за собой высокую цену, которая ограничивает их широкое применение в задачах обработки. Как только будут разработаны и появятся на рынке новые надежные излучатели с более низкой ценой, так, несомненно, появятся и новые задачи их приложений. А пока количество приложений таких излучателей мало, как и число их предложений на рынке. Пока только компания Jenoptik выпускает фемтосекундные излучатели на основе технологии тонких дисков.

Благодаря своим преимуществам и двадцатилетним исследовательским разработкам лазеры на тонких дисках уже широко применяются в промышленности. Во многих областях сильна конкуренция с другими типами лазеров, например с оптоволоконными. Мы прогнозируем, что лазеры на тонких дисках будут играть заметную роль в областях, где требуется высокая выходная мощность и высокая импульсная энергия. Основу конструкции импульсных излучателей составляет активный элемент в виде тонкого диска.

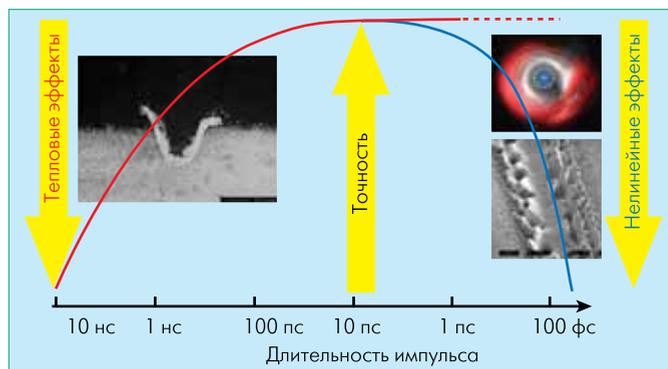


Рис.12 Выбор оптимальной длительности импульса для высокоточной обработки металла. (При длительности  $\tau < 10$  пс проявляются эффекты, вызванные расплавом, при  $\tau > 10$  пс проявляются нелинейные эффекты, поверхностные следы пробоя воздуха)

В зависимости от технических приложений длительность импульса может быть подобрана от микро- до фемтосекунд. На рынке будущего найдут спрос не отдельные узлы, такие как излучатель и оптика, а комплексные системы. Правильный выбор ключевых компонентов является залогом бесперебойного производства в течение многих лет и позволит поднять производительность до уровня окупаемости [11]. Устройство излучателя обычно неинтересно тому, кто его применяет. Многие параметры излучателя могут быть достигнуты разными путями. В конечном счете, решение покупателя определяет надежность, удобство пользователя и предлагаемый сервис.

### ЛИТЕРАТУРА

- Breitling D., Ruf A., Dausinger F. Fundamental aspects in machining of metals with short and ultrashort laser pulses. – Photonics West, 2004.
- Sommer S., Dausinger F. Micromachining of macro components with short and ultrashort lasers in printing and automotive industry. – 9<sup>th</sup> international symposium on laser precision microfabrication (LPM 2008).