

ЛАЗЕР СО₂: ГИБКОЕ, НАДЕЖНОЕ И ИСПЫТАННОЕ СРЕДСТВО*

Р. Шаймарданов, ООО "ДЕГ-РУС", www.degrus.ru

С самого начала СО₂-лазеры проявили себя как "рабочие лошадки" в промышленных лазерных макро областях применения благодаря своей надежности, рентабельности и безопасности. С возникновением технологии диффузионного охлаждения удалось увеличить мощность СО₂-slab-лазеров до 8 кВт, и СО₂-лазеры стали охватывать весь основной диапазон промышленного применения лазеров. Во второй части обзора рассмотрены рабочие параметры лазерной резки и сварки.

В производственных системах, оснащенных лазерами СО₂, лазерное излучение передается через атмосферу окружающей среды с помощью медных отклоняющих луч зеркал. Эта система зеркал на техническом сленге сварщиков называется "летающая оптика". В конструкции лазерных станков либо перемещается заготовка, либо – зеркал. В последнем случае смещается фокусирующая головка. Лазеры с высоким качеством излучения генерируют луч низкой расходимости. Этот луч может подводиться на координатный стол без дополнительного расширительного телескопа. Кроме того, высокое по сравнению с традиционными газовыми лазерами качество излучения дает большую стабильность параметров фокуса в рабочей зоне.

Помимо основных направлений резки и сварки СО₂-лазеры находят применение во многих других областях: рафинирование с помощью высокоскоростных сканирующих систем магнитного домена, удаление краски, очистка компонентов зубчатых механизмов перед лазерной сваркой, резка и сварка кварца, перфорация бумаги для сигарет, резка и маркировка текстиля.

* Продолжение. Начало см.: Фотоника, 2011, №4.

ЛАЗЕРНАЯ РЕЗКА

Системы резки с использованием СО₂-лазеров находят широкое применение в различных областях и опираются на разные концепции. Системы с пятью осями для 3D-применения, комбинации пуансон – лазер, столы с линейными приводами для резки плоских листов, системы сканирования для дистанционной резки текстиля, абразивной бумаги и дерева, системы резки труб, рулонов и т.д.

Резка лазером – наиболее распространенное применение лазеров. Дерево и пластик режутся СО₂-лазером в основном благодаря тому, что этими материалами очень эффективно поглощают излучение с длиной волны 10,6 мкм. В то же время обработка этих материалов излучением твердотельного лазера с длинной волны 1 мкм практически невозможна. Использование лазеров с лучом высокого качества предпочтительно для материалов небольшой толщины – примерно не более 6 мм. Меньшее фокусное пятно лазеров с высоким качеством излучения дает более узкий рез. Это позволяет производить резку при большей скорости при заданной мощности или с меньшей мощностью при заданной скорости. Также высокое качество излучения

предпочтительно для применения в сканирующих устройствах при резке, например, бумаги или текстиля.

Для резки стали применяются два метода: лазерная газопламенная резка с помощью кислорода низколегированной стали и лазерная резка плавлением с использованием азота высокого давления. В обоих методах излучение лазера не поглощается у поверхности материалов, но поглощается на расплавленном фронте резки. Угол падения лазерного луча можно рассчитать по соотношению величины фокусного пятна и толщины материала. Данный расчет представлен на рис.1. В зависимости от величины фокусного пятна угол падения становится больше 86° при толщине материала, приближающейся к 3–5 мм. Исходя из поглощательной способности стали очевидно, что для усредненной поляризации длина волны 1 мкм поглощается лучше для углов падения примерно до 86°. При больших значениях угла падения поглощательная способность СО₂-лазера увеличивается (рис.2).

ЛАЗЕРНАЯ ГАЗОПЛАМЕННАЯ РЕЗКА

Максимальная скорость кислородной лазерной газопламенной резки определяется

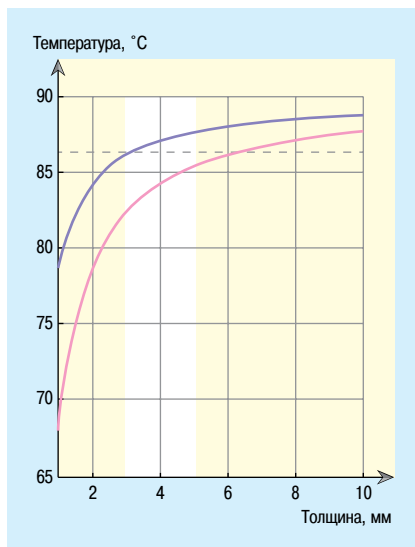


Рис.1. Зависимость толщины реза от угла фронта реза: синяя линия – величина фокуса 0,2 мм; красная – величина фокуса 0,4 мм

не только мощностью лазера, но и ограничениями экзотермической химической реакции между кислородом и железом. Как следствие – зависимость скорости резки от мощности

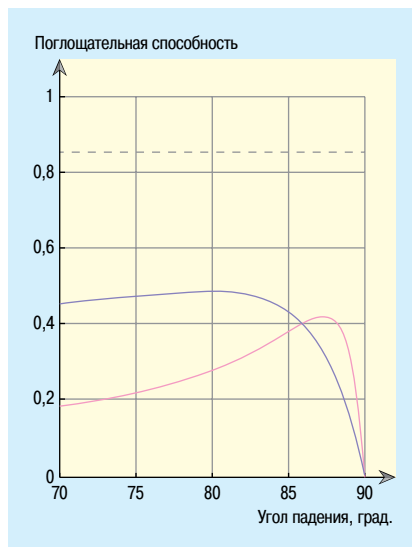


Рис.2. Поглощение, вычисленное по формулам Френеля для железа при усредненной поляризации при точке плавления: синяя линия – $\lambda = 1$ мкм; красная – $\lambda = 10,6$ мкм

лазерного излучения не является линейной. Удвоение мощности не приводит к удвоению скорости резки. Высокое качество луча (рис.3) CO₂-slab-лазеров

позволяет достичь при обработке мягкой стали той же глубины реза, что и на традиционных лазерах, но при более низкой мощности.

Сравнение газопламенной резки CO₂-лазером и волоконным лазером показывает наличие небольшого преимущества твердотельной технологии при толщине материала до 2 мм. Материал, обладающий более высокой толщиной, режется одинаково на обеих длинах волн лазерами аналогичной мощности и скорости резки.

ЛАЗЕРНАЯ РЕЗКА ПЛАВЛЕНИЕМ С ПОМОЩЬЮ АЗОТА

Мощность лазера, необходимая для лазерной резки плавлением, выше, чем для лазерной газопламенной резки из-за отсутствия экзотермической реакции. Опыт показал, что скорость резки пропорциональна мощности лазера для данной толщины материала. Процесс достигает предела,

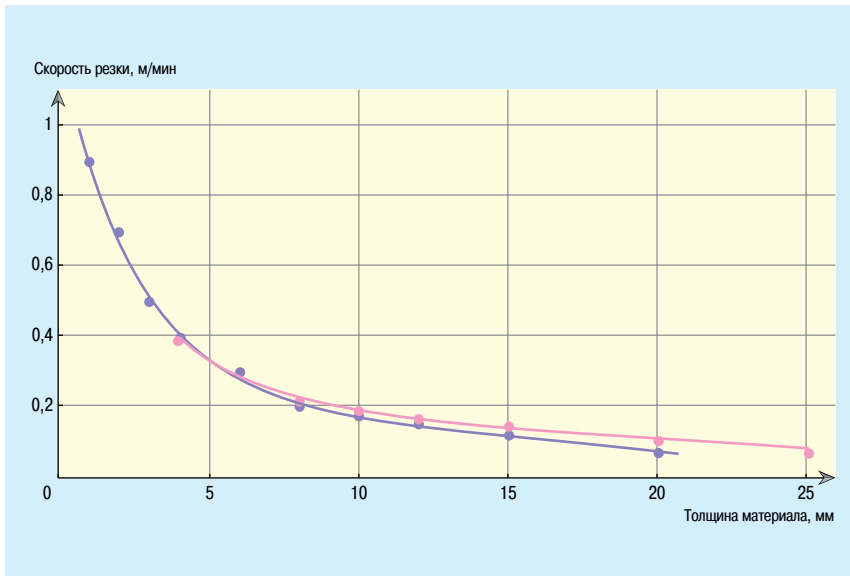


Рис.3. Сравнение скорости резки мягкой стали: FAF (4 кВт) и CO₂-SLAB (2,5 кВт)

когда испарение металла превышает определенный порог или когда выход расплавленного материала ограничивается потоком газа. Лазер с лучом повышенного качества может соперничать с более мощными лазерами, поскольку обладает мелкой шириной реза. То есть объем расплавленного материала, который подлежит нагреву, плавлению и выводу, – меньше. Это преимущество наиболее ярко выражено для материалов

толщиной до 6 мм (рис.4). Преимущество скорости резки уменьшается для материалов с большей толщиной, при лучшем качестве реза CO₂-Slab.

Сравнение резки CO₂-лазером и волоконным лазером показывает небольшое преимущество твердотельной технологии при толщине материала до 3 мм. Более высокая толщина режется при аналогичной мощности и скорости реза для обеих длин волн одинаково.

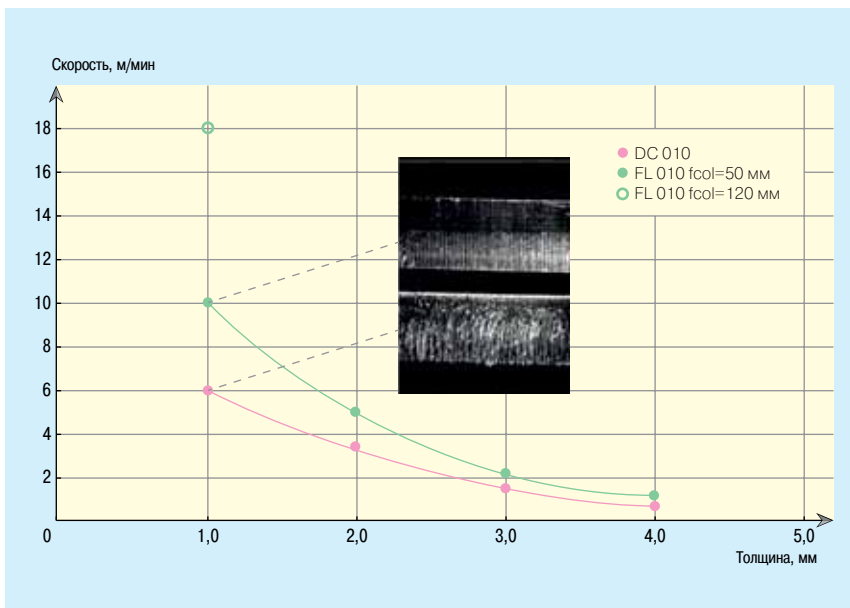


Рис. 4. Лазерная резка плавлением нержавеющей стали: зеленая кривая показывает резку волоконным лазером, красная – резку CO₂-Slab-лазером при аналогичном уровне мощности

С качеством резки наблюдается обратная ситуация. Качество резки CO₂-лазерами ощутимо выше, поэтому и сегодня невозможно сделать однозначный вывод о преимуществе той или иной длины волны.

СВАРКА

Лазерная сварка обеспечивает высокоэффективный механизм переноса энергии в подлежащий соединению материал. При высоких плотностях мощности материал у поверхности испаряется, ванна расплавленного металла погружается в материал и заполняется паром металла. Это способствует эффективному поглощению лазерного излучения отверстием, образованным жидким металлом. Механизм ведет к образованию узких сварных швов, получаемых при высоких скоростях сварки с минимальной тепловой нагрузкой на детали. Отличный контроль мощности лазера во времени и пространстве совмещается с возможностью оперативного управления процессом, – все это создает привлекательность лазерной сварки для промышленности. Можно представить следующие общие технологические правила сварки.

- Поперечное сечение сварного шва пропорционально энергии, приходящейся на единицу длины. Это отношение вычисляется как отношение мощности лазера к скорости сварки.
- Различаются две области скорости сварки: при низких



Рис.5. Пример сварки лазером SLAB-CO₂ (ROFIN DC 080) при скорости 1,5 м/мин: слева – поверхность шва, защищенная от окисления аргоном, справа – поперечное сечение

скоростях сварки (сталь: $v < 2$ м/мин) глубина шва почти не зависит от размера фокусного пятна; при высоких скоростях сварки глубина шва соотносится с мощностью лазера, поделенной на размер фокусного пятна. Лазеры с лучом повышенного качества создают более глубокие швы.

- Глубина фокуса и положение фокуса относительно поверхности материала являются важными факторами при прогнозировании формы поперечного сечения сварного шва. Следовательно, лазеры с повышенным качеством луча способны создавать сварные швы, более узкие, более глубокие, и при более высоких скоростях сварки.

На практике сварной узкий шов не всегда является лучшим решением. Часто приходится искать компромисс между тепловой нагрузкой на обрабатываемое изделие

и требованием к пределам геометрических допусков на деталь, оснастку или систему. Иногда в геометрии соединения используется ширина, а не глубина. В этих случаях уменьшение ширины шва приведет к уменьшению прочности шва. Изменяя форму шва, можно воздействовать и на структуру сварного шва.

ФОРМА ШВА

Известны различные методы для формирования сварного шва, отвечающего требованиям соответствующего технологического процесса (рис.5). В небольших пределах форма сварного шва может изменяться через варьирование фокусного расстояния и положения фокуса. Следующий этап – это понижение качества луча за счет применения донатовой (кольцевой) моды, увеличивающей ширину шва. Последний этап – еще большее увеличение ширины шва – получается за счет

использования двухфокусной оптики, образующей два фокусных пятна с гауссовой или донатовой модой. Увеличить ширину шва можно также за счет колебания луча сканирующим устройством.

СИСТЕМЫ СВАРКИ

Огромное число всевозможных деталей сваривается разнообразными лазерными CO₂-сварочными системами:

- простые ротационные симметричные радиальные или аксиальные стыковые или угловые сварные швы (например, зубчатые механизмы или валы, корпуса фильтров, нагнетательные насосы воздушных подушек, гидравлические цилиндры);
- линейные сварные швы труб и профилей со сплошными швами, образующимися при сварке системами типа PWS, включая автоматическое отслеживание шва с помощью камеры;

- двумерные сварные швы (например, сварные соединения внахлест пластинчатого теплообменника);
- трехмерные пятиосевые системы для сложных профилированных формованных листов (например, сварки алюминиевого фюзеляжа самолета с использованием сварочной проволоки).

Часто для увеличения полезного времени работы лазера с целью оптимизации производственных затрат используют скоростное переключение луча между различными сварочными станциями. Системы могут быть оснащены индукционным предварительным или последующим нагревом или сварочной проволокой, питающей оборудование в соответствии с требованиями материала.

ДИСТАНЦИОННАЯ СВАРКА

За последние годы появилась новая технология, именуемая дистанционной лазерной сваркой. Во многих случаях бывает необходимо соединять крупные заготовки путем сваривания лазерным лучом ряда швов или точек. В этих случаях время

полезной работы лазера составляет всего 20%. Значительно сократить время позиционирования лазерной сварочной головки позволяет технология сканирования, при этом позиционирование осуществляется всего за несколько миллисекунд. Следовательно, полезное время работы лазера увеличивается, а общее время обработки сокращается.

Системы дистанционной сварки базируются на CO₂-slab-лазере с высоким качеством луча и номинальной выходной мощностью до 6 кВт. Лазерный луч фокусируется линзами с воздушным охлаждением с фокусным расстоянием до 2 м. Сфокусированный луч отклоняется сканирующей головкой одиночного зеркала, предназначенной для высокоскоростного перемещения лазерных лучей высокой мощности. Поворотное движение сканирующего зеркала создает отклонение луча в плоскости XY. Фокусирующий элемент, смонтированный на направляющей с линейным приводом, создает движение точки фокуса в направлении Z, перпендикулярном плоскости.

Для увеличения рабочей зоны сканирующая головка также закрепляется на направляющей и способна перемещаться параллельно лучу лазера. Диапазон мощности от 1 кВт до 6 кВт и отличное качество луча $M^2 = 1,1$ делают CO₂-slab-лазер идеальным инструментом для дистанционной сварки.

Типичными областями применения является сварка подвижных деталей, дверей, капотов, опор, сидений и прочих элементов корпусов автомобилей. В недавнем времени для различных отраслей промышленности были внедрены операции по сварке металлических листов. Широкий диапазон материалов от акрила и алюминия до полистирола, титана и циркония делает CO₂-лазер универсальным инструментом резки и сварки для разнообразных систем, отличающихся высокой гибкостью. Современная и признанная технология лазерного источника, присущая ей безопасность и надежные оптические компоненты гарантируют производителю доход уже сегодня и – в будущем.



КРУПНЕЙШИЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬ ЛАЗЕРНОЙ ТЕХНИКИ ПРОВОДИТ ДОМАШНЮЮ ВЫСТАВКУ ИНТЕХ

Компанией TRUMPF с 8 по 12 ноября 2011 года организуется выставка ИНТЕХ на территории ее головного предприятия в Дитцингене. В этом году выставка пройдет под девизом The Power of Choice – Lasers by TRUMPF. Ее цель – продемонстрировать заказчикам все разнообразие идей и решений, разработанных компанией ТРУМПФ для металлообработки. Компания TRUMPF была основана в 1923 году как производитель гибких валов. Сегодня, имея общий объем продаж в размере 1,34 млрд. евро (по итогам

финансового года 2009/2010) и около 8000 сотрудников, TRUMPF Group входит в число ведущих станкостроительных компаний в мире. Холдинг объединяет три основных направления: станки/ электроинструменты, лазерная техника/электроника и медицинская техника. Ведущим направлением является производство станков для линий обработки листового металла методом вырубki и формования, лазерной обработки (резка и сварка) и гибки. В области промышленных лазеров и лазерных систем компания TRUMPF является технологическим лидером

на мировом рынке. Около 60 филиалов и подразделений, представляют концерн почти в каждой европейской стране, в Северной и Южной Америке, а также в Азии. Производственные площадки расположены в Германии, Франции, Швейцарии, Австрии, Польше, Чехии, Великобритании, Японии, Мексике и США. С подробной информацией о компании TRUMPF можно ознакомиться на сайте www.trumpf.com.

*Н.Атаманенко,
ООО "ТРУМПФ"*