

МИР ЛАЗЕРНЫХ ИСТОЧНИКОВ TRUMPF

В этом году исполняется 50 лет одному из гениальнейших изобретений человечества – лазеру. Фирма Trumpf впервые установила на своем оборудовании CO₂-лазер в 1979 году. А в 1988 году приступила к разработке собственного газового лазера. Ныне современная линейка лазерных источников Trumpf пополнилась волоконными, дисковыми и диодными лазерами.

Слово «лазер» является аббревиатурой от английского «Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation» (усиление света путем индуцирования квантовых переходов). За полвека, прошедшего после изобретения лазера, инженеры разных стран разработали великое множество установок, классифицировать которые можно по типу рабочего тела, способу возбуждения, длине волны, частоте или режиму генерации, мощности и т.д. Список этот можно продолжать очень долго, но чаще всего их классифицируют по агрегатному состоянию вещества, разделяя на газовые, твердотельные, жидкостные и лазеры на свободных электронах. Однако не все виды лазеров нашли себе применение в промышленности.

В 1979 году фирма Trumpf впервые установила на координатно-пробивной пресс CO₂-лазер мощностью 700 Вт, приобретенный в США. CO₂-лазер зарекомендовал себя в металлообработке как надежный и стабильный источник излучения. На сегодняшний день во всем мире применяется несколько десятков тысяч источников. Большая часть из них используется для лазерной резки и лазерной сварки. Длина волны луча CO₂-лазера $\lambda = 10,6$ мкм.

В 1988 году лазерный департамент Trumpf начал разработку собственного газового лазера. А сегодня TRUMPF Group – лидер в области производства лазерных источников и станков для металлообработки. Она может предложить лазерные источники разного исполнения практически для любой области применения: как газовые, так и твердотельные.

В 1989 году прошла первая презентация быстропоточного лазера TRUMPF TLF мощностью 1 кВт, имеющего фальцованную конструкцию с высокочастотным возбуждением

и турбину для продольной прокачки рабочего газа. И даже 20 лет спустя преимущества такой конструкции незаменимы. Они заключаются в том, что турбина прогоняет рабочий газ через охлаждающие элементы, и это обеспечивает равномерное распределение давления и температуры рабочей среды. А лампы высокочастотного возбуждения вынесены за пределы газового канала. Это позволяет добиться равномерного возбуждения газовой смеси без ее загрязнения. Рабочее напряжение всего 1–1,5 кВ, вместо 15–20 кВ у альтернативной схемы возбуждения постоянным током. Эти инженерные решения напрямую отражаются на качестве лазерного луча – форма луча на выходе после преобразующей оптической системы и плотность распределения мощности в зоне фокусировки остаются постоянными и не зависят от режимов работы, импульсного или непрерывного. Поэтому обработка металлов таким CO₂-лазером обеспечивает высокое и стабильное качество. Этот тезис подтверждают работающие по всему миру в различных областях более 16 000 газовых резонаторов серии TruFlow (рис.1). Диапазон их выходной мощностью 700–20000 Вт. Обладая компактной и прочной конструкцией, а также интерфейсом с открытой архитектурой, лазеры легко встраиваются в уже готовую установку для металлообработки. Если снабдить их устройствами передвижения над рабочим столом, то можно повысить «коэффициент использования» станка, обеспечивая при этом первоклассное качество обработки. Двадцатилетний опыт показал, что в деле лазерного раскроя плоского листа альтернативы газовому лазеру сегодня нет.

Компактный лазер серии TruCoax применяется в производстве с относительно небольшой загрузкой (рис.2) либо

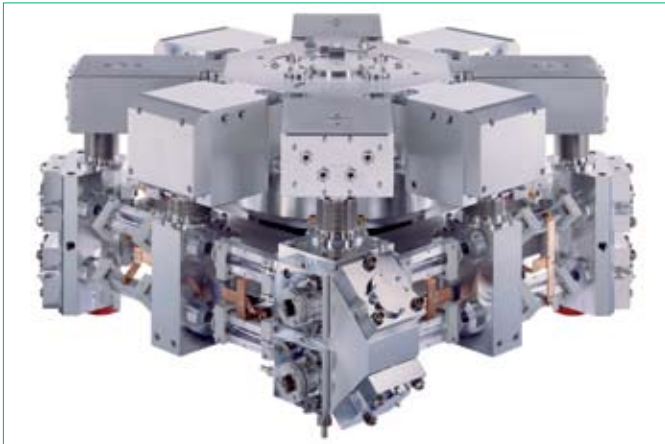


Рис.1 CO₂ лазер TruFlow фирмы TrumPF

его используют для обработки неметаллических материалов. TruCoax – родственник быстропроточного TruFlow. В нем та же рабочая среда CO₂, длина волны излучения $\lambda=10,6$ мкм такая же, и работает он в непрерывном и импульсном режимах генерации, и выходной луч имеет расхождение, близкое к дифракционному. Но на этом общие черты обоих лазеров заканчиваются. У TruCoax выходная мощность или 1000, или 2000 Вт. Газ внутри резонатора не циркулирует, а остается неподвижным, что при маленьком объеме с большой площадью поверхности позволяет эффективно отводить тепло. Именно поэтому источник построен как замкнутая система – для работы необходимо только электрическое подключение. Баллон с газом CO₂ необходимо заменять через год или два. Сам резонатор состоит из двух алюминиевых труб, вставленных одна в другую. Они выполняют роль двух электродов. Лазерный луч генерируется между трубами, а его отражение происходит на зеркалах, расположенных в торце. Благодаря такой конструкции лазерный луч при многократных отражениях остается параллельным даже при тепловой деформации труб, появляющейся из-за нагревания. Компактный дизайн

TruCoax позволяет устанавливать лазер на подвижных частях обрабатывающего комплекса – будь то рука робота, например, или портал большого станка.

Твердотельные лазеры, если их сравнивать с CO₂, широко используются в промышленности недавно. Одна из главных причин, сдерживающих их применение, – это низкий КПД: всего 3 – 4% для Nd:YAG-лазеров, против 8 – 10% у CO₂-лазера. Другая причина кроется в относительно невысоком качестве излучения. Однако в последнее время становится очевидным, что твердотельные лазеры очень скоро займут ощутимую часть рынка металлообработки.

Раньше в силу образования поперечной тепловой линзы в стержне рабочего кристалла Nd:YAG невозможно было получить луч высокого качества. Ключ к решению этой проблемы лежал в изменении геометрии рабочего тела. Разработки шли по двум направлениям: увеличение длины и уменьшение диаметра – технология волоконного лазера, и увеличение диаметра и уменьшение длины – технология дисковых лазеров. Дисковый лазер, так же как и волоконный, характеризуется большим отношением площади охлаждаемой поверхности к коэффициенту усиления лазера. Однако эти две концепции разительно отличаются по значениям достижимой пиковой мощности. Качество луча волоконных лазеров определяется волноводными свойствами волокна, разностью показателей преломления между жилой и покрытием, а также внутренним диаметром. Качество луча дискового лазера, с другой стороны, зависит от конструкции резонатора.

Особенность технологии волоконных лазеров, выделяемых в отдельную группу и являющихся твердотельными, заключается в том, что накачка происходит в оптоволокне диаметром несколько сотен микрон. Однако существует предел плотности мощности, за пределами которого могут возникать нелинейные оптические эффекты, затемнение волокна, и, в конечном счете, его старение. Можно увеличить диаметр оптово-



Рис.2 Детали, обработанные CO₂-лазером TruCoax фирмы TrumPF



Рис.3 Дисковый лазер TruDisk фирмы TrumPF мощностью 4 кВт

локонной жилы, но это приведет к ухудшению качества луча. Таким образом, одним из условий получения качественного высокоэнергетического излучения волоконного источника является баланс между длиной и диаметром жилы резонатора. Также при обработке металла существует большая вероятность попадания в волокно обратного отражения, что ведет к разрушению.

Дисковые лазеры TruDisk (рис.3), выпускаемые фирмой Trumpf, в силу своей конструкции нечувствительны к обратному отражению. Их семейство представляет собой источники с $\lambda=1030$ нм, работающие в непрерывном режиме генерации с выходной мощностью излучения от 1 до 16 кВт. Рабочий кристалл выполнен из плоского кристалла Yb:YAG диаметром несколько миллиметров и толщиной в несколько сот микрометров. Это исключает появление тепловой линзы и позволяет получить высокую выходную мощность в сочетании с высоким качеством луча, у которого параметр Beam Parameter Product (BPP) лежит в диапазоне 2 – 8 мм×мрад. В качестве накачки используют линейку диодных лазеров. КПД такого источника составляет 25% на обрабатываемой поверхности. Это с учетом потерь эффективности на всех электрических и оптических компонентах, включая охладитель, блок управления, оптическую разводку, оптоволоконный кабель и рабочую оптику. Отметим, что общая занимаемая площадь, например, 4-кВт источника составляет всего около 1,5 м².

Конструкция TruDisk задает новый стандарт лазера для



Рис.4 Волоконный лазер TruFiber фирмы Trumpf мощностью 400 Вт



Рис.5 Импульсный лазер TruPulse и пульт управления фирмы Trumpf

промышленного применения в качестве инструмента для лазерной резки или сварки тонкого листа, глубокой сварки для машиностроения, гибридной лазерной сварки или сварки при помощи сканирующей оптической головки.

Технология волоконных лазеров отражена в линейке Trumpf лазерными источниками TruFiber (рис.4). Они имеют луч с выходной мощностью 200, 300, 400 Вт и высочайшим качеством: параметр BPP расходимости луча достигает порядка 0,4 мм×мрад. TruFiber применяют в задачах, где необходимым техническим решением является сфокусированное пятно диаметром от 10 до 50 мкм. Это сварка в изделиях электроники и фотовольтаики, изготовление медицинского оборудования, прецизионная обработка материалов. Корпус в 19-дюймовом исполнении содержит все необходимые для работы источника компоненты: лазерный генератор, блок питания, блок управления и т.д., что позволяет легко интегрировать источник в стандартные стойки.

В производстве и ремонте инструмента и пресс-форм лазерная сварка завоевала высокое признание в силу того, что термическая нагрузка на обрабатываемую поверхность настолько мала, что позволяет избежать образования дефектов. Поэтому необходимость предварительного нагрева возникает редко. Для решения этих задач фирма Trumpf предлагает поколение лазеров, работающих в импульсном режиме с регулированием добротности TruPulse (рис.5).

Средний показатель мощности лазеров TruPulse варьируется от 40 до 550 Вт при максимальной мощности импульса вплоть до 10 кВт. В то время как мощность импульса влияет на глубину проплавления, средняя мощность влияет на частоту следования импульсов и максимально возможную скорость сварки. Поэтому мощные устройства демонстрируют высокую степень гибкости в отношении желаемых объемов сварки. Кроме того, следует отметить компактность и легкость источников TruPulse. Они не требуют больших площадей под установку, специальные ролики обеспечивают про-

стоту транспортировки. Пользователю на выбор предлагают лазеры до 150 Вт средней мощности с теплообменным устройством типа «вода-воздух» или «вода-вода». При установке лазера с воздушным охлаждением отпадает необходимость подключения охлаждающей жидкости.

Также в линейке лазерных источников TruPulse внимание пользователей привлекает съемная панель с сенсорным экраном и вращающейся рукояткой настройки. Сварщик имеет возможность легко, одним единственным движением руки или прикосновением пальца (на сенсорном экране), изменять параметры лазера. Разработчики оборудования поработали также над настройками мощности лазера в реальном времени, что напрямую отражается на результатах сварки. Достигаемая таким образом высокая стабильность «от импульса к импульсу» (обычно $< \pm 0,3 \%$ при длительности импульса $\tau=10$ мс) гарантирует воспроизводимость результатов сварки. Кроме того, параметры лазера должны оставаться независимыми от срока использования и неизбежного старения импульсных ламп-вспышек. Компенсировать это в течение длительного времени позволяет регулировка мощности излучения. И как результат: неизменное качество сварки вне зависимости от срока использования лазера.

Для обработки материалов требуются короткие импульсы с высокой энергией и частотой повторения. Это особенно важно для эффективности операций резки, сверления, полирования и удаления тонкой пленки с поверхности различных

материалов. Все это возможно при использовании ультракороткоимпульсных лазерных источников с высокой средней мощностью TruMicro (рис.6), длительность импульса которых варьируется от 25 нс до 1 мкс, достигая таким образом пиковой мощности до 5 МВт.

В автомобильной промышленности, например, более точная обработка частей системы впрыска топлива позволяет уменьшить выброс токсичных веществ вместе с выхлопными газами двигателя. Длительность импульса здесь составляет приблизительно 300 наносекунд, и лазер работает с частотой повторения импульса $\nu=10$ кГц. Максимальная энергия импульса, таким образом, составляет 100 мДж. Пиковая мощность превышает 200 кВт. Такой лазер, как правило, соединяется через волоконный интерфейс с оптоволоконным кабелем, имеющим диаметр жилы 400 мкм, что обеспечивает возможность гибкого наведения луча. В зависимости от геометрических характеристик резонатора качество луча обеспечивает возможность подключения к оптоволоконному кабелю с диаметром 100 мкм (расходимость 4 мм×мрад).

В целях микрообработки (рис.7) используются лазеры с различной длительностью импульса. Качество луча и пропускная способность играют решающую роль, если длительность импульса становится менее нескольких микросекунд и составляет от единиц до нескольких сотен пикосекунд. Эти задачи решает технология изготовления ультракороткоимпульсных лазеров TruMicro. Она обеспечивает превосходную масштабируемость выходной мощности лазерных излучателей, сочетаемую с высокой энергией импульса и превосходным качеством луча.

Однако ключевой технологией ближайшего будущего считается диод. Решающий фактор на сегодня – накопление необходимого опыта в применении полупроводников. Но уже сейчас фирма Trumpf может предложить полупроводниковый источник лазерного излучения TruDiod, экспонировавшийся на выставке «Laser 2009» в Мюнхене. TRUMPF Group предлагает не только лазеры, необходимые для решения различных задач, встающих перед производителями. Она предоставляет международную сервисную сеть, где трудятся около 900 сервисных специалистов, к которым потребитель может обратиться в любое время.

Будущее покажет, каким типам лазерных источников потребитель отдаст предпочтение: газовым или твердотельным, непрерывным или импульсным, дисковым или волоконным. На протяжении многих лет Trumpf накапливал опыт, необходимый для применения лазерных технологий, чтобы быть лидером в области промышленных лазеров и лазерных систем не только сегодня, но и в будущем.

Дополнительная информация по адресу: 111033, Россия, Москва, ул. Золоторожский вал, 4а; тел.: (495) 228-07-10; факс: (495) 228-07-11; info@ru.trumpf.com.



Рис.6 Короткоимпульсный лазер TruMicro фирмы Trumpf