

Перспективы лазерной сварки в Российской промышленности- Обеспечение наиболее эффективного производственного процесса

Терри ВандерВерт,

Президент компании Prima Power Laserdyne, LLC

Во многих отраслях производства лазерная сварка является весьма распространенным способом соединения широкого ряда компонентов. Производители деталей для конструкций воздушных судов, автомобилей и медицинского оборудования без замедлений признали преимущества и уникальные возможности лазерной сварки. Данная технология, несомненно, привлекательна для рыночной экономики России, стремительно развивающейся независимо от экономической ситуации в мире. К концу 2012 года ВВП России может превысить 2 трлн долл. США. С учетом корректировки разницы в курсах валют с паритетом покупательской способности экономика России на сегодняшний день является шестой в мире.

При применении в российской аэрокосмической промышленности технология лазерной сварки позволит значительно сократить массу конструкции воздушного судна и расход материала, что способствует увеличению эффективности использования топлива. Показатели производительности лазерной сварки помогут российской автомобильной промышленности в её стремлении стать крупнейшим автомобильным рынком в Европе, а российским производителям – приобрести конкурентоспособность на мировом рынке (изображение 1). Инновационные способы обработки лазерной сварки, в свою очередь, могут сыграть важную роль в российской стратегии долгосрочного развития медицинской промышленности. К данным способам можно отнести сварку механических деталей, требующих прецизионной обработки, таких, как имплантаты и хирургические инструменты, предназначенные для соответствия строгим механическим характеристикам, требованиям герметизации и высокому уровню процесса одобрения.

Промышленная лазерная технология способна взять на себя роль инструмента развития российского производства воздушных судов, автомобилей и медицинского оборудования нового поколения, а также множества других электрических и механических компонентов, требующих высокой точности обработки. В данной статье представлены возможности лазерной сварки, способной заменить другие производственные процессы в целях снижения расходов и повышения качества как уже существующих, так и новых конструкций соответствующих компонентов.



Рис. 1. Сиденье в сборе, изготовленное сваркой внахлестку посредством установки Prima RAPIDO. На заднем плане показан процесс сварки компонентов из низкоуглеродистой стали толщиной 2 и 1,5 мм, используемых при сборке каркаса автомобильного сиденья.

Выбор подходящего процесса лазерной сварки и его изучение

Главным свойством лазерной сварки является способность концентрации достаточной величины лазерной энергии, необходимой для плавления материалов при их соединении. Процесс лазерной сварки происходит, когда лазерный луч с энергетической плотностью, достаточной для плавления материалов, сталкивается с поверхностью, после чего его лазерное излучение поглощается ей. Лазерная сварка может применяться при обработке пластмассы, однако, основная область её применения распространяется на металлы, поэтому в центре внимания данной статьи находится именно сварка металлов.

Различают два типа лазерной сварки:

- Автогенная сварка, при которой материалы соединяются без добавления особых материалов. Данный тип лазерной сварки требует наивысшей степени фиксации и подготовки соединения. Поскольку добавление особых материалов не требуется, существенно важно, чтобы материалы, подвергающиеся сварке, оставались в тесном контакте на протяжении всего процесса обработки. Разделение материалов, в лучшем случае, может привести к несоответствующему профилю шва, а в худшем – к разъединению сварного шва. Поэтому ключевым пунктом для выполнения успешной лазерной резки является обеспечение постоянного соединения сварного шва посредством соответствующих креплений.

- Сварка с добавлением присадочных материалов, при которой используется особый материал, как правило, в форме металлической проволоки или порошка. В случае добавления особых материалов соединение становится более устойчивым к несоответствию стыков, а соответствующие требованиям швы могут быть изготовлены на соединениях с небезупречной степенью соприкосновения. Однако добавление в соединение проволоки или порошка приводит к созданию дополнительных управляющих переменных, поэтому необходимо уделить особое внимание выбору подходящего типа сварки.

При промышленном применении лазерной сварки наиболее подходящими являются следующие типы лазеров:

• Углекислотный лазер (CO₂). Лазерный луч образуется благодаря возбуждению электрическим разрядом смеси углекислого газа, азота и гелия. Данный тип лазеров является одним из первых типов, применяемых в производстве – первая запись о его применении компанией Боинг для резки и сварки титана датируется 1966 годом. Длина волны излучения данного типа лазера находится в дальней инфракрасной области спектра и составляет 10,6 мкм, отсюда следует, что некоторые металлы, в особенности медь и золото, обладают высоким коэффициентом отражения лазерного излучения.

• Nd:YAG лазер. Лазерный луч образуется благодаря возбуждению кристалла АИГ (алюмо-иттриевого граната) с добавлением неодима одной или несколькими высокоинтенсивными импульсными лампами или диодами. Длина волны излучения лазера находится в ближней инфракрасной области спектра и составляет 1,06 мкм. В настоящий момент Nd:YAG лазеры прежде всего используются в импульсном режиме, в то время как типы лазеров с непрерывной волной в основном заменяются волоконными лазерами.

• Волоконный лазер. Лазерный луч образуется благодаря возбуждению оптоволокна с добавлением Yb (иттербия) лазерными диодами. Несмотря на наличие разных легирующих присадок для оптоволокна, на сегодняшний день иттербий является наиболее выгодным при выполнении сварки средней и высокой мощности. Длина волны излучения данного лазера также находится в ближней инфракрасной области спектра и составляет 1,07 мкм.

При выборе наиболее подходящего лазерного источника для лазерной сварки необходимо учитывать характеристики обрабатываемых компонентов (материалы, тип шва) и требования потребителя к системам лазерной сварки (например, низкие затраты в сочетании с высокой производительностью и гибкостью в применении в настоящий момент или в будущем). Поставщик систем сварки выбирает лазерный источник на основе сведений таблицы.

Процесс лазерной сварки требует применения инертного газа в целях защиты металла во время сварки во избежание окисления сварного шва и окружающей его области. Выбор защитного газа зависит от типа обрабатываемого материала (например, титановые сплавы вступают в реакцию с азотом, поэтому применяется аргон или гелий) и типа лазера, используемого при сварке. В зависимости от обрабатываемого материала и контура сварного шва, для подачи защитного газа может быть внедрен целый ряд дополнительных устройств. Чаще всего такие устройства представляют собой обычное со-

пло, расположенное соосно или эксцентрично, и применяемое для подачи облака защитного газа в соответствующую зону. Более сложные устройства могут иметь форму полностью инертной, сухой, вакуумной камеры с рукавами-перчатками.

Лазерная сварка в сфере аэрокосмической промышленности

Технология лазерной сварки доказала свое соответствие жестким требованиям аэрокосмической промышленности в области качества и стабильности, и предстала в качестве привлекательной альтернативы для таких более традиционных способов сварки, как пайка, точечная контактная сварка, газовольфрамовая и электронно-лучевая сварка.

Благодаря судам коммерческой авиации нового поколения, сконструированными российскими производителями, главными требованиями клиентов стали менее шумные, топливосберегающие суда, не оказывающие отрицательного воздействия на окружающую среду. Изготовители воздушных судов также обеспокоены влиянием их производственных процессов на окружающую среду, и хотят снизить его посредством применения технологий с минимальной затратой энергии и максимально эффективными материалами.

Одним из способов достижения данных задач и создания более экономичных судов является использование материалов, снижающих массу воздушного судна. Титановые сплавы и композитные материалы – данные два типа продуктов чаще всего встречаются в корпусе самолетов. Главная цель при использовании данных материалов – это внедрение технологий лазерной обработки в новые области, выходящие за пределы их основного применения в сфере производства двигателей воздушных судов. Исходя из представленного примера, можно понять, что данный способ способен привести к созданию новых конструкций, при производстве которых сварка ранее не применялась.

Коэффициент использования материала представляет собой соотношение массы материала, приобретенного для изготовления компонента, и массы обработанного компонента, представляющего собой деталь самолета. Снижение данного коэффициента также является одним из способов уменьшения производственных расходов, связанных с закупкой и обработкой материала. Наряду с этим такое снижение увеличивает общую производительность производственных операций.

Следующий пример доказывает возможность разработки новых конструкций, снижающих коэффициент использования материала, посредством лазерной сварки. Например, произ-

Тип лазера	Преимущества	Недостатки
Углекислотный CO ₂	<ul style="list-style-type: none"> Способность создания глубоких сварных швов с высоким аспектным отношением. Посредством замены комплекта фокусирующих линз один и тот же лазер может использоваться как для резки, так и для сварки. 	<ul style="list-style-type: none"> Дальняя инфракрасная область спектра указывает на высокую степень поглощения плазмой по сравнению с лазерами с длиной волны, находящейся в ближней инфракрасной области спектра. Неконтролируемая плазма может поглотить и/или расфокусировать лазерный луч, что приведет к нестабильности процесса сварки.
Nd:YAG лазер	<ul style="list-style-type: none"> Благодаря относительно низкой мощности импульсные лазеры чаще всего используются для автотенной сварки тонких металлов. Следует отметить, что за счет слабой энергии импульса/низкой импульсной мощности лазеры используются и при сверлении. Импульсная сварка позволяет контролировать глубину проплавления шва независимо от скорости сварки, тем самым, позволяя соединять материалы и компоненты, чувствительные к нагреванию. Импульсная сварка обеспечивает гибкость при управлении нагреванием/охлаждением во время сварки, что позволяет управлять металлургическими свойствами сварного шва. 	<ul style="list-style-type: none"> Процесс происходит относительно медленно и подходит только для обработки тонких материалов, толщина которых, как правило, менее 2 мм.
Волоконный с Yb (или оптоволоконный)	<ul style="list-style-type: none"> Благодаря высокому качеству луча и высокой средней мощности используется для создания глубоких швов с высоким аспектным отношением. Посредством замены комплекта фокусирующих линз один и тот же лазер может использоваться как для резки, так и для сварки. Меньшая вероятность плазмообразования по сравнению с углекислотным лазером. 	<ul style="list-style-type: none"> Относительно новый тип лазера, менее изучен по сравнению с остальными.

водство детали только при соответствующей обработке блока из титанового сплава Ti-6Al-4V, размером 130×100×60 мм и массой 3,48 кг. По окончании обработки масса готовой детали будет составлять 0,21 кг, а коэффициент использования материала 16,5 к 1.

При альтернативной обработке с использованием лазерной сварки применяются две пластины размером 130×100×10 мм (масса: 0,57 кг) и 50×6×130 мм (масса: 0,17 кг) с общей массой 0,74 кг. Соответствующий коэффициент использования материала при лазерной сварке равен 3,5 к 1, что означает снижение количества материалов для изготовления детали практически на 80 %.

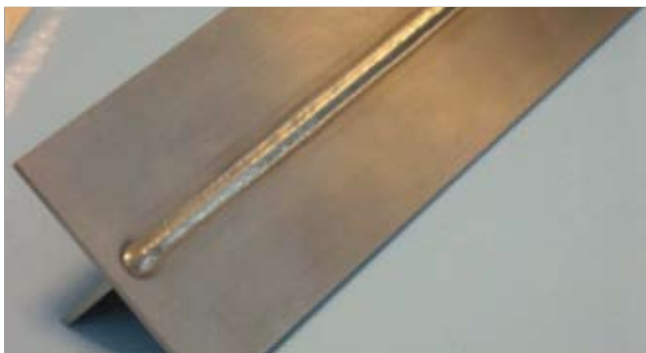


Рис. 2. Цвет сварного шва ярко-серебряный. Данный цвет указывает на небольшое количество окисления (<20 частиц на миллион), говорящего о прочности конструкции

На рис. 2 показан шов от лазерной сварки Т-образного контура, лазерный луч двигался по поверхности горизонтальной пластины в направлении от границы соприкосновения. Широко известно, что лазерная сварка используется для получения сравнительно узких сварных швов, что является одним из преимуществ данного процесса. В данном случае при сварке верхняя (горизонтальная) пластина полностью проникает в нижнюю (вертикальную) пластину, благодаря чему граница соприкосновения полностью соединяется. При необходимости относительно широкого сварного шва следует отдать предпочтение углекислотному лазеру. Такая технология является проверенной на предмет характеристик луча, высокой мощности и благоприятного взаимодействия с материалом. Сварка углекислотным лазером обеспечивает не только герметичный шов, но и эффективную и рентабельную обработку с соответствующими скоростями.

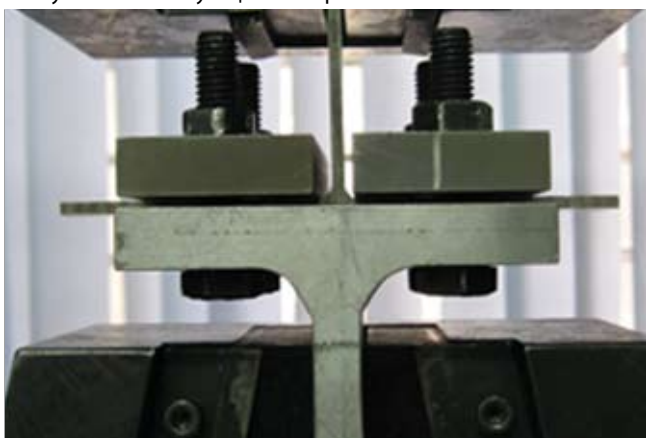


Рис. 3. Испытание механических свойств, подтверждающее качество сварного шва, прочность которого на 30 % превышает технические требования, предъявляемые к деталям аэрокосмической промышленности. См.: Lei Cui и др., «Дефекты и прочность на разрыв при трении, характерные для сварных Т-образных швов сплавов AA6061-T4», журнал Materials Science and Engineering: A (Материаловедение и технология материалов), издание 543, 1 мая 2012, страницы 58-68

Поскольку выполняется сварка титанового сплава, в систему подачи лазерного излучения входят компоненты, обеспечивающие подачу защитного инертного газа (смесь аргона и гелия) во время расплавления металла и его охлаждения до температуры ниже 400°C (данные компоненты также применимы при газовойольфрамовой сварке титановых сплавов).

Лазерная сварка в сфере производства медицинского оборудования

В середине 60-х годов, вскоре после изобретения лазера, он стал использоваться для производства деталей кардиостимуляторов. С тех пор функции и биосовместимость данного устройства были существенно усовершенствованы, а модельный ряд лазеров для обработки медицинского оборудования значительно увеличился. На данный момент посредством лазерной технологии выполняется высокопрецизионная, эффективная и качественная обработка широкого спектра устройств – начиная со стентов, протезов, дефибрилляторов, кардиостимуляторов и заканчивая стерильной упаковкой (Рис. 4 и 5).



Рис. 4. Лазерная сварка высокоточного электромеханического медицинского оборудования с помощью установки лазерной резки LASERDYNE 430



Рис. 5. На протяжении многих лет установки лазерной резки LASERDYNE применяются при сварке точных и герметичных швов на компонентах из различных металлов и сплавов, например, на представленном выше кардиостимуляторе. Высокая степень повторяемости процессов – главное преимущество систем лазерной сварки

Во время лазерной сварки при необходимости лазерный луч может быть сфокусирован до диаметра, равного одной сотой микронметра (0,004 дюйма), что способствует минимальному нагреванию поверхностей, граничащих со свар-

ным швом. Такой подход гарантирует не только превосходные механические свойства за счёт возможности управления нагреванием и охлаждением при сварке, но и приводит к незначительному искажению компонентов, что особенно важно, учитывая требования, предъявляемые к качеству и эффективности медицинского оборудования. Ограниченный подвод тепла является основным фактором при сварке деталей, в состав которых входят термочувствительные материалы и/или электронные компоненты, т.к.он исключает повреждение таких деталей.

Благодаря возможности изготовления непрерывных и прерывистых (например, точек, стежков) швов на тонких и толстых профилях с незначительным искажением, лазерная сварка в течение долгого времени применяется в сфере моделирования и производства автомобилей. К основным областям применения лазерной сварки в автомобильной промышленности относятся:

- Сварка автомобильных кузовов, листов, изготовленных посредством соединения металлов и сплавов из разнообразных материалов различной толщины, необходимых для создания деталей, полностью соответствующих определенным требованиям.
- Точечная сварка и сварка «стежками» листового металла и труб (рис. 6).
- Сварка высокоточных компонентов коробок передач, двигателей автомобилей, а также топливных инжекторов, фильтров и электрических деталей.



Рис. 6. Лазерная сварка на установке Prima RAPIDO для демонстрации того, что готовые детали автомобилей обладают аналогичной степенью сопротивления ударам, что и детали, изготовленные при контактной сварке, но количество сварных швов уменьшено на 35 %.

Сварка автомобильных кузовов обеспечивает легкость, качество, надежность и низкую стоимость автомобилей за счет снижения количества деталей и их массы, а также за счет снижения количества сварных швов. К тому же, штамповка кузовных деталей, изготовленных из трех дополнительных заготовок и двух сварных швов, заменяет девять операций штам-

повок заготовок, изготовленных посредством 120 сварных швов. Сварка автомобильных кузовов также является средством оптимизации материала, используемого с учетом требований к отдельным частям автомобиля. Например, в определенных частях профили большей толщины могут использоваться в целях увеличения надежности автомобиля, а коррозионностойкие материалы – на участках, в большей степени подверженных коррозии.

Лазерная сварка также зарекомендовала себя в качестве успешной альтернативы точечной контактной сварке при соединении автомобильных панелей из листового металла. К примеру, при сварке «стежками» посредством коротких сварных швов количество данных швов, необходимых для соединения компонентов стандартной дверной рамы, снизилось на 35 %.

Заключение

На протяжении многих лет лазерная сварка используется для изготовления высококачественных сварных швов на компонентах из различных металлов и сплавов. Такой подход обеспечивается благодаря основным свойствам технологии. Быстрое нагревание и охлаждение обрабатываемых материалов способствуют образованию сварных швов с минимальным нагреванием граничащих зон и, как правило, лишь с незначительным искажением. Крепление заготовки, обеспечивающее достаточное соприкосновение сварных соединений, встроенная система управления лазерным лучом, перемещением, подачей вспомогательного газа, а также соответствующие датчики гарантируют стабильное качество обработки. Именно поэтому лазерная сварка представляет собой наиболее целесообразный тип обработки для аэрокосмической, автомобильной и медицинской промышленности, который стремительно развивается в областях разработки инновационных продуктов, представляющих интерес для российских производителей.

Диапазон используемых лазерных источников продолжает расширяться, а вместе с ним увеличивается и область применения технологии лазерной сварки.

Для получения более подробной информации следует позвонить по телефону 763-433-3700 или написать по адресу PRIMA POWER LASERDYNE, 8600 109th Avenue North, #400, Champlin, Minnesota 55316. Факс: 763-433-3701. Веб-сайт: www.primapower.com Электронная почта: LDS.SALES@primapower.com

Терри ВандерВерт является президентом компании Prima Electro North America, расположенной в городе Чикопи, штат Массачусетс, и включающей отдел CONVERGENT LASERS, а также президентом компании Prima Power Laserdyne, расположенной в городе Чамплин (Миннеаполис), штат Миннесота, и включающей отделы LASERDYNE SYSTEMS и PRIMA 3D SYSTEMS.

Господин ВандерВерт более 35 лет принимал участие во внедрении лазерных технологий в области обработки материалов (сварку, сверление, резание и термическую обработку). Он является членом-учредителем компании LASERDYNE, образованной в 1981 году.

Он является магистром металловедения и материаловедения, бакалавром металлургии университета Миннесоты, а также дипломированным инженером, прошедшим квалификацию в Миннесоте



Терри ВандерВерт