

# ГИБРИДНАЯ ЛАЗЕРНАЯ СВАРКА – ОБЪЕДИНЯЯ УСИЛИЯ

**Г**ибридная лазерная сварка совмещает в себе достоинства дуговой и лазерной сварки. Появление производственных автоматических систем на основе мощных твердотельных лазеров открывает новые области ее применения.

В Институте Фраунгофера, расположенном в немецком городе Кемниц, создана рабочая группа под названием "тепловые соединения", занимающаяся научными проектами по гибридной лазерной сварке. Как правило, эта технология объединяет дуговую сварку – сварку металлическим электродом в активном газе или в инертном газе (MAG/MIG) – с лазерной сваркой. Два года назад группу возглавил доктор Франк Ридель. Рассказывая о предмете своих исследований, он любит употреблять выражение: "Противоположности притягиваются друг к другу, так как каждая из них видит в другой достоинства, отсутствующие у себя. Именно это наблюдается в случае гибридной лазерной сварки".

Как и многие инженеры, Ф.Ридель верит в огромные перспективы сварочной технологии в разных отраслях. "К технологии гибридной лазерной сварки прибегают в том случае, когда необходимо сварить листы большой толщины на высокой скорости, при низком подводе тепла, в автоматическом режиме, и при этом обеспечить высокое качество сварных швов. Иногда условия для проведения сварки очень неблагоприятны", – объясняет он и приводит некоторые примеры: "Допустим, у вас громоздкие и не свариваемые компоненты, подготовка кромки для лазерной сварки стоит слишком дорого, металлические листы слишком толстые. А для таких процедур, как сварка в защитном газе, нужна специальная предварительная подготовка шва".

При сварке нескольких слоев часто необходимо подвести тепловую мощность большой величины. Или перед вами стоит задача обработки высокопрочных сталей, которые можно сварить стандартными методами, но тогда это приведет к большим затратам времени и средств". **Во всех этих**

**случаях преодолеть трудности позволит технология гибридной лазерной сварки.**

Благодаря успешным разработкам конструкций твердотельных лазеров исследователи и инженеры в последние годы проявляют большой интерес к гибридной лазерной сварке. Достоинства новых источников лазерного излучения расширили области применения гибридной лазерной сварки и вывели ее из узкой ниши судостроения, в которой она существовала ранее, на новые рынки. Эта технология возникла в восьмидесятые годы, когда технические характеристики CO<sub>2</sub>-лазеров достигли величин, необходимых для сварки с глубоким проплавлением. В этом процессе лазерный луч не только расплавляет материал, но и частично испаряет его, образуя узкий и глубокий капиллярный канал, окруженный расплавленным металлом (рис.1). В этом эффекте заключаются достоинства и недостатки глубокой сварки с использованием лазера. С одной сторо-

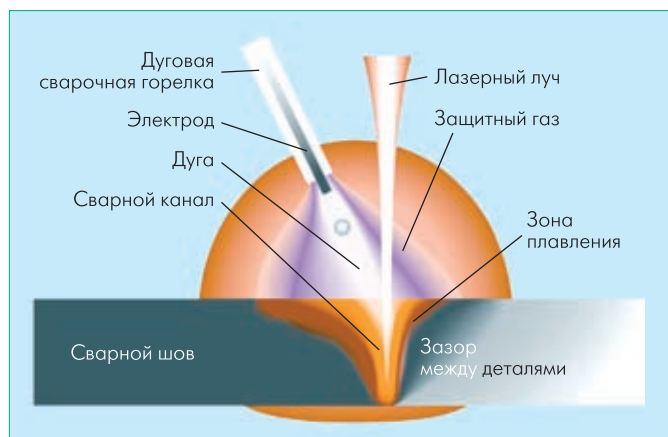


Рис.1 Гибридная лазерная сварка



Доктор **Франк Ридель** из Института Фраунгофера по станкам и технологиям обработки в г. Кемниц:

*"Противоположности притягиваются друг к другу".*



**Кристиан Пауль**, менеджер прикладных технологий компании Cloos Schweissttechnik из г. Хайгер:

*"Два метода соединены в одном, но при этом каждым можно управлять отдельно".*

ны, очень толстые металлические листы можно сварить за один проход по всей поверхности, что в большинстве других технологий недостижимо по экономическим или технологическим причинам. С другой стороны, лазерный луч должен быть очень хорошо сфокусирован для обеспечения требуемой плотности мощности.

Это означает, что зазор между соединяемыми деталями необходимо тщательно подготовить, а компоненты хорошо закрепить, чтобы погрешности установки свариваемых поверхностей составляли десятые доли миллиметра по всей длине заготовки. Проблемы не возникали до тех пор, пока конструкция позволяла перемещать свариваемые компоненты, и их листы были достаточно тонкими. Тогда все усилия, направленные на достижение высокой производительности и требуемого высокого качества готовых изделий, были оправданы. В противном случае, когда начальные условия были иными, и расходы, и усилия становились нецелесообразными.

Дело в том, что в процессе сварки плавящимся электродом в защитном газе (MSG) лучшее заполнение зазоров обеспечивается тем, что на поверхности расплавляется больше металла, а в шов вводится присадочный материал. Однако глубина сварки, достигаемая при этом, относительно небольшая, потому что дуга воздействует только на поверхность. Если листы будут толще, то придется предварительно механически готовить швы, формируя V-образную фаску под заполнение ее слоями присадочного материала и затем проплавлять каждый слой. Однако при этом проявляется другой недостаток дуговой сварки: в ходе процесса к заготовке подводится много тепла, и по мере остывания сварных швов наплавленный материал сжимается, это приводит к сильным деформациям и остаточным напряжениям. И, наконец, такая технология требует много времени и расхода дополнительных материалов.

**Именно поэтому возникла идея** объединить лазерный луч с электрической дугой. Лазерная гибридная сварка позволяет решить эти проблемы. В то время, когда дуга улучшает качество заполнения шва, лазер увеличивает глубину и скорость сварки. Это приводит к заметному снижению подво-

димого тепла и позволяет выполнить провар в один проход, даже при неточном позиционировании заготовок. И, главное, плазма, образуемая при работе лазера, стабилизирует плазму, возникающую в дуговом разряде, что создает условия для успешного проведения дуговой сварки (рис.2).

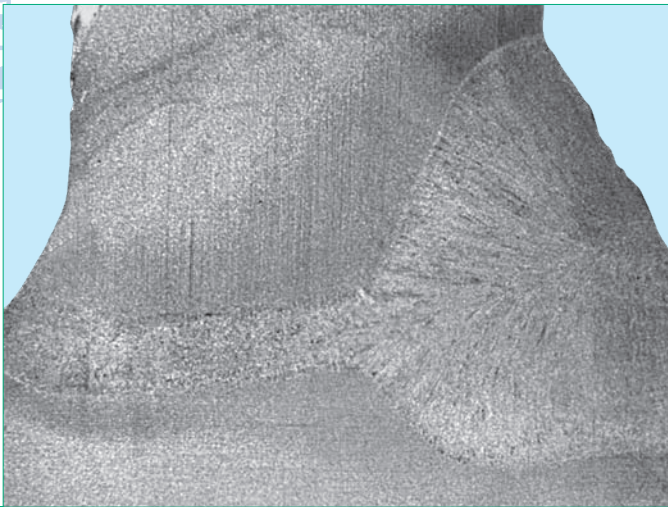
Однако на пути распространения технологии встала преграда, которая отпугивала потенциальных заказчиков оборудования для гибридной сварки. Например, компания TRUMPF сама не выпускает аппараты для гибридной сварки, но разработанные в ней лазерные установки используются во многих подобных технологиях. Поскольку созданные раньше твердотельные лазеры не могли обеспечить требуемую мощность, то для сварки толстых листов всегда брали CO<sub>2</sub>-лазеры. Доктор Харрер, директор центра применения лазеров компании TRUMPF (г. Дицинген, Германия), так описывает возникшую проблему: "Для работы дуги необходимо образование плазмы. Однако плазма мешает работе CO<sub>2</sub>-лазера, так как она сама поглощает его излучение. При этом необходимо учесть, что сам CO<sub>2</sub>-лазер также создает плазму; его излучение ионизирует облако паров металла, выходящее из сварного канала. При сварке с помощью CO<sub>2</sub>-лазеров эта плазма "разбавляется" газами, например гелием, который плохо ионизируется. Но такое облако неионизированного гелия, возникающее между электродом и заготовкой, совсем не нужно в про-

## ГИБРИДНАЯ ЛАЗЕРНАЯ СВАРКА

**Гибридная лазерная сварка** объединяет в одном процессе лазер и дугу. Одновременное использование двух этих методов позволяет объединить их достоинства и устранить недостатки.

**Дуга** действует на поверхности и создает широкий шов, который в свою очередь заполняет зазоры. Она также переносит в расплавленный металл дополнительный материал. Эти характеристики позволяют сварщику непосредственно влиять на металлургические свойства и на адгезию сварочного шва к поверхностям заготовок.

**Лазерная сварка** обеспечивает большую глубину проплава и высокую скорость, снижая при этом подводимую энергию. Она также снижает термические деформации до уровня, который недостижим в случае использования дуги.



**Рис. 2** Фотография типичного результата сварки, полученного совместным использованием горелки MIG и лазерного луча. В более глубокой части сварного шва видна изящная форма лазерной скважины

цессе сварки MAG. Это приводит к тому, что процессом гибридной сварки с CO<sub>2</sub>-лазерами сложно управлять. Более того, CO<sub>2</sub>-лазер имеет свои ограничения: его лазерный луч нельзя передавать по оптоволоконному кабелю, нельзя использовать сетевую конфигурацию. Кроме того, обычно комплект лазера и его оптической системы имеет большие габариты, которые затрудняют работу при перемещениях на большие расстояния. Поэтому возникают проблемы в управлении лазерным лучом с помощью оптической схемы".

Но все они сразу исчезли с началом выпуска твердотельных дисковых лазеров, обладающих высоким качеством параметров луча. Излучение твердотельных лазеров очень слабо ионизирует облако паров металла или вообще не ионизирует его. Оно не поглощается плазмой, так что плазма дуги больше не является проблемой. Кроме того, луч передается по лазерной оптической сети TRUMPF LaserNetwork, и теперь у обрабатывающей головки есть полная свобода перемещений. Лазер можно смонтировать даже на сварочных автоматических аппаратах", — объясняет Харпер.

В 2000 г. компания Cloos Schweisstechnik (г. Хайгер, Германия) начала выпуск своей собственной сварочной головки, которую можно устанавливать на станке-роботе. За счет программного позиционирования осей можно добиться оптимальных углов юстировки для двух технологических процессов сварки. Компания продолжает совершенствовать эту технологию, решая встающие проблемы. Кристиан Пауль, менеджер прикладных технологий компании Cloos, описывает это так: "Необходимо разместить внутри корпуса две рабочие головки — одну с лазерной оптикой и вторую для дуговой сварки электродом, не говоря о подаче присадочной проволоки и линиях технологических сред для обоих процессов". Так что там очень тесно. И в дальнейшем конструкции будут скомпонованы еще теснее. "Нашим заказчикам все чаще требуются интегрированные решения для обеспечения

качества и для контроля сварного шва, поскольку они успешно используются в других технологических процессах. Также в головку необходимо встроить датчики, которые отслеживают ее движение по шву во время процесса сварки".

**Несмотря на все эти сложные технические проблемы,** технология автоматизации процесса сварки выполняется под заказ и для тонких, и для толстых листов. При работе с тонким листом обеспечивается большая скорость, а для толстых листов исключается необходимость тщательной подготовки швов. Фактически технологии дуговой и лазерной сварки взаимно дополняют друг друга. Как подчеркивает Пауль: "Гарантируется начальное проплавление шва независимо от интенсивности и выходной плотности мощности в лазерном луче. В этом процессе лазер обеспечивает формирование беспористого гладкого шва без зазоров, а дуговая головка MSG добавляет присадочные материалы, которые влияют на металлургию и адгезию сварного шва к боковым стенкам заготовок".

Добавление к высокой скорости сварки автоматического управления процессом приводит к высокой производительности всего технологического процесса. Соответствующие комплексы уже встроены в систему управления сварочным роботом Cloos. Кристиан Пауль делает логический вывод: "Хотя в гибридной сварке объединены два процесса, каждый из них управляется отдельно. Это позволяет в любой момент времени нужным образом изменять все параметры. При условии, что вы знаете, каким именно".

Отсюда начинается **путь к полной автоматизации производственного процесса.** Сегодня полная автоматизация применяется только в больших машинах с одной или двумя осями, предназначенными для высоких скоростей подачи. Но даже при наличии таких решений все равно



**Рис. 3** Использование технологии гибридной лазерной сварки при изготовлении многослойных панелей



остаётся много вопросов. Доктор Франк Ридель из Института Фраунгофера перечисляет некоторые из них: "Во-первых, естественно возникает проблема ограничения площадей. И даже если вы не испытываете проблем со свободным пространством, лазеры необходимо установить вблизи двух совершенно различных источников энергии, что часто накладывает определенные ограничения, – говорит он и добавляет: – В головке возникает дуга, спектр излучения которой искажает работу многих датчиков, и необходимо очень точно сфокусировать лазерный пучок и дугу, что делает оптический контроль области сварки практически невозможным. Кроме этого, мы должны учитывать цену". Именно поэтому разработки конструкций с автоматизацией процесса, выполняемые по индивидуальным заказам, имеют высокую стоимость. Все же Ридель уверен, что растущий рынок внесет свои коррективы. А что пока? "Не нужно стремиться поместить все встраиваемое оборудование в один универсальный корпус, – говорит он. – Процесс уже и сейчас впечатляет".

**Посмотрим на числа.** Не существует идеального сварочного оборудования. В конце концов, каждая установка отличается от других. Однако после окончательного анализа вы убедитесь, что использование оборудования гибридной лазерной сварки очень выгодно и перспективно.

Стоимость и производительность оборудования определяют усиленный интерес к гибридной лазерной сварке. Эта технология по-новому решает проблемы изготовления металлоконструкций: гибридная лазерная сварка способна обеспечить двукратную экономию материалов и трудозатрат при работе с многослойными панелями (рис.3) и сварными держателями стальных конструкций в таких отраслях, как судостроение. Этот метод часто окупает себя, особенно если он применяется вслед за сваркой плавящимся электродом в защитном газе. Изготовитель оборудования для сварки и резки компания ESAB, например, прогнозирует увеличение производительности на 300–500% при снижении себестоимости на 55%.

**Затраты на расходные материалы.** По расчетам, гибридная лазерная сварка снижает затраты на расходные материалы примерно в два раза. Отсюда следует, что затраты энергии, необходимой для создания углового сварного шва, например для Т-образной балки, снижаются примерно на четверть. Расходы на присадочную проволоку снижаются примерно на две пятых, а стоимость технологических газов уменьшается до четырех пятых.

**Производительность.** Наиболее очевидное преимущество гибридной сварки – это увеличение производительности, так как для углового сварного шва листовых металлов толщиной 5 мм она может выполняться на скоростях до 3,8 м/мин. С другой стороны, при сварке плавящимся металлическим электродом в активном газе достигается скорость 0,6 м/мин. Стыковую сварку листового металла толщиной

10 мм можно выполнять со скоростью 2 м/мин, сравните эту величину со скоростью 0,5 м/мин, получаемую при дуговой сварке под флюсом.

**Термические деформации.** Устранение деформаций сварных компонентов приводит к заметному возрастанию себестоимости, никак не улучшая итоговое качество изделий. Например, по оценкам компании ESAB в кораблестроении стоимость такой обработки составит примерно 600\$ на квадратный метр.

#### КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ:

**Институт Фраунгофера IWU**, доктор Frank Riedel,

Телефон +49 (0) 371 5397 – 1300

frank.riedel@iwu.fraunhofer.de

Carl Cloos Schweisstechnik GmbH, Christian Paul,

Телефон: +49 (0) 2773 85 – 565,

christian.paul@cloos.de

#### ООО ТРУМПФ

111033, Россия, Москва ул. Золоторожский Вал, 4а

Телефон: +7 (495) 228-07-10

факс: +7 (495) 228-07-11

www.ru.trumpf.com

info@ru.trumpf.com

## НОВЫЕ КНИГИ

### С.Д. Рид Электронно-зондовый микроанализ и растровая электронная микроскопия в геологии

В предлагаемой книге описываются рентгеноспектральный микроанализ и растровая электронная микроскопия применительно к решению геологических задач.

В первой части монографии рассматриваются основы взаимодействия ускоренного пучка электронов с образцом и оборудование для РСМА и РЭМ. Далее объясняются основные принципы формирования изображения в РЭМ (вторичные и обратно рассеянные электроны) с подробным объяснением методик получения их в цифровом виде. Описаны принципы работы рентгеновских спектрометров с энергетической (ЭДС) и волновой дисперсией (ВДС), а также сопутствующие явления, включая катодолюминесценцию (КЛ) и дифракцию обратно рассеянных электронов (ДОРЭ). Подробно изложены процедуры качественного и количественного рентгеноспектрального анализа. Также с примерами описано получение рентгеновских "карт", показывающих распределение элементов. В конце обсуждаются вопросы подготовки образцов.

Книга предназначена для студентов-геологов и аспирантов, работников заводских лабораторий, а также в качестве дополнительного материала для специалистов, использующих РСМА и РЭМ при решении геологических задач.

Переводное издание.

2008. – 232с.+8 цв. вклеек, формат 70×100/16, переплет



**О приобретении книги можно узнать:**

по телефону (495) 234-01-10,

по e-mail: [sales@technosphera.ru](mailto:sales@technosphera.ru), [pochta@technosphera.ru](mailto:pochta@technosphera.ru)

или на сайте [www.technosphera.ru](http://www.technosphera.ru).