

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛАЗЕРНОЙ СВАРКИ ПУТЕМ ВОЗВРАТНО-ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ФОКУСА*

В.Ю. Хаскин², В.Н. Коржик^{1,2}, Ч. Донг², Е.В. Илляшенко¹

¹ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины. 03150, г. Киев, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

²Китайско-украинский институт сварки им. Е.О. Патона, Гуанчжоу, КНР

Работа посвящена оценке влияния сканирования фокуса линзы вдоль оси лазерного излучения при лазерной и лазерно-дуговой сварке на сварочно-технологические свойства процессов и физико-механические характеристики металла швов соединений низколегированной и высоколегированной сталей. отмечено, что эффективность сварочных процессов при этом может быть повышена путем оптимизации частоты и амплитуды сканирования фокуса. Библиогр. 12, табл. 2, рис. 9.

Ключевые слова: лазерная сварка, гибридная лазер-MIG сварка, углеродистая сталь, нержавеющая сталь, технологические эксперименты, погонная энергия.

Одним из основных недостатков технологических процессов, использующих лазерное излучение, является их низкий эффективный КПД (как правило, до 60 %) [1]. Это связано как со сравнительно невысоким коэффициентом поглощения излучения металлами (около 10...40 %), так и с небольшой длиной его горловины каустики (примерно 0,2...2,0 мм) [2]. Поэтому для повышения эффективного КПД таких процессов как сварка и резка с использованием лазерного излучения, целесообразно повышать коэффициент поглощения за счет подогрева обрабатываемой поверхности и удлинения горловины каустики излучения. Эти эффекты могут быть достигнуты путем применения вертикального возвратно-поступательного сканирования фокуса с определенными амплитудами и частотами. Такой подход может быть положен в основу инновационных промышленных разработок, позволяющих значительно экономить лазерную энергию.

При изготовлении современных облегченных конструкций, применяемых в различных отраслях техники, часто применяют стали и сплавы, отличающиеся повышенной прочностью. Так, например, при изготовлении фрагментов корпусов крупных пассажирских лайнеров и грузовых судов применяют высокопрочные и коррозионностойкие стали, при изготовлении аналогичных корпусных конструкций судов малого водоизмещения могут применяться высокопрочные алюминиевые сплавы. При этом большую популярность приобрели облегченные сварные конструкции, свариваемые прорезными швами с использованием лазерного излучения [3].

Поскольку для формирования качественных сварных соединений необходимо добиваться об-

разования верхнего и нижнего усиления сварного шва, необходимо использовать соответствующий присадочный материал, чаще всего в виде сплошной проволоки. Как показали исследования, для снижения затрат лазерной энергии такую проволоку целесообразно подавать с одновременным ее плавлением электрической дугой [4]. При этом эффект воздействия дуги с плавящимся электродом не ограничивается внесением в сварочную ванну дополнительного тепла от расплавленной электродной проволоки. При взаимодействии с лазерным излучением (в первую очередь с ионизированным паром, возникающим над парогазовым каналом под действием излучения) электрическая дуга сужается, опускается в образовавшийся парогазовый канал и дополняет лазерную энергию в гибридном лазерно-дуговом процессе [5]. Происходит так называемая привязка дуги к фокусу лазерного излучения, что обеспечивает известные преимущества гибридной сварки.

Однако при использовании лазерной и лазерно-дуговой (лазер-MIG) сварки для получения стыковых, угловых и тавровых соединений может возникать ряд характерных дефектов:

- дефекты, связанные с формированием швов, которые в основном заключаются в образовании утяжек и подрезов по обе стороны валика усиления (рис. 1);
- образование внутренних пор (рис. 2);
- неоднородность легирования металла шва электродной или присадочной проволокой по глубине сварочной ванны (рис. 3);
- образование трещин как при самой лазерной или лазерно-дуговой сварке (рис. 4), так и в процессе дальнейшей эксплуатации сварных соединений, низ-

*По материалам доклада, представленного на IX международной конференции «Лучевые технологии в сварке и обработке материалов», 9–13 сентября 2019 г., г. Одесса.

Коржик В.М. – <http://orcid.org/0000-0001-9106-8593>

© В.Ю. Хаскин, В.Н. Коржик, Ч. Донг, Е.В. Илляшенко, 2020

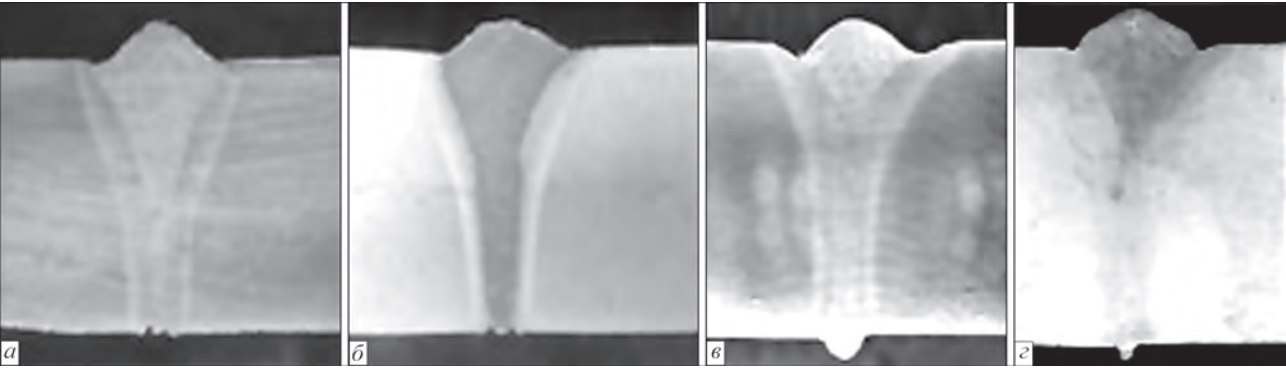


Рис. 1. Типичные дефекты формирования стыковых соединений высокопрочной стали DOMEX 390 XR ($\delta = 10$ мм) при гибридной лазер-MIG сварке [6]: утягивание корня шва (*a, б*), подрезы в верхней части (*a–г*)

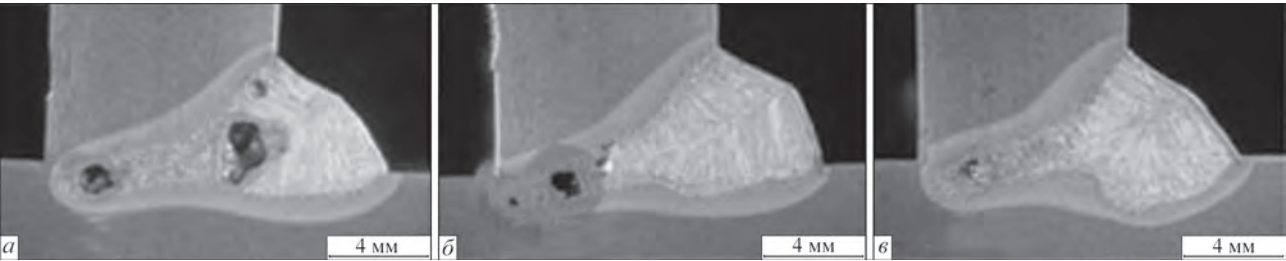


Рис. 2. Образование внутренних пор в тавровых соединениях при гибридной лазер-MIG сварке высокопрочной стали AN36 электродной проволокой OK Aristorod 12.50 (диаметром 1,2 мм) с применением излучения волоконного лазера: *a, б* — мощность 8,0 кВт; *в* — 10,0 [7]

кие показатели испытаний на циклическую усталость (знакопеременные циклические нагрузки) (рис. 5).

Поэтому целью данной работы является создание принципиально нового универсального подхода к устранению характерных дефектов лазерной и лазерно-дуговой сварки, позволяющего одновременно с этим повысить производительность

процесса, снизить его погонную энергию и достичь экономии лазерной энергии.

В рамках существующего на сегодня подхода к осуществлению лазерной и лазерно-дуговой сварки устранить указанные выше дефекты можно различными способами, самый простой из которых заключается в подборе параметров режима. Однако в большинстве случаев при применении существующего в настоящее время серийно производимого оборудования для лазерной и лазерно-дуговой сварки (например, головок лазер-MIG производства фирм Fronius и Cloos [10]) решить задачу получения качественных сварных соединений сталей и сплавов затруднительно. К недостаткам реализуемой таким оборудованием технологической схемы процесса можно отнести отсутствие возможности управления гидродинамикой сварочной ванны, что способствовало бы повышению однородности химического состава сварного шва по высоте даже при значительных (свыше 8 мм) толщинах свариваемых кромок, устранению порооб-



Рис. 3. Отсутствие однородного распределения металла электродной проволоки по глубине шва при лазер-MIG сварке сталей больших (свыше 8 мм) толщин на примере сварки сталей SSAB Domex 420MC (стандарт EN 10149-2) [8]



Рис. 4. Типичная геометрия продольной трещины на поверхности стыкового соединения нержавеющей стали SS2333 ($\delta = 10$ мм), выполненного лазерно-дуговой сваркой с электродной проволокой Avesta 253MA (диаметром 1,2 мм) [9]

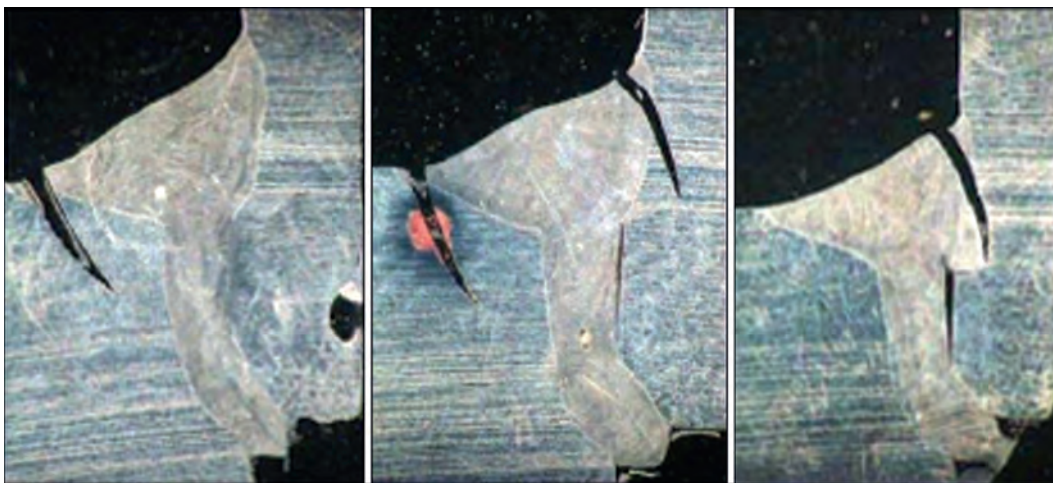


Рис. 5. Развитие продольных трещин и разрушение соединения в процессе испытаний на циклическую усталость. Поперечное сечение угловых соединений стали SS2333, сваренных лазерно-дуговым способом [9]

разования, повышению качества зоны сплавления, увеличению стойкости к циклическим знакопеременным напряжениям. Такое управление гидродинамикой ванны расплава стало бы возможным в случае введения в технологическую схему процесса дополнительного фактора, повышающего интенсивность течений расплава в вертикальном направлении [11]. Кроме того, это дало бы дополнительные возможности по управлению термическим циклом процесса гибридной лазерно-дуговой сварки.

Предлагаемый нами подход к получению эффективного метода управления гидродинамикой сварочной ванны и, следовательно, к повышению качества лазерно-дуговой сварки, заключается в модернизации существующей технологической схемы лазер-MIG сварки и создании нового сварочного инструмента, основанного на принципе возвратно-поступательных перемещений (колебаний) фокуса лазерного излучения вдоль оси луча в определенных интервалах частоты и амплитуды. Колебания фокуса, осуществляемые путем возвратно-поступательных перемещений фокусирующей линзы, могут также дополнительно согласовываться с заданным импульсным режимом модуляции лазерного излучения и/или горения дуги MIG в процессе гибридной лазер-MIG сварки.

Для реализации предложенного подхода к изменению технологической схемы процесса лазер-MIG сварки был создан соответствующий лабораторный стенд со сварочной головкой, позволяющей осуществлять возвратно-поступательное перемещение (сканирование) фокуса вдоль оси излучения с частотой до 100 Гц и амплитудой 0...10 мм. Принцип работы такой сварочной головки показан на рис. 6.

Лазерное излучение 1 фокусируется с помощью линзы 2 на линии стыка свариваемых деталей. Линза 2 установлена в корпусе 3 фокусирующей линзы, который, в свою очередь, расположен в оправке 4,

имеющей возможность возвратно-поступательного перемещения при помощи системы 5. Система 5 обеспечивает регулируемое сканирование вдоль оси излучения с частотой $f = 0...100$ Гц и амплитудой $A = \pm(0...5)$ мм. Это дает возможность изменять расположение фокальной плоскости линзы 2 относительно поверхности свариваемых деталей на величину $\pm\Delta F$, регламентируемую изменением амплитуды A . В состав системы 5 сканирования лазерного излучения входят соленоиды 6 и 7, с якорями 8 и 9 которых жестко связана оправка 4. Также к системе 5 относятся резиновые прокладки 10–13 для торможения якорей соленоидов и устройство управления 14, в состав которого входят задающий генератор импульсов и усилитель электрических сигналов. Для реализации дуговой составляющей процесса лазер-MIG сварки предусмотрена подача электродной проволоки при помощи мундштука 15, имеющего возможность настройки положения относительно фокуса излучения и угла подачи в пределах $30...80^\circ$ относительно оси излучения ($10...60^\circ$ относительно поверхности свариваемого стыка).

Отметим, что приведенная на рис. 6 конструкция сканирования линзы (фокуса излучения) рассмотрена в качестве примера как один из возможных вариантов. Возможны и другие варианты выполнения конструкции такого сканатора. Например, возвратно-поступательное движение линзы вдоль оси излучения может осуществляться с применением пьезодвигателей или кулачков-эксцентриков, приводимых во вращение двигателями постоянного тока.

Действие предложенного устройства происходит следующим образом (см. рис. 6). Лазерное излучение 1 с помощью линзы 2 фокусируется на линии стыка свариваемых деталей с нужным заглублением ΔF фокальной плоскости линзы относительно поверхности свариваемых деталей. После подачи на соленоиды 6 и 7 электрического сигнала с помощью устройства управления 14

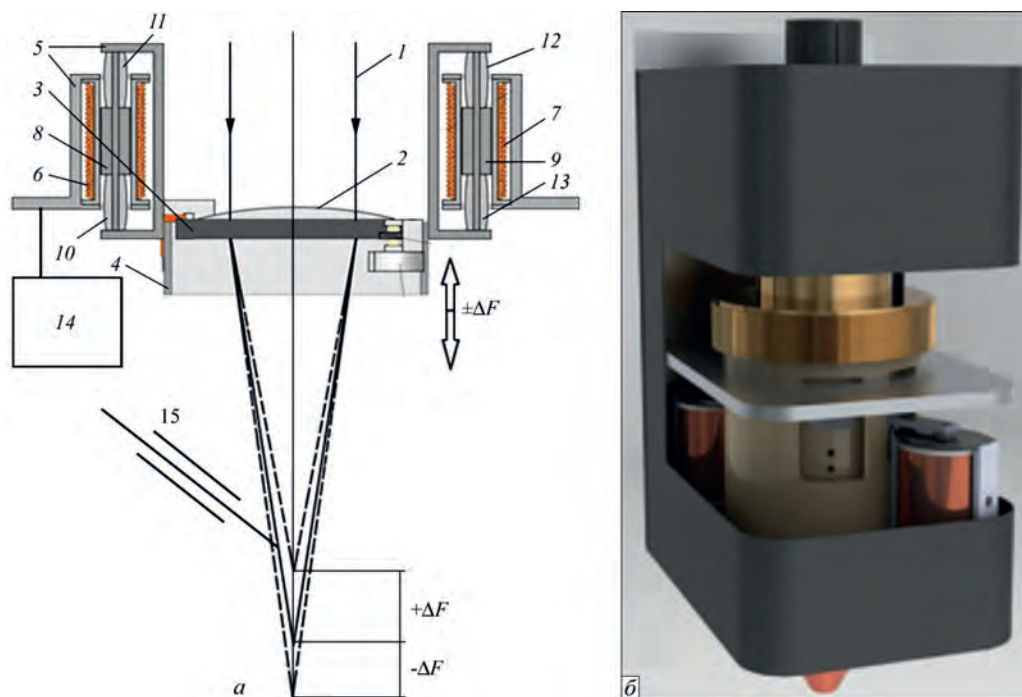


Рис. 6. Схема конструкции (а) и общий вид (б) головки для лазерной и гибридной лазер-MIG сварки с системой возвратно-поступательного перемещения (сканирования) фокуса ($\pm\Delta F$) вдоль оси излучения (обозначения см. в тексте)

якоря 8 и 9 обеспечивают вертикальные возвратно-поступательные перемещения оправки 4 с корпусом 3 фокусирующей линзы 2 с частотой $f = 0 \dots 100$ Гц и амплитудой $A = \pm(0 \dots 5)$ мм, что обеспечивает соответствующие вертикальные колебания фокуса. При этом резиновые прокладки 10–13 смягчают и тормозят движение якорей.

После начала вертикальных колебаний фокуса лазерного излучения 1 при помощи механизма подачи проволоки приводится в движение электродная проволока, электрический контакт которой с положительным потенциалом дугового источника питания осуществляется при помощи мундштука 15. После касания электродной проволоки со свариваемой деталью, находящейся под отрицательным потенциалом источника, возникает электрическая дуга, которая «привязывается» к колеблющемуся фокусу и также получает возможность совершать колебательные движения. В случае сварки в нижнем положении — это вертикальные колебания. После этого начинается процесс гибридной лазер-MIG сварки, при которой за счет вертикального сканирования фокуса с определенными частотой и амплитудой достигается эффект увеличения глубины провара без увеличения мощности лазерного излучения, а также эффекты более равномерного легирования сварного шва по всей высоте металлом электродной проволоки и устранения образования внутренних пор за счет улучшения условий всплытия на поверхность сварочной ванны газовых пузырьков.

Таким образом, описанное техническое решение изготовления головки для лазер-MIG сварки со сканированием фокуса вдоль оси лазерного излучения обе-

спечивает новые технологические возможности. Более полно эти возможности могут раскрыться при повышении частоты сканирования фокуса, например, при сварке сталей — до оптимальных значений импульсного воздействия на сварочную ванну (как показано в работе [12]), либо до значений порядка 500 Гц. Такая частота воздействия на ванну расплава является пороговой, после которой металл ванны перестает реагировать на импульсные колебания. По нашему мнению, в перспективе достоинства предложенного оборудования и реализуемых при помощи него технологий гибридной сварки, по сравнению с обычной лазер-MIG сваркой, могут быть следующими:

- повышение глубины провара более чем в 2 раза без повышения мощности лазерного излучения;
- возможность сварки неплотно прилегающих кромок за счет колебаний дуги плавящегося электрода в процессе сварки;
- возможность повышения в 2 и более раз скорости сварки без повышения мощности излучения;
- возможность модификации термического цикла сварки, что способствует устранению образования нежелательных закалочных структур в швах;
- возможность более равномерного легирования сварного шва по всей высоте металлом электродной проволоки;
- снижение опасности возникновения внутренних пор в швах.

Проверку эффективности предлагаемого способа выполняли в ИЭС им. Е.О. Патона путем проведения необходимых экспериментов на созданном для этого роботизированном лабораторном стенде (рис. 7). Стенд состоял из антропоморфного робота-

манипулятора для перемещения интегрированной головки для лазер-MIG сварки, а также самой головки, механизма подачи электродной проволоки, систем электрического питания (включая источник питания MIG, обеспечивающий сварочный ток до 500 А), управления и подачи защитных газов. Интегрированная головка для гибридной лазер-MIG сварки состояла из системы фокусирования со сканированием фокуса вдоль оси лазерного излучения и MIG горелки. Система вертикального сканирования обеспечивала фокусировку излучения линзой с фокусным расстоянием $f = 300$ мм и вертикальные возвратно-поступательные колебания линзы с частотой $0...100$ Гц и амплитудой $\pm(0...5)$ мм. Испытания данного стенда проводили с использованием излучения дискового лазера модели TruDisc 10002 (фирмы TRUMPF) мощностью излучения до 10,0 кВт. При этом выполняли провары и стыковые швы в нижнем положении с использованием образцов размером $300 \times 100 \times \delta$ мм из сталей SM41B (09Mn2Si или 09Г2С) толщиной $\delta = 4...18$ мм, АН36 (А36) толщиной $\delta = 4...18$ мм, а также SUS304 (08X18H10) толщиной $\delta = 8...10$ мм с применением сварочных проволок сплошного сечения 08Mn2Si (Св-08Г2С) и 01Cr18Ni10 (Св-01X18H10) диаметром 1,2 мм (табл. 1).

В ходе экспериментов сравнивали результаты формирования швов при стыковой лазерно-дуговой сварке пластин указанных сталей, проводимой в нижнем положении как с вертикальным колебанием фокуса, так и без него. При этом частота

колебаний фокуса составляла 100 Гц, а амплитуду выбирали близкой к половине толщины свариваемых кромок. Сканирование фокуса осуществляли так, чтобы его заглубление относительно верха свариваемых пластин в верхнем положении составляло 1...2 мм. По результатам экспериментов был построен график зависимости толщины кромок свариваемых листов (глубины провара h) углеродистой стали от мощности лазерного излучения при сварке со скоростью порядка 80...90 м/ч, сварочном токе порядка 220...250 А и напряжении на дуге 22...24 В (рис. 8).

Испытания на статическую прочность проводили при помощи разрывной машины типа MTS Criterion 45.305 (с нагрузкой до 300 кН) на образцах типа XIII (XIIIa) (ГОСТ 6996–66), которые вырезали из сваренных встык пластин стали SUS304 толщиной $\delta = 10$ мм. Испытаниям на разрыв подвергли 3 группы образцов — сваренных способом лазер-MIG со сканированием и без сканирования фокуса, а также вырезанных из пластин основного металла. В каждую группу вошло по 3 образца, полученные результаты испытаний усреднили. Сварные образцы, в основном, рвались идентично — верхние примерно 3 мм по линии сплавления, далее через шов к противоположной зоне сплавления. Предел прочности образцов, сваренных без сканирования фокуса, составил 620...640 МПа, со сканированием — 630...650 МПа. Для основного металла предел прочности составил 640...660 МПа. Таким образом, прочность швов, полученных сваркой без сканирования, составила порядка 98...99 % относительно основного металла, а со сканированием — 99...100 %.

Для проведения металлографических исследований по стандартным методикам были подготовлены образцы поперечных сечений полученных швов, которые изучались при помощи оптического микроскопа «Neophot-32» при увеличениях до 1500 крат. В результате было установлено, что введение сканирования фокуса вдоль оси излучения улучшает формирование швов и повышает равномерность их легирования металлом электродной проволоки по высоте (рис. 9). Кроме того, уменьшается размер зерен дендритов литой зоны швов по сравнению с обычной гибридной лазер-MIG сваркой.

Можно предположить, что перегрев и увеличение объема переплавленного металла, а также повышение глубины провара в случае введения колебаний фокуса вдоль оси излучения при фиксированной мощности излучения приводят к улучшению поглощения лазерного излучения и увеличению эффективного КПД сварки. Погонная энергия лазерно-дуговой сварки при этом снижается примерно на 15...20 % (табл. 2). Проведенные эксперименты показали, что



Рис. 7. Внешний вид роботизированного лабораторного стенда для лазерно-дуговой сварки с колебаниями фокуса лазерного излучения

Таблица 1. Химический состав (мас. %) материалов свариваемых образцов и сварочных проволок

Материал	C	Si	Mn	Cr	Ni	Ti	Cu	S	P	Прочие
09Mn2Si	≤0,12	0,5...0,8	1,3...1,7	≤0,3	≤0,3	–	≤0,3	≤0,04	0,035	N≤0,008
АН36	≤0,18	≤0,5	0,9...1,6	–	–	–	–	0,035	0,035	–
SUS304	≤0,8	≤0,8	≤0,2	17...19	9...11	≤0,5	≤0,3	0,02	0,035	–
Проволока 08Mn2Si	0,05...0,11	0,70...0,95	1,8...2,1	0,20	0,25	–	–	0,025	0,030	–
Проволока 01Cr18Ni10	0,02	0,4	1,0...2,0	17,0...19,0	9,5...11,0	–	–	0,02	0,02	–

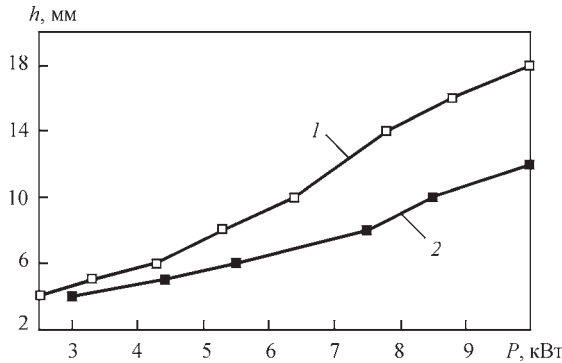


Рис. 8. Зависимость глубины провара h от мощности излучения P при лазер-MIG сварке со сканированием фокуса ($f = 100$ Гц, $A = 3$ мм) вдоль оси излучения (кривая 1) и без сканирования (кривая 2)

применение вертикальных колебаний фокуса позволяет увеличивать глубину провара на 20...50 % без увеличения мощности излучения. Эффект увеличения глубины провара за счет сканирования фокуса излучения становится заметен на толщинах свыше 4...5 мм и сказывается тем больше, чем толще свариваемые кромок. Это делает возможным лазерную и гибридную сварку кромок металлических деталей значительных (до 10 и до 18 мм, соответственно) толщин с минимальными затратами мощности лазерного излучения (например, до 6,0 кВт).

Выводы

1. Новый подход к лазерной и лазерно-дуговой сварке, заключающийся в дополнении существующих технологических схем процессов сканированием фокуса вдоль оси лазерного излучения с определенными частотой и амплитудой, позволяет повышать интенсивность течений расплава в сварочной ванне (в том числе в вертикальном направлении) и дополнительно модифицировать термический цикл сварки, что повышает однородность распределения легирующих добавок по высоте шва, минимизирует опасность образования внутренних пор и одновременно с этим на 20...50 % повышает производительность процесса и снижает его погонную энергию не менее, чем на 15...20 %.

2. Повышение производительности лазерной и лазерно-дуговой сварки может заключаться либо в увеличении скорости процесса, либо в возможности сварки кромок большей толщины без повышения погонной энергии. При этом эффект увеличения глубины провара за счет сканирования фокуса излучения становится заметен на толщинах свыше 4...5 мм и сказывается тем больше, чем толще свариваемые кромок.

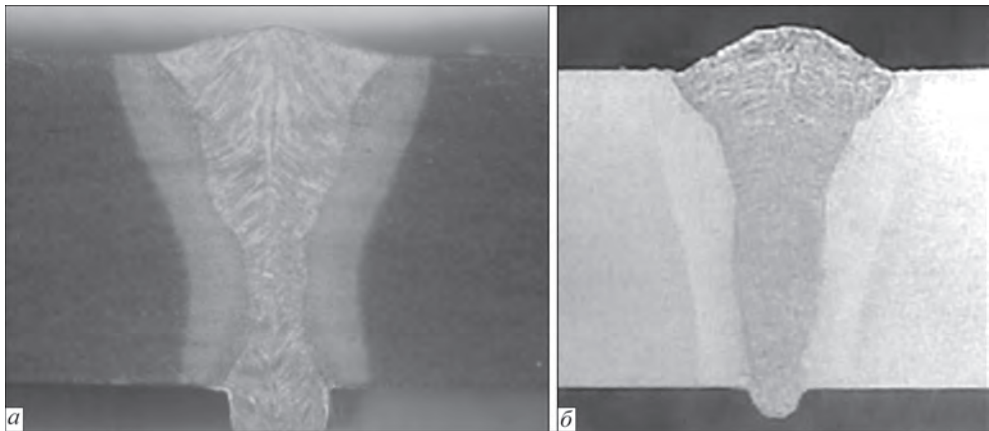


Рис. 9. Качественные соединения высокопрочной стали толщиной 10 мм (а) и коррозионностойкой стали SUS304 толщиной 8 мм (б), выполненные с использованием сканирования фокуса вдоль оси излучения при гибридной лазер-MIG сварке

Таблица 2. Изменение погонной энергии лазер-MIG сварки в зависимости от толщины свариваемых кромок

Погонная энергия E , кДж/м	Толщина свариваемых кромок δ , мм								
	4	5	6	8	10	12	14	16	18
Без сканирования	320...330	390...400	440...450	520...540	570...590	640...650	–	–	–
Со сканированием	300...320	340...360	390...410	430...450	480...500	510...530	550...560	590...610	650...670

3. Механические испытания показали, что предел прочности соединений коррозионнотойкой стали, получаемых методом лазерно-дуговой сварки со сканированием фокуса вдоль оси излучения, примерно соответствует прочности основного металла. Металлографические исследования показали улучшение формирования швов, повышение равномерности их легирования металлом электродной проволоки по высоте, уменьшение размера зерен дендритов литой зоны швов по сравнению с обычной гибридной лазер-MIG сваркой.

4. Для повышения эффективности предложенного подхода к лазерной и лазерно-дуговой сварке целесообразно оптимизировать частоту и амплитуду сканирования фокуса вдоль оси лазерного излучения.

Примечание. Работа выполнялась в рамках проекта №2018GDASX-0803 «Research and development of laser and plasma technologies for hybrid welding and cutting (Научно-исследовательские разработки лазерных и плазменных технологий гибридной сварки и резки)», Guangzhou, China.

Список литературы/References

1. Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н. (1988) *Лазерная техника и технология*. Григорьянц А.Г. (ред.). В 7 кн. Кн. 5. Лазерная сварка металлов. Учеб. пособие для вузов. Москва, Высшая школа.
2. Введеннов А.А., Гладуш Г.Г., Явочкин А.Н. (1983) О механизме поддержания лазерным лучом глубокого парового канала в жидкости. *Прикладная механика и техн. физика*, 1, 48–51.
3. Vvedenov, A.A., Gladush, G.G., Yavokhin, A.N. (1983) On mechanism of maintain of deep key hole in liquid using laser beam. *PMTF*, 1 48–41 [in Russian].
4. Oikawa M., Minamida K., Yoshida Y., Suzuki N. (2004) Development of All Laser Welded Honeycomb Structure for Civil Transports. *Nippon Steel Technical Report*, 89, January, 96–101.
5. Shelyagin V.D., Khaskin V.Yu. (2002) Tendencies in development of laser-arc welding (Review). *The Paton Welding J.*, 6, 25–28.
6. Shelyagin V.D., Khaskin V.Yu., Garashchuk V.P. et al. (2002) Hybrid CO₂-laser and CO₂ consumable-arc welding. *Ibid.*, 10, 35–37.
7. Engström, H., Nilsson, K., Flinkfeldt, J. et al. (2001) Laser hybrid welding of high strength steels. In: *ICALEO 2001, 20th Int. Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics (October 15–18, 2001, Jacksonville, Florida, USA)*. Ed. Xiangli Chen: Laser Institute of America, 2001, 125–134.
8. Unt A., Poutiainen I., Salminen A. (2015) Influence of Filler Wire Feed Rate in Laser-Arc Hybrid Welding of T-butt Joint in Shipbuilding Steel with different optical setups. *Physics Procedia*, 78, 45–52.
9. Frostevarga J., Kaplan A. F.H. (2014) Undercuts in Laser Arc Hybrid Welding. *Ibid.*, 56, 663–672.
10. Alam Md. M. (2009) *A study of the fatigue behaviour of laser and hybrid laser welds* (Licentiate thesis). Luleå, Luleå tekniska universitet, 133.
11. Krivtsun I.V., Khaskin V.Yu., Korzhik V.N., Ziyi Luo (2015) Industrial application of hybrid laser-arc welding (Review). *The Paton Welding J.*, 7, 41–46.
12. Голубев В.С. (2009) Гидродинамические явления при лазерной сварке с каналированным проникновением излучения. *Глубокое каналирование и филаментация мощного лазерного излучения в веществе*. Панченко В.Я. (ред.). Москва, Интерконтакт Наука, сс. 35–63.
13. Golubev, V.S. (2009) Hydrodynamic phenomena in laser welding with channeling penetration of radiation. *Deep channeling and filamentation of power laser radiation in substance*. Ed. by V.Ya. Panchenko. Moscow, Intercontact Nauka, 35–63 [in Russian].
14. Khaskin V.Yu., Pavlovsky S.Yu., Garashchuk V.P. et al. (2001) Peculiarities of welding thin-sheet low-carbon steels using a pulsed-periodic radiation of CO₂-laser. *The Paton Welding J.*, 2, 42–46.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЛАЗЕРНОГО ЗВАРЮВАННЯ ШЛЯХОМ ЗВОРОТНО-ПОСТУПАЛЬНОГО ПЕРЕМІЩЕННЯ ФОКУСА

В.Ю. Хаскін², В.М. Коржик^{1,2}, Ч. Донг², Є.В. Ілляшенко¹

¹ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11.

E-mail: office@paton.kiev.ua

²Китайсько-український інститут зварювання ім. Є.О. Патона, Гуанчжоу, КНР

Робота присвячена оцінці впливу сканування фокуса лінзи уздовж осі лазерного випромінювання при лазерному та лазерно-дуговому зварюванні на зварювально-технологічні властивості процесів та фізико-механічні характеристики металу швів з'єднань низьколегованої та високолегованої сталі. Відзначено, що ефективність зварювальних процесів при цьому може бути підвищена шляхом оптимізації частоти та амплітуди сканування фокуса. Бібліогр. 12, табл. 2, рис. 9.

Ключові слова: лазерне зварювання, гібридне лазер-MIG зварювання, вуглецева сталь, нержавіюча сталь, технологічні експерименти, погонна енергія.

IMPROVEMENT OF THE EFFECTIVENESS OF LASER WELDING PROCESSES BY RECIPROCATING MOVEMENT OF THE FOCUS

V.Yu. Khaskin², V.M. Korzhyk^{1,2}, Ch. Dong², E.V. Illyashenko¹

¹E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine, 11 Kazymyr Malevych Str., 03150, Kyiv, Ukraine.

E-mail: office@paton.kiev.ua

²Guangdong Institute of Welding (China-Ukraine E.O. Paton Institute of Welding). 363 Chiansin Str., 510650, Guangzhou, Tianhe. E-mail: wuby@gwi.gd.cn

The work is devoted to evaluation of the impact of lens focus scanning along the laser radiation axis in laser and laser-arc welding on welding-technological properties of the processes and physico-mechanical characteristics of weld metal in joints of low-alloyed and high-alloyed steels. It is noted that the effectiveness of welding processes here can be increased by optimization of focus frequency and amplitude. 12 Ref., 2 Tabl., 9 Fig.

Keywords: laser welding, hybrid laser-MIG welding, carbon steel, stainless steel, technological experiment, rate of energy input

Надійшла до редакції 21.10.2019