

А.Ю. Шишов, Р.С. Третьяков,
Е.С. Третьяков, А.Я. Ставертий

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИИ ЛАЗЕРНО-ПЛАЗМЕННОЙ СВАРКИ ИЗДЕЛИЙ БОЛЬШИХ ТОЛЩИН В СУДОСТРОЕНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОРОШКОВОГО ПРИСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА

Рассмотрены вопросы повышения эффективности лазерной сварки изделий, имеющих большую толщину, с помощью применения технологии гибридной лазерно-плазменной сварки. Совместное использование лазерного луча и плазменного источника в сочетании с порошковым присадочным материалом позволяет повысить производительность процесса, снизить уровень требований к точности сборки свариваемых заготовок, а также регулировать скорость охлаждения в диапазоне значений температуры фазовых и структурных превращений. При этом можно достичь более высоких значений механической прочности по сравнению со значениями прочности, получаемыми при однолучевой, дуговой и дуговой сварке.

**E-mail: alexweld75@gmail.com, tretgenya@yahoo.com,
tretyakov.roman@gmail.com, mt12.anton@gmail.com**

Ключевые слова: гибридная лазерно-плазменная сварка, порошковый присадочный материал, дуговая лазерная сварка, дуговая сварка.

Введение. В настоящее время для сварки различных изделий больших толщин (до 40 мм) сталей перлитного класса (например, 10ХСНД) в судостроительной промышленности широко используются процессы механизированной и автоматической дуговой сварки под слоем флюса (АДСФ) и в среде защитных газов. Ввиду особенностей такого способа и большой жидкой прослойки сварочной ванны сваривать эти изделия в других пространственных положениях путем АДСФ невозможно. Сварка плавящимся электродом в среде защитных газов в данном случае вполне применима, однако обладает низкой производительностью, сварные соединения и свариваемые корпусные конструкции за счет низкой концентрации тепловой энергии при дуговых процессах имеют высокий уровень внутренних деформаций и напряжений.

Для устранения указанных недостатков на ведущих предприятиях судостроительной промышленности применяется лазерная сварка, которая существенно повышает производительность процесса и снижает негативное влияние деформаций и внутренних напряжений за счет высокой концентрации энергии в сфокусированном пятне лазерного луча и, как результат, локальности воздействия на материал.

Несмотря на перечисленные преимущества, существуют недостатки, которые значительно ограничивают внедрение лазерных технологий:

— появление закалочных структур, снижающее пластические свойства, что выражается в низкой ударной вязкости и уменьшении прочности сварного шва при знакопеременных нагрузках;

— снижение эффективности процесса лазерной сварки в результате поглощения части излучения плазменным факелом. Это проявляется при сварке в среде аргона CO_2 -лазером на высоких мощностях, что приводит к ограничению свариваемых толщин;

— высокие требования к сборке заготовок с разделкой под сварку, вследствие чего затруднен переход от дуговой сварки к лазерной, так как требуется замена имеющегося сборочного оборудования.

Лазерная сварка была усовершенствована в направлении совмещения лазерного излучения с менее концентрированными и более дешевыми источниками теплоты, такими как сварочная дуга и др. Совместное использование источников теплоты дает возможность:

— повысить производительность процесса лазерной обработки за счет синергетического эффекта, суть которого заключается в том, что объем расплавленного металла при совместном действии двух или нескольких источников теплоты с некоторой суммарной мощностью существенно превышает объем металла, расплавленного каждым из источников с такой же мощностью, действующих по отдельности;

— снизить уровень требований к точности сборки свариваемых заготовок, что возможно за счет теплового расширения кромок, когда дополнительный источник теплоты находится перед основным источником;

— регулировать скорость охлаждения в диапазоне значений температуры фазовых и структурных превращений, что особенно важно при сварке закаливающихся сталей.

Следовательно, для решения задачи имеет смысл рассмотреть лазерно-гибридные технологии. В настоящее время наиболее широко используют лазерно-дуговые технологии, предусматривающие одновременное воздействие на обрабатываемое изделие лазерного излучения и электрической дуги [1].

Необходимо отметить, что, несмотря на достигнутые успехи, лазерно-дуговая сварка полностью не решает проблем, стоящих перед технологами. Особенно это ощущается при сварке изделий больших толщин из закаливающихся сталей. Эффективность процесса лазерно-дуговой сварки резко снижается с увеличением толщины свариваемого металла. В отличие от дугового источника теплоты, лазерный луч обладает высокой проникающей способностью (рис. 1, а). Это позволяет реализовать дополнительное тепловое воздействие в корневой части сварочной ванны на заднюю стенку парогазового канала, благодаря чему сварку больших толщин можно осуществить совмещением двух лазерных лучей. Таким образом, использование гибридных способов, предусматривающих совмещение двух или нескольких лазерных лучей, для сварки деталей больших толщин (для сталей толщиной более 15 мм) имеет определенные перспективы.

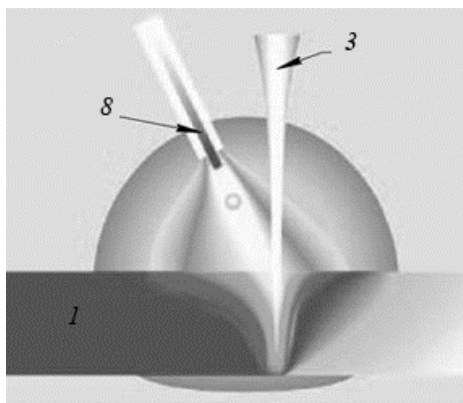
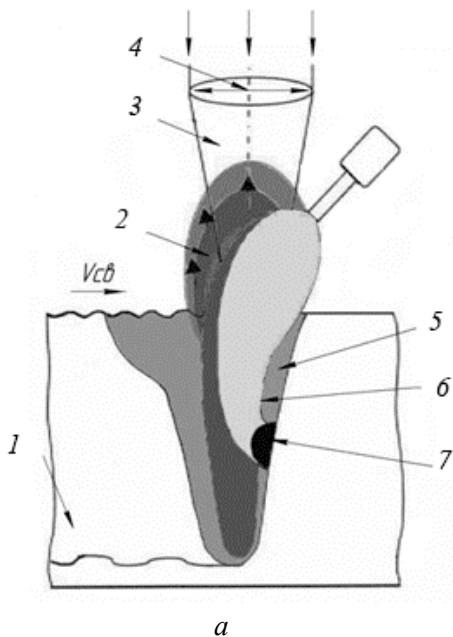


Рис. 1. Схема гибридного лазерно-дугового процесса с использованием аргонодуговой сварки неплавящимся (а) и плавящимся (б) электродом в защитных газах [2, 3]:

1 — сварной шов; 2 — лазерная плазма; 3 — лазерное излучение; 4 — фокусирующая линза; 5 — жидкая фаза расплава; 6 — парогазовый канал; 7 — анодное пятно; 8 — плавящийся электрод

В рамках данной статьи была определена возможность использования лазерно-дуговых технологий для сварки корпусов судов. На основании проведенных исследований современного состояния технологий выявлено, что технология лазерно-дуговой сварки металлов больших толщин плавящимся электродом с использованием мощных волоконных лазеров позволяет повысить качество производства и увеличить производительность процесса сварки. В большинстве случаев в качестве присадочного материала применяется проволока сплошного сечения и порошковая проволока. Расплавление присадочного материала стало возможным за счет увеличенной проплавляющей способности при лазерно-дуговой сварке.

В результате анализа применяющихся технологий создаются технологии гибридной лазерно-плазменной сварки с коаксиальной подачей мелкодисперсного легированного присадочного порошка струей защитного газа, соосной с плазменной дугой. Подача присадочного порошка повышает эффективность расплавления основного и присадочного материала, а также заполняемость зазора между свариваемыми полосами. Использование плазменного источника позволяет, наряду со смягчением термического цикла обеспечить дополнительное перемешивание сварочной ванны, что способствует ее дегазации и снижению порообразования.

Для осуществления экспериментальных работ по гибридной технологии необходимо специализированное оборудование. Трудности подбора плазменного оборудования связаны с привязкой большинства производителей к отработанным технологиям. Поэтому предпочтение отдано водоохлаждаемым горелкам с остроконечным соплом.

Существует два вида применяемых плазмотронов. Это интегрированные плазмотроны прямого и косвенного действия. У плазмотронов прямого действия анодом является изделие, у косвенного – корпус плазмотрона. С помощью первого вида плазмотронов можно осуществлять процессы сварки, резки, наплавки, с помощью второго вида — процессы обработки диэлектрических материалов, закалка, нанесение покрытий и т. д.

В настоящее время рассматриваются так называемые интегрированные плазмотроны, у которых лазерный луч проходит через плазменную струю (рис. 1, б). Основные преимущества этих плазмотронов основаны на том, что лазерный луч, проходя через плазменную струю, значительно увеличивает температуру плазменного факела. В результате увеличивается электропроводность и, соответственно, концентрация электрической энергии в плазме и дуга становится более концентрированной. Указанные возможности большей концентрации плазменной дуги при прохождении лазерного луча также создают так называемый синергетический эффект и повышают эффективность проплавления этого источника. В результате два источника с некоторой мощностью, которые в отдельности не могут, например, проварить толщину в 2 мм, при соединении в равных долях и снижении суммарной мощности до того же значения имеют возможность проварить толщину до 3 мм за счет взаимного воздействия и увеличения эффективности каждого источника. При этом стоимость затраченной энергии будет ниже стоимости лазерного процесса.

При соответствующей конструкции плазмотрона перспективен метод нанесения покрытий с помощью лазерно-плазменных технологий.

Существует несколько схем реализации гибридной лазерно-плазменной сварки. Под плазменной сваркой понимается сварка лазерным излучением совместно со сжатым дуговым разрядом с интенсивным плазмообразованием. В работе [4] проведен обзор такой технологии и рассмотрено ее развитие в хронологическом порядке, а также отмечена перспективность этих процессов. Целесообразно выделить две схемы реализации:

- 1) лазерно-плазменная сварка с применением интегрированных плазмотронов;
- 2) последовательная лазерно-плазменная сварка.

Лазерно-плазменная сварка с применением интегрированных плазмотронов. Идея такого способа сварки не нова, однако до сих пор не исчерпала своего потенциала. Схем реализаций и конструктивных решений процесса достаточно много (рис. 2, а). В результате совместного воздействия лазерного луча и плазменной струи при образовании сварочной ванны пространственная стабилизация пятна дуги на

поверхности металла улучшается, и устойчивость ее горения при малых значениях тока и больших скоростях перемещения повышается. Вместе с тем, нагрев металла плазмой приводит к локальному увеличению температуры в зоне нагрева, изменению оптических свойств поверхности и, как следствие, к увеличению коэффициента поглощения лазерного излучения [5]. Указанный способ также характеризуется достаточно сложной и громоздкой конструкцией плазмотрона, что нежелательно, особенно применительно к рассматриваемой задаче в условиях сварки с разделкой кромок и соответственно, с присадочным материалом.

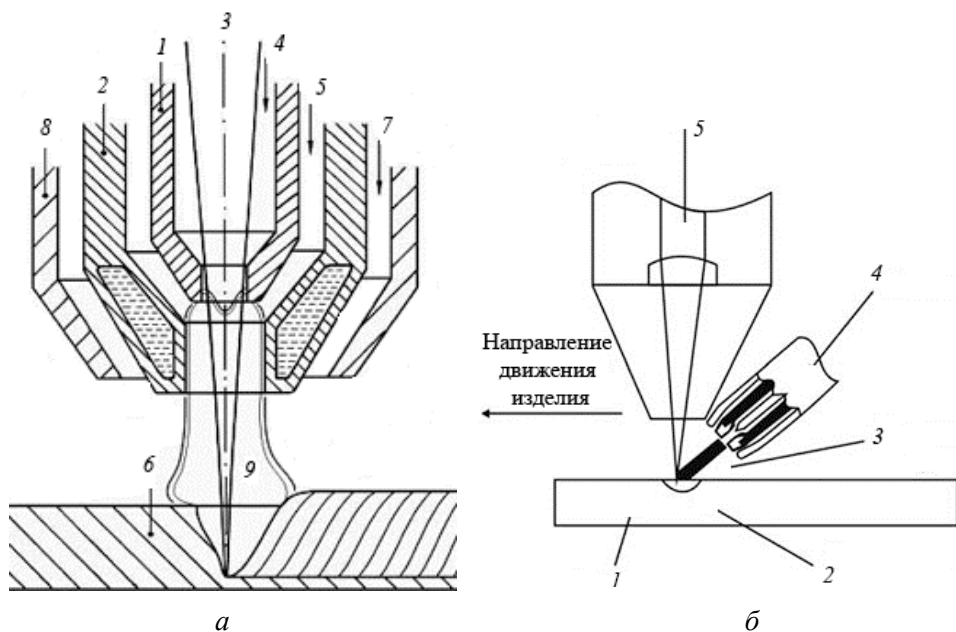


Рис. 2. Схемы процессов сварки [4, 7]:

а — лазерно-плазменной сварки с применением интегрированных плазмотронов (1 — тугоплавкий трубчатый катод; 2 — водоохлаждаемое плазмоформирующее сопло; 3 — сфокусированный лазерный пучок; 4, 5 — плазмообразующий газ; 6 — изделие (анод); 7 — защитный газ; 8 — сопло для подачи защитного газа; 9 — лазерно-дуговой разряд [4]); *б* — последовательной лазерно-плазменной сварки (1 — изделие; 2 — сварочная ванна; 3 — плазменная дуга; 4 — плазмотрон; 5 — лазерный пучок)

Последовательная лазерно-плазменная сварка была предложена лишь в 1990-е годы. [6]. В отличие от рассмотренного выше способа, согласно которому лазерный луч и плазменная дуга соосны, в данном случае ось лазерного луча и ось плазменной горелки разведены и могут быть направлены под углом друг к другу (рис. 2, б). При этой схеме проще реализовать подачу присадочного материала, чем при схеме сварки с применением интегрированных плазмотронов [8, 9].

Такой способ сварки обладает следующими преимуществами по сравнению с остальными перечисленными способами сварки, но требует более детальной проработки:

— высокая производительность сварки корневого слоя за счет лазерного луча;

— высокая производительность наплавки присадочного материала за счет плазменной струи;

— независимость плазменной дуги от лазерного луча;

— сварка в различных пространственных положениях;

— широкие возможности регулирования процесса.

К недостаткам можно отнести сложность совместного подвода источников в зону сварки и равномерной подачи присадочного материала в различных пространственных положениях. Поэтому целесообразно опробовать плазменный источник теплоты косвенного действия.

Выводы. Наиболее подходящей для сварки больших толщин в различных пространственных положениях является гибридная последовательная лазерно-плазменная сварка. В комбинации с присадочным материалом в виде порошка этот процесс оптимально подходит для сварки заготовок с разделкой кромок в один проход.

При сварке в нижнем положении эта технология не уступает в производительности дуговым процессам, а при сварке в других пространственных положениях дает большую производительность, чем другие виды сварки. Однако информации о рассмотренной технологии крайне мало, в связи с чем она требует глубокой проработки, что и будет осуществлено в дальнейших исследованиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Roeske C., Liu S. Hybrid Laser Arc Welding of HY-80 Steel // Supplement to the Welding Journal, August 2009.
2. Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Чирков А.М. Гибридные технологии лазерной сварки. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. — 52 с.
3. Пауль К., Ридель Ф. Гибридная лазерная сварка — объединяя усилия // Фотоника. 2009. № 1. — С. 2—5.
4. Кривцун И.В. Гибридные лазерно-дуговые процессы сварки и обработки материалов: Дис. ... д-ра техн. наук. — Киев, 2002. — 393 с.
5. Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Мисюров А.И. Технологические процессы лазерной обработки / Под ред. А.Г. Григорьянца. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. — 664 с.
6. Кривцун И.В. Гибридные лазерно-плазменные процессы сварки и обработки материалов. — Киев: Институт электросварки им. О.Е. Патона НАНУ.
7. Walduck R.P., Biffin J. Plasma Arc Augmented Laser Welding // Welding and Metal Fabrication. 1994. Vol. 62. No. 4. — P. 172—176.
8. Swanson P.T., Page C.J., Read E., Wu H.Z. Plasma Augmented Laser Welding of 6 mm Steel Plate // Science and Technology of Welding and Joining. 2007. Vol. 12. — P. 153—160.
9. Григорьянц А.Г., Грезев А.Н., Мисюров А.И., Грезев Н.В. Перспективы совмещения лазерных лучей для сварки изделий больших толщин // Журнал «Технология машиностроения».

Статья поступила в редакцию 11.09.2012