

**Ключевые слова:**

трубы, сварка, лазер, лазерная сварка, прочность, сварной шов, лазерная наплавка, лазерная резка

Keywords:

pipes, welding, laser, laser welding, strength, weld, laser surfacing, laser cutting

РАЗРАБОТКА ЛАЗЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

**Анатолий ГРЕЗЕВ, Виталий ГРЕЗЕВ,
Анатолий СУХОВ, Сергей ШАНЧУРОВ, Михаил МАЛЫШ**

Проведены исследования по разработке технологий лазерной сварки, наплавки и резки для нефтегазовой отрасли. Разработана технология комбинированной лазерной сварки несколькими лазерными лучами, что позволяет регулировать объем сварочной ванны. Предлагается вместо дуговой сварки стыков трубопровода в полевых условиях использовать разработанный автоматизированный мобильный комплекс для лазерной сварки.

The article describes the studies on the development of technology of laser welding, surfacing and cutting for oil and gas industry. The technology of combined laser welding with multiple laser beams is developed that allows you to adjust the volume of the weld pool. Instead of arc welding of pipe joints in the field it is proposed to use the designed automated mobile system for laser welding.

Основной технологией, которую применяют в настоящее время для изготовления труб для газовой и нефтепроводов, является автоматическая дуговая сварка под флюсом, которая обеспечивает высокое качество и прочность сварных соединений. Однако данная технология имеет ряд недостатков. С появлением мощных технологических лазеров Институт проблем лазерных и информационных технологий РАН (далее — ИПЛИТ РАН) совместно с ВНИИСТ, ВНИИГаз и трубными заводами провели исследования по разработке технологии лазерной сварки труб [1–3]. В частности, проведено внедрение технологии лазерной сварки труб из нержавеющей сталей на Новомосковском трубном заводе. Лазерная сварка позволила обеспечить свойства сварных швов труб по всем показателям на уровне основного металла и увеличить производительность сварки в три раза. Исследования лазерной сварки нержавеющей сталей аустенитного класса показали возможность увеличения производительности в 10–15 раз. Впервые была разработана и установлена на трубный стан система наведения лазерного излучения на свариваемый стык с точностью $\pm 0,05$ мм, имеющая

металлооптические объективы с высоким сроком эксплуатации.

Одновременно проводились исследования лазерной сварки сталей, применяемых в производстве газонефтепроводных труб. Лазерные сварные соединения на всех исследуемых сталях показали равнопрочность с основным металлом. Однако твердость сварного шва и зоны термического влияния (ЗТВ) превышала нормативный показатель ($HV \leq 260$). Это связано с тем, что при лазерной сварке имеет место слишком жесткий термический цикл сварки: высокие скорости нагрева и охлаждения металла шва, в результате чего сварной шов приобретает закалочные структуры и, как следствие, металл шва имеет высокую твердость.

Результатом совместных исследований ИПЛИТ РАН с Челябинским трубопрокатным заводом (ЧТПЗ) и Волжским трубным заводом (ВТЗ) явилась разработка технологии комбинированной лазерной сварки (КЛС). Суть технологии заключается в воздействии на жидкую ванну расплава несколькими лазерными лучами, что позволяет регулировать объем жидкой ванны расплава. В результате появляется возможность задавать

нужные скорости нагрева и охлаждения металла и получать необходимую структуру металла шва, при этом не снижаются преимущества лазерной сварки: высокая скорость, малая ЗТВ, большая глубина провара («кинжалность») – что обеспечивает сварку за один проход больших толщин, отсутствие необходимости разделки кромок.

В ИПЛИТ РАН были проведены исследования технологии КЛС на трубных сталях (14ГБШ, 08ГФБА и др.), часть исследований проведены в лабораториях ЧТПЗ и ВТЗ. Была выполнена сварка труб размером 530×2000×8 мм, которые затем прошли испытание на гидравлический разрыв (давление разрыва составило 203 кгс/мм²).

Исследования показали:

1. КЛС не ограничивает вводимую мощность в изделие, как это происходит при обычной лазерной сварке (из-за появления экранирующего плазменного пробоя, который экранирует лазерное излучение), что позволяет использовать оптоволоконные лазеры мощностью в несколько десятков киловатт и значительно увеличить глубину провара (до 50 мм и более за один проход) (рис. 1, а);

2. увеличение ширины сварного шва происходит как в верхней части сварного шва, так и в нижней;

3. микротвердость сварного шва равномерна по всей глубине и на низколегированных трубных сталях не превышает 260HV10 (табл. 1).

Таблица 1. Исследование микротвердости сварного шва по Виккерсу (HV₁₀)

Номер шлифа	Сварной шов	ЗТВ	Основной металл
08ГФБА			
14	249, 245, 240	222, 219	202, 198
15	249, 247, 243	221, 221	198, 201
16	249, 247, 243	216, 215	201, 203
среднее	246	219	201
09Г2СУ			
1	226 221 217	203 204	200
2	204 228 212	202 205	195
среднее	218	204	197

4. Ударная вязкость сварных соединений, выполненных КЛС, на порядок выше, чем при дуговой сварке под флюсом, также обеспечивается равнопрочность шва основному металлу;

5. КЛС с присадочной проволокой значительно снижает требования к сборке (при толщине изделия 50 мм зазор может составлять до 3 мм);

6. КЛС возможна в любых пространственных положениях, форма шва при этом значительно не меняется;

Технология КЛС отработана как на лазерах с длиной волны 10,6 мкм, так и на оптоволоконных лазерах с длиной волны 1,06 мкм (рис. 1, б).

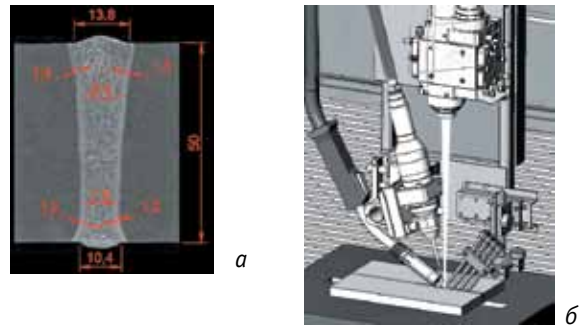


Рис. 1. Структура шва (а), выполненного КЛС, и схема процесса КЛС (б)

В настоящее время при строительстве газопроводов сварку стыка производят в основном ручной дуговой сваркой. Длительность сварки, выполняемой двумя, а иногда тремя сварщиками, составляет около суток.

Предлагается вместо дуговой сварки использовать разработанный автоматизированный мобильный комплекс (рис. 2, а) и модуль (рис. 3, б) для лазерной сварки стыков трубопровода в полевых условиях. Центровку труб при сборке осуществляют при помощи специального устройства.

Основные технические характеристики автоматизированного мобильного комплекса:

- Тип лазера иттербиевый волоконный
 - Мощность излучения, кВт. 45–50
 - Диаметр свариваемых труб, мм 1420
 - Толщина стенки трубы, мм 15–30
 - Скорость сварки, м/мин. 3–6
 - Тип автотранспорта. на гусеничном ходу
 - Грузоподъемность, кг 10 000
 - Дизель-генератор: мощность, кВт 500
- Модуль можно устанавливать на специализированный мобильный комплекс, на палубу корабля и т.д.

Основными преимуществами технологии лазерной сварки стыков трубопроводов являются:

- равнопрочность сварного соединения с основным металлом; малая (до 1 мм) ЗТВ сварного соединения;
- отсутствие остаточных напряжений;
- продолжительность сварки стыка трубопровода – не более 4 мин, при этом темпы строительства газопровода одним комплексом составят до 1 км за 22 дня.

Другим направлением внедрения лазерных технологий в нефтегазовую промышленность является лазерная наплавка. ИПЛИТ РАН (ООО НПО «Лазерный технологический центр») поставил роботизированный лазерный комплекс на базе оптоволоконного лазера ЛС-3 для восстановления роторов газоперекачивающего оборудования (рис. 3, а). Лазерная наплавка позволяет выпол-

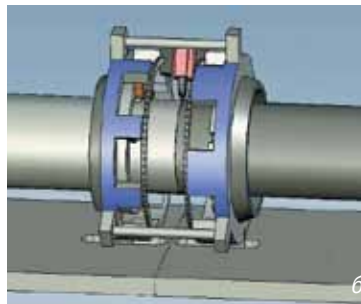


Рис. 2. Автоматизированный мобильный комплекс (а) и модуль для лазерной сварки стыков трубопроводов в полевых условиях (б)

нить полное восстановление вала, устранить сколы и кратеры.

Суть метода заключается в том, что на расплавленную лазером поверхность подается присадочный порошок, при этом происходит его плавление и перемешивание с основным металлом. Наплавленному слою, благодаря высокой скорости нагрева и охлаждения, а также присутствию легирующих элементов в присадочном материале, задаются необходимые прочностные характеристики. При этом изделие не изменяет своих геометрических параметров. Погрешность составляет 0,2 мм.

Данный метод наплавки можно использовать не только для восстановления валов, но и для более сложных объемных изделий, например, лопаток турбин (рис. 3, б). Ряд западных компаний предлагают подобное оборудование. Следует отметить, что данный метод позволяет производить восстановление поврежденных газотурбинных лопаток непосредственно на валу, что экономически рентабельно.

Одним из основных направлений эффективного применения лазерных технологий является лазерная резка деталей. Лазерная резка обладает рядом

преимуществ в сравнении с другими способами резки, основными из которых являются: возможность резки объемных изделий; высокая скорость и точность обработки и др. Примеры применения лазерной резки представлены на рис. 4, 5.



Рис. 4. Примеры лазерной перфорации труб с толщиной стенки 2 мм

Установлено, что при лазерной резке корпусных перфорационных систем и днища нефтеперегонного аппарата обеспечивается высокое качество кромок, не требующее последующей дополнительной обработки. При этом, изменения структуры металла в зоне термического влияния не оказывают влияния на механические свойства и коррозионную стойкость кромок, обеспечивается их высокое качество, не требующее последующей дополнительной обработки. Также установлено, что не происходит формирования структур, склонных к образованию трещин.

Освоено производство изделий, в том числе прямоугольных сварных труб, из титановых сплавов с применением лазерной объемной резки и сварки (рис. б).



Рис. 3. Процесс восстановления лазерной наплавкой ротора газоперекачивающего оборудования (а) и газотурбинных лопаток (б)

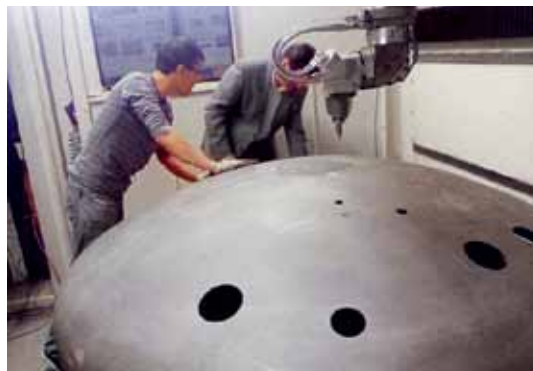


Рис. 5. 3D-лазерная вырезка отверстий в днище нефтеперегонного аппарата диаметром 1900 мм и высотой около 500 мм



Рис. 6.
Лазерная сварка балок
из титановых сплавов

Исследовано влияние лазерной сварки на механические свойства и структуру сварного соединения титанового сплава ПТЗ-В. Исследование показало хорошую свариваемость соединений, полученных лазерной сваркой. Установлено, что механические свойства сварного соединения близки к основному металлу — разрушение образцов при испытаниях на растяжение происходило по основному металлу. Микроструктура соединения, сваренного лазером, представляет равномерный по микротвердости переход от глобулярного мелкозернистого металла, состоящего из α -фазы, к более крупнозернистой структуре металла шва, состоящей из колоний пластинчатой α -фазы с узкой переходной зоной, при отсутствии заметных пор, раковин или микротрещин.

Разработаны технологии 3D-лазерной обработки титановых сплавов, позволившие снизить деформации крупногабаритных изделий в 7–8 раз и обеспечить высокое качество сварных соединений толщиной 3–5 мм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грезев А.Н. Разработка физико-технологических основ лазерной сварки конструкционных сталей мощными CO_2 -лазерами.: Дисс. докт. техн. наук. М.: ИПЛИТ РАН, 2006. 383 с.
2. Грезев А.Н., Романцов Н.А., Горицкий В.Н. Натурные испытания нефтегазопроводных труб диаметром 530 мм, сваренных лучом лазера // Черная металлургия. 2004. № 9. С. 40–44.
3. Grezev A., Suhov A., Shanchurov S. Developmen and industrial application of laser technologies. The Eights International Conference on Material Technologies and Modeling MMT-2014, University of Ariel, July 28 – August 01, 2014. Ariel, Israel, P. 1-53–1-60.

Анатолий Николаевич ГРЕЗЕВ —

доктор технических наук,
ООО «Лазерный технологический центр», г. Шатура

Виталий Анатольевич ГРЕЗЕВ —

ООО «Лазерный технологический центр», г. Шатура

Анатолий Георгиевич СУХОВ —

кандидат технических наук, ЗАО «Региональный
центр лазерных технологий», г. Екатеринбург

Сергей Михайлович ШАНЧУРОВ —

ЗАО «Региональный центр лазерных технологий»,
г. Екатеринбург

Михаил Михайлович МАЛЫШ —

ЗАО «Региональный центр лазерных технологий»,
г. Екатеринбург

Второй международный российско-швейцарский форум «День инноваций»

Самара, 2 июня 2016 года

Главная задача форума — развитие многостороннего сотрудничества между Швейцарией и Россией в области инноваций по таким направлениям, как экология и переработка промышленных и бытовых отходов; фармацевтика и медицинская техника; образование и научное сотрудничество, включая совместные научные разработки и их внедрение в производство; деятельность малых и средних инновационных компаний.

В этом году в роли участников форума выступают главы ряда субъектов Российской Федерации, представители органов власти кантонов Швейцарии, Государственной думы Российской Федерации и Парламента Швейцарской

Конфедерации,
Правительства
Российской

Федерации, ТПП Российской Федерации, руководители ведущих отраслевых предприятий Швейцарии и России. В рамках форума состоятся пленарное и секционные заседания, а также выставка современных промышленных технологий.



С более подробной программой
Форума Вы можете ознакомиться
<http://www.rsfi.ru/program/>