

УДК 621.6.05

DOI: 10.12737/article\_59353e29791d58.62855993

А.М. Семенцев

## ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ РИСКИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛАЗЕРНОЙ СВАРКИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ТРУБ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА

Рассмотрены проблемы, связанные с использованием лазерной сварки при производстве труб большого диаметра для магистральных газопроводов. Отмечены факторы, влияющие как на технические характеристики металла трубы и сварного соединения, так и на эксплуатационные показатели продукции. Рассмотрены преимущества примене-

ния лазерных технологий для получения продольного шва, трудности и возможные производственные риски.

**Ключевые слова:** качество шва, магистральные газопроводы, лазерная сварка, свариваемость, трубы большого диаметра.

А.М. Sementsev

## PRODUCTION RISKS AND PROSPECTS IN USE OF LASER WELDING AT MANUFACTURING LARGE DIAMETER PIPES

The paper deals with problems connected with the possibility of laser welding use at manufacturing large diameter pipes. Technical parameters of large diameter pipes which are to be ensured for their safe use in modern main gas pipelines are considered. The ways for the achievement of these parameters are shown, at that a particular role is assigned to ensuring longitudinal weld seam quality are shown. The factors

affecting both, technical parameters of basic pipe metal and a weld joint, and operation characteristics of produce are emphasized. There are shown advantages connected with the use of laser technologies for obtaining a longitudinal seam. Problems and possible production risks at laser welding fulfillment are considered.

**Key words:** weld seam, main gas pipelines, laser welding, weldability, large diameter pipeline.

Современное развитие нефте- и газопроводного транспорта требует значительного повышения эксплуатационной надежности используемого оборудования и, в первую очередь, труб большого диаметра – основных объектов магистральных трубопроводов. Спрос на трубную продукцию со стороны нефтегазового сектора диктуется в основном необходимостью нефтяных и газовых компаний обновлять устаревшую производственную инфраструктуру и строить новые трубопроводы для транспортировки постоянно увеличивающихся объемов потребляемых нефти и газа.

Освоение российскими нефтегазовыми компаниями новых месторождений сопровождается созданием трубопроводных систем, расположенных в сложных природно-климатических условиях. В последние годы в связи с реализацией ряда масштабных проектов, таких как строительство морских трубопроводов (Северный поток и Голубой поток), Восточного нефте-

провода (Восточная Сибирь – Тихий океан) и некоторых других, возникла объективная необходимость производства труб с повышенными показателями эксплуатационной надежности.

Следует заметить, что для эффективной и безопасной эксплуатации магистральных трубопроводов, в значительной степени определяющих надежность функционирования всей системы энергообеспечения страны, необходимо выполнение таких специфических требований, как:

– увеличение протяженности эксплуатационных участков трубопроводов;

– повышение давлений на выходе из насосных и компрессорных станций до 10 МПа для нефтепроводов и 15 МПа для газопроводов;

– обеспечение долговечности трубопроводов в соответствии со сроками эксплуатации месторождений.

В свою очередь, для обеспечения указанных требований необходимы разработка и освоение производства новых ви-

дов трубной продукции, отличающихся повышенными техническими показателями. Для труб большого диаметра такими показателями являются:

- класс прочности K65 и выше;
- толщина стенки труб более 30 мм;
- высокие показатели хладостойкости при температурах до минус 60 градусов;
- улучшенные химический состав, структура и чистота металла;
- повышенные вязкостно-пластические свойства;
- специальные показатели, определяющие ресурс и вероятность возникновения отказов.

Очевидно, что большинство перечисленных показателей во многом зависят от металлургического качества металла, которое, в свою очередь, определяется такими параметрами, как химический состав, микроструктура, макроструктура, свариваемость, механические свойства, анизотропия свойств, начальная дефектность, химическая и структурная неоднородности, формирующимися на всех этапах металлургического процесса, начиная с разливки стали и вплоть до ускоренного охлаждения горячекатаного листа на этапе чистовой прокатки.

Для труб большого диаметра важнейшим фактором, определяющим наряду со свойствами металла их эксплуатационную надежность, является качество сварного шва. При транспортировке агрессивной среды в сложных природных и климатических условиях возникает необходимость использования для изготовления труб специальных высоколегированных сталей. Это, с одной стороны, дает возможность значительно повысить стресс-коррозионную стойкость материала труб, их работоспособность при низких (высоких) температурах, стойкость к агрессивному воздействию окружающей среды, трещиностойкость, сопротивляемость неравномерным деформациям грунта и т.д. Однако, с другой стороны, применение таких сталей снижает качество сварного шва из-за пониженной свариваемости, что сводит к минимуму эффект от их использования.

Основной особенностью сварных соединений высоколегированных сталей (в частности аустенитных) является протекание в зоне термического влияния межкристаллитной коррозии. Для устранения этого негативного процесса сварку выполняют в среде защитных газов с помощью сложнелегированных электродов с защитной обмазкой или под специальным флюсом. Легирующие элементы электрода образуют неметаллические соединения в шве, препятствуя образованию карбидов хрома по границам зерен. Однако наличие неметаллических включений в зонах шва и термического влияния способствует появлению концентраторов напряжений, что в конечном итоге приводит к образованию дефектов на поверхности или внутри материала, существенно снижающих эксплуатационную надежность трубы, особенно в экстремальных условиях. Другой причиной появления вредных неметаллических включений в сварном шве является необходимость предварительной разделки кромок свариваемой трубной заготовки, что в конечном итоге определяет характер заполнения сварочной ванны расплавленным металлом изделия и электрода.

Одно из перспективных решений отмеченных проблем с целью получения качественных продольных швов труб большого диаметра, изготовленных из высоколегированных сталей, связано с использованием технологий (в том числе комбинированных) лазерной сварки [1 - 3]. За счет высокой концентрации энергии и малого пятна нагрева объем сварочной ванны при лазерной сварке незначительный. Снижение объема расплава и получение шва с большим отношением глубины проплавления к ширине уменьшает деформацию и напряжения в металле, а возможность совместного использования энергии лазерного излучения и сварочной дуги (при реализации технологий гибридной лазерно-дуговой сварки) позволяет при этом существенно повысить производительность обработки.

Небольшие размеры области воздействия лазерного излучения и высокая скорость охлаждения создают возможность получения качественного сварного шва

для практически не свариваемых классическими способами сварки материалов. Формируемая в процессе лазерной сварки мелкодисперсная структура оказывает решающее влияние на повышение технологической прочности соединения, т.е. сопротивляемости металла шва и околошовной зоны образованию горячих и холодных трещин [4], а также предупреждает развитие процессов разупрочнения и снижения коррозионной стойкости в зоне термического влияния. Изменение морфологии и качественного состава неметаллических включений [5; 6] в зоне шва и зоне термического влияния исключает возникновение концентраторов напряжений и способствует повышению сплошности соединения.

Вместе с этим необходимо отметить трудности, которые сопровождают разработку и внедрение технологий лазерной сварки труб большого диаметра.

Основной проблемой является отсутствие в стране налаженного промышленного производства специализированных лазерных установок большой мощности. Каждая такая установка уникальна, поэтому необходимо проведение значительного объема экспериментальных работ для определения оптимальных технологических схем сварки и параметров лазерного излучения, позволяющих обеспечивать стабильные показатели качества формируемых продольных швов труб.

Особенность назначения режимов лазерной сварки заключается в преимущественно опытным подборе соответствующих параметров. Имеющиеся в специальной литературе данные носят в большинстве случаев индивидуальный характер и позволяют с определенной долей уверенности определять лишь границы тех или иных характеристик лазерного излучения, в рамках которых гарантированно осуществляются соответствующие процессы. Наиболее трудоемкими и затратными при этом остаются исследования свойств материала, обработанного лазером. Однако именно результаты этих исследований позволяют в итоге оптимизировать параметры лазерной сварки.

Значительные трудности промышленной апробации рассматриваемого метода сварки связаны с необходимостью высокоточного позиционирования лазерного луча относительно линии сварки, а также свариваемых кромок относительно друг друга. Зазор между ними должен быть не более диаметра фокального пятна (несколько десятых долей миллиметра), что предъявляет дополнительные требования к подготовке свариваемых поверхностей (разделке кромок, очистке, точности взаимного расположения).

Следует обратить внимание на распределение энергии в фокальной плоскости, перед ней и за ней: плотность мощности лазерного излучения по всей толщине шва должна быть равномерной, исключая одновременное расплавление металла в одной области и нерасплавление или испарение в других областях по толщине шва. Отмеченная проблема неразрывно связана с рациональным использованием энергии лазерного излучения: лазерный луч должен поглощаться при минимально возможном отражении от обрабатываемых поверхностей, что позволяет снизить требуемую мощность лазера. Повышение эффективности использования энергии лазера достигается применением современных легконаносимых тонкослойных покрытий, повышающих коэффициент поглощения концентрированной световой энергии и не оказывающих негативного влияния на структуру и химический состав формируемого сварного шва.

Очевидно, что внедрение технологии лазерной сварки при производстве труб большого диаметра – сложный наукоемкий процесс, требующий комплексного решения физических, материаловедческих, технологических задач. Но в то же время, несмотря на все перечисленные проблемы применения, это, несомненно, перспективная технология, позволяющая осуществлять высокопрочные соединения трудносвариваемых или не свариваемых обычными способами материалов, что важно при переходе на новые виды стали при производстве труб повышенной эксплуатационной надежности.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Григорьянц, А.Г. Технологические процессы лазерной обработки / А.Г. Григорьянц, И.Н. Шиганов, А.И. Мисюров. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 664 с.
2. Туричин, Г.А. Гибридная лазерно-дуговая сварка металлов больших толщин / Г.А. Туричин, И.А. Цибульский, Е. А. Валдайцева [и др.] // Сварка и диагностика. – 2009. – № 3. – С.16 - 23.
3. Губайдулин, Е.Р. Некоторые особенности гибридной лазерно-дуговой сварки высокопрочных сталей большой толщины / Е.Р. Губайдулин, Г.Г. Чернышов // Сварка и диагностика. – 2009. – № 6. – С. 17-21.
4. Технология лазерной обработки конструкционных и инструментальных материалов в авиадвигателях

гательстроении / Р.Р. Латыпов, И.Г. Терегулов, А.М. Смыслов, А.В. Лобанов; под общ. ред. В.Ф. Безъязычного. – М.: Машиностроение, 2007. – 234 с.

5. Семенцев, А.М. Массоперенос легирующих элементов в технологических процессах лазерной обработки / А.М. Семенцев. – М.: Машиностроение-1, 2006. – 147 с.
6. Суслов, А.Г. Особенности модифицирования поверхностного слоя стальных деталей под воздействием лазерного излучения / А.Г. Суслов, И.В. Говоров, А.М. Семенцев // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2010. – № 7. – С. 37-42.

1. Grigoriyants, A.G. *Technological Processes of Laser Processing* / A.G. Grigoriyants, I.N. Shiganov, A.I. Misyurov. – M.: Publishing House of Bauman STU of Moscow, 2006. – pp. 664.
2. Turichin, G.A. Hybrid laser-arc thick metal welding / G.A. Turichin, I.A. Tsibulsky, E. A. Valdaitseva [et al.] // *Welding and Diagnostics*. – 2009. – № 3. – pp.16 - 23.
3. Gubaidulin, E.R. Some peculiarities in hybrid laser-arc welding of high-tensile thick steel / E.R. Gubaidulin, G.G. Chernyshov // *Welding and Diagnostics*. – 2009. – № 6. – pp. 17-21.
4. *Technology in Laser Processing of Constructional and Tool Materials in Aviation Engine Production /*

R.R. Latypov, I.G. Teregulov, A.M. Smyslov, A.V. Lobanov; under the general editorship of V.F. Bezizyachny. – M.: Mechanical Engineering, 2007. – pp. 234.

5. Sementsev, A.M. *Alloying Element Mass Transfer in Technological Processes of Laser Processing* / A.M. Sementsev. – M.: Mechanical Engineering-1, 2006. – pp. 147.
6. Syslov, A.G. Modification peculiarities of surface layer in steel parts under influence of laser radiation / A.G. Suslov, I.V. Govorov, A.M. Sementsev // *Hardening Technologies and Coatings*. – 2010. – № 7. – pp. 37-42.

Статья поступила в редколлегию 28.02.2017.

Рецензент: д.т.н., доцент

Говоров И.В.

## Сведения об авторах:

**Семенцев Александр Михайлович**, д.т.н., доцент, зам. директора Центра стандартизации и сертификации

**Sementsev Alexander Mikhailovich**, D. Eng., Assistant Prof., Deputy Director of Standardization and Certification Center of "Gasprom ARIGAS" Co. Ltd.,

кации ООО «Газпром ВНИИГАЗ», тел. 8-909-675-90-58, e-mail: [A\\_Sementsev@vniigaz.gazprom.ru](mailto:A_Sementsev@vniigaz.gazprom.ru).

Phone: 8-909-675-90-58, e-mail: [A\\_Sementsev@vniigaz.gazprom.ru](mailto:A_Sementsev@vniigaz.gazprom.ru).