

## **Повышение эксплуатационной надежности газонефтепроводных труб, изготовленных способом высокочастотной сварки**

**Ю. Н. Антипов<sup>а</sup>, Е. В. Дмитренко<sup>а</sup>, А. А. Коваленко<sup>а</sup>, С. А. Горяной<sup>а</sup>,  
А. А. Рыбаков<sup>б</sup>, С. Е. Семенов<sup>б</sup>, Т. Н. Филипчук<sup>б</sup>**

<sup>а</sup> ОАО “Интерпайп НМТЗ”, Новомосковск, Украина

<sup>б</sup> Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, Киев, Украина

*Рассмотрены результаты исследования характеристик надежности газонефтепроводных труб, изготовленных способом высокочастотной сварки после модернизации трубосварочного стана “159-529” завода “Интерпайп НМТЗ”. Принятые технологические решения позволяют обеспечить качество сварных соединений в соответствии с требованиями международных стандартов.*

**Ключевые слова:** трубопровод, надежность, сталь, труба, высокочастотная сварка, сварное соединение, прочность, ударная вязкость.

Общепризнано, что надежность магистральных газонефтепроводов определяется многочисленными факторами, наиболее важным из которых является обеспечение высоких эксплуатационных и технологических характеристик труб, используемых для сооружения линейной части трубопроводных систем.

К потенциально уязвимым зонам в металле труб в первую очередь относятся дефекты основного металла и сварных соединений, которые из-за отсутствия средств надежного контроля не были своевременно обнаружены при изготовлении труб и строительстве трубопроводов, а также локальные зоны охрупчивания (ЛЗО) металла, образующиеся в сварных соединениях современной трубной стали. Однако в практике эксплуатации магистральных трубопроводов разрывы труб, в том числе изготовленных с применением высокочастотной сварки (ВЧС), в ЛЗО возникают очень редко. Об этом свидетельствует, например, большой опыт безаварийного применения в газо- и нефтепроводах ВЧС-труб среднего диаметра, которые изготовлены по технологии, когда ВЧ-сварные соединения не термообработывались и поэтому имели достаточно низкие значения ударной вязкости. Разрушение сварного соединения труб, которому свойственны ЛЗО, может происходить только при определенных условиях. Критическим фактором растрескивания металла в ЛЗО является наличие дефекта, совпадающего или пересекающего эту зону. Наиболее потенциально опасными следует считать имеющие дефекты ЛЗО, расположенные поперек действия максимальных напряжений. Опасность дефектов в зоне сплавления усугубляется глубоким охрупчиванием металла при сварке (в случае отсутствия термической обработки), а также конфигурацией и расположением ЛЗО вдоль образующей трубы. Именно с этой точки зрения исследование сварных соединений ВЧС-труб представляет интерес.

Так, на участке одного из нефтепроводов, построенном из ВЧС-труб диаметром 530 мм, во время предпусковых гидравлических испытаний произошло разрушение трех труб с распространением трещины в зоне сплавления кромок почти на всю длину шва трубы по достижении напряжениями 0,98 нормативного предела текучести. В очагах разрушения были обнаружены участки некачественного сплавления, образовавшиеся вследствие нарушения параметров процесса сварки (рис. 1).

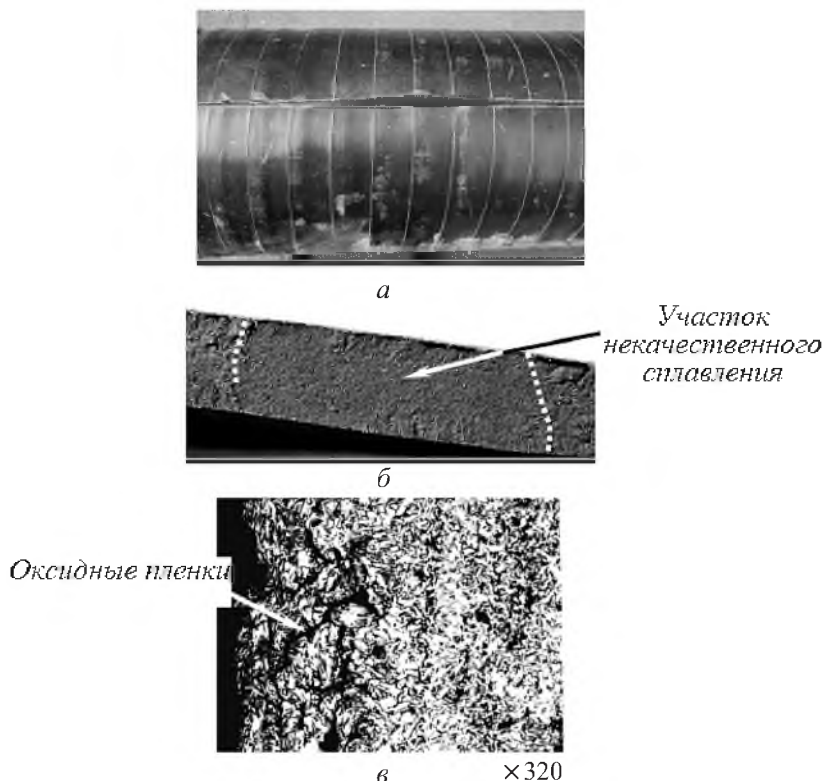


Рис. 1. Общий вид части разрушенной трубы (а), поверхность излома (б) и структура металла в очаге разрушения (в).

Кроме того, на отдельных участках сварного соединения труб были обнаружены скопления оксидных пленок. Установлено также, что сварные соединения не прошли регламентированной термической обработки по режиму нормализации и, как следствие, имели очень низкие значения ударной вязкости  $KCU^{-40}$  в зоне сплавления (3...20 Дж/см<sup>2</sup>). Таким образом, причина разрушения данных ВЧС-труб заключалась в нарушении технологических параметров их изготовления, что и привело к образованию поперечных плоских трещиноподобных дефектов в охрупченном сваркой металле. Прецеденты разрывов труб подтвердили необходимость снижения роли человеческого фактора в обеспечении гарантии качества труб.

С целью повышения эксплуатационной надежности ВЧС-труб при сварке, выполняемой с высокой скоростью (порядка 20 м/мин), необходимо стабилизировать все технологические параметры процесса, начиная от подготовки

кромки и заканчивая 100%-ным неразрушающим контролем сплошности сварного соединения. Это требует использования для производства труб самого совершенного современного технологического оборудования, приборов контроля, автоматизированных систем управления и, что не менее важно, системы обеспечения качества продукции.

Была поставлена задача создания производства труб, изготовленных способом ВЧ-сварки в соответствии с самыми жесткими требованиями современных международных стандартов и, разумеется, потенциальных потребителей в Украине, России и других странах ближнего и дальнего зарубежья.

В рамках технологического обеспечения надежности сварных труб в 2006–2007 гг. с учетом международного опыта, рекомендаций Института электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, ОАО “Интерпайп НМТЗ” проведена модернизация трубоэлектросварочного стана “159-529” с освоением новых агрегатов. Установлено новое оборудование для фрезеровки боковых кромок рулонной полосы, заменены агрегаты формовочно-сварочного узла стана с обеспечением более благоприятных и стабильных режимов высокочастотной сварки за счет оптимальных углов схождения кромок под сварку, использования источников сварочного тока с частотой выше 100 кГц и автоматизированной системы регулирования электрических и температурных параметров процесса. Введено в действие оборудование для локальной термической обработки сварных соединений. В соответствии с требованиями международных стандартов установлено оборудование для сдаточного 100%-ного УЗ-контроля сварного соединения и корпуса трубы, а также для магнитопорошкового контроля торцов трубы (фаски). Основные особенности усовершенствованной технологии производства ВЧС-труб приведены в таблице.

**Особенности усовершенствованной технологии производства ВЧС-труб на ОАО “Интерпайп НМТЗ”**

Основные недостатки старой технологии	Особенности усовершенствованной технологии
Отсутствие автоматических систем контроля и управления параметрами процесса сварки и термической обработки зоны шва и, как следствие, значительное влияние человеческого фактора на качество труб	Повышенное качество подготовки свариваемых кромок путем их фрезеровки
	Управляемый процесс сведения кромок полосы под сварку с оптимально установленными углами схождения
Частота сварочного тока 10 кГц	Применение современного сварочного генератора с частотой тока 150 кГц, автоматическими системами диагностики и управления температурой процесса сварки
Отсутствие неразрушающего контроля сплошности сварного соединения после завершения всех технологических операций	Локальная термическая обработка сварного соединения по режиму нормализации
Отсутствие неразрушающего контроля сплошности рулонной полосы или корпуса труб	Автоматизированный ультразвуковой контроль (с автоматической системой регистрации результатов) сплошности шва, околошовной зоны и корпуса трубы после всех технологических операций

Следует отметить, что применительно к производству высоконадежных ВЧС-труб кроме наличия современного оборудования для формовки, сварки и контроля труб большое значение имеет фактор качества свариваемой стали, особенно, если требуется изготовить трубы большого диаметра с высоким уровнем характеристик вязкости и хладостойкости. Для обеспечения деформационной способности сварного соединения необходимо, чтобы в прикромочных зонах отсутствовали такие дефекты металла, как расслоения, пленны, закаты, а также была минимальная загрязненность неметаллическими включениями. Применение высококачественной чистой (по вредным примесям) высоковязкой мелкозернистой стали с пониженным содержанием углерода является неперенным условием производства высоконадежных труб.

В последнее время выполнен большой объем работ по выбору марки стали для производства на модернизированном стане ВЧС-труб для магистральных газонефтепроводов.

С целью оценки эффективности принятых технологических решений проводили испытания опытно-промышленных партий труб разного сортамента (диаметр от 219 до 530 мм метрического ряда и от 273,1 до 406,4 мм дюймового ряда) из углеродистых и низколегированных, в том числе с пониженным содержанием углерода, марок стали класса прочности до К60 (категории Х70) включительно. Трубы изготовляли из рулонной полосы разных поставщиков: запорожского и магнитогорского металлургических комбинатов, ОАО “Северсталь”, венгерского металлургического комбината DUNAFERR. Качество сварных соединений труб оценивалось в соответствии с требованиями современных нормативных документов на трубы для магистральных газонефтепроводов (СНиП 2.05.06-85, ТУ У 14-3-377-99, ТУ У 14-8-20-99, ТУ У 14-8-19-99, API 5L для PSL2, ISO 3183-2 и EN 10208-2). Практически по всем показателям основной металл, сварные соединения и исследованные газонефтепроводные ВЧС-трубы в целом удовлетворяли требованиям современных отечественных и международных нормативных документов. В отношении самого жесткого критерия качества сварного соединения – ударной вязкости, особенно при испытании образцов с V-образным надрезом по зоне сплавления, что оговаривается такими нормативными документами, как ISO 3183-2 и EN 10208-2, сложилась несколько иная ситуация. Подтверждено, что на вязкость и хладостойкость металла сварного соединения существенно влияет содержание углерода в стали, определяющее количество перлитной составляющей в структуре металла в зоне сварки. И хотя высокотемпературная локальная термообработка по принятой технологии устраняет закалочные структуры, образование которых характерно после ВЧ-сварки всех марок стали (рис. 2), использование углеродистой стали с повышенным содержанием углерода, серы и фосфора не позволяет обеспечить необходимые показатели ударной вязкости металла сварных соединений труб, особенно при испытании образцов с V-образным надрезом (рис. 3 и 4).

Фрактографические исследования ударных образцов металла шва показывают, что в микромеханизме хрупкого разрушения существенную роль играют мелкие оксидные пленки, образующиеся в зоне сплавления и являющиеся инициаторами микросколов (рис. 5).

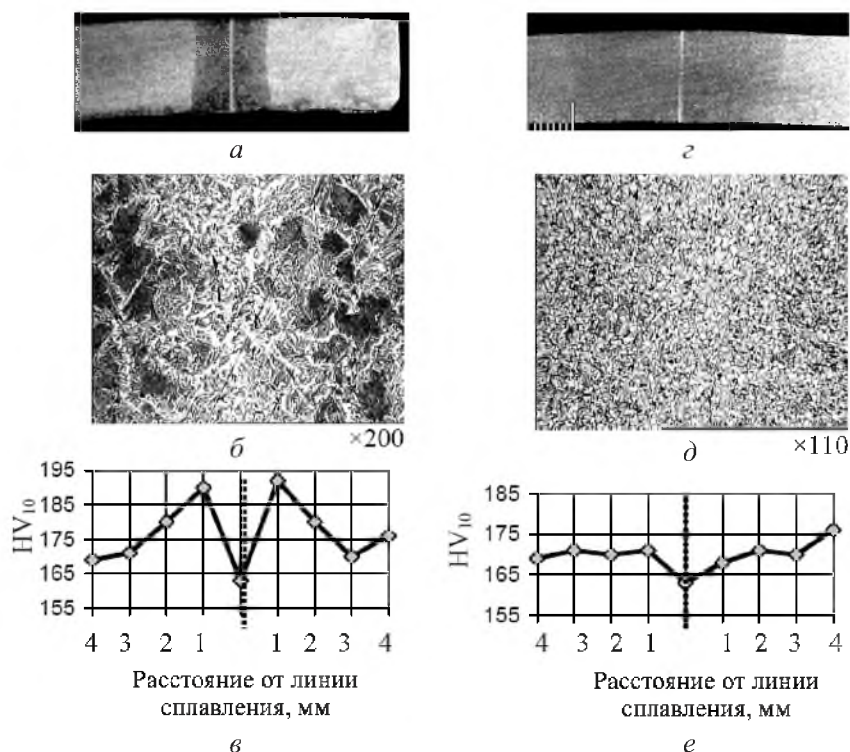


Рис. 2. Макро- (а, з) и микроструктура (б, д), а также распределение твердости (в, е) металла сварного соединения ВЧС-труб, изготовленных на модернизированном стане: а-в – после сварки; з-е – после локальной термической обработки шва (штрихом показаны линии сплавления).

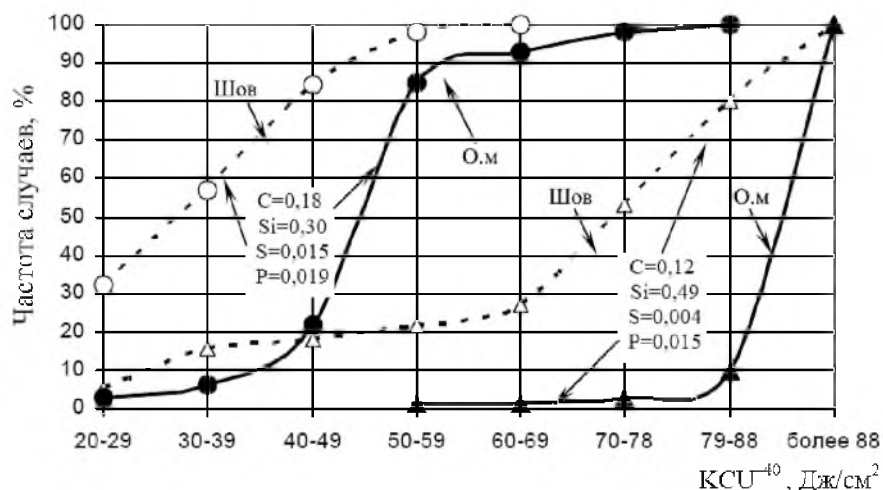


Рис. 3. Частотное распределение ударной вязкости основного металла и металла сварного соединения ВЧС-труб, изготовленных из стали с различным содержанием (в %) углерода и вредных примесей (О.м – основной металл).

При значительном количестве оксидных пленок ударная вязкость металла при надрезе образцов в зоне сплавления снижается, в том числе и в состоянии после термообработки сварного соединения. Снижению загрязнен-



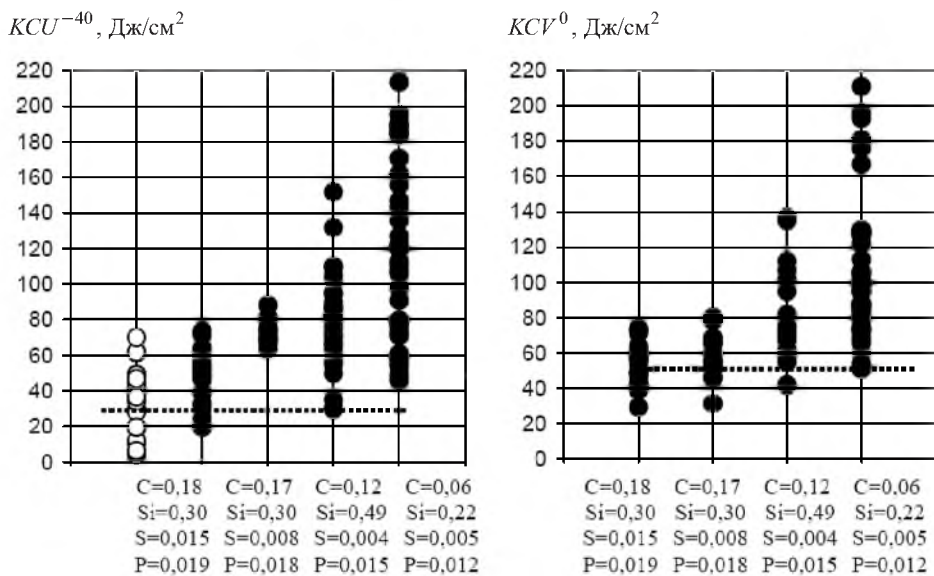


Рис. 4. Ударная вязкость металла сварных соединений отдельных ВЧС-труб, изготовленных из стали с различным содержанием (в %) углерода и вредных примесей (○ – после сварки, ● – после локальной термообработки шва).

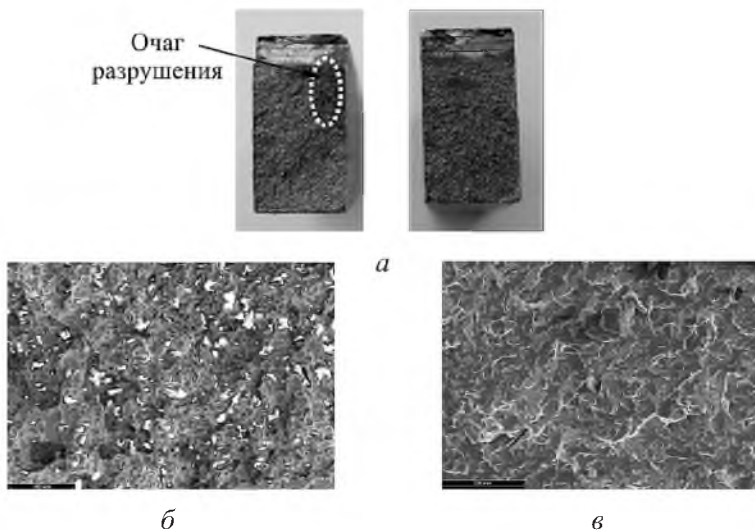


Рис. 5. Общий вид поверхности разрушения (а), оксидные образования в очаге разрушения (б) и типичный характер рельефа поверхности разрушения (в) образца с пониженной ударной вязкостью металла шва.

ности металла шва оксидными пленками, как, впрочем, и опасности образования грубых дефектов соединения типа непроваров и несплавлений способствовала стабилизация различных параметров процесса ВЧ-сварки с помощью автоматизированных систем управления.

Самые высокие показатели ударной вязкости металла шва имеют трубы, изготовленные из низколегированной стали с пониженным содержанием углерода и вредных примесей (рис. 3 и 4). Результаты исследования сварного

соединения и основного металла показывают, что такая сталь наиболее перспективна для производства ВЧС-труб повышенной надежности.

На основании выполненных исследований можно заключить, что ВЧС-трубы диаметром 219...530 мм, изготовленные на модернизированном стане "159-529", по своим техническим характеристикам удовлетворяют требования современных отечественных и международных нормативных документов.

Благодаря использованию современного технологического оборудования, комплекса технологического и сдаточного контроля, а также соответствующей стали обеспечиваются повышенные гарантии стабильности качества и эксплуатационной надежности труб высокочастотной сварки, изготавливаемых на ОАО "Интерпайп НМТЗ" для магистральных газонефтепроводов.

## **Резюме**

Розглянуто результати дослідження характеристик надійності газонафтопровідних труб, виготовлених способом високочастотного зварювання після модернізації трубозварювального стану "159-529" заводу "Интерпайп НМТЗ". Прийняті технологічні рішення дозволяють забезпечити якість зварних з'єднань відповідно до вимог міжнародних стандартів.

Поступила 05. 01. 2009