



УЛУЧШЕНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НЕФТЕ-, ГАЗОПРОВОДНЫХ ТРУБ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА

Ю. Н. САРАЕВ, д-р техн. наук, **В. П. БЕЗБОРОДОВ**, канд. техн. наук, **И. М. ПОЛЕТИКА**, д-р техн. наук, **А. В. ТЮТЕВ**, **И. В. НИКОНОВА**, **Н. В. КИРИЛОВА**, инженеры (Ин-т физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск, РФ), **С. П. СЕВАСТЬЯНОВ**, инж. (ООО «Тюменьтрансгаз», г. Югорск, РФ)

Исследовано влияние импульсного процесса сварки на структуру и механические свойства сварных соединений труб большого диаметра (1420 мм) из марганцовистых низколегированных сталей, предназначенных для нефте- и газопроводов. Показано, что импульсный режим сварки позволяет повысить однородность структуры и уменьшить размер зерна металла сварного шва и зоны термического влияния. Структурные изменения приводят к повышению пластичности зон сварного соединения и его ударной вязкости при положительной температуре (20 °С) на 8...27 %, а отрицательной (-60 °С) на 15...24 %.

Ключевые слова: импульсная сварка, низколегированные стали, сварные соединения, электроды, механические свойства, структура, трубы, нефте- и газопроводы, прочность, пластичность, ударная вязкость

Трубы диаметром 1420 мм с толщиной стенки 16 мм из стали Х67 производства Германии (российский аналог — сталь 10Г2С) используются в сложных условиях эксплуатации при знакопеременных нагрузках и низких температурах. При сварке такой стали стационарной дугой возникает перегрев металла шва и зоны термического влияния (ЗТВ), вызывающий сильное укрупнение зерен. Чтобы избежать этого, приходится выполнять сварку при пониженной погонной энергии и ограничиваться узкими пределами тепловых режимов.

В последние годы требования к механическим свойствам, надежности и долговечности сварных соединений труб нефте- и газопроводов, а также конструкций и емкостей химического производства значительно возросли. В ряде случаев для таких труб и конструкций устанавливаются минимально допустимые показатели механических свойств в первую очередь это касается прочности, ударной вязкости и пластичности. Свойства сварных соединений конструкций, как правило, должны соответствовать свойствам основного металла [1].

Особенностью широко используемых в нефтяной и газовой промышленности сталей типа 09Г2С, 10Г2С, 17Г1С является их склонность к разупрочнению при сварке, в результате которого снижается конструкционная прочность сварных соединений.

В настоящее время зачастую применяют низколегированные стали в термически улучшенном состоянии (после закалки и высокого отпуска). Такой обработке подвергают, например, стали 17Г1С, 16ГС, 30ХГСНА и др. При их сварке в околошовной зоне происходит разупрочнение участка, подвергнутого нагреву выше температуры 550 °С. Полностью восстановить свойства металла ЗТВ таких сварных соединений можно только с

использованием послесварочной термической обработки — закалки с высоким отпуском. Причем режим такой обработки должен быть аналогичен режиму ранее проводившейся термической обработки [1].

Термообработка также обязательна и в некоторых других случаях, предусмотренных ОСТ 26-291-79. Однако термообработка сварных соединений всегда усложняет технологический процесс сварки, особенно при проведении строительных и ремонтных сварочных работ в полевых условиях.

Для повышения прочностных и эксплуатационных свойств сварных соединений в Институте физики прочности и материаловедения СО РАН используют новый подход, основанный на управлении процессом плавления и переноса электродного металла при импульсной сварке. Это достигается путем применения систем гибкого энергетического процесса, при котором обеспечивается управление сложной электродинамической системой источник питания—электрод—дуга—сварочная ванна в зависимости от мгновенных значений энергетических характеристик с использованием каналов обратных связей и последующего проведения исследований влияния параметров адаптивной импульсной сварки на структуру, физико-механические, специальные и эксплуатационные свойства сварных соединений из высокопрочных сталей [2-4].

Целью данной работы является исследование влияния процесса импульсной сварки труб из низколегированных сталей Х67 и 17Г1СУ на структуру и физико-механические свойства сварных соединений (прочность при статическом нагружении растяжением, микротвердость структурных составляющих и ее распределение в зонах сварного соединения, ударная вязкость при температурах +20 и -60 °С) и их соответствие основным требованиям, предъявляемым к сварным соединениям труб нефте- и газопроводов.

Для изготовления образцов сваривали пластины размером 140×300 мм и толщиной 16 мм, выре-

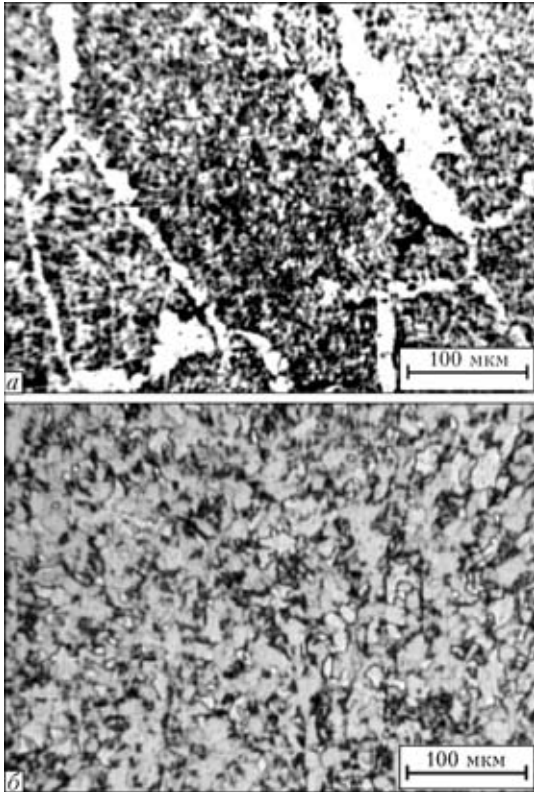


Рис. 1. Микроструктура металла шва в облицовочном слое сварного соединения стали типа 10Г2С после сварки в стационарном (а) и импульсном (б) режиме, $\times 170$

занные из труб (сталь Х67), а также пластины из стали 17Г1СУ размером 150 \times 300 мм и толщиной 14 мм, вырезанные из труб диаметром 1420 мм. Сварку выполняли в стационарном и импульсном режимах. При сварке в стационарном режиме по штатной технологии использовали источник питания инверторного типа МП 2400 фирмы «Кемррj» (Финляндия), при сварке импульсным режимом — выпрямитель ВД-306Э в комплекте со специализированной приставкой УДИ-205, обеспечивающей адаптивный технологический процесс.

Для получения сварных соединений из стали 10Г2С использовали шведские электроды серии ОК (Швеция), а для сварки стали 17Г1СУ — российские электроды марки МТГ, а также немецкие электроды Kessel.

Определяли следующие механические свойства: временное сопротивление при растяжении, предел текучести, относительное удлинение и относительное сужение. Образцы для механических испытаний в виде двусторонних лопаток вырезали поперек сварного соединения таким образом, чтобы шов располагался посередине рабочей части образцов (ГОСТ 1497–73). Испытания проводили на установке типа «Инстрон».

Испытания образцов на ударную вязкость осуществляли на маятниковом копре типа МК-30А при температурах +20 и –60 °С. Концентратор в форме V-образного надреза наносили по сварному шву (ГОСТ 9454–78).

Аттестацию структуры зон сварных соединений проводили после механических испытаний образцов на ударную вязкость на оптическом микроскопе

Таблица 1. Механические свойства сварных соединений из стали 10Г2С, полученных при сварке в стационарном и импульсном режимах

Режим сварки	$\sigma_{0,2}$, МПа	$\sigma_{в}$, МПа	δ , %	ϵ , %
Стационарный	454	540	20,3	62,8
Импульсный	448	536	24,6	60,8

типа МИМ-9. Микротвердость металлов в зонах сварного соединения измеряли на приборе ПМТ-3 при нагрузках на индентор 0,5 и 1,0 Н.

Как следует из работы [1], стали типа 09Г2, 09Г2С имеют очень высокую критическую скорость охлаждения, превышающую 100 °С/с, поэтому охлаждение после сварки не вызывает образования в металле шва и ЗТВ мартенситной структуры. Структура металла различных участков ЗТВ изменяется от крупнозернистой ферритно-перлитной (зачастую видманштеттового типа) в околошовном участке до мелкозернистой ферритно-перлитной в участке неполной перекристаллизации. При этом твердость металла шва и околошовного участка ЗТВ, как правило, не превышает 2000 МПа.

Металлографический анализ образцов из стали типа 10Г2С показал, что при использовании сварки в импульсном режиме во всех участках сварного шва по высоте (корневом, заполняющем и облицовочном) и вблизи линии сплавления с основным металлом, а также в ЗТВ формируется металл с более дисперсными, однородными и равноосными структурами по сравнению с получаемыми в стационарном режиме (рис. 1).

Механические испытания образцов сварных соединений при статическом нагружении растяжением выявили высокую прочность сварных швов, сформированных по обеим технологиям (образование шейки и разрушение происходили в области границы ЗТВ с основным металлом). Сварные соединения, полученные в импульсном режиме, показывают такие же значения временного сопротивления, предела текучести, а также относительного сужения материалов, как и в стационарном режиме.

Относительное удлинение образцов возрастает примерно на 20 % (табл. 1), что связано с образованием при импульсной сварке значительно более дисперсных структур, способствующих повышению пластичности металла всех зон сварного соединения.

С целью проведения структурной оптимизации высокопрочных сварных соединений изучали влияние импульсного процесса сварки стали 17Г1СУ на формирование структуры металла сварного шва и ЗТВ. Исследования показали, что импульсный режим сварки обеспечивает в результате регулируемого ввода тепла в изделие [2] значительное измельчение структуры металла шва и наиболее подверженной структурным изменениям ЗТВ, что предотвращает резкое ухудшение микротвердости и прочности в этой зоне и тем самым уменьшает возможность возникновения здесь опасных концентраторов напряжений, способствующих образованию и распространению трещин, приводящих к разрушению (рис. 2).

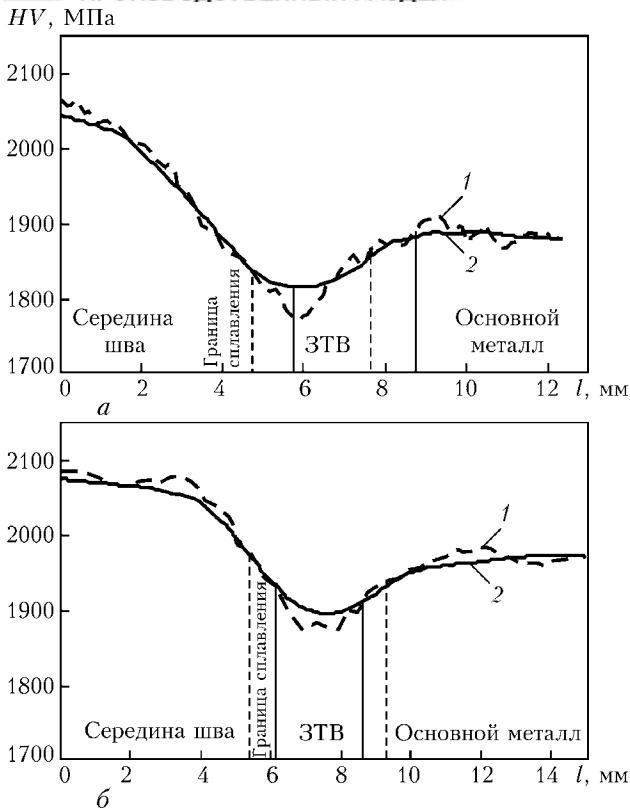


Рис. 2. Распределение микротвердости в заполняющем слое шва сварных соединений стали 17Г1СУ, полученных сваркой электродами МТГ (а) и Kessel (б) в стационарном (1) и импульсном (2) режиме; l — расстояние от центра сплавления

Таблица 2. Ударная вязкость металла шва сварных соединений из стали 17Г1СУ, полученных в стационарном и импульсном режимах сварки разными электродами

Применяемый электрод	Режим сварки	KCV, МДж/м ² , при T, °C	
		+20	-60
Kessel	Стационарный	1,30	0,41
	Импульсный	1,40	0,51
МТГ	Стационарный	1,18	0,52
	Импульсный	1,50	0,60

Размер зерна в металле зон сварного шва, формируемого при импульсном режиме, уменьшается в 2,5...3,0 раза, а в ЗТВ — примерно в 2 раза по сравнению с получаемыми при стационарном режиме (рис. 3). Это способствует снижению послесварочных деформаций и увеличению ударной вязкости сварных соединений. Так, например, ударная вязкость сварных соединений, сформированных с использованием электродов марок МТГ и Kessel, повысилась на 8...27 % в процессе испытаний при +20 °C и на 15...24 % при -60 °C (табл. 2). При этом значения σ_v сварных соединений, выполненных этими электродами, почти не изменились (в сравнении с характерными для стационарного режима) и составили около 560 МПа.

В соответствии с действующими российскими стандартами по подготовке кромок свариваемых изделий газо- и нефтехимического оборудования (ОСТ 26-291-79), ограничению погонной энергии сварки и проведению послесварочной термической обработки соединения, полученные способами руч-

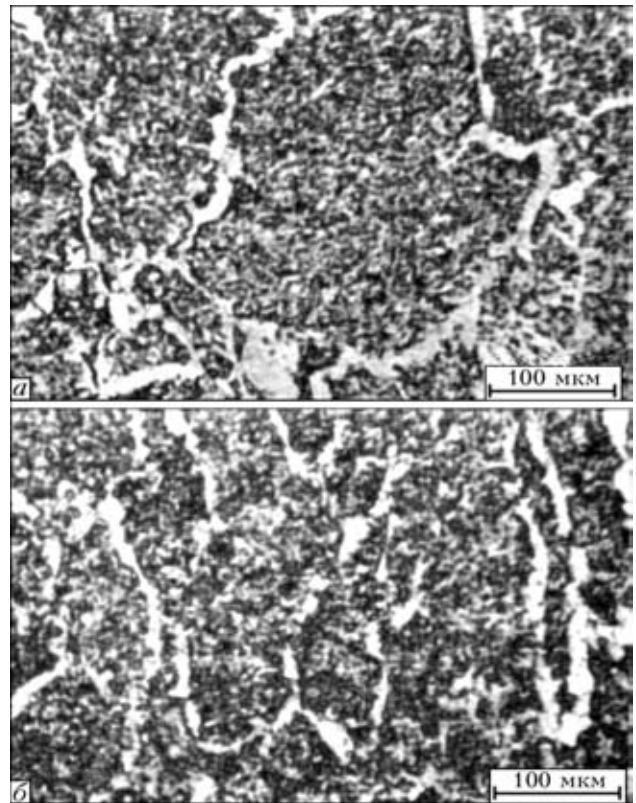


Рис. 3. Микроструктура металла шва в облицовочном слое соединения стали 17Г1СУ после сварки в стационарном (а) и импульсном (б) режиме, X170

ной дуговой сварки, механизированной под флюсом и в защитных газах, должны отвечать следующим требованиям. Минимальное значение KCV сварных соединений низколегированных марганцовистых и кремнемарганцовистых сталей при температуре ниже -20 °C должно составлять 0,3 МДж/м². Временное сопротивление сварных соединений при +20 °C должно равняться или быть выше σ_v свариваемого (основного) металла.

Анализ значений временного сопротивления металла сварных соединений из сталей 10Г2С и 17Г1СУ показал, что после сварки в импульсном режиме σ_v металла околошовной зоны во всех случаях превышает уровень прочности основного металла указанных сталей. Ударная вязкость металла сварного шва при $T_{исп} = -60$ °C после сварки в импульсном режиме стали 17Г1СУ с использованием электродов Kessel и МТГ соответственно в 1,7 и в 2,0 раза превышает требуемый стандартом уровень (0,3 МДж/м²) и на 24 и 15 % указанный показатель соединений, полученных сваркой в стационарном режиме. Важно отметить, что упомянутые значения ударной вязкости получены на сварных соединениях, не подвергнутых термической обработке (нормализации или улучшению), обычно проводимой для образцов и изделий из данного класса низколегированных сталей [1, 5]. По уровню прочности соединения исследованных сталей после сварки в импульсном режиме соответствуют требованиям стандарта к сварным соединениям труб нефте- и газопроводов. Это позволяет исключить послесварочную термическую обработку.

Выводы

1. Применение импульсного режима сварки труб большого диаметра (1420 мм) из марганцовистых сталей типа 10Г2С и 17Г1СУ, предназначенных для нефте- и газопроводов, позволяет повысить однородность структуры и в 2...3 раза уменьшить размер зерна металла сварного шва и ЗТВ основы.

2. Структурные изменения после импульсного режима сварки приводят к повышению пластичности металла зон сварного соединения, а также его ударной вязкости при 20 °С на 8...27 % и при -60 °С на 15...24 %.

Effect of a pulsed welding process on structure and mechanical properties of welded joints in large-diameter (1420 mm) pipes of manganese low-alloy steels, intended for manufacture of oil and gas pipelines, has been studied. It is shown that the pulsed welding conditions make it possible to improve homogeneity of structure and reduce grain size of the weld and HAZ zones. Structural changes at a positive temperature (20 °C) lead to increase of 8-27 %, and at a negative temperature (-60 °C) to increase of 15-24 % in ductility and impact toughness of the welded joint zones.

1. *Лившиц Л. С., Хакимов А. Н.* Металловедение сварки и термическая обработка сварных соединений. — М.: Машиностроение, 1989. — 336 с.
2. *Сараев Ю. Н.* Импульсные технологические процессы сварки и наплавки. — Новосибирск: Наука, 1994. — 108 с.
3. *Пути повышения эффективности строительства, эксплуатации и ремонта нефтегазопромыслового оборудования и магистральных трубопроводов на основе адаптивных импульсных технологий сварки и наплавки* / Ю. Н. Сараев, Л. И. Макарова, Н. В. Кирилова и др. // Свароч. пров. — 2001. — № 5. — С. 31-37.
4. *Влияние режима сварки на структуру, распределение твердости и механические свойства в сварных соединениях паропровода* / Ю. Н. Сараев, И. М. Полетика, А. В. Козлов и др. // Там же. — 2002. — № 8. — С. 3-8.
5. *Гольдштейн М. И., Грачев С. В., Векслер Ю. Г.* Специальные стали. — М.: Металлургия, 1985. — 408 с.

Поступила в редакцию 08.01.2004,
в окончательном варианте 30.06.2004

IV Международный фестиваль
Строительство
и архитектура
2005

Организаторы:
Киевская городская
администрация,
АО «Киевская
международная
контрактная ярмарка»
ВЦ «КиевЭкспоПлаза»,
Киев, ул. Салютная, 2-Б

23–27 марта 2005



Тематический раздел IV Международного фестиваля СВАРКА и СТРОЙКА – 2005

Организатор: НТК «ИЭС им. Е. О. Патона» ул. Боженко, 11, Киев, 03680
Тел.: +380(44) 227 1238, 490 5745
e-mail: expo@paton-expo.kiev.ua

ул. Боженко, 11, Киев, 03680
Факс: +380(44) 227-6502
<http://www.paton-expo.kiev.ua>

Основные направления тематического раздела:

- Материалы для строительных конструкций.
- Проектирование сварных строительных конструкций.
- Оборудование, материалы и технологии для сварки, наплавки, резки.
- Антикоррозионные, упрочняющие, декоративные и др. виды покрытий.
- Изделия из полимерных материалов и способы их соединений.
- Оценка ресурсов строительных конструкций.
- Диагностика и новые методы контроля качества.
- Охрана труда и средства защиты.

Подробности об условиях участия в выставке на сайте www.paton-expo.kiev.ua.