



КОНТАКТНАЯ СТЫКОВАЯ СВАРКА ОПЛАВЛЕНИЕМ ТОЛСТОСТЕННЫХ ТРУБ ИЗ ВЫСОКОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ КЛАССА ПРОЧНОСТИ К56

Академик НАН Украины **С. И. КУЧУК-ЯЦЕНКО**, **Ю. В. ШВЕЦ**, **В. Ф. ЗАГАДАРЧУК**, инженеры,
В. И. ШВЕЦ, канд. техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины),
Академик АТН РФ **В. И. ХОМЕНКО**, **С. И. ЖУРАВЛЕВ**, **А. Я. СУДАРКИН**, инженеры
(ЗАО «Псковэлектросвар», РФ),

В. Л. КОЛИКОВ, **С. А. ХОМИЧЕНКО**, инженеры (ОАО «Межрегионтрубопроводстрой», г. Москва, РФ)

Разработана технология контактной стыковой сварки оплавлением труб диаметром 1219 мм с толщиной стенки 27 мм из стали 10Г2ФБ класса прочности К56, предназначенных для строительства морских газопроводов. Определены допустимые пределы изменения основных параметров сварки, обеспечивающих необходимое качество соединений. Требуемый уровень механических свойств соединений достигается местной послесварочной высокотемпературной термической обработкой в сочетании с ускоренным охлаждением.

Ключевые слова: контактная стыковая сварка оплавлением, трубопроводы, высокопрочная сталь, нормативные требования, свариваемость, режим сварки, параметры режима сварки, программирование процесса сварки, процесс оплавления, установленная мощность, механические испытания, браковочные признаки, зона термического влияния, качество соединений, термическая обработка, микроструктура, зерно, временное сопротивление, ударная вязкость

В 1980–1990-х годах для соединения неповоротных стыков труб при строительстве различных трубопроводов с толщиной стенки до 20 мм из сталей класса прочности К52–К54 широко использовали контактную стыковую сварку оплавлением (КССО).

Технология и оборудование для выполнения КССО были разработаны ИЭС им. Е. О. Патона совместно с Псковским заводом тяжелого электросварочного оборудования (ПЗТЭСО) с участием организаций Миннефтегазстроя СССР. С 1980 г. на ПЗТЭСО освоено промышленное производство комплексов оборудования «Север-1», включающих внутритрубную сварочную машину УСО 400 (К700) с внутренним гратоснимателем, наружный гратосниматель, агрегат для зачистки внутренней поверхности труб под контактные башмаки и передвижную электростанцию мощностью 1000 кВт·А. С помощью комплексов «Север-1» было сварено более 6 тыс. км трубопроводов диаметром 1420 мм (преимущественно в районах Крайнего Севера). При этом достигнута высокая производительность процесса КССО при минимальных трудозатратах [1]. Накопленный многолетний опыт применения КССО свидетельствует о стабильно высоком качестве сварных со-

единений, которое практически не зависит от погодных условий и квалификации операторов.

В последнее десятилетие наблюдается интенсивное строительство сверхмощных трубопроводов, работающих при повышенном давлении (12...150 МПа). При их строительстве используют трубы из высокопрочных сталей класса прочности К56–К65 с толщиной стенки 27...36 мм и более. К качеству соединений таких труб предъявляют повышенные требования, что отражено в современных нормативных документах.

Поскольку трудоемкость работ по сварке неповоротных стыков толстостенных труб при строительстве трубопроводов значительно возрастает, использование высокопроизводительного способа КССО является весьма перспективным.

Имеющееся оборудование для выполнения КССО, а также комплексы электродуговой сварки порошковой проволокой «Стык», широко применявшиеся в СССР, по их техническим возможностям не могут быть использованы для решения отмеченной задачи. Кроме того, в настоящее время к показателям механических свойств сварных соединений предъявляют более высокие требования по сравнению с нормативами 1980–1990-х годов.

В связи с этим в последние годы ИЭС им. Е. О. Патона и заводом «Псковэлектросвар» (РФ) выполнены комплексные разработки технологии и оборудования нового поколения для КССО толстостенных труб. В рамках этого проекта проведены исследования свариваемости толстостенных труб из стали 10Г2ФБ класса прочности К56, которые применяются при строительстве морских



трубопроводов. Целью настоящих исследований была разработка технологии сварки труб из указанной стали с толщиной стенки 27 мм, обеспечивающей получение механических свойств соединений в соответствии с современными стандартами [2, 3].

Выбор объема исследований определялся требованиями заказчика к первым образцам разрабатываемого оборудования применительно к использованию его при строительстве морских трубопроводов.

Разработку технологии сварки проводили на крупномасштабных образцах-секторах со свариваемым сечением 8640 мм². Секторы шириной $B = 320$ мм вырезали из труб с толщиной стенки $\delta = 27$ мм, изготовленных из листовой стали 10Г2ФБ, полученной контролируемой прокаткой с ускоренным охлаждением. Металл труб имел следующий химический состав, мас. %: 0,06 С; 0,21 Si; 1,42 Mn; 0,12 Ni; 0,07 Mo; 0,04 V; 0,04 Al; 0,02 Ti; 0,05 Cr; 0,02 Nb; 0,004 S; 0,012 P.

Механические свойства металла труб следующие:

$$\begin{aligned} \sigma_b &= 546,7...556,8 \text{ МПа}; \sigma_T = 484,4...493,5 \text{ МПа}; \\ KCV_{+20} &= 334,7...336,6 \text{ Дж/см}^2; \\ KCV_{-40} &= 333,0...336,6 \text{ Дж/см}^2. \end{aligned}$$

Механические испытания сварных стыков выполняли в ИЭС им. Е. О. Патона и лаборатории прочности ЦНИИТМАШа в соответствии с нормативными требованиями [2, 3]. Металлографические исследования проводили на световом микроскопе «Неофот-32» в лаборатории металлографических исследований. Указанные лаборатории сертифицированы в соответствии с международными стандартами.

В основе технологии КССО лежит способ сварки непрерывным оплавлением с программным изменением основных параметров режима, который апробирован с положительным результатом при сварке комплексами «Север-1», что позволило в значительной степени исключить влияние точности сборки труб перед сваркой на формирование сварочного соединения.

Режим сварки определяется выбором программы изменения основных параметров процесса КССО. Программа (рис. 1) предусматривает четыре периода процесса сварки [4]. В I периоде происходит возбуждение устойчивого процесса оплавления.

Во II периоде осуществляется нагрев торцов свариваемых труб до заданной температуры. В III периоде производится интенсификация процесса оплавления для обеспечения в искровом промежутке оптимальных условий формирования соединений. В IV периоде происходит деформация нагретых торцов и формирование соединения.

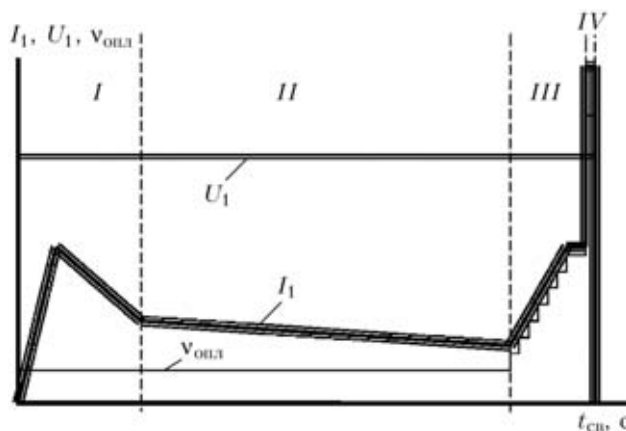


Рис. 1. Программа изменения основных параметров режима КССО труб: I_1 , U_1 — соответственно первичные ток и напряжения сварки; $t_{св}$ — время сварки; I-IV — периоды программирования

Кроме значений основных параметров ($v_{опл}$ — скорости подачи труб в периоды возбуждения процесса оплавления и нагрева торцов; $U_{2 \times x}$ — напряжения холостого хода сварочного трансформатора; $t_{св}$ — времени сварки; $P_{ос}$ — усилия осадки; $v_{ос}$ — скорости осадки), задаваемых программой, для каждого из перечисленных выше периодов оплавления при выборе оптимального режима сварки необходимо определить алгоритм управления обратными связями между отдельными параметрами.

Целью настоящих исследований был выбор оптимальных режимов сварки, обеспечивающих требуемые механические свойства сварных соединений, а также возможность получения качественных сварных соединений при минимальных значениях потребляемой мощности и потерях металла на оплавление.

Сварку секторов, вырезанных из труб, выполняли на модернизированной машине К1000. Принятое соотношение ширины сектора, площади свариваемого сечения ($B \times \delta$) и сопротивления сварочной цепи этой машины позволило достаточно точно промоделировать процесс оплавления натурной трубы диаметром 1219 мм, его энергетические показатели и определить основные параметры разрабатываемой машины для КССО таких труб.

Как следует из изложенного выше, на первом этапе создаются условия для возбуждения устойчивого процесса оплавления, в котором существенную роль играет угол разделки кромок (фаски) α на концах труб. В связи с этим проведены исследования влияния угла разделки кромок концов труб на мощность, необходимую для возбуждения процесса оплавления.

Торцы образцов в месте сварки обрезали газовой резкой, а угол разделки кромок изменяли от 0 до 45° (рис. 2). Необходимая для возбуждения устойчивого оплавления мощность по мере уве-

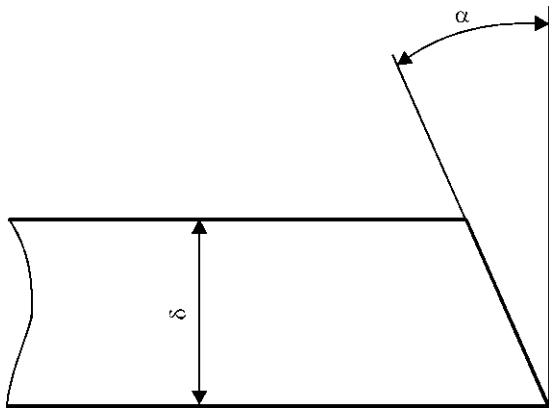


Рис. 2. Разделка кромок на торцах образцов

личения α снижается (рис. 3) [5]. При $\alpha > 15^\circ$ потребляемая мощность во время возбуждения процесса оплавления (*I* период) и достижения устойчивого оплавления (период *II*) остается постоянной. Целесообразно ориентироваться на одинаковую загрузку источника энергоснабжения в начальный и конечный периоды сварки, тогда оптимальный угол разделки составляет $\alpha = 15^\circ$. При сварке образцов принят угол разделки $\alpha = 15^\circ$.

При определении оптимальной длительности устойчивого оплавления (период *II*) для получения качественных соединений необходимо обеспечить зону нагрева большую, чем при сварке деталей толщиной 15...20 мм. Предельно возможный нагрев при непрерывном оплавлении ограничивается установлением такого квазиравновесного теплового состояния, при котором увеличение длительности оплавления не сопровождается приростом тепла в торцах нагреваемых деталей. В образцах принятых размеров такое состояние наступает в случае увеличения длительности оплавления до 200 с при оптимальной скорости $v_{\text{опл}} = 0,2$ мм/с [6]. Поскольку такой «мягкий» режим нагрева соответствует минимальной потребляемой мощности, указанные выше параметры приняты в качестве оптимальных при определении программы для базового режима сварки партий об-

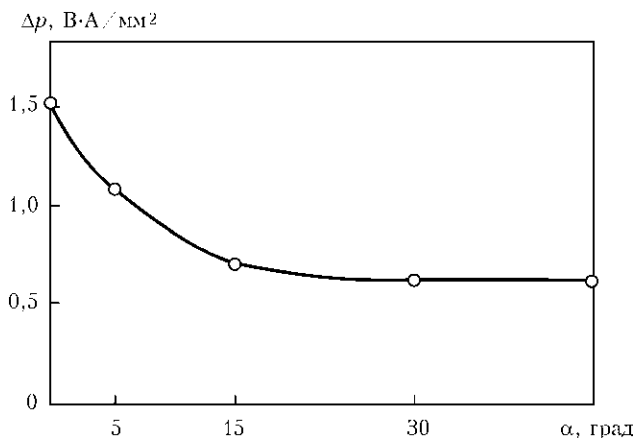


Рис. 3. Зависимость удельной мощности Δp от угла разделки кромок α [5]

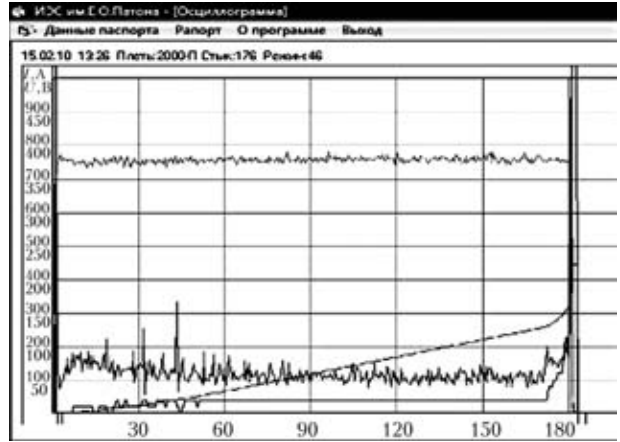


Рис. 4. Осциллограммы основных параметров сварки на мягком режиме КССО

разцов во *II* периоде. Длительность *III* периода и программа повышения скорости перемещения до конечной скорости $v_{\text{кон}}$ приняты с учетом проведенных ранее исследований [6]. На рис. 4 приведена запись осциллограмм основных параметров сварки на принятом «мягком» режиме.

Удельная потребляемая мощность в период устойчивого оплавления составляет $\Delta p_{\text{опл}} = 6,1$ В·А/мм², а в конечный период оплавления перед осадкой повышается в течение 2...3 с до $\Delta p_{\text{кон}} = 13$ В·А/мм². При одинаковой программе изменения скорости $v_{\text{кон}}$ значения потребляемой мощности возрастают пропорционально повышению $v_{\text{кон}}$ в интервале 0,8...1,4 мм/с. На рис. 5 приведена зависимость $\Delta p_{\text{кон}} = f(v_{\text{кон}})$ при напряжении $U_{2\text{хх}} = 6,8$ В. Величина $\Delta p_{\text{кон}}$ определяет установленную мощность источника питания [7]. При сварке труб указанного сечения потребуется источник с установленной мощностью 1320 кВт·А. Но поскольку современные передвижные электростанции допускают кратковременную перегрузку до 10...15 %, мощность может быть и ниже.

Из приведенных данных видно, что определение оптимального значения $v_{\text{кон}}$ существенно влияет на выбор источника энергоснабжения и

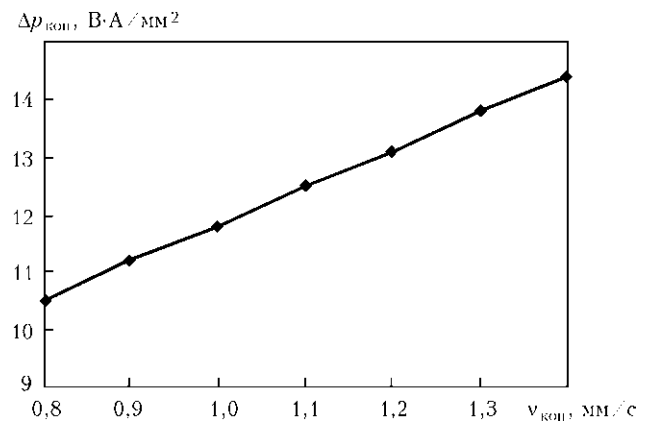


Рис. 5. Зависимость удельной потребляемой мощности $\Delta p_{\text{кон}}$ от конечной скорости оплавления $v_{\text{кон}}$



Таблица 1. Механические свойства сварных соединений, полученных при различной конечной скорости оплавления*

№ партии	$v_{кон}$, мм/с	σ_B , МПа	Браковочный признак
1	0,9	518,6	Трещины > 6 мм, $\sigma_B \leq 94,5\%$
2	1,0	518,0	$\sigma_B \leq 94,5\%$
3	1,1	518,4	
4	1,2	518,3	

* Здесь и в табл. 2 угол изгиба составлял 180° ; в каждой партии было испытано по 12 образцов на растяжение и по 30 образцов на изгиб.

технико-экономические показатели. В связи с этим проведены исследования влияния значений $v_{кон}$ на качество сварных соединений. Для этого сваривали четыре партии стыков на «мягком» режиме с конечной скоростью $v_{кон} = 0,9, 1,0, 1,1$ и $1,2$ мм/с. Каждая партия состояла из пяти стыков: на трех оценивали механические свойства, а два разрушали по плоскости соединения. Образцы испытывали на разрыв и изгиб в соответствии со стандартами [2, 3]. Для определения механических свойств металла сварных соединений проводили испытания на изгиб образцов с острым надрезом по линии соединения. Результаты механических испытаний сварных соединений приведены в табл. 1.

В ходе испытаний на растяжение стандартных образцов каких-либо браковочных признаков, за исключением снижения прочности приблизительно на 5,5 %, не выявлено. Разрушение образцов происходило вдали от плоскости соединения на расстоянии 21 мм. Испытания сварных образцов на изгиб показали, что при $v_{кон} = 1,1$ и $1,2$ мм/с какие-либо браковочные признаки отсутствовали. При $v_{кон} = 1,0$ мм/с в плоскости соединения появились трещины, которые по длине (не более 6 мм) не попадали под браковочный признак нормативных документов [2, 3]. Угол изгиба образцов при этом составлял 180° .

Дальнейшее снижение конечной скорости до 0,9 мм/с привело к образованию трещин длиной, превышающей допустимую стандартами. Испытания образцов с надрезами показали, что такие трещины свидетельствуют о наличии участков со структурной неоднородностью, что характерно

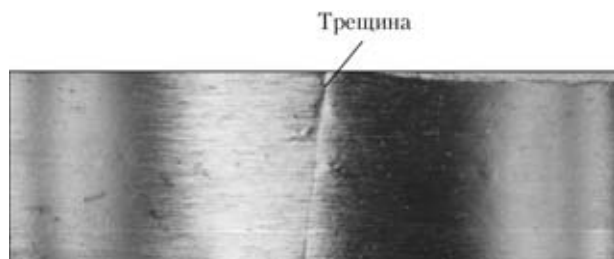


Рис. 6. Трещина в образце, испытанном на изгиб ($\alpha = 180^\circ$)

Таблица 2. Механические свойства сварных соединений, полученных с различной величиной осадки

№ партии	Величина осадки, мм	σ_B , МПа	Браковочный признак
1	8	515,9	Разупрочнение 6 %
2	10	516,8	Разупрочнение 5,5 %
3	12	518,6	» »
4	14	518,3	» »

для недостаточно интенсивного оплавления перед осадкой. В образцах сварных соединений, полученных с $v_{кон} = 1,1 \dots 1,2$ мм/с, на поверхности изломов дефекты в плоскости соединений отсутствуют. При $v_{кон} = 1,0$ мм/с появляются отдельные мелкие дефекты, так называемые матовые пятна площадью до 20 мм^2 . В стыках, сваренных с $v_{кон} = 0,9$ мм/с, частота появления таких дефектов увеличивается, а их площадь может достигать $30 \dots 35 \text{ мм}^2$. На основании полученных результатов в дальнейших исследованиях принята программа с $v_{кон} = 1,2$ мм/с.

Для определения оптимального значения величины осадки на базовом «мягком» режиме с разной осадкой были сварены четыре партии стыков труб. Каждая партия состояла из пяти стыков: на трех оценивали механические свойства сварного соединения, а два разрушали по плоскости соединения (табл. 2). Полученные результаты испытаний этих образцов на растяжение были практически идентичными. При их испытании браковочным признаком стало снижение временного сопротивления до 6 %, при этом разрушение образцов происходило по зоне термического влияния (ЗТВ) вдали от плоскости соединения. При испытаниях образцов на изгиб в некоторых партиях стыков, сваренных с осадкой 8...10 мм, появлялись трещины (расслоения небольших размеров в допустимых нормативами пределах). При этом угол изгиба этих образцов также соответс-

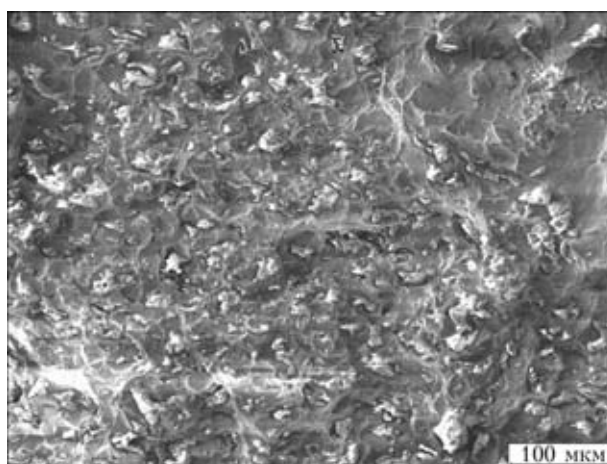


Рис. 7. Скопление марганцовистых алюмосиликатов в изломах образцов, полученных с осадкой 8...10 мм



твовал нормативным значениям (рис. 6). При испытании на изгиб с надрезами в изломах по плоскости соединения некоторых образцов, полученных с осадкой 8...10 мм, имели место микронеосвершенства структуры (рис. 7), обусловленные локальным скоплением неметаллических включений — марганцовистых алюмосиликатов.

При сварке труб с большим развитым сечением возможна неравномерная деформация нагретого металла. Поэтому в качестве оптимального значения осадки принято $l_{oc} = 13$ мм. Для обеспечения такой деформации при использовании «мягкого» режима необходимо удельное усилие осадки 45 МПа.

Исходя из результатов исследований, ниже приведен оптимальный режим сварки, который можно воспроизвести на промышленной установке для сварки труб из стали 10Г2ФБ толщиной 27 мм:

вторичное напряжение, В	7
время сварки, с	180...210
скорость подачи при нагреве, мм/с	0,19...0,20
припуск на оплавление при нагреве, мм	32...38
припуск на повышение скорости, мм	6...9
конечная скорость перед осадкой, мм/с	1,2
удельное усилие осадки, МПа	45
осадка, мм	13

На указанном режиме сварены контрольные партии образцов и проведены механические испытания в соответствии со стандартами [2, 3]. Результаты испытаний представлены в табл. 3, из которой видно, что при испытании на разрыв временное сопротивление сварных соединений уменьшается на 5,5...6,0 %. Это происходит на участке ЗТВ, где температура нагрева достигает 700...800 °С и вызвано снижением эффекта термоупрочнения стали, который достигается в процессе ее контролируемой прокатки. Значение ударной вязкости соединений KCV_{+20} и KCV_{-20} предъявляемым требованиям не отвечают [2, 3].

Как видно из рис. 8, наибольшее снижение ударной вязкости происходит на локальном участке в центре шва, протяженность которого составляет $l = 0,5...1,0$ мм от плоскости соединения, что подтверждено проведенными металлографическими исследованиями. Это хорошо видно при сравнении структур основного металла (рис. 9, а) и линии соединения с участками крупного зерна протяженностью до 0,5 мм, примыкающих к ней (рис. 9, б), где металл подвергался кратковременному нагреву до температуры 1300 °С и выше. Микроструктура основного металла представляет собой ферритную мелкозернистую матрицу (зерна феррита, балл № 11) со строчками карбидов, которые вытянуты вдоль направления проката (рис. 9, а). На участке, примыкающем к плоскости соединения, формируются структуры со значительным увеличением зерна бейнита (балл

Таблица 3. Механические свойства контрольной партии образцов*

Результаты испытаний	σ_B , МПа	KCV_{+20} , Дж/см ²	KCV_{-20} , Дж/см ²
После сварки	516,0...523,4 520,0	13,3...17,1 15,0	6,1...9,7 8,1
После термообработки	550,6...561,4 554,6	147,9...219,5 173,2	86,8...171,1 137,9

* Угол изгиба составлял 180°; трещины отсутствовали.

№ 3) и большим содержанием полигонального феррита. Эти структуры отличаются низкими значениями ударной вязкости.

Для проверки возможности повышения показателей ударной вязкости и прочности сварных соединений была сварена партия образцов на «жестком» режиме, параметры которого представлены ниже:

вторичное напряжение, В	7
время сварки, с	45...50
скорость подачи при нагреве, мм/с	0,3
припуск на оплавление при нагреве, мм	12
припуск на повышение скорости, мм	5...6
конечная скорость перед осадкой, мм/с	1,2
удельное усилие осадки, МПа	120...140
осадка, мм	5...6

Указанный режим отличается меньшей длительностью оплавления во II периоде, повышенной конечной скоростью и большим удельным давлением. Механические свойства металла соединений, полученных на «жестком» режиме, следующие: $\sigma_B = 546,0...553,6$ МПа; $KCV_{+20} = 16,3...22,6$ Дж/см²; $KCV_{-20} = 6,1...9,7$ Дж/см²; угол изгиба составлял 180°; трещины отсутствовали. При сварке на «жестком» режиме общая продолжительность процесса сокращается до 50 с, припуск на оплавление — до 12 мм, а мощность, потребляемая в конечный период сварки, повышается до 23 В·А/мм², т. е. она почти в 2 раза больше по сравнению с «мягким» режимом. Все

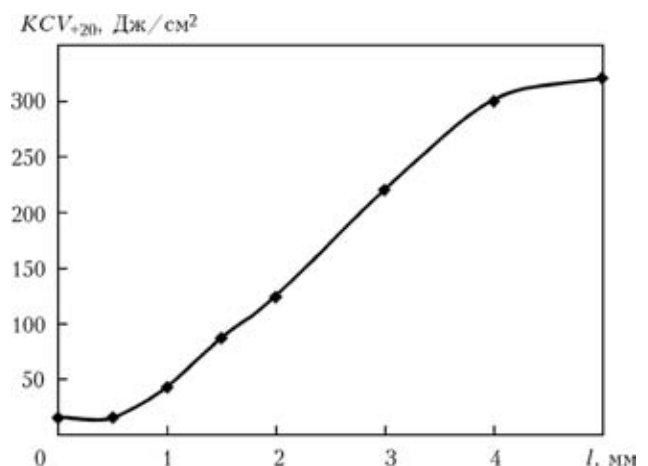


Рис. 8. Распределение ударной вязкости KCV_{+20} в металле ЗТВ

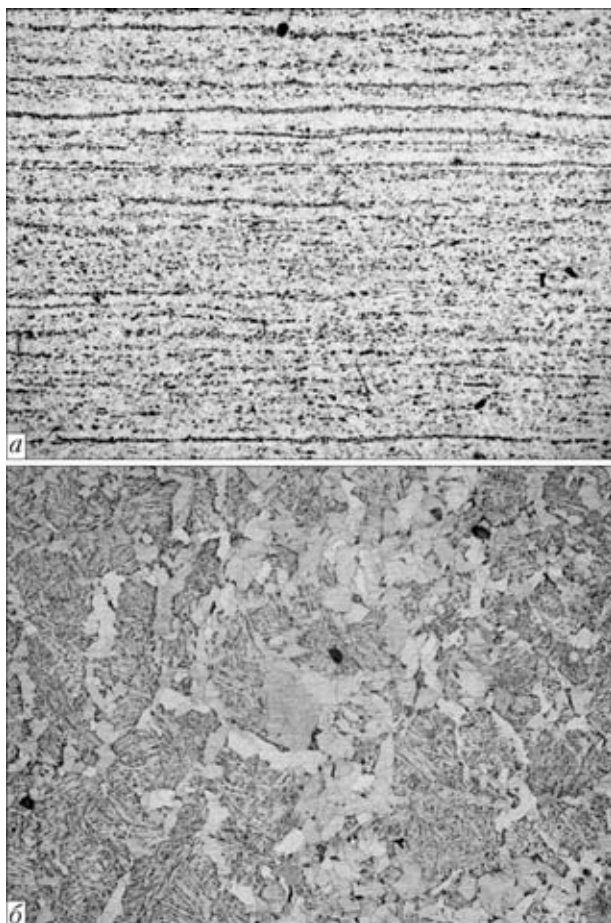


Рис. 9. Микроструктуры ($\times 100$) основного металла труб (а) и металла линии соединения с участками крупного зерна (б)

остальные показатели соответствуют нормативным требованиям за исключением ударной вязкости, которая незначительно повысилась в результате уменьшения содержания полигонального феррита и размеров зерна первичного аустенита, но ее значения ниже нормативного уровня [2, 3].

В связи с тем, что «жесткий» режим требует существенного повышения потребляемой мощности при оплавлении, больших усилий при осадке, но незначительно повышает ударную вязкость сварного соединения, его применение нецелесообразно.

Известно, что для повышения пластических свойств сварных соединений, полученных КССО, необходимо применять высокотемпературную термическую обработку [8]. В связи с этим проведены исследования и разработана технология термической обработки сварных соединений толстостенных труб. Образцы сварных соединений, полученных на контрольном режиме, подвергали местному нагреву кольцевым индуктором с частотой 2,4 кГц с использованием тиристорного преобразователя частоты ТПЧТ-160. Нагрев осуществляли до температуры 950 °С в течение 5 мин, выдерживали при этой температуре в течение 2,5...3,0 мин, а затем образцы ускоренно охлаждали водовоздушной смесью с двух сторон

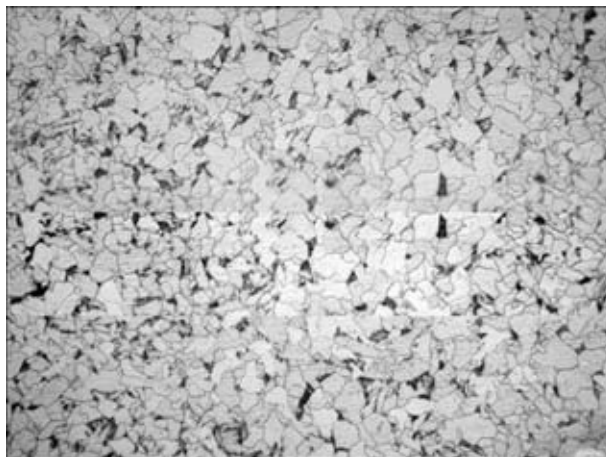


Рис. 10. Микроструктура металла ($\times 400$) линии соединения с участками крупного зерна после термической обработки и ускоренного охлаждения

до температуры приблизительно 300 °С. Ускоренное охлаждение необходимо, поскольку исключает снижение на участке нагрева твердости и временного сопротивления.

После термической обработки и ускоренного охлаждения стыков по указанному режиму временное сопротивление сварных соединений соответствовало показателям основного металла (табл. 3). Угол изгиба образцов составлял 180°, трещины на линии соединения и в ЗТВ отсутствовали. Ударная вязкость KCV_{+20} и KCV_{-20} составляла соответственно 173,2 и 137,9 Дж/см². Эти показатели на порядок выше, чем значения ударной вязкости соединений после сварки. Механические свойства соединений после термической обработки и ускоренного охлаждения см. (табл. 3) полностью соответствуют требованиям как российского [2], так и международного [3] стандартов.

Микроструктура металла линии соединения и участка крупного зерна представляет собой ферритную матрицу с включениями остаточного аустенита, который частично распадается с образованием зернистого бейнита. Микроструктура линии соединения и участков крупного зерна после термической обработки представлена на рис. 10.

Балл зерна феррита составляет № 9. Твердость по линии сварных соединений и в ЗТВ находится на уровне $HV 5 1900 \pm 50$ МПа, что не превышает требуемых значений [2, 3].

Послесварочная местная термическая обработка и ускоренное охлаждение позволяют нивелировать недостатки механических свойств соединений за счет улучшения структуры металла сварных швов.

Выводы

1. Разработана технология КССО труб из высокопрочных сталей класса прочности К56 с толщиной стенки до 27 мм. Для получения качественных соединений труб из таких сталей необходимо, чтобы источник энергоснабжения и



привод осадки сварочной машины обеспечивали при сварке значения потребляемой удельной мощности не менее 12 В·А/мм², а удельного усилия осадки не менее 45 МПа.

2. Проведены комплексные механические испытания и металлографические исследования сварных соединений трубных сталей. Применение высокотемпературной термической обработки (нормализации) после сварки в сочетании с ускоренным охлаждением обеспечивает выполнение требований стандартов.

3. На основании результатов проведенных исследований подготовлены технические задания на разработку нового поколения оборудования для КССО толстостенных труб диаметром 1220...1420 мм.

1. Мазур И. И., Серафин О. М., Карпенко М. П. Электроконтактная сварка трубопроводов: пути совершенствования // Стр-во трубопроводов. — 1988. — № 4. — С. 8–11.
2. СТО 2-3.7-380–2009. Инструкция по технологии сварки морских газопроводов. — Введ. в 2009.
3. DNV-OS-F101. Offshore standard. Submarine pipeline systems. — Jan. 2000.
4. Кучук-Яценко С. И. Контактная стыковая сварка оплавлением. — Киев: Наук. думка, 1992. — 236 с.
5. Кучук-Яценко С. И., Мосендз И. Н., Казымов Б. И. Программирование режимов контактной сварки оплавлением деталей с большими развитыми сечениями // Автомат. сварка. — 1987. — № 6. — С. 14–18.
6. Кучук-Яценко С. И., Лебедев В. К. Контактная стыковая сварка непрерывным оплавлением. — Киев: Наук. думка, 1976. — 212 с.
7. Контактная стыковая сварка трубопроводов / С. И. Кучук-Яценко, В. Г. Кривенко, В. А. Сахарнов и др. — Киев: Наук. думка, 1986. — 208 с.
8. Местная термообработка сварных стыков газопроводных труб диаметром 1420 мм / В. К. Лебедев, Ю. В. Скульский, С. И. Кучук-Яценко и др. // Автомат. сварка. — 1977. — № 10. — С. 38–40.

Technology was developed for flash-butt welding of 1219 mm diameter pipes with 27 mm wall thickness from 10G2FB steel of strength class K56, designed for construction of sea gas pipelines. Admissible limits of variation of the main welding parameters ensuring the required quality of welded joints were determined. Required level of mechanical properties of the joints is achieved by local postweld high-temperature heat treatment in combination with accelerated cooling.

Поступила в редакцию 07.03.2012

НОВАЯ КНИГА

Б. Є. Патон: 50 років на чолі Академії. — К.: Академперіодика, 2012. — 776 с., 136 с. ил. (укр. и рус. языки).

В книге освещена 50-летняя деятельность выдающегося украинского ученого и организатора науки академика Б. Е. Патона на посту Президента Национальной академии наук Украины. Известные ученые, среди них академики А. П. Александров, Г. И. Марчук, Ю. С. Осипов, Н. М. Амосов, Ж. И. Алферов, Н. В. Багров, О. М. Белоцерковский, П. А. Витязь, Д. М. Гродзинский, Л. В. Губерский, И. М. Дзюба, М. З. Згуровский, Е. Н. Каблов, В. Г. Кадышевский, Н. Н. Кудрявцев, Ю. И. Кундиев, Н. П. Лаверов, Н. В. Новиков, Б. И. Олейник, В. В. Панасюк, Ю. Н. Пахомов, Е. М. Примаков, В. А. Садовничий, А. М. Сердюк, К. М. Сытник, В. В. Скороход, А. А. Созинов, В. И. Старостенко, Б. С. Стогний, В. Я. Таций, П. П. Толочко, делятся впечатлениями о личном общении с Б. Е. Патонем, его огромном вкладе в развитие науки и техники. Книга иллюстрирована многочисленными фотографиями.

Может быть полезна всем, кто интересуется историей науки.

