

УДК 621.791.7

**РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ
СВАРНЫХ АППАРАТОВ ИЗ ЖАРОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ ТИПА 15X5M**© 2017 А.Г. Халимов¹, А.А. Халимов¹, А.С. Надршин¹, И.А. Халимов²¹Уфимский государственный нефтяной технический университет²Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Статья поступила в редакцию 21.02.2017

Целью работы является разработка ресурсосберегающего технологического процесса изготовления сварных аппаратов из закаливающейся жаропрочной стали 15X5M применением технологии механизированной сварки в среде защитных газов аустенитными сварочными материалами регулированием термических циклов сварки (РТИС) принудительным сопутствующим охлаждением. Технико-экономическая эффективность разработанного технологического процесса сварки обеспечивается за счет исключения необходимости предварительного и сопутствующего подогрева свариваемых элементов до температур 250-350 °С, а также технологически обязательной при сварке однородными перлитными сварочными проволоками последующей высокотемпературной термической обработки сварных соединений при температурах 720-760 °С с выдержкой при температурах высокого отпуска в течении 2-5 часов и медленным охлаждением до 500 °С при толщине стенок свариваемых элементов в пределах 8-30 мм. В работе показано, что разработанная технология сварки жаропрочной стали 15X5M позволяет обеспечить в околошовной зоне (ОШЗ) получение бейнитной закалочной структуры с высокими показателями трещиностойкости. Одновременно вдоль линий сплавления за счет закалки на аустенит образуется надежное, прочное сцепление однородной дисперсной структуры аустенитного металла шва с мелкозернистой бейнитной структурой свариваемого металла.

Ключевые слова: ресурсосберегающая технология, сварные аппараты, жаропрочная сталь, механизированная сварка, защитные газы.

Жаропрочные стали типа 15X5M мартенситного структурного класса относятся к полунержавеющим сталям, обладая достаточно высокой коррозионной стойкостью в горячих средах высокотемпературной переработки нефти, содержащих сероводород, водород и растворы хлоридов. Однако применение специальных жаропрочных хромистых сталей дополнительно легированных стойкими карбидообразующими элементами (Mo, V, W и т.д.) для изготовления крупногабаритного сварного нефтегазохимического оборудования в настоящее время ограничено. Основной причиной такого ограниченного применения является, низкая свариваемость, из-за образования в зонах нагрева участков закаленного металла фазовым наклепом с неравновесной мартенситной структурой, имеющих нормативно недопустимую высокую твердость,

которые усложняют технологический процесс изготовления и эксплуатации сварных сосудов, аппаратов и трубопроводов. При изготовлении и ремонте сварного нефтегазохимического оборудования из сталей типа 15X5M в основном применяется ручная электродуговая сварка, и нормативные технологические инструкции регламентируют, как правило, сварку с предварительным и сопутствующим подогревом.

В процессе сварки с подогревом до 350-400 °С, перегрев свариваемого металла за счет увеличения длительности пребывания при температурах выше фазовых превращений (A_{cs}), приводит к распаду карбидных фаз свариваемой стали с соответствующим увеличением концентрации углерода, хрома и присадочных легирующих элементов в аустенитной структуре и росту размеров зерен [1, 2]. Указанные факторы способствуют образованию в ОШЗ крупноиглочатой мартенситной структуры **с протяженностью участков перегрева до 1,5-2 мм**. Образование при сварке с подогревом в сварном шве и околошовных зонах прослоек металла с мартенситной структурой становится наиболее вероятным местом возникновения холодных закалочных трещин и хрупкого разрушения крупногабаритных сварных сосудов и аппаратов. Рациональным технологическим решением этой проблемы при изготовлении сварных изделий из хромистых жаропрочных сталей яв-

Халимов Андалис Гарифович, доктор технических наук, профессор кафедры «Технология нефтяного аппаратаостроения». E-mail: andalis13@yandex.ru

Халимов Айрат Андалисович, доктор технических наук, доцент кафедры «Технология нефтяного аппаратаостроения». E-mail: air120670@mail.ru

Надршин Альберт Сахабович, доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматизации технологических процессов и производств». E-mail: albert2704@mail.ru

Халимов Искандер Айратович, студент. E-mail: pyrolodon@yandex.ru

ляется применение для формирования металла шва высоколегированных сварочных материалов аустенитного структурного класса.

В данной работе для благоприятного регулирования параметров термических циклов сварки жаропрочных хромистых сталей мартенситного структурного класса, обосновывается применение технологии механизированного способа сварки в среде защитных газов аустенитными сварочными материалами [1-4]. При механизированных способах можно обеспечить регулируемое сопутствующее принудительное охлаждение более технологично, чем при ручной электродуговой сварке [5].

Специально выполненными тонкими структурно-фазовыми исследованиями нами было установлено, что в условиях сварки с регулированием термических циклов за счет сопутствующего охлаждения в свариваемых сталях типа 15X5M происходит образование мелкозернистой равновесной бейнитной структуры, с равномерно распределенными частицами дисперсных исходных карбидов свариваемой стали [1-5].

Таким образом, для жаропрочных закалывающихся хромистых сталей в условиях сварки с регулируемым сопутствующим охлаждением, за счет интенсивного отвода тепла из высокотемпературных зон сварного соединения, происходит благоприятное перераспределение основных компонентов углерода и стойких карбидообразующих элементов (хрома, молибдена, ванадия и т.п.), между твердым раствором и фазами выделения свариваемой стали [1-3]. Обеспечение высокой трещиностойкости сварного соединения низкоуглеродистых хромомолибденованадиевых сталей, обеспечивается за счет ограничения перегрева металла в ОШЗ в процессе сварки выше температур начала интенсивного роста зерна $T_{\text{нир}}$. На стадии охлаждения распад высокотемпературного мелкозернистого аустенита с ограниченным содержанием углерода и легирующих элементов происходит на 100-180°C выше температуры начала мартенситных превращений M_n , чем при сварке с подогревом. Отмеченные эффекты хорошо фиксировались при dilatометрическом исследовании модельных образцов из стали 15X5M, имитирующих термические циклы сварки участков перегрева ОШЗ [1,2].

Применительно к сварке закалывающихся сталей сварка в среде защитного газа за счет высокой степени сосредоточения тепла в небольшом объеме зоны дуги создает ограниченную зону теплового влияния и соответственно позволяет уменьшить относительные размеры твердых зон подкалки в ОШЗ [1-8]. Уменьшение ширины области активной зоны способствует снижению значения остаточных сварочных напряжений и упругопластических деформаций при сварке [9]. При этом уменьшение тепло-

вложений за счет меньшей температуры ванны и охлаждения ее струей защитного газа способствует измельчению структурного строения вдоль линий сплавления на участках перегрева в ОШЗ сварного соединения [3].

Технологическим достоинством разработанного процесса сварки с РТЦС, является, одновременное обеспечение однородного дисперсного с высокими технологическими и механическими свойствами аустенитного металла шва. Технологически просто отмеченное обеспечивается за счет сварки с послойным охлаждением аустенитными электродами. Наибольший положительный эффект достигается при технологии сварки с применением принудительного охлаждения водо-воздушной смесью, чем при сварке с подогревом до 300-350°C. Подогрев при сварке, хотя играет позитивную роль с точки зрения нарастания структурных и остаточных сварочных напряжений в области температуры мартенситных превращений на стадии охлаждения, практически не уменьшает ни твердости, ни ширины участков подкалки даже при многослойной сварке. Особенно способствует общему огрублению структуры шва и участков перегрева свариваемого металла вдоль линии сплавления и росту количества избыточных фаз (феррита и карбидов) из аустенитного металла шва (рис. 1, а и б) повышенные токи сварки. Структура шва при этом (рис. 1,а) столбчатая и явно выраженного дендритного строения, склонная к образованию горячих трещин. Недостатком данной технологии сварки является также пониженная твердость металла шва до 160-170 HV с соответствующим снижением предела текучести металла шва, чем у основного металла.

Использование сварки с интенсивным отводом тепла из высокотемпературных участков ЗТВ позволяет ограничивать область распространения критических (закалочных) температур A_{C1} и A_{C3} , что естественно приводит к уменьшению объема металла претерпевающего сдвиговые мартенситные превращения. Увеличение скоростей нагрева W_n и охлаждения W_o в области максимальных температур создает условия для гомогенизации аустенитного шва мелкодисперсного строения (рис. 1, в).

В большей мере отмеченные положительные воздействия относятся к линиям сплавления аустенитного шва и участкам перегрева в ОШЗ. Наблюдается большая общность границ зерен мелкозернистого строения свариваемого металла и аустенитного металла шва в зоне сплавления (соответственно на рисунке 1, г справа и слева) при меньшем искажении структурного строения разнородного соединения измельченного строения. Замечено снижение значений твердости металла ОШЗ на 20-50 единиц по Виккерсу по сравнению с максимальными

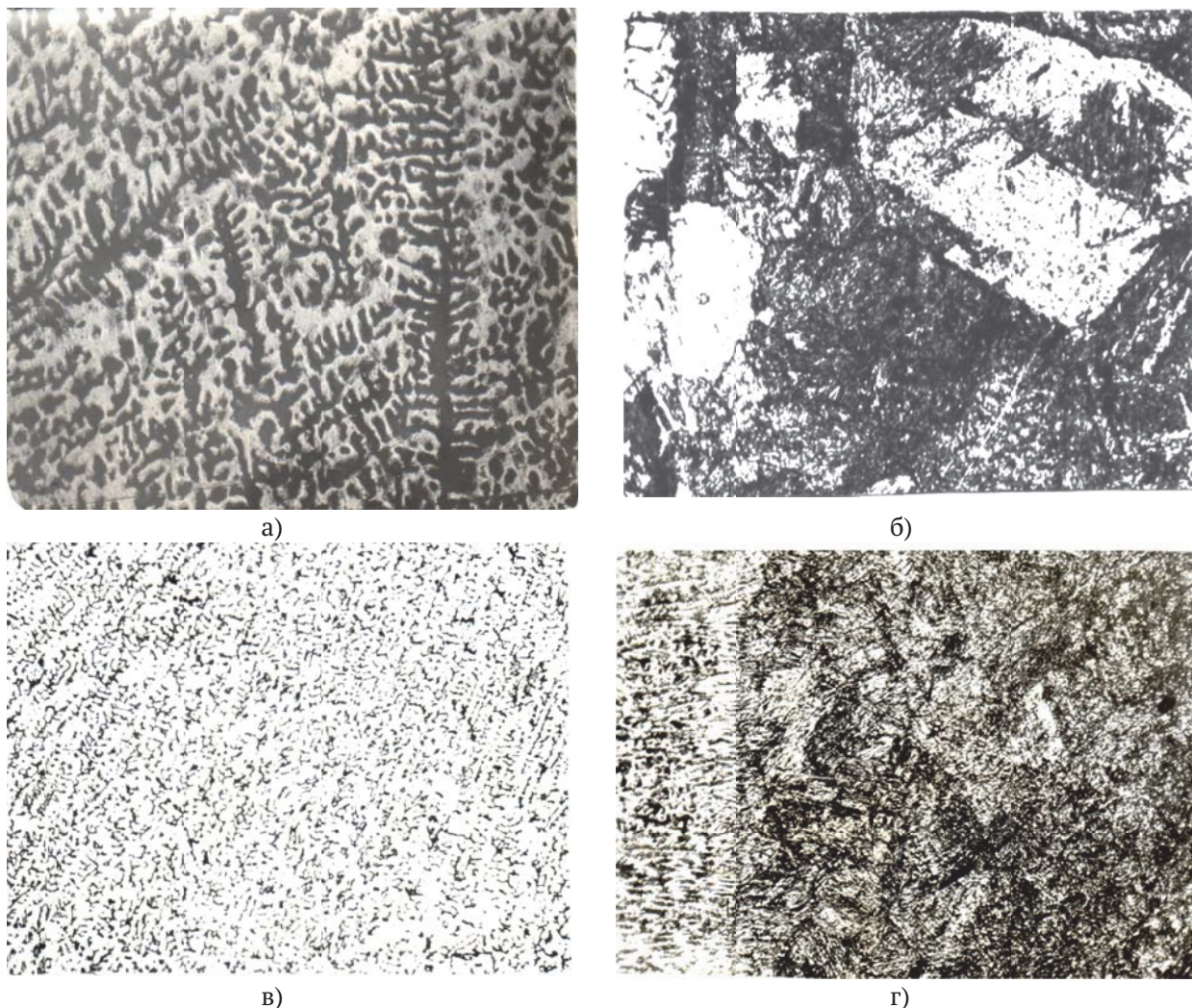


Рис. 1. Микроструктуры характерных участков сварных соединений стали 15Х5М, выполненных электродами типа Э10Х25Н13 марки ОЗЛ-6:
а) и б) – с подогревом; в) и г) – сопутствующим охлаждением

значениями твердости при сварке с подогревом.

Результаты исследований были использованы при разработке отраслевых нормативно-технологических инструкций по сварке [5-7].

Применительно к обеспечению работоспособности сварных элементов оборудования из жаропрочных хромистых сталей мартенситного класса проводились исследования оценки трещиностойкости при замедленном разрушении, прочности и долговечности при различных схемах деформирования и температурных условиях [1-14], в частности, для разнородных сварных соединений - стойкости против развития термодиффузионной структурной неоднородности, термической и коррозионно-механической усталости [1-3,14-16].

В работе уделено внимание установлению взаимосвязи между основными механическими характеристиками сопротивления разрушению и параметрами структурно-механической неоднородности. В плане обеспечения работоспособности сварных соединений закаливающих сталей

в первую очередь учитывали наличие твердых прослоек с низкой сопротивляемостью к хрупким разрушениям. На основе исследования закономерностей напряженно-деформированного состояния твердых прослоек в условиях плоского напряженного состояния авторами [1,2], разработаны теоретические предпосылки для прогнозирования допустимых параметров хрупких твердых прослоек. Наличие в сварных соединениях размеры закаленных участков твердостью выше HV240 оценивали величиной относительной толщины твердой прослойки

$$\chi_T = \frac{F_T}{S^2} = \frac{h_T}{S}, \quad (1)$$

где F_T – площадь поперечного сечения твердых участков подкалки, которое определяется по результатам измерений твердости или по макрошлифу сварного соединения; S – толщина конструктивного элемента, мм.

Регламентируемая [7] максимально допустимая ширина твердых участков в ЗТВ h_T для

сварных соединений из сталей типа 15X5M не должна превышать значения, рассчитанного по формуле:

$$h_T \leq 0,5S \left(\sqrt{1 + \frac{K_B - 1}{K_B^2 (1 - K_{BT})}} - 1 \right), \quad (2)$$

где $K_B = \sigma_B^T / \sigma_B^M$; $K_{BT} = \sigma_B^M / \sigma_T^T$;

σ_B^M , σ_B^T – соответственно временное сопротивление мягкого (основного) и твердого (околошовной зоны термического влияния) металлов;

σ_T^T – предел текучести твердого металла.

Ориентировочно оценка h_T может быть рассчитана по значениям твердости с использованием формулы

$$h_T \leq \frac{S}{4 \frac{HV^T}{HV^M} \left(\frac{HV^T}{HV^M} - 1 \right)}, \quad (3)$$

где HV^T и HV^M – твердости твердого и мягкого металлов.

В таблице приведены значения допустимой ширины твердых прослоек в ЗТВ для хромистых жаропрочных сталей при толщине проката труб (обечаек корпуса аппарата) 10 мм, которые не оказывают отрицательное влияние на работоспособность сварного соединения.

Для осуществления плоской деформации, присущей стенкам аппаратов от внутреннего рабочего давления, были проведены испытания на специальных широких образцах (рис. 2).

Образцы на растяжение изготавливались с соотношением сторон поперечного сечения $B/S \geq 5$ (B и S – ширина и толщина образца), что наиболее близко соответствует условиям плоской деформации кольцевых стыков сварных сосудов. Сварные швы располагались вдоль и поперек продольной оси образцов. Количество образцов каждой серии было по 5-6 образцов для каждого варианта сварки. В каждой из серии образцов

Таблица. Значения допустимой ширины твердых участков в ЗТВ

Вариант сварки	HV	K_B	K_{BT}	h_T , мм
	10^{-2} ГПа			
Основной металл	163 - 220	-	-	-
Аустенитный вариант				
Горячекатаные стали с послойным охлаждением	360 - 400*	2,0 - 2,2	0,50 - 0,55	$\leq 1,25$
Горячекатаные стали с РТЦ	350 - 370*	2,0 - 2,1	0,62 - 0,65	$\leq 1,4$
Термоупрочненные стали с РТЦ	330 - 380*	1,6 - 1,7	0,78	$\leq 2,2$
* Твердость околошовных участков ЗТВ.				

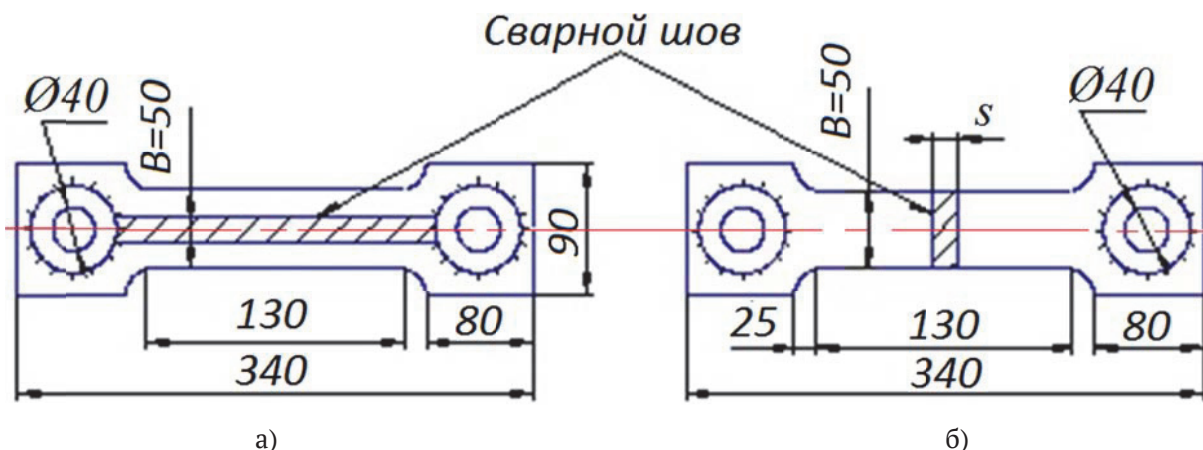


Рис. 2. Широкие плоские образцы для исследования несущей способности сварных соединений стали 15X5M на одноосное растяжение

изменялись относительные толщины твердых прослоек в пределах $\chi_T = 0,14...2,8$. Образцы по ширине шлифовались с обеих сторон и на них наносились линии поперечных муаровых сеток шагом 0,1 мм. Для соосности приложения нагрузки при растяжении испытание производилось с применением специального приспособления шарнирного типа.

Долю твердых участков в поперечном сечении образца θ_T (см. рис. 2, а) при вариантах сварки аустенитными электродами оценивали по зависимости

$$\theta_T = \frac{2F_T}{F_0} = \frac{2F_T S}{BS} = 2\chi_T \frac{S}{B}, \quad (4)$$

где $\chi_T = \frac{F_T}{S^2}$ – относительная эквивалентная толщина твердых прослоек,

F_T – площадь поперечного сечения твердых участков в ЗТВ, S и B – толщина и ширина образца.

При испытаниях образцов с поперечным швом (рис. 2, б) наблюдается некоторое увеличение относительного удлинения образцов δ по мере уменьшения относительной толщины участков подкалки. Это объясняется тем, что в относительно тонких твердых участках соединения, вследствие действия эффекта контактного разупрочнения, становится возможной пластическая деформация металла твердых участков даже при напряжениях, меньше предела их текучести σ_T^T . Для рассматриваемых сварных соединений $\sigma_B^{OM} = (0,6, 0,8) \sigma_T^T$. Образ-

цы разрушались по основному металлу, но с заметным вовлечением в деформацию аустенитного металла шва и узких твердых околошовных зон. При определенной толщине прослойка полностью переходит в пластическое состояние, повышая тем самым общую деформационную способность сварного соединения [2].

Испытание сварных соединений с продольным швом (рис. 3, а), имеющих продольно ориентированные по отношению к действующему усилию P твердые участки подкалки T в ЗТВ, является наиболее опасным, с точки зрения возможности реализации хрупких разрушений при растяжении. Можно допустить, что если твердая прослойка будет иметь наименьшую пластичность, то разрушение всегда первоначально начнется по этому участку.

Фотография на рис. 3, а иллюстрирует муаровую картину продольной деформации сварного образца с аустенитным швом, имеющим относительно большую долю продольных твердых участков ($q_T = 0,24$). Сварка пластин приведенного образца выполнялась с предварительным и сопутствующим подогревом электродами марки ОЗЛ-6 типа Э-10Х25Н13Г2 на повышенных режимах сварки. Разрушение таких образцов происходило при значениях относительного удлинения, соответствующих минимальной деформационной способности закаленного металла ЗТВ.

На рис. 3, б показана муаровая картина продольной деформации сварного образца с аустенитным швом, имеющим минимальную долю твердых участков в поперечном сечении ($\theta_T = 0,06$). Сварка пластин выполнялась по разработанной новой технологии с регулированием

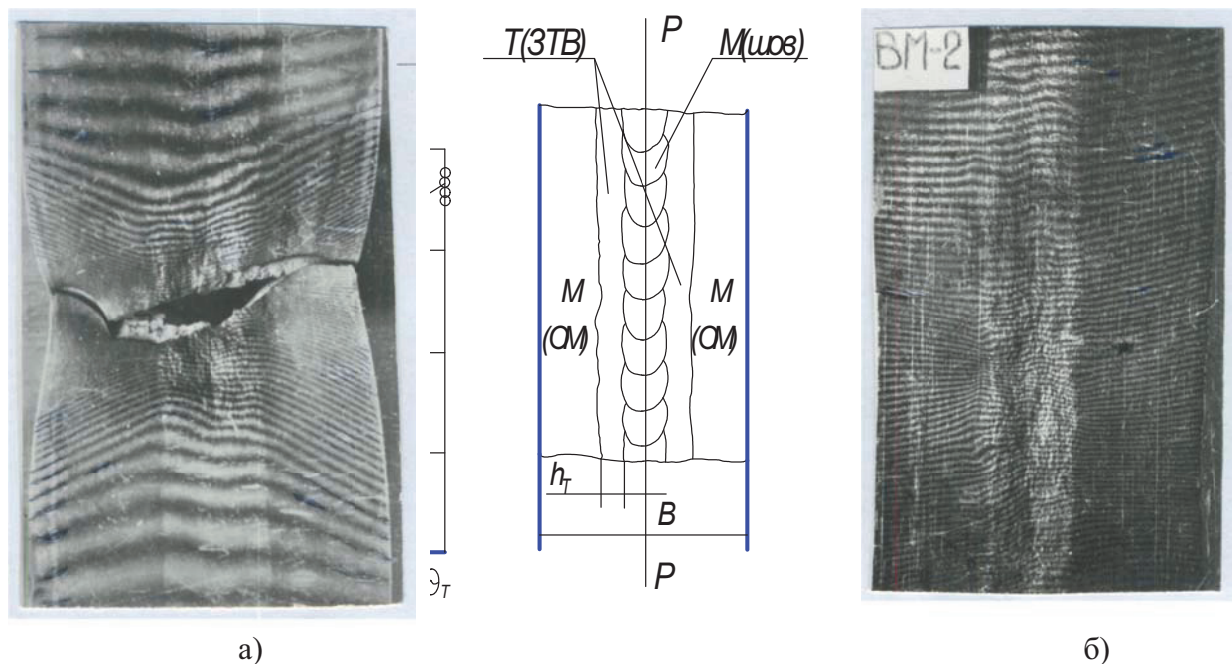


Рис. 3. Муаровая картина продольной деформации сварного образца из стали 15Х5М:
а – $\theta_T = 0,24$; $\chi_T^3 = 0,6$; $\delta = 7,2\%$; б – $\theta_T = 0,06$; $\chi_T^3 = 0,16$; $\delta_i = 18,8\%$

термических циклов с принудительным сопутствующим охлаждением водовоздушной смесью. Изображенное деформированное состояние соответствует продольной деформации образца после достижения максимальной нагрузки (P_B) при растяжении на стадии разрушения образца. Несмотря на значительное превышение общей средней относительной деформации образца ($\delta_i = 18,8\%$), предельного относительного удлинения металла твердых участков ЗТВ ($\delta_{ЗТВ} = 4 - 9\%$) трещин в образце не было. Как видно, распределение деформации вдоль образца относительно равномерное. Можно отметить большую утяжку аустенитного металла шва, особенно, в местах вероятного разрушения испытываемого образца. При достаточно малых значениях параметра θ_T , что соответствует значениям допустимой ширины твердых участков в ЗТВ h_T для сварных соединений стали 15X5M рассчитанного по формуле (2) и приведенных в таблице, относительное удлинение δ сварных соединений достигает относительного удлинения основного более пластичного металла. Это более чем в 3-4 раза превышает предельно возможное удлинение свободно деформирующегося металла твердой прослойки. Такое увеличение пластичности околошовных участков подкалки и шва при изменении технологии сварки за счет сопутствующего охлаждения сварных соединений, на наш взгляд, объясняется улучшением структуры металла околошовных участков подкалки и шва при изменении технологии сварки за счет сопутствующего охлаждения. Следовательно, путем благоприятного регулирования структурно-механической неоднородности сварных соединений можно существенно повысить их деформационную способность. Последнее нашло полное подтверждение при испытаниях натуральных сварных сосудов из стали 15X5M до разрушения при статических и циклических нагрузках [1,8-10].

Разработанный технологический процесс сварных сосудов охватывает диаметры обечаек в пределах $D = 600 - 2000$ мм, толщину листовых прокатов в пределах $S = 8 - 30$ мм и может быть использован для изготовления корпусов теплообменников, конденсаторов холодильников, ресиверов, реакторов, маслоотделителей, конденсаторов КТВ и т. д.

Сварка продольных и кольцевых сварных швов корпуса аппарата выполняется автоматической сваркой среди защитного газа ($Ar + 20-25\% CO_2$) при постоянном токе обратной полярности. При допустимой рабочей температуре до $450^\circ C$ сварка выполняется с применением сварочной проволоки марки Св-08Х20Н9Г7Т (ГОСТ-2246). Для конструктивных элементов сварных сосудов с максимальной рабочей температуры до $550^\circ C$ необходимо применять сварочную проволоку Св-05Х5Н40Г7М8Т (ТУ-14-1-2286).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, по результатам выполненных комплексных исследований можно сделать следующие обобщения.

1) В отличие от сопоставляемых вариантов сварки с регламентируемым предварительным и сопутствующим подогревом до $350-400^\circ C$ при разработанных способах сварки с регулированием термических циклов за счет принудительного сопутствующего охлаждения обеспечивается до 4-5 раз уменьшение ширины ОШЗ с недопустимо высокой твердостью и хрупкостью, исключение образования закалочной мартенситной структуры, получение равновесной мелкозернистой бейнитной структуры с уменьшением закаливаемости на 30 - 60 HV и остаточных напряжений, происходит закалка на аустенит металла аустенитного шва и уменьшение размеров закаленных участков в ОШЗ до величин, при которых их наличие не сказывается отрицательно на работоспособности сварных соединений.

2) Регулирование параметров термических циклов сварки сопутствующим охлаждением позволяет, не снижая технологических и механических свойств сварных соединений жаропрочных сталей 15X5M, повысить погонную энергию при механизированной сварке в среде защитных газов. Технико-экономическая эффективность разработанного технологического процесса сварки обеспечивается за счет исключения предварительного и сопутствующего подогрева свариваемых конструктивных элементов сварного сосуда и последующей высокотемпературной термической обработки.

3) Результаты исследований дают основание рекомендовать технологию сварки аустенитными сварочными материалами сталей типа 15X5M без последующей термообработки для производства конструктивных элементов нефтегазохимической аппаратуры и трубопроводов. Предлагаемая технология сварки аппаратов способствует повышению комплекса характеристик сопротивления механико-коррозионному разрушению разнородных сварных соединений и позволяет снизить себестоимость производства нефтегазохимического оборудования

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ресурсосберегающая технология изготовления и ремонта нефтегазохимического оборудования из жаропрочных хромистых сталей / А.Г. Халимов, Р.С. Зайнуллин, А.А. Халимов, И.Г. Ибрагимов, Д.Ф. Габбасов, А.Г. Вахитов // Нефтегазовое дело. 2003. № 1. С. 279-289.
2. Халимов А.Г., Ибрагимов И.Г., Халимов А.А. Работоспособность сварного оборудования из жаропрочных хромистых сталей. СПб.: Недра. 2008. 412 с.
3. Полуавтоматическая сварка стали 15X5M в среде диоксида углерода без термической обработки

- сварных соединений / А.Г. Халимов, Н.М. Королев, А.Ф., Тишкин И.М. Кутлуев // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 1992. № 9. С. 28-31.
4. Халимов А.А., Жаринова Н.В. Оптимизация технологии высокотемпературной термической обработки хромистых жаропрочных сталей // Технология машиностроения. 2009. №10 (88). С. 19 - 25.
 5. Ручная электродуговая сварка с регулированием термических циклов конструктивных элементов нефтехимического оборудования из закаливающих сталей типа 15X5M. РТМ 26-17-076-87. М.: Минхиммаш, 1987. 26 с.
 6. Полуавтоматическая сварка в среде углекислого газа стали типа 15X5M (временная инструкция) / А.Р. Исаков, Ю.С. Медведев, Н.М. Королев, Р.С. Зайнуллин, А.Г. Халимов, И.М. Кутлуев, Ю.А. Черных, А.Ф. Тишкин. М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1992. 8 с.
 7. Халимов А.А., Файрушин А.М., Жаринова Н.В. Полуавтоматическая сварка в среде защитных газов сталей марок 12X2M1 и 15X5M (15X5МУ) / СТП 09-07. Уфа. УГНТУ. 2008. 20 с.
 8. Халимов А.Г. Повышение прочности и долговечности сварных соединений нефтехимической аппаратуры с твердыми прослойками // Ресурс и прочность оборудования нефтеперерабатывающих заводов. Уфа. УГНТУ, 1989. С. 86-101
 9. Халимов А.А. Определение остаточных напряжений после ремонта напряженных конструктивных элементов оборудования и трубопроводов // Нефтепромысловое дело, 2008. № 12. С. 46-48.
 10. Халимов А.А., Халимов А.Г. Работоспособность нефтегазохимического оборудования из жаропрочных хромистых сталей // В сборнике: Мировое сообщество: проблемы и пути решения. Уфа. УГНТУ. 2003. № 14. С. 85-97.
 11. Обеспечение технологической прочности сварных соединений из мартенситных хромистых сталей типа 15X5M / А.А. Халимов, Н.В. Жаринова, А.Г. Халимов, А.М. Файрушин // Нефтегазовое дело, 2012. Т. 10, № 3. С. 102-108.
 12. Khisaeva Z.F., Kuzeev I.R. Effect of siliconizing on the low-cycle fatigue of steel // Metal Science and Heat Treatment. 2004. V.46. № 9-10. 436-439 pp.
 13. Оценка напряженно-деформированного состояния усовершенствованной конструкции модульной установки термической переработки нефтяных шламов / А.С. Байрамгулов, С.Г. Зубаиров, Р.Р. Тляшева, Р.Ш. Халитов // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело, 2014. № 5. С. 238-264.
 14. Халимов А.Г., Зайнуллин Р.С., Халимов А.А. Техническая диагностика и оценка ресурса нефтегазохимического оборудования: учебное пособие. СПб.: Недра. 2012. 568 с.
 15. Ресурсосберегающие технологии механизированной сварки жаропрочных сталей типа 15X5M / А.А. Халимов, Д.Ф. Габбасов, А.Г. Халимов, Л.В. Макаров // Сварка и контроль – 2014: Материалы научно-практической конференции в рамках Уральского промышленного форума. Уфа. УГНТУ, 2014. С. 36-39.
 16. Ресурсосберегающая технология изготовления сварного сосуда из жаропрочной стали 15X5M / А.Г. Халимов, А.А. Халимов, Э.И. Халимов, Л.В. Макаров, А.А. Шафилов // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2016. № 3. С. 217-238.

RESOURCE-SAVING TECHNOLOGY OF PRODUCING WELDING DEVICES FROM HEAT-RESISTANT STEEL OF TYPE 15CR5MO

© 2017 A.G. Khalimov¹, A.A. Khalimov¹, A.S. Nadrshin¹, I.A. Khalimov¹

¹ Ufa State Petroleum Technological University

² Moscow State Technical University named after N.E. Bauman

The aim of this work is to develop a resource-saving technological process of producing welding devices from harden heat-resistant steel 15Cr5Mo using mechanized welding technology in gas-shielded environment by welding austenitic materials regulating of thermal cycles (RTC) by forced accompanying cooling. Technical and economic efficiency of developed technological process of welding is ensured by eliminating the need for prior and accompanying heating of welding elements to a temperature of 250-350 °C, as well as technologically mandatory, when welding by homogeneous pearlite welding wires, subsequent high-temperature thermal processing of welding joints at temperatures of 720-760 °C with exposing at high temperatures during 2-5 hours and slow cooling to 500 °C with a wall thickness of the welding elements within 8-30 mm. It is shown that developed technology of welding of heat-resistant steel 15Cr5Mo allows to provide in heat affected zone (HAZ) obtaining the bainitic hardening structure with high indicators of crack resistance. At the same time along welding lines due to hardening of the austenite sturdy, strong adhesion is formed of homogeneous dispersion structure of austenitic weld metal with a fine bainitic structure of welding metal.

Keywords: resource-saving technology, welded devices, heat-resistant steel, mechanized welding, protective gases.

Andalis Khalimov, Doctor of Technical Sciences, Professor at the Technology of Petroleum Apparatus Construction Department. E-mail: andalis13@yandex.ru

Ayrate Khalimov, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor at the Technology of Petroleum Apparatus Construction Department. E-mail: air120670@mail.ru

Albert Nadrshin, Doctor of Technical Sciences, Professor at the Automation of Technological Processes and Productions Department. E-mail: albert2704@mail.ru

Iskander Khalimov, Student. E-mail: pyrolodon@yandex.ru