



УДК 621.791.052:539.86

ОСОБЕННОСТИ ИСПЫТАНИЙ НА УДАРНУЮ ВЯЗКОСТЬ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТРУБ, ВЫПОЛНЕННЫХ АВТОМАТИЧЕСКОЙ КОНТАКТНОЙ СТЫКОВОЙ СВАРКОЙ ОПЛАВЛЕНИЕМ

Академик НАН Украины **С. И. КУЧУК-ЯЦЕНКО**, чл.-кор. НАН Украины **В. И. КИРЬЯН**,
Б. И. КАЗЫМОВ, канд. техн. наук, **И. В. МИРЗОВ**, инж. (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины),
В. И. ХОМЕНКО, канд. техн. наук (ОАО «Стройтрансгаз», г. Москва, РФ)

Исследовано влияние механической неоднородности соединений, выполняемых контактной стыковой сваркой оплавлением, на показатели ударной вязкости *KCV*, а также естественных концентраторов напряжений, образующихся при нарушении технологии сварки в виде дефектов в зоне соединения, на энергию разрушения. Показано, что недопустимые дефекты сварки являются более мягкими концентраторами по сравнению со стандартным острым надрезом. Показано, что получаемые значения *KCV* качественных соединений в состоянии после сварки отражают уровень их служебных свойств и высокую эксплуатационную надежность.

Ключевые слова: автоматическая контактная стыковая сварка оплавлением, трубопроводы, механическая неоднородность, прочность, ударная вязкость, энергия разрушения, механические надрезы, естественные концентраторы напряжений, изломы

Автоматическая контактная стыковая сварка оплавлением (КСО) является одной из разновидностей сварки давлением и широко применяется в различных отраслях промышленности [1–4], в том числе в энергетике при строительстве трубопроводов [5–8]. Многолетняя (более 30 лет) практика эксплуатации сварных трубопроводов различного назначения, включая мощные газопроводы диаметром 1420 мм, показала высокую надежность монтажных кольцевых стыков, выполненных способом КСО. Механические свойства соединений, полученных КСО (табл. 1), отвечают требованиям нормативных документов [9, 10], в соответствии

с которыми осуществляется крупномасштабное строительство магистральных и промышленных газо- и нефтепроводов.

В сварных соединениях, полученных способом КСО (рис. 1, *a*) на установленном (оптимальном) режиме, нет дефектов, которые могли бы отрицательно повлиять на их механические свойства [11–13]. Как показано в работах [11, 14], высокая работоспособность сварных соединений, полученных КСО, в условиях эксплуатации гарантируется существующей стабильной связью режим сварки–качество соединений и поддержкой параметров режима на установленном уровне в течение

Таблица 1. Механические свойства сварных соединений трубных сталей, полученных КСО

Группа прочности стали	Место вырезки образцов	Временное сопротивление σ_b^* , МПа	Твердость <i>HV</i>
Х70	Основной металл	$\frac{606...616}{610}$	$\frac{196...205}{197}$
	Сварное соединение	$\frac{600...612}{604}$	$\frac{194...200^{**}}{196}$
Х80	Основной металл	$\frac{612...626}{620}$	$\frac{201...212}{209}$
	Сварное соединение	$\frac{604...623}{608}$	$\frac{195...203^{**}}{202}$

* В числителе приведены минимальное и максимальное значения, в знаменателе — среднее. ** — зона соединения (ЗС).

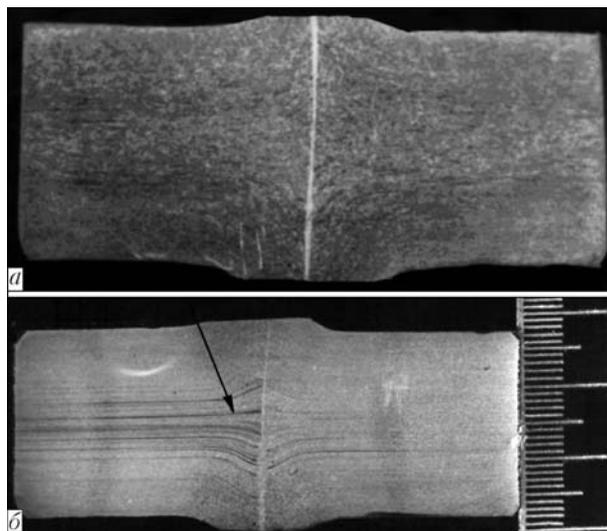


Рис. 1. Макрошлифы сварных соединений трубных сталей, полученных КСО, с различным содержанием сегрегационных включений: *a* — типичная структура современных трубных сталей; *b* — структура с ярко выраженными сегрегационными полосами (показано стрелкой)



всего процесса сварки с комплексной автоматизированной системой управления и контроля. В результате специфических особенностей формирования сварного соединения, главными из которых являются пластическая деформация при осадке на конечной стадии сварки и отсутствие литого металла в ЗС, в нем нет трещин и острых концентраторов напряжений. Появляющиеся в ЗС локальные участки с неметаллическими включениями, перешедшими из металла труб (рис. 1, б), или с микрочастицами, которые могут образовываться при разрушении тонких оксидных пленок в процессе осадки, не идентифицируются как дефекты. Они представляют собой структурную неоднородность [11], которая практически не оказывает влияния на прочностные свойства соединений, полученных способом КСО. Это подтверждено результатами испытаний в условиях статического нагружения стандартных (плоских) и крупномасштабных образцов сварных соединений, полученных на режимах, принятых для сварки труб при строительстве магистральных трубопроводов [15]. Площадь участков со структурной неоднородностью в реальных стыках современных трубных сталей обычно не превышает 20 мм². Кроме того, всесторонняя оценка влияния структурной неоднородности на свойства соединений была проведена на круглых образцах диаметром 6 мм, изготовленных из сварных соединений труб из стали прочностью Х60 с большим количеством сегрегационных включений (см. рис. 1, б). Это позволило существенно увеличить относительную площадь участков со структурной неоднородностью в образце для испытаний. Результаты испытаний приведены в табл. 2. Несмотря на то что на поверхности изломов образцов, разрушившихся по ЗС, обнаружены участки со структурной неоднородностью, имеющей площадь от 30 до 70 % по отношению к площади поперечного сечения образца, полученные значе-

ния напряжений при разрушении σ_p были выше предела текучести металла труб $\sigma_{0,2}$.

Все отмеченное выше предопределяет многолетнюю безаварийную эксплуатацию сварных соединений, полученных КСО. В соответствии с общепринятой мировой практикой для подтверждения гарантий неразрушимости сварных соединений в условиях эксплуатации (независимо от способа сварки) к ним предъявляются требования по вязкости, которую определяли при испытании стандартных ударных образцов с острым надрезом (КСУ). Нормативные значения ударной вязкости устанавливаются из условия предупреждения разрушений при наличии в сварном соединении наиболее вероятных дефектов различных типов, включая трещиноподобные. Поэтому для обоснования уровня ударной вязкости в последнее время используются подходы и критерии механики разрушения [16], исходное положение которой базируется на том, что разрушение всегда есть следствием инициирования и развития в элементах конструкций трещин. Как известно, образование таких дефектов при сварке труб характерно для электродуговых способов сварки.

Цель настоящей работы состоит в исследовании особенностей разрушения ударных образцов стандартного размера, вырезанных из сварных соединений, полученных КСО, с различными типами искусственных (механические надрезы) и естественных концентраторов напряжений (свойственные технологии КСО дефекты сварки) и определении их влияния на показатели энергии разрушения соединений.

Важно отметить одну специфическую особенность сформированного сварного соединения, полученного КСО, которая имеет принципиальное значение для трактовки результатов испытаний. Такое сварное соединение образуется в результате взаимного сжатия свариваемых деталей, нагретых до сварочных температур. Участок нагрева труб вдоль их образующих имеет неоднородное температурное поле. На соединяемых кромках достигается температура плавления металла, которая по мере удаления от поверхности оплавления постепенно понижается. Градиент температурного поля в зоне нагрева определяется длительностью и интенсивностью оплавления (рис. 2, кривая 1). Поэтому в момент взаимного сжатия труб при осадке металл зоны термического влияния подвергается обжатию различной степени. В результате с обеих сторон ЗС образуется зона термомеханического упрочнения (ЗТМУ) с различными механическими свойствами на отдельных ее участках. Наибольшие значения твердости имеют место на участках, непосредственно примыкающих к ЗС. Твердость металла ЗС существенно ниже (до 30 % в зависимости от свариваемой стали и режима сварки), однако испытания стандартных

Таблица 2. Результаты испытаний на статическое растяжение круглых образцов из стали группы прочности Х60 диаметром 6 мм с участками структурной неоднородности в ЗС

№ образца	Отношение площади структурной неоднородности на поверхности излома образца к площади его поперечного сечения, %	Отношение уровня разрушающих напряжений к нормативным механическим свойствам основного металла, %	
		$\sigma_{0,2}$	σ_b
1	50	110	85
2	70	128	99
3	40	123	95
4	50	130	100
5	30	114	88

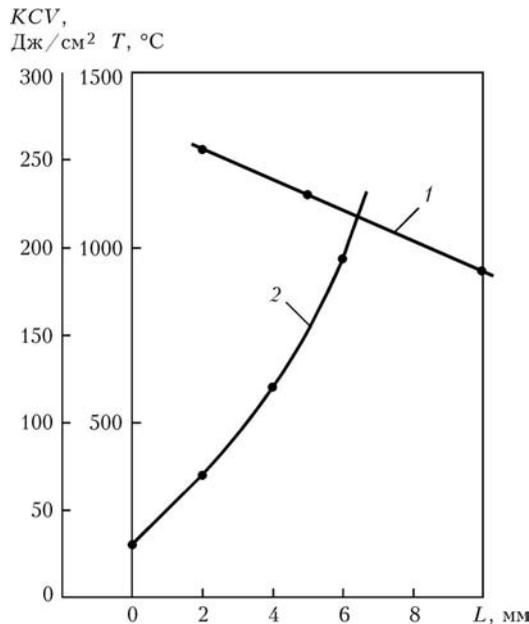


Рис. 2. Изменение температуры T металла трубы в зоне выполнения КСО (1) и ударной вязкости KCV сварного соединения при расположении вершины концентратора на различном расстоянии L от центрального сечения ЗС (2)

ударных образцов с острым надрезом в ЗС показали, что значения KCV недостаточны по сравнению с нормативами, установленными для сварных соединений, полученных электродуговыми способами сварки, с учетом высокой вероятности образования в них трещин. Так, значения KCV качественных соединений трубных сталей контролируемой прокатки группы прочности Х70 при температуре $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ составляют $14,3...56,3\text{ Дж/см}^2$ при среднем значении $29,8\text{ Дж/см}^2$. Заметим, что значительное рассеяние показателей KCV свойственно всем сварным соединениям независимо от способа сварки. На понижение KCV существенно влияет крупное зерно, образующееся под воздействием термического цикла сварки. Минимальное требуемое значение для магистральных трубопроводов, эксплуатируемых при отрицательных температурах ($T_{исп} = -20\text{ }^{\circ}\text{C}$), должно составлять не менее $29,4\text{ Дж/см}^2$ (среднее значение не менее $34,4\text{ Дж/см}^2$) [9]. При $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ значение KCV металла труб достигает 300 Дж/см^2 .

Возможными дефектами в сварных соединениях при недопустимых отклонениях от заданных параметров режима КСО являются непровары, которые могут иметь вид незакрывшихся кратеров и толстых оксидных пленок [8]. Эти дефекты появляются при чрезмерно малом припуске на осадку. Образование толстых оксидных пленок происходит в том случае, если при малом припуске на осадку будет недопустимый перерыв в процессе оплавления перед осадкой, в то время как для получения качественного соединения требуется повышенная стабильная интенсивность оплавления. Если перед осадкой процесс оплавления

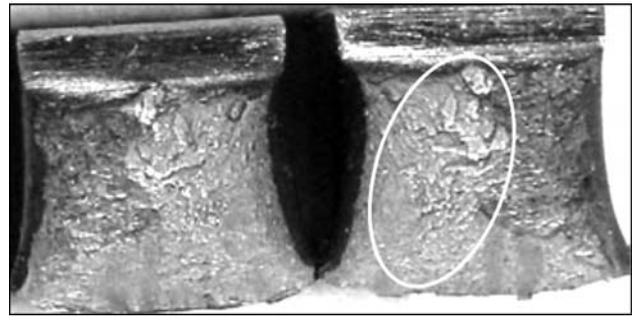


Рис. 3. Вид типичной поверхности излома ударного образца ($KCV = 60\text{ Дж/см}^2$) с раздробленной оксидной пленкой (очерченная область)

прерывался, то в ЗС появляются оксидные пленки. При достаточной осадке тонкие пленки разрываются с образованием прочной металлической связи в местах разрыва. Исследования показали, что в отличие от непроваров в виде толстых оксидных пленок их нельзя идентифицировать как трещины, поскольку сами фрагменты таких пленок также являются связующим звеном между свариваемыми трубами. В данном случае металлическая связь происходит через пленку, что обусловлено ее составом, в котором преобладают низшие оксиды, имеющие одинаковую по строению и близкую по размерам кристаллическую решетку с α -железом [17]. Испытаниями на растяжение крупномасштабных образцов шириной 500 мм , вырезанных из сварных соединений с такими дефектами, установлено, что их критические размеры при $T_{исп} = -60\text{ }^{\circ}\text{C}$ превышают 70 мм^2 [11, 17]. Средние значения ударной вязкости KCV стандартных образцов, вырезанных из стыков с рассматриваемыми дефектами, практически не отличаются от качественных соединений, но при этом наблюдается более значительный разброс результатов ($7...60\text{ Дж/см}^2$). Некоторые образцы показывают сравнительно высокие значения KCV . Например, образец с такой аномальной структурой площадью более 60% площади поперечного значения (рис. 3) имел ударную вязкость 60 Дж/см^2 .

Здесь важно подчеркнуть, что непровары и оксидные пленки со 100% вероятностью обнаруживаются по результатам контроля параметров режима сварки. Достаточно высокую вероятность выявления подобных дефектов имеет метод ультразвукового контроля [18, 19] и широко распространенный при строительстве трубопроводов рентгенконтроль (рис. 4). При этом одним из важных условий является качественное удаление графа. В случае обнаружения указанных выше дефектов стыки подлежат удалению.

Приведенные данные стали основой для разработки методики испытаний по оценке вязкости металла соединений КСО и нормирования ее уровня.

Снижение ударной вязкости отдельных зон сварного соединения по сравнению с металлом

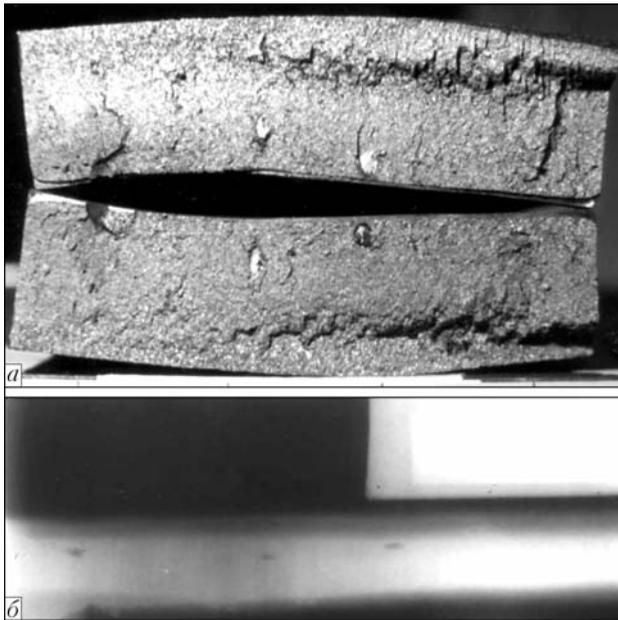


Рис. 4. Излом сварного соединения, полученного с недопустимыми отклонениями параметров режима сварки (а), и рентгенограмма соединения до разрушения (б)

труб наблюдается при всех способах сварки, сопровождаемых высокотемпературными превращениями в металле соединения. При электродуговой сварке продольных стыков труб из микролегированных сталей контролируемой прокатки участок перехода от наплавленного металла к металлу труб представляет собой локальную хрупкую зону, которая в отдельных случаях является причиной неудовлетворительной ударной вязкости. С учетом высокой надежности указанных труб в условиях эксплуатации применительно к свар-

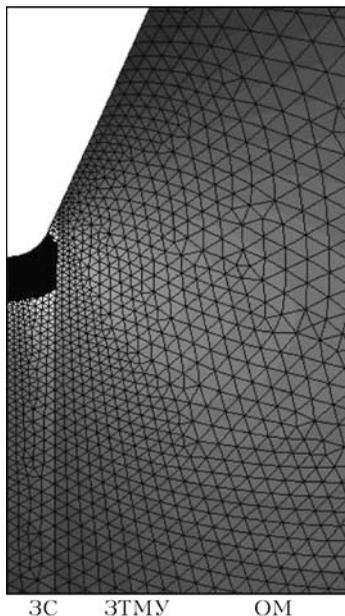


Рис. 5. Локализация зоны пластических деформаций (затемнена) в узкой (шириной 0,6 мм) ЗС при испытании в условиях трехточечного изгиба стандартного образца размером 10×10×55 мм с острым механическим надрезом, расположенным в центральном сечении ЗС

ным соединениям с локальной хрупкой зоной разработана специальная методика испытаний по оценке вязкости разрушения [20].

Решение подобной задачи является весьма актуальным для сварных соединений, полученных КСО, при этом основой могут служить данные об отсутствии в металле соединения трещин и острых концентраторов напряжений.

Снижение значений KCV металла сварного соединения, полученного КСО, наблюдается только в случае испытания стандартных образцов с надрезом по ЗС (см. рис. 2, кривая 2). При этом, как показали результаты решения методом конечных элементов упругопластической задачи о напряженно-деформированном состоянии рассматриваемого образца, который испытывается в условиях трехточечного изгиба, строго ориентированная поперек максимальных растягивающих напряжений кусочная разнородность металла соединения приводит к локализации развития области пластических деформаций (рис. 5), предшествующих разрушению, в узкой ЗС с более низкими механическими свойствами ($\sigma_{0,2}$) по сравнению с примыкающей к ней ЗТМУ. Границу зоны пластических деформаций вблизи механического концентратора (глубина 2 мм, радиус закругления 0,25 мм), расположенного по центру ЗС шириной 0,6 мм, определяли по условию Мизеса–Генки

$$\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} = \sigma_T,$$

где σ_i — интенсивность напряжений; $\sigma_1 \dots \sigma_3$ — главные напряжения; σ_T — предел текучести.

В результате существенного снижения объема пластически деформированного металла в области разрушения и более низких механических свойств ЗС ($\sigma_{0,2}$) по сравнению с основным металлом (ОМ) и ЗТМУ разрушение становится менее энергоемким, а следовательно, показатели ударной вязкости снижаются.

В подобных условиях испытаний по ограничению пластического деформирования металла высокопластичная трубная сталь показала значения ударной вязкости в два раза более низкие по сравнению со стандартными образцами. Из стали группы прочности Х70 были изготовлены и испытаны на ударный изгиб три партии образцов со стандартным V-образным механическим надрезом глубиной 2 мм и радиусом вершины 0,25 мм. Партия № 1 (образцы размером 10×10×55 мм) имела площадь ослабленного сечения 0,8 см² (табл. 3). В партии № 2 толщина образца уменьшена до 5 мм (площадь поперечного сечения 0,4 см²). В партии № 3 на образцы партии № 1 были нанесены боковые выточки, подобные по конфигурации стандартному надрезу, но имеющие глубину 2,5 мм, чтобы площадь ос-

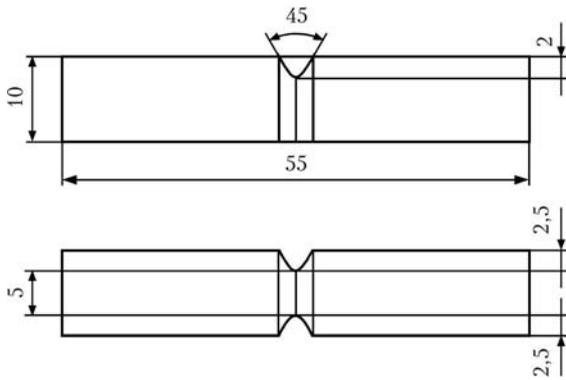


Рис. 6. Схема образца для испытания на ударную вязкость *KCV* стандартного размера с дополнительными двумя боковыми выточками, подобными стандартному надрезу, глубиной 2,5 мм

лабленного сечения соответствовала образцам партии № 2 (рис. 6). Такие боковые механические надрезы исключали образование утяжек на боковых поверхностях образца, создавая жесткое напряженное деформационное состояние в зоне разрушения. Уменьшение толщины образца с 10 (партия № 1) до 5 мм (партия № 2) привело к незначительному повышению ударной вязкости за счет некоторого уменьшения относительно толщины объема металла в средних сечениях образца, находящегося в условиях плоского деформированного состояния ($\epsilon_z = 0$). В то же время перевод всего сечения образца в указанных выше условиях за счет нанесения боковых выточек (партия № 3) привел к снижению ударной вязкости (табл. 3).

Важными для разработки методики испытаний сварных соединений с целью контроля их соответствия назначению представляются данные об энергии, затрачиваемой на разрушение стандартных образцов с возможными при КСО концентраторами напряжений в виде недопустимых дефектов — непроваров (незакрывшихся кратеров и оксидных пленок). Сначала на ударный изгиб были испытаны образцы стандартного размера (10×10×55 мм), вырезанные поперек качественного сварного соединения, полученного способом КСО, с ЗС в средней его части без механического

Т а б л и ц а 3. Результаты ударных испытаний трех партий образцов из микролегированной трубной стали контролируемой прокатки группы прочности X70 при комнатной температуре

№ партии образцов	<i>KV</i> , Дж	<i>KCV</i> (среднее значение), Дж/см ²
1	$\frac{217,8...266,4}{248,4}$	310,5
2	$\frac{124,2...133,4}{129,2}$	323,0
3	$\frac{46,8...83,4}{62,6}$	156,5

Примечание. В числителе приведены минимальное и максимальные значения, в знаменателе — среднее.

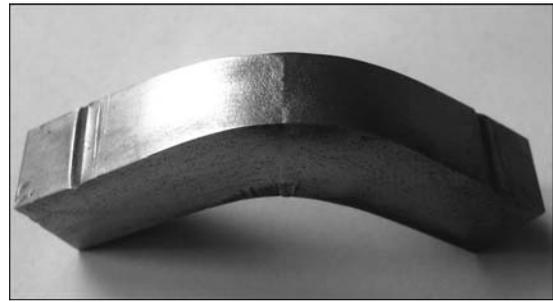


Рис. 7. Вид образца без механического надреза, вырезанного из качественного сварного соединения, полученного КСО, после испытания в условиях трехточечного ударного изгиба

надреза (рис. 7). Ни один из них не был разрушен при запасе энергии бойка 300 Дж. Это указывает на высокое сопротивление металла сварного соединения зарождению трещины и разрушению в процессе эксплуатации.

Для выявления степени влияния дефектов сварки на энергию разрушения были изготовлены ударные образцы стандартного размера без искусственных концентраторов напряжения из соединений, специально сваренных с допустимыми и недопустимыми отклонениями основных параметров режима сварки. В данном случае энергия разрушения образца без механического надреза, но с естественными дефектами, свойственными применяемым способам сварки, обозначается как *KD* по аналогии с символами *KU* и *KV*, отражающими тип механического надреза.

Ударные образцы, у которых на поверхности изломов обнаружены участки со структурной неоднородностью площадью от 4 до 25 % относительно площади образца, расположенные непосредственно у его поверхности (некоторые из образцов окончательно разрушались после ударных испытаний), показали энергию удара 153...261 Дж (рис. 8, а). Образцы со структурной неоднородностью, не выходящей на поверхность даже при относительно большой ее площади не разрушались подобно качественным.

Наличие в ЗС внутренних (не выходящих на поверхность образца) недопустимых дефектов — непроваров (рис. 8, б) также приводит к разрушению при достаточно высоких значениях поглощенной энергии. Несмотря на значительный размер дефектов (площадью до 20 % площади поперечного сечения образца) энергия разрушения составляла 202...278 Дж.

Роль недопустимых дефектов в понижении *KD* возрастает, если они выходят на поверхность (рис. 8, в, г). В данном случае энергия разрушения зависит не столько от площади дефекта, сколько от его линейного размера на поверхности. Например, при линейном размере дефекта у поверхности, равном 2,3 мм, энергия удара составила 151 Дж, а при длине 4,4 мм — 96 Дж. Результаты испытаний образцов с дефектами показали, что

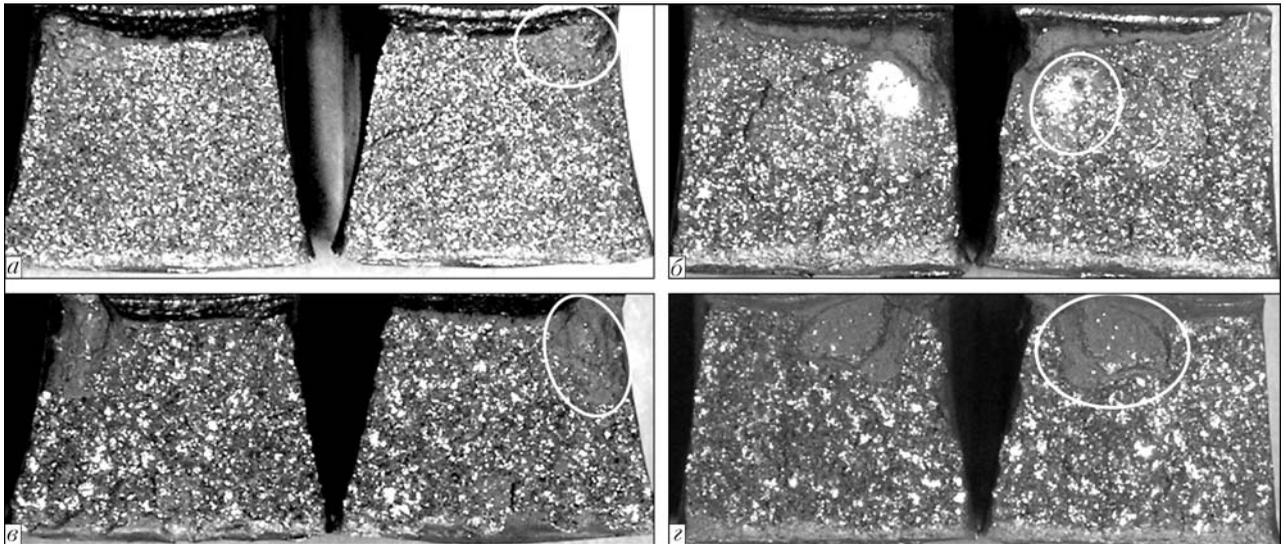


Рис. 8. Поверхности изломов ударных образцов со свойственными технологиями КСО дефектами (очерченные области): а — структурная неоднородность у поверхности образца ($KD = 261$ Дж); б — непровар (недопустимый дефект) внутри ЗС ($KD = 278$ Дж); в, г — то же у поверхности образца соответственно при $KD = 151$ и 96 Дж

решающим фактором, понижающим энергию разрушения, является относительное значение линейного размера дефекта у поверхности. В то же время вполне очевидно, что недопустимые дефекты в ЗС, которые в промышленных стыках отсутствуют, представляют собой более мягкие концентраторы напряжений по сравнению со стандартным механическим надрезом глубиной 2 мм. Этот факт важно учитывать при оценке соответствия назначению кольцевых сварных соединений КСО, для которых характерны специфические особенности: с одной стороны, значительная механическая неоднородность в зоне сварки, а с другой, отсутствие трещиноподобных дефектов и достаточно низкий уровень остаточных напряжений.

Таким образом, стандартная методика испытаний на ударную вязкость сварных соединений труб не учитывает специфические особенности соединений, выполняемых автоматической КСО. Эти особенности заключались в заметной механической, строго ориентированной по отношению к ЗС, кусочной разнородности металла и отсутствии предпосылок для образования трещин, что приводит к неадекватной оценке эксплуатационных свойств соединений. В связи с этим совершенствование методики испытаний таких соединений с целью оценки их соответствия назначению может быть направлено на снижение коэффициента концентрации напряжений по сравнению со стандартными образцами и обеспечение пластического деформирования в процессе их разрушения не только в узкой ЗС, но и в ЗТМУ.

Исследование особенностей разрушения ударных образцов стандартного размера с различными искусственными и естественными концентраторами напряжения в ЗС показали, что металл соединений, полученных КСО, отличается достаточно высоким сопротивлением хрупкому разру-

шению. Возможные дефекты в таких соединениях в виде структурной неоднородности практически не оказывают влияния на энергию разрушения образцов без механического надреза, а непровары являются более мягкими концентраторами напряжений по сравнению со стандартным V-образным надрезом. Отсюда очевидно, что получаемое среднее значение ударной вязкости ($KCV = 29,8$ Дж/см²) качественных сварных соединений в состоянии после сварки отражает уровень служебных свойств, обеспечивающих неразрушаемость стыков в условиях эксплуатации. Это подтверждается многолетней (более 30 лет) успешной работой трубопроводов, в частности газопроводов диаметром 1420 мм, выполненных автоматической КСО.

1. Кучук-Яценко С. И. Сварка рельсов непрерывным оплавлением // Автомат. сварка. — 1964. — № 4. — С. 55–62.
2. Контактная стыковая сварка рельсов. Опыт применения и перспективы совершенствования / С. И. Кучук-Яценко, А. В. Дидковский, В. Г. Кривенко, А. В. Гудков // Путь и путевое хоз-во. — 2004. — № 9. — С. 5–8.
3. Контактная стыковая сварка железнодорожных крестовин с рельсовыми окончаниями через промежуточную вставку / С. И. Кучук-Яценко, Ю. В. Швец, Е. В. Думчев и др. // Автомат. сварка. — 2005. — № 1. — С. 6–9.
4. Механизированная линия сборки и сварки картеров блоков мощных транспортных дизелей / В. К. Лебедев, В. И. Тишура, И. А. Черненко и др. // Там же. — 1975. — № 5. — С. 41–44.
5. Контактная стыковая сварка оплавлением котельных труб / Б. И. Казымов, С. И. Кучук-Яценко, В. М. Корсунов, Е. И. Едемский // Там же. — 1972. — № 9. — С. 52–55.
6. Скульский Ю. В., Казымов Б. И. Контактная стыковая сварка бурильных труб повышенной прочности // Там же. — 1981. — № 2. — С. 59–61.
7. Патон Б. Е., Лебедев В. К., Кучук-Яценко С. И. Комплекс «Север-1» для контактной стыковой сварки неповоротных стыков труб больших диаметров // Там же. — 1979. — № 11. — С. 41–45.
8. Кучук-Яценко С. И., Кривенко В. Г., Сахарнов В. А. Контактная стыковая сварка трубопроводов. — Киев: Наук. думка, 1986. — 189 с.



9. *СП 105-34-96*. Свод правил. Производство сварочных работ и контроль качества сварных соединений. — Введ. 01.06.96.
10. *API 1104*. Welding of pipelines and related facilities ASME boiler and pressure vessel. — Publ. 1999.
11. *К методологии* контроля соответствия назначению сварных соединений трубопроводов, полученных контактной сваркой оплавлением / С. И. Кучук-Яценко, В. И. Кирьян, Б. И. Казымов, В. И. Хоменко // *Автомат. сварка*. — 2006. — № 10. — С. 3–9.
12. *Мазур И. И., Серафин О. М., Карпенко М. П.* Электроконтактная сварка трубопроводов: пути совершенствования // *Стр-во трубопроводов*. — 1989. — № 4. — С. 8–11.
13. *Макаренко В. Д., Извеков Ю. Г., Шатило С. П.* Сопротивляемость хрупкому разрушению соединений, выполненных контактной сваркой // Там же. — 1987. — № 7. — С. 25–29.
14. *Кучук-Яценко С. И.* Контактная стыковая сварка непрерывным оплавлением. — Киев: Наук. думка, 1976. — 212 с.
15. *Влияние* некоторых дефектов на прочность стыковых соединений, выполненных контактной сваркой / В. И. Труфяков, В. Г. Мазур, Г. В. Жемчужников и др. // *Автомат. сварка*. — 1987. — № 2. — С. 7–9.
16. *Гиренко В. С., Дядин В. П.* Зависимости между ударной вязкостью и критериями механики разрушения конструкционных материалов и их сварных соединений // Там же. — 1986. — № 10. — С. 61–62.
17. *Кучук-Яценко С. И.* Контактная стыковая сварка оплавлением. — Киев: Наук. думка, 1992. — 236 с.
18. *Ультразвуковой* контроль качества соединений, выполненных контактной стыковой сваркой / В. А. Троицкий, В. П. Радько, П. Т. Юшак и др. // *Автомат. сварка*. — 1981. — № 4. — С. 38–40.
19. *Кучук-Яценко С. И., Казымов Б. И., Радько В. П.* Комплексный контроль соединений, выполненных автоматической стыковой сваркой оплавлением // *Техн. диагностика и неразрушающий контроль*. — 1996. — № 4. — С. 46–50.
20. *Кирьян В. И., Семенов С. Е.* Оценка соответствия целевому назначению сварных соединений магистральных трубопроводов из микрелегированных сталей // *Автомат. сварка*. — 1995. — № 3. — С. 4–9.

The influence was studied of mechanical inhomogeneity of joints made by flash-butt welding on impact toughness values *KCV*, as well as natural stress raisers formed at violation of welding technology in the form of defects in the joint zone, on fracture energy. It is shown that inadmissible defects in welding are softer concentrators compared to a standard sharp notch. It is also shown that the obtained *KCV* values of sound joints in as-welded condition reflect the level of their service properties and high operational reliability.

Поступила в редакцию 23.07.2008

МЕЖДУНАРОДНАЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ ВЫСТАВКА «МЕТАЛЛ-ЭКСПО 2008»

11–14 ноября 2008

г. Москва МВЦ «Крокус Экспо»

14 специальных салонов по всем направлениям металлургии и смежных отраслей промышленности:

- Черные металлы: производство и продукция черной металлургии (заготовки, сортовой и листовой прокат, трубы).
- Цветные металлы: производство и продукция цветной металлургии (сырье, вторичные металлы, полуфабрикаты, прокат, профили).
- Продукция высоких переделов: трубы, лист с покрытием, металлоизделия, спецстали, спецсплавы и др.
- Металлургмаш: оборудование и технологии для металлургической и горнодобывающей промышленности.
- Сырье и материалы для металлургии (ЖРС, ферросплавы, руды цветных металлов, кокс и др.).
- Сбор и переработка ломов черных и цветных металлов.
- Транспорт, логистика, склады в металлургии и металлоторговле, оборудование для складов и сервисных металлоцентров.
- Листо- и сортообработка: резка, профилирование, гибка, сварка.
- Сварочные материалы, оборудование и технологии.
- Огнеупоры, техническая керамика для металлургии и литейного производства.
- Фундаментальные и прикладные научные разработки в области черной и цветной металлургии и нанотехнологий.
- СМИ, ИТ-технологии, интернет-коммерция, автоматизация производственных и бизнес-процессов для металлургии и металлопереработки.
- Экология в металлургии, охрана труда и техника безопасности.
- Финансы, инвестиции, страхование, лизинг.

Оргкомитет выставки: тел./факс: (495) 901-99-66
<http://www.metal-expo.ru>