



УДК 621.791.011:669.14.018.295[621.791.85.052:669.14.018.295]:620.174.24

## НОВАЯ МЕТОДИКА ОЦЕНКИ СТОЙКОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЗАКАЛИВАЮЩИХСЯ СТАЛЕЙ ПРОТИВ ОБРАЗОВАНИЯ ХОЛОДНЫХ ТРЕЩИН

**В. М. КУЛИК**, канд. техн. наук, **М. М. САВИЦКИЙ**, д-р техн. наук  
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Предложена методика, предусматривающая испытание с уменьшением нагрузки плоских разрывных образцов стыковых соединений. Рассмотрены особенности замедленного разрушения соединений в зависимости от толщины, режима, техники сварки применяемой стали. Установлено, что замедленное разрушение однородных или близких к однородным стыковых соединений происходит преимущественно по шву. Показана возможность определения времени микропластической деформации, напряжения, работы замедленного разрушения, времени и частоты зарождения микротрещин. Методика может быть использована при разработке технологий сварки.

*Ключевые слова:* дуговая сварка, высокопрочные стали, стыковые соединения, шов, термический цикл сварки, замедленное разрушение, микропластическая деформация, напряжения, трещиностойкость, методика оценки

Изделия ответственного назначения невысокой металлоемкости изготавливают из тонколистовых высокопрочных углеродистых и легированных сталей с применением аргонодуговой сварки вольфрамовым электродом. Получаемые соединения закаливающих сталей склонны к образованию холодных трещин [1], которые возникают в процессе релаксации внутренних напряжений при вылеживании [2] и располагаются как в металле ЗТВ, так и в шве (рис. 1). На образование трещин влияют химический состав и толщина свариваемой стали, режим сварки и другие факторы, предопределяющие важность использования количественной оценки сопротивляемости образованию холодных трещин путем специализированных механических испытаний сварных соединений.

Наиболее широкое распространение получили методы испытания имплант [3–7]. Согласно традиционному методу [3] цилиндрический шлифованный образец диаметром 8 мм вставляется в соответствующее сквозное отверстие в технологической планке толщиной 20 мм, заваривается с поверхности путем наплавки или неполного проплавления и подвергается длительному растяжению до разрушения по зоне сплавления. Сопротивляемость замедленному разрушению оценивается силовыми ( $\sigma_{кр}$ ,  $\sigma_{кр\max}$ ,  $\sigma_{кр}/\sigma_T$ ) и энергетическим  $a_{пр}$  показателями, где  $\sigma_{кр}$  — минимальное напряжение, ниже которого замедленное разрушение не происходит;  $\sigma_{кр\max}$  — максимальное напряжение, при котором образец не разрушается в течение 24 ч;  $\sigma_T$  — условный предел текучести испытываемой стали;  $a_{пр}$  — приведенная (отнесен-

ная к площади поперечного сечения образца) работа.

А. М. Макарой и А. А. Хрипливым было установлено, что вместо цилиндрического можно использовать плоский образец-вставку толщиной 3 мм. В модернизированных методах имплант [4–7] используется образец-вставка сечением 3×14 мм.

Следует отметить, что сварка упомянутых выше образцов выполняется на режимах, существенно отличающихся от режимов сварки тонколистовой стали, а направление действия приложенного усилия (нормально к сварному соедине-

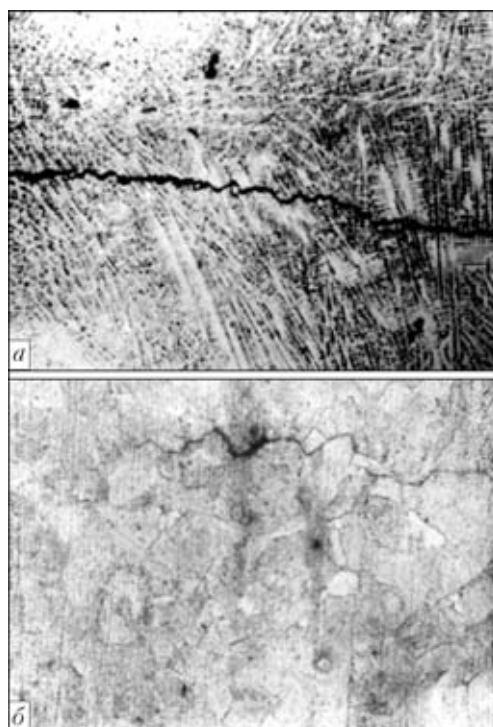


Рис. 1. Микроструктура сварного соединения с холодными трещинами высокопрочной стали, выполненного аргонодуговой сваркой вольфрамовым электродом: а — шов (×100); б — металл ЗТВ (×320)

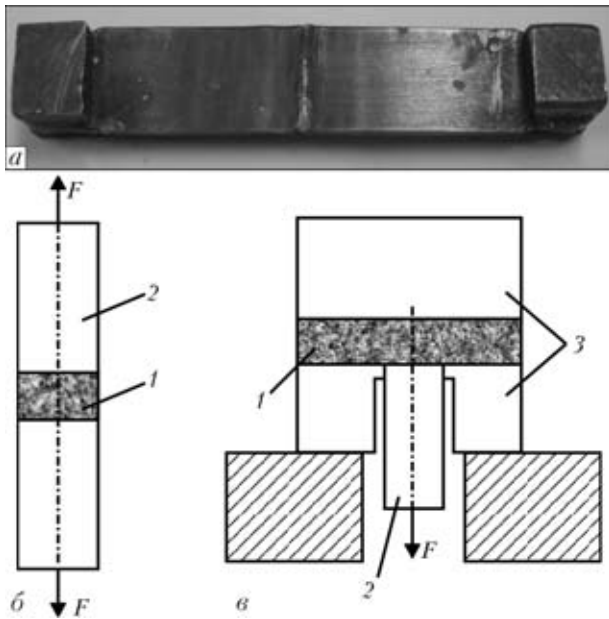


Рис. 2. Образец основного типа (а) и схемы испытания на замедленное разрушение его (б) и специального образца (в) стыкового соединения: 1 — шов; 2 — рабочая (испытываемая) часть; 3 — вспомогательные части

нию) не соответствует направлению действия остаточных напряжений. Кроме того, составной образец является достаточно массивным, сложным и трудоемким. Эти методы неприемлемы для оценки трещиностойкости шва и сварного соединения в целом и применение их ограничено сравнительной оценкой свариваемости сталей. При этом отклонение от рекомендуемой толщины образца приводит к изменению  $\sigma_{кр}$  и нарушению стабильности результатов испытаний [8, 9].

Соответствие направления действия нагрузки при испытании и сварочных напряжений достигается при реализации методики [7]. Образец сечением 3X14 мм размещается в боковом прямоугольном отверстии, созданном совмещением пазов двух технологических планок, плоскопараллельно поверхности, сваривается плавящимся электродом с технологическими планками (по поперечной канавке) и нагружается постоянным растягивающим усилием (боковым относительно шва). По значениям нагрузки и перемещения в процессе испытания определяется работа разрушения, а по площади участка под кривой изменения во времени деформации (работы) на диаграмме — энергоемкость разрушения.

Различие толщин испытываемого образца и технологических планок неприемлемо для сварки неплавящимся электродом, а физическая сущность энергоемкости разрушения непонятна. Составной образец является более массивным, сложным и трудоемким, чем составной образец для методики имплант.

А. М. Макара и его ученики Н. А. Мосендз, В. Г. Гордонный и др. придерживались мнения

[10], что достоверная оценка трещиностойкости достигается при испытании стыковых соединений. Образцы толщиной 12...14 мм общей длиной более 500 мм подвергали односторонней сварке плавящимся электродом, нагружали клиновым устройством до заданных растягивающих напряжений, которые определяли механическим деформометром с базой 100 мм, и выдерживали при этих напряжениях до разрушения по околошовной зоне. В качестве показателя склонности соединения к замедленному разрушению принимали минимальное напряжение, при котором разрушение не происходило в течение 24 ч. Данная методика достаточно простая и может использоваться в заводских условиях для оценки трещиностойкости сварных соединений в зависимости от применяемых материалов и условий сварки. Однако при этом, как при реализации приведенных выше методик, не учитывается релаксация напряжений, а образцы являются довольно массивными и крупногабаритными.

Создание более совершенной методики оценки стойкости против образования холодных трещин в сварных соединениях закаливающихся сталей является целью настоящей работы.

Оценку трещиностойкости\* проводили испытаниями на замедленное разрушение с уменьшающейся нагрузкой согласно предложенным авторами способом и сварными образцами [11]. Образец основного типа состоит из двух испытываемых частей и стыкового соединения между ними (рис. 2, а, б), как образец для статических испытаний на разрыв. Специальный образец (рис. 2, в) включает одну испытываемую, три вспомогательные части и общее стыковое соединение. На боковых вспомогательных частях выполняются скосы или выборки во избежание защемления испытываемую часть от усадки шва. Размеры испытываемых частей в плане составляли 14...27X50...90, вспомогательных — 40X35 и 40X90 мм.

Одно- и двухпроходную сварку А-TIG и TIG встык образцов из низко- и среднелегированных сталей с углеродным эквивалентом 0,35...1,1 % толщиной 2,8...6,0 мм выполняли на установке АРК-1 в сочетании с выпрямителем ВСВУ-315. Сварку осуществляли без расплавления и с расплавлением присадочной проволоки Св-18ХМА при соблюдении принятых или реально возможных режимов (таблица). Термические циклы сварки записывали потенциометром КСП-4 с помощью термопары ВР 20/5 диаметром 0,35 мм с обратной стороны шва в пристыкованном образце-свидетеле на расстоянии 10 мм от испытываемой части.

После сварки образец нагружали посредством упругоизгибаемой балки жесткостью  $K = 8$  кг/мкм

\* В работе принимал участие инж. Г. В. Бурский.



**Трещиностойкость соединений сталей разных составов и толщин в зависимости от режима, способа и параметров выполнения односторонней аргодуговой сварки ( $\sigma_H = 380...390$  МПа)**

№ п/п	Свариваемая сталь			Способ сварки	$I_1/I_2, A$	$v_{св}, м/ч$	$q/v_{св}^4, Вт·ч/м$	$q/(v_{св} \cdot \delta)^4, Вт·ч/м^4$	$HRC^5$ шва	$\tau_p, мин$
	Марка	$C_{экв}, \%$	$\delta, мм$							
1	30ХГСА	0,65	3,1	A-TIG	85...120/—	7...12	90...110	29...35	—	1...3
2				A-TIG+TIG	130/90...110	12...13	70...95	23...31	$\frac{50,5...52,5}{48,0...50,0}$	2...19
3				(A-TIG+TIG) <sup>3</sup>	130/110		100...110	32...35	—	5...20
4				(A-TIG+A-TIG) <sup>1</sup>	100/80	12	60	19	—	4
5				(TIG+TIG) <sup>1</sup>	110/110		85	27	—	750 — не разр.
6						6,0	A-TIG+TIG	190/130	6	240
7	30Х2ГС2МВ	1,0	3,7		140/110	12	95	26	$\frac{—}{49}$	5
8				TIG <sup>2</sup>	115/—		95	34	—	10
9	42ХГСНМ	1,1	2,8	A-TIG+TIG	120/80	12	65	23	$\frac{—}{48,0...50,0}$	<1
10				TIG+TIG	90/120		100	36	—	<1
11	16ХГ2М	0,64	5,0	(A-TIG+TIG) <sup>3</sup>	160/130	8	195	39	$\frac{38,0...45,0}{27,5...38,0}$	Не разр.
12	20Г	0,35	3,0	(A-TIG+TIG) <sup>1</sup>	100/80	13	61	20	—	Не разр.

<sup>1</sup> — двухсторонняя двухпроходная сварка. <sup>2</sup> — односторонняя сварка несквозное проплавление. <sup>3</sup> — с расплавлением присадочной проволоки. <sup>4</sup> — последний проход сварки. <sup>5</sup> В числителе приведены данные, полученные с лицевой стороны шва, в знаменателе — с обратной; для № 12  $\sigma_H = 280$  МПа.

на переоборудованной установке ЛТП-1-1-6 растягивающим усилием до напряжения 380 и 280 МПа, близком пределу текучести используемой стали. Образец выдерживается в нагруженном состоянии без дополнительных внешних воздействий. Установленное напряжение  $\sigma_H$  задается по прогибу  $\lambda_H$  упругоизгибаемой балки  $\sigma_H = K\lambda_H/S$ , где  $S$  — площадь поперечного сечения образца. При этом потенциометром КСП-4 (с помощью индукционного датчика перемещения) записывается изменение длины образца как изменение прогиба балки и фиксируются также сигналы акустической эмиссии (АЭ) от датчика на поверхности образца [5, 6, 12].

Типичные термограммы сварки, диаграммы замедленного разрушения, расположение изломов приведены на рис. 3–5, данные по трещиностойкости стыковых соединений в зависимости от особенностей сварки сталей различных химических составов и толщин — в таблице.

При выполнении первого и второго проходов аргодуговой сварки стали толщиной 2,8...3,7 мм на приведенных режимах металл шва и околошовной зоны по всей толщине соединения нагревается выше критических температур (рис. 3, а) и охлаждается затем со скоростью 8...27 °С/с в диапазоне температур минимальной устойчивости аустенита 600...400 °С. Различие скоростей охлаждения обусловлено различием режимов и спо-

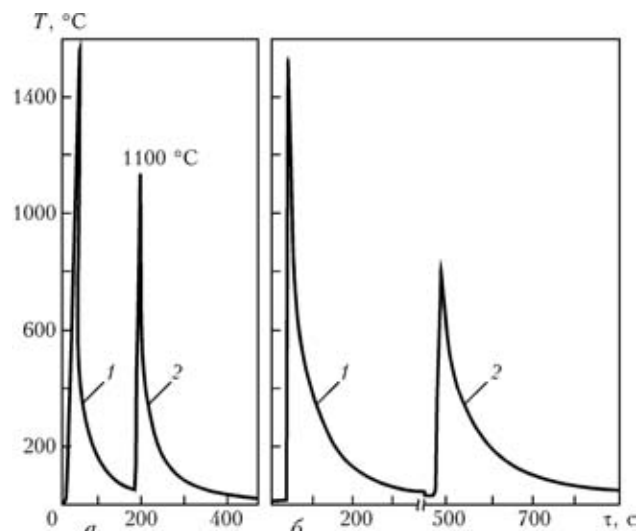


Рис. 3. Термограммы двухпроходной аргодуговой сварки стали толщиной 3 (а) и 6 (б) мм: 1 — первый; 2 — второй проход

собов сварки, толщин свариваемых сталей, температурой перед выполнением очередного прохода сварки, а также особенностями превращений при охлаждении. Металл соединения стали 30ХГСА приобретает мартенситно-бейнитную структуру, сталей 30Х2ГС2МВ и 42ХГСНМ — мартенситную.

В процессе выполнения соединения стали толщиной 6 мм с меньшей скоростью сварки и с

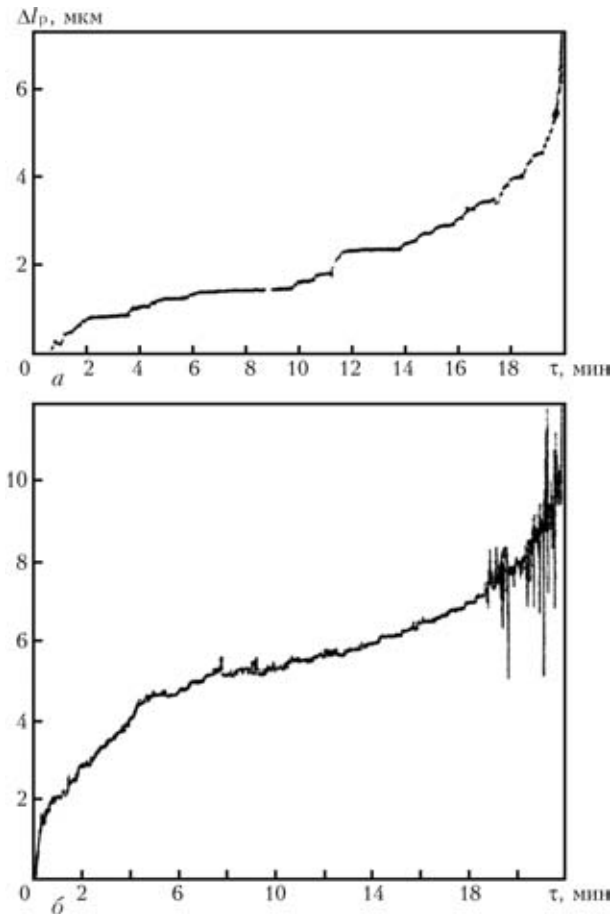


Рис. 4. Диаграммы замедленного разрушения двухпроходных стыковых соединений стали 30ХГСА толщиной 3 мм, сваренных без расплавления (а) и с расплавлением (б) присадочного металла

большой удельной погонной энергией сварки наблюдается охлаждение металла от закритических температур с меньшими скоростями  $w_{6/4} \leq 3 \text{ }^\circ\text{C}/\text{с}$  (рис. 3, б), что предопределяет уменьшение количества мартенсита в металле соединения стали 30ХГСА. При выполнении второго прохода сварки металл с обратной стороны соединения нагревается до температур, близких  $A_{c1} = 720...760 \text{ }^\circ\text{C}$ , и испытывает кратковременный высокотемпературный отпуск или повторную закалку с образованием меньшего количества закалочных составляющих структуры. Такой термический цикл сварки является благоприятным для снижения твердости и повышения вязкости металла соединения стали толщиной 6 мм. Подобное наблюдается при двухпроходной сварке стали 16ХГ2М толщиной 5 мм.

Сваренный образец, нагруженный ниже предела текучести основного металла, претерпевает пластическую деформацию (рис. 4). При таком напряжении основной металл пластически не деформируется, однако происходит микропластическая деформация закаленной легированной стали, содержащей 0,11...0,57 % С [13] и соответственно закалившегося при сварке металла соединения. Увеличение ее в процессе испытания про-

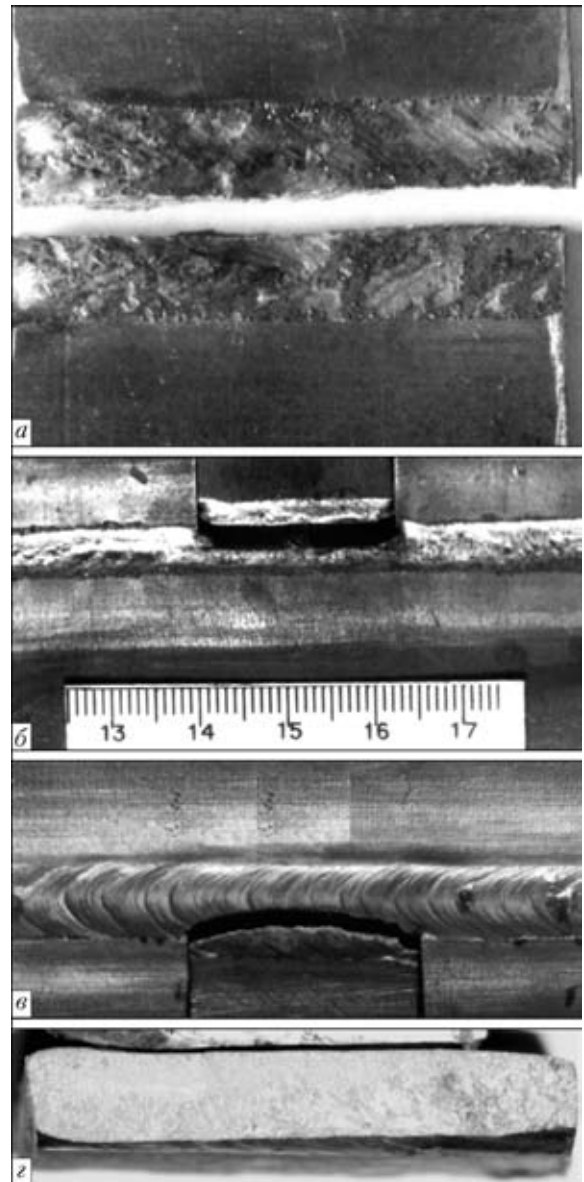


Рис. 5. Внешний вид и расположение изломов замедленного разрушения образцов соединений, сваренных за два прохода без (а, б) и с усилением шва (в) без (а) и с искусственными концентраторами напряжений (б, в); г — поверхность излома

исходит монотонно, ступенчато, а перед окончательным разрушением ускоренно.

Ступенчатые увеличения микропластической деформации металла соединения сопровождаются частыми сигналами АЭ малой интенсивности. Их можно рассматривать как проявление возникновения субмикротрещин вследствие раскрытий локальных объемов металла при деформации кристаллической решетки не менее, чем на одно межатомное расстояние [14]. С возникновением субмикротрещин снижаются напряжения II рода, уменьшается плотность металла, облегчается образование микротрещин. Последнее фиксируется сигналами АЭ на порядок большей интенсивности. Частота появления микротрещин в процессе испытания меньше частоты сигналов АЭ малой интенсивности. Она возрастает при ускорении



микропластической деформации закалившегося металла соединения на завершающей стадии замедленного разрушения. Микротрещины инициируют образование макротрещин и разрушение сварного соединения при испытании.

Замедленному разрушению при испытании подвергается преимущественно шов (рис. 5). Разрушение по шву отмечается также при инициировании его в зоне сплавления созданием концентрации напряжений по узким граням испытываемой части в месте резкого перехода к более протяженному шву специального составного образца (рис. 5, б, в). Зародившийся в зоне сплавления излом переходит в шов даже при выполнении усиления в результате расплавления присадочной проволоки, а концентраторы напряжений в виде непровара стыка и пор инициируют разрушение шва в процессе нагружения образца (в течение 0,2...0,8 мин). Следовательно, шов, металл которого такой же или близкий по химическому составу основному металлу, является более склонным к зарождению и распространению трещины, чем зона сплавления сварного соединения высокопрочной стали. Излом в целом располагается нормально широким граням и приложенному усилию и имеет межзеренный характер (рис. 5, г). В месте излома отсутствуют следы макропластической деформации, что позволяет квалифицировать замедленное разрушение как хрупкое.

Межзеренный характер разрушения свидетельствует о пониженном сопротивлении и локализации микропластической деформации по границам зерен закалившегося металла, где наблюдается максимальное искажение атомно-кристаллического строения и локальное повышение напряжений. Локализации микропластической деформации по границам зерен и снижению стойкости против образования холодных трещин способствует крупнозернистость металла соединения.

Наибольшую склонность к замедленному разрушению (в течение нескольких минут) имеет металл однопроходного шва с большим искажением кристаллического строения по границам зерен вследствие охлаждения и закалки от жидкого состояния. В его изломе выявляются вытянутые кристаллиты. Срединная часть такого шва может загрязняться ликвирующими примесями и приобретать свойства «плоскости слабины», особенно при небольшом коэффициенте формы шва. В однопроходных швах тонколистовых сталей с высоким углеродным эквивалентом часто образуются магистральные холодные трещины. Естественно, что неполное проплавление сплошного основного металла вызывает заметное повышение стойкости против замедленного разрушения по шву.

Двухпроходные соединения имеют большую трещиностойкость, чем однопроходные. На участке проплавления при выполнении второго про-

хода сварки измельчается структура металла шва (рис. 5, г), изменяется форма кристаллитов дендритного строения, уменьшается количество и размеры зародышей осей второго порядка, усиливается ориентация дендритов к лицевой поверхности и устраняется плоскость слабины. Кратковременный нагрев металла до температур 980...1250 °С вызывает уменьшение размера зерна, а более высокий нагрев способствует уменьшению анизотропии механических свойств благодаря частичной гомогенизации металла. Ударная вязкость повторно закалившейся стали несколько повышается. В изломе прослеживается двухслойное строение шва даже при однородном химическом составе металла.

При использовании данной методики фиксируется повышение стойкости против замедленного разрушения сварного соединения с уменьшением скорости сварки, повышением погонной и удельной погонной энергии сварки, снижением скорости охлаждения шва при выполнении последнего прохода сварки, а также при уменьшении углеродного эквивалента свариваемой стали. Обнаруженные особенности соответствуют принятым представлениям о трещиностойкости. Существенное увеличение трещиностойкости соединения стали толщинами 5...6 мм обусловлено уменьшением в 2...3 раза скорости охлаждения в интервале температур минимальной устойчивости аустенита, увеличением продолжительности самоотпуска в процессе сварки, снижением температуры нагрева металла с обратной стороны соединения до или ниже межкритических температур. Как следствие, уменьшается неравновесность структуры металла шва. При этом сохраняется в целом отрывной характер замедленного разрушения, хотя у широких граней образца отмечается разрушение путем среза (скос на глубину примерно 0,5 мм) и излом проходит как по шву, так и по околшововой зоне. Характерно, что результаты испытаний образцов, полученных сваркой стыка и сквозным проплавлением сплошного основного металла, являются практически одинаковыми, что расширяет возможности методики.

Удлинение сварного образца  $\Delta l_p$ , определяемое при испытании на замедленное разрушение, характеризует микропластичность сварного соединения. Закалившийся при сварке металл подвергается микропластической деформации путем локальных микропластических сдвигов по границам зерен. Замедленное разрушение сварного соединения происходит при исчерпании запаса микропластичности закалившегося металла, в первую очередь шва ( $\delta_p = \Delta l_p / l$ , где  $l$  — ширина участка с закалвшимся металлом, превышающая ширину шва на 0,5...1 мм). С учетом  $\tau_p = \Delta l_p / v_{мд} = \delta_p / v_{мдо}$ , где  $v_{мд}$  и  $v_{мдо}$  — усредненные скорости абсолютной и относительной микропластической дефор-



магии, которые уменьшаются с увеличением сопротивления сдвигам, стойкость замедленному разрушению предопределяется сочетанием свойств закалившегося металла.

Из диаграмм замедленного разрушения (рис. 4) видно, что при близких значениях трещиностойкости  $\tau_p$  стыковых соединений стали 30ХГСА, сваренных на одинаковых режимах за два прохода без расплавления и с расплавлением присадочной проволоки Св-18ХМА, наблюдается подобное изменение микропластической деформации в процессе испытания и замедленное разрушение по шву. Однако если первый шов, не усиленный присадочным металлом, разрушается с микропластической деформацией  $\Delta l_p = 6$  мкм,  $\delta_p \approx 0,1\%$  и усредненной скоростью микропластической деформации  $v_{мд} \approx 0,31$  мкм/мин,  $v_{мдо} \approx 0,005\%$ /мин, то усиленный присадочным материалом шов — с  $\Delta l_p = 10$  мкм,  $\delta_p \approx 0,17\%$ ,  $v_{мд} \approx 0,46$  мкм/мин,  $v_{мдо} \approx 0,008\%$ /мин. Увеличение относительного удлинения  $\delta_p$  и скорости микропластической деформации  $v_{мд}$  и  $v_{мдо}$  сопровождается повышением частоты образования субмикротрещин и микротрещин на ускоренном завершающем этапе замедленного разрушения. При испытании соединения, полученного несковозным проплавлением стали с большим эквивалентом углерода,  $\Delta l_p = 16$  мкм и  $\delta_p = 0,26\%$ . Следовательно, с применением данной методики фиксируются различия параметров трещинообразования сварного соединения.

Явление релаксации можно рассматривать как ползучесть при напряжении, снижающемся во времени пропорционально нарастающей пластической деформации [15]. Микропластическая деформация при испытании сварного соединения на замедленное разрушение вызывает уменьшение прогиба упругоизогнутой балки и приложенного усилия. Падение напряжения к моменту разрыва  $\Delta\sigma_p = K\Delta l_p/S = K\delta l/S$  и разрывное напряжение  $\sigma_p = K(\lambda_n - \Delta l_p)/S = K(\lambda_n - \delta_p l)/S$  линейно зависят от значения микропластической деформации при испытании. В представленных выше примерах микропластическая деформация сварного соединения ( $\Delta l_p = 6; 10$  и  $16$  мкм) вызывает падение напряжения  $\Delta\sigma_p = 7; 12$  и  $26$  МПа до разрывного напряжения  $\sigma_p = 373, 368$  и  $354$  МПа соответственно. Следовательно, при испытании на замедленное разрушение стыкового соединения высокопрочной стали с помощью упругоизогнутой балки имитируется релаксация напряжений при вылеживании изделия после сварки. По сравнению с временным и деформационным показателями замедленного разрушения силовой показатель меньше зависит от свойств закалившегося металла. При испытании серии образцов с фиксированием  $\sigma_p$  можно определять  $\sigma_{кр}$  и  $\sigma_{кр}/\sigma_T$ .

При замедленном разрушении сварного соединения выполняется работа. Удельная работа, приходящаяся на единицу объема микропластически деформируемого металла, как при статических испытаниях на разрыв, определяется следующим образом:

$$a_{уд} = (\sigma_n - 0,5\Delta\sigma_p)\delta_p = (\sigma_n - 0,5K\Delta l_p/S)\delta_p.$$

Приведенная работа, отнесенная к площади поперечного сечения образца, подобно ударной вязкости, следует из соотношения

$$a_{пр} = (\sigma_n - 0,5\Delta\sigma_p)\Delta l_p = (\sigma_n - 0,5K\Delta l_p/S)\delta l_p.$$

Характеризуя деформационную способность сварного соединения и закалившегося металла и будучи более сложными в определении, энергетические показатели менее приемлемы для оценки трещиностойкости сварного соединения, чем деформационные показатели замедленного разрушения.

Таким образом, при использовании новой методики можно определять временной, деформационные, силовой и энергетические показатели замедленного разрушения сварного соединения высокопрочной стали.

## Выводы

1. Предложена методика оценки стойкости стыковых соединений высокопрочных сталей различных толщин против образования холодных трещин путем испытания на замедленное разрушение со снижением нагрузки в процессе принудительной микропластической деформации металла, закалившегося при сварке. При испытании с имитацией релаксации напряжений используются малоразмерные образцы и определяются  $\tau_p$ ,  $\Delta l_p$ ,  $\delta_p$ ,  $\Delta\sigma_p$ ,  $\sigma_p$ ,  $a_{уд}$ , а также частота и время образования микротрещин. Наиболее приемлемы для оперативной оценки трещиностойкости временной и деформационный показатели замедленного разрушения.

2. Установлено, что наибольшую склонность к зарождению и развитию холодных трещин имеет шов и с увеличением толщины свариваемой стали трещиностойкость его возрастает. При этом подтверждается влияние на трещиностойкость химического состава свариваемой стали, технологических и тепловых особенностей сварки.

3. Предложенная методика испытания может быть эффективно использована при исследовании трещиностойкости соединений, разработке сварочных материалов и технологий сварки различных высокопрочных сталей.

1. Сварка в машиностроении: Справочник / Под ред. А. И. Акулова: В 4 т. — М.: Машиностроение, 1978. — Т. 2. — 462 с.



2. Земзин В. И., Чижик А. А., Ланин А. А. Условия образования трещин при сварке и термической обработки. Ч. I. О роли ползучести в образовании трещин // Свароч. прво. — 1982. — № 11. — С. 1–4.
3. Granjon H. The implant method for studying weldability of high strength steel // Metal Construction and Brit. Weld. J. — 1969. — № 11. — P. 509–515.
4. Бурский Г. В., Стеренбоген Ю. А. Оценка сопротивляемости металла ЗТВ замедленному разрушению // Автомат. сварка. — 1990. — № 8. — С. 33–35.
5. Усовершенствованная методика оценки сопротивляемости металла ЗТВ замедленному разрушению / Г. В. Бурский, М. М. Савицкий, О. И. Олейник, В. Э. Сухоярский // Там же. — 1999. — № 4. — С. 31–34.
6. Кулик В. М., Савицкий М. М., Бурский Г. В. Оценка сопротивляемости металла ЗТВ высокопрочной стали замедленному разрушению с моделированием релаксации напряжений // Там же. — 2005. — № 5. — С. 19–25.
7. Стеренбоген Ю. А., Васильев Д. В. Оценка трещиностойкости зоны сплавления по энергетическому показателю замедленного разрушения // Там же. — 1999. — № 6. — С. 6–12, 17.
8. Стеренбоген Ю. А., Бурский Г. В., Савицкий М. М. О методике имплант и ее использовании при испытаниях высокопрочных сталей // Сб. докл. II симп. СЭВ, «Применение математических методов при изучении свариваемости». — София: ВМЭИ им. Ленина, 1983. — С. 138–140.
9. Inagaki M., Tomura H., Araki T. Effect of testing parameters and standardization in implant cracking test in Japan. — [1980]. — 14 p. — (Intern. Inst. of Welding: Doc. IIW IX-1151–80).
10. Макара А. М., Мосендз Н. А. Сварка высокопрочных сталей. — Киев: Техніка, 1971. — 140 с.
11. Пат. 73637 Україна. Спосіб для оцінки тріщиностійкості зварного з'єднання гартівної сталі та пристрій для його здійснення / В. М. Кулик, М. М. Савицький. — Опубл. 15.08.2005, Бюл. № 8.
12. Акустико-эмиссионный контроль соединений, выполненных лазерной сваркой / О. А. Бартеков, Ю. И. Кутаков, В. А. Хамитов, Ю. Ф. Волков // Автомат. сварка. — 1988. — № 9. — С. 71–73.
13. Mc. Evily A. J., Ku R. C., Johnston T. L. The source of martensite strength // Trans. Metallurg. Soc. of AIME. — 1966. — 236. — P. 108–113.
14. Остакин А. И. Исследование особенностей вязкого разрушения металлов и сплавов: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Л., 1973. — 21 с.
15. Теория ползучести и длительной прочности металлов / И. А. Одинг, В. С. Иванова, В. В. Бурдунский, В. Н. Гелинов. — М.: ГНТИ, 1959. — 488 с.

Method is suggested for tensile testing of flat specimens of butt joints with a decreased load. Peculiarities of delayed fracture of the joints depending upon the thickness of the steel welded, as well as welding parameters and procedure, are considered. It is established that delayed fracture of homogeneous, or close to homogeneous, butt joints occurs primarily in the weld. The possibility is shown of determining time, microplastic deformation, stress and delayed fracture energy, as well as time and frequency of initiation of microcracks. The method can be applied for development of a welding technology.

Поступила в редакцию 24.10.2005

## **40 ЛЕТ КАФЕДРЕ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА Донбасской государственной машиностроительной академии**

*Кафедра сварочного производства Донбасской государственной машиностроительной академии была создана в октябре 1966 г. (в то время Краматорский индустриальный институт). Организатором кафедры и первым ее заведующим на протяжении 10 лет был доцент, канд. техн. наук Д. С. Кассов. Под его руководством был создан преподавательский коллектив и лабораторная база кафедры, открыта аспирантура по специальности «Технология и машины сварочного производства». В 1977 г. кафедру возглавил канд. техн. наук, доцент В. М. Карпенко, который руководит кафедрой до настоящего времени, с перерывом с 1985 по 1993 гг., когда он избирался проректором академии.*

*За свою сравнительно небольшую историю кафедрой подготовлено около 4000 инженеров-сварщиков, более 20 специалистов защитили кандидатские диссертации, а один из них — доцент В. Д. Кассов — докторскую диссертацию.*

*Одним из основных направлений работы кафедры является методическая работа. За эти годы разработано более 200 методических пособий. Сотрудниками кафедры опубликовано около 500 статей в журналах и различных сборниках, получено более 300 авторских свидетельств и более 30 патентов.*

*На кафедре создано и развивается свое научное направление: исследование и разработка самозащитных порошковых проволок для сварки и наплавки. По этому направлению уже защищено 12 кандидатских диссертаций.*

*Многие разработки кафедры внедрены на предприятиях Донбасса.*

*В 1980 г. при кафедре создана отраслевая лаборатория технической диагностики, руководителем которой является канд. техн. наук, доцент О. А. Емельянов. Сотрудниками лаборатории получено свыше 90 авторских свидетельств СССР на изобретения и патентов Украины, опубликовано несколько монографий, 60 научных статей, сделано 40 докладов на научных конференциях. Защищена одна кандидатская диссертация, подготовлена к защите одна докторская диссертация.*

*В настоящее время кафедра проводит большую организационно-методическую работу по переходу на европейскую систему образования и присоединению к Болонскому соглашению.*