



УДК 621.791.052:539.4

## ПОВЫШЕНИЕ СОПРОТИВЛЯЕМОСТИ ЗАМЕДЛЕННОМУ РАЗРУШЕНИЮ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЛИТЫХ ЗАКАЛИВАЮЩИХСЯ СТАЛЕЙ

В. Д. ПОЗНЯКОВ, канд. техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Приведены результаты оценки сопротивляемости замедленному разрушению металла ЗТВ сварных соединений литой стали типа 35Л в зависимости от насыщенности швов диффузионным водородом, погонной энергии сварки и температуры предварительного подогрева. Представлены данные о влиянии техники сварки на формирование напряженного состояния жесткозакрепленных соединений металла больших толщин и восстановление металлоконструкций.

*Ключевые слова:* углеродистая литая сталь, холодные трещины, предварительный подогрев, диффузионный водород, сварочные напряжения, технология сварки, восстановление металлоконструкций

В настоящее время в Украине и других странах СНГ эксплуатируются инженерные сооружения и механизмы, исчерпавшие предназначенный срок службы или близкие к этому состоянию. В большинстве случаев они являются уникальными. Масса некоторых из них превышает 100 т, а толщина металла — 80 мм. Среди них базовые узлы дробилок, гидравлических и механических пресов — технологического оборудования, эксплуатируемого на горно-обогатительных и металлургических комбинатах, а также на машиностроительных заводах. Они изготовлены из литых сталей типа 25Л и 35Л с содержанием углерода 0,25...0,40 %.

Как показывает опыт, в процессе длительной эксплуатации в металле, из которого изготовлены указанные конструкции, накапливаются микро- и макроповреждения. Когда трещины достигают критических размеров, возникает потребность в ремонте изделия. Одним из наиболее простых способов восстановления целостности и геометрических размеров металлоконструкций является сварка. Этот процесс можно выполнять непосредственно на месте работы оборудования (оборудование, как правило, не демонтируется) в короткий срок и при относительно небольших материальных затратах.

При восстановлении металлоконструкций, как правило, используют стандартные технологии сварки, разработанные для изготовления новых изделий. Однако они не учитывают ряд особенностей, характерных для ремонта — высокую жесткость закрепления сварных соединений, ограниченные возможности относительно выбора способов удаления дефектов, подготовки кромок и выполнения сварки, т. е. факторов, существенно

влияющих на свойства свариваемых узлов [1–4]. Указанная специфика сварки при ремонте привела авторов работы [5] к следующему выводу: выбор технологии сварки для восстановления металлоконструкций требует принципиально иного подхода, чем для первоначальной сварки. Одной из основных задач, которые следует решать в этом случае, является необходимость изыскания процессов, которые бы обеспечили низкий уровень остаточных напряжений в сварных узлах. Это необходимо не только для того, чтобы исключить возможность образования трещин в соединении на стадии выполнения сварочных работ, но и для увеличения работоспособности изделия при дальнейшей эксплуатации.

Повышенное содержание углерода в литых сталях 25Л и 35Л уже само по себе предопределяет значительные трудности при их сварке. Обусловлены они возможностью формирования в металле ЗТВ сварных соединений закалочной мартенситной структуры, которая, как известно [6], резко снижает сопротивляемость металла образованию холодных трещин. Чтобы она не образовывалась, сварку соединений рекомендуется выполнять с предварительным подогревом до температур 200...300 °С. Однако, учитывая сложную конфигурацию и большую толщину металла, из которого изготовлены конструкции, а также тот факт, что во время ремонта сварочные работы, как правило, выполняются в стесненном пространстве, реализовать такую технологическую операцию в полной мере на практике сложно.

В связи с этим возникла необходимость в проведении работ, направленных на изыскание новых, более эффективных технологических решений, обуславливающих повышение сопротивляемости замедленному разрушению сварных соединений из сталей, содержащих более 0,25 % углерода, которое выражено в допустимости снижения температуры предварительного подогрева до 80...100 °С. Для решения поставленной задачи

© В. Д. Позняков, 2008

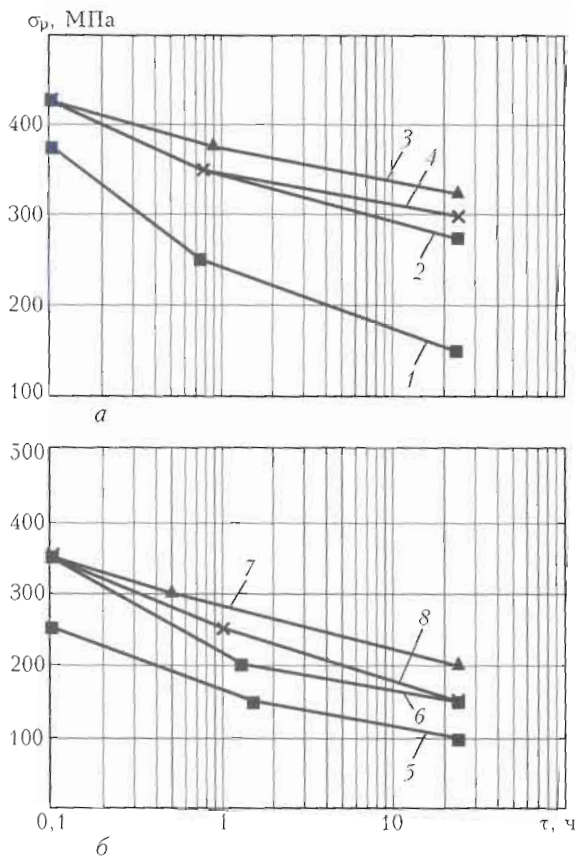


Рис. 1. Сопротивляемость замедленному разрушению металла ЗТВ стали 35Л при содержании диффузионного водорода в наплавленном металле 8,0 (а) и 15 мл/100 г (б) в зависимости от температуры предварительного подогрева и погонной энергии сварки: 1, 4, 5, 8 —  $T_n = 20^\circ\text{C}$ ; 2, 6 —  $60^\circ\text{C}$ ; 3, 7 —  $100^\circ\text{C}$ ; 1-3, 5-7 —  $Q_{св} = 10$ ; 4, 8 —  $20$  кДж/см

необходимо было оценить влияние погонной энергии сварки, температуры предварительного подогрева, уровня насыщенности швов водородом на сопротивляемость замедленному разрушению металла ЗТВ соединений стали с повышенным содержанием углерода, а также определить влияние технологических приемов сварки на формирование остаточных напряжений в сварных соединениях металла больших толщин.

Сопротивляемость металла ЗТВ замедленному разрушению изучали с использованием общеизвестного метода «Имплант» [6]. Для проведения испытаний из станины дробилки, которая свыше 12 лет эксплуатировалась на одном из горно-обогатительных комбинатов, были отобраны образцы металла, которые имели следующий химический состав, мас. %: 0,42 С; 0,41 Si; 0,67 Mn; 0,34 Cr; 0,36 Ni; 0,025 S; 0,035 P.

Наплавку связующих швов осуществляли электродами марки АНП-10 диаметром 4,0 мм на режимах, которые обеспечивали погонную энергию сварки в диапазоне 10...21 кДж/см. Скорость охлаждения образцов регулировали путем изменения температуры предварительного подогрева от 20 до 100 °С. Концентрацию диффузного водо-

рода в наплавленном металле оценивали хромотографическим способом и изменяли от 7,0 до 15,0 мл/100 г путем уменьшения температуры и продолжительности прокали электродов. Обобщенные данные, полученные по результатам проведенных исследований, представлены на рис. 1.

Наиболее высокая сопротивляемость замедленному разрушению наблюдается у образцов, сварку которых выполняли с предварительным подогревом до температур 80...100 °С на режимах, обеспечивающих  $Q_{св} \approx 10$  кДж/см, при содержании диффузионного водорода в наплавленном металле до 8,0 мл/100 г. Критические напряжения, при которых указанные образцы не разрушались на протяжении 24 ч, составляли  $\sigma_{кр} \approx 325$  МПа. Анализ термокинетической диаграммы распада аустенита стали 35 [7], близкой по химическому составу и механическим свойствам к стали 35Л, свидетельствует, что при данных условиях охлаждения сварных соединений ( $w_{6/5} \leq 10$  °С/с) в металле ЗТВ образуется структура, состоящая из бейнита и перлита. При более интенсивном их охлаждении, характерном для сварки без подогрева ( $w_{6/5} \approx 20$  °С/с) и с подогревом до 60 °С ( $w_{6/5} \approx 12$  °С/с), в металле ЗТВ формируется преимущественно мартенситная структура, которая имеет низкую сопротивляемость образованию холодных трещин. При скорости охлаждения 12 °С/с она почти на 50 % состоит из мартенсита. Дальнейшее увеличение интенсивности остывания образцов до  $w_{6/5} \geq 20$  °С/с способствует тому, что количество мартенсита в металле ЗТВ возрастает до 80 %. По нашему мнению, этим объясняется тот факт, что при таких условиях сварки даже в том случае, когда концентрация диффузионного водорода в наплавленном металле небольшая ( $\approx 7,0$  мл/100 г), трещины в металле ЗТВ стали 35Л образуются при напряжениях, не превышающих 150 МПа. При ограниченном содержании диффузионного водорода в наплавленном металле (до 8,0 мл/100 г) высокую сопротивляемость замедленному разрушению ( $\sigma_{кр} \approx 300$  МПа) также имеют образцы, сварку которых выполняли на повышенных режимах ( $Q_{св} \approx 20$  кДж/см). Но, как известно [8], увеличение погонной энергии сварки способствует возрастанию уровня остаточных напряжений в сварных соединениях, поэтому данный технологический вариант, по-видимому, не позволит избежать образования в них холодных трещин.

Значительное влияние на замедленное разрушение металла ЗТВ сварных соединений стали 35Л оказывает диффузионный водород. Увеличение его концентрации в наплавленном металле от 8 до 15 мл/100 г приводит к существенному снижению способности металла сопротивляться образованию холодных трещин. Даже при сварке

на повышенных режимах ( $Q_{св} \approx 20$  кДж/см) они могут образовываться при напряжениях, значение которых не превышает 150 МПа. Предварительный подогрев в этих случаях также малоэффективен. Нагрев образцов до температуры 100 °С позволил увеличить  $\sigma_{кр}$  лишь до 200 МПа.

В целом выполненные исследования свидетельствуют, что для обеспечения высокой сопротивляемости сварных соединений сталей типа 35Л образованию холодных трещин необходимо снижать не только концентрацию диффузионного водорода в наплавленном металле, но и уровень напряжений в сварных соединениях.

Известно, что в жесткозакрепленных сварных соединениях с многослойными швами остаточные напряжения могут достигать предела текучести наплавленного металла. Это существенно больше тех нагрузок, которые металл 3ТВ стали 35Л способен воспринимать без разрушения. При таких обстоятельствах образования холодных трещин в сварных соединениях не избежать. В связи с этим проблеме формирования остаточных напряжений в сварных соединениях, влиянию на этот процесс разных технологических факторов и изысканию способов их регулирования посвящено достаточно много исследовательских работ. Известно также, что основной причиной образования деформаций и напряжений при сварке является неравномерное расширение и сужение разных участков соединения, которое происходит вследствие действия на металл сконцентрированного источника тепла [9, 10]. Поэтому задачи относительно уменьшения общего уровня остаточных напряжений в сварных соединениях могут решаться путем регулирования тепловложения или отвода тепла из зоны шва, условий нагрева и охлаждения металла, изменения технологических процессов сварки и др. [11, 12]. В данном случае представлялось целесообразным исследовать влияние техники выполнения сварки на формирование остаточных напряжений в соединениях металла больших толщин.

Исследования выполняли с использованием специальной технологической пробы, которая имитирует один из узлов толстостенных конструкций, где наиболее часто возникают трещины. Данная технологическая проба (рис. 2) представляет собой усиленное ребрами жесткости массивное стыковое соединение с V-образной разделкой кромок длиной 500 мм, шириной 400 мм. Жесткость соединения формируется в результате закрепления одного из его окончаний массивной выводной планкой и установкой двух ребер жесткости. Такие размеры и конструкция технологической пробы, во-первых, исключают угловую деформацию образца и влияние на ход исследований других непредвиденных факторов, а во-вторых, способствуют формированию в соединениях остаточных напряжений, близких к тем, которые об-

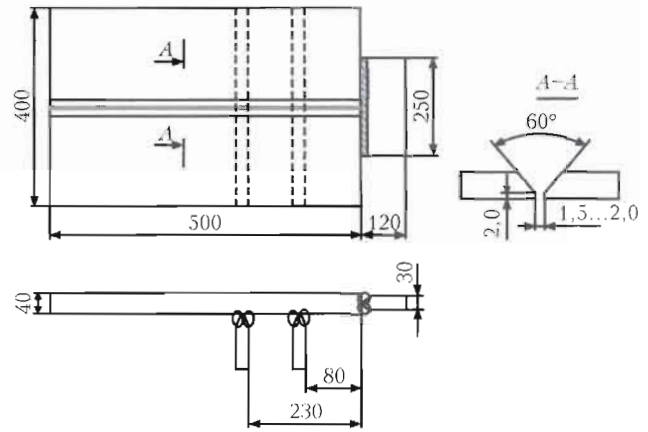


Рис. 2. Схематическое изображение технологической пробы

разуются при сварке жесткозакрепленных узлов изделия.

В качестве базовой технологии для исследований была принята ручная дуговая сварка как один из наиболее применяемых при ремонте способов соединения металла, а в качестве базовой стали — высокопрочная сталь марки 14ХГ2САФД, имеющая подобно стали 35Л высокую склонность к образованию холодных трещин. Использовали листовой прокат толщиной 40 мм следующего химического состава, мас. %: 0,13 С; 0,57 Si; 1,42 Mn; 0,44 Cr; 0,16 Ni; 0,39 Cu; 0,08 Al; 0,04 Ti; 0,01 Nb; 0,08 V, который имеет следующие механические свойства:  $\sigma_{0,2} = 635$  МПа;  $\sigma_b = 784$  МПа;  $\delta_5 = 17,8$  %;  $\psi = 59,0$  %.

Сварку корневого слоя шва выполняли электродами FOX EV 50 диаметром 3,2 мм на следующем режиме:  $I_{св} = 140...150$  А,  $U_d = 24...25$  В,  $v_{св} = 7,0...8,0$  м/ч. Для заполнения разделки использовали электроды марки АНП-10 диаметром 4,0 мм и следующие режимы сварки:  $I_{св} = 160...170$  А,  $U_d = 25...26$  В,  $v_{св} = 9,0...10$  м/ч. Химический состав и механические свойства металла, наплавленного электродами АНП-10 и FOX EV 50, приведены в таблице. Перед сваркой электроды прокаливали в печи при температуре 430...450 °С в течение двух часов, что обеспечивало низкую (4,0...4,5 мл/100 г) концентрацию диффузионного водорода в наплавленном металле, содержание которого определяли хроматографическим методом [13]. После выполнения отдельных слоев шва (всего таких слоев в каждом соединении выполнено 14) образцы охлаждались до температуры окружающей среды, и только после этого возобновлялась сварка.

Исследовано четыре технологических варианта сварки. Сварку образца № 1 (базовый вариант) осуществляли традиционным способом на проход (рис. 3, а). Второй и третий образцы условно были разбиты на три блока, каждый из которых имел длину 165 мм. Сваривали эти блоки последова-



Химический состав и механические свойства металла, наплавленного электродами АНП-10 и FOX EV 50

Марка электрода	Химический состав, мас. %					Механические свойства (не менее)		
	C	Mn	Si	S	P	$\sigma_b$ , МПа	$\delta_5$ , %	$KCV_{+20}$ , Дж/см <sup>2</sup>
АНП-10	0,11	1,8	0,5	0,020	≤ 0,023	760	18	120
FOX EV 50	0,07	1,1	0,5	0,009	0,012	590	30	220

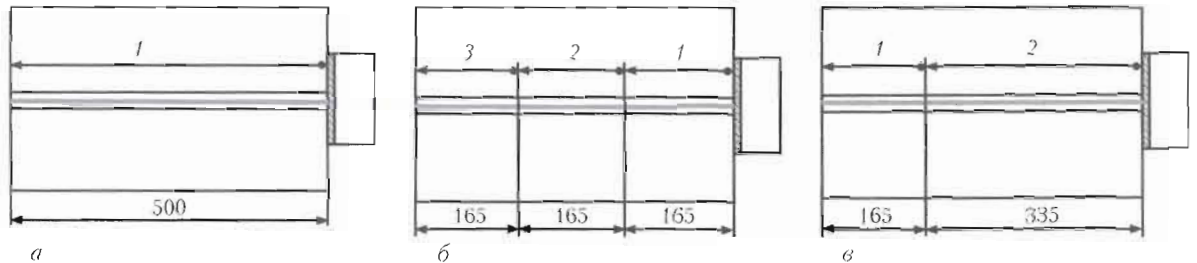


Рис. 3. Схема последовательности выполнения сварки технологических образцов (проб) № 1 (а), 2 и 3 (б), 4 (в)

тельно один за другим в направлении от жесткозакрепленной основы соединения к относительно свободной его вершине (рис. 3, б). Основное отличие между этими соединениями состояло в том, что образец № 3 выполняли с проковкой шва, а № 2 без нее. Образец № 4 условно был разбит на два блока длиной 335 и 165 мм, его сварку осуществляли в соответствии со схемой, приведенной на рис. 3, в.

Для каждого из приведенных технологических вариантов сварки было изготовлено по две партии технологических проб. Одну партию образцов использовали для оценки напряженного состояния сварных соединений, вторую — для оценки их сопротивляемости замедленному разрушению. Остаточные напряжения в сварных соединениях определяли в начале, в среднем сечении и в конце швов методом механической тензометрии. Для

этого на поверхности образцов готовили специальные розетки с базовым расстоянием между отверстиями 17 мм.

Исследования, результаты которых приведены на рис. 4, свидетельствуют о том, что напряженное состояние сварных соединений зависит от техники сварки и последовательности заварки блоков. Наиболее высокие поперечные и продольные напряжения ( $\sigma_y = 500...590$  МПа,  $\sigma_x = 750...760$  МПа) формируются в образцах, сварку которых выполняли напроход (образец № 1). В соединении № 3, сваренном блочным методом с послойной проковкой шва, они значительно меньше ( $\sigma_y \leq 250$  МПа,  $\sigma_x = 500...560$  МПа).

Довольно близкие по значению ( $\sigma_y = 350...400$  МПа) поперечные напряжения зафиксированы в начале и в середине соединений № 2 и 4, но по длине образцов они распределены по-разному. В технологической пробе № 4, сварку которого выполняли в направлении от незакрепленного конца образца к жесткозакрепленной части соединения, поперечные напряжения вдоль шва распределены относительно равномерно. В том случае, когда последовательность заварки блоков была изменена и сварку начинали от жесткозакрепленного конца пробы (образец № 2), с противоположной, более свободной для перемещений стороны соединения, формируются напряжения не более 300 МПа. Продольные напряжения в таких соединениях ниже, чем в образце № 1, но также достаточно высоки и неравномерно распределены по длине образцов. Наиболее высокие напряжения ( $\sigma_x = 630...680$  МПа) в технологической пробе № 4 сформировались в начале и в конце шва и несколько ниже ( $\sigma_x \approx 550$  МПа) в средней его части. В образце № 2 продольные напряжения монотонно возрастают от 530 (начало шва) до 670 МПа в его конце. Такой характер распределения остаточных напряжений в указан-

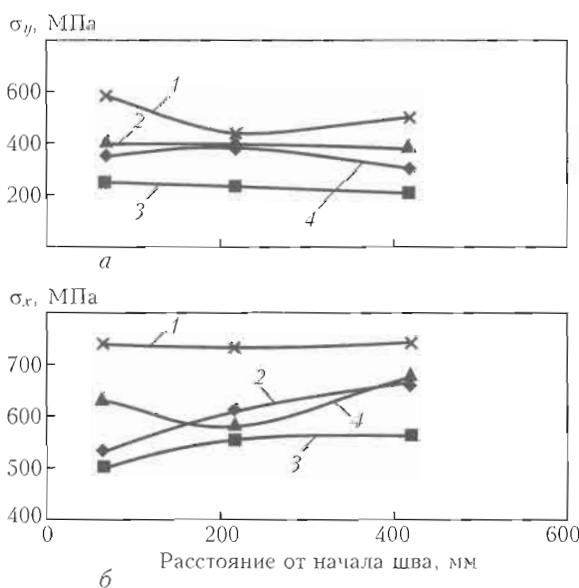


Рис. 4. Распределение поперечных (а) и продольных (б) напряжений в металле швов технологических проб № 1 (кривая 1), 2 (2), 3 (3) и 4 (4)

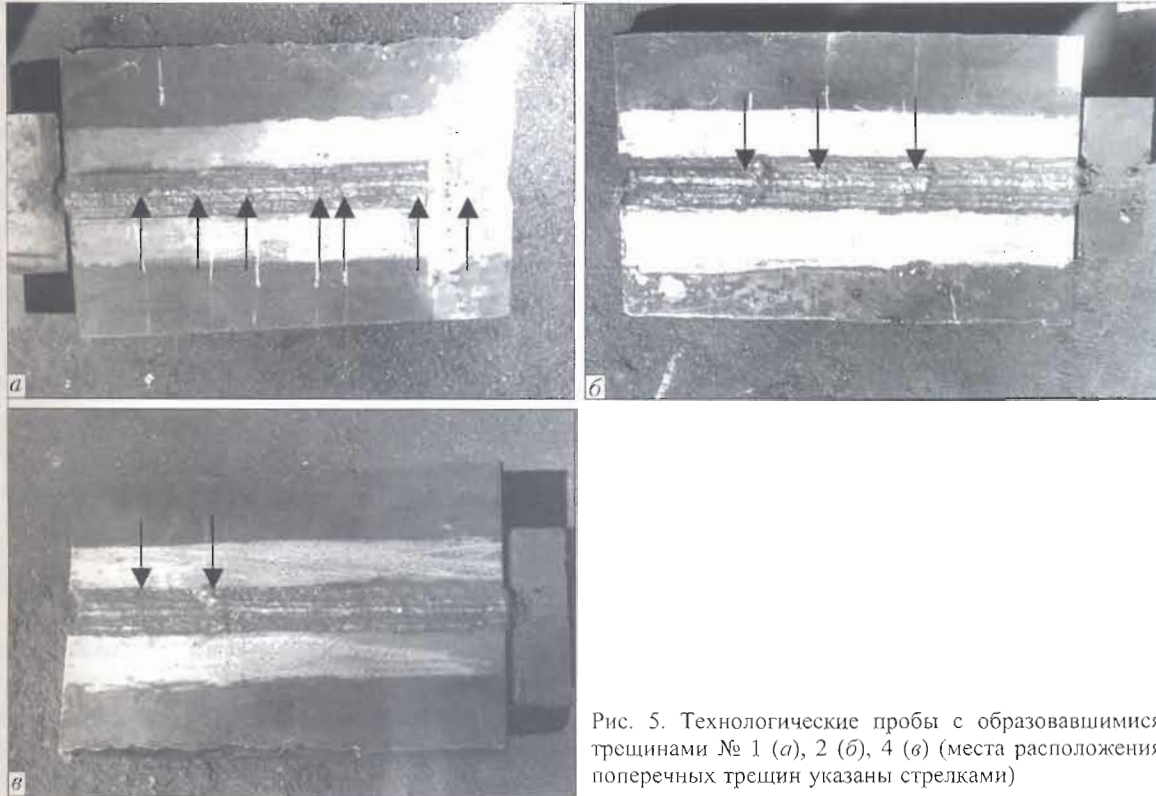


Рис. 5. Технологические пробы с образовавшимися трещинами № 1 (а), 2 (б), 4 (в) (места расположения поперечных трещин указаны стрелками)

ных технологических пробах, очевидно, связан как с особенностями закрепления образцов, так и с изменением направления сварки и последовательности заварки блоков. Следует отметить, что с точки зрения возможности образования в сварных соединениях с многослойными швами холодных трещин наиболее неблагоприятное напряженное состояние сформировалось в образце № 1.

Существенное влияние на формирование напряжений в сварных соединениях оказала послойная проковка швов (образец № 3). Как показали исследования, в результате технологического приема уровень остаточных поперечных напряжений в таких соединениях может быть уменьшен по отношению к контрольному образцу (№ 1) почти в 2,5 раза, а относительно образца № 2, который сваривался в такой же последовательности, но не проковывался, в 1,4...1,6 раза. В меньшей мере, но также положительное воздействие проковка швов оказала и на формирование продольных напряжений. По отношению к базовому образцу они уменьшились на 40...50%. Разное влияние проковки на изменение условий формирования продольных и поперечных напряжений, очевидно, связано с особенностями деформирования металла в продольном (длина участка 165 мм) и поперечном (ширина 10...40 мм) относительно оси шва направлениях. Можно предположить, что сочетание двух технологических приемов (сварка блочным способом и проковка швов) можно оказать положительное влияние на сопротивляемость

толстостенных сварных соединений образованию холодных трещин. Последующие исследования это подтвердили.

Для оценки сопротивляемости сварных соединений образованию холодных трещин использовались те же технологические пробы, что и при исследовании их напряженного состояния. Отличие между ними заключалось только в формировании корневого слоя шва. В данном случае он выполнялся таким образом, чтобы в соединении образовался концентратор напряжений в виде непровара. В процессе сварки соединений, по результатам испытания которых оценивали сопротивляемость технологических проб образованию холодных трещин, и в течение определенного времени после ее завершения образцы контролировались несколькими способами. При сварке и на протяжении первых двух суток после нее контроль за поведением сварного соединения осуществляли методом акустической эмиссии [14], а затем на протяжении еще 40 сут визуально и с периодичностью один раз в пять дней методом магнитопорошковой дефектоскопии. Для этих целей использовали портативное намагничивающее устройство на постоянных магнитах марки «МАГЕКС-1г» и концентрат магнитной суспензии «ДИАГМА-1100». Если трещины в сварных соединениях не наблюдались визуально, окончательный вывод о сопротивляемости технологических проб образованию трещин делался по результатам металлографических исследований макро-



лифов. Шлифы в количестве 12 штук вырезали в поперечном и продольном относительно оси шва направлениях, по четыре из начала, середины и конца образца.

Наблюдение за развитием акустических сигналов показало, что на протяжении первых двух суток образование трещин ни в одном из рассмотренных сварных соединений не зафиксировано. Первые трещины, которые образовались в технологических пробах № 1, 2 и 4, были выявлены значительно позже. Сначала поперечные трещины были обнаружены в образце № 1, сваренном напроход. Первые четыре трещины на поверхности швов этого соединения были обнаружены только через 7 сут после окончания сварки. Еще через пять дней их общее количество достигло семи. В данной технологической пробе трещины образовались равномерно по всей длине образца и поразили исключительно шов (рис. 5, а).

Через 10 сут после окончания сварки трещины были выявлены в образцах № 2 и 4. В отличие от соединения № 1 их количество было значительно меньшим — три и две соответственно (рис. 5, б, в). Менее интенсивный характер развития трещин в этих сварных соединениях, вероятно, связан с более благоприятным (меньшим), чем в технологической пробе № 1, формированием напряжений. Обращает на себя внимание тот факт, что в образце № 2 две из трех трещин, а в образце № 4 одна из двух образовались на участке соединения блоков, в которых расположены кратеры швов. Как известно, именно эти участки швов наиболее склонны к образованию горячих и холодных микротрещин. В дальнейшем такие микротрещины могут инициировать развитие поперечных трещин. Это обстоятельство необходимо учитывать при разработке технологического процесса сварки и следить за тем, чтобы данные участки шва тщательно вышлифовывались.

Дальнейшие исследования показали, что наиболее высокая сопротивляемость замедленному разрушению наблюдается у соединений, выполненных блочным способом с послышной проковкой шва (образец № 3). Трещины в пробах, сваренных по данной технологии, не обнаружены даже по истечении 40 сут после окончания сварки. Результаты металлографических исследований подтвердили факт отсутствия трещин в данном образце. На наш взгляд, отсутствие холодных трещин в соединении № 3 может объясняться как минимум двумя факторами — снижением общего уровня остаточных напряжений в данном образце и измельчением структуры металла швов, которое произошло при проковке. Как известно, металл, который при прочих равных условиях имеет меньший балл зерна, лучше сопротивляется хрупкому разрушению [15]. Не исключено также, что в результате проковки в металле шва были устранены

локальные пиковые напряжения, имеющие место в сварных соединениях [16].

В целом результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что образование холодных трещин в соединениях закаливаемых сталей с многослойными швами значительно зависят от уровня остаточных напряжений, которые формируются во время сварки. Это подтверждает общепринятое мнение о необходимости изыскания путей для их снижения. Среди рассмотренных технологических приемов наиболее эффективно напряжения снижаются в результате проковки швов и ведения процесса блочным способом с разбивкой соединения на участки небольшой (до 200 мм) длины. Использование базирующейся на этих принципах технологии позволило нам исключить возможность образования трещин в жесткозакрепленных сварных соединениях стали 14ХГ2САФД даже при сварке без предварительного подогрева.

Безусловно, условия сварки металла большой толщины на практике могут существенно отличаться от тех, что мы воспроизвели при исследовании технологических проб в лабораторных условиях и потому исключать подогрев как технологическую операцию не следует. В то же время данные выполненных исследований указывают на то, что его можно существенно уменьшить. Об этом свидетельствует и наш опыт, полученный при ремонте базовых узлов дробилок, изготовленных из литой стали 25Л и 35Л толщиной 80...100 мм.

С помощью технологии сварки, разработанной при непосредственном участии специалистов ИЭС им. Е. О. Патона на ДОФ ОАО «Карельский окатыш» в период с 2003 по 2004 гг., был произведен восстановительный ремонт восьми станин дробилок ККД, КСД и КМД. Технологический процесс ремонта включал следующие операции:

- определение методами неразрушающего контроля протяженности и глубины залегания трещин;

- удаление трещин и разделку кромок под сварку;

- контроль качества подготовленных для сварки поверхностей соединяемого металла;
- предварительный подогрев (80...100 °С);
- сварку соединений;

- работы по снижению уровня остаточных напряжений в сварных соединениях (послышная проковка швов);

- снятие усиления металла шва с обеспечением плавного его перехода к основному металлу;
- контроль качества сварных соединений.

В настоящее время указанное оборудование эксплуатируется в проектом режиме. Затраты на

восстановление дробилок не превысили 25 % первоначальной стоимости станин.

В заключение следует отметить, что проведенные исследования и накопленный опыт восстановительных работ позволяет оптимистично оценивать роль технологических способов повышения сопротивляемости сварных соединений литых закаливающих сталей замедленному разрушению.

1. *Maccocaire C.* Repair welding: how to set up a shop // *Welding J.* — 1991. — № 8. — P. 54–56.
2. *A study on cracks on the oxigas cut surfaces of weld grooves of 14MnMoVN steel plates during cold forming / Ye Donglin, Yongfu He, Rangez Zhang et al.* // *Transaction China Weld. Inst.* — 1982. — № 4. — P. 159–164.
3. *Ларионов В. П.* Электродуговая сварка конструкций в северном исполнении. — Новосибирск: Наука, 1986. — 168 с.
4. *Волков А. С.* Причины появления дефектов вблизи исправленных участков сварных швов // *Свароч. пр-во.* — 1974. — № 8. — С. 33–34.
5. *Irving R. R.* Can industry afford the high cost of weld repair? // *Iron Age.* — 1980. — № 3. — P. 49–55.
6. *Макаров Э. Л.* Холодные трещины при сварке легированных сталей. — М.: Машиностроение, 1981. — 248 с.
7. *Шориоров М. Х., Белов В. В.* Фазовые превращения и изменения свойств стали при сварке: Атлас. — М.: Наука, 1972. — 219 с.
8. *Корольков П. М., Дикун В. Н.* Влияние технологических процессов сварки и объемной термообработки на уровень сварочных напряжений в шаровых резервуарах жидкого аммиака // *Монтаж и спец. работы в стр-ве.* — 1993. — № 8. — С. 24–26.
9. *Винокуров В. А., Григорьяни А. Г.* Теория сварочных деформаций и напряжений. — М.: Машиностроение, 1984. — 279 с.
10. *Трочун И. П.* Внутренние усилия и деформации при сварке. — М.: Машгиз, 1964. — 217 с.
11. *Бережницкая М. П.* Методы визначення залишкових напружень та їх зняття // *Фізико-хім. механіка матеріалів.* — 2001. — № 6. — С. 69–74.
12. *Махненко В. И.* Расчетные методы исследования кинетики сварочных напряжений и деформаций. — Киев: Наук. думка, 1976. — 320 с.
13. *Походня И. К., Пальцевич А. П.* Хроматографический метод определения диффузионного водорода в сварных швах // *Автомат. сварка.* — 1980. — № 1. — С. 37–39.
14. *Мусяиченко В. Ф., Жданов С. Л.* Применение акустического эмиссионного метода при исследовании процесса образования холодных трещин в сварном соединении высокопрочной стали // *Диагностика и прогнозирование разрушения сварных конструкций.* — 1987. — Вып. 5. — С. 73–77.
15. *Влияние церия на замедленное разрушение высокопрочного металла шва / В. Е. Лазько, М. Т. Борисов, В. Д. Ковальчук, Э. Л. Макаров* // *Автомат. сварка.* — 1977. — № 2. — С. 27–29.
16. *Сарик В. И., Суворова С. О., Филиппов Г. А.* О внутренних микронапряжениях, возникающих в результате мартенситного превращения в стали // *Металлофизика.* — 1974. — 54. — С. 94–97.

Results of evaluation of delayed fracture resistance of the HAZ metal in welded joints on cast steel of the 35L type, depending upon the saturation of welds with diffusible hydrogen, value of welding heat input and preheating temperature, are given. Data on the effect of welding technique on formation of the stressed state of rigidly fixed joints on heavy metal sections are presented.

Поступила в редакцию 08.02.2008



## ПРОМЫШЛЕННЫЙ КОНГРЕСС ЮГА РОССИИ

3–5 сентября 2008 г.

г. Ростов-на-Дону

### МЕТМАШ 2008 СТАНКОИНСТРУМЕНТ

**Металлургия Машиностроение металлообработка**

344068, г. Ростов-на-Дону, пр. М. Нагибина, 3а

Тел./факс: (863) 268-77-84, 268-77-83, 268-77-65

E-mail: [metall@vertolexpo.ru](mailto:metall@vertolexpo.ru)

<http://www.vertolexpo.ru>