

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДОРОДА В СВАРНОМ СОЕДИНЕНИИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЙ

Валерий Макаренко, Константин Муравьев, Танзания Евпак, Николай Каливошко

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

Украина, г. Киев, ул. Героев Оборона, 15

Valeriy Makarenko, Konstantin Muravyov, Tanzaniya Yevpak, Nikolay Kalivoshko

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Heroiv Oborony Str., 15, Kiev, Ukraine

Аннотация. Приведены результаты исследования кинетики распределения водорода в сварном соединении в зависимости от температурных режимов.

Ключевые слова: сварка, водород, температурные режимы, холодные трещины.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Известно, что в наибольшей степени на работоспособность и надежность сварных корабельных корпусов из низколегированных сталей обычной и повышенной прочности, особенно при эксплуатации в условиях низких температур воздуха (до -60°C), оказывают холодные трещины, образующиеся, как правило, в околошовной зоне сварных соединений (ОШЗ). При этом наиболее опасным местом, с точки зрения зарождения холодных трещин, является корневой шов.

При сварке указанных сталей вероятность образования холодных трещин появляется, если скорость охлаждения $W_{500}^{600} \geq 12 - 13^{\circ}\text{C} / \text{с}$ [1,2], что характерно для ручной сварки покрытыми электродами в условиях низких температур воздуха. При этом холодные трещины наблюдаются, несмотря на отсутствие закалочных структур, в сварных соединениях.

Аварии и остановки корабельного транспорта по причине низкой трещиностойкости сварных соединений приводят не только к потере транспортируемого продукта, но и требуют зачастую крупных материальных и финансовых затрат на ремонтно-восстановительные работы. Увеличение типоразмеров плавсредств, удлинение трассы их маршрута приводят к росту продолжительности ликвидации аварий. Разрушение танкеров часто сопровождается пожарами и

взрывами, загрязнениями окружающей среды, что оказывает губительное воздействие на животный и растительный мир. Все это свидетельствует о крайней актуальности повышения качества и надежности морских и речных судов.

Из анализа литературных данных и результатов собственных исследований следует, что основной причиной низкой трещиностойкости сварных соединений судостроительных корпусных сталей из низколегированных сталей, эксплуатируемых в условиях низких температур окружающей атмосферы (до -60°C), является высокое содержание водорода в наплавленном металле и околошовной зоне. Вопросы активности подвижного водорода и его распределения в разных зонах сварного соединения при воздействии на него минусовых температур изучены недостаточно и получены на различных сварочных и корпусных материалах с использованием разных методов и критериев оценки, поэтому они трудно сопоставимы, порой противоречивы и не всегда подвержены логическому анализу и сравнению. Поэтому требуется проведение дополнительных экспериментов для изучения влияния отрицательных температур на процесс диффузии и перераспределения водорода с течением времени в сварных соединениях монтажных стыков корабельных корпусных конструкций. Учитывая, что экспериментальные методы не позволяют измерить концентрацию водорода в различных зонах сварного соединения, то требуется применение экспериментально-аналитических методов расчета и оценки кинетики диффузии водорода из сварного шва в зону термического влияния (ЗТВ) и его перераспределения с течением времени.

Высказываются различные точки зрения на механизм водородной хрупкости стали и сварных соединений. Однако сам факт, что водород, попадая в металл шва и ЗТВ, вызывает временную хрупкость его и иногда весьма значительную, приводящую к образованию трещин, является общепризнанным.

На основании изложенного, основным способом уменьшения водородной хрупкости является снижение уровня диффузионно-подвижного водорода в металле шва различными конструкторско-технологическими способами.

Другим способом уменьшения водородной хрупкости является снижение скорости охлаждения, которое позволяет получить более пластичный и менее склонный к водородной хрупкости металл шва и ЗТВ, а также усиливает эффект удаления водорода из металла в процессе охлаждения.

Третьим способом является повышение температуры сопутствующего подогрева. Так, повышение температуры до 100 – 200 °С существенно снижает водородную хрупкость, вызываемую диффузионным и молекулярным водородом.

Четвертым способом является проведение термической обработки – “отдыха” – сварных соединений корпусных сталей непосредственно после сварки при повышенной температуре, в процессе которого удаляется диффузионный водород.

Для реализации этих способов на практике необходимо проведение дополнительных экспериментов для изучения поведения водорода в сварных соединениях применительно к конкретным температурным режимам, материалам и технологическим процессам монтажной сварки.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

О влиянии отрицательных температур воздуха при сварке корпусных судостроительных сталей на увеличение количества образовавшихся трещин и пор известно из литературы и практики [1,2,4,5,12,13]. Вероятность образования трещин при этом повышается в связи с увеличением

остаточных напряжений и количества растворенного в металле водорода.

Повышение стойкости сварных соединений к образованию холодных трещин, вызывающих замедленное разрушение при сварке в условиях низких температур, определяется не только снижением количества неравновесных структур, но и повышением скорости диффузии водорода [14-24].

Анализ данных, приведенных в литературе [7-9,12,13], свидетельствует, что основными причинами разрушения корпусов плавсредств являются дефекты сварных соединений, влияние низких температур окружающего воздуха, водородное охрупчивание зоны термического влияния (ЗТВ) сварного соединения, а также вибрации корпуса вследствие динамических воздействий. Обобщение причин разрушений корабельных сварных стыков, выполненное в работах [12,13], позволило выделить главную из них – низкую хладостойкость судостроительных сталей и их сварных соединений в условиях отрицательных температур воздуха.

Для реализации на практике организационно-технических мероприятий повышения надежности сварных соединений корабельных корпусов и других конструкций необходимо знание закономерностей и особенностей изменения трещиностойкости наплавленного и основного металла в зависимости от основных технологических факторов транспорта продукта, для чего требуется проведение дополнительных исследований

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Исследование кинетики распределения и диффузии водорода в сварных соединениях судостроительных сталей в зависимости от температурных условий окружающей атмосферы.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве экспериментальных материалов использовали судостроительные корпусные стали 10ХСНД и 15ХСНД, которые наиболее широко используются в

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДОРОДА В СВАРНОМ СОЕДИНЕНИИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЙ

кораблестроении. Для определения диффузионного водорода в наплавленном металле производили наплавку на образцы размером $80 \times 15 \times 10$ мм, которые затем помещали в эвдиометры с водоглицериновой смесью, а также в эвдиометры со спиртом. Время наплавки образца составляло 30...35 с, а паузы от момента завершения наплавки до помещения образца в эвдиометры – 3...40 с. Наплавку на образцы, а также сварку монтажных стыков производили на открытом воздухе при температурах среды, принятых согласно плана экспериментов. Концентрацию остаточного водорода определяли методом вакуумной экстракции при расплавлении образцов на установке ВН-6 фирмы “Тереус” [11]. Сварку выполняли в нижнем положении постоянным током обратной полярности. Режим сварки соблюдали постоянным ($I_{св} = 180$ А; $U_{д} = 23... 24$ В).

В качестве сварочных материалов использовали электроды марок АНО-26 диаметром 4мм и АНО-ТМ диаметром 3 мм (для сварки корня шва).

В основу метода расчета концентрации и распределения водорода в сварных соединениях была положена схема количественного расчета диффузионного перераспределения водорода в сварных соединениях, разработанная И.К. Походней

и Л.И. Демченко (Институт электросварки им. Е.О. Патона Национальной академии наук Украины) [8,9], поскольку она хорошо согласуется с экспериментальными данными. С точки зрения математического моделирования, наибольшую сложность представляют учет переменной (в пространстве и времени) растворимости водорода в твердом и жидком металле, наличие локальных дефектов структуры (“ловушек” водорода), а также многомерный характер переноса.

Поэтому для упрощения модели в расчетах предполагали следующее:

а) роль внутренних дефектов структуры в перераспределении водорода и выделения из образца невелика;

б) влияние времени кристаллизации металла шва на процесс диффузии и перераспределения водорода ничтожно мало;

в) влиянием неизотермичности температурного поля сварного соединения можно пренебречь.

Определение критерия технологической прочности сварного соединения σ_{pmin} производили по методике, подробно описанной в работах [5,6,7,10].

Зависимости скорости выделения водорода из наплавленного металла от температуры окружающей среды приведены на рис. 1.

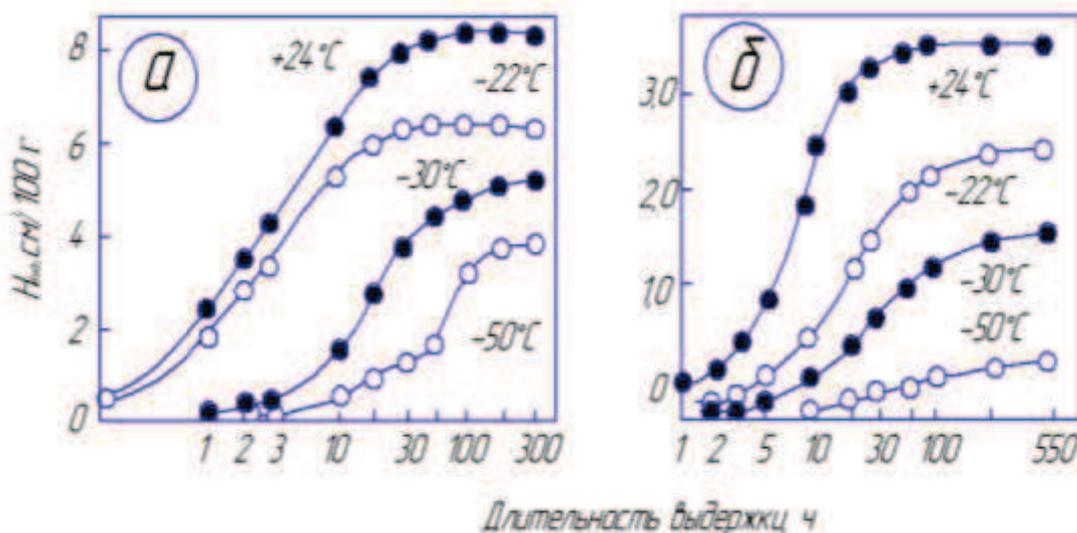


Рис. 1. Зависимость скорости выделения водорода из наплавленного металла от температуры среды: электроды АНО – 26; а) – глицериновая проба; б) – спиртовая проба

Рис. 1. Dependence of speed of selection of hydrogen from a наплавленного metal from the temperature of environment: electrodes of ANOAS - 26; а) is glycerin test; б) is spirit test

Видно, что с понижением температуры образцов на 60⁰С скорость диффузии уменьшается в среднем в 30 – 40 раз, а при температуре -40 -50 ⁰С ([Н]_{диф} < 5 см³/100г) скорость выделения водорода минимальна в течение 20 ч после сварки.

Заметное выделение диффузионного водорода выявлено лишь после выдержки образцов в спиртовых эвдиометрах более 200 ч (рис.1, б). В целом понижение температуры резко уменьшает количество выделившегося водорода из металла, особенно при сварке низководородистыми электродами с покрытием основного вида. Из рис.1(б) видно, что из наплавленного электродами АНО-26 металла при

температуре +20 ⁰С свободно выделилось около 3 см³/100г водорода, при -30 ⁰С – 0.85 см³/100г, а при -45 ⁰С – лишь 0.2 см³/100г. Перенос эвдиометров с замороженными образцами в помещение с комнатной температурой позволяет получить дополнительно выделившийся водород из наплавленного металла (табл. 1).

Скорость диффузии водорода [Н] диф зависит от температуры среды. Выдержка образцов при температуре +40 ⁰С (рис.2) понижает содержание водорода в шве с 2.2 до 0.5 см³/100г за 4 ч, при комнатной температуре – за 20 ч, а при -50 ⁰С водород практически не выделяется.

Таблица 1. Влияние температуры среды на содержание водорода (в см³/100г) в сварном шве

Table 1. Influence of temperature of environment on maintenance of hydrogen (in см³/100г) in weld-fabricated guy-sutures

Марка электрода	Температура прокалики, °С	Температура среды, °С	[Н] _{диф}	[Н] _{ост}	[Н] _{сум}
УОНИ-1355	400	+40	4,4	2,0	6,4
	400	-40	2,7	3,9	6,6
	200	+20	6,5	2,8	9,3
	200	-40	5,2	4,3	9,5
АНО-ТМ	400	+20	2,8	1,0	3,8
	400	-30	0,9	2,7	3,6
	400	-50	0,2	3,8	4,0
	200	+20	5,0	1,0	6,0
	200	-30	3,5	3,4	6,9
	200	-50	1,6	5,2	6,8

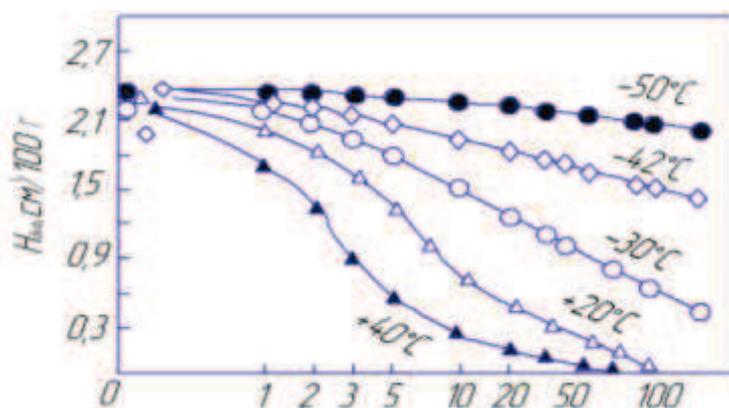


Рис. 2. Влияние температуры и длительности выдержки на содержание диффузионного водорода в сварных соединениях: электроды АНО – 26; спиртовая проба

Fig. 2. Influence of temperature and duration of self - control on maintenance of diffusive hydrogen in the weld - fabricated connections: electrodes of ANOAS - 26; spirit test

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДОРОДА В СВАРНОМ СОЕДИНЕНИИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЙ

Для анализа роли водорода в образовании холодных трещин в ОШЗ очень важно знать его перераспределение в сварных соединениях с течением времени. Однако применяемые экспериментальные методы не позволяют в полной мере судить о его диффузионном распределении в различных зонах соединения при сварке и после ее окончания. Поэтому в данной работе расчет перераспределения диффузионного водорода производили по формулам [1,2] в трех временных интервалах изменения температуры, в которых коэффициенты диффузии D_H принимали кусочно-постоянными $t_{пл}^0 \leq t_1 \leq t_{300}^0$; $t_{300}^0 \leq t_2 \leq t_{100}^0$; t_3 - при температуре окружающего воздуха. Их значения приведены в табл. 2. Временные интервалы варьировались в зависимости от

температуры среды и предварительного нагрева.

Как показано в работе [3], содержание водорода в металле шва контролируется скоростью охлаждения в интервале 300 – 100⁰С. Конфигурация шва воспроизводилась с помощью переменной координаты линии сплавления по высоте сечения. На рис. 3 и 4 представлены результаты распределения водорода в сварном соединении. Предварительный подогрев до 200⁰С способствует резкому снижению содержания водорода в центре шва – до 20 % начального содержания в течение 30 мин, причем в ЗТВ содержание водорода не превышает 20 % [H] (рис.3).

Таблица 2. Эффективные коэффициенты диффузии, см²/с
Table 2. Effective coefficients of diffusion, см²/с

В интервале температур, ⁰ С	$D_{шва}, D_{ом}$	$D_{зТВ}$
+40	$1.2 \cdot 10^{-4}$	$1.9 \cdot 10^{-5}$
+30	$2.2 \cdot 10^{-5}$	$1.9 \cdot 10^{-6}$
+20	$1.2 \cdot 10^{-6}$	$3.6 \cdot 10^{-7}$
- 35	$2.2 \cdot 10^{-7}$	$3.6 \cdot 10^{-8}$

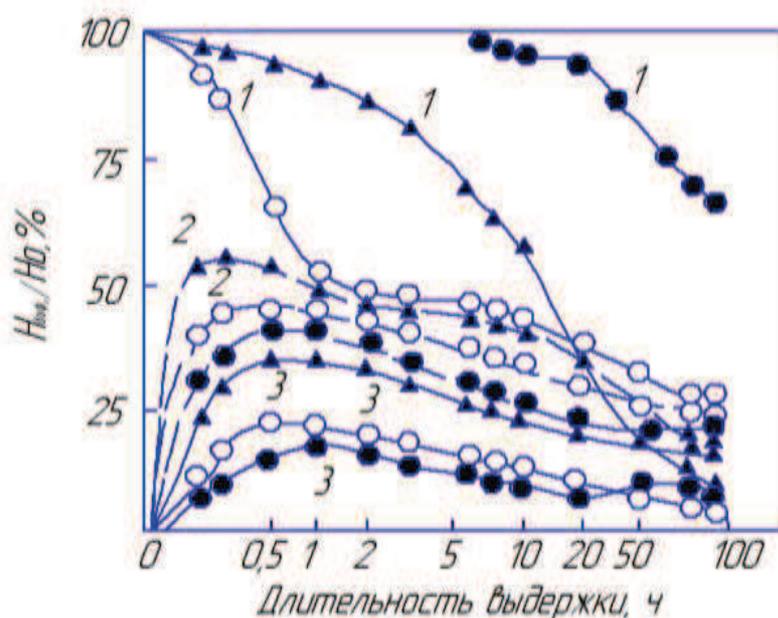


Рис. 3. Кинетика перераспределения водорода в V-образном сварном соединении:
 1 - центр шва; 2 - зона линии сплавления; 3 - зона термического влияния
Fig. 3. Kinetics of redistribution of hydrogen is in V - the vivid weld-fabricated connection:
 1 is center of guy-sutures; 2 is area of line of meltback; 3 is thermal affected zone
 Δ - $T_{ср}=+22^{\circ}C$; \bullet - $T_{ср}=-40^{\circ}C$; \circ - $T_{ср}=-40^{\circ}C$ и $T_{под}=200^{\circ}C$.

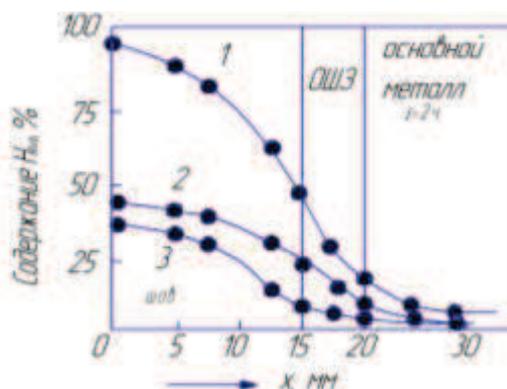


Рис. 4. Влияние подогрева на распределения водорода в сварном соединении:

1 – $T_{под} = 200^{\circ}\text{C}$; 2 – 50°C ; 3 – 0°C .

Fig. 4. Influence of heating on distributions of hydrogen in the weld-fabricated connection:

1 – $T_{под} = 200^{\circ}\text{C}$ 2 – 50°C ; 3 – 0°C .

Предварительный подогрев до 200°C способствует резкому снижению содержания водорода в центре шва – до 20 % начального содержания в течение 30 мин, причем в ЗТВ содержание водорода не превышает 20 % [H] (рис. 3).

С понижением температуры среды до -40°C существенно замедляется скорость десорбции водорода в окружающую атмосферу. Так, уменьшение содержания водорода в центре шва в 2 раза происходит при комнатной температуре за 2 – 3 ч, а при -40°C – за 12 – 15 ч. Максимальное содержание водорода в ЗТВ при температуре $+20^{\circ}\text{C}$ достигается за 1 – 3 ч, а при низких температурах – за 20 – 40 ч с сохранением этого условия длительное время. Также следует отметить, что предварительный подогрев приводит к резкому снижению уровня водорода в первые 30 мин после окончания сварки. Поэтому после окончания десорбции водорода из шва, наряду с предварительным подогревом, желателен и послесварочный нагрев соединения, особенно при отрицательных температурах воздуха. Следовательно, в зависимости от технологической прочности сталей и на основании расчетной модели диффузионного перераспределения водорода в монтажных соединениях после окончания сварки можно научно обосновать оптимальный режим предварительного подогрева и конструкторско-технологические приемы уменьшения скорости охлаждения стыка с учетом оптимизации режимов сварки, формы разделки кромок, правильного

выбора сварочных материалов, прокали электродов, ограничения времени между наложением проходов при многослойной сварке.

Из литературных данных следует, что до сих пор отсутствует количественная связь между склонностью сварного соединения к образованию трещин с действительной концентрацией в нем водорода. Известно, что наиболее существенное влияние на трещиностойкость сталей оказывает диффузионный водород при образовании в сварном шве или ОШЗ смешанной перлитно-мартенситной, бейнитно-мартенситной структур и структуры нижнего бейнита [4]. Авторы [1,4,16-20] обнаружили снижение сопротивления сталей 15ХСНД, 17Г1С, 10Г2С1, 10ХСНД холодным трещинам на 20 – 40 % при сварке в условиях отрицательных температур воздуха. Стали 14Г2САФ и 14Г2МР характеризуются низкой технологической прочностью, причем их трещиностойкость снижается на 10 – 20 % с понижением температуры.

Установлено [2,14-17], что наибольшее понижение трещиностойкости судостроительных сталей наблюдается в интервале от -20 до -40°C , в котором отрицательное влияние водорода на замедленное разрушение сварных соединений проявляется в большей степени. Как показывают результаты собственных исследований, уменьшение содержания водорода в шве от 8 до $1\text{ см}^3/100\text{г}$ повышает сопротивляемость сталей 10ХСНД и 15ХСНД холодным трещинам примерно в 2 – 2,5 раза (рис.5).

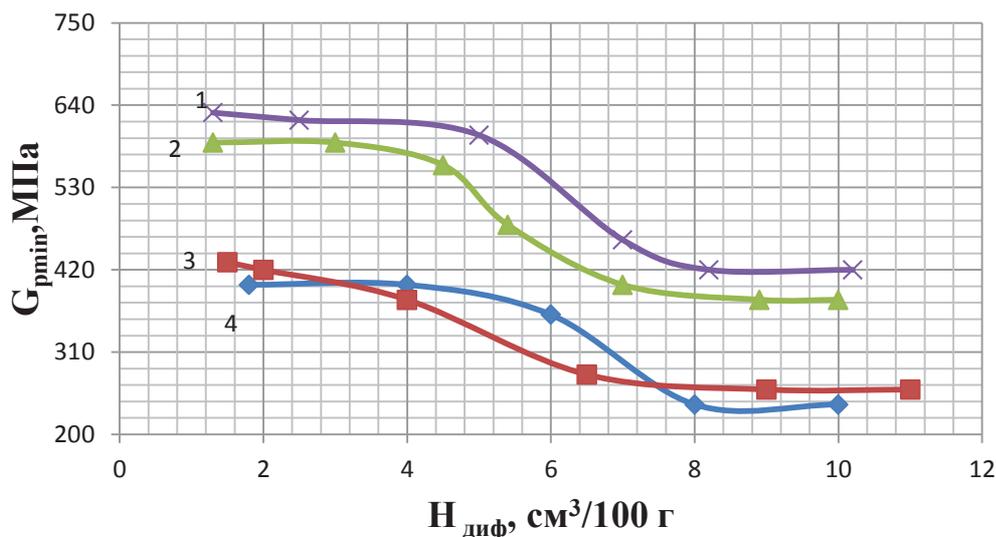


Рис. 5. Зависимость технологической прочности сварных соединений от содержания водорода в наплавленном металле
Опытные электроды АНО – 26; Обозначения: 1-10ХСНД; 2 – 15ХСНД; 3 – сталь 20; 4 – сталь 10

Fig. 5. Dependence of technological durability of the weld-fabricated connections on maintenance of hydrogen in the cooked metal

При уменьшении количества водорода в наплавленном металле до уровня $5 \text{ cm}^3/100\text{г}$ и ниже сопротивляемость этих сталей холодным трещинам σ_{pmin} возрастает на 50 – 60 %.

ВЫВОДЫ

1. С понижением температуры образцов на 60°C скорость диффузии водорода уменьшается в 30 – 40 раз, а при температуре $-40\dots -50^\circ\text{C}$ скорость выделения водорода из наплавленного металла минимальна в течение 20 ч после сварки. Так, при температуре $+40^\circ\text{C}$ содержание водорода в шве после сварки понижается с 2.2 до $0.5 \text{ cm}^3/100 \text{ г}$ за 4 ч, при комнатной температуре – за 20 ч, а при -50°C водород практически не выделяется.

2. Отработана технология применения математической модели расчета процесса диффузии и перераспределения водорода в сварном соединении с учетом термического цикла сварки, которая позволяет научно обосновать оптимальные режимы предварительного подогрева и конструкторско-технологические приемы

снижения скорости охлаждения монтажных стыков корпусных судостроительных сталей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sleptsov O.I., Tukholonov K.N. 1976: Vliyaniye otritsatelnykh temperatur pri svarke na sodержaniye diffuzionnogo vodoroda v naplavlennom metalle // Khrupkoye razrusheniye metallov pri nizkikh temperaturakh. – Yakutsk: Izd. YaF SO AN SSSR. – 74 – 80.
2. Larionov V.P., Sleptsov O.I. 1983: Priroda obrazovaniya kholodnykh treshchin i obespecheniye tekhnologicheskoy prochnosti svarnykh soyedineniy pri nizkikh temperaturakh. – Yakutsk: Izd. YaF AN SSSR. – 40 – 68.
3. Tarlinskiy V.D. 1969: Vliyaniye vodoroda na kharakteristiki mekhanicheskikh svoystv konstruksionnykh nizkolegirovannykh staley i svarnykh soyedineniy // Ustoychivost protiv korrozionnogo rastreskivaniya svarnykh soyedineniy truboprovodov i rol vodoroda pri elektrodugovoy svarke – M: VNIIST. – 91 - 123.
4. Sleptsov O.I. 1979: Vliyaniye nizkoy temperatury pri svarke na obrazovaniye

- kholodnykh treshchin v nizkolegirovannykh trubnykh stalyakh // Byul. NTI. – Yakutsk. – 25 - 26.
5. Kozlov R.A. 1960: Metodika opredeleniya vodorodnoy khrupkosti naplavlennogo metalla // Svarka. – L.: Sudpromgiz. – 21 - 29.
6. Ustalostnaya 1990: Ustalostnaya i tsiklicheskaya treshchinostoykost konstruksionnykh materialov // O.N.Romaniv, S.Ya.Yarema, G.N.Nikiforchin i dr. / Mekhanika razrusheniya i prochnost materialov: Sprav. posobiye v 4-kh t. Pod red. V.V.Panasyuka, T.4. – Kiyev: Naukova dumka.
7. Kozlov R.A. 1975: Vodorod pri vsarke korpusnykh staley. – L.: Sudostroyeniye. – 212.
8. Pokhodnya I.K., Demchenko V.F., Demchenko A.I. 1979: Matematicheskoye modelirovaniye povedeniya gazov v svarnykh shvakh. – Kiyev: Naukova dumka. – 56.
9. Pokhodnya I.K. 1976: Kinetika difuzionnogo pereraspredeleniya vodoroda mezhdum metallom shva i osnovnym metallom // Avtomaticheskaya svarka. – №5. – 3 - 12.
10. Moroz L.S., Chechulin B.B. 1967: Vodorodnaya khrupkost metallov. – M.: Metallurgiya. – 225.
11. Paltsevich A.P. 1982: Khromatograficheskii metod opredeleniya kolichestva diffuzionnogo vodoroda v svarnykh shvakh. – V kn.: Tretya Vsesoyuz. konf. po svarochnym materialam. – Kiyev: Naukova dumka. – 24 - 27.
12. Makarenko V.D. 2006: Nadezhnost neftegazopromyslovykh sistem. – Chelyabinsk: Izd. TsNTI. – 826.
13. Galichenko Ye.N. 2002: Tekhnologicheskiye metody obespecheniya treshchinostoykosti promyslovykh truboprovodov neftyanykh mestorozhdeniy. – Chelyabinsk: Izd. TsNTI. – 252.
14. Prognozirovaniye 1997: Prognozirovaniye korroziionno-mekhanicheskikh razrusheniy truboprovodov // A.G. Gareyev, I.A. Ivanov, I.G. Abdullin i dr. – M.: IRTs Gazprom. – 170.
15. Gutman E.M., Amosov B.V., Khudyakov M.A. 1978: Malotsiklovaya korroziionnaya ustalost trubnoy stali pri ekspluatatsii magistralnykh nefteprovodov // Stroitelstvo truboprovodov. № 2. – 27-29.
16. Zastosuvannya 2002: Zastosuvannya pidkhodiv mekhaniki ruynuvannya do otsinki vodnevoi degradatsii staley nafto- ta paroprovodiv / V.V. Panasyuk, G.M. Nikiforchin, O.Z. Student, Z.V. Slobodyan // Zb. "Mexanika i fizika ruynuvannya budivelnikh materialiv ta konstruksiy". – Vip. 5. – 537-546.
17. Trivkist 2004: Trivkist staley promislovykh truboprovodiv proti koroziiyno-mekhanichnogo ruynuvannya / V. Chernov, V. Makarenko, Ye. Krizhanivskiy i in. // Fiz.-khim. mexanika materialiv. – Spets. vip. № 4, t. 1. – 440-445.
18. Korroziionnoye 1974: Korroziionnoye rastreskivaniye martensitnykh nerzhaveyushchikh staley v Niserovodorodsoderzhashchikh sredakh / A.I. Radkevich, VL. Koval, Ye.N. Kalichak i dr. // Korroziya i zashchita v neftegaz. prom-sti. – N2 11. – 3-5.
19. Radkevich A.I., Chaplya O.N., Vasilenko I.I. 1981: Korroziionno-elektrokhimicheskoye povedeniye nerzhaveyushchey stali v serovodorodsoderzhashchikh sredakh // Korroziya i zashchita v neftegaz. prom-sti. – № 5. – 2-4.
20. Turn J.S., Wilde V.E., Troianos S.A. 1983: On the Sulfide Stress Cracking of Line Pipe Steels // Corrosion. – Vol. 39, No 9. – 364-369.
21. Lunarska Ye. 1985: Hydrogen-induced degradation of low-carbon steel // Hydrogen Degradation of Ferrous Alloys. – Park Ridge: Noyes Rubl. – 763-798.
22. Zashchita 1987: Zashchita ot korrozii, stareniya i biopovrezhdeniy mashin, oborudovaniya i sooruzheniy. Sprav-k: v 2 t. / Pod red. A.A. Gerasimenko. – M.: Mashinostroyeniye. – T. 1. – 688.
23. Gertsog E. 1964: Korroziya staley v serovodorodnoy srede. Korroziya metallov. – M.: Metallurgiya. – 31-38.
24. Osnovni 2004: zakonmirnosti navodnyuvannya ta poverkhnevogo pukhirinnya trubnoi stali v sirkovodnevykh seredovishchakh / O. Radkevich, G. Chumalo, I. Dominyuk i in. // Fiz.-khim. mexanika materialiv. – Spets. vip. № 4, t. 1. – 446-449.
25. Nikolay Chausov, Valentin Berezin, Andrey Pilipenko. 2012: Modelirovaniye mekhanicheskoy sistemy ispytaniy mashina – ustroystvo dlya impulsivnogo vvoda energiy v sistemu – obrazets // Motrol –Commission motorization and energetics in agriculture. – Lublin, – vol.14 №3 – 206-212.
26. Loveykin V.S., Romasevich Yu.O. 2010: Optimizatsiya keruvannya rukhom

odnomasovikh mekhanichnikh sistem // Motrol
– Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa, tom 12
В. – 91-96.

**RESEARCH OF DISTRIBUTING
OF HYDROGEN IN WELD- FABRICATED
CONNECTION DEPENDING
ON TEMPERATURE TERMS**

Summary. The results of research of kinetics of distributing of hydrogen are resulted in the weld-fabricated connection depending on temperature conditions.

Key words: welding, hydrogen, temperature conditions, cold cracks.