

- О.И. Зубрев // Сталь. – 1996. – №1. – С. 30-32.
3. Свяжин А.Г. Использование кислородных зондов для контроля окисленности и процесса раскисления малоуглеродистой стали / А.Г. Свяжин, В. В. Рябов, Д.А. Романович, В.Д. Сальников, В.Н. Хребин // Сталь. – 1996. – №2. – С. 12-16.
  4. Кузькина Н.Н. Улучшение качества кипящей и полуспокойной стали корректировкой ее окисленности / Н.Н. Кузькина, Ю.В. Кофман, И.Ю. Морозова, Г.В. Целых // Сталь. – 2003. – № 3. – С. 21-22.
  5. Фиге Л. Измерения в ходе продувки конвертера при помощи фурмы–зонда / Л. Фиге, Н.Р. Кайзер, И. Мах // Черные металлы. – 1984. – №1. – С. 14-17.
  6. Зинковский И.В. Определение характеристик устройств УКОС в металлургических агрегатах / И.В. Зинковский, В.М. Скосырев // Сталь. – 1992. – № 12. – С. 24-25.

#### Bibliography

1. Galperin G.S. Research of oxidation became in 350-t converters / G.S. Galperin, A.K. Buchenkov, A.I. Alexandrov, V.V. Bolotnicov // Stal. – 1996. – № 1. – P. 28-29. (Rus.)
2. Nechkin U.M. The use of sensors is HAY-CROP-1 for a management by the process of alloying of corrosive-proof steel titan / U.M. Nechkin, S.B. Kuberskiy, N.N. Perevalov, O.I. Zubarev // Stal. – 1996. № 1. – P. 30-32. (Rus.)
3. Svyazhin A.G. Use of oxygen probes for control of oxidation and process of desoxydating of low-carbon steel / A.G. Svyazhin, V.V. Raybov, D.A. Romanovich, V.D. Salnikov, V.N. Hrebin // Stal. – 1996. – № 2. – P. 12-16. (Rus.)
4. Kuzkina N.N. Improvement of quality of and semiquiet rimmer by adjustment of her oxidation / N.N. Kuzkina, U.V. Kofman, I.U. Morozova, G.V. Tselyih // Stal. – 2003. – P. 21-22. (Rus.)
5. Fige L. Measuring during blowing out of converter through a tuyer – probe / L. Fige, H.P. Kayzer, I. Mah / Chernyie metallyi. – 1984. – № 1. – P. 14-17. (Nem.)
6. Zinkovskiy I.V. Determination of descriptions of devices HAY-CROP in metallurgical aggregates / I.V. Zinkovskiy, V.M. Skosyirev // Stal. – 1992. – № 11. – P. 24-25. (Rus.)

Рецензент: С.Л. Макуров  
д-р техн. наук, проф. ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 30.10.2012

УДК 669.15-194.2: 620.193

©Бондарь В.И.<sup>1</sup>, Харлашин П.С.<sup>2</sup>

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЫШЬЯКА НА КОРРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА В МОРСКОЙ ВОДЕ

*Приведены результаты исследования влияния мышьяка на коррозионную устойчивость сплавов на основе армко-железа и ряда малоуглеродистых низколегированных сталей в виде сварных соединений в морской воде в условиях ускоренных и натуральных испытаний.*

**Ключевые слова:** армко-железо, сталь, мышьяк, морская вода.

**Бондарь В.И., Харлашин П.С. Дослідження впливу миш'яку на корозійну стійкість сплавів на основі заліза в морській воді. Наведено результати дослідження впливу миш'яку на корозійну стійкість сплавів на основі заліза та ряду мало вуглецевих низколегированих сталей в морській воді в умовах прискорених та натурних випробувань.**

**Ключові слова:** армко-залізо, сталь, миш'як, морська вода.

<sup>1</sup> канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

<sup>2</sup> д-р техн. наук, профессор, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

*V.I. Bondar, P.S. Kharlashin. Research of influence of arsenic of inexorability of alloys on bases of iron salt water. Results over of research of influence of arsenic are brought on corrosive stability of alloys on the basis of Armco iron and low-carbon and low-alloy steel in salt water in the conditions of speed-up and model tests.*

**Keywords:** Armco-iron, steel, arsenic, salt water.

**Постановка проблеми.** Одним из эффективных путей повышения коррозионной устойчивости сплавов, как известно, является легирование. Значительное торможение процесса коррозии малоуглеродистых сталей в условиях промышленной атмосферы оказывают добавки хрома, меди в комбинации с фосфором, одновременное легирование никелем и медью и другие варианты легирования. Влияние мышьяка на коррозионную устойчивость низколегированных сталей изучалось в ряде работ. Известны мышьяковистые стали с повышенной коррозионной устойчивостью. Мышьяк (As), как и другие подобные ему элементы, повышающие коррозионную стойкость, вводятся в расплав в ограниченном количестве. Это объясняется их влиянием на свариваемость и комплекс характеристик механических свойств. Особый интерес представляют сведения об устойчивости мышьяк содержащих сталей в условиях электрохимической коррозии – коррозии в морской воде.

Физико-химические особенности этого вида коррозионного разрушения исследованы весьма поверхностно. В этой связи изучение влияния мышьяка на коррозионную стойкость сплавов на основе железа в условиях испытаний в морской воде представляет не только научный, но и практический интерес.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Данные о влиянии на коррозионную стойкость стали в условиях электрохимической коррозии немногочисленны, а в ряде случаев – противоречивы. Значительно шире изучено влияние мышьяка на окалиностойкость низколегированных сталей и их устойчивость в условиях атмосферной коррозии [1-4]. Известны стали с мышьяком повышенной коррозионной стойкости. В работе [5] сообщается, что 0,17%\* мышьяка несколько снижает коррозионную стойкость стали 10ХСНД в атмосфере. Шумиловым М.А. с сотрудниками [6] изучена коррозионная стойкость ряда марок малоуглеродистых низколегированных сталей, в которых источником мышьяка служила сталь марки Ст.3, выплавленная на основе керченских руд. Повышение содержания мышьяка свыше 0,15% осуществлялось добавками ферромышьяка. Анализ экспериментальных данных показал, что легирование сталей марок 16ГС, 16Г2СФ, 15ХСНД, 15ГФ, 09Г2С и др. мышьяком до 0,2% его содержания в стали, понижает скорость коррозии в условиях натуральных испытаний в атмосфере, почве, морской воде.

В работах [7, 8] предложены низколегированные стали с повышенной коррозионной устойчивостью в морской воде с содержанием мышьяка 0,02...0,20%, а в работе [9] – коррозионная сталь, имеющая хорошую свариваемость и содержащая мышьяк в количестве 0,1...1,0%.

Из приведенного краткого обзора источников информации следует, что легирование мышьяком малоуглеродистых низколегированных сталей повышает их коррозионную устойчивость. Механизм влияния мышьяка на их коррозионную стойкость в условиях газовой коррозии изучен достаточно полно. Вместе с тем причины повышения коррозионной устойчивости сталей в электролитически проводящих средах остаётся открытым.

**Цель статьи** – изучить кинетические закономерности процесса коррозии армко-железа с различным содержанием мышьяка в морской воде для объяснения результатов натуральных испытаний коррозионной устойчивости ряда малоуглеродистых низколегированных сталей содержащих мышьяк.

**Изложение основного материала.** В настоящей работе приводятся результаты исследования влияния мышьяка на коррозионную устойчивость малоуглеродистых низколегированных сталей в морской воде. Исследование касается и вопроса допустимого содержания мышьяка в стали.

Для объяснения влияния мышьяка на коррозионную стойкость сталей в морской воде вначале проводились электрохимические измерения коррозионной стойкости армко-железа с различным содержанием мышьяка в нём. Были подготовлены образцы сплавов на основе армко-железа, содержащие 0,15, 0,30 и 0,60% мышьяка. Каждую серию образцов в количестве пяти штук испытыва-

\* Здесь и далее проценты массовые.

ли параллельно с образцами «чистого» армко-железа без мышьяка. Подготовленные для электрохимических измерений образцы выдерживались не менее 17-и часов для установления стабильного значения потенциала в синтетической морской воде (СМВ) океанского состава, г/л: NaCl – 26,52; MgCl<sub>2</sub> – 2,45; MgSO<sub>4</sub> – 3,30; CaCl<sub>2</sub> – 1,14; KCl – 0,73; NaHCO<sub>3</sub> – 0,20; NaBr – 0,08.

Растворителем была дистиллированная вода. В каждом случае регистрировали не менее 5-ти анодных и катодных поляризационных кривых с использованием потенциостата П-5927 М в потенциодинамическом режиме при скорости развёртки 1 мВ/с с использованием дисковых электродов площадью  $1 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup> при комнатной температуре и без принудительного перемешивания СМВ. Атмосфера над поверхностью раствора – воздух.

Кинетика процесса коррозии оценивалась из анализа поляризационных кривых, представленных на рис. 1. Кривые анодной и катодной поляризации построены в полулогарифмических координатах  $\eta - f(\lg i)$ , где  $i$  – плотность тока поляризации, определяющая скорость электродной реакции. Изменение величины электродного потенциала электрода – его поляризацию ( $\eta$ ) – рассчитывали в соответствии с уравнением:

$$\eta = \varphi_i - \varphi_0, \quad (1)$$

где  $\varphi_0$  – потенциал электрода в равновесных условиях, В;

$\varphi_i$  – потенциал поляризованного электрода, В.

Выбор системы координат  $\eta - \lg i$  объясняется целесообразностью использования уравнения Тафеля соответственно значениям плотности тока поляризации:

$$|\eta| = a + b \lg i, \quad (2)$$

где  $a, b$  – постоянные величины для данного электродного процесса.

Коррозионная среда характеризуется не только постоянством физико-химических свойств, но и характером поляризационных явлений. Эти позиции иллюстрируются конфигурацией поляризационных кривых (рис. 1). Очевидно, что характер анодного процесса для всех исследованных составов сплавов принципиально одинаков, зависимость  $\eta - \lg i$  носит выраженный линейный характер и слабо меняется при изменении содержания мышьяка в сплаве и  $\lg i$ . Более сложен характер катодных поляризационных кривых. На этих кривых можно выделить три основных участка. На участке АВ торможение катодной реакции слабое и свидетельствует об активном течении процесса ионизации кислорода. Участок ВС – свидетельство значительной поляризации процесса катодного восстановления кислорода и достижения предельной плотности тока. Эта стадия процесса, контролируемая диффузионными ограничениями, реализуется до тех пор, пока не начнётся процесс катодного восстановления ионов водорода (участок CD).

Так как морская вода достаточно насыщена кислородом, а концентрация ионов водорода в ней мала, лимитирующей стадией, определяющей скорость коррозионного разрушения исследованных сплавов в СМВ вне зависимости от содержания в них мышьяка, является ионизация молекулярного кислорода.

Анализ кривых на рис. 1 показывает, что максимальное значение величина перенапряжения ионизации кислорода имеет для сплава с 0,15% мышьяка. Она несколько меньше для содержания мышьяка 0,30% и практически не меняется при увеличении содержания мышьяка до 0,60%. Согласно рис. 1, предельная плотность тока ионизации кислорода для «чистого» армко-железа равна примерно 0,24 А/м<sup>2</sup>, а для его сплавов с мышьяком – 0,18, 0,23 и 0,26 А/м<sup>2</sup>. Вид кривой перенапряжения ионизации металла – кривой анодного процесса – для сплавов с 0,30 и 0,60% мышьяка не отличается от кривой ионизации «чистого» армко-железа. Вместе с тем, при содержании мышьяка в сплаве в количестве 0,15% величина перенапряжения ионизации металла несколько больше, чем для «чистого» армко-железа. Можно предположить, что причиной торможения катодного процесса является изменение водородного показателя (рН) приэлектродного слоя. Это приводит к образованию и осаждению на поверхности сплава гидроксидов, а именно: Mg(OH)<sub>2</sub> при рН = 8,47 – 0,5 · lg α<sub>Mg<sup>2+</sup></sub>; Ca(OH)<sub>2</sub> при рН = 11,46 – 0,5 · lg α<sub>Ca<sup>2+</sup></sub>.

Кроме того, в этих условиях возможно образование соединений CaCO<sub>3</sub> и MgCO<sub>3</sub>. В зависимости от рН среды, величина которой определяется плотностью поляризующего тока или

катодным смещением потенциала, на поверхности сплава образуется гидроксидно-карбонатный осадок, именуемый катодным. Следствием его образования является повышение перенапряжения электродных реакций. При этом существенно снижается и плотность катодного тока, так как катодный осадок затрудняет диффузию окислителя к металлу, блокируя и уменьшая его активную поверхность [10].

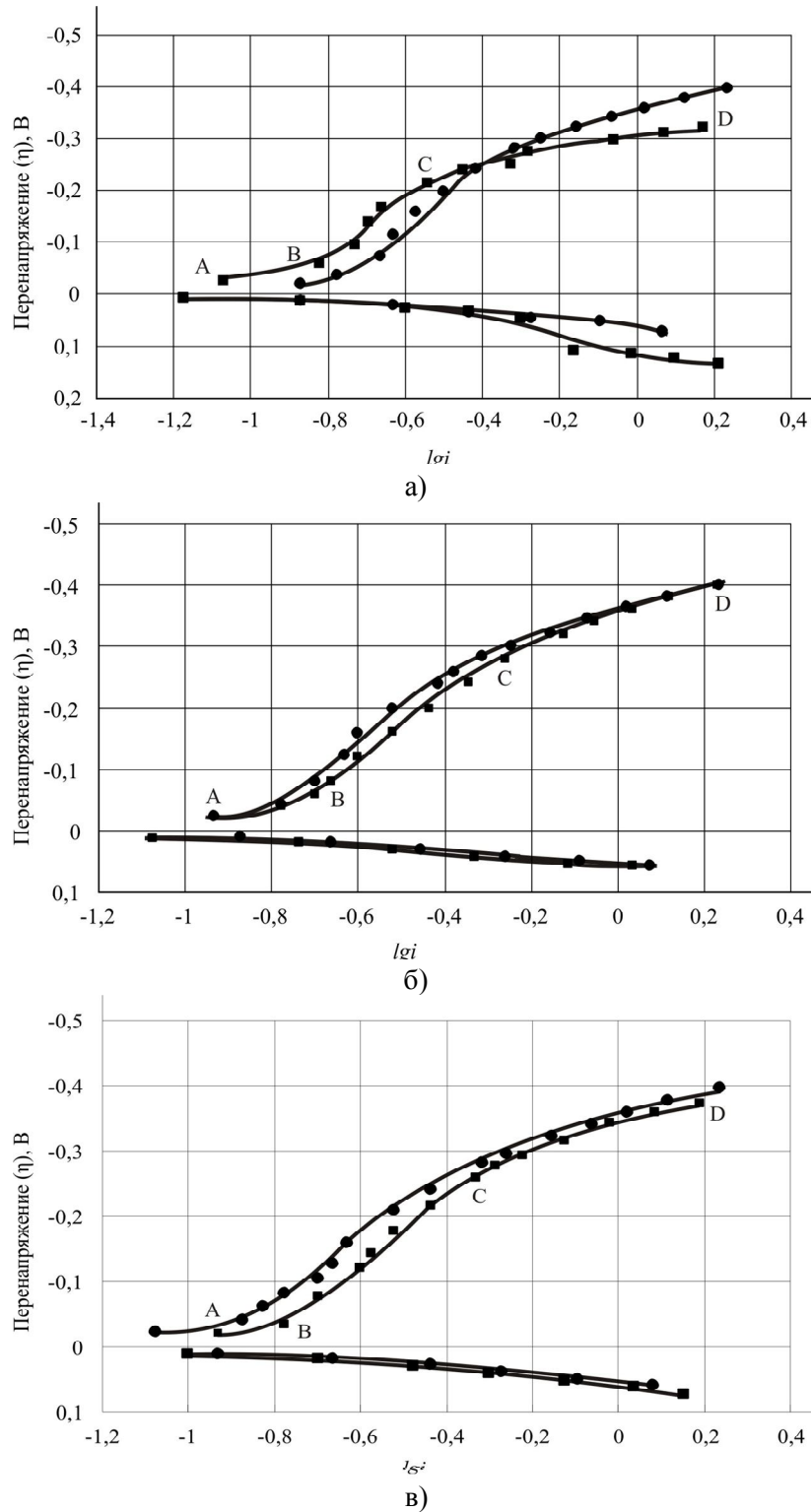


Рис. 1 – Поляризационные кривые: а) – 0,15% As; б) – 0,30% As; в) – 0,60% As; ● – «чистое железо»; ■ – сплав Fe – As

В продолжение экспериментов со сплавами на основе армко-железа практически важно оценить влияние мышьяка на коррозионную стойкость сплавов в сочетании с другими элементами, в частности, коррозионную стойкость судостали. Судостроение – один из основных потребителей листового и сортового проката. Основная часть потребляемого металла подвергается коррозии, вызванной действием морской воды.

Для оценки эффекта влияния мышьяка на коррозионную стойкость стали использовалась методика ускоренных коррозионных испытаний в движущейся СМВ. Методика предполагает непрерывный и последовательный анализ состояния поверхности образца до и после коррозионного воздействия по одной и той же линии (профилографирование поверхности). Такой вариант испытаний – моделирование коррозионного разрушения обшивки морского судна. Испытания проводились в соответствии с требованиями РД 5.9255-76 на стандартных сварных образцах марок сталей 09Г2СУ, 10ХСНД, 09Г2ФБ, 16Г2АФ, 17Г1СУ и армко-железа. Содержание мышьяка, вводимого в сталь, составляло 0,05, 0,10, 0,15, 0,20 и 0,25%. Сварные соединения производились в режиме полуавтоматической сварки в атмосфере углекислого газа. Образцы – пластины, размером 200×80×10...14 мм каждая в количестве 3...5 штук на каждое испытание. Коррозионные испытания проводились на установке «Циклон» с неподвижно закрепленными образцами. Скорость движения СМВ составляла 20 м/с у поверхности образцов. Температура движущейся СМВ поддерживалась на уровне (32±2)°С. Продолжительность испытаний составляла 1000 ч. Профилографирование поверхности образцов проводилось на электронно-механическом профилографе ЭМП-1м до и после коррозионных испытаний. Скорость коррозии определялась величиной глубинного показателя коррозии (П<sub>г</sub>, мм/год). Для основного металла образцов стали марок 09Г2СУ, 16Г2АФ, 17Г1СУ и 10ХСНД увеличение содержания мышьяка повышает коррозионную устойчивость. При повышении содержания мышьяка более 0,15% (масс.) в армко-железе и стали 09Г2ФБ рост коррозионной устойчивости не наблюдается (рис. 2).

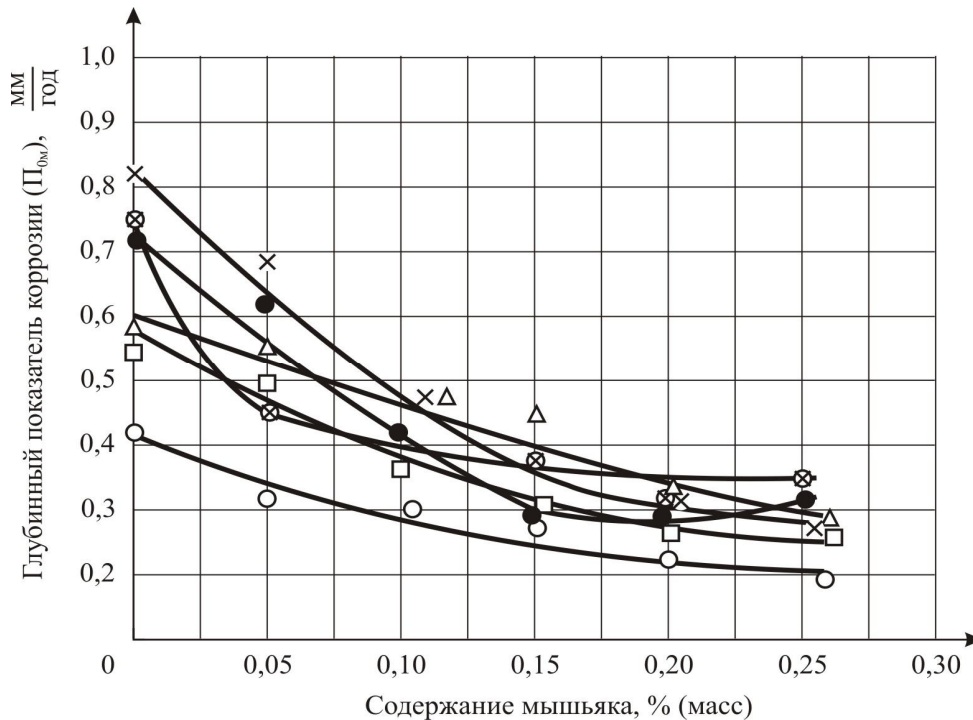


Рис. 2 – Влияние мышьяка на величину глубинного показателя коррозии: ○ – 09Г2СУ; □ – 09Г2ФБ; △ – 16Г2АФ; × – 17Г1СУ; ● – армко-железо; ⊗ – 10ХСНД

Коррозионная стойкость зон сварного соединения – металла зоны термического влияния (ЗТВ) и металла сварного шва (СШ) – оценивалась относительно стойкости основного металла. Результаты коррозионных испытаний зон сварного соединения приведены в табл. 1. Скорость коррозии считалась приемлемой в том случае, если её значение составляло 0,80...1,25 скорости коррозии основного металла. Из данных табл. 1 следует, что легирование мышьяком не приво-

дит к ухудшению коррозионной стойкости зон сварного соединения сталей и армко-железа. Степень влияния мышьяка на скорость коррозии неодинакова и зависит от состава сплава.

Таблица 1

Относительные скорости коррозии основного металла и зон сварного соединения

Марка стали	Содержание мышьяка, %	Относительная скорость коррозии металла		Марка стали	Содержание мышьяка, %	Относительная скорость коррозии металла	
		ЗТР	СШ			ЗТР	СШ
09Г2СУ	0,000	1,10	1,00	10ХСНД	0,000	0,95	0,70
	0,042	1,08	0,90		0,045	1,25	1,00
	0,100	0,90	1,40		0,110	1,20	1,55
	0,145	1,20	1,40		0,150	1,00	0,70
	0,190	1,10	1,15		0,195	0,85	1,00
	0,250	0,80	0,70		0,260	1,30	1,30
17Г1СУ	0,000	1,10	1,05	09Г2ФБ	0,005	1,10	1,30
	0,050	1,20	1,15		0,049	0,75	1,30
	0,095	1,25	1,17		0,118	0,80	1,30
	0,155	1,25	1,40		0,158	0,85	1,20
	0,195	1,00	1,25		0,211	1,25	1,10
	0,260	1,30	1,65		0,259	1,00	1,30
армко-железо	0,000	1,05	0,90	16Г2АФ	0,000	1,35	1,70
	0,050	1,00	0,80		0,048	1,10	1,50
	0,100	1,10	0,85		0,148	0,80	0,70
	0,150	1,25	0,60		0,207	0,70	0,65
	0,200	1,00	0,80		0,261	0,65	0,85
	0,250	0,80	0,90		–	–	–

Для уточнения и подтверждения полученных результатов были проведены испытания в реальных условиях на научно-исследовательской базе АН Украины «Дельфин» в водах Чёрного моря. Исследованию подвергались образцы тех же марок сталей, что и при проведении испытаний ускоренных. Содержание мышьяка изменялось от 0,05 до 0,25%. Сварные образцы устанавливали в кассеты, которые опускались на стенде на глубину 1,0...1,5 м от поверхности моря. Время испытаний – 15 месяцев. После испытаний образцы очищались от продуктов коррозии и водорослей, их поверхность протравливалась, и проводилось профилирование их поверхности по вышеуказанной методике.

В табл. 2 приводятся средние значения характеристик коррозионной стойкости сталей – глубинного показателя коррозии основного металла ( $P_{ом}$ ), зоны термического влияния ( $P_{зтв}$ ) и металла сварного шва ( $P_{сш}$ ). Анализ приведенных результатов иллюстрирует тенденцию к повышению коррозионной стойкости исследованных объектов: для стали 09Г2СУ отмечается рост коррозионной стойкости основного металла, зоны термического влияния и металла шва примерно в 1,5...2 раза при увеличении содержания мышьяка в ней до 0,25% (масс.). Этот результат наиболее показателен – для других марок сталей повышение коррозионной стойкости сварных соединений в морской воде при увеличении содержания мышьяка менее значительно.

Исследования характеристик механических свойств исследованных сталей показали, что наличие мышьяка в них до 0,24...0,26% (масс.) не ухудшает комплекс характеристик механических свойств: значения  $\sigma_{0,2}$  и  $\sigma_b$  для сталей марок 17Г1СУ, 16Г2АФ и 09Г2ФБ соответствовали 430...440 МПа. Для менее прочных сталей марок 09Г2СУ и 10ХСНД эти характеристики увеличились на 15...25 МПа. Значения относительного удлинения и сужения практически не изменились. Ударная вязкость под влиянием мышьяка не ухудшилась и со значительным запасом превышает требования соответствующего стандарта.

Динамическая прочность образцов исследованных сталей при температуре -40°C не снижалась ни в одном случае испытаний ниже 0,5 МДж/м<sup>2</sup>.

Таким образом, результаты комплексных исследований коррозионной стойкости ряда малоуглеродистых низколегированных сталей, содержащих мышьяк в количестве до 0,25% (масс.) доказывают их повышенную коррозионную устойчивость в морской воде, в том числе и в виде сварных соединений.

Таблица 2

Значения коррозионной стойкости сталей в условиях натуральных испытаний

Марка стали	Содержание мышьяка, %	Глубинный показатель коррозии (П), мм/год			$\frac{P_{зтв}}{P_{ом}}$	$\frac{P_{ш}}{P_{ом}}$
		основной металл	металл ЗТР	металл СШ		
09Г2СУ	0,000	0,082	0,071	0,060	0,87	0,74
	0,042	0,084	0,047	0,062	0,56	0,81
	0,100	0,069	0,050	0,050	0,73	0,73
	0,145	0,063	0,068	0,058	1,08	1,08
	0,190	0,051	0,050	0,056	0,98	1,09
	0,250	0,045	0,036	0,052	0,80	1,16
10ХСНД	0,000	0,082	0,106	0,090	1,29	1,10
	0,045	0,060	0,098	0,080	1,63	1,33
	0,110	0,062	0,077	0,090	1,23	1,44
	0,150	0,058	0,056	0,068	0,97	1,18
	0,195	0,041	0,071	0,042	1,74	1,02
	0,260	0,054	0,064	0,082	1,18	1,50
17Г1СУ	0,000	0,084	0,047	0,068	0,56	0,81
	0,050	0,067	0,049	0,062	0,74	0,93
	0,095	0,070	0,054	0,064	0,77	0,91
	0,155	0,060	0,033	0,042	0,55	0,70
	0,195	0,059	0,052	0,044	0,83	0,74
	0,268	0,060	0,044	0,036	0,73	0,60
16Г2АФ	0,000	0,097	0,088	0,068	0,91	0,70
	0,048	0,084	0,083	0,068	0,91	0,70
	0,109	0,105	0,113	0,110	1,08	1,04
	0,148	0,068	0,043	0,060	0,63	0,88
	0,207	0,061	0,035	0,024	0,58	0,39
	0,261	0,058	0,062	0,050	1,00	0,86
09Г2ФБ	0,005	0,070	0,059	0,062	0,84	0,89
	0,049	0,066	0,060	0,054	0,91	0,82
	0,118	0,062	0,036	0,036	0,58	0,58
	0,158	0,075	0,036	0,032	0,63	0,56
	0,211	0,058	0,037	0,034	0,63	0,59
	0,259	0,051	0,041	0,039	0,80	0,75
армко-железо	0,000	0,084	0,096	0,068	1,14	0,81
	0,050	0,056	0,064	0,048	1,14	0,86
	0,100	0,072	0,048	0,040	0,66	0,55
	0,150	0,080	0,080	0,080	1,00	1,00
	0,200	0,100	0,116	0,112	1,16	1,12
	0,250	0,096	0,088	0,064	0,92	0,66

**Выводы**

1. Анализ кинетики процесса растворения сплавов железо – мышьяк в синтетической морской воде показывает, что поляризация анодного процесса невелика и не зависит от содержания мышьяка в сплаве. Легирование железа мышьяком в количестве 0,15% понижает предельную плотность тока катодного процесса с 0,24 до 0,18 А/м<sup>2</sup>. Дальнейшее увеличение кон-

- центрации мышьяка до 0,60% приводит к увеличению скорости катодного процесса.
2. Результаты ускоренных коррозионных испытаний в движущейся синтетической морской воде показали, что коррозионная стойкость сварных изделий из ряда малоуглеродистых низколегированных как в зоне сварного соединения, так и основного металла не ухудшается при увеличении содержания мышьяка до 0,25%.
  3. Натурные испытания сварных изделий из малоуглеродистых низколегированных сталей, в том числе и сталей для судостроения в условиях вод Чёрного моря, подтвердили их повышенную коррозионную стойкость при легировании их мышьяком вплоть до 0,25%.

#### Список использованных источников:

1. Самохвалов Г.В. Влияние мышьяка на коррозионную стойкость малоуглеродистых низколегированных сталей / Г.В. Самохвалов // Вісник Приазовського державного технічного університету. – 2010. – № 20. – С. 130-135.
2. Кудрявцева Л.Н. Кинетика окисления мышьяковистой стали при высоких температурах / Л.Н. Кудрявцева, Е.Г. Переверзева, А.В. Демакова // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1969. – № 6. – С. 184-195.
3. Харлашин П.С. Влияние мышьяка на свойства металлических систем и качество стали / П.С. Харлашин, М.А. Шумилов, Е.И. Якушечкин. // К. : Вища школа, 1991. – 343 с.
4. Бондарь В.И. Влияние мышьяка на окалиностойкость низколегированных сталей и их устойчивость против атмосферной коррозии / В.И. Бондарь, П.С. Харлашин, М.А. Григорьева // Вісник Приазовського державного технічного університету. – 2010. – № 21. – С. 26-30.
5. Веденкин С.Г. Влияние состава низколегированных сталей на их атмосферную стойкость / С.Г. Веденкин // Защита металлов. – 1975. – Т. XI. – № 3. – С. 91-99 и 275-288.
6. Шумилов М.А. Влияние мышьяка на коррозионную стойкость малоуглеродистых и низколегированных сталей / М.А. Шумилов, Л.Н. Кудрявцева, Г.В. Самохвалов // Известия ВУЗов. Чёрная металлургия. – 1986. – № 2. – С. 63-65.
7. Пат. 49-30887. Япония, МКИ С22С 39/12. Свариваемая сталь, устойчивая против коррозии в морской воде / Ниси Масаси, Ватанабэ Цунэясу, Симада Харуо [и др.] – Заявл. 16.01.69, опубл. 16.08.74.
8. Пат. 3853544. США, МКИ С22С 39/54, 39/20. Коррозионностойкая сталь, имеющая хорошую свариваемость / Хоши Тадаши, Ватанабэ Цунэясу, Симада Харуо [и др.] – № 269084; заявл. 05.07.72, опубл. 10.12.74.
9. Пат. 49-8610. Япония, МКИ С22С 39/00. Коррозионностойкая низколегированная сталь / Мацукура Камэо, Ниси Масаси, Ватанабэ Цунэясу [и др.] – Заявл. 22.07.69, опубл. 27.02.74.
10. Люблинский Е.Я. Электрохимическая защита от коррозии / Е.Я. Люблинский. // М. : Металлургия, 1987. – 96 с.

#### Bibliography:

1. Samohvalov G.V. Influence of arsenic on the inoxidizability of low-carbon and low-alloy steel / G.V. Samohvalov // Vestnik of Priazov State Technical University. – 2010. – № 20. – P. 130-135. (Rus.)
2. Kudryavzeva L.N. Kinetics of oxidization of arsenious steel at high temperatures / L.N. Kudryavzeva, E.G. Pereverzeva, A.V. Demakova // Metallovedenie i termoobrabotka metallov. – 1969. – № 6. – P. 184-195. (Rus.)
3. Kharlashin P.S. Influence of arsenic on properties of the metallic systems and quality steel / P.S. Kharlashin, M.A. Shumilov, E.I. Yakyshechkin. // K. : High School, 1991. – 343 p. (Rus.)
4. Bondar V.I. Influence of arsenic on resistance to scaling of the low-alloy steel and their stability against atmospheric corrosion / V.I. Bondar, P.S. Kharlashin, M.A. Grigoreyva // Vestnik of Priazov State Technical University. – 2010. – № 21. – P. 26-30. (Rus.)
5. Vedenkin S.G. Influence of composition of the low-alloy steel on their atmospheric firmness / S.G. Vedenkin // Zashita metallov. – 1975. – Т. XI. - № 3. – P. 91-99 and 275-288. (Rus.)
6. Shumilov M.A. Influence of arsenic on an inoxidizability low-carbon and the low-alloy steel / M.A. Shumilov, L.N. Kudryavzeva, G.V. Samohvalov // Izvestia. Vuzov. Chernay metallurgiyay. – 1986. – № 2. – P. 63-65. (Rus.)
7. Pat. 49-30887. Japan, MКИ С22С 39/12. Weldable steel, steady against corrosion in salt water /



- Nisi Masasi, Watanabe Tuneyasu, Shimada Yaruо [etc.] – Zayav. 16.01.69, opubl. 16.08.74. (Jap.)
8. Pat. 3853544. USA, МКІ С22С 39/54, 39/20. Corrosion-resistant steel, having good weldability / Hoshi Tadashi, Watanabe Tuneyasu, Shimada Yaruо [etc.] – № 269084; zayav. 5.07.72, opubl. 10.12.74.
  9. Pat. 49-8610. Japan, МКІ С22С 39/00. Corrosion-resistant and low-alloy steel / Mazukura Kameo, Nisi Masasi, Watanabe Tuneyasu, [etc.] – Zayav. 22.07.69, opubl. 27.02.74. (Jap.)
  10. Lublinskiy E.Y. Electrochemical corrosion protection / E.Y. Lublinskiy. – М. : Metallurgy, 1987. – 96 p. (Rus.)

Рецензент: В.А. Маслов,  
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 30.10.2012

УДК 669.184.244

©Сущенко А.В.<sup>1</sup>, Чернятевич А.Г.<sup>2</sup>, Гриценко А.С.<sup>3</sup>

### ОРГАНИЗАЦИЯ ОХЛАЖДЕНИЯ ЗАСОПЛОВЫХ ЗОН НАКОНЕЧНИКОВ КИСЛОРОДНЫХ ФУРМ ВЕРХНЕГО ДУТЬЯ

*С использованием результатов численного моделирования гидродинамики течения воды в наконечниках кислородных фурм различных конструкций выполнен анализ эффективности охлаждения засопловых зон торцевой части головок. Разработаны новые технические решения, направленные на улучшение охлаждения и повышение стойкости конвертерных фурм.*

**Ключевые слова:** кислородная фурма, наконечник, система охлаждения, засопловые зоны, гидродинамика, численное моделирование, повышение стойкости.

*Сущенко А.В., Чернятевич А.Г., Гриценко А.С. Організація охолодження засоплових зон наконечників кисневих фурм для верхньої продувки конвертерної ванни. З використанням результатів чисельного моделювання гідродинаміки течії води в наконечниках кисневих фурмах різних конструкцій виконаний аналіз ефективності охолодження за соплових зон на торцевій частині головок. Розроблені нові технічні рішення, спрямовані на покращення охолодження та підвищення стійкості конвертерних фурм.*

**Ключові слова:** киснева фурма, наконечник, система охолодження, засоплові зони, гідродинаміка, чисельне моделювання, підвищення стійкості.

*A.V. Sushchenko, A.G. Chernytevich, A.S. Gritsenko. Organization of cooling of areas behind nozzles of tips of top blown oxygen lances. Analysis of efficiency of cooling on the butt end of lance tip with using results of numeral modeling of hydrodynamics of flow of water in oxygen top blown lances different constructions is executed. New technical decisions, directed on improvement of cooling and rising of firmness of lances are developed.*

**Keywords:** oxygen lance, tip, cooling system, areas behind nozzles, hydrodynamics, numeral modeling, rise of firmness.

**Постановка проблемы.** При использовании фурм с центральным подводом воды, а также фурм с центральным подводом кислорода (при условии, что диаметр центрального отверстия разделителя воды меньше диаметра окружности, проходящей через оси сопел) может быть

<sup>1</sup> канд. техн. наук, доц., ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

<sup>2</sup> д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «Национальная металлургическая академия Украины», г. Днепропетровск

<sup>3</sup> инженер ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь