

УДК 629.12 : 530.17

Климовских Игорь Дмитриевич¹, ассистент кафедры ПиТПС,
e-mail: igorklimovskix@mail.ru

Михеева Татьяна Александровна¹, д.т.н., доцент, доцент кафедры ПиТПС,
e-mail: MiheevaTA@yandex.ru

Бурмистров Евгений Геннадьевич¹, д.т.н., профессор, профессор кафедры ПиТПС,
e-mail: burmistrov_e_g@mail.ru

¹Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия.

ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ СВАРКИ КОРПУСНЫХ КОНСТРУКЦИЙ, ОХЛАЖДАЕМЫХ ВОДОЙ С ОДНОЙ СТОРОНЫ, В СУДОРЕМОНТНЫХ РАБОТАХ

Аннотация. Рассматривается возможность сварки корпусных конструкций, охлаждаемых водой, с одной стороны. Указываются проблемы, возникающие при таком типе работ. Приводятся экспериментальные обоснования выбора сталей и сварочных материалов, пригодных для ремонта судов вне дока [1]. Актуальность темы исследования состоит в возможности применения данного метода при проведении судоремонтных работ на профильных отечественных предприятиях с целью сокращения стоимости и времени ремонта в навигационный период.

Ключевые слова: судоремонт, сварочные процессы, подводная сварка, выбор сталей, экспериментальное обоснование.

В ходе эксплуатации судна могут возникнуть различные ситуации, прямо или косвенно влияющие на его работу, например, повреждения обшивки (вмятины от ударов при швартовке и шлюзованиях, от посадки на мель, от ударов о плавающие объекты по ходу движения судна), деформация балок набора, результатом которой становится потеря жёсткости корпуса, повреждения направляющих насадок гребных винтов и проч.

В случае, если судно получило повреждение в рейсе и отсутствует возможность постановки его в сухой док для полноценной дефектации и ремонта, ремонт повреждённой части обшивки и набора может быть выполнен силами экипажа судна (при наличии соответствующего сварочного оборудования, специалиста, материалов, не критичности повреждений) [2]. В этом случае сварка повреждённых конструкций судна должна выполняться с учётом особенностей, связанных с их охлаждением забортной водой. Аналогичные работы могут выполняться и в межнавигационный период без постановки судна в док, так как все связанные с докованием операции являются высокзатратными в точки зрения финансовых, временных и трудовых ресурсов [3].

В настоящее время на отечественных судоремонтных предприятиях закономерно формируется тенденция по разработке технологий, снижающих все виды расходов на судоремонт со скорейшим вводом судов в эксплуатацию. В этой связи авторами исследована возможность выполнения сварочных работ по корпусным конструкциям, с противоположной стороны омываемым водой.

В ходе поиска решений по рассматриваемому вопросу авторами на базе лаборатории сварки судовых конструкций кафедры проектирования и технологии постройки судов ФГБОУ ВО «ВГУВТ» был повторен лабораторный опыт, выполненный в 2017 г. кафедрой инженерных и судовых технологий Гданьского университета технологий [4].

Для исследования использовались стальные пластины марки S700MC и ВстЗсп, размерами 10×150×100 (мм×мм×мм) и рутиловые электроды диаметром 4 мм. Применяемые расходные материалы по своим параметрам в целом отвечали требованиям к исследуемому процессу. Данные по химическому составу и механическим свойствам образцов представлены в табл. 1 и табл. 2.

Таблица 1 – Химический состав используемых материалов, в %

Материал	C	Mn	Si	S	P	Al	Ni	Ti	V	Ce
S700MC	0,058	1,68	0,16	0,005	0,01	0,027	0,044	0,12	0,06	0,34
ВстЗсп	0,20	0,60	0,17	0,05	0,04	-	0,3	-	-	-
E42 2 1Ni RR41	0,05	0,50	0,45	-	0,025	-	-	-	-	-

Таблица 2 – Механические свойства используемых материалов (согласно данным изготовителя)

Материал	Предел текучести, МПа	Предел прочности, МПа	Удлинение, %
S700MC	768	822	19,0
ВстЗсп	245	370-480	26,0
E42 2 1Ni RR41	-	540	26,0

Сварка образцов выполнялась в специальной ванне, заполненной водопроводной водой, при температуре 20°C, в нижнем положении на постоянном токе отрицательной полярности. Каждый экземпляр был сварен с разными значениями погонной энергии (далее ПЭ). Значения ПЭ были около 1000 Вт/см (принято по данным исследований сварки высокопрочных сталей [5]). Было доказано, что выбранные значения позволяют выполнять «мокрую» сварку с минимальной нестабильностью сварочных дуг. Параметры сварки представлены в табл. 3.

Таблица 3 – Параметры сварки

№ образца	Сила тока, А	Напряжение на дуге, В	Скорость сварки, мм/с	Погонная энергия, ВТ
1	204	25,3	5,7	910
2	224	27,5	6,5	960
3	248	29,8	7,0	1050

После сварки все образцы были подвергнуты неразрушающим и разрушающим испытаниям. Были сделаны сечения средней части каждого шва. После вырезки образцы были отшлифованы, отполированы и протравлены раствором азотной кислоты 4%-й концентрации. Затем было выполнено металлографическое макро- (использована камера Canon EOS 1200D) и микроскопическое (камера Olympus BX51) тестирование в соответствии ИСО 17639:2013. Измерения твердости проводились прибором Sinowon V-10 в соответствии ИСО 9015-1:2011. Точки измерения показаны на рис. 2.

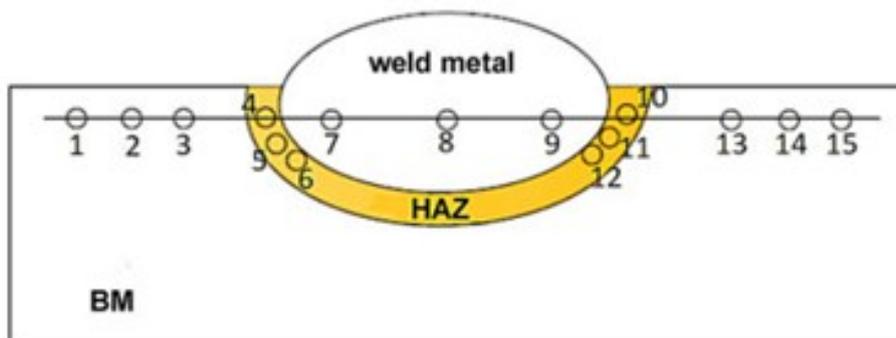


Рис. 1 – Точки измерения твердости

В процессе эксперимента было выявлено, что во время сварки образовывалась дуга, характерная для мокрой сварки, причём зависимость нестабильности горения дуги от погонной энергии (при увеличении нестабильности) уменьшалась [6].

Однако были выявлены и недостатки. Например, в образце 1 выявлена пора в поверхности, образовавшаяся в зоне наибольшей нестабильности дуги. Поры также были выявлены и в образце 3.

Наилучшие результаты наблюдались в образце 3 из стали S700MC, сваренном с наибольшей погонной энергией (лучшее качество сварных швов), однако все же имели место небольшие дефекты формы.

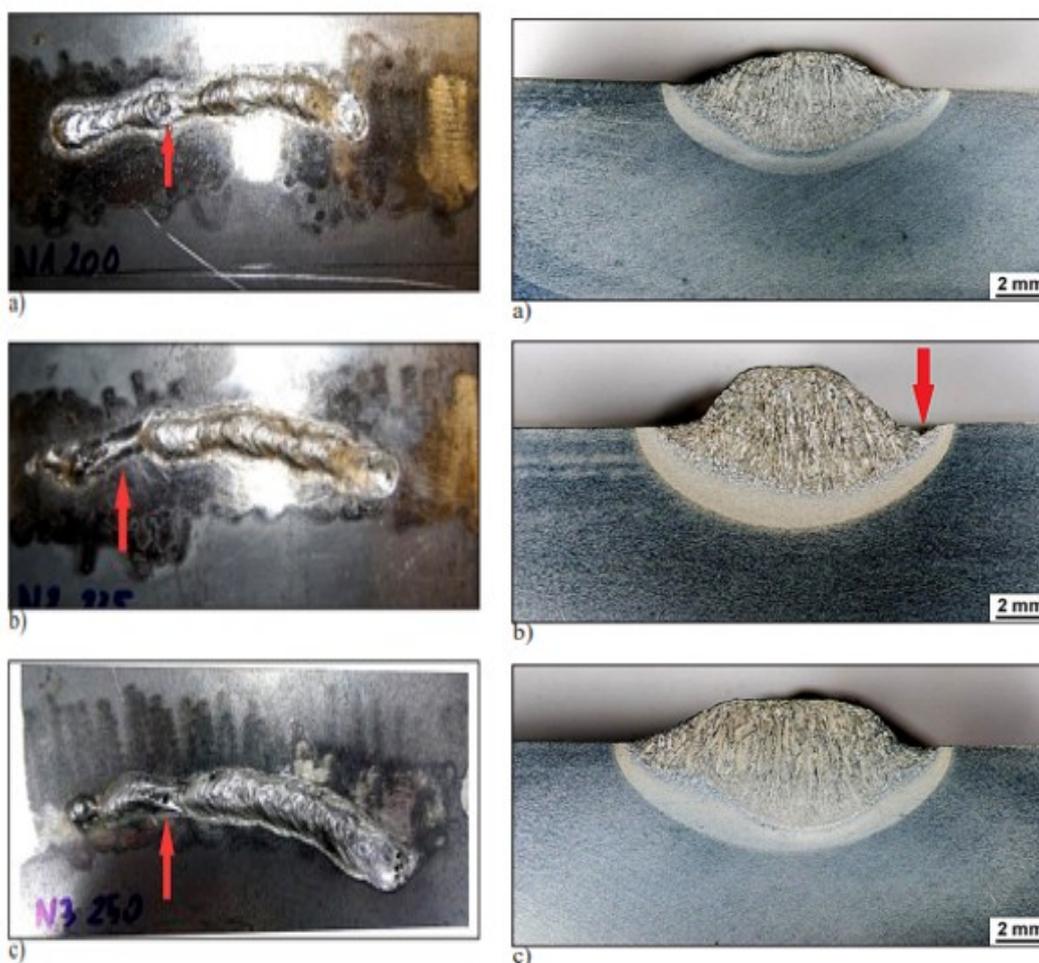


Рис. 2 – Результаты визуального осмотра и макрографии

На рис. 2 (а) видны поры, и большие дефекты формы, в образце 2 также, как и в образце 1. Образец 3 отличается небольшими дефектами формы, и небольшой пористостью.

Предполагается, что исследуемая сталь может быть использована в условиях морской сварки, но требует дополнительных тестов, направленных на снижение образования холодных трещин. Наиболее перспективна сварка валиком под давлением. Основываясь на экспериментальных данных [7], полученных отечественными специалистами в области сварки, можно утверждать, что твердость увеличивается с ростом скорости охлаждения. Максимальная твердость ЗТВ не превышает критериев стандарта ISO 15614-1:2017. Сварка с более высоким значением погонной энергии приводит к снижению твердости ЗТВ на 25 НМ10 [8].

В ходе опыта было выяснено, что сталь S700MC предпочтительнее всего использовать в судостроении, в связи с высокой пригодностью для ремонта вне дока. Также было выяснено влияние погонной энергии на качество шва. Цена на данный вид стали ниже, чем на сталь ВстЗСП, что должно стать главным фактором, определяющим выбор владельца предприятия [9].

Выводы. Использование результатов данных лабораторных опытов, позволяет отметить, что введение новых материалов в судостроение даёт возможность снизить расходы на ремонт судна. Это позволит перераспределить эту статью расходов на развитие предприятия (закупка нового оборудования, переналадка цехов на новые программы, повышение квалификации рабочих, совершенствование управленческого аппарата, оптимизация материальных потоков, реновация зданий цехов, увеличение размера заработных плат и т.п.)

Выполнение сварки судовых корпусных конструкций омываемых забортной водой, позволит повысить живучесть судов во время рейса, что способствует более широкому развитию торговых сообщений.

Список литературы[^]

1. Rogalski G., Fydrych D., Łabanowski J. Underwater wet repair welding of API 5L X65M pipeline steel. Polish Maritime Research. 2017;
2. Tomków J., Fydrych D., Rogalski G., Łabanowski J. Effect of the welding environment and storage time of electrodes on the diffusible hydrogen content in deposited metal. Revista de Metalurgia. 2019;55(1):e140
3. Klett J., Wolf T., Maier H.J., Hassel T. The applicability of the standard DIN EN ISO 3690 for the analysis of diffusible hydrogen content in underwater wet welding. Materials. 2020;13:3750.
4. Adumane S., Adedigba S., Khan F., Zendehboudi S. An integrated dynamic failure assessment model for offshore components under microbiologically influenced corrosion. Ocean Engineering. 2020;218:108082
5. Chen H., Guo N., Xu K., Liu C., Wang G. Investigating the advantages of ultrasonic-assisted welding technique applied in underwater wet welding by in-situ X-ray imaging method. Materials. 2020;13:1442
6. Njock Bayock F., Kah P., Mvola B., Layus P. Effect of Heat Input and Undermatched Filler Wire on the Microstructure and Mechanical Properties of Dissimilar S700MC/S960QC High-Strength Steels. Metals. 2019;9:883.
7. Алешин Н.П. Сварка. Резка. Контроль: Справочник. В 2-х томах / Н.П. Алёшин, Г.Г. Чернышов, А.И. Акулов и др. // Издательство «Машиностроение», 2004. Т. 2 – 480 с.: ил. ISBN 5-217-03262-6
8. Правила Российского Морского Регистра – Правила классификации и постройки морских судов – Часть XIV “Сварка”
9. ИСО - Стандарты (iso.org)

RESEARCH OF THE POSSIBILITY OF WELDING SHELL STRUCTURES COOLED WITH WATER ON ONE SIDE

Evgeney G. Burmistrov, Tatiana A. Mikheeva, Igor D. Klimovskikh

Annotation: the article discusses the possibilities of welding hull structures cooled by water on the one side, indicates the problems that arise in this type of work, considers experimental justifications for the choice of appropriate steels and welding consumables, shows the possible development of this method for use by shipbuilding and ship repair enterprises

Keywords: welding processes, underwater welding, choice of steels, experimental substantiation