

РЕМОНТ СУДОКОРПУСНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АМг6 С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Академик НАН Украины **Л. М. ЛОБАНОВ**, **Н. А. ПАЩИН**, канд. техн. наук, **В. П. ЛОГИНОВ**, инж.,
А. Г. ПОКЛЯЦКИЙ, канд. техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины),
А. И. БАБУЦКИЙ, канд. техн. наук (Ин-т проблем прочности им. Г. С. Писаренко НАН Украины)

Выполнена электродинамическая обработка (ЭДО) сварных соединений из алюминиевого сплава АМг6 в судовых корпусах. При ЭДО натурных образцов сварных соединений получен эффект снижения начального напряженного состояния на 50...60 %. Разработаны технологические рекомендации по ЭДО судовых сварных корпусов. Мониторинг сварных соединений корпусов после ЭДО показал высокую эффективность процесса.

Ключевые слова: алюминиевые сплавы, судокорпусные сварные конструкции, стыковые соединения, остаточные напряжения, импульс электрического тока, электродинамическая обработка, технологические рекомендации, эксплуатационный ресурс, ударные нагрузки, вибрационные нагрузки

В настоящее время в малотоннажном судоходстве широко эксплуатируются сварные корпусные конструкции из алюминиевых сплавов. Это связано с тем, что алюминиевые корпуса по сравнению со стальными и стеклопластиковыми имеют меньшую массу при равном водоизмещении, что снижает эксплуатационные расходы, в частности, на топливо.

Специальные условия работы скоростных судов такие, как высокий уровень вибрационных и ударных нагрузок, приводят к повреждениям сварных соединений корпусов, которые устраняют с помощью ремонтной сварки. При этом в ряде случаев значения остаточных напряжений (ОН) в конструктивных элементах корпуса после ремонта превышают допустимый уровень, что приводит к разрушению сварных соединений и делает дальнейшую эксплуатацию судна невозможной. В связи с этим необходимо проведение исследований прогрессивных и технологичных способов регулирования ОН в корпусах алюминиевых судов, к которым относится обработка конструкции импульсами электрического тока различной длительности и конфигурации. Одним из способов токового воздействия является электродинамическая обработка (ЭДО), основанная на иницировании в изделии токовых разрядов, вызывающих в нем формирование локальных полей пластических деформаций, что стимулирует релаксационные процессы в обрабатываемом металле, которые в свою очередь приводят к снижению общего уровня ОН в конструкции [1–4].

Целью настоящей работы являлось изучение технологических возможностей ЭДО для регулирования ОН при ремонтной сварке трейлерных катеров (ТК) из алюминиевого сплава АМг6.

На современном этапе развития маломерного судостроения в Украине ТК приобретают все большую популярность, благодаря мобильности передвижения по суше на специальной трейлерной тележке.

Сварные ТК (рис. 1), корпуса которых были объектом настоящего исследования, имели габаритные размеры по длине, ширине и высоте соответственно 7,70, 2,63 и 1,20 м. Необходимость минимизации массовых характеристик корпусов, связанная с их транспортировкой по суше, привела к уменьшению толщины применяемых листовых заготовок с 5,0...6,0 до 2,5...3,0 мм, что позволило снизить массу корпуса на 30 %. Уменьшение толщины поясов обшивки компенсируется усилением жесткости продольно-поперечного набора, а заданная геометрия корпуса в районе палубы 1, днища 4 и носовой оконечности киля 2 обеспечивается жестким профилем трубного сечения. Поперечная жесткость в носовой и кормовой оконечностях задается вертикальной 3 и наклонными 6 сварными стойками, а сопряжение стрингерного набора днища и бортов с кормой осуществляется посредством плоских связей — книц 5. насыщение корпуса продольными и поперечными связями обеспечило минимальное отклонение его от заданной геометрии. Так, продольный прогиб не превышал 5 мм, а поперечный — 3 мм, что способствовало достижению удовлетворительных гидродинамических характеристик судна. В то же время высокая жесткость корпуса в сочетании с малыми толщинами набора и обшивки делают его менее стойкими к ударным

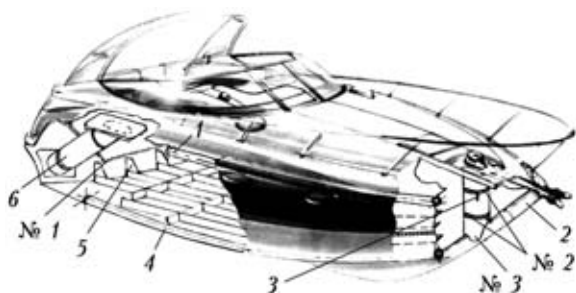


Рис. 1. Схема сварной конструкции корпуса ТК из сплава АМгб: 1 — усиление палубы; 2 — носовая оконечность киля; 3 — носовая стойка; 4 — усиление днища; 5 — кница; 6 — кормовая стойка; № 1 — шов усиления кормы; № 2 — шов стойки; № 3 — шов крепления стойки на форштевне

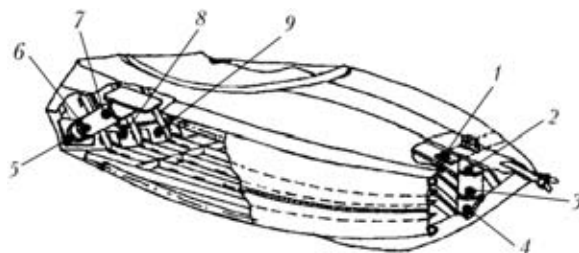


Рис. 2. Расположение характерных повреждений ТК: 1 — усиление носовой лебедки; 2–4 — разрушения носовой стойки; 5–7 — места разрушения кормовой стойки; 8, 9 — усиление кормы под двигателем

и вибрационным нагрузкам по сравнению с судами традиционной постройки.

При эксплуатации партии ТК в некоторых из них появились повреждения сварных соединений, несовместимые с дальнейшей эксплуатацией судов. Расположение характерных повреждений корпусов показано на рис. 2. В носовой части трещины фиксировали в швах усиления носовой лебедки 1, соединениях носовой стойки 2, 3 и в местах ее крепления на киле 4. В кормовой оконечности разрушения имели место в креплениях стоек к корме 5 и в сварных швах стоек 6, 7, а также усилении под двигателем 8, 9.

Работоспособность конструкций восстанавливали с помощью технологии ремонта, разработанной для изготовления крупногабаритного корпуса океанской гоночной яхты из алюминиевого сплава АМг5М [5]. После определения дефекта проводили его маркировку разметочным инструментом с последующей механической разделкой дисковой фрезой на всю толщину соединения. Принимали V-образную форму разделки трещины с углом, не превышающим более 30°. При этом длина ремонтного шва превышала длину разделанного участка на 30 мм с каждой стороны для гарантированного переплавления микротрещин. Стыковые соединения 2–4, 6, 7 (рис. 2) при ремонте кольцевых швов носовых и кормовых стоек с толщиной стенки до 3 мм выполняли за один проход ручной сваркой неплавящимся электродом в аргоне с использованием присадочного прутка диаметром 2 мм марки СвАМгб. Сварочный ток составлял 120 А, а расход аргона — 7 л/мин. Прямолinéйные участки швов внахлест толщиной (3 + 6) мм при ремонте усиления лебедки 1 и кормовых стоек 5 выполняли сваркой на токе 200 А с присадочной проволокой диаметром 3 мм. На аналогичном режиме осуществляли ремонт тавровых соединений стрингеров кормового подкрепления 9 толщиной (3 + 6) мм (рис. 3). Разрушения в углах усиления кормы 8, сваренного из листов различной толщины (3 + 6) мм, устраняли путем механической V-образной разделки на глубину 3 мм от лицевой поверхности шва с пос-

ледующей подваркой на токе, не превышающем 150 А.

После завершения ремонтных мероприятий в ряде случаев наблюдали разрушение отремонтированных швов при минимальном пробеге судов. Повторная ремонтная сварка приводила к перегреву металла, что понижало его механические свойства. На основе анализа эксплуатационных повреждений сделано предположение, что их возможной причиной является высокий уровень ОН в восстановленных соединениях. Это связано с тем, что корпуса изготавливали методом поузло-вой сборки, обеспечивающим свободную усадку швов при сварке и, как следствие, минимальный уровень ОН в соединениях. Ремонтные мероприятия проводили в готовых корпусах в условиях «жесткого закрепления» поврежденных элементов, что исключало свободную реализацию усадочных укорочений, и, как следствие, повышало уровень ОН. Сочетание ударных и вибрационных нагрузок с высоким уровнем ОН в восстановленных элементах корпуса приводит к повреждаемости судна при минимальном пробеге.

В связи с отсутствием условий для реализации свободной усадки при ремонте сварных соединений ТК для регулирования уровня ОН использовали ЭДО. Для оценки влияния ремонтных швов и их последующей обработки на уровень ОН в поврежденных узлах ТК изготовили натурные образцы конструктивных элементов корпуса. Использовали образцы продольного стыкового соединения усиления кормы переменной толщины (3 + 6) мм размером 400×400 (рис. 1, шов № 1), а в качестве образца стойки (рис. 1, шов № 2) — трубу длиной 300 мм, диаметром 100 мм с толщиной стенки 3 мм с центральным кольцевым швом. Режимы ручной сварки образцов соответствовали принятым при изготовлении корпусов. Измерения начальных значений продольных ОН вдоль центральной оси шва проводили механическим деформометром с базой 30 мм. На образцах воспроизвели технологические операции разделки и заварки повреждений на штатном режиме, принятом при ремонте кормы судна. Затем осуществляли ЭДО образцов серий токовых импульсов. Обработку выполняли ручным инструментом

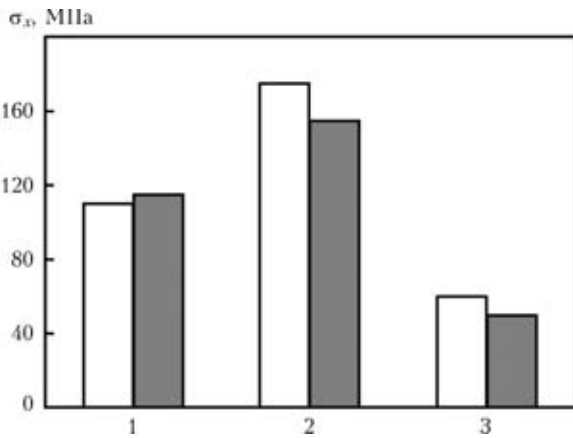


Рис. 3. Продольные ОН в образцах продольных (белые столбики) и кольцевых (черные) швов: 1 — начальные ОН; 2 — после ремонтной сварки; 3 — после ЭДО

(РИ), представляющим собой цилиндрический электрод из меди марки М1, который находится в изолированном корпусе [2]. Энергия импульса тока при ЭДО передается при касании РИ в заданной области обрабатываемой поверхности.

После ремонтной сварки и обработки производили текущие измерения ОН в швах, результаты которых представлены на рис. 3. На основе данных рисунка, можно сделать следующий вывод: если начальный уровень ОН в швах не превышал 120 МПа, то после ремонта кольцевых и продольных швов он повысился соответственно на 35 и 60 % и достиг 155...175 МПа, что может негативно сказаться на служебных характеристиках материала. После выполнения ЭДО значения ОН снизились более чем на 65 % и не превысили 50...60 МПа, что подтверждает эффективность этого вида обработки.

На основании результатов проведенных экспериментов по ЭДО образцов продольных и кольцевых стыков разработаны следующие технологические рекомендации по импульсной обработке проблемных сварных элементов корпусов маломерных судов из сплава АМгб: перед ЭДО сварных швов в отсеке судна следует очистить обрабатываемую зону от посторонних предметов, инструмента, кабельных и шланговых магистралей; обеспечить доступ РИ к зоне обработки на расстоянии не менее 20 мм от линии сплавления сварного шва; не допускать установки РИ в заданной точке обрабатываемой поверхности более чем на один разряд тока; выполнять ЭДО в нижнем и горизонтальном положении РИ в направлении от середины к краям шва; ЭДО круговых и кольцевых швов осуществлять в направлении вразбежку.

An electrodynamic treatment (EDT) of welded joints from aluminum alloy АМгб in ship hulls was carried out. An effect of 50...60 % reduction of initial stressed state was obtained at EDT of full-size samples of welded joints. Technological recommendations for EDT of ship welded hulls were developed. A high process efficiency was shown by monitoring of welded joints of hulls after EDT.



Рис. 4. ЭДО сварных соединений усиления кормы корпуса ТК

На основе разработанных рекомендаций осуществили обработку конструктивных элементов сварных корпусов ТК из сплава АМгб в количестве семи единиц. Выполняли ЭДО сварных соединений носовых и кормовых отсеков, а также отдельных участков силового набора после ремонтной сварки (рис. 4).

В период навигации 2009 г. проводили мониторинг сварных соединений судовых корпусов, на которых выполнили ЭДО после ремонтной сварки. Результаты осмотра показали, что за этот период ТК прошли без повреждений от 300 до 1320 км пробега, при этом следов повреждений в виде микротрещин в зоне обработки не обнаружено.

Таким образом, можно заключить, что ЭДО является эффективным способом продления эксплуатационного ресурса тонкостенных корпусных конструкций из алюминиевых сплавов после ремонтной сварки.

1. *Исследование влияния импульсной обработки на повышение ресурса металлических конструкций* / Л. М. Лобанов, Н. А. Пашин, В. П. Логинов и др. // Автомат. сварка. — 2005. — № 11. — С. 28–32.
2. *Влияние электродинамической обработки на напряженно-деформированное состояние сварных соединений алюминиевого сплава АМгб* / Л. М. Лобанов, Н. А. Пашин, В. П. Логинов и др. // Там же. — 2007. — № 6. — С. 11–13.
3. *Влияние электродинамической обработки на напряженное состояние сварных соединений стали Ст3* / Л. М. Лобанов, Н. А. Пашин, В. П. Логинов и др. // Там же. — 2007. — № 7. — С. 10–12.
4. *Особенности формирования пластических деформаций при электродинамической обработке сварных соединений стали Ст3* / Л. М. Лобанов, В. И. Махненко, Н. А. Пашин и др. // Там же. — 2007. — № 10. — С. 10–16.
5. *Обеспечение точности изготовления сварного корпуса океанской гоночной яхты* / Л. М. Лобанов, В. И. Павловский, А. Н. Грищенко, Н. А. Пашин // Там же. — 1993. — № 3. — С. 40–43.

Поступила в редакцию 06.04.2010