

УДК 622.537

ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ НЕРАЗЪЕМНЫХ КОРПУСНЫХ СОЕДИНЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ

Кавун В.И., Кавун А.В.,

Херсонская государственная морская академия

В статье изложены экспериментальные исследования по повышению прочности и долговечности деталей машин и механизмов с использованием методов прикладного магнетизма, в том числе надежность заклепочных и сварных соединений. Предложены методы по уменьшению концентрации термических и сборочных напряжений в заклепочных узлах и сварочных соединениях при помощи магнитно-импульсной обработки (МИО).

Ключевые слова: сварные соединения, заклепочные соединения, магнитно-импульсная обработка.

Введение. В судостроении существуют два основных способа соединения деталей корпусных конструкций: сварной и заклепочный. Первый способ – основной, лишь в отдельных конструкциях корпуса применяются заклепочные соединения. В судостроении главным образом применяется метод электросварки. Соединения, выполненные электросваркой, обладают большими преимуществами, по сравнению с соединениями, выполненными при помощи клепки. Внедрение электросварки позволило:

- уменьшить вес сварных конструкций корпуса приблизительно на 20%;
- улучшить непроницаемость корпусных соединений;
- удешевить на 50% стоимость постройки судна и резко сократить ее сроки благодаря упрощению технологии сборки и сварки корпусных конструкций;
- сократить операции изготовления деталей корпуса в корпусообрабатывающих цехах и, как следствие, снизить стоимость оборудования на судостроительных заводах;
- резко уменьшить шум при судокорпусных работах в связи с ограничением применения клепальных работ и резкого сокращения чеканки, а также прирубочных и сверловочных работ, исключительно вредно отражающихся на здоровье рабочих.

Основными недостатками сварных швов являются: несоответствие размеров шва заданным, пористость шва, трещины, кратеры, непровар основного металла или его пережог и т. п.

Контроль качества сварных швов, в которых могут быть непровары, шлаковые включения, трещины, раковины и другие дефекты, производится выборочно просвечиванием чаще гамма-лучами и реже рентгеновскими лучами и методом ультразвуковой или магнитной дефектоскопии.

Испытание сварных швов на плотность производится водяной струей под давлением или промазкой швов керосином, который легко проникает в микрометрические трещины и оставляет жирные пятна на покрытой меловым раствором обратной стороне шва, наконец, продувкой шва воздухом (на обратную сторону шва наносится мыльный раствор) и т. п.

Заклепочные соединения выполняют в отдельных корпусных соединениях (соединение ширстрека с палубным стрингером или барьерные швы в районе скулы и т. д.).

Для обеспечения снятия с судна судовых агрегатов или установок при демонтаже, большие размеры которых не позволяют пронести их через отверстия в корпусе, предусматриваются съемные конструкции, крепящиеся к основным конструкциям корпуса сваркой, заклепками, болтами или на шпильках.

Изложение основного материала. В лаборатории энергосбережения кафедры судовых энергетических установок и общинженерной подготовки проводились исследовательские работы по повышению прочности и долговечности деталей машин и механизмов с использованием методов прикладного магнетизма, в том числе надежность заклепочных и сварных соединений. В опытах решались задачи – уменьшить концентрации термических и сборочных напряжений в заклепочных узлах и сварочных соединениях при помощи магнитно-импульсной обработки (МИО).

Заклепочные соединения обрабатывали на установке «Магнитрон - Универсал» с набором соленоидов и ферромагнитных контейнеров. Функциональная схема установки показана на рис. 1, схема обработки заклепочного соединения в контейнерах с феррожидкостью показана на рис. 2.

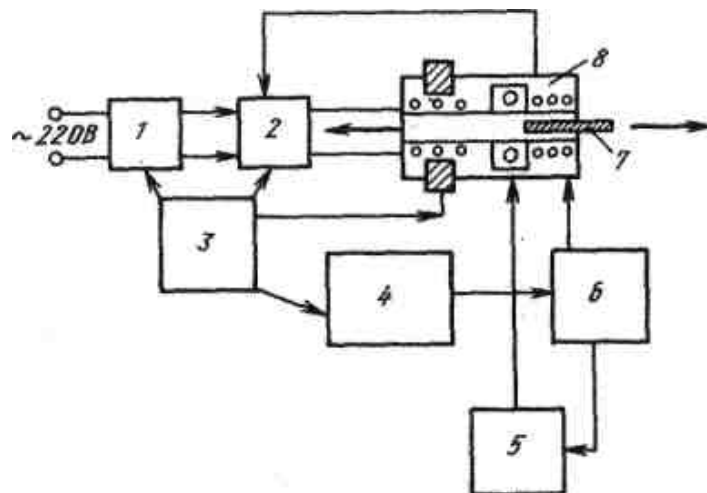


Рисунок 1 – Функциональная схема установки «Магнитрон-Универсал» для МИО деталей машин, сборочных единиц, сварных и заклепочных соединений и т.п.:

1 – силовой блок; 2 – блок управления; 3 – мини-компьютер управляющего типа для оптимизации режима МИО; 4 – электронный блок усиления и преобразователь; 5 – устройство для контроля свойств материала; 6 – размагничивающее устройство; 7 – сердечник-концентратор магнитного поля; 8 – соленоид цилиндрического типа.

Испытывали заклепочные соединения из стали, алюминиевых и медных сплавов, испытывали заклепки нормальной точности диаметром 4...25 мм, специальные заклепки диаметром 3...30 мм, длиной до 100 мм из углеродистых сталей (Ст3, сталей 10, 20 и др.), легированных сталей (15X25Т, 12X18Н10Т и др.), цветных металлов и их сплавов (латунь Л63, сплавы алюминия АЛ, Д16 и др.) и т.п.

Испытывали заклепки общего и специального назначения с полукруглой, потайной и полупотайной головкой в заклепочных швах внахлестку и стыковых швах (однорядные, двухрядные и многорядные) заклепочные соединения металлоконструкций химического машиностроения и емкостей для криогенной техники с рядовым и шахматным расположением заклепок.

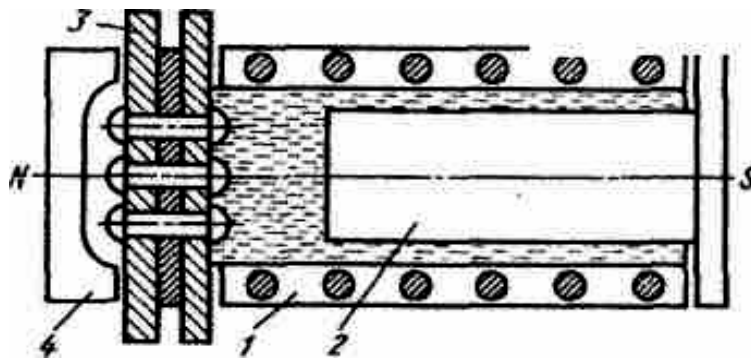


Рисунок 2 – Схема МИО заклепочных соединений металлоконструкций с использованием стальных контейнеров с ферромагнитной жидкостью:

1 – соленоид с ферромагнитной жидкостью на основе мелкодисперсного магнетита и олеиновой кислоты; 2 – ферромагнитный сердечник – концентратор поля; 3 – заклепочное соединение; 4 – металлическая скоба для замыкания магнитного потока

Проводили МИО закаленных, отожженных и термически необработанных крепежных деталей, а также заклепочных соединениях, в которых применялись ранее упрочненные заклепки. Обработка стальных заклепок проводилась северной полярностью в 2...5 циклов при напряженности поля 500...1000 кА/м, время импульса 0,3...1,0 с. При МИО заклепок из сплавов цветных металлов применялись стальные контейнеры – магнитопроводы, которые заполнялись ферромагнитной жидкостью, напряженность поля повышалась до 800...1000 кА/м.

МИО заклепок с защитными покрытиями повышает их стойкость на 10...60 %. Стойкость защитных покрытий при этом возрастает на 10...40 % (табл. 1). Материал заклепок и соединяемых деталей – стали, латуни, сплавы алюминия; МИО проводилась соленоидом установки «Магнитрон - Универсал» при применении ферромагнитной жидкости. Режим обработки: напряженность поля 400...800 кА/м, время импульса 0,5...0,8 с, число циклов 2...5, время между циклами 5 мин, обрабатывали верх и низ заклепочного шва, выдержка после обработки 24...48 ч. Магнитоупрочнение было эффективным как для термообработанных, так и для незакаленных заклепок и чем сложнее и ответственнее заклепочное соединение, тем была выше эффективность новой

технологии. Динамические испытания заклепочных швов из углеродистых и легированных сталей, сплавов цветных металлов и специальных сплавов толщиной 5...50 мм показали, что за счет МИО повышается как прочность всего соединения, так и отдельных элементов заклепочного шва в 1,3...1,5 раза (табл. 2). В табл. 2 за единицу принималась прочность соединения на основании многочисленных опытных данных эксплуатации конструкций конкретного типа заклепочных соединений.

Таблица 1 – Относительная стойкость заклепочных соединений и защитных покрытий плотных двухрядных швов с шахматным расположением заклепок при МИО.

Заклепки	Марка материала	Относительная стойкость, %	
		Заклепочного соединения	Защитного покрытия
С полукруглой головкой нормальной точности диаметром 3...30 мм	Ст3	120...130	130...160
	10кп	115...130	120...140
	12Х13	110...130	115...120
	9Г2	130...140	115...130
	12Х21Н5Т	140...160	120...150
	Л63	120...145	—
	АД1	120...135	—
Специальная диаметром 4...30 мм	Д16	110...140	—
	Ст3	110...120	120...130
	10кп	130...150	110...140
	12Х13	125...140	125...130
	9Г2	120...150	115...150
	12Х21Н5Т	110...130	—
	Л63	120...140	—
АД1	120...135	—	
Д16	140...160	—	

Опыты показали, что при проектировании и расчетах заклепочных соединений следует ввести коэффициенты снижения рассчитанного запаса прочности при МИО: для узлов из стальных деталей 0,8...0,95, а для узлов из сплавов цветных металлов 0,75...0,85.

В современной технике из неразъемных соединений наиболее широко применяют сварные. Основными недостатками сварных металлоконструкций и деталей машин являются повышенные (в 5...20 раз) концентрации напряжений в зоне сварного шва.

Для уменьшения напряжения в сварных деталях применялась локальная МИО поверхности сварных швов и трещиноопасной области пришовной зоны неразъемных металлоконструкций корпуса судна. Обработку проводили торцом соленоида установки при напряженности поля до 2000 кА/м.

Применяли соленоид специальной конструкции, позволяющий обрабатывать швы сварных металлоконструкций толщиной до 200 мм.

Соленоид позволял фокусировать (концентрировать) магнитное поле на угол 30...60°, что позволяло улучшать сварные соединения на толщину 5...200 мм. МИО шва фокусированным полем проводилось путем перемещения соленоида по месту сварки и участкам пришовной зоны. Перемещение соленоида велось с перекрытием 0,2...0,5 диаметра полости. Обработку проводили за 5... 11 циклов.

Стальные швы толщиной 5...50 мм обрабатывались полем напряженностью 300...500 кА/м при длительности импульса 0,5...1с.

Таблица 2 – Повышение прочности заклепочных соединений при МИО

Тип заклепочного соединения	Материал	Прочность соединения полученная при МИО
Внахлестку	Сталь	1,3
	Сплав алюминия	1,5
	Сплав меди	1,6
Стыковой однорядный	Сталь	1,8
	Сплав алюминия	2,6
	Сплав меди	1,8
Многорядный	Сталь	1,8
	Сплав алюминия	2,2
	Сплав меди	2,8
Многорядный с шахматным расположением заклепок	Сталь	1,6
	Сплав алюминия	2,0
	Сплав меди	2,3

Таблица 3 – Изменение концентрация напряжений и характеристик конструкции, %, после МИО сварного шва

Марка материала	Концентрация напряжений	Коррозионная стойкость	Предел выносливости	Скорость роста трещин в зоне сварного шва	Долговечность соединения
08кп	85	110	86	65	120
20, 20Х, 25Л	75	118	80	70	145
40, 45Х, 20ХМ	80	120	75	70	130
30ХГТ, 35ХГСА	80	125	70	70	125
12ХН2, 20Х13	65	125	60	70	130
АМЦ, АМч2	75	110	75	80	120
АД31	80	120	70	75	120
Д12, Д16, Д18	65	125	70	65	140

Сварные конструкции из сплавов цветных металлов (латунь, бронза и др.) обрабатывались полем напряженностью 500...2000 кА/м при длительности импульса 0,5...2 с. МИО стальных швов испытывались как при комнатной

температуре, так и при температуре 200...800 °С. В последнем случае соленоиды охлаждались водой, которая циркулировала по водоохлаждаемому змеевику соленоида. Исследования показали, что максимальный эффект МИО стальных швов обеспечивает импульс, напряженность которого равна 30...50 % магнитного насыщения металла. Изучалась МИО стыковых сварных швов толщиной 10...50 мм для уменьшения концентрации напряжений, а также для повышения коррозионной стойкости и долговечности. МИО проводилась на опытной установке. Режим обработки: для сталей – напряженность поля 430 к А/ц, импульс 1,0 с; для сплавов цветных металлов – напряженность поля 500...1000 кА/м, импульс 0,6...2,5 с, число циклов 3...5, выдержка между циклами 5 мин; после МИО детали выдерживались на неметаллических стеллажах 24 ч.

Таблица 4 – Характеристики сварных конструкций после МИО, %

Конструкция	Концентрация напряжений	Предел выносливости	Долговечность
Судовой дизель	40	140	150
Подъемный кран	45	130	140
Корпус судна	50	130	120
Судовой валопровод	55	140	140
Паросиловая арматура	50	150	150
Трубопроводы	40	140	150
Корпуса электроаппаратов	50	150	150
Электроарматура	25	140	130

Опыты (табл. 4) показали, что за счет МИО швов соединений из черных и цветных металлов уменьшается концентрация напряжений в 3...5 раз. При этом механические и эксплуатационные характеристики конструкции повышаются не менее чем на 30 %.

Если проводить МИО зоны шва при повышенной температуре, когда в зоне кристаллизации происходят превращения 1-го и 2-го рода, то улучшаются микроструктура сплава и ориентация блоков кристаллитов. Последнее обусловило резкое (в 5...6 раз) уменьшение образования усталостных микротрещин (в зоне $L = (1...8) \cdot b$, где b – ширина шва при сложных динамических условиях работы узла. Эффективность МИО сварных соединений в сборочных единицах некоторых отраслей промышленности показана в табл. 4. МИО в 2,5...3 раза снижает концентрацию напряжений в сварном шве, в 1,2...1,5 раза повышает сопротивление усталости и долговечность сварного соединения.

Для снижения концентраций напряжений в швах сварных металлоконструкций необходима повторная МИО по «замкнутому контуру». Напряженность поля зависит от металла шва и колеблется от 100 до 1000 кА/м для сталей и до 400...4000 кА/м для сплавов цветных металлов. Обработку выполняют за 4...5 циклов, двумя перемещающимися соленоидами при продолжительности импульса 1...2 с. Для швов с явными дефектами МИО

дает отрицательный эффект. Наиболее эффективна МИО для снижения напряжений в сварных горячих швах (сразу после сварки) листовых металлоконструкций. При МИО оптимальная температура металла шва должна быть не выше 150...850°C. Концентрация силовых линий и величина напряженности магнитного поля при МИО зависят от условий работы шва, особенно для деталей, работающих при знакопеременных нагрузках в агрессивной среде и повышенной температуре. Для повышения надежности работы заклепочных швов (соединений), а также различных разъемных соединений, например болтовых, шпилечных и других, эффективна динамическая МИО с оптимальной программой цикла, которая создается и управляется с помощью микрокомпьютеров. Опыты показали, что практически для любых деталей и сборочных единиц методы МИО эффективны с применением гибких магнитопроводов, заполненных ферромагнитной жидкостью.

Выводы. При МИО стойкость заклепочных швов общего и специального назначения в стальных конструкциях повышается в 1,4...1,6 раза. Коррозионная стойкость соединения возрастает на 20...50%. За счет магнитной обработки сварных швов из малоуглеродистой и легированной стали (независимо от толщины соединения) в зоне шва и пришовной зоне устраняется до 70...90 % остаточных напряжений. Рекомендуемый режим обработки: напряженность поля 300...500 кА/м, время импульса 0,6...2,0 с, число импульсов 10...20, выдержка после упрочнения не менее 24 часов.

Независимо от материала сварных деталей или конструкций, вследствие МИО концентрации напряжений уменьшаются не менее чем на 50 %, подверженность образованию микро трещин в пришовной зоне снижается на 30...40 %, а коррозионная, усталостная стойкость и долговечность соединения возрастает на 20...65 %. Затрата энергии в импульсе при обработке сварных металлоконструкций не превышает 200...1000 кДж на 1т. изделия. Запас прочности заклепочных и сварных соединений за счет МИО повышается на 10...25 %.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малыгин Б. В. Магнитное упрочнение инструмента, деталей машин и сборочных единиц (Теория, практика, перспектива) : монографія / Б. В. Малыгин. – Херсон : «ВАСТ», 2004. – 340 с.
2. Малыгин Б. В. Магнитное упрочнение изделий (Теория и практика) : монографія / Б. В. Малыгин, А. П. Бень – Херсон : ХДМИ, 2009. – 352 с.
3. Малыгин Б. В. Новое в теории и практике прикладного магнетизма : труды 3-й Международной научно-технической конференции [Металлофизика, механика материалов, наноструктур и процессов деформирования, «Металлдеформ-2009»], (3-5 июня 2009 г., г. Самара) / Б. В. Малыгин. – Самара : Самарский государственный аэрокосмический университет, 2009. – С. 16.

4. Малыгин Б. В. Исследование влияния магнитного поля на физико-технические свойства сталей и чугунок : збірка наукових праць у п'яти томах Міжнародної науково-практичної конференції [«Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті», МІНТТ – 2009], (25-27 травня 2009 р., Херсон) / Б. В. Малыгин, А. В. Кавун, И. В. Блах. – Т. 4. – Херсон : Вид-во ХДМІ, 2009. – С. 102-105.

5. Патент на корисну модель 45376 України, МПК С21D 10/00, В23Р 25/00. Спосіб підвищення надійності кріпильних рознімних з'єднань / Малигин Б. В., Бень А. П., Кавун В. І., Кавун О. В. ; заявник і патентовласник Херсонський державний морський інститут. – № u 2009 05032; заявл. 21.05.2009; опубл. 10.11.2009, Бюл. № 21.

Кавун В.І., Кавун А.В. ПІДВИЩЕННЯ МІЦНОСТІ ТА ДОВГОВІЧНОСТІ НЕРОЗ'ЄМНИХ КОРПУСНИХ З'ЄДНАНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ МАГНІТНО-ІМПУЛЬСНОЇ ОБРОБКИ

У статті викладено експериментальне дослідження щодо підвищення міцності і довговічності деталей машин і механізмів з використанням методів прикладного магнетизму, в тому числі надійність заклепувальних і зварних з'єднань. Запропоновано методи по зменшенню концентрації термічних і складальних напруг в заклепувальних вузлах і зварювальних з'єднаннях за допомогою магнітно-імпульсної обробки (МІО).

Ключові слова: зварні з'єднання, заклепувальні з'єднання, магнітно-імпульсна обробка.

Kavun V.I., Kavun A.V. INCREASING STRENGTH AND DURABILITY OF PERMANENT HULL JOINTS BY USING MAGNETIC PULSE PROCESSING METHOD

Experimental research on increasing strength and durability of machine parts and mechanisms by using applied magnetism methods including reliability of rivet and welded joints is stated. Methods to reduce concentration of thermal and assembly stresses in rivet assemblies and welded joints by using magnetic-pulse treatment (MPT) are proposed.

Keywords: welded joints, rivet joints, magnetic-pulse treatment.