УДК 621.930

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ВІДНОВЛЕННЯ ЗНОШЕНИХ ЧАВУННИХ ДЕТАЛЕЙ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ

О. І. Стальніченко, О. В. Шамов, Є. М. Козішкурт
Одеський національний морський університет

Анотація: *Застосування сучасних методів відновлення зношених чавунних деталей суднових дизелів є одним з необхідних ресурсів у судноремонті. З чавунних деталей виготовляють складні тяжко навантажені, високоцінні базові складові дизелів, від якості ремонту яких залежить роботоздатність вузла та агрегату в цілому. Для дослідження можливостей відновлення зношених чавунних кришок і поршнів суднових дизелів було досліджено зварюваність сірих і високоміцних чавунів та проведено металографічні дослідження наплавлених поверхонь. Проведені дослідження зварюваності сірого та високоміцного чавунів на імітаторах виявили можливості відновлення чавунних суднових деталей. Одержані результати дають можливість перейти до експериментальних досліджень по розробці технології відновлення на реальних суднових деталях.*

Ключові слова: *суднові дизелі, відновлення деталей, чавун, зварювання, технологія відновлення.*

RESEARCH OF THE TECHNOLOGICAL POSSIBILITIES OF RESTORING WORN CAST IRON PARTS OF MARINE DIESEL ENGINES

O. Stalnichenko, O. Shamov, Ye. Kozishkurt
Odessa National Maritime University

Abstract: *The use of modern methods for restoring worn-out cast-iron parts of marine diesel engines is one of the necessary resources in marine engineering. Cast-iron parts are used to make complex, heavily loaded, highly valuable basic components of diesel engines, the quality of repair of which depends on the performance of the unit and the unit as a whole. To study the possibilities of restoring worn-out cast-iron covers and pistons of marine diesel engines, the weldability of gray and high-strength cast irons was studied and metallographic studies of deposited surfaces were carried out. The conducted studies of the weldability of gray and high-strength cast iron on simulators revealed the possibility of restoring cast-iron ship parts. The results obtained make it possible to proceed to experimental research on the development of recovery technology on real ship parts.*

Keywords: *ship diesels, restoration of parts, cast iron, welding, restoration technology.*

В судновому машинобудуванні одним з основних конструкційних матеріалів є чавун. Важливою задачею судноремонту є відновлення чавунних деталей суднових механізмів. З чавуна виготовляють складні тяжко навантажені, високоцінні базові деталі дизелів, від якості ремонту яких залежить роботоздатність вузла та агрегату в цілому.

При відновленні чавунних деталей широко застосовуються зварювальні процеси. Якість зварювального з’єднання залежить від способу зварювання, наплавлення та складу наплавлювальних матеріалів.

Основними способами ремонту деталей з чавуна, які забезпечують якісне з'єднання, є зварювання, наплавлення електродами на нікелевій основі, низькотемпературне пайкозварювання, механізоване зварювання тонкими самозахисними дротами на мідній основі, плазмові способи, гаряче зварювання електродами, порошковим дротом, при яких структурні зміни в основному металі мінімальні.

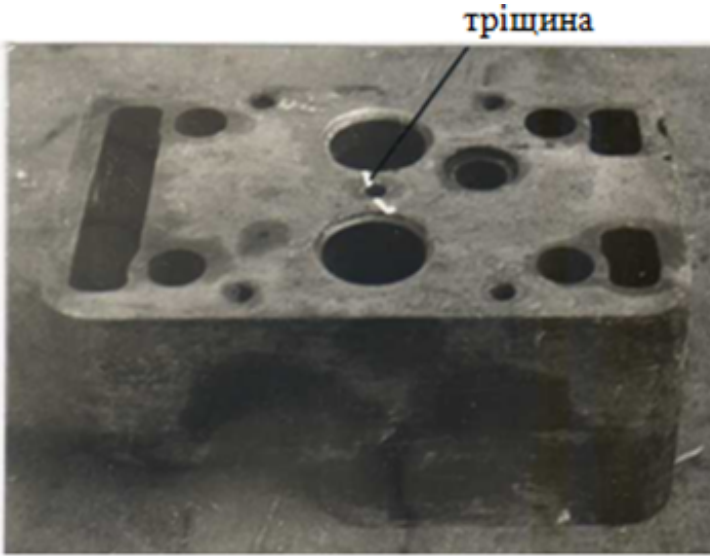


Рисунок 1 – Чавунна кришка циліндру дизеля 6Ч18/22

Велика кількість відповідальних деталей дизелів виготовляються з сірого і високоміцного чавуна. Тяжкі умови експлуатації (висока температура, тиск тощо) приводить до передчасного зносу та руйнуванню в процесі роботи. Аналіз роботи деяких деталей допоміжних суднових дизелів з чавуна дозволяють зробити висновок, що основна маса кришок робочих циліндрів мають ресурс 40–45 тисяч годин. Однак, 40 % обстежених кришок мали ресурс тільки 10–20 тисяч годин. Цього недостатньо. Основним дефектом обстежених кришок робочих циліндрів є тріщини між форсуночними отворами (рис. 1) та гніздом вихлопного каналу. Результати дослідження чавунних кришок суднових ДВЗ представлені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати дослідження чавунних кришок суднових ДВЗ

№ п/п	Марка ДВЗ	Обстежено, шт	А, кількість, шт	В, кількість, шт
1.	8ДР30/50	21	10	5
2.	6ЧН18/22	14	12	–
3.	6ЧН25/34	4	–	4
4.	6ЧН36/15	3	1	–
5.	8ВАН22	2	–	2
6.	4НВД24	1	–	–
		45	23	11

А – тріщина між форсуночним отвором і гніздом клапану

В – дефект гнізда клапану

Причиною відмови циліндрових кришок також часто спостерігаються раковини та вибоїни на сідлах клапанів, дефекти на посадних буртах, викришення, обриви, зміна структури, відшарування, поздовжні тріщини в районі індикаторного отвору, вертикальні тріщини в районі посадочного місця під форсунку. Окрім цього, мають місце прогорання посадочного бурта в процесі експлуатації, корозійного руйнування ущільнювальних поверхонь та інш. Інколи зустрічаються тріщини корпусу кришки з боку водоохолоджуючої порожнини.

Таким чином, для відновлення чавунних кришок допоміжних дизелів має сенс розробка технології відновлення всіх поіменованих в них місць.

Окрім сірого чавуна, який використовується для виготовлення кришок суднових ДВЗ, в останній час став використовуватися і високоміцний чавун. Так, кришка головного двигуна МАНК6Z57/80F та інш. виготовляються з високоміцного чавуну марки 42–12. В процесі експлуатації у вказаних кришках з'являються тріщини збоку вогневої порожнини, які також потребують відновлення.

Аналіз обстежених чавунних поршнів, знятих з суден по картам відмов на суднах, показав, що основними дефектами для їх більшості є горизонтальні тріщини і обриви головки поршня по рівчаку верхнього маслознімального кільця, тріщини по кепу між маслознімальними отворами, тріщини головки між першим і другим компресійними кільцями, прогари головки тощо.

На поршневих голівках 8ДР30/50 і 6Ч18/22 мають місце знос кепів вище допустимих значень.

Аналіз відомих дефектів чавунних суднових деталей дозволяє зробити висновок, що руйнування головок поршнів у районі бобишок, маслознімальних і компресійних кілець, прогари днища і інш. відновленню не піддається. Результати обстеження чавунних поршнів суднових ДВЗ представлені у таблиці 2.

Таблиця 2 – Результати обстеження чавунних поршнів суднових ДВЗ

№ п/п	Марка ДВЗ	Обстежено, шт	Знос кепів
1.	6Ч25/34	20	1
2.	8ДР30/50	17	12
3.	6Ч18/22	9	7
4.	6РПН36/45	3	1
5.	8ВАН22	2	2
		51	23

Окрім цього, необхідно відзначити, що в деталях з напрацюванням 30–35 тис. годин мають місце випадки графітизації матеріалу, тобто проходить розлад цементиту з виділенням структурно-вільного вуглецю. Чавун стає більш

рихлим, що сприяє окисленню і зміні його структури. Тому чавунні деталі, які відпрацювали не більше 35 тис. годин, відновлювати не має сенсу.

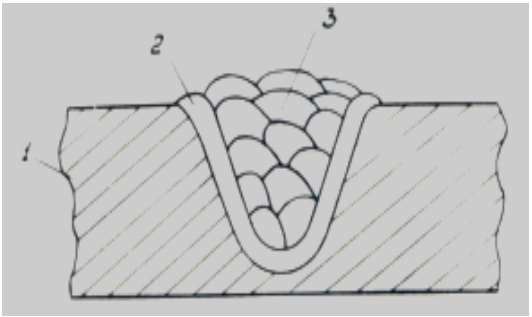
Як показали дослідження, одним з найбільше розповсюджених дефектів головок поршнів є зношення кепів. 45 % досліджених поршнів мали цей дефект. Цей вид зношення найбільш розповсюджений, тому розробка технології відновлення чавунних суднових поршнів зі зношеними кепами являє інтерес.

Для дослідження можливостей відновлення зношених чавунних кришок і поршнів суднових дизелів необхідно дослідити зварюваність сірих і високоміцних чавунів та провести металографічні дослідження наплавлених поверхонь.

Механізоване дугове зварювання самозахисним дротом ПАНЧ-11, дозволяє вести процес на холодно [2]. Окрім того, холодне зварювання потребує в порівнянні з гарячим зварюванням значно менших затрат енергії та забезпечує більш сприятливі умови роботи зварювальника. Але зварювання чавуна великих товщин, що як раз і має місце на кришках суднових дизелів, проволокою ПАНЧ-11 стикається з рядом труднощів. Вони пов’язані в першу чергу з тим, що зварювання виконується в декілька проходів. Одержані таким чином багатопрохідні аустенітні шви схильні до появи гарячих тріщин.

Також при зварюванні треба враховувати зварювальні деформації [3]. Значення цього фактору значно зростає при зварюванні (наплавленні) масивних деталей, наприклад, кришок головних суднових дизелів, головок поршнів, тим паче коли деталь не підпадає потім термообробці. Тому дослідження зварюваності сірих і високоміцних чавунів проводились на технологічних пластинах, закріплених на пристосуваннях, які різко знижують величину кутових зварювальних деформацій.

Були проведені дослідження по вибору найбільш технологічного способу [4] холодного зварювання сірого чавуна по схемі: облицювання розробки самозахисним дротом ПАНЧ-11 і заповнення розробки заповнювачем (рис. 2), в якості якого використовувалось наплавлення електродами МНЧ-2; УОНІ 13/45 та інш.



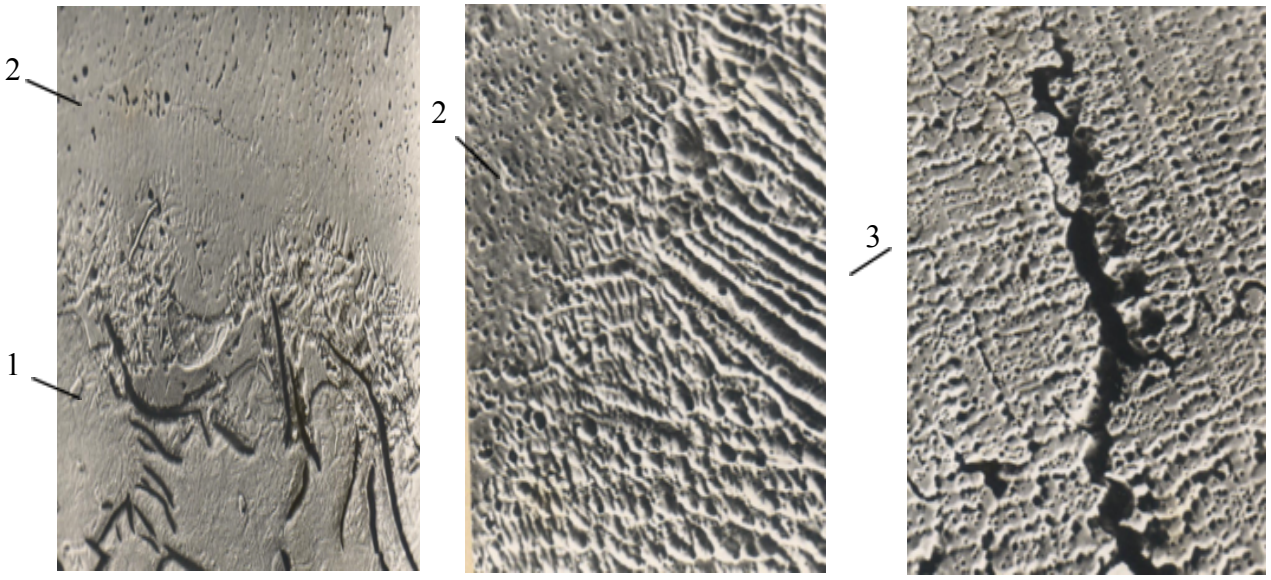
а б

Рисунок 2 – Зварювальне з’єднання з облицюванням:
а) схема заповнення розробки; б) мікроструктура зварювального шву.
1 – основний метал; 2 – облицювальний шар; 3 – заповнювач

При дослідженні зварюваності сірого чавуну на технологічних пластинах розміром 500х200х28 облицювання розробки виконувалось полуавтоматичним зварюванням на режимах $I_{зв}$ = 150 – 170 А, U = 16 – 18 В дротом ПАНЧ-11 діаметром 1,2 мм.

Заповнення розробки виконувалось електродами МНЧ-2 на мідно-нікелевій основі Ø4 мм на постійному струмі зворотної полярності $I_{зв}$ = 120 А. Формування шву задовільне, без пор і тріщин. Є деякі підрізи.

Дослідження мікроструктури зварювального з'єднання показали, що лінії сплавлення чавуну з нікелем і в зоні сплавлення нікелю з мідно-нікелевим заповненням пори і тріщини відсутні (рис. 3, а, б). Разом з тим на облицювальному аустенітному шарі мають місце тріщини (рис. 3, в).



х 200 х 400 х 400

а б в

Рисунок 3 – Структура металу шву з облицюванням дротом ПАНЧ-11:
а) границя сплавлення основного металу і облицювального шару;
б) границя сплавлення облицювального шару і заповнювача;
в) облицювальний шар.
1 – основний метал; 2 – наплавлення дротом ПАНЧ-11; 3 – наплавлення електродами МНЧ-2

При заповненні розробки електродами ОЗЧ-2 (наплавлення проводилось на постійному струмі $I_{зв}$ = 140 А зворотної полярності електродом Ø4 мм) внаслідок великої рідкотекучості залізо-мідного сплаву формування шву незадовільне. Мають місце підрізи, виділення кірки також незадовільне.

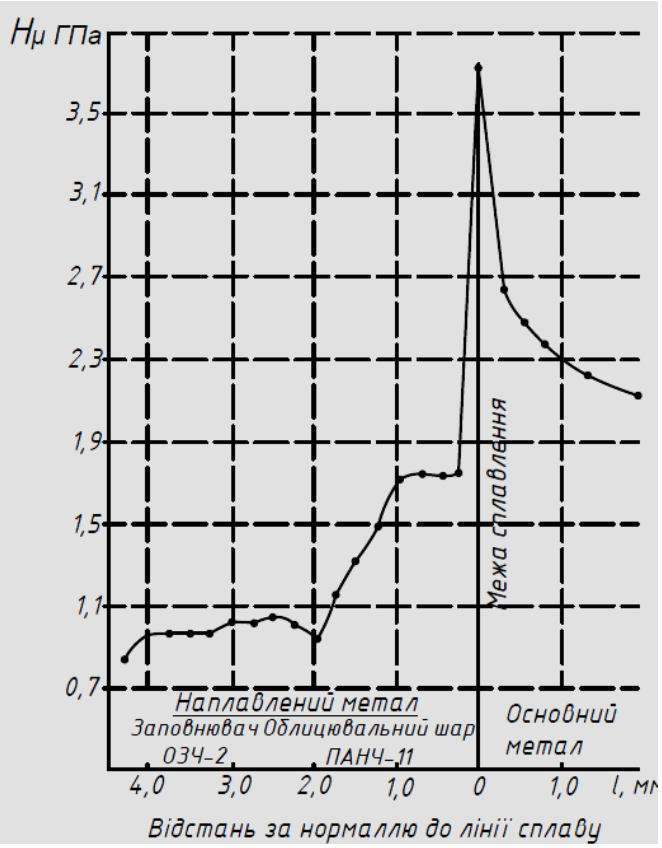
Важко досягти стабільного протікання процесу. Але разом з тим металографічні дослідження показали відсутність тріщин в зварювальному з'єднанні (рис. 4). По лінії сплавлення облицювального шару з основним

металом мають місце загартовані структури з мікротвердістю 370 Hμ. На рис. 5 показаний характер змін мікротвердості з'єднання.

Труднощі, що пов'язані з хорошим формуванням зварювального шву, ускладнюють використання електродів ОЗЧ-2 для заповнення розробки при багатопрохідному зварюванню товстолистових з'єднань.

Досліджувалось заповнення розробки по облицювальному шару стальними електродами марки УОНІ 13/45. Наплавлення проводилось на постійному струмі зворотної полярності при $I_{зв}$ = 140 А електродом Ø4 мм. Зварювальний процес протікає стабільно, формування шву задовільне, пори, підрізи, тріщини при візуальному обстеженні не виявлені. Відділення шлакової кірки задовільне.

Рисунок 4 – Мікроструктура металу шву, де в якості заповнювача використовувались електроди ОЗЧ-2



• – експериментальні значення

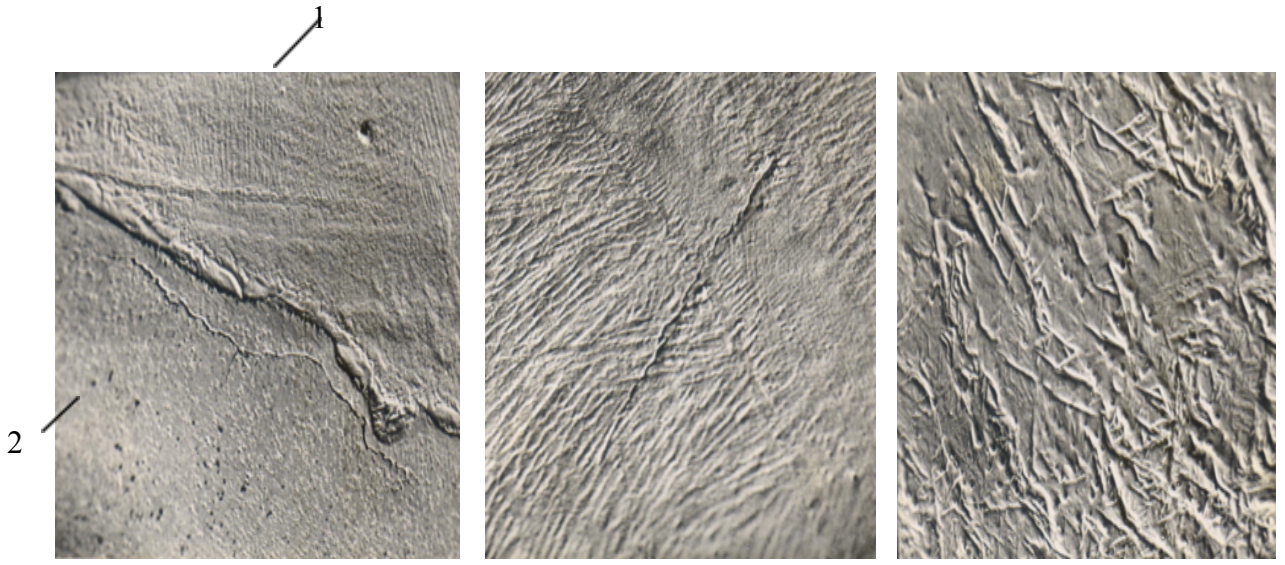
Рисунок 5 – Зміна мікротвердості по дільницям зварного з'єднання при наплавленні електродами ОЗЧ-2

В той же час металографічні дослідження показали наявність тріщин як в облицювальному шарі (рис. 6, а), так і в заповнювачі (рис. 6, б). Структура сталевого шву у лінії сплавлення (рис. 6, в) являє собою крихкий тетрагональний мартенсит по границям зерен, що сприяє утворенню тріщин у шві внаслідок зварювальних напружень, супроводжуючих процес зварювання. Зміна мікротвердості у зварювальному з'єднанні показано на рис. 7. Наявність тріщин в облицювальному шарі можна пояснити різною величиною усадки сталевого валика «підривається» облицювальний шар і утворюється тріщина у зварювальному з'єднанні.

Для зниження ролі сталевої складової у шві досліджувався спосіб зварювання з чергуванням валиків, виконаних дротом ПАНЧ-11 та електродами УОНІ 13/45. Металографічні дослідження підтвердили, що перемішування шарів аустенітного і феритного класу виключає зародження тріщин у зварювальному з'єднанні. По границі сплавлення між облицювальним шаром і основним металом завжди мають місце загартовані структури – нижній бейніт, мартенсит (рис. 8, а).

На рис. 8, б показана зона перемішування між шарами феритного і аустенітного класу. Дослідження мікротвердості показана на рис. 9.

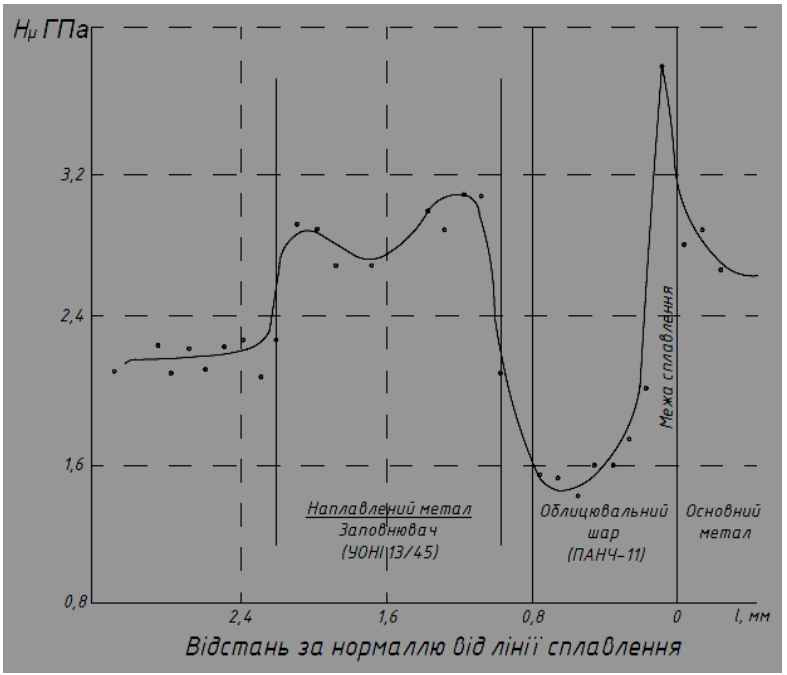
Одним зі способів збільшення феритної складової у шві є введення у шов залізного порошку або його суміші з вуглецем (можливо застосування чавунного порошку – крихти).



x 100 x 100 x 400

а б в

Рисунок 6 – Структура металу шву з облицюванням дротом ПАНЧ-11 і заповненням електродами УОНІ 13/45:
а – границя сплавлення облицювального шару з заповнювачем; б – зона перекриття сталевих валиків; в – структура заповнювача
1 – сталевий заповнювач; 2 – облицювальний шар



• – експериментальні значення

Рисунок 7 – Зміна мікротвердості по дільницям зварного з’єднання при наплавленні електродами УОНІ 13/45 на облицювання із ПАНЧ-11

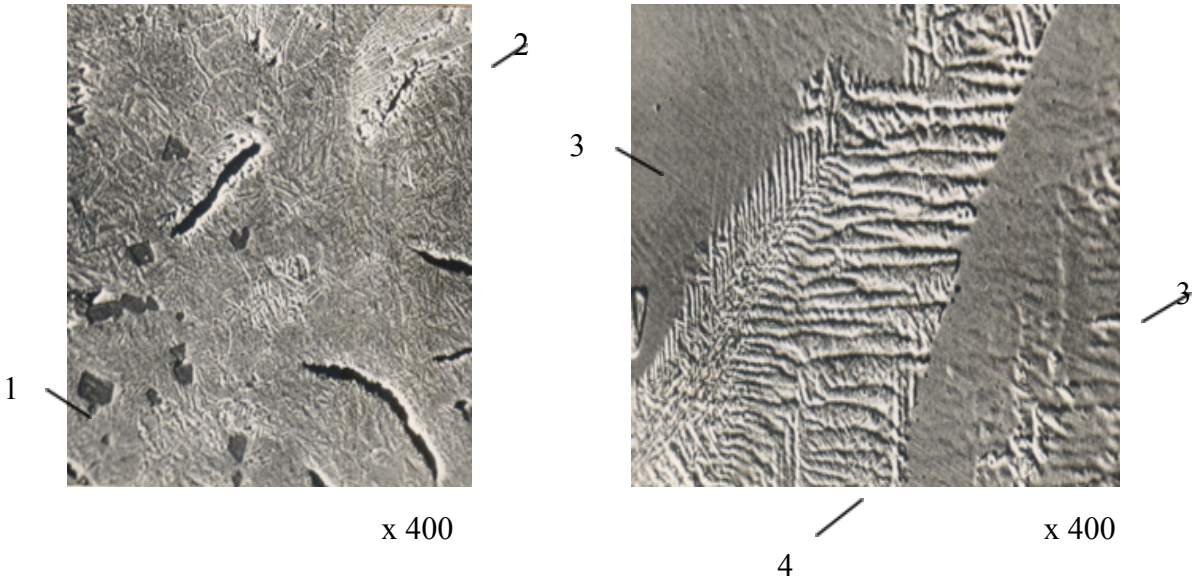
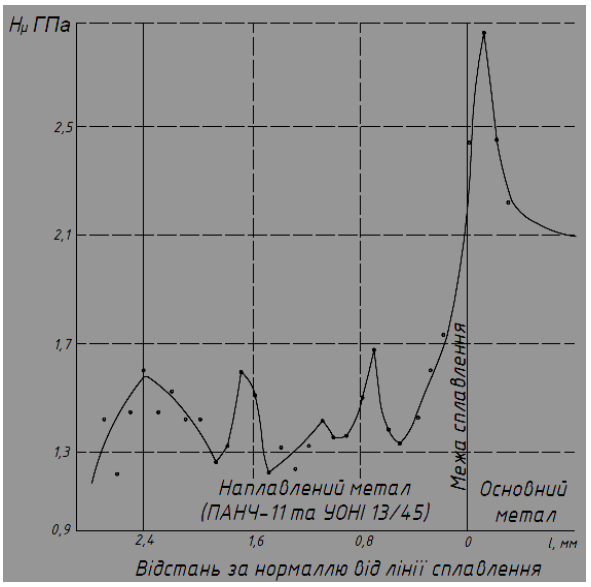


Рисунок 8 – Структура металу шву з облицюванням дротом ПАНЧ-11 і заповненням електродами УОНІ 13/45 і дротом:
а – границя сплавлення облицювального шару з основним металом; б – зона перемішування шарів феритного і аустенітного класу
1 – основний метал; 2 – облицювальний шар; 3 – аустенітний шар; 4 – феритний шар



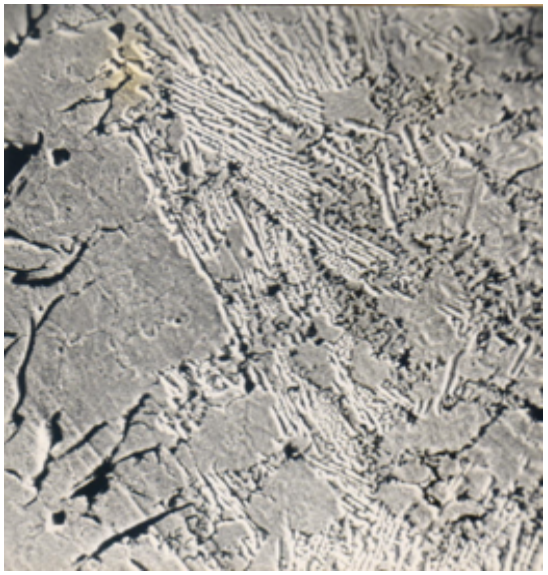
• – експериментальні значення

Рисунок 9 – Зміна мікротвердості зварювального з’єднання з облицювальним дротом ПАНЧ-11 і заповненням електродами УОНІ 13/15 і дротом ПАНЧ-11

Раціональність цього підтверджується дослідженнями, що проведені в ІЕЗ ім. Патона, в яких показано, що у швах, виконаних сталевими і

залізо-нікелевими електродами, розчинність графіту по границі сплавлення збільшується. Це і забезпечує якісне сплавлення основного і наплавленого металу.

У нашому разі зварювання чавунних зразків в розробку, облицьовану дротом ПАНЧ-11, здійснювалось по тонкому шару залізного або чавунного порошку (крихти). Формування шву задовільне. Металографічні дослідження підтвердили відсутність тріщин в зварювальному з'єднанні, виконаному на кришці дизеля 6Ч18/22 (рис. 10). Зміна мікротвердості по частинам зварювального з'єднання приведено на рис. 11. Введення залізного порошку у зварювальну ванну підвищило твердість зварювального шву, що позитивно відкликнеться на його зміцнювальних якостях.



а

б

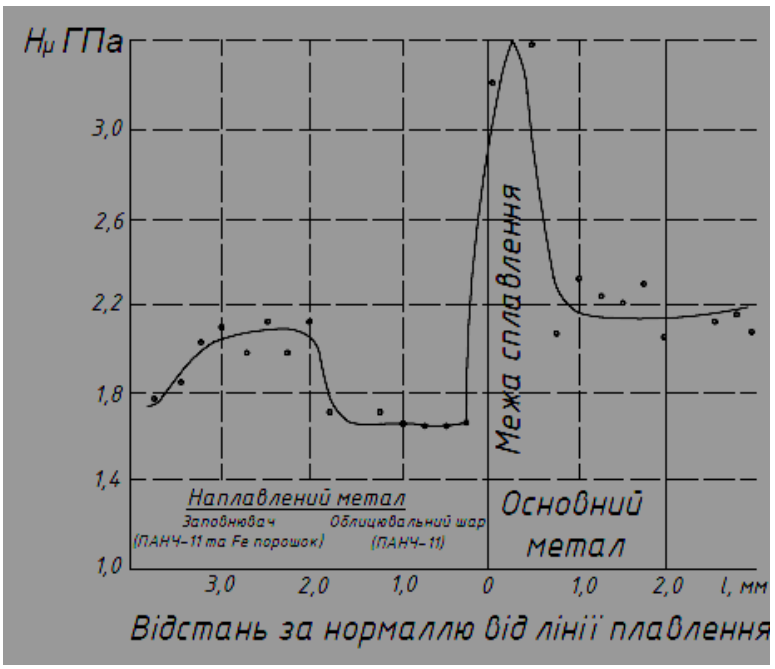
Рисунок 10 – Мікроструктура зварювального з'єднання, вирізаного з чавунної кришки: а – границя сплавлення; б – наплавлений шар

Проведені дослідження зварюваності високоміцного чавуну (рис. 12) на зразках, вирізаних з кришки дизеля MAH6Z57/80F. Зварювання виконувалось напівавтоматом на режимах $I_{зв}$ = 100–180 А, U = 18–20 В.

Дослідження мікроструктури показало, що в зоні термічного впливу (ЗТВ) мають місце загартовані структури (рис. 13), однак при попередньому підігріві кришки до 150º газовою горілкою (значення мікротвердості приведено на рис. 13, б) тріщини в наплавленні і ЗТВ не виявлено, тому цей спосіб зварювання може бути рекомендованим для відновлення кришок головного циліндра дизеля MAH6Z57/80F з високоміцного чавуну. Дослідження мікротвердості показані на рис. 14.

Таким чином, проведені дослідження зварюваності сірого та високоміцного чавунів на імітаторах виявили можливості відновлення чавунних суднових деталей.

Одержані результати дають можливість перейти до експериментальних досліджень по розробці технології відновлення на реальних суднових деталях.



• – експериментальні значення

Рисунок 11 – Графік зміни мікротвердості дільниць зварювального з’єднання, вирізаного з чавунної кришки

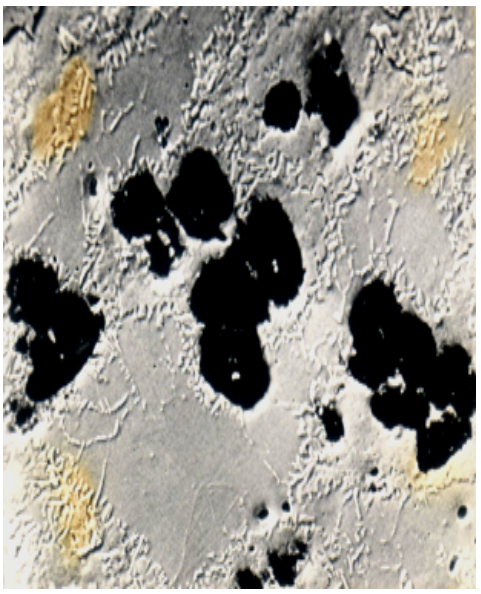
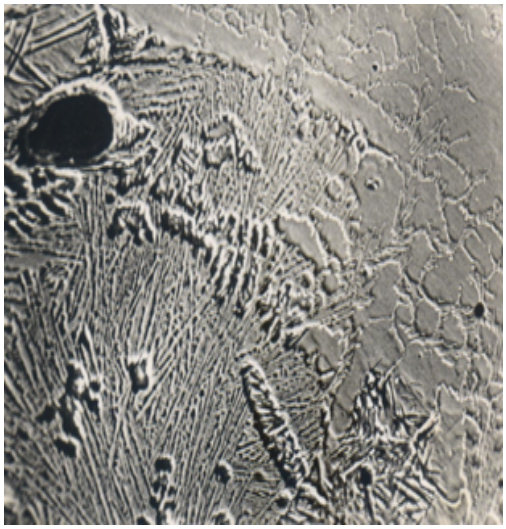


Рисунок 12 – Структура високоміцного чавуну з циліндрової кришки дизеля MAH6Z57/80



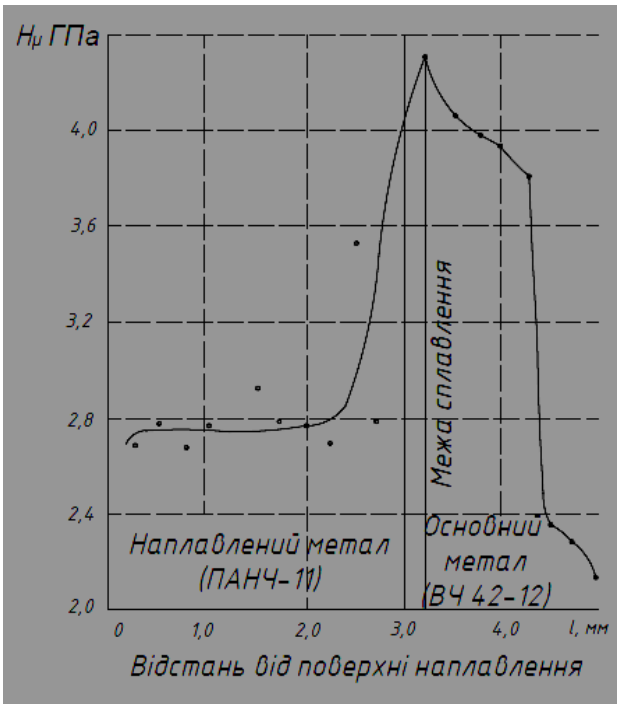
x 400

а

x 400

б

Рисунок 13 – Мікроструктура зварювального з’єднання з високоміцного чавуну: а – зварювання без підігріву; б – зварювання з попереднім підігрівом до 150 ºС



• – експериментальні значення

Рисунок 14 – Графік замірів мікротвердості на дільницях зварювального з’єднання з високоміцного чавуну (наплавлення з попереднім підігрівом до 150 ºС)

ЛІТЕРАТУРА

1. Стальниченко О. И. Прогрессивные технологии восстановления и упрочнения деталей судовых энергетических установок. Київ: Вища школа. 1994. 168 с.

2. Проблемы сварки и резки чугуна. Киев: ИЭС им. Е. О. Патона. 1976. 107 с.

3. Стальниченко О. И., Крылов С. В. Особенности сварки чугуна и перспективы ее использования в судоремонте. М.: «Мортехинформреклама». 1989. 33 с.

4. Иванов Б. Г., Левченко В. И., Терский Ф. Н. Технологичность способов сварки чугуна. Сварочное производство. 1976. № 11. С. 1–3.

5. Стальниченко О. И., Иоргачов Д. В., Иоргачов В. Д. Восстановление деталей судов. Киев. 2014. 323 с.

Стальніченко Олег Іванович *к.т.н., професор, завідувач кафедрою «Технологія матеріалів» Одеського національного морського університету.*

Шамов Олексій Володимирович *к.т.н., доцент кафедри «Технологія матеріалів» Одеського національного морського університету.*

Козішкурт Євген Миколайович *доктор філософії, старший викладач кафедри «Технологія матеріалів» Одеського національного морського університету.*