

КОРАБЛЕБУДУВАННЯ

УДК 524.8.06765765

DOI https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.5/03

Коваленко І.В.

Азовський морський інститут Національного університету «Одеська морська академія»

ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ НАДІЙНОСТІ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ СУДНОВИХ ВІСЕЙ ТА ВАЛІВ МЕТОДОМ БАНДАЖУВАННЯ

Під час розвитку сучасних умов кораблебудування та виконання ремонту суднових агрегатів особливу роль приділяють використанню основних елементів конструкцій, які складаються з технологічних частин. Під час виконання цих кроків важливо зробити аналіз властивостей матеріалів, з яких виготовляються технологічні складові частини вузлів суднового обладнання. Проведення випробувань повинне бути наближене до умов експлуатації суднових вісей і валів, а саме до циклічного навантаження, агресивного й адгезійного середовища.

Тому особливим фактором є технологічний контроль за послідовністю виготовлення, підбором матеріалів, технологією наплавки. Усі названі вимоги можливо проаналізувати й спрогнозувати за допомогою комп'ютерного модулювання. Дослідження властивостей перехідних шарів шва й основного металу та їх вплив на кількість циклів навантаження під час випробувань також є ключовими. Усі умови будуть виконані за оптимального підбору хімічної складової частини Ni – Cr, яка забезпечує необхідний рівень легування. Твердість матеріалів визначається наявністю частки Mg у складі металу. Також важливі режими термообробки, які зумовлюють отримання необхідної кінцевої структури матеріалу для механічної обробки й наплавки. Для такої деталі та її елементів найкращі властивості з боку експлуатації – в дрібнодисперсній аустенітній і перлітній структурі.

Під час експлуатації суднових валів і вісей виконується розповсюдження прокольних навантажень шляхом виникнення остаточних напруг за малоциклових і багатоциклових навантажень і подальшої втоми структурної решітки.

Під час розгляду номенклатури матеріалів, використовуваних у комбінованих конструкціях, їх кількість дуже велика й містить більшість зварюваних сталей. За поєднанням матеріалів в одному вузлі доцільно виділити дві основні групи конструкцій: зі зварними з'єднаннями сталей одного структурного класу, але різного легування, та зі зварними з'єднаннями сталей різних структурних класів. У зв'язку із цим рішення з отримання збалансованого бандажного з'єднання лежить в отриманні мілко зернистої структури металу шва й навколошовної зони.

Ключові слова: бандаж, напруження матеріалу, суднове обладнання, перехідний шар, структура металу, судновий насос.

Постановка проблеми. За широкого спектру даних про технологічне забезпечення необхідно виконати обґрунтування застосування технології бандажування як методу підвищення службових характеристик і технологічності виготовлення деталей та обладнання суднових енергетичних установок. Дуже важливо надати оцінку факторів, що впливають на ефективність і надійність фіксації бандажа на осі в процесі експлуатації виробу, та проаналізувати способи виготовлення бандажованих виробів.

У зв'язку з інтенсифікацією виробництва, з появою суднових механізмів та енергетичних систем великої маси і ваги виникає необхідність у виготовленні складових елементів такого обладнання. Складові елементи, по-перше, дозволяють

збільшити масогабаритні показники обладнання. По-друге, виникає питання про можливість забезпечення регламентованого розподілу властивостей між елементами – віссю та бандажем.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Широке застосування в промисловості знайшла технологія бандажування [1]. Однією з областей застосування складеного інструменту є суднове обладнання. У зв'язку з тенденцією збільшення ширини валів та вісей потрібно застосування необхідних початкових деталей із довжиною 3–5 метрів і масою до 25 тонн. Виготовити якісні валок чи вісь суднового обладнання такої маси з одного зливка практично неможливо. Тому очевидно виробництво таких виробів

в складеному варіанті, коли вісь та бандаж виготовляються із злитків меншого розважування, а отже, більш якісних [2].

Складові вироби з регламентованими параметрами посадки можуть бути широко використані при виготовленні запобіжних пристроїв для важко навантажених судових вузлів і механізмів, що запобігають поломкам агрегатів при перевищенні експлуатаційних навантажень і в аварійних ситуаціях [3].

Застосування литих бандажів з заевтектоїдних марок сталей і кованих вісей веде до підвищення стійкості прокатних валків в три рази в порівнянні з цільнокованими валками [4].

Експлуатація бандажованих вісей додатково дозволяє багаторазово використовувати вісь, змінюючи зношені бандажі. У такому випадку в балансі витрати металу бере участь в основному тільки матеріал бандажу [5].

Застосування зварювальних технологій при виготовленні бандажованого судового обладнання дозволить різко знизити трудомісткість формування складених механічних елементів, значно зменшити енергетичні витрати, підвищити надійність фіксації бандажа на вісі [6]. У зв'язку з цим вдосконалення технології виготовлення складових судових деталей є актуальною науковою задачею. Наведена інформація вимагає додаткового аналізу та дослідженню.

Постановка завдання. Мета статті:

– обґрунтувати розробку технології виготовлення складових судових вузлів, заснованої на виникненні зварювальних напруг і деформацій при впливі локального джерела тепла, наприклад, зварювальної дуги;

– виконати дослідження напружено - деформованого стану елементів складових конструкцій і оцінки ефективності запропонованої технології.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Номенклатура виробів судового обладнання має широкий спектр. Найбільше розповсюдження отримали вироби з механічним з'єднанням або термічним з'єднанням за рахунок натягу.

Основними методами фіксації бандажа на вісі є:

- механічні, замкові з'єднання;
- адгезійні з'єднання гальванічні покриття ;
- термічні з гарантованим натягом

Особливо важливо провести оцінку ефективності та надійності фіксації бандажа на осі. У процесі експлуатації можливе зниження надійності кріплення шляхом впливу різних чинників: різна жорсткість сполучених деталей; вплив згинаючих навантажень і крутного моменту; наявність вологи і окислення і, як наслідок, корозія [7].

Механічні методи фіксації не завжди можливі. В основному вони можуть бути застосовані для деталей, в яких необхідна часта зміна бандажа, наприклад, для прокатних валків сортопрокатних станів. А для деталей, що працюють в умовах великих навантажень, найчастіше застосовуються саме нероз'ємні види з'єднань шляхом термічної фіксації бандажа на осі, тобто з гарантованим натягом [8].

Посадка бандажа на вісь із забезпеченням гарантованого натягу також пов'язана з рядом складнощів [9]. Тому необхідно забезпечити високу точність виготовлення сполучених елементів. По-друге, необхідно забезпечити постійну величину натягу по всій довжині за рахунок виконання рівномірного нагріву і подальшого рівномірного охолодження деталей. Відхилення величини натягу від регламентованого рівня може призвести або до сповзання бандажа з осі, або до його руйнування. Також, для забезпечення нагріву великотоннажних виробів необхідні великі енергетичні витрати, які виникають при виготовленні циліндричних виробів, дослідження деформацій і напружень, що виникають в циліндричних виробках при впливі локальним джерелом нагрівання [10].

Для вимірювання залишкових напружень і деформацій проведені дослідження на моделях у вигляді кілець у вільному стані, а також посаджених на вісь з натягом (рис. 1).

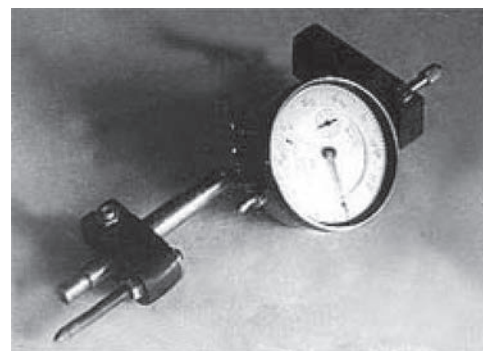


Рис. 1. Індикатор для вимірювання усадки наплавлених зразків

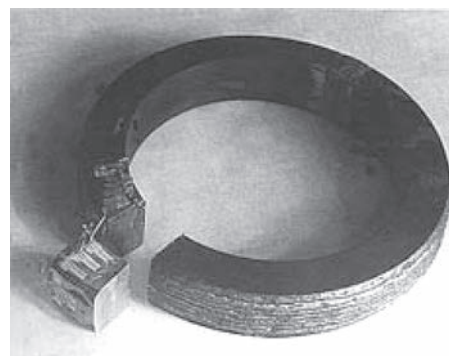


Рис. 2. Наплавлене кільце судового відцентрового насосу з тензодатчиками після вирізки

Визначення залишкових деформацій і напружень виконувалося наступним чином. Виконувався ряд експериментів та проводилися вимірювання характеру зміни внутрішнього діаметра за допомогою індикатора (рис. 1), а залишкових напруг із застосуванням методу тензометрування (рис. 2) [11]. Результати вимірювань тангенціальних залишкових зварювальних напружень у кільці показали, що в наплавленному шарі сформувалися стискаючі залишкові напруги, які врівноважено розповсюджують напруги у тілі кільця (рис. 3).

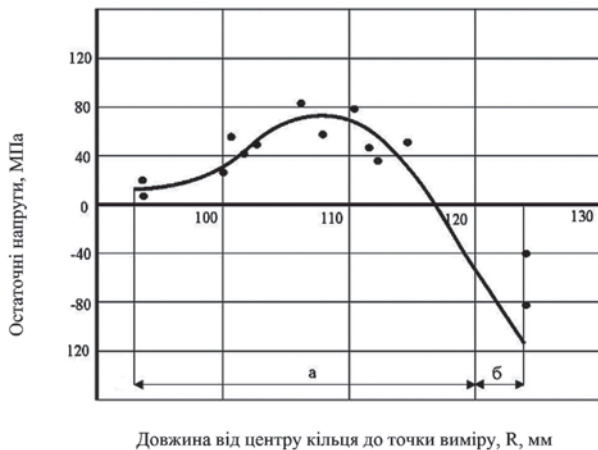


Рис. 3. Епюри залишкових напруг після наплавлення циліндричного зразка: а – товщина кільця; б – товщина наплавленого металу

Наявність стискаючих напруг призводить до виникнення деформацій і усадки. Використову-

ючи ефект усадки, а також деякі конструктивні елементи поверхні банджа і вісі можна надійно закріпити бандаж на поверхні вісі.

Для вимірювання величини залишкових напруг за допомогою тензометричних перетворювачів і наступної цифрової обробки сигналу розроблений модуль інтерфейсу, принципова схема якого наведена на рис. 4.

В основі дії пристрою лежить принцип мікросхематичного керування. Сигнал з тензометричного моста R1–R4 подається на диференційний вхід інструментального підсилювача DA1. Після обробки здійснюється демодуляція мікросхемою DA2 з подальшою фільтрацією низькочастотним фільтром R6C5, R7C6, R8C7. Далі сигнал через повторювач DA3 надходить на вхід послідовного 12-ти розрядного аналого-цифрового перетворювача DD1.

З виходу SDATA DD1 отриманий цифровий код передається в мікропроцесорний модуль по стандартному послідовному інтерфейсу RS232 (рис. 5) для подальшого аналізу і обробки із застосуванням математичного моделювання.

Така схема вимірювання деформацій та напружень, дозволяє отримати вихідні данні із дуже високим рівнем точності, яка на декількох рівнях вища ніж дані отримані від тензодатчиків спротиву [12].

У рамках досліджень для оцінки надійності бандажованих деталей судових механічних установок в умовах реальних робочих навантажень розроблена методика із застосуванням модернізованої випробувальної установки на контактну витривалість рис. 6.

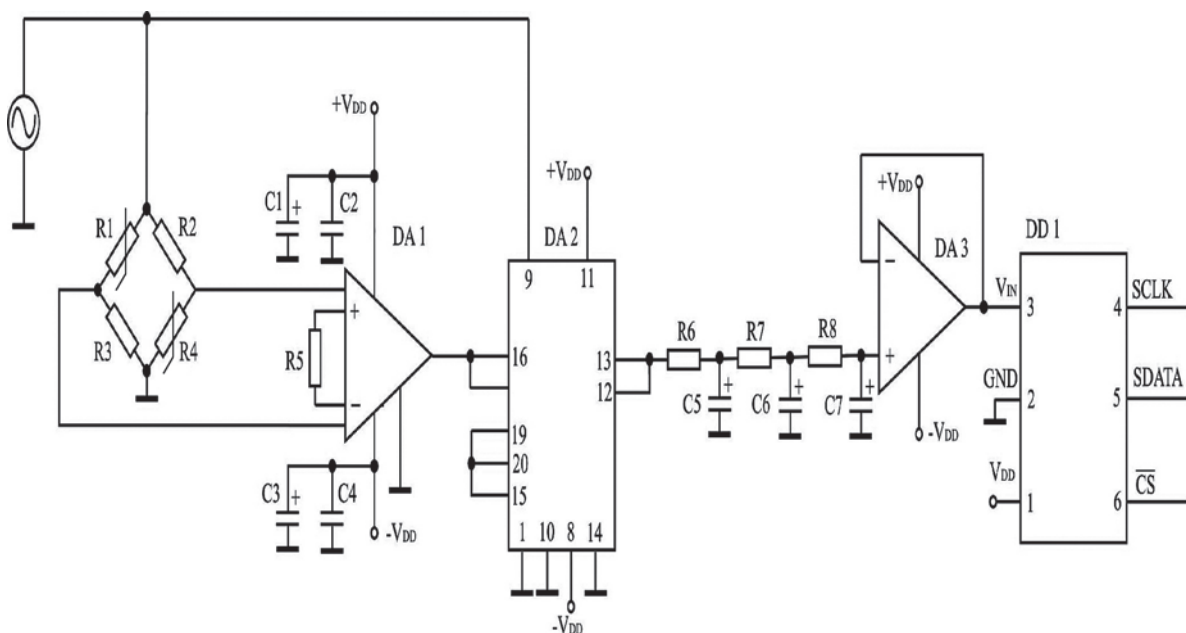


Рис. 4. Принципова схема модуля інтерфейсу

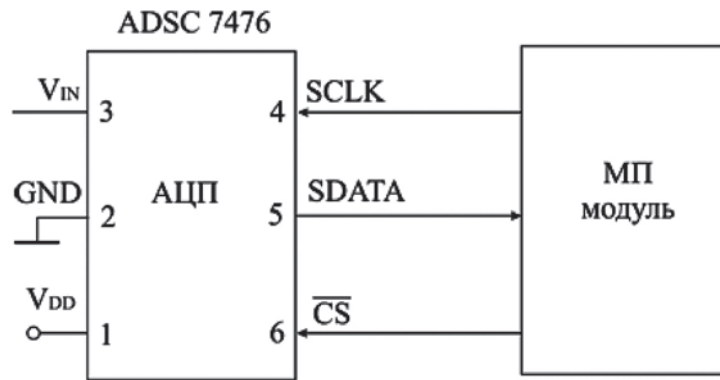


Рис. 5. Схема підключення модуля інтерфейсу

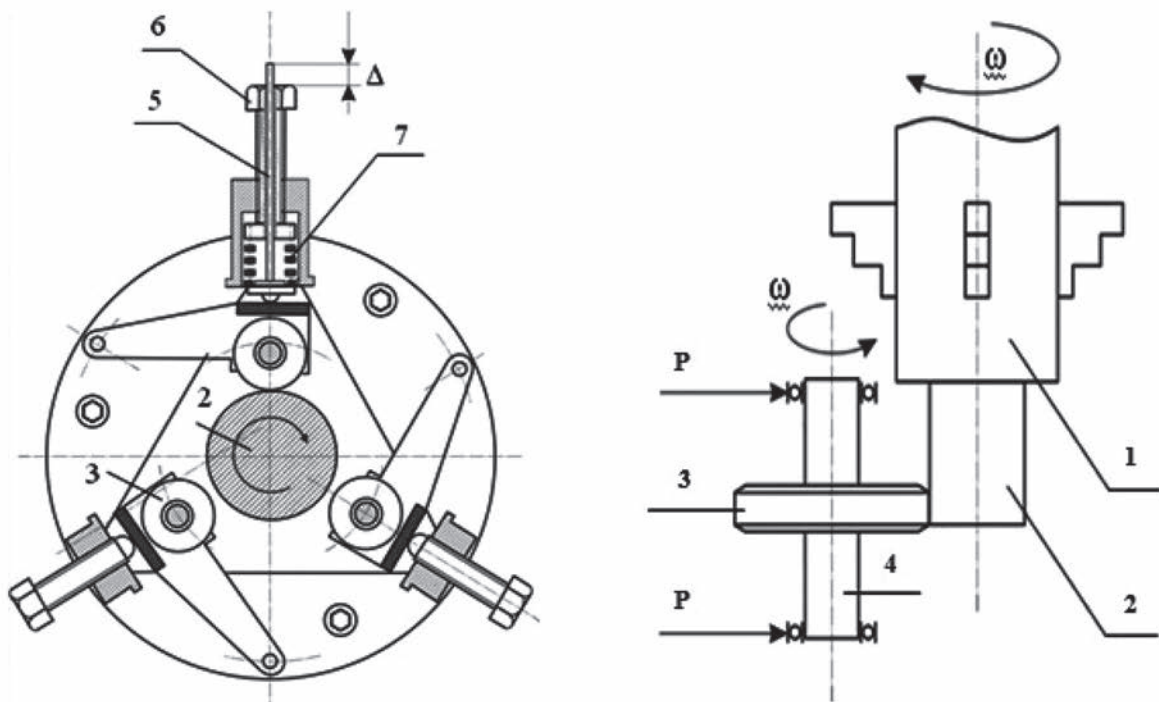


Рис. 6. Схема випробувальної установки: 1 – патрон; 2 – випробуваний зразок; 3 – натискний ролик; 4 – вісь ролика; 5 – штифт; 6 – гвинт навантаження; 7 – пружина

Випробування виконувались таким чином, що в процесі обертання робочого вала двигуна натяжний ролик 3 (рис. 5) натискає із зусиллям P на консольну частину зразка 2, завдяки чому останній відчуває изгибаючи навантаження, що імітують роботу реального виробу [13]. Швидкість обертання двигуна складає 2820 об / хв. Загальна кількість циклів навантаження 11 106 одиниць.

Для чисельного моделювання напружено-деформованого стану деталей складових конструкцій при впливі локального джерела нагріву розроблена методика із застосуванням багатofункціональної системи кінцево-елементних розрахунків ANSYS, яка складається з декількох етапів: розробка геометричної моделі деталі, вибір

типу вузлів, побудова кінцево-елементної схеми і підготовка вихідних даних; виконання розрахунку; обробка результатів розрахунку.

Отримання результатів вимірювань відбувається після кожного блоку циклів навантаження на спеціалізований електронний блок.

Отримані результати дозволяють отримати масив числових значень які дозволяють прогнозувати подальший стан деталей виготовляємих методом бандажування.

Висновки.

1. У ході дослідження виконали обґрунтування розробки технології виготовлення складових суднових вузлів, у основі технології знаходиться метод зварювання із застосуванням інверторного

цифрового контролю впливу дуги на проплавлення основного металу.

2. Виконано дослідження напружено – деформованого стану елементів складових конструкцій та означена міра ефективності запропонованої

технології виготовлення суднових та енергетичних вузлів.

3. Удосконалена конструкція випробувальної установки, та за рахунок цього вдалося визначитися з тривалістю руйнування зразка у інтервалі 10000-15000 циклів.

Список літератури:

1. Chigarev V.V., Belik A.G. Flux-cored strips for surfacing. *Welding International*. 2012. V. 26. P. 975–979.
2. Фока А.А. Судовой механик. Одесса : Феникс, 2010. Т. 1. 1030 с.
3. Kovalenko I., Spiridonov V. Operation reliability evolution of the ship power pipelines with application of mathematical modeling and ultrasonic testing methods. *The scientific heritage*. 2016. V. 6. P. 88–91.
4. Chigarev V.V., Belik A.G., Zarechenskii D.A. Optimization of the fractional composition and performance melting powder tapes with exothermic mixture in the filler. *Welding International*. 2016. V. 30. № 7. P. 557–559.
5. Чигарев В.В., Коваленко И.В. Способ увеличения срока службы металлургического оборудования. *Вестник ПГТУ*. 2010. № 20. С. 231.
6. Чигарев В.В., Коваленко И.В. Исследование эксплуатационных свойств биметаллических сварных соединений. *Вестник ПГТУ*. 2011. № 22. С. 161.
7. Готальский Ю.Н. Сварные соединения разнородных сталей. Москва : Техника, 1981. 185 с.
8. Перспективы производства толстостенных биметаллических корпусов высокого давления / Б.Е. Патон, А.Д. Чепурной, В.Я. Саенко и др. *Автомат. сварка*. 2004. № 1. С. 30.
9. Махненко В.И. Ресурс безопасной эксплуатации сварных соединений и узлов современных конструкций. Киев: Наукова думка, 2006. 618 с.
10. Essa Ahmad Mohammad, Chigarev W.W., Belik A.G. Application of flux-cored strips for ruggedization and reconditioning of machine parts. *Modern Developments in Renewable Energy and Sustainability*. Kuala Lumpur, Malaysia, 2008. P. 110.
11. Стафаков Ю.П., Побаль И.Л., Князева А.Г. Рост трещин вблизи границы раздела разнородных материалов в условиях сжатия. *Физ. мезомеханика*. 2002. № 1. С. 81.
12. Харин В.М. Судовые машинные установки устройства и системы. Одесса : Феникс, 2010. 648 с.
13. Muller E. Geschweisste Turbinenlaufer. *BBC. Nachr. Shweissenund Schneiden*. 1995. V. 47. № 6. S. 277.

Kovalenko I.V. IMPROVING THE LEVEL OF RELIABILITY IN THE OPERATION OF SHIP AXLES AND SHAFTS BY THE BANDING METHOD

In the development of modern shipbuilding conditions and the repair of ship units, a special role is given to the use of basic structural elements consisting of technological parts. When performing these steps, it is important to analyze the properties of the materials from which the technological components of ship equipment are made. Testing should be close to the operating conditions of ship axles and shafts, namely cyclic loading, aggressive and adhesive environment.

Therefore, a special factor is the technological control over the sequence of manufacture, selection of materials, surfacing technology. All these requirements can be analyzed and predicted using computer modulation. Investigations of the properties of the transition layers of the weld and the base metal and their effect on the number of load cycles in the tests are also key. All conditions will be met with the optimal selection of the chemical component Ni – Cr, which provide the required level of doping. The hardness of the materials is ensured by the presence of Mg in the metal. Also important are the heat treatment modes that provide the desired final structure of the material for machining and surfacing. For this part and its elements, the best properties in terms of operation in fine austenitic and pearlitic structures.

During the operation of ship shafts and axles, the propagation of puncture loads is performed due to the occurrence of final stresses at low-cycle and multi-cycle loads and subsequent fatigue of the structural lattice.

When considering the range of materials used in combined structures is very large and includes most welded steels. According to the combination of materials in one unit, it is advisable to distinguish two main groups of structures: with welded joints of steels of the same structural class, but different alloying, and with welded joints of steels of different structural classes. In this regard, the decision to obtain a balanced bandage connection lies in obtaining a fine-grained structure of the weld metal and the seam area.

Key words: bandage, material stress, ship equipment, transition layer, metal structure, ship pump.