УДК 621.824.539.4

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИЧИН РУШЕННЯ КОРПУСУ СУДНА В РАЙОНІ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНОГО ВІДДІЛЕННЯ Т/Х «ВЕРЕС». КОРОЗІЯ СУДНОВИХ КОНСТРУКЦІЙ, КЛАСИФІКАЦІЯ З МЕХАНІЗМУ ПРОХОДЖЕННЯ

О. В. Кобзарук, О. В. Шамов, В. І. Бабінець, Б. В. Смажило
Одеський національний морський університет

Анотація: *Захист суден від корозії являє собою одну з основних проблем технічної експлуатації флоту. Корозія – це руйнування металів, викликане хімічною чи електрохімічною взаємодією їх з корозійним середовищем. Корозія корпусу судна збільшується дією механічних напружень і вібрації, а також руху такого агресивного середовища, як морська вода. Причиною інтенсивного руйнування корпуса судна може бути електрокорозія під дією токів утечки при порушенні правил електрозабезпечення при зварювальних роботах під час ремонту. В доповіді приводяться методи досліджень причин аварійного руйнування днища т/х «Верес», а також рекомендації щодо проведення ремонтних робіт і подальшої експлуатації судна.*

Ключові слова: *аварійне руйнування днища, судно, металографічні і корозійні дослідження, поради щодо ремонту, безаварійна експлуатація.*

RESEARCH CAUSES DESTRUCTION OF THE SHIP'S HULL IN THE AREA THE DIESEL GENERATOR COMPARTMENT OF THE M/V "VERES". CORROSION OF SHIP STRUCTURES, CLASSIFICATION OF LEAKAGE MECHANISM

O. V. Kobzaruk, O. V. Shamov, V. I. Babinets, B. V. Smazhilo
Odessa National Maritime University

Abstract: *One of the main problems technical operation of the fleet is protection of ships from corrosion. Corrosion is the destruction of metals caused by chemical or electrochemical reaction with their environment. Corrosion of the hull is increased by mechanical stress and vibration, as well as the movement of such an aggressive environment as sea water. The reason for the intensive destruction of the hull may be electrocorrosion under the action of leakage currents in violation of the rules of power supply during welding work during repairs. The report provides methods of research into the causes accidental destruction of the bottom m/v "Veres", as well as recommendations for repair work and further operation of the vessel.*

Keywords: *accidental destruction of the bottom, ship, metallographic and corrosion studies, repair advice.*

Морський флот налічує велику кількість суден, експлуатація та технічне обслуговування яких потребують значних коштів, матеріальних та енергетичних ресурсів.

З метою підвищення експлуатаційної ефективності флоту першочерговим завданням поряд з іншими є безпека мореплавання. Цей показник залежить від таких факторів, як надійність суднових конструкцій та їх кваліфікована експлуатація. Надійність судна в експлуатації значною мірою залежить від технології суднобудування та судноремонту, а останнім часом у великій залежності від ефективності використання методів та засобів захисту від корозії

[1, 2]. Наявність у суднокорпусній конструкції великого обсягу зварних швів, високий рівень напруг у районі шва та біля шовної зони, знакозмінні навантаження, випробувані металом корпусу судна підсилюють корозійний процес та корозійно-механічне руйнування.

Захист суден від корозії – одна із основних проблем технічної експлуатації флоту. Для її вирішення організовано протикорозійну службу, в т.ч. у міністерствах та відомствах. Така увага до проблеми цілком обґрунтована – збитки від корозії у промислово розвинених країнах становить 4–5 % національного доходу.

Корозія – це руйнування металів, викликане хімічним або електрохімічним впливом їх з корозійним середовищем.

Хімічна корозія має місце у сухих газах, рідких електролітах та не електролітах. На морських суднах хімічної корозії схильні елементи різних конструкцій. І насамперед ті, де присутня морська вода та нафтопродукти.

Користуючись таблицями довідників з корозії [2], зіставляючи термодинамічні параметри, можна визначити потенційну можливість хімічної корозії та стійкість різних металів до корозії.

Електрохімічна корозія – найпоширеніший механізм корозії металів, що має місце на суднах. Такий процес відбувається у всіх газових середовищах (морській атмосфері), у рідких середовищах, що містять морську воду. У досліджуваному випадку корозія посилюється присутністю вуглеводнів та напругами, викликаними вібраційними навантаженнями, що мають місце у машинному відділенні.

Чинники корозії прийнято розділяти на внутрішні та зовнішні. До внутрішніх, насамперед, відносять хімічний склад металевого матеріалу. Такий відрізняється від властивостей чистих металів через наявність у своєму складі додаткових елементів (домішок, легуючих добавок), вплив останніх різноманітний. Наприклад, сірка прискорює атмосферну корозію, леговані сталі з додаванням незначної кількості міді мають стійкість у прісній воді. У морській воді вплив хімічного складу сталі на процес її корозії незначний. Іншим внутрішнім фактором є структура металу, вона має важливе значення у багатофазних сплавах. Наприклад, порушення режиму температурної обробки корозійностійких сталей є однією з причин їхньої міжкристалітної корозії. Наступним фактором слід назвати стан поверхні металу. На чистій, добре обробленій поверхні менше енергоємних місць – осередків зародження корозії.

Піскоструминна, хімічна та груба мехобробка поверхні призводить до підвищення схильності до корозії, так як при цьому на поверхні металу утворюються напруги, що розтягують, і поверхня активізується до корозійного процесу. При цьому рівномірна корозія перетворюється на нерівномірну, більш небезпечну для металу.

До зовнішніх факторів корозії можна віднести хімічний склад середовища, його температуру, швидкість руху середовища щодо металу.

Хімічний склад середовища, тобто її кислотний, лужний чи нейтральний характер, є визначальними. Від концентрації H+, OH-, іонів розчинених солей, розчиненого кисню залежить перебіг анодної чи катодної реакції і навіть

розчинність продуктів корозії. Температура впливає на кінетику процесів перенесення та хімічних реакцій, швидкість яких зростає експоненційно. Підвищення температури морської води спочатку посилює корозію, а потім її швидкість знижується внаслідок зменшення розчинності кисню.

Рух середовища надає механічний та фізичний вплив на метал. Механічний сприяє видаленню продуктів корозії, а більш інтенсивніше – викликає ерозію та кавітацію. Присутність O_2 при корозії низьколегованих сталей посилює корозію, а високолегованих – навпаки гальмує її, кисень тут виступає як деполяризатор, утворюючи пасивні поверхневі плівки.

Електрохімічна корозія протікає за електрохімічним механізмом і має різноманіття видів. Найбільш поширеними серед них слід назвати корозію в електролітах. Найчастіше такий процес протікає у більшості водних розчинів. Залежно від природи середовища розрізняють кислотну, лужну, морську та інші види корозії.

Електрокорозія суден під впливом струмів витоку.

Схеми електропостачання суднових споживачів повинні забезпечувати проходження струму на судно і назад по кабелях живлення і усувати можливість відгалуження струму через корпус судна у воду. Найбільш явним та небезпечним порушенням правил електропостачання є використання однопровідної схеми електропостачання споживачів, головним чином, зварювальних робіт [2].

Контактна корозія – один із видів електрохімічної корозії, що викликається контактом металу з різним електрохімічним потенціалом. При цьому руйнується метал з більш негативним потенціалом, ніж потенціал основного металу, який при цьому не схильний до корозії.

Ряд активності металів

Зменшення потенціалу іонізації

Li, Rb,K,Ba,Sr,Ca,Na,Mg,Al,Mn,Zn,Cr,Fe,Cd,Co,Ni,Sn,Pb,H Sb,Bi,Cu,Hg…

Цей шкідливий тип корозії зустрічається в системах суднових трубопроводів, іноді він виконує позитивну роль (протекторний та електрохімічний захист корпусу судна).

Корозія металів під напругою − корозія при одночасній дії корозійного середовища та механічної напруги. Залежно від способу застосування механічних навантажень така корозія підрозділяється на корозійне розтріскування (статичні навантаження) і корозійну втому (навантаження, що циклічно повторюються). У разі застосування в агресивному середовищі ударних навантажень метал може зазнавати корозійної кавітації.

Класифікація на вигляд корозійних руйнувань.

Залежно від характеру корозійних руйнувань корозію прийнято поділяти на загальну та місцеву (табл. 1).

Загальна (суцільна) корозія поширюється на всю поверхню металу і може, своєю чергою, поділятися на рівномірну (рис. 1, а) та нерівномірну (рис. 1, б).

Місцева корозія характеризується корозійними руйнуваннями, що локалізуються на деяких певних ділянках металу, точках, тоді як решта поверхні майже не порушена корозією.

Таблиця 1 – Характер корозійних руйнувань

Загальна корозія	Місцева корозія
Рівномірна	Плями
Нерівномірна	Виразками
Виборча	Крапкова
Міжкристалітна	Підповерхнева
Пошарова	Корозійне розтріскування
	Корозійна втома
	Корозійна крихкість

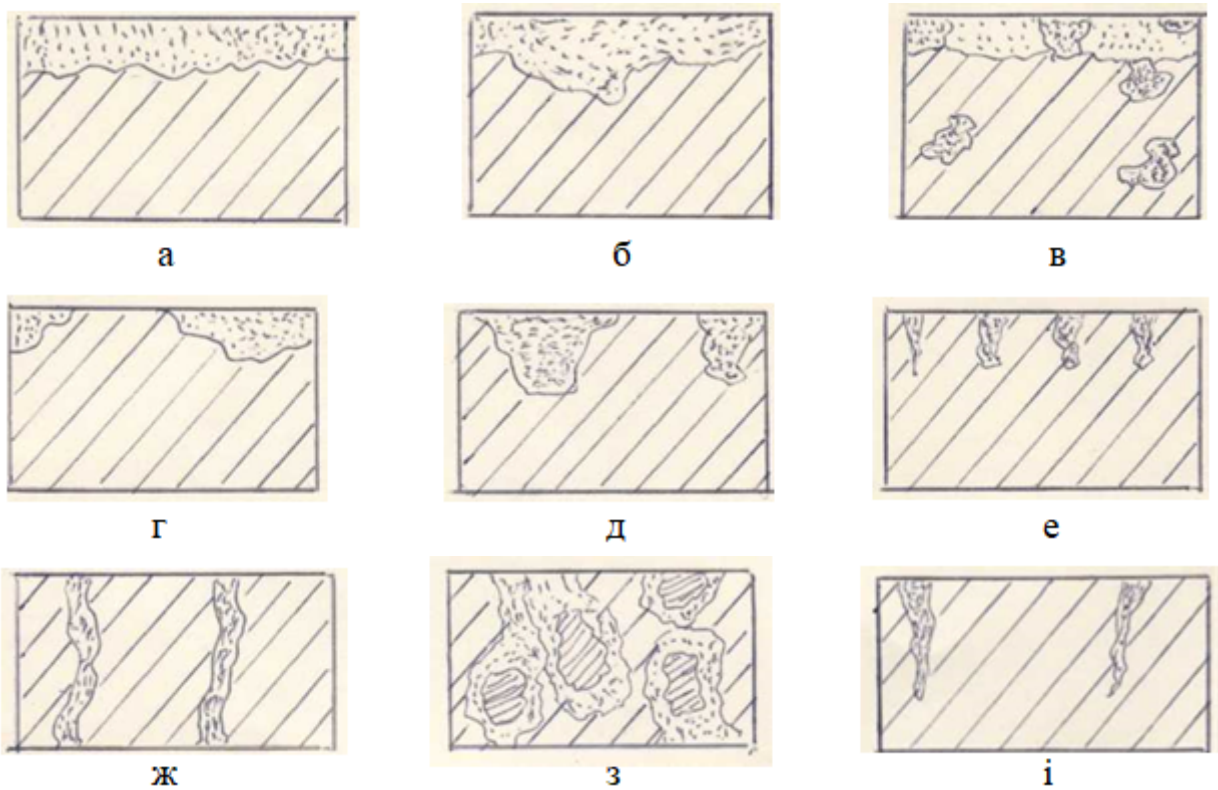

Рисунок 1 – Види корозії: а – рівномірна корозія; б – нерівномірна; в – вибіркова; г – у вигляді плям; д – виразкова; е – точкова; ж – наскрізна; з – міжкристалітна; і – розтріскування

До одного із видів суцільної нерівномірної корозії відносять виборчу корозію. Це відбувається тоді, коли з твердого металевого розчину в результаті корозії в агресивне середовище переходить один з компонентів, при цьому поверхня металу збагачується іншим компонентом.

Іншим прикладом суцільної нерівномірної корозії можна назвати міжкристалітну (рис. 1, з). При цьому відбувається вибіркове руйнування за межами кристалів, внаслідок цього при незначній зовнішній зміні поверхні металу відбувається суттєве зменшення його механічних властивостей.

Місцева корозія буває різних типів. Корозія плямами характеризується ураженням поверхні металу на окремих відносно великих ділянках та поширюється порівняно не глибоко (рис. 1, г). Виразкова – відрізняється досить глибокими локальними ураженнями на обмежених ділянках (рис. 1, д).

А точкова – зосереджена окремих точках (рис. 1, е). Поверхнева корозія починається з поверхні, але поширюється переважно під поверхню металу.

До місцевих видів корозії відносять ураження металу, спричинені корозійним розтріскуванням (рис. 1, і) та корозійною втомою. У першому випадку корозійні руйнування визначаються напрямом найбільших розтягуючих напруг статистичного характеру.

Корозійна втома спостерігається при одночасноій дії циклічних навантажень і агресивного середовища, дія яких залежно від її природи може бути як прискорюючим руйнування, так і гальмуючим цей процес, коли анодне розчинення гирла тріщини розвивається зі швидкістю, більшою темпу її поширення, під дією механічного фактора.

Місцеві типи корозії, як правило, більш небезпечні, ніж суцільна корозія, хоча кількість металу, що окислився, в першому випадку зазвичай значно менше, ніж у другому.

Корозії виразками та крапками дуже небезпечні, так як при цьому при відносно малій втраті ваги ці об'єкти стають непридатними для подальшої експлуатації.

Корозійне розтріскування та міжкристалітна корозія небезпечні для деталей, що несуть силове навантаження.

Постановка задачі. Судноплавна фірма «Вернал» звернулася до Одеського національного морського університету з проханням провести дослідження причин руйнування корпусу судна «Верес» (рік побудови – 1996). У днищі корабля у районі дизель-генераторів (225 шпангоут) виявлено течію внаслідок суцільного корозійного руйнування. Із замовником узгоджено послідовність проведення досліджень та з метою видачі рекомендацій щодо запобігання подібним руйнуванням на однотипних суднах у місцях, схильних до подібних руйнувань.

Методика досліджень. 1. Зразки для визначення хімічного складу та металографічних досліджень були вирізані у безпосередній близькості від зруйнованої ділянки корпусу (рис. 2).

а

б

Рисунок 2 – Ділянка зруйнованого корпусу в районі 225 шп.: а – з рубаної смуги шириною 12 мм та довжиною 20 мм були вирізані зразки; б – наскрізні руйнування корпусу у районі шпангоута 225 ДГ-відділення

2. Хімсклад матеріалу корпусної сталі вирізаних зразків, як показано точками на рис. 3, визначався на оптико-емісійному спектометрі – СПЕКТРО-МАКС, фірми Спектро Аналітик Інструменті (Німеччина). Нижче наведено результат визначення хімскладу досліджуваної сталі. За даними дослідження матеріалу корпусу судна відповідає марці сталі 15−20 [3].

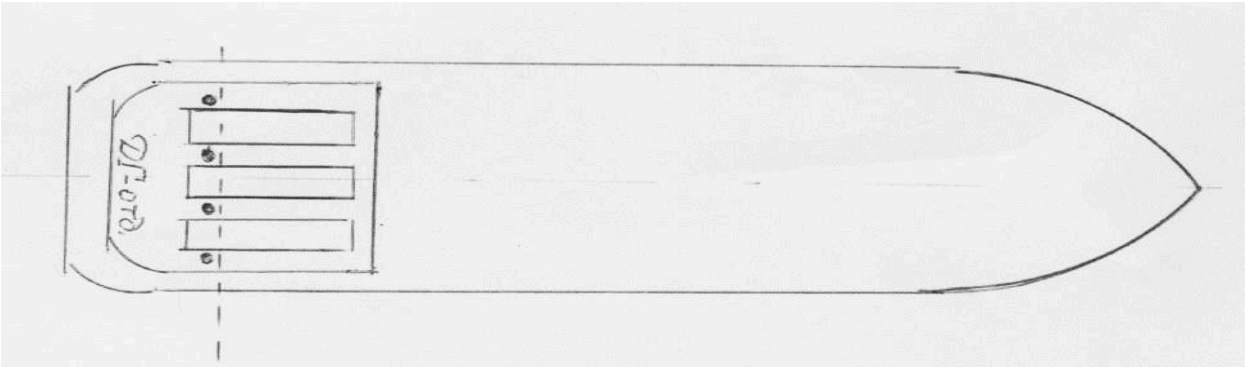

Рисунок 3 – Місця руйнування у дизель-генераторному відділенні

Дослідження характеру руйнування металу корпусу т/х «Верес». Опис корозійного стану ділянки корпусу, вирізаного з днища судна в ДГ-відділенні.

Розмір зразка 28х11х7 мм. На поверхні, що знаходилася в морській воді, загальна корозія по всій площі та місцева корозія лишає подібними плямами незначної глибини (до 0,2 мм) на 60–70 % поверхні.

Поверхня звернена всередину відсіку. Має глибокі (до 7 мм) ушкодження виразкового характеру площі 80–85 %. Виразки діаметром 2–3 мм місцями зливаються і утворюють лакуни діаметром 30–60 мм. У двох місцях лакуни зруйнували метал наскрізь; діаметр вихідних отворів на зовнішній поверхні становить 15 та 60 мм.

На 15–20 % площі внутрішньої поверхні видно ділянки 15х60 мм щільних темно-коричневих продуктів корозії, що міцно тримаються на металі у вигляді кірки. Під ними спостерігається неглибока (до 0,5 мм) виразкова корозія, тобто ущільнені продукти корозії грали деяку захисну роль, обмежуючи надходження кисню з атмосфери до металу, що знаходиться під ним. Такі кірки можуть утворитися у разі потрапляння бризок (крапель) органічної речовини, напр. дизельного палива на первинні продукти корозії на підлозі відсіку.

Металографічні дослідження для виявлення структурних особливостей поведінки металу біля пошкоджених зон. Для проведення металографічних досліджень із вирізаних у зоні руйнування зразка було виготовлено шліф. Цей метод дозволяє досліджувати будову металу, розміри, форму та взаємне розташування кристалів, а також неметалеві включення, тріщини, раковини, пори тощо. Така картина досліджується за допомогою мікроскопа у відбитому світлі МІМ-7 зі збільшенням 100–800 разів.

Наявність легкоплавкої евтектики за межами зерен призводить до того, що при нагріванні до температури прокатки (1000 ºС) сірчиста евтектика плавиться, втрачає зв'язок між зернами під впливом механічних впливів, метал руйнується внаслідок втрати зв'язку між зернами. Це явище називається червоноламкістю. Такі сталі не піддаються гарячій обробці тиском.

Так як у сталях завжди є Mn, що володіє великою спорідненістю до сірки, він руйнує сульфід заліза і утворює сульфід марганцю, що має температуру плавлення 1620 ºС і переходить в шлак. Однак деякі частинки MnS можуть залишитися у металі. Ці включення менш небезпечні, ніж FeS, т.к. сульфід марганцю, що має високу температуру плавлення (1620 ºС), при кристалізації стає твердим і є центром кристалізації. Тому він завжди присутній у вигляді включень у ферит і не порушує зв'язок між зернами.

Тому при виплавці сталі марганець вводиться для розкислення, але і для зв'язування сірки MnS, цим виключаючи червоноламкість. У структурі (рис. 4) MnS видно у вигляді сірих зерен. При деформації вони набувають витягнутої форми.

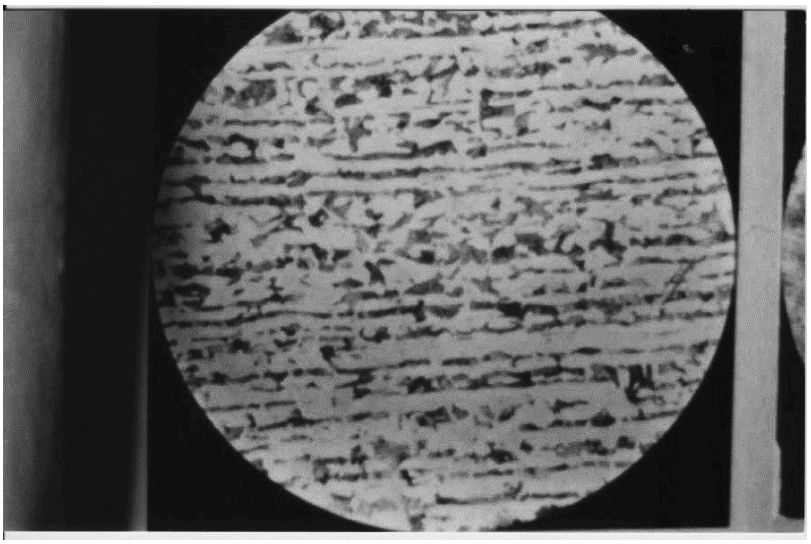

Рисунок 4 – Структура сталі в районі руйнування

Багато включень MnS і шлаків шкідливо, так як порушують загальну суцільність металу. Ці включення можуть виявитися осередками зародження корозійно-механічної руйнації.

Кисень у сталі включається у вигляді оксидів FeO, MnO, SiO_2, CaO та ін, які при виплавці сталі утворюють шлак. Сталь може бути недостатньо очищена від шлаків, тоді останні можуть зустрічатися в металі у вигляді дрібної суспензії (у феритному полі чорні точкові включення), а також досить великих включень сірого кольору, витягнутих вздовж напрямку деформації (рис. 4).

На структуру металу істотно впливає спосіб обробки нагрітої сталі, особливо під час прокатування.

Зерна фериту та перліту під впливом деформації орієнтується у напрямку прокатки, утворюючи текстуру, внаслідок чого метал має волокнисту будову.

Нерозчинні частинки, присутні у сталі при прокатці, розташовуються у напрямі прокатки як ланцюжків. При певній температурі аустеніт перейде до перліту і його зерна залягатимуть між феритними зернами, також розташовуючись в одну лінію (рис. 4). Строчність структури веде до появи різних властивостей вздовж і поперек прокатки. Причому міцність упоперек прокатки знижується на 10–15 %.

Таким чином, неметалеві включення можуть бути осередками зародження місцевого руйнування корпусної сталі. Після травлення виходить мала структура, викликана прокаткою. На властивості міцності сталі вона не впливає. Також, після травлення, виявилася структура феритно-перлітна, що відповідає марці сталі 15–20. За вмістом сірки сталь відповідає якісній вуглецевій конструкційній сталі. І за фосфором ця сталь може бути віднесена до якісної.

Внаслідок дослідження виявлено, що структура досліджуваного матеріалу не є визначальною в результатах руйнування.

Розробка методів захисту від корозії. Основні вимоги до них. Основною причиною руйнування корпусу, ймовірно, є електрохімічна корозія, спричинена наявністю агресивного середовища в машинному відділенні, та електрокорозія, спричинена недотриманням необхідних правил під час проведення зварювальних робіт на борту судна.

У суднобудуванні морському флоті застосовуються методи захисту від корозійних руйнувань, схематично наведені на рис. 5.

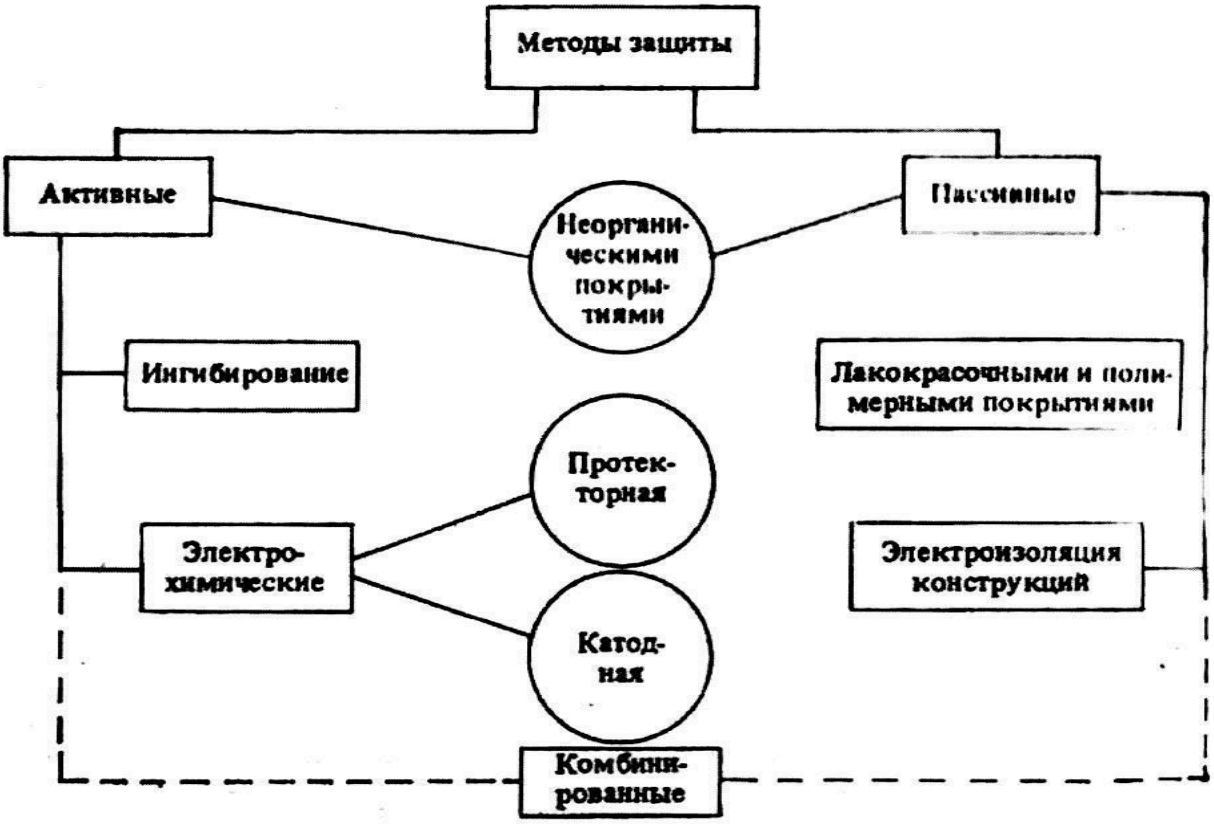

Рисунок 5 – Класифікація методів захисту від корозії

Електрохімічний захист дозволяє запобігти корозійним і корозійно-механічним руйнуванням у морській воді практично всіх конструкційних металевих матеріалів, що застосовуються в суднобудуванні, у тому числі після різних технологічних операцій їх обробки. Механізм електрохімічного захисту полягає у катодній поляризації металевої конструкції до потенціалу найбільш анодних ділянок її поверхні.

Розрізняють два різновиди електрохімічного захисту. При живленні від зовнішнього джерела (випрямляча, генератора) захист називається катодним. При підключенні до конструкції електронегативного металу (протектора) – протекторним.

Електрохімічний захист відноситься до активних методів захисту, що дозволяє контролювати його ефективність безпосередньо в процесі експлуатації. Критерієм електрохімічного захисту є потенціал металу, жорстко пов'язаний зі швидкістю корозійних та корозійно-механічних руйнувань та легко піддаються виміру.

Існують мінімальні та максимальні критерії захисту. Під мінімальними розуміють ті мінімально-допустимі значення потенціалу, у яких корозія припиняється повністю чи значно зменшується.

Максимальні критерії захисту для того, щоб виключити небезпеку водневого окрихчування, а також захисту лакофарбового покриття від руйнування воднем, що виділяється на катодно-поляризуємій поверхні металу при великих негативних значеннях потенціалу.

До можливостей кожного з методів захисту від корозії можна виділити такі узагальнені вимоги до них, що забезпечують:

− експлуатаційну надійність суден, суднових конструкцій шляхом зниження загальної швидкості корозії, запобігання виборчому характеру корозії, корозійно-ерозійних та корозійно-механічних видів руйнування;

− термін служби захисту суднових конструкцій не менше одного міжремонтного періоду та при періодичному поновленні засобів захисту до проектного терміну служби суден та суднових конструкцій;

− можливість поєднання різних методів захисту – застосування комплексних методів захисту – для досягнення необхідного зниження або запобігання корозії (рис. 5);

− доступність, технологічність та простоту здійснення методів та засобів захисту при експлуатації та ремонті суден;

− підвищення тривалості експлуатаційного періоду судів;

− високу техніко-економічну ефективність захисту від корозії, підвищення рентабельності експлуатації суден, безпеку мореплавання.

Під час експлуатації судна зовнішня та внутрішня сторони його корпусу піддавалися впливу різних середовищ: перша корродувала в аерованій морській воді, друга – у газовій атмосфері під впливом вологи, кисню та вуглекислого газу. В обох випадках основним компонентом окислення металу був кисень, тобто здійснювалася електрохімічна корозія з кисневою деполяризацією:

$4Fe + 3O_2 + H_2O = F_2O_3 \times H_2O$ − на повітрі;

$2Fe + O_2 + 2H_2O = 2Fe(OH)_2$ – у воді.

Незначна корозія сталі у воді дозволяє припустити застосування ефективних протекторів. Шар іржі в повітряній атмосфері крихкий і пористий і не захищає маловуглецеву сталь від подальшого іржавіння. Зазвичай таких сталей характерна загальна корозія з нечисленними локальними ушкодженнями невеликої глибини [1–3]. Руйнівна наскрізна корозія пов'язана із забрудненням продуктів корозії нафтопродуктами (дизпаливом), які нерівномірно потрапляють на метал. У нашому зразку на внутрішній стороні таких ділянок (глибиною 0,2–0,5 мм) не більше ніж 20 %. На решті поверхні глибокі та наскрізні ушкодження, мабуть, формувалися за нестандартних умов аерації різних ділянок. Нафтопродукти, просочуючи пухкі оксиди заліза, ущільнювали його, створюючи непроникну кисню кірку і підвищуючи потенціал металу під собою. На інших ділянках вологі пухкі продукти корозії не були бар'єром для кисневої деполяризації, набували більш негативного потенціалу. Така наявність ділянок з різною аерацією призвела до виникнення короткозамкнутих гальванічних пар протягом усього періоду збереження цих зон. Робота гальванічних пар посилюється за підвищених температур і прискорює руйнування незахищених кіркою ділянок. Через деякий час руйнування захопило всю товщину листа сталі і у виразку почала надходити вода, вимиваючи в морі продукти корозії цієї виразки, оголюючи поверхню металу і прискорюючи руйнування. Надходження води до ДГ-відділення збільшило вологість повітря та прискорило роботу описаних гальванопар.

Висновки. Проаналізувавши літературні джерела захисту морських суден від корозії та провівши дослідження стану ділянки корпусу, вирізаного з днища т/х «ВЕРЕС» в зоні руйнування ДГ-відділення, можна зробити наступні висновки:

1. Металографічні дослідження показали, що структура досліджуваного матеріалу не є визначальною у результатах руйнування.

2. Виявлено, що основною причиною руйнування корпусу є:

− електрохімічна корозія, спричинена наявністю агресивного середовища у ДГ-відділенні;

− електрокорозія, що виникла внаслідок можливого недотримання необхідних вимог проведення зварювальних робіт на борту судна;

− порушення суцільності лакофарбового захисного покриття в зоні руйнування.

Рекомендації. 1. Для захисту від електрохімічної корозії небезпечну зону корпусу у ДГ-відділенні обробити спеціальним покриттям, включаючи прилеглу зону 225 шпангоуту. Покриття призначене для холодного цинкування металевих конструкцій і є металополімерним складом на основі високоактивного наповнювача зі спеціальною дендритною формою частинок. Цей склад наноситься на поверхню металу, що захищається, без попередньої абразивноструменевої обробки (тонкі шари окалини та іржі не перешкоджають його захисній дії). Для збільшення терміну служби покриття бажано поверхню металу зони, що захищається, перед обробкою зачистити і знежирити.

Пропоноване покриття має протекторну дію, характерну для гарячого та гальванічного покриттів та забезпечує (при двошаровому нанесенні)

багаторічний протекторний захист від корозії сталей в агресивних середовищах (більше 10 років). Після нанесення захисного металополімерного складу на металеву поверхню пропонуємо нанести декоративне покриття на основі кремнеорганічного лаку.

2. Кардинальним способом запобігання витоку струму з корпусу судна у воду є встановлення джерела струму зварювальних робіт безпосередньо на судні або використовувати електропостачання судна від джерела зварювального струму, розташоване на березі за двопровідною схемою. Схема, при якій забезпечена надійна ізоляція полюсів джерела струму та кабелів від заземлювальних пристроїв та надійний контакт зворотного дроту з корпусом судна, повністю виключать можливість проходження струму через корпус судна та його руйнування.

3. Рекомендується періодично – раз на півроку, з профілактичною метою проводити візуальний огляд стану суцільності захисного покриття зон ризикованої поведінки металу корпусу.

4. В експлуатації необхідно приділяти серйозну увагу надійній роботі щіткового пристрою в системі заземлення гребного валу на корпус. Під час проведення зварювальних робіт необхідно перевіряти надійність заземлення обладнання.

У дизель-генераторному відділенні корпуси генераторів повинні бути надійно заземлені, як і решта електрообладнання.

Резюме. Використовуючи результати цього дослідження та рекомендації щодо усунення причин корозійної руйнації, т/х «ВЕРЕС» було відремонтовано на заводі № 13 Об'єднання «Севастопольський морський завод» та успішно експлуатується дотепер.

ЛІТЕРАТУРА

1. Богорад И. Я. и др. Коррозия и защита морских судов. Л.: Судостроение, 1973. 187 с.
2. Люблинский Е. Я., Пирогов В. Д. Коррозия и защита судов. Справочник. Л.: Судостроение, 1987. 37 с.
3. Блинов И. С. Справочник технолога. М.: Транспорт, 1979. 387 с.

Кобзарук Олександр Васильович *к.т.н., професор, доцент кафедри «Технологія матеріалів», Одеський національний морський університет.*

Шамов Олексій Володимирович *директор Навчально-наукового інституту морського флоту, доцент кафедри «Технологія матеріалів», Одеський національний морський університет.*

Смажило Богдан Васильович *доцент ОНМУ, доцент кафедри «Технологія матеріалів», Одеський національний морський університет.*

Бабінець Валерій Іванович *супервайзер Іллічівського судноремонтного виробництва.*