


ОДЕСЬКИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ
і м. М.В. ЛОМОНОСОВА

На правах рукопису

ВОРОНІН Віктор Павлович



ОПІР КОНСТРУКЦІЙНИХ СУДНОБУДІВНИХ СТАЛЕЙ
КОРОЗІЙНО-МЕХАНІЧНОМУ РУЙНУВАННЮ
У МОРСЬКІЙ ВОДІ

05.17.14 - хімічний опір матеріалів
і захист від корозії

А в т о р е ф е р а т
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса - 1993

Робота виконана у Фізико-механічному інституті ім. Г.В.Карпенко АН України і Одеському технологічному інституті харчової промисловості ім. М.В. Ломоносова.

Науковий керівник - доктор технічних наук, професор
Петров Леонід Микитович

Науковий консультант - кандидат технічних наук
Олик Анатолій Петрович

Офіційні опоненти: - доктор технічних наук,
старший науковий співробітник,
Кострицький Анатолія Ігоревич

- кандидат біологічних наук,
старший науковий співробітник
Цокур Олександр Григорович

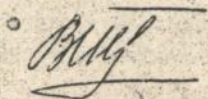
Провідна організація - Чорноморський проектно-розвідувальний та науково-дослідний інститут морського транспорту "ЧорноморНДІ-проект" /м. Одеса/.

Захист відбудеться 31 серпня 1993 р. о 10³⁰ годині на засіданні спеціалізованої ради К 068.35.04 в Одеському технологічному інституті харчової промисловості ім. М.В.Ломоносова, 270039, м. Одеса, вул. Свердлова, 112.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Одеського технологічного інституту харчової промисловості ім. М.В. Ломоносова.

Автореферат розісланий 19 липня 1993 р.

Вчений секретар
спеціалізованої ради
к.т.н., доцент



В.М. Тищенко

ЛНБ України ім.В.Стефаніка



00802907 (Q)

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність проблеми. Корозійні пошкодження металевих матеріалів у морській воді відбуваються внаслідок впливу на них абіотичних і біотичних факторів. При цьому, коли розглядається проблема корозії в умовах моря, зокрема корозійні руйнування метала під впливом мікро- і макроорганізмів, рідко враховується механічний фактор, який супроводжує, як правило, роботу морських бурових платформ, транспортних засобів, гідротехнічних споруд. Сумарний вплив на матеріал живих організмів та продуктів їх життєдіяльності, агресивних факторів абіотичного середовища, а також статичних та циклічних механічних напружень створює умови, коли матеріал підлягає дії складних біокорозійно-механохімічних процесів, які у комплексі визначають його опір руйнуванню.

Інформація про вплив живих організмів та їх метаболітів на опір конструкційних сталей корозії під механічними напруженнями надто обмежена. У літературі практично відсутні відомості, які торкаються впливу біогенного наводнення у морській воді на процеси деформації та руйнування сталей при низькошвидкісному статичному навантаженні, відсутні чіткі уявлення про механізм корозійного розтріскування у морській воді під шаром обросту. При дослідженні деформаційних процесів в металевих матеріалах недостатньо уваги приділено впливу швидкості деформації на схильність сталей до водневої крихкості, коли метал підлягає електролітичному чи біогенному наводненню.

Мета роботи – дослідження процесів низькошвидкісної деформації і руйнування конструкційних суднобудівних сталей при впливі абіотичних і біотичних факторів морської води.

В цьому зв'язку у роботі поставлені такі завдання:

1. Розробити методiku і установки для прискореної оцінки біокорозійно-механічної стійкості конструкційних сталей.
2. Вивчити характер і особливості деформації та руйнування конструкційних сталей при низькошвидкісних корозійно- і біокорозійно-механічних випробуваннях у морській воді та її аналогах.
3. Сформулювати основні положення механізму біокорозійно-механічного руйнування конструкційних сталей у морській воді.
4. Розробити практичні рекомендації по захисту сталей від біокорозійно-механічного руйнування у морській воді.

Наукова новизна:

- показано, що експлуатаційні характеристики сталевих конструкцій в морі визначаються не тільки видом і рівнем механічного навантаження, але також і біокорозійним фактором, який істотно впливає на зародження і розвиток тріщин;

- встановлено, що сульфатвідновлюючі бактерії, які розвиваються під шаром морських оброшувачів, інтенсифікують електрохімічну корозію і наводнення напружених ділянок металу, знижуючи його опір біокорозійно-механічному руйнуванню;

- запропоновано механізм зародження і розвитку біокорозійно-механічних тріщин в сталевих конструкціях, які мають експлуатуватися в умовах їх інтенсивного обростання.

Практична цінність роботи:

- створено комплекс методів випробувань металевих матеріалів на схильність до корозійного розтріскування у морській воді, у тому числі в умовах їх інтенсивного обростання /А.с.СРСР № І696970/;

- запропоновано метод оцінки механічної стійкості лакофарбних покриттів у морській воді в умовах інтенсивного обростання поверхні; розроблено комплексний метод підвищення корозійно-механічної стійкості сталей у морській воді;

- отримано комплекс даних про корозійно- і біокорозійно-механічну стійкість суднобудівних сталей у морській воді.

Загальний економічний ефект від впровадження результатів досліджень становить І67 тис. крб. у цінах І990 р.

На захист вносяться:

- комплекс методів випробувань конструкційних сталей і лакофарбних покриттів на стійкість проти розтріскування у морській воді з обрахуванням біогенної активації корозії і наводнення;

- дані стійкості конструкційних суднобудівних сталей з різним рівнем міцності проти корозійного розтріскування у морській воді та її аналогах; отримані дані можуть бути використовані при проектуванні морських об'єктів;

- дані з кінетики зародження і розвитку корозійно-механічних тріщин у морській воді в умовах наростаючого напруження;

- механізм біокорозійно-механічного руйнування конструкційних сталей при низькошвидкісній деформації у природній морській воді.

Апробація роботи

Основні результати роботи доповідані на У Республіканській конференції "Корозія металів під напруженням і методи захисту" /м. Львів, 1989 р./, IV Республіканській конференції "Підвищення надійності і довговічності машин і споруд" /м. Одеса, 1991 р./, Всесоюзній конференції "Проблеми корозії і захисту сплавів металів і конструкцій у морському середовищі" /м. Владівосток, 1991 р./, Конгресі "Захист-92" /м. Москва, 1992 р./, на наукових семінарах Відділу морської корозії металів Фізико-механічного інституту ім. Г.В.Карпенко АН України.

Публікації

Основні положення дисертації відображені у 23 опублікованих роботах.

Структура і обсяг роботи

Дисертація складається із вступу, 4-х глав, загальних висновків і додатка. Містить III сторінок машинописного тексту, 52 малюнки, 13 таблиць, список використаної літератури з 113 найменувань.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність проблеми, сформульовані мета та завдання досліджень, викладені основні наукові положення і результати, які вносяться до захисту.

У першій главі викладені сучасні уявлення про роль біофактора в процесі морської корозії металів і, зокрема, в їх наводнюванні, що визначає в кінцевому підсумку корозійно-механічну стійкість сталей і конструкцій. Узагальнені відомості про явище водневої крихкості, яке виявляється при корозійних процесах. В наслідку аналізу стану питання сформульовані основні завдання цієї роботи.

Друга глава містить відомості про використані в роботі методи досліджень, а також характеристики корозійних середовищ і конструкційних сталей, які були використані при випробуваннях. Обґрунтоване застосування низькошвидкісних випробувань, які дозволяють деформувати зразки в інтервалі швидкостей деформації 10^{-5} - 10^{-7} с⁻¹. Для реалізації метода випробувань з постійною швидкістю деформації на базі серійних випробних машин створені установки, які забезпечують плавне навантаження зразків у широкому діапазоні швидкостей. У низькошвидкісних випробуваннях на розтяг застосовано метод акустичної емісії.

Викладені розроблені дисертантом нові методичні підходи для випробувань конструкційних сталей з постійною швидкістю деформа-

ції в корозійно-агресивних середовищах, які враховують внесок рівномірної і зосередженої складових пластичної деформації у процес корозійного розтріскування.

Запропоновано метод прискореної оцінки схильності конструкційних сталей до корозійного розтріскування і водневої крижкості.

При реалізації акустично-емісійного контролю матеріалів і корозійного біологічно-активного середовища на різних стадіях їх дослідження в лабораторних умовах була змодельована екстремальна несприятлива ситуація, яка може виникнути при експлуатації конструкції в природних умовах моря. В результаті було розроблено спосіб випробувань металів на біокорозійно-механічну стійкість у морській воді /А.с. СРСР № І696970/.

Запропоновано метод оцінки механічної міцності і кінетичних особливостей руйнування захисних лакофарбних покриттів у морській воді. Він дозволяє проводити порівняльну оцінку стійкості різних систем лакофарбних покриттів у морській воді, зокрема за допомогою кількісного критерія ρ :

$$\rho = \frac{\sigma_p}{\sigma_B}$$

де σ_p - напруження основного матеріалу /металу/ при розтріскуванні покриття, МПа;

σ_B - тимчасовий опір основного матеріалу /металу/, МПа.

Основними матеріалами досліджень були конструкційні суднобудівні сталі: вуглецева типу ВСт.Зсп, низьколеговані типу ІОХСНД, О9Г2, О972С, АБ-2Ш і леговані типу ІОХН2Мф, І2ХН4Мф, І2ХН3Мф, І5ХН5Мф. Зразки виготовляли з картки листового прокату після усіх технологічних операцій.

Дослідження виконували в природній морській воді акваторії Одеської затоки, водних розчинах 3 %-ного *NaCl* і 3,5 %-ного *NaCl*, водному розчині 3 %-ного *NaCl* з *F₂O₂* і *NaF*, який прискорює процес корозійного розтріскування, а також в біологічно-активному середовищі, створеному на основі такого активного природного субстрату, як морський мул. Таке середовище модулює умови, що можуть виникати під шаром оброщувачів у природній морській воді.

У третій главі подані результати досліджень корозійно-механічної стійкості суднобудівних сталей при їх низькошвидкісній деформації у морській воді. Показано, що для *Cr-Ni-Mo* сталей

при зменшенні швидкості деформації при випробуваннях у водному розчині 3 %-ного *Nacc* вплив корозійного середовища збільшується, що виявляється в зниженні пластичних властивостей матеріалу / ψ , δ^b /, в утворенні тріщин в районі шийки /зосереджена деформація/ і асиметричності зон злому після розриву. Зіставлення оптичних і електронних фрактограм зломів випробуваних зразків дало змогу встановити, що при утворенні корозійних тріщин на поверхні шийки відбувається переорієнтація поверхні зрізу внаслідок різкої зміни напруженого стану металу в зонах тріщин, що також підтверджується відсутністю симетрії зон зломів. При випробуванні зразків усіх досліджених сталей розтягом у повітрі незалежно від швидкості деформації у діапазоні 10^{-3} - 10^{-7} с⁻¹ руйнування було в'язким з чашковим зломом.

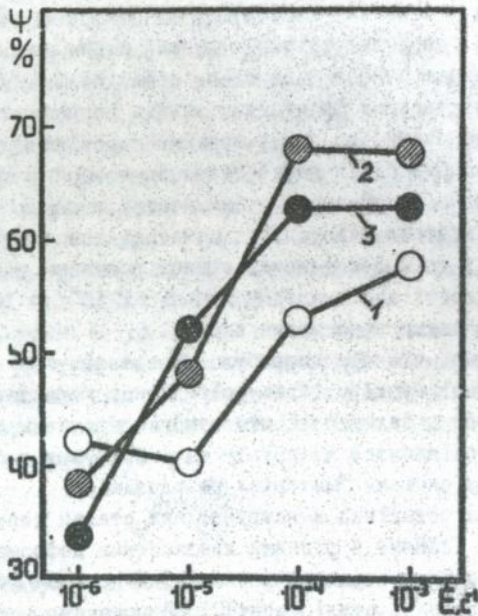
Встановлено, що при випробуванні зразків з низькими швидкостями деформації у корозійному середовищі характер руйнування може змінюватися в залежності від самого середовища, швидкості деформації, дослідженого матеріалу та інших умов випробувань, тобто від стану системи "матеріал-середовище".

Досліджена поведінка конструкційних сталей типу ВСт.Зсп., ІОХСНД, О9Г2 і І2ХН4МФ з різними швидкостями деформації і з катодною поляризацією у водному розчині 3 %-ного *Nacc* і у морській воді. На прикладі сталі типу ІОХСНД показано, що пластичні властивості / ψ , δ^b / матеріалу помітно зменшуються при зрушенні потенціалу у катодну область на 0,35 В. У зв'язку з цим при випробуваннях інших сталей варіюваним показником була швидкість деформації / $\dot{\epsilon}$ /, а зрушення потенціалу у катодну область залишалось незмінним і дорівнювало 0,35В.

Встановлено, що для сталей типу ВСт.Зсп., ІОХСНД і О9Г2 верня порогова швидкість деформації / $\dot{\epsilon}$ /, при якій пластичність сталей знижується, дорівнює $\dot{\epsilon} = 1,5 \cdot 10^{-5}$ с⁻¹ /мал. І/.

При цьому тимчасовий опір / σ_b / залишається практично на одному рівні.

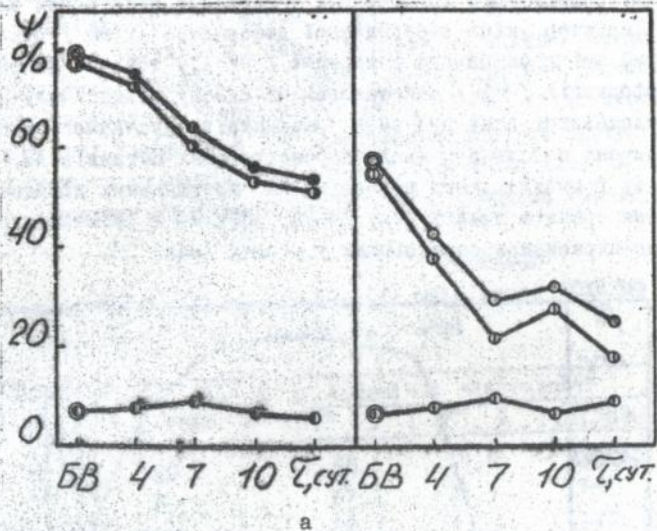
Вивчені кінетичні особливості деформації і руйнування зразків сталі І2ХН4МФ у морській воді, у тому числі з катодної поляризацією. Кінетичні дослідження показали і підтвердили, що при $\dot{\epsilon} = 1,5 \cdot 10^{-5}$ с⁻¹ схильність сталі І2ХН4МФ до розтріскування зростає при зміні потенціалу від потенціалу корозії до потенціалів катодної області.



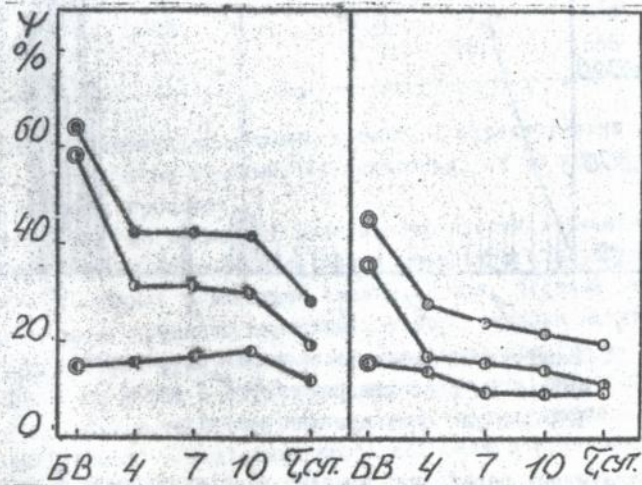
Мал. 1. Зміна відносного звуження зразків сталей ВСт.Зсп. /1/, ОСт.2 /2/ і ІОХСНД /3/ після розриву у залежності від швидкості деформації $\dot{\epsilon}$ у розчині 3 %-ного NaCl при катодній поляризації.

Проведено ряд послідовних експериментів з метов вивчення схильності до водневої крихкості зразків сталей типу ІОХСНД, АБ-2Ш і ВСт.Зсп. у середовищі, яке містить живі організми, що продуцують водень. Показано, що для сталі типу ІОХСНД вплив біологічно активного середовища у максимальному ступені виявляється у перші 15 діб її вирівання.

Встановлено, що для сталей типу АБ-2Ш і ВСт.Зсп. катодна поляризація при деформуванні матеріалу у біологічно активному



а

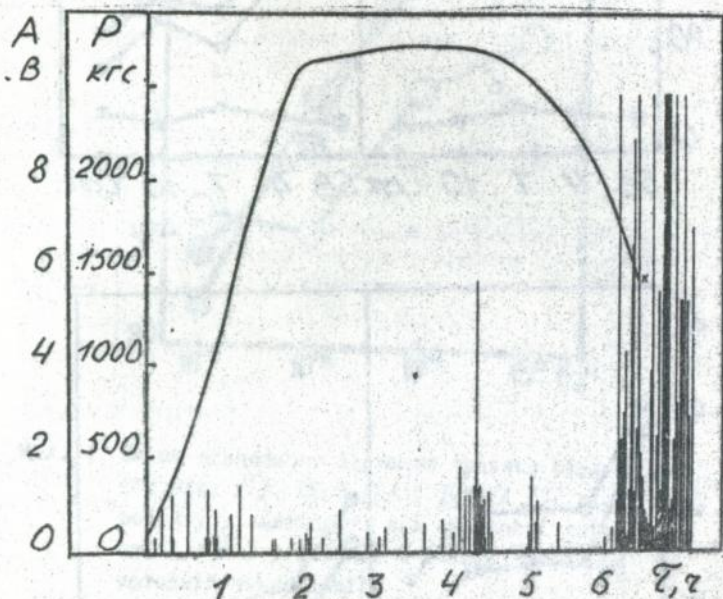


б

Мал. 2. Характер зміни рівномірної /●/ і зосередженої /●/ складаючих відносного звуження зразків сталей АБ-2Ш /а/ і ВСт.Зсп. /б/ після випробувань у морському біосередовищі різної активності /●/, у тому числі з катодною поляризацією /▨/.

середовищі сприяє його крихкості і знижуванню пластичних властивостей. Характер зміни зосередженої деформації / ψ_c / при цьому ідентичний зміні основного показника / ψ /, у той час як рівномірна деформація / ψ_p / залишається на одному рівні /мал. 2а, б/.

Представлені дані про зміну параметрів акустичної емісії /АЕ/, зокрема загального числа зареєстрованих сигналів АЕ, їх активності і амплітудного розподілу на завершальних ділянках деформування зразків сталей типу АБ-2Ш, І2ХН3МФ і І2ХН4МФ в різних корозійно-агресивних середовищах і умовах /мал. 3/.



Мал. 3. Амплітудний розподіл сигналів акустичної емісії на фоні діаграми " ρ - τ " сталі І2ХН3МФ для циліндричних зразків.

У корозійному середовищі швидкий ріст активності і амплітуд сигналів АЕ незадовго до розриву деформованого зразка відбувається за рахунок утворення тріщин з поверхні зразка і мікророзривів у найбільш вузькому перетині.

У четвертій главі викладені дані про вплив морської води на механічні властивості сталей типу ІОХН2МФ, О7ХІ6Н6, І2Х2ІН5Т,

І2ХІ8НІ0Т та їх зварних з'єднань після тривалої експозиції в не-напруженому стані у морі під шаром біообросту. Показано, що біогенне наводнення зразків під шаром обросту не впливає на характеристики граничної пластичності сталі ІОХН2МФ при короточасних випробуваннях на розтяг. Встановлено /табл. І/, що після експозиції зразків у морі тривалість 970 діб спостерігається поступове, починаючи з першого підняття, зниження відносного здовження δ %, а починаючи з четвертого підняття – незначне зниження тимчасового опору $\sigma_{0.2}$ / $\sigma_{0.2}$ /.

Таблиця І

Результати механічних випробувань зразків сталі ІОХН2МФ після тривалої експозиції їх у морі

№ підняття	Тривалість експозиції у морі, доби	Механічні властивості		
		ψ , %	δ , %	$\sigma_{0.2}$, МПа
1	20	68,4	17,8	753
2	86	67,2	16,1	766
3	148	70,5	15,5	747
4	425	71,8	13,2	684
5	726	72,0	11,4	688
6	971	72,3	10,6	666

Причиною зниження зазначених в табл. І характеристик являється біокорозія, а не біогенне наводнення, як це має місце при деформаційних процесах.

Встановлено, що механічні властивості плоских зразків корозійностійких сталей не змінились після двохрічного перебування у морі при порівнянні з вихідним станом. Проте частина зварних зразків в процесі тривалої експозиції у морі зазнала міжкристалітного корозійного руйнування без прикладання зовнішніх навантажень. Причиною цього є структурні перетворення, які відбулися в результаті впливу температури у процесі зварки, тобто в результаті сенсифікації – виділення карбідної фази з міжповерхневих меж аустенітних зерен.

Механічні випробування зварних зразків, після тривалої експозиції у морі, показали, що руйнування відбувалося, в основному, у зонах термічного впливу, а вихідні зразки руйнувались по зварним швам.

Запропоновано механізм біокорозійно-механічного руйнування конструкційних сталей при низькошвидкісній деформації у природній морській воді. Показано, що морське обростання, формувачі під плівок на поверхні сталі колонії анаеробних бактерій, створює умови для надходження у метал автокаталізатора руйнування – водню. Наводнення металу стимулює процес зародження і розвитку тріщин, що приводить до його руйнування. Процес руйнування сталей від корозії під напруженням у морській воді, таким чином, є процесом біоавтокаталітичним.

На базі отриманих результатів рекомендовано комплексний метод захисту сталей від біокорозійно-механічного руйнування у морській воді. Зокрема застосовано раціональний режим виплавки і очистки сталей у комплексі із захистом їх лакофарбовими покриттями.

Зміст першого етапу захисту полягав у тому, що сталі типу ВСт.Зсп., ІОХСНД і О9Г2 після конверторної виплавки рафінували у ковші синтетичними шлаками, в результаті чого концентрація сірки у сталі відповідала 0,003–0,005 %. Наприклад, при випробуванні сталі типу ІОХСНД дослідної виплавки /А/ з низьким змістом сірки і звичайної промислової виплавки /Б/ у біологічно активному середовищі в період його максимальної активності більш високий рівень пластичності / ψ, δ / дослідної сталі дозволяє їй краще протистояти дії агресивного біосередовища /табл. 2/.

Таблиця 2

Опір сталі типу ІОХСНД дослідної /А/ і промислової /Б/ виплавки біокорозійно-механічному руйнуванню

Технологія виплавки	Тривалість експозиції у БАС, доби	Швидкість деформації, $\dot{\epsilon}, \text{с}^{-1}$	Механічні властивості			
			ψ %	δ %	σ_B МПа	σ_K МПа
А	II	$9,70 \cdot 10^{-7}$ короткочасно	62,1	22,8	566	-
			78,0	26,9	625	1604
Б	II	$9,51 \cdot 10^{-7}$ короткочасно	37,7	16,2	576	-
			58,8	22,9	628	III9

Запропоновано на другому етапі захисту використовувати кремнійорганічне /КО/ покриття, яке має цілий ряд переваг перед іншими системами покриття. У цьому дослідженні основна увага, з

урахуванням пред'явлених вимог, була приділена ізолірувчим і, особливо, адгезійно-когезійним властивостям КО-покрить.

Показано, що покриття на кремнійорганічній основі типу КНН-4І2 і КО-52 на сталях марки І2ХН3Мф, ІОХН2Мф, О9Г2, ІОХСНД і АБ-2Ш, при дотриманні технологічних умов їх нанесення, мають достатню суцільність і адгезійно-когезійну міцність у морській воді і біологічно активному середовищі. Для порівняння проведені дослідження відомої лакофарбної системи покрить ХС-4І3 і ХВ-5243, яка застосовується для захисту підводної частини корпусів судів. Визначені кінетичні особливості деформації і руйнування лакофарбних покрить згідно з методикою, яка розроблена автором.

Встановлено, що в процесі деформації лакофарбного покриття спільно з металевим підложком відбувається зміна міцності його адгезійно-когезійних зв'язків, які обумовлюють бар'єрні властивості покриття і виявляються в коливанні потенціалу матеріала підложки. Побудовані сполучені залежності "навантаження /Р/ - час / τ / і "потенціал / φ / - час / τ / для указаних лакофарбних покрить.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Розроблено комплекс методів випробувань конструкційних сталей на схильність до корозійного розтріскування з постійною швидкістю деформації /квazістатичне навантаження/ у морській воді з урахуванням біогенної активації корозії і крихкого наводнення /А.с. СРСР № І696970/. На базі розроблених методів спроектовані і виготовлені три експериментальні випробувальні установки /А.с. СРСР № І629794/.

2. Запропоновано метод оцінки механічної стійкості лакофарбних покрить на зразках, які підлягають квazістатичному навантаженню у морській воді. Він дозволяє визначити порогові напруження і деформації, при яких виникають порушення суцільності покрить.

3. Встановлено, що тривала експозиція конструкційних сталей у морі, в умовах інтенсивного обростання їх поверхні, викликає нерівномірну електрохімічну поверхневу корозію, проте тріщини в матеріалі у відсутності механічних напружень не виникають.

4. Показано, що сульфатвідновлювачі бактерії, які розвиваються у морській воді під шаром обростувачів, інтенсифікують електрохімічну корозію і біогенне наводнення навантаженого металу, окрихчують його і сприяють зародженню і розвитку у ньому корозій-

но-механічних тріщин. Останні розвиваються внаслідок функціонування на металі специфічних корозійних біоводневих гальванічних елементів.

5. Проведені дослідження стійкості ряду суднобудівних сталей проти корозійного розтріскування у морській воді з використанням розроблених методів. Показано, що корозійно-механічні тріщини виникають в зоні зосередженої деформації /шийка зразка/, а по вигляду злому зразка після розриву можна судити про схильність сталі до корозійного розтріскування.

6. Запропоновано комплексний метод підвищення корозійно-механічної стійкості сталей, які експлуатуються у морській воді в умовах інтенсивного обростання їх поверхні.

7. На підставі результатів проведених досліджень визначені корозійно-механічні характеристики сталей типу ВСТ.Зсп., 09 Г2, ІОХСНД, І2ХН4МФ, АБ-2Ш у морській воді. Отримані дані можуть бути використані при проектуванні морських бурових платформ, які встановлюють у морських ілістих ґрунтах, де інтенсивно відбувається обростання поверхні і функціонують сульфатвідновлювачі бактерії.

Основний зміст дисертації викладено у роботах:

1. Применение акустической эмиссии в исследованиях коррозионного растрескивания /К.И.Кириллов, А.Н.Магденко, В.П.Воронин, В.И.Несмашный // Физ.-хим. механика материалов. - 1980. - № 1. - С.115-117.

2. О некоторых причинах коррозионных повреждений сварных соединений нержавеющей сталей типа І2ХІ8НІ0Т и 07ХІ6Н6 /А.Ю.Шульте, И.И.Силаев, В.И.Холодный, В.П.Воронин //Физ.-хим. механика материалов. - 1982. - № 2. - С. 101-103.

3. Воронин В.П., Шульте А.Ю., Томкин Ю.В. К оценке коррозионно-механической прочности стали типа І5ХН4ДМФ //Физ.-хим. механика материалов. - 1983. - № 5. - С. 114-116.

4. О взаимосвязи механических и коррозионно-механических характеристик стали типа І2ХН4МФ / В.П.Воронин, В.А.Маслов, Ю.В.Томкин и др. // Физ.-хим. механика материалов. - 1985. - №3. - С.64-68.

5. К методике испытаний металлических материалов на коррозионное растрескивание /В.П.Воронин, Н.И.Барба, Ю.В.Томкин, В.А.Маслов //Физ.-хим.механика материалов. - 1986. - № 2. - С. 114-116.

6. Усовершенствование машин МР-0,05 и УМЗ-І0ТМ для испытаний металлических материалов на коррозионное растрескивание /Н.И.Барба, В.П.Воронин, Ю.В.Томкин, В.А.Маслов //Заводская лаборатория.-1986.-

№ II. - С. 69-72.

7. К вопросу о межкристаллитной коррозии сварных соединений коррозионностойких сталей /В.П.Воронин, В.А.Маслов, А.Ю.Шульте и др.// Физ.-хим. механика материалов.- 1986.- № 6. - С. 96-99.

8. Применение метода ускоренных испытаний с постоянной скоростью деформации для выявления склонности конструкционной стали к коррозионному растрескиванию /В.П.Воронин, В.Н.Малышев, В.А. Масло и др. //Судостроительная про-сть. - Сер. Металловедение. Металлургия. - 1986. - Вып. 2. - С. 46-49.

9. О выборе условий для ускоренных испытаний хромоникельмолибденовой стали на коррозионное растрескивание /В.П.Воронин, А.Ю.Шульте, Л.В.Шкляр, Ю.В.Сухинин //Львов, 1987. - II с. - Деп. в ВНИИТИ 15.01.87, № 335-887.

10. О влиянии масштабного фактора на статическую коррозионно-механическую прочность низколегированной стали 09Г2 /А.Ю.Шульте, В.П.Воронин, В.А.Маслов и др. //Физ.-хим. механика материалов.- 1988. - № 3. - С. 27-31.

11. Производство конверторной стали с повышенной хладостойкостью /А.Ю.Шульте, В.А.Маслов, В.П.Воронин и др.//Сталь. - 1988. - № 12. - С. 24-27.

12. Шульте А.Ю., Воронин В.П., Маслов В.А. Технологические аспекты коррозионно-механической прочности конструкционной хромоникельмолибденовой стали ХН4ДМФ //Физ.-хим. механика материалов. - 1989. - № 2. - С. 110-112.

13. Защита конструкционных судостроительных сталей от коррозии под напряжением /А.Ю.Шульте, В.П.Воронин //Коррозия металлов под напряжением и методы защиты: Тез. докл. У Республ. конф. - Львов. - 1989. - С. 24.

14. О влиянии биологически активной среды на прочность и пластичность конструкционных сталей / В.П.Воронин, Н.А.Степанюк, Н.И.Цокур, Ю.В.Сухинин //Физ.-хим. механика материалов. - 1989.- № 6. - С. 110-111.

15. Об акустико-эмиссионном контроле коррозии под напряжением конструкционных сталей /В.П.Воронин, А.Ю.Шульте, Ю.В.Сухинин и др.// Физ.-хим. механика материалов. - 1990. - № 2. - С.115-117.

16. Воронин В.П. Ускоренный метод оценки чувствительности конструкционных сталей к водородному охрупчиванию //Физ.хим. механика материалов. - 1991. - № 1.- С. 40-43.

17. Морская коррозия и проблемы биомеханохимического вопро-

тивлений материалов /А.С.Еськов, Н.А.Степанок, В.П.Воронин //Повышение надежности и долговечности машин и сооружений: Тез докл. IV Республ. конф. - Одесса. - 1991. - С. 81-83.

18. А.с. I629791 СССР МКИ³ & ОI/M 3/06. Устройство к испытательной машине для регистрации разрушающей нагрузки /В.П.Воронин, В.И.Лукашенко.- Опубл. 23.02.91, Бюл. № 7.

19. О некоторых методических особенностях контроля активности среды при биокоррозионно-механических испытаниях /Н.А.Степанок, В.П.Воронин, К.И.Кириллов //Повышение надежности и долговечности машин и сооружений: Тез. докл. IV Республ. конф. - Одесса. - 1991. - ч. П. - С. 88-89.

20. А.с. № I696970 СССР МКИ³ & ОI/M I7/00. Способ испытания металлов на биокоррозионно-механическую прочность в морской воде /В.П.Воронин, Н.А. Степанок и К.И.Кириллов. - Опубл. 07.12.91, Бюл. № 45.

21. Исследование защитной способности систем лакокрасочных покрытий при коррозионно-механических испытаниях в морской воде /В.П.Воронин, В.Ф.Князева, Л.И.Степанок, С.П.Скляр //Повышение надежности и долговечности машин и сооружений: Тез. докл. IV Республ. конф. - Одесса. - 1991. - ч. I. - С. 52-53.

22. Морское обрастание как фактор водородного охрупчивания конструкционных сталей /Н.А.Степанок, В.П.Воронин //Проблемы коррозии и защиты металлов и конструкций в морской воде: Тез докл. Всесовзн. конф. - Владивосток. - 1991. - С. 85-86.

23. Биомеханохимическое сопротивление материалов как новое научное направление в исследовании коррозионных процессов /А.С. Еськов, Н.А.Степанок, В.П.Воронин /Тез. докл. конгресса "Защита-92". - Москва. - 1992. - т. III. - С. I87-I89.

Подп. к печати 8.07.93г. Формат 60x84 1/16.
Объем 0,7уч.и. д.л. 1, Оп.л. Заказ № 1337. Тираж 100экз.
Гортипография Одесского управления по печати, цех №3.
Ленина 49.

160-535

AB 27.758

AB 27.758