

Автор ер.

В 75

ОДЕСЬКИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ
ім. 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 Анатолій 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.

В.М. Тищенко

ОНАХТ 05.07.11

Одпир конструкторских С



v017990

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність проблеми. Корозійні пошкодження металевих матеріалів у морській воді відбуваються внаслідок впливу на них абіотичних і біотичних факторів. При цьому, коли розглядаються проблеми 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 створюють 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 механічним напруженням надто обмежена. У літературі практично відсутні відомості, які торкаються впливу біогенного наводнювання 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 наводнюванню.

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 методику 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 оброщувачів, інтенсифікують електрохімічну корозію і наводнювання 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 № 1696970/;

- 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 167 тис. крб. у цінах 1990 р.

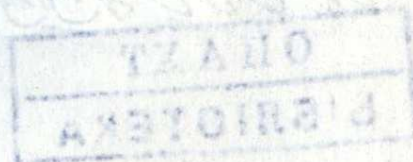
На захист виносяться:

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

- 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 обгрунтована актуальність проблеми, сформульовані мета та завдання досліджень, викладені основні наукові положення і результати, які виносяться 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. Обгрунтовано 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 крихкості.

При реалізації акустично-емісійного контролю матеріалів і корозійного біологічно активного середовища на різних стадіях їх дослідження в лабораторних умовах була змодульована 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 FeCl_3 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 оброшувачів 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 $\text{Cz} - \text{Ni} - \text{Mo}$ сталей

при зменшенні швидкості деформації при випробуваннях у водному розчині 3 %-ного *NaCl* вплив корозійного середовища збільшується, що виявляється в зниженні пластичних властивостей матеріалу $\langle \psi, \sigma \rangle$, 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 $10^{-3} - 10^{-7} \text{ с}^{-1}$ руйнування було в'язким з чашковим зломом.

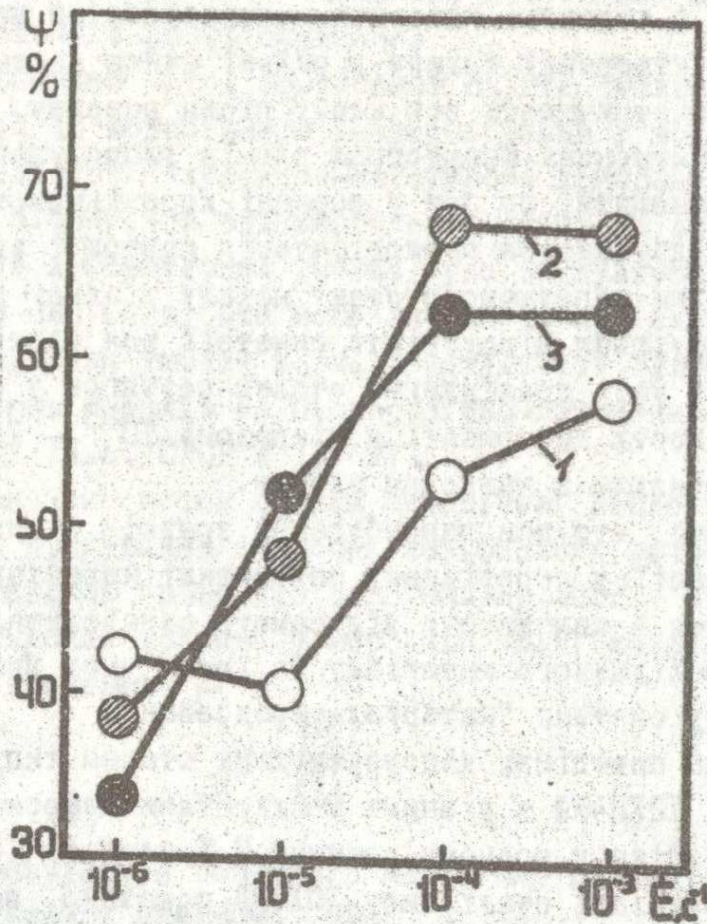
Встановлено, що при випробуванні зразків з низькими швидкостями деформації у корозійному середовищі характер руйнування може змінюватися в залежності від самого середовища, швидкості деформації, дослідженого матеріалу та інших умов випробувань, тобто від стану системи "матеріал-середовище".

Досліджена поведінка конструкційних сталей типу ВСт.Зсп., ІОХСНД, О9Г2 і І2ХН4МФ з різними швидкостями деформації і з катодною поляризацією у водному розчині 3 %-ного *NaCl* і у морській воді. На прикладі сталі типу ІОХСНД показано, що пластичні властивості $\langle \psi, \sigma \rangle$ 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 $\langle \dot{\epsilon} \rangle$, а зрушення потенціалу у катодну область залишалось незмінним і дорівнювало 0,35В.

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

При цьому тимчасовий опір $\langle \sigma \rangle$ залишається практично на одному рівні.

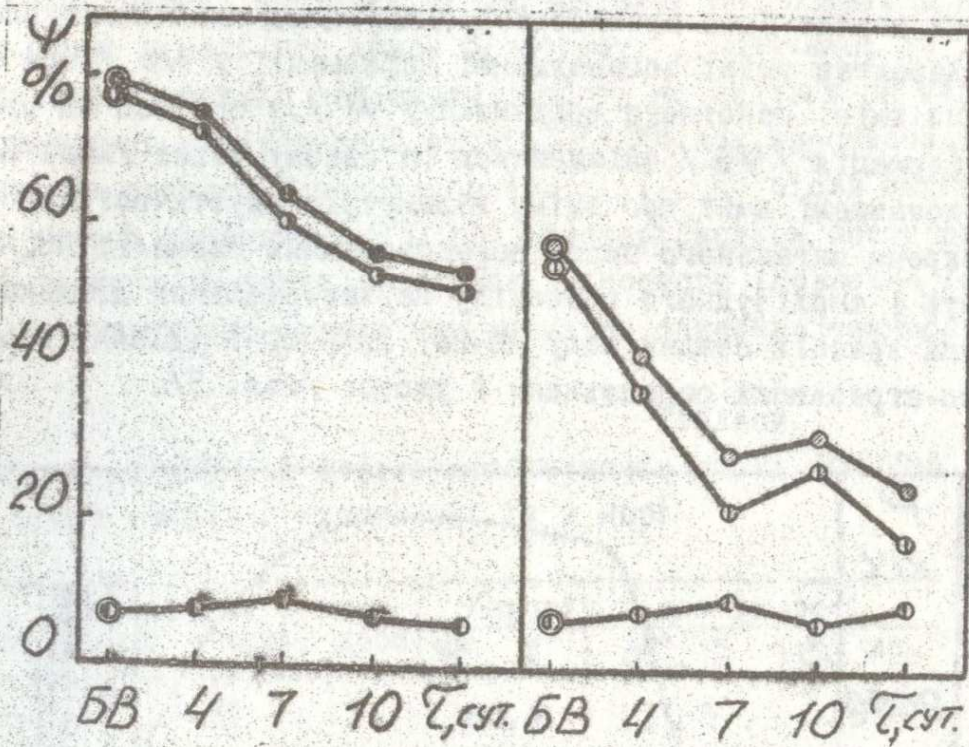
Вивчені кінетичні особливості деформації і руйнування зразків сталі І2ХН4МФ у морській воді, у тому числі з катодної поляризацією. Кінетичні дослідження показали і підтвердили, що при $\dot{\epsilon} = 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$ схильність сталі І2ХН4МФ до розтріскування зростає при зміні потенціалу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



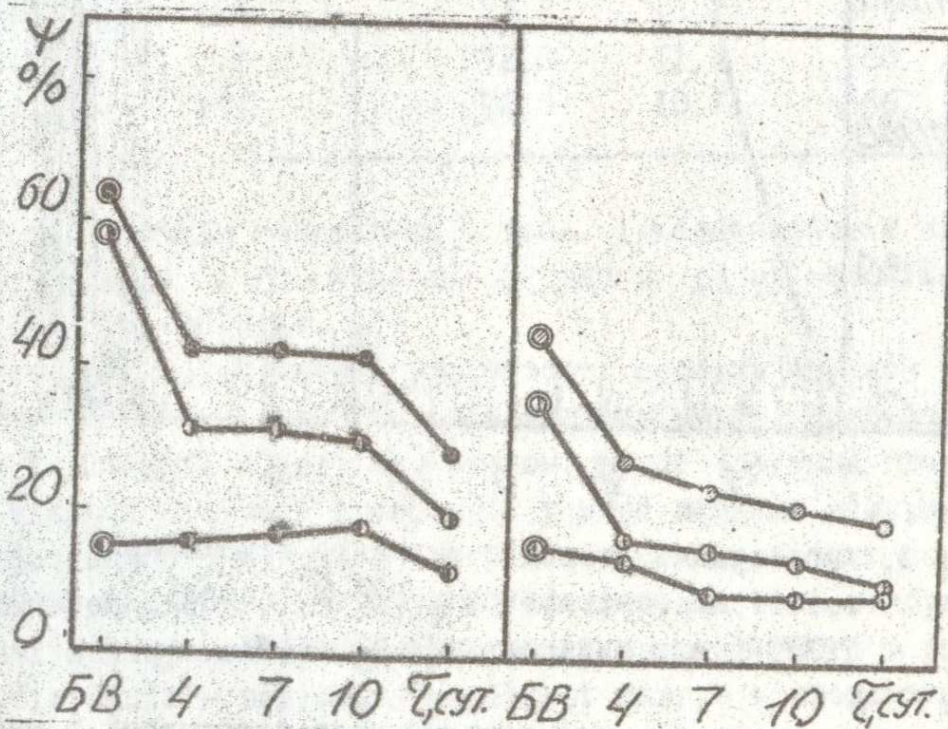
Мал. 1. Зміна відносного звуження зразків сталей ВСт.Зсп. /1/, АБ-2Ш /2/ і ІОХСНД /3/ після розриву у залежності від швидкості деформації $\dot{\epsilon}$ у розчині 3%-ного NaCl при катодній поляризації.

Проведено ряд послідовних експериментів з метою 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

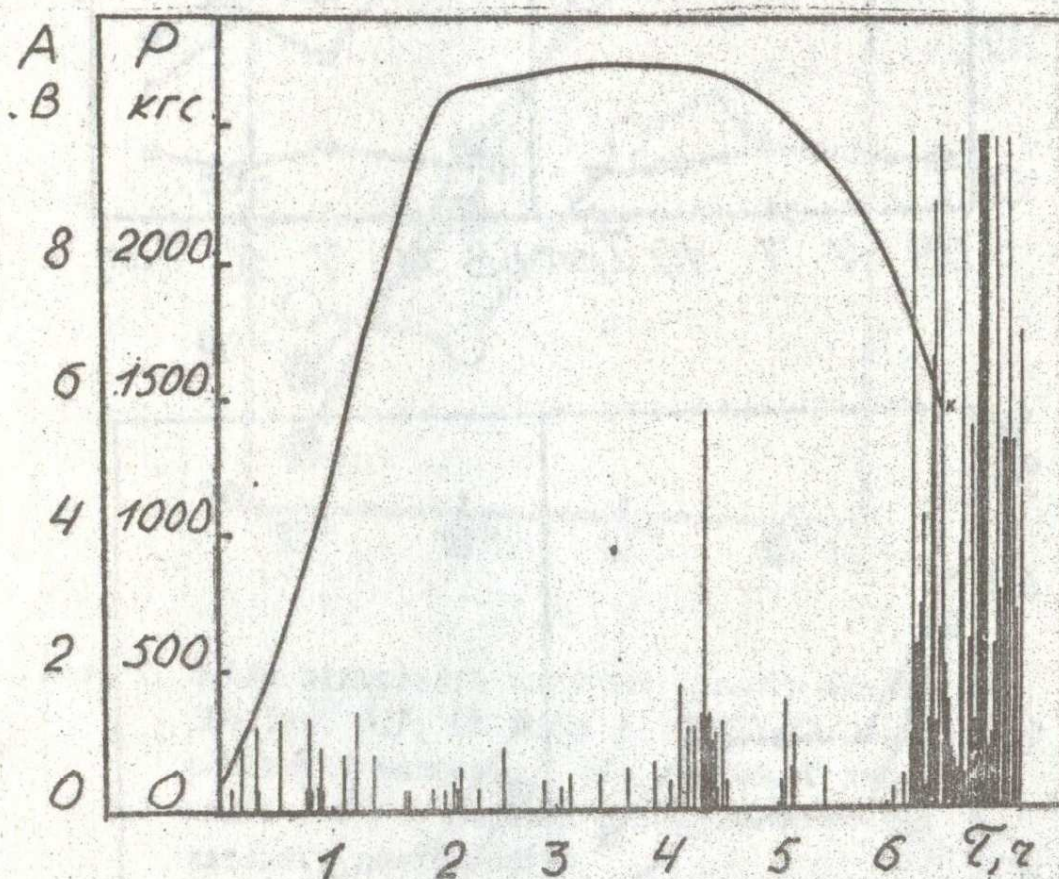


б

Мал. 2. Характер зміни рівномірної /○/ і зосередженої /●/ складових 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 зміни 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-ε" 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 І0ХН2МФ, 07ХІ6Н6, І2Х2ІН5Т,

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

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 наводнювання, як це має місце при деформаційних процесах.

Встановлено, що механічні властивості плоских зразків корозійностійких сталей не змінилися 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 сенсibiлізації – 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 руйнувалися по зварним швам.

Запропоновано механізм біокорозійно-механічного руйнування конструкційних сталей при низькошвидкісній деформації у природній морській воді. Показано, що морське обростання, формуючи під плівкою 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 лакофарбними 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, $\dot{\epsilon}$, с ⁻¹	Механічні властивості			
			ψ %	δ %	σ_b МПа	σ_k МПа
А	II	9,70 · 10 ⁻⁷	62,1	22,8	566	-
			короткочасно 78,0	26,9	625	1604
Б	II	9,51 · 10 ⁻⁷	37,7	16,2	576	-
			короткочасно 58,8	22,9	628	1119

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 ізолюючим і, особливо, адгезійно-когезійним властивостям КО-покрить.

Показано, що покриття на кремнійорганічній основі типу КНН-4І2 і КО-52 на сталях марки І2ХНЗМФ, 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. Вивчені 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 /квазістатичне навантаження/ у морській воді з урахуванням біогенної активації корозії і крихкісного 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 квазістатичному 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, виникає нерівномірну електрохімічну поверхневу корозію, проте тріщини в матеріалі у відсутності механічних напружень не виникають.

4. Показано, що сульфатвідновлюючі бактерії, які розвиваються у морській воді під шаром оброщувачів, 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 сульфатвідновлюючі 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 стали 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 УМЭ-І0ТМ для испытаний металлических материалов на коррозионное растрескивание /Н.И.Барба, В.П.Воронин, Ю.В.Томкин, В.А.Маслєв //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.Мальшев, В.А.Масло и др. //Судостроительная про-сть. - Сер. Металловедение. Металлургия. - 1986. - Вып. 2. - С. 46-49.

9. О выборе условий для ускоренных испытаний хромоникелемолибденовой стали на коррозионное растрескивание /В.П.Воронин, А.Ю.Шульте, Л.В.Шкляр, Ю.В.Сухинин //Львов, 1987. - II с. - Деп. в ВНИТИ 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 хладо- и коррозионной стойкостью /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. V 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 G 01N 3/06. Устройство к испытательной машине для регистрации разрушающей нагрузки /В.П.Воронин, В.И.Лукашенко.- Оpubл. 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 G 01N I7/00. Способ испытания металлов на биокоррозионно-механическую прочность в морской воде /В.П.Воронин, Н.А. Степанок и К.И.Кириллов. - Оpubл. 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. Всесоюзн. 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.