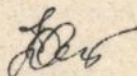


ОДЕСЬКИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ  
ім. М.В.ЛОМОНОСОВА

На правах рукопису

СТЕПУРЕНКО Юрій Вікторович



ОПІР КОРОЗІЙНОЇ ВТОМЛЕНОСТІ СТАЛІ В ЗАЛЕЖНОСТІ  
ВІД СКЛАДУ СЕРЕДОВИЩА І ЧАСТОТИ НАВАНТАЖЕННЯ

05.17.14 - хімічний опір матеріалів  
та захист від корозії

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Сдеса - 1993



00815126 (N)

Робота виконана в Одес  
харчочої промисловості ім.

Науковий керівник - доктор технічних наук,  
професор Петров Леонід Микитович

Суб'єктивні опоненти - доктор технічних наук,  
професор Бабей Олій Іванович  
- кандидат технічних наук,  
старший науковий співробітник  
Олик Анатолій Петрович

Провідна організація - Чорноморський науково-дослідний  
інститут технології суднобудування (м.Севастополь).

Захист відбудеться " 2 " листопада 1993 р. на засідан-  
ні спеціалізованої ради К 068.35.04 у Одеському технологічному  
інституті харчової промисловості ім. М.В.Ломоносова  
(270039, м.Одеса, вул.Свердлова, 112). в 10.30

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Одеського  
технологічного інституту ім. М.В.Ломоносова.

Автореферат розісланий " 2 " червня 1993 р.

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

В.М.Тищенко

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Підвищення надійності і економічності машин – задача великого народногосподарчого значення. Строк служби деталей машин, окремих вузлів та механізмів визначається, взагалі, опором металів корозійно-втомленостному руйнуванню, а сучасна тенденція збільшення продуктивності машин при одночасному зменшенні їх питомої металоемкості пред'являє більш строгі вимоги до корозійно-втомної стійкості матеріалів.

Важливими факторами, що визначають опір металів втомному руйнуванню, є умови навантаження, а також вид і склад середовища, в якому працюють деталі машин. Вплив робочого середовища на опір сталі втомленості у великій мірі зв'язано з рівнем перемінного механічного навантаження і частотою його прикладання. В експлуатаційних умовах агресивність середовища і частота навантаження змінюються в широких межах. Врахування цих умов при проектуванні деталей машин з метою збільшення їх довговічності є надзвичайно актуальною задачею.

Мета праці. Дослідження корозійно-втомленостного руйнування сталей в залежності від виду і складу середовища, а також умов навантаження стосовно до розробки рекомендацій по підвищенню втомної довговічності деталей та з'ясування механізму їх руйнування.

В зв'язку з цим в роботі поставлені такі завдання:

1. Дослідити опір корозійній втомі сталей в залежності від виду і складу робочих середовищ, а також рівня і частоти навантаження.

2. Визначити вплив поверхнево-активних речовин на опір корозійній втомі сталі в різних структурних станах.

3. Вивчити вплив водневого окрихчення на опір корозійної втомленості сталі.

4. Визначити умови та оптимальні режими поверхнево-пластичного деформування метала накатуванням роликками, поверхневого гартування струмами високої частоти та дифузійного багатоконпонентного насичування стосовно до підвищення опору втомленості у агресивних середовищах.

Наукова новина. І. Одержані експериментальні залежності витривалості сталі від концентрації кисню та вмісту хлориду натрію в дистильованій воді, де здійснювались випробування. Вста-

новлено, що періодичне деформування сталі в малоактивних в корозійному відношенні середовищах істотно прискорює процеси електрохімічної корозії, перетворюючи такі середовища в корозійно-активні. Експериментально доказано, що у цих середовищах темп зниження межі втоми сталі значно більший в порівнянні за аналогічними випробуваннями таких же по виду середовищ, але з надгато збільшеним вмістом корозійних агентів.

2. Показано, що втомне руйнування гнатицих сталей в мастильних середовищах (у стані поставки) має не адсорбційну природу, як це вважалося раніше, а носить чисто корозійно-механічний характер внаслідок корозійного впливу домішок води.

3. Встановлено явище стійкості свіжеутвореної поверхні (СУП) сталі до деформаційної корозії. Запропоновано теоретичне обґрунтування виникнення та існування межі витривалості сталей на повітрі, а також сформульовані деякі власні погляди на механізм корозійно-втомного руйнування сталей.

Практична цінність. 1. Розроблено спосіб підвищення опору втомленості сталі в агресивних середовищах шляхом трьохкомпонентного дифузійного насичення її поверхні бором, хромом і титаном.

2. Отримані втомні характеристики сталей у корозійних середовищах. Ці матеріали приведені для використання у довіднику: Троценко В.Т., Сосновский Л.А. Сопротивление усталости металлов и сплавов. Справочник, часть I, П. - Киев: Наук. думка, 1987. - 1304 с.

3. Результати наукової праці впроваджені в технологічний процес виготовлення деталей гідромашин на Одеському ВО "Будгідравліка". Загальний економічний ефект від збільшення ресурсу гідромашин становить 132 тис.карб. у цінах 1990 р.

На захист виносяться: 1. Комплекс даних про закономірності і елементи електрохімічного механізму корозійно-втомленостного руйнування сталей у корозійних, поверхнево-активних та наводнювальних середовищах.

2. Залежність циклічної довговічності сталі від частоти навантаження і корозійної активності середовища.

3. Метод утворення у поверхневому шарі деталі напружень стиску, які протидіють зародженню та розвитку втомленостних тріщин, шляхом многокомпонентного дифузійного насичення.

Апробація праці. Основні положення наукової праці доповідались на науково-технічних конференціях молодих вчених і про-

фесорсько-викладацького складу Одеського технологічного інституту харчової промисловості ім. М.В.Ломоносова /1980-1984/, на науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу Одеського політехнічного інституту /1984-1988/, на III республіканській конференції по корозії і захисту металів /Київ, 1983/, XI конференції по корозії /Пермь, 1983/, на IV республіканській конференції по підвищенню надійності і довговічності машин і споруджень /Одеса, 1991/.

Публікації. По темі дисертації опубліковано 12 наукових праць.

Структура і обсяг. Дисертація складається із вступу, 5-ти глав, загальних висновків і додатка. Містить в собі 127 сторінок машинописного тексту, 9 таблиць, 34 рисунка, списку використаної літератури з 162 найменувань.

### ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі показана актуальність теми дисертації, сформульовані мета та завдання досліджень, викладені основні наукові положення і результати, які виносяться до захисту.

В першій главі наведено короткий аналіз праць, що містять відомості про вплив складу агресивних середовищ і умов навантаження на опір корозійній втомленості сталей.

Більше 80% усіх руйнувань деталей машин та елементів конструкцій мають втомленісний характер. Проблеми підвищення опору втомленості матеріалів викликали необхідність подальшого вивчення механічних та фізико-хімічних факторів, які впливають на корозійну втомленість металів. Проте прогнозування стійкості сталі до втомленостного руйнування на основі оцінки тільки циклічної тріщиностійкості в середовищах не дає вірогідних результатів, тому що при цьому достатньо не враховується стадія зародження тріщин і корозійне роз'їдання її вершини. Таким чином, не дивлячись на широкий розвиток методів оцінки циклічної тріщиностійкості, методи втомних випробувань ще далеко не втратили свою актуальність.

Великий внесок у вивчення фізико-хімічного впливу різних середовищ на опір сталей корозійній втомленості і пояснення цього явища внесли вчені, серед яких, у першу чергу, можна назвати Г.В.Карпенка, О.М.Романів, Л.М.Петрова, В.І.Похмурсько-

го, Ю.І.Бабеля, Ю.Г.Ожиганова, Періса, Сміта, Ліндлея.

Виконані на сьогоднішній день дослідження дозволили встановити багато характерних особливостей та ознак корозійної втомленості сталей. Але до цього часу багато питань корозійно-втомленого руйнування металів ще дуже далекі від свого вирішення. Найбільший теоретичний та практичний інтерес має вивчення впливу робочих середовищ на стійкість сталей до втомленостного руйнування в залежності від складу середовища, а також від рівня і частоти механічного навантаження.

В другій главі викладена методика експериментальних досліджень, обґрунтований вибір і спосіб підготовки робочих середовищ для проведення випробувань. В якості корозійних середовищ прийнято: атмосферне повітря різної вологості, водопровідна вода /м.Одеса/ та 3% -вий розчин хлориду натрію, що імітує по своїй корозійній активності морську воду. Серед поверхнево-активних середовищ для досліджень використовувались: моторне масло М-8В, трансмісійне масло МС-20 і пластичне мастило І-ІЗс. Для імітації жорстких умов експлуатації, в зв'язку з окисленням масла та підвищенням його агресивності, в маслах М-8В і МС-20 в різній кількості добавлялась олеїнова кислота  $C_{17}H_{33}COOH$  та вода. Полярний хімічно чистий ізобутиловий спирт  $C_4H_9OH$  використовувався як поверхнево-активна речовина. Нейтральним рідинним середовищем у цьому випадку був чистий обезвожений безкисневий гептан  $C_7H_{16}$ .

Для випробування зразків на багатоциклову втомленість чистим згином при обертанні по симетричному циклу навантаження використовувалась машина ІМА-5 з деякою реконструкцією для одержання заданих частот  $f$  - 0,1; 0,7; 10,47; 50,0; 100,0; 133,3. Зразки виготовлялись по типу II, відповідно до ГОСТ 23026-78. Матеріалом для зразків була сталь 45, як найбільш розповсюджена у машинобудуванні, нержавіючі сталі ВНС-22, ЗП-56, ЗИ-96І, ЗП-479, 20Х13 та деякі інші конструкційні сталі. Точність виготовлення зразків - другий клас, шорсткість поверхні відповідала параметру  $R_a = 0,32$  мкм по ГОСТ 2789-73. Метал - однієї плавки. Зміцнення зразків поверхнево-пластичним деформуванням виконувалось накатуванням на трьохроликівому пристрої конструкції ІІДІІТМАШ, дифузійне насичення поверхні проводилось по методиці кафедри технології конструкційних матеріалів і металознавства СІІ /Одеса/, поверхнева закалка струмами високої частоти вико-

нувалась в одновитковому кільцевому індукторі на ламповому генераторі.

Результати випробувань сталей на корозійну втомленість піддавались статистичній обробці з метою встановлення функціональної залежності між напруженням і числом циклів до руйнування зразків.

В третій главі викладені результати досліджень впливу різних середовищ на опір втомленості сталей. Показано, що корозійна агресивність води в великий мірі залежить від стану та концентрації домішок до неї. До найбільш розповсюджених в реальних умовах домішок відносяться кисень та хлорид натрію.

Експериментально встановлено, що обезкиснена демінералізована вода не тільки не зменшує втомленостну витривалість сталі, а навпаки, підвищує її /на 3,5% / в порівнянні з результатами випробування у повітрі /рис. I, криві 1, 2/. Це пояснюється виключенням окисної дії, викликової киснем повітря. Найбільш інтенсивний корозійний процес відбувається на СВП сталі при дуже малих домішках кисню в воді. Це явище зв'язане з тим, що плівка з продуктів корозії у цьому випадку дуже незначна, а тому вона в найменшій мірі пасивує СВП сталі. При збільшенні вмісту кисню в воді корозійний процес, природно, підсилюється, але разом з цим збільшується як товщина плівки продуктів корозії на СВП сталі, так і її пасивуюча роль. В зв'язку з цим між агресивністю середовища і зниженням в ньому опору корозійній втомленості сталі прямої пропорціональності немає - чим більша агресивність середовища, тим менший темп зниження корозійно-втомної міцності сталі. Наприклад, при порівнянні кривих 3 і 5 з рис. I видно, що вміст кисню у воді збільшився у 26,5 разів, а опір корозійній втомленості сталі зменшився всього на 16%.

Іони хлору, як відомо, являються депасиваторами, які руйнують окисну плівку і активують корозійний процес. Наведене проявляється і при циклічному навантаженні в середовищах, але, як показують наші дослідження, наявність іонів хлору в повністю обезкисненій воді не впливає на втомленостну міцність сталі, тому що в такому середовищі корозійний процес не відбувається. При невеликих концентраціях хлориду натрію в аерованій воді на СВП сталі, вільних від продуктів корозії, відбувається інтенсивний корозійний процес, пропорціонально якому зменшується і опір втомленості сталі. Виникаюча при цьому на СВП сталі плівка з про-

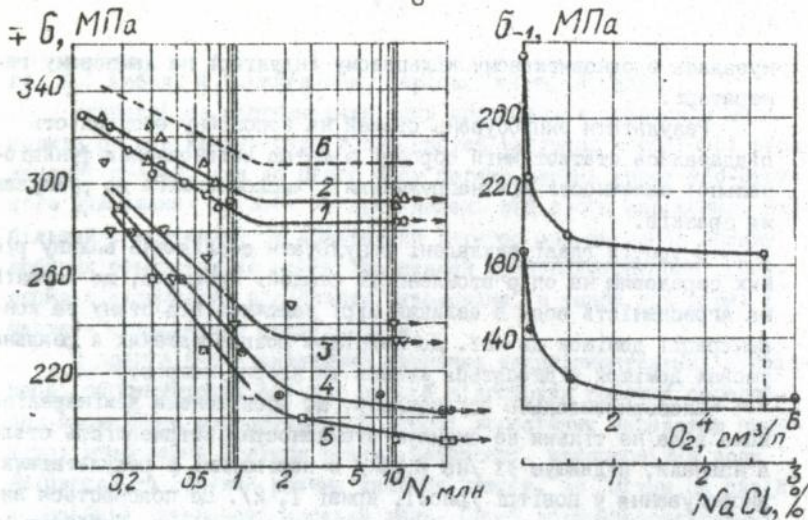


Рис.1. Вплив середовищ: повітря /1/; води бідистильованої /2/ обезкисненої; з вмістом кисню:  $0,2 \text{ см}^3/\text{л}$  - /3/;  $1 \text{ см}^3/\text{л}$  - /4/;  $5,3 \text{ см}^3/\text{л}$  - /5/; вакууму по літературним відомостям /6/ на опір втомі нормалізованої сталі 45

Рис.2. Залежність межі втоми сталі 45 від концентрації кисню /1/, хлориду натрія /2/ у бідистильованій воді

дуктів корозії гальмує цю інтенсивність і, відповідно з цим, падає темп зниження втомленості мішності, як це видно з кривої 2 на рис.2. Характер кривих 1 і 2 з рис.2 наглядно показує велику роль малих корозійних домішок у воді в зменшенні межі втоми. Це дозволяє зробити висновок, що середовища з малою загальною корозійною активністю по відношенню до ненапруженого металу в зв'язку з захисною дією окисної плівки і не викликаючих подальшу корозію, у випадку циклічного навантаження металу, тобто в умовах корозійної втомленості, коли виникають СУП сталі, стають досить агресивними і вносять істотний вклад в зародження і розвиток корозійно-механічних тріщин.

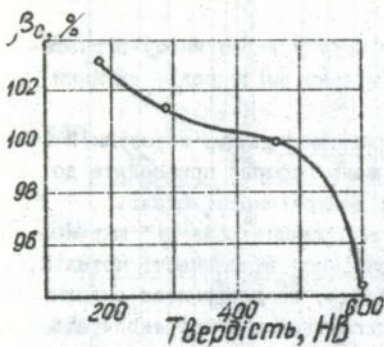
На основі виконаних порівняльних випробувань сталі на корозійну втомленість у 3% -ковому водному розчині хлориду натрію, в природній воді Чорного моря /район м.Одеси/ і в різних синтетичних сумішах, що імітують морську воду, встановлено, що місткість хлористого натрію у воді у межах  $1,5 \dots 5\%$  практично не впливає на опір втоми сталі. Отже 3% -вий розчин хлористого на-

трію цілком імітує природну морську воду у корозійному відношенні, а визначальним фактором є не стільки вміст солі, скільки концентрація розчиненого кисню.

Вивчено вплив перерв у виробуваннях на опір корозійній втомленості сталі. Встановлено, що такі перерви призводять до досить значного зменшення циклічної довговічності сталі.

Проведені дослідження з метою з'ясування кола дії широко відомого у літературі явища - адсорбційної втомленості металів. Відомо, і це підтверджують експерименти, що поверхнево-активні мастила АС-8, МС-20 і інші, які знаходяться в стані експлуатації, зменшують втомну міцність пластичної сталі на 6...9% /в деяких випадках і більше/ в порівнянні з результатами випробувань у повітрі. З метою одержання впливу чисто адсорбційного фактора, із цих мастил було вилучено воду. Це призвело до підвищення втомленостної міцності сталі на 3,5% у зрівнянні з повітрям. Для визначення впливу води, як поверхнево-активної речовини /ПАР/, до обезвоженого і обезкисненого мастила зводилась обезкиснена вода у кількості до 1%. У такому середовищі втомленостна міцність сталі, в порівнянні з повітрям, також підвищилась на 3,5%. По цим даним виходить, що ефект адсорбційного втомленостного зниження міцності на пластичних сталях в поверхнево-активних мастилах у стані поставки не проявляється. А те зниження втомної міцності сталі, яке спостерігалось, зв'язане тільки з корозійною дією малих домішок води. Але з підвищенням твердості сталі поверх HB 450, як видно із рис.3, починає виявлятися вплив ПАР і в обезвоженому мастилі. Природа цього явища пояснюється відповідно з поглядами Г.В.Карпенка, відомими положеннями А.Гриффітса і С.Срвана.

Було вивчено вплив частоти навантаження на опір втомленості сталі. Використовувався діапазон з найбільш розповсюдженими частотами навантаження - 0,08; 0,66; 10,0; 47,35; 100,0; 133,3 Гц. База випробувань -  $5 \cdot 10^6$  циклів. Результати випробувань наведені на рис.4. Із рис.4 видно, що при практично цілковитій відсутності впливу середовища /крива 1/ частота навантаження майже не впливає на опір втомленості сталі. При деякій корозійній активності середовища спостерігається незначна дія частоти /криві 2, 3/ і в випадку значного збільшення агресивності середовища /криві 4-7/ вплив частоти навантаження набагато більше зменшує межу втомленості сталі. Таким чином, циклічна довго-



$$\beta_c = \frac{b-1 \text{ н.в.} \cdot 100}{b-1}$$

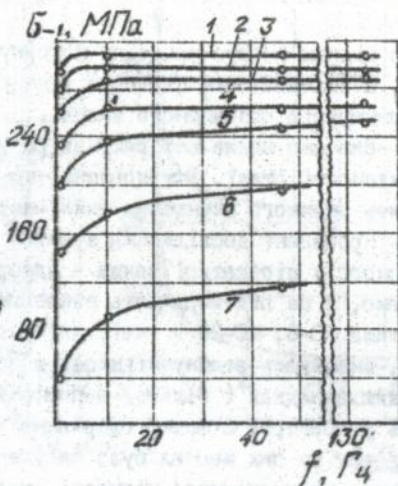


Рис.3. Вплив ПАР у обезвоженому мастилi MC-20 на опiр вто-  
мi сталi УВА в залежностi вiд її твердiстi

Рис.4. Залежностi межi втоми нормалiзованої сталi 45 /при  
 $N = 5 \cdot 10^6$ / вiд частоти навантаження у середовищах:  
осушеному азотi /1/; повітрі з вiдносною вологiстю:  
40...75% - /2/; 95% - /3/; 98% - /4/; 100% -  
/5/; а також при нанесеннi дистильованої води на  
зразок краплями /6/; 3%-вому розчинi хлориду на-  
трiя у водi /7/

вiдностi сталi тим менша, а ефект впливу частоти проявляється  
тим бiльше, чим менша частота навантаження, тобто, чим тривалi-  
ша дiя i бiльша агресивностi середовища.

Дослiджувався вплив електролітичного наводнення сталi на  
її годнiве окрихнення i опiр втомленостi. Наводнення здiйсню-  
валось катодною поляризацiєю зразкiв безпосередньо перед прове-  
дiнням втомленостних випробувань. Наводнення, як i свiдува-  
лось, окрихчує сталь i зменшує її опiр втомленостi. В мiру того,  
як водень десорбувався iз зразкiв, опiр втомленостi вiдновлюва-  
вся до вихiдного стану. Швидкiсть вiдновлення залежить вiд темпе-  
ратури десорбцiї водню - з її пiдвищенням вiдновлення iнтенси-  
фiкувалось. В зв'язку з цим висловлено припущення, що молекуляр-  
ний /нерухомий/ водень, який знаходиться в несущiльностях мета-  
лу i створює значнi трiьоснi напруження, проте практично не  
пливає на опiр втомленостi.

В четвертій главі проаналізовані деякі елементи фізико-хімічного механізму втомленостного руйнування сталей в агресивних середовищах. Випробуванням сталених зразків на розрив у ртуті встановлено, що СЧП при розриві, завдяки великій поверхневій активності, адсорбує ртуть. Якщо зразок розірвати і з інтервалом до 0,1 сек на СЧП подати ртуть, то вона не адсорбується – за такий короткий час виникає окисна плівка. На основі цього, а також можливості СЧП сталі дифузійно залікуватись, до яких не проникає кисень повітря, викладена гіпотеза фізичного існування межі втомленості сталі. Запропонована формулювання межі втомленості сталі у повітрі – як такого максимального по абсолютному значенню напруження цикла, при якому ще не мають місце умови зародження і розвитку тріщин втомленостного руйнування в наслідок збереження цілісності окисної плівки і дифузійного самозалікування мікронесуцільностей при несомеженому числі навантажень.

Експерименти по моделюванню електрохімічної ситуації у тріщині показали, що деформація розтягом викликає розблагороджування стаціонарного потенціала поверхні досліджуваних сталей у 3%-вому розчині хлориду натрію. Характерно, що це розблагороджування – необоротне і виникає по мірі прикладення розтягуючого навантаження. Максимальне розблагороджування електродного потенціалу сталі Б5Г /у стані поставки/ становить 40 мВ; близькі значення отримані і для других сталей. У випадку деформаційного навантаження "колишньої" СЧП, тобто СЧП, на якій після 2-3 сек окисні плівки вже сформувались і корозійна активність згасла, деформаційного розблагороджування потенціалу не спостерігається. Причина даного явища – в процесі виникнення СЧП в наслідок деформації нормально сто відриву на поверхні металу утворюються деформаційні формування /полоси і лінії ковзання/ і наступне розтягання скільки-небудь помітного змінення властивостей поверхні вже не викликає, в наслідок чого відсутнє й деформаційне розблагороджування потенціала при деформації "колишньої" СЧП. Враховуючи приведені, є підстава вважати, що описана в літературі деформаційна гальванопара Еванса, яка обумовлює чисте корозійний етап розвитку тріщини, вже не є визначальною мірою стрибкоподібного її підшорювання, коли у верхині з'являється корозійно-активна СЧП сталі.

Таким чином, можна вважати, що на стадії стрибкоподібного розвитку тріщини, коли в її верхині по місцю чергового стрибка

виникає вельми корозійно-активна СУП, процеси локальної корозії у верхній тріщині регламентуються роботою корозійного гальванічного елемента з електродами - анодна СУП у верхині і "колишня" СУП, тобто стінки тріщини, де поверхневі плівки вже сформувалися і переважно відбуваються катодні процеси. Отже, якщо стимулювання механічними напруженнями електрохімічного процесу на глибоко корозійному етапі розвитку тріщини обумовлено деформаційною активацією металу у верхині, то на стадії ІІ стрибкоподібного розповсюдження роль механічних процесів зводиться, в основному, до формування активної СУП по місцю розриву металу в зоні стрибка тріщини.

П'ята глава присвячена розробці методів захисту сталей від корозійно-ігнотного руйнування та вишування спосібів підвищення опору втомленості. Розглянуте опір корозійній втомленості ряду нержавіючих сталей ВНС-22, ЗП-56, ЗИ-96І, ЗП-479, 20ХІЗ у 3%-вому розчині хлориду натрія та його аерозолях з метою уточнення ролі корозійного фактора у втомному руйнуванні. Експериментами встановлено, що всі ці нержавіючі сталі /за винятком 20ХІЗ/ при оптимальних режимах термічної обробки мають дуже високу межу втомленості як у повітрі, так і в агресивних середовищах, в зв'язку з їх схильністю до анодної пасивації. Найкращі показники у цьому відношенні мають сталі ВНС-22 та ЗП-56, для яких межа втомленості у повітрі дорівнює 620 і 560 МПа відповідно /для сталі 45 перліт-феритної структури  $\sigma_{-1} = 295$  МПа/, а зниження опору втомленості у 3%-вому розчині хлориду натрія відносно втомленості їх у повітрі, досягло всього 22,6 та 27,6 % відповідно /тоді як для сталі 45 було 71,2 %/. Виявлено різко негативний вплив концентраторів напруження - нержавіючі сталі з великим опором корозійній втомі втрачають власні переваги при наявності на зразках гострих надрізів і в цьому випадку практично мало відрізняються від звичайних вуглецевих сталей.

Експериментально досліджено вплив різних видів зміцнення та частоти навантаження на опір втомленості сталі 45. Результати випробувань приведені в таблиці. Встановлено, що з ростом агресивності середовища ефективність зміцнення, як метода захисту від корозійно-втомленостного руйнування, збільшується. Найбільш ефективними методами, як видно з таблиці, є поверхневе гартування СВЧ і трьохкомпонентне поверхневе легування, які збільшують опір корозійній втомі у солоній воді в 2,5...3,3 рази. Ці спо-

Таблиця .

Вплив зміцнення та частоти навантаження на опір втомленості сталі 45 у повітрі та 3%-вому водному розчині хлориду натрія при  $N = 5 \cdot 10^6$

Види обробки зразків	Товщина зміцненого шару, мм	Залишкові напруження, МПа	Середовища										
			Повітря					3%-вий розчин NaCl					
			$f = 0,66$ Гц		$f = 133,3$ Гц			К <sub>б</sub>	$f = 0,66$ Гц		$f = 133,3$ Гц		К <sub>б</sub>
			$\sigma_{-1}$	$\beta_T$	$\sigma_{-1}$	$\beta_T$	$\sigma_{-1}$		$\beta_T$	$\sigma_{-1}$	$\beta_T$		
МПа	%	МПа	%	МПа	%	МПа	%	МПа	%				
Нормалізація перліт-ферит/ Накатування роликми	-	-	275	100,0	295	100,0	1,075	60	100,0	110	100,0	1,833	
Гартування СВЧ	0,8	850	360	132,7	360	123,3	1,0	285	475,0	290	263,0	1,017	
Борохромсування	1,3	800	600	218,1	620	210,1	1,033	335	555,5	360	327,2	1,074	
Борохромтитанування	0,5	1150	400	145,4	400	135,8	1,0	200	333,0	240	217,8	1,2	
	0,5	1250	400	145,4	400	135,8	1,0	250	416,0	280	254,4	1,12	

Коефіцієнт технології

$$\beta_T = \frac{\sigma_{-1T}}{\sigma_{-1np}} \cdot 100\%$$

Коефіцієнт частоти  
навантаження

$$K_b = \frac{\sigma_{-1BЧ}}{\sigma_{-1HЧ}} \cdot 100\%$$

де  $\sigma_{-1T}$  - межа витривалості зміцненого стану металу /МПа/;

$\sigma_{-1np}$  - межа витривалості вихідної перліт-феритної структури /МПа/;

$\sigma_{-1BЧ}$  - межа витривалості при високій частоті /МПа/;

$\sigma_{-1HЧ}$  - межа витривалості при низькій частоті /МПа/.

соби випробувані у виробничих умовах і впроваджені на ВО "Буд-гідроліка" /м.Одеса/.

## ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

1. Показано, що опір втоменості сталі у природній морській воді, 3% -вому розчині хлориду натрія, а також у більш точніших моделях морської води є практично однаковим. Отже, дані по корозійно-механічним випробуванням у 3% -вому розчині хлориду натрія адекватно описують поведінку сталей і у природній морській воді. Як показують результати випробувань, провідний вплив у зниженні корозійної витривалості сталі залежить не від хімічного складу морської води, а від концентрації розчиненого кисню.

2. Встановлено, що максимальний градієнт зниження межі обмеженої витривалості сталі  $\sigma_{-1}^k$  від вмісту кисню у дистильованій воді спостерігається у діапазоні об'ємних концентрацій кисню 0,7...0,3 см<sup>3</sup>/л, а максимальний градієнт зниження  $\sigma_{-1}^k$  від вмісту хлориду натрія - у діапазоні концентрацій його 0,03...0,05%. Таким чином, малоактивні у корозійному відношенні середовища стають велими агресивними при прикладанні періодично змінювальних напружень.

3. Показано, що розтягувальні деформації сталей - ст.3, сталь 45, сталь 65Г /різного структурного стану/ у 3% -вому розчині хлориду натрія обумовлює зсув їх електродного потенціалу у негативну сторону до 40 мВ, тоді як така ж деформація свіжеутвореної поверхні /СВП/ сталі до деформаційного розблагороджування не приводить. Із сказаного виходить, що при стрибкоподібному розвитку тріщин корозійної втоми у період поміж стрибками суто деформаційна корозія вершин тріщини не повинна мати місця, а корозійні процеси визначаються властивостями СВП сталі.

4. Встановлено, що поверхнево-активні речовини /ПАР/ у вуглеводневих середовищах не впливають на опір втоменості сталі перліт-феритної, сорбитної та трооститної структур. Спостережене зниження опору втоменості пластичних сталей у мінеральних мастилах МС-20, АС-8 та ін. відбувається не за рахунок впливу ПАР, а внаслідок дії домішок води та інших агресивних сполук. Проявлення адсорбційної втоменості викривається тільки у високотвердої сталі мартенситної структури. Дано пояснення приведе-

них явищ.

5. Досліджено у широкому інтервалі частот втомного навантаження дію корозійного фактора на проявлення ефекту частоти. Збільшення агресивності середовища та часу дії посилює ефект частоти. У разі усунення корозійного впливу середовища на СУП сталі у вершині втомленостних тріщин шляхом дифузійного насичування поверхні зразків - ефект частоти відсутній.

Встановлено, що частота навантаження пластичної сталі у поверхнево-активному вуглеводневому середовищі не впливає на її витривалість.

6. Експериментально встановлено, що пластичність та опір втомленості наводнюваної сталі практично не залежить від присутності в її структурі нерухомого молекулярного водню. Витримка наводнюваних зразків при  $t = 200^{\circ} \text{C}$  протягом 10 год., чи при  $t = 20^{\circ} \text{C}$  - 1000 год. приводить до повного відновлення пластичності та опору втомленості.

7. Здійснено порівняльний аналіз ефективності різних видів зміцнення в умовах дії середовищ та деяких частот навантажень. Показано, що нове трьохкомпонентне легування поверхневого шару сталі бором, хромом і титаном підвищує корозійно-втомленостну міцність сталі 45 у 2,5 рази у 3% -вому розчині хлориду натрія, що дозволяє рекомендувати цей спосіб для деталей, працюючих в умовах періодичних навантажень у корозійних середовищах, як ефективний метод зміцнення. Економічний ефект від впровадження подібних розробок у народне господарство становить 132 тис.крб. у цінах 1990 р.

Загальний зміст дисертації опублікований у роботах:

1. Степуренко В.Т., Сахаров М.Г., Степуренко Ю.В., Прокураков Г.Т. К вопросу о влиянии среды на выносливость стали //Защита металлов.-1978.-№ 6.-С.706-711.
2. Елинков А.А., Степуренко Ю.В., Сахаров М.Г. О влиянии морской воды на выносливость стали //Сопротивление материалов в агрессивных средах.-Краснодар: Изд-во Краснодар. политехн. инст., сборник трудов, 1979.-Вып. 94/4.-С.130-135.
3. Петров Л.Н., Степуренко Ю.В. К методике испытания стали на коррозионную усталость //Завод. лаборатория.-1981.-№ 10.-С.85-87.

4. Петров Л.Н., Степуренко Ю.В., Стрижак П.Н. Об эффекте частоты нагружения при испытании стали на коррозионную усталость //Защита металлов.-1982.-№ 4.-С.540-546.

5. Петров Л.Н., Степуренко Ю.В. Об электрохимическом механизме скачкообразного развития трещин коррозии под напряжением в углеродистых сталях //Физ.-хим. механика материалов.-1982.-№ 5.-С.41-43.

6. Степуренко Ю.В., Сахаров М.Г. К вопросу о коррозионно-усталостной прочности нержавеющей стали //Тез. докл. VIII Всесоюз. конф. по колл. химии и физ.-хим. механике.-Ташкент, 1983.-С.136.

7. Степуренко Ю.В. Определение форм водорода в стали, влияющих на ее сопротивление усталости //Тез. докл. XI Пермской конф. "Коррозия и защита металлов"-Пермь, 1983.-С.259.

8. Степуренко Ю.В., Стрижак П.Н. Влияние борохромтитанирования на сопротивление коррозионной усталости стали //Тез. докл. III Республ. конф. по коррозии и противокоррозионной защите "Новые коррозионно-стойкие металлические сплавы, неметаллические и композиционные материалы и покрытия"-Киев, 1983.-С.24.

9. Степуренко В.Т., Степуренко Ю.В., Стрижак П.Н., Карамия И.К. К вопросу о природе разрушения поршневых колец /ОПИ.-Киев, 1989.-8 с.-Деп. в УкрНИИТИ 22.08.89, № 1940-Ук89.

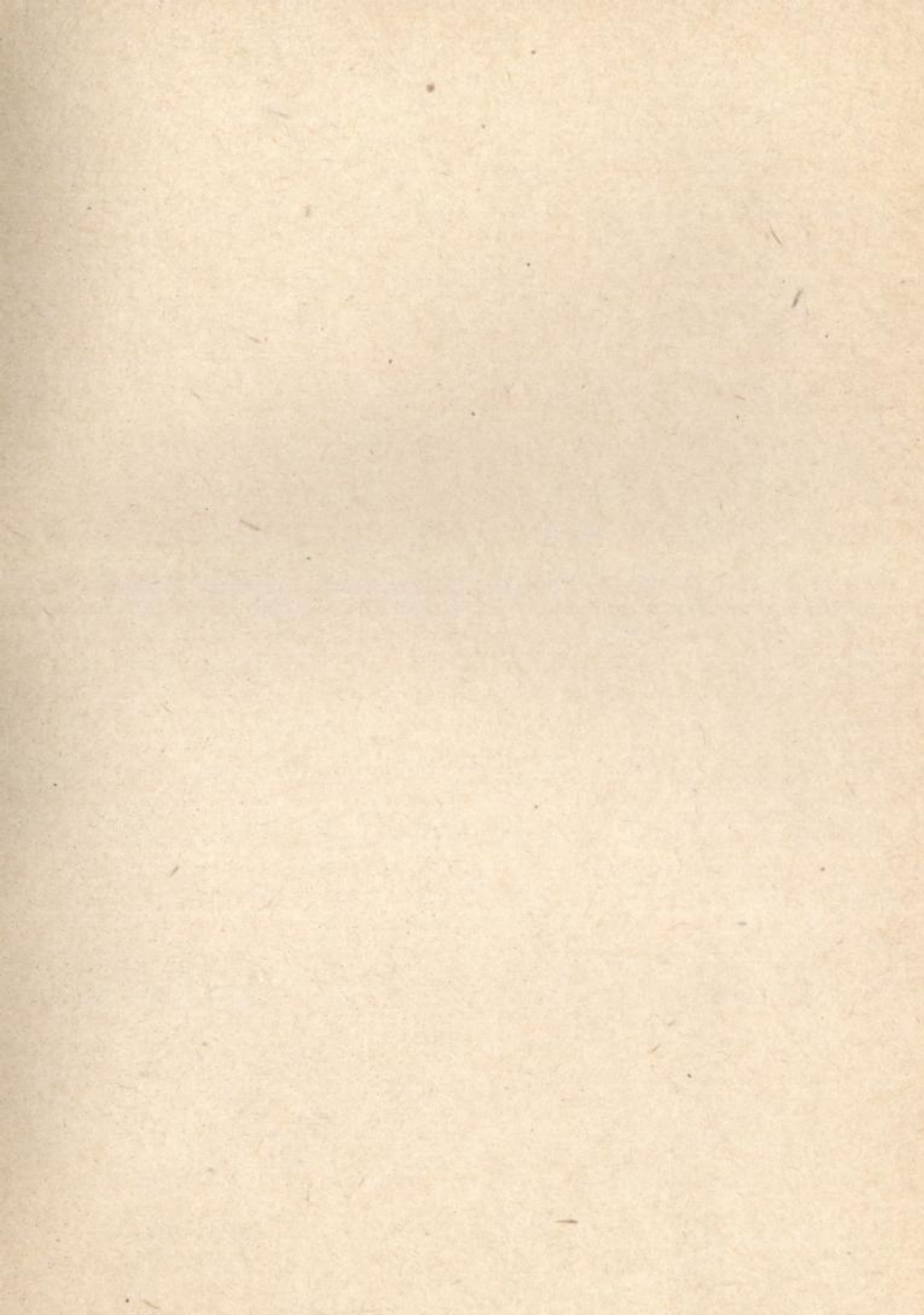
10. Степуренко В.Т., Степуренко Ю.В., Стоянов Д.И., Урсол Н.Н. Влияние автомобильного смазочного масла на сопротивление усталости стали /ОПИ.-Киев, 1990.-6 с. Деп. в УкрНИИТИ 16.02.90, № 228-Ук90.

11. Даденко А.Ф., Степуренко В.Т., Степуренко Ю.В. Коррозионная гипотеза существования предела выносливости стали в воздухе //Тез. докл. IV Республ. науч.-техн. конф. "Повышение надежности и долговечности машин и сооружений"-Киев, 1991.-Ч.1.-С.73-74.

12. Степуренко В.Т., Степуренко Ю.В. Особая роль малых примесей коррозионных агентов в воде на сопротивление усталости стали //Тез. докл. IV Республ. науч.-техн. конф. "Повышение надежности и долговечности машин и сооружений"-Киев, 1991.-Ч.2.-С.89-90.

Подп. к печати **Л.О.В.** Формат 60x84 1/16.  
Объем 0,7уч. изд. л. 1,0ц. л. Заказ № **1095** Тираж 100э-з.  
Гортипография Одесского облполиграфиздата, цех №3.  
Ленина 49.





AB 27.605