


620.179
М61

Міністерство освіти і науки України

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу



МИНДЮК ВАЛЕНТИН ДМИТРОВИЧ

УДК 620.179

**РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДУ ОЦІНКИ ЯКІСНИХ ЗМІН МАТЕРІАЛІВ
НАФТОГАЗОВОГО ОБЛАДНАННЯ ЗА КОМПЛЕКСОМ ФІЗИЧНИХ
ХАРАКТЕРИСТИК**

Спеціальність 05.05.12 – Машини нафтової та газової промисловості

**Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук**

Івано-Франківськ – 2014

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі „Технічної діагностики та моніторингу” в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Карпаш Олег Михайлович
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, проректор з наукової роботи, завідувач кафедри „Технічної діагностики та моніторингу”

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Никифорчин Григорій Миколайович
Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, завідувач відділу корозійно-водневої деградації та захисту матеріалів,
м. Львів

доктор технічних наук, доцент
Яким Роман Степанович
Дрогобицький державний педагогічний університет ім. Івана Франка, професор кафедри машинознавства та основ технологій,
м. Дрогобич



Захист відбудеться «23» вересня 2014 р. о 10⁰⁰ год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.04 при Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу за адресою:
76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська,15

МБА

З рукописом дисертації можна ознайомитись у бібліотеці Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська,15)

Автореферат розісланий « ____ » _____ 2014 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Л.Д. Пилипів".

Пилипів Л.Д.



ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Питання оцінки фактичного технічного стану елементів обладнання та металоконструкцій у нафтогазовій промисловості стає особливо актуальним в умовах гострої потреби у продовженні терміну експлуатації об'єктів, що відпрацювали свій нормативний ресурс. Ресурс безпечної експлуатації обладнання залежить і від фактичного стану мікроструктури та фізико-механічних властивостей металу.

Деградація властивостей конструкційних сталей в процесі експлуатації є одним з основних чинників, що обмежує тривалість служби елементів обладнання. Часто вона зумовлена сукупним впливом на металеві матеріали механічного навантаження та зовнішнього середовища, що викликає в ньому поступове накопичення пошкоджень, які погіршують параметри якості сталей. Параметри мікроструктури є одними із основних властивостей, що характеризують якість металевих матеріалів. Мікроструктура металу впливає на його основні фізичні та механічні властивості, що забезпечують експлуатаційні властивості.

Оскільки зміні механічних властивостей металу обладнання в процесі експлуатації передують зміни в його мікроструктурі, то контроль процесів деградації властивостей металів з часом та розробка методів оцінки їх величини у заданих умовах експлуатації є актуальною проблемою як у науковому, так і технічному плані. Актуальність задач контролю технічного стану металевих матеріалів нафтогазового обладнання пов'язана ще й з тим фактом, що діючі нормативно-технічні документи при розрахунку залишкового ресурсу устаткування не враховують рівень деградації властивостей металу в процесі експлуатації, що істотно знижує достовірність прогнозу.

Тому, розроблення нових підходів для проведення експлуатаційного контролю технічного стану елементів нафтогазопромислового обладнання за станом мікроструктури металу із збереженням цілісності об'єкту контролю є актуальною на сьогодні науково-технічною задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалась за особистою участю як виконавця автора на кафедрі технічної діагностики та моніторингу Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу відповідно до плану наступних науково-дослідних робіт:

- держбюджетна Д-2-07-Ф «Дослідження нових методів визначення фактичних фізико-механічних властивостей металоконструкцій тривалої експлуатації неруйнівними методами» (№ держреєстрації 0107U001559);

- госпдоговірна НЧ/409/2007 «Розроблення нових методів та технічних засобів визначення фізико-механічних характеристик технологічних об'єктів довготривалої експлуатації для створення банків даних про фізико-механічні властивості конструкційних матеріалів» (№ держреєстрації 0107U008068);

- госпдоговірна № НУ/7-2011 «Розроблення та впровадження енергоефективних технологій на діючих енергоємних об'єктах нафтогазового комплексу» (0111U008841) в рамках виконання Державної науково-технічної та соціальної програми «Наука в університетах 2008-2017»;

- держбюджетна Д-11-11-П «Розроблення новітніх неруйнівних методів діагностики та моніторингу деградації матеріалів металоконструкцій довготривалої експлуатації» Міносвіти та науки №0111U002999;

- держбюджетна Д-1-13-Ф «Розроблення наукових основ багатопараметрового контролю технічного стану металоконструкцій довготривалої експлуатації за фактичними значеннями фізико-механічних характеристик їх матеріалу та типом і розмірами дефектів» Міносвіти та науки №0113U001099.

Метою дисертаційної роботи є вирішення актуальної науково-практичної задачі в галузі удосконалення методів оцінювання технічного стану матеріалів нафтогазового обладнання в процесі їх експлуатації шляхом розроблення методу оцінки якісних змін його металевих матеріалів за комплексом фізичних параметрів.

Для досягнення поставленої мети в дисертаційній роботі необхідно вирішити такі задачі:

- проаналізувати сучасний стан і тенденції розвитку засобів і технологій контролю фізико-механічних характеристик конструкційних сталей для обладнання нафтогазової галузі;

- встановити характер взаємозв'язку між параметрами мікроструктури (середній діаметр зерна та співвідношення структурних складових перліт/ферит) і фізичними властивостями (магнітними, електричними, теплопровідними) конструкційних вуглецевих доєвтектоїдних сталей для нафтогазового обладнання, що реагують на зміни в мікроструктурі;

- провести експериментальні дослідження з метою визначення вказаних кількісних параметрів мікроструктури з мікрошліфів досліджуваних марок сталей та визначення оптимальної кількості з запропонованих інформативних фізичних параметрів неруйнівного контролю з подальшим встановленням кореляційних зв'язків між ними;

- розробити технологію оцінки фактичного технічного стану металу трубних елементів усіх типорозмірів, резервуарів для зберігання нафти та нафтопродуктів, каркасів та арматури бурових веж, привідних та проміжних валів, гаків та гальмівних елементів (шківів та барабанів) бурових установок та рами верстатів-гойдалок за дійсними значеннями параметрів мікроструктури, що визначаються за комплексом фізичних структурночутливих параметрів досліджуваних марок сталей та провести її промислово апробацію.

Об'єктом досліджень є процес контролю якості конструкційних сталей елементів нафтогазового обладнання за станом мікроструктури та її зміни в процесі експлуатації обладнання.

Предметом дослідження є методи оцінки якості металевих матеріалів елементів нафтогазового обладнання за станом їх мікроструктури.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених задач і досягнення поставленої мети в дисертації використано методи теоретичного аналізу фізичних явищ в матеріалі, пов'язаних з мікроструктурними перетвореннями, методи аналітичного моделювання, методи кореляційного та регресійного аналізу, інтерполяція даних, методи штучних нейронних мереж (далі – ШНМ), методи ідентифікації образів. Експериментальні дослідження щодо методу оцінювання

якості конструкційних сталей за станом їх мікроструктури та узагальнення результатів здійснювались із застосуванням теорії вимірювань і планування експерименту, кореляційного і регресійного аналізу, математичної статистики і теорії ймовірності, методів числового оброблення результатів експерименту, створення і адаптації алгоритмів штучних нейронних мереж для нелінійної апроксимації параметрів мікроструктури як функції кількох параметрів неруйнівного контролю.

Наукова новизна одержаних результатів. Науковий результат дисертації полягає у новому методі кількісної оцінки якості конструкційних сталей елементів обладнання для буріння, експлуатації свердловин та зберігання нафтопродуктів за дійсним станом їх мікроструктури. Наукова новизна визначається такими положеннями:

1. Вперше запропоновано здійснювати оцінювання кількісних параметрів мікроструктури конструкційних сталей шляхом комплексного використання визначеної оптимальної кількості фізичних параметрів контролю.

2. Вперше встановлено якісні та кількісні взаємозв'язки між параметрами мікроструктури: співвідношенням структурних складових перліт/ферит та середнім діаметром зерна, та фізико-механічними властивостями: твердістю, коерцитивною силою та частотою електромагнітних коливань індукційного перетворювача, що дозволяє чисельно ідентифікувати переважаючу структурну складову в доєвтектоїдних вуглецевих та низьколегованих конструкційних сталях.

3. Удосконалено методологію оцінки металографічних мікрофотографій із використанням відкритого програмного забезпечення ImageJ з можливістю індивідуальної модифікації процедури обробки мікроструктурних зображень в залежності від їх якості.

4. Набув подальшого розвитку метод оцінювання фактичного технічного стану конструкційних сталей за станом мікроструктури, що дозволяє враховувати зміни в мікроструктурі в розрахунку фактичних значень механічних характеристик сталей.

Положення, які захищаються:

1. Метод оцінки якісних змін властивостей сталей елементів нафтогазового обладнання за станом їх мікроструктури на базі використання оптимального комплексу структурночутливих фізичних параметрів контролю.

2. Аналітичні залежності між параметрами мікроструктури конструкційних сталей: співвідношення перліт/ферит та середній діаметр зерна та фізико-механічними властивостями сталей: твердість, коерцитивна сила та індуктивний параметр, що визначається частотою електромагнітних коливань індуктивного перетворювача, що дозволяє чисельно ідентифікувати переважаючу структурну складову в сплаві.

Практичне значення отриманих результатів результатів полягає в реалізації розробленого методу оцінювання якості металевих матеріалів за результатами контролю їх структурночутливих фізичних властивостей при обстеженні і оцінюванні технічного стану елементів обладнання для буріння та експлуатації свердловин, зберігання та транспортування продуктів нафтогазовидобутку.

Практичне застосування отриманих результатів полягає в наступному:

1. Розроблено метод оцінювання якості конструкційних сталей елементів обладнання для буріння та експлуатації свердловин за станом мікроструктури та її зміни з часом на основі неруйнівного контролю їх фізичних властивостей.

2. Розроблено положення нормативних документів СОУ, що регламентують порядок виконання робіт і оброблення отриманих результатів для визначення кількісних ознак деградації властивостей конструкційних сталей.

3. Розроблена та впроваджена в дослідну експлуатацію методологія автоматизованої оцінки одержаних мікрофотознімків з допомогою доступної відкритої програми-аналізатора ImageJ дала змогу підвищити точність визначення регламентованих чинними нормативними документами кількісних параметрів мікроструктури і розширити область досліджуваних мікроструктур.

4. Розроблений метод оцінювання фактичного стану мікроструктури конструкційних сталей дає можливість уточнювати розрахунок механічних характеристик елементів нафтогазового устаткування, що працює в умовах знакозмінних навантажень, із урахуванням кількісних параметрів мікроструктури і проводити моніторинг зміни характеристик матеріалів з часом.

5. Результати роботи, напрацьовані в процесі дисертаційних досліджень, впроваджені в навчальний процес кафедри ТДіМ ІФНТУНГ для спеціальностей «Обладнання нафтових і газових промислів», «Буріння нафтових і газових свердловин», «Технологія та устаткування зварювання».

Особистий внесок здобувача. Основні положення та результати дисертаційної роботи одержані автором самостійно. Зокрема, в опублікованих у співавторстві роботах здобувачем:

- встановлені особливості прояву змін мікроструктури та пов'язаних з нею фізичних параметрів конструкційних сталей для нафтогазового обладнання в процесі їх експлуатації [1 – 3];

- запропоновано новий підхід до визначення фактичних значень кількісних параметрів мікроструктури доєвтектоїдних конструкційних вуглецевих та низьколегованих сталей, який передбачає врахування кількох фізичних параметрів [5, 6, 10];

- розроблено методику визначення кількісних параметрів мікроструктури за результатами оптичної металографії із застосуванням відкритого програмного забезпечення ImageJ [10, 11]

- розроблено методику та проведено комплекс експериментальних досліджень з визначення оптимальної кількості фізичних інформативних параметрів, які найкраще корелюють з кількісними параметрами мікроструктури [11, 12];

- розроблено метод визначення кількісних параметрів мікроструктури за результатами контролю фізичних властивостей матеріалів на зразках сталей для елементів нафтогазового обладнання та трубних конструкцій [7, 8, 9];

- запропоновано практичну реалізацію та проект нормативного забезпечення методу оцінки характеру мікроструктурних змін конструкційних сталей в процесі експлуатації [4, 12].

Апробація результатів роботи. Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на вітчизняних і

міжнародних конференціях, зокрема: Міжнародній науково-технічній конференції «Міцність та надійність магістральних трубопроводів» („МТ-2008”), м. Київ, червень 2008 р.; 5-й Міжнародній науково-технічній конференції і виставці «Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтогазопромислового обладнання», м. Івано-Франківськ, грудень 2008 р.; II Всеукраїнській конференції молодих вчених «Сучасне матеріалознавство: матеріали та технології» СММТ – 2011, Україна, м. Київ, листопад 2011 р.; 16-й Міжнародній науково-технічній конференції «Електромагнітні та акустичні методи неруйнівного контролю матеріалів та виробів», м. Славське, Львівської обл., лютий 2012 р.; Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми і перспективи транспортування нафти і газу», м. Івано-Франківськ, травень 2012 р.; «NDT days 2012»/«SCIENTIFIC PROCEEDINGS», г. Созополь, Болгарія, юнь 2012 г.; 7-й Національній науково-технічній конференції «Неруйнівний контроль та технічна діагностика – UkrNDT-2012» /Київ: УТ НКТД, 2012 р.; III Міжнародній науково-технічній конференції «Пошкодження матеріалів під час експлуатації, методи його діагностування і прогнозування», м. Тернопіль, вересень 2013 р.

Публікації результатів досліджень. За темою дисертаційної роботи опубліковано 12 друкованих праць, з них 6 – статті у фахових наукових виданнях, затверджених МОН України, в тому числі 2 входять до міжнародних наукометричних баз, 2 – зарубіжні публікації, 4 – тези доповідей на конференціях, у тому числі 3 – міжнародні.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Дисертація викладена на 122 сторінках. Крім того робота проілюстрована 28 рисунками, включає 14 таблиць, список використаних джерел із 107 найменувань та 12 додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, наведено загальну характеристику роботи, сформульовано її мету та основні задачі досліджень. Викладено наукову новизну, практичне значення отриманих результатів досліджень, наведені відомості про особистий внесок здобувача та апробацію результатів дисертаційних досліджень.

У **першому розділі** проведений аналіз сучасного стану обладнання для нафтогазовидобутку, ступінь його зносу та коефіцієнт його оновлюваності. Вивчений вплив і наслідки впливу різних чинників на тривалість роботи, типи і характер відмов обладнання. Встановлено, що ресурс безпечної експлуатації устаткування залежить і від фактичного стану структури та фізико-механічних властивостей металу, яким передують незворотні зміни в мікроструктурі.

При технічному діагностуванні діючого обладнання та металоконструкцій діючими нормативними документами регламентуються, як основний метод оцінювання мікроструктури, металографічні дослідження, які, однак, вимагають трудомістких підготовчих операцій одержання зразків, а також необхідність

проведення ремонтно-зварювальних робіт для можливості подальшої експлуатації обладнання.

Питання аналізу змін фізико-механічних характеристик металевих матеріалів у ході експлуатації з використанням фізичних методів контролю неодноразово порушувались багатьма науковцями, однак вивчення їх обмежилось теоретичними і лабораторними дослідженнями, результати яких відображені в працях Міхеєва М.Н., Горкунова Є.С., Біди Г.В., Карпаша О.М., Молодецького І.А., Карпаша М.О., Назарчука З.Т., Никифорчина Г.М., Крижанівського Є.І., Петрини Ю.Д., Тетерка А.Я., Шарка А.В., Рибачука В.Г., Білокура І.П., Дорофєєва А.Л., Сухорукова В.В. та ін. Їх увага зосереджувалась, в основному, на розробленні та технічній реалізації ультразвукових, магнітних і електромагнітних методів контролю, які характеризуються низкою недоліків щодо їх теоретичного підґрунтя, обмежень у застосуванні. Пошуки нових параметрів контролю здебільшого вже реалізовані, а розвиток багатопараметрових методів діагностування стимулюється не тільки ускладненням задач контролю, але і бурхливим розвитком комп'ютерних технологій збору та обробки вимірювальної інформації. Тому для підвищення якості контролю деградації мікроструктури та механічних характеристик металів необхідно розробляти нові багатопараметрові методи з комплексним використанням структурночутливих фізичних характеристик.

На основі проведеного аналізу були сформульовані основні задачі, які необхідно вирішити в ході виконання дисертаційної роботи.

Другий розділ присвячений вивченню теоретичних аспектів характеру зміни фізичних властивостей гетерогенних сплавів при зміні фазового співвідношення та розмірів зерен і границь зерен, встановленню їх взаємозв'язку і змін в процесі експлуатації обладнання.

Основними структурночутливими *магнітними властивостями* є магнітна проникність μ , коерцитивна сила H_c , залишкова індукція B_r . Сталі феритного класу мають в основі фазову складову ферит, що є твердим розчином впровадження, а також він є фазовою складовою структури перліт. В твердих розчинах на базі феромагнітного металу спостерігається зниження намагніченості насичення, якщо в ньому розчинений діамагнітний матеріал. Пластична холодна деформація викликає спотворення просторової ґратки, які утруднюють процеси намагнічування і размагнічування сталей і інших феромагнітних сплавів. Магнітна проникність μ при наклепі знижується тим сильніше, чим більша величина деформації; коерцитивна сила H_c , навпаки, зростає з підвищенням величини деформації. У тому ж напрямі, що і наклеп, впливає на магнітні властивості сталі подрібнення зерна. Чим дрібніше зерно фериту, тим більша коерцитивна сила і втрати на гістерезис, і тим менша магнітна проникність. Це пояснюється тим, що межі зерен також є чинником, що перешкоджають поширенню намагнічування. По границях зерен, на стику двох порізного орієнтованих кристалітів, присутнє спотворення просторової решітки. Те ж відноситься і до спотворень просторових ґраток, що виникають при наклепі і гартуванні. Тому H_B і H_c зростають разом з підвищенням міри наклепу.

Вивчення магнітної проникності при старінні сталей показує, що вона загалом поводить ся обернено коерцитивній силі. Залишкова індукція, як правило, зростає.

При вивченні зміни *електричних* характеристик в залежності від мікроструктурного стану встановлено, що електропровідність металу твердих розчинів знижується навіть в тому випадку, коли в металі *A* з низькою електропровідністю розчиняється метал *B* з високою електропровідністю. Підвищення електроопору при утворенні твердого розчину (наприклад, легуванні) може бути дуже значним. Спотворення ґраток є не єдиною причиною зростання електричного опору твердих розчинів. Електричні властивості твердого розчину обумовлені також хімічною взаємодією компонентів.

При деформаційному наклепі питомий електричний опір твердих розчинів підвищується, а при відпалі знижується, оскільки при наклепі порядок в розташуванні атомів внаслідок відносного переміщення «пачок ковзання» і окремих атомних площин порушується. При цьому електричний опір підвищується на десятки, а іноді і на сто з лишнім відсотків. При значній деформації опір сплаву наближається до опору загартованого сплаву, що знаходиться в нерівноважному стані.

Детальному вивченню піддавався розрахунок електричного опору двофазних пластинчатих структур, перша за все пластинчатого перліту. Якщо усі пластинки витягнуті уздовж напрямку струму (ідеальна фіброва структура), то, користуючись правилом адитивності, можна підрахувати електропровідність сплаву [53]

$$\gamma = c_1\gamma_1 + c_2\gamma_2, \quad (1)$$

де γ – електропровідність сплаву, c_1 і c_2 – об'ємна концентрація першої та другої фази (ферит та цементит), γ_1 і γ_2 – електропровідність першої та другої фази (ферит та цементит).

У випадку, якщо усі вони розташовані строго поперечно (ідеальна шарувата структура), то за правилом адитивності опір ρ визначається за формулою

$$\rho = c_1\rho_1 + c_2\rho_2, \quad (2)$$

де ρ_1 і ρ_2 – питомі електричні опори включених фаз.

Тоді для вуглецевої ферито-перлітної сталі формула для визначення питомого електричного опору матиме вигляд:

$$\rho = 2 \cdot \left(c_1 \cdot \frac{1}{\gamma_1} \right) + c_2 \cdot \frac{1}{\gamma_2} + \rho_3, \quad (3)$$

де ρ – питомий опір сплаву, c_1 і c_2 – об'ємна концентрація першої та другої фази (ферит та цементит); γ_1 і γ_2 – електропровідність першої та другої фази (ферит та цементит); ρ_3 – питомий опір границь зерен.

Третій доданок у формулі (3) зумовлений тим фактом, що значний вклад у величину питомого електричного опору сплавів вносять також міжзернові границі та області концентраційної неоднорідності.

Для вуглецевої сталі різниця результатів, отриманих за цими двома формулами, досягає 25%. Значення електричного опору сталі з реальною, хаотично орієнтованою пластинчастою структурою знаходиться між підрахованими з формул (1) і (2). При вмісті (0,6 – 0,7)% С опір сталі з пластинчастою структурою приблизно на 10% вище, ніж у сталі із зернистою структурою (сфероїдизованого сорбіту), тоді як ідеальна шарувата структура (за розрахунком) дає перевищення на 20% в порівнянні з сорбітом.

Вплив наклепу і відпалу на питомий опір зменшується при потовщенні цементитних пластинок. Падіння визначається зростаючою орієнтованістю пластинчатого перліту, а підвищення - наклепу фериту. Воно тим більше, чим більше фериту, і зникає при високому вмісті вуглецю.

При наявності загальної аналогії між *електропровідністю* і *теплопровідністю*, остання змінюватиметься при зміні хімічного складу і фазового стану сплаву в основному по тих же якісних закономірностях, що і електропровідність. У безперервному ряді неврегульованих твердих розчинів сплавів *теплопровідність* знижується тим більше, чим більше склад сплаву відрізняється від чистих компонентів. Тут, як і для електропровідності, теплопровідність компонентів різко знижується при введенні домішок навіть в порівняно невеликих кількостях. Подальше підвищення концентрації твердого розчину впливає на теплопровідність значно менше.

Враховуючи особливості зміни магнітних властивостей, електричного опору, теплопровідної характеристики та твердості, їх високу чутливість до мікроструктурних змін, ці властивості вибрані для подальших досліджень щодо визначення кореляції між цими параметрами та параметрами мікроструктури конструкційних сталей для нафтогазового обладнання.

У **третьому розділі** наведено методику та результати експериментальних досліджень з метою визначення кількісних параметрів мікроструктури та фізичних властивостей доєвтектійних конструкційних сталей, а також встановлення характеру взаємозв'язку між ними.

Комплекс натурних експериментальних досліджень передбачав оптичну металографію, а також приладові технічні вимірювання фізичних параметрів, вибраних на основі досліджень у попередньому розділі: твердість, магнітні властивості (коерцитивна сила та індуктивний параметр), питомий електричний опір та теплопровідність.

Визначення середнього розміру зерен і співвідношення між процентною долею перліту і фериту як основних кількісних параметрів мікроструктури проводились за результатами обробки мікрофотознімків, одержаних металографічними дослідженнями 16-ти зразків конструкційних сталей, які використовують для нафтогазового обладнання, що працює в складних умовах циклічних навантажень, і схильні до деформаційного старіння. Марки досліджуваних сталей наведені в таблиці 1.

Зразки металів для досліджень були вирізані з елементів обладнання, що демонтувалися в ході виконання різних ремонтних заходів, з промислових трубопроводів аварійних запасів та експлуатованих, а також зразків листових прокатів з вказаних марок сталей в стані поставлення.

Мікроструктуру досліджуваних зразків виявляли за допомогою травлення попередньо вирізаного, шліфованого та полірованого зразка. Підготовки зрізців для металографії проводилось з використанням комплексу МІКРОТЕХ® для вирізування, шліфування й полірування зразків при проведенні металографічних досліджень.

Таблиця 1 – Перелік сталей, що піддавались дослідженням

Марка сталі	Застосування	Нормативний документ, що регламентує властивості
Сталь 10пс	Перехідні муфти	ГОСТ 1050-88
Сталь 10	Рама верстата-гойдалки	ГОСТ 1050-88
Сталь 09Г2С	Стінки, днища резервуарів, стаціонарні покрівлі, плаваючі покрівлі резервуарів	ГОСТ 19281-89
Ст3пс	Зварні і штамповані рами, каркаси бурових веж, корпуси редукторів, станини бурових установок	ГОСТ 380-71
Ст4пс	Гаки кронблоку, шатун верстата-гойдалки	ГОСТ 380-71
Сталь 09Г2	Трубні елементи	ГОСТ 19281-89
Сталь 10Г2С1	Труба для трубопроводів	ГОСТ 19282-73
Сталь 40Г	Привідні та проміжні вали лебідок, шків талевого блока	ГОСТ 4543-71
Сталь 45	Муфти насосних штанг, ствол і перевідник вертлюга, штоки насосів	ГОСТ 1050-81
Сталь 60Г	Гальмівний барабан та шків лебідки	ГОСТ 14959-79

Вибір місця вирізування зразків для виготовлення мікрошліфів враховував напрям прокатування і спосіб вирізування пластин із металоконструкції чи листа. Зразки прямокутної форми, розміром поверхні 12x12 мм, товщиною в межах (8 – 12) мм в залежності від товщини пластин, вирізалися з тіла пластин на відстані не менше 50 мм від крайових зон, на яких мікроструктура металу могла бути порушеною в процесі вирізування пластин із об'єктів термічним чи механічним способом без охолодження. Підготовлені поверхні металографічних зразків для виявлення мікроструктури піддавались хімічному травленню 5%-ним спиртовим розчином пікринової кислоти.

Мікрофотознімки одержані на металографічному мікроскопі ММО-1600АТ. Реєстрація зображень мікроструктури зразків з мікроскопа здійснювалась цифровою камерою КММ-5 при збільшеннях кратністю 100, 200 і 400. Для зниження трудоемкості обробки фотоінформації одержані зображення вводились в ПЕОМ для подальшої обробки за допомогою програми-аналізатора ImageJ версії m1.45. Для аналізу фотознімків був розроблений спеціальний алгоритм, що дав можливість використовувати даний програмний продукт для металографічних цілей.

Основні параметри мікроструктури, а саме: розміри зерен та співвідношення між фазовими складовими структури перліт і визначалися за ГОСТ 5639 – 82.

Виходячи з різних умов роботи металу зразків, що були в експлуатації, вивчення їх мікроструктури проводилось пошарово, виділяючи шари, що примикають до зовнішньої і внутрішньої поверхонь зразка, а також шар, розташований в середній частині товщини стінки. Визначені параметри

мікроструктури осереднювались за результатами вимірювань в 6-ти областях розміром $0,5 \text{ мм}^2$ видимої частини кожного мікрофотознімка кратністю $100\times$.

Потім на досліджуваних сталених зразках, очищених та поділених на 3 чи 6 зон в залежності від їх розмірів, проводились вимірювання їх фактичних значень фізичних і механічних характеристик, а саме: твердості поверхневого шару за шкалою Брінеля НВ переносними твердомірами типу ТД і ТКР; індуктивного магнітного параметра I , що характеризується частотою електромагнітних коливань в індуктивному перетворювачі, експериментальною інформаційно-вимірювальною системою ІВС-І2; коерцитивної сили H_c (А/см) структуроскопом КРМ-Ц-К2М; вимірювання теплопровідної характеристики T (ум.од) інформаційно-вимірювальною системою ІВС ФМХ-1 з нагрівальним блоком для вимірювання умовної теплопровідної характеристики; вимірювання питомого електричного опору ρ (нОм·м) з використанням мікроомметра БСЗ-010-2 зі спеціальним контактним механізмом. У кожній зоні були виконані десятикратні вимірювання всіма технічними засобами в однакових лабораторних умовах при температурі $(21\pm 2)^\circ\text{C}$.

Результати експериментальних досліджень на кожному зразку осереднювались і зводились в таблицю 2.

Таблиця 2 – Результати вимірювання параметрів мікроструктури і вимірювання фізичних і механічних параметрів сталених зразків

№ зр.	Марка сталі	\bar{D} , мкм	P/Fe	Твердість, НВ		H_c , А/см	I , ум.од.	T , ум.од.	ρ , нОм·м
				ТКР-35	ТД-32				
1	Сталь 10пс	58,89	0,2	141,5	135	2,26	1785,8	6,08	178
2	Сталь 10	62,24	0,16	114,9	114,3	1,53	1950,5	5,82	198
3	Сталь 09Г2С	9,62	0,35	122,2	116	1,82	1997,2	5,95	267
4	Ст.3пс	26,6	0,36	175,6	136,6	3,25	1853,5	4,557	329
5	Сталь 10 (Е)	31,54	0,4	123,2	138,3	1,43	2156,6	6,738	165
6	Сталь 60Г	71,01	8,79	290,7	249,6	8,55	1532,4	5,369	350
7	Ст.3пс (Е)	26,54	0,37	133,1	134,6	3,01	1629	5,87	141
8	ВСт.4пс	42,08	0,22	139,2	126,3	1,99	1975,3	5,849	172
9	Сталь 10 (Е)	16,89	0,14	160,6	134	3,19	1839,8	4,929	272
10	Сталь 10Г2С1 (Е)	35,12	0,34	184,2	149	3,92	1996,5	4,749	370
11	ВСт.4пс (Е)	23,59	0,13	114,8	118,6	2,24	1846,5	5,207	264
12	Сталь 09Г2С (Е)	13,6	0,36	168,7	151	3,8	1729,6	5,034	224
13	Сталь 40Г	62,61	5,13	215,2	187	5,61	1561,8	5,764	380
14	Сталь 45	56,14	5,91	234,8	198,3	5,3	1573,7	5,571	315
15	Сталь 09Г2 (Е)	16,67	0,52	127,8	188,3	2,89	1684,2	6,223	198
16	Сталь 09Г2	12,79	0,26	196,7	203	3,14	1895,5	5,709	385

Примітка. (Е) – сталь конструкції, що була в експлуатації.

Для визначення наявності і характеру взаємозв'язку між параметрами мікроструктури і вибраними фізичними характеристиками було проведено графічний та кореляційний аналіз. На рисунках 1 і 2 зображено графіки залежностей фізичних і механічних параметрів від досліджуваних характеристик мікроструктури. Для відображення тенденції зміни взаємозв'язку на графіках зображено криві апроксимації.

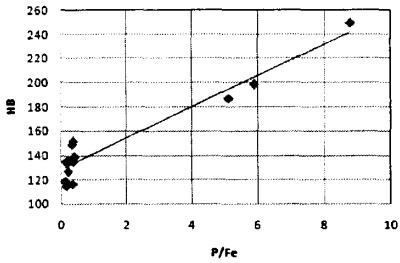
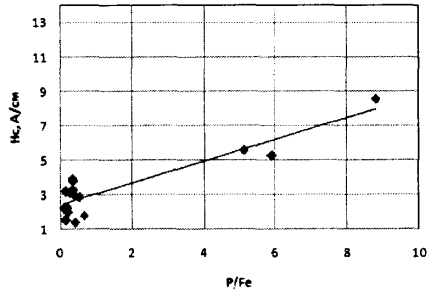
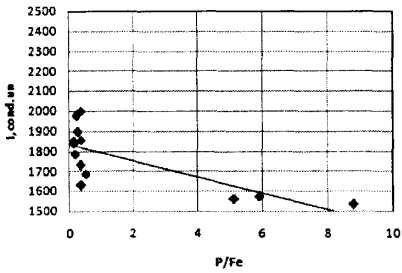
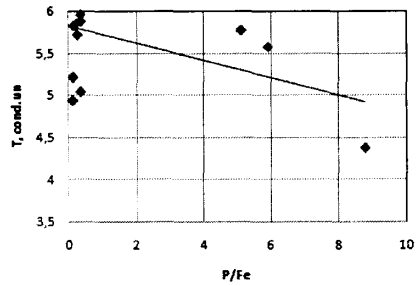
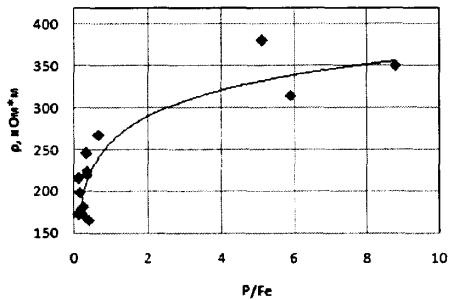
а) $HB = f(P/Fe)$ б) $H_c = f(P/Fe)$ в) $I = f(P/Fe)$ г) $T = f(P/Fe)$ д) $\rho = f(P/Fe)$

Рисунок 1 – Графіки залежностей фізичних і механічних параметрів досліджуваних сталей від співвідношення P/Fe (перліт/ферит)

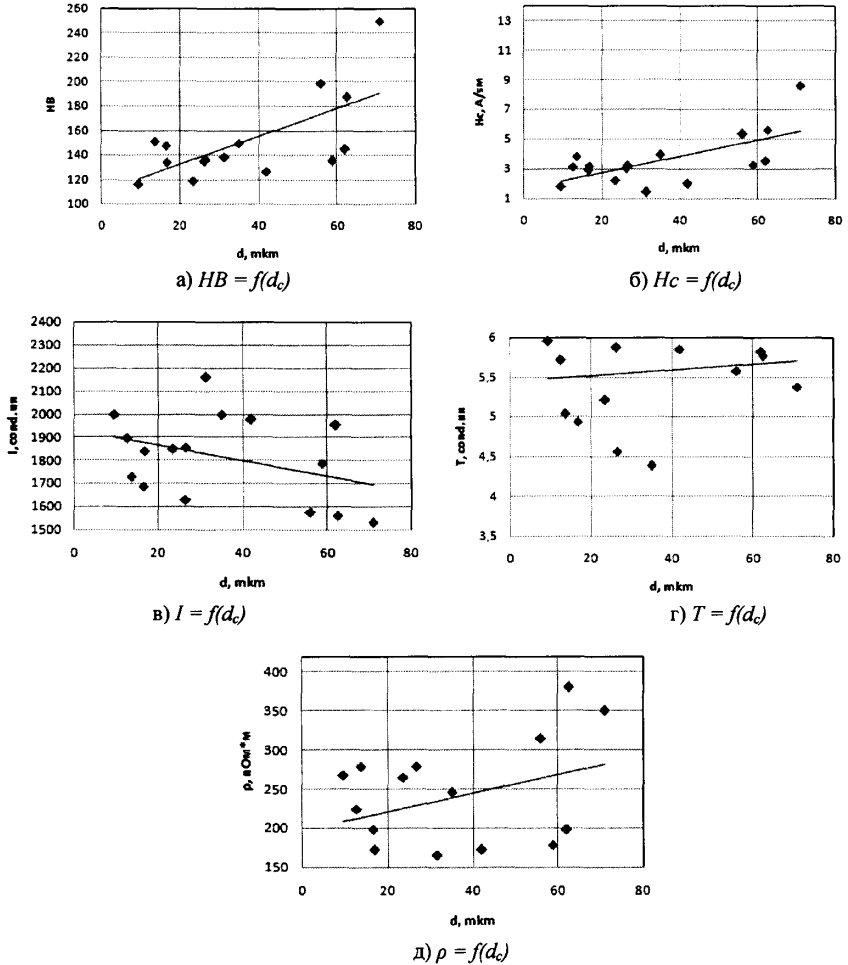


Рисунок 2 – Графіки залежностей фізичних і механічних параметрів досліджуваних сталей від середнього розміру зерна

Для встановлення залежності між вибраними параметрами мікроструктури та фізичними властивостями досліджуваних сталей були розраховані коефіцієнти кореляції між ними, які наведені в таблиці 3.

Таблиця 3 – Коефіцієнти кореляцій між вимірними параметрами мікроструктури і фізико-механічними параметрами досліджуваних сталей

	НВ	Коерцитивна сила, H_c , А/см	Індуктивний параметр I , ум.од.	Теплопровідна χ -ка T , ум.од.	Питомий ел.опір, нОм·м
P/Fe	0,7934	0,9033	-0,5782	-0,2311	0,3999
\bar{D} , мкм	0,3325	0,5018	-0,1917	-0,0504	-0,0313

Як показують результати досліджень, спостерігається хороша кореляція між співвідношенням перліт/ферит і твердістю, коерцитивною силою та магнітним індуктивним параметром. Знак мінус в останньому випадку говорить про обернену залежність. Кореляція між вибраними фізичними параметрами і середнім розміром зерен є незначною. Питомий електричний опір та теплопровідна характеристики мають незначну кореляцію з даним параметром через невисоку чутливість методів до структурних змін на мікрорівні, тому в подальших дослідженнях вони використовуватись не будуть. Нелінійний характер зв'язку між параметрами структури і фізичними параметрами, робить доцільним використання фізичних параметрів в комплексі.

При формуванні комплексних наборів даних слід керуватись правилом перебору всіх можливих варіантів, тобто в разі наявності 3 інформативних параметрів слід сформувані 4 набори даних: 3 набори з 2-ох параметрів та 1 набір з 3-ох параметрів. Для цих випадків були одержані рівняння лінійної регресії за значеннями попарних груп вхідних параметрів. Коефіцієнти лінійної регресії знаходились за методом найменших квадратів, коефіцієнти детермінації подані в таблиці 4.

Таблиця 4 – Коефіцієнти детермінації між комплексами фізичних характеристик і параметрами мікроструктури

	H_c, HB, I	H_c, HB	H_c, I	HB, I
P/Fe	0,92	0,90	0,92	0,82
\bar{D} , мкм	0,54	0,54	0,50	0,34

Кореляційний аналіз дав можливість встановити тільки наявність чи відсутність залежності між досліджуваними параметрами, а не оцінити її характер. Для визначення характеру зв'язку між параметрами мікроструктури і фізичними властивостями досліджуваної групи сталей було застосовано алгоритми штучних нейронних мереж, зокрема, для отримання аналітичних залежностей між комплексом вимірюваних фізичних параметрів та окремо розміром зерна і відношенням фазових складових.

Одержана аналітична залежність для визначення середнього розміру за трьома фізичними параметрами має вигляд

$$\bar{D} = \frac{290}{1 + e^{-2 \left(\sum_{n=1}^{10} (LW\{2,1\} \left(\frac{2}{-2 \sum_{n=1}^{10} (LW\{1,1\}) \left(\frac{HB-100}{200} \right) \left(\frac{HC-1}{12} \right) \left(\frac{I-1500}{100} \right) \right)^{+b(1)}} - 1 \right)}}} - 163,457, \quad (4)$$

де \bar{D} – середній розмір зерна, HB – твердість за шкалою Брінеля; HC – коерцитивна сила; I - значення індуктивного параметра. $IW\{1,1\}$ – масив чисел розмірністю 10×3 ; $b\{1\}$ – масив чисел розмірністю 10×1 ; $LW\{2,1\}$ – масив чисел розмірністю 1×10 .

Середня похибка результатів розрахунку, зведена до діапазону вимірювання, складає 3,71%.

Одержана аналітична залежність для визначення відношення фаз за трьома фізичними параметрами має вигляд

$$P/Fe = \frac{20}{1+e^{-2\left(\sum_{n=1}^{10} (LW\{2,1\}) \left[\frac{2}{-2 \cdot \sum_{n=1}^{10} (IW\{1,1\}) \left(\frac{HB-100}{200} \right) \left(\frac{HC-1}{12} \right) \left(\frac{I-1500}{100} \right) \right] + b\{1\}} \right)} - 13,069, \quad (5)$$

де P/Fe – співвідношення фазових складових, HB – твердість за шкалою Брінеля; HC – коерцитивна сила; I - значення індуктивного параметра. $IW\{1,1\}$ – масив чисел розмірністю 10×3 ; $b\{1\}$ – масив чисел розмірністю 10×1 ; $LW\{2,1\}$ – масив чисел розмірністю 1×10 .

Середня похибка результатів розрахунку, зведена до діапазону вимірювання, складає 2,31%.

Одержана аналітична залежність для визначення середнього розміру за двома фізичними параметрами має вигляд

$$\bar{D} = \frac{290}{1+e^{-2\left(\sum_{n=1}^{12} (LW\{2,1\}) \left[\frac{2}{-2 \cdot \sum_{n=1}^{12} (IW\{1,1\}) \left(\frac{HB-100}{200} \right) \left(\frac{HC-1}{12} \right) \right] + b\{1\}} \right)} - 150,034, \quad (6)$$

де \bar{D} – середній розмір зерна, HB – твердість за шкалою Брінеля; HC – коерцитивна сила; $IW\{1,1\}$ – масив чисел розмірністю 12×2 ; $b\{1\}$ – масив чисел розмірністю 12×1 ; $LW\{2,1\}$ – масив чисел розмірністю 1×12 .

Середня похибка результатів розрахунку, зведена до діапазону вимірювання, складає 1,33%.

Одержана аналітична залежність для визначення відношення фазових складових за двома фізичними параметрами має вигляд

$$P/Fe = \frac{20}{1+e^{-2\left(\sum_{n=1}^{12} (LW\{2,1\}) \left[\frac{2}{-2 \cdot \sum_{n=1}^{12} (IW\{1,1\}) \left(\frac{HB-100}{200} \right) \left(\frac{HC-1}{12} \right) \right] + b\{1\}} \right)} + 0,472, \quad (7)$$

де P/Fe – співвідношення фазових складових, HB – твердість за шкалою Брінеля; HC – коерцитивна сила. $IW\{1,1\}$ – масив чисел розмірністю 12×2 ; $b\{1\}$ – масив чисел розмірністю 12×1 ; $LW\{2,1\}$ – масив чисел розмірністю 1×12 .

Середня похибка результатів розрахунку, зведена до діапазону вимірювання, складає 2,24%.

У четвертому розділі наведена технологія реалізації методу оцінювання фактичного стану металу елементів нафтогазового обладнання за параметрами мікроструктури, визначеними на основі результатів вимірювання його фізичних структурночутливих властивостей.

Метод передбачає проведення таких операцій. Перед початком вимірювань виводять обладнання на робочі режими, підготовлюють місця контролю на поверхні об'єкта. При подальших вимірюваннях потрібно проводити не менше п'яти вимірювань в одній точці. Запис, оцифрування та оброблення результатів здійснюється за допомогою програмного забезпечення на базі програмного продукту *Matlab*. Програма розрахунку містить розрахунковий модуль на базі алгоритмів штучних нейронних мереж, який дає змогу виконати трьохпараметричну апроксимацію співвідношення R/Fe як функцію від комплексу інформативних параметрів – твердості, коерцитивної сили та магнітного індуктивного параметру (формула 5) та середній розмір зерна \bar{D} як функцію від комплексу двох інформативних параметрів – твердості та коерцитивної сили (формула 6). Результати розрахунків використовуватися експлуатуючими організаціями для розрахунку дійсних значень механічних характеристик та встановлення їх відповідності вимогам нормативних документів, а також для виявлення ознак деградаційних процесів матеріалу, які виражатиметься у зміні кількісних характеристик мікроструктури на більше, ніж 10% відносно попередніх результатів обстеження обладнання тривалої експлуатації.

Для практичної реалізації розробленого методу контролю мікроструктурних змін було прийнято участь у розробці НД (СОУ):

- Технологічний регламент «Контроль якості кільцевих з'єднань при укладанні підводних трубопроводів з трубоукладальної баржі для облаштування Одеського, Безіменного та Субботінського родовищ (погоджений з ІЕЗ 15ет.Є.О.Патона НАН України, ТК 146 «Матеріали, обладнання і споруди для нафтогазової промисловості»), ДП «Центр сертифікації і контролю якості будівництва об'єктів нафтогазового комплексу Держгірпромнагляду України» (ПАТ «Державне акціонерне товариство «Чорноморнафтогаз»);

- ГОСТ ISO 13628-7:201 – Промышленность нефтяная и газовая. Проектирование и эксплуатация систем подводной добычи. Часть 7. Райзерные системы для заканчивания и ремонта скважин (ISO 13628-7:2005, IDT).

ВИСНОВКИ

В дисертації, що є завершеною науково-дослідною роботою, поставлена і вирішена актуальна науково-прикладна задача, яка полягає у розробленні методу оцінювання якості металів елементів нафтогазового обладнання за станом мікроструктури на основі вимірювання комплексу фізичних параметрів.

Найбільш важливі наукові і практичні результати полягають у наступному:

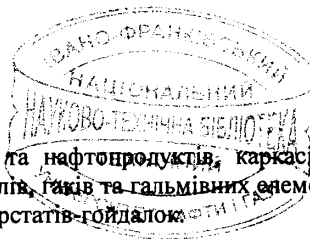
1. Проаналізовано технічний стан експлуатованого нафтогазового обладнання і встановлено, що його і рівень аварійності вимагає удосконалення методів оцінки

його технічного стану, а також системи обслуговування і ремонту. Проведено аналіз особливостей зміни мікроструктури конструкційних сталей феритного класу для нафтогазового обладнання, які виникають в процесі його експлуатації. Аналіз відомих методів і засобів контролю мікроструктури сталей показав, що вони є недостатньо інформативними, не забезпечені необхідним теоретичним підґрунтям, мають ряд обмежень щодо їх застосування, а також використовуються, в основному, для якісного аналізу структурних перетворень при термічній обробці сталей. Обґрунтовано актуальність застосування багатопараметрових методів контролю з комплексним використанням структурно і фазочутливих інформативних параметрів.

2. На основі теоретичних досліджень особливостей перетворень мікроструктури гетерогенних сплавів встановлені основні структурні складові, що виділяються чи перетворюються під впливом різних чинників: поява нової фази через наявність руху дислокацій та дефектів кристалічних решіток, зміна співвідношення фазових складових сплаву, збільшення величини дисперсності окремих фаз, зміна розмірів, форми і орієнтації зерен. Незворотні зміни в мікроструктурі призводять до зміни деяких тісно з ними пов'язаних фізичних властивостей, а саме: відмічено значне зростання коерцитивної сили та магнітної індукції при виділенні в феромагнітному сплаві немагнітних фаз (наприклад, цементиту) в навіть незначних концентраціях, при цьому магнітна проникність зменшується; питомий електричний опір сталей зростає при деформаційному наклепі та збільшенні міжзернових границь, а також сильно реагує на зміну співвідношення фаз. Як і для електричних властивостей, теплопровідність залежить від фазового стану сплаву в основному за тими ж якісними закономірностями, що і електропровідність. Ці фізичні властивості залізвуглецевих сплавів, а також твердість як структурночутлива характеристика сталей, обрані для подальших досліджень.

3. Проведені експериментальні дослідження для встановлення зв'язку між параметрами мікроструктури визначених марок конструкційних сталей (Ст.3, Ст.4, Сталі 10пс, 10, 45, 09Г2, 09Г2С, 10Г2С1, 40Г та 60Г): відношенням структурних складових перліт/ферит і середнім розміром зерна та структурно-чутливими фізичними властивостями цих сталей (твердість, коерцитивна сила, питомий електричний опір, магнітна індукційна та теплопровідна характеристика). Підтверджена можливість визначення вказаних параметрів мікроструктури за визначеним оптимальним числом фізичних параметрів. Визначені ті фізичні параметри контролю, що найкраще корелюють з кількісними характеристиками мікроструктури в комплексі: твердість, коерцитивна сила, магнітна індуктивна характеристика. Максимальні значення похибок визначення кількісних характеристик мікроструктури на досліджуваних сталях становлять: 2,24 % при визначенні співвідношення перліт/ферит за твердістю, коерцитивною силою та магнітним параметром при кореляції 0,92 та 1,33 % при визначенні середнього діаметру зерна за твердістю та коерцитивною силою при кореляції 0,90.

4. Розроблено технологію одержання кількісних параметрів мікроструктури для оцінки фактичного стану металу за результатами вимірювання фізичних властивостей, яку рекомендовано застосовувати для трубних елементів усіх



типорозмірів, резервуарів для зберігання нафти та нафтопродуктів, каркасів та арматури бурових веж, привідних та проміжних валів, гідів та гальмівних елементів (шківів та барабанів) бурових установок та рами верстатів-гойдалонок.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Миндюк В.Д. Особливості деградації структури матеріалів металоконструкцій довготривалої експлуатації та оцінка можливості її діагностування в нафтогазовому комплексі / В.Д. Миндюк, Є.Р. Доценко, М.О. Карпаш // Науковий вісник ІФНТУНГ. – 2011. - №2 (28). – С.91-97.
2. Миндюк В.Д. Досвід оцінки деградації матеріалу труб аміакопроводу за результатами неруйнівного контролю їх механічних характеристик / В.Д. Миндюк, М.О. Карпаш, А.В. Яворський, І.В. Рибіцький, Є.Р. Доценко // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2012. – №2. – С. 30 – 35.
3. Миндюк В.Д. Досвід та проблеми оцінки деградування структури та механічних властивостей сталей трубопровідного сортаменту / В.Д. Миндюк, М.О. Карпаш, Є.Р. Доценко // Науковий вісник ІФНТУНГ: Спецвипуск. – 2012. - №2 (32). – С.222 - 227.
4. Карпаш М.О. Інформаційне забезпечення у сфері контролю фізико-механічних характеристик матеріалу металоконструкцій / М.О. Карпаш, Н.Л. Тацакович, О.М. Карпаш, В.Д. Миндюк // Нафтова і газова промисловість. – 2008. – №3. – С.51 – 53.
5. Карпаш О.М. Сучасні підходи до оцінки технічного стану морських нафтогазових споруд тривалої експлуатації / О.М. Карпаш, В.Д. Миндюк // Тези доповідей міжнародної науково-технічної конференції „Міцність та надійність магістральних трубопроводів” („МТ-2008”). 5 – 7 червня. м.Київ. – 2008. – С.46 – 48.
6. Миндюк В.Д. Оцінка деградації структури матеріалів металоконструкцій довготривалої експлуатації за зміною комплексу структурночутливих фізичних параметрів матеріалу / Є.Р. Доценко, М.О. Карпаш // Тези доповідей II Всеукраїнської конференції молодих вчених «Сучасне матеріалознавство: матеріали та технології» СММТ – 2011. – 16 – 18 листопада. м. Київ. Україна. – 2011. – С. 241.
7. Миндюк В.Д. Оцінка ступеню деградації матеріалу труб аміакопроводу неруйнівними методами контролю / М.О. Карпаш, А.В. Яворський, Є.Р. Доценко, І.В. Рибіцький, М.П. Андрійшин // Матеріали 16-ої міжнародної науково-технічної конференції „Електромагнітні та акустичні методи неруйнівного контролю матеріалів та виробів”. – 20 – 25 лютого. м.Славське, Львівської обл. – 2012. – С. 58 – 62.
8. Карпаш М.О. Опыт определения характера деградирования структуры и механических свойств стали после длительной эксплуатации на примере аммиакопровода / М.О. Карпаш, Е.Р. Доценко, Н.Л. Тацакович, В.Д. Миндюк // Научные известия “NDT days 2012”/SCIENTIFIC PROCEEDINGS. XX (Болгария), №1 (133). – 2012. – С. 255 – 259.
9. Миндюк В.Д. Досвід та проблеми оцінки деградування структури та механічних властивостей сталей трубопровідного сортаменту / В.Д. Миндюк, М.О.

an 2450

Карпаш, Є.Р. Доценко // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми і перспективи транспортування нафти і газу». – 15 – 18 травня. м.Івано-Франківськ. – 2012. – С. 314 – 316.

10. Миндюк В.Д. Характер зв'язку між параметрами мікроструктури і фізико-механічними властивостями сталей тривалої експлуатації // В.Д. Миндюк, О.М. Карпаш, М.О. Карпаш / Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2013. – №4. – С.129 – 133. (V.D. Myndyuk. Character of the Relationship Between the Microstructure and Physicomechanical Properties of Steels of Long-Term Operation // V.D. Myndyuk, O.M. Karpash, O.M. Karpash / Material Science. – 2014. – V.49, №4. – P. 560 –5 65.) *(видання входить до наукометричної бази даних Scopus)*

11. Миндюк В.Д. Експериментальна перевірка характеру зв'язку між параметрами мікроструктури і фізичними властивостями матеріалів металоконструкцій довготривалої експлуатації для оцінки ступеню їх деградації // В.Д. Миндюк, М.О. Карпаш, Є.Р. Доценко / Вісник Тернопільського національного технічного університету. – 2013. - №3 (71). – С. 153 – 163. *(видання входить до наукометричної бази даних IET Inspec)*

12. Миндюк В.Д. Оценка деградации структуры металлоконструкций длительной эксплуатации по изменению их физических свойств // В.Д. Миндюк, М.О. Карпаш, Є.Р. Доценко / Научные известия “NDT days 2013” / SCIENTIFIC PROCEEDINGS. XXI (Болгария), №2 (139). – 2013. – С. 52 – 54.

АНОТАЦІЯ

Миндюк В.Д. Розроблення методу оцінки якісних змін матеріалів нафтогазового обладнання за комплексом фізичних характеристик. – Рукопис.

Дисертація на здобуття вченого звання кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.12 – Машини нафтової і газової промисловості, м. Івано-Франківськ, 2014.

Дисертація присвячена питанню оцінювання якості сталей нафтогазового обладнання шляхом оцінювання мікроструктурних змін за комплексом фізичних характеристик.

Досліджено особливості мікроструктурних змін матеріалів металоконструкцій в процесі експлуатації. Встановлено основні фізичні параметри, що зазнають змін внаслідок змін в мікроструктурі. Проаналізовано сучасний стан методів та засобів проведення структуроскопії. Проведено дослідження якісних змін фізичних параметрів матеріалів в залежності від зміни мікроструктури. Проведено дослідження щодо для одержання основних параметрів мікроструктури з використанням нових методів обробки металографічних зображень, а також фізичних характеристик матеріалу з використанням методів і засобів, що ґрунтуються на різних фізичних принципах. Встановлений оптимальний комплекс фізичних параметрів, що найкраще корелюють з вибраними параметрами мікроструктури. З використанням алгоритмів штучних нейронних мереж одержані функції апроксимації параметрів мікроструктури, а саме співвідношення

перліт/ферит та середній діаметр зірн, від твердості, коерцитивної сили та магнітного індукційного параметру, що характеризує частоту електромагнітних коливань індуктивного перетворювача.

Розроблено методологію оцінювання якості матеріалу шляхом визначення параметрів мікроструктури за комплексом фізичних характеристик для подальшого їх використання для розрахунків механічних характеристик матеріалів та оцінювання ступеню деградації матеріалу.

Ключові слова: нафтогазове обладнання, мікроструктура, деградація, співвідношення фазових складових, середній розмір зерна, неруйнівний контроль, фізико-механічні характеристики.

АННОТАЦІЯ

Мындюк В.Д. Разработка метода оценки качественных изменений материалов нефтегазового оборудования за комплексом физических характеристик. - Рукопись.

Диссертация на получение ученого звания кандидата технических наук за специальностью 05.05.12 - Машины нефтяной и газовой промышленности, г. Ивано-Франковск, 2014.

Диссертация посвящена вопросу оценки качества материалов нефтегазового оборудования путем оценки микроструктурных изменений за комплексом физических характеристик.

Анализ процессов деградации структуры разных типов сталей и ее последствий показал, что показателями деградации структуры металла, которые стоит поддавать диагностике, есть изменение размеров и ориентации зерен отдельных структурных фаз со временем, морфологическое изменение отдельных фаз и изменение их соотношения в структуре, что значительно влияют на изменение отдельных физических свойств материалов, а, особенно, - структурно чувствительных параметров, выделение вторичных фазовых составляющих (например, карбидов легирующих элементов или низкотемпературных модификаций металла из высокотемпературной) из основных фаз и распределение их по границах зерен, группирования в отдельные зоны.

Во втором разделе проведено качественное изучение процессов изменения физических структурно чувствительных свойств ферритных сталей. На основе результатов изучения особенностей изменения магнитных свойств, электрического сопротивления, теплопроводной характеристику и твердости, избранные параметры выбраны для дальнейших исследований относительно определения корреляции между этими параметрами и параметрами микроструктуры.

Третий раздел содержит методику и результаты экспериментальных исследований по установлению зависимости избранных информативных физических параметров от параметров микроструктуры отобранных образцов разных марок сталей. Определены зависимости отдельных физических свойств сплавов от характеристик микроструктуры – соотношения перлит/феррит и среднего



диаметра зерна, а также определен оптимальный комплекс физических свойств с наилучшей корреляцией их с параметрами микроструктуры. Использование алгоритмов нейронных сетей позволило получить зависимости микроструктурных характеристик от комплекса физических свойств в аналитическом виде

Четвертый раздел посвящен разработке методологии оценки качества материала путем определения параметров микроструктуры за комплексом физических характеристик для дальнейшего их использования для расчетов механических характеристик материалов и оценки степени деградации материала, которая прошла успешную промышленную апробацию в условиях РВУ «Львовавтогаз» и НПФ «Зонд» и внедрена в нормативных документах нефтегазовой отрасли.

Ключевые слова: нефтегазовое оборудование, микроструктура, деградация, соотношение фазовых составляющих, средний размер зерна, неразрушающий контроль, физико-механические характеристики.

ABSTRACTS

Myndyuk V.D. Development of method for quality changes evaluation of materials of oil and gas equipment with use a complex of physical features. – Manuscript.

Dissertation on competition of scientific degree of the candidate of engineering sciences at speciality – 05.05.12 Machines of oil and gas industry, Ivano-Frankivsk, 2014.

Dissertation is devoted to assessing the quality of oil and gas equipment materials by evaluating complex microstructural changes with physical characteristics.

The features of the microstructural changes of metal materials during operation are investigated. The basic physical properties that are experiencing changes due to changes in the microstructure are identified. The current state of methods and means of structures microscopy are analyzed. The investigation of qualitative changes in the physical parameters of materials depending on the change of the microstructure are studied. The main parameters of the microstructure with using new methods of metallographic image processing were obtained, as well as the physical characteristics of the material using the methods and tools that are based on different physical principles were measured. The optimal set of physical parameters that best correlated with the selected parameters of the microstructure is established. Approximation functions of microstructure parameters such as a ratio of pearlite/ferrite and the average grain diameter with the hardness, coercitivity, magnetic induction parameter which characterizes the oscillation frequency of the electromagnetic inductive transducer are obtained by using artificial neural networks algorithm.

A methodology for assessing the quality of the material by determining the microstructure parameters with the complex of physical characteristics for further use in the calculation of materials mechanical characteristics and material degradation assessment is developed.

Keywords: oil and gas equipment, microstructure, degradation, phase components ratio, average grain size, nondestructive testing, physical and mechanical properties.