

До Спеціалізованої Вченої ради Д 64.832.04
при Харківському національному технічному
університеті сільського господарства
імені Петра Василенка

В І Д Г У К

офіційного опонента, доктора технічних наук, завідувача кафедри
технічного сервісу Сумського національного аграрного університету

Тарельника В'ячеслава Борисовича,

на дисертаційну роботу **Рибалка Івана Миколайовича**

«Експериментальні, теоретичні і технологічні основи зміцнення виробів з
використанням модифікуючих домішок», представленої на здобуття
наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю

05.02.01 – матеріалознавство

На відгук представлені дисертація, автореферат, копії опублікованих робіт

1. Актуальність теми дисертаційної роботи

Дисертаційна робота Рибалка Івана Миколайовича присвячена вирішенню важливої науково-технічної проблеми, пов'язаної зі створенням наукових і технологічних основ формування структур і властивостей деталей різного призначення їх зміцненням з використанням модифікуючих домішок з розробкою комплексного підходу до контролю якості та прогнозування особливостей структуроутворення і властивостей.

Дослідження за темою дисертаційної роботи виконані відповідно до держбюджетної, госпдоговірної тематики ХНТУСГ, договорів про співпрацю з підприємствами та згідно діючих програм: договір №191дп від 04.04.2016 р. про науково-технічне співробітництво між ДП «Завод імені В.О. Малишева» і Харківським національним технічним університетом сільського

господарства імені Петра Василенка; «Теоретичне та експериментальне обґрунтування нових технологій виробництва та відновлення деталей з використанням зміцнення модифікуванням» (ДР 0116U005802) у період 2015-2017 р.р.; «Отримання і застосування детонаційної шихти для підвищення експлуатаційної стійкості деталей» (ДР 0117U004157) у період 2014-2017 р.р.; «Нові технологічні процеси відновлення деталей наплавленням з використанням модифікування вторинною сировиною» (ДР 0120U002209) у період 2020-2021 р.р.; «Проведення експериментальних досліджень для промислових випробувань нової технології зміцнення культиваторних стрілочастих лап» (ДР 0121U111046, госпдоговір 4/4-2021) у період 2021-2022 р.р.; «Дослідження властивостей матеріалу нових культиваторних лап вітчизняного та закордонного виробництва» (ДР 0121U111165, госпдоговір 7/4-2021) у період 2021-2022 р.р.

Науково-дослідні роботи, що виконувались у межах перелічених наукових тем, є свідченням потреби виконання НДР з обраного напрямку, і, відповідно, вказують на актуальність дисертаційного дослідження.

Дисертант зосередив увагу на створенні енергоефективних технологій отримання покриттів, що базуються на введенні модифікуючих домішок, підходів до оцінювання структуроутворення після зміцнення деталей різного призначення. Саме тому дисертаційне дослідження Рибалко І.М., яке спрямоване на вирішення зазначеної проблеми є актуальним.

2. Оцінка змісту дисертації

Дисертація має обсяг основної частини 291 сторінки та складається із вступу, 6 розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Основний зміст роботи достатньо відображає автореферат. Дисертація структурована за змістом, логічно побудована і являє собою комплексне дослідження, яке містить експериментальні, теоретичні та технологічні основи зміцнення виробів з використанням модифікуючих домішок. Це введення немагнітної фракції детонаційної шихти як у пластичне мастило для

підвищення зносостійкості різьбових з'єднань насосно-компресорних труб, так і в покриття при наплавленні зміцнюючих смуг на культиваторні лапи. Зроблено перехід від вторинної сировини до природньої – бентонітової глини. Результати дослідження захищені патентами і впроваджені, у виробництво.

Науковий та методичний рівні викладення дисертації відповідають вимогам Міністерства освіти і науки України. Назва дисертації відображає її зміст.

У *вступі* роботи обґрунтована актуальність проблеми, сформульовані мета та завдання досліджень, наведені основні отримані автором результати, визначені практична їх значимість і новизна.

У *першому розділі* дисертації виконано аналіз науково-технічної інформації на виробництво насосно-компресорних труб, причини відмов і методи підвищення їх експлуатаційної стійкості. Аналізом експлуатаційної стійкості устаткування нафтогазової галузі показано, що вона серед інших займає провідне місце за чисельністю аварій і руйнувань устаткування свердловин, до яких належить корозійно-ерозійне пошкоджуваність трубопроводів. Найбільша пошкоджуваність насосно-компресорних труб пов'язана з корозією, пошкоджуваністю різьби й втомними руйнуваннями. Виходячи з такого аналізу, дисертант зробив висновок, що основний напрямок підвищення експлуатаційної стійкості устаткування повинен бути сконцентрований на підвищенні довговічності й надійності різьбових з'єднань.

У результаті аналізу було встановлено, що існують загальні й, разом з тим, специфічні фактори, що визначають ступінь деградації металу ферито-перлітної сталі. Показано, що експлуатація ферито-перлітних сталей незначно позначається на зміні стандартних механічних властивостей, але знижує параметри опору руйнуванню за рахунок високої чутливості до локальних структурних змін. Зі збільшенням напружень при експлуатації деградаційні процеси зростають і одночасно знижується схильність до

руйнування за рахунок зменшення рухливості дислокацій.

Встановлено, що знизити аварійні ситуації при обслуговуванні труб різного призначення при їх експлуатації може забезпечити неруйнівний контроль, який супроводжує процес експлуатації. Але, у літературі відсутній аналіз характеру структурної деградації металу НКТ таким контролем.

Проаналізовані способи виготовлення, зміцнення й відновлення робочих органів сільськогосподарської техніки. Що ж стосується стрілчастих лопат, встановлено, що для підвищення працездатності й економічної ефективності експлуатації використовують різні методи зміцнення, як на стадії металургійного виробництва заготовки для їх виготовлення, так і прийнятті конструктивних рішень в машинобудуванні.

В роботі розглянуто застосування алмазовмісної шихти для модифікування поверхонь, її ефективність для підвищення стійкості деталей.

Аналіз результатів сучасних наукових та прикладних досліджень щодо підвищення якості поверхневих шарів деталей НКТ та культиваторних лопат дозволив виявити основні досягнення, а також протиріччя та проблеми, на основі яких були сформульовані завдання та мета роботи.

У *другому розділі* обґрунтовується методологія досліджень для вирішення поставлених завдань та досягнення основної мети. Послідовність та об'єм виконаних досліджень ілюструє діаграма Ісікави.

Обрані матеріали, що використовували для модифікування при виготовленні, ремонті й експлуатації виробів різного призначення.

Об'єднання в єдину роботу цих різних досліджень пов'язано з використанням однакової детонаційної домішки для підвищення різних властивостей виробів при їх виробництві, обслуговуванні та експлуатації.

Крім того, в роботі дисертант розглядає не тільки модифікування вторинною сировиною детонаційної шихти, але і використовує речовину природного походження – бентонітову глину. Розроблено обладнання – кульовий млин – для подрібнення модифікуючих матеріалів до нанорозмірів. Припускається можливість використання глин різних родовищ для

отримання різноманітних властивостей покриттів.

Дисертантом запропоновано комплексний методологічний підхід оцінки структуроутворення і вплив його на властивості покриттів. Для цього використовувалися методи оптичної, електронної та емісійної мікроскопії, методи визначення механічних властивостей – мікротвердості, твердості, методи магнітного неруйнівного контролю. Для вивчення розподілу компонентів методом мікрорентгеноспектрального аналізу застосовували електронний мікроскоп з системою рентгенівського мікроаналізу. Розподіл компонентів вивчали й методом термоелектронної емісії. Для детального вивчення структури різних зон при відновленні зношених поверхонь використовували новий підхід з оцінкою всіх сформованих фаз по фотографіях при різних збільшеннях і отриманих методом оптико-математичного опису і це дозволило обґрунтувати переваги запропонованої технології. Для оцінки впливу модифікуючих домішок при нанесенні відновлювальних покриттів проводили їх випробування на зношування.

Розроблено методику оцінки розтягування насосно-компресорних труб в експлуатації. У завдання входила розробка методики оцінки характеру розтягування довгих стрижнів для одержання рекомендацій для проведення експериментів.

Позитивною рисою дисертаційного дослідження є те, що автор обрав комплекс методів експериментального дослідження, які добре узгоджуються з матеріалами досліджень та умовами експлуатації деталей.

Третій розділ роботи присвячений аналізу деградації металу й розробкам підходів до її оцінки при експлуатації деталей різного призначення

Дисертантом встановлено, що при значних деформаціях в трубах колони інтенсифікуються пороутворення, дифузія вуглецю (за рахунок руйнування цементиту перлітної складової) і вуглекислотної корозія, які виявляється не тільки на поверхні металу труб, але й по їх глибині. При цьому, анодами можуть бути границі зерен, що містять вільний вуглець,

карбідні фази й неметалеві включення, які мають різко відмінні електрохімічні потенціали й властивості міцності.

На основі аналізу, зроблено висновок, що підвищена концентрація вуглецю, пороутворення й насичення поверхні елементами, які входять до складу активно корозійного середовища, сприяють деградації металу НКТ при експлуатації (особливо на внутрішній поверхні), а також визначають поріг розтягувальних напружень, ініціюючих виникнення вуглекислотної корозії в добувних свердловинах.

На підставі аналізу отриманих даних виявлена при різному стані НКТ зона розкиду значень неруйнівного контролю, згідно показників коерцитивної сили та характеризує ступінь деградації металу залежно від інтенсивності його пошкоджуваності. Коерцитивна сила в місцях корозійно-механічного пошкодження НКТ пов'язана (майже лінійно) з рівнем структурної пошкоджуваності, що дозволяє використовувати такий неруйнівний магнітний контроль за цим параметром, а також діагностувати стан передруйнування.

Дисертантом проведені дослідження щодо оцінки характеру зношування культиваторних лап та вони стали основою для розробки нового технологічного процесу забезпечення як підвищення їх довговічності, так і якості обробки ґрунту.

Розроблено методику та виконано аналіз якості культиваторних лап в процесі їх виробництва й експлуатації, який проводили на основі статистичної обробки показань вимірів коерцитивної сили.

Запропановано використовувати показники вимірів коерцитивної сили H_c та її розкид для використання бракувальних норм при відновленні зношених культиваторних лап, які після відновлення можуть ще забезпечувати задовільні показники прийняті в практиці їх використання при експлуатації.

Четвертий розділ роботи присвячено способам підвищення експлуатаційної стійкості виробів різного призначення на основі їх

структурування.

Для підвищення стійкості різьбових з'єднань насосно-компресорних труб, пошкодження яких складає 55% від загального числа аварій свердловинного обладнання, рекомендовано використовувати введення, в сполучення пластичних мастил розроблену шихту з алмазною фракцією.

Пластичне мастило (відпрацьоване дизельне паливо + солідол) включає 10-20% домішки детонаційної немагнітної фракції шихти від утилізації певного набору боєприпасів.

У роботі також запропонований метод визначення оксидних захисних плівок на основі статистичних оцінок за мікрорентгеноспектральним аналізом при зіставленні вигладжених зон, «кишень» для утримання мастила й основного металу. Метод представляє інтерес при доатку нових типів модифікуючих домішок до мастил і оцінки вмісту компонентів, що входять у плівки, які формуються при експлуатації деталей.

Автором розглянуто можливість застосування нано- і дисперсної алмазовмісної шихти при наплавленні відновлювальних і зміцнюючих покриттів на культиваторні лапи. Досліджувалися три різні варіанти нанесення покриття. Для цього використовувався електрод Т-620 з додатковим модифікуванням його обмазкою немагнітною фракцією детонаційної шихти, а також нанесенням шихти у вигляді шлікерного покриття на поверхню культиваторної лапи. Наплавлення проводили зміцнюючими смугами на лапу вітчизняного виробництва, яка виготовлена зі сталі 65Г.

Встановлено, що оптимальною часткою модифікуючої домішки є 5-7% від електрода. Запропановані й використані наступні параметри зміцнення: сила струму 160А, напруга 28В, швидкість наплавлення 17-19 м/год.

При введенні модифікаторів при наплавленні формується мартенситна структура відпуску матриці. Структури при наплавленні без модифікування й з шлікерним покриттям немагнітної фракції детонаційної шихти супроводжувалися тріщиноутворенням в зоні змінної товщини лезо-основа, а

також і в інших частинах лапи.

Встановлено, що при модифікуванні немагнітною фракцією детонаційної шихти металу наплавленням в смузї знижується температура рідкої ванни (наявність мікроохолоджувачів – алмазів) і змінюються умови кристалізації. Це супроводжується збільшенням середньої частки карбідної фази на 27% у верхній зоні, у середній на – 32% і перехідній – 70%. Крім того, однорідність розподілу вуглецевмісних фаз у наплавлених смугах більш рівномірна по перетину при модифікуванні вторинною шихтою. Так, при традиційному наплавленні концентрація вуглецю у верхній зоні змінюється в межах 2,8%, середній 1,83% і перехідній – 1,64%. У випадку модифікування відзначається більша однорідність у розподілі фаз. Це відповідає й досягнутим показникам рівня мікротвердості. При традиційному способі наплавлення відзначається значна частка кисню у всіх зонах аналізу до 1,6-3,39%. При модифікуванні вторинною сировиною цей компонент виявлений тільки у верхній зоні наплавлення (2,28%).

Показано, що при введенні глини в рідку ванну структура металу покриття суттєво змінюється. Вона стає більш однорідною. Це пов'язане зі зміною температури при наплавленні. При модифікуванні глиною не виявлене формування будь-яких дефектів.

Встановлено, що додаткове модифікування такою глиною при нанесенні покриття практично не змінює вміст вуглецю в карбідах і відповідає Me_7C_3 а також Me_xC_y у всіх зонах, що зіставляються (верх покриття, середина й перехідна зона). Що стосується концентрації компонентів, які вносить електрод (Cr, Mn, Ti, C), то вони розподіляються досить рівномірно як при традиційному нанесенні покриття, так і з модифікуванням. Так, у карбідах Me_7C_3 і Me_xC_y , які визначають рівень твердості й зносостійкості, локальна мінливість цих компонентів у верхній і середній зонах покриття практично не змінюється. Різниця лише полягає в тому, що електронні мікроструктури й локальний рентгеноспектральний аналіз виявили в карбідних фазах включення окремих дисперсних з'єднань

типу Al_2O_3 і малої частки SiO_2 . Можливо припустити, що такі включення стали центрами кристалізації. Компоненти Al і Si не розчиняються в карбідних фазах. Разом з тим, у ряді випадків спостерігали, що з'єднання SiO_2 розпадалося й при цьому виявляли тільки Si. Спостережуване може бути пов'язане з тим, що глини природних родовищ включають тільки Si, тому що SiO_2 – кремнезем, який розчиняється у воді, а глина в контакт з вологою.

Проаналізувавши дані за рівнем мікротвердості й глибині покриття, то для вихідного варіанта вона, в середньому, склала HV-50-776, а модифікованого глиною й шихтою - HV-50-960 і HV-50-958 відповідно, тобто підвищення зміцнення покриття при додатковому модифікуванні досягає 23%. При використанні немагнітної фракції детонаційної шихти в якості шлікерного покриття середнє значення мікротвердості досягає HV-50-974, тобто відзначається підвищення зміцнення на 25%. З наведеної залежності видно, що на поверхні й у середині покриття відзначається підвищення мікротвердості більшої міри, а до основи металу лапи – її деякий спад.

Для визначення фазового складу сформованого покриття при введенні бентонітової глини в наплавлення виконано рентгенозйомку покриттів. Порівняльно досліджено додаткове введення глини з наплавленням тільки електродом. Розшифрування дифрактограми показало: наявність $\gamma\text{-Fe}$, $\alpha\text{-Fe}$, Cr_7C_3 . Якісний аналіз наплавлення електродом Т-620 показав, що основною фазою є $\gamma\text{-Fe}$ (залишковий аустеніт), вміст якого $\sim 30\%$, а при наплавленні електродом Т-620 з обмазкою глиною – основною фазою є $\gamma\text{-Fe}$ (мартеніт відпуску, $\sim 70\%$).

Розробки захищені патентами.

П'ятий розділ роботи присвячено математичному моделюванню, експериментальним дослідженням та оптико-математичному аналізу структуроутворення у виробках з різними умовами експлуатації.

Що стосується різьбових з'єднань, то в результаті циклічних впливів коливань при недостатньо стабільному їх стані, інтенсивному терті у випадку

використання пластичного мастила низької якості або, що швидко втрачає кисень у своєму складі, їх вторинні захисні структури (плівки) руйнуються. При цьому інтенсифікуються корозійні процеси, що повністю вражають зазначені зони.

Виходячи з аналізу деградаційних процесів, які характеризують експлуатаційну стійкість колони, необхідно вирішити дві проблеми: перша – оцінити характер напружень у верхній зоні колони для вибору найбільш стійкого до деградації матеріалу; друга – у подальших дослідженнях запропонувати модифікатор для пластичного мастила, що вводиться для стабільної роботи з'єднання, із тривалим періодом збереження необхідних трибологічних характеристик (без формування пітінгів). В даному розділі роботи також оцінили характер зони локалізації напружень, що накопичуються в колоні при експлуатації.

Згідно результатів проведених досліджень локалізація деформацій у верхній частині колони вимагає особливого підходу до вибору методики моделювання процесу й якості металу верхньої частини колони труб. Ефективним для збільшення строку експлуатації верхньої зони металу колони може досягатися при використанні сталей з перлітною структурою матриці й мінімальною часткою феритної складовою, дрібним зерном і чистої по неметалевим включенням.

Для отримання інформації про розвиток деградації структури автором проведено моделювання процесу розтягування металу, який відбувається у трубах НКТ під дією навантаження всієї колони.

Лабораторне моделювання проведено на зразках до та після розтягування з низьковуглецевої листової сталі товщиною 5мм (Сталь 20пс), які відповідали перетину труб. Аналізу піддавали стандартні зразки, деформовані розтяганням на 12,8% (деформацію робили циклічно). Досліджували зразки, вирізані уздовж і поперек деформації в зоні руйнування. Одночасно порівняльно аналізували зразки вихідного металу й, вирізані із зони захвату й поблизу його. Ступінь попередньої деформації

обрана 12,8% для вивчення процесу деградації структури металу при розтягуванні.

Для встановлення впливу холодної пластичної деформації (розтягуванням) на значну зміну рівня коерцитивної сили використовували мікрорентгеноспектральний аналіз і оптико-математичний опис структурних змін, для яких використовували ті ж зразки, що й для оптичного металографічного аналізу.

Виконані дослідження показали, що вже в процесі прокатки відзначаються процеси екструзії на поверхні металу, який змінює вміст компонентів і структури, а в процесі деформації такі зміни відбуваються ще більш інтенсивно, що сприяє виникненню дефектів труб верхньої частини колони.

Щодо пошкоджуваності різьбових з'єднань, то крім впливу локальних напружень важливим є вплив корозійного середовища. Для стабілізації роботи з'єднань і зменшення впливу цього фактору на пошкоджуваність різьбових з'єднань автором рекомендовано додаткове модифікування пластичного мастила.

Проведено математичне моделювання структуроутворення при наплавленні відновлювальних покриттів з використанням модифікуючої домішки бентонітової глини.

Аналізом мікроструктури показано, що існують помітні відмінності не тільки в долі фаз, але й між розподілом порівнювальних варіантів нанесених покриттів. Це характерно для всіх зон покриттів без модифікуючої домішки. В цьому варіанті границя сплавлення більш груба, стовщена з карбідними витягнутими пластинчастими включеннями вздовж відводу тепла в основний метал відновлюваної деталі.

При модифікуванні структура покриття більш однорідна й вона характеризується безліччю точечних включень карбідів, виділених як по границях окремих роздроблених пластинчастих виділень, так і між ними.

Отримані автором результати оцінили вплив й інших типів глини

різних родовищ, які можуть відрізнятися хімічним складом, зернистістю, ступенем вологості, наявністю шкідливих домішок і мікродомішок. Такі дослідження будуть достатніми при аналізі складу глини, мінливості структури, можливості використання для тонкостінних виробів таких як культиваторних лап при виробництві та їх відновленні у експлуатації.

З введенням модифікуючої домішки бентонітової глини істотно змінюється і кристалічна решітка карбідних фаз. У ряді випадків при металографічних дослідженнях дисертантом виявлено формування грубоголчастих виділень карбідів нестехіометрического складу на більш тонкі, що формуються при кристалізації. Частка карбідів при модифікуванні зростає в 2 рази. Бентонітова глина створює складну кристалічну структуру карбідів.

Шостий розділ роботи присвячено опису експлуатаційної стійкості виробів, що аналізуються, тобто насосно-компресорних труб та культиваторних лап сільськогосподарської техніки.

Встановлено, що модифікування пластичного мастила детонаційною шихтою від утилізації боєприпасів зменшує схоплення при експлуатації в різьбових з'єднаннях до 2 разів. При цьому коефіцієнт тертя зменшується несуттєво.

Випробуваннями на зношування при навантаженнях 0,05-0,45 кН встановлено, що при використанні домішок детонаційної шихти істотно зменшуються схоплення і вони настають тільки при навантаженні 0,45 кН. Введення графіту впливає до 0,35 кН, а без використання модифікаторів не вище 0,25 кН. За рівнем пошкоджуваності використання детонаційної шихти також забезпечує зменшення цього показника. У процесі тривалого зносу, коли відбувається схоплювання, відзначається повне видалення мастила та детонаційної шихти з подряпин і вони набувають рельєф тертя. У цьому випадку вдалося спостерігати і підвищену кількість модифікуючої домішки, розташованої біля границі подряпини.

На основі теоретичних, експериментальних досліджень спільно з

фахівцями Полтавської державної аграрної академії розроблено технологічний процес відновлення і зміцнення стрілчастих культиваторних лап вібраційним методом.

Вивчивши характер зносу лап культиватора, автором запропоновано новий спосіб їх зміцнення по периметру робочої поверхні. Спосіб полягає в наплавленні на поверхню лапи зносостійких смуг (валиків) з введенням модифікуючої домішки з нано- і дисперсними алмазами. Смуги на стрілчастій лапі культиватора формували, з урахуванням інтенсивності та характеру їх зносу. Згідно характеру зношування, зміцнюючим покриттям сформовані смуги носка довжиною 20мм, а крил – 12-15мм з відстанню між ними не менше 10мм, щоб запобігти перекриття зон термічного впливу.

Розробками показано, що при введенні глини або шихти в відновлювальне покриття, зносостійкість підвищується в 1,3-2,0 рази відносно до нанесення його електродом без модифікування і в 2,0-3,0 рази – до звичайного матеріалу культиваторною лапи.

Виходячи з отриманих результатів випробувань, для підвищення стійкості культиваторних лап в експлуатації розробками рекомендується при нанесенні відновлювальних покриттів використовувати вторинну сировину для модифікування і природні матеріали, які не тільки підвищують стійкість робочого інструмента машин, а й зменшують схильність їх до пошкоджуваності завдяки мінімальному проплавленню тонкостінних виробів таких як культиваторні лапи і зниженню перетину перехідного шару та рівня напружень.

Згідно запропонованою схемою наплавлення зміцнюючих смуг на робочу поверхню стрілчастої лапи культиватора наносили різну конфігурацію смуг. Напрацювання складо 3185 га. Середнє напрацювання звичайних лап складає 1200-1500 га. В розробках дана оцінка економічної ефективності впровадження розробленої технології зміцнення на 1210 шт. лап і вона складе 196927,5 грн. СТОВ «Мрія».

Розробки захищені патентами та також пройшли випробування та

впроваджені у виробництво: ДП «Завод імені В.О. Малишева», СТОВ «Мрія», ФГ «Планета».

3. Наукова новизна результатів.

Серед результатів, які отримані при виконанні досліджень та мають наукову новизну, слід зазначити наступне:

- Запропоновано виявляти дефекти НКТ та культиваторних лап комплексним підходом, який забезпечує контроль зміни їх показників фізико-механічних властивостей при використанні в експлуатації, зміцненні та відновлених властивостей.

- Встановлено, що підвищення коерцитивної сили відносно вихідного стану без модифікування наплавленням, свідчить про накопичення напруженого стану, а зниження (нижче вихідного рівня) відповідає деградації металу. Зміна цих показників дозволяє оцінити особливості у структуроутворенні виробів;

- Комплексними дослідженнями встановлені оптимальні домішки для модифікування покриттів на культиваторні лапи, які забезпечують необхідний рівень якості, властивостей з урахуванням умов експлуатації;

- Розроблено нову, доступну для використання технологію, де в якості модифікуючої домішки використовували речовину природного походження – бентонітову глину, що додатково включає компоненти, які сприяють підвищенню вмісту карбідної фази з одноразовим подрібненням зерен, і це впливає на підвищення зчеплення покриття з основним металом, а також зменшує рівень напружень у перехідній зоні;

- Розроблено спосіб зміцнення культиваторних лап на основі аналізу їх зношування та деформації при експлуатації, що дозволяє знизити схильність до пошкодження. Це може бути використано при виготовленні виробів та ремонті в процесі відновлення.

- Показано можливість використання глини різних родовищ України для модифікування зміцнюючих покриттів.

- Отримав подальший розвиток процес формування кисневих захисних плівок в різьбових спряженнях додатковим введенням в пластичне мастило немагнітної частки детонаційної шихти, що сприяло зменшенню їх періоду приробітку та збільшенню часу якісної експлуатації;

- Удосконалено комплексний підхід, який включає контроль якості неруйнівним методом по коерцитивній силі, мікротвердості і структуроутворенню.

4. Практична цінність результатів дисертації.

Розробки захищені 9 патентами, зокрема 3 з них були виконані разом зі спеціалістами підприємств ДП «Завод імені В.О. Малишева» де проведені промислові випробування та їх використання. Випробування та впровадження технології зміцнення культиваторних лап на СТОВ «Мрія». Очікуваний економічний ефект від впровадження нової технологій, захищеної патентами, згідно даних випробувань, становить 196927,5 грн. на 1210 лап.

Результати дисертаційного дослідження використовуються у навчальному процесі ХНТУСГ.

5. Достовірність і обґрунтованість результатів

Використання комплексу сучасних та взаємодоповнюючих методів дослідження структури та властивостей покриттів, забезпечують достатню достовірність отриманих результатів.

Наукові положення, висновки та рекомендації, подані у дисертації, також достатньо обґрунтовані, базуються на теоретичних та експериментальних дослідженнях, проведені на сучасному рівні експериментальних методик.

Висновки, що сформовані у роботі, дають повне уявлення щодо формування структури та властивостей покриттів, отриманих при введенні

модифікуючих домішок як у пластичне мастило, так і у зміцнююче наплавлення.

6. Зауваження до дисертації

Визначаючи необхідний рівень виконаних розробок, а також наукове та практичне значення результатів, доцільно зробити деякі зауваження:

1. В роботі відсутній список скорочень, тому розшифровка скорочень повторюється багато разів, наприклад тільки на стор. 40, скорочення НКТ-насосно-компресорні труби повторюється двічі.

2. Розділ 1 починається з одного неперенумерованого речення.

3. В підрозділі 1.1 вісім таблиць 1.1-1.8 присвячено властивостям і хімічному складу насосно-компресорних труб, що занадто багато.

4. Нажаль зустрічається дуже багато абзаців з одного - двох речень, наприклад стор. 41 — чотири абзаци, стор. 46 — шість абзаців.

5. Приведена велика кількість методів підвищення якості як насосно-компресорних труб, так і культиваторних лап, але не в усіх дана їх критична оцінка.

6. Висновки по першому розділу треба розташовувати перед метою і задачами досліджень.

7. Метою роботи не може бути теоретичне, експериментальне і технологічне обґрунтування способів, тому що це шлях до отримання мети, якою є підвищення стійкості виробів.

8. Розділ 2 починається з неперенумерованого абзацу з двох речень.

9. Методологія досліджень (розділ 2.1) складається з 4-х речень і таблиці.

10. В табл. 2.1 приведений склад детонаційної шихти спеціального набору де 3,37-3,43% С; до 3,14 мідь і до 2,9 заліза, але не сказано як цей набір виконували. Хоч в другому висновку сказано, що шихту одержали з використанням спеціальних обробок.

11. В висновках по 2 розділу після другого висновка зразу йде четвертий.
12. Розділ 3 має 9 висновків на 3-х сторінках. Такий редакційний підхід, призводить до того, коли менші значущі фактори, та способи дослідження становляться у одній площині з першорозрядними, тим самим заслоняючи їх.
13. Розділ 4 починається з непронумерованої анотації 3-го розділу з двох абзаців.

14. Підрозділ 4.1 починається з непронумерованого тексту на 4-х сторінках, який бажано віднести до розділу 1.

15. Рисунки 4.6 і 4.12 не несуть ніякої інформації.

17. Було б доцільним надати інформацію про спосіб одержання детонаційної шихти та стану бентонітової глини для використання як модифікуючої домішки. Відсутня інформація про можливості подальшого використання такої шихти для модифікування поверхонь. Також не пояснюється, чому алмазна фракція у шихті може бути розташована у різних місцях – на поверхні, у центрі зерна, під плівкою.

Зазначені зауваження не стосуються основних положень, висновків і рекомендацій дисертації, не знижують наукової та практичної значності виконаної роботи.

7. Повнота викладу результатів у публікаціях

Основні результати дисертаційної роботи опубліковані в 64 наукових працях, зокрема: 1 монографії у співавторстві, 17 статтях в спеціалізованих наукових виданнях України і 9 статтях у закордонних виданнях; 3 статті входять до міжнародних наукометричних баз даних SCOPUS та/або Web of Science. Отримано 9 патентів, опубліковано 13 матеріалів і тез у збірниках доповідей наукових конференцій.

На підставі аналізу опублікованих автором робіт, а також виступів на міжнародних наукових і науково-практичних конференціях можна зробити висновок, що матеріали дисертації достатньо повно висвітлені у статтях та доповідях і пройшли широку апробацію.

8. Загальний висновок

Проведений аналіз змісту основних положень дисертації Рибалко І.М., показав, що робота є завершеним дослідженням, зміст дисертації відповідає меті та завданням досліджень. В роботі отримані нові та обґрунтовані результати, які ефективно вирішують наукові і прикладні завдання підвищення стійкості виробів з використанням модифікуючих домішок. Результати дослідження вказують на можливі шляхи підвищення експлуатаційної стійкості деталей завдяки використанню вторинної сировини та речовини природнього походження.

Враховуючи викладене вважаю, що представлена до захисту дисертація є завершеною науковою працею та за обсягом і кількістю публікацій, науковою та практичною значимістю відповідає вимогам МОН України, зокрема пп. 9, 10, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24.07.2013 р. зі змінами, внесеними згідно Постанови КМ № 656 від 19.08.2015 р., а її автор, Рибалко Іван Миколайович, заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.01 – матеріалознавство.

Офіційний опонент,
завідувач кафедри технічного сервісу
Сумського національного аграрного
університету, доктор технічних наук,
професор

В.Б. Тарельник

Учений секретар

