

Назва роботи: **РОЗРОБКА МЕТОДУ ВІДНОВЛЕННЯ ШЛІЦЬОВИХ  
ВАЛІВ ТРАКТОРІВ І АВТОМОБІЛІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО  
ПРИЗНАЧЕННЯ НАПЛАВЛЕННЯМ В СЕРЕДОВИЩІ ЗАХИСНИХ  
ГАЗІВ**

Шифр «Шліцьові з'єднання»

Рік виконання роботи – 2020

# ПЛАН

Вступ. Мета роботи

## 1. СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Характеристика енергонасичених, сільськогосподарських машин

1.2. Види і причини пошкоджень шліцьових з'єднань

1.3. Вимоги, що пред'являються до шліцьових валів

1.4. Аналіз способів ремонту шліцьових з'єднань

## РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ І ПАРАМЕТРІВ ВІДНОВЛЕННЯ ТА АНАЛІЗ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВІДНОВЛЕНИХ ШЛІЦЬОВИХ ВАЛІВ

2.1. Розробка технології і параметрів відновлення 21

2.2 Оцінка властивостей відновлених валів і їх експлуатаційний аналіз  
стійкості

Висновки

Список використаних джерел

Додатки

## Анотація

### Наукової роботи під девізом «Шліцьові з'єднання»

**Актуальність теми.** Головною причиною втрати працездатності деталей сільськогосподарських машин є зношення. Відмови через зношування в машинах складають 80 ... 90% від загальної кількості відмов. Особливо велика частина в цих відмовах деталей, які відповідають за надійну роботу важливих вузлів і машин, таких як: двигун, коробка змінних передач і ін. Це перш за все тіла обертання і деталі знос яких призводить до виходу з ладу всієї машини або частини агрегату.

Одним з головних напрямків збереження працездатності деталей машин і агрегатів є нанесення зміцнювальних матеріалів на їх поверхню в процесі відновлення. У цьому плані особливий інтерес викликає технологічний процес відновлення за допомогою наплавлувальних робіт. Нанесення шару гетерогенної структури, є найбільш ідеальним для роботи в умовах великих навантажень.

Однак сам технологічний процес має багато недоліків. Це пов'язано з тим, що дослідження з розробки технологічних процесів відновлення деталей проводилося дуже давно, при цьому не враховувалося, ні вартість матеріалів, ні їх доцільність застосування в даному виді наплавлення до окремих деталей.

На сьогодні не менш важливим фактором є те, що дослідження які зараз проводяться в металознавстві, приведуть до застосування деталей, відновлення яких має проводитися відповідно до нових вимог. Цьому є кілька причин:

по-перше, - це застосування в господарствах нових механізмів і машин, до складу яких входять деталі, виготовлені з нових матеріалів, які за своєю якістю і надійністю в кілька разів перевищують попередні, давно застарілі;

по-друге, відновлення цих деталей необхідно проводити відповідно тими технологіями, які не погіршать якість деталі, а навпаки, поліпшать її як механічні, так і інші властивості;

по-третє, технології відновлення вимагають суворого дотримання набору

необхідних операцій і їх черговості;

четверте, відповідно операцій необхідно застосувати обладнання яке відповідає вимогам до проведення цих операцій.

Собівартість відновлення деталей зварюванням і наплавленням становить 70-80% вартості нових, а термін служби - 0,5-1,0 терміну служби нових деталей. Застосування прогресивних способів зварювання і наплавлення, поліпшення технології і якості обробки наплавлених деталей дозволить поліпшити якість відновлення зношених деталей сільськогосподарської техніки і збільшити термін їх служби. Дослідження і розробка нових способів наплавлення повинні ґрунтуватися на досягненнях науки і техніки, включати в себе накопичений передовий досвід в даній галузі виробництва. Значний ефект дає застосування наплавлення з подальшою зміцнюючою технологією, а також застосування легованих матеріалів і комбінованих способів обробки при відновленні зношених деталей. [3, 4].

Одним з найбільш простих і тих, що задовольняють всі ці вимоги, є спосіб наплавлення в середовищі вуглекислого газу, вона відрізняється простотою технологічного процесу, досить високою продуктивністю, і досить широким поширенням на ремонтних підприємствах.

## ВСТУП

**Актуальність роботи.** Працездатність сільськогосподарської техніки визначається довговічністю і надійністю деталей в експлуатації. Істотно продовжити життєвий цикл експлуатації машин, головним чином, можливо за рахунок застосування якісних деталей, виготовлених за передовими технологіями, в тому числі і з ефективних матеріалів, а також проведенням їх реновації не тільки з відновленням геометричних розмірів, але і використанням зміцнюючих обробок. У цьому випадку важливим є мінімізувати рівень формованих напруг, що виникають при наплавленні покриттів, зберегти прямолінійність деталі, забезпечити мінімальну пошкоджуваність її серцевини і необхідні фізико-механічні та експлуатаційні властивості.

У зв'язку з цим робота, присвячена такому напрямку досліджень по відновленню шліцьових валів може бути віднесена до числа важливих і актуальних.

**Мета роботи:** підвищити довговічність шліцьових валів, шляхом виявлення закономірності виходу з ладу досліджуваної деталі при наявності статистичних даних, і нанесення гетерогенного металевого шару на її робочу поверхню методом наплавлення, а також розробки ефективної технології відновлення.

Для досягнення необхідної мети в даній роботі вирішувалися такі завдання дослідження:

Зібрати вихідну інформацію з надійності і ремонту шліцьових валів на прикладі валу приводу гідронасоса МНШ - 25 роздавальної коробки трактора Т - 150К, і вала муфти зчеплення двигуна СМД - 14;

Дослідити показники довговічності роботи даних валів;

Дослідити дефекти вала приводу гідронасоса і вала муфти зчеплення двигуна СМД - 14, визначити коефіцієнти їх придатності до відновлення і експлуатації і бракування;

Використовуючи метод дослідження зносостійкості наплавлених зразків, визначення мікротвердості і твердості, при поновленні шліцьових валів, провести порівняльну характеристику деталей які були відновлені за різними

технологіями. Провести вимірювання твердості цих деталей до і після термічної обробки.

**Об'єкт дослідження** - зношені і відновлені шліцьові вали роздавальної коробки передач трактора Т - 150К, перш за все робітники шліцьові частини валу приводу гідронасоса МНШ - 25, вал муфти зчеплення двигуна СМД - 14, наплавлені і механічно оброблені частини зразків зі сталі Ст45, яка є основою даних валів.

**Предметом дослідження** є закономірність процесів втрати працездатності шліцьових частин вала і їх відновлення, залежно зносу робочих поверхонь шліців і закономірності відновлення мікроструктури шарів робочих частин вала і механічних властивостей поверхневих шарів.

## 1 СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

Виконано аналіз публікацій, що стосуються наукових досліджень, практичних розробок і виробничого досвіду з ремонту гідравлічного обладнання та відновленню шліцьових валів. Розглянуто умови експлуатації гідронасосів, причини їх виходу з експлуатації, методи ремонту шліцьових валів. На основі аналізу літературних джерел зроблено узагальнення, які дозволили визначити напрямки і завдання досліджень.

### 1.1. Характеристика енергонасичених сільськогосподарських машин

Сільськогосподарське виробництво є однією з найважливіших галузей народного господарства, що забезпечує підвищення матеріального рівня життя народу і розвиток промисловості.

Безперервно ростуть капіталовкладення в сільськогосподарське машинобудування. Скорочення термінів виконання трудомістких операцій, зростаючі агротехнічні вимоги, збільшення номенклатури агрегатуються машин і знарядь, викликають необхідність постійного вдосконалення основних енергетичних засобів сільськогосподарського виробництва. Збільшення випуску сільськогосподарських машин передбачає постійне підвищення їх якості.

Зростання продуктивності праці в сільськогосподарському виробництві нерозривно пов'язаний з інтенсивним збільшенням енергонасиченості машин, використовуваних у сільському господарстві. Потужність двигунів досягає 400 кВт.

З ростом енергонасиченості і швидкостей, підвищується напруженість роботи машин, їх систем і агрегатів, тому конструкторські та технологічні розробки повинні бути спрямовані на підвищення їх надійності. При цьому термін служби двигунів і трансмісій повинен збільшитися в 1,6-1,7 рази, ходових систем в 1,6 рази. Такі результати можна досягти шляхом застосування нових матеріалів, поліпшення робочих процесів, вдосконалення конструкцій, використання прогресивних технологічних методів ремонту і відновлення

деталей. Завдяки цим заходам питома металоємність двигунів може зменшитися до 20%, а машин в цілому на 10% [1-10].

Для раціонального використання потужностей створені сільськогосподарські машини, що працюють на підвищених швидкостях, з активними робочими органами і приводом від двигуна трактора (через вали відбору потужності, електро- і гідроприводи), які поєднують операції обробки.

Успішно вирішується і найважливіше завдання уніфікації та стандартизації складальних одиниць і агрегатів як всередині одного класу машин, так і між класами, завдяки чому знижується собівартість машин, прискорюється процес модернізації моделей, збільшується число модифікацій, а також з'являється можливість ширше використовувати спеціалізовані підприємства з виготовлення агрегатів.

Дослідження ряду авторів показали наявність значних динамічних навантажень в трансмісії. Так, при сталому режимі динамічні навантаження в трансмісії коливаються в межах  $(0-3) M_{ср}$ , де  $M_{ср}$  - середній крутний момент на відповідному елементі.

Основними джерелами динамічних навантажень при сталому режимі є: невірноважені сили двигуна, сили опору знаряддя, переспряження зубів, крутний момент карданної передачі.

При дослідженні динамічних навантажень, що виникають в пружних ланках, дійсна конструкція замінюється еквівалентною динамічною системою, що представляє собою систему наведених мас, пов'язаних між собою лінійними пружними елементами. Еквівалентна динамічна система повинна мати ті ж частотні характеристики, що й справжня система, для чого слід дотримуватися рівність потенційної і кінетичної енергій еквівалентної і початкової систем.

Частотний аналіз динамічної системи показує, що дослідження крутних коливань трансмісії може бути виконано незалежно від крутних коливань колінчастого вала двигуна і поперечних коливань корпусу машини, так як системи між собою практично не пов'язані із-за значної різниці в частотах.

Ознаками неполадок коробок передач можуть бути зниження або



підвищення тиску масла в гідросистемі коробки (визначається по манометру), утруднене включення режимів при початку руху, ривки при перемиканні передач, уповільнення руху на окремих передачах, витікання масла з-під ущільнювачів.

У гідроприводах коробок передач встановлені шестерні насоси типу НШ і НМШ, що приводяться в рух валом. Початкові букви марки означають назву і тип насоса, цифра відповідає подачі нового насоса в кубічних сантиметрах за один оборот шестерень. У марках насосів останніх випусків введені цифри 2 або 3 (через дефіс), що означає: насос другого або третього виконання з робочим тиском 14 або 16 МПа. Букви Е, В і К після цифри - позначають модель гідронасоса. Насоси з лівим обертанням провідної шестерні позначають буквою "Л" на етикетці насоса, праве - не вказується.

Гідронасоси розбирають і ремонтують, якщо їх коефіцієнт подачі менше 0,65 після заміни ущільнень їх відчувають на стенді. У табл. 1.1 і 1.2 приведені характеристики гідронасосів, а також пред'являються вимоги до їх працездатності.

Таблиця 1.1

Основні показники насоса

Гідронасос	Робочий тиск, МПа	Робочий об'єм насоса, см <sup>3</sup> / об	Частота обертання, мин.-1 (номінальна)	Коефіцієнт подачі	Вага (без приєднаного обладнання), кг	Межі вимірювання робочої частоти обертання валу приводу, хв.-1
НМШ-25	1,6	50,0	1500	0,85	6,12	1200-1900

Таблиця 1.2

Технічна характеристика шестеренчастих насосів гідросистем

Тип насоса	Гідросистема	Робочий тиск, МПа	Номінальна частота обертання, с-1 (об / хв)	Подача, см <sup>3</sup> / об	Коефіцієнт подачі
НШ-6т	ВВП	10	33,3 (2000)	6,3	0,9
НШ-32-2	Рульового керування	70	29,3 (1760)	31,5	0,92

НМШ-25	Трансмiсії	9	32,3 (1940)	25,0	0,85
НМШ-50 *	Трансмiсії	10	30,0 (1800)	50,0	0,85
НШ-50-2	Навісного пристрою	100,0	29,3 (1760)	50,0	0,92
* Насос НМШ-50 - двосекційний					

## 1.2. Види і причини пошкоджень шліцьових з'єднань

Вище розглянуті вимоги, що пред'являються до насосів гідросистем. Зупинимося на аналізі зносу важливої деталі - шліцьовому валу гідронасоса.

В процесі експлуатації машин на шліцьових валах можуть виникати такі основні дефекти: знос опорних місць під підшипники і сальники, знос і руйнування шліців, деформація вала, знос різьбових ділянок.

За даними літературних джерел [10-15] знос шийок під шарикопідшипники не перевищує 0,3 мм. Знос шийок, які з'єднуються з сальниками і втулками, може досягати 0,6 ... 0,9 мм. Знос шліців по ширині є основним дефектом. Шліци зношуються переважно у верхній частині їх поверхні. Практично всі шліци валів сільськогосподарської техніки (90%) мають знос 0,4-0,6мм, а решта 10% - до 1 мм.

Шліцьові вали, центрована по зовнішньому діаметру, зношуються по ньому і відповідно вимагають відновлення поверхні. Цей знос досягає 0,6 - 0,7 мм і зустрічається в 75% випадків. Вали, центрують по бічній поверхні шліців, зносу по зовнішньому діаметру зазвичай не мають, проте в процесі роботи деформуються. Короткі вали зазвичай схильні до вигину. При цьому порушення прямолінійності досягає меж 0,1-0,3, а довгих валів досягає 1-1,5 мм.

Шліци валів зношуються по ширині переважно до 1 - 2 мм. Знос по діаметру, що центрує, не перевищує 0,1 - 0,2 мм. В окремих випадках знос шліцьових валів сягає найбільшої величини (до 3-4мм). Мають місце випадки, змінання шліців. Знос різьбових ділянок валів характеризується зазвичай змінанням витків різьби, особливо це характерно для кінців вала.

Дослідження, пов'язані з розробкою нових способів ремонту, вимагають

оцінки умов експлуатації, видів і причин їх пошкоджуваності. При наявності великого різновиду шліцьових з'єднань для їх вивчення доцільно використовувати класифікацію (таблицю 1.3 додаток 1) яка відображає узагальнення, виконане на основі відомих публікацій.

Наведена класифікація має ряд переваг:

- охоплює всі відомі конструкції шліцьових з'єднань;
- дозволяє розробляти нові конструкції шліцьових з'єднань, що відрізняються від існуючих новим поєднанням класів, груп і підгруп;
- дозволяє розширити класифікацію включенням в неї нових класів, груп і підгруп, і таким чином, створювати абсолютно нові підходи до ремонту різних типів шліцьових з'єднань.

Крім цього, наведена класифікація дозволяє з усього різноманіття типів шліцьових з'єднань легко виділити все безліч з'єднань, до яких може бути ефективно застосований розробляється спосіб ремонту.

Виходячи з цієї класифікації для досліджень вибрали шліцьові вали, які мають всі ознаки класифікації. Шліци даних валів розташовані на циліндричній поверхні і мають прямобічну (як з радіальним, так і з паралельним розташуванням граней) форму поперечного перерізу перетину шліца і характеризуються паралельним напрямком утворює бічній поверхні. Вали центруються по зовнішньому, внутрішньому діаметру і по бічних поверхнях шліців легкої і середньої серії з можливістю фіксації від поздовжніх переміщень гайкою на хвостовику вала; шайбою і болтом, вкручувати в торець вала, а також стопорними кільцями і суміжними з маточинами.

Шліцьові з'єднання є одними з найбільш навантажених з'єднань в сільськогосподарських машинах. Поява зазорів в нерухомому шліцьовому з'єднанні і, наявність швидко змінюваних за величиною і напрямком динамічних навантажень, веде до прогресуючого зношування і руйнування з'єднання.

Довговічність шліцьових з'єднань в експлуатації визначається не тільки їх зносом, а й зниженням міцності внаслідок зменшення перетину шліців і збільшення додаткових динамічних навантажень, але також через зростання

вібрацій і шуму.

Основні види і причини пошкоджень шліцьових з'єднань представлені в табл. 1.4. При наявності першого і другого видів пошкоджень деталі не підлягають ремонту. Їх замінюють новими. Деталі, що мають третій, четвертий і п'ятий види пошкоджень, можуть бути відновлені.

Таблиця 1.4

Види і причини пошкоджень шліцьових з'єднань

№	види пошкоджень	причини пошкоджень
1	Миттєві поломки (крихкі руйнування валів)	Перевантаження при пуску і в процесі роботи машин. Наявність технологічних дефектів (тріщини, шлакові включення і таке інше)
2	втомні руйнування	Циклічний характер навантаження, наявність концентраторів напружень, що з'являються в процесі виготовлення або при експлуатації (виступи через обтискання і зношення)
3	Зріз шліців	Пускові і робочі перевантаження, наявність технологічних дефектів
4	Механічне і корозійно - механічне зношування робочих поверхонь шліців (фретінг-корозія)	Значні питомі напруження, що формують нерівності дотичних поверхонь і викликаються осьовими і радіальними мікропереміщеннями з амплітудою в доли міліметра і частотою, що відповідає частоті обертання. Останні спостерігаються в з'єднаннях без гарантійних натягів
5	Пластичні деформації робочих поверхонь і тіла шліца	Пускові перевантаження і великі питомі напруження в роботі, низька твердість робочих поверхонь і тіла шліца

### 1.3. Вимоги, що пред'являються до шліцьових валів

Критеріями працездатності валів є їх твердість, міцність і зносостійкість. У валах при виготовленні і експлуатації формуються різні види напружень: стиснення, розтягування і вигину; дотичні напруження і кручення. У загальному випадку на вал при експлуатації діють такі сили: осьова; радіальна; відцентрова - від неврівноважених мас; обертаючий момент.

При відновленні, в залежності від методу обробки та зміцнення, в робочому шарі можна отримати напруження стиснення і розтягування.

Вимоги, що пред'являються до матеріалів валів, найбільше повно

задовольняються при використанні сталей наведених в табл. 1.5 (додаток 2).

Вибір марки сталі і термообробки залежать від вимог, які враховують масу деталі, його зносостійкість і сполучення з іншими деталями. Поширення отримали вали, виконані воєдино з зубчастими вінцями; з шестернями; з зубами для з'єднання з маточиною з'єднувальної деталі. Вал з конічною шестернею може бути виконаний також з зубчастим вінцем, призначеним для передачі моменту від маточини сполучної муфти. У таких випадках вибір матеріалу вала повинен забезпечувати вимогам по зносостійкості і міцності. Якщо, наприклад, вал належить агрегату, який серійно випускається, то активні поверхні зуба повинні мати високу твердість і марка сталі призначається з урахуванням термообробки, що забезпечує ці вимоги.

У багатьох випадках під конструктивно-технологічним методом розуміють умови складання, вимоги до властивостей з урахуванням характеристики вала. При цьому повинен враховуватися діаметр вала, тому що може виявитися, що міцність його задовольняється, наприклад, лише при використанні нормалізованої сталі 40 або 45 або навіть звичайних вуглецевих сталей марок Ст4, Ст5. Однак, їх застосування не запобігає фреттінгкорозії в місцях з'єднання з іншими деталями. В цьому випадку необхідно забезпечити високу твердість за рахунок застосування легованих сталей і відповідного способу зміцнення. Це можна досягти, наприклад, при азотуванні сталі марки - 38Х2МЮА (див. табл. 1.8).

Антифрикційні властивості пари цапфа-вкладиш підвищуються зі зростанням твердості поверхні цапфи. У швидкохідних опорах найкращі результати досягаються при цементації і азотуванні.

Для валів складної форми, наприклад, колінчастих, виконаних заодно з фланцем, приєднувальних муфти або з водилом планетарної передачі, у багатьох випадках може виявитися доцільним і використання високоміцного чавуну.

#### 1.4. Аналіз способів ремонту шліцьових з'єднань

Ремонт шліцьових з'єднань здійснюють одним із таких способів:

- заміною зношеної пари деталей (вала і маточини) і з'єднання з новими

запасними;

- заміною однієї з зношених деталей (в більшості випадків - маточини) запасної нової і застосування відновленої другої деталі (зазвичай вала);

- застосуванням двох відновлених деталей.

Ремонт шліцьових з'єднань з повним відновленням зношених деталей забезпечує післяремонтний ресурс, приблизно рівний ресурсу нових, і не вимагає великої витрати запасних частин.

При виконанні ремонту із застосуванням відновлених валів і маточин, або тільки відновлених валів, витрата запчастин зменшується, але при цьому істотно знижується післяремонтний ресурс.

Для відновлення шліцьових валів використовується наплавлення в середовищі вуглекислого газу. Перед наплавленням шліцьові вали миють і ретельно очищають западини від забруднення. Після цього виконують наплавлення шліців дротом Нп-30ХГСА, діаметром 1,6-2,0мм по гвинтовій лінії, відступивши від краю шліців на 3-5мм. Оптимальним вважають наступний режим наплавлення: зварювальний струм зворотної полярності - 220-240А; напруга 22-24В; швидкість подачі електродного дроту - 165-170м / год.; частота обертання деталі - 3-4 об/хв; крок наплавлення - 3,5-4 мм / об; виліт електрода - 14-18 мм; зміщення електрода з zenіту деталі - 8-10мм; витрати вуглекислого газу - в межах 1000л/год. При такому режимі забезпечується повне проплавлення западин шліців. Наплавлений метал - щільний, з невеликими одиночними порами, твердість досягається рівний 260-300НВ.

Після проточування напавленої ділянки шліци фрезерують по місцях їх старих розташувань. Шліцьові частини вала піддають загартовування з нагрівом до 850 °С і охолодженням в мастилі. Відпуск шліцьового кінця вала проводять при температурі 200-250 °С з охолодженням на повітрі. При цьому твердість шліцьової частини складає 370-430НВ.

Загальним недоліком всіх способів відновлення шліців наплавленням по спіралі з заплавленням западин полягає в тому, що істотно зростають деформації деталей і, крім того, в результаті інтенсивного прогрівання порушується вихідна

термічна обробка практично всіх ділянок деталі. Тому важливо визначити не тільки ефективний метод відновлення шліцьових валів, а й оптимальне число шарів, що наносяться і при обробці забезпечити мінімум залишкових напружень.

Всі перераховані способи, крім наплавлення шліців вала, мають обмежене застосування. Найбільшого поширення набув спосіб наплавлення. Однак йому притаманний ряд недоліків.

Виникаючі при наплавленні додаткові місцеві напруження розтягу, неоднорідність структури матеріалу, які є концентраторами напружень, значно знижують циклічну міцність відновлюваних деталей. Зниження циклічної міцності деталей, відновлюваних різними методами наплавлення, характеризуються даними, наведеними в табл. 1.6.

Таблиця 1.6

Вплив наплавлення на міцність від втоми відновлених деталей

Вид наплавлення	Зниження втомної міцності, %
Електродугове наплавлення на повітрі	60
Газове наплавлення	48
Електродугове наплавлення в середовищі вуглекислого газу	9
Вібродугове наплавлення в рідині	85
Електродугове наплавлення під флюсом	78
Вібродугове наплавлення під флюсом	53

Таким чином, втомна міцність деталей, що відновлені наплавленням, завжди нижче, ніж міцність нових деталей. Однак мінімальне зниження втомної міцності характерно для використання електродугового наплавлення в середовищі вуглекислого газу. Природно, що при низькій втомної міцності інтенсивність зносу у відновлених деталей більше, а довговічність - нижче.

Результати досліджень Кряжкова В.М. і Климова А.У. наведені в табл. 1.7, вказують на недостатню ефективність відомих способів ремонту шліців вала наплавленням.

Таблиця 1.7

Ефективність відновлення шліцьових валів різними способами

## наплавлення

спосіб наплавлення	Коефіцієнт довговічності,	Критерій економічності,
Під флюсом АН-348А дротом Нп-30ХГСА	0,90	3,32
У середовищі вуглекислого газу дротом Нп-30ХГСА d1.6	0,82	3,32
У середовищі водяної пари дротом Нп-30ХГСА d 1.6	0,70	3,87
У потоці повітря дротом Нп-70 d 1.6мм	0,72	3,72

Слід зазначити, що деякі шліцьові з'єднання, використовувані в сільськогосподарських машинах мають недостатній не лише після-, але і доремонтного ресурс.

Наведене вище показує необхідність пошуків шляхів підвищення ресурсу шліцьових з'єднань і розробки більш ефективних способів ремонту, які забезпечують істотне підвищення їх довговічності.

Одним з найважливіших показників надійності є ресурс працездатності машин.

Питанням поглиблення теорії і пошуків шляхів підвищення надійності шліцьових з'єднань присвячені роботи В.Г.Глухарева, Н.І.Зубарева, Г.І.Костровского, В.М.Кряжкова, З.М.Левіной, Д.Н.Решетова, Г. І.Скундіна та інших.

## **2 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ І ПАРАМЕТРІВ ВІДНОВЛЕННЯ ТА АНАЛІЗ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВІДНОВЛЕНИХ ШЛІЦЬОВИХ ВАЛІВ**

До 70% витрат на ремонт сільськогосподарської техніки доводиться на придбання нових запасних частин замість гранично зношених. При цьому граничний знос 85% деталей, що працюють в сполученні не перевищує 0,1 мм, і багато хто з них мають залишковий ресурс 60% і менше. Тільки 20% деталей, що



надходять в ремонт, підлягають остаточній вибракуванню. Решта можна відновити, причому собівартість такої операції складе не більше 15 ... 70% витрат на виготовлення.

Оскільки дослідження передбачали відновлення діючої номенклатури валів, то при проведенні досліджень їх матеріал не змінювали.

## 2.1. Розробка технології і параметрів відновлення

Ремонт шліцьових з'єднань здійснюють одним із таких способів:

- заміною зношеної пари деталей (вала і маточини) з'єднання новими запасними;
- заміною однієї з зношених деталей (в більшості випадків - маточини) запасний нової і застосуванням відновленої другий деталі (вала);
- застосуванням двох відновлених деталей.

Ремонт шліцьових з'єднань, можливо, виробляти повною заміною зношених шліцьових частин валів або ступиці новими, а також тими, які забезпечують достатній післяремонтний ресурс, приблизно рівний ресурсу нових [159-178].

При виконанні ремонту із застосуванням відновлених валів і маточин, або тільки відновлених валів, витрата запчастин зменшується, але при цьому істотно знижується післяремонтний ресурс.

Аналіз причин пошкоджень дозволив окреслити такі шляхи підвищення надійності шліцьових з'єднань: усунення пускових і робочих перевантажень; зменшення тиску на робочі поверхні шліців; зміцнення всіх елементів деталей з'єднання і зменшення коефіцієнта концентрації напружень; усунення мікропереміщень, що викликають фреттинг-корозію; герметизація з'єднання для попередження утворення на робочих поверхнях шліців низькоміцних плівок окислів.

Суть розробленої нової технології полягає в тому, що при відновленні наплавленням, по довжині шліців формуються спеціальні порожнини. При їх обробці по гвинтовій лінії вони сприяють зменшенню напруги в наплавленому шарі, що підвищує ресурс вала при експлуатації. Причому, кожен наступний

наплавлений шар перекриває попередній на 1/3 його ширини.

На рис. 2.1 показаний наплавлений шліцьовий вал діаметром 22 мм в основі тіла і 20мм в шліцьових частинах. Перед наплавленням знімали нерівномірно зношену частину шліців механічною обробкою таким чином, щоб вони становили по висоті 20-30% від свого номінального розміру.

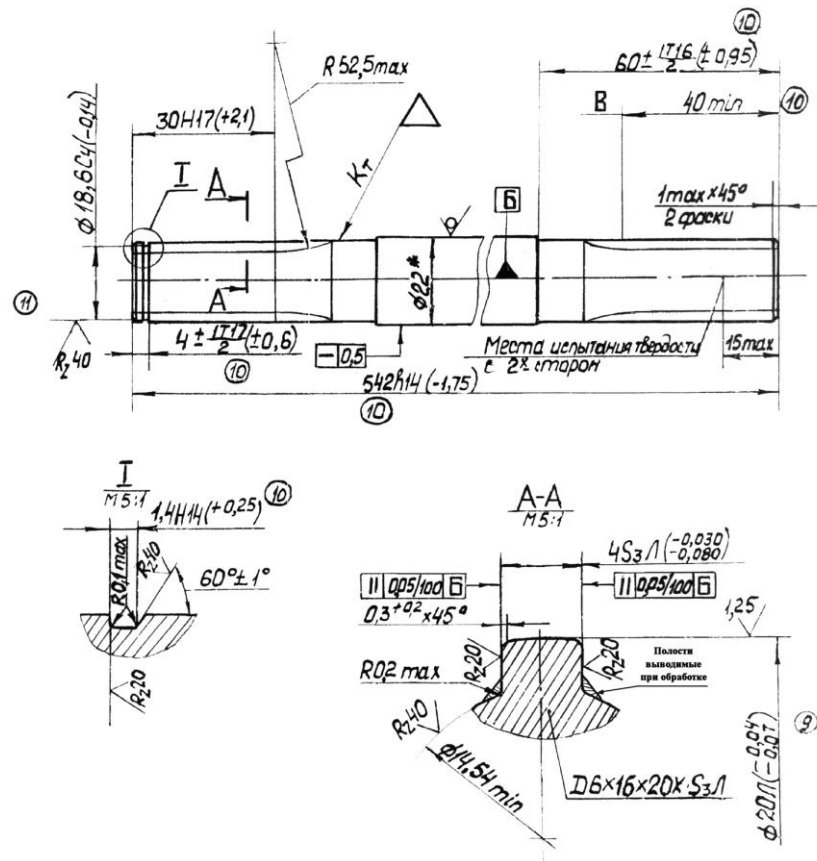


Рис. 2.1. Відновлений шліцьовий вал

Вал в шліцьових частинах наплавляли дротом  $\varnothing 1,2$  Нп-30ХГСА в середовищі вуглекислого газу ( $\text{CO}_2$ ) по гвинтовій лінії по наступному режиму: сила зварювального струму (80-100) А; напруга - (17-18) В; швидкість подачі електронної дроту - (2,3-2,4) м / хв; виліт електрода - (8-10) мм; зміщення електрода з zenіту - (14-15) мм; частота обертання деталі - (9-10) об / хв; крок наплавлення - (1,3-1,5) мм / об; число проходів - не більше двох; витрата дроту - 0,138кг; витрата газу  $\text{CO}_2$  - 57,6л (на один вал).

Характерна мікроструктура металу шліцьовій частини валу наведена на рис. 2.2 (додаток 3).

Якість відновлення шліцьового валу оцінювали в наплавленому шарі за середнім рівнем напруг, що визначається за коерцитивною силою і досягнутої твердості.

Порівняльні дослідження показали, що наплавлення по гвинтовій лінії з наступним загартуванням СВЧ сприяють напруженому стану, в середньому, на 10% менше, що обумовлено рівнем залишкових напруг, оцінених за коерцитивною силою (табл. 2.1 - 2.3).

Встановлено, що з підвищенням рівня напружень коерцитивна сила зростає. З наведених даних видно, що при відновленні наплавленням уздовж шліців і наступним загартуванням СВЧ і відпусткою при 510 - 560°C значення коерцитивної сили досягають 21,6 - 26,8А / см.

Таблиця 2.1

Значення коерцитивної сили вала, відновленого наплавленням уздовж шліца і загартуванням СВЧ з наступним відпуском

Частина валу, на якій проводилися вимірювання (зони, наведені на рис.3.3)	Рівень Н <sub>С</sub> , А / см			Середнє значення Н <sub>С</sub> , А / см
Шлицевая частина -6	22,1	22,1	20,6	21,6
Шлицевая частина -1	26,5	27,3	26,6	26,8
Тіло - шліцьова частина -2	16,7	17,7	19,6	18
Тіло - шліцьова частина -7	20,1	19,7	19,9	19,9
Тіло біля шліцьовій частини -5	9,8	10,5	10,6	10,3
Тіло біля шліцьовій частини -3	10,0	10,7	12,0	10,9
Середина вала -4	14,7	13,7	14,5	14,3

Таблиця. 2.2

Значення коерцитивної сили вала, відновленого за розробленою технологією (до гартування СВЧ)

Частина валу, на якій проводилися вимірювання	Рівень Н <sub>С</sub> , А/см			Середнє значення Н <sub>С</sub> , А / см
Шлицевая частина -6	8,1	7,4	8,0	7,83
Шлицевая частина -1	6,6	7,2	7,3	7,03
Тіло - шліцьова частина -2	7,1	6,9	7,2	7,06
Тіло - шліцьова частина -7	6,8	6,7	7,0	6,83
Тіло вала -4	9,6	10,0	9,4	9,6

Таблиця 2.3

Значення коерцитивної сили вала, відновленого за розробленою технологією і після загартування СВЧ з наступним відпуском

Частина вала, на якій проводилися вимірювання	Рівень Н <sub>С</sub> , А / см			Середнє значення Н <sub>С</sub> , А / см
Шлицева частина -6	21,8	22	22	21,93
Шлицева частина -1	22,2	21,6	22,4	22,06
Тіло - шліцьова частина -2	8,3	8,4	9,0	8,56
Тіло - шліцьова частина -7	8,6	9,0	8,5	8,7
Тіло вала -4	9,4	9,3	9,6	9,43

При цьому максимальні значення (на 19,4% більше) характерні для шліців сполучення вал - конічна шестерня, яка піддавалася великим навантаженням при експлуатації, ніж сполучення вал - перехідна втулка.

Запропонована нова технологія відновлення шліцьових валів з формуванням спеціальної порожнини для релаксації напружень при наплавленні зношених шліців по гвинтовій лінії показала суттєво нижчий рівень напружень, так, до термічної обробки значення коерцитивної сили, в середньому, не перевищують 7,83А/см. Найбільш високий рівень цієї характеристики відповідає іншим способам відновлення - області максимальних знакозмінних навантажень (середина вала) і становить 9,6А/см (див. табл.2.1 - 2.3).

Порівняльні дослідження з оцінки твердості проводили на валах отриманих зварюванням встик з двох мало зношених частин. Середні значення твердості приведені в табл. 2.4 - 2.7. Слід зазначити, що в першому випадку твердість шліців трохи вище, ніж отриманих після наплавлення.

Однак таке підвищення незначне і, в середньому, не перевищує 7%. Це свідчить про те, що відновлений вал зварюванням в стик після експлуатації за рахунок зносу і зняття загартованого шару в шліцьових частинах не може забезпечити необхідної експлуатаційної стійкості. Згідно ТУ твердість повинна бути не менше 62HRC.

Таблиця 2.4

Зміна твердості відновленого вала за технологією зварюванням в стик двох

зношених валів (до проведення СВЧ)

Частина валу, на якій проводилися вимірювання	Значення твердості, HRC						
	Пояс вимірювання					Середнє	min-max
Твердість шліцьовій частини -6	39	38	31	36	35	35,8	31-39
Твердість шліц. частини -1	35	37	36	34	31	34,6	31-37
Твердість зварювального шва біля шліцьовій частини -2	46	47	45	50	52	48	45-52
Твердість зварювального шва біля шліцьовій частини -7	47	49	46	50	50	48,4	46-50
Твердість частини валу біля зварювального шва -5	29	33	22	32	36	30,4	22-36
Твердість частини валу біля зварювального шва -3	33	35	28	29	31	31,2	28-35

Таблиця 2.5

Зміни твердості відновленого вала за розробленою технологією  
наплавлення (до проведення СВЧ)

Частина валу, на якій проводилось вимірювання			Значення твердості, HRC					Середнє	min-max
			Пояс вимірювання						
Твердість шліцьовій частини -6			34	36	35	34	34	34,6	34-36
Твердість шліц. частини -1			31	29	33	31	30	30,8	29-31
Твердість валу біля шліц. частини -2			29	33	22	32	25	28,2	22-33
Твердість валу біля шліц. частини -7			23	31	35	34	35	31,6	23-35
Тіло	У площинах	3	35	34	36	36	34	35	34-36
		4	31	33	32	37	32	33	31-37
		5	40	37	39	33	31	36	31-40
		8	33	38	40	35	35	36,2	33-40

Оскільки перша технологія передбачає зварювання встик 2-х частин вала, то проведено додаткове вимірювання твердості по довжині всього валу, в тому числі обробленого і за технологією з гвинтовим способом нанесення покриття на шліцьову частину (рис. 2.3).

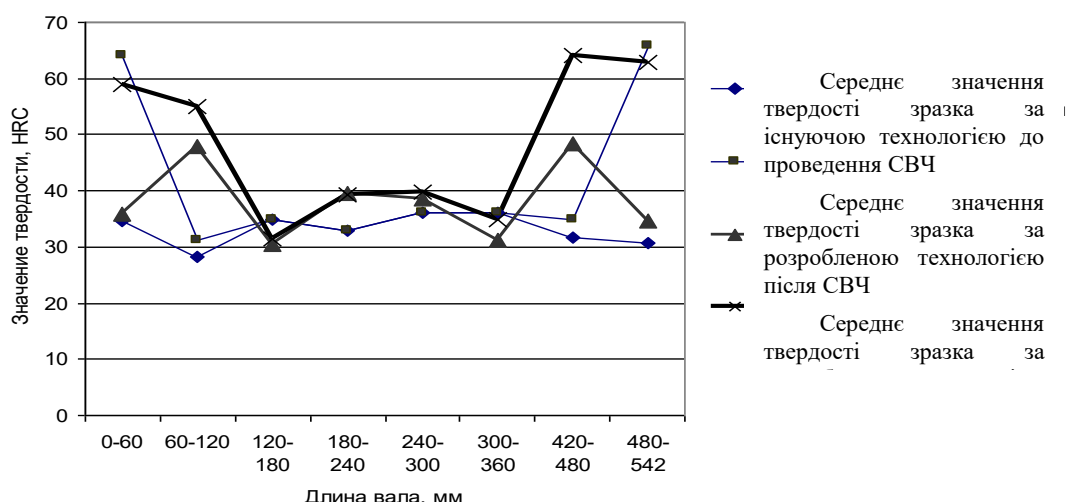


Рис. 2.3 Середній розподіл твердості по довжині вала

Проведений порівняльний аналіз відновлених шліцьових валів по першій і другій технологій показав зміни і коерцитивної сили.

Таблиця 2.6

Твердість зразка відновленого за існуючою технологією після зміцнення СВЧ

Частина валу, на якій проводилось вимірювання		Значення твердості HRC					середнє	min-max	
Твердість шліцьовій частини -6		56	58	59	62	60	59	56-60	
Твердість шліцьовій частини -1		67	61	65	62	60	63	60-67	
Твердість зварювального шва біля частини -2		64	53	61	49	48	55	48-64	
Твердість зварювального шва біля частини -7		62	64	65	66	63	64	62-66	
Твердість частини валу біля зварювального шва -5		25	35	34	31	32	31,4	25-35	
Твердість частини валу біля зварювального шва -3		33	36	35	37	34	35	33-37	
Тіло	Перетин вимірювання	4	39	40	40	38	41	39,6	38-41
		8	38	41	40	37	40	39,2	37-41
		9	40	39	39	40	41	39,8	39-41
		10	37	37	40	39	40	38,6	37-40

Таблиця 2.7

Вимірювання твердості зразка відновленого за розробленою технологією після зміцнення СВЧ

Частина валу, на якій проводилися вимірювання	Значення твердості, HRC					Середнє	min-max
Твердість шліцьовій частини -6	62	61	65	67	66	64,2	61-67
Твердість шліцьовій частини -1	68	65	63	66	67	65,8	63-68
Твердість валу біля шліцьовій частини -2	32	34	29	30	31	31,2	29-32
Твердість валу біля шліцьовій частини -7	36	38	33	32	35	34,8	32-38

Як було показано вимірами, рівень напруженого стану наплавленого шару за розробленою технологією знижується на 21,5% з кожним наступним шаром наплавлення, а рівень напружень в наплавленому шарі деталі за способом, прийнятим за прототип, зростає на 10%.

Для отримання детальної інформації про якість відновленої деталі було виконано вимірювання мікротвердості по перетину шліца в трьох напрямках: 1) зони покриття - термічного впливу - основний метал рис. 2.4 (додаток 4); 2) середина шліца, що включає краю і зону покриття рис. 2.5(додаток 4); 3) між шліцами, що представляє собою зону термічного впливу рис. 2.6(додаток 4).

Дослідженнями показано, що за твердістю зони відновленого покриття і термічного впливу мають близькі значення. Лише на кордоні з основною (починаючи з 400мкм) відзначається її спад, який наближається до основного металу.

При цьому розкид значень твердості від середніх значень в зоні покриття і термічного впливу досягає 20%, в той час як основи не перевищує 4% (див. додаток 4).

Аналіз зміни мікротвердості показав, що межа розкиду від середніх значень по досліджуваним зонам не перевищує 7-15% (див. додаток 4).

Зміна мікротвердості в зоні термічного впливу між шліцами не перевищує 13,5% (див. додаток 4).

З виконаного аналізу випливає, що найбільша неоднорідність мікротвердості характерна для шліців. Після гартування СВЧ і відпуску мікротвердість шліців і зони між ними суттєво підвищується (на робочій поверхні досягає Н - 50 - 569, а між шліцами Н - 50 - 542, додаток 4).

При цьому враховувалися вимірювання зроблені на відстані від 50 до 300мкм (даний проміжок є З.Т.В.).

Одночасно витрата матеріалу за пропонуваним способом в 1,4 рази менше в порівнянні з відомим.

## 2.2. Оцінка властивостей відновлених валів і їх експлуатаційний аналіз стійкості

Відновлення шліцьовій поверхні проводили після спеціальної її підготовки (шліфування нерівномірно зношених і пошкоджених частин) і наступних операцій: наплавлення серед CO<sub>2</sub> дротом НП-30ХГСА і легованої порошкової композицією Пр-Х4Г2Р4С2Ф (табл. 2.8) з різною часткою зміцнюючої добавки порошку Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>. Така добавка порошку була обрана на основі досліджень проведених на кафедрі «Технологічних систем ремонтного виробництва» ХНТУСГ ім. П. Василенко. Було показано, що добавка ферохрому і графіту в покриття забезпечує істотне підвищення твердості.

Таблиця 2.8

Склад порошкових композицій, що вводяться

Умовний номер зразка	Склад порошкової композиції	Кількість внесених Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub> ,%
1	Пр-Х4Г2Р4С2Ф + Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub>	33,0
2	Пр-Х4Г2Р4С2Ф + Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub>	50,0
3	Нп-30ХГСА	До 1% Cr, Mn, C.

Досліджувані композиції відрізняються співвідношенням додатково внесених порошків Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>.

Проведений металографічний аналіз структури наплавлених зразків показав, що в залежності від співвідношення внесених композицій в зразках формується структура з великою неоднорідністю розподілу фаз по глибині. При аналізі виявлено область високого протравлення протяжністю 1,3-1,5мм, прилегла до перехідного шару, її можна віднести до зони термічного впливу. Структура перехідної зони відповідає основному металу (табл. 2.9 додаток 5).

Порівняльний аналіз зразків показав, що карбід Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> повністю розчиняється, а потім кристалізується знову в вигляді (Me)<sub>3</sub>C. При концентрації введеної добавки не більше 15% спочатку кристалізуються дендрити аустеніту, а в междендрітних просторах - карбідна евтектика (механічна суміш двох, або більше типів карбідів одночасно кристалізуються з рідини). Зі збільшенням концентрації Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> кристалізуються первинні карбіди хрому і мають грубе будова. При кристалізації цих карбідів (введення 50% Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>) зростає схильність



наплавленого шару до утворення тріщин і викришування при експлуатації.

Пропонований спосіб (рис. 2.7) скорочує витрати на відновлення, а технологічний процес обробки шліцьових валів забезпечує мінімальний рівень напруг. Для виконання поставленої мети проведено дослідження з оцінки коефіцієнта витрати наплавлювальних матеріалів і визначено середній рівень напружень по коерцитивній силі (НС, А / см). Дані досліджень наведені в додатку 6. 2.13, 2.14.

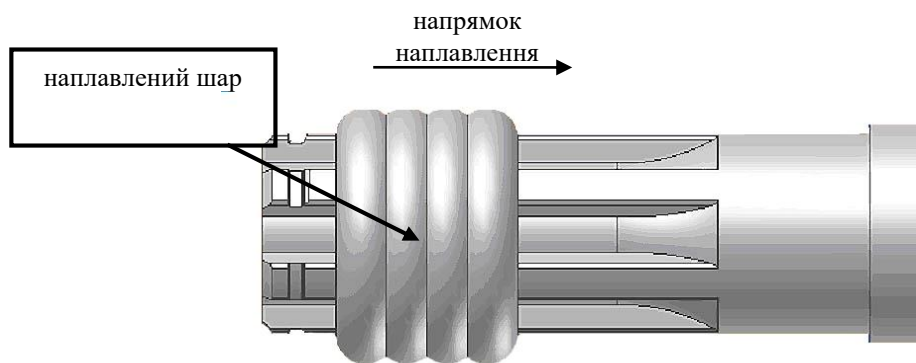


Рис. 2.9. Схема наплавлення шліцьового вала

Витрата матеріалу при рекомендованому способі наплавлення в порівнянні з відомим, менше в  $\approx 1,4$  рази.

За даними додатку 6 рівень напруженого стану рекомендованого способу відновлення знижується на 39% від початкового значення - 9,04. Показано, що з кожним наступним шаром наплавлення, який проводиться за рекомендованою схемою, призводить до зниження напруги. Одночасно рівень напружень відомого способу, зростає на 10% від початкового 11,2. Середній рівень напружень рекомендованого способу в 1,5 рази менше в порівнянні з відомим.

З аналізованих найбільш стабільні властивості отримали при використанні дроту 1,2Нп-30ХГСА. Вона є доступною, технологічною в обробці і відносно недорогий.

Після наплавлення і механічної обробки (фрезерування) оцінювали досягнутий рівень твердості в шліцьовій частини, який знаходився в межах 220-300НВ (середнє значення 277НВ). Це вимагає подальшого зміцнення робочої

частини вала.

Для забезпечення заданого рівня твердості відновлені шліци піддавали загартуванню СВЧ та відпуску. Досліджували температурний інтервал гартування СВЧ 800-900°C, а відпуску 500-600°C. Аналізували вплив параметрів обробки на рівень твердості через кожні 10°C.

Дослідженнями показано, що найбільш стабільна твердість досягається в інтервалі температур гарту 830-850°C (додаток 7).

Відпуск здійснювали в пічці (додаток 8). З наведених даних видно, що оптимальними температурами відпуски є 500-560 ° С. Для обґрунтування оптимальної технології відновлення шліцьового вала, був проведений контроль якості зразків відновлених також по двом іншим порівнюваним технологіям. В якості контролю була виконана оцінка напруженого стану деталі. Використовували Коерцитиметри КРМ-Ц, цифровий напівавтоматичний.

Дослідженнями розглянуто наступне: виконано оцінку навантаження шліца в залежності від моменту, що створює рівнодіюча сила розподіленим навантаженням; створення тривимірної (3D) геометричної і звичайно-елементної моделі вала зі сталі 45, і наплавленням дротом Нп-30ХГСА; проведений аналіз впливу зміни механічних властивостей матеріалу на напружено-деформований стан.

Для визначення впливу зміни механічних властивостей матеріалу на напружено-деформований стан вала проведено порівняльний аналіз результатів розрахунків моделей, для нового вала і відновленого наплавленням дротом 30ХГСА.

Для розрахунку моделей 2D і 3D, виконаних для базової сталі 45 і сталі 30ХГСА, використовували такі показники: модуль пружності при температурі 20 ° С, Коефіцієнт Пуассона, щільність матеріалу.

Для зменшення кількості кінцевих елементів при вирішенні завдань в постановці 3D розглянуті тільки шліцьові частини валу. Тіло вала, оскільки воно не несе ніяких навантажень не розглядали (додаток 10).

Розподіл інтенсивності напружень на частинах вала показано в додатку 10. Розрахунками встановлено, що максимальні напруги знаходяться в місцях

вершини шліців (I).

У процесі досліджень напружено-деформованого стану був виконаний такий розрахунок, при якому коефіцієнт запасу міцності, за вимогами заводу виробника, становить 3. Цьому коефіцієнту відповідає розподілене навантаження в 17,62236 МПа для сталі 45. У той час коли розрахункова розподілене навантаження складає 5, 03747 МПа.

Дані розрахунку наведені в додатку 11. При відновленні вала дротом Нп-30ХГСА коефіцієнт запасу збільшується на 57%, як для шліцьовій частини вала в сполученні з перехідною втулкою, так і частини валу в сполученні з конічною шестернею.

На підставі результатів розрахунку моделі вала методом кінцевих елементів, експериментальних досліджень і чисельного моделювання валу приводу гідронасоса було встановлено, що при оцінці технічного стану експлуатованого вала, для підвищення довговічності, необхідно враховувати спосіб і параметри відновлення, зміну механічних властивостей матеріалу і виникаючих напружень, а також конструктивні особливості вала. Вони істотно впливають на напружено-деформований стан.

## ВИСНОВКИ

В результаті виконаної роботи отримані наступні результати:

1. Аналізом відомих досліджень конструкцій, встановлено, що гідравлічне обладнання сільськогосподарських машин є важливим вузлом, який в значній мірі визначає її працездатність і надійність в експлуатації. Серед деталей цього вузла визначальна роль належить шліцьовому валу приводу насоса розподільної коробки передач. Узагальнений аналіз методів відновлення такої деталі не виявив існуючого оптимального технологічного процесу відновлення з точки зору забезпечення довговічності функціонування системи. У зв'язку з цим, дослідження, які спрямовані на визначення оптимальної технології і параметрів відновлення і зміцнення шліцьових валів є важливими і актуальними.

2. Обґрунтовано та запропоновано новий технологічний процес відновлення валу приводу гідронасоса наплавленням по гвинтовій лінії шліцьовій частини для компенсації зносу. Встановлено, що при нанесенні покриття, для зниження напружень при обробці, слід формувати спеціальні порожнини біля основи шліців. Перед наплавленням рекомендується зношені шліци піддавати механічній обробці із зняттям шару не більше ніж  $1/2$  їх висоти.

3. Обґрунтовано новий метод і параметри відновлення шліцьового вала. Рекомендовано відновлення шліців проводити електродуговим наплавленням в середовищі  $CO_2$  дротом Нп-30ХГСА без попереднього підігріву вала з нанесенням двох шарів. Оцінені оптимальні параметри обробки: сила зварювального струму 80-100А; напруга 17-18В; швидкість подачі електродного дроту 2,3-2,4м / хв; виліт електрода 8-10мм; зміщення електрода із zenіту 4-5мм; швидкість обертання деталі 9-10об / хв; крок наплавлення 1,3-1,5мм / об. Для мінімізації напружень при наплавленні формувати спеціальні порожнини біля основи шліців.

4. Розроблено методику та виконано порівняльний розрахунок термічних напружень і деформацій, які виникають при різних методах відновлення шліцьового вала. Показано, що мінімальні значення цих показників характерні для нанесення покриттів наплавленням шліцьовій частини по гвинтовій лінії.

5. Виконано оцінку надійності відновлених шліцьових валів методом кінцевих елементів. При цьому враховували зміни властивостей вала в процесі

його експлуатації. Моделюванням встановлено, що найбільш повна характеристика технічного стану залежить від способу і параметрів відновлення вала, рівня виникаючих напружень і конструктивних особливостей.

## Список використаних джерел

1. И.Е. Ульман Ремонт машин / И.Е. Ульман, Г.А. Тонн, И.М. Герштейн и др.; Под общ. ред. И.Е. Ульмана. 3-е изд., перераб. и доп. // –М.: Колос, 1982,– 446с.
2. Шаврин О.И. Технология и оборудование термомеханической обработки деталей машин / Шаврин О.И. –М.: Машиностроение. 1983.–176с.
3. А.В. Михайлов / Основы проектирования технологических процессов машиностроительных производств. // А.В. Михайлов, Д.А. Расторгуев, А.Г. Схиртладзе // Старый Оскол.: ТНТ, – 2010.–336с.
4. Мак-Мастера Р. Неразрушающие испытания. Справочник. / Р. Мак-Мастера. Пер. с англ., Кн. 1 и 2. М.-Л.: Энергия, 1985. – 115 с.
5. В.П. Фираго Основы проектирование технологических процессов и приспособлений. Методы обработки поверхностей / М.: Машиностроение, 1973. –468 с.
6. Крагельский И.В. Узлы трения машин. Справочник. / И.В.Крагельский – М.: Машиностроение, 1984. – 280 с.
7. Костецкий Б. И. Трение, смазка и износ в машинах. / Б. И. Костецкий – Киев: Техника, 1970. – 396 с.
8. Решетова Д.Н. Детали машин. Конструкционная прочность. Трение, износ, смазка. / Д.Н. Решетова - М.: Машиностроение. – 1995. – 864 с.
9. Погодаев Л.И. Повышение надежности трибосопряжений. Материалы. Пары трения ДВС. Смазочные композиции / Л. И. Погодаев, В. Н. Кузьмин, П. П. Дудко. – СПб.: 2001. – 303 с.
10. Крагельский И.В. Трение и износ. 2-е изд. перераб. и доп. / И.В. Крагельский - М.: Машиностроение, 1988. – 480 с.
11. . Кулеев В.Г. Механизмы влияния внутренних и внешних напряжений на магнитные свойства ферромагнитных сталей / Кулеев В.Г., Горкунов Э.С. // Дефектоскопия. — 1997. — № 11. – С. 3-18.
12. В. И. Черноиванов Восстановление деталей сельскохозяйственных машин / В. И Черноиванов, В. П. Андреев. // Москва.: Колос, 1983. –289 с.

13. Беляев В. А., Горячев А. Д., Новиков В. Г. Стальные валы // Техника в сельском хозяйстве. - 1981. - № 3 - С. 37.
14. Микотин В.Я. Технология ремонта сельскохозяйственных машин и оборудования / – Микотин В.Я.– М.: Колос, 2000. –368 с.
15. Львовский К.Я. Трансмиссии тракторов / Львовский К.Я., Черпак Ф.А., Серебряков И.Н., Щельцын Н.А. // –М., Машиностроение, 1976, –280с.
16. Конструкции зарубежных автомобильных двигателей выпуска 1989 г.: Обзорная информация / В. Н. Гордиенко, Б. Н. Лучинин, М. Н. Сильницкая, Е. И. Харыбина /. - М.: ЦНИИТЭИавтопром, 1989. - 74 с.
17. Агеев Л.Е. Сверхмощные тракторы сельскохозяйственного назначения / Л.Е. Агеев, В.С. Шкрабак, В.Ю. Моргулис-Якушев.; – Л.:Агропромиздат, Ленингр. отд-ние, 1986. –415с.
18. Приводы машин: [Справочник] / В.В. Длоугий, Т.И. Муха, А.П. Цупиков, Б.В. Януш; под общ. ред. В.В. Длоугого. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1982. – 383 с.
19. Флик Э.П.: Механические приводы сельскохозяйственных машин / Флик Э.П. – М.: Машиностроение, 1984. – 272с.
20. Сідашенко О.І., Скобло Т.С., Тіхонов О.В., та інші, під ред. Сідашенко О.І. / Практикум з ремонту машин. Т1, Т2. Навчальний посібник. – Харків: ТОВ «Пром-Арт», 2018. 416с.
21. Красневский Л.Г. Управление гидромеханическими многоступенчатыми передачами мобильных машин / Красневский Л.Г. -Минск.: Наука і техника, 1990. –256с.
22. А.В. Петров Планетарные и гидромеханические передачи колесных и гусеничных машин / А.В. Петров. – Москва.: Машиностроение, 1966. –385с.
23. Гончаренко А.А., Методика исследования структурообразования при восстановлении деталей с использованием модификаторов Науковий журнал Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів, 2016, №6; Харків, 2016.,. 2016 С.87

24. Демичев А.Д. Поверхностная закалка индукционным способом / Под ред. А.Н. Шамова. – Л.: Машиностроение., Ленингр. отд-ние, 1979. – 80с., ил; 20см – (Б-чка высокочастотника-термиста). 4-е изд., перераб. и доп.; Вып. 2.
25. Металловедение. Термическая и химикотермическая обработка сплавов: [сб. науч. тр. / под. ред.: Б.Н. Арзамасова] – М.: Изд-во МГТУ, 2003. – 327 с.
26. Перегудин Б. П. Методы измерения прочности сцепления газотермических покрытий // Сварочное производство. - 1988. - № 9. - С. 41 – 43.
27. Григорович В. К. Твердость и микротвердость металлов. – М.: Наука, 1976. - 230 с.
28. Приборы и методы физического металловедения. В 2 т. / Под ред. Ф. Вейнберга. - М.: Мир, 1973. - Т. 1. – 430 с.
29. Металловедение и термическая обработка стали и чугуна. Справочник. Под ред. Гудцова Н. Т. – М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии, 1956. - 1204 с.
30. Н. Дударева, С. Загайко. SolidWorks 2009 на примерах / Н. Дударева, С. Загайко. –БХВ.: Петербург, 2009. –544с.
31. Эффективная работа с SolidWorks 2004 [SolidWorks for Designers Release 2003 / Шам Тику]. –Питер, 2004. 768с. (Серия: Эффективная работа).



## ***ДОДАТКИ***

## Класифікація шліцьових з'єднань

Основні ознаки класифікації	Групи і підгрупи			
1 Рухливість з'єднання	нерухомі з'єднання		рухливі з'єднання	
2 Форма поперечного перерізу шліца	1 Прямобічне: а) з паралельним розташуванням граней; б) з радіальним розташуванням граней	2 Евольвентна: а) $\alpha = 20^\circ$ ; б) $\alpha = 30^\circ$ ; в) $\alpha = 45^\circ$	3 Трикутні: а) з $\alpha = 55^\circ$ ; б) з $\alpha = 60^\circ$ ; в) з $\alpha = 72^\circ$ ; г) з $\alpha = 90^\circ$	
3. Розташування шліців	1 На циліндричній поверхні	2 На конічній поверхні	3 На торцевій поверхні	
4 Напрямок утвореної бічної поверхнею шліців	Паралельно утворюють			Гвинтове
5 Спосіб центрування	По зовнішньому діаметру	По внутрішньому діаметру	По бічних поверхнях шліців	За допоміжним поверхнею
6 Несуча здатність	Легка серія		Середня серія	Важка серія
7 Спосіб фіксації маточини від поздовжніх переміщень	Гайкою, що накручується на хвостовик вала	Шайбою і болтом, або групою болтів, що закручуються в торець вала	Стопорними кільцями	Суміжними маточинами деталей (зубчастими колесами, підшипниками і ін.)
8 Застосування термічної обробки	Термооброблені валом і маточиною	Не термооброблені валом і маточиною	Термооброблені валом і не термооброблені маточиною	Термооброблені маточиною і не термооброблені валом

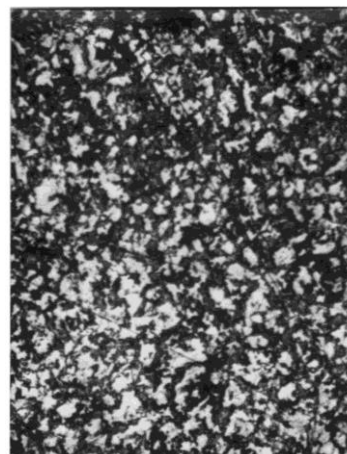
Характеристика валів. Матеріал, властивості і спосіб їх обробки після  
наплавлення

Марка сталі	Розмір перетину S, мм	Твердість, НВ	Тимчасовий опір розриву $\sigma_B$ , МПа	кордон плинності $\sigma_T$ , МПа	Твердість поверхні після гарту і низького відпуску HRC	Термообробка*
45	$\leq 80$	170-217	600	240	—	Н
		192-240	750	450	—	В
		241-285	850	580	—	В
40X	60-100	230-260	750	520	—	В
	$\leq 60$	260-280	1000	800		
40XH	$\leq 100$	230-280	850	600	—	В
	100-300	163-269	800	580		
35XГСА	60-150	$\geq 235$	$\geq 760$	$\geq 500$	—	В
	40-60	270	980	880	—	
	30-40	310	1100	960	—	
	$\leq 30$	—	1700-1950	1350-1600	46-53	
20X	$\leq 60$	197	650	400	56-63	Ц; С; НВ
12ХН3А	40-60	250	920	700	56-63	Ц; С; НВ
	$\leq 40$	300	1000	800		
18ХГТ	$\leq 40$	300	1000	800	56-63	Ц; С; НВ
	40-80	270	950	750		
38X2MЮА	—	—	—	—	63-65	А

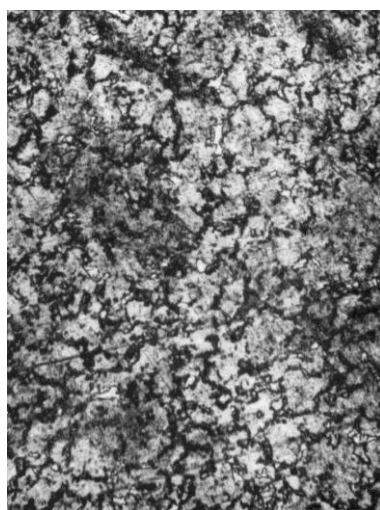
\*Прийняті позначення: А - азотування; З - загартування; Н - нормалізація; НВ - низький відпущку; В - поліпшення; Ц - цементация.



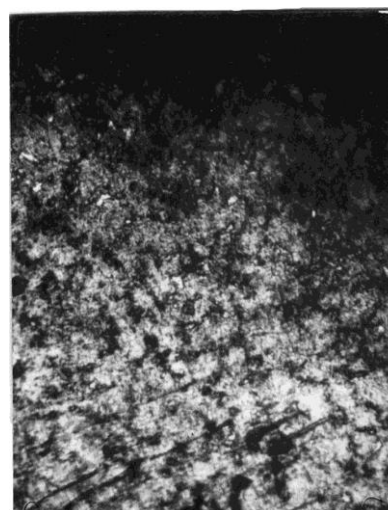
а



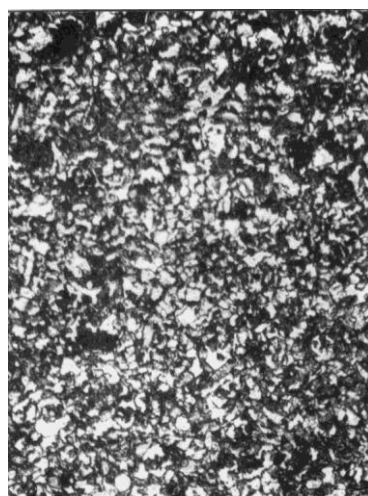
б



в



г



д

Рис. 2.3 Мікроструктура наплавленого шару в різних зонах шліца, а - загальний вид шару,  $\times 100$ ; б - д в різних зонах  $\times 200$



Рис. 2.4 Розподіл мікротвердості по боковій поверхні шліца після нанесеного покриття, мкм

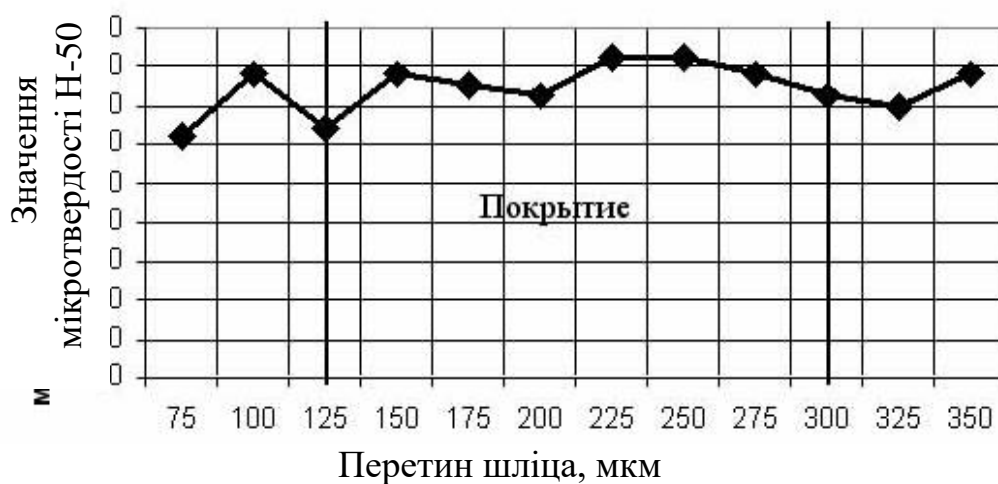


Рис. 2.5 Мікротвердість по центру в перерізі шліца



Рис. 2.6 Мікротвердість в зоні термічного впливу між шліцами



Рис. 2.7 Мікротвердість наплавленого, загартованого і відпущеного шліца:

1 - по центру шліца; 2 - по краю шліца; 3 - між шліцями

## Оцінка структури, що формується в наплавленому шарі

Умовний номер зразка	Кількість формованих зон	Характеристика структури по кожній зоні	Наявність дефектів
1	2	1 - поверхневий шар глибиною 1,1мм, з 0,01 мм дрібні включення карбідів в матриці; 2 - зона орієнтована до Тепловод. Дендрити аустеніту, прилеглі до перехідній зоні - протяжність 0,07мм зі структурою карбідної евтектики в междендрітном просторі. Глибина шару-2,12мм. Глибина шару 0,8-1,0мм характеризується однаковим розміром і розподілом фаз.	Окремі пори
2	1	Грубі первинні карбіди у вигляді пластин і глобул і дрібна евтектика стільникового будови (зрідка пластинчатая). Зустрічаються окремі вторинні карбіди правильної огранки і дрібні ферритні виділення. Евтектика складається зі спеціальних карбідів хрому і аустеніту по перетину	Окремі пори

## Коефіцієнт витрати наплавлювальних матеріалів

Способи відновлення	Витрата наплавлювального матеріалу				Середній коефіцієнт
	1й шар	2й шар	3й шар	4й шар	
Відомий спосіб	1,0	2,0	3,0	4,0	2,5
Розроблений спосіб	1,0	1,6	2,1	2,5	1,8

## Рівень коерцитивної сили, що характеризує напружений стан

Способи відновлення	1й шар	2й шар	3й шар	4й шар	Середнє значення
Відомий спосіб	11,2	11,3	11,9	12,2	11,65
Рекомендований спосіб	9,04	8,27	6,71	6,5	7,63

## Додаток 7

Вплив параметрів обробки на стабільність і властивості при загартуванні

Температура гарту, °С	Рівень твердості в точках виміру HRC						наявність дефектів
	1	2	3	4	5	6	
800							
810	50	49	47	49	47	46	-
820	49	51	53	48	53	50	-
830	52	54	54	53	56	54	-
840	58	58	59	58	59	60	-
850	59	58	59	59	61	59	-
860	59	60	60	63	61	61	-
870	61	63	62	60	60	61	-
880	62	63	64	63	63	65	-
890	61	64	63	62	64	65	поява мікротріщин
900	66	65	62	65	65	64	поява мікротріщин

## Додаток 8

Вплив температури відпуску на рівень твердості загартованих шліцьових частин вала

Температура відпуску, °С	Рівень твердості в точках виміру, HRC					
	1	2	3	4	5	6
500	52	51	53	53	54	52
510	50	50	51	50	50	51
520	50	51	51	50	50	50
530	51	50	50	51	51	51
540	52	51	52	50	50	50
550	50	52	52	51	51	51
560	50	49	50	50	49	51
570	51	48	48	50	49	50
580	47	49	47	47	48	49
590	48	47	49	47	47	48
600	49	46	47	48	48	48



## Коерцитивна сила вала, відновленого за технологією зварювання в стик

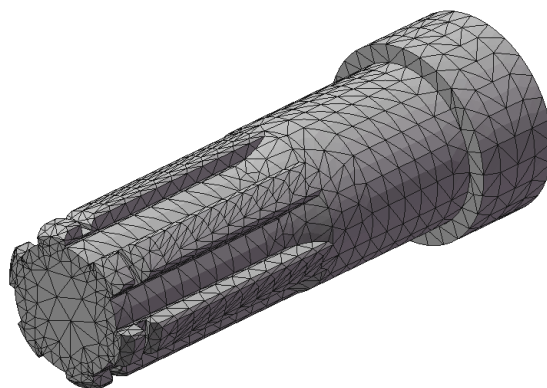
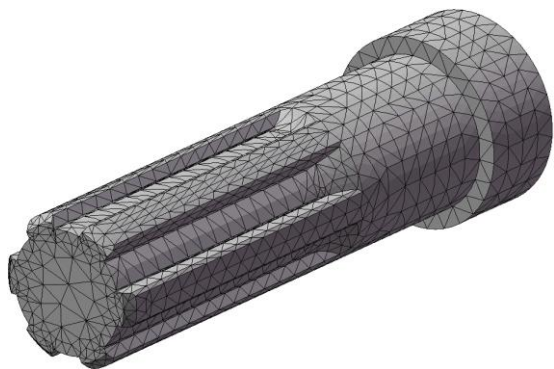
Частина вала, на якій проводилися вимірювання (см.рис.3.3)	Значення Нс, А/см			Середнє значення Нс, А/см
Шліцьова частина I	22,1	22,1	20,6	21,6
Шліцьова частина II	26,5	27,3	26,6	26,8
Тіло - шліцьова частина I	16,7	17,7	19,6	18
Тіло - шліцьова частина II	20,1	19,7	19,9	19,9
Тіло біля шліцьовій частини I	9,8	10,5	10,6	10,3
Тіло біля шліцьовій частини II	10,0	10,7	12,0	10,9
тіло вала	14,7	13,7	14,5	14,3
Примітка: * I-сполучення вала приводу з конічною шестернею; * II-сполучення вала приводу з перехідною втулкою насоса				

## Коерцитивна сила вала, відновленого за розробленою технологією (до гартування СВЧ)

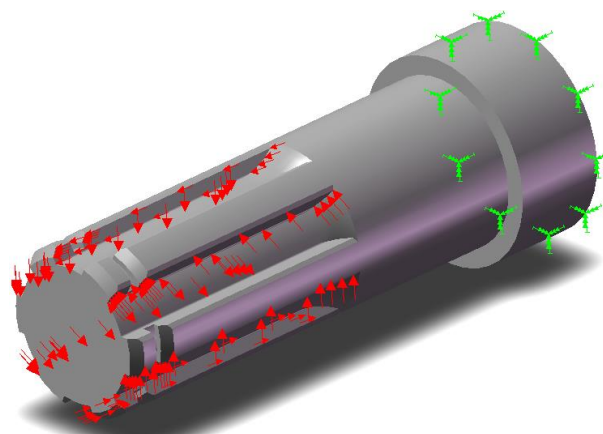
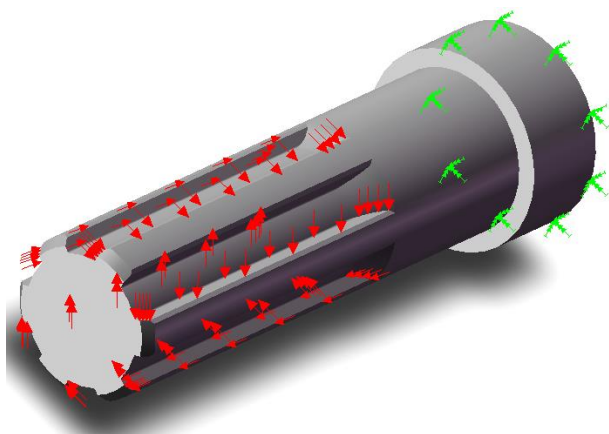
Частина вала, на якій проводилися вимірювання	Значення Нс, А/см			Середнє, значення Нс, А/см
Шліцьова частина I	8,1	7,4	8,0	7,83
Шліцьова частина II	6,6	7,2	7,3	7,03
Тіло - шліцьова частина I	7,1	6,9	7,2	7,06
Тіло - шліцьова частина II	6,8	6,7	7,0	6,83
тіло вала	9,6	10,0	9,4	9,6
Примітка: * I-сполучення вала приводу з конічною шестернею; * II-сполучення вала приводу з перехідною втулки насоса				

## Коерцитивна сила вала, відновленого за розробленою технологією (після гартування СВЧ і відпуску)

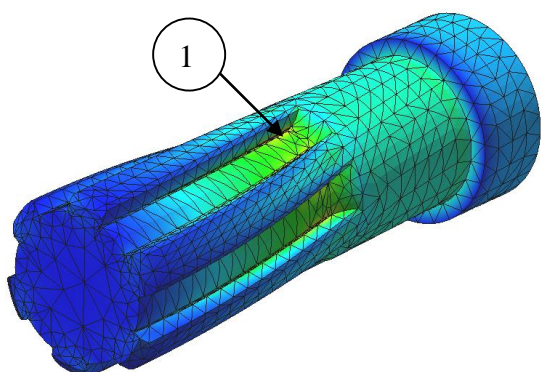
Частина вала, на якій проводилися вимірювання	Значення, Нс, А/см			Середнє значення Нс, А/см
Шліцьова частина I	21,8	22	22	21,93
Шліцьова частина II	22,2	21,6	22,4	22,06
Тіло - шліцьова частина I	9,8	10,1	9,4	9,4
Тіло - шліцьова частина II	9,2	9,3	10,1	9,76
Тіло вала	9,0	8,8	9,3	9,03
Примітка: * I-сполучення вала приводу з конічною шестернею; * II-сполучення вала приводу з перехідною втулкою насоса				



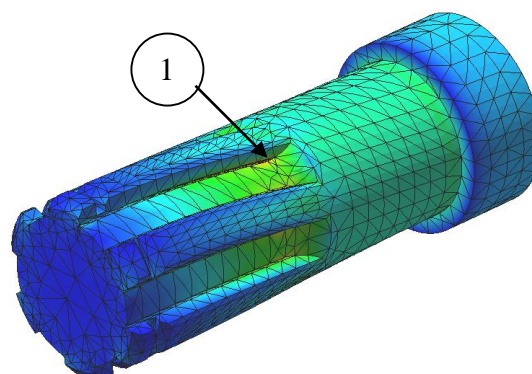
3D кінцево-елементна модель вала. Розбиття на кінцеві елементи (КЕ) з ущільненням сітки в місцях наявності концентраторів



Граничні навантаження. Позначені діючі



Von Mises  
5.670e+001  
5.294e+001  
5.110e+001  
4.827e+001  
4.543e+001  
4.259e+001  
3.975e+001  
3.692e+001  
3.408e+001  
3.124e+001  
2.840e+001  
2.557e+001  
2.273e+001  
1.989e+001  
1.706e+001  
1.422e+001  
1.138e+001  
8.543e+000  
5.706e+000  
2.868e+000  
3.107e-002



Von Mises  
3.779e+001  
3.593e+001  
3.407e+001  
3.221e+001  
3.034e+001  
2.848e+001  
2.662e+001  
2.476e+001  
2.290e+001  
2.104e+001  
1.918e+001  
1.732e+001  
1.546e+001  
1.360e+001  
1.174e+001  
9.88e+000  
8.02e+000  
6.16e+000  
4.30e+000  
2.44e+000  
5.705e+000  
3.819e+000  
1.933e+000  
4.349e-002

Еюра розподілу інтенсивності напружень

Аналіз напружено-деформованого стану вала і оцінка коефіцієнта запасу  
міцності

Марка сталі	Вид розрахунку	$q$ МПа	$\max \sigma$ , МПа	Максимальні деформації $\max d$ , мм	Коефіцієнт запасу
Сталь 45 (*)	Розрахунковий (фактичний)	5037,47	56,78	$8,532 \cdot 10^{-3}$	10,74
	Орієнтовний (мінімально допустимий)	17,62236	198,61	3,04	3,07
Сталь 45 (**)	Розрахунковий	5,03747	37,79	$5,028 \cdot 10^{-3}$	16,14
	Орієнтовний (мінімально допустимий)	17,62236	132,18	1,79	4,61
Наплавлення Нп-30ХГСА (*)	Розрахунковий	5,03747	56,75	$7,932 \cdot 10^{-3}$	19,03
	Орієнтовний (мінімально допустимий)	17,62236	198,61	3,04	5,43
Наплавлення Нп-30ХГСА (**)	Розрахунковий	5,03747	37,79	$4,677 \cdot 10^{-2}$	28,57
	Орієнтовний (мінімально допустимий)	17,62236	132,18	1,79	8,17
* - вал в сполученні з перехідною втулкою; ** - вал в сполученні з конічною шестернею					