

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерно-технологічний

Кафедра загальнотехнічних дисциплін

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти

« магістр »

бакалавр, магістр

на тему: « Дослідження експлуатаційних властивостей сталевих деталей після вібраційно-зміцнюючої обробки »

Виконав: здобувач вищої освіти за освітньо-професійною програмою

Технології і засоби механізації сільськогосподарського виробництва

назва ОПП

спеціальності 208 Агроінженерія

код та найменування спеціальності

ступеня вищої освіти «магістр» групи

Кучер Ю.В.

Прізвище та ініціали здобувача вищої освіти

Керівник: Брикун О.М.

Прізвище та ініціали керівника

Рецензент: _____

Прізвище та ініціали рецензента

Полтава – 2021 року

Вступ

На сьогоднішній день машинобудування є однією з галузей, що активно розвиваються. Ставляться високі рівні вимог до якості та довговічності деталей, що виготовляються. Відомо, що довговічність безпосередньо пов'язана із якісними характеристиками поверхневого шару. Також існує залежність експлуатаційних властивостей деталей від якості поверхневого шару.

Формування експлуатаційних властивостей відбувається протягом усіх етапів виготовлення, особливо, на операціях фінішної обробки. На етапі експлуатації проводити сформовані властивості немає можливості. Тому завдання технологічного забезпечення якості поверхневого шару деталей є однією з найважливіших під час вирішення проблеми підвищення експлуатаційних властивостей і збільшення циклу життєдіяльності (ЦЖ).

Одним із перспективних способів, що використовуються на фінішних етапах обробки, є поверхневе пластичне деформування (ППД). Сутність ППД полягає в тому, що необхідні розміри та якісні характеристики поверхневого шару досягаються не зрізанням частини матеріалу, а його пластичною формозміною. У процесі деформування, одночасно з обробкою поверхні деталі, виробляється її зміцнення і, як наслідок, відбувається поліпшення експлуатаційних властивостей, що призводить до збільшення життєвого циклу деталей. Великий інтерес інженерів до цих методів пояснюється їх широкими технологічними можливостями та суттєвими техніко-економічними перевагами.

Труднощі, здатні виникнути в процесі обробки поверхнево пластичним деформуванням, в основному слід віднести до пошуку раціональних режимів обробки, тому що від раціональності призначення залежать не тільки збільшення міцності та довговічності деталей, але й досягнення необхідної якості поверхневого шару. Найчастіше параметри режимів обробки призначаються із результатів, отриманих емпіричним шляхом, що не завжди призводить до бажаного результату обробки. Тому в умовах сучасного виробництва, слід мати методику оптимізації зміцнювальної обробки, яка гарантує не тільки задану якість

поверхневого шару, але і дозволяє забезпечити сприятливу картину залишкових напружень.

Метою роботи є підвищенні ефективності вібраційно-зміцнюючої обробки за рахунок максимального використання резервів фізичного зміцнення сталевих деталей на основі розробки адекватних теоретичних моделей формування характеристик поверхневого шару деталей.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- Розглянути особливості впливу методів обробки поверхнево пластичним деформуванням на підвищення експлуатаційних властивостей деталей.
- Розробити теоретичні моделі формування глибини зміцнення та ступеня деформації поверхневого шару;
- Провести експериментальні дослідження впливу основних параметрів на критерії якості поверхонь деталей при вібраційно-зміцнюючій обробці;
- Розробка методики оптимізації технологічних процесів за критерієм максимальної межі витривалості з метою реалізації резервів зміцнення матеріалу деталей.
- На основі отриманих результатів розробити рекомендації щодо практичної реалізації досліджень

Об'єктом дослідження є технологічний процес вібраційно-зміцнюючої обробки сталевих деталей.

Предметом дослідження є процес формування необхідних параметрів якості поверхневого шару деталей в результаті вібраційно-зміцнюючої обробки, що забезпечують підвищення експлуатаційних властивостей деталей.

Методологічною базою досліджень є визначення технологічних закономірностей вібраційно-зміцнюючої обробки, з урахуванням яких формуються основні показники якості поверхневого шару деталей (глибина зміцненого шару, ступінь деформації, шорсткість поверхні).

Методи дослідження:

- теоретичні дослідження базуються на основних положеннях технології машинобудування, теоретичної механіки, теорії ймовірностей та математичної

статистики, математичного моделювання;

- експериментальні дослідження виконувались у лабораторних та виробничих умовах на дослідно-заводському устаткуванні, з використанням атестованої контрольно-виміральної апаратури та повірених приладів.

Наукова новизна. Отримано залежності впливу режимів обробки, характеристик робочих середовищ та фізико-механічних властивостей матеріалу оброблюваних деталей на параметри якості поверхневого шару. Розроблено закономірності проектування технологічних процесів, що забезпечують підвищення експлуатаційних властивостей оброблюваних деталей. Запропоновано методику та алгоритм оптимізації вібраційно-зміцнюючої обробки за критерієм максимальної реалізації резервів зміцнення матеріалу деталей.

Практична значущість роботи. Отримані залежності визначення параметрів якості поверхневого шару деталей. Розроблено методику інженерних розрахунків раціональних параметрів технологічних процесів вібраційно-зміцнюючої обробки з метою підвищення експлуатаційних властивостей оброблених деталей.

Теоретична значущість роботи полягає у створенні комплексу теоретичних моделей формування показників якості поверхневого шару, що забезпечують підвищення експлуатаційних властивостей оброблених деталей на основі яких розроблено методику оптимізації технологічного процесу.

1 СТАН ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМУ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Вплив методів обробки поверхнево пластичним деформуванням на підвищення експлуатаційних властивостей деталей

Підвищення довговічності та надійності деталей машин завжди було і залишається одним із найважливіших завдань машинобудування. Для вирішення цього завдання в руках технологів є великий асортимент сучасних способів, серед яких особливу увагу займають методи поверхневого пластичного деформування. Застосування методів поверхневого пластично деформування на фінішних етапах обробки деталей є дуже ефективним засобом підвищення їх характеристик міцності та експлуатаційних.

Активний розвиток методів поверхневого пластично деформування розпочався у середині 20 століття. Найбільший інтерес у галузі обробки поверхневим пластичним деформуванням становлять роботи: Кудрявцева І. [1], Бабичева А. [2-3], Смілянського В. [4-7], Блюменштейна В. [8], Копилова Ю. [36], Папшева Д. [9], Дрозда М. [10-12], Сідякіна Ю. [13-14], Петросова В. [15], Пшибильського В. [16], Тамаркіна М. [17-19], Триліського В. [20] та багатьох інших.

В даний час розроблено та впроваджено у виробництво різні методи поверхневого пластично деформування та обладнання для їх реалізації.

Під поверхневого пластично деформування розуміють процес обробки, при якому немає утворення стружки, а пластичне деформування тонкого поверхневого шару деталі супроводжується переміщенням (перерозподілом) матеріалу в результаті прикладених навантажень. При цьому відбувається зміна мікрогеометрії поверхні, фізико-механічних властивостей поверхневого шару деталей, що обробляються. Поверхня, оброблена методами поверхневого пластично деформування, має достатню твердість, що стискають залишкові напруження в поверхневому шарі, згладжені мікронерівності. Як показує накопичений досвід, правильно призначені режими поверхневого пластично деформування дозволяють збільшити довговічність деталі в 1,5-1,6 разів і більше,

дозволяючи цим збільшити цикл життєдіяльності виробу. Розробка ефективних технологічних процесів поверхневого пластично деформування, сприяють підвищенню довговічності деталей, є найважливішим завданням підвищення ефективності виробництва.

Широке поширення методи поверхневого пластично деформування набули завдяки своїй економічності та простоті реалізації. За характером навантаження, що додається, згідно ГОСТ 18296-72 [19], методи поверхневого пластично деформування поділяють на статичні та динамічні. При обробці статичними методами поверхневого пластично деформування деформуючий інструмент або робочі середовища, впливають на поверхню оброблюваних деталей з постійним зусиллям P , при цьому відбувається плавне переміщення інструменту і вогнища деформації під ним по всій поверхні деталі, що підлягає обробці. При динамічних методах поверхневого пластично деформування робочі середовища, найчастіше у вигляді сталевих полірованих кульок, впливають на поверхню деталей, що обробляються багаторазовими ударами. При цьому сила зіткнень змінюється в кожному циклі від мінімального до максимального значення, а обробці може піддаватися вся поверхня деталі або її окремі ділянки при місцевому зміцненні або з переміщенням зони впливу послідовно по всій поверхні деталі [21].

Класифікація існуючих статичних методів поверхневого пластичного деформування наведена у табл. 1.1 [28], класифікація динамічних методів поверхневого пластично деформування, з урахуванням ГОСТ 18296-72, представлена в табл. 1.2 [19].

Таблиця 1.1 – Класифікація статичних методів поверхневого пластичного деформування

Статичні методи поверхнево пластичного деформування	Поверхневе доронування
	Вигладжування
	Обкатування
	Вібраційне накочування
	Вібраційне вигладжування
	Зміцнююче розкочування

Таблиця 1.2 – Класифікація динамічних методів поверхневого пластичного деформування

Динамічні методи поверхнево пластичного деформування	Дробоструминна
	Гідроробоструминна
	Віброударна (вібраційна обробно-зміцнююча обробка)
	ротаційна обробка (відцентрово-ротаційна обробно-зміцнююча обробка)
	Карбування
	Обробка кулько-стрижневим зміцнювачем
	Віброконтатний наклеп
	Ударне накочування
	Ультразвукова обробка
	Обробка механічними щітками
	Вібро обкатування
	Вібро вигладжування

При обробці динамічними методами поверхнево пластичного деформування в зоні контакту індентора з деталлю виникає осередок деформації (ОД), в якому проходять процеси течії металу. Технологічні параметри обробки впливають на форму та розмір ВД. Діяльність [76] йдеться у тому, що формування поверхневого шару відбувається у результаті переміщення частинок поверхневого шару в ОД.

У процесі обробки поверхнево пластичного деформування у зоні контакту індентора з поверхнею деталі розвивається високий тиск, під дією якого відбувається частковий розпад залишкового аустеніту. Залишковий аустеніт перетворюється на мартенсит. В результаті після обробки деталей методами поверхнево пластичного деформування підвищується твердість поверхневого шару. Зважаючи на те, що мартенсит має більший питомий обсяг, порівняно з залишковим аустенітом, поверхневий шар оброблених деталей поверхневим пластичним деформуванням прагне збільшити свої розміри. Нижчі шари металу перешкоджають подібному зростанню. Тому в поверхневих шарах формуються

залишкові напруження стиску, а в серцевині напруження розтягування.

Одночасно з процесом утворення стискаючих залишкових напружень у поверхневому шарі можливе утворення напружень розтягу, що є небажаним явищем. Зовнішній шар оброблюваного металу в процесі обробки схильний до нагрівання, при цьому поверхневий шар прагнути до подовження, більш холодний внутрішній шар перешкоджає перебігу даного процесу. Під час наступного охолодження поверхневий шар прагнучиме стиснутись, але пружно напружений внутрішній шар перешкоджає стиску. В результаті, у поверхневому шарі можуть виникнути залишкові напруження розтягування, а у внутрішньому шарі – стискування.

Також у процесі обробки динамічними методами поверхнево пластичного деформування виникає ковзання в кристалах металу, яке зменшує структурні неоднорідності [65]. Усунення неоднорідностей частково відновлює реальну міцність кристалів та підвищує величину критичної напружень і зсуву. При цьому смуги ковзання ділять кристал на дрібні частинки у вигляді пластинок, перетворюючи його на полікристал, що складається з дрібних витягнутих зерен.

Процес ковзання супроводжується витягуванням зерен полікристалу у напрямку деформації, у результаті створюється певна орієнтування тонких витягнутих зерен [45].

Обробка динамічними методами поверхнево пластичного деформування супроводжується підвищенням густини дислокацій. Зі збільшенням густини дислокацій зменшується відстань між ними, а це призводить до посилення взаємодії їх між собою. Опір руху дислокацій зростає, отже, зростає та опір деформації, тобто відбувається зміцнення металу. Основною причиною процесу зміцнення є стрімке зростання дислокацій, що зосереджуються поблизу зрушень.

Процес обробки деталей методами поверхнево пластичного деформування супроводжується нагріванням деталі, інденторів та навколишнього середовища. Теплота утворюється в результаті пластичного деформування, процес характеризується миттєвим локальним нагріванням і швидким відведенням тепла всередину оброблюваної деталі. При цьому використання технологічної рідини

дозволяє знизити температуру в зоні деформування і не допустити термічних дефектів [25].

При обробці динамічними методами поверхнево пластичного деформування відбувається пластичне деформування поверхні деталей внаслідок багаторазової взаємодії з нею інденторів. Залежно від вихідного профілю відбувається утворення одиничних лунок з певною шорсткістю. В першу чергу індентори взаємодіють з виступами вихідної шорсткості, тому в процесі обробки спостерігається значна зміна висотних параметрів профілю та незначне крокових параметрів. В результаті накладання та перетину одиничних слідів (лунок) інденторів з поверхнею деталі утворюється мікрорельєф поверхні [88].

Слід зазначити, що обробка методами поверхневого пластичного деформування тонкого поверхневого шару має, порівняно з іншими фінішними методами обробки поверхні, ряд переваг [58,18,40]:

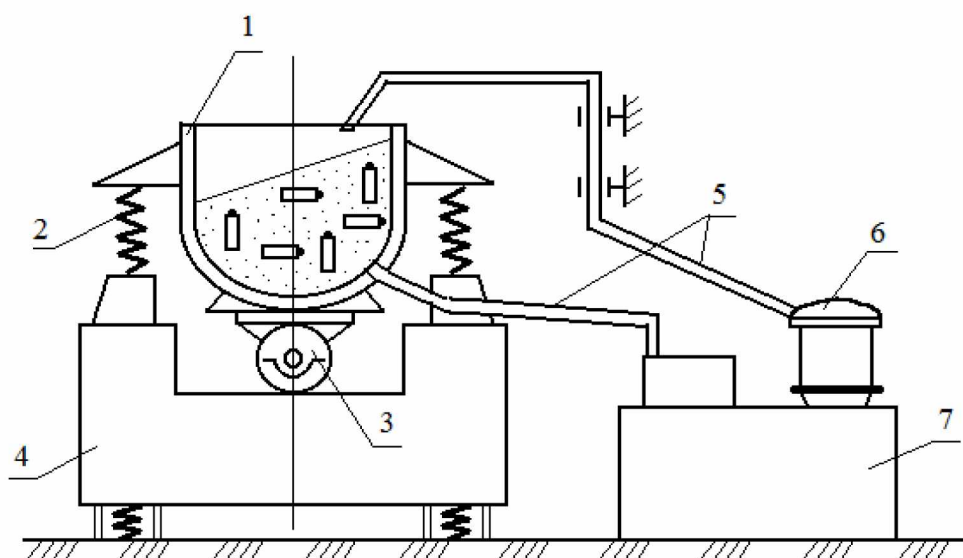
- у поверхневому шарі забезпечуються стискаючі залишкові напруження і відсутні концентратори напружень;
- відсутні термічні дефекти;
- у поверхневому шарі утворюється дрібнозерниста структура, зберігається цілісність волокон металу;
- забезпечується стабільна якість поверхні;
- при збереженні вихідної форми заготовлі забезпечується досягнення мінімальних висотних параметрів шорсткості оброблюваної поверхні деталі;
- мікронерівності набувають сприятливої форми з великою часткою опорної площі на рівні вершин нерівностей, утворюються регулярні мікрорельєфи з необхідними площею та топографією заглиблень для утримання мастильного матеріалу;
- забезпечується великий ступінь, товщина зміцнення поверхневого шару по всій площі деталі і при цьому межа між зміцненою та неукріпленою зонами має плавний перехід;
- знижений вміст аустеніту у структурі оброблюваних деталей;
- збільшення густини дислокацій.

На відміну від статичних способів, обробка деталей динамічними методами поверхневого пластичного деформування дозволяє енергетично вигідніше впливати на матеріал деталі, обробляти фасонні профілі, забезпечуючи при цьому необхідну точність та якість поверхневого шару за високої продуктивності.

Найбільш поширеними методами, що забезпечують раніше перелічені переваги і дозволяють обробляти фасонні деталі, є обробно-зміцнююча обробка дробом, вібраційно-зміцнююча обробка (ВЗО), відцентрово-ротаційна зміцнююча обробка (ВРЗО).

Вібраційна обробка являє собою процес передеформування та зменшення висоти мікронерівностей за рахунок ударного впливу частинок робочого середовища, що здійснюють разом з робочою камерою коливальні рухи [2]. У процесі обробки на поверхню деталі наноситься велика кількість мікроударів частинками робочого середовища, між якими відбуваються взаємні зіткнення та ковзання.

Схема верстата для вібраційної обробки представлена на рис. 1.1. Маса завантаження робочої камери є сумішшю робочого середовища та деталей у співвідношенні 3/1 – 5/1.



1 - робоча камера; 2 - пружний елемент; 3 - дебалансний вібратор; 4 - основа;
5 - шланги для подачі та зливу технологічної рідини; 6 - помпа; 7 - бак відстійник

Рис. 1.1 – Схема установки для вібраційної обробки

Деталі при ВЗО можуть оброблятися у закріпленому положенні або при вільному завантаженні. У першому випадку обробка відбувається найбільш інтенсивно, зіткнення частинок середовища з поверхнею деталі відбуваються під одним кутом, що залежить від режимів обробки. У другому випадку зіткнення частинок робочого середовища та деталей має випадковий характер при хаотичному русі деталей усередині робочої камери, що сприяє рівномірності обробки деталей складної конфігурації, а також однаковій обробці всіх деталей маси завантаження. У процесі обробки заготівка здатна займати різні положення в робочому середовищі.

Робоча камера змонтована на пружних елементах (як пружні елементи можуть використовуватися пружини стиску або гвинтові пружини, а також пластинчасті ресори) і має можливість коливатися в різних напрямках. Вібрація робочої камери повідомляється від інерційного вібратора у вигляді валу, що обертається з незбалансованими вантажами з частотою 15-50 Гц і амплітудою 0,5-2,5 мм. У процесі обробки та заготівлі та робоче середовище постійно піддаються змінним за знаком прискорень, приходять в інтенсивне відносне переміщення, здійснюючи два види рухів: коливання та повільне переміщення всієї маси (циркуляційний рух). Вібрація передається від стінок робочої камери прилеглим шарам робочого середовища, які передають наступним шарам.

Необхідно відзначити, що дещо ефективніше обробка біля дна робочої камери, тому що тут створюється зона з максимальним тиском частинок робочого середовища. Слід враховувати, що зі збільшенням відстані від стінок робочої камери, енергія коливань частинок робочого середовища зменшується, а, отже, інтенсивність зміцнення зменшується. Процес одночасного впливу на оброблювану деталь великої кількості мікроударів у різних напрямках сприяє утриманню її у зваженому стані, виключаючи грубі вибоїни та пошкодження. У процесі обробки робочу камеру подається періодично або безперервно технологічна рідина (ТР) необхідного хімічного складу.

На інтенсивність ВЗО впливає режим коливань, параметри частинок робочого середовища, тривалість обробки, об'єм камери та ступінь її заповнення,

механічні властивості матеріалу оброблюваних деталей та ін.

Вібраційно-зміцнююча обробка можна назвати універсальним методом обробки. Однією з основних її переваг є обробка деталей складної форми, а також здатність обробляти велику кількість деталей одночасно.

Вібраційно-зміцнювальна обробка дозволяє отримати шорсткість поверхні R_a до 0,12 мкм, зміцнений шар досягає глибини до 500 мкм, ступінь зміцнення до 20%, залишкові стискаючі напруження 100-150 МПа на глибині до 1 мм, знизити або усунути концентр. ВЗО дозволяє сформувати дрібнодисперсну структуру з високою щільністю дислокацій, значно знизити вміст залишкового аустеніту за рахунок його перетворення на структуру мартенситу.

Всі перераховані вище фактори вказують на те, що ВЗО дозволяє поліпшити експлуатаційні властивості оброблюваних деталей і, як наслідок, збільшити їх цикл життєдіяльності.

Іншим, не менш ефективним методом динамічного деформування, є відцентрово-ротаційна обробка серед сталених кульок.

ВРО займає особливе місце серед відомих методів поверх ново пластичного деформування, тому що дозволяє забезпечити найбільшу продуктивність процесу обробки, що значно перевищує продуктивність багатьох інших методів.

При ВРО маса завантаження, що складається з частинок робочого середовища 3 і оброблюваних деталей 4, завантажується в робочу камеру у вигляді циліндричного контейнера 1, розташованого вертикально і має дно, що обертається 2 у формі тарелі, при обертанні якого маса завантаження набуває форми тора (рис. 1.2) [57].

Така конструкція верстата дозволяє забезпечити тороїдально-гвинтовий потік, який сприяє інтенсивній обробці деталей.

Основними перевагами відцентрово ротаційної обробки є: висока інтенсивність обробки; простота конструкції обладнання, можливість обробки заготовок «навал» великими партіями.

У процесі ВРО, внаслідок впливу безлічі мікроударів частинок робочого середовища по поверхню оброблюваних заготовок створює передумови зміни

фізико-механічних властивостей поверхневого шару деталей.

На величину шорсткості обробленої поверхні при ВРВ впливає характеристика робочого середовища, режими обробки, обсяг завантаження робочої камери, фізико-механічні властивості поверхневого шару деталей. Зважаючи на те, що ЦРО є низькотемпературним процесом, у поверхневому шарі забезпечується сприятлива картина залишкових напружень.

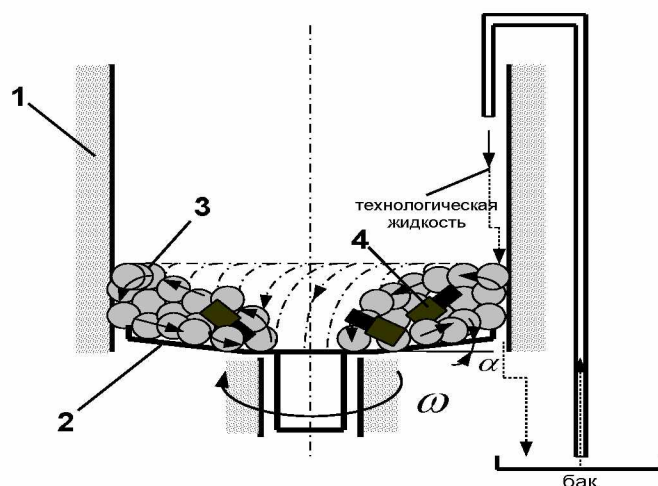


Рис. 1.2 – Схема процесу відцентрово-ротаційної обробки

У роботах [27, 28] представлено велику кількість факторів, які впливають на продуктивність і якість обробки, але більшість дослідників виділяють такі основні: властивості оброблюваного матеріалу, вихідний стан поверхні заготовок, кутова швидкість обертання ω дна, кут конусності дна, параметри робочого середовища (діаметри кульок), ступінь заповнення робочої камери, тривалість обробки, наявність та властивості технологічної рідини та ін.

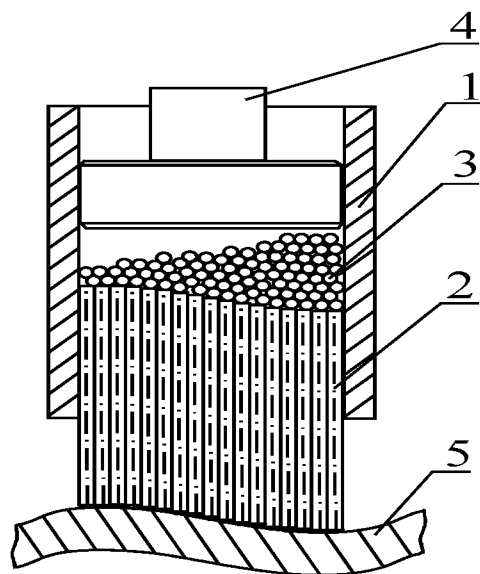
Як показують численні дослідження, ВРО дозволяє отримати шорсткість обробленої поверхні R_a до 0,8 мкм, забезпечити сприятливу картину стискаючі залишкові напруження величиною 100-150 МПа на глибині до 1 мм і, відповідно, підвищення втомної міцності і довговічності оброблюваних деталей в 1,5- 1,6 разів, а також ступінь зміцнення до 20%.

Ще одним ефективним методом обробки ППД є обробка кульково-стрижневим зміцнювачем. Кульково-стрижневий зміцнювач (КСЗ) є багато контактним віброударним інструментом для обробки поверхонь деталей методом

поверхнево пластичного деформування. Даний вид обробки включає ряд переваг. КСЗ дозволяє забезпечити поєднання можливостей обробки фасонних поверхонь деталей, властивих ВЗО, та значну інтенсивність впливу на поверхню деталі властиву способу карбування [29].

Конструктивно пристрій складається з двох частин: приводу, що забезпечує енергію ударних імпульсів та складного обробного інструменту. В якості приводу використовуються стандартні пневмо-молотки різної потужності.

Конструкція зміцнювача представлена на рис. 1.3.



1 - корпус; 2- упаковка сталевих стрижнів; 3- сталеві кулі; 4- ударник; 5- деталь

Рис. 1.3 – Схема багато контактного віброударного інструменту КСЗ

Кульково-стрижневий зміцнювач є багато контактним віброударним інструментом, в якому використовується передача ударного імпульсу, створюваного масивним ударником потужного пневмо молотка, що проходить через кілька шарів сталевих загартованих полірованих кульок, сукупності сталевих циліндричних стрижнів, що мають сферичну заточку, які безпосередньо стикаються з оброблюваною.

Багатошаровий обсяг кульок, що володіє властивостями псевдо-текучості, може змінювати свою конфігурацію і дозволяє сукупності стрижнів приймати форму оброблюваної деталі, в яку вони упираються без втрат енергії ударних імпульсів.

В результаті цього КСЗ, копіюючи при обробці форму складної поверхні деталі, може застосовуватися для зміцнення майже плоских, так і фасонних поверхонь з невеликим перепадом висот. При цьому, враховуючи значну потужність ударника пневмо молотка, можна отримувати зміцнення поверхневого шару, створювати сприятливі стискаючі залишкові напруження, згладжувати дрібні дефекти типу каверн, а також при певному поєднанні подачі і діаметра стрижнів створювати на оброблювану поверхню регулярний або частково регулярний мікрорельєф.

Аналіз експериментальних даних, отриманих в результаті багаторічних досліджень представлених динамічних методів деформування, говорить про те, що ВЗО, ВРЗО та обробка КСЗ дозволяють забезпечити високі показники якості поверхневого шару оброблюваних деталей. Отримана в процесі обробки сприятлива картина стискаючих залишкових напружень, а також показники шорсткості поверхні, глибини зміцненого шару та ступеня деформації, позитивно впливають на довговічність і, як наслідок, цикл життєдіяльності виробів.

1.2 Роль технологічного наслідування у формуванні параметрів якості поверхневого шару та експлуатаційних властивостей деталей машин

Відповідно до сучасних принципів технології машинобудування, проектування технологічних процесів обробки деталей поверхнево пластичного деформування необхідно здійснювати з урахуванням явища технологічного наслідування, формування, накопичення та трансформація експлуатаційних властивостей відбувається на всіх етапах циклу життєдіяльності деталі. Явище перенесення властивостей об'єктів від попередніх операцій до наступних називається технологічним спадкуванням (ТС), а збереження цих властивостей технологічною спадковістю. Спадкування здатне проявлятися як після чистових операцій, а й у етапі експлуатації, забезпечуючи втрату точності форми і зміна властивостей, у результаті впливу деяких параметрів якості поверхневого шару, сформованих на стадії чорнової обробки деталей. Виходячи з цього, необхідно розглядати всі операції обробки не ізольовано, а комплексно, оскільки

формування експлуатаційних властивостей протікає під впливом всієї сукупності виконуваних операцій [24]. Як показує практика, відсутність обліку набутих властивостей на попередніх операціях, може призвести до руйнування поверхневого шару навіть на стадії виготовлення, або передчасного руйнування деталі, що виготовляється, на стадії експлуатації.

Проблемі дослідження та використання явища технологічного успадкування присвячено велику кількість робіт, у тому числі, Аверченкова В., Безмовного В., Блюменштейна В., Кудрявцева І., Маталіна А., Васильєва А., Дальського А., Смілянського В., Суліми А., Сулова А. та інших.

А. Сулов у своїх роботах запропонував описувати явище технологічної спадковості за допомогою різних варіантів структурних моделей, що встановлюють функціональний взаємозв'язок формованих параметрів якості поверхневого шару при технологічній обробці з попередніми параметрами [24]. Слід зазначити, що процеси проектування виготовлення, експлуатації та ремонту деталей машин при цьому розглядаються у своїй єдності.

П. Ящерицин встановив, що формування якості поверхневого шару залежить від усієї сукупності операцій прийнятого технологічного процесу обробки [26].

На думку Ящерицина П., Рижова Е., Аверченкова В. [10], в технологічному процесі існують своєрідні бар'єри, які є перешкодою для параметрів, що описують поверхневий шар виробу. Деякі чинники що неспроможні подолати ці «бар'єри», й у разі їх впливом геть кінцеві властивості оброблених поверхонь відсутня. Інші фактори таких «бар'єрів» проходять, але при цьому значно втрачають свою вихідну силу та впливають на кінцеві властивості дуже слабо. Найсуттєвішими «бар'єрами» служать термічні операції (загартування, відпустка, відпал, нормалізація) та зміцнюючі операції (обкатка роликками та кульками, алмазне вигладжування, ВЗО, ВРЗО, КСЗ та ін.). При цьому слід зазначити, що технологічна спадковість може надавати як позитивне, так і негативний вплив на формування експлуатаційних властивостей поверхневого шару, тому при технологічному проектуванні структуру технологічного процесу необхідно

включати операції, які здатні створювати перешкоди для проходження негативних факторів на всіх стадіях обробки. У роботі [26] докладно розглянуто приклад формування структурної спадковості металу на стадії ковальсько-штампувального переділу та його вплив на експлуатаційні властивості обробленої поверхні. Можна бачити, що характер шорсткості поверхні, отриманої на початкових стадіях обробки, впливає на експлуатаційні властивості деталей, незважаючи на те, що при фінішній обробці шорсткість значно змінюється.

Автором було проведено ряд експериментальних досліджень, що встановлюють вплив вихідної шорсткості на експлуатаційні властивості оброблюваних деталей. На рис. 1.4 представлені експериментальні дані для чотирьох груп зразків із сталі ШХ15 перед гартуванням, зразки піддавалися механічній обробці до різної шорсткості. Після термічної обробки зразки шліфувалися та полірувалися до однакової кінцевої шорсткості.

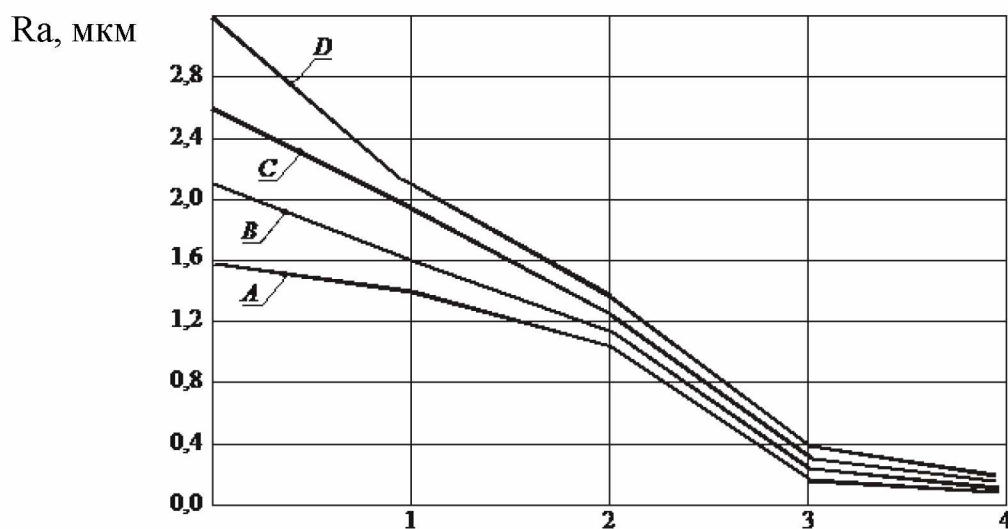


Рис. 1.4 – Зміна параметра шорсткості обробленої поверхні Ra : 1, 2, 3, 4 – відповідно чорнове, попереднє, чистове та остаточне шліфування; А, В, С, D – партії заготовок з різною вихідною шорсткістю

Автором встановлено, що при більшій вихідній шорсткості відбувається більше контактне фарбування поверхні зразків з однаковою шорсткістю під час проведення випробувань. Результати досліджень також дозволяють зробити висновок про те, що вихідна шорсткість значно впливає на втомну довговічність оброблюваних деталей [95].

З проведеного аналізу робіт, присвячених ролі впливу технологічного наслідування на цикл життєдіяльності деталей, чітко простежується необхідність стежити формуванням експлуатаційних властивостей усім етапам виготовлення деталей. Використання існуючих досягнень у галузі технологічної спадковості дозволить спроектувати технологічні процеси обробки динамічними методами деформування, які дадуть змогу збільшити життєвий цикл деталі, спрогнозувати та спрямовано сформувати необхідні якісні характеристики поверхневого шару.

1.3 Огляд робіт у галузі обробки деталей методами поверхневого пластичного деформування

Як зазначалося раніше, в сучасному машинобудуванні динамічні методи деформування набули широкого застосування в галузі підвищення експлуатаційних властивостей оброблюваних деталей. Обробка даними методами дозволяє, при порівняно низьких виробничих витратах, кілька разів підвищити опір втоми, зносостійкість, контактну жорсткість і цим вплинути збільшення циклу життєдіяльності деталей. Результат зміцнення насамперед обумовлений збільшенням несучої здатності поверхневого шару оброблюваних деталей рахунок формування у ньому сприятливої картини стискаючих залишкових напружень, збільшення мікротвердості і глибини зміцненого шару.

Процеси обробки деталей динамічними методами пластичної деформації і технологічні ефекти, що досягаються при обробці даним способом, досить докладно вивчені і представлені в наукових працях Кудрявцева І. , Бабичева А. , Саверіна М., Устинова В., Тамаркіна М., Димова Ю., Триліського В., Петросова В., Матюхіна Є. та багатьох інших.

Розглянемо основні наукові роботи у цьому напрямі.

Серед перших основних робіт з розкриття фізичної сутності технологічних процесів вібраційної обробки слід виділити праці А. Бабичова [2-3]. Автором були проведені дослідження швидкості, сил зіткнення частинок робочого середовища та оброблюваних деталей, контактних напружень і температури в зоні зіткнення, параметрів одиничної взаємодії робочого середовища та оброблюваної

поверхні, шорсткості поверхні та глибини зміцненого шару, отримані рівняння для розрахунку не якихось параметрів процесу.

Дослідження у галузі ударних методів пластичного деформування, що сприяють зміцненню поверхневого шару, було проведено Кудрявцевим І. Автором запропонована залежність для визначення глибини наклепаного шару для випадку обробки серед сталевих кульок:

$$a = 3rk, \quad (1.1)$$

де r - радіус пластичного відбитка індентора (у разі еліптичної форми відбитка він приймається рівним: $\sqrt{a_1 b_1}$, де a_1 і b_1 півосі еліпса),

k - коефіцієнт, що залежить від ступеня наклепу.

Також автором отримано залежність для визначення ступеня деформації:

$$\varepsilon = \frac{r}{R_1}, \quad (1.2)$$

де R_1 - радіус кульки, що вдавлюється.

Встановлено залежність глибини наклепу від діаметра відбитка:

$$a = 1,5d, \quad (1.3)$$

Глибина наклепаного шару визначається залежно (у разі багаторазового динамічного вдавлювання):

$$a_d = a \cdot \left(1,54 - \frac{HB}{1000} \right), \quad (1.4)$$

де HB - твердість матеріалу за Брінеллем.

$$HB = \frac{P}{\pi Dh}, \quad (1.5)$$

де a - глибина деформованого шару при одноразовому динамічному вдавлюванні кульки-пуансону:

У роботах Тамаркіна М. [33], присвячених розробці технологічних основ оптимізації процесів оздоблювально-зміцнювальної обробки деталей в гранульованих робочих середовищах, наведено узагальнені теоретичні моделі методів обробки, що дозволяють розраховувати параметри якості поверхневого шару з урахуванням режимів обробки і характеристик робочих середовищ при

вирішенні різних технологічних завдань. , що дозволяє визначити глибину впровадження частки середовища (найчастіше металевої кульки):

$$h_{\max} = 2 \cdot V_{\text{эф}} \cdot R'' \cdot \sin \alpha \cdot \sqrt{\frac{\rho_{\text{ч}}}{3\kappa_s \cdot c \cdot \sigma_T}}, \quad (1.6)$$

де $V_{\text{эф}}$ - ефективна швидкість частки (визначається особливостями конкретного виду обробки);

R'' - радіус частки;

α - кут зустрічі частинки з поверхнею деталі;

$\rho_{\text{ч}}$ - щільність матеріалу частинки;

κ_s - коефіцієнт, що враховує вплив шорсткості деталі;

c - коефіцієнт несучої здатності контактної поверхні;

σ_T - межа текучості матеріалу деталі.

Подана залежність неповно відображає процеси, що відбуваються під час обробки оздоблювально-зміцнюючими методами поверхневому шарі деталі. Автор не враховує параметри плями контакту, утвореного в результаті взаємодії кульки та поверхні оброблюваної деталі.

Також автором запропоновано залежність для розрахунку середнього арифметичного відхилення шорсткості, що встановилася, при оздоблювально-зміцнювальній обробці в гранульованих робочих середовищах:

$$R_{a \text{ уст}} = k_R \cdot \sqrt{\frac{h_{\max} \cdot a \cdot b \cdot l_{\text{од}}}{R^2}}, \quad (1.7)$$

де $l_{\text{од}}$ - базова довжина;

k_R - емпіричний коефіцієнт.

Подана теорія формування шорсткості поверхні оброблюваних деталей розроблена досить повно і буде використана при подальших дослідженнях.

Також у роботі розглянуто взаємодію абразивних гранул різної зернистості з оброблюваною поверхнею. Подано залежність для розрахунку об'єму металу, віддаленого при одиничній взаємодії:

$$V = 15,5 \cdot k_c \cdot \frac{R^3}{k_R^{3/4}} \cdot \left(k_m^{0.5} \cdot V_0 \cdot \sin \beta \cdot \sqrt{\frac{\rho_q}{3 \cdot c \cdot \sigma_T}} \right)^{\frac{5}{2}} \cdot (\operatorname{ctg} \beta - f) \quad (1.8)$$

Де k_c - коефіцієнт стружко утворення;

R - радіус описаного кола частинки робочого середовища;

k_R - коефіцієнт, що враховує вплив зернистості абразивної частинки на фактичну площу контакту;

k_m - коефіцієнт, що враховує вплив сусідніх частинок при обробці;

V_0 - швидкість руху частки робочого середовища;

β - кут взаємодії частки робочого середовища та поверхні оброблюваної деталі;

f – коефіцієнт тертя.

Необхідно відзначити, що в роботі Горика О.В. представлена залежність для визначення обсягу лише за умови, що кут зустрічі з поверхнею деталі для обробки вільним абразивом не перевищує 45° . Для подальших досліджень процесу одиничної взаємодії частинок робочого середовища з поверхнею деталі було б доцільним розглянути випадки за інших кутів взаємодії.

Автором [31] був проведений великий обсяг робіт з визначення параметрів якості поверхневого шару, проте автором не було враховано вплив граничної деформації на досліджувані параметри.

У роботах [32] було проведено дослідження глибини зміцненого шару та залишкової напруженості. Виявлено, що обробка ВЗО дозволяє забезпечити збільшення мікротвердості поверхневого шару оброблюваних деталей на 20-35% при глибині 20-450 мкм, утворення дрібнодисперсних структур, формування сприятливої величини стискаючих залишкових напружень, величина яких може досягати до 50 - 80% межі течії. . Відзначено також, що пластична деформація поверхневого шару сприяє зменшенню шорсткості, зниження коефіцієнта тертя та збільшення опорної поверхні.

Автори [33], для визначення залишкових напружень, використовують експериментальні методи визначення напруження, які є дуже витратними,

трудомісткими, що вимагають високої кваліфікації працівників. Не викликає сумнівів те, що отримання закономірностей для розрахунку залишкових напружень поверхневого шару та їх розподіл за його товщиною є важливим науковим завданням.

Робота Тищенко Е. [34] присвячена підвищенню ефективності відцентрово-ротаційної оздоблювально-зміцнювальної обробки.

Представлена класифікація представляє великий інтерес, тому що для деяких матеріалів може здійснюватися перехід з однієї групи матеріалів до іншої залежно від структурного стану, числа навантажень, величини амплітуди напруження або деформації і т.д.

На думку автора [35], один і той же матеріал залежно від структурного стану, отриманого в результаті термообробки, може бути зміцнюваним (після відпалу - доевтектоїдна сталь - ферит, перліт; евтектоїдна сталь - перліт; заевтектоїдна сталь - перліт і цементит), роззміцнюючим (після загартування з низькою відпусткою - доевтектоїдна сталь - мартенсит, залишковий аустеніт; евтектоїдна сталь - мартенсит, залишковий аустеніт; заевтектоїдна сталь - мартенсит, залишковий аустеніт, вторинний цементит) і циклічно стабільний.

Незважаючи на великий об'єм виконаної роботи, автор [36], у наведених залежностях для визначення глибини та ступеня зміцнення, не враховує впливу параметрів обробки та ряду параметрів фізико-механічних властивостей матеріалу деталі на зумовлені величини, дані залежності вимагають подальшого уточнення.

У своїй роботі Щерба Л. [37] наводить ряд експериментальних досліджень, спрямованих на визначення знака, величини та глибини залягання залишкової напруження при обробці деталей КСЗ. Встановлено, що величина стискаючих залишкових напружень, що формуються в поверхневому шарі оброблюваних деталей, приблизно дорівнює напруженням, отриманим при ВЗО, але при цьому глибина їх залягання приблизно в 2 рази більше.

Автором [38] були отримані залежності для прогнозування параметрів шорсткості поверхні, глибини та ступеня зміцнення при обробці КСЗ.

Одне з найбільш значущих досліджень у галузі статичних методів пластичного деформування було проведено М. Дроздом, М. Матліним, Ю. Сідякіним [26, 27, 39].

Для оцінки ефективності технологічних режимів обробки деталей статичними методами пластичного деформування авторами використовується величина інтенсивності контактної пружно-пластичної деформації ε_t . Інтенсивність деформації, будучи однією з характеристик об'ємного напружено-деформованого стану матеріалу в зоні локального контакту тіл, дозволяє оцінити фізичний стан матеріалу, що деформується і, зокрема, визначити довговічність деталі [27]. При пружно-пластичному контактному деформуванні (обкатка валів тороїдальними роликками або кулькам) інтенсивність деформації, як встановлено в роботах [26, 27], є одним з головних факторів, що визначають ефективність зміцнення.

Оптимальним режимом поверхневого пластичного деформування, що проводиться з метою підвищення експлуатаційних властивостей оброблюваних деталей, буде такий, який дозволяє отримати максимальне збільшення межі витривалості деталі.

У процесі обробки деталі відбувається формування параметрів якості поверхневого шару, в процесі якого з одного боку відбуваються процеси фізичного зміцнення (наклепу), а з іншого боку йде процес розміцнення.

Виходячи з вищевикладеного, цікавий проведення досліджень з максимального використання резервів фізичного зміцнення матеріалу деталей при динамічних методах пластичного деформування.

В результаті аналізу вищенаведених джерел, можна зробити висновок, що подальше широкое використання динамічних методів пластичного деформування та їх застосування в промисловості зустрічає певні труднощі, виникає необхідність всебічного вивчення механізму формування параметрів якості поверхневого шару та уточнення низки закономірностей впливу режимів обробки та характеристик робочих середовищ на їхню величину. Очевидно, що проектування технологічних процесів динамічних методів пластичного

деформування вимагає розробки методики оптимізації технологічних режимів та характеристик робочих середовищ з метою отримання найкращих експлуатаційних характеристик оброблюваних деталей. Слід зазначити, що у дослідженнях, проведених раніше, оптимізація технологічних процесів здійснювалася за критерієм трудомісткості.

1.4 Висновки до розділу

Аналіз вищенаведених результатів дослідження процесів динамічних методів поверхнево пластичного деформування, можна сформулювати мету та завдання досліджень.

Мета роботи полягає у підвищенні ефективності вібраційно-зміцнюючої обробки за рахунок максимального використання резервів фізичного зміцнення сталевих деталей на основі розробки адекватних теоретичних моделей формування характеристик поверхневого шару деталей.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- Розглянути особливості впливу методів обробки поверхнево пластичним деформуванням на підвищення експлуатаційних властивостей деталей.
- Розробити теоретичні моделі формування глибини зміцнення та ступеня деформації поверхневого шару;
- Провести експериментальні дослідження впливу основних параметрів на критерії якості поверхонь деталей при вібраційно-зміцнюючій обробці;
- Розробка методики оптимізації технологічних процесів за критерієм максимальної межі витривалості з метою реалізації резервів зміцнення матеріалу деталей.

2 МЕТОДИКА Й ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Технологічне обладнання

Експериментальні дослідження процесу вібраційно-зміцнюючої обробки проводилися на вібраційному верстаті УВГ 2х50 (при встановленні однієї камери об'єм може становити 70 л або 100 л). Безперечною перевагою даного обладнання є: універсальність, проста конструкція, зручність в експлуатації. Вібраційні верстати успішно використовуються різних підприємствах. Найбільш повне опис устаткування представлено роботах [2, 28]. Технічна характеристика обладнання наведена у табл. 2.1 на рис. 2.1 представлений зовнішній вигляд устаткування.

Експериментальні дослідження здійснювалися за вільного завантаження зразків у робочу камеру верстата. При завантаженні сталевих кульок і деталей необхідно забезпечити заповнення робочої камери на 80%. У ході експерименту проводилося безперервне промивання технологічною рідиною. Як технологічна рідина застосовувався 0,2% розчин Na_2CO_3 .

Таблиця 2.1 – Технічна характеристика верстату для вібраційно-зміцнюючої обробки

Найменування	Одиниці виміру	Модель верстата
		УВГ 2х50
Число робочих камер	штук	2
Об'єм робочої камери	дм ³	50
Привід вагань	-	дебалансний
Розташування вібратора	-	горизонтальне
Тип робочої камери	-	прямокутний
Амплітуда коливань	мм	0,5-5
Частота коливань	Гц	16, 26, 33, 40
Потужність ел./дв. приводу вібратора	кВт	1,7
Маса	кг	1012
Габаритні розміри	м	1,76 x1,0x1,05

Об'єм бака відстійника	дм ³	200
Тип насосу:		ПА-22
Потужність насосу	кВт	0,12
Продуктивність насоса,	л/хв	22

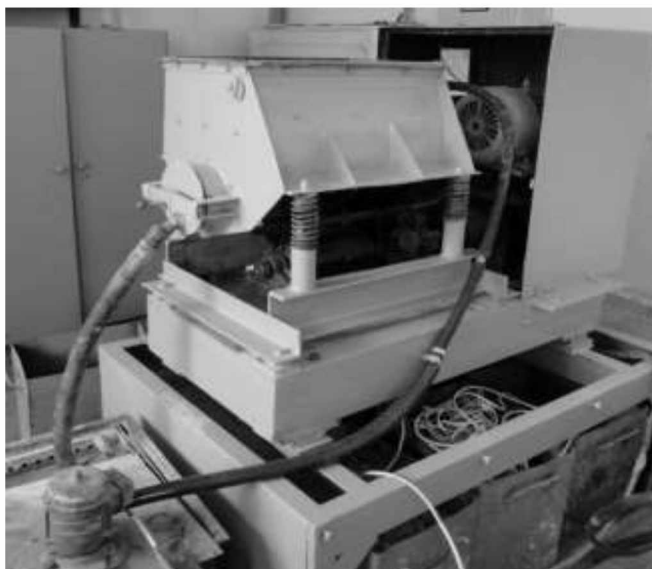


Рис. 2.1 – Вібраційно-зміцнюючий верстат УВГ 2х50

2.2 Пристрої та прилади для експериментальних досліджень

Геометричні параметри шорсткості поверхні експериментальних зразків вимірювали портативним вимірювальним приладом моделі SURFTESTSJ-210 (рис. 2.2). Технічні характеристики профілометра SURFTESTSJ-210 представлені у табл. 2.2 .

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики профілометра моделі SURFTESTSJ-210

Найменування	Одиниця виміру	Значення
Детектор		
Метод детектування	-	Метод диференціальної індукції
Діапазон вимірювань	мкм	360 (від -200 до +160)

Матеріал щупа	-	Алмаз
Радіус щупа	мкм	5
Зусилля виміру	мН	4
Радіус кривизни платформи	мм	40
Привід		
Діапазон переміщення	мм	21
Швидкість поперечного переміщення під час виміру	мм/с	0,25; 0,5; 0,75
Час повернення	мм/с	1
Функція відведення детектора	-	Підйом щупа
Конфігурація нижньої частини	-	V-подібний жолоб
Джерело живлення		
Мережевий адаптер: Номінальні параметри Напруження живлення		9В; 1,3А 100В
Вбудований акумулятор: час заряджання кількість вимірів на одну зарядку температура під час заряджання		Макс. 4 години Прибл. 1000 5-40 °С
Діапазон температури та вологості		
Робоча температура		5-40 °С
Температура зберігання		-10°C-50°C
Вологість під час роботи/зберігання	%	85
Вага	г	498

Опис: Прилад для вимірювання шорсткості поверхонь

Конструкція профілометра SJ-210 включає два блоки:

- блок індикації;
- блок виміру.

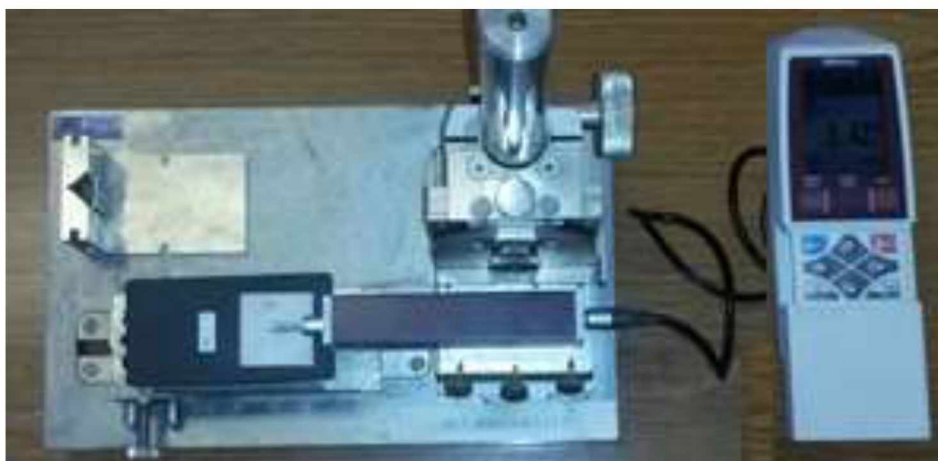


Рис. 2.2 – Портативний профілометр моделі SURFTESTSJ-210

Установка блоку вимірювання може бути зроблена безпосередньо в блок індикації або з використанням кабелю довжиною 1 м, що дозволяє вимірювати шорсткість поверхні в місцях з важким доступом, наприклад, внутрішні поверхні труб; а також встановлювати SJ-210 прямо на деталь під час її виготовлення. Безперечною перевагою даного приладу є його простота у використанні, легкість у встановленні та позиціонуванні на контрольованій деталі. Повірки приладів, що проводилися, показали, що похибка SJ-210 не перевищувала 5%.

Профілометр SJ-210 може працювати від мережі змінного струму, так і від портативного джерела постійного струму (батарей). Відображення зчитування в будь-якій орієнтації, що робить дуже зручною експлуатацію приладу. Налаштування кольору, профіль шорсткості на екрані, одночасне відображення різних параметрів шорсткості.

Можливість збереження до 10000 зчитувань на картку пам'яті.

Роз'єм USB, RS232 для обміну даними з ПК.

Вимірювання величини параметрів мікротвердості поверхневого шару здійснювалася на мікротвердомірі ПМТ-3 (рис. 2.3), табл. 2.3 містить технічні характеристики ПМТ-3.

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики мікротвердоміра ПМТ-3

Найменування	Одиниця виміру	Значення
Збільшення мікроскопа	-	130 та 487

Алмазна піраміда: кут при вершині вістря при вершині межі навантаження	- мкм Гс	136° не більше 1 2-200
Межі виміру діагоналей відбитків (з об'єктивом F=6,2)	мм	0,005-0,25
Предметний столик: межі повороту межі поздовжнього переміщення межі поперечного переміщення ціна розподілу шкали мікрометричної подачі	- мм мм мм	~ 0-180 ° 0-10 0-10 0,01
Живлення здійснюється через трансформатор від мережі змінного струму 127/220В		
Габаритні розміри: мікротвердоміра в робочому положенні трансформатора	мм	410x290x200 145x110x70
Маса	кг	21,6



Рис. 2.3 – Мікротвердомір ПМТ-3

Вивчення зовнішнього вигляду поверхні оброблених зразків та появи перенаклепу здійснювалося на мікроскопі стереоскопічному моделі МБС-2 (рис. 2.4) при збільшеннях $\times 16$; $\times 32$; $\times 56$, характеристики мікроскопа наведені у табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики мікроскопа МБС-2

Найменування	Одиниця виміру	Значення
Збільшення	кратність	3,5-88
Точка зору	мм	39-2,6
Робоча відстань	мм	64
Джерела світла електрична лампа (живлення лампи здійснюється через блок живлення від мережі змінного струму 220В)		8В, 20Вт
Габаритні розміри	мм	400x254x460
Маса	кг	27,3



Рис. 2.4 – Мікроскоп стереоскопічної моделі МБС-2

На твердомірі за методом Брінелля моделі ТШ-2М визначалася твердість

НВ. На рис. 2.5 представлений ТШ-2М, а технічні характеристики твердоміра наведені в табл. 2.5 .

Таблиця 2.5 – Технічні характеристики твердоміра ТШ-2М

Найменування	Одиниця виміру	Значення
Твердість, що вимірюється приладом	НВ	8-450
Випробувальні навантаження	кгс	3000; 1000; 750; 250; 187,5
Допустима похибка навантажень	%	±1
Тривалість витримки випробуваного зразка під навантаженням	с/хв	10; 30; 60
Діаметр сталевих кульок до наконечників	мм	10; 5; 2,5
Розміри робочого простору: найбільша висота робочого простору відстань від центру відбитка до станини	мм	250 125
Габаритні розміри	мм	730x225x880
Вага приладу	кг	180



Рис. 2.5 – Твердомір ТШ-2М

Реєстрація та контроль параметрів коливань вібраційних верстатів здійснювалися вібрографом ВР-1.

2.3 Зразки для проведення експериментальних досліджень

Враховуючи універсальність представлених раніше теоретичних моделей та можливість широкого застосування результатів досліджень для обробки деталей, було зроблено вибір матеріалів зразків для експериментальних досліджень.

Матеріали зразків: сталь 45. Виготовлення зразків здійснювалося із пруткового прокату.

Таблиця 2.6 – Механічні властивості матеріалу зразків

Матеріал зразка	Межа текучості (МПа)	Твердість за Брінеллем
Сталь 45	340	197

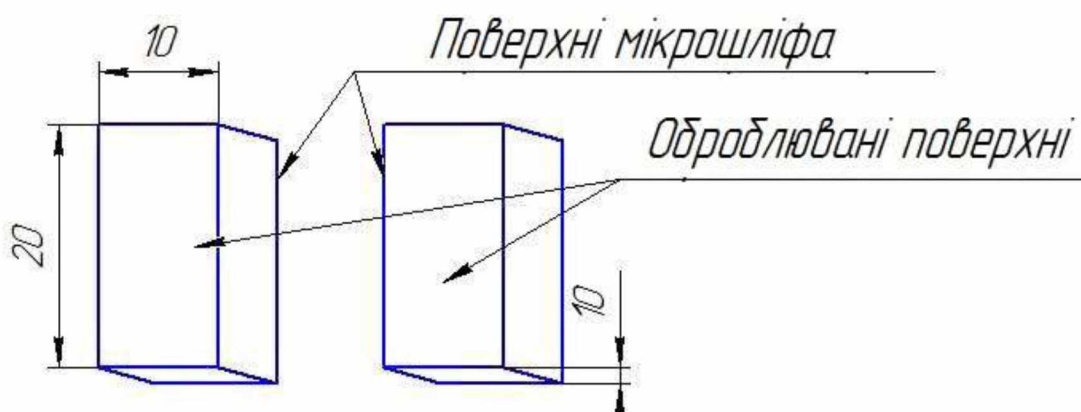


Рис. 2.6 – Зразки для вимірювання мікротвердості

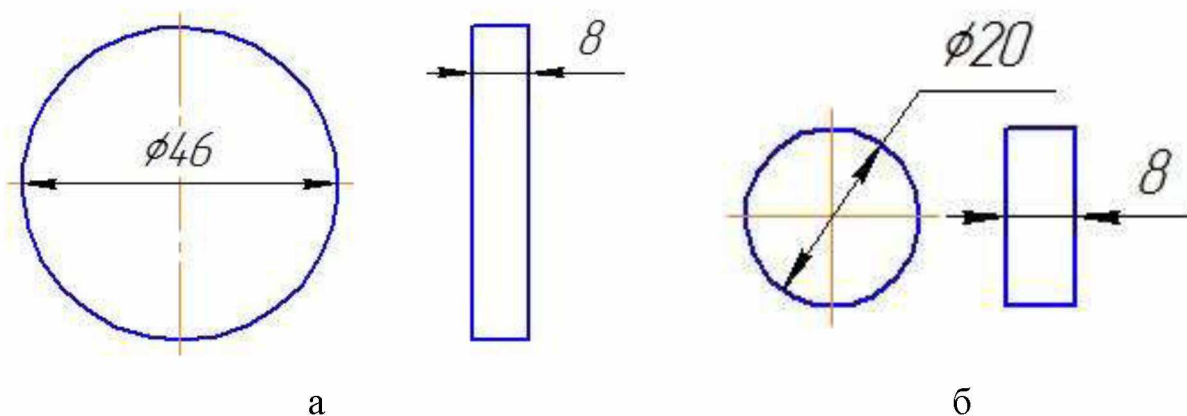


Рис. 2.7 – Зразки для вимірювання шорсткості поверхні

2.4 Підготовка робочого середовища

Підготовка робочого середовища полягала у візуальному перегляді кульок середовища на наявність зовнішніх дефектів. Кульки, на яких візуально проглядалася корозія, сколи та інші дефекти, віддалялися. Для сортування кульок середовищ по діаметрах, використовувалися лабораторні сита з різними розмірами осередків сітки. Обсяг робочого середовища регулювався за допомогою мірних судин.

2.5 Методика вимірювання параметрів шорсткості поверхні

Здійснювалося вимірювання шорсткості поверхні плоских циліндричних зразків з різних матеріалів. Вихідні геометричні параметри шорсткості різних груп матеріалів були однаковими [14, 32].

На верстатах для проводилася одночасна обробка трьох зразків з кожної групи матеріалів при різних технологічних режимах, притаманних даних методів обробки.

Обробка проводилася при постійному промиванні 0,2% розчином кальцинованої соди.

Обробка зразків проводилася протягом 5, 10 хвилин, після цього зразки вилучалися з робочих камер верстатів, їх промивання і сушіння. Для збереження заданих технологічних режимів верстат не зупинявся. Далі проводилися 5-6 вимірів геометричних параметрів шорсткості обробленої поверхні. Потім ці ж зразки знову завантажувалися в робочі камери верстатів і оброблялися до появи шорсткості поверхні, що встановилася.

Для аналізу отриманих в ході експериментальних досліджень даних були використані статистичні методи обробки результатів [10, 17]. Це з тим, будь-яке значення досліджуваного параметра, яке обчислюється виходячи з обмеженого числа дослідів, завжди містить елемент випадковості. Для оцінки математичного очікування випадкової величини, використовувалося середнє арифметичне отриманих значень. Після цього проводилася оцінка статистичної дисперсії

випадкової величини, на підставі якої на доказ нормальності розподілу результатів експериментальних досліджень будувалися довірчі інтервали з довірчою ймовірністю 95% [17].

2.6 Методика вимірювання мікротвердості поверхневого шару

Мікротвердість, будучи однією з найважливіших характеристик фізико-механічних властивостей поверхневого шару, розглядається як наслідок пружно-пластичних деформацій, що виникають у процесі фінішної обробки [21, 22].

Експериментальні дослідження мікротвердості при оздоблювально-зміцнювальній проводилися на призматичних зразках розміром 20x20x10 із сталей 45. Зразки, виготовлені зі сталі, були піддані гартуванню і низької відпустки. Після проведення термообробки зразки зазнавали шліфування.

Відшліфовані зразки фіксувалися в оправці (у кожную оправку встановлювалося по два зразки), що складається з двох металевих пластин, що з'єднуються між собою болтами. Потім підготовлений мікрошліф піддавався травленню 10% розчином азотної кислоти. Вихідна мікротвердість зразків для експериментальних досліджень визначалася на мікротвердомірі ПМТ-3 з навантаженням 10, 20 і 50 г (залежно від марки матеріалу), збільшення 800-900, окуляр 10, об'єктив 4.3. Після цього зразки складалися підготовленими поверхнями, встановлювалися в тому ж пристрої і піддавали обробці на верстаті: УВГ 2x50. Обробка відбувалася при постійному промиванні 0,2% розчином кальцинованої соди.

Після обробки, вилучені з оправки зразки, промивалися і сушилися. На мікротвердомірі ПМТ-3 проводилося вимірювання їхньої мікротвердості поверхневого шару.

Вимірювання проводилися в кількох точках, розташованих на різній відстані від краю зразка (25, 50, 75, 100, 150, ... 225 мкм). Для визначення величини мікротвердості використовувалися таблиці [27].

2.7 Методика дослідження явища перенаклепу поверхневого шару

У процесі оздоблювально-зміцнювальної обробки може виникати явище пере наклепу. Дане явище характеризується формуванням тонкого лускатого поверхневого шару з фарбуванням фрагментів металу (апельсинової кірки).

Експериментальні дослідження явища пере наклепу при оздоблювально-зміцнювальній проводилися на циліндричних зразках діаметром 46 і 20 мм та товщиною 8 мм до утворення лускатого поверхневого шару

Зразки з різних матеріалів завантажувалися в камери верстатів і оброблялися до утворення лусочок металу, що відшаровуються. Обробка проводилася при промиванні розчином кальцинованої соди та без ТР.

Після обробки зовнішній вигляд поверхні оброблених зразків вивчався на стереоскопічному мікроскопі моделі МБС-2 зі збільшенням: x16; x32; x56.

3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Розрахунок основних параметрів зміцнення поверхневого шару деталі під час вібраційно-зміцнюючої обробки

Основним завданням технологів є виготовлення конкурентоспроможного виробу, з необхідним набором якісних характеристик, здатного довгий час виконувати своє функціональне призначення без поточного та капітального ремонтів. Застосування вібраційно-зміцнюючої обробки на фінішних етапах обробки деталей є дуже ефективним засобом, що дозволяє забезпечити зміцнення поверхневого шару, мінімальну шорсткість поверхні, рівномірну дрібнозернисту структуру, сприятливу картину розподілу стискаючих залишкових напружень, не перерізаючи при цьому волокон металу. Такі значення параметрів якості поверхневого шару дозволяють отримати підвищення експлуатаційних властивостей оброблених деталей (зносостійкості, контактної жорсткості, корозійної стійкості та втомної довговічності).

При проектуванні технологічних процесів обробно-зміцнювальної обробки, одним з основних завдань є аналітичний розрахунок очікуваного ступеня деформації, глибини зміцненого шару та шорсткості поверхні. При впровадженні кульки в поверхню деталі в зоні контакту виникає залишкова вм'ятина (пластичний відбиток) навколо якої завжди є пластично деформована область, що розповсюджується на деяку глибину h_n . Розрахунок глибини зміцненого шару та ступеня зміцнення в залежності від технологічних параметрів процесу обробки, являє собою складне завдання. Відомі технологічні залежності, представлені у відомих роботах, отримані з урахуванням численних припущень.

Основні дослідження проведено І. Кудрявцева, М. Дроздом, В., Д. Папшевим та інших [30-35].

Одна з перших спроб розрахункового визначення h_n , представлена у [27]:

$$h_n = \sqrt{\frac{P}{2\sigma_T}}, \quad (3.1)$$

де P - контактне навантаження.

При моделюванні взаємодії сферичного індентора з плоскою поверхнею отримано узагальнюючу залежність. Ця модель визначає вплив розмірів площі контакту сфери з площиною на глибину зміцненого шару h_n [27]:

$$h_n = \sqrt{\frac{P}{2\sigma_T} - 0,5\left(\frac{d}{2}\right)^2}, \quad (3.2)$$

де d - діаметр контактної майданчика індентора з деталлю.

Сідякіним Ю. у роботі [34] була отримана уточнена і придатна для прогнозування результатів обробки залежність, яка враховує, що в більшості випадків площа контакту сферичного індентора з площиною є еліпсною:

$$h_n = K \cdot \sqrt{\frac{P}{2\sigma_T} - 1,42 \cdot a \cdot b}, \quad (3.3)$$

де K - коефіцієнт, що враховує вплив форми плями контакту.

Застосування представлених раніше залежностей, що дозволяють визначити глибину проникнення пластичної деформації h_n вимагає знання таких величин, як контактне навантаження P і зусилля зіткнення. Однак, у деяких випадках, особливо при динамічних методах обробки, визначення цих величин становить значні труднощі. h_n бажано здійснювати через параметри, які легко обчислити чи визначити із дослідів. При виведенні теоретичних залежностей для визначення глибини зміцненого шару та ступеня деформації враховувалася умова пластичності Генки-Мізеса, за якої $\sigma_i = \sigma_T$, де σ_i - інтенсивність напружень.

У роботі [27] вираз (2.52) перетворено на вигляд:

$$h_n = 2,5 \cdot K \cdot \sqrt{D_{ui} \cdot h_{\max}}, \quad (3.4)$$

де D_{ui} - діаметр кульки;

Також у роботі [27] наведено залежність визначення коефіцієнта K :

$$K = 1 - \frac{1}{2} \left(1 - \frac{b}{a} \right)^4, \quad (3.5)$$

Враховуючи (3.1); (3.2) та (3.3), можна записати для вібраційно-зміцнюючої обробки:

$$h_n = 3,8 \cdot R \cdot \left[1 - \frac{1}{2} \left(1 - \frac{b}{a} \right)^4 \right] \cdot \sqrt{V_{\text{эф}} \cdot \sin \alpha} \cdot \sqrt[4]{\frac{\rho_{\text{ш}}}{k_c \cdot c \cdot \sigma_T}}, \quad (3.6)$$

$$h_n = 3,8 \cdot R \cdot \left[1 - \frac{1}{2} \left(1 - \frac{b}{a} \right)^4 \right] \cdot \sqrt{V_{\text{эф}} \cdot \sin \alpha} \cdot \sqrt[4]{\frac{\rho_{\text{ш}}}{k_c \cdot c \cdot \sigma_T}}. \quad (3.7)$$

Розрахунок параметрів пластичного відбитка при зіткненні сферичного індентора з поверхнею деталі докладно описаний у роботах І. Кудрявцева [41-42]. Для визначення діаметра пластичного відбитка автором запропоновано наступну залежність:

$$d = \left(\frac{D_{\text{ш}} \cdot E_u}{0,1 \cdot HD} \right)^{\frac{1}{4}}, \quad (3.8)$$

де E_u - енергія удару індентору;

HD - динамічна твердість матеріалу деталі.

$$E_u = \frac{E_y}{N} \cdot \eta, \quad (3.9)$$

де η - коефіцієнт корисної дії пристрою, що залежить від втрат енергії.

У роботі [28] представлена залежність визначення динамічної твердості з урахуванням твердості матеріалу за Брінеллем:

де HB - твердість матеріалу деталі за Брінеллем.

Насправді досить часто вдаються до перерахунку одних чисел твердості до інших. Дані перерахунки здійснюються виключно на основі емпіричних залежностей, які не повністю описують внутрішні зв'язки між різними числами твердості. У роботі [73] автор пропонує використовувати одну з найбільш часто використовуваних залежностей для перекладу твердості за Брінеллем в динамічну твердість:

$$HB = 0,2 \cdot HD^{0,89}. \quad (3.10)$$

Максимальну глибину застосування індентора при зміцнюючій обробці можна визначити за залежністю, запропонованою в роботі [94]:

$$h_{\max} = \frac{1}{4} \cdot \sqrt{\frac{E_y \cdot \eta}{0,1 \cdot N \cdot HD \cdot D_{ин}}} \quad (3.11)$$

З урахуванням приведених формул глибина зміцненого шару визначається за залежністю (при обробці КСЗ значення пів вісі відбитка a і b рівні між собою):

$$h_n = 1,68 \cdot \sqrt[4]{\frac{E_y \cdot \eta \cdot D_{ин}}{N \cdot HB^{1,12} \cdot 10^6}} \quad (3.12)$$

На підставі результатів роботи [42], ступінь деформації ε можна розрахувати залежно:

$$\varepsilon = \frac{d}{D}, \quad (3.13)$$

де d – діаметр що залишається від вдавлювання лунки;

D - діаметр індентора.

Тоді, з урахуванням результатів роботи [33], отримаємо залежність:

$$d = \left(\frac{D \cdot E_y}{0,1 \cdot HD} \right)^{\frac{1}{4}}, \quad (3.14)$$

Для динамічних методів ППД серед металевих кульок:

$$E_y = \frac{m_{ин} \cdot V_{эф}^2}{2}, \quad (3.15)$$

Враховуючи (3.13) та (3.14), після перетворень отримаємо наступну залежність для динамічних методів ППД у середовищі металевих кульок:

$$\varepsilon = 0,8 \cdot \sqrt[4]{V_{эф}} \cdot \sqrt[4]{\frac{\rho_{ин}}{HB^{1,12} \cdot 10^6}} \quad (3.16)$$

Також з робіт [20, 41] відомо, що при багаторазовому динамічному впливі на поверхню оброблюваної деталі, ступінь деформації зростає від 2 до 6 разів.

Для обробки КСЗ, з урахуванням приведених формул, ступінь деформації визначається за залежністю:

$$\varepsilon = 0,67 \cdot \sqrt[4]{\frac{E_y \cdot \eta}{N \cdot HB^{1,12} \cdot R_{ин}^3 \cdot 10^6}}, \quad (3.17)$$

де $R_{ин}$ - радіус заточування індентора.

При обробці вібраційно-зміцнюючій обробці величина шорсткості

змінюється від вихідного значення до деякого характерного для застосовуваного методу обробки і його технологічних параметрів, що отримав назву «шорсткість, що встановилася». Її профіль утворюється в результаті перетину і накладання слідів одиничного взаємодії кульок з поверхнею деталі. Збільшення часу обробки може призвести до пере наклепу оброблюваної поверхні, що призводить до різкої втрати якості поверхневого шару. Найбільш вдала теоретично-ймовірна модель формування шорсткості поверхні при різних видах абразивної обробки, представлена в роботі Корольова А. [37]. Запропонований у цій роботі підхід може бути використаний і для опису процесу формування шорсткості при обробці поверхневим пластичним деформуванням.

$$Ra_{yct} = 0,0022 \cdot \sqrt{\frac{h_{\max} \cdot a \cdot b \cdot l_{od}}{R^2}}, \quad (3.18)$$

де l_{od} - значення одиничної довжини;

k_s - коефіцієнт завантаження робочої камери.

Також встановлено, що залишкові напруження, які формуються в поверхневому шарі в процесі вібраційно-зміцнюючої обробки, значно впливають на їх експлуатаційні властивості при знакозмінних навантаженнях. Головну роль грає величина залишкової напруження, знак залишкової напруження і характеру їх розподілу по глибині поверхневого шару деталей.

В даний час існує і широко використовується значне число методик експериментального визначення залишкових напружень, більшість з яких заснована на пошаровому видаленні поверхневого шару матеріалу деталі та вимірюванні залишкових деформацій, з подальшим розрахунком величини залишкових напружень. Як було сказано раніше, у розділі 1, більшість даних методик є досить трудомісткими і не дають можливість оперативної оцінки розподілу залишкових напружень у поверхневому шарі оброблюваних деталей.

З урахуванням вищевикладеного, одним із перспективних напрямків, що дозволяє спрогнозувати знак і глибину залягання залишкових напружень у поверхневому шарі, є розробка розрахункового апарату, який дозволить скоротити кількість трудомістких експериментальних досліджень. Для

визначення залишкової напруженості було проведено моделювання напружено-деформованого стану вогнища деформації методом кінцевих елементів, отримані епюри полів напружень. Це дозволило значно зменшити трудомісткість розрахунку величини та глибини проникнення залишкової напруженості при зміцнюючій обробці.

3.2 Визначення узагальнюючого коефіцієнта ефективної швидкості

Для використання теоретичної моделі процесу вібраційно-зміцнюючої обробки динамічними методами необхідно визначити величину коефіцієнта ефективної швидкості k_{ef} . При розрахунках використовувалися такі значення вихідних даних технологічних параметрів: $\omega = 7, 8, 9, 10, 11, 12$ Гц; $A = 1 - 2,5$ мм; $\gamma = 20$ Гц; $R = 2 - 6$ мм; $R_{ef} = 110$ мм; $\alpha = 76^\circ$; $\rho_{st} = 7800$ кг/м³; $c = 6$; $k_s = 0,5$; $f = 0,25$.

Розрахункові значення величини глибини зміцненого h_n шару для матеріалу сталі 45 при вібраційно-зміцнюючій обробці.

Таблиця 3.1 – Розрахункові значення глибини зміцненого шару h_n при ВЗО

Сталь 45					
A , мм	R , мм	γ , Гц	σ_T , МПа	$h_n^{теор}$, мм	h_n^{np} , мм
1	4	20	340	0,000105	0,00048
2				0,00015	0,00065
2,5				0,00017	0,00077

Користуючись значеннями h_n , отриманих в результаті теоретичних розрахунків та експериментальних досліджень, можна розрахувати величину раніше введеного коефіцієнта ефективної швидкості для вібраційно-зміцнюючої обробки:

$$k_{ef} = \left(\frac{0,00052}{0,00013} \right)^2 = 19,78 ;$$

$$k_{эф} = \left(\frac{0,0008}{0,00017} \right)^2 = 22,16 ;$$

$$k_{эф} = \left(\frac{0,00082}{0,00019} \right)^2 = 18,62 .$$

Для проведення подальших розрахунків приймемо коефіцієнт $k_{эф} = 20$.

3.3 Дослідження параметрів якості поверхневого шару при вібраційно-зміцнюючій обробці

Як було зазначено в розділі 1, експлуатаційні властивості деталей значною мірою залежать від вихідного стану матеріалу та параметрів якості поверхневого шару: шорсткості поверхні, ступеня деформації, глибини зміцненого шару та залишкової напруженості. Якість поверхневого шару здатна вплинути на такі експлуатаційні властивості як зносостійкість, контактна жорсткість, корозійна стійкість, контактна міцність, міцність втоми і довговічність.

Дослідження були спрямовані на вивчення впливу механічних властивостей деталей, технологічних параметрів обробки та характеристик робочого середовища на зміну параметрів якості поверхневого шару.

У ході експериментальних досліджень було визначено глибину зміцненого шару h_n при послідовному нанесенні пластичних відбитків алмазною голкою ПМТ-3. Відбитки наносилися від кромки зразка – у глибину металу по шліфованій поверхні. Судити про глибину зміцненого шару необхідно по нижньому кордоні, де мікротвердість перестає змінюватися.

Після того, як було визначено величину мікротвердості поверхневого шару оброблених зразків, значення ступеня деформації визначалися залежно від:

$$\varepsilon = \frac{H_{\mu} - H_{\mu(0)}}{H_{\mu(0)}} \cdot 100\% , \quad (3.19)$$

де H_{μ} - мікротвердість, що вимірюється на поверхні зразка;

$H_{\mu(0)}$ - мікротвердість, що вимірюється в серцевині зразка.

На рисунках 3.1-3.7 представлені графіки зміни глибини зміцненого шару

деталей та ступеня деформації для різних видів обробки з урахуванням залежності від матеріалу деталі та технологічних параметрів обробки.

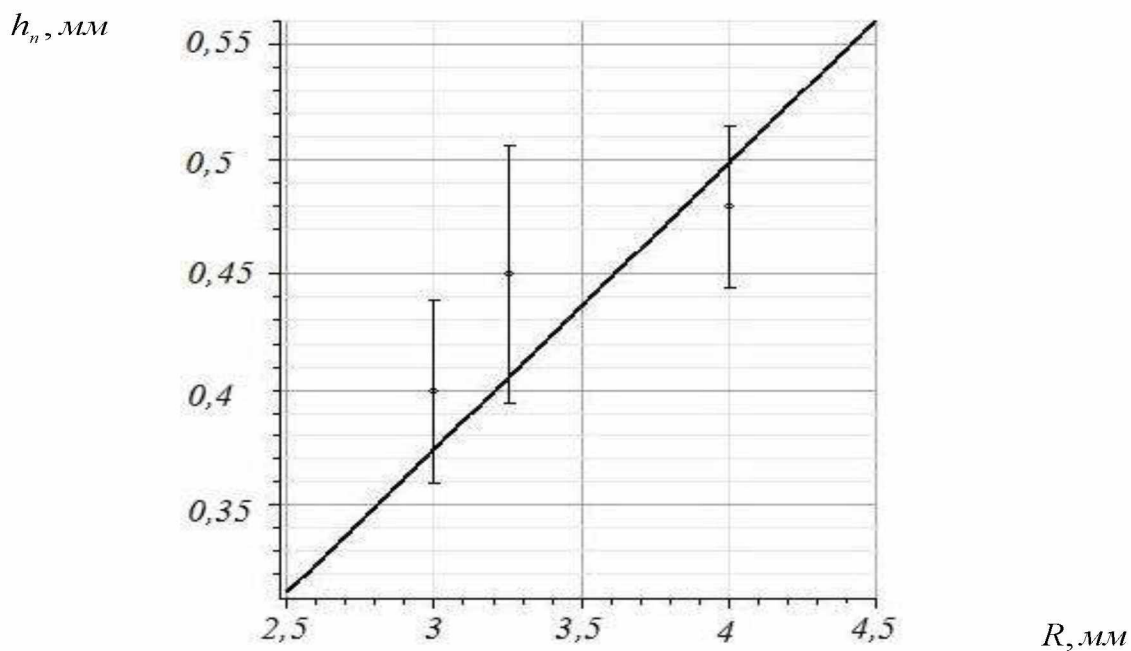


Рис. 3.1 – Залежність зміни глибини зміцненого шару від радіусу кульки при $\gamma = 20$ Гц; $A = 1$ м; $\sigma_m = 340$ МПа для Сталі 45

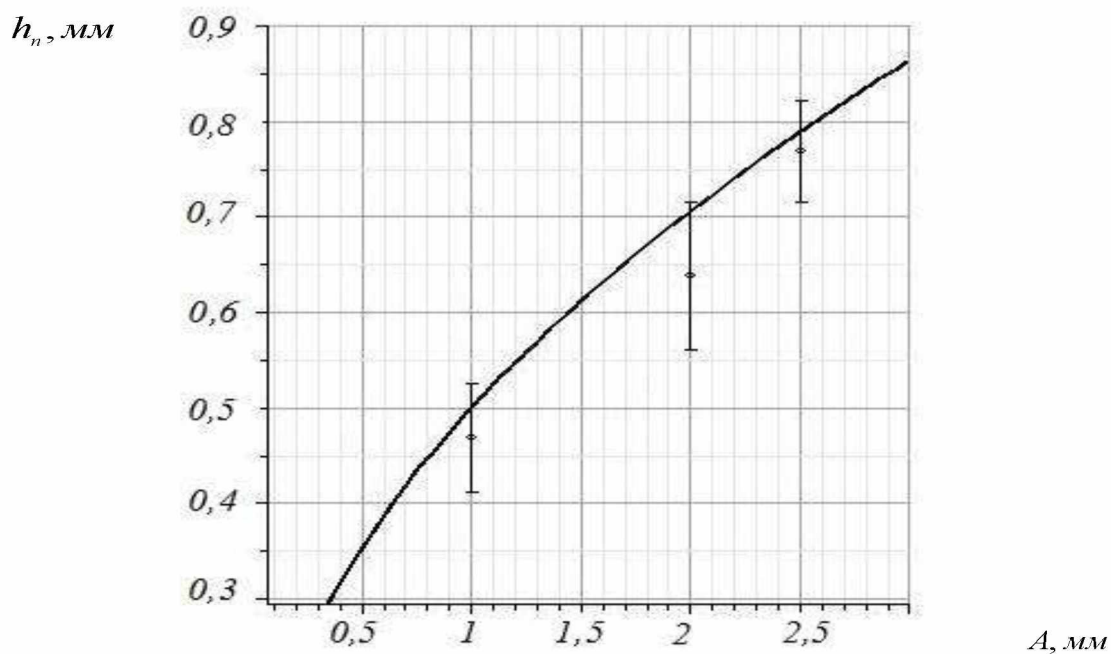


Рис. 3.2 – Залежність зміни глибини зміцненого шару від амплітуди коливань робочої камери при $\gamma = 20$ Гц; m ; $R = 4$ мм; $\sigma_m = 340$ МПа для Сталі 45

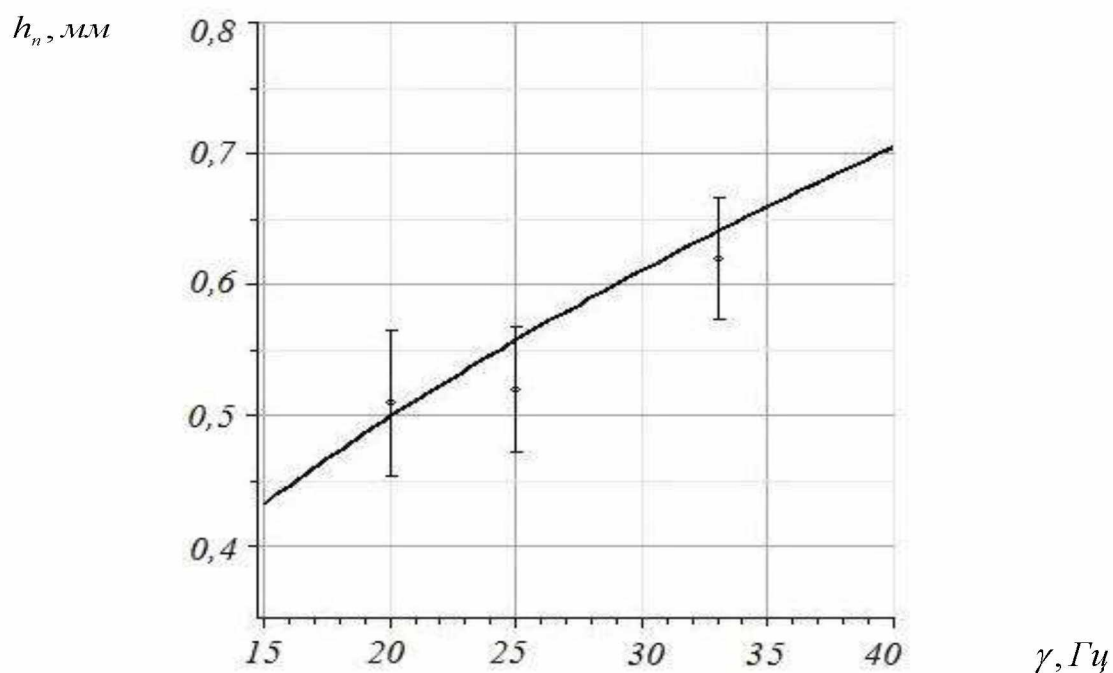


Рис. 3.3 – Залежність зміни глибини зміцненого шару від частоти коливань робочої камери при $A=1$ мм; $R=4$ мм; $\sigma_m=340$ МПа для Сталі 45

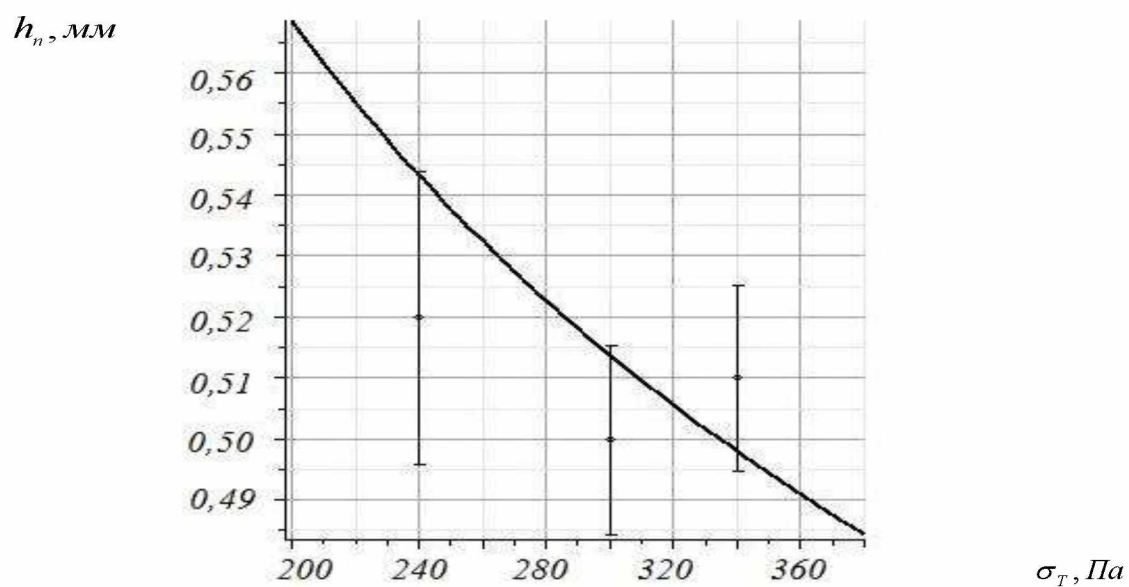


Рис. 3.4 – Залежність зміни глибини зміцненого шару від межі текучості матеріалу при $A=1$ мм; $\gamma=20$ Гц; $R=4$ мм

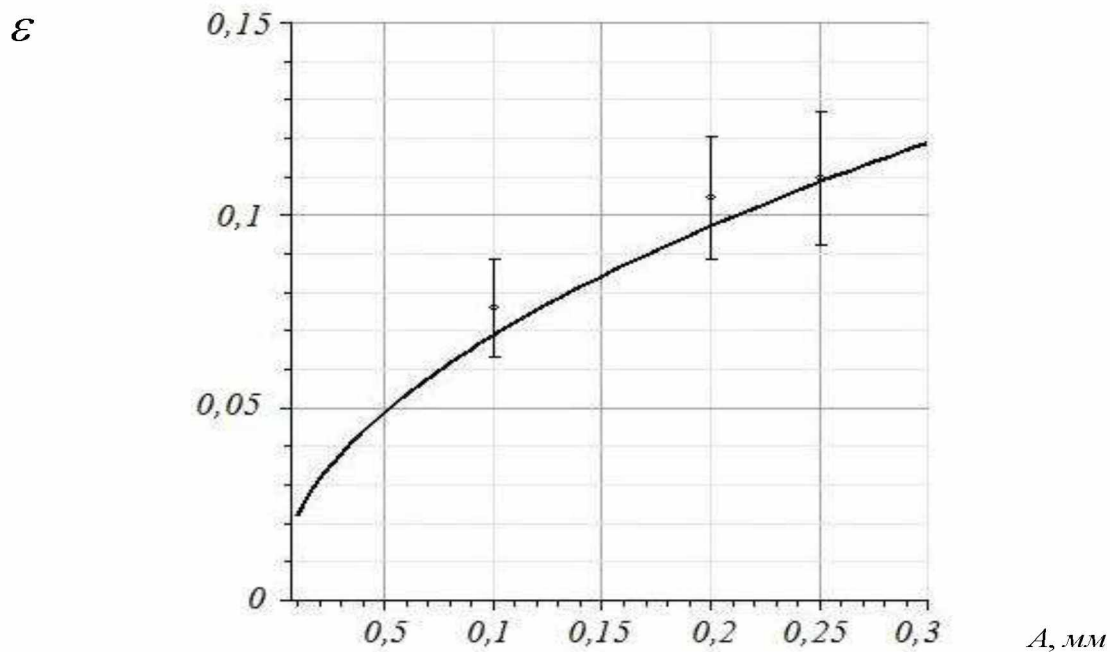


Рис. 3.5 – Залежність зміни ступеня деформації поверхневого шару від амплітуди коливань робочої камери при $\gamma = 20 \text{ Гц}$; $R = 4 \text{ мм}$; $HB = 197 \text{ кгс/мм}^2$ для Сталі 45

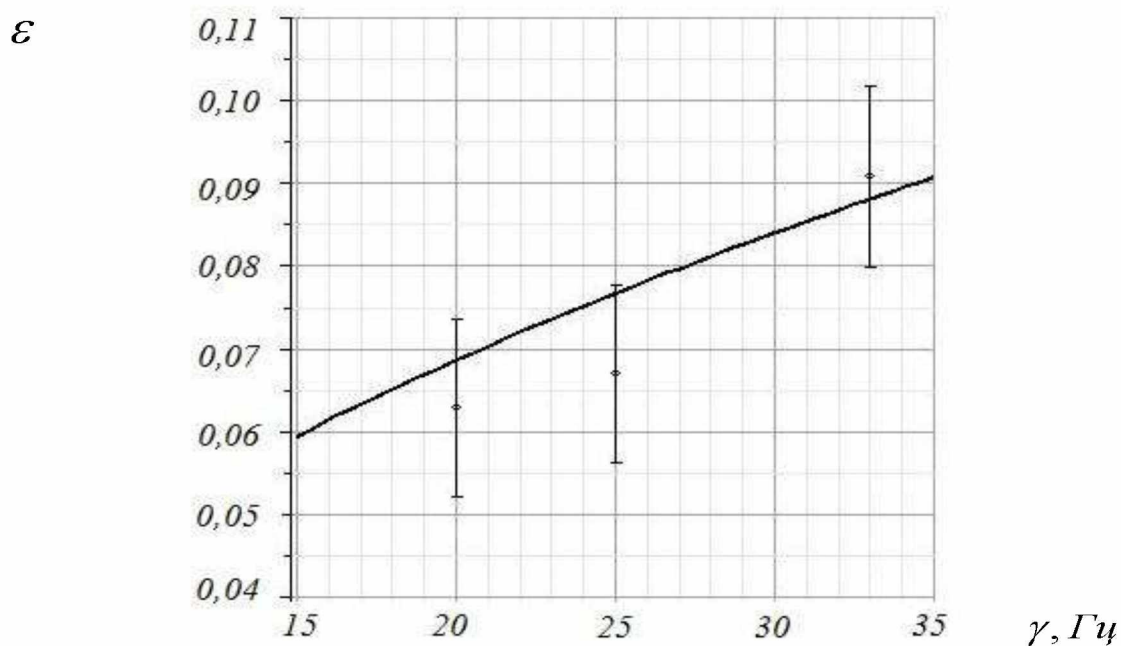


Рис. 3.6 – Залежність зміни ступеня деформації поверхневого шару від частоти коливань робочої камери при $A = 1 \text{ мм}$; $R = 4 \text{ мм}$; $HB = 197 \text{ кгс/мм}^2$ для Сталі 45

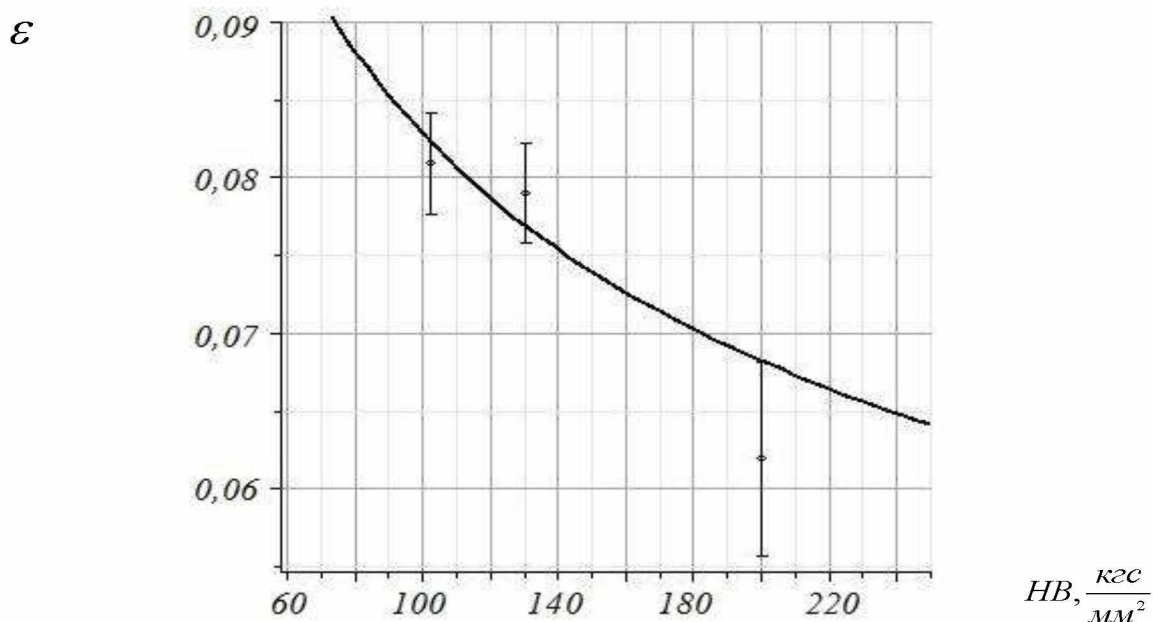


Рис. 3.7 – Залежність зміни ступеня деформації поверхневого шару від твердості матеріалу за Брінеллем при $A=1$ мм; $\gamma=20$ Гц; $R=4$ мм

На приведених графіках відображаються порівняння теоретичних та експериментальних досліджень змін глибини зміцненого шару деталі та ступеня деформації від діаметра кульки, амплітуди та частоти коливань робочої камери, матеріалу зразків для вібраційно-зміцнюючої обробки. Теоретична крива представлена суцільною лінією, а точками нанесено значення, отримані в результаті експериментальних досліджень з довірчими інтервалами (95%).

3.4 Дослідження явища перенаклепу поверхневого шару деталей

Як зазначалося у розділі 2, пере наклеп поверхневого шару оброблюваних деталей є вкрай негативним явищем. При виникненні пере наклепу відбувається руйнування кристалічних ґрат, яке супроводжується лущенням і відшаровуванням частинок металу. Навіть застосування термообробки не дозволяє відновити якість вихідного металу.

Для використання отриманих раніше залежностей розрахунку раціонального часу обробки проведено кілька серій експериментів з визначення часу пере наклепу з використанням зразків з різних матеріалів. Результати експериментальних досліджень представлені у табл. 4.5-4.6.

Таблиця 3.2 – Дослідження часу появи пере наклепу при вібраційно-зміцнюючій обробці

Вид обробки	Параметри обробки	Матеріал зразка	Час виникнення пере наклепу, хв
ВЗО	R=3 мм; $\gamma=33,4$ Гц, A=4 мм Без ТР	Сталь 45	50
	R=3 мм; $\gamma=33,4$ Гц, A=4 мм ТР: $H_2O + Na_2CO_3$		130
	R=6 мм; $\gamma=40$ Гц, A=4 мм Без ТР		55
	R=6 мм; $\gamma=40$ Гц, A=4 мм ТР: $H_2O + Na_2CO_3$		110

Отримані результати слід використовувати під час проектування технологічних процесів вібраційно-зміцнюючої обробки деталей із сталі 45. При виборі режимів технологічних параметрів і характеристик робочих середовищ слід звертати увагу на те, щоб розрахунковий час обробки гарантовано не перевищував часу досягнення пере наклепу.

4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Оптимізація технологічних параметрів вібраційно-зміцнюючої обробки

Оптимізація параметрів обробки залежить від правильного вибору технічних обмежень, які визначають сферу існування оптимальних рішень. Необхідно якомога точніше формулювати обмеження, що впливають із виробничих умов. За таких умов залишається менша кількість варіантів процесу, що розглядається як основа для вибору оптимального рішення [10].

Оптимальним режимом пластичного деформування, що проводиться з метою зміцнення деталей, що зазнають циклічних навантажень, є той, який дозволить забезпечити максимальне збільшення межі витривалості деталі порівняно з його вихідним значенням.

У загальному випадку для матеріалу деталі з певним набором фізико-механічних властивостей величина межі витривалості залежить від наступних факторів: величини та розподілу залишкових стискаючих напружень у поверхневому шарі деталі після вібраційно-зміцнюючої обробки, глибини зміцненого шару, ступеня деформації та шорсткості поверхні.

Залежності визначення глибини зміцненого шару неможливо визначити раціональний фізичний стан поверхневого шару. Цей стан формується в процесі обробки деталі і визначається конкуруючим впливом двох процесів, що протікають паралельно, з одного боку - фізичного зміцнення (наклепу) і руйнування з іншого. У міру збільшення інтенсивності деформації відбувається безперервне зростання межі текучості матеріалу деталі за рахунок наклепу. Найбільші залишкові напруження стиску близькі до зростаючої межі текучості.

В інтересах посилення сприятливих факторів потрібно прагнути до максимальної інтенсивності деформації поверхневого шару. Однак, за такої інтенсивності, збільшується ймовірність процесу одночасного розміцнення поверхневого шару, тому необхідно забезпечити оптимальну величину інтенсивності деформації, при якій збільшення межі витривалості деталі буде

найбільшим. Очевидно, вона повинна бути більшою за інтенсивність деформації на межу текучості ε_T та менше інтенсивності деформації безпосередньо перед руйнуванням ε_p .

Враховуючи результати роботи [73], при описі деформаційного зміцнення, можна вважати, що головна частина пластичності ресурсу вичерпується на стадії рівномірної деформації $\varepsilon_i < \varepsilon_p$, а за її межами спостерігається значне зростання кількості та розміру мікрodefektів (тобто при $\varepsilon_i > \varepsilon_p$).

Для оптимізації технологічних процесів вібраційно-зміцнюючої обробки як цільову функцію обрана інтенсивність деформації. Таким чином, з великої кількості варіантів поєднання технологічних режимів і характеристик робочих середовищ вибирається такий, що забезпечує величину інтенсивності деформації найбільш близьку до рівноважної. Як вихідні дані, необхідні для початку розрахунку використовуються параметри певного виду обробки, значення заданої глибини зміцненого шару і ступеня деформації, вихідної та заданої шорсткості поверхні, характеристики матеріалу деталі, діапазон радіусів використовуваних інденторів, масив режимів обробки. При виборі оптимального варіанта використовуються обмежувальні функції, якими може виступати задана глибина зміцненого шару, ступінь деформації або параметри необхідної шорсткості поверхні. Таким чином, при подальших технологічних розрахунках,

Після того, як були досягнуті задані значення параметрів якості поверхневого шару, відбувається перебір та аналіз показників інтенсивності деформації ε_i , що задовольняють умовам $|\varepsilon_i - \varepsilon_p| \leq \tau$, а потім вибирається варіант технологічного процесу, при якому $|\varepsilon_i - \varepsilon_p| = \min$. Після проведених розрахунків на екран виводяться параметри: задана глибина зміцненого шару та ступінь деформації, шорсткість поверхневого шару, показники інтенсивності деформації та граничної рівномірної деформації, параметри обробки.

На рис. 4.1 представлено блок-схему алгоритму оптимізації процесу вібраційно-зміцнюючої обробки [29].

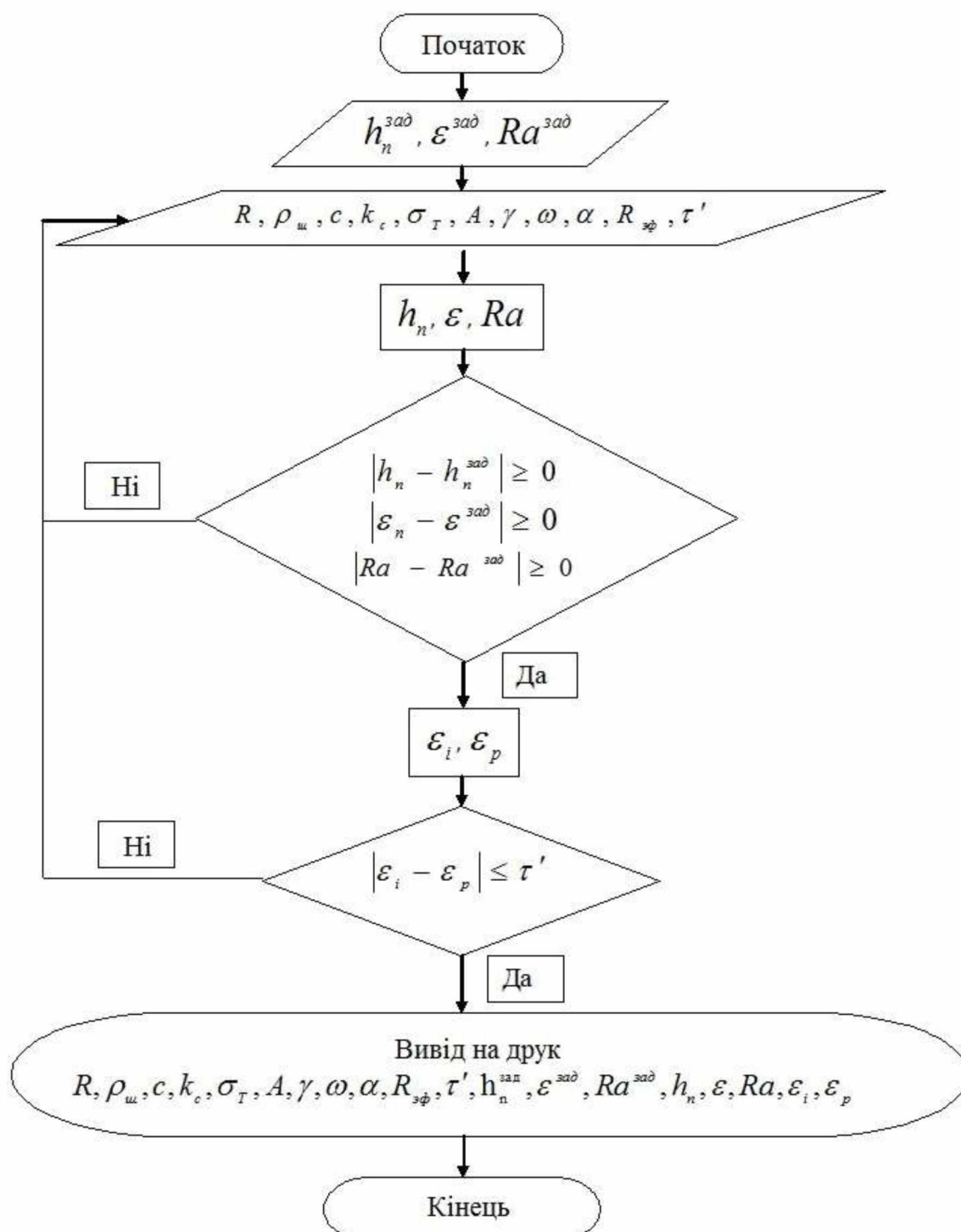


Рис. 4.1 – Блок-схема алгоритму оптимізації процесу вібраційно-зміцнюючої обробки

4.2 Впровадження результатів досліджень

Використання вібраційно-зміцнюючої обробки на фінішних етапах обробки деталей дозволяє вирішувати актуальні завдання виготовлення деталей з

необхідними показниками якості поверхневого шару, що використовується в різних галузях промисловості. На підставі результатів теоретичних досліджень та запропонованого алгоритму оптимізації процесу вібраційно-зміцнюючої обробки динамічними методами ППД можливо здійснити проектування та впровадження нових технологічних процесів.

На Хорольському механічному заводі виникла необхідність обробки деталей типу кронштейн. Деталі виготовляються зі сталі 45. Завданням є підвищення якості поверхневого шару за умови забезпечення максимального резерву зміцнення матеріалу деталей.

Вирішення поставлених завдань розглянуто на прикладі вібраційно-зміцнюючої обробки для обробки деталей типу кронштейн. Результати розрахунків наведені у табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Приклад розрахунку технологічного процесу

Вихідні дані	
Матеріал	Сталь 45
Вихідна шорсткість	4,5 мкм
Допустима шорсткість	1,25 мкм
Допустима глибина зміцненого шару	не менше 0,5 мм
Допустимий ступінь деформації	не менше 5%
Межа текучості	340 МПа
Результати розрахунку	
Гранична рівномірна деформація	0,1
Інтенсивність залишкової деформації	0,062
Амплітуда коливань робочої камери	2,5мм
Частота коливань робочої камери	27 Гц
Радіус кульок	4 мм
Очікувана шорсткість	0,82 мкм
Очікувана глибина зміцненого шару	0,9 мм
Очікуваний ступінь деформації	6,3%
Час обробки	53,2 хв

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

На підставі результатів теоретичних та експериментальних досліджень, можна зробити такі висновки та рекомендації:

1. Розроблено та уточнено теоретичні моделі для визначення глибини зміцненого шару та ступеня деформації з урахуванням впливу форми плями контакту.

2. При порівнянні результатів теоретичних та експериментальних досліджень глибини зміцненого шару та ступеня деформації різниця між теоретичними та експериментальними значеннями не перевищує 20%.

3. На підставі результатів експериментальних досліджень визначено значення коефіцієнта, що враховує вплив ефективної швидкості руху робочого середовища.

4. Розроблено методику оптимізації технологічних параметрів обробки та характеристик робочих середовищ за критерієм максимальної межі витривалості.

5. Розроблено алгоритм розрахунку раціональних параметрів технологічних процесів вібраційно-зміцнюючої обробки із метою максимальної реалізації резервів зміцнення. При цьому, як обмежувальні функції, використовуються параметри якості поверхневого шару оброблюваних деталей.

6. Проведено заводські випробування зазначеної методики в умовах реального виробництва.