

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерно-технологічний

Кафедра будівництва та професійної освіти

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти

« магістр »

на тему: « Дослідження формування фізико-механічних властивостей
поверхневого шару плоских деталей при стерженво-кульковому зміцненні »

КРМ.133ГМмд_24.23.000 ПЗ

Виконав: здобувач вищої освіти за
освітньо-професійною програмою

Машини і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва

назва ОПП

спеціальності 133 Галузеве
машинобудування

код та найменування спеціальності

ступеня вищої освіти «магістр»
групи 133ГМмд_24

Черняк В.О.

Прізвище та ініціали здобувача вищої освіти

Керівник: проф. Горик О.В.

Прізвище та ініціали керівника

Полтава – 2023 року

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 5 розділів, 23 рисунків, 5 таблиць, 39 літературних джерел, 61 сторінок.

Об'єктом дослідження є технологічний процес обробки стержнево-кулькового зміцнення плоских поверхонь деталей.

Предметом дослідження є розробка закономірностей формування основних показників якості поверхні деталі, що впливають на їх експлуатаційні властивості при обробці плоских деталей стержнево-кульковим зміцненням.

Мета кваліфікаційної роботи магістра – дослідження процесу формування фізико-механічних властивостей поверхневого шару оброблених плоских деталей при обробці стержнево-кульковим зміцнювачем.

Практичне значення кваліфікаційної роботи магістра – полягає у можливості в заводських умовах визначати фізико-механічних властивості поверхневого шару оброблених деталей при обробці стержнево-кульковим зміцнювачем.

У **першому розділі** розглянуті можливості застосування методів поверхнево-пластичного деформування та їх класифікація, приведений огляд робіт в області досліджень обробки стержнево-кульковим зміцнювачем.

У **другому розділі** визначені технологічні параметри стержнево-кулькової обробки та запропоновано математичну модель одиничної взаємодії індентора з оброблюваною поверхнею.

У **третьому розділі** представлена загальна методика проведення експериментів, прилади та вимірювальна апаратура, що використовуються при дослідженнях, викладені методики досліджень та обробки експериментальних даних.

У **четвертому розділі** викладено результати експериментальних досліджень та перевірки відповідності теоретичних залежностей отриманим даним.

У **п'ятому розділі** розглянуті питання екологічної безпеки та запропоновані заходи з охорони праці та екологічної експертизи, зроблений аналіз техніко-економічного обґрунтування зміцнювача.

					КРМ.133ГМмд_24.23.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Практичні результати роботи – запропоновано комплекс заходів, що дозволяють понизити шум на робочому місці оператора до нормативних значень

Рекомендації щодо використання результатів роботи – використання запропонованого комплексу заходів при стержнево-кульковому зміцненні плоских деталей, може бути використане механічними майстернями при ремонті сільськогосподарської техніки.

Сфера застосування результатів роботи – агропромислове і машинобудівне виробництво.

Основні результати роботи обговорювалися на студентських наукових конференціях Полтавського державного аграрного університету.

Ілюстраційна частина кваліфікаційної роботи – 8 аркушів.

Результат перевірки тексту пояснювальної записки на плагіат за допомогою сервісу Unicheck: унікальність тексту – 98,62%.

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота магістра присвячена прикладним дослідженням процесу формування фізико-механічних властивостей поверхневого шару оброблених плоских деталей при обробці стержнево-кульковим зміцнювачем.

ПОВЕРХНЕВО-ПЛАСТИЧНЕ ДЕФОРМУВАННЯ, СТЕРЖНЕВО-КУЛЬКОВИЙ ЗМІЦНЮВАЧ, ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ, ПОВЕРХНЕВИЙ ШАР, ДОСЛІДЖЕННЯ, ОХОРОНА ПРАЦІ, РІВЕНЬ ШУМУ.

ANNOTATION

The master's qualification work is devoted to applied studies of the process of formation of the physical and mechanical properties of the surface layer of processed flat parts during processing with a rod-ball stiffener.

SURFACE-PLASTIC DEFORMATION, ROD-BALL AMPLIFIER, PHYSICAL-MECHANICAL PROPERTIES, SURFACE LAYER, RESEARCH, LABOR PROTECTION, NOISE LEVEL.

					КРМ.133ГМмд_24.23.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

1	АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	7
1.1	Аналіз методів ППД при місцевому зміцненні деталей машин	7
1.2	Огляд робіт в області досліджень обробки стержнево-кульковим зміцнювачем	13
1.3	Аналіз процесу шумоутворення при обробці стержнево-кульковим зміцнювачем	14
1.4	Мета і завдання досліджень.....	17
2	ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	18
2.1	Аналіз процесу взаємодії стержня зі сферичним заточуванням із оброблюваною поверхнею	18
2.2	Розрахунок параметрів усталеної шорсткості	19
2.3	Дослідження процесу формування фізико-механічних властивостей поверхневого шару оброблюваних деталей	22
3	МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	25
3.1	Конструктивні особливості та технологічні можливості стержнево-кулькового зміцнювача.....	25
3.2	Обладнання для проведення експериментальних досліджень.....	27
3.3	Прилади та пристрої для проведення досліджень.....	28
3.4	Зразки для проведення досліджень.....	31
3.5	Дослідження параметрів шорсткості поверхні деталі при обробці СКЗ ..	32
3.6	Дослідження мікротвердості обробленої поверхні	32
4	РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	34
4.1	Експериментальна перевірка теоретичних залежностей впливу технологічних параметрів на шорсткість обробленої поверхні.....	34
4.2	Розподіл залишкових напружень в поверхневому шарі оброблених деталей	35
4.3	Зміна мікротвердості поверхневого шару при обробці СКЗ.....	39
4.4	Дослідження глибини зміцненого шару і ступеня деформації при обробці СКЗ	40
5	РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ДОСЛІДЖЕНЬ	42
5.1	Розробка технологічних рекомендацій.....	42
5.2	Екологічна експертиза.....	45
5.3	Охорона праці. Дослідження можливості зниження шуму при обробці СКЗ	47
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	55
	СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	56

					КРМ.133ГМмд_24.23.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Сучасне складальне виробництво ставить завдання підвищення життєвого циклу виробу, яка забезпечується підвищенням експлуатаційних властивостей найбільш відповідальних деталей. Для вирішення цього завдання повсюдно використовуються методи обробки деталей поверхневою пластичною деформацією (ППД), причому з економічної точки зору найбільш вигідні способи місцевого зміцнення ділянок деталей, на яких розташовані концентратори напруги.

Стержнево-кульковий зміцнювач (СКЗ) є новим пристроєм призначеним для обробки поверхні деталей поверхнево-пластичною деформацією. Універсальне пристосування дозволяє здійснювати обробку не лише плоских поверхонь, але і поверхонь лекальної форми, висот, що мають невеликі перепади. Проте процес обробки супроводжується підвищеним шумом.

Широке впровадження у виробництво технологічних процесів обробки деталей з використанням стержнево-кулькового зміцнювача стримується недостатнім опрацюванням питань впливу основних технологічних параметрів на якість поверхневого шару і експлуатаційні властивості деталей машин.

Метою роботи є дослідження процесу формування фізико-механічних властивостей поверхневого шару оброблюваних плоских деталей при обробці стержнево-кульковим зміцнювачем.

Щоб досягти поставлену мету слід вирішити наступні завдання:

1. Провести аналіз літературних джерел щодо використання методів обробки деталей поверхнево-пластичною деформацією.
2. Розробки теоретичні залежності, що описують зв'язок між продуктивності і якістю обробки стержнево-кулькового зміцнювача з основними технологічними параметрами процесу.
3. Провести експериментальні дослідження формування геометричних параметрів поверхневого шару.
4. Розробка алгоритму вибору раціональних параметрів технологічного процесу обробки СКЗ плоских деталей.

					КРМ.133ГМмд_24.23.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. Розробити комплекс заходів, що дозволяють понизити шум на робочому місці оператора до нормативних значень.

Об'єктом дослідження є технологічний процес обробки стержнево-кулькового зміцнення плоских поверхонь деталей.

Предметом дослідження є розробка закономірностей формування основних показників якості поверхні деталі, що впливають на їх експлуатаційні властивості при обробці плоских деталей СКЗ.

Теоретичною базою досліджень є теоретичні основи промислової акустики, технології машинобудування, теорія обробки деталей поверхнево-пластичною деформацією.

Емпірична база досліджень заснована на сучасних методах досліджень процесів формування шуму і вібрацій, параметрів якості поверхні оброблених деталей при стержнево-кульковому зміцненні.

Теоретична значущість роботи полягає в створенні теоретичної моделі формування шумових характеристик і показників якості поверхневого шару, на основі яких розроблена методика забезпечення акустичної безпеки при забезпеченні досягнення заданих параметрів якості оброблених деталей.

Практична значущість роботи. Сформульовані основні залежності формування геометричних і фізико-механічних параметрів поверхневого шару оброблюваних деталей. Розроблені алгоритми проведення розрахунків при технологічному проектуванні процесу формування шуму при стержнево-кульковому зміцненні плоских деталей.

					КРМ.133ГМмд_24.23.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Аналіз методів ППД при місцевому зміцненні деталей машин

Важливим питанням є також зменшення розмірів і маси виробу шляхом застосування нових матеріалів, прогресивних конструкцій, а також сучасних технологічних процесів поліпшення експлуатаційних характеристик оброблюваних деталей [1-5].

Тривалість життєвого циклу виробів машинобудування багато в чому залежить від наявності конструктивних концентраторів напружень (отвори, канавки, галтелі, пази). Наявність таких елементів може зменшити втомну довговічність деталі в 2-4 рази [6-7]. зменшення втомної міцності і довговічності можна оцінити за допомогою коефіцієнта концентрації напружень, який визначається відношенням фактичного ресурсу гладкої ділянки поверхні деталі і фактичного ресурсу поверхні з концентратором напружень. Чим менше значення цього коефіцієнта, тим більше повно використовуються високі фізико-механічні властивості матеріалу деталі і забезпечуються однакові експлуатаційні характеристики різних ділянок поверхні деталі, що випробовує циклічні навантаження. Вищесказане пояснює широке поширення методів поверхнево-пластичної деформації (ППД) при фінішній обробці деталі [8-11]. У вказаній літературі наводяться дані, що шляхом місцевого зміцнення зони в області отворів, галтелей і інших подібних елементів можна зменшити значення коефіцієнта концентрації напружень в 2-5 разів, а для деяких деталей забезпечити рівну довговічність їх ділянок різної конструкції.

У механоскладальному виробництві часто зустрічаються випадки, коли після обробки ППД поверхонь збираних деталей необхідно виробляти їх пригін на складальних операціях. Це призводить до необхідності видалення зміцненого шару і до відповідного зниження довговічності оброблених деталей внаслідок виникнення нових концентраторів напружень.

Найбільш широко поширені процеси поверхневого зміцнення (вібраційна обробка, відцентрово-ротаційна обробка, гідро- і пневмодробоструминна обробка)

					КРМ.133ГМмд_24.23.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

використовуються зазвичай для обробки усієї поверхні деталі. При цьому життєвий цикл зміцнених деталей безпосередньо залежить від наявності ділянок з концентраторами напружень. Тому відповідальні деталі складної форми після обробки ППД як по усій поверхні, так і по ділянках, що мають концентратори напружень можуть мати приблизно однакові експлуатаційні властивості. Використання способів ППД, що призводять до зміцнення усіх поверхонь деталі значно збільшує трудові і матеріальні витрати в порівнянні із способами місцевого зміцнення, особливо при обробці деталей великих розмірів. Так, наприклад, для зміцнення поверхонь великогабаритних деталей використовуються дробоструминні і вібраційні установки потужністю 50-100 кВт, при цьому час обробки досягає декількох годин [12]. Особливо зростає ефективність застосування місцевого зміцнення поверхні деталі в умовах дослідного і ремонтного виробництва [13-15].

Застосування методів місцевого зміцнення ППД значно доповнює традиційні методи обробки. При цьому використовуються компактні пристрої, які дозволяють здійснювати обробку поверхні отворів, перехідних зон, зварних швів і тому подібне. Оскільки такі елементи зустрічаються на переважній більшості деталей машинобудівного виробництва, то вказані пристрої можуть застосовуватися в усіх галузях машинобудування.

В деяких випадках для підвищення експлуатаційних властивостей відповідальних деталей досить обробити тільки невеликі ділянки концентраторів напружень. При цьому ефективність зміцнення відповідатиме усій зоні розташування концентраторів. Очевидною є та обставина, що застосування місцевого зміцнення дозволяє вести обробку з більшою продуктивністю і меншою собівартістю. Малі розміри пристроїв для місцевої обробки ППД дозволяють здійснювати їх широке застосування в умовах ремонтного виробництва без розбирання конструкції і зняття відповідальних деталей.

Особливо ефективне місцеве зміцнення окремих ділянок в зоні дії конструктивних концентраторів напружень.

Використання методів місцевої обробки ППД дозволяє підвищувати

					КРМ.133ГМмд_24.23.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

експлуатаційні властивості деталей складної форми і великого діапазону розмірів, виготовлених з різних матеріалів. Методи місцевого зміцнення широко застосовуються для обробки деталей малої жорсткості типу стінок, панелей, різних профілів, широко використовуваних при виробництві літальних апаратів, устаткування енергетичної і хімічної промисловості.

Особливо широко застосовується місцеве зміцнення при обробці ділянок деталей, що містять концентратори напружень (отвори, галтелі, пази, різьбо, канавки). Важливе значення має можливість зміцнюючого доопрацювання місць кріплення деталей великих розмірів, що зміцнюються на вібраційному, дробоструминному і аналогічному устаткуванні, а також ділянок деталей, на яких видаляється зміцнений шар при шліфувальних роботах.

Звичайна зміцнююча обробка призводить до зміни шорсткості обробленої поверхні. деякі способи ППД дозволяють зменшити початкову шорсткість (наприклад, обкатка, розкочування), інші призводять до збільшення початкової шорсткості (наприклад, дробоструминна обробка), але при цьому формується профіль мікронерівностей, що має, як правило, поліпшені експлуатаційні властивості. При цьому важливе значення має явище технологічної спадковості.

Задані в кресленнях і технічних умовах значення шорсткості при зміцнюючій обробці можуть використовуватися як обмежувальні функції при виборі технологічних режимів [16-17].

Важливою позитивною властивістю місцевого зміцнення ППД є відсутність послаблень в місцях переходу зміцненого шару в незміцнений. Це значна перевага в порівнянні з деякими видами термічної обробки відповідальних деталей [18].

Доцільність застосування тих або інших методів обробки ППД визначається розмірами, фізико-механічними властивостями матеріалу деталей і відповідними допусками на них. Методи зміцнюючої обробки розрізняють по ряду класифікаційних ознак. Як такі можуть використовуватися величина і характер вживаних зусиль, схеми обробки, можливість використання технологічної рідини, динаміка і кінематика відповідних механізмів, вид і спосіб енергії (див. табл. 1.1),

					КРМ.133ГМмд_24.23.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

що підводиться.

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

Таблиця 1.2 – Класифікація динамічних методів поверхневого пластичного деформування

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

Продуктивність зміцнюючої обробки ППД визначається інтенсивністю пружно-пластичної деформації поверхні оброблюваних деталей [20-23]. В результаті обробки значно змінюються параметри якості поверхневого шару оброблених деталей як геометричні, так і фізико-механічні. Підвищується мікротвердість поверхневих шарів, створюється сприятливий розподіл

залишкової напружень (які на поверхні деталі є такими, що стискають), що призводить до підвищення зносостійкості, контактної жорсткості, втомної міцності та довговічності при циклічних навантаженнях. разом з цим відбувається дроблення і переорієнтація зерен, знижується доля залишкового аустеніту, що у свою чергу сприяє підвищенню експлуатаційних властивостей оброблених деталей.

Важливою перевагою використання обробки ППД є:

- відсутність перерізання волокон металу;
- утворення дрібнозернистої розорієнтованої структури поверхневого шару;
- відсутність шаржування обробленої поверхні частками абразиву;
- відсутність термічних дефектів.

Істотною особливістю обробки ППД є отримання сприятливої форми мікрорельєфу шорсткості поверхні з великими радіусами виступів і западин, збільшеною долею опорної поверхні поблизу вершин мікронерівностей, можливість створення регулярних і частково регулярних мікрорельєфів для розміщення технологічного мастильно-охолоджуючого середовища.

Відповідно до прийнятої класифікації усі методи ППД можна розділити на статичні і динамічні. При використанні статичних методів ППД зусилля дії індентора на поверхню деталі міняються трохи і плавно. До таких методів відносяться обкатування і розкочування роликми або кульками, дорнування, вигладжування. Суть обкатування і розкочування полягає в русі твердішого тіла-індентора (ролика або кульки) по менш твердому поверхневий шар оброблюваної деталі. Ці методи застосовуються для обробки деталей типу тіл обертання, плоских поверхонь, а також переходів, що мають форму галтелі. В результаті обробки шорсткість деталі знижується до $R_a=0,2-0,8$ мкм, підвищується мікротвердість обробленої поверхні. Для обробки використовуються пристрої різної конструкції з жорсткими або пружними зв'язками з приводом використовуюваного устаткування. При ввигладжуванні процес обробки здійснюється за наявності тертя-ковзання між інструментом і оброблюваною

					КРМ.133ГМмд_24.23.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

поверхнею. Пристрої для випрасовування теж можуть мати жорсткі або пружні зв'язки з елементами устаткування.

При жорстких зв'язках глибина впровадження інструменту в оброблювану поверхню строго задається, при пружних зв'язках зазвичай формується постійна сила дії інструменту на оброблювану поверхню.

Обробці також піддаються деталі типу тіл обертання, або плоскі.

Процес дорнування використовується при обробці отворів. При цьому зовнішній розмір інструменту-дорну, що простягається, більше ніж розмір оброблюваного отвору. Дорнуванням можуть оброблятися як гладкі, так і фасонні отвори, наприклад шліцьові. Дорни можуть виконуватися як у вигляді однозубого, так і багатозубого інструменту.

При динамічних методах ППД зусилля дії різко міняються і носять, в основному, ударний характер. До таких методів відносяться віброударна обробка, пневмо- і гідродробоструминна обробка, обробка спеціальним інструментом.

Віброударна обробка здійснюється на спеціальних вібраційних верстатах. Оброблювані деталі і робочі середовища (металеві кулі) засипаються в контейнер, встановлений на пружних елементах і має привід коливань (частіше усього інерційно-дизбалансовий вібратор). В результаті обробки утворюється анізотропний специфічний мікрорельєф, відбувається зміцнення поверхневого шару. Обробці можуть піддаватися великогабаритні і довгомірні деталі з різних матеріалів, що мають складну конфігурацію.

Пневмо- і гідродробоструминна обробка здійснюється спрямованим потоком дробу при її зіткненні з оброблюваною поверхнею. Обробка може здійснюватися при великій енергії потоку, застосовуватися як для місцевого, як і для загального зміцнення. Пристрої для обробки дробом надзвичайно різноманітні і здійснюють обробку з різною інтенсивністю. При цьому шорсткість поверхні може як зменшуватися, так і збільшуватися залежно від енергії потоку дробу. Методи динамічної обробки ППД дозволяють обробляти деталі складній конфігурації, різних розмірів і набули широкого поширення в різних галузях промисловості.

					КРМ.133ГМмд_24.23.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2 Огляд робіт в області досліджень обробки стержнево-кульковим зміцнювачем

Широкі технологічні можливості обробки СКЗ викликали необхідність проведення досліджень впливу технологічних режимів на якість обробленої поверхні і забезпечення акустичної безпеки технологічного процесу.

Перші дослідження процесу стержнево-кулькового зміцнення були проведені у рамках наукової школи професора Бабичева А.П. У роботі Г. А. Прокопец розглянуті різні конструкції пристрою з різною формою пакету стержнів (круглою, прямокутною і шестигранною) [24]. Проведені дослідження технологічних можливостей пристрою при використанні різних режимів обробки, а також доведена можливість формування регулярних і частково-регулярних мікрорельєфів на поверхню оброблюваної деталі.

Отримані залежності для розрахунку величини енергії, що передається на оброблювану поверхню, з урахуванням ККД системи. При цьому рух робочих тіл розглядається незалежно від руху сталевих загартованих кульок [25].

У роботі Аксенова В. Н. [26] запропонований розрахунок основних конструктивних елементів стержнево-кулькового зміцнювача на основі детального опису динаміки роботи пристрою. При цьому при побудові моделі усі рухомі елементи конструкції окрім декількох шарів сталевих кульок розглядаються як нескінченно жорсткі, а передача ударно-хвильових імпульсів не враховує нелінійних ефектів, обумовлених періодичними коливаннями навантаження.

У роботі Холоденко Н. Г. [27] проведені детальні дослідження впливу форми фасонних поверхонь на якість обробки для пристрою з шестигранним пакетом стержнів. Визначені обмеження за формою і радіусам кривизни оброблюваних поверхонь з урахуванням кількості і розмірів стержнів. Отримані залежності, що враховують зв'язок параметрів якості обробленої поверхні з радіусом її кривизни і розмірами стержнів, а також жорсткість окремих елементів оброблюваних деталей. Вивчений зв'язок кількості шарів кульок з втратами

					КРМ.133ГМмд_24.23.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

енергії зіткнення при стержнево-кульковому зміцненні. Отримані емпіричні залежності для розрахунку параметрів шорсткості обробленої поверхні. Проведені комплексні дослідження технологічного процесу стержнево-кулькового зміцнення гребних гвинтів при їх виготовленні і ремонті.

У роботі Щерба Л.М. [28] проведені дослідження стержнево-кулькового зміцнення циліндричних деталей з використанням можливостей токарних верстатів. Запропонована модель формування шорсткості обробленої поверхні з урахуванням режимів обробки і фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу. Вивчений процес формування зміцнення поверхневого шару оброблюваних деталей. Проте, моделювання формування профілю шорсткості проводиться з використанням дуже складної теоретично-ймовірної моделі, а при моделюванні формування зміцненого поверхневого шару не враховуються деякі його фізико-механічні параметри.

1.3 Аналіз процесу шумоутворення при обробці стержнево-кульковим зміцнювачем

У усіх роботах, присвячених дослідженню процесу стержнево-кулькового зміцнення відзначається, що процес обробки супроводжується сильним шумом, який в основному перевищує нормативні значення. У сучасному виробництві санітарні норми, що обмежують інтенсивність шуму і вібрацій постійно посилюються [29-32]. Це пов'язано з тим, що шум є постійно діючим чинником високої інтенсивності, що чинить вплив як на погіршення здоров'я що працюють, так і на зниження продуктивності праці, а у багатьох випадках і якість оброблюваних деталей. Тому зниження шуму є актуальним завданням для вирішення якої доводиться виробляти відповідні матеріальні витрати.

Особливо важлива боротьба з шумом при розробці нових технологій в сучасному виробництві. В результаті численних досліджень встановлено [33], що при СКЗ шум значно перевищує нормативні значення.

Перш ніж аналізувати шумоутворення при стержнево-кульковому

					КРМ.133ГМмд_24.23.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зміцненні, слід вивчити і узагальнити досвід дослідників, які займалися зниженням шуму металорізального устаткування, а також устаткування для проведення зміцнюючої обробки деталей. Так, наприклад, відомо, що шум машин для здійснення вібраційних технологій, використовуваних в машинобудуванні і будівництві, має механічне походження і викликається вигинистими або поршневими коливаннями різних поверхонь. Іншим характерним джерелом підвищеного шуму і вібрацій в широкому діапазоні частот є зіткнення окремих деталей при роботі машин [34].

У різних машинах виділені як джерела шуму і вібрацій зубчасті передачі, підшипникові вузли, силові приводи і тому подібне. Важливий вплив на інтенсивність шуму різних машин чинить конструкція базових деталей і захисних кожухів. При роботі вібраційних машин основний вплив на шумо випромінення чинять поршневі коливання.

Для боротьби з шумом технологічного устаткування використовуються численні способи звукоізоляції, а також поглинання коливань. Для вібропоглинання застосовуються покриття, які складаються з декількох шарів спеціальних пластин, які можуть наклеюватися на поверхню металевих деталей.

Для нанесення інших покриттів використовуються спеціальні мастики, що наносяться на поверхню деталей різними методами. Звукопоглинальні і вібропоглинаючі полімерні матеріали повинні мати спеціальні властивості, у тому числі достатньою жорсткістю, що робить неефективним використання гум і м'яких полімерних матеріалів.

Часто використовуються також армовані покриття, в яких м'які вібропоглинаючі пластини розташовані між металевими листами, що надають пристрою достатню жорсткість. Розроблені методи розрахунку багат шарових захисних покриттів, які забезпечують надійну збіжність з експериментальними даними в широкому діапазоні частот.

Розрахунок коефіцієнта втрат складальних конструкцій можна визначати за залежністю [25]:

					КРМ.133ГМмд_24.23.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^n \tau_i B_i}{\sum_{i=1}^n B_i}, \quad (1.1)$$

де B_i - жорсткість i -го елемента конструкції;

τ_i - коефіцієнт втрат.

Слід завжди прагнути до збільшення коефіцієнта втрат звукопоглинальних конструкцій, оскільки це призводить до значного збільшення їх ефективності, особливо при резонансних коливаннях. Збільшення коефіцієнта втрат, у свою чергу призводить до значного збільшення коливальної енергії в умовах широкосмугового збудження. Шумоізоляція може бути значно поліпшена при оптимізації розташування покриття і його товщини. Найефективніше розташовувати покриття в зонах, що мають найбільші вібрації, виробляючи розрахунок товщини покриття з урахуванням впливу співвідношення модулів пружності матеріалу покриття і металевих деталей на коефіцієнт втрат конструкції.

В деяких випадках збільшення жорсткості покриття досягається введенням проміжного шару між металевою деталлю і вібропоглинаючим шаром. Причому проміжний шар виконується з м'якого матеріалу, наприклад, пінопласту. Це дозволяє збільшити момент інерції вібропоглинаючого шару, що, у свою чергу, призводить до підвищення ефективності жорсткого шару шляхом збільшення втрат в нім коливальній енергії. Описаний спосіб дозволяє в деяких випадках збільшувати сумарний коефіцієнт втрат в 2-3 рази.

Найбільший розвиток питання "верстатної акустики" отримали в роботах професора А.Н. Чукарина [35]. В них розглядаються процеси шумоутворення металорізальних верстатів при різних видах обробки, а також їх основних вузлів. Розроблена методика інженерних розрахунків для прогнозування шуму і вібрацій устаткування на стадії проектування, що дозволяє оцінити вклад окремих вузлів в процеси шумоутворення і вибрати способи зниження рівнів шуму до санітарних норм. Розроблені різні пристрої і способи зниження шуму для різних вузлів

					КРМ.133ГМмд_24.23.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

токарних верстатів, а також для зони заготівля-різець.

Вказані моделі з успіхом застосовані для розрахунку шумоутворення при токарній обробці. Проте вони не можуть бути використані при розрахунку параметрів стержнево-кулькового зміцнення плоских деталей.

1.4 Мета і завдання досліджень

На підставі аналізу результатів досліджень процесів обробки ППД з використанням стержнево-кулькового зміцнення, приведених вище, а також досвіду досліджень аналогічних методів обробки і досвіду розробок в області зниження шуму і вібрацій при обробці деталей машин, можна сформулювати мету і завдання досліджень, проведення яких сприятиме широкому впровадженню сучасних високоефективних технологічних процесів обробки СКЗ в різних галузях промисловості.

Мета роботи полягає в дослідженні процесу формування фізико-механічних властивостей поверхневого шару оброблюваних деталей при стержнево-кульковому зміцненні плоских поверхонь.

Щоб досягти поставлену мету слід здійснити рішення завдань, представлених нижче:

Розробки теоретичні залежності, що описують зв'язок між продуктивності і якістю обробки стержнево-кулькового зміцнювача з основними технологічними параметрами процесу.

Провести експериментальні дослідження формування геометричних параметрів поверхневого шару.

Розробка алгоритму вибору раціональних параметрів технологічного процесу обробки СКЗ плоских деталей.

Розробити комплекс заходів, що дозволяють понизити шум на робочому місці оператора до нормативних значень.

					КРМ.133ГМмд_24.23.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Аналіз процесу взаємодії стержня зі сферичним заточуванням із оброблюваною поверхнею

Для розробки теоретичних залежностей, що описують зв'язок продуктивності і якості обробки стержнево-кулькового зміцнювача з основними технологічними параметрами процесу, представляється важливим аналіз процесу взаємодії одиничного індентора з оброблюваною поверхнею.

У розділі 3 представлені результати досліджень процесу кулько-стрижневого зміцнення [3, 10-13], однак, слід зауважити, що при проведенні перерахованих вище досліджень враховувалися не всі технологічні параметри і конструктивні особливості процесу. Нам видається, що для опису процесу одиничної взаємодії індентора з оброблюваною поверхнею при обробці стержнево-кулькового зміцнювача необхідно враховувати:

- енергію удару бойка пневмомолотка E_y ;
- кількість стержнів в пакеті M ;
- радіус (діаметр) сферичної заточки індентора R (D);
- коефіцієнт корисної дії пристрою, на який впливає натяг при обробці;
- фізико-механічні властивості матеріалу оброблюваної деталі.

Процес динамічного впливу сферичного індентора на оброблювану поверхню при динамічних методах найбільш повно досліджений в роботах І.В. Кудрявцева [30, 36]. Ним отримані залежності для розрахунку наступних величин:

діаметр пластичного відбитка

$$d = \sqrt[4]{\frac{D \cdot E_y}{0,1HD}}, \quad (2.1)$$

глибина пластичного відбитка

$$h = \frac{d^2}{4D}, \quad (2.2)$$

									Арх.
Змн.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата	КРМ.133ГМмд_24.23.000 ПЗ				

де E_y - енергія удару індентора;

HD - динамічна твердість матеріалу деталі, що має на увазі відношення енергії удару сферичного індентора до обсягу витісненого матеріалу при ударі.

Згідно [16] динамічну твердість можна визначити з співвідношення:

$$HB = 0,2HD^{0,89}, \quad (2.3)$$

де HB - твердість матеріалу за Брінелем.

Отже, можна записати

$$HD = 6,1HB^{1,12}, \quad (2.4)$$

При стержнево-кульковому зміцненні енергію удару одиничного індентора можна представити у вигляді:

$$E_u = \frac{E_y}{M} \cdot \eta, \quad (2.5)$$

де η - коефіцієнт корисної дії пристрою, що залежить ряду факторів (натяг при обробці, кількість шарів кульок) [33, 34].

З урахуванням (2.3) можна записати, що

$$d = \sqrt[4]{\frac{D \cdot E_y \cdot \eta}{M \cdot HB^{1,12}}}, \quad (2.6)$$

Враховуючи (2.2) можна записати:

$$h = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{E_y \cdot \eta}{M \cdot D \cdot HB^{1,12}}}, \quad (2.7)$$

Аналіз залежностей (2.5) і (2.6) показує, що діаметр відбитка одиничного індентора збільшується зі зростанням діаметра його заточування, проте глибина відбитка при цьому зменшується.

2.2 Розрахунок параметрів усталеної шорсткості

Як зазначалося вище, при стержнево-кульковому зміцненні можуть формуватися як регулярні, так і випадкові мікрорельєфу. При цьому висотні параметри шорсткості можуть отримати постійне (усталене) значення, яке не

					КРМ.133ГМмд_24.23.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

змінюється при подальшому опрацюванні в перебігу певного часу. І тільки значне перевищення оптимального часу обробки може призвести до пере наклепу та руйнування поверхневого шару.

Особливості формування регулярних мікрорельєфів вивчалися в роботах [3, 30]. Процес формування випадкового мікрорельєфу вивчений недостатньо повно.

Формування шорсткості при стержнево-кульковому зміцненні відбувається при багаторазовому переформування локальних мікрооб'ємів металу поверхневого шару в результаті перетину слідів одиничних ударів, що залишаються при проходженні інструменту по ділянці поверхні.

У початковий період індентором будуть деформувати виступи мікронерівностей. При цьому буде відбуватися підйом металу в западинах мікронерівностей. В процесі обробки з часом настає повне пере деформування профілю вихідної шорсткості.

На поверхні деталі формується новий специфічний для стержнево-кулькового зміцнення мікрорельєф, який має ізотропні властивості в усіх напрямках.

Параметри усталеною шорсткості при цьому не залежать від вихідної, а визначаються тільки режимами обробки і конструктивними параметрами пристрою. Щоб отримати подальше зменшення параметрів шорсткості обробленої поверхні необхідно провести відповідну зміну або режимів обробки, або параметрів застосовуваних індентора (кількість і радіус заточування).

Розробка теоретичної моделі з урахуванням фізико-технологічних закономірностей процесу стержнево-кулькового зміцнення дозволить отримати адекватні теоретичні залежності та намітити шляхи вибору раціональних, а в деяких випадках, оптимальних режимів і конструктивних параметрів пристрою [21]. Слід враховувати обставину, що через нормальне перетин профілю в одиницю часу проходить певну кількість індентров, які формують його шорсткість. Цим індентором умовно утворюють елементарний формоутворювальний профіль при стержнево-кульковому зміцненні. За більш тривалий час обробки такі профілі випадковим чином накладаються один на

					КРМ.133ГМмд_24.23.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

одного, формуючи на поверхні деталі ефективні деформують профілі інструменту. Параметри цього профілю будуть залежати від максимальної глибини впровадження індентора h_{\max} , кількості індентров на одиниці довжини і фізико-механічних властивостей матеріалу оброблюваної поверхні.

Вид ефективного деформуючого профілю залежить від глибини і форми відбитків, що залишаються стрижнями на поверхні деталі і подачі пристрої S . Для плоских і близьких до них поверхонь деталі такий профіль буде мати вигляд, представлений на рис. 2.1.

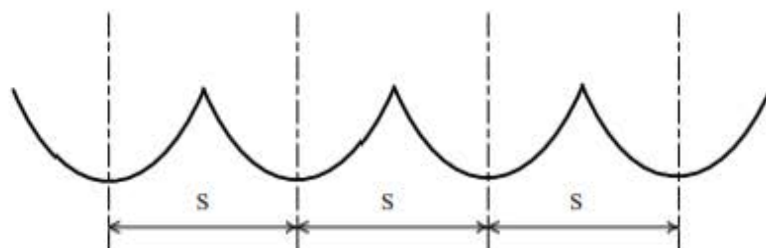


Рисунок 2.1 – Вид профілю шорсткості поверхні плоскої деталі після стержнево-кульковому зміцненні

Величина подачі S може варіюватися в певних межах, однак для отримання рівномірної обробки і виключення появи необроблених ділянок поверхні слід приймати величину подачі

$$S \approx 0,3D. \quad (2.8)$$

Представлений на рисунку 2.1 профіль шорсткості аналогічний профілю, що формується при токарній обробці різцем з радіусом при вершині R , що має подачу S_n .

Для опису висотних параметрів такого профілю скористаємося відомою формулою Чебишева П.П.

$$R_z = \frac{S_n^2}{8R}, \quad (2.9)$$

прийmemo враховуючи (2.1) і (2.8)

									Арх.
Змн.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата					

Параметр контакту h_s має істотне практичне значення, оскільки прямо або побічно характеризує механічний стан (зміцнення, запас пластичності, залишкову напруженість) локальної пластичної області при одиничному контакті або поверхневого шару деталі, які піддаються зміцненню.

Перша спроба розрахункового визначення h_s реалізована С.Т.Хейфецем [23], який запропонував наступну залежність:

$$h_s = \sqrt{\frac{P_k}{2\sigma_T}}, \quad (2.14)$$

де P_k - контактна навантаження;

σ_T - межа текучості матеріалу деталі.

Їм же запропонована і більш загальна залежність для випадку впровадження сферичного індентора в плоску плиту

$$h_c = \sqrt{\frac{P_k}{2\sigma_T} - 1,2\left(\frac{d}{2}\right)^2}, \quad (2.15)$$

враховує вплив розмірів контактної площадки на глибину h_s .

У той же час В.М. Браславський встановив, що глибина поширення пластичної деформації під відбитком істотно залежить від його форми самого відбитка.

В роботі [34] отримана проста і зручна для практичних розрахунків залежність:

$$h_S = K_\phi \sqrt{\frac{P_k}{2\sigma_T} - 1,42ab}, \quad (2.16)$$

де K_ϕ - коефіцієнт, який враховує вплив форми плями контакту;

a і b - півосі еліпса контакту.

Використання наведених вище формул, що визначають глибину h_s проникнення пластичної деформації, вимагає знання величини контактної навантаження P_k і межі текучості σ_T матеріалу деталі. Однак в ряді випадків, особливо при ударному навантаженні, визначення P_k і σ_T важко, через що

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КРМ.133ГМмд_24.23.000 ПЗ				

3 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Конструктивні особливості та технологічні можливості стержнево-кулькового зміцнювача

Одним з нових пристроїв, призначених для реалізації динамічних методів обробки поверхнево-пластичної деформації з можливістю місцевого зміцнення, являється стержнево-кулькове зміцнення (СКЗ). Це універсальний пристрій здатний здійснювати обробку не лише плоских поверхонь, але і поверхонь складної конфігурації з невеликими перепадами висот.

Пристосування приведені на рисунку 3.1 має силовий привід 1 і спеціальний оброблювальний інструмент з набором пакету круглих стержнів 2 закріплений за допомогою спеціального цангового затискача 6 в корпусі зміцнюючого пристрою. Сталеві кулі 4 розташовані між бойком і набором стержнів в корпусі зміцнювача дозволяють обробляти деталі лекальних форм за рахунок контакту кожного індентора із зміцнюючою поверхнею. Як силовий привід пристосування можуть бути використані як пневмо- так і електромолотки.

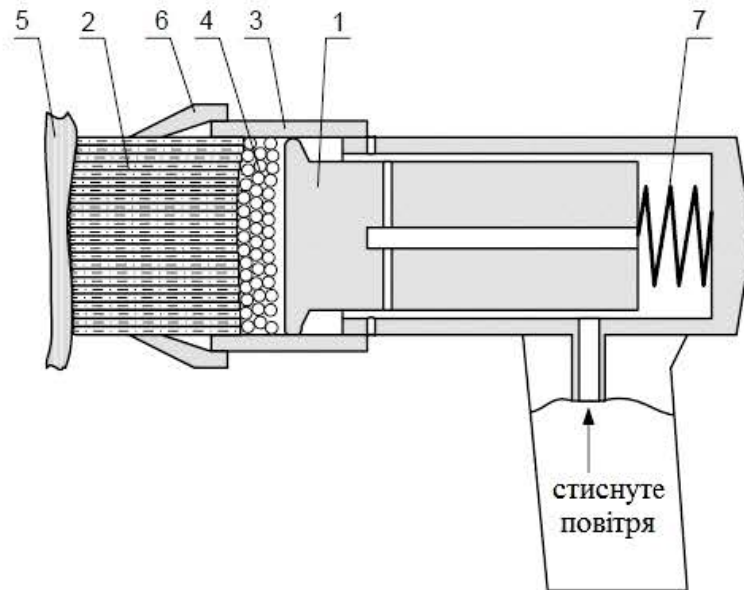
Круглі стержні, спираючись на поверхню оброблюваної деталі 5, може копіювати її форму, а енергія удару передається через шар сталевих куль до пакету стержнів без значних втрат. Пластичний відбиток формується за рахунок сферичного заточування інденторів.

Пристрій для стержнево-кулькового зміцнення, що має можливість обробляти фасонні поверхні з невеликим перепадом висот, був винайдений під керівництвом професора Бабичева А.П. в 1986 році [1].

Технологічні можливості пристрою поєднують переваги вібраційної обробки (обробка гнучким гранульованим середовищем) і значні зусилля зіткнення, характерні для карбування і дробоструминної обробки [15, 16].

Пристрій складається з робочого вузла - зміцнювача, що містить в собі набір елементів для здійснення обробки фасонних поверхонь і приводу, в якості якого використовується стандартний пневмомолоток (табл. 3.1), широко використаний на операціях клепки в умовах машинобудування.

					КРМ.133ГМмд_24.23.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



1 - ударник пневмомолотка; 2 - упаковка стержнів-інденгорів із сферичним заточуванням; 3 - корпус зміцнювача; 4 - сталеві кулі; 5 - оброблювана деталь, 6 - цанговий затискач; 7 - пружний елемент

Рисунок 3.1 – Схема пристрою стержнево-кулькового зміцнення

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики пневмомолотків

Найменування параметра інструменту	Одиниці виміру	Тип пневмомолотка				
		КПМ -14М	КПМ -24М	КПМ -34М	КПМ -42М	
Енергія одиничного удару	Дж	2,5	5	10	12,7	
Частота ударів	Гц	42	37	23	19	
Витрата стислого повітря	м ³ /хв	0,3	0,45	0,65	0,75	
Тиск стислого повітря	атм.	5				
Маса молотка (без насадки)	кг	1,3	1,6	2,3	3,3	
Габарити	довжина	мм	166	196	270	355
	ширина		41	46	52	68
	висота		140	146	145	140

Зміцнювач містить набір інденгорів, які є сталевими стержнями з сферичним заточуванням на одному з торців 2 встановлених в корпус 3 з

					КРМ.133ГМмд_24.23.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

використанням цангового затиску, містить декілька шарів загартованих сталевих кульок 4, на яких здійснюється ударно-хвильова дія за допомогою бойка 1.

Бойок, що приводиться в рух пневмомолотком, передає ударні імпульси через декілька шарів кульок торцю стержнів-інденторів, які своїми сферичними наконечниками роблять ударну дію на поверхню оброблюваної деталі.

Декілька шарів сталевих загартованих кульок забезпечують гнучкість обробки в певних межах шляхом створення можливості обгинання фасонної поверхні деталі пакетом стержнів із сферичними наконечниками. Завдяки цьому СКЗ застосовується при зміцненні як плоских, так і фасонних поверхонь з невеликим перепадом висот, створення сприятливої картини залишкового напруження в поверхневому шарі оброблених деталей, може використовуватися для усунення невеликих дефектів поверхонь типу каверн, а також для створення регулярного і частково-регулярного мікрорельєфу.

Основною метою створення СКЗ була можливість місцевого зміцнення ділянок поверхні деталі, що містить концентратори напружень, а також доопрацювання місць кріплення великогабаритних деталей пристрою для поверхнево-пластичного деформування. Надалі з'ясувалася можливість створення регулярних і частково-регулярних мікрорельєфів при закріпленні пристрою в різцетримачі токарних верстатів, або на шпинделі фрезерних верстатів, що дозволяють забезпечити необхідну швидкість подачі пристрою.

Проте, необхідно враховувати, що ударно-хвильова дія на поверхню оброблених деталей, викликає підвищене випромінювання шуму (особливо при обробці деталей малої жорсткості), що вимагає розробки заходів щодо усунення шкідливих умов праці на робочому місці оператора шляхом зниження шуму до нормативних значень.

3.2 Обладнання для проведення експериментальних досліджень

При проведенні експериментальних досліджень пристрій стержнево-кулькового зміцнювача закріплювався на шпинделі фрезерного верстата 6PM5 (рис. 3.2).

					КРМ.133ГМмд_24.23.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.2 – Закріплення пристрою на фрезерному верстаті

У даній роботі для проведення експериментальних досліджень в якості приводу використовувався пневмомолоток КПМ -14М (рис. 3.3).



Рисунок 3.3 – Загальний вигляд стержнево-кулькового зм'ягювача

3.3 Прилади та пристрої для проведення досліджень

Для проведення вимірювань величини технологічних факторів і параметрів якості обробленої поверхні використовувалися вимірювальні прилади і допоміжні пристрої, представлені нижче.

Вимірювання шорсткості здійснювалися портативним вимірювальним приладом моделі SURFTESTSJ-210 (рис. 3.4). Технічні характеристики

					КРМ.133ГМмд_24.23.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

профілометра SURFTESTSJ-210 представлені в табл. 3.2.



Рисунок 3.4 – Портативний профілометр моделі SURFTESTSJ-210

Таблиця 3.2 – Технічні характеристики профілометра моделі

Назва	Одиниця вимірювання	Значення
Детектор		
Метод детектування	-	Метод диференціальної індукції
Діапазон вимірювань	МКМ	360 (от -200 до +160)
Матеріал щупа	-	Алмаз
Радіус щупа	МКМ	5
Зусилля вимірювання	МН	4
Радіус кривизни платформи	ММ	40
Привід		
Діапазон переміщення	ММ	21
Швидкість поперечного переміщення під час вимірювання	ММ/с	0,25; 0,5; 0,75
Час повернення	ММ/с	1
Функція відведення детектора	-	Підйом щупа
Конфігурація нижньої частини	-	V-образний жолоб
Джерело живлення		
Мережевий адаптер		9В;
Номінальні параметри		1,3А
Напруга живлення		100В
Вбудований акумулятор		Макс. 4 год.
Час зарядки кількість вимірювань на одну зарядку		Прибл. 1000

Вимірювання величини параметрів мікротвердості поверхневого шару виконувалися за допомогою мікротвердоміра ПМТ-3 (рис. 3.5). Технічні

					КРМ.133ГМмд_24.23.000 ПЗ	Арх.
Змн.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата		

характеристики ПМТ-3 представлені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Технічні характеристики мікротвердоміра ПМТ-3

Назва	Одиниця вимірювання	Значення
Збільшення мікроскопа	-	130 і 487
Алмазна піраміда: кут при вершині вістря при вершині межі навантаження	мкм Гс	136° не більше 1 2-200
Межі вимірювання діагоналей відбитків (з об'єктивом F=6,2)	мм	0,005-0,25
Предметний столик: межі повороту	-	~ 0-180°
межі поздовжнього переміщення	мм	0-10
межі поперечного переміщення	мм	0-10
ціна ділення шкали мікрометричною Подачі	мм	0,01
Чинний відносний отвір колектора освітлювача	-	1:0,7
Живлення здійснюється через трансформатор від мережі змінного струму 127/220В		
Габаритні розміри: Мікротвердоміри в робочому положенні трансформатора	мм	410x290x200 145x110x70
Маса: Мікротвердоміру Трансформатора	кг	21,6 1,72



Рисунок 3.5 – Прилад ПМТ-3



Рис. 3.6 – Автоматизований стенд для контролю залишкових напружень

					КРМ.133ГМмд_24.23.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначення величини і знака залишкових напружень здійснювалося на автоматизованому стенді контролю залишкових напружень АСКОН-3, (рис. 3.6).

Дослідження процесу шумоутворення проводилися в верстатній лабораторії кафедри. Для визначення параметрів шуму та вібрації використовувалися прилади «Екофізика» і «Октава».

Випробування проводяться під час обробки стержнево-кульковим зміцненням і на холостому ході верстата. Рівні звукового тиску вимірюються за стандартною методикою в восьми точках на вимірювальній поверхні.

3.4 Зразки для проведення досліджень

При проведенні досліджень застосовувалися зразки з різних матеріалів, широко використовуваних в машинобудуванні і мають різні властивості, щоб оцінити універсальність отриманих теоретичних залежностей: алюмінієві сплави Д16, В95, а також сталі Ст3, 45.

На рис. 3.7, і 3.8 представлені зразки, які застосовуються для проведення експериментальних досліджень.

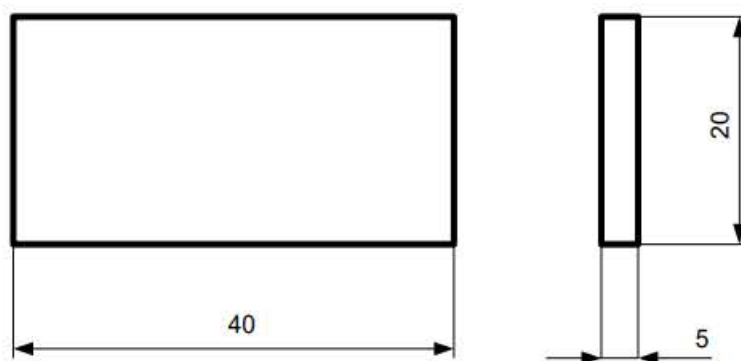


Рисунок 3.7 – Зразки для визначення шорсткості поверхні

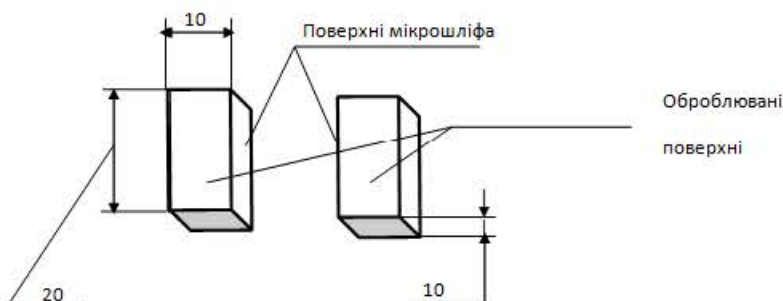


Рисунок 3.8 – Розміри зразків для дослідження мікротвердості.

					КРМ.133ГМмд_24.23.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.5 Дослідження параметрів шорсткості поверхні деталі при обробці СКЗ

Дослідження проводилися на фрезерному верстаті 6РМ5 як при ручній подачі, так і при використанні приводу подачі верстата.

Обробці піддавалися прості різновиди корпусних деталей, а також плоскі зразки розміром 200x100x20 мм.

Матеріал зразків - алюмінієві сплави Д16, В95, сталь 45, сталь 40ХНМА. Час обробки варіювалося від 10-60 с.

Для обробки використовувалися ШБУ з пакетом стрижнів в кількості 40 і 19 з радіусом заточування стрижнів - 4,5 і 2,5 мм. Для дослідження впливу натягу він варіювався від 1,5 і 4,5 мм.

Отримані на приладі SURFTESTSJ-210 профілограми піддавалися комп'ютерній обробці з метою отримання стандартних характеристик шорсткості поверхні, а також широко використовуються в наукових дослідження параметрів, таких як середній кут нахилу бічних сторін нерівностей профілю, радіус виступів і западин. Також визначалися значення нормованої кореляційної функції профілю.

Всі результати експериментів проходили статистичну обробку за стандартною методикою з побудовою довірчого інтервалу 95%.

3.6 Дослідження мікротвердості обробленої поверхні

Збільшення мікротвердості поверхні при динамічних методах обробки ППД в результаті пружно-пластичних деформацій призводить до значного підвищення експлуатаційних властивостей оброблених деталей. Вимірювання мікротвердості після стрижнево-кулькового зміцнення проводилися за стандартною методикою. Призматичні зразки 20x20x10 з різних матеріалів проходили попередню підготовку шляхом шліфування та полірування граней. Для забезпечення різноманітної структури оброблюваних сталевих зразків вони піддавалися різним

					КРМ.133ГМмд_24.23.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

видам термообробки.

Обробка зразків проводилася попарно в спеціальній оправці, що дозволяє з'єднувати торці зразків.

Дослідження мікротвердості проводилося на мікрошліф, протравленого 10% -им розчином азотної кислоти (HNO_3). Дослідження мікротвердості проводилися на приладі ПМТ-3 до і після обробки при навантаженні для сталевих зразків - 50 грам, для алюмінієвих зразків - 20 гр. Середнє значення діагоналі відбитка дозволяло визначити величину мікротвердості за спеціальними таблицями. Мікротвердість контролювалася на різній глибині зразка з кроком 25 мкм.

					КРМ.133ГМмд_24.23.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Експериментальна перевірка теоретичних залежностей впливу технологічних параметрів на шорсткість обробленої поверхні

Експериментальні дослідження проводилися при різних радіусах сферичного заточування стержнів і різній кількості стержнів в пакеті. Результати порівняння теоретичних значень і експериментальних даних представлені на рисунках 4.1.-4.3.

Матеріал зразків: 1 -Д16; 2 - В95; 3 - сталь 40Х

Рисунок 4.1 – Залежність шорсткості R_z обробленої поверхні від радіуса сферичного заточування R ($N = 19$, натяг - 4,5 мм)

Аналіз отриманих результатів дозволяє зробити висновок, що розбіжність теоретичних і експериментальних даних не перевищує 15%, і отримана теоретична залежність (3.9) може бути рекомендована для технологічного проектування при стержнево-кульковому зміцненні.

Рисунок 4.2 – Залежність шорсткості обробленої поверхні від радіуса сферичного заточування ($N = 40$, натяг - 4,5 мм)

					КРМ.133ГМд_24.23.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 - матеріал деталі - В95; 2 - матеріал деталі - сталь 45

Рисунок 4.3 – Залежність шорсткості обробленої поверхні від числа стержнів в насадці ($R = 2,5$ мм, натяг - 4,5 мм)

Проведено дослідження нестандартних параметрів шорсткості поверхні після обробки стержнем, які часто використовуються при визначенні експлуатаційних характеристик поверхні деталі. Встановлено, що збільшення радіусу сферичної заточування індентора призводить до збільшення середнього радіусу профілю западин обробленої поверхні на 15%. Це відповідає запропонованій нами гіпотезі про формування профілю усталеною шорсткості при стержнево-кульковому зміцненні.

Аналіз виду представлених кореляційних функцій показує, що випадковий профіль шорсткості після стержнево-кульковому зміцнення має значну характерну детерміновану складову.

Проведено дослідження опорних кривих профілю шорсткості поверхні деталі після стержнево-кульковому зміцнення. З графіка видно, що на початкових ділянках опорних кривих опорна довжина профілю знаходиться в межах 10-15%, що підтверджує гіпотезу про підвищення експлуатаційних властивостей оброблених деталей при стержнево-кульковому зміцненні.

4.2 Розподіл залишкових напружень в поверхневому шарі оброблених деталей

Проведено дослідження опорних кривих профілю шорсткості поверхні деталі після стержнево-кульковому зміцнення, результати яких представлені на рисунках 4.4-4.5. З графіка видно, що на початкових ділянках опорних кривих опорна довжина профілю знаходиться в межах 10-15%, що підтверджує гіпотезу про підвищення експлуатаційних властивостей оброблених деталей при

					КРМ.133ГМмд_24.23.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

стержнево-кульковому зміцненні.

Розподіл залишкових напружень в поверхневому шарі деталей машин роблять значний вплив на такі експлуатаційні властивості деталей машин, як зносостійкість, втомну міцність і довговічність.

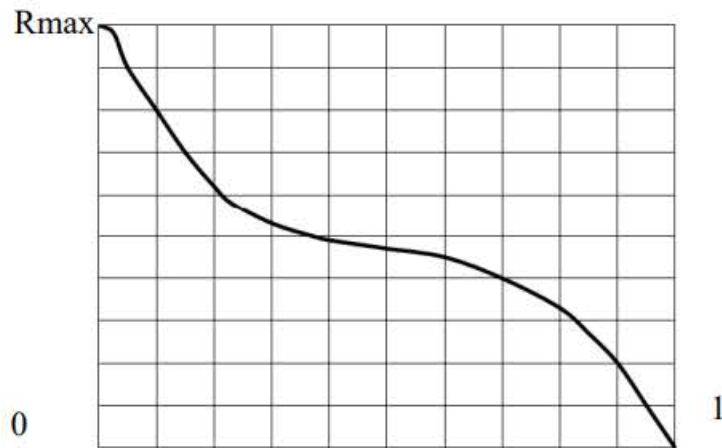


Рисунок 4.4 – Крива опорної поверхні зразка з В95 після обробки при натягу 1,5 мм

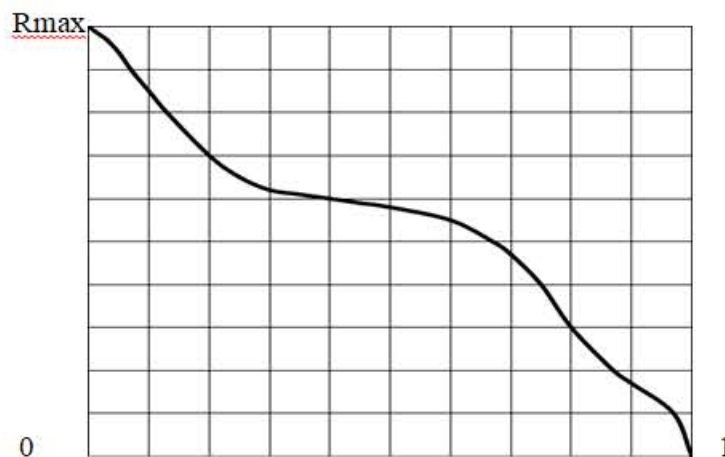


Рисунок 4.5 – Крива опорної поверхні зразка з В95 після обробки при натягу 4,5 мм

Формування залишкових напружень відбувається на всіх етапах обробки деталі з урахуванням технологічної спадковості. Величина і знак залишкових напружень в поверхневому шарі залежать не тільки від зусиль деформування, а й від температурних напружень, що вкрай ускладнює їх прогнозування і цілеспрямоване формування.

Теоретичний розрахунок величини і знака залишкових напружень успішно проводиться для дуже обмеженого числа методів обробки. У даній роботі проведено графіки експериментальних досліджень формування залишкових напружень в поверхневому шарі деталі при стержнево-кульковому зміцненні. Результати експериментальних досліджень представлені на рисунках 4.6-4.9.

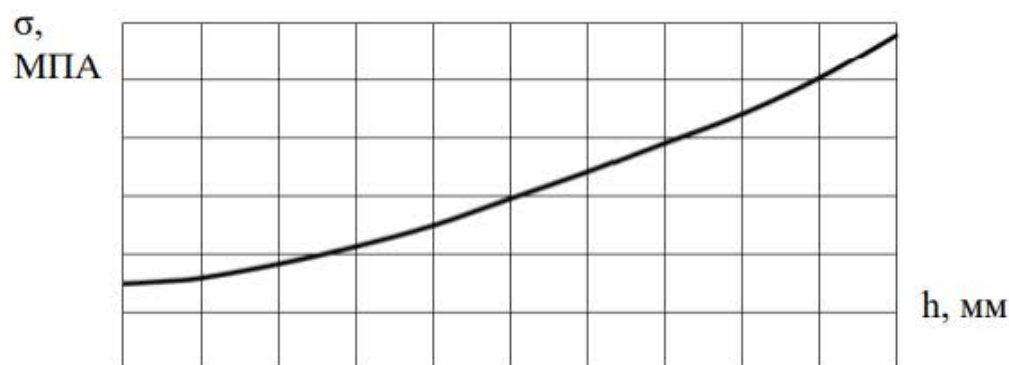


Рисунок 4.6 – Розподіл залишкових напружень в поверхневому шарі зразка після обробки, $R = 4$ мм, натяг - $4,5$ мм

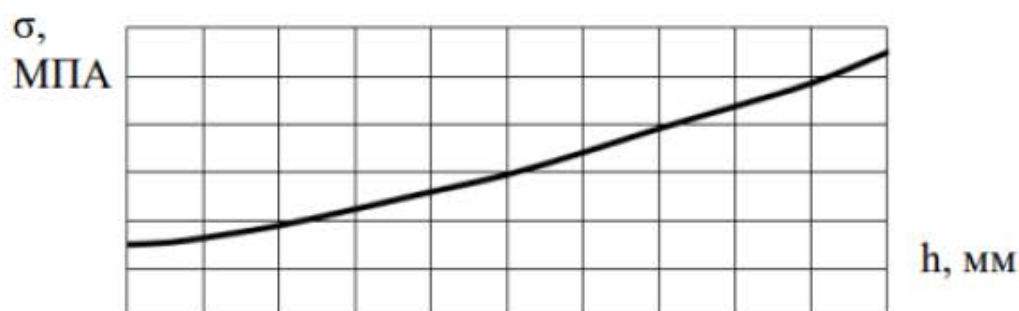


Рисунок 4.7 – Розподіл залишкових напружень в поверхневому шарі зразка після обробки, $R = 4$ мм, натяг - $1,5$ мм

вібраційна і відцентрова- ротаційна обробно-зміцнююча обробка.

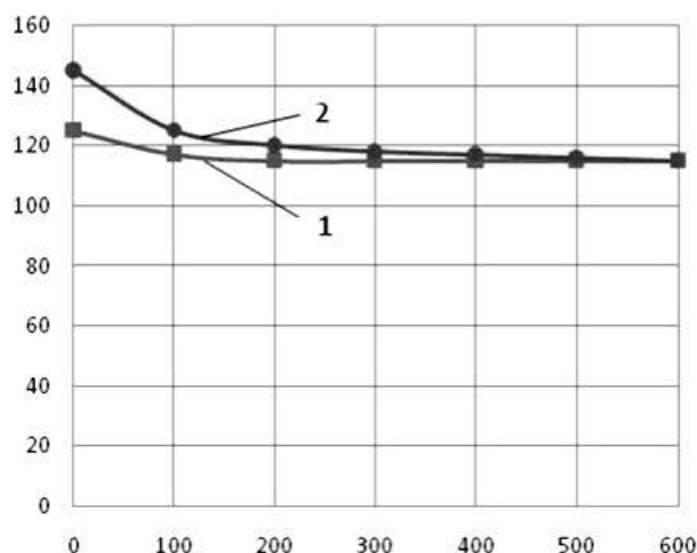
Таким чином можна прогнозувати значне збільшення експлуатаційних властивостей оброблених деталей.

4.3 Зміна мікротвердості поверхневого шару при обробці СКЗ

Відомо, що динамічні методи обробки дозволяють в певних межах збільшити мікротвердість поверхневого шару оброблених деталей. Підвищення мікротвердості сприяє підвищенню таких експлуатаційних властивостей деталей машин, як контактна жорсткість, зносостійкість.

Результати досліджень зміни мікротвердості при стержнево-кульковому зміцненні представлені на рисунку 4.10.

В результаті обробки мікротвердість на поверхні зразка підвищилася приблизно на 15%, що відповідає середній ступеня зміцнення при обробці динамічними методами ДМО і підтверджує адекватність теоретичних залежностей (3.18) і (3.19). Зазначені залежності можуть бути рекомендовані для проведення розрахунків при технологічному проектуванні процесу стержнево-кулькового зміцнення.



1 - до обробки; 2- після обробки

Рисунок 4.10 – Розподіл мікротвердості в поверхневому шарі зразків з Д16Т

					КРМ.133ГМмд_24.23.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.4 Дослідження глибини зміцненого шару і ступеня деформації при обробці СКЗ

Представлені параметри впливають на експлуатаційні властивості деталей машин, такі як зносостійкість, контактна жорсткість, межа витривалості, втомну довговічність.

Експериментальні дослідження глибини зміцненого шару і ступеня деформації при стержнево-кульковому зміцненні проводилися з метою підтвердження адекватності отриманих раніше теоретичних залежностей. Результати порівняння розрахунків за залежностями (3.18) і (3.19) представлені на рисунках 4.11-4.12.

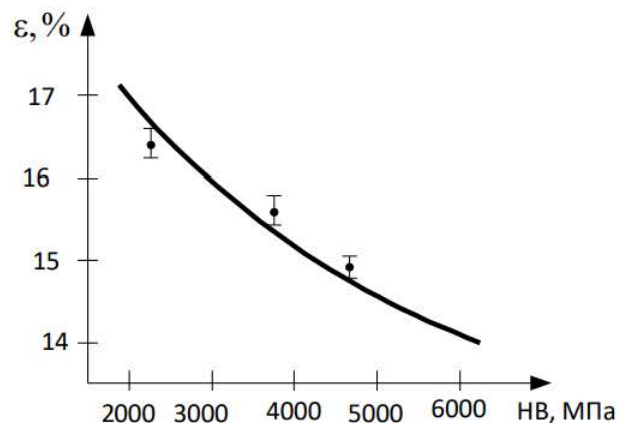


Рисунок 4.11 – Вплив твердості за Брінелем на ступінь деформації поверхневого шару: число стержнів $M = 40$, енергія удару $E_y = 2.5$ Дж, $\eta = 0,5$, діаметр заточування сфери - $D = 4$ мм

					КРМ.133ГМмд_24.23.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

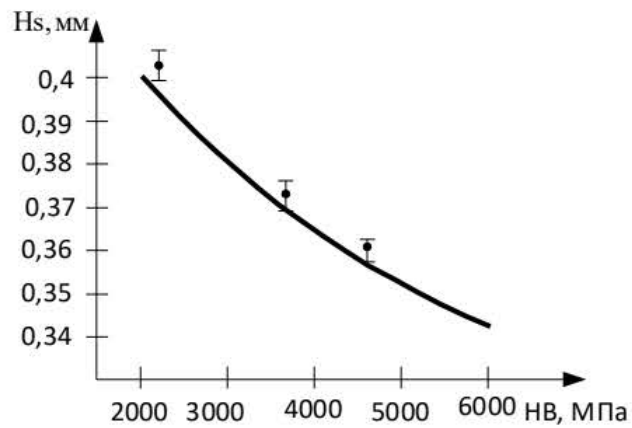


Рисунок 4.12 – Вплив твердості за Брінелем на глибину зміцненого шару: число стержнів $M = 40$, енергія удару $E_y = 2.5$ Дж, $\eta = 0,5$, діаметр заточування сфери - $D = 3$ мм

Аналізуючи представлені результати, можна зробити наступні висновки: отримані в результаті теоретичних досліджень залежності (2.18) і (2.19) дозволяють прогнозувати результати стержнево-кулькового зміцнення з достатньою для практики точністю 10-15% і можуть бути рекомендовані для технологічних розрахунків при обробці деталей.

					КРМ.133ГМмд_24.23.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ДОСЛІДЖЕНЬ

5.1 Розробка технологічних рекомендацій

Обробно-зміцнююча обробка деталей СКЗ при місцевому і загальному зміцненні може застосовуватися для складних, у тому числі плоских і коробчатих деталей, що мають невеликі перепади висот. Зміцнення здійснюється за рахунок нанесення безлічі динамічних ударів і утворення пластичних відбитків з певною величиною їх зміщення у напрямі подачі. Для забезпечення рівномірних фізико-механічних властивостей поверхневого шару величина подачі повинна забезпечувати зрушення інденторів в межах половини радіусу пластичного відбитку, тобто $S \leq 0,5d$.

В результаті обробки СКЗ створюється сприятлива для підвищення експлуатаційних властивостей шорсткість поверхні, зростає радіус западин мікронерівностей, відбувається збільшення відносної опорної поверхні шорсткості на початкових ділянках, формується ізотропія профілю шорсткості, зміцнюється поверхневий шар, в ньому створюється стискуючі залишкова напруження на глибині 0,9-1 мм. Отримані параметри якості поверхневого шару забезпечують значне збільшення експлуатаційних характеристик оброблених деталей, таких як довговічність при циклічних навантаженнях, контактна жорсткість і контактна втома, зносостійкість і тому подібне

Проектування технологічних процесів стержново-кульковому зміцненню як початковий етап передбачає вибір приводу - пневмомолотка по необхідній потужності. Для м'яких і середніх по твердості матеріалів рекомендується вибирати модель КПМ-14М, для твердих сталей - модель КПМ-24М.

Після цього здійснюється вибір кількості стержнів в пакеті пристрою. Для обробки невеликих ділянок рекомендується вибирати пакет стержнів з відносно невеликим їх числом (20-40), для обробки великих деталей число стержнів в пакеті слід збільшити до 70-90 штук.

Число шарів кульок залежить від перепадів висот оброблюваної ділянки або його форми.

					КРМ.133ГМмд_24.23.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Величину діаметру стержня слід вибрати в межах 3-4 мм. Діаметр заточування стержня і натяг визначаються механічними властивостями матеріалу оброблюваної деталі. Для твердіших матеріалів вибираються великі значення натягу обробки і менші радіуси заточування сфери.

Після вибору конструктивно-технологічних параметрів пристрою виробляється розрахунок результатів обробки (шорсткості обробленої поверхні, глибини і міри зміцнення). Шляхом порівняння результатів теоретичних розрахунків із заданими параметрами якості поверхневого шару виробляється відповідне коригування режимів обробки і розмірів стержнів.

Перевірочні розрахунки виробляються до тих пір, поки параметри поверхневого шару не знаходяться в допустимих межах. Рекомендований час обробки складає 10-15 секунд на площі пакету стержнів. При необхідності обробку планують в декілька проходів пристрої по оброблюваній поверхні, хоча бажано обмежуватися одним проходом.

З декількох можливих варіантів технологічних параметрів, що забезпечують задану якість поверхневого шару оброблюваних деталей, раціональним є такий, який забезпечує мінімальний час обробки.

Розроблені на підставі проведених досліджень рекомендації, використані для технологічного проектування стержнево-кульковому зміцнення деталей. Обробно-зміцнююча обробка корпусної деталі із сталі 40Х. Деталь обробляється в камері вібраційного верстата УВГ200 в закріпленому стані. Доопрацювання місць кріплення здійснюється за допомогою СКЗ.

Необхідно забезпечити шорсткість поверхні $R_z \leq 6$ мкм, глибину зміцнення шару $h_s \geq 0,4$ мм; ступінь зміцнення $\varepsilon \geq 15\%$.

Розглянемо декілька можливих варіантів технологічного процесу доопрацювання місць кріплення корпусу за допомогою СКЗ.

1. Для доопрацювання місць кріплення вибираємо модель пневмомолотка КПМ-14М. Вибираємо число стержнів в насадці $M=90$. Діаметр стержня вибираємо 3мм, діаметр заточування стержня вибираємо $D=4$ ($R=2$). Натяг

					КРМ.133ГМмд_24.23.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$R_z = 0,08 \sqrt{\frac{E_y \cdot \eta}{R \cdot M \cdot HB}} = 0,08 \sqrt{\frac{5 \cdot 0,5}{4 \cdot 10^{-3} \cdot 60 \cdot 200 \cdot 10 \cdot 10^6}} = 5,8 \text{ мкм}$$

Глибину зміцненого шару

$$h_s = 0,964 \sqrt{\frac{DE_y \eta}{M \cdot HB}} = 0,964 \sqrt{\frac{8 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 0,5}{60 \cdot 200 \cdot 10 \cdot 10^6}} = 0,61 \text{ мм}$$

Ступінь зміцнення

$$\varepsilon = 1,64 \sqrt{\frac{E_y \cdot \eta}{M \cdot HB \cdot D^3}} = 1,64 \sqrt{\frac{5 \cdot 0,5}{60 \cdot 200 \cdot 10 \cdot 10^6 \cdot (8 \cdot 10^{-3})^3}} = 12,8\%$$

Як видно з результатів розрахунків, заданим умовам зміцнення деталі відповідає перший варіант технологічного процесу обробки СКЗ.

Остаточню приймаємо модель пневмомолотка КПМ-14М, число стержнів в насадці $M=90$, діаметр стержня 3мм, діаметр заточування стержня $D=4$ ($R=2$), натяг обробки в межах 4-4,5 мм.

5.2 Екологічна експертиза

Екологічна безпека та надійність технологічного процесу [36] визначається двома критеріями: забезпечення необхідного рівня якості по контрольованому параметру і забезпечення стабільності його досягнення. В результаті проведення теоретичних досліджень процесу СКЗ як об'єкта управління, автором була описана аналітична модель процесу, встановлені його входні і вихідні параметри, що впливають на результати обробки, а отже і на безпечність даного технологічного процесу.

Технологічний процес СКЗ здійснюється в основному на фрезерному верстаті. В цьому випадку до фрезерної бабки за допомогою хомути кріпиться пристосування, при цьому шпиндель не обертається. При обробці зміцнювачем основний привід відключений, а працює тільки привід подачі який фактично і вносить вклад у формуванні звукового поля в робочій зоні оператора. В сучасних фрезерних верстатах в приводі подач переміщення столу реалізується кульковою

					КРМ.133ГМмд_24.23.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

гвинтовою парою, обертання якої проводиться від регульованого двигуна. Такий тип приводу характеризує себе низьким рівнем шуму.

Зміцнення методом СКЗ піддаються деталі, у яких довжина істотно більше розмірів поперечного перерізу (деталі типу балок прокату складної форми, прямокутного профілю, куточків швелерів, двотаврового профілю).

Для даних типів деталей в якості моделі джерела шуму прийнятий лінійний джерело, відповідно до [33] звуковий тиск якого можна визначити за формулою:

$$P = 9,5 \frac{v_k}{r} (f_k Fl)^{0,5}, \quad (5.1)$$

де v_k - швидкість коливань, м/с;

f_k - власні частоти коливань, Гц;

F - площа поверхні випромінюючої звук, м²;

l - довжина деталі, м;

r - відстань від джерела до розрахункової точки.

При СКЗ деталі встановлюються безпосередньо на стіл верстата або в пристроях. Тому власні частоти деталей типу балок визначаються як:

$$f_k = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\left(\frac{\pi\kappa}{l}\right)^4 \frac{EJ}{m_0} + \frac{j_{np}}{m_0}}, \quad (5.2)$$

де E - модуль пружності, Па;

J - момент інерції деталі, м⁴,

m_0 - розподілена маса, кг/м;

j_{np} - приведена жорсткість технологічної системи, Н/м;

κ - коефіцієнт, що визначає власні частоти коливань.

Для рівнів звукового тиску, створюваних зміцненими виробами типу балок, отримано такий вираз:

$$L = 20 \lg v_k + 10 \lg \left[\left(\frac{\pi\kappa}{l}\right)^4 \frac{EJ}{\rho} + \frac{j_{np}}{\rho} \right] \times F + 20 \lg \frac{l}{r} + 106, \quad (5.3)$$

де ρ - щільність матеріалу заготовки, кг/м³.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КРМ.133ГМмд_24.23.000 ПЗ				

Як видно з отриманої залежності інженерний розрахунок рівнів звукового тиску зводиться до визначення швидкості коливань виробу на власних частотах.

5.3 Охорона праці. Дослідження можливості зниження шуму при обробці СКЗ

Закономірності формування звукового поля в робочій зоні оператора при обробці СКЗ, встановлені теоретично і підтверджені експериментальними дослідженнями в виробничих умовах, визначили найбільш раціональні способи виконання гранично-допустимих рівнів звукового тиску [37].

Як устаткування для реалізації процесу СКЗ обраний універсальний фрезерний верстат 67К25. При обробці СКЗ привід головного руху не включається. Працює тільки привід подач, рівні шуму якого істотно нижче санітарних норм у всьому нормованому частотному діапазоні, і тому в даному розділі не наводяться.

Стрижнево-кульковий зміцнювач встановлюється на місце фрезерної головки. Деталь встановлюється на стіл верстата в лещата з пневматичним затискачем, довжина якого відповідає габаритам столу фрезерного верстата. Як вібропоглинаючий пристрій використовуються затискні губки, що представляють собою Г-образні пластини (для затиску торцевих поверхонь заготовки).

Губки виготовлені з пластмаси з високим значенням модуля пружності і ефективного коефіцієнта втрат коливальної енергії (наприклад, склопластик на основі поліефірної смоли, у якого $E = 2,1 \cdot 10^{10}$ Па і $q = 1,3 \cdot 10^{-2}$). Така конструкція забезпечує зниження шуму не тільки за рахунок підвищення величини ефективного коефіцієнта втрат коливальної енергії технологічної системи, але і в більшій мірі за рахунок звукоізоляції більшою за площею випромінюючої звук поверхні.

В цьому випадку зниження рівнів звукового тиску визначається наступним чином:

					КРМ.133ГМмд_24.23.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$h_3 = 10^{0,1L_p - 8,9 - \lg \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}}$$

5-а октава (f=500 Гц)

$$h_3 = 10^{0,1L_p - 8,9 - \lg \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}}$$

8-а октава (f=4000 Гц)

$$h_3 = 10^{0,1L_p - 9,1 - \lg \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}}$$

Висота екрану визначається за максимальними розрахованими значеннями. Крім забезпечення акустичної безпеки, екран захищає оператора від травматизму при поломки інструменту або заготовки. Цим пояснюється вибір полікарбонатного скла.

В результаті впровадження запропонованих рішень в робочій зоні оператора досягнуто виконання санітарних норм шуму (рис. 5.2)

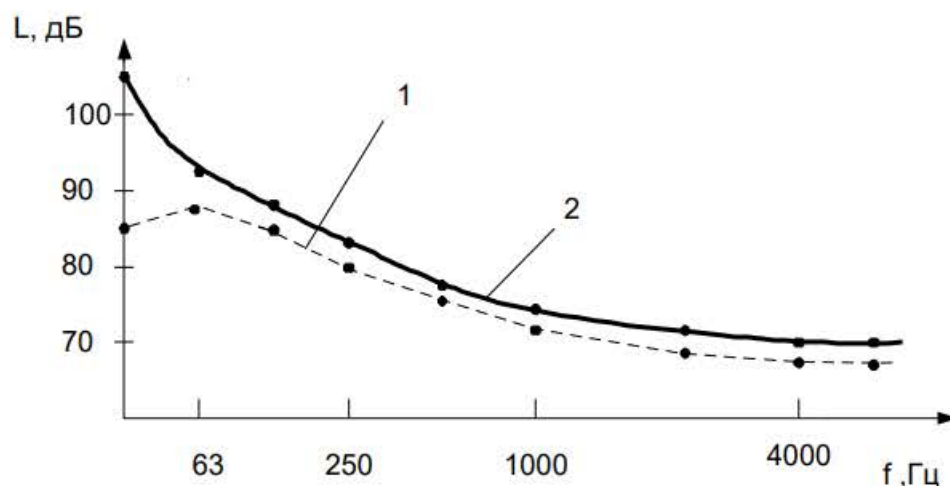


Рисунок 5.2 - Спектри шуму: 1 - шум при обробці з системою шумозахисту, 2 - граничний спектр

4.3 Техніко-економічне обґрунтування розробки

Економічна ефективність є головним критерієм доцільності створення і використання процесів і обладнання. Економічна ефективність в найбільш загальному вигляді оцінює переваги і недоліки розробки. Їх можна виразити

					КРМ.133ГМмд_24.23.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

наступними техніко-економічними показниками стрижнево-кулькового зміцнювача: продуктивністю обробки; надійністю роботи; універсальністю; ступенем автоматизації; споживанням енергії і матеріалів; вартістю ; займаної виробничою площею.

Оскільки пристрій має високу ступінь універсальності, про що буде сказано нижче, його штучна продуктивність визначається набором оброблюваних деталей-представників. Штучна продуктивність характеризується величиною [38]:

$$B = \frac{N \cdot n}{T}, \quad (5.10)$$

де $N = 194,2 \frac{P_a \cdot d^{0,67}}{m^{1,36} \cdot \rho^{0,2}}$ – максимально допустиму кількість деталей, що

припадає на один стержень;

n – кількість стержнів пристрою, шт.;

T – повний час циклу обробки партії деталей, годину.

Під терміном «надійність» мається на увазі властивість зміцнювача безперебійно випускати придатну продукцію. Оскільки довговічність окремих механізмів і деталей машин пов'язана головним чином з зносом рухомих сполук, розроблений зміцнювач можна вважати відносно надійною системою: рух маси завантаження забезпечується тільки стисненим повітрям, напрямок же роботи струменів виключає знос внутрішнього облицювання робочої камери.

Розроблений зміцнювач призначений для обробки широкої номенклатури різних деталей, тому може бути віднесений до верстатів загального призначення.

Ступінь автоматизації зміцнювача визначає, якою мірою обробка деталей здійснюється без участі оператора. Оцінка за цим показником може бути здійснена на основі відношення

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n t_a}{T}, \quad (5.11)$$

де t_a – час кожного з переходів, виконуваних автоматично;

T – повний час циклу обробки партії деталей.

					КРМ.133ГМмд_24.23.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Витрата стисненого повітря, необхідного для роботи зміцнювача в режимі обробки, може бути визначений за формулою [39]:

$$y_n = 4,68P_a \cdot d^2 \cdot n, \quad (5.12)$$

де P_a – тиск стисненого повітря, МПа;

d – діаметр сопла, мм;

n – кількість сопел, шт.

Витрата абразивного матеріалу визначається його зносом і необхідністю поповнення замість зношеного. Відповідно до досліджень, наведеними в розділі 3, максимальне зусилля, що виникає при взаємодії абразивного зерна з деталлю визначає залежністю

$$P = 1,8\pi \cdot r^2 \cdot \sigma_s, \quad (5.13)$$

де r – радіус заокруглення вершини абразивного зерна, мм;

σ_s – напруження, що відповідає текучості оброблюваного металу, кг/мм².

Оскільки зусилля, яке прикладається до деформованої поверхні, в тій же мірі діє і на абразивне зерно, його цілісність обумовлена гранично допустимим навантаженням. З огляду на те, що мікротвердість електрокорунду досягає 24,5 ГПа, а питоме зусилля, що виникає при деформації становить для вуглецевої сталі $\sigma_s = 392$ МПа

$$P_n = \frac{1,8\pi \cdot r^2 \cdot \sigma_s}{S_{\text{конт}}}, \quad (5.14)$$

де $S_{\text{конт}} = 2\pi r^2$ – площа контакту по на півсфері, мм²;

r – радіус вершини абразивного зерна, мм [49] $P_n = 352$ МПа.

Для вирішення даного завдання застосовуємо методику знаходження економічної ефективності [50] за формулою:

$$\mathcal{E}_{\text{нт}} = (Z_{\text{баз}} - Z_{\text{нт}})N_{\text{нт}}, \quad (5.15)$$

де $\mathcal{E}_{\text{нт}}$ – річний економічний ефект від застосування нової техніки;

$Z_{\text{баз}}$ – приведені витрати на зміцнення 1м² сталевій поверхні за допомогою базового варіанту;

					КРМ.133ГМд_24.23.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$Z_{нт}$ – приведені витрати на зміцнення 1 м^2 сталевій поверхні за допомогою нової техніки;

$N_{нт}$ – річна продуктивність пристрою при двозмінній роботі.

Відомо, що приведені витрати Z визначаються за формулою:

$$Z = C + e_n K, \quad (5.16)$$

де C – собівартість зміцнення 1 м^2 сталевій поверхні;

$e_n = 0,15$ – нормативний коефіцієнт ефективності;

K – капітальні вкладення на 1 м^2 зміцненої поверхні.

За даними Полтавського автоагрегатного заводу собівартість зміцнення сталевій поверхні по базовому варіанту і при дробеструменевому зміцненні приблизно рівні між собою і рівні

$$C_{баз} = C_{нт} = C = 102 \text{ грн./м}^2.$$

Модуль при годинній продуктивності $a_{нт} = 6\text{ м}^2/\text{год}$ дозволяє зміцнити за рік при двозмінній роботі і річному фонді робочого часу $T = 4006$ годин [10] площу

$$N_{нт} = a_{нт} T = 6 \cdot 4006 = 24036 \text{ м}^2/\text{год}. \quad (5.17)$$

Зміцнення за допомогою механізованого інструменту при $a_{баз} = 3\text{ м}^2/\text{год}$ за тих же умов дозволяє досягти річного об'єму

$$N_{баз} = a_{баз} T = 3 \cdot 4006 = 12018 \text{ м}^2/\text{год}. \quad (5.18)$$

Капітальні вкладення для базового варіанту складають $K_{о.баз} = 200000$ грн, а для модуля, де встановлений більш потужний повітряний компресор і апарат нагнітальної дії ємкістю 200л, будуть $K_{о.нт} = 240000$ грн.

Тоді капітальні вкладення на 1 м^2 зміцненої сталевій поверхні складають:

для базового варіанту

$$K_{баз} = \frac{K_{о.баз}}{N_{баз}} = \frac{200000}{12018} = 16,64 \text{ грн./м}^2 \quad (5.19)$$

для нової техніки

$$K_{нт} = \frac{K_{о.нт}}{N_{нт}} = \frac{240000}{24036} = 9,98 \text{ грн./м}^2 \quad (5.20)$$

Таким чином, приведені витрати для базового варіанту

					КРМ.133ГМмд_24.23.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$З = 102 + 0,15 \cdot 16,64 = 104,5 \text{ грн./м}^2$$

для нової техніки

$$З = 102 + 0,15 \cdot 9,98 = 103,5 \text{ грн./м}^2$$

Після підстановки набутих числових значень у формулу (5.15) знаходимо:

$$\mathcal{E}_{нт} = (104,5 - 103,5)24036 = 24036 \text{ грн./год.}$$

Отриманий економічний ефект дає окупність додаткових капіталовкладень

$$T_{ок} = \frac{K_{о.нт} - K_{о.баз}}{N_{нт}} = \frac{240000 - 200000}{24036} = 1,8 \text{ року}$$

що менше нормативного $T_{ок.норм} = 5 - 7$ років.

Трудомісткість виготовлення зміцнювача для абразивної обробки, при виготовленні його в навчальних майстернях, склала 80 нормо-годин. Для розрахунку економічної ефективності впровадження зміцнювача використовувалася галузева методика, прийнята на виробничому об'єднанні "АвтоКрАЗ". Економічний ефект в умовах середньо серійного-масового виробництва в результаті переведу одного різновиду деталей на автоматизовану обробку становить 20-28 тис. грн.

					КРМ.133ГМмд_24.23.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. На підставі результатів теоретичних і експериментальних досліджень розроблено теоретичну модель процесу формування шорсткості оброблюваної деталі з урахуванням конструктивних параметрів пристрою стержнево-кулькового зміцнення, технологічних режимів і фізико-механічних властивості матеріалу оброблюваних деталей.

2. Встановлено основні закономірності формування параметрів зміцнення поверхневого шару оброблюваних деталей.

3. Запропоновано методику проектування раціональних технологічних процесів обробки стержнево-кулькового зміцнення.

4. Розроблена методика зниження шуму і вібрацій до санітарних норм при обробці стержнево-кулькового зміцнення плоских поверхонь заготовок типу балок при забезпеченні заданих параметрів якості поверхневого шару.

5. Розроблено інженерну методику проектування пристроїв для активної і пасивної шумозахисту робочої зони оператора, що дозволяє забезпечувати зниження шуму до нормативних значень.

6. На базі отриманих моделей шумоутворення розроблена інженерна методика розрахунку спектрів звукового тиску при обробці СКЗ.

					КРМ.133ГМмд_24.23.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Список джерел посилання

1. Новіков Ф. В., Анділахай О. О. Основи струминно-абразивної обробки дрібних деталей: монографія. Харків : ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2014. 348 с.
2. Кильчевский, Н.А. Динамическое контактное сжатие твёрдых тел. Киев: Наук. думка, 1976. 314 с.
3. Горик О.В., Черняк Р.С., Чернявський А.М., Брикун О.М. Дробоструминне очищення. Теорія і практика. Полтава : Видавництво ПП «Астроя», 2021. 326 с.3
4. Дальский А.М. Механическая обработка металлов. Минск : Машиностроение, 1981. 264 с.
5. Бабичев, А.П. Вибрационная обработка деталей. Киев : Машиностроение, 1974. 134 с.
6. Горик А.В. Упругопластическая модель ударного взаимодействия твердой частицы с плоской металлической поверхностью. Бетон и железобетон в Украине. – Полтава, 2013. 1 (71). С.13-21.
7. Бардинова, С. Н. Исследование качества поверхностного слоя при дробеструйной обработке в ремонтном производстве: автореф. дис.... канд. техн. наук: 05.02.08. Рыбинск, 2013. 17 с.
8. Димов Ю.В. Управление качеством поверхностного слоя детали при обработке абразивными гранулами: Дис. д-ра техн.наук:05.02.08. Иркутск, 1987. - 543 с.
9. Анділахай А. А. Абразивная обработка деталей затопленными струями. Мариуполь : ПГТУ, 2006. 190 с.
10. Блюменштейн В. Ю. Механика технологического наследования как научная основа проектирования процессов упрочнения деталей машин поверхностным пластическим деформированием: Дис. ... докт. техн. наук: 05.02.08, 2002 595 с.
11. Проволоцький А. Є. Струменево-абразивна обробка деталей машин. Київ: Техніка, 1989. 177 с.

					КРМ.133ГМмд_24.23.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

12. Воронцов, А. Л. Теоретические основы обработки металлов в машиностроении. Старый Оскол : ТНТ, 2014. 522 с.
13. Горик О.В. Визначення оптимальних технологічних режимів дробеструменевого очищення металевих поверхонь. Полтава: ПДАА, 2012. 100 с.
14. Степанов Ю.С. Формирование качества поверхностного слоя деталей при резании сверхзвуковой струей жидкости. СТИН. - 2003. - №10. С. 15 -17.
15. Тамаркин М.А. Теоретические основы оптимизации процессов обработки деталей свободными абразивами. Дис. докт. техн. наук. Ростов-на-Дону, 1995 г.
16. Тамаркин М.А., Шевцов С.Н., Клименко А.А. Моделирование процесса единичного взаимодействия гранулы свободного абразива и обрабатываемой детали // Автоматизация и современные технологии. 2005. №5.
17. Терегулов Н.Г. Лазерные технологии на машиностроительном заводе. Уфа : КумАПП, 1993.252 с.
18. Arola D. Abrasive waterjet machining of titanium alloy / D. Arola, M. Ramulu Proc. 8th Amer. Water Jet Conf., Water Jet Techn. Ass., St. Louis. P. 389-408.
19. Arola D. Abrasive waterjet machining of titanium alloy [Text] / D. Arola, M. Ramulu // Proc. 8th Amer. Water Jet Conf., Water Jet Techn. Ass., St. Louis. P. 389-408.
20. Горик А.В. Механизм разрушения поверхностного слоя металлических изделий при дробеструйной очистке. Сб. докладов 6-й междуна-род. науч. конф. «Механика разрушения бетона, железобетона и других строительных материалов». Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2012. С. 17-22.
21. Chung Y. Prediction of geometry of the kerf created in the course of abrasive waterjet machining of materials / Y. Chung, E.S. Geskin, P. Singht // Jet Cutting Technol. 1992. P. 527 - 541.
22. Джонсон К. Механика контактного взаимодействия / Под ред. Р. В. Гольдштейна: Пер. с англ. Москва : Мир, 1989. 510 с.
23. Zeng J. The Machinability of Porous Materials by a High Pressure Abrasive Waterjet / J. Zeng // Proc. of the Winter Annual Meeting of ASME. 1989.P. 37-42.

					КРМ.133ГММд_24.23.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

24. Системы автоматизированного проектирования технологических процессов, приспособлений и режущих инструментов. Под общ. ред. С.Н. Корчака. Киев : Машиностроение, 1988. 352с.

25. Пляскин И.И. Оптимизация технических решений в машиностроении.- Москва :Машиностроение,1982. 176 с.

26. Пичко А.С. Струйно-абразивная обработка / Пичко А.С. Москва : НИИмаш, 1968. 56с.

27. Андилахай А. А. Анализ струйно-абразивных методов обработки поверхностей / Андилахай А. А. - Сборник научных трудов "Вестник НТУ "ХПИ": Технології в машинобудуванні. 2010. № 53. С. 4-10.

28. Кулаков Ю. М. Отделочно-зачистная обработка деталей / Ю. М. Кулаков, В. А. Хрульков. Минск : Машиностроение, 1979. 216 с.

29. Лазерная очистка в машиностроении и приборостроении / В.П. Вейко, В.Н. Смирнов, А.М. Чирков, Е.А. Шахно. СПб : НИУ ИТМО, 2013. 103 с.

30. Горик А.В. Временные параметры контакта атакующей дробинки с обрабатываемой поверхностью / А.В. Горик, Г.А. Шулянский, А.Н. Чернявский // Бетон и железобетон в Украине. Полтава, 2013. 4 (74). С.24-30

31. Карпов Я. С., Лепіхін П. П. Авіаційне матеріалознавство. Частина 1. Метали та сплави. Харків : ХАІ, 2004. 78 с.

32. Козлов Д. Ю. Бластинг. Гид по высокоэффективной абразивоструйной очистке. Екатеринбург : Оригами, 2007. 220 с.

33. Воронін С. Є. Про збільшення продуктивності дробоструминної камери всмоктувального типу : наукові журнали НТУ "ХПИ": *Інтегровані технології та енергозбереження*, 2007. № 2. С. 125-132.

34. Матлин М. М. Определение оптимальных скорости и диаметра дроби при упрочняющей дробеобработке стальных деталей. *Вестник машиностроения*, 2014. № 11. С. 62–64.

35. Исупов М. Г. Струйно-абразивная финишная обработка металлов. *Технология машиностроения*, 2003. № 2. С. 36-37.

36. Закон України « Про економічну експертизу » відомості Верховної Ради

					КРМ.133ГМмд_24.23.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

України (ВВР), 1995, №8, ст. 54.

37. Одарченко М.С., Степанов В.І. Основи охорони праці : підручник. Харків : Издат, 2017. 362 с.

38. Кулішов В. В. Економіка підприємства: теорія і практика: навч. посіб. Київ : Ніка-Центр, 2002. 216 с.

39. ДСТУ 4397:2005 «Сільськогосподарська техніка. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробовування».

					КРМ.133ГМмд_24.23.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		