

УДК: 621.318.3

DOI: 10.37128/2520-6168-2023-4-4

**АЛГОРИТМ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОІМПУЛЬСНОГО
ПРИСТРОЮ ДЛЯ ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ДЕФОРМАЦІЄЮ**

Паладійчук Юрій Богданович, к.н.т., доцент
Телятник Інна Анатоліївна, аспірантка
Вінницький національний аграрний університет

Yuri Paladiychuk, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Inna Telyatnik, Postgraduate Student
Vinnytsia National Agrarian University

У галузі машинобудування, для виготовлення заготовки або деталі машини, зазвичай використовуються різні методи і способи формоутворення. В цьому контексті виникає необхідність визначити принципи вибору та провести техніко-економічну оцінку різних можливих варіантів виготовлення. Зазвичай для вибору найоптимальнішого технологічного підходу до виробництва конкретної деталі порівнюють технологічну собівартість різних варіантів виготовлення.

Пластичне деформування має широкий спектр застосувань, який не обмежується лише відновленням форм і поверхонь. Воно також використовується для покращення фізико-механічних властивостей поверхні металу, підвищення ступеня шорсткості і підвищення стійкості до корозії.

Особливо часто пластичне деформування комбінують із методами напругування металу, такими як наплавлення, осталоування та інші, з метою підвищення межі міцності і, відповідно, збільшення тривалості служби деталей. Цей процес дозволяє значно підвищити надійність та довговічність виробів та конструкцій, які піддаються пластичному деформуванню та напругуванню металу.

У статті проведено дослідження, спрямоване на визначення закономірностей, що виникають при зміні робочих параметрів гідроімпульсного пристрою підвищеної швидкодії, призначеного для деформаційного зміцнення деталей. Досліджено вплив регулювання параметрів генератора імпульсів тиску на характеристики пристрою.

Перевірено, чи відповідають параметри вібронавантаження ударника, такі як амплітуди та частоти, заданим значенням. Проаналізовано закон зміни частоти проходження імпульсів тиску в напірній порожнині привода при зміні подачі. Оцінено можливості технічного обладнання гідроімпульсного пристрою для деформаційного зміцнення деталей. Вивчено сумісність гідроімпульсного пристрою з технологією деформаційного зміцнення деталей. Порівняно механічні характеристики об'єктів до та після обробки гідроімпульсним пристроєм. На основі отриманих результатів зроблено висновки.

Ключові слова: гідроімпульсний пристрій, зміцнення, деформація, деталі, сільськогосподарські машини.

Ф. 4. Рис. 3. Табл. 3. Літ. 10.

1. Постановка проблеми

Під час різних видів обробки металу, включаючи механічну обробку, завжди спостерігається певний ступінь пластичної деформації в поверхневому шарі деталі. Пластична деформація викликає деформаційне зміцнення, і ступінь цього зміцнення залежить від численних факторів, таких як параметри обробки, використаний інструмент, його стан і інші умови обробки [1, 2].

У випадку полікристалічних матеріалів, таких як метали і сплави, зерна матеріалу зазнають змін у формі і орієнтації під час деформації. Це призводить до утворення волокнистої структури з переважною орієнтацією кристалів в певному напрямку. Зерна матеріалу починають обертатися, приймаючи орієнтацію в напрямку максимальної міцності під впливом деформації. В цьому процесі зерна деформуються, сплющуються і витягуються в напрямках плину металу (рис. 1) [1, 2].

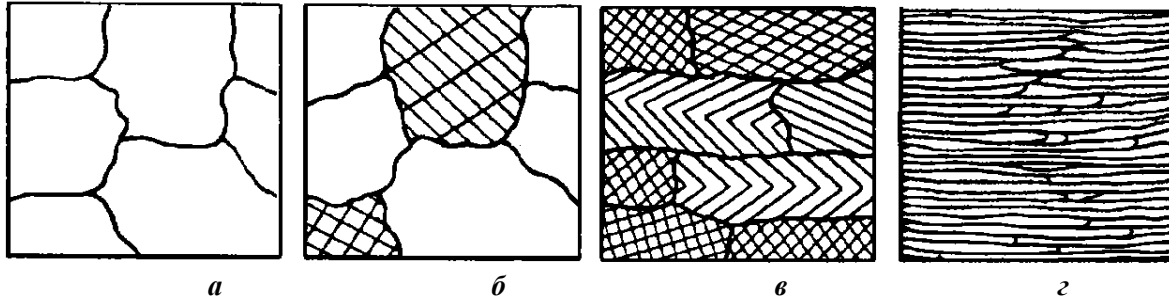


Рис. 1. Схема зміни мікроструктури полікристалічного металу при деформації:
а – вихідний стан, $\varepsilon=0\%$; б – $\varepsilon=1\%$; в – $\varepsilon=40\%$; г – $\varepsilon=80\ldots90\%$

Це переважне кристалічне орієнтування зерен вздовж напрямку деформації називається текстурою деформації металу. Формування текстури сприяє виникненню анізотропії властивостей матеріалу вздовж та поперек волокон.

Деякі властивості металів не змінюються залежно від ступеня їх деформації і можуть вважатися структурно нечутливими. Серед таких властивостей входять валентність, періоди гратки, температура плавлення, модуль пружності, інтенсивність намагнічування, теплоємність і деякі інші параметри. З цього випливає, що пластична деформація металу суттєво впливає на його структуру та властивості [1-4].

Відновлення деталей методом пластичного (залишкового) деформування засноване на властивості металу в результаті обробки тиском необоротно змінювати свою форму і розміри. В ході процесу відбувається об'ємне перерозподіл металу з неробочих поверхонь деталі до зношеним. Процес цей може виконуватися з нагріванням і без нього.

Пластичне деформування деталей при низьких температурах вимагає значних зовнішніх зусиль. Цей метод використовується переважно для відновлення деталей, виготовлених з кольорових металів і їх сплавів, а також сталевих деталей з вмістом вуглецю до 0,3%, які не були піддані термічній обробці [2-4].

Проте, коли деталі нагріваються до температури, близької до їх температури плавлення (приблизно 0,8-0,9 від температури плавлення), зусилля, необхідні для пластичного деформування, значно зменшуються, зазвичай в 12-15 разів, при цьому фізико-механічні властивості металу лишаються практично незмінними. Після пластичного деформування деталі можуть бути піддані термічній обробці, і, за необхідності, механічній обробці.

Для відновлення деталей в холодному стані застосовують методи, які дозволяють відновити низьковуглецеві сталі та кольорові метали. У цьому випадку структура матеріалу залишається незмінною, проте досягається підвищення твердості і зниження в'язкості.

У випадку відновлення деталей в гарячому стані, коли їх нагрівають до температури від 0,7 до 0,9 від температури плавлення, цей процес відноситься до середньовуглецевих і високовуглецевих сталей, а також легированих сталей. У цьому випадку прикладені зусилля значно зменшуються, але структура та механічні властивості матеріалу змінюються [2-4].

Цей метод ґрунтується на відновленні розмірів поверхонь деталей шляхом перерозподілу металу в їхньому обсязі. Для досягнення цього переміщення металу використовують спеціальні пристрої, такі як матриці, пуансони, оправки, і при цьому використовують зусилля, які перевищують межу текучості матеріалу.

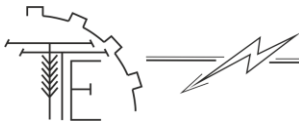
Один із методів для отримання потрібного профілю виробів, які знаходяться в твердих матеріалах, включає в себе процес видавлювання пуансоном.

Цей спосіб відновлення за допомогою пластичної деформації застосовується тільки до деталей, виготовлених з пластичних матеріалів, таких як сталь, мідь, алюміній, латунь [2-4].

Поверхневе пластичне деформування – це група методів обробки поверхонь, які здійснюються без видалення шару матеріалу і можуть бути застосовані при обробці різних типів поверхонь у всіх галузях виробництва.

Методи реалізації поверхневого пластичного деформування можна розділити на дві основні групи:

1. Способи, спрямовані на зменшення шорсткості поверхні та підвищення її зносостійкості.
2. Способи формування певних видів поверхні, такі як різь, шліці, зубчасті елементи і т. д.



До першої групи методів належать такі поширені способи, як обкочування і розкочування поверхонь за допомогою роликів та кульок, алмазне вигладжування, калібрування отворів за допомогою кульок та дорон, обдування поверхні абразивним матеріалом та інші.

Ці методи можуть бути виконані на різноманітних верстатах, таких як токарні, фрезерні, свердлильно-розточувальні, а також на спеціалізованих установках, наприклад, на шротоструменевих верстатах.

Всі ці методи забезпечують покращення характеристик поверхонь деталей та виготовлення певних геометричних форм з високою точністю і якістю.

Існують різні методи обробки деталей пластичним деформуванням, які можуть бути використані для їх відновлення [2-4].

- Осадка - зменшення висоти та збільшення зовнішнього діаметра суцільних деталей досягається шляхом скорочення їх внутрішніх отворів (застосовується при відновленні бронзових втулок, цапфи валів та ін.).

- Вдавлювання - відновлення фаски клапанів, бічних поверхонь шліців і ін..

- Роздача - усування зносу втулок по зовнішньому діаметру за рахунок збільшення внутрішнього діаметра (використовується при відновленні поршневих пальців, порожніх штанг штовхачів і ін.).

- Обтиснення – зменшення внутрішнього діаметру деталей за рахунок зменшення зовнішнього розміру (застосовується при відновленні бобишек, рульових сошок, різних важелів, тяг, ланок гусениць).

- Витяжка – відновлення довжини тяг, стрижнів (штанг) і інших деталей за рахунок місцевого звуження поперечного перерізу.

- Виправлення – відновлення лінійності поверхні та форми деталі без об'ємного перерозподілу металу.

- Правка - відновлення елементів металоконструкцій, вали, осі, тяги, шатуни, важелі, диски коліс і диски тертя і інші деталі, порушені внаслідок вигину, скручування, викривлення і ін.

Залежно від ступеня деформації, конструкції та матеріалу деталей, вони можуть бути виправлені з нагріванням або в холодному стані. Для довгих валів, які не потребують підігріву, можна використовувати токарний верстат з упором, що закріплений у супорті верстата, або преси. При використанні пресів, вали розміщують на призмах з прогином вгору і навантажують між упорами. В цьому процесі вал згинається у зворотний бік на величину, що перевищує стрілу прогину в 10-12 разів, і утримується під навантаженням протягом 15-20 хвилин [3,4].

Термічно оброблені деталі після холодної виправки, для зняття залишкових напружень, піддаються нагріванню до температури, яка трохи нижча за температуру кінцевої термічної обробки, яку вони пройшли під час виготовлення, та поступовому охолодженню.

Правку в гарячому стані, під нагріванням деталей до температури 600-650 °С, виконують за допомогою молота або ручного молотка. Термічно оброблені деталі після виправки з нагріванням повторно піддають термообробці [3].

Виправка місцевих поверхонь надає високу точність (до 0,02 мм на 1 м довжини вала). Результати виправки остаточно перевіряють через 20-25 годин.

Для відновлення нерухомих сполучень деяких деталей зі зносом, який не перевищує 0,25 мм, може бути використана електромеханічна обробка. Цей метод є різновидом пластичного деформування і включає в себе місцеве нагрівання поверхні деталі електричним струмом.

Для підвищення механічних властивостей деталей часто застосовується метод зміцнення при наклепі. Наприклад, обробка поверхні роликами, обробка струменем дробу, або ультразвукова обробка кульками можуть підвищити опір втомі. Навпаки, зниження пластичності металу при наклепі може поліпшити процеси різання в'язких пластичних матеріалів, таких як латунь і алюмінієві сплави [3,4].

Зокрема, обробка деталей двигунів кульками в ультразвукових ємностях може підвищити опір втомі на 15-25%, підвищити продуктивність на 10-15 разів та скоротити виробничі площі порівняно з іншими методами обробки.

Під час проведення поверхневого деформування і наслідуючого зміцнення поверхневих шарів в матеріалі спостерігаються кілька процесів, які сприяють покращенню фізико-механічних характеристик металу. Ці процеси включають структурні перетворення, подрібнення зерен та утворення залишкових напруг стиску в поверхневому шарі. Ці залишкові напруги виникають внаслідок



розвитку зсувів у кристалічній ґратці матеріалу. Спільні фактори цих явищ визначають експлуатаційні властивості деталей [3,4].

Крім цього, проведення поверхневого деформування призводить до покращення якості поверхні. Це виявляється у зменшенні висоти нерівностей поверхні, а також в їх більш плавній конфігурації. Цей аспект особливо важливий, наприклад, при обробці поверхонь пар тертя, де гладкі та рівні поверхні є ключовими для оптимального функціонування.

2. Аналіз останніх досліджень та публікацій

Поверхнeve пластичне деформування (ППД) спрямоване на підвищення міцності поверхневого шару виробу при цьому не відбувається утворення стружки [4].

Поверхнeve пластичне деформування базується на можливості поверхні металу абсорбувати деформацію, не пошкоджуючи його цілісності. Цей метод є одним з найпростіших і ефективних способів підвищення продуктивності та надійності деталей машин. В результаті поверхнево-пластичного деформування підвищуються твердість і міцність поверхні, формуються сприятливі залишкові стиснені напруження, зменшується шорсткість поверхні, збільшується радіус заокруглення вершин мікровиступів та інші важливі параметри.

Метод ППД використовується в усіх галузях виробництва. В результаті пружно-пластичної деформації та локального нагріву, що відбуваються під час обробки ППД, формується напружено-деформований та фізичний стан поверхневого шару. Поверхня, оброблена методами ППД, має підвищену твердість, сприятливий розподіл залишкових напружень стиску та гладеньку мікроструктуру [4-6].

Преваги ППД порівняно з іншими методами обробки поверхні:

- створення стискаючих залишкових напружень;
- відсутність термічних дефектів;
- підвищена якість поверхні;
- збереження вихідної форми деталі;
- підвищення зносостійкості і міцності;
- стійкість до корозії та інше.

Цей метод може використовуватися як для обробки всієї поверхні деталі, так і для локального зміцнення.

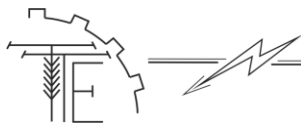
За допомогою обробки поверхні методами ППД та локального нагріву виникає напружено-деформований стан та фізичний стан поверхневого шару. Ця обробка змінює мікрогеометрію поверхні та фізико-механічні властивості обробленого шару деталей, призводячи до підвищення твердості, наявності залишкових напружень стиску в поверхневому шарі та згладження мікронерівностей. В результаті цього підвищується зносостійкість, втомна міцність, стійкість до корозійного впливу та інші характеристики деталей [5].

Проте важливо відзначити, що при однаковому рівні зміцнення, яке залежить від величини накопиченої пластичної деформації, величина використаного ресурсу пластичності в металі поверхневого шару буде різною. Це пояснюється тим, що величина використаного ресурсу пластичності залежить від умов, в яких відбувається поверхнева пластична деформація. На сьогоднішній день дослідники встановили, що якщо величина використаного ресурсу пластичності перевищує значення $\Psi \geq 0,5-0,6$, то при однаковому ступені зміцнення та однаковій шорсткості деталі, їх тривалість служби зменшується на 60%–80%.

Методи ППД в залежності від прикладених навантажень поділяється:

- Статичний – деформуючий інструмент або робоче середовище впливають на поверхню деталі з постійним зусиллям, переміщуючись плавно по всій оброблюваній поверхні.
- Динамічний – робоче середовище взаємодіє з поверхнею деталі багаторазовими зіткненнями, змінюючи силу зіткнень в кожному циклі.

У динамічних методах обробки сила притискання періодично змінюється під час обробки, і елементи, що виконують поверхневу пластичну обробку, можуть або бути в постійному контакті з оброблюваною поверхнею, або періодично впливати на неї з великою частотою. Такі методи включають в себе вібраційну ударну обробку, дробометальну обробку, ультразвукову обробку та інші. Комбіновані методи обробки, у свою чергу, поєднують методи поверхневого пластичного деформування з різними фізико-хімічними методами впливу на заготовку.



Одним із таких комбінованих методів зміцнення є поєднання методу електроіскрового легування (ЕІЛ) та ППД. Цей підхід відкриває можливість створення багатошарових зносостійких покриттів на робочих поверхнях деталей машин [5].

Електроіскрове легування, як електрофізичний метод обробки матеріалів, полягає в тому, що під час іскрового розряду в повітряному середовищі під впливом випрямленого пульсуючого струму відбувається переміщення матеріалу з електрода (анода) на деталь (катод). У процесі ЕІЛ на поверхні деталі формується зносостійкий зміцнений шар, в якому утворюються складні хімічні сполуки, високостійкі нітриди та карбонітриди, а також загартовані структури. Ці фактори сприяють підвищенню твердості та зносостійкості поверхні деталі.

Структура зміцненого шару схожа на структуру азотованого шару. Загалом, зміцнений шар має дві частини: верхній шар, який не піддається травленню, і нижній шар (підшар), що має дифузну структуру і поступово переходить у структуру основного металу.

Слід відзначити, що структура зміцненого шару неоднорідна і включає аустеніт, мартенсит, а також високодисперсні нітриди, карбонітриди і карбіди. Загальна глибина цього шару, включаючи верхній і дифузний шари, отриманих за допомогою методу ЕІЛ за допомогою більшості існуючих установок, зазвичай коливається від 0,02 до 0,25 мм [5,6].

Співвідношення глибин верхнього та нижнього шарів при ЕІЛ може варіюватися в залежності від типу електродів і режимів обробки, але в більшості випадків дифузний шар трохи товщий за верхній шар. У процесі ЕІЛ дифузійний процес, що відбувається в результаті електроіскрового легування сталі, має свої особливості. Внаслідок іскрового розряду дуже тонкий поверхневий шар прогрівається, тоді як решта деталі залишається майже в холодному стані, що уникає термічних напружень. Усі дифузійні процеси, які відбуваються при електроіскровому легуванні завдяки високій температурі розряду, розвиваються в поверхневому шарі електродів під час іскрового розряду, і вони мають дуже коротку тривалість – в долі секунди. В порівнянні з тривалістю хіміко-термічних обробок сталей, яка становить години, цей підхід відрізняється значною швидкістю. Дифузія в цих умовах дозволяє надійно з'єднати нанесені речовини з металом деталі, формуючи міцне з'єднання [5,6].

Таблиця 1

Найпоширеніші методи зміцнення поверхневого шару деталей [5].

Метод	Основні параметри	Характеристика
Обкатування кульками або роликками	Зусилля обкатування, подача інструменту, кількість проходів і припуск на обкатування	Метод використовує спеціальні кулькові або роликові накатки на токарно-гвинторізних верстатах. Він сприяє зниженню шорсткості поверхні, підвищенню мікротвердості поверхневого шару та формуванню залишкових напружень стиску.
Статично-імпульсне оброблення	Статичний підтиск інструменту до оброблюваної поверхні (дозволяє збільшити площу контакту з інструментом і зменшити спотворення переданого удару).	метод використовується для ударного карбування поверхневого шару і відрізняється способом підведення енергії до зони деформації.
Деформаційний наклеп	Включає дію таких факторів, як деформаційні сили і фазові перетворення	Метод виникає внаслідок зовнішніх деформаційних сил у матеріалі, і формується текстура та відбувається зміцнення поверхневого шару
Алмазне вигладжування	Абразивні алмазні інструменти для видалення нерівностей і полірування поверхні.	Сприяє підвищенню гладкості і зменшенню шорсткості поверхні.
Ультразвукове зміцнення	Ультразвукові хвилі	Використовуються для зміцнення поверхні, сприяючи формуванню сприятливої мікроструктури та зміцнених шарів в матеріалі.

Під час процесу обкатування спостерігається зміцнення верхнього шару металу, а також вирівнювання шорсткості і усунення поверхневих нерівностей і виступів. Крім того, утворюються залишкові напруження стиску. У результаті цього процесу на поверхні виникає шар металу, який має

властивості, відмінні від властивостей основного металу. Глибина цього шару, відома як глибина наклепу, залежить від параметрів обкочування, таких як режими обробки. Змінюючи ці параметри, можна досягти різних характеристик поверхні, таких як шорсткість, твердість і глибина наклепу, відповідно до вимог, які ставляться до готової деталі.

На сьогоднішній день було проведено численні дослідження з метою оптимізації процесу обкочування для досягнення необхідного зміцнення поверхневого шару металу деталі та інших характеристик поверхні [5-7]. Однак питання щодо оцінки величини використаного ресурсу пластичності в металі верхнього шару практично не досліджувалися.

Ці методи зміцнення поверхні застосовуються з метою підвищення міцності, твердості і опору втомленню деталей. Кожен з них має свої переваги і області застосування в залежності від конкретних потреб і вимог виробництва [5-7].

Структура деформаційного наклепу формується під впливом зовнішніх деформаційних сил, і вона визначається не лише зміною кристалічної ґратки, але і орієнтацією зерен, що визначає текстуру. Кристали, які спочатку мають випадкову орієнтацію, за дії деформації вирівнюються за напрямком дії сил. У випадку фазового наклепу, деформаційні сили генерують фазові перетворення, які призводять до утворення нових фаз з іншими об'ємними характеристиками.

Важливо відзначити, що наклеп є нестійким станом металу, де відбуваються процеси природного переходу до більш рівноважного стану. Зі збільшенням температури цей процес прискорюється. Перехід з деформованого стану до рівноважного металу включає дві стадії: спочатку проходить повернення, або відпочинок, що веде до часткової зміни властивостей металу, і потім рекристалізація, яка призводить до утворення нових рівноважних зерен і повного відновлення мікроструктури [6].

Наклеп спостерігається після використання різних методів оброблення металу тиском, таких як різання, обкочування, дробоструминна обробка, волочіння, вальцювання та інші. В результаті наклепу підвищуються границя текучості, твердість і міцність металу, але пластичність зменшується [6-8].

Визначення основних положень при експериментальному дослідженні.

Дослідження проводитимуться на різних металорізальних токарних верстатах з різними розмірами. Для цих експериментів був розроблений спеціальний стенд та використовується вимірювальна апаратура. Стенд дозволяє контролювати тиск, регулювати режими вібронавантаження ударного інструмента, а також фіксувати тиск у реальному часі.

Принципова гідрокінематична схема дослідного зразка гідроімпульсного пристрою підвищеної швидкодії для деформаційного зміцнення деталей з комплектом вимірювальної апаратури наведена на рис. 2.

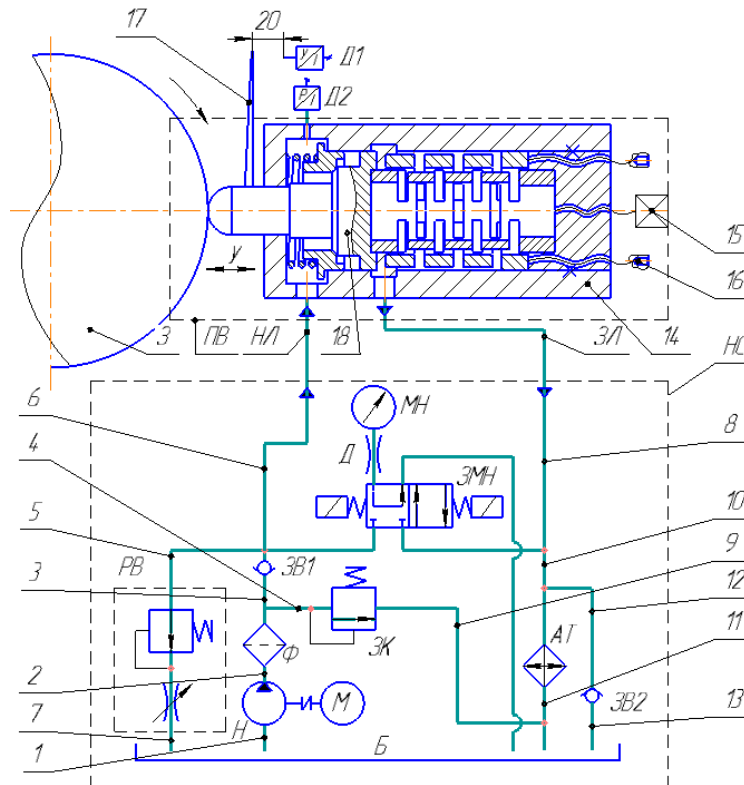
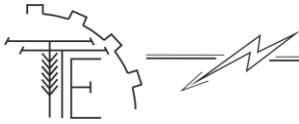


Рис. 2. Принципова гідрокінематична схема дослідного зразка гідроімпульсного пристрою підвищеної швидкодії для деформаційного зміцнення деталей



Стенд працює наступним чином: електродвигун через муфту приводить в рух насос який всмоктує рідину через гідролінію 1 з баку Б і через гідролінії 2, 3, 6, напірний фільтр Ф і зворотний клапан ЗВ1 подається в досліджуваний пристрій. Злив енергоносія здійснюється через гідролінії 8 і 10 далі через радіатор АТ і гідролінію 11 в бак Б. У разі перевищення допустимого тиску в гідролінії енергоносії через лінію 12, зворотний клапан ЗВ2 і гідролінію 13 зливається в бак минаючи радіатор АТ. Для регулювання тиску в напірній лінії встановлено запобіжний клапан ЗК з відповідними гідролініями 4 і 9. З метою фіксування миттєвого тиску в конструкції стенду передбачено манометр з гідророзподільником. Для забезпечення регулювання режимів вібронавантаження ударного інструмента передбачено регулятор витрати РВ з гідролініями 5 і 7.

Для проведення досліджень встановлюємо заготовку 3 у патрон верстата і закріплюємо гідроімпульсний пристрій підвищеної швидкодії для деформаційного зміцнення деталей ПВ у різцетримачі універсального токарного верстата. Під час експериментальних досліджень зміна технологічного зусилля здійснюється за допомогою регулятора 15 та 16.

Реєстрація параметрів режимів роботи дослідного зразка гідроімпульсного пристрою підвищеної швидкодії для деформаційного зміцнення деталей під час проведення експериментальних досліджень буде проводитись методом осцилографування за допомогою струмового давача переміщення Д1 та давача тиску Д2. Давач тиску Д2 увімкнений в напірну гідролінію НР. Давачем переміщення Д1, відповідно, фіксують переміщення поршня-ударника 18. Необхідною умовою вимірювання переміщень є забезпечення зазорів, між давачем Д1 та спеціальною планкою 17.

Гідронасос Н разом з приводним електродвигуном і гідроапаратурою та гідробаком Б установлюються на станину насосної станції НС.

Для підготовки гідроімпульсного привода дослідного зразка гідроімпульсного пристрою підвищеної швидкодії для деформаційного зміцнення деталей до експериментальних досліджень потрібно виконати наступні кроки [6-10].

1. Виміряти та відрегулювати попередню деформацію пружних елементів гідроімпульсного пристрою.
2. Установити і закріпити гідроімпульсний пристрій підвищеної швидкодії для деформаційного зміцнення деталей в різцетримачі верстата.
3. Розмістити комплекс вимірювально-реєструючої апаратури поруч з верстатом.
4. Монтаж давачів тиску та переміщення на гідроімпульсному пристрої.
5. Підключення давачів до комплексу вимірювально-реєструючої апаратури за допомогою кабелів.
6. Заземлення, налагодження та прогрівання вимірювально-реєструючої апаратури.
7. Перевірка функціонування систем привода, генератора імпульсів тиску (ГІТ) та апаратури на холостому ходу.
8. Налаштування підсилення сигналів від давачів відповідно до їх технічних характеристик.
9. Проведення пробних реєстрацій на різних режимах динамічних параметрів привода та ГІТ з метою вибору найбільш оптимальної часової розгортки осцилограм зміни тиску у відповідних порожнинах привода та переміщень.

Закономірність зміни частоти проходження імпульсів тиску в напірній порожнині привода буде визначена залежно від різних значень подачі (QH) гідронасоса привода та ступеня попередньої деформації пружин. Кількість необхідних вимірювань одного параметра на заданому режимі (n) визначатиметься за формулою:

$$n \geq (1 + P_d + 2n_{пп}) \cdot (1 - P_d)^{-1}, \quad (1)$$

де $n_{пп}$ – число явно недостовірних значень параметрів (грубі похибки), які не беруться до уваги; P_d – довірча ймовірність того, що похибка визначення параметра знаходиться в допустимих межах.

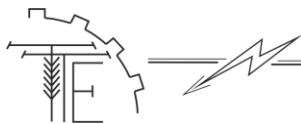
Для нормальної оцінки результуючої та випадкової похибок вимірювальної техніки: $P_d = 0,8 - 0,9$, тоді $n_{пп} = 0$ $n \geq [1 + (0,8...0,9)] \cdot [1 - (0,8...0,9)]^{-1} = 9...19$.

Випадкова похибка вимірювань розподіляється за законом близьким до нормального, що дозволяє для знаходження істинного значення вимірюваного за осцилограмою параметра та його середньої квадратичної похибки σ визначатиметься за формулою:

$$a \approx \bar{x} = n^{-1} \sum_{i=1}^n x_i; \quad (2)$$

$$\sigma \approx \sqrt{(n-1)^{-1} (x_i - \bar{x})^2}, \quad (3)$$

де x_i та \bar{x} – відповідно, виміряне та середньоарифметичне значення параметра.



Повна (результуюча) похибка визначення експериментального параметра складається із систематичних, інструментальних, методичних та випадкових похибок вимірювального ланцюга давач – вібровимірювальний блок – ПЕОМ – параметр.

Середньоквадратичне значення цієї похибки σ_{Σ} необхідно розрахувати так:

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\delta_D^2 + \delta_{II}^2 + \delta_B^2}, \quad (4)$$

де δ_D – похибка давача; δ_{II} – сумарна похибка ПЕОМ; δ_B – сумарна похибка вібровимірювального блоку.

3. Мета та завдання дослідження

Мета експериментального дослідження полягає у встановленні реальних закономірностей, що відбуваються при зміні робочих режимів гідроімпульсного пристрою підвищеної швидкодії, призначеного для деформаційного зміцнення деталей, під час регулювання параметрів спрацювання генератором імпульсів тиску.

Для досягнення поставленої мети потрібно розв'язати такі завдання:

- Перевірити, чи відповідають параметри вібронавантаження ударника (амплітуди та частоти) заданим значенням.
- Вивчити закон зміни частоти проходження імпульсів тиску в напірній порожнині привода при зміні подачі.
- Оцінити можливості технічного обладнання гідроімпульсного пристрою для деформаційного зміцнення деталей.
- З'ясувати, чи підходить гідроімпульсний пристрій для деформаційного зміцнення деталей з точки зору технології.
- Порівняти механічні характеристики об'єктів до та після обробки гідроімпульсним пристроєм.
- З врахуванням отриманої інформації, зробити висновки.

4. Виклад основного матеріалу

Під час проведення експериментальних досліджень гідроімпульсного привода гідроімпульсного пристрою підвищеної швидкодії для деформаційного зміцнення деталей, ми будемо здійснювати вимірювання таких параметрів [6-10].

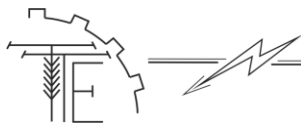
- Переміщення поршня-ударника.
- Тиск у напірній гідролінії гідросистеми привода.

Для цього ми будемо використовувати спеціалізоване обладнання та прилади, зокрема:

- Давач тиску ADZ-SML-10.
- Давач переміщення ИКВ-1-4-1.
- Вібровимірювальний блок.
- Манометр.
- Прилад для реєстрації параметрів (ПЕОМ).

Враховуючи результати теоретичних досліджень гідроімпульсного пристрою підвищеної швидкодії для деформаційного зміцнення деталей, було встановлено, що очікувана максимальна частота проходження імпульсів тиску та вібрацій ударного інструмента не перевищує 100 Гц. Тому метрологічні характеристики давачів тиску та переміщення повинні забезпечити можливість вимірювання в цьому частотному діапазоні.

З урахуванням технічних параметрів та конструктивних особливостей вивченого пристрою, ми обрали давач переміщення ИКВ-1-4-1 канал для вимірювання вібрацій, технічні характеристики якого наведені в таблиці 2.



Таблиця 2

Технічна характеристика давача ИКВ-1-4-1

Метрологічні параметри	Конструктивне виконання DS-2
Діапазон вимірювання переміщення, мм	0,5...5,5
Діапазон робочих частот, Гц	3...500
ІНТЕРФЕЙС	
Тип вихідного сигналу	„струменева петля”, 4...20мА
Діапазон живлючої напруги, В	10...24
КОНСТРУКТИВНІ ПАРАМЕТРИ	
Тип кріплення	шпилька
Габаритні розміри вібровимірювального блока, мм	300×260×75
Маса, вібровимірювального блока, кг	4,2
Ступінь захисту віброперетворювача вібровимірювального блока	IP 67 IP 65
ВИБУХОЗАХИСТ	
Вид	„іскробезпечні ланцюги ”
Маркировка вибухозахисту віброперетворювача вібровимірювального блока	1ExibIICT5 1ExibIICT6
Підключення віброперетворювача через бар'єр безпеки з параметрами I ₀ , мА, U ₀ , В	120 24

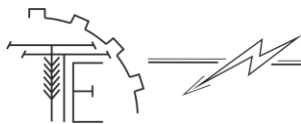
Для вимірювання тиску обраний давач ADZ-SML-10 технічні характеристики якого наведені в таблиця 3.

Таблиця 3

Технічна характеристика давача ADZ-SML-10 [8].

Параметри	Значення
Тип давача	Перетворювач тиску
Верхні границі вимірювань, МПа:	
— надмірного тиску	16
— розрідження	-1
— абсолютного тиску	16
— різниця тисків	2,5
Вихідний сигнал	0...20мА, 4...20мА
Діапазон живлючої напруги, В	12...32
Похибка при +25°C (від повної шкали)	±1,0%, ±0,5%, ±0,25%, ±0,1%,
Час реакції	<1,5 мс
З'єднувальний штуцер	M12×1,5
Механічні характеристики:	
— перевантаження	2-кратна до 25МПа
— тиск руйнування	мінімум 3-кратне
— допустиме ударне навантаження	IEC 68-2-32
— допустиме вібраційне навантаження	IEC 68-2-6 с 20g, IEC 68-2-36
— ступінь захисту	IP68
Довготривала нестабільність	±0,01% в рік
Тип тиску	абсолютний; надлишковий; різниця тисків

Під час експерименту з дослідження дослідного зразка гідроімпульсного пристрою підвищеної швидкодії для деформаційного зміцнення деталей, ми будемо вимірювати переміщення ударника 2



(рис.3) за допомогою давача переміщень 4, який буде закріплений на корпусі 1 пристрою за допомогою гвинтів 7.

Давач тиску 6 (рис. 3) буде встановлений в корпусі 1 дослідного зразка гідроімпульсного пристрою підвищеної швидкодії для деформаційного зміцнення деталей через отвір М14, який з'єднується з напірною порожниною.

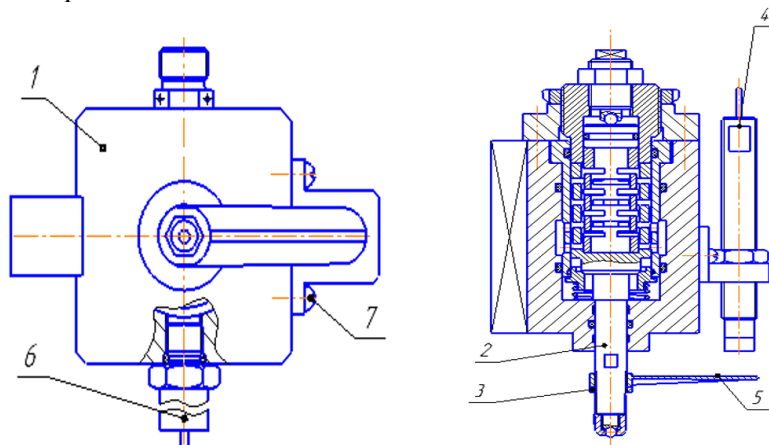


Рис.3. Конструктивна схема дослідного зразка гідроімпульсного віброударного пристрою для деформаційного зміцнення зі вбудованим ГІТ: 1. – корпус; 2. – ударник; 3. – гайка; 4. – давача переміщень; 5. – спеціальна планка; 6. – давач тиску; 7. – гвинт.

Для того, щоб давач переміщення працював нормально, необхідно забезпечити наявність зазору між торцями давача 4 і спеціальною планкою 5. Регулювання цього зазору виконується наступним чином:

1. Відгайтувати гайку 3.
2. Повернути планку за годинниковою або проти годинниковою стрілкою, в залежності від потреби, щоб підняти або опустити планку відносно датчика (крок регулювання дорівнює кроку різьби).
3. Затиснути гайку 3, щоб запобігти обертанню планки 5.

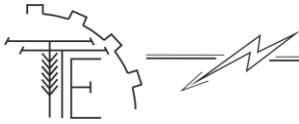
Після встановлення всіх необхідних давачів, вони підключаються до віброперетворювача і ПЕОМ [8-10].

5. Висновки

Однією з основних цілей експериментальних досліджень є визначення різниці між результатами теоретичних та експериментальних вимірювань. Була розроблена концептуальна гідрокінематична та конструктивна схема дослідного пристрою гідроімпульсного типу, який обладнаний вбудованим гідростатичним імпульсним трансформатором. Це було зроблено для проведення експериментів та перевірки точності розроблених моделей динаміки та математичних моделей цього пристрою. Розроблена методика експериментальних досліджень гідроімпульсного пристрою зі вбудованим генератором імпульсів тиску, яка визначає послідовність операцій для підготовки пристрою до проведення експериментальних вимірювань. Була обрана вимірювально-реєструюча апаратура, яка відповідає передбаченим максимальним значенням параметрів вібронавантаження ударного інструмента.

Список використаних джерел

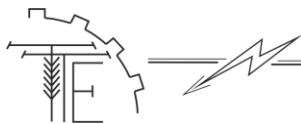
1. Паладійчук Ю. Б., Телятник І. А. Типи і конструкції віброзбудувачів сучасного машинобудування. *Вібрації в техніці та технології*. 2022. № 4 (107). С. 26–35.
2. Телятник І. А. Дослідження поверхневої пластичної деформації при гідроімпульсному впливі. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2023. № 1 (120). С.110–119.
3. Веселовська Н. Р., Паладійчук Ю. Б., Телятник І. А. Дослідження мікротвердості поверхні циліндричної деталі при деформаційному протягуванні. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2022. № 3 (118). С. 31–42.
4. Iskovych-Lototsky R., Veselovska N. Automatic system for modeling vibro-impact unloading bulk cargo on vehicles. *Proc. SPIE 10808, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry,*



- and High-Energy Physics Experiments 2018. 1080860 (1 October 2018). URL : <https://doi.org/10.1117/12.2501526>. (дата звернення 30.09.2022)
5. Paladiychuk Y., Telyatnik I. Increasing the efficiency of choosing a hydraulic impulse drive with programmable control. *Agricultural engineering*. 2023. Vol. 55. P. 30–43.
 6. Iskovych-Lototsky R., Ivanchuk Ya., Veselovsky Yar., Gromaszek K., Oralbekova A. Automatic system for modeling of working processes in pressure generators of hydraulic vibrating and vibro-impact machine. Proc. SPIE 10808, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2018. 1080850 (1 October 2018). URL : <https://doi.org/10.1117/12.2501532>. (дата звернення 30.09.2022).
 7. Паладійчук Ю. Б., Кордонський В.А. Обґрунтування механіки руйнування стружки при протягуванні циліндричних поверхонь з припуском. *Вібрації в техніці та технології*. 2020. № 4 (99). С. 73–84.
 8. Іскович-Лотоцький Р. Д., Іванчук Я. В., Веселовський Я. П. Основи резонансно-структурної теорії віброударного розвантаження транспортних засобів. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна*. 2014. № 5 (53). С. 109–118.
 9. Paladiichuk Y. Study of characteristics of growth formation after deformation strength during deforming strength. *Architecture Medical sciences Technical science Physics and mathematics*. 2021. № 2 (89). P. 30–35. DOI : 10. 24412/2520-2480-2021-289-30-36.
 10. Posviatenko E., Posviatenko N., Budyak R., Shvets L., Paladiichuk Y., Aksom P., Rybak I., Sabadach B., Hryhorychen V. Influence of a material the technological factors on improvement of operating properties of machine parts by reliefs and film coatings. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. № 5/12 (95). P. 48–56.

References

- [1] Paladiychuk, Yu.B., Telyatnik, I.A. (2022). Typy i konstruktсии vibrozbudzhuvachiv suchasnoho mashynobuduvannia. *Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnolohii*, 4 (107), 26–35. [in Ukrainian].
- [2] Telyatnik, I.A. (2023). Doslidzhennia poverkhnevoi plastychnoi deformatsii pry hidroimpulsnomu vplyvi. *Tekhnika, enerhetyka, transport APK*, 1 (120), 110–119. [in Ukrainian].
- [3] Veselovska, N.R., Paladiychuk, Yu.B., Telyatnik, I.A. (2022). Doslidzhennia mikrotverdosti poverkhni tsylindrychnoi detali pry deformatsiinomu protiahuvanni. *Tekhnika, enerhetyka, transport APK*, 3 (118), 31–42. [in Ukrainian].
- [4] Iskovych-Lototsky, R., Veselovska, N. (2018). Automatic system for modeling vibro-impact unloading bulk cargo on vehicles. Proc. SPIE 10808, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments. 1080860 (1 October 2018). URL : <https://doi.org/10.1117/12.2501526>. (data zvernennya 30.09.2022). [in English].
- [5] Paladiychuk, Y., Telyatnik, I. (2023). Increasing the efficiency of choosing a hydraulic impulse drive with programmable control. *Agricultural engineering*, 55, 30–43. [in English].
- [6] Iskovych-Lototsky, R., Ivanchuk, Ya., Veselovsky, Yar., Gromaszek, K., Oralbekova, A. (2018). Automatic system for modeling of working processes in pressure generators of hydraulic vibrating and vibro-impact machine. Proc. SPIE 10808, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 1080850 (1 October 2018). URL: <https://doi.org/10.1117/12.2501532>. (data zvernennya 30.09.2022). [in English].
- [7] Paladiichuk, Yu.B., Kordonskyi, V.A. (2020.). Obhruntuvannia mekhaniky ruinuвання struzhky pry protiahuvanni tsylindrychnykh poverkhon z prypuskom. *Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnolohii*, 4 (99), 73–84. [in Ukrainian].
- [8] Iskovich-Lotockij, R.D., Ivanchuk, Ya.V., Veselovskij, Ya.P. (2014). Osnovi rezonansno-strukturnoyi teoriiy vibroudarnogo rozvantazhennya transportnih zasobiv. *Nauka ta progres transportu. Visnik Dnipropetrovskogo nacionalnogo universitetu zaliznichnogo transportu im. akademika V. Lazaryana*, 5 (53), 109–118. [in Ukrainian].
- [9] Paladiichuk, Y. (2021). Study of characteristics of growth formation after deformation strength during deforming strength. *Architecture Medical sciences Technical science Physics and mathematics*, 2 (89), 30–35. [in English].
- [10] Posviatenko, E., Posviatenko, N., Budyak, R., Shvets, L., Paladiichuk, Y., Aksom, P., Rybak, I., Sabadach, B., Hryhorychen, V. (2018). Influence of a material the technological factors on improvement



of operating properties of machine parts by reliefs and film coatings. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5/12 (95), 48–56. [in English].

ALGORITHM FOR EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF HYDROIMPULSE DEVICE FOR STRENGTHENING PARTS BY DEFORMATION

In the field of mechanical engineering, various methods and techniques are typically employed for the manufacturing of workpieces or machine components. In this context, it becomes necessary to determine the principles of selection and conduct a techno-economic assessment of various possible manufacturing approaches. Typically, the choice of the most optimal technological approach for producing a specific component involves comparing the technological cost of different manufacturing methods.

Plastic deformation finds a wide range of applications beyond just restoring shapes and surfaces. It is also used to improve the physical and mechanical properties of the metal's surface, enhance roughness, and increase corrosion resistance. Plastic deformation is often combined with methods of metal buildup, such as welding, cladding, and others, to enhance the yield strength and, consequently, the service life of components. This process significantly enhances the reliability and durability of products and structures subjected to plastic deformation and metal buildup.

This article presents a study aimed at identifying patterns that arise when changing the operating parameters of a high-speed hydroimpulse device designed for the deformation strengthening of parts. The influence of adjusting the parameters of the pressure pulse generator on the device's characteristics is investigated. The compliance of the vibration loading parameters of the striker, such as amplitudes and frequencies, with the specified values is verified. The change in the frequency of pressure pulse transmission in the pressure cavity of the drive due to changes in feed rate is analyzed. The capabilities of the technical equipment of the hydroimpulse device for the deformation strengthening of parts are assessed. The compatibility of the hydroimpulse device with the technology of deformation strengthening of parts is studied. Mechanical characteristics of objects before and after processing with the hydroimpulse device are compared. Conclusions are drawn based on the obtained results.

Key words: hydroimpulse device, strengthening, deformation, parts, agricultural machinery.

F. 4. Fig. 3. Table. 3. Ref. 10.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Паладійчук Юрій Богданович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Агроінженерії та технічного сервісу» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: rewet@vsau.vin.ua, <https://orcid.org/0000-0003-4257-9383>).

Телятник Інна Анатоліївна – аспірантка, Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: inna201098@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2998-1506>).

Yuriy Paladiychuk – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Agroengineering and Technical Service of Vinnitsa National Agrarian University (3 Soniachna St., Vinnitsa, 21008, Ukraine, e-mail: rewet@vsau.vin.ua, <https://orcid.org/0000-0003-4257-9383>).

Inna Telyatnik – Postgraduate Student of Vinnytsia National Agrarian University (3, Solnychna st., Vinnytsia, 21008, Ukraine, e-mail: inna201098@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2998-1506>).