



Всеукраїнський науково-технічний журнал

All-Ukrainian Scientific & Technical Journal

ISSN 2520-6168 (Print)

DOI: 10.37128/2520-6168-2023-1

Machinery
Energetics
Transport
of Agribusiness



ТЕХНІКА
ЕНЕРГЕТИКА
ТРАНСПОРТ АПК



Всеукраїнський науково-технічний журнал

**ТЕХНІКА,
ЕНЕРГЕТИКА,
ТРАНСПОРТ АПК**

№ 1 (120) / 2023

м. Вінниця - 2023

**ТЕХНІКА,
ЕНЕРГЕТИКА,
ТРАНСПОРТ АПК**

Журнал науково-виробничого та навчального спрямування
Видавець: Вінницький національний аграрний університет

Заснований у 1997 році під назвою «Вісник Вінницького державного сільськогосподарського інституту».
Правонаступник видання: Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки.
Свідоцтво про державну реєстрацію засобів масової інформації
КВ № 16644–5116 ПР від 30.04.2010 р.

Всеукраїнський науково – технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК» / Редколегія: Токарчук О.А. (головний редактор) та інші. Вінниця, 2023. № 1 (120). С. 158.

Друкується за рішенням Вченої ради Вінницького національного аграрного університету (протокол № 9 від 01.05.2023 р.)

Свідоцтво про державну реєстрацію засобів масової інформації №21906-11806 Р від 12.03.2016р.

Журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК» включено до переліку наукових фахових видань України з технічних наук (Категорія «Б», Наказ Міністерства освіти і науки України від 02.07.2020 року №886);

- присвоєно ідентифікатор цифрового об'єкта (Digital Object Identifier – DOI);

- індексується в CrossRef, Google Scholar;

- індексується в міжнародній наукометричній базі [Index Copernicus Value](#) з 2018 року.

Головний редактор

Токарчук О.А. – к.т.н., доцент, Вінницький національний аграрний університет

Заступник головного редактора

Веселовська Н.Р. – д.т.н., професор, Вінницький національний аграрний університет

Відповідальний секретар

Полєвода Ю.А. – к.т.н., доцент, Вінницький національний аграрний університет

Члени редакційної колегії

Булгаков В.М. – д.т.н., професор, академік НААН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України

Купчук І.М. – к.т.н., доцент, Вінницький національний аграрний університет

Граняк В.Ф. – к.т.н., доцент, Вінницький національний технічний університет

Спірін А.В. – к.т.н., доцент, Вінницький національний аграрний університет

Іванчук Я.В. – к.т.н., доцент, Вінницький національний технічний університет

Твердохліб І.В. – д.т.н., доцент, Вінницький національний аграрний університет

Іскович – Лотоцький Р.Д. – д.т.н., професор, Вінницький національний технічний університет

Цуркан О.В. – д.т.н., доцент, Вінницький національний аграрний університет

Яронуд В.М. – к.т.н., доцент, Вінницький національний аграрний університет

Зарубіжні члени редакційної колегії

Йордан Максимов – д.т.н., професор Технічного університету Габрово (Болгарія)

Відповідальний секретар редакції **Полєвода Ю.А.** – к.т.н., доцент, Вінницький національний аграрний університет
Адреса редакції: 21008, Вінниця, вул. Сонячна 3, Вінницький національний аграрний університет, тел. (0432) 46–00–03

Сайт журналу: <http://tetapk.vsau.org/>

Електронна адреса: pophv@ukr.net



ЗМІСТ

I. АГРОІНЖЕНЕРІЯ

<i>Алієв Е.Б., Бабин І.А., Сокол С.П.</i> ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ АЕРОДИНАМІЧНОЇ СЕПАРАЦІЇ ДРІБНОЗЕРНИСТОГО СИПКОГО МАТЕРІАЛУ.....	5
<i>Борисюк Д.В., Твердохліб І.В., Купчук І.М., Полєвода Ю.А.</i> МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДІАГНОСТУВАННЯ ПІДШИПНИКОВОГО ВУЗЛА МАТОЧИНИ КЕРОВАНИХ МОСТІВ КОЛІСНИХ ТРАКТОРІВ ТЯГОВОГО КЛАСУ 1,4...	14
<i>Дуганець В.І., Грушецький С.М., Токарчук О.А., Бончик В.С., Федірко П.П.</i> АНАЛІЗ ОСНОВНИХ НЕСПРАВНОСТЕЙ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ ТА ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЇХ РОБОТОЗДАТНОСТІ НА ЗБИРАННІ ЗЕРНОВИХ, ЗЕРНОБОБОВИХ ТА ІНШИХ КУЛЬТУР.....	21
<i>Єленич А.П., Ємчик В.В.</i> ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЇ ТРАКТОРІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ КОМПАНІЇ CASE.....	29
<i>Кондратюк Д.Г.</i> ВИБІР РАЦІОНАЛЬНОЇ ШИРИНИ ЗАХВАТУ РОТАЦІЙНИХ ГРАБЛІВ З КЕРОВАНИМИ ГРАБЛИНАМИ.....	40
<i>Кюрчев В.М., Веселовська Н.Р., Бурлака С.А.</i> ПІДВИЩЕННЯ ТЯГОВО-ЗЧІПНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕНЕРГЕТИЧНОГО ЗАСОБУ ПРИ ПРОВЕДЕННІ КОМБІНОВАНИХ ОПЕРАЦІЙ ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ.....	48
<i>Рябошанка В.Б., Нагорняк І.О.</i> ПІДБІР МОДЕЛІ ТУРБОКОМПРЕСОРА ДЛЯ ПЕРЕОБЛАДНАННЯ ДИЗЕЛІВ З ВІЛЬНИМ ВПУСКОМ НА ДИЗЕЛІ З ТУРБОНАДДУВАННЯМ.....	54
II. ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА. МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО. ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ	
<i>Іскович-Лотоцький Р.Д., Шевченко В.В., Веселовська Н.Р., Залізник Р.О.</i> ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ЗАНУРЕННЯ ПАЛЬ В САДКАХ ТА ВИНОГРАДНИКАХ ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ ГІДРОСТРУМЕНЕВОЇ ТЕХНОЛОГІЇ.....	64
<i>Матвійчук В.А., Михалевич В.М., Штуць А.А.</i> АНАЛІЗ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ МАТЕРІАЛУ ЗАГОТОВОК ПРИ ВИСАДЖУВАННІ РЕСУРСОЩАДНИМ МЕТОДОМ ШТАМПУВАННЯ ОБКОЧУВАННЯМ.....	76
<i>Пазюк В.М.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ НАСІННЯ РІПАКУ ЯК ОБ'ЄКТУ СУШІННЯ.....	86
<i>Полєвода Ю.А., Кравець С.М.</i> СУЧАСНІ ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОЧИЩЕННЯ В ХАРЧОВІЙ ГАЛУЗІ.....	94
<i>Руткевич В.С., Шаргородський С.А.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ГАЛЬМУВАННЯ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНА ЗА ДОПОМОГОЮ ОБ'ЄМНОЇ ГІДРОТРАНСМІСІЇ ГСТ-90.....	102
<i>Телятник І.А.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВЕРХНЕВОЇ ПЛАСТИЧНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ ПРИ ГІДРОІМПУЛЬСНОМУ ВПЛИВІ.....	110
<i>Яропуд В.М., Лавренюк П.П.</i> ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ КОНВЕКТИВНОЇ СУШАРКИ ВОЛОСЬКИХ ГОРІХІВ.....	120
III. ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА	
<i>Граняк В.Ф., Дудник В.О.</i> МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЗАЛЕЖНОСТІ ПУСКОВОГО МОМЕНТУ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА ВІД ПОЧАТКОВОГО КУТОВОГО ПОЛОЖЕННЯ РОТОРА.....	132



CONTENTS

I. AGROENGINEERING

<i>Elchyn Aliiev, Ihor Babyn, Serhiy Sokol</i> NUMERICAL SIMULATION OF THE PROCESS OF AERODYNAMIC SEPARATION OF FINE-GRAINED BULK MATERIAL	5
<i>Dmytro Borysiuk, Igor Tverdokhlib, Ihor Kupchuk, Yurii Polievoda</i> MATHEMATICAL MODEL OF DIAGNOSTIC BEARING ASSEMBLY OF HUB OF STEERING AXLES OF WHEEL TRACTORS OF DRIVING CLASS 1,4.....	14
<i>Vasyl Duganets, Sergii Hrushetskyi, Oleksii Tokarchuk, Vitalii Bonchyk, Pavlo Fedirko</i> ANALYSIS OF THE MAIN MALFUNCTIONS OF GRAIN HARVESTERS AND WAYS TO INCREASE THEIR EFFICIENCY IN HARVESTING GRAIN, LEGUMINOUS AND OTHER CROPS.....	21
<i>Viktor Yemchuk, Anatoliy Yelenych</i> DESIGN FEATURES OF CASE AGRICULTURAL TRACTORS.....	29
<i>Dmytro Kondratuk</i> CHOOSING A REASONABLE GRIP WIDTH OF ROTARY RAKES WITH CONTROLLED RAKES.....	40
<i>Volodymyr Kyurchev, Nataliya Veselovska, Serhii Burlaka</i> INCREASING THE TRACTION AND TRACTION CHARACTERISTICS OF THE ENERGY VEHICLE WHEN CARRYING OUT COMBINED SOIL PROCESSING OPERATIONS.....	48
<i>Vadim Ryaboshapka, Ivan Nahorniak</i> CHOOSING A TURBOCOMPRESSOR MODEL FOR CONVERTING FREE INLET DIESELS TO TURBOCHARGED DIESELS.....	54

II. APPLIED MECHANICS. MATERIALS SCIENCE. INDUSTRY MACHINERY BUILDING

<i>Rostyslav Iskovich-Lototskyy, Vasyl Shevchnko, Nataliia Veselovska, Roman Zalizniak</i> INCREASING THE PRODUCTIVITY OF PILE DIVING IN ORCHARDS AND VINEYARDS BY USING HYDROJET TECHNOLOGY.....	64
<i>Viktor Matviychuk, Volodymyr Mikhalevich, Andrii Shtuts</i> ANALYSIS OF THE STATE OF STRESS AND DEFORMATION OF THE MATERIAL OF THE BILLET WHEN PLANTING BY THE RESOURCE-SAVING METHOD OF STAMPING BY ROLLING.....	76
<i>Vadym Paziuk</i> STUDY OF THE PROPERTIES OF RAPESEED AS A DRYING OBJECT.....	86
<i>Yuriy Polyevoda, Svetlana Kravets</i> MODERN INNOVATIVE CLEANING TECHNOLOGIES IN THE FOOD INDUSTRY.....	94
<i>Volodymyr Rutkevych, Serhiy Shargorodskiy</i> STUDY OF THE BRAKING PROCESS OF A GRAIN HARVESTER USING VOLUME HYDROTRANSMISSION GST-90.....	102
<i>Inna Telyatnik</i> RESEARCH OF SURFACE PLASTIC DEFORMATION UNDER HYDRO-IMPULSE INFLUENCE.....	110
<i>Vitalii Yaropud, Petro Lavreniuk</i> WAYS OF IMPROVING THE DESIGN OF THE WALNUT CONVECTIVE DRYER.....	120

III. ELECTRICAL ENERGY, ELECTRICAL ENGINEERING AND ELECTROMECHANICS

<i>Valerii Hraniak, Volodymyr Dudnyk</i> MATHEMATICAL MODEL OF THE DEPENDENCE OF THE STARTING TORQUE OF AN ASYNCHRONOUS ELECTRICAL MOTOR ON THE INITIAL ANGULAR POSITION OF THE ROTOR.....	132
--	------------



УДК 62-82: 004.41

DOI: 10.37128/2520-6168-2023-1-13

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВЕРХНЕВОЇ ПЛАСТИЧНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ ПРИ ГІДРОІМПУЛЬСНОМУ ВПЛИВІ

Телятник Інна Анатоліївна, аспірантка
Вінницький національний аграрний університет

Inna Telyatnik, Postgraduate student
Vinnytsia National Agrarian University

Підвищення вимог до сучасних машин обумовлює необхідність застосування нового обладнання та вдосконалення відомого. Методи та прийоми, спрямовані на підвищення його експлуатаційних та якісних характеристик. Одним із напрямків удосконалення є метод поверхневої пластичної деформації, що якісно впливає на загальну надійність виробу.

Проте поверхнево пластична деформація не дозволяє розробити принципову схему та пристрій загального призначення, який можна використовувати для зміцнення широкого діапазону деталей сільськогосподарської техніки.

Відмінності фізико-механічних властивостей матеріалів виготовлених деталей їх вага, розміри, поздовжня і поперечна жорсткість, стан або положення, процес загартовування, тип виробництва та інші фактори в кожному конкретному випадку змушують конструкторів і технологів знаходити розумні варіанти проектування нових пристроїв обробки деталей поверхнево пластичною деформацією для забезпечення високих техніко-економічних показників. Тому розвиток пристроїв поверхнево пластичної деформації вдосконалення існуючого устаткування є актуальними науковими та інженерними завданнями.

Впровадження сучасних методів і засобів у розвиток машинобудування забезпечують підвищення надійності деталей та виробів в цілому, а також зменшення собівартості продукції.

У цій статті описано ущільнення металевих порошків як технологічну операцію, в результаті якої формуються порошкові заготовки. Розглянуто та порівняно обладнання для вібропресування порошкових заготовок. Представлено технічні процеси базової вібрації та віброудару.

Продемонстровано способи та схеми реалізації вібропресування порошкових матеріалів. Проаналізовано класифікацію процесів віброущільнення за характеристиками режимів вібрації та віброудару.

Ключові слова: поверхнево пластична деформація, формотворення, гідроімпульс, імпульсне ущільнення, вібропрес-молот.

Рис. 7. Табл. 2. Літ. 12.

1. Постановка проблеми

Основним методом підвищення втомної міцності та зносостійкості деталей є наклеп поверхні всієї робочої зони деталі та поверхні зони концентрації напружень. Пластична деформація виникає при збільшенні навантаження, яке перевищує пружну міцність матеріалу, оскільки під час деформування метал зміцнюється [1-12].

Більшість промислових сплавів мають полікристалічну структуру. При полікристалічній деформації фаза ковзання відсутня, а деформація зерен починається відразу по декількох системах ковзання, що супроводжується вигином і скручуванням поверхонь ковзання. Загальна деформація невелика, лише 1%, а зерна деформуються неоднорідно через різну орієнтацію щодо прикладеного навантаження. У міру зміни деформації різниця між зернами матеріалу зменшується і змінюється мікроструктура: зерна металу поступово видовжуються в напрямку пластичного течії, що призводить до зміни зерен металеві решітки і збільшення щільності дефектів [1].

Поверхнева пластична деформація (ППД) матеріалу деталі створює багатоточкові та лінійні дефекти кристалічної решітки (лінійні та гвинтові дислокації) у поверхневих шарах деталі, підвищуючи тим самим стійкість цих шарів до зносу та втомного пошкодження. Деформаційне зміцнення поверхні деталі може бути досягнуто різними засобами та обладнанням, що приводяться в дію механічно, пневматично та гідравлічно. Завдяки відомим перевагам гідравлічних пристроїв найбільш компактне обладнання може бути гідроприводним. Розглядаючи відомі типи гідроприводів, найбільшою перевагою є відносно новий вид гідроприводу – гідроімпульсний, який дозволяє



створювати невеликі пристрої для деформаційного зміцнення поверхні деталей, які можна встановлювати безпосередньо в металорізальних верстатах [2].

Метод поверхневої пластичної деформації, впливає на загальну надійність виробу та поділяється на два напрямки дослідження:

- 1) Технічний напрямок – розробка нових технологій і вдосконалення існуючих технологій;
- 2) Розробка обладнання для введення пластичного деформування поверхонь за відповідними методиками [1,2].

2. Мета і задачі дослідження

Метою даного дослідження є вивчення вібропресивного обладнання для ущільнення металевих порошків як технологічну операцію, в результаті якої формуються порошкові заготовки.

Для досягнення поставленої мети потрібно розв'язати такі завдання:

1. Розглянути та порівняти обладнання для вібропресування порошкових заготовок.
2. Охарактеризувати технічні процеси базової вібрації та віброудару.
3. Визначити способи та схеми реалізації вібропресування порошкових матеріалів.
4. Проаналізувати класифікацію процесів віброущільнення за характеристиками режимів вібрації та віброудару.
5. З отриманих результатів зробити висновки.

3. Аналіз останніх досліджень

Сучасні тенденції розвитку машинобудування вимагають впровадження у виробництво технічних та технологічних процесів виготовлення деталей машин з метою підвищення їх надійності, зниження собівартості тощо. Надійність деталей машин визначається їх міцністю, зносостійкістю, вібростійкістю та іншими критеріями ефективності [1-12].

При ППД використовуються різні типи приводів, такі як:

- електромеханічні;
- пневматичні;
- гідравлічні.

Гідравлічні приводи для ППД мають такі природні переваги перед пристроями з іншими приводами. Їх природні переваги:

- високий тиск (>10 МПа) робочої рідини (енергоносія) з великим запасом енергії;
- мінімальні габарити;
- найвищі енергетичні характеристики, завдяки приведенню ударного елемента пристрою в технічний рух носієм;
- можливість регулювання робочих параметрів в широкому діапазоні;
- простота автоматизації процесу.

У порівнянні зі звичайними гідроприводами для пристроїв ППД, гідроімпульсний привід, відносно новий тип гідроприводу, він є більш раціональним, що дозволяє, наприклад, створювати малогабаритні віброударні пристрої для деформаційного зміцнення поверхонь деталей, які можуть бути змонтовані безпосередньо в різцетримачі токарного верстату.

Аналізуючи роботи дослідників процесу зміцнення та фінішної обробки деталей машин за допомогою ППД та розробники обладнання для його реалізації, було виявлено наступні вимоги (рис.1) [3-6].

Наведені вище вимог до пристроїв для ППД показали, що найбільшою мірою цим вимогам відповідають пристрої для віброударно-деформаційного зміцнення на основі гідроімпульсних приводів з інтегрованим генератором імпульсів тиску енергоносія (ГІТ) [3-6].

На сьогодні існують перспективи розвитку пристроїв для поверхневого деформаційного зміцнення на основі гідроімпульсних приводів [3, 4]. Застосування таких віброприводів у поєднанні з високожорсткими пружинами відкриває якісно нові можливості (висока питома потужність при малих габаритах, широкий діапазон параметрів вібронавантаження, можливість перенастроювання режимів вібрації та віброудару) і позитивно впливає на техніко-економічні показники [5].

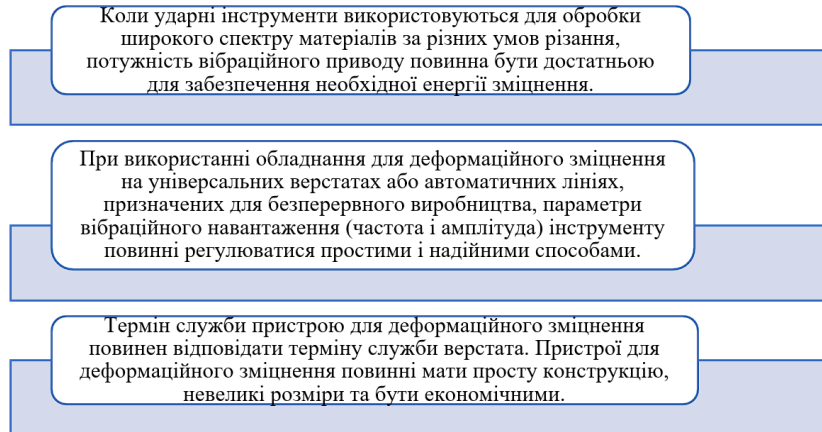


Рис. 1. Вимоги до обладнання при ППД

На рисунку 2 наведено основні вдосконалення гідроімпульсних систем для деформаційного зміцнення.

Технічні можливості гідравлічного імпульсного пристрою для деформаційного зміцнення також відкривають нові технічні можливості для ППД, такі як імпульсне зміцнення, ударно-вібраційне зміцнення і статичне імпульсне зміцнення, і для цього потрібні подальші теоретичні та експериментальні дослідження.

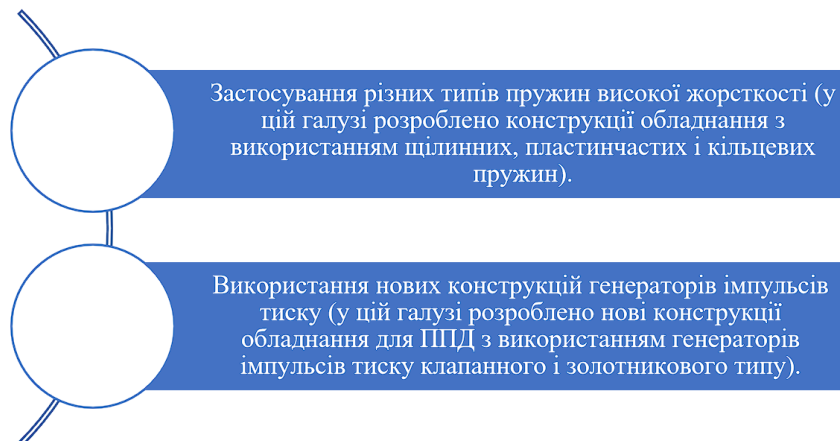


Рис. 2. Основні вдосконалення гідроімпульсних систем для деформаційного зміцнення

Відомо, що при різанні пластичних матеріалів серйозною проблемою є подрібнення стружки. Утворення стабільної та міцної зливної стружки є ознакою поганої оброблюваності матеріалу заготовки і вимагає використання спеціальних інструментів і методів, таких як відділення стружки і припуск на стружку [2-7].

Пресування металевих порошків - це технологічна операція для отримання порошкових пресовок, тобто компактів із заданою формою, розміром і щільністю. Початковий об'єм сипучого матеріалу зменшується під дією сил і порошок ущільнюється. Зміна початкового об'єму відрізняє його від деформації компакту, при якій змінюються геометричні розміри, але об'єм залишається постійним.

Пресування порошків досягається шляхом ущільнення їх в металевих формах або еластичних оболонках. Ущільнення металевих порошків можна розділити на такі методи, як пресування, гідростатичне ущільнення, лиття під тиском, вальцювання, ущільнення суспензії, імпульсне ущільнення і вібраційне ущільнення. У певному сенсі всі методи формування металевих порошків можна порівняти з пресуванням [3-5].

Імпульсне пресування - це формування металевих порошків, або ущільнення порошків, за допомогою ударних хвиль з інтервалами часу, що не перевищують однієї секунди. Виник як метод виробництва великих пресованих деталей з порошків малопластичних матеріалів, композитів і брикетів високої щільності.

Обладнання для вібропресування має однаково конструктивне рішення щодо розташування виконавчих механізмів і відрізняється в основному типом приводу, який генерує коливання. Тому їх



номенклатура виглядає наступним чином.

Вібропрес з гідравлічним приводом виконаний на базі звичайного одно- або двостійкового преса (рис. 3), з розташуванням приводу робочої ланки 1 або зверху, або знизу, і прикладає циклічне навантаження з одного боку до заготовки 4.

Використання різних типів гідравлічних віброзбуджувачів для приводу робочих ланок визначило широке розмаїття різних типів гідравлічних вібропресів, розроблених і створених низкою проектних і науково-дослідних інститутів.

Всі типи гідравлічних віброзбуджувачів, які використовувалися або випробовувалися для приводу вібраційних пресів, розроблених на базі звичайних гідравлічних пресів, пропонується класифікувати як пульсаторні та автоколивальні [3-5].

Пульсаторні вібростоли, засновані на принципі створення циклічного тиску в робочому гідроциліндрі, можна розділити на насосні, які забезпечують замкнуту циркуляцію гідравлічного масла, і золотникові, які здійснюють примусове осьове переміщення або обертання розподільного елемента від окремого приводного пристрою.

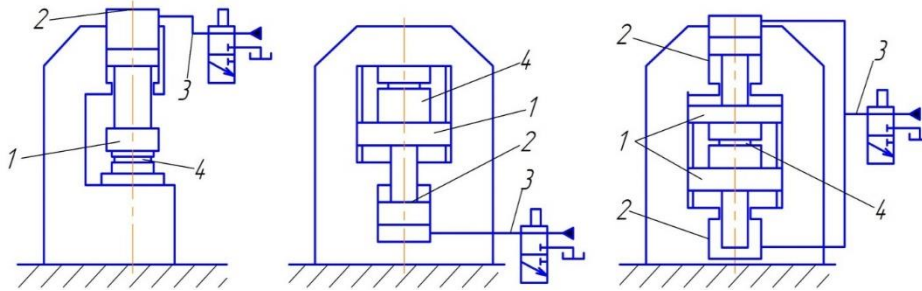


Рис.3. Вібраційні преси з гідравлічним приводом.

Пульсаторні віброзбуджувачі привернули увагу конструкторів вібропресів завдяки простоті конструкції, але не знайшли широкого застосування через низку суттєвих недоліків, які стають очевидними під час експлуатації.

Такими недоліками насосних вібропресів є:

- інтенсивне нагрівання гідравлічної рідини в закритих гідросистемах і в золотникових системах, які примусово механічно відкриваються;
- великі втрати потужності на витискання гідравлічної рідини, що призводить до збільшення подачі в гідросистему при постійній швидкості руху або обертання розподільного елемента;
- складність приводу;
- регулювання кількості енергії, що підводиться до робочого ходу [3,4].

Використання для приводу вібропресів автоколивальних гідравлічних віброзбуджувачів з механічним і гідравлічним зворотним зв'язком дещо розширило можливості регулювання параметрів навантаження вібропреса. Незважаючи на залежність параметрів вібрації від навантаження на поршень, шум і ударний характер роботи, автоколивальні гідравлічні вібростенди широко використовуються в реальних конструкціях гідравлічних вібропресів [3,4].

Перші конструкції гідромеханічних автоколивальних віброзбуджувачів з розривом жорсткого механічного зворотного зв'язку з рухом заготовки мали обмежені кінематичні та силові характеристики і могли бути використані тільки в лабораторних моделях вібраційних пресів, таких як прес ГДП.

Для віброгідравлічних пресів найбільш придатними з точки зору експлуатаційної надійності, технологічності та можливості реалізації заданих параметрів навантаження є автоколивальні віброзбуджувачі із зазорами в механічному зворотному зв'язку між розподільчим елементом і сервоклапаном, а також з гідравлічним зворотним зв'язком по втраті тиску.

Ці віброзбуджувачі відомі в технічній літературі як "пульсатори" та "пульсаторні клапани", що не відповідає рекомендованим класифікаційним термінам. Термін "пульсатор" використовувався для вібраційних пресів типу ППН, тоді як "клапан пульсатора" вперше був використаний для прототипу гідроінерційного преса (ГІП) типу [4].

На рисунку 4 а показаний прес з пульсуючим навантаженням типу ППН. У нижній частині його двостоякової станини 1 знаходиться привід 2, що діє на заготовку, розміщену на роз'ємній матриці 3. Пульсатор 4 створює циклічно змінний тиск в порожнині приводного гідроциліндра, який створює коливальний рух в робочих ланках преса.

Для калібрування профілів з легких сплавів використовувалися преси моделей ППН-100 (верхній привід) і ППН-315 (нижній привід) з робочими зусиллями 100 кН і 315 кН відповідно [4,5].

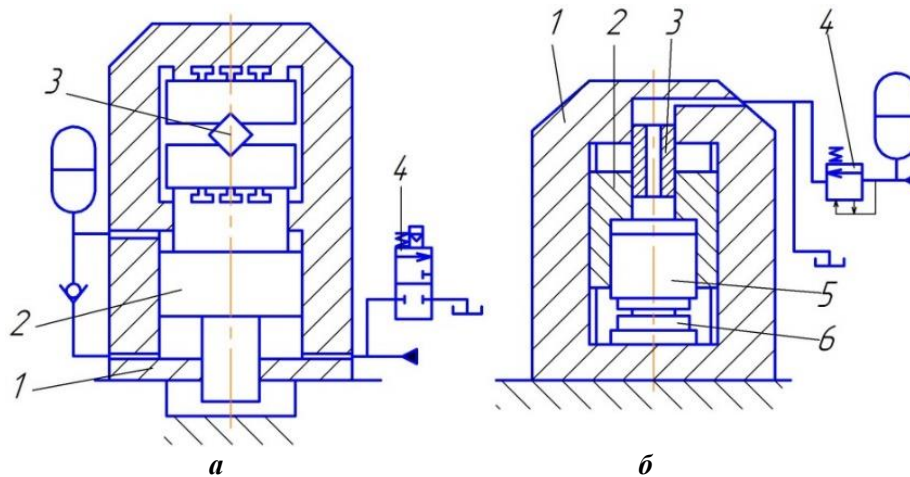


Рис. 4. Преси: а – пульсуючого навантаження (ППН); б – гідравлічний інерційний прес (ГП)

Гідроінерційний прес – це базове нове рішення для вібраційних пресів. Він суттєво відрізняється від звичайних вібраційних пресів на основі гідравлічних пресів способом створення діючої сили на заготовку. На рисунку 4 б показано гідравлічний інерційний прес, в якому плунжер 5 приводить в дію заготовку 6 періодичними імпульсами тиску рідини, що подається через клапан-пульсатор 4 і розширювальний трубопровід 3 в порожнину робочого гідроциліндра (корпус якого є інерційною масою 2, що рухається відносно станини 1). Приведення заготовки в рух здійснюється за рахунок імпульсів тиску [5].

Таблиця 1

Основні вібраційні та віброударні технологічні процеси

Технологічний процес	Технологічна операція	Метод обробки	Галузь виробництва
Отримання заготовок виробів з непластичних порошкових матеріалів	Ущільнення, формоутворення, пресування	ВУ	Металургія, машинобудування, автомобілебудування, електротехнічна промисловість
Отримання виробів з пластичних матеріалів при обробці тиском	Пульсуюча витяжка, осадка, штамповка, калібрування, волочіння, прокатування	В	Машинобудування
Кінцева обробка деталей абразивними матеріалами	Шліфування, полірування, зміцнення, доопрацювання	В	Машинобудування
Виготовлення ливарних форм	Формоутворення, ущільнення	ВУ	Металургія, ливарна промисловість
Випробовування деталей вузлів машини	Ресурсні, форсування та інші типові випробування	В, ВУ	Приладобудування, радіотехніка, авіа-, тракторо- та машинобудування
Будівельно – монтажні роботи	Забивка спаїв, ущільнення ґрунтів, бетонів і т.п.	ВУ	Будівництво

4. Виклад основного матеріалу

Деформаційне зміцнення матеріалів, що використовуються в різних механічних компонентах, таких як вали і шестерні, є одним з найефективніших способів підвищення втомної міцності цих складових.

Обробка матеріалів за допомогою різання з вібрацією (віброрізання) підвищує ефективність самого процесу обробки, а в деяких випадках покращує як точність, так і шорсткість обробленої поверхні заготовки. Безвібраційна обробка в'язких і тугоплавких матеріалів, таких як нержавіючі сталі і титанові сплави, призводить до утворення стружки, що викликає ряд негативних технічних проблем, а також є джерелом серйозних травм для операторів верстатів [6,7].

Створення та дослідження компактних пристроїв з гідравлічним імпульсним приводом, які можна використовувати без реконструкції кінематики верстата, є актуальною науково-технічною



задачею, оскільки широке впровадження у виробництво різноманітних процесів вібраційного різання (віброточіння, віброствердління тощо) стримується практичною відсутністю компактних пристроїв для виконання цих операцій.

Імпульсне ущільнення порошків дозволяє використовувати в якості енергоносіїв електрогідрравлічні розряди батарей високовольтних конденсаторів через водний проміжок між двома електродами, енергію імпульсних магнітних полів, стиснені та горючі гази і рідини, вибухові речовини. Особливістю цього методу ущільнення є використання швидкостей навантаження, що перевищують 50-100 м/с швидкості поздовжніх пружних хвиль порошку в утрамбованому стані [6-8].

Переваги та недоліки даного методу наведенні на рисунку 5.

Переваги	Недоліки
<input type="checkbox"/> висока щільність порошків титану, вольфраму і молібдену (близько 90%).	<input type="checkbox"/> підвищену небезпечність та підвищені вимоги безпеки через використання вибухових речовин;
<input type="checkbox"/> здатність привода генерувати високі зусилля - 500 МПа і більше; висока швидкість переміщення і	<input type="checkbox"/> високу вартість ;
<input type="checkbox"/> можливість зменшувати зусилля, що генеруються, для поліпшення формоутворення заготовки.	<input type="checkbox"/> складність конструкції.

Рис.5. Переваги та недоліки методу імпульсного ущільнення порошків

Вібраційне моделювання має широке застосування в різних галузях промисловості. Ефективність використання корисних коливань дає змогу виготовляти заготовки з низькопластичних (наприклад, карбідів, боридів металів, вольфрамових і титанових порошків) порошків з щільністю 65-85% за зусиль 0,3-0,6 МПа [7,8].

Класифікація процесів віброформування за характеристиками вібраційних і віброударних режимів визначається складовою навантаження – пульсацією або ударом (імпульсом). Вібраційні та віброударні технології широко застосовуються при виробництві порошкових матеріалів, ущільненні сумішей для формування, фінішній обробці поверхонь деталей абразивними матеріалами, реалізації будівельно-монтажних технологій і переробці пластичних матеріалів під тиском. Вібраційно-ударне формування (пресування) забезпечує виконання технічних вимог до заготовки більш економічно, ніж при інших методах пресування.

Зокрема, останнє описується як таке, що значно зменшує робочі зусилля порівняно зі статичним пресуванням, зменшує знос компонентів матриці та дозволяє виготовляти вироби з більш тонкими стінками. Вібраційні преси особливо ефективні при формуванні заготовок виробів зі складною геометрією та великими габаритами [8].

В режимі ударно-вібраційного навантаження було показано, що якщо початковий імпульс викликав лише пружну деформацію заготовки, то під впливом повторних імпульсів сили пластична деформація заготовки в подальшому збільшується. Ця закономірність характерна для віброударного пресування заготовок з низьким вмістом наповнювача в усталеному режимі інерційного навантаження.

У першому циклі навантаження спостерігалось певне запізнення імпульсу сили, прикладеної з боку пуансона до заготовки, по відношенню до часу, коли нульове зусилля починає зростати на дні прес-форми, що свідчить про те, що швидкість передачі імпульсу навантаження в середовищі заготовки залежить від її фізико-механічних властивостей. Таку особливість передачі силового імпульсу через заготовку можна пояснити її хвиловими характеристиками [8,9].

Порівнюючи процес віброударних пресів зі звичайними пресами, необхідно відзначити рівномірність пресування. Це пов'язано з тим, що в звичайних пресах розподіл шару порошку не є рівномірним через внутрішнє та бокове тертя. Результати такого розподілу показані на рисунку 6.

Складність переміщення порошку по внутрішній поверхні форми добре ілюструється тим, що шар кальки або фольги відокремлює частину початкового об'єму і орієнтований перпендикулярно до осі навантаження [8,9].

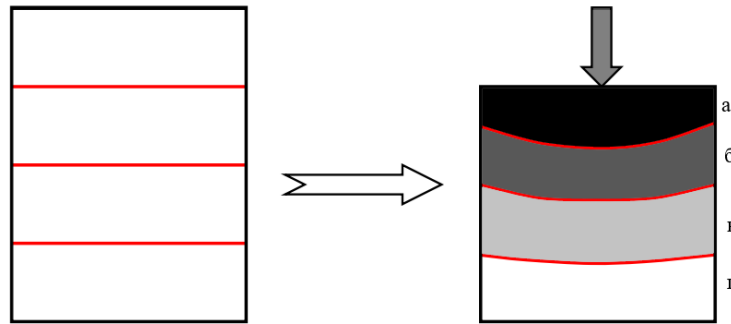


Рис. 6. Розподіл щільності за обсягом пресування:
а – зона найбільшої деформації; б – зона середньої деформації;
в – найменшої деформації; г – зона мінімальної деформації

Зі збільшенням навантаження шари згинаються вздовж осі преса. Якщо об'ємні пропорції спочатку однакові, верхній шар буде тоншим, тобто щільнішим, ніж нижній. Це наочно демонструє той факт, що тиск пресування зменшується в міру віддалення від пуансона.

Позитивний ефект вібрації полягає в тому, що вона допомагає розбити арки, створені під час засипання, розриваючи слабкі зв'язки між частинками і тим самим наближаючи ефективний коефіцієнт тертя між зовнішнім середовищем і частинками до нуля.

Під час зазначеного вібраційного руху на частинки порошку діє невеликий тиск (0,5-5 МПа). При менших значеннях відбувається розпушення засипки, а при більших – гальмування руху частинок. Зазвичай такі тиски створюються гідравлічними або пневматичними навантажувальними пристроями [9, 10].

Вібрації з частотою 100-200 Гц вважаються ефективними для невеликих заготовок, сформованих з частинок розміром більше 100 мкм, 200-300 Гц – для форм, сформованих з частинок розміром від 1 до 100 мкм, і 300 Гц і більше – для форм, сформованих з частинок розміром менше 1 мкм. Частоту слід збільшити до 25-30 Гц. При збільшенні частоти і підтримці постійного прискорення вібрації 25-30 г слід враховувати, що амплітуда не повинна бути менше 0,1-0,15 мм.

Якщо амплітуда занадто мала, можуть відбуватися невеликі зміщення частинок, а якщо занадто велика (більше 0,5 мм), це може бути еквівалентно розриву зв'язків, які раніше утворилися, і розпушуванню порошку. Час обробки не повинен перевищувати 30 секунд. Це пов'язано з тим, що довша експозиція не призведе до зміни властивостей відформованого виробу. Оптимальне формування досягається за 2-10 с і цей час практично не залежить від об'єму герметика (при збільшенні об'єму порошку з 0,5 до 50 см³ необхідний час вібрації збільшується лише в 1,5 рази) [9, 10].

Чим більш правильна форма частинок, тим менше часу потрібно; чим більш рівномірна, тим більше часу потрібно.

При вібраційному формуванні можна використовувати таку ж кількість мастила, як і при звичайному штампуванні, хоча надмірне використання є більш шкідливим.

Інерційні вібропресові молоти (ІВПМ) (рис. 7) включають привід нижнього столу 2 з пружним зворотним елементом 3 і рухоми поперечину 6 з нерухомою змінною інерційною масою 5, яка вільно переміщується по верхній і нижній поперечинах станини 1 і направляючої колонки, що утворюють жорстку раму. Приводом ІВПМ є віброзбудник (клапан-пульсатор) 7 зі зворотним зв'язком по тиску та одноконтурний гідроаккумулятор 8 [9, 10].

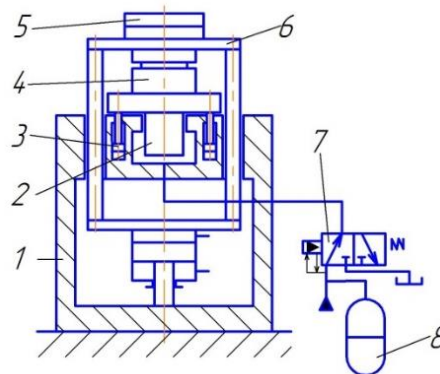


Рис. 7. Інерційний вібропрес-молот (ІВПМ).

Такий гідроімпульсний привід забезпечує чіткий взаємозв'язок між енергією, накопиченою в



гідроаккумуляторі, і тиском в гідросистемі за один хід машини, що дозволяє регулювати параметри ІВПМ за рахунок імпульсної енергії Інерційний спосіб навантаження ІВПМ дозволяє здійснювати додаткове статичне затискання і в поєднанні з режимами вібрації та навантаження, коли заготовка4 взаємодіє з рухомою поперечною.

Дослідно-промислова експлуатація ІВПМ показала універсальність цієї машини та її високу ефективність для пресування заготовок складної геометрії та великих габаритів з порошкового матеріалу карбиду кремнію, а також виявила необхідність проведення подальших робіт для забезпечення промислового широкого використання ІВПМ [10, 11].

Привертають увагу також вібропреси з гідроімпульсним приводом на базі існуючих імпульсних електрогідравлічних агрегатів (ЕГА), таких як "Удар". Однак експлуатація вібропресів з електрогідравлічним приводом наразі є недоцільною через обмеженість можливостей останнього. Наприклад, у випадку пресів типу "Удар" електрична (силова) частина машини становить 80% від загального об'єму і гарантує розрахункову передачу енергії гідравлічних імпульсів з частотою не більше двох-трьох імпульсів на хвилину, а при необхідності збільшення частоти імпульсів на ЕГА і переходу в режим роботи вібропреса, енергія одного імпульсу без зміни параметрів значно знижується і не забезпечує вирішення технічних завдань, особливо при вібропресуванні виробів складної конфігурації і великих габаритів. Технічні характеристики вібропресів, випробуваних у виробничих умовах, наведені в таблиці 2.

Вібраційне пресування заготовок порошкових виробів у виробничих умовах в основному здійснювалося на двох типах вібраційних пресів з механічним і гідравлічним приводом (ВП і ІВПМ відповідно). Якщо порівнювати характеристики цих типів вібропресів, то ІВПМ має перевагу з точки зору регульованих параметрів навантаження і, отже, може вирішувати ширший спектр виробничих завдань. Інші відомі переваги гідроприводів дозволяють розглядати ІВПМ як більш перспективне обладнання, особливо при необхідності збільшення продуктивності і робочих сил, зниження металоємності, вирішення завдань підвищення ступеня механізації та автоматизації технологічних процесів, а також підвищення надійності і довговічності елементів механічного приводу [10, 11].

Таблиця 2

Типи вібраційного обладнання для формотворення заготовок

Найменування Характеристики		Максимальне робоче зусилля, кН	Межі зміни частоти робочих ходів, Гц	Межі регулювання ходу робочої ланки, мм	Тип приводу робочої ланки	Рівень впровадження	Цільове призначення
Тип обладнання	ВП	200	50	4	М	ДП, П	Виробництво вогнетривких виробів з пластичних та напівсухих мас
	ГП	2000	1...10	1...10	Г	Д	Осадження та витягування металів
	ППН	3150	50	1	Г	ДП	Калібрування та шліхтування труб і профілів
	ІВПМ	320	1...40	1...10	Г	ДП, П	Пресування заготовок з порошкових матеріалів формувальних та стержневих сумішей
	ЕГУ	320	1...55	0,1...1	ЕГ	С	Пресування заготовок з порошкових матеріалів

При виборі обладнання для ущільнення порошкових матеріалів візьмемо до уваги вібромолотковий прес типу ІВПМ як найбільш перспективну машину з економічної та технічної точки зору. Це пов'язано з тим, що сучасні програмні та апаратні засоби комп'ютерних систем в порівнянні з останніми десятиліттями зробили стрімкий прогрес в напрямку автоматизації виробництва, що дозволяє відтворювати необхідні технічні параметри на відомому обладнанні шляхом підключення виконавчих механізмів до системи управління [11, 12].

Така автоматизація дозволяє замінити складні, великі комп'ютери, які раніше встановлювалися безпосередньо біля відповідного обладнання, на системи управління, що містять контролер, адаптивну частину, елементи введення і візуалізації інформації, а сучасне програмне забезпечення, що використовується, дозволяє без додаткової комп'ютерної підготовки працювати в області віброформування без залучення фахівців широкого профілю та встановлювати різні датчики для постійного моніторингу технічних характеристик відповідного обладнання.



Однак з вище сказаного слід зазначити, що, незважаючи на всі переваги сучасного виробництва по впровадженню комп'ютерних технологій в систему управління, принцип відтворення основних рухів виконавця залишається незмінним в його роботі і, отже, основні елементи для збурення вібрації і вібропрасування мають однакове конструктивне рішення [11, 12].

5. Висновки

Вібраційні та віброударні преси широко застосовуються в типових випробувальних і вантажно-розвантажувальних операціях не тільки для ущільнення металевих порошків, але і для виробництва пластмас та інших порошкових матеріалів, ущільнення сумішей, що ущільнюються, обробки поверхонь абразивними матеріалами, реалізації будівельно-монтажних технологій і обробки пластичних матеріалів під тиском.

Устаткування, що використовується для віброформування, має різні конфігурації і конструктивні рішення, в залежності від типу виконуваних робіт, що забезпечує широкий асортимент вібраційного обладнання, але принцип побудови має спільні риси

Гідроінерційний прес зарекомендував себе як нове рішення для вібропресів. Він суттєво відрізняється від звичайних вібропресів на основі гідравлічних пресів способом створення діючої сили на заготовку.

Список використаних джерел

1. Паладійчук Ю. Б., Телятник І. А. Типи і конструкції вібробудувачів сучасного машинобудування. *Вібрації в техніці та технології*. 2022. № 4 (107). С. 26–35.
2. 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.
3. Іскович-Лотоцький Р. Д., Іванчук Я. В. Підвищення ефективності розвантаження матеріалів під дією періодичних ударних імпульсів. *Вібрації в техніці і технологіях*. 2008. № 2 (51). С. 8–11.
4. Іскович-Лотоцький Р. Д., Іванчук Я. В., Дослідження динаміки процесу роботи універсального гідравлічного віброударного приводу для розвантаження транспортних засобів. *Наукові нотатки. Міжсвузівський збірник (за напрямом «Інженерна механіка»)*. 2007. № 20. С. 184–187.
5. 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)
6. Rostislav Iskovych-Lototsky, Yaroslav Ivanchuk, Yaroslav Veselovsky, Konrad Gromaszek, and Ayaulym Oralbekova. 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. 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.
8. Matysiak S., Pusz P. Axisymmetric bousinesg problem for a granular hal. *Bulletin of Polish Academie of Sciences. Technical Sciences*. 1985. 33 (7/8), pp. 351–358.
9. Міськов В. П. Інерційний вібропрес-молот з електрогідравлічною системою керування гідроімпульсного приводу для формоутворення заготовок з порошкових матеріалів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.03.05. Вінниця, 2015. 22 с.
10. Zolotarevskaya D. I. Mathematical simulation and calculation of the soil compaction under dynamic loads. *Eurasian Soil Science*. 2011. № 44 (4), pp. 407–416.
11. A. Li, F. Dai, N. Xu, G. Gu, and Z. Hu. Analysis of a Complex Flexural Toppling Failure of Large Underground Caverns in Layered Rock Masses. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. URL : <https://doi.org/10.1007/s00603-019-01760-5>. (дата звернення 01.10.2022)
12. Debeleac C., Nastac S. Stochastic Approaches of Nonlinear Model-Based Simulations for Vibratory Compaction Process. *PAMM*. 2014. vol. 14 (1), pp. 749–750.

References

- [1] Paladijchuk, Yu.B., Telyatnik, I.A. (2022). Tipi i konstrukciyi vibrozbudzhuvachiv suchasного mashinobuduvannya. *Vibraciyi v tehnicji ta tehnologiyi*, 4 (107), 26–35. [in Ukrainian].
- [2] Veselovska, N.R., Paladijchuk, Yu.B., Telyatnik, I.A. (2022). Doslidzhennya mikrotverdosti poverhni cilindrichnoyi detali pri deformacijnomu protyaguvanni. *Tehnika, energetika, transport APK*, 3 (118), 31–42. [in Ukrainian].



- [3] Iskovich-Lotockij, R.D., Ivanchuk, Ya.V. (2008). Pidvishennya efektyvnosti rozvantazhennya materialiv pid diyeyu periodichnih udarnih impulsiv. *Vibraciyi v tehnici i tehnologiyah*, 2(51), 8–11. [in Ukrainian].
- [4] Iskovich-Lotockij, R.D., Ivanchuk, Ya.V. (2007). Doslidzhennya dinamiki procesu roboti universalnogo gidravlichnogo vibroudranogo privodu dlya rozvantazhennya transportnih zasobiv. *Naukovi notatki. Mizhvuzivskij zbirnik (za napryamom «Inzhenerna mehanika»)*, 20, 184–187. [in Ukrainian].
- [5] Miskov, V.P. (2015). Inercijnij vibropres-molot z elektrogidravlichnoyu sistemoyu keruvannya gidroimpulsnogo privoda dlya formoutvorennya zagotovok z poroshkovih materialiv : avtoref. dis. na здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : spec. 05.03.05 / Miskov Vadim Petrovich. pp. 22. Vinnicya, [in Ukrainian].
- [6] 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].
- [7] Iskovych-Lototsky Rostislav, Ivanchuk Yaroslav, Veselovsky Yaroslav, Gromaszek Konrad, Oralbekova Ayaulym (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].
- [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] Matysiak S., Pusz P. (1985). Axisymmetric bousinesg problem for a granular hal. *Bulletin of Polish Academie of Scienes, Technical Sciences*, 33 (7/8), 351–358. [in English].
- [10] Zolotarevskaya, D.I. (2011). Mathematical simulation and calculation of the soil compaction under dynamic loads. *Eurasian Soil Science*, 44 (4), 407–416. [in English].
- [11] Li A., Dai F., Xu N., Gu G., Hu Z. (2019). Analysis of a Complex Flexural Toppling Failure of Large Underground Caverns in Layered Rock Masses. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. URL : <https://doi.org/10.1007/s00603-019-01760-5>. (data zvernennya 01.10.2022). [in English].
- [12] Debeleac, C., Nastac, S. (2014). Stochastic Approaches of Nonlinear Model-Based Simulations for Vibratory Compaction Process. *PAMM*, 14 (1), 749–750. [in English].

RESEARCH OF SURFACE PLASTIC DEFORMATION UNDER HYDRO-IMPULSE INFLUENCE

Increasing requirements for modern machines necessitates the use of new equipment and the improvement of existing equipment. Methods and techniques aimed at improving its operational and quality characteristics. One of the areas of improvement is the method of surface plastic deformation, which qualitatively affects the overall reliability of the product.

However, surface plastic deformation does not allow for the development of a schematic diagram and a general-purpose device that can be used to strengthen a wide range of agricultural machinery parts.

Differences in the physical and mechanical properties of the materials of manufactured parts, their weight, dimensions, longitudinal and transverse stiffness, condition or position, hardening process, type of production and other factors in each specific case force designers and technologists to find reasonable options for designing new devices for processing parts by surface plastic deformation for ensuring high technical and economic indicators. Therefore, the development of surface plastic deformation devices and the improvement of existing equipment are urgent scientific and engineering tasks.

The introduction of modern methods and tools in the development of mechanical engineering ensures an increase in the reliability of parts and products in general, as well as a reduction in the cost of production.

This article describes the compaction of metal powders as a technological operation, as a result of which powder blanks are formed. The equipment for vibropressing of powder blanks is considered and compared. Technical processes of basic vibration and vibration impact are presented.

The methods and schemes of implementation of vibropressing of powder materials are demonstrated. The classification of vibro-compaction processes according to the characteristics of vibration and vibration modes is analyzed.

Key words: Surface plastic deformation, forming, hydraulic impulse, impulse compaction, vibropress-hammer.

Fig. 7. Table. 2. Ref. 12.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРА

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>).

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