

## ВІБРАЦІЙНЕ ПРЕСУВАННЯ ПОРОШКІВ ВІБРОПРЕС-МОЛОТОМ З ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНИМ КЕРУВАННЯМ

*Наведено основні вимоги щодо вібраційного пресування порошків, технологічні вимоги, що необхідно подолати та їх реалізація за допомогою відповідного обладнання. Наведено переваги багатокомпонентного вібраційного пресування за допомогою вібропрес-молота з електрогідравлічним керуванням.*

**Ключові слова:** вібропрес-молот, вібрація, порошки.

**Вступ.** Використання корисних вібрацій у таких технологічних процесах як пресування, формоутворення, розкочування, витягування дозволяє підвищити їх продуктивність, зменшити потужність обладнання та покращити якість виготовленої продукції. Також використання корисних вібрацій потребує вдосконалення конструкцій та комп'ютеризацію відомого вібраційного обладнання. Інтенсифікація виробництва вимагає постійного відслідковування робочих параметрів вібраційної машини (переміщення вібростола та значення тиску у системі) та їх корегування у процесі роботи. Необхідні питання вирішуються на кафедрі МРВОАВ Вінницького національного технічного університету, проводячи дослідження нових наукових рішень на базі вібропрес-молота (ІВПМ-16).

**Огляд останніх джерел досліджень і публікацій** показав, що вібраційне пресування порошків, а також використання вібрацій у різних технологічних процесах дозволяє підвищити їх ефективність у порівнянні зі звичайним. Використання нових комп'ютерних технологій у відомому вібраційному обладнанні розширяє його можливості та дозволяє проводити автоматизацію зміни робочих параметрів пресового обладнання.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** Вібраційне пресування широковідомий технологічний процес, реалізацію якого забезпечує велика номенклатура обладнання з різними типами приводів. Однак швидкі темпи розвитку комп'ютерних технологій та необхідність їх впровадження у технологічний процес для автоматизації виробництва, потребує необхідного наукового дослідження, щодо можливості модернізації відомого обладнання шляхом його комп'ютеризації.

**Постановка завдання.** Необхідно створити комбінований багатокомпонентний вібропрес-молот з електрогідравлічним керуванням, що дозволить реалізовувати поставлені технологічні проблеми, за рахунок комп'ютеризації регулюючого обладнання.

### Основний матеріал та результати

Формоутворення порошків представляє собою технологічну операцію, в результаті якої утворюється порошкова формовка, тобто тіло із заданою формою, розмірами та щільністю. Початковий об'єм сипучого матеріалу під дією зусилля зменшується та проходить ущільнення порошку. Проходить зміна початкового об'єму, який займає порошок, що відрізняє його від деформації компактного тіла, об'єм якого залишається сталим, хоча геометричні розміри змінюються. Ущільнення порошку забезпечується формоутворенням в металевих пресформах чи в еластичних оболочках. Формоутворення металевих порошків розділяється за наступними методами: пресування; ізостатичне формоутворення; мундштучне формоутворення; прокатка; шлікерне формоутворення; імпульсне та вібраційне формоутворення. Тим чи іншим чином всі методи формоутворення металевих порошків можливо порівняти з процесом пресування.

Вібраційне формоутворення отримало широкий спектр застосування у різних галузях промисловості. Ефективність використання корисних вібрацій дозволяє при не знач-

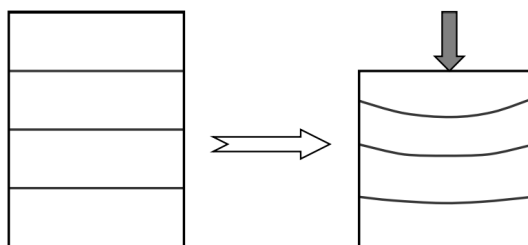
них зусилля 0,3-0,6 МПа отримувати заготовки малопластичних (наприклад, карбіди, боріди металів та порошки вольфраму і титану) порошків щільністю 65-85%. Класифікація процесів вібраційного формування за ознаками вібраційного та віброударного режимів, залежить від складової навантаження – пульсуюче чи ударне (імпульсне). Схеми вібраційних та віброударних технологій знайшли, широке застосування у виробництві заготовок з порошкових матеріалів, ущільнення формуючих сумішей, фінішній обробці поверхонь деталей абразивними матеріалами, реалізації будівельно-монтажних технологій, технологій обробки пластичних матеріалів тиском та інших. Вібраційне та віброударне формування (пресування), у порівнянні з іншими способами пресування, забезпечує виконання технічних вимог до заготовок більш економічно. Зокрема останнє пояснюється значним зниженням робочого зусилля у порівнянні із зусиллям статичного пресування, зменшення зносу деталей прес-форми, а також забезпечення можливості їх виготовлення з тонкими стінками. Особлива ефективність вібраційного пресування відзначається при формоутворенні заготовок виробів складної конфігурації і великих габаритів.

### **Особливості процесів вібраційного пресування**

В результаті аналізу особливостей характеру зміни фізико-механічних властивостей заготовок в процесі їх вібраційного пресування при інерційному навантаженні було відзначено, що пластичне деформування, або формоутворення за рахунок зростання залишкових деформацій в заготовці відбувається дискретно, а їх величина зменшується зі збільшенням поточного значення густини заготовки для кожного наступного циклу навантаження. Враховуючи, що заготовка, яка деформується, є сукупністю безлічі непластичних частинок основи порошкового матеріалу, можна припустити, що процес деформування має характер зсуву без істотного руйнування частинок, оскільки для досягнення заданої остаточної густини заготовки потрібне динамічне зусилля навантаження значно (в десятки разів) менше відповідного статичного.

Для ударно-вібраційних режимів навантаження відзначено додаткове зростання пластичної деформації заготовки під впливом повторного імпульсу зусилля, коли первинний імпульс викликав в заготовці лише пружні деформації. Вказана закономірність характерна для випадків віброударного пресування заготовок з незначним змістом наповнювача для сталих режимів інерційного навантаження.

Віброударне пресування у порівнянні зі звичайним має кращу рівномірність пресування, адже при звичайному пресуванні розподіл шарів порошку розподіляється не рівномірно, що зумовлене внутрішнім та боковим тертям. Результат такого розподілу представлений на рис. 1. Складність переміщення порошку у внутрішній поверхні матриці добре ілюструють шари кальки або фольги, що розділяють частини вихідного об'єму і орієнтовані перпендикулярно осі навантаження.



**Рис. 1 Розподіл щільності за обсягом пресування**

При збільшенні навантаження спостерігається вигинання шарів по осі пресування. Якщо спочатку частини об'ємів однакові, то верхні шари виявляються більш тонкими, тобто більш щільними, ніж нижні. Це наочно ілюструє зменшення тиску пресування по віддаленню від пуансона. Такий характер розподілу шарів у вібраційного пресування має місце але у не значній формі. Для вібраційного пресування важливою проблемою є глибина пресування, що для великогабаритних заготовок є дещо проблематично.

## Обладнання та схеми вібраційного та віброударного пресування

Перші промислові технології формоутворення заготовок виробів із порошкових матеріалів проводились на традиційному пресовому обладнанні. Але не зважаючи на різноманітність технологій вібраційного та віброударного пресування схеми пресування заготовок залишаються наступними: з вібруючим контейнером, пуансоном та матрицею (рис. 2)

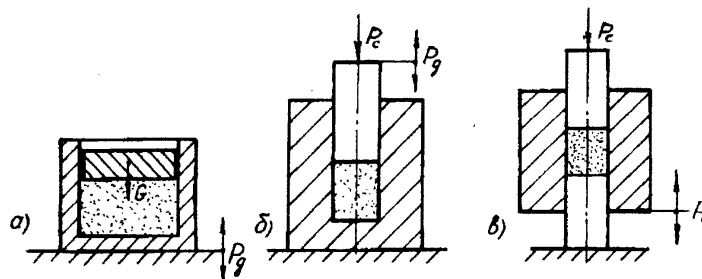


Рис. 2 Схеми пресування заготовок у закритій прес формі при вібруванні контейнера (а), пуансона (б) та матриці (в)

Для впровадження технологічних вібраційних процесів використовуються вібраційне та віброударне обладнання, яке виготовляється за єдиною структурною схемою (рис. 3). Від джерела енергії, привода енергоносія та системи елементів управління і розподілення енергії передається на привід генератора вібрацій, який з'єднаний з виконавчою робочою ланкою, і на привід допоміжних робочих ланок, які зображені, як приклад у вигляді пуансона – інерційної маси.

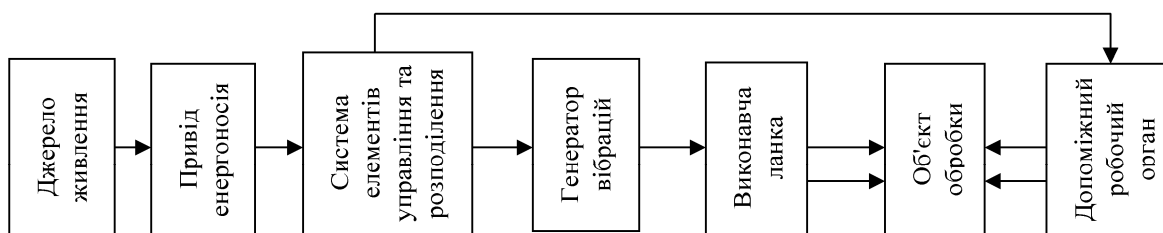


Рис. 3 Структурна схема типової ВМ та ВУМ:

→ – лінійний зв'язок, —→ – напрямок дії.

Зважаючи на це конструкції та номенклатура вібраційного обладнання містить основні елементи звичайних пресів. Більшість робіт зі створення спеціального обладнання для формоутворення заготовок методом вібраційного пресування часто завершувались на стадії випробовування дослідного чи освоєння дослідно-промислового зразка. Основна причина полягала у низькій технологічній та економічній ефективності. Однак вібраційне та віброударне обладнання все-таки знайшло широке застосування у різних галузях зокрема у порошковій металургії.

У випробовувальних вібраційних машинах нерідко реалізуються вузько полосну чи широко полосну стаціонарну випадкову вібрацію. Зазвичай це роблять у тих випадках, коли умови вібраційних досліджень об'єкта повинні бути в достатній мірі близькими до випадкових впливів, яким піддається об'єкт в реальних умовах.

В залежності від потреб практики примусового впливу, створюючого вібробуджувачем чи декількома вібробуджувачами, які приводять у вібраційних рух загальний виконавчий орган, може бути одномірним, двомірним та трьохмірним.

Направленими називають одномірні вимушені впливи, вектор яких має незмінний напрямок і коливальний модуль. Коловими називають вимушені впливи, вектор якого рів-

номірно обертається і має незмінний модуль. Аналогічно вібрацією точки також називають направленою чи коловою при відповідному поводженні вектор її швидкості.

В залежності з потребами технологій чи випробовувань можливо використати безударний вплив чи ударно-вібраційний вплив, коли вібраційний рух інерційного елемента переміщується наступними один за другим ударом. Удари можуть створюватись в самому віброзбуджувачі чи у вібраційному приводі, в сумі пристроїв для збудження вібрації, її перетворення та передачі виконавчому органу машини, або при зіткненні виконавчого органу машини з оброблюючим середовищем.

При розгляданні вібраційних пристосувань змушені користуватись поняттям як автономних, так і не автономних систем. Для практичного використання майже незатухаючих вільних коливань необхідно коливальна система з дуже малим розсіюванням енергії і, крім того, потрібна надійна ізоляція системи, що вібрує від впливу зовнішніх факторів. Такі вимоги практично виключають використання вільних коливань в технологічних цілях.

Автоколивання можуть виникати в визначених нелінійних автономних динамічних системах, в яких поглинання енергії для подолання дисипативних сил компенсовано поглинанням порцій енергії від не коливального джерела, причому це поглинання регулюється автоматично, самою системою в процесі її руху. Якщо автоколивальна система представляє вібратор з малим демпфуванням, то автоколивання такої системи енергетично доцільне, а в більшості випадків найбільш просто здійснюється близькими по частоті і формі до одної із власних частот і форм вібрації. Якщо система не являється коливальною, то відмічена можливість відсутня, але відкриваються більш широкі можливості керування частотою та спектральним складом автоколивань. Якщо під час розрахунку системи вплив віброзбуджувача можливо представити як деяку задану функцію часу, то коливальна система являється неавтономною.

Існує три способи збудження вібрацій неавтономних динамічних систем: силовий, кінематичний та параметричний. Системи з силовими і кінематичними збудженнями здійснюють вимушені коливання, а з параметричним збудженням - параметричні коливання. Силові збудження коливань здійснюють дію на систему вимувених сил і (або) вимувених моментів, тобто змінних у часі зовнішніх сил і моментів, не залежних від координат стану системи. Кінематичне збудження коливань здійснюється повідомленням із зовні деяким її точкам (або тілам) переміщень, які не залежать від координат стану системи.

Більшість сучасних вібраційних машин працюють у режимах вимувених коливань. Використання вимувених коливань відкривають широкі можливості розробки вібраційного привода, що реалізує коливання різної амплітуди та фазового спектру.

Саме тому від методу збудження вібрацій розрізняють: відцентровий, електромагнітний, електродинамічний, кінематичний та примусові гідравлічні і пневматичні віброзбуджувачі. В залежності від чого приводи вібраційних технологічних машин поділяють на: механічні, гідравлічні, пневматичні, електричні та комбіновані.

З вище перерахованих приводів нас цікавить гідравлічні віброзбуджувачі, які у порівнянні з іншими дають можливість отримання великих потужностей та мають відносно просту конструкцію.

Гідравлічні віброзбуджувачі передають коливання виконавчій ланці вібромашини у випадку використання пульсуючого джерела робочої рідини, або переривання потоку робочої рідини постійної подачі за допомогою золотникових та інших регулюючих пристроїв.

Гідравлічні віброзбуджувачі по принципу дії ділять на пульсуючі, автоколивальні, слідкуючі та самокеруючі.

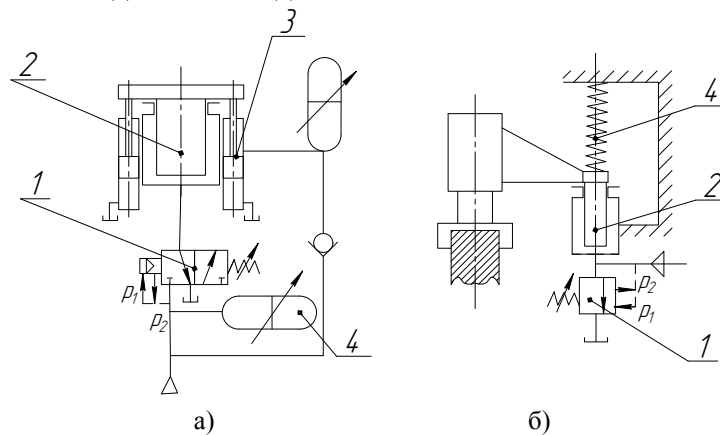
Одним із найбільш істотних недоліків гідравлічних машин – втрати робочої рідини у процесі роботи через технологічні зазори між поршнем та циліндром, ущільненнями та штоком, та нагрів робочої рідини, що спричинено замкненим об'ємом. Також до недоліків

можна віднести те, що при зростанні величини амплітуди коливань зменшується їх частота; складність керування та налагодження віброзбуджувачів, оскільки більшість гідравлічних віброзбуджувачів налагоджується параметрично, що має негативний фактор, а саме налагодження проводиться з похибкою у  $\pm 5\%$ , що для сучасних умов експлуатації просто не припустимо.

Основними перевагами пульсуючих віброзбуджувачів з насосами – пульсаторами – чітка реалізація заданої амплітуди та частоти поршня виконавчого циліндра. Даний привід об'ємної дії. Амплітуда коливань штока робочого циліндра визначається об'ємом, витисненим поршнями насоса – пульсатора, і співвідношень конструктивних параметрів машини незалежно від робочого навантаження. До переваг відноситься також велике створюване зусилля, що у порівнянні з іншими віброзбуджувачами, враховуючи їхні габарити, значно більше. Простота схем підключення. Можливість використання за будь яких умов та середовищах. Великий ряд частот створюваних вібрацій.

Одним із видів гідравлічних віброзбуджувачів є гідроімпульсний привід ГІП. Принцип роботи приводу полягає у створенні імпульсу енергії рідини, що діє на виконавчу ланку вібраційної машини, за рахунок регулюючої апаратури. Основним елементом ГІП являється генератор імпульсів тиску ГІТ, який у технічній літературі також відомий під назвами «клапан пульсатор» та «гідроімпульсний віброзбуджувач». Основними перевагами даного привода являється високі створювані зусилля до 100 кН, в залежності від експлуатаційних та технологічних вимог, при незначних габаритах, малий робочий тиск у гідравлічній системі до 10 МПа та використанні малопотужних електродвигунів до 5 кВт.

Основними елементами ГІП являються гідравлічний насос, гідроакумулятор та генератор імпульсів тиску. В залежності від підключення ГІТ до виконавчої ланки вібраційної машини вони умовно поділяються «на вході», «на виході», та «комбіновані», що дозволяє отримувати різні типи навантаження на виконавчій ланці, а також розширяє технологічні можливості використання даного обладнання.



**Рис. 4** Схеми вібраційних та віброударних машин з гідроімпульсним приводом: а – з триходовим генератором імпульсів тиску; б – з двохходовим генератором імпульсів тиску

Зважаючи на широку номенклатуру конструктивних рішень, ГІТ потребують поглибленого вивчення та вдосконалення, що можна продемонструвати на роботі ГІП з ГІТ. Гідроімпульсний привід з триходовим двопозиційним генератором імпульсів тиску 2 (рис. 4, а) застосовується в вібропресах, вібротрамбовках та інших машинах з підвищеними вимогами по відношенню до енергії імпульсу, швидкості і ККД. Залежно від розрахункової енергії одного ходу вібраційної ланки 2 виконується зарядка одноходового акумулятора 4 від напірної магістралі до тиску  $p_1$ , при якому генератор імпульсів тиску 1 відкривається і забезпечить розрядку акумулятора на робочу ланку 2. По мірі розрядки акумулятора 4 тиск в системі падає до  $p_2$ , генератор імпульсів тиску 1 закривається, а порожнина циліндра з'єднується зі зливом, після чого під дією гідропружин 3 вібраційна ланка 2

повертається у вихідне положення. Частина корисної роботи може бути здійснена в кінці цього зворотного ходу (струшуючі та випробувальні машини).

До складу приводу, принципова схема якого показана на рис. 4 б, входить більш простий двопозиційний генератор імпульсів тиску 1, встановлений на лінії зливу з порожнини циліндра робочої ланки 2. Рідина по напірній магістралі подається безпосередньо в порожнину циліндра і переміщує вібраційну ланку 2 вгору. При досягненні в порожнині циліндра тиску  $p_1$  генератор імпульсів тиску 1 з'єднує її зі зливом. У процесі повернення вібраційної ланки у вихідне положення при відкритому генераторі імпульсів тиску під дією пружини 4 чи сил тяжіння ударних частин робочої ланки 2 тиск в системі падає до величини  $p_2$  і генератор імпульсів тиску 1 закривається після завершення витрат зливу. В даній схемі відсутній акумулятор в тому вигляді, в якому він зображений на рис. 1.9, а. Роль акумулятора енергії виконує чи пружина 4, чи ударні частини вібраційної ланки, від висоти розташування яких залежить накопичена потенціальна енергія ( $mgh$ ). Ця енергія виконує корисну роботу при відкритому на злив генераторі імпульсів тиску 1, забезпечуючи таким чином вільний хід вібраційної ланки вниз.

З вище викладеного стає зрозумілим, що головним віброзбуджувачем являється генератор імпульсів тиску, робота якого відбувається із спрацювання першого каскаду, який налагоджується параметрично. Недоліком даного налагодження являється його складність налагодження та не постійність у часі. Оскільки налагодження відбувається за рахунок пружних елементів, які можуть втрачати свої властивості під час роботи. А також не точністю спрацювання, під час тривалої роботи, при заданому тиску  $p_1$ . Відхилення від тиску спрацювання та номінального тиску, при якому спрацьовує запірний елемент першого та другий каскади має похибку  $\pm 5\%$  [ ], що значно впливає на закон, який відпрацьовує генератор імпульсів тиску. Саме тому виникає потреба у більш точному керуванні першого каскаду генератора імпульсів тиску, адже система може мати декілька віброзбуджувачів, що у кінцевому результаті дасть негативний ефект.

Звертаючи увагу на темпи розвитку електронних, гідравлічних технологій та технологій комп'ютерного програмування, а також враховуючи потреби сучасного виробництва виникає задача у інтенсифікації технологічних процесів та уніфікації виробничих модулів, що для машин, які створюють вібрації використовуючи вищевказані приводи, задачу можливо вирішити за рахунок поєднання та комбінування різних технологій.

Шляхом логічного аналізу можливо припустити, що найбільш ефективним поєднанням буде поєднання гідравлічного та електричного приводів для використання у технологічних процесах, де потрібно застосувати велику потужність та велику частоту. Оскільки враховуючи сучасну номенклатуру елементів та способів, що створюють вібрації обох приводів можливо проаналізувати переваги та недоліки їх поєднання.

Суть даного поєднання полягає у використанні переваг обох приводів, які будуть доповнювати один одного. А саме відомо, що гідравлічні віброзбуджувачі створюють великі робочі зусилля, маючи значно менші габарити у порівнянні з іншими віброзбуджувачами. В ту чергу як електромагнітні віброзбуджувачі мають, у порівнянні з іншими приводами, значно більшу частоту та досить просте її відтворення за заданим законом, що зумовлене використанням програмного забезпечення. Тому поєднавши обидва приводи ми отримуємо пристрій, який видає великі зусилля з великою частотою та програмується у блоці керування. Такий підхід полегшує процес налагодження обладнання та зміну його робочих параметрів.

Використовуючи дану систему керування можливо застосувати одночасно декілька паралельно працюючих вібронавантажувачів, що характеризує собою процес багатоконпонентного навантаження, яке має ряд переваг під час вібраційного пресування заготовок великих габаритів та складного форми. Тим самим, ми з легкістю зможемо контролювати силу, час та амплітуду коливань у всіх напрямках поширення вібрацій, що позитивно дія-

тиме на процес формоутворення. Перевагами такого комплексу є постійний моніторинг робочих параметрів та швидка їх зміна під час роботи .

**Висновки.** Вібраційне пресування – один з ефективних методів формоутворення, який дозволяє отримувати складні форми заготовок порошків металів та неметалів, а також інших пластичних матеріалів. Способи реалізації вібраційного пресування мають широку номенклатуру обладнання, однак вимоги сучасного виробництва потребують модернізації та автоматизації відомого обладнання, що можливо виконати шляхом комп'ютеризації пресового обладнання та використання комбінованих приводів. Такий підхід забезпечить необхідні робочі параметри на виконавчій ланці та забезпечить чітке відпрацювання кожного із приводів під час багатокomпонентного навантаження.

#### *Література*

1. Бальшин М.Ю. / Основы порошковой металлургии [Текст] // Бальшин М.Ю., Кипарисов С.С. – М.:Металлургия, 1978. – 184 с.
2. Баранов В.Н. / Электрогидравлические и гидравлические вибрационные машины [Текст] // Баранов В.Н., Захаров Ю.Е. – М.:Машиностроение, 1977. -326 с.
3. Вибрации в технике: Справочник в 6-ти т. [Текст] / Ред. Сонет: В.Н. Челомий (пред.). - М.:Машиностроение, 1981. – Т.4. Вибрационные процессы и машины / Под ред. Е.Е. Лавендела. – 509с.
4. Матвеев И.Б. / Гидропривод машин ударного и виброударного действия. [Текст] М. – Машиностроение, 1974, 184 с.
5. Іскович – Лотоцький Р.Д. / Процеси та машини вібраційних і віброударних технологій. Монографія. [Текст] // Іскович – Лотоцький Р.Д., Обертюх Р.Р., Севостьянов І.В.–Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 206-291с.
6. Іскович – Лотоцький Р.Д. / Генератори імпульсів тиску для керування гідроімпульсними приводами вібраційних та віброударних технологічних машин: Монографія. [Текст] // Іскович – Лотоцький Р.Д., Обертюх Р.Р., Архипчук М.Р. – Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2008. – 171 с.

© Р.Д. Іскович-Лотоцький, В.П. Міськов

УДК 621.74

*Р.Д. Іскович-Лотоцький, проф., д.т.н.; В.П. Міськов, аспірант  
Вінницький національний технічний університет*

### **ВИБРАЦИОННОЕ ПРЕССОВАНИЕ ПОРОШКОВ ВИБРОПРЕСС-МОЛОТОМ С ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИМ УПРАВЛЕНИЕМ**

*Приведены основные требования к вибрационному прессованию порошков, технологические требования, которые необходимо преодолеть и их реализация с помощью необходимого оборудования. Приведены преимущества многокомпонентного вибрационного прессования с помощью нагружения вибропресс-молота с электрическим управлением.*

**Ключевые слова:** вибропресс-молот, вибрация, порошки.

UDC 621.74

*R.D. Iskovich-Lototskiy, professor, Doctor of engineering sciences; V.P. Miskov, postgraduate  
Vinnitsia national technical university*

### **VIBRATORY COMPACTING THE POWDER VIBRO-HAMER WITH ELEKTRO-HYDRAULIC CONTROL**

*The basic requirements for vibratory compaction of powders, technological requirements that need to be overcome, and their implementation by means of the necessary equipment. The advantages of a multi-component vibratory compaction using loading vibropress hammerhead electrically operated.*

**Keywords:** vibro-hammer, vibration, powder.