**МАШИНОБУДУВАННЯ ТА МАТЕРІАЛОБРОБКА**

УДК 510.5:621

**ФОРМОУТВОРЕННЯ ЗАГОТОВОК ПОРОШКОВИХ МАТЕРІАЛІВ НА
ВІБРОПРЕСОВОМУ ОБЛАДНАННІ***Іскович-Лотоцький Ростислав Дмитрович д.т.н., професор**Вінницький національний технічний університет**Зелінська Оксана Владиславівна асистент**Вінницький національний аграрний університет***Iskovych-LototskyuR.***Vinnitsia National Technical University***Zielinska O.***Vinnitsia National Agrarian University*

Анотація: розглянуті проблеми формоутворення та досліджено закономірності віброударного пресування. Загальний аналіз робіт з вібраційного та віброударного пресування дозволив відзначити особливу ефективність даних способів для формоутворення заготовок виробів складної конфігурації. Встановлено деякі закономірності впливу параметрів режимів на досягнення розрахункових значень.

Ключові слова: вібропресові машини, гідроімпульсний привід, ефективність, система діагностування.

Вступ

Експлуатація інерційних вібропрес-молотів (ІВПМ), створених за результатами досліджень авторів [1,2], показала придатність даного обладнання при здійсненні пресування заготовок складної конфігурації та потребує підвищення ефективності формоутворення заготовок порошкових матеріалів.

На основі дослідження закономірностей віброударного пресування для кожного типу порошкового матеріалу можна вказати найефективніший основний режим ВУП, а для конкретного зразка із заданого матеріалу – найраціональніше співвідношення величин енергії, при яких він досягає максимальної середньої щільності в разі мінімальної відносної нерівнощільності за об'ємом і відсутності на його поверхні ознак пере і недопресувань.

В зв'язку з цим задача формоутворення заготовок порошкових матеріалів на вібропресовому обладнанні є актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В роботі [1] сформовано основи теорії розрахунку та розробка процесів і обладнання для віброударного пресування. В зазначених роботах [1-4] даються основні напрямки досліджень в питаннях формоутворення заготовок, визначені проблеми формоутворення заготовок порошкових матеріалів.

Мета досліджень

Метою досліджень є підвищити ефективність формоутворення заготовок порошкових матеріалів на вібропресовому обладнанні з ГПП за рахунок дослідження закономірностей віброударного пресування.

Результати досліджень

Формоутворення заготовок здійснюється методами пресування, вільної насипки у форму, лиття суспензій і паст, ущільнення, утрамбування і рядом їх комбінацій. Найпоширеніше формоутворення заготовок методом пресування, реалізованим різними способами, наприклад, простим [5-6], східчастим, ізостатичним, мундштуковим, імпульсним, ударним, вібраційним, віброударним. Пресування здійснюється на відповідному пресовому обладнанні за рахунок тиску, створюваного пуансоном під дією осьового зусилля на відкритій поверхні порошкового матеріалу, розміщеного в контейнері звичайної прес-форми закритого типу, а обстисненим однорідним середовищем (рідиною, газом) при використанні оболонкових форм. Задану схему пресування забезпечує конструктивне виконання прес-форми (одно- або двостороння, з матрицею, що плаває, з рухомим пуансоном і т.п.). Застосування інших методів формоутворення визначається їх можливостями і залежить від вимог, що пред'являються до складу шихти, геометричних і фізико-механічних характеристик заготовок.

Термообробка забезпечує перетворення заготовки в міцні вироби із заданими фізико-



механічними властивостями. Низькотемпературній термообробці, абосушінню (при температурі до 200°C) після формоутворення піддаються заготовки практично зі всіх порошкових матеріалів з метою їх додаткового зміцнення перед транспортуванням, складанням або завантаженням в зону високотемпературної термообробки (спікання, випалу).

З попередніх досліджень [1] нами було встановлено, що основними параметрами по яких можна проаналізувати формоутворення заготовок порошкових матеріалів та ефективно функціонування ІВПМ є щільність заготовки (ρ_{cp}), нерівнощільність заготовки (ϵ_p) та енергія накопичена в одноцикловому гідроаккумуляторі.

З технологічних експериментів на вібропресі ІВПМ-5Л, встановлено деякі закономірності впливу параметрів режимів на досягнення розрахункових значень середньої щільності ρ_{cp} та відносної нерівнощільності ϵ_p заготовок після завершення процесу їх формоутворення. Значення ρ_{cp} та ϵ_p визначалися за допомогою виразів

$$\rho_{cp} = \frac{m_{заг}}{W_{заг}} \quad \text{та} \quad \epsilon_p = \frac{|\rho_1 - \rho_{cp}|}{\rho_{cp}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

де $m_{заг}$ – маса навішування порошкового матеріалу; $W_{заг}$ – об'єм заготовки після завершення її формоутворення; ρ_1 – середня щільність виділеного об'єму $W_{заг}$ заготовки масою m_1 . Об'єм заготовок правильної геометричної форми розраховувався за відомими аналітичними залежностями [5]. Для визначення лінійних розмірів використовувалися штангенциркуль і мікрометр. Об'єм виділених (розрізаних) частин заготовок встановлювався методом гідростатичного зважування [6]. Для визначення маси використовувалися лабораторні ваги з набором важків. Необхідне мінімальне число вимірювань бралось рівним трьом для забезпечення вірогідності результатів 0,9...0,95. Оцінювання придатності заготовок, отриманих ВУП, проводилось порівнянням розрахункових величин ρ_{cp} та ϵ_p з їх допустимими значеннями $\rho_{cp} \geq \rho_{cp1}$ і $\epsilon_p \leq \epsilon_{p1}$, що дозволяють посередньо охарактеризувати механічну міцність заготовок і рівномірність розподілення в них внутрішніх напруг. При проведенні попередніх технологічних експериментів оцінювання придатності заготовок проводилось також візуально за наявності на їх поверхнях ділянок пере- і недопресовувань у вигляді тріщин, спучувань (пружна післядія) і механічних руйнувань ділянок тіла заготовок після її витягання з контейнера прес-форми.

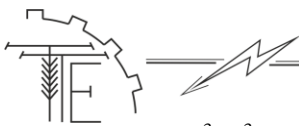
Експерименти показали, що в межах кожного з основних режимів ВУП параметри заготовки ρ_{cp} та ϵ_p істотно залежать від величини енергії E_a , накопиченої в одноцикловому гідроаккумуляторі для здійснення робочого ходу ІВПМ.

Пресування заготовок «еталонних зразків» порошкових матеріалів М1, М2, М3, М4, однакові навішування яких ($m_{заг}=110$ г.) засипались в циліндричний ($\varnothing 55$ мм) контейнер прес-форми закритого типу. Порошкові матеріали: М1 – мінеральний порошок НЕФ; вологість 13%; зв'язка жирова 3,2 %; М2 – мінеральний порошок НЕФ; вологість 2%, зв'язка відсутня; М3 – карбід кремнію зел. №4, 10, 12, М28-80%, бакеліт – 10%, кокс – 10%; М4 – вогнетривкий шамот, вологість 13,8%, зв'язка цегляна 31,2%.

Пресування здійснювалося на лабораторному вібропресі ІВПМ-5Л (див. рис.1). ІВПМ-5Л оснащений універсальним гідроімпульсним приводом з двокаскадним триходовим двопозиційним віброзбуджувачем, приєднання якого можливо за схемами "на вході" та "на виході". Вузол пружного повернення робочої ланки ІВПМ-5Л виконаний у вигляді механічних пружин стискання, а додаткове статичне притискання рухомої поперечини до заготовки забезпечує гідроциліндр з незалежним допоміжним насосним приводом. Вказані заходи дозволили істотно розширити технологічні можливості лабораторного вібропреса ІВПМ-5Л і використати його для відпрацювання реальних технологій виробництва заготовок з порошкових матеріалів.

Для зміни параметрів навантаження на вібропресі ІВПМ-5Л передбачено: східчаста зміна подачі робочої рідини в ГПП відповідно від насосів НШ10 ($0,25 \cdot 10^{-3}$ м³/с) та НШ46У (10^{-3} м³/с); статичне притискання пуансона до заготовки штоком гідроциліндра 8, що приводиться від насоса допоміжного приводу НШ6 ($0,15 \cdot 10^{-3}$ м³/с) при плавному регулюванні тиску настройки запобіжного клапана $p_{2к}$ в межах від 0 до 2,5 МПа; використання змінних інерційних вантажів 7 (по 5 кг та 10 кг) загальною масою до 80 кг; плавне регулювання тиску p_1 настройки спрацьовування віброзбуджувача 3 в межах від 5 до 15 МПа під час настроювання запобіжного клапана на тиск $p_{1к} = 16$ МПа; зміна об'єму порожнини гідроаккумулятора 2 в межах від 10^{-3} до $2,5 \cdot 10^{-3}$ м³.

На ІВПМ-5Л з віброзбуджувачем "на вході" регулювання енергії E_a і вибір режиму ВУП здійснювалися зміною співвідношень параметрів ГПП: об'єму гідроаккумулятора (1200 см³; 1520 см³; 2000 см³); тиску настроювання спрацьовування віброзбуджувача (8 МПа; 10 МПа; 11 МПа); подачі



насоса ($0,25 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$ – НШ10; $10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$ – НШ46У). Маса інерційноговантажувибиралась з умови створення на поверхні заготовкипитомого зусилля $0,1 \dots 0,15 \text{ МПа}$, а додаткове статичне притискання забезпечувало можливість його збільшення до 1 МПа . Величина енергії E_a для кожного випадку визначалася розрахунковим шляхом. Значення $K_{\text{пр}}$ бралось постійним ($K_{\text{пр}} = 1,41 \cdot 10^9 \text{ Па}$) [3].

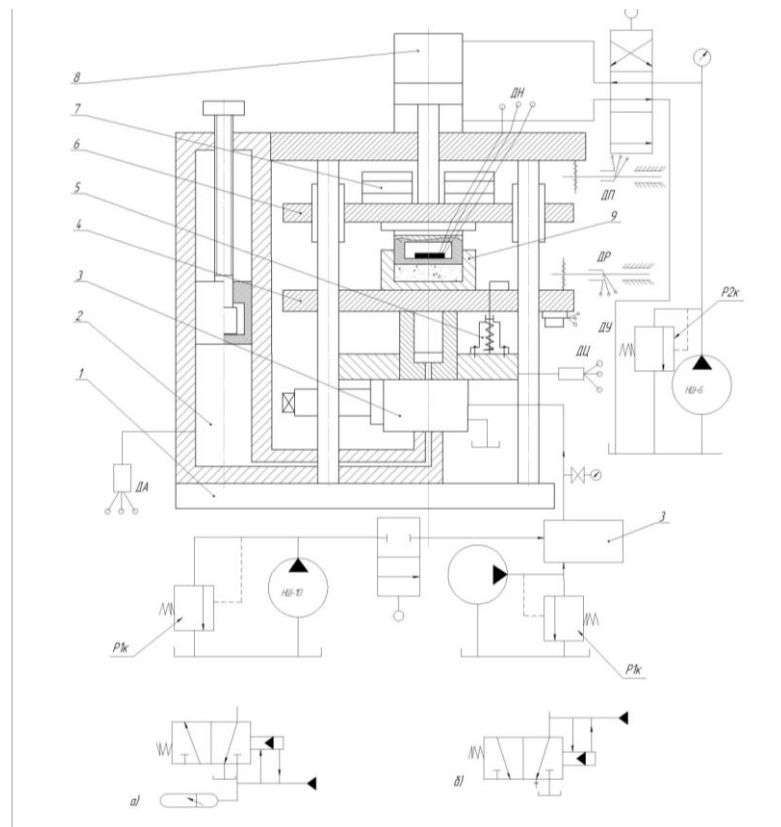
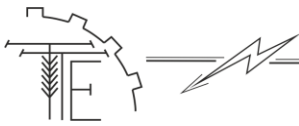


Рис. 1. Конструктивна схема вібропреса ІВПМ-5Л та принципові схеми розподілення робочої рідини при підключенні вібробуджувача "на вході" (а) і "на виході" (б): 1 – станина; 2 – гідроаккумулятор з регульованим об'ємом; 3 – вібробуджувач; 4 – робочий стіл; 5 – пружини пружного повернення; 6 – рухома поперечина; 7 – змінні інерційні вантажі; 8 – гідроциліндр статичного притискання; 9 – прес-форма; ДА та ДЦ – датчики тиску; ДР та ДП – датчики переміщень; ДН – датчик зусилля; ДУ – датчик прискорень

Для визначених співвідношень параметрів приводу, які забезпечують енергії $E_{a1} = 34,2 \text{ Дж}$ ($W_{a1} = 1,52 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$; $p_1 = 8 \text{ МПа}$), $E_{a2} = 48,2 \text{ Дж}$ ($W_{a2} = 1,28 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$; $p_1 = 10 \text{ МПа}$), $E_{a3} = 53,1 \text{ Дж}$ ($W_{a3} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$; $p_1 = 10 \text{ МПа}$) і $E_{a4} = 85,8 \text{ Дж}$ ($W_{a4} = 2,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$; $p_1 = 11 \text{ МПа}$), на ІВПМ-5Л реалізувалися основні режими ВУП.

Тривалість процесу ВУП встановлювалася 3 с, 4 с, 5 с і 7 с. Ефективність кожного з режимів у залежності від тривалості навантаження оцінювалася за результатами вимірювань середньої щільності та відносної нерівномірності трьох "еталонних" зразків з даного порошкового матеріалу, а також знаходження їх середньоарифметичних значень. Середня щільність зразків визначалася безпосередньо після їх витягування з прес-форми. Для визначення відносної нерівномірності кожного "еталонний" зразок, попередньо витриманий у сушильній шафі при температурі 100°C протягом 16...18 годин, знову піддавався вимірюванню середньої щільності, а потім розділювався на три приблизно рівні за висотою частини. Об'єм даних частин визначався гідростатичним зважуванням. При розрахунку відносної нерівномірності вибиралося максимальне значення $|p_i - p_{\text{ср}}|$ абсолютного відхилення середньої щільності висушеного зразка.

Аналіз результатів ВУП "еталонних" зразків (див. табл. 1) показує, що найістотніше на величини їх середньої щільності та відносної нерівномірності впливають значення енергії E_a , накопиченої у порожнині одноциклового гідроаккумулятора для здійснення одного робочого ходу ІВПМ та енергії $E_{\text{полн}}$ витраченої на весь процес формоутворення.



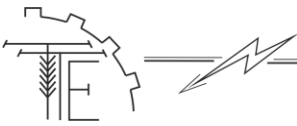
Таблиця 1

Результати віброударного пресування еталонних зразків на ІВПМ

M1 (мінеральний порошок НЕФ; вологість 13%; зв'язка жирова 3,2%)					M2 (мінеральний порошок НЕФ; вологість 2%; зв'язка відсутня)				
ρ=0,12 МПа					ρ=0,12 МПа				
E=34,2 E=48,2 E=53,1 E=85,8					E=34,2 E=48,2 E=53,1 E=85,8				
f=13,6 f=11,8 f=11,1 f=8,2					f=13,6 f=11,8 f=11,1 f=8,2				
Н	2,13	-	-	-	Н	1,7-1,85	-	-	-
	2,1	-	-	-		3,2-4,1	-	-	-
Д	2,22-2,35	2,30-2,35	2,30-2,38	-	Д	1,81	2,10-2,12	2,10-2,15	-
	2,2-5,1	4,0-5,4	3,9-5,3	-		3,8	2,5-2,9	2,8-3,4	-
П	-	2,25-2,32	2,29-2,40	2,48-2,60	П	1,78	2,21	2,2	2,20-2,30
	-	7,2-9,3	8,1-8,8	7,9-10,2		7,8	8,2	7,6	10%-11%
M1 (мінеральний порошок НЕФ; вологість 13%; зв'язка жирова 3,2%)					M2 (мінеральний порошок НЕФ; вологість 2%; зв'язка відсутня)				
ρ=0,15 МПа					ρ=0,15 МПа				
E=34,2 E=48,2 E=53,1 E=85,8					E=34,2 E=48,2 E=53,1 E=85,8				
f=21,6 f=17,2 f=16,6 f=14,3					f=21,6 f=17,2 f=16,6 f=14,3				
Н	-	-	-	-	Н	1,79-1,83	1,78	1,76	-
	-	-	-	-		3,8-4,1	4,9	5,1	-
Д	2,19-2,27	-	-	-	Д	-	2,1	2,04	-
	2,3-3,8	-	-	-		-	6,8	5,3	-
П	2,33	2,38-2,45	2,35-2,51	2,48-2,71	П	-	-	-	1,98-2,3
	5,2	4,7-5,2	4,9-6,0	7,8-8,0		-	-	-	9,7-10,8
M1 (мінеральний порошок НЕФ; вологість 13%; зв'язка жирова 3,2%)					M2 (мінеральний порошок НЕФ; вологість 2%; зв'язка відсутня)				
ρ=0,13 МПа					ρ=0,13 МПа				
E=34,2 E=48,2 E=53,1 E=85,8					E=34,2 E=48,2 E=53,1 E=85,8				
f=25,1 f=22,2 f=21,5 f=17,3					f=25,1 f=22,2 f=21,5 f=17,3				
Н	2,11	-	-	-	Н	-	-	-	-
	3,8	-	-	-		-	-	-	-
Д	2,08-2,21	-	-	-	Д	2,13-2,21	2,28-2,35	2,25-2,31	-
	2,9-6,1	-	-	-		3,6-4,0	3,9-6,1	4,0-5,1	-
П	-	2,41-2,63	2,38-2,60	2,55-2,63	П	-	2,33	2,3	2,38-2,43
	-	5,9-8,9	4,7-6,5	11-13		-	3,9	4,3	6,9-7,0
M3 (карбід кремнію зелений №4, №10, №12, M28-80%; бакеліт рідкий-10%; кокс)					M4 (вогнетривкий шамот; вологість 13,8%; зв'язка цегляна 31,2%)				
ρ=0,12 МПа					ρ=0,12 МПа				
E=34,2 E=48,2 E=53,1 E=85,8					E=34,2 E=48,2 E=53,1 E=85,8				
f=13,6 f=11,8 f=11,1 f=8,2					f=13,6 f=11,8 f=11,1 f=8,2				
Н	-	-	-	-	Н	2,3-2,29	2,45	2,41	2,6
	-	-	-	-		2,9-3,1	4,1	3,8	3,2
Д	1,90-2,00	2,01-2,10	2,05-2,06	2,16	Д	2,3-2,35	2,46-2,51	2,43-2,50	2,55-2,61
	2,8-5,2	6,9-8,2	6,5-7,9	10		3,8-4,3	2,9-5,0	2,8-5,0	3,3-5,4
П	-	1,99	2,1	2,20-2,22	П	-	-	-	-
	-	8,1	10	10-12		-	-	-	-
M3 (карбід кремнію зелений №4, №10, №12, M28-80%; бакеліт рідкий-10%; кокс)					M4 (вогнетривкий шамот; вологість 13,8%; зв'язка цегляна 31,2%)				
ρ=0,15 МПа					ρ=0,15 МПа				
E=34,2 E=48,2 E=53,1 E=85,8					E=34,2 E=48,2 E=53,1 E=85,8				
f=21,6 f=17,2 f=16,6 f=14,3					f=21,6 f=17,2 f=16,6 f=14,3				
Н	-	-	-	-	Н	2,39	-	-	-
	-	-	-	-		4,1	-	-	-
Д	2,04-2,05	-	-	-	Д	2,43-2,48	2,55-2,60	2,50-2,63	2,71-2,93
	6,7-8,0	-	-	-		3,9-4,2	4,0-5,1	4,0-5,5	5,0-5,4
П	2	2,15-2,16	2,10-2,19	-	П	-	-	-	2,87
	7,9	8,0-8,3	7,9-9,1	-		-	-	-	6
M3 (карбід кремнію зелений №4, №10, №12, M28-80%; бакеліт рідкий-10%; кокс)					M4 (вогнетривкий шамот; вологість 13,8%; зв'язка цегляна 31,2%)				
ρ=0,13 МПа					ρ=0,13 МПа				
E=34,2 E=48,2 E=53,1 E=85,8					E=34,2 E=48,2 E=53,1 E=85,8				
f=25,1 f=22,2 f=21,5 f=17,3					f=25,1 f=22,2 f=21,5 f=17,3				
Н	1,78-1,80	-	-	-	Н	2,27-2,33	2,4	3,39	-
	3,9-4,3	-	-	-		5,3-4,2	4,3	3,9	-
Д	-	1,88-2,04	1,91-2,05	2,03-2,06	Д	-	2,46-2,51	2,47	2,43
	-	5,7-6,3	5,8-6,7	9,1-9,5		-	10-11	9,6-10	6,1
П	-	-	-	2,13	П	-	-	-	2,52-2,65
	-	-	-	8,7		-	-	-	12

Н – недопресована заготовка; Д – достатній стан заготовки; П – перепресована заготовка.

У межах конкретного режиму ВУП шляхом регулювання величини енергії E_a можна забезпечити зменшення або збільшення середньої щільності "еталонного" зразка з будь-якого вказаного вище порошкового матеріалу, до його недопресування (Н) або перепресування (П). Для постійної величини енергії E_a збільшення тривалості процесу ВУП дозволяє збільшувати середню щільність «еталонного» зразка тільки до визначеної межі, вище якої середня щільність зразка практично залишається незмінною, а якість помітно знижується в результаті перепресування і руйнування.



Для кожного типу порошкового матеріалу можна вказати найефективніший основний режим ВУП (наприклад: для М1 і М2 – ВУП-1; для М3 – ВУП-III; для М4 – ВУП-II), а для конкретного зразка із заданого матеріалу - найбільш раціональне співвідношення величин енергій $[E_a]$ та $[E_{\text{полн}}]$, при яких він досягає максимальної середньої щільності в разі мінімальної відносної нерівнощільності за об'ємом і відсутності на його поверхні ознак пере- і недопресовувань.

Висновки

В даній роботі було обґрунтовано формоутворення заготовок порошкових матеріалів на вібропресовому обладнанні. Для розробки рекомендацій із застосування основних режимів ВУП заготовок виробів з порошкових матеріалів проведені попередні технологічні експерименти на вібропресі ІВПМ-5Л, які дозволили встановити деякі закономірності впливу параметрів режимів на досягнення розрахункових значень середньої щільності та відносної нерівнощільності заготовок після завершення процесу їх формоутворення.

Список літератури

1. Іскович –Лотоцький Р.Д. *Основи теорії розрахунку та розробка процесів і обладнання для віброударного пресування* : Монографія. / Р.Д. Іскович-Лотоцький – Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2006.-338с.
2. Вірник М.М. *Вібраційні та віброударні процеси і машини у ливарному виробництві: Монографія.* / М.М. Вірник, Р.Д. Іскович-Лотоцький, Н.Р. Веселовська – Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2007.-198 с.
3. Іскович-Лотоцький Р. Д., Матвеев И. Б. *Машины вибрационного и виброударного действия.*-К.: Техника.-1982.-208с.
4. Бальшин М. Ю., Кипарисов С. С. *Основы порошковой металлургии.* М.: Металлургия, 1978. – 184 с.
5. Бальшин М. С. *Научные основы порошковой металлургии и металлургии волокна.* - М.: Металлургия, 1972. – 336 с.
6. Бауман В. А., Быховский Н. Н. *Вибрационные машины и процессы в строительстве.* - М.: Высшая школа, 1977. – 255 с.
7. Іскович –Лотоцький Р.Д. *Процеси та машини вібраційних і віброударних технологій* : Монографія. / Р.Д. Іскович-Лотоцький, Р.Р. Обертюх, І.В. Севаст'янов – Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2006.-291с.

References

1. Ískovich -Lotots'kiy R.D. *Osnoviteorii rozrakhunku ta rozrobka protsesiv i obladnannya dlya vibroudarnogo presuvannya: Monografiya.* / R.D. Ískovich-Lotots'kiy - Vinnitsya: UNÍVERSUM - Vinnitsya, 2006. 338s-.
2. Vírnik M.M. *Vibratsiyni tavibroudarni protsesi i mashiniulivarnomuvirobnitstvi: Monografiya.* / M.M. Vírnik, R.D. Ískovich-Lotots'kiy, N.R. Veselov'ska - Vinnitsya: UNÍVERSUM - Vinnitsya, 2007.-198 s.
3. Iskovich-Lotots'kiy R. D., Matveyev I. B. *Mashiny vibratsionnogo i vibroudarnogo deystviya.* -K .: Tekhnika.- 1982-208s.
4. Bal'shin M. YU., Kiparisov S. S. *Osnovy poroshkovoy metallurgii.* M .: Metallurgiya, 1978. - 184 s.
5. Bal'shin M. S. *Nauchnyye osnovy poroshkovoy metallurgii i metallurgii volokna.* - M .: Metallurgiya, 1972. - 336 s.
6. Bauman V. A., Bykhovskiy N. N. *Vibratsionnyye mashiny i protsessy v stroitel'stve.* - M .: Vysshaya shkola, 1977. - 255 s.
7. Ískovich -Lotots'kiy R.D. *Protsesitamashinivibratsiynikh i vibroudarnikhtekhnologiy: Monografiya.* / R.D. Ískovich-Lotots'kiy, R.R. Obertyukh, Í.V. Sevast'yanov - Vinnitsya: UNÍVERSUM - Vinnitsya, 2006. 291s-.

ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ЗАГОТОВОК ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ВИБРОПРЕССОВОМ ОБОРУДОВАНИИ

Аннотация: рассмотрены проблемы формообразования и исследованы закономерности виброударного прессования. Общий анализ работ из вибрационного и виброударного прессования позволил отметить особенную эффективность данных способов для формообразования заготовок изделий сложной конфигурации. Установлены некоторые закономерности влияния параметров режимов на достижение расчетных значений.

Ключевые слова: вибропрессовые машины, гидромпульсный привод, эффективность, система диагностирования, мониторинг.

FORMATION OF WORK PIECES OF POWDER MATERIALS AT VIBRO PRESSING EQUIPMENT

Summary: the problems of formation are considered and the regularities of vibro pressing are researched. General analysis of works on vibration and vibro pressing allowed emphasizing the effectiveness of given ways for formation of work pieces of complicated shapes. Some regularities of the influence of various regime parameters on the achievement of the calculated values are determined.

Keywords: vibro pressing machines, hydro impulsive gear, efficiency, system of diagnosis.