

УДК 620.22: 669.017

## СЛУЖБОВІ ВЛАСТИВОСТІ ЛЕГОВАНИХ ЧАВУНІВ, СИНТЕЗОВАНИХ КОМБІНОВАНИМИ ПРОЦЕСАМИ

ЖИГУЦЬ Ю.Ю.<sup>1</sup>, ЛАЗАР В.Ф.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ДВНЗ «Ужгородський національний університет»

<sup>2</sup>Мукачівський державний університет

У даній роботі досліджено властивості спеціальних чавунів, синтезованих комбінованими процесами (саморозповсюджувальний високотемпературний синтез + металотермія). Виявлено особливості хімічного складу, механічних властивостей та структури спеціальних чавунів. Окремим дослідженням встановлено теплопровідність та зносостійкість досліджуваних сплавів. Проведена робота дозволила розробити склад шихти для синтезу термітних спеціальних чавунів і методику приготування металотермічної суміші для їх синтезу.

**Ключові слова:** металотермія, синтез, термітні чавуни, властивості, теплостійкість, зносостійкість.

Важливою проблемою для сучасного виробництва є створення нових матеріалів та покращення властивостей традиційних, забезпечення запасними частинами і інструментом підприємства та майстерні.

### *Актуальність теми*

Детальне вивчення цієї проблеми дає можливість вважати, що її можна успішно розв'язати використанням синтезу сплавів при поєднанні вискоефективного способу легування матеріалів екзотермічними легуючими сумішами (ЕЛС) і традиційного плавлення матеріалів. Отже, дослідження впливу металотермічних способів синтезу сплавів на мікроструктуру, хімічний склад, механічні та службові властивості матеріалів набувають великого практичного значення. У свою чергу, технології створення матеріалів комбінованими процесами, поєднанням саморозповсюджувального високотемпературного синтезу для отримання карбідів і металотермії, для вирішення завдань ремонту і синтезу сплавів з покращеними властивостями та легування економною системою використання інгредієнтів металотермічних реакцій та відходів виробництв (залізної окалини, відсіву з фільтрів металургійних підприємств високохромистого і високомарганцевого пилу, млива алюмінієвої стружки, млива недопалених решток графітових електродів) стають економічно доцільними, а використання їх у вже існуючих методах виготовлення виливків додатково і суттєво підвищує ефективність виробництва [1].

### *Мета роботи:*

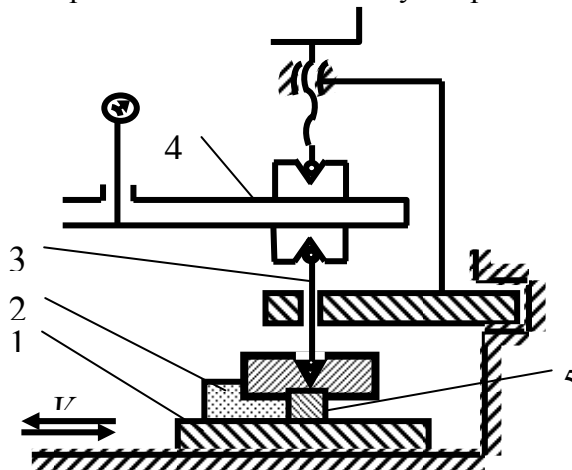
встановлення можливості отримувати металотермічним способом якісні термітні зносостійкі спеціальні чавуни леговані міддю, а також виявлення службових властивостей синтезованих сплавів для подальшого застосування у технологіях виготовлення кокілів, прес-поршнів, прес-стаканів машин литва високого тиску в інтервалі температур 25–300°C.

### *Вихідні матеріали, методи дослідження*

При компонуванні металотермічної шихти використані матеріали: хром металічний ГОСТ5905-79; ферохром ФХ65-7А ГОСТ 4757079; силікокальцій С40Л10 ГОСТ 4762-71; феросиліцій ФС65Ал3,5 ГОСТ 1415-78; порошок алюмінієвий ПА-3–ПА-6 ГОСТ 6058-73; феромарганець ФМн70 ГОСТ4761-80; феротитан ФТи30А ГОСТ4761-80; залізна окалина ковальського виробництва з середнім хімічним складом (% за мас.): 0,05 С; 0,10–0,35 Si; 0,10–0,35 Mn; 0,01–0,03 S; 0,01–0,03 P; 40–50 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 50–60 FeO.

При організації процесу синтезу чавунів використовують класичні [1] термітні реакції, засновані на окисленні алюмінію і відновленні заліза. Для встановлення складу шихти розроблено методику розрахунку на основі стехіометричного співвідношення компонентів реакції із введенням відповідних коефіцієнтів, що враховують їх засвоєння сплавом. Ця методика дозволяє встановити склад металотермічних шихт і розрахувати адіабатичну температуру її горіння [2]. Головною умовою процесу є необхідність мати реальну температуру горіння шихти вище температури плавлення шлаку [1, 2] (для  $Al_2O_3 - 2400\text{ K}$ ).

Порошкову шихту просували при температурі  $150-180^\circ\text{C}$ , змішували і ущільнювали. При проведенні досліджень використовували порошкові інгредієнти металотермічної шихти, частку з яких виготовляли з відходів ливарного, ковальського та металорізального виробництв (залізна окалина, просіяне мливо графітових електродів, мливо алюмінієвої стружки та ін.) [3–7]. Вимірювання міцності виконували на пропорційних циліндричних коротких зразках діаметром 6 мм і довжиною 30 мм за ГОСТ 1497-73. Службові властивості, а саме теплопровідність, досліджувалися на пристрої ІТ-Лямбда-400 (див. рис. 1), змонтованому в лабораторії кафедри технології машинобудування ДВНЗ «Ужгородський національний університет».



**Рис. 1.** Принципова схема пристрою НГО “НАТІ” для випробування матеріалів на зносостійкість в умовах поступального руху і абразивного зношування: 1 – зразок нерухомий; 2 – камера з абразивом; 3 – стрижень навантажувальний; 4 – динамометр пружинний; 5 – зразок рухомий

Крім цього у роботі використані методи хімічного та рентгенофазного аналізу, рентгеноспектрального мікроаналізу, металографічного кількісного аналізу (рис. 2), застосовані стандартні методи визначення основних технологічних характеристик вихідних порошоків (насіпна щільність, гранулометричний склад) та фізико-механічних властивостей матеріалів. Для обробки результатів досліджень використовували відповідний математичний апарат і сучасне програмне забезпечення.

#### **Експериментальні дослідження**

Для пошуку нетипових дослідів з поєднання пар кількісних ознак (“Твердість” – “Міцність”, “Модуль Юнга” – “Зношування”) використано 2-мірний аналог діаграми розсіювання (рис. 3). Точки, які відповідають зразкам з нетиповим для вказаної вибірки поєднаннями параметрів виділені на графіку позначкою “х”. Це дозволило значно звужити пошук концентраційних меж хімічного складу спеціальних чавунів при визначенні їх оптимальної структури.

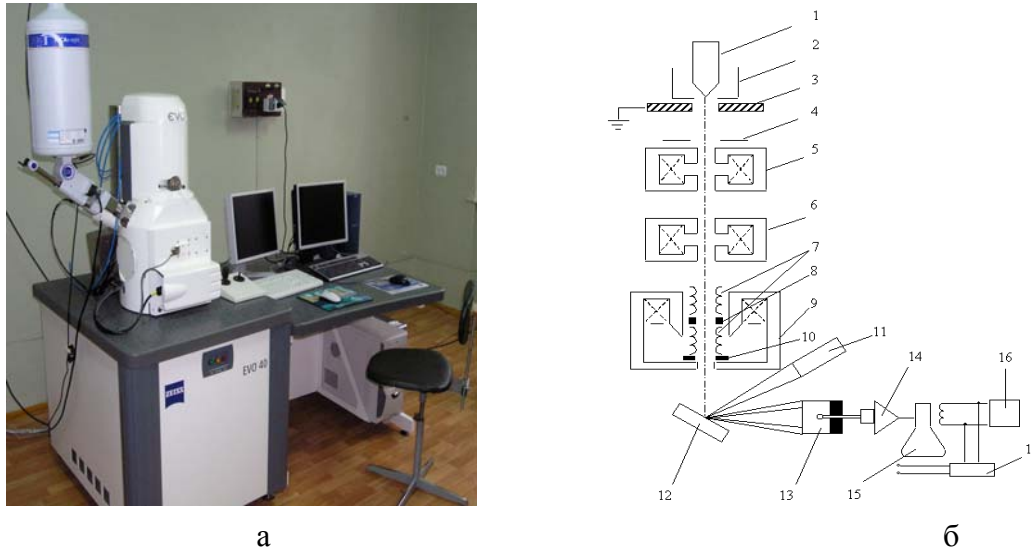


Рис. 2. Фотографія (а) і принципова схема електронного мікроскопа (б): 1 – катод, 2 – циліндр Венельта, 3 – анод, 4, 10 – шлюзи електронно-оптичної системи, 5, 6 – електромагнітні лінзи, 7 – електромагнітні котушки, 8 – стігматор, 9 – об’єктна лінза, 11, 17 – система, яка формує зображення, 12 – зразок, 15 – електронно-променева трубка, 16 – генератор

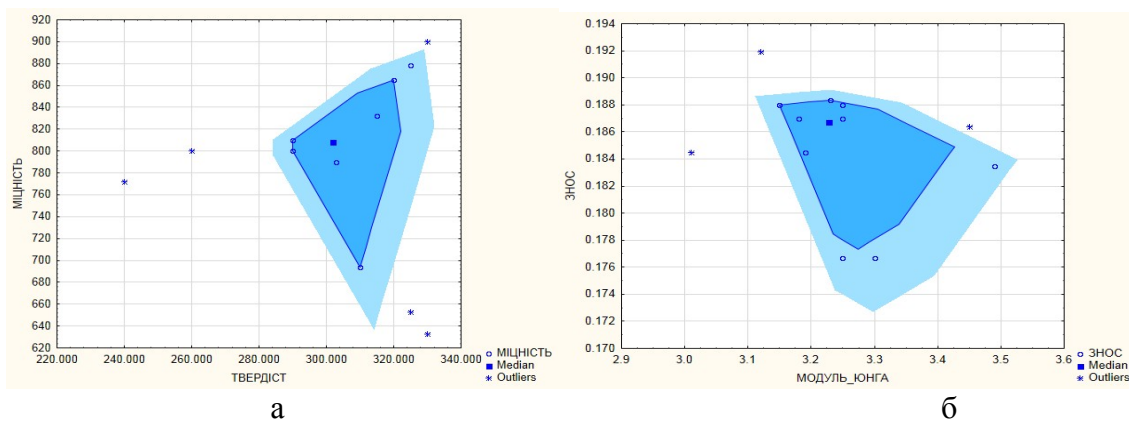
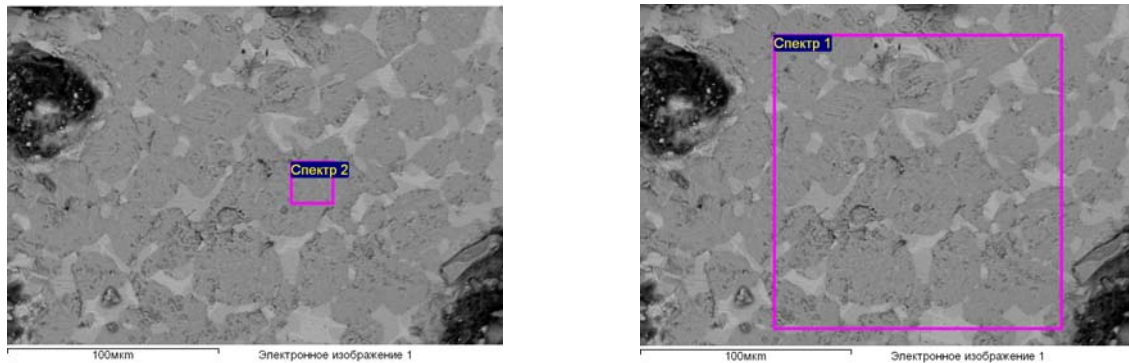


Рис. 3. Діаграми розсіювання, 2-мірний вигляд для залежностей “Твердість” – “Міцність” (а) та “Модуль Юнга” – “Зношування” (б)

Встановлені механічні властивості експериментальних чавунів, а саме міцність ( $\sigma_B$ ) та ударна в’язкість ( $a_n$ ) у середньому на 10-14% більші ніж у промислового базового чавуну.

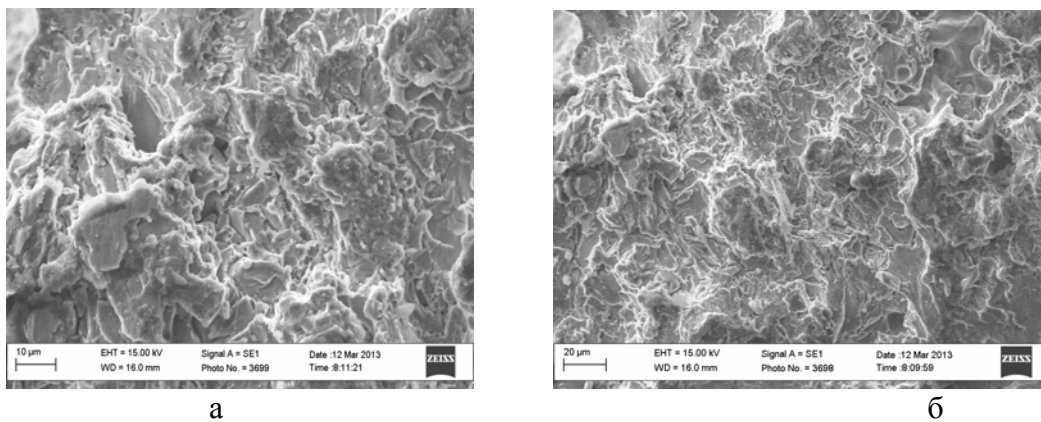
Мікроструктурний аналіз показав зменшення балу зерна у досліджених експериментальних зразках на 2-3 одиниці, що пов’язано з мікролегуванням чавунів порошковим алюмінієм, який входить у склад шихти ЕЛС. Подальше дослідження мікроструктури показало, що мідь після спеціального способу легування ЕЛС виділялася у структурі чавунів окремими фазовими скупченнями та плівками на границях перлітних зерен. Більш глибоке дослідження за допомогою електронної мікроскопії та рентгенофазного і рентгеноспектрального мікроаналізів засвідчило, що на поверхнях тертя експериментальних зразків (особливо в діапазоні температур 150°C і вище) спостерігається заповнення пор пластичною деформованою міддю. У структурі ж базового чавуну спостерігається значна кількість великих пор (швидше за все

утворених в результаті викришування графіту), що погіршує фізико-механічні характеристики матеріалу, а також формує розбиту карбідну сітку і границі слабого часткового зрошування, показану у різних спектрах на рис. 4 а та б.



а б  
**Рис. 4. Спектральний аналіз зразка поверхні чавуну “2”**

Структура утворених плівок тертя добре простежується на рис. 5 при збільшенні  $\times 1000$  та  $500$  і утворена при роботі пари тертя. Основною її складовою є мідь. Ця плівка відрізняється суцільною поверхнею і значною кількістю нерівностей. Вона служить не тільки твердим мастилом у парі тертя, але і значно покращує теплопровідність чавунів, що сприяє тривалішому терміну їх експлуатації.



а б  
**Рис. 5. Структура утворених плівок тертя: а –  $\times 1000$ ; б –  $\times 500$**

**Теплопровідність.** Дослідження теплопровідності вказаних мідних чавунів виконувалися при моделюванні умов роботи кокілів, прес-поршнів, прес-стаканів машин литва високого тиску в інтервалі температур  $25\text{--}300^\circ\text{C}$ . Результати дослідження на теплопровідність показані в табл. 1. Ці роботи проводилися на пристрої IT-Лямбда-400. Хімічний склад чавунів 1 і 2 відрізняється від базового наявністю міді, введеної у шихту як легуючий елемент у кількості 2,5-3,2% для експериментального синтезованого термітного чавуну “1” і 5,7-6,2% – для чавуну “2” у вигляді ЕЛС. Ці суміші додатково розігрівали експериментальні виливки з традиційного базового чавуну і одночасно легували його міддю.

Досліджені спеціальні чавуни, леговані міддю, порівнювали за теплопровідністю з базовим чавуном “0”. Базовий чавун вмщував 3,5% C, 1,9% Si, 0,9% Mn і 0,5% Cr, тобто його хімічний склад відповідав чавуну, найчастіше використовуваному для виготовлення поршнів [1, 8, 9]. Встановлено, що

експериментальні чавуни суттєво відрізнялися кращою теплопровідністю. Це збільшення знаходилося у межах від 14 до 38%, а для окремих чавунів до 158%.

**Таблиця 1. Теплопровідність досліджених чавунів<sup>1</sup>**

Температура, °С	Теплопровідність, Вт/м·с	Підвищення теплопровідності у порівнянні із базовим чавуном, %
25	<u>35,3</u>	<u>38</u>
	65,8	158
50	<u>37,2</u>	<u>26</u>
	62,6	112
75	<u>34,2</u>	<u>21</u>
	56,4	100
100	<u>31,4</u>	<u>16</u>
	48,7	90
125	<u>29,8</u>	<u>14</u>
	36,3	40
150	<u>29,9</u>	<u>25</u>
	37,1	45
175	<u>27,9</u>	<u>17</u>
	35,5	48
200	<u>30,9</u>	<u>23</u>
	39,0	55
225	<u>26,9</u>	<u>25</u>
	33,5	57
250	<u>25,7</u>	<u>25</u>
	31,8	74
275	<u>24,8</u>	<u>28</u>
	33,4	77
300	<u>25,0</u>	<u>27</u>
	35,4	70

<sup>1</sup>У чисельнику наведені дані для чавуну 1, а у знаменнику – для чавуну 2.

**Зносостійкість.** Дослідження на зносостійкість проводилися на пристрої, схема якого показана на рис. 1. У всіх дослідженнях рухомі зразки були виготовлені з одного і того ж перлітного нелегованого чавуну з твердістю 192–196 *HV*. Нерухомі зразки виготовлялися з сплаву 1 та 2. Результати дослідження (табл. 2) переконливо свідчать, що чавуни, леговані міддю, за допомогою ЕЛС мають підвищену зносостійкість, порівняно з базовим малолегованим чавуном [8, 9].

**Таблиця 2. Результати дослідження синтезованих сплавів на зносостійкість**

Плавлення	Твердість, <i>HV</i>	Зношування, мкм								Підвищення зносостійкості, %
		Номер випробування								
		1	2	3	4	5	6	7	8	
1	235	16	6	17	18	19	16	26	16	140
2	227	9	12	13	24	24	26	24	19	124
Базовий чавун	196	26	24	16	24	21	23	25	29	100

Промислові випробування спеціальних експериментальних чавунів були здійснені на комплектах прес-поршнів, що випробовувалися у промислових умовах двох підприємств м. Дніпропетровськ з використанням машин марок 71101 і 71109 для литва під тиском алюмінієвих сплавів. Довговічність поршнів з цих чавунів склала у середньому 20–25 змін (у окремих випадках до 53 змін). При цьому відмічено, що поршні не перегрівалися і не заклинювалися у камері пресування, на них не налипав алюмінієвий сплав, зношування поверхні проходило рівномірно без задирів.

#### **Висновки**

1. Теоретично й експериментально показана принципова можливість термітного виплавляння зносостійких чавунів легованих міддю. 2. Для пошуку концентраційних меж хімічного складу і оптимальної структури спеціальних чавунів використано 2-мірний аналог діаграми розсіювання. 3. В результаті мікроструктурного аналізу встановлено, що легування чавунів ЕЛС призводить до роздрібнення структури і збільшення механічних властивостей на 10-14% порівняно із промисловими. 4. Встановлена морфологія та структура плівки, утвореної на поверхнях експериментальних легованих міддю чавунів. 5. Збільшення теплопровідності і зносостійкості експериментальних чавунів на промислових зразках комплектів прес-поршнів призвело до зростання довговічності поршнів у середньому до 20–25 змін.

#### **ЛІТЕРАТУРА**

1. Жигуц, Ю. Ю. Сплави, синтезовані металотермією і СВС-процесами [Текст] / Ю. Ю. Жигуц. — Ужгород : Гражда, 2008. — 276 с.
2. Жигуц, Ю. Ю. Методика розрахунку складу екзотермічних шихт на основі термохімічного аналізу [Текст] / Ю. Жигуц, В. Широков // Машинознавство. — 2005. — № 4. — С. 48 - 50.
3. Жигуц, Ю. Ю. Технологія синтезу термітних кременистих чавунів / Ю. Ю. Жигуц // Прогресивні технології і системи машинобудування. — 2013. — № 1/2. — С. 108 - 111.
4. Жигуц, Ю. Ю. Технологія термітного синтезу чавунів для гальмівних механізмів / Ю. Ю. Жигуц // Міжвузівський збірник Луцького національного технічного університету «Наукові нотатки». — 2013. — № 40. — С. 92 - 95.
5. Жигуц, Ю. Ю. Технологія синтезу термітних антифрикційних чавунів / Ю. Ю. Жигуц, В. Лазар, В. Талабірчук // Вісник Тернопільського національного технічного університету. — 2013. — № 2 (70). — С. 79 - 84.
6. Жигуц, Ю. Ю. Технологія синтезу немагнітних термітних чавунів / Ю. Ю. Жигуц, В. В. Широков // Наукові записки. Науково-технічний збірник. Українська академія друкарства. — 2013. — № 1 (42). — С. 97 - 102.
7. Zhiguts, Yu. The features of properties and structure of thermite high-strong cast iron / Yu. Zhiguts, V. Shurokov // Міжвузівський збірник Луцького національного технічного університету «Наукові нотатки». — 2013. — № 41. — Ч. 1. — С. 23 - 32.
8. Жигуц, Ю. Ю. Технологія отримання термітних зносостійких чавунів / Ю. Ю. Жигуц // Збірник наукових праць Дніпродзержинського державного технічного університету (технічні науки). — 2013. — № 1 (21). — С. 27 - 31. — Режим доступу до журн. : [http://www. http: // archive.nbuv.gov.ua/portal/natural/Znpddtu/htm](http://www.archive.nbuv.gov.ua/portal/natural/Znpddtu/htm).
9. Zhiguts, Yu. Special grey and white termite cast irons / Yu. Zhiguts, V. Lazar // British Journal of Science, Education and Culture, "London University Press". — 2014. — № 2 (6). — V. 1. — P. 201 - 207.

#### **АННОТАЦИЯ**

#### **СЛУЖЕБНЫЕ СВОЙСТВА ЛЕГИРОВАННЫХ ЧУГУНОВ, СИНТЕЗИРОВАННЫХ КОМБИНИРОВАННЫМИ ПРОЦЕССАМИ**

*В данной работе исследованы свойства специальных чугунов, синтезированных комбинированными процессами (самораспространяющийся высокотемпературный синтез и металлотермия). Выявлены особенности химического состава, механических свойств и структуры специальных чугунов. Отдельным исследованиям установлены теплопроводность и износостойкость исследуемых сплавов. Проведенная работа позволила разработать состав шихты для синтеза термитных специальных чугунов и методику приготовления металлотермической смеси для их синтеза.*

**Ключевые слова:** металлотермия, синтез, термические чугуны, свойства, теплостойкость, износостойкость.

**THE SUMMARY**  
**THE SERVICE PROPERTY OF ALLOED CAST IRONS SYNTHESIZED BY COMBINE  
PROCESSIS**

*In this paper, the properties of special cast iron synthesized by combined process (selfpropagating hightemperature synthesis and metallothermy) are investigated. The chemical composition, mechanical properties and structure of special cast iron are established. The separate research established the thermal conductivity and wear resistance of the syntheses alloys. This work led to the development of the charge composition of the synthesis of thermite special cast iron and preparation technique metallothermic mixture for their synthesis.*

**Key words:** metallothermy, synthesis, thermal cast irons, properties, heat resistance, wear resistance.

УДК 669.01: 621.9

**МЕХАНІКО – МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КІНЕМАТИКИ  
МЕХАНІЧНОГО ПРЕСУ В СИСТЕМІ MATHCAD**

**ІГНАТИШИН М. І., МАЙОРОШІ З.-Р. Л., КВАЙДЕР Р. Х.**  
Мукачівський державний університет

*Авторами побудовано програми в системі MATHCAD для дослідження кінематики, кінетостатики, інерційних характеристик механізму механічного пресу, визначення зведених миттєвих потужностей, сил і моментів сил, зведеної кінетичної енергії механізму, зведеного моменту інерції та маси.*

**Ключові слова:** mathcad, зведена миттєва потужність, зведена сила, зведений момент сил, зведена кінетична енергія, зведений момент інерції, зведена маса.

В останні роки завдання створення надійних вітчизняних пресів, зокрема, для брикетування дрібнофракційних сировинних матеріалів і промислових відходів набуває все більшої актуальності. Пов'язано це не тільки із збільшеним інтересом до брикетування, але і з тим, що в Україні і в країнах СНД практично не має досвіду проектування і виготовлення брикетних пресів, відсутні підприємства, що спеціалізуються на їх виробництві. Незначну кількість пресів вітчизняного виробництва, що працюють на різних підприємствах, розроблено та виготовлено різними неспеціалізованими підприємствами. У зв'язку з цим відсутній єдиний підхід до принципів розрахунку і проектування пресів та їх основних вузлів. Недостатньо повний облік властивостей шихтових матеріалів і особливостей технології їх брикетування призводить до невідповідності проектних і реальних навантажень, що виникають у їх основних вузлах і приводі [1, 2].

В даний час існує безліч різних конструкцій і конфігурацій валкових брикетних пресів, що пов'язано з матеріалом, який брикетується, тобто сировиною для отримання брикетів заданої форми і механічних властивостей.

Актуальним є механіко – математичне та комп'ютерне моделювання кінематики ланок преса.

**Об'єкт, предмет та методи дослідження.**

Об'єктом дослідження є механічний прес. Предмет дослідження механіко – математична модель кривошипно – повзунного механізму преса. Дослідження