



УДК 621.762.02

COMPOSITE PRODUCTS BASED ON IRON POWDER WITH INCREASED PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES

КОМПОЗИЦІЙНІ ВИРОБИ НА ОСНОВІ ПОРОШКУ ЗАЛІЗА З ПІДВИЩЕНИМИ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

Halchuk T.N. / Гальчук Т.Н.

с.т.с., as.prof. / к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0003-3474-9848

Lutsk National Technical University, Lutsk, Lvivska, 18, 45018

Луцький національний технічний університет, Луцьк, Львівська, 18, 43018

Анотація: В роботі розглядається можливість виготовлення та використання спечених композиційних виробів з металічних порошків заліза та міді. Дослідження проводились за оптимальних параметрів тиску пресування, температури та часу спікання. Експериментально перевірено, для композиту на основі порошкового заліза з додаванням графіту та міді, що із зростанням в ньому кисню (до 1,3%) пористість зразка зростає майже 1,5 рази. Встановлено, що додавання графіту у залізно-мідну порошкову суміш знижує зусилля виштовхування спресованих заготовок. Під час проведення експериментів встановлено оптимальний вміст графіту в композиті для досягання за абсолютним значенням мінімальної величини зусилля виштовхування. Запропоновано, для досягнення оптимальних технологічних та фізико-механічних властивостей порошкових виробів на основі заліза, проводити відновлення залізного порошку в суміші із мідним, що підвищує показники пресуємості на 10...15% у порівнянні із порошковим залізом.

Ключові слова: металічні порошки, композит, властивості, пористість, технологічна схема.

Вступ

В сучасному загальному машинобудуванні для всіх технологічних і транспортних машин використовується широка номенклатура деталей, що виготовляються із різних матеріалів. Значна увага всіх виробників приділяється проблемам підвищення надійності навантажених вузлів [1]. Проблема виникає внаслідок втрат матеріалів під час зношування і як результат поломками обладнання.

Розробка порошкового композиту, забезпечує високі характеристики міцності та зносостійкості, є одним із методів підвищення надійності навантажених вузлів тертя [2–4]. Основною задачею, що потребує вирішення під час розробки таких матеріалів є оптимальне встановлення фізико-механічних властивостей, знаходження технологічних параметрів, що управляють цими властивостями [5]. Для композиційних порошкових матеріалів такими



параметрами є: тиск пресування, температура спікання, середовище спікання та інші [6]. Також важливим є технологія отримання порошку, введення в його склад додаткових структурних складових та їх вплив на властивості основи порошкового композиту. Тому актуальною проблемою наукових досліджень є пошук ефективних методів підвищення механічних характеристик виробів. У зв'язку із цим іде розроблення та дослідження нових видів матеріалів як із компактних так і пористих матеріалів, які працюють у великому діапазоні швидкостей та навантажень. Порошкові вироби мають невисоку вартість та виготовляються із недефіцитної сировини, в основному порошоків заліза, міді та графіту. Вони мають високі експлуатаційні властивості та просту технологію виготовлення.

Об'єкт і предмет дослідження

Об'єкт дослідження – виріб з композиційного матеріалу на основі порошку заліза та технологічний процес його виготовлення. Предмет дослідження – технологічні та фізико-механічні властивості композиційних матеріалів на основі порошку заліза для виробів машинобудування.

Мета та задачі дослідження

Мета роботи – дослідження технологічних та фізико-механічних властивостей спечених виробів отриманих із композиційного порошкового матеріалу залізо-мідь-графіт. Для цього було вирішено такі задачі: провести аналіз літературних джерел щодо оптимального вибору складу і кількості компонентів порошкових композитів; вибрати методику та обладнання для експериментальних досліджень механічних характеристик виробів із порошкового композиту; розробити технологічні параметри процесу для отримання виробів з антифрикційного композиту на основі порошку заліза; дослідити технологічні та фізико-механічні властивості композиційних виробів.

Аналіз літератури

Переважає більшість сучасних деталей виготовлені із матеріалів – композитів. Основу композиту, що сприяє формуванню певних фізико-механічних властивостей, складає базовий матеріал – залізо, мідь, нікель,



алюміній і т.д. [7–9]. Також входять компоненти, що регулюють величину адгезійних зв'язків – графіт, сульфід молибдену, міді, цинку, нітриди бору [10]. В останні десятиліття переважно розробляються порошкові матеріали на залізній та мідній основі [11–15]. Перевага надається спеченим композитам на основі заліза, оскільки вироби із них мають хороші фізико-механічні властивості, а сировина є недефіцитною. Однак як зазначається у джерелі [15] введення міді до складу композиту значно підвищує міцність залізної матриці, має позитивний вплив на спікання, збільшує теплопровідність, підвищує мікротвердість матеріалу, покращує структуру і механічні властивості. Важливим компонентом композиту на основі заліза є графіт – тверда змазка, яка збільшує міцність металевої основи [16]. На даний час розповсюдженим матеріалом є залізо–графіт. Такий матеріал може працювати в режимі самозмащення при великих швидкостях ковзання і робочій температурі 100...130⁰С [15]. Широко використовуються в промисловості композиції залізо–мідь–графіт [17]. Таким чином, здійснивши огляд наукової літератури з даного питання, можна зробити висновок, що методи порошкової металургії дають можливість під час створення композиційних матеріалів широко регулювати кількість і розміри включень різних структурних складових, що входять у матеріал. Крім того, це є основою для розробки нових ресурсозберігаючих технологій і дозволяє вирішувати задачу пошуку дешевих та доступних видів сировини.

Методи досліджень

Для виготовлення дослідних зразків використовували такі матеріали: порошок заліза ПЖРВ-3.200.28 (ДЕСТ 9849-86); порошок графітовий ГК-1 (ДЕСТ 17022-81); порошок міді ПМ-1 (ДЕСТ 4960-2017).

Характер розвиненості поверхонь частинок, розподіл структурних складових в об'ємі матеріалу досліджували на модульному комплексі Dimic 1000 [5].

Склад шихти композитів наведено в табл. 1.

Суміш початкових порошків перемішували у спеціальному барабанному млині з ексцентричною віссю обертання протягом 1 години (рис. 1). Змішувач



має частоту обертання осі ($50 \dots 70 \text{ с}^{-1}$), що забезпечує незначний вплив на зміну гранулометричного складу компонентів [18].

Таблиця 1– Склад шихти для отримання композицій

Компоненти шихти (мас. доля)			Склад композиційного матеріалу (об. %)
ПЖРВ-3.200.28	ГК-1	ПМ-1	
1,000	–	–	100 ПЖРВ-3.200.28
0,957	0,013	0,03	ПЖРВ – (1,3) ГК – (3) ПМ

Авторська розробка

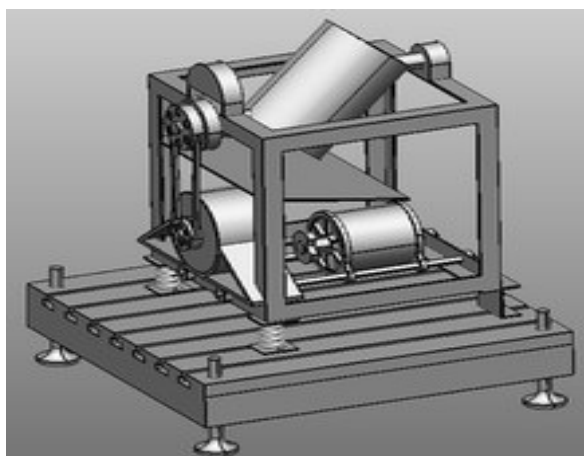


Рисунок 1 - Кульовий млин спроектований за допомогою програми PowerSHAPE

Авторська розробка

Зразки розміром $\varnothing 40 \times 10 \text{ мм}$ пресували на гідравлічному пресі при тиску $200 \dots 800 \text{ МПа}$. Пресування здійснювали за одностороннього пресування. Для одержання коректних даних виготовляли по 3 зразки для кожного значення питомого тиску.

Зразки спікали в металевих коробках, заповнених Al_2O_3 , в електропечі опору неперервної дії в атмосфері водню. Температура спікання $1140 \dots 1160 \text{ }^\circ\text{C}$. Час спікання складав 1 годину з моменту встановлення заданої температури.

Механічні характеристики визначалися стандартними методами:

- 1) твердість за Брінеллем визначали на твердомірі ТС-БРВ при навантаженні 50 Н ;
- 2) випробування на стиск проводили на 3 зразках циліндричної форми



діаметром 40 мм і висотою 10 мм на розривній машині ИР5047–50. Швидкість навантаження 17 мкм/с. Границя міцності визначалася за кривими деформування в координатах σ – ϵ . За критерій руйнування прийнято появу перших тріщин на бокових поверхнях зразка.

3) деформацію, пористість та густину за методою [5].

Результати досліджень

Технологія виготовлення спечених виробів описується традиційною схемою, що представлена на рис. 2.



Рисунок 2 - Технологічна схема виготовлення спечених композиційних виробів

Джерело: [6]

Пресуємість оцінювали за величиною залишкової пористості зразків до і після спікання, а спікання – за вмістом залишкового вуглецю, твердістю та усадкою. Із проведеного дослідження випливає, що по мірі зростання кисню в



порошковому композиті до 1,3% помітно зростає пористість (табл. 2). Після спікання відзначається незадовільна мікроструктура, що пов'язано із втратами (вигоранням) вуглецю.

Таблиця 2– Вплив вмісту кисню в композиті на пресування та спікання

Матеріал	O ₂ , %	До спікання П, %	Після спікання					
			П, %	НВ, кгс/мм ²	С, %	Усадка, %		
						зовнішній діаметр	внутрішній діаметр	висота
ПЖРВ – (1,3 об. %) ГК – (3 об. %) ПМ	0,12	19,4	20,5	101,0	0,54	+0,19	-	-
	1,04	20,3	22,3	80,6	0,52	+0,09	-0,31	-0,46
	1,3	25,7	27,2	55,7	0,42	-0,27	-0,12	-0,43

Авторська розробка

Для досягнення необхідної густини та помірної усадки спечених виробів, вміст кисню в матеріалі повинен бути нижчим 1%.

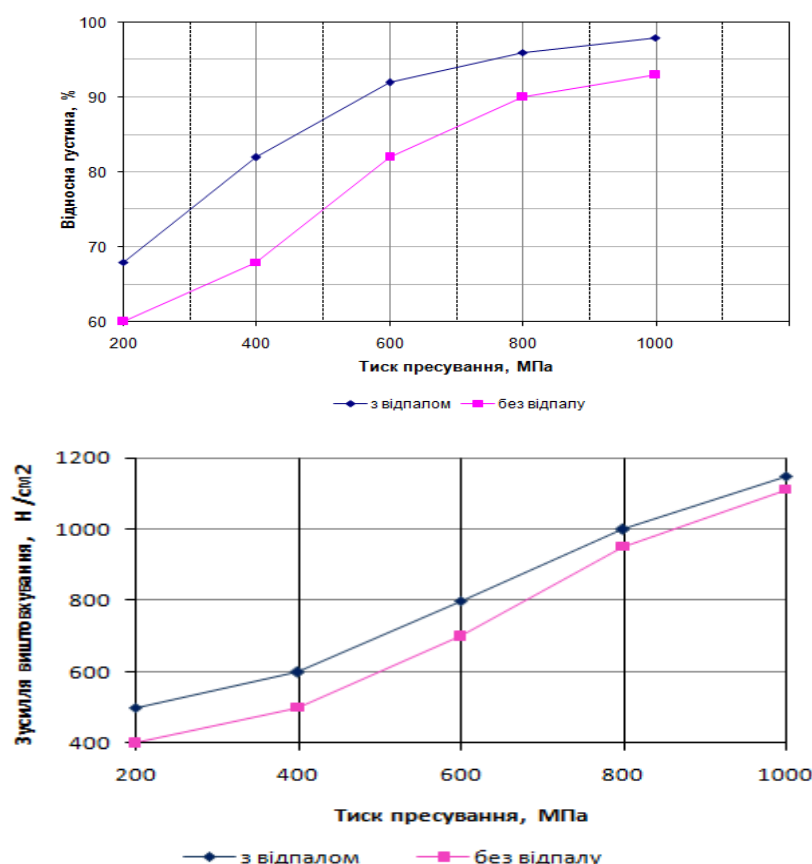


Рисунок 3 - Вплив відпалу композиту ПЖРВ – (3 об. %) ПМ на пресуємість
Авторська розробка



Це одна із умов досягнення технологічних та фізико-механічних властивостей порошкових виробів на основі заліза. Тому для зниження вмісту кисню залізний порошок відновлювали не окремо, а в суміші із мідним [19]. Відновлена суміш порошків має кращі показники пресування, а саме відносну густину спресованої заготовки та питоме зусилля виштовхування її із форми (рис. 3).

Великий вплив на пресування має введення у шихту твердої змазки. Введення у порошкову суміш графіту ефективно впливає на ущільнення та знижує зусилля виштовхування зразка із прес-форми (рис. 4).

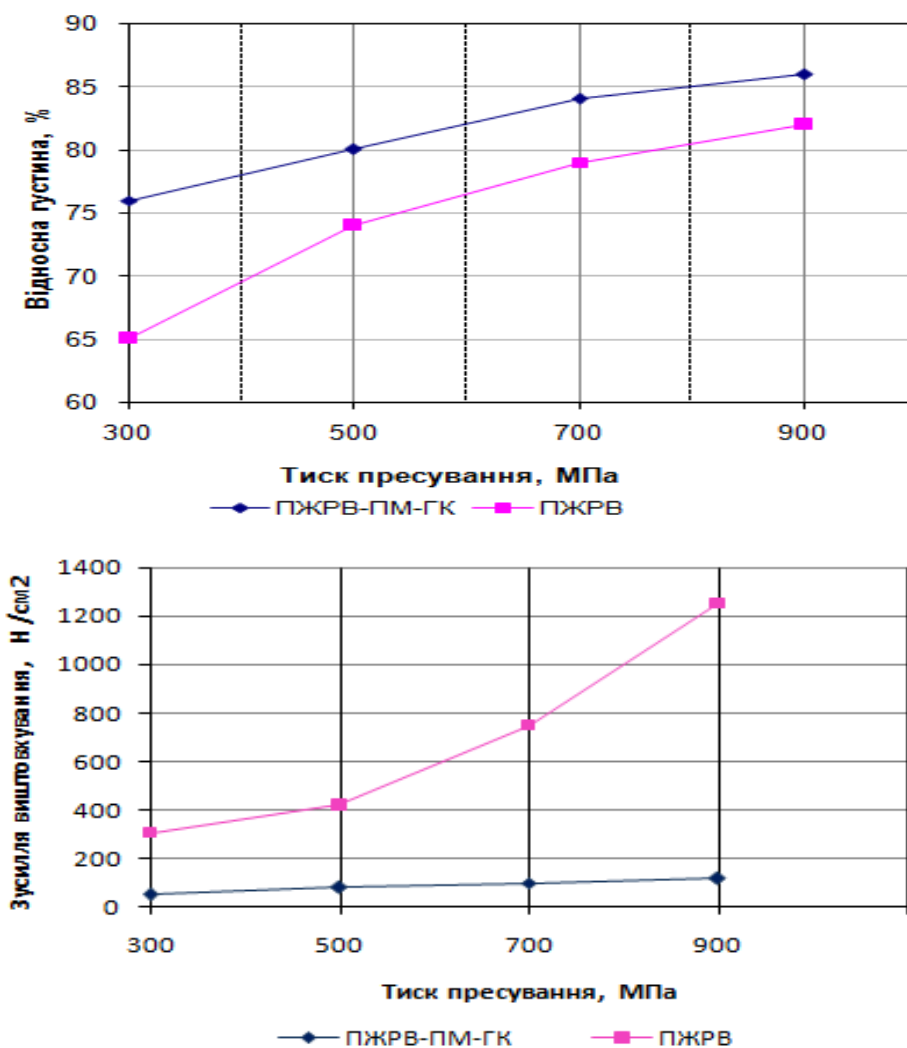


Рисунок 4 - Порівняльні характеристики результатів пресування заготовок із порошкового композиту та залізного порошку в стані постачання

Авторська розробка

Як видно із графіків для виробів спресованих із композиту досягається підвищення пресуємості і значне зниження зусилля виштовхування спресованої



заготовки.

В режимі приготування порошкової суміші дуже важливим фактором є інтенсивність і час перемішування. Експериментальним шляхом встановлено, що у змішувачі барабанного типу з ексцентричною віссю обертання оптимальним часом перемішування порошкових компонентів є 45...60 хвилин для $n = 30$ об / хв. В результаті чого досягається найбільш однорідна за хімічним складом порошкова суміш із стабільними технологічними властивостями такими як: маса насипки та зусилля виштовхування зразків після пресування. Необхідно відмітити, що зусилля виштовхування під час проведення експериментів досягало за абсолютним значенням мінімальної величини. Спечені зразки у захисному водневому середовищі мають достатньо високі фізико-механічні властивості (табл. 3).

Таблиця 3 – Фізико-механічні властивості спечених зразків

Матеріал	Температура спікання, °C	Пористість, %	Границя міцності, кгс/мм ²	Деформація, %	Твердість HB, кгс/мм ²
ПЖРВ – (1,3) ГК – (3) ПМ	1120	15,8	25,8	3,5	80,5
	1140	16,1	26,3	3,6	81,9
	1160	16,4	26,7	3,6	83,4
	1180	16,6	27,2	3,7	84,8

Авторська розробка

Перспективи подальшого розвитку досліджень

Основною задачею, що потребує вирішення в майбутньому для розробки порошкового матеріалу залізо–мідь–графіт є дослідження триботехнічних характеристик. Під час вибору складу композиційного порошкового матеріалу є важливим встановлення впливу фізико-механічних властивостей та технологічних параметрів отримання порошкових композиційних виробів на антифрикційні властивості. Вирішити цю проблему можливо через дослідження залежності тертя та зношування, виробів із порошкового композиту залізо–мідь–графіт, від пористості та режимів спікання, що дасть можливість розширювати межі застосування таких спечених антифрикційних виробів.



Висновки

Таким чином механічні властивості виробів на базі порошку заліза підвищуються введенням міді та графіту, регулюються тиском пресування. Експериментально перевірено на композиті ПЖРВ – (1,3 об. %) ГК – (3 об. %) ПМ, що по мірі зростання в ньому кисню (до 1,3%) пористість зразка зростає майже 1,5 рази. Для досягнення оптимальних технологічних та фізико-механічних властивостей порошкових виробів на основі заліза запропоновано відновлення залізного порошку в суміші із мідним. В результаті показники пресуємості у 10...15 % вищі ніж для ПЖРВ. Додавання 1,3 (об. %) ГК у залізно-мідну порошкову суміш, крім підвищення пресуємості, також знижує зусилля виштовхування спресованих заготовок, що підчас проведення експериментів досягало за абсолютним значенням мінімальної величини 80...120 Н/см². Експериментальним шляхом встановлено, що у змішувачі барабанного типу з ексцентричною віссю обертання оптимальним часом перемішування порошкових компонентів є 45...60 хвилин (n=30 об/хв.) для досягнення найбільш однорідної за хімічним складом порошкової суміші із стабільними технологічними властивостями.

Список літератури

1. Каплун В.Г., Гупка Б.В., Гупка А.Б., Оксентюк А.О. (2012) Трибологічні аспекти експлуатаційної надійності важко навантажених пар тертя. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. Серія: Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві*, 122, 26-34.
2. Баглюк Г. А., Позняк Л. Д. (2001) Порошкові зносостійкі матеріали на основі заліза. *Порошкова металургія*, 3/4, 94–99.
3. Jun Hyeok Jeong & Jinnil Choi (2021) Effects of solid graphite lubricants for powder compaction, *Powder Metallurgy*, 64(3), 241–247. doi: <https://doi.org/10.1080/00325899.2021.1921404>.
4. Furlan, K.P., De Mello, J.D.B., Klein, A.N. (2018) Self-lubricating composites



containing MoS₂: A review. *Tribology International*. 120, 280–298. doi: <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2017.12.033>.

5. Гальчук Т.Н., Божко Т.Є. (2017) Аналіз факторів, що впливають на зношування композиційних матеріалів. *Наукові нотатки*, 58, 65–68.

6. Гальчук Т.Н., Рудь В.Д. (2013) Використання відходів машинобудівного виробництва для виготовлення деталей триботехнічного призначення: *Монографія*. Луцьк: РВВ ЛНТУ, 214.

7. Sevostyanov N.V., Bolshakova A.N., Bolsunovskaya T.A., Burkovskaya N.P. (2021) Tribotechnical Properties of Nickel Based Cermet Materials *Journal of Friction and Wear*, 42(5), 335–339.

8. Tae-Hoon Kang, Amol B. Kale, Han-Soo Kim & Kee-Ahn Lee (2023) Wear properties of Fe-16Mn-10Al-5Ni-0.86C lightweight steel manufactured by laser powder bed fusion, *Powder Metallurgy*, 4, 55-60. doi: <https://doi.org/10.1080/00325899.2023.2233823>

9. Burkovskaya, N.P., *et al* (2016) Study of structural features, strength properties, and heat resistance of a dispersion-hardened composite material based on nickel intermetallide *Inorganic Materials: Applied Research*, 7(4), 603–609.

10. Manufacture of self-lubricative sliding material: pat. JP 532989A; filed 12.01.89; publ. 20.07.90.

11. Tetiana Halchuk, *et al*. (2024) Antifriction hroducts from composite material based on LH15 steel powder. *Lecture Notes in Mechanical Engineering (LNME)*, 2: Manufacturing and Materials Engineering, 382-391. doi:https://doi.org/10.1007/978-3-031-63720-9_33.

12. Raquel de Oro Calderon, Christian Gierl-Mayer & Herbert Danninger (2023) Microstructural evolution during sintering of Fe-Cr-C steels prepared from admixed elemental powders, *Powder Metallurgy*. 66(5), 450–460. doi: <https://doi.org/10.1080/00325899.2023.2201487>.

13. Teisanu C., Gheorghe S. (2011) Development of new PM iron-based materials for self-lubricating bearings. *Advances Tribology*, 1–11. doi:<https://doi.org/10.1155/2011/248037>.



14. Eva María Perez-Soriano, Cristina Arévalo, Isabel Montealegre-Meléndez, Erich Neubauer & Michael Kitzmantel (2021) Influence of starting powders on the final properties of W-Cu alloys manufactured through rapid sinter pressing technique, *Powder Metallurgy*, 64(1), 75–81. doi: <https://doi.org/10.1080/00325899.2020.1847847>
15. Copper-based alloy sliding-bearing material and preparation method thereof: pat. CN 103602849; filed 10.10.13; publ. 09.03.16.
16. Dyachkova, L.N.(2021) Iron-based powder materials with increased mechanical and tribotechnical properties, 203.
17. Morakotjinda, M., Krataitong, R. , Wila P. *et al.*, (2008) Sintered Fe-Cu-C materials. *Chiang Mai Journal of Science*, 35(2), 258–265.
18. Гальчук Т.Н., Рудь В.Д., Божко Т.Є. (2014) Експериментальне дослідження технології вібраційного подрібнення. *Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірник наукових праць. Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія*, 52 (1094), 92–97.
19. Гальчук Т.Н. Властивості виробів із композицій на основі порошку заліза (2024): *Матеріали та технології в інженерії (MTI-2024): інженерія, матеріали, технології, транспорт: збірник наукових доповідей міжнародної конференції*, 80–82, <https://mte.lntu.edu.ua/uk/2024>

Abstract: The paper considers the possibility of manufacturing and using sintered composite products from metal powders of iron and copper. Research was carried out under optimal parameters of pressing pressure, temperature and sintering time. It has been experimentally verified, for a composite based on powdered iron with the addition of graphite and copper, that with an increase in oxygen (up to 1.3%) the porosity of the sample increases almost 1.5 times. It was established that the addition of graphite to the iron-copper powder mixture reduces the push-out force of pressed blanks. During the experiments, the optimal graphite content in the composite was determined to achieve the absolute minimum value of the push-out force. In order to achieve optimal technological and physical and mechanical properties of powder products based on iron, it is proposed to restore iron powder in a mixture with copper, which increases compressibility by 10...15% compared to powdered iron.

Keywords: Metal powders, composite, properties, porosity, technological scheme

Статтю надіслано: 22.01.2025р.

© Гальчук Т.Н.