

© Т. А. Роїк, д.т.н., професор, Т. М. Омік, магістрантка,  
КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна

### АНАЛІЗ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЛЕГОВАНИХ КОМПОЗИТИВ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ ТЕРТЯ ДРУКАРСЬКИХ МАШИН

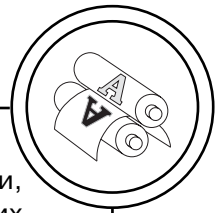
У статті подано результати експериментальних досліджень впливу технології виготовлення на формування структури і властивостей нових антифрикційних композитів на основі шліфувальних відходів високолегованої сталі 86Х6НФТ з домішками твердого мастила фториду кальцію для вузлів високообертової друкарської техніки. Відпрацьовано технологічні режими регенерації металевих шліфувальних відходів, як цінної вихідної сировини для виготовлення якісних композиційних деталей тертя. Визначено параметри технологічних операцій виготовлення антифрикційних матеріалів зі шліфувальних відходів сталі 86Х6НФТ з домішками  $\text{CaF}_2$ . Проілюстровано особливості формування структури і її вплив на властивості нових матеріалів для деталей тертя, що працюють у режимі самозмащення за важких режимів експлуатації. Доведено перспективність застосування утилізованих та регенованих шліфувальних відходів з високолегованих штампових сталей, для синтезу з них якісних конструкційних деталей. Показано, що функціональними властивостями деталей друкарської техніки можна керувати технологічним шляхом, насамперед, хімічним складом композитів, обираючи для цього ту чи іншу марку металевих шліфувальних відходів, залежно від умов роботи деталі, та застосовувати оптимальні технологічні режими виготовлення для одержання наперед заданої структури і прогнозованого рівня функціональних властивостей.

**Ключові слова:** шліфувальні відходи; антифрикційні композиційні матеріали; тверде мастило; структура; властивості; деталі тертя; зносостійкість; технологія виготовлення; високообертові друкарські машини.

#### Постановка проблеми

В умовах жорсткої конкуренції на світовому ринку поряд із високими вимогами до якості, функціонального призначення та точності продукції, зокрема, поліграфічної галузі, вагоме значення

мають надійність та довговічність як виробів в цілому, так і окремих вузлів і деталей. У реалізації цих вимог поряд із вдосконаленням конструкцій машин та обладнання вагоме місце відводиться розробці нових матеріалів та тех-



нологій їх виготовлення. У цьому аспекті центральне місце займають питання використання матеріалів третьових сполучень, насамперед, антифрикційних матеріалів [1–5].

Ці вимоги особливо важливі для вузлів тертя, що працюють у екстремальних умовах — при підвищених навантаженнях, в агресивному середовищі, при підвищених температурах, високих швидкостях обертання, оскільки 80 % відмов машин і механізмів у роботі відбувається через руйнування третьових деталей [1, 5, 6].

Як показує досвід спеціалістів з експлуатації друкарської техніки, що працює у важких умовах, основна причина її незадовільної роботи — це інтенсивне зношування робочих поверхонь деталей тертя, зокрема, підшипників ковзання. Так, за даними Державного видавництва «Преса України» термін роботи підшипників з литої бронзи БрАЖ9-4 у вузлах тертя друкарських машинах КВА Rapida-105, «PLAMAG Rondoset RO 170», «STAR BINDER 1509» та ін., які працюють при високих швидкостях обертання та підвищених навантаженнях, коли на контактних поверхнях виникають температури до 400° С, складає лише 0,5–1,0 рік, що пов'язано передусім з недосконалістю технологій їх виготовлення, що вже існують [7–9].

При важких умовах роботи використовують вже розроблений асортимент литих і порошкових антифрикційних матеріалів на основі заліза, міді та ін. Головне, що їх об'єднує — великий знос сполучених деталей, зростання коефіцієнтів тертя при таких умовах, а у багатьох випадках — ще й висока вартість.

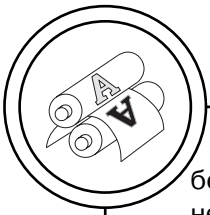
Крім цього, литі матеріали, що застосовують при важких умовах роботи, нездатні поєднувати у своєму складі відмінні за природою та цільовим додаванням домішки, які б утворювали міцну матрицю та містили б протизадирні присадки у вигляді сульфідів, оксидів, халькогенідів, фторидів. Причиною цьому є швидкий знос литих матеріалів, вихід з ладу вузлів тертя і агрегатів в цілому.

Порошкові антифрикційні матеріали позбавлені цих недоліків і, порівняно з литими матеріалами, мають багато переваг і широкий спектр можливостей, особливо в умовах роботи при важких режимах, коли можливо поєднати те, що методами лиття не поєднується [1, 5].

Проте, суттєвим негативним фактором для порошкових, насамперед, високошвидкісних матеріалів, що перешкоджає їх широкому використанню, є висока вартість, спричинена дорогою вихідною сировиною (порошків), складністю та високою вартістю обладнання для її виготовлення.

Потрібен пошук дешевих, доступних, економічно вигідних видів сировини для створення антифрикційних матеріалів, що здатні забезпечити надійність, довговічність, високу працездатність вузлів тертя при важких умовах роботи. Такою сировиною у необмежених кількостях є шламові відходи кольорових та чорних металів і сплавів машинобудівного та приладобудівного виробництва.

Ці відходи з'являються на операціях шліфування штампів, ріжучого інструменту, кулькопідшипників, поршнів двигунів тощо, які



безповоротно йдуть у відвали і не використовуються у наступних циклах виробництва [6].

На сьогодні науково-дослідні роботи з регенерації та подальшого використання окремих типів шліфувальних металевих відходів надали змогу започаткувати розробку технологічних заходів для виготовлення нових типів підшипників підвищеної зносостійкості [6, 9–13].

Однак і дотепер відсутні принципи оптимізації технологічних заходів виготовлення нових антифрикційних матеріалів зі шліфувальних відходів легованих сталей, що не дозволяє одержувати деталі зі стабільно високими експлуатаційними властивостями.

Тому визначення особливостей формування структури і властивостей залежно від технологічних режимів виготовлення антифрикційних композиційних матеріалів на основі шліфувальних відходів є актуальною науково-практичною задачею, розв'язання якої дозволить не тільки одержувати нові матеріали з високим рівнем властивостей, але і відкрити подальші шляхи використання широкого спектру цінної сировини — шліфувальних відходів чорних і кольорових металів, створення нових ресурсо- та енергозберігаючих технологій, вирішення завдань пошуку дешевих видів сировини і захисту довкілля від забруднень.

### **Мета роботи**

Визначення особливостей структури і властивостей нових композиційних антифрикційних матеріалів з відновлених шліфувальних відходів штампової сталі 86Х6НФТ з домішками твердої

змащувальної речовини (фториду кальцію), що призначені для роботи у важких умовах експлуатації (при швидкостях обертання до 600 об/хв. або температурах до 500° С та навантаженнях 5,0–8,0 МПа).

### **Результати проведених досліджень**

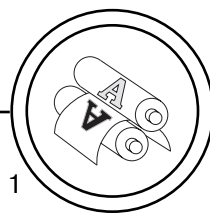
При виконанні експериментальних досліджень в роботі використовувались металографічний, електронномікроскопічний аналізи, стандартні методи визначення фізико-механічних властивостей, дюрومتрія і трибо-технічні випробування.

У важких умовах експлуатації вузлів тертя — швидкостях обертання до 600 об/хв. або при температурах до 500° С та навантаженнях 5–8 МПа добре себе показали матеріали на основі заліза [2, 4, 6].

Основою досліджень було обрано порошкові шліфувальні відходи легованої сталі 86Х6НФТ з таких міркувань. Вказана інструментальна легована сталь належить до класу теплостійких сталей, зберігає високі механічні властивості до температур (500–600)° С, має високу окалинотійкість завдяки наявності низки легувальних елементів (табл. 1).

Відходи сталі 86Х6НФТ (табл. 1) утворюються на операціях шліфування штампів, прес-форм і, внаслідок забруднення абразивною крихтою від шліфувальних кругів, не використовуються у повторному циклі виробництва.

Значна кількість вуглецю пов'язана з наявністю легувальних елементів, що є сильними карбідоутворювачами, тому в структурі



Таблиця 1

Хімічний склад сталі 86Х6НФТ

Масова частка елементів, %							
C	Mn	Cr	Ni	V	Si	Ti	Fe
0,8–0,9	0,15–0,40	5,0–6,0	0,9–1,3	0,30–0,50	0,15–0,35	0,05–0,15	решта

сталі міститься велика кількість карбідів. Ці карбіди сприяють підвищенню механічних властивостей, окалиностійкості та розширюють зону нормального зношування в процесі тертя. Наявність ванадію, молібдену і титану у відходах сприяє утворенню карбідів, які зберігають дрібне зерно та підвищують зносостійкість.

Вибір мастильних компонентів у важких умовах роботи пари тертя, коли між іншими факторами навантаження виникає вплив високих температур внаслідок тертя (до 500° С) або високих швидкостей обертання (до 600 об/хв.) при одночасній дії високих навантажень (5,0–8,0) МПа, і ніяке рідке мастило непрацездатне, особливо важливо захистити поверхні тертя від зносу та схоплення.

Тому при виконанні досліджень було обрано тверде мастило — CaF<sub>2</sub> як хімічно і термічно стабільну речовину [3, 4, 10, 11–13].

Зважаючи на високу термічну та хімічну стабільність CaF<sub>2</sub> [10], можна припустити, що у важких умовах роботи нові матеріали з домішками фториду кальцію будуть відповідати вимогам антифрикційності.

Кількість CaF<sub>2</sub> було обрано в межах 4–8 мас. % з таких причин: менше 4 % CaF<sub>2</sub> не повною мірою виконує функції твердої змазки, а більше 10 % знижує характеристики міцності та пластичності.

Оскільки порошки сталі 86Х6НФТ забруднені абразивною крихтою

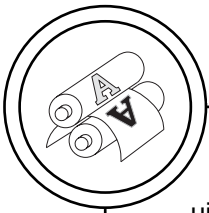
та компонентами мастильно-охолоджуючої рідини (МОР), при відпрацюванні технології виготовлення нових композиційних матеріалів приділялась увага операціям регенерації шліфувальних відходів, а саме, очищенню порошоків-відходів від абразиву [6, 9] з використанням магнітного сепаратору [11, 12].

Залишок абразивної крихти після очищення становить 1–2 %. Частинки сталі мають вигляд мікростружок розмірами 0,05–0,15 мм.

Порошки-відходи сталей містять у своєму складі підвищений вміст кисню у вигляді оксидів (0,8–1,0 %), що негативно позначається на структурі та механічних властивостях матеріалів. Тому для зниження вмісту кисню проводили відновлювальний відпал порошоків-відходів сталі у середовищі водню при 850–1000° С протягом 1,5–2,0 год. Відновлювальний відпал знижує загальну концентрацію O<sub>2</sub> до 0,4 %.

Після відпалу конгломерат піддавався розмелюванню і просіюванню через сито № 0160. Порошки CaF<sub>2</sub> висушували від вологи за температури 120° С протягом однієї год. та просіювали через сито № 0125.

Далі при розробці технології виготовлення матеріалів змішували компоненти шихти (відходи сталі та CaF<sub>2</sub>) у банковому змішувачі протягом чотирьох год.



Таким чином були підготовлені шихтові композиції наступного середнього складу, мас. %: 86Х6НФТ + (4,0–8,0) CaF<sub>2</sub>.

При відпрацюванні технологічної операції пресування у процесі експериментів було встановлено, що кращу пресованість мають композиції в інтервалі навантажень 700–900 МПа.

У результаті пресування композиційних сумішей були одержані пресовки, що мали пористість 20–22 %.

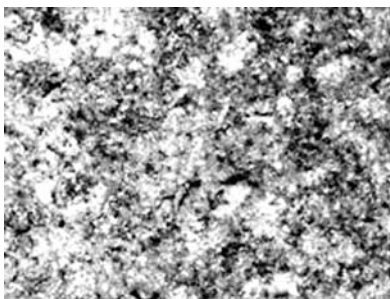
Наступна операція, що відпрацьовувалась при розробці технології виготовлення, це спікання у середовищі Н<sub>2</sub> при температурі 1150–1200° С.

Пористість антифрикційних матеріалів після спікання становила 11–13 %.

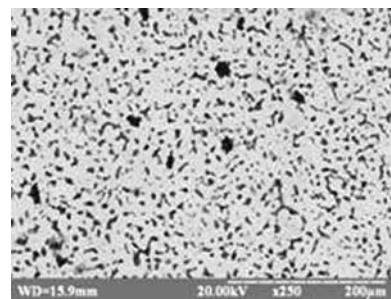
В результаті застосування розробленої технології виготовлення утворилась складна гетерогенна структура матеріалу на основі відходів легованої сталі 86Х6НФТ з домішками CaF<sub>2</sub>, яка представляє собою леговану металеву матрицю з рівномірно розподіленими в ній частинками твердого мастила CaF<sub>2</sub> (рис. 1).

Металева матриця, у свою чергу, представляє собою легований перліт. В результаті утворення дрібнозернистої структури металевої матриці антифрикційних матеріалів виявляється відсутність границь між вихідними частинками сталі, що сприяє зростанню міцності й ударної в'язкості, що є визначальним фактором для деталі, яка працює при високих швидкостях і підвищених навантаженнях. Основні зміцнювальні фази металевої матриці матеріалу на основі сталі 86Х6НФТ — карбіди Me<sub>6</sub>C, Me<sub>23</sub>C<sub>6</sub> та карбіди VC, які присутні у частинках вихідних відходів сталі 86Х6НФТ. Це найтвердіші карбіди у сталі, їх твердість сягає 2000 HV (20000 МПа) [14–16], тому вони суттєво можуть підвищити зносостійкість матеріалу.

Окрім карбідів у металевій матриці присутні інтерметаліди легуючих елементів. Зокрема, нікель разом з титаном та хромом утворюють додаткові інтерметалідні фази типу (Ni, Fe)<sub>3</sub>Ti та (Ni, Fe, Cr)<sub>3</sub>Ti, які збільшують міцність та твердість, а відтак і зносостійкість деталі [14–16].

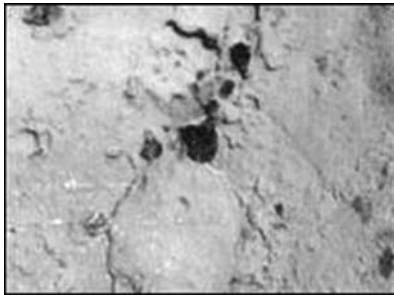
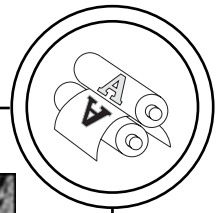


а

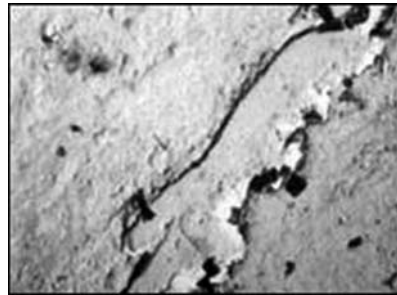


б

Рис. 1. Мікроструктура матеріалу 86Х6НФТ + 6 % CaF<sub>2</sub>, а — шліф травлений, ×400; б — шліф нетравлений



а



б

Рис. 2. Фториди кальцію в структурі матеріалу 86Х6НФТ + 6 %CaF<sub>2</sub>, у вигляді окремих включень (а, ×4000) та інтерметалідні і карбідні утворення вздовж границь зерен (б, ×8200)

На рис. 2 наведено електронномікроскопічне зображення розташування фториду кальцію CaF<sub>2</sub> у матеріалі, інтерметалідів і карбідів по границям зерен.

Таким чином присутність комплексу легуючих елементів, що утворюють гетерогенну структуру, особливо при виділенні інтерметалідів та дисперсних карбідних фаз разом із фторидом кальцію, забезпечує формування необхідного рівня властивостей

для застосування при важких умовах експлуатації (табл. 2). Випробування тертя та зносу виконувались при швидкостях обертання 400 та 500 об./хв., навантаженнях 7 МПа у парі з контртілом зі сталі Р18 (HRC = 57–59) на повітрі.

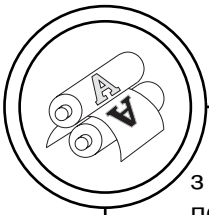
Наведені у табл. 2 дані свідчать, що використання шліфувальних відходів легованої сталі 86Х6НФТ, як металевої основи нових композиційних деталей порівняно

Таблиця 2

Фізико-механічні та триботехнічні властивості деталей на основі відходів сталі 86Х6НФТ

№ з/п	Вміст компонентів, мас. %	Твердість, НВ, МПа	Ударна в'язкість, Дж/м <sup>2</sup>	Межа міцності при згині, МПа	Інтенсивність зношування, мкм/км, при швидкості обертання, об./хв.		Коефіцієнт тертя при швидкості обертання, об./хв.	
					400	500	400	500
1	86Х6НФТ+4 % CaF <sub>2</sub>	900	790	610	36	47	0,21	0,22
2	86Х6НФТ+6 % CaF <sub>2</sub>	910	760	600	34	44	0,19	0,20
3	86Х6НФТ+8 % CaF <sub>2</sub>	920	755	590	38	48	0,20	0,21
4	Лита бронза БрАЖ9-4 [7, 8]	880–900	880–890	600–610	584–613	895–970	0,64–0,68	0,68–0,70





з відомою бронзою [7, 8], забезпечує надання деталям аналогічного рівня фізико-механічних та більш високих триботехнічних властивостей.

В результаті випробувань на поверхні утворилися плівки тертя, що показані на рис. 3.

Утворені при випробуваннях плівки тертя являють собою змащувальний шар (рис. 3), що відрізняється багатофазністю і складається з оксидних фаз та фториду кальцію, кількісна комбінація яких забезпечує високі значення антифрикційних властивостей матеріалу і його тривалу роботу у вузлах тертя друкарських машин або термічних агрегатів.

### Висновки

Узагальнюючи комплекс виконаних досліджень, необхідно зробити наступні висновки, які мають як наукове, так і практичне значення.

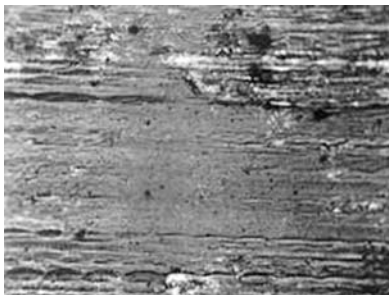
1. Встановлено визначальний вплив особливостей формування структури на властивості нових композиційних антифрикційних деталей з відновлених шліфувальних відходів штампо-

вої сталі 86Х6НФТ з домішками твердої змащувальної речовини (фториду кальцію), що призначені для роботи у важких умовах експлуатації друкарських машин (при швидкостях обертання до 600 об/хв. та навантаженнях 5,0–8,0 МПа).

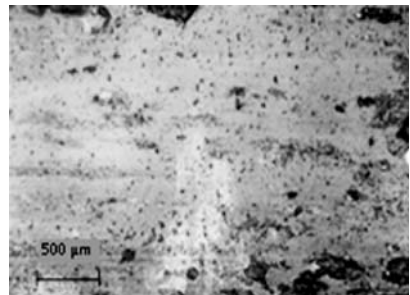
2. Проілюстровано перспективність застосування утилізованих та регенованих шліфувальних відходів з високолегованих інструментальних сталей для синтезу з них якісних конструкційних деталей.

3. Показано, що функціональними властивостями деталей друкарської (або термічної) техніки можна керувати технологічним шляхом, насамперед, хімічним складом композитів, обираючи для цього ту чи іншу марку металевих шліфувальних відходів залежно від умов роботи деталі, та застосовувати оптимальні технологічні режими виготовлення для одержання передбачуваної структури і прогнозованого рівня функціональних властивостей.

Подальші дослідження будуть спрямовані на визначення еле-

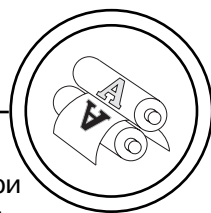


а



б

Рис. 3. Поверхні тертя зразка підшипника (а) з високошвидкісного композиційного матеріалу 86Х6НФТ+6 % CaF<sub>2</sub> і контртіла зі сталі P18 (б) для друкарської машини KBA Rapida-105



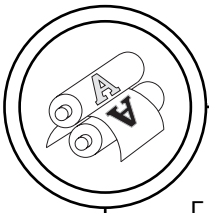
ментного і фазового складу плівок тертя, що утворюються у процесі експлуатації і, які забезпечують високі функціональні властивості у важких режимах роботи вузла. Також планується виконання експериментальних досліджень

щодо розширення номенклатури використання цінних шліфувальних відходів чорних і кольорових металів для виготовлення якісних деталей, для різних умов експлуатації вузлів поліграфічної техніки.

## Список використаної літератури

1. Косторнов А. Г. Триботехническое материаловедение. Л.: Изд-во «Ноулидж» (донецкое отделение), 2012. 696 с.
2. Kaczmar J. W. The production and application of metal matrix composite materials / J. W. Kaczmar, K. Pietrzak, W. Wlosinski J. Mater. Proc. Tech., Elsevier Science, vol. 106, issues 1–6, 2000, pp. 58–67.
3. Kurzawa A., Bocian M., Jamroziak K., Pyka D. Analysis of ceramic-metallic composites of ballistic resistance on shots by 5.56 mm ammunition [in:] Engineering Mechanics 2017: 23rd international conference: book of full texts, May 15–18, 2017, Svatka, Czech Republic /ed. Vladimír Fuis. Brno: Brno University of Technology, cop. 2017, p. 574–577.
4. Powder metal technologies and applications: the materials International society, ASM Handbook, Volume 7, New York, USA, 1998, 1146 p.
5. Федорченко И. М. Композиционные спеченные антифрикционные материалы / И. М. Федорченко, Л. И. Пугина. К.: Наукова думка, 1980. 404 с.
6. Киричок П. О. Новітні композиційні матеріали деталей тертя поліграфічних машин: Монографія / П. О. Киричок, Т. А. Роїк, А. П. Гавриш, А. В. Шевчук, Ю. Ю. Віцюк. К.: НТУУ КПІ, 2015. 428 с.
7. Машиностроительные материалы: краткий справочник / В. М. Раскатов, В. С. Чуенков, Н. Ф. Бессонова, Д. А. Вейс. [3-е изд.]. М.: Машиностроение, 1980. 511 с.
8. Гуляев А. П. Металловедение: уч. [для вузов] / А. П. Гуляев. [6-е изд.]. М.: Металлургия, 1986. 544 с.
9. Роїк Т. А. Композиційні підшипникові матеріали для підвищених умов експлуатації: Монографія / Т. А. Роїк, П. О. Киричок, А. П. Гавриш. К.: НТУУ «КПІ», 2007. 404 с.
10. Зозуля В. Д. Смазки для спечених самосмазуючихся підшипників / В. Д. Зозуля. К.: Наукова думка, 1976. 191 с.
11. Гавриш А. П. Оптимізація технологічних параметрів одержання нових композиційних підшипників зі сталевих відходів для друкарських машин / А. П. Гавриш, Т. А. Роїк, П. О. Киричок, Ю. Ю. Віцюк, О. О. Мельник, В. В. Холявко // Технологічні комплекси. Луцьк: ЛНТУ. 2013. № 1(7). С. 137–145.
12. Roik T., Gavrish A., Kyrychok P., Vitsuk Y. Effect of making technology on the antifriction properties of new bearings for printing machines // Selected engineering problems, Silesian University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering, Gliwice, Poland, 2013. № 4. pp. 147–152.
13. Roik T. The manufacturing technology and its effect on the tribological properties of new parts for printing machines / T. Roik, Iu. Vitsiuk // Технологія і техніка друкарства. 2016. № 4(54). С. 58–66. Режим доступу: <http://ttdruk.vpi.kpi.ua/article/view/84483>.
14. Геллер Ю. А. Инструментальные стали / Ю. А. Геллер. М.: Металлургия, 1983. 527 с.
15. Roik T. Using of composite materials for friction parts of printing equipment / T. Roik, Iu. Vitsiuk // Металознавство та обробка металів. 2017. № 1. С. 33–38.

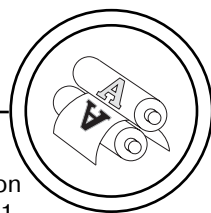




16. Смитлз К. Дж. Металлы: Справочник / К. Дж. Смитлз.; пер. с англ. С. Г. Глазунова. М.: Металлургия, 1980. 447 с.

## References

1. Kostornovb A. G. (2012). *Tribotekhnicheskoe materialovedenie [Tribotechnical materials science]*. Lugansk: Izd-vo 'Noulidzh' (donetskoe otdelenie), 696 [in Russian].
2. Kaczmar, J. W., Pietrzak, K. & Wlosinski, W. (2000). The production and application of metal matrix composite materials. *J. Mater. Proc. Tech., Elsevier Science*, vol. 106, issues 1–6, 58–67 [in English].
3. Kurzawa, A., Bocian, M., Jamroziak, K. & Pyka, D. (2017). Analysis of ceramic-metallic composites of ballistic resistance on shots by 5.56 mm. *Journal of Engineering Mechanics 2017*, 574-577. Brno: Brno University of Technology [in English].
4. (1998). *Powder metal technologies and applications: the materials International society*, ASM Handbook, Volume 7. New York, 1146 [in English].
5. Fedorchenko, I. M. & Pugina, L. I. (1980). *Kompozitsionnye spechennye antifriktsionnye materialy [Composite sintered antifriction materials]*. Kiev: Naukova dumka, 404 [in Russian].
6. Kyrychok, P. O., Roik, T. A., Havrysh, A. P., Shevchuk, A. V. & Vitsiuk, Iu. Iu. (2015). *Novitni kompozytsiini materialy detalei tertia polihrafichnykh mashyn [Newest composite materials for friction parts of printing machines]*. Kyiv: NTUU KPI, 428 [in Ukrainian].
7. Raskatov, V. M., Chuenkov, V. S., Bessonova, N. F. & Veys, D. A. (1980). *Mashinostroitel'nye materialy [Machine-building materials]*. Moscow: Mashinostroenie, 511 [in Russian].
8. Gulyaev, A. P. (1986). *Metallovedenie [Metallurgical science]*. Moscow: Metallurgiya, 544 [in Russian].
9. Roik, T. A., Kyrychok, P. O. & Havrysh, A. P. (2007). *Kompozytsiini pidshypanykovi materialy dlia pidvyshchennykh umov ekspluatatsii [Composite bearing materials for increased operating conditions]*. Kyiv: NTUU 'KPI', 404 [in Ukrainian].
10. Zozulya, V. D. (1976). *Smazki dlya spechennykh samosmazyvayushchikhsya podshipnikov [Greases for sintered self-lubricating bearings]*. Kiev: Naukova dumka, 191 [in Russian].
11. Havrysh, A. P., Roik, T. A., Kyrychok, P. O., Vitsiuk, Iu. Iu., Melnyk, O. O. & Kholiavko, V. V. (2013). Optyimizatsiia tekhnolohichnykh parametriv oderzhannia novykh kompozytsiinykh pidshypanykiv zi stalevykh vidkhodiv dlia drukarskykh mashyn [Optimization of technological parameters for the production of new composite bearings from steel wastes for printing machines]. *Journal of Tekhnolohichni kompleksi*, 1(7), 137–145. Lutsk: LNTU [in Ukrainian].
12. Roik, T., Gavrish, A., Kyrychok, P. & Vitsuk, Y. (2013). Effect of making technology on the antifriction properties of new bearings for printing machines. *Journal of Selected engineering problems*, 4, 147–152 [in English].
13. Roik, T. & Vitsiuk, Iu. (2016). The manufacturing technology and its effect on the tribological properties of new parts for printing machines. *Journal of Tekhnolohiia i tekhnika druzarstva – Technology and Technique of Typography*, 4(54), 58–66. Retrieved from <http://ttdruk.vpi.kpi.ua/article/view/84483> [in English].
14. Geller, Yu. A. (1983). *Instrumental'nye stali [Tool steel]*. Moscow: Metallurgiya, 527 [in Russian].



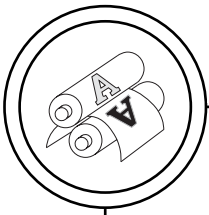
15. Roik, T. & Vitsiuk, Iu. (2017). Using of composite materials for friction parts of printing equipment. *Journal of Metaloznavstvo ta obrobka metaliv*, 1, 33–38 [in English].

16. Smiltz, K. Dzh. (1980). *Metally [Metals]*. Moscow: Metallurgiya, 447 [in Russian].

**В статье приведены результаты экспериментальных исследований влияния технологии изготовления на формирование структуры и свойств новых антифрикционных композитов на основе шлифовальных отходов высоколегированной стали 86Х6НФТ с добавками твердой смазки фторида кальция для узлов высокооборотной печатной техники. Отработаны технологические режимы регенерации металлических шлифовальных отходов, как ценного исходного сырья для изготовления качественных композиционных деталей трения. Определены параметры технологических операций изготовления антифрикционных материалов из шлифовальных отходов стали 86Х6НФТ с добавками  $\text{CaF}_2$ . Проиллюстрированы особенности формирования структуры и ее влияния на свойства новых материалов для деталей трения, работающих в режиме самосмазывания в тяжелых режимах эксплуатации. Доказана перспективность применения утилизированных и регенерированных шлифовальных отходов из высоколегированных штамповых сталей для синтеза из них качественных конструкционных деталей. Показано, что функциональными свойствами деталей печатной техники можно управлять технологическим путем, прежде всего, химическим составом композитов, выбирая для этого ту или иную марку металлических шлифовальных отходов в зависимости от условий работы детали, и применять оптимальные технологические режимы изготовления для получения наперед заданной структуры и прогнозируемого уровня функциональных свойств.**

**Ключевые слова:** шлифовальные отходы; антифрикционные композиционные материалы; твердая смазка; структура; свойства; детали трения; износостойкость; технология изготовления; высокооборотные печатные машины.

The article reveals the features of the manufacturing technology's development and its effect on the composite antifriction materials' structure and properties based on high alloyed steel 86H6NFT grinding waste with solid lubricant  $\text{CaF}_2$  additions for high rotational printing equipment. The technological operations for the metal grinding wastes regeneration were worked out, and valuable raw materials were used to produce high-



quality composite friction parts. Parameters of technological operations for manufacturing antifriction materials from grinding waste steel 86Х6НФТ with  $\text{CaF}_2$  additives have been determined. The features of the structure formation and their influence on the properties of new materials for antifriction parts have been illustrated. The materials of such kind can be used in self-lubricating mode in heavy duty operation.

The prospects of applying of recycled and reclaimed grinding waste of high-alloy cast steels has been proven. This raw material can be effectively used for the synthesis of high-quality structural parts. It was shown that the functional properties of the printing equipment's parts can be controlled in the technological way, first of all, by the composites chemical composition, choosing for this purpose one or another grade of metal grinding waste. It depends on the part working conditions, and it is necessary to apply the optimal technological manufacturing modes to obtain a predetermined structure and functional properties' predicted level.

**Keywords:** grinding waste; antifriction composite materials; solid lubricant; structure; properties; friction parts; wear resistance; manufacturing technology; high-speed printing machines.

Рецензент — О. М. Величко, д.т.н., професор,  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

Надійшла до редакції 02.12.17