



УДК 621.002.3: 621.89

© Ю. Ю. Віцюк, к.т.н., доцент, НТУУ «КПІ», Київ, Україна

ФРАКТОГРАФІЧНИЙ АНАЛІЗ ТА ВЛАСТИВОСТІ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ НІКЕЛЮ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ ПОЛІГРАФІЧНОЇ ТЕХНІКИ

Виконаний комплекс досліджень фізико-механічних, триботехнічних властивостей та фрактографічний аналіз композиційних матеріалів на основі нікелю дозволяє визначити закономірності взаємозв'язку конструкційної міцності композитів та їх функціональних властивостей залежно від умісту зміцнюючих легуючих елементів та твердого мастила. Такий підхід дає можливість здійснення оптимізації складу матеріалів на основі нікелю, завдяки чому вирішується наукова задача прогнозування та керування експлуатаційними властивостями композитів технологічними засобами. Це дає змогу забезпечувати надійність та довговічність роботи деталей поліграфічної техніки.

Ключові слова: матеріали на основі нікелю; деталі поліграфічної техніки; фрактографічний аналіз; тверда змащувальна речовина.

Постановка проблеми

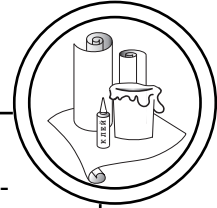
У важких умовах роботи деталей поліграфічної техніки, особливо за наявності впливу високих швидкостей ковзання та навантажень, коли жодне рідке мастило не є працездатним, надзвичайно важливо захистити поверхні тертя від посиленого зношування та зчеплення [1]. Для цієї мети, як відомо [2], застосовують антизадирні домішки, що виконують роль твердого мастила, які вводяться до складу композиційних матеріалів на етапі їх виготовлення. Втім ще й нині залишаються не з'ясованими питання оптимального вмісту твердого мастила саме для деталей на основі нікелю для високооберткових поліграфічних машин офсетного друку.

Аналіз попередніх досліджень

Останніми роками спостерігається розширення діапазону пошуків щодо вивчення властивостей матеріалів для деталей поліграфічної техніки, призначених для важких умов експлуатації, та наукового обґрунтування доцільності використання саме таких, що містять у своєму складі тверді мастила.

Аналіз попередніх досліджень довів, що введення до складу композиційного матеріалу будь-якого твердого мастила, у тому числі і CaF_2 , не є однозначною функцією збільшення зносостійкості антифрикційного матеріалу і захисту його від зчеплення.

Незважаючи на велику кількість досліджень, проведе-



них в даному напрямку, до теперішнього часу не вдалося отримати експериментальних даних щодо оптимального кількісного вмісту твердої змащувальної домішки у деталях на основі нікелю, причому не апіорі, а на основі глибоких структурних досліджень, з урахуванням взаємозв'язку між зносостійкістю антифрикційного матеріалу і його фізико-механічними властивостями.

Саме тому дослідження матеріалів, що містять у своєму складі домішки твердого мастила, та встановлення оптимального їх складу на основі експериментальних досліджень для забезпечення тривалої і надійної роботи деталей є актуальним завданням.

Мета роботи

Метою даної роботи є встановлення оптимального вмісту твердої змащувальної речовини, а саме CaF_2 , матеріалів на основі нікелю для зносостійких деталей поліграфічної техніки з урахуванням взаємозв'язку між зносостійкістю антифрикційного матеріалу і його фізико-механічними властивостями з використанням фактографічного аналізу.

Результати проведених досліджень

В процесі виконання експериментів було проведено фізико-механічні та триботехнічні випробування матеріалів на основі нікелю [3] легованого Mo і W , що містять у своєму складі тверду змащувальну речовину CaF_2 , результати яких наведено у табл. Дослідження фізико-ме-

ханічних характеристик здійснювали за стандартними методиками з визначенням твердості (НВ), межі міцності при згині ($\sigma_{зг}$) та ударної в'язкості (КС). Антифрикційні властивості матеріалів визначали на високотемпературній машині тертя ВМТ-1 на повітрі, при навантаженні на пару тертя 2–3 МПа, температурі 750 °С, швидкості ковзання 60 м/с, що відповідає швидкості обертання 10000 об./хв. у парі з контртілом з жароміцної сталі ЭИ 961 (52–54 HRC) при цьому температура на поверхні тертя складала ~ 500 °С.

Аналіз приведених у табл. результатів показує, що матеріал складу 1 (з 4 мас.% CaF_2) має максимальну величину ударної в'язкості у поєднанні з задовільним рівнем міцності і твердості. Проте його антифрикційні властивості, котрі характеризуються коефіцієнтом тертя та інтенсивністю зношування, досить низькі, та мають вельми високі значення і не можуть задовольняти службовим вимогам.

Візуальний огляд матеріалу складу 1 після трибовипробувань показав, що утворена на робочих поверхнях плівка тертя — дискретна, несучільна, має ділянки незахищеної ювенільної поверхні. Вочевидь, це пов'язано з недостатнім вмістом твердого мастила CaF_2 у складі матеріалу, що не здатне надійно захистити поверхні тертьової пари від схоплення.

Матеріали складів 2–4 мають дещо нижчу пластичність внаслідок підвищеної кількості не-

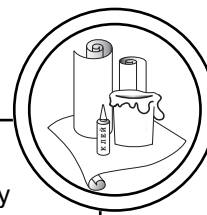


Фізико-механічні та триботехнічні властивості матеріалів на основі нікелю для поліграфічної техніки

Склад, мас. %	σ_{zg} , МПа	КС, Дж/м ²	НВ, МПа	Коеф. тертя	Інтенсивність зношування, мкм/км	Граничнодопустиме навантаження, МПа (короткочасна)	Граничнодопустима швидкість, м/с (короткочасна)
Ni+12Mo+12W+4CaF ₂	615	985	1500	0,32	82	3,0	70
Ni+12Mo+12W+6CaF ₂	620	970	1550	0,15	24	4,0	70
Ni+13,5Mo+13,5W+10CaF ₂	670	960	1600	0,12	22	4,0	70
Ni+15Mo+15W+12CaF ₂	700	920	1700	0,14	23	4,0	70
Ni+15Mo+15W+15CaF ₂	650	770	1650	0,38	94	3,0	70

пластичної домішки CaF₂ — (6–12)%, але більш високий рівень міцності і твердості порівняно з матеріалом складу 1. Це пов'язано, перш за все, зі збільшеним умістом в них зміцнюючих легуючих елементів Mo і W — (12–15) мас. % кожного, що призводить, по-перше, до утворення в матеріалах (у процесі їх виготовлення) більшої кількості зміцнюючих фаз — інтерметалідів Ni₃Mo, Ni₃W, Ni₃(Mo, W), WNi₄, та, по-друге, до збільшення ступеню легуваності γ — твердого розчину на основі нікелю, а значить і до його подальшого зміцнення. До того ж, зазначена група матеріалів (склади 2–4) відрізняється і високим рівнем антифрикційних властивостей — низькими значеннями коефіцієнтів тертя та інтенсивності зношування. Водночас на поверхнях тертя матеріалів та контртіла утворилася щільна розділювальна плівка, що запобігає зчепленню робочих поверхонь.

Подальше збільшення масових часток CaF₂ до 15 % призвело до катастрофічного зношення матеріалу складу 5. Зазначене явище можна пояснити так. При збільшенні кількості CaF₂ у матеріалі на основі нікелю, легуваного молібденом і вольфрамом, на процес тертя стали одночасно впливати два чинники. Підвищення у матеріалі вмісту твердого мастила повинно нібито призвести до полегшення умов припрацювання та зниження сили тертя внаслідок утворення розділювальних антизадирних плівок. Проте при цьому вступає в дію інший чинник — фактор міцності, що впливає на зносостійкість матеріалу у цілому. Підвищення масових часток CaF₂ до 15 % різко знижує ударну в'язкість матеріалу складу 5 внаслідок зменшення загальної площі металевого контакту в об'ємі матеріалу (завдяки непластичній та легкій речовині CaF₂; 15 % масових часток

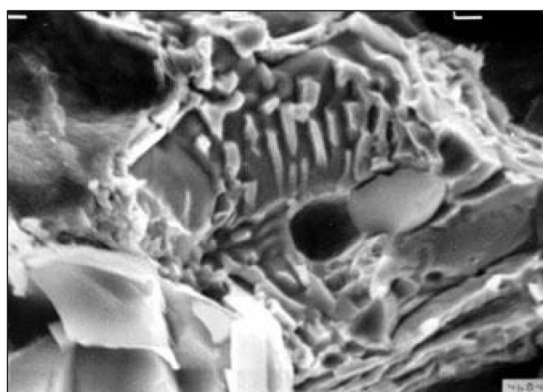


відповідають 40 % об'ємним часткам). Тобто фактори конструкційної міцності стають вирішальними для оцінювання працездатності матеріалу за таких умов тертя.

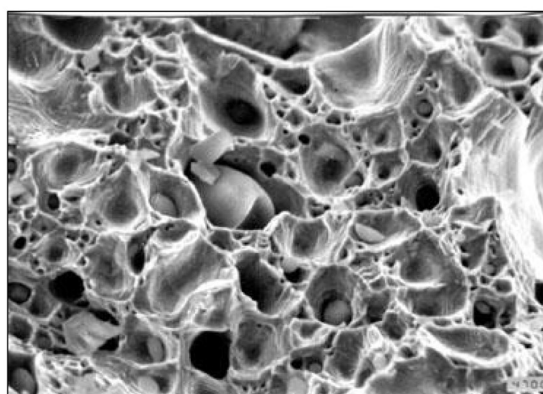
Зазначені явища взаємозв'язку фізико-механічних та антифрикційних властивостей знайшли своє підтвердження при виконанні фрактографічного аналізу матеріалів. Особливості руйнування антифрикційних матеріалів на основі нікелю досліджували з використанням зразків, зруйнованих при

випробуваннях на ударну в'язкість.

Всі досліджувані матеріали мали змішаний характер руйнування, що включав області в'язкого, міжзеренного руйнування та ділянки крихкого руйнування сколом, але у різному їх співвідношенні залежно від вмісту CaF_2 та кількості зміцнюючих фаз інтерметалідів. На рис. 1, 2 наведено деякі мікрофрактограми зразків з композиційних матеріалів на основі нікелю.

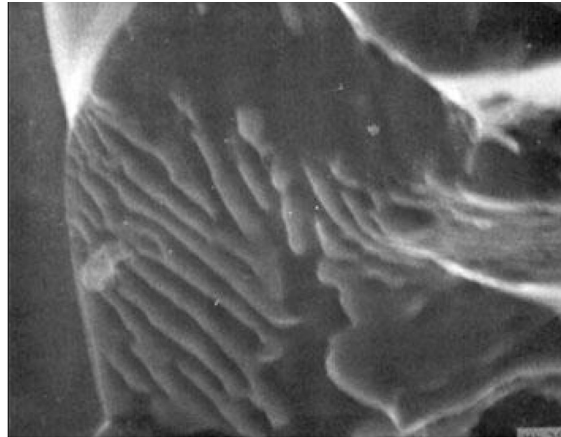
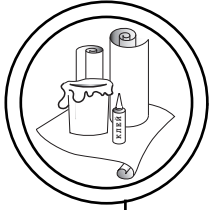


а

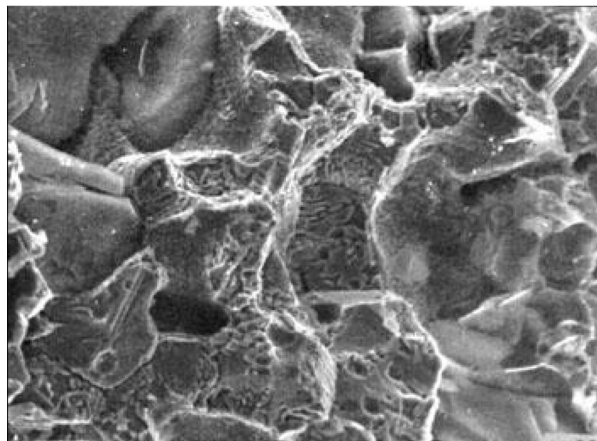


б

Рис. 1. Фрагменти поверхні руйнування композиційного матеріалу, % мас.: (Ni-Mo-W) +10 CaF_2 ; а — $\times 5000$; б — $\times 10000$



а



б

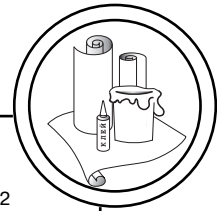
Рис. 2. Фрагменти поверхні руйнування композиційного матеріалу, % мас.: (Ni–Mo–W) +12CaF₂: а — ямковий злам, б — ділянки сколу, ×1500

На рис. 1 наведено фрагменти зламів матеріалу, що містить (Ni–Mo–W) +10 CaF₂. Мікрорельєф зламу утворений за механізмом змішаного руйнування: в'язкого — шляхом зародження ямок (фрактограма на рис. 1, а) та міжзеренного, що виражається у розщепленні зерен уздовж плоских границь (рис. 1, б).

Міжзеренне руйнування могло бути ініційоване частками

CaF₂, розташованими на межах зерен, та інтерметалідами, що присутні у матеріалі і зосереджені в міжвузловинах зерен.

Розшифрування електронogram, отриманих від зламів зразків екстракційних реплік, підтвердило присутність на поверхні руйнування частинок інтерметалідів, що стали ініціаторами виникнення локальних осередків руйнування. Але ділянки міжзеренного руй-



нування не є катастрофічними. На поверхні зерен спостерігаються втомленісні борозенки (рис. 1, б), наявність яких може свідчити про руйнування в умовах втомленісного навантаження (перевантаження), коли рівень циклічних значень інтенсивності напружень наближується до критичного значення, що викликає швидке руйнування. Поєднання втомленісних борозенок і міжзеренного руйнування свідчить про тенденцію матеріалу до розвитку руйнування за межами зерен. Але оскільки матеріал містить тверді частинки, він виявляє одночасно і тенденцію до утворення мікропор в умовах перевантаження, що обумовлює утворення ділянок ямкового в'язкого руйнування.

На ділянці ямкового руйнування (рис. 1, а) присутні вкраплення CaF_2 , а також мікропори, що означені гребенями відриву з втомленісними борозенками. На фрактограмі (рис. 1, а) показано, що ямки пов'язані зі квазісколом. Локальна фасетка квазісколу ініційована дрібними вкрапленнями CaF_2 . Втомленісні борозенки (рис. 1, б) утворилися на межах зерен, орієнтація яких сприяла циклічній пластичній релаксації.

Мікрорельєф зламу матеріалу складу $(\text{Ni-Mo-W}) + 12\% \text{CaF}_2$, представлений на рис. 2, поєднує ділянки дрібних ямок і міжзеренного руйнування (рис. 2, а), а також ділянки сколу (рис. 2, б).

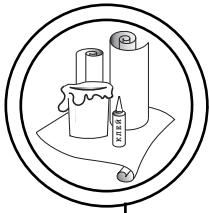
На фрактограмі (рис. 2, а) наведено мікрорельєф з утворенням ямок. На дні ямок спос-

терігаються вкраплення CaF_2 різного розміру. На фрактограмі (рис. 2, б) наведено фасетки зерен, що окреслені гребенями відриву.

Частка крихкого руйнування сколом ($\sim 20\%$) зростає зі збільшенням кількості фториду кальцію в матеріалі на основі нікелю, що зумовлює зменшення значення ударної в'язкості матеріалу (табл.). Появу ділянок сколу в зламі спричинено локалізацією фторидних частинок по межах зерен, що є осередками, які ініціюють руйнування сколом. На фасетках сколу присутні характерні для даного виду руйнування сходинки сколу, що утворюють струмковий візерунок. Струмковий візерунок спостерігається на зернах у місцях стикання меж зерен.

Скол як вид руйнування являє собою розщеплення за певними кристалографічними площинами, що відбувається в металах, які виявляють слабку здатність до поперечного ковзання або її повну відсутність. Тріщини сколу зароджуються в місцях, де ускладнене кристалографічне ковзання: по межах зерен, на перетину двійників і площин ковзання, на вкрапленнях і частинках іншої фази. Причому, якщо при ямковому характері руйнування спостерігається, як правило, кореляція між пластичними характеристиками і часткою в'язкого руйнування, то руйнування сколом може відбуватися в матеріалах із високими пластичними характеристиками [1].

Механізм руйнування, що поєднує ямки і скол, є низько енергоємним і відбувається у



випадках, коли механізм руйнування змінюється від крихкого до в'язкого волокнистого.

Наявність втомленісних борозенок, ініційованих інтерметалідами, що утворились при спіканні, свідчить про відносно високу міцність матеріалу при відносно низькій пластичності (табл.).

Зазначений змішаний механізм руйнування можна пояснити зниженою кристалографічною симетрією складових матеріалу кристалів (зерен). Якщо зерна орієнтовані осями паралельно осі діючих напружень, вони руйнуються сколом. Якщо зерна мають іншу орієнтацію, вони зазнають менших нормальних напружень і руйнуються за в'язким механізмом з утворенням ямок.

Мікрорельєф зламу, утворений за механізмом змішаного руйнування сколом у поєднанні з відривом (рис. 2, б), може свідчити про високу міцність і помірну пластичність матеріалу, а також про наявність у структурі матеріалу фаз, що характеризуються різними механічними властивостями і різноманітною симетрією їх кристалічних ґраток.

З підвищенням вмісту CaF_2 до 15 мас. % частка ділянок крихкого сколу суттєво збільшується (~ 40 %), що спричинює зниження величини ударної в'язкості.

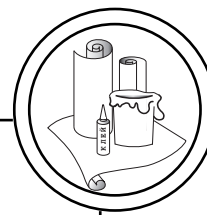
Утворення пор і фасеток сколу в процесі руйнування ма-

теріалів на основі нікелю відбувається в основному на скупченнях частинок CaF_2 , тому встановивши кількість CaF_2 , що контролює процес руйнування, до величин 6–12 мас. %, було піднято рівень ударної в'язкості з одночасним суттєвим збільшенням антифрикційних характеристик.

Висновки

Аналіз результатів комплексних досліджень, що поєднують фізико-механічні, триботехнічні та фрактографічні експерименти, дозволив виявити закономірності зміни властивостей антифрикційних композиційних матеріалів з нікелевою матрицею, котрі зумовлені впливом вмісту антизадирної домішки CaF_2 та кількістю зміцнюючих легуючих елементів на інтегральні службові параметри матеріалів.

Таким чином, проводячи всебічні дослідження зв'язку загальної конструкційної міцності матеріалів з їх антифрикційними характеристиками, можна здійснювати оптимізацію хімічного складу композитів шляхом цілеспрямованого введення у вихідну шихту такого співвідношення легуючих елементів та антизадирних домішок, яке здатне забезпечити необхідний рівень експлуатаційних властивостей деталей високооборотних поліграфічних машин офсетного друку.



Список використаної літератури

1. 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.
2. D. Jianxin. Self-lubricant mechanisms via the in situ formed tribofilm of sintered ceramics with CaF₂ additions when sliding against hardened steel / D. Jianxin, C. Tongkun. — J. Refract. Met. Hard Mater., 25, 2007. — No. 2. — P. 189–197.
3. Патент України № 29845 МПК (2006), С22С19/03, С22С33/02 Порошковий високотемпературний антифрикційний матеріал на основі нікелю / Т. А. Роїк, В. В. Холявко, Ю. Ю. Віцюк, опубл. 25.01.08, Бюл. № 2.

References

1. Roik T. A. Kompozytsiini pidshypnykovi materialy dlia pidvyshchenykh umov ekspluatatsii : Monohrafiia / T. A. Roik, P. O. Kyrychok, A. P. Havrysh. — K. : NTUU «KPI», 2007. — 404 s.
2. D. Jianxin. Self-lubricant mechanisms via the in situ formed tribofilm of sintered ceramics with CaF₂ additions when sliding against hardened steel / D. Jianxin, C. Tongkun. — J. Refract. Met. Hard Mater., 25, 2007. — No. 2. — P. 189–197.
3. Patent Ukrainy № 29845 MPK (2006), S22S19/03, S22S33/02 Poroshkovyi vysokotemperaturnyi antyfryktsiinyi material na osnovi nikeliu / T. A. Roik, V. V. Kholiavko, Iu. Iu. Vitsiuk, opubl. 25.01.08, Biul. № 2.

Выполнение комплекса исследований физико-механических, триботехнических свойств и фрактографического анализа композиционных материалов на основе никеля, легированных молибденом и вольфрамом и содержащих в своем составе твердое смазочное вещество — CaF₂, позволяет выявить закономерности взаимосвязи конструкционной прочности композитов и их функциональных свойств в зависимости от содержания упрочняющих легирующих элементов и твердой смазки. Такой подход делает возможным осуществление оптимизации химического состава материалов на основе никеля, благодаря чему решается научная задача прогнозирования и управления эксплуатационными свойствами композитов технологическими средствами. Это дает возможность обеспечивать надежность и долговечность работы деталей полиграфической техники.

Ключевые слова: материалы на основе никеля; детали полиграфической техники; фрактографический анализ; твердая смазка.

The realization of complex researches of physical-mechanical, tribotechnical properties and fractographic analysis of composite materials based on nickel gives a possibility to determine the regularities connection between the composite materials,



construction strength and their functional properties in accordance with content of hardening alloy elements and solid lubricant. Such approach gives a possibility to carry out optimization of materials' based on nickel chemical composition thanks to it a scientific problem of forecasting and control of composite materials operational properties by technological methods is solved. It is a very important solution for maintaining of operational reliability and durability of details in printing equipment.

Keywords: materials on the base of nickel; details of printing equipment; fractographic analysis; solid lubricant.

Рецензент — Т. А. Роїк, д.т.н.,
професор, НТУУ «КПІ»

Надійшла до редакції 30.03.15