

1. Представленная динамическая модель гидравлического вибратора, как составная часть, может быть использована для исследования динамических процессов технологических линий, в которых используются гидравлические вибраторы.

Список литературы: 1. Лепешкин А. В., Михайлин А. А. Гидравлические и пневматические системы. – Москва: Академия, 2006. – 336 с. 2. Богдвичюс М., Прентковский О. Динамика гидравлических и пневматических систем: учебник для студентов технических университетов (Bogdevičius M., Prentkovskis O. Hidraulinių ir pneumatinių sistemų dinamika: vadovėlis universitetų technologijos mokslų srities studentams). – Вильнюс: Техника, 2003. – 264 с. (на литовском языке). 3. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – Москва: Наука, 1968. – 720 с. 4. Бартенев О. В. Современный Fortran. – Москва: Диалог-МИФИ, 1998. – 397 с. 5. Прентковскене Р. Аналіз мов програмування, найбільш часто застосовуваних в навчальних закладах Литви з метою навчання основам програмування // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції “Дні науки – 2005”: 15-27 квітня 2005 року. Том 34. Сучасні інформаційні технології. – Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2005. – с. 39-42.

Сдано в редакцию 29.01.08

ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ І ВЛАСТИВОСТЕЙ АНТИФРИКЦІЙНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ НІКЕЛЮ

Роїк Т.А, Віцюк Ю.Ю, Холявко В.В
(НТУУ „КПІ”, м. Київ, Україна)

It is shown that composite antifriction materials of the base of nickel have essential advantages over known materials, thanks to possibility of variation of initial charge content, especially adding CaF_2 solid lubricants to it. Tungsten and molibdenium adding increase a level of physic mechanical and antifriction properties of bearing materials on the base of nickel.

Робота того чи іншого антифрикційного матеріалу обумовлена його властивостями і залежить від наявності чи відсутності тиску, температури, впливу зовнішнього середовища. Тобто уніфікованого матеріалу, який би задовольняв одночасно всім вимогам для різних умов роботи, створити неможливо.

Серед безлічі відомих антифрикційних матеріалів особливе місце займають матеріали, призначені для важких умов роботи, насамперед, що характеризуються високими та підвищеними температурами (600- 800°C) при одночасній дії підвищених навантажень (5-8 МПа).

На сьогоднішній день відомі [1-4] литі підшипникові матеріали на основі нікелю мають високі міцності та механічні характеристики, високу жаростійкість та жароміцність, проте не задовольняють експлуатаційним вимогам внаслідок високих значень коефіцієнту тертя та інтенсивності зношування при температурах 700-800 °С на повітрі.

Тому доцільним є застосування композиційних матеріалів, що можуть мати у своєму складі окрім легуючих елементів антизадири домішки, які здатні забезпечувати тривалий термін експлуатації вузлів тертя, працюючих у жорстких умовах роботи. Це пов'язано з неможливістю застосування рідких мастил за таких умов роботи (підвищені навантаження на пару тертя і високі температури).

Внаслідок вище викладеного пошуки і розробка нових високотемпературних антифрикційних матеріалів, визначення закономірностей формування структури і властивостей, температурних діапазонів застосування є вельми актуальним завданням і потребує проведення подальших досліджень.

Метою даної роботи було дослідження особливостей формування структури і властивостей антифрикційних композиційних матеріалів на основі нікелю, легованого молібденом і вольфрамом у присутності твердої змащувальної речовини – фториду кальцію (CaF_2).

Об'єктами дослідження були матеріали наступних складів, %мас.:

- 1 склад: $70\text{Ni}+12\text{Mo}+12\text{W}+6\text{CaF}_2$;
- 2 склад: $63\text{Ni}+13,5\text{Mo}+13,5\text{W}+10\text{CaF}_2$;
- 3 склад: $58\text{Ni}+15\text{Mo}+15\text{W}+12\text{CaF}_2$

Матеріали одержували методом порошкової металургії шляхом змішування порошків та їх пресуванням. Спочатку змішують металеві порошки – молібдену, вольфраму та нікелю протягом 2 годин, після чого до суміші додають порошки фториду кальцію і змішують шихту ще 2 години. Для запобігання сегрегацій за густиною до суміші порошків додають 0,5% (від маси шихти) бензину. Одержану суміш пресують при тисках 700-900 МПа та спікають при температурі 1200°C у середовищі водню протягом 2 годин.

Для обрання оптимальної температури спікання проводили ряд досліджень : визначення об'ємної усадки, твердості та ударної в'язкості (рис. 1).

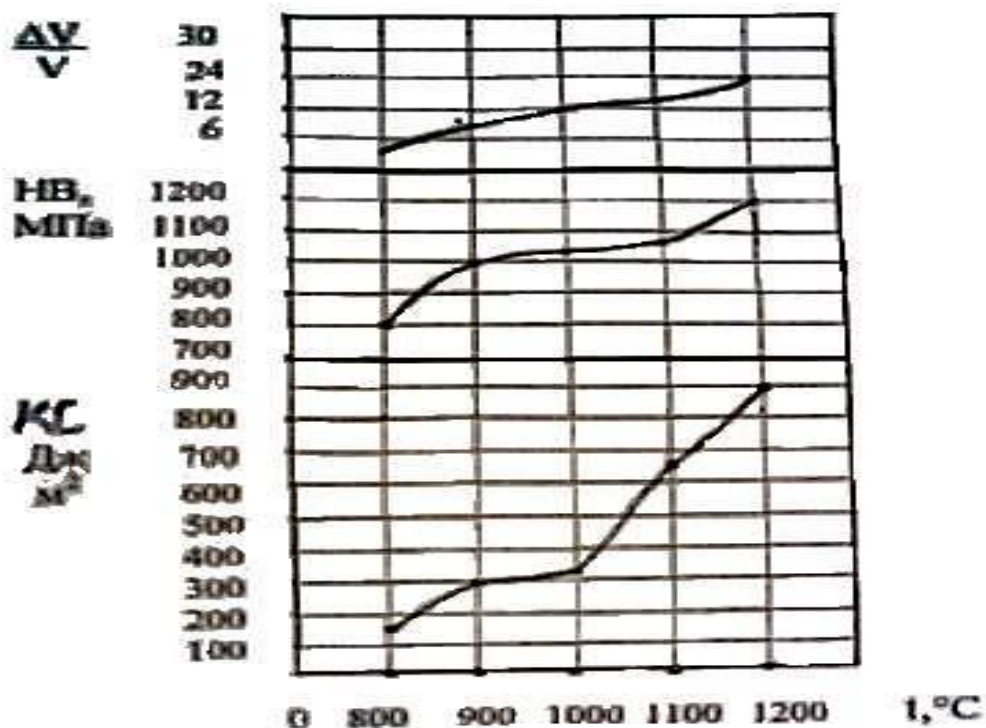


Рис.1 Залежності об'ємної усадки та механічних властивостей композиту $63\text{Ni}+13,5\text{Mo}+13,5\text{W}+10\text{CaF}_2$ від температури спікання.

В результаті проведення досліджень фізико-механічних властивостей при кожній температурі – 800, 900, 1000, 1100, 1200°C . було встановлено, що максимальна

усадка і деякі механічні властивості досягаються при температурі 1200 °С. Тому було обрано оптимальною температурою спікання 1200 °С. Обрання саме такої температури підтверджено даними металографічного аналізу, показаному на рис. 2.

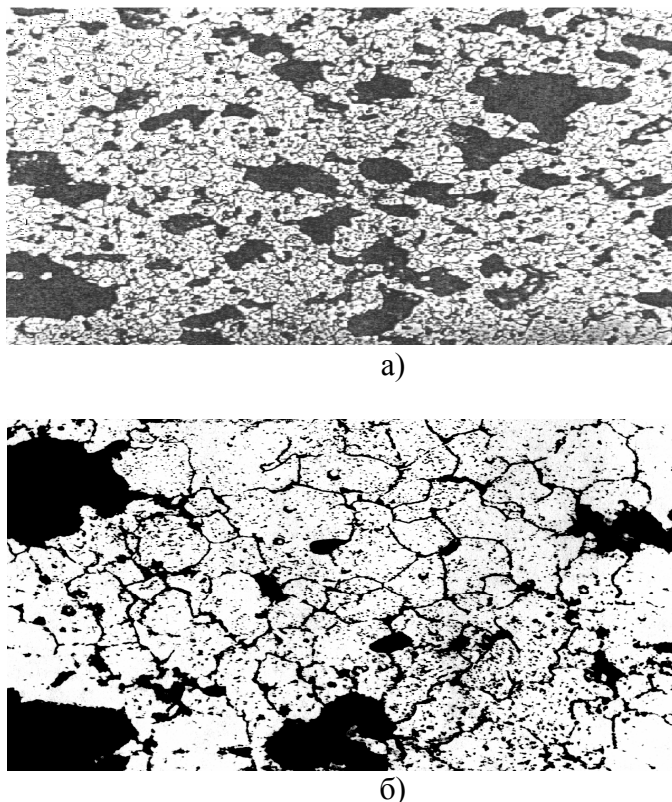


Рис. 2 Мікроструктура матеріалу 63Ni+13,5Mo+13,5W+10CaF₂ після спікання при температурах 900 °С (а) та при 1200 °С (б), х 600.

Як видно з рис. 2 а, структура матеріалу має зони підвищеної травленості, неоднорідна і містить багато мікропор у середині зерен твердого розчину. Це свідчить про те, що за даної температури спікання не відбувалося повної дифузії легуючих елементів в металевій матриці матеріалу на основі нікелю. В той же час при температурі спікання 1200 °С (рис. 2б) утворилась рівномірна металографічна структура твердого розчину на основі нікелю, легованого молібденом та вольфрамом, та інтерметаліди Ni₃Mo, Ni₃W, WNi₄. Наявність інтерметалідів, як зміцнюючої фази, було підтверджено вимірюванням мікротвердості. Значення мікротвердості представлені в табл. 1.

Як видно з даних табл. 1 та рис. 2 б, в матеріалі присутні дрібні частинки зміцнюючих фаз, що утворились в результаті протікання дифузійних процесів при спіканні матеріалів.

Для виявлення структури дифузійного шару сплавів застосовували травник - " царська водка " (розчин HNO₃ + HCl - 3:1).

А для дослідження інтерметалідних фаз застосовувалась методика кольорового травлення [1-3] з використанням реактивів Муракамі і Марбле.

Хімічний склад реактивів Муракамі: 10 г – червона кров'яна сіль, 10 г – КОН; 100 H₂O (дистильована).

Хімічний склад реактивів Марбле: 20 см³ – HCL (концентрована), 20 см³ – C₂H₅OH; 4 г – CuSO₄ · 5H₂O.

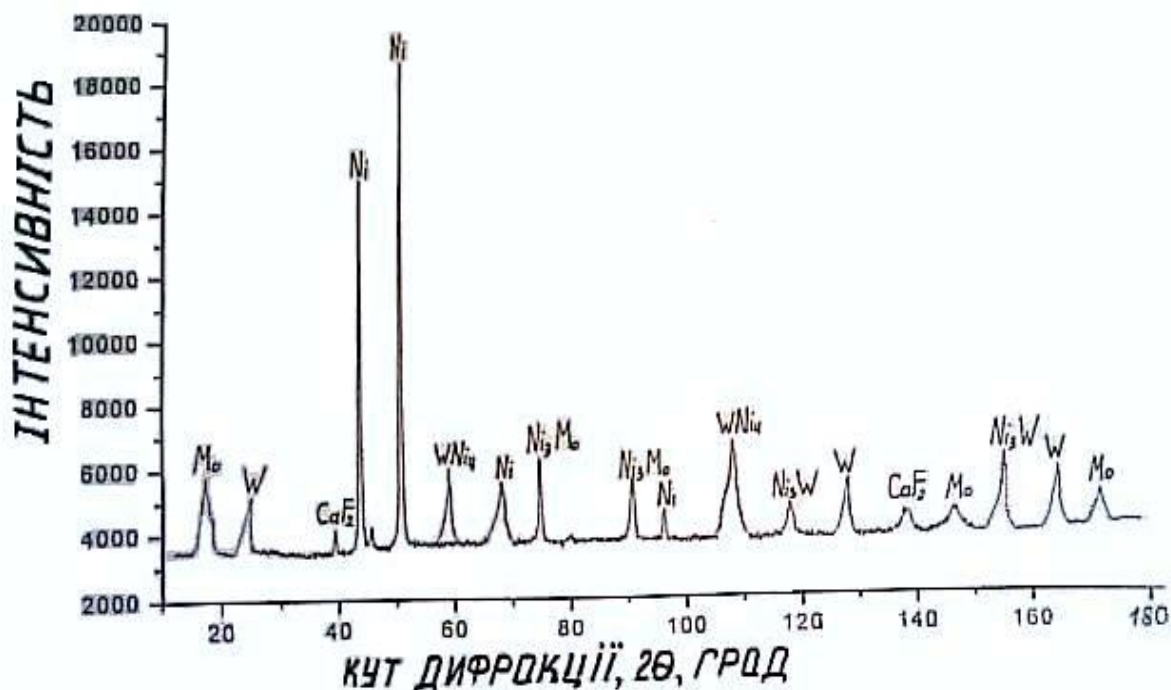
Таблиця 1. Мікротвердість зразків матеріалів на основі нікелю

Склад матеріалу, % мас.	Діагоналі відбитку, мкм	Мікротвердість H_{50} , МПа	Середнє значення мікротвердості, МПа
70Ni+12Mo+12W+6CaF ₂	68; 62; 66; 72; 69; 73; 60; 62; 63	2450; 2550; 2250; 1922; 2350; 1894; 2400; 2500; 2500	2600 ? 1990
63Ni+13,5Mo+13,5W+10CaF ₂	58; 69; 68; 57; 71; 66; 62; 65;	3080; 2100; 2150; 3050; 1977; 2400; 2450; 2350	2450 ? 2200
58Ni+15Mo+15W+12CaF ₂	68; 68; 67; 71; 72; 73; 66; 72	2350; 2370; 2200; 1967; 1932; 2034;	2550 ? 1970

Таким чином, після спікання в матеріалах на основі нікелю утворилась металографічна структура, яка являє собою легований Мо і W твердий розчин на основі Ni з залягаючими в металевій матриці частинками інтерметалідів та фази CaF₂ (рис. 2б).

Як видно з рис. 2б, в зернах матричної основи матеріалу присутні дрібні включення інтерметалідів.

Наявність інтерметалідів підтверджено дослідженням фазового складу за допомогою рентгенофазового аналізу. Рентгенограма представлена на рис. 3.

Рис. 3. Рентгенограма матеріалу складу 63Ni+13,5Mo+13,5W+10CaF₂.

Одержана структура матеріалів забезпечила надання матеріалам високого рівня фізико-механічних і триботехнічних властивостей у порівнянні з відомим матеріалом [5, 6].

Визначення фізико-механічних властивостей проводили за стандартною методикою [1-3], значення яких наведено в табл. 2.

Таблиця 2. Фізико-механічні властивості матеріалів

склад	Вміст компонентів, мас.%				Ударна в'язкість, Дж/м ²	Межа міцності на розтяг, МПа
	Mo	W	CaF ₂	Ni		
1	12,0	12,0	6,0	решта	965	214
2	13,5	13,5	10,0	-	980	220
3	15,0	15,0	12,0	-	970	227
4 [5]	24,0- 30,0	-	6,0- 12,0	-	800-900	167-185

Антифрикційні властивості визначали на повітрі при швидкості ковзання 1 м/с, навантаженнях 5-7 МПа, температурах 750-800°C у парі з контртілом із загартованої жароміцної сталі ЭИ 961.

У табл. 3 наведено антифрикційні властивості зазначених матеріалів у порівнянні з властивостями відомого порошкового високотемпературного підшипникового самозмашувального матеріалу .

Таблиця 3. Антифрикційні властивості матеріалів

Склад	Вміст компонентів, мас.%				Коефіцієнт тертя (f) та інтенсивність зношування (I), мкм/км, при навантаженнях, МПа при 700-750°C						Гранич но-допусти ма температура, °C
					5		6		7		
	Mo	W	CaF ₂	Ni	f	I	f	I	f	I	
1	12,0	12,0	6,0	решта	0,15	24	0,15	30	0,16	33	750-800
2	13,5	13,5	10,0	-	0,12	22	0,13	28	0,14	31	750- 800
3	15,0	15,0	12,0	-	0,14	23	0,14	32	0,15	34	750-800
4 [5]	24,0-30,0	-	6,0-12,0	-	0,15-0,18	26-32	0,24-0,26	78-94	0,28-0,32	156-188	700-750

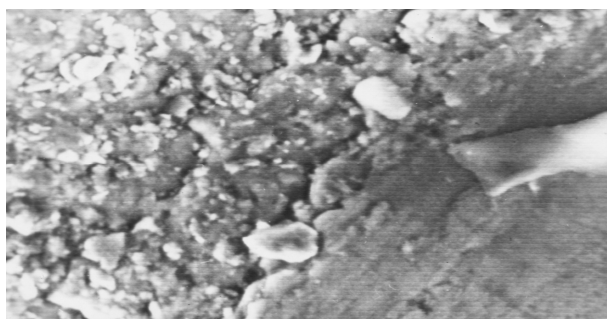
Приведені у табл. 2, 3 дані показують, що наявність вольфраму у складі порошкового високотемпературного антифрикційного матеріалу на основі нікелю, що

містить Mo, надає йому більш високих фізико-механічних та антифрикційних властивостей при одночасному підвищенні величин гранично-допустимих навантажень на пару тертя і робочих температур у порівнянні з відомим матеріалом [5, 6], що застосовується нині за аналогічних умов роботи.

Зростання рівня властивостей матеріалів забезпечується завдяки позитивній дії вольфраму, який зміцнює γ -твердий розчин на основі нікелю, що легований молібденом, а також утворює самостійну фазу WNi_4 . Фаза WNi_4 – дрібнозерниста і рівномірно розташована у об'ємі матеріалу, відрізняється високою твердістю та перешкоджає руху дислокацій, що, у свою чергу, сприяє зростанню не тільки фізико-механічних, а і антифрикційних властивостей, забезпечуючи зниження коефіцієнту тертя та інтенсивності зношування. Окрім цього наявність WNi_4 , а також присутність вольфраму у γ -фазі – у сполуці $Ni_3(Mo, W)$ і у твердому розчині γ -фази підвищує температуру розчинення γ -фази при нагріванні та температуру плавлення матеріалу, забезпечуючи збереження високого рівня властивостей матеріалу в умовах експлуатації при високих температурах. Це також дозволяє підвищити параметри навантажень на пару тертя, збільшуючи гранично-допустимі навантаження і температури експлуатації матеріалу.

Як видно з табл. 2, 3, кращі властивості демонструє матеріал із 10 % вмістом фториду кальцію, але значення інших матеріалів не значно відрізняються. Втім, збільшення кількості фториду кальцію у складі матеріалів призводить до зниження антифрикційних і фізико-механічних властивостей, внаслідок знеміцнення матеріалу (CaF_2 – крихка, непластична домішка). Отже, подальше збільшення твердої змазки недоцільне.

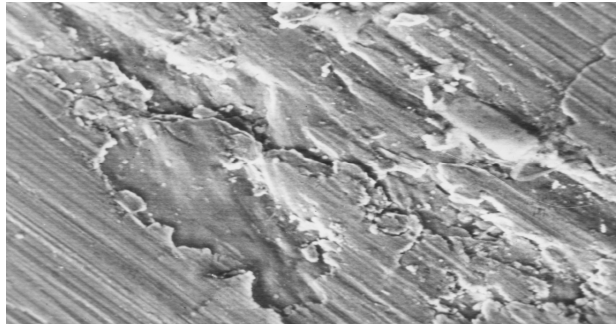
Поверхні тертя (рис. 4) відрізняються згладженістю, суцільністю, однорідністю, що забезпечує високі триботехнічні характеристики.



а)



б)



в)

Рис. 4. Структура поверхонь тертя а) матеріалу складу $63\text{Ni}+13,5\text{Mo}+13,5\text{W}+10\text{CaF}_2$ і б) контргіла ЭИ 961, х 400; в) контргіла ЭИ 961, х 1200.

Таким чином, на основі проведених експериментів можна зробити висновок, що всі досліджувані матеріали мають високий комплекс антифрикційних та фізико-механічних властивостей, що дозволяє їх рекомендувати для роботи у вузлах тертя, що працюють при зовнішньому нагріві $700-800^\circ\text{C}$ та підвищених навантаженнях 5-7 МПа на повітрі, насамперед, як підшипники енергетичного обладнання.

Перелік літератури: 1. Роик Т.А., Шевчук Ю.Ф. Новые порошковые антифрикционные материалы на основе никеля // Вестник НТУУ "КПИ". Машиностроение. – 1999. – Вып. 37. – С. 210-214. 2. Шевчук Ю.Ф., Роик Т.А. Триботехнические материалы для экстремальных условий работы // Сб. трудов Международной конф. «Новейшие технологии в порошковой металлургии и керамике / Под ред. акад. НАНУ В.В.Скорохода. – Киев. – 2003. – С. 177-178.». 3. Роїк Т.А. Технологічні особливості фінішної обробки високотемпературних композиційних підшипникових матеріалів // Вісник двигунобудування. – Запоріжжя. – 2005. №3. – С. 136-143. 4. Роїк Т.А, Киричок П.О., А.П. Гавриш Композиційні підшипникові матеріали для підвищених умов експлуатації. – К.: НТУУ «КПІ», 2007. – 404 с. 5. Авторское свидетельство СССР № 1210473 А, С22С19/03, F16С33/12, С22С32/00, 10.07.1984. 6. Роик Т.А., Вицюк. Ю. Ю. Структурно-фазовое строение и свойства композиционных антифрикционных жаростойких материалов на основе никеля // Сб. трудов XIV Междунар. научн.-техн. конф. «Машиностроение и техносфера XXI века». – Севастополь, 17-22 сентября 2007 г. – Т. 3. – Донецк : ДонНТУ, 2007. – С.223 – 230.

Сдано в редакцию 14.01.08

ИССЛЕДОВАНИЕ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ ИЗДЕРЖЕК МОДИФИЦИРОВАННОГО ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОННЫХ АППАРАТОВ МЕТОДОМ АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ

Смолий В.Н. (ТИ ВНУ им. В.Даля г.Северодонецк, Украина)

As a result of the conducted researches, on the basis of method of analysis of hierarchies, statistical information was collected by expert estimations of parameters, administrative costs are certain from introduction of the modified technological process. The constituents of administrative costs, bringing in of experts conditioned by a necessity, and involvings of plenty of enterprises, are analyzed for collection of statistics and concordance of