

М.В. Курбатова, Й.А. Любінін, Н.Б. Кьоніг, Л.М. Куліков

НАПРЯМИ ПОКРАЩЕННЯ ТРИБОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ БЕНТОНІТОВИХ МАСТИЛ

ДП «Український науково-дослідний інститут нафтопереробної промисловості «МАСМА», м. Київ
Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, м. Київ

Розглянуто можливість покращення трибологічних характеристик бентонітових мастил шляхом додавання до їх складу додатків та неорганічних наповнювачів різної природи. Досліджено змащувальні властивості мастил за трьома методами та проведено профілографічний аналіз поверхонь тертя після роботи мастил з наповнювачами.

Введення

Для екстремальних умов роботи промислового обладнання використовують високотемпературні мастила, здатні зберігати працездатність за умов не лише високих температур, але в агресивних середовищах та в присутності вологи. Найчастіше для цього використовують мастила на неорганічних загусниках. Бентонітові мастила відрізняються від інших типів мастил своїми високотемпературними властивостями, витримують високі навантаження та є стійкими до агресивних середовищ. Одним із недоліків такого типу мастил є невисокі змащувальні властивості, що обмежує умови їх застосування [1,2]. Через це для покращення трибологічних характеристик бентонітових мастил до їх складу часто вводять додатки або наповнювачі [3].

Для покращення експлуатаційних властивостей мастил за умов роботи при високих граничних навантаженнях використовують протизадирні та протизношувальні додатки [3], які представляють органічні сполуки, що містять активні атоми сірки, хлору або фосфору, наприклад сірчисті природні жири та продукти нафтового походження, ді- та полісульфіди, ксантогенати, дітіокарбама ти, діалкілдітіофосфати металів та інші сполуки. Відомо, що у складі бентонітових мастил застосування деяких із зазначених речовин призводить до погіршення основних експлуатаційних властивостей, тому їх застосування у мастилах цього типу обмежується [1,2]. Замість хімічно активних додатків на практиці часто використовують неорганічні наповнювачі, такі як: графіт, дисульфід молібдену, які характеризуються високими змащувальними властивостями та не погіршують інші характеристики мастил.

Експериментальна частина

Для виготовлення бентонітових мастил, виходячи з умов їх експлуатації, використовують високотемпературні оливи [1,2]. Дослідні зразки

мастил виготовляли на нафтовій залишковій оліві ОБ-500 (ТУ У 13932946.027-2001), що має високі значення за показником «температура спалаху». Як загусник використовували бентонітову глину марки BARAGEL 3000, модифіковану диметилбензилоктадециламонійхлоридом, яка відрізняється високими загущувальними властивостями та не потребує для активації в олівному середовищі введення диспергаторів. Вміст загусника складав 9 мас. %.

Зразки бентонітових мастил виготовляли за технологією, що складається з наступних етапів: диспергування загусника в олівному середовищі при постійному перемішуванні; нагрівання суміші; введення додатків та механічна обробка мастила (гомогенізація). Для гомогенізації зразків використовували щільовий гомогенізатор з такими параметрами: робочий тиск – 15 МПа, розмір щілини – 0,1 мм.

З метою покращення трибологічних властивостей бентонітових мастил використовували два додатки Infineum C9425 (виробник компанія «Infineum», Великобританія) та НіТЕС 312 (виробник компанія «Afton Chemical», США). Додаток Infineum C9425 представляє собою цинкдіалкілдітіофосфат та призначений до використання в змащувальних оливах в якості антиокиснювального та протизношувального додатку. НіТЕС 312 – суміш сульфидованих олефінів, призначений до використання в мастилах, як протизадирний додаток. Графеноподібні 2H MoS₂, 2H-WS₂ синтезовано за розробленою авторами нанотехнологією. За даними рентгенівських та електронно-мікро-скопичних досліджень наночастинки 2H MoS₂, 2H-WS₂ – гомогенні за хімічним складом (MoS₂, WS₂), структурним типом (2H MoS₂), видом наноструктур (графеноподібні наночастинки, “inorganic graphene-like nanoparticles”) характеризуються екстремально малими середніми розмірами (порядку 1 нм) у кристалографіч-

Таблиця 1

Трибологічні властивості бентонітових мастил з додатками, визначені за ГОСТ 9490

Вміст додатку, мас.%	Трибологічні характеристики			
	$P_{кр}$, Н	P_3 , Н	I_3 , Н	D_3 , мм
Базове мастило				
–	784	1380	234	0,63
Мастила з додатком Infineum C9425				
1,0	784	1960	349	0,61
2,5	1230	2450	355,5	0,59
5,0	1744	2450	367	0,54
Мастила з додатком HiTEC 312				
1,0	784	2450	445	0,60
2,5	1235	2764	502	0,54
5,0	2067	3479	536	0,50

них напрямках [013] і [110], не містять домішок сторонніх, в тому числі рентгеноаморфних фаз, а також інших наноструктур чи мікронних частинок; мають малі товщини в результаті обмеженого пошарового самоскладання наношарів S–Mo(W)–S ("layer-by-layer self-assembly of ultrathin nanosheets") в процесі наносинтезу за схемою «знизу–вгору».

Для оцінки трибологічних характеристик мастильних матеріалів використовують методи випробувань, за якими аналіз мастильних матеріалів проводять у вузлах тертя за різними схемами контакту поверхонь. У проведених дослідженнях використовували стандартизовані методи випробувань, в яких реалізуються широко розповсюджені схеми контакту – «чотирикулькова» згідно ГОСТ 9490 та «кулька по площині» згідно ASTM D 5706 та ASTM D 5707. За цими методами визначали такі показники: для ГОСТ 9490 – критичне навантаження ($P_{кр}$), навантаження зварювання (P_3), індекс задиру (I_3) та діаметр сліду зношення (D_3); для ASTM D 5706 – найбільше навантаження, при якому не реєструється схоплення (P_1), критерій, аналогічний до $P_{кр}$ за ГОСТ 9490; для ASTM D 5707 – коефіцієнт тертя (f), максимальне та мінімальне значення коефіцієнту тертя (f_{min}/f_{max}) та діаметр сліду зношування (D_3).

Результати та їх обговорення

Вплив додатків на трибологічні властивості змащувальних матеріалів може значно змінюватись в залежності від концентрації. Відомо, що при виготовленні мастил необхідна концентрація додатків в порівнянні з оливами збільшується до 2–5 мас.% [4], але кількість додатку в мастилі часто обмежується через їх високу вартість. Для попереднього встановлення оптимального вмісту додатків виготовлено зразки при їх концентрації 1; 2,5 та 5 мас.%. Результати випробувань наведено в табл. 1. При виконанні досліджень визначали лише трибологічні характеристики отриманих зразків мастил за ГОСТ 9490. За отриманими результатами зроблено висновок, що зі збільшенням вмісту присадки Infineum C9425 значно покращуються протизношувальні властивості та в меншій мірі протизадирні. При концентрації додатку 5 мас.% не спостерігається зміни за показником «навантаження зварювання» та зменшується вплив на показник «індекс задиру». У випадку введення до складу мастила додатку HiTEC 312 більше покращуються протизадирні властивості, та після певної концентрації протизношувальні. Збільшення концентрації додатку впливає на підвищення характеристик мастила за всіма показниками. Найкращі властивості отримані для зразків з вмістом додатку HiTEC 312, особливо при концентрації 5 мас.%, але виходячи з вимог, що висуваються до характеристик бентонітових мастил, достатньою концентрацією додатків можна вважати 2,5 мас.%.

Використання неорганічних наповнювачів у порівнянні з додатками може бути більш економічно вигідно. До того ж, додавання більшої кількості наповнювачів не впливає на погіршення реологічних властивостей мастил [5], тому ми вважаємо, що введення саме неорганічних наповнювачів до складу бентонітових мастил більш доцільно. При дослідженнях впливу неорганічних наповнювачів мастила виготовляли з концентрацією порошоків 2,5; 5,0; 7,5 та 10 мас.%. Результати досліджень наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Трибологічні властивості бентонітових мастил з нанокристалічними дисульфідами молібдену та вольфраму, визначені за ГОСТ 9490

Вміст наповнювача, мас.%	Трибологічні характеристики			
	$P_{кр}$, Н	P_3 , Н	I_3 , Н	D_3 , мм
Базове мастило				
–	784	1380	234	0,63
Мастила з нанокристалічним MoS ₂				
2,5	1381	1960	418	0,64
5,0	1568	2450	438	0,62
7,5	1646	2764	486	0,60
10,0	1842	2930	516	0,56
Мастила з нанокристалічним WS ₂				
2,5	1235	1844	322	0,65
5,0	1381	2195	382	0,63
7,5	1381	2450	447	0,60
10,0	1470	2764	490	0,57

За результатами випробувань встановлено, що введення нанокристалічних дисульфідів молібдену і вольфраму мають позитивний вплив на покращення трибологічних властивостей мастил, при цьому покращення показників відбувається по мірі збільшення концентрації наповнювачів. Враховуючи умови використання бентонітових мастил, необхідні трибологічні характеристики

отримані для зразків із вмістом нанокристалічних дисульфідів молібдену і вольфраму у кількості 5–10 мас.%. При таких концентраціях найкращий ефект покращення властивостей спостерігається при додаванні нанокристалічного порошку дисульфиду молібдену.

За отриманими результатами досліджень впливу нанокристалічних порошків можна говорити про перспективність їх застосування, тому проведено ряд трибологічних випробувань за методами ASTM D 5706 та ASTM D 5707 для зразків бентонітових мастил з різною концентрацією нанопорошків. Отримані характеристики наведено у табл. 3.

Отримані результати досліджень підтверджують можливість покращення трибологічних властивостей бентонітових мастил, шляхом введення нанокристалічних порошків дисульфідів молібдену та вольфраму. За визначеними властивостями спостерігається значне покращення протизношувальних властивостей (P_1) та деяке підвищення значення коефіцієнту тертя. Таким чином, за трьома методами визначення трибологічних властивостей спостерігається покращення як протизношувальних, так і протизадирних властивостей. Така залежність не характерна для додатків, введення яких, в залежності від їх типу, впливає або на протизношувальні, або на протизадирні характеристики мастила. Кращий ефект отримано для мастил з вмістом нанокристалічного дисульфиду молібдену, тому саме цей наповнювач рекомендовано застосовувати при виготовленні мастил з метою покращення їх змащувальних характеристик.

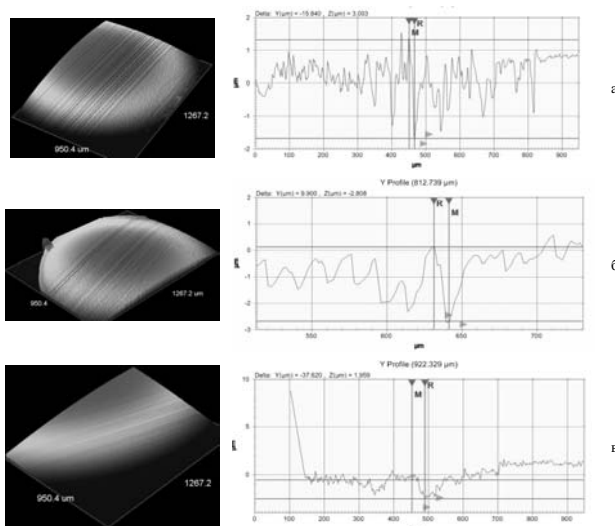
Таблиця 3
Трибологічні властивості бентонітових мастил з нанокристалічними дисульфідами молібдену та вольфраму, визначені за ASTM D 5706 та ASTM D 5707

Вміст наповнювача, мас.%	ASTM D 5706	ASTM D 5707		
	P_1	f	f_{min}/f_{max}	D_3
Базове мастило				
–	280	0,166	0,153/0,178	0,68
Мастила з нанокристалічним MoS ₂				
2,5	290	0,171	0,156/0,186	0,67
5,0	298	0,174	0,158/0,189	0,60
7,5	318	0,178	0,163/0,193	0,56
10,0	326	0,183	0,156/0,198	0,53
Мастила з нанокристалічним WS ₂				
2,5	285	0,168	0,157/0,180	0,68
5,0	293	0,170	0,160/0,190	0,65
7,5	308	0,176	0,162/0,192	0,63
10,0	315	0,177	0,161/0,193	0,60

Вплив наповнювачів та додатків на зношування поверхонь тертя оцінювали за допомогою

профілографічного аналізу. Такі дослідження провели для зразків мастил з вмістом додатку НіТЕС 312 та нанокристалічним дисульфідом молібдену в порівнянні з базовим мастилом. При випробуваннях оцінювали доріжки зношування рухомих куль чотирикулькової пари тертя, які використовувалась при трибологічних дослідженнях за ГОСТ 9490 при навантаженні 198 Н. Результати досліджень наведено на рисунку.

За результатами випробувань оцінили шорсткість отриманих поверхонь тертя. Встановлено, що зношування поверхні кулі після роботи з базовим мастилом відбувається значно сильніше, ніж з мастилами із вмістом додатку та нанокристалічного дисульфиду молібдену. Величина максимальних виступів на поверхнях становить: для базового зразка – 3 мкм, для зразка з додатком НіТЕС 312 – 2,8 мкм та для мастила з нанокристалічним MoS₂ – 1,9 мкм. Таким чином, вміст нанокристалічного дисульфиду молібдену в складі мастила має найбільший вплив на зменшення зношування поверхонь тертя.



Профілографічне зображення доріжок зношування пари тертя: а – базового зразка; б – зразка з НіТЕС 312; в – зразка з нанокристалічним MoS₂

Висновки

Досліджено вплив поширених протизадирних та протизношувальних додатків, а також наповнювачів на трибологічні характеристики бентонітових мастил. Показана можливість суттєвого покращення змащувальної здатності бентонітових мастил щодо забезпечення їх працездатності в різних важконавантажених вузлах промислового обладнання. При цьому вміст графеноподібних наночастинок дисульфиду молібдену в мастилі має найбільший позитивний вплив на покращення властивостей і зменшення зношування поверхонь тертя. Тому саме цей наповнювач рекомендовано застосовувати при виготовленні ма-

стил з метою покращення їх змащувальних характеристик.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Ищук Ю.Л.* Состав, структура и свойства пластичных смазок. – К.: Наук. думка, 1996. – 515 с.
2. *Синицын В.В.* Подбор и применение пластичных смазок. – М.: Химия, 1974. – 416 с.
3. *Фукс И.Г.* Добавки к пластичным смазкам. – М.: Химия, 1982. – 248 с.
4. *Ищук Ю.Л.* Технология пластичных смазок. – К.: Наук. думка, 1986. – 248 с.
5. *Графеноподобные наночастицы дисульфида молибдена: новые возможности создания пластичных смазок для экстремальных условий эксплуатации // И.А. Любини, М.В. Курбатова, Л.М. Куликов, Н.Б. Кёниг // Наука и технологии в промышленности. – 2011. – № 1. – С.81-89.*

Надійшла до редакції 8.04.2013