

УДК 665.765-404.921.892.27:661.184.23

М.В. Курбатова, Й.А. Любінін

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЧНОЇ СТАБІЛЬНОСТІ БЕНТОНІТОВИХ МАСТИЛ

«Український науково-дослідний інститут нафтопереробної промисловості «МАСМА», м. Київ

Розглянуто методи визначення механічної стабільності мастил за різними методами. Досліджено властивості бентонітових мастил з вмістом різних за природою наповнювачів за трьома методиками визначення механічної стабільності. Досліджено вплив наповнювачів на механічну стабільність бентонітових мастил за різних умов випробувань.

Введення

Бентонітові мастила є досить поширеним типом мастил в усьому світі, світові обсяги їх виробництва за рік становлять близько 22 тис. тон. Такі мастила призначені до використання в важконавантажених вузлах тертя промислового обладнання в металургійній, цегляній та інших галузях, де існує необхідність використання мастила, яке здатне зберігати свої властивості за умов високих температур, навантажень та вібрації під дією агресивного середовища чи води. Єдиним недоліком таких мастил вважається невисока механічна стабільність [1,2], через що область застосування такого типу мастил обмежується.

Механічна стабільність мастил – один з найважливіших параметрів оцінювання їх експлуатаційних властивостей. Відомо, що при механічному деформуванні суттєво змінюються структура мастила та погіршуються його основні показники якості [3]. Це пов'язано зі змінами в структурованому каркасі, а також зі зменшенням сил зв'язку між окремими його частинками. Ступінь та тип руйнувань у системі загусника обумовлені природою та складом мастила, температурою, часом і швидкістю деформації. Для покращення механічної стабільності мастила найчастіше до їх складу додають неорганічні наповнювачі. У роботі [4] приведена можливість підвищення механічної стабільності літійових мастил за допомогою додавання до їх складу таких наповнювачів, як сілікагель АМ-2, кополімерів етилену та нітрованого поліетилену низькомолекулярного.

Висока механічна стабільність мастила особливо важлива у випадку, коли воно використовується для змащення підшипників кочення, ковзання або в подібних вузлах тертя. У щільно заповненому підшипнику кочення мастило безперервно циркулює та інтенсивно перемішується. Певна його частина залишається поза зоною тертя – на сепараторі та кільцях підшипника, але з

часом під дією різних факторів можливе потраплення всього об'єму мастила в процес змащення. У підшипниках ковзання, шарнірах, плоских опорах та інших вузлах тертя при експлуатації використовується все заправлене мастило. За таких умов механічно нестабільні мастила швидко втрачають вихідні об'ємно-механічні властивості та витікають з негерметичних вузлів тертя.

Враховуючи, що бентонітові мастила використовуються в важконавантажених вузлах тертя, вони повинні мати задовільну механічну стабільність, щоб забезпечувати довготривалу та безперебійну експлуатацію промислового обладнання. Оскільки мастило може використовуватись як в підшипниках кочення і ковзання, так і в шарнірах, опорах, зубчатих зчепленнях та інших подібних вузлах, необхідно враховувати той факт, що процес руйнування мастила відбувається під дією різних факторів і може мати різні характеристики в залежності від умов експлуатації. Тому, на нашу думку, при визначенні механічної стабільності мастила необхідно враховувати умови його експлуатації, та для дослідження його властивостей підбирати таку методику випробувань, яка б краще відтворювала умови роботи мастила в реальних вузлах тертя.

Експериментальна частина

Механічну стабільність мастил прийнято оцінювати за зміною величини їх показників якості (звичайно, об'ємно-механічних характеристик) після механічного руйнування. На даний час існує три основні регламентовані методи визначення механічної стабільності мастил:

- ГОСТ 19295 «Смазки пластичные. Метод определения механической стабильности»;
- ASTM D 217 Standard Test Method for Cone Penetration of Lubrication Grease (Метод визначення пенетрації пластичних мастил);
- ASTM D 1831 Standard Test Method for Roll Stability of Lubricating Grease (Стандартний

метод визначення стабільності мастил на роликівому стенді).

Варто зазначити, що всі три методи дослідження відрізняються умовами випробувань, в яких руйнування мастила відбувається під впливом різних типів навантаження. Наприклад, за методикою ASTM D 1831 вузол тертя імітує роботу мастила в підшипниках кочення, а за методикою ГОСТ 19295 руйнування мастила відбувається через навантаження зсуву.

Для дослідження механічної стабільності бентонітових мастил виготовлено ряд лабораторних зразків з додаванням різних неорганічних наповнювачів. Характеристики лабораторних зразків мастил порівнювали з товарними мастилами різних виробників.

Для виготовлення лабораторних зразків використовували в якості дисперсійного середовища індустріальну оливу И-40 (ГОСТ 20799-88) та в якості загусника – модифікований бентонітовий загусник BARAGEL 3000 (виробництва Elementis Specialties Inc.). До складу вихідного мастила (Вн) з метою підвищення його механічної стабільності додатково вводили різні за природою неорганічні наповнювачі в кількості 2 мас. %: аеросил марки А-300 (ТУ У 24.1-05540209-003:2010), тальк марки ТРПН (ГОСТ 19729), поліетилен високого тиску «ПЭВД» (ГОСТ 16377) та графіт марки ГС-4 (ГОСТ 17022).

Результати та їх обговорення

Визначення механічної стабільності лабораторних зразків мастил за ГОСТ 19295

Зазначений стандарт розповсюджується на пластичні мастила та встановлює метод визначення механічної стабільності, яка виражається індексом руйнування (K_p), що характеризує ступінь руйнування мастила при його інтенсивному деформуванні та індексом тиксотропного відновлення (K_v), що характеризує ступінь тиксотропного відновлення мастила.

Суть методу полягає у визначенні зміни межі міцності на розрив в результаті інтенсивного деформування мастила в зазорі між ротором та статором тиксометра та при наступному тиксотропному відновленні.

Визначення механічної стабільності мастила виконується на приладі – тиксометр ТМС-1М (рис. 1).

За цим методом для визначення індексу руйнування порівнюється межа міцності витиснутого вихідного та зруйнованого мастил. Для цього з тиксометра витискаються на сталеві чи скляні чашечки стовпчики вихідного та зруйнованого мастила, визначається їх маса та за формулою (1) розраховується їх межа міцності ($\sigma_{пч}$) в паскалях (Па):

$$\sigma_{пч} = \frac{4 \cdot 9,81 \cdot 10 \cdot m}{\pi d^2}, \quad (1)$$

де m – середнє арифметичне значення маси стовпчика мастила, г; d – діаметр капіляра, см.

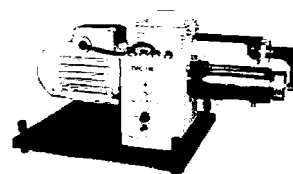


Рис. 1. Загальний вигляд Тиксометра ТМС-1М

Індекс руйнування K_p у відсотках визначають за формулою (2):

$$K_p = \frac{\sigma_v - \sigma_{зр}}{\sigma_v} \cdot 100, \quad (2)$$

де σ_v – межа міцності на розрив вихідного мастила, Па; $\sigma_{зр}$ – межа міцності на розрив зруйнованого мастила, Па.

Індекс тиксотропного відновлення K_v визначається через 3 доби та розраховується аналогічним способом за формулою (3):

$$K_v = \frac{\sigma_{від} - \sigma_{зр}}{\sigma_{від}} \cdot 100, \quad (3)$$

де $\sigma_{від}$ – межа міцності на розрив відновленого мастила, Па.

Індекси руйнування та відновлення можуть виражатися позитивним чи від'ємним числом в залежності від характеру тиксотропного перетворення мастила.

Результати визначення механічної стабільності за ГОСТ 19295 лабораторних зразків мастил у порівнянні з товарними мастилами наведено в табл. 1.

Таблиця 1
Механічна стабільність лабораторних зразків мастил у порівнянні з товарними за ГОСТ 19295

Мастило	K_p , %	K_v (24 год), %
Вн (вихідне мастило)	29	6,8
Вн+аеросил	6,6	26,5
Вн+тальк	58	29
Вн+ПЭВД	32,4	3,7
Вн+графіт	18,8	-5,9 (руйнується)
Gazpromneft Metalgrease AC	63,5	15,2
Shell Cassida Grease HTS 2	38	38
Shell Darina Grease R 2	12,7	0
Bentomos 23	-61 (ущільнюється)	-45 (руйнується)

З наведених даних можна зробити висно-

вок, що додавання таких неорганічних наповнювачів, як аеросил та графіт до складу лабораторного зразка підвищує його механічну стабільність, в той час як додавання тальку та поліетилену високого тиску навпаки погіршують властивості вихідного мастила. У порівнянні з товарними мастилами зарубіжних виробників, лабораторний зразок з вмістом аеросилу за визначеними характеристиками має найкращі показники.

Визначення механічної стабільності лабораторних зразків мастил за ASTM D 217

Згідно з ASTM D 217 мастило руйнується в стандартній мішалці від пенетрометра (60, 10000 та 100000 подвійних ходів). Зміна показника пенетрації в ході тривалого перемішування свідчить про схильність мастила до тиксотропного руйнування та є критерієм його механічної стабільності.

Результати визначення механічної стабільності за ASTM D 217 лабораторних зразків мастила в порівнянні з товарними мастилами наведено в табл. 2.

За результатами досліджень видно, що лабораторні зразки мастил з неорганічними наповнювачами мають незначний коефіцієнт руйнування в порівнянні з вихідним і товарними мастилами. Крім цього найменше значення коефіцієнта руйнування має зразок з вмістом аеросилу.

Визначення механічної стабільності лабораторних зразків мастил на роликовому стенді за ASTM D 1831

Метод базується на визначенні зміни консистенції пластичних мастил при їх випробуваннях в роликовому приладі «Shell» (рис. 2).



Рис. 2. Загальний вигляд роликового стенда «Shell»

Зразок пластичного мастила (50 г) випробову-

ють на механічну стабільність в роликовому приладі «Shell» впродовж двох годин у діапазоні температур 70–100°F (21,1–37,8°C) та визначають мікропенетрацію до та після перемішування.

Зміна мікропенетрації перемішаного мастила до та після його руйнації є критерієм оцінювання механічної стабільності мастила.

Зміну консистенції зразка мастила розраховують за формулою (4):

$$\text{Зміна мікропенетрації} = P_2 - P_1, \quad (4)$$

де P_2 – величина мікропенетрації після руйнування; P_1 – початкова мікропенетрація.

За ASTM D 1831 різниця між двома результатами випробувань, отримана одним і тим самим оператором на одному і тому ж приладі при постійних умовах випробування ідентичних зразків, вважається задовільною, якщо вона не перевищує наступні значення тільки в одному випадку з двадцяти.

З практики виконання досліджень за вказаною методикою відомо, що розкид результатів випробувань занадто великий, тому в методику виконання випробувань нами внесені деякі зміни. Після випробування на роликовому стенді «Shell» при 60°C впродовж 6 годин визначали не мікропенетрацію мастила, а його межу міцності на зсув при 50°C за ГОСТ 7143. Після цього розраховували значення індексу руйнування (K_τ) за формулою (5):

$$K_\tau = \frac{\tau_1 - \tau_2}{\tau_1} \cdot 100, \quad (5)$$

де τ_1 та τ_2 – значення межі міцності на зсув мастила при 50°C до та після випробувань, відповідно.

Показник межі міцності на зсув більш інформативно характеризує реологічні властивості мастила в порівнянні з умовним емпіричним показником – мікропенетрацією, визначення якої, окрім цього, має певні труднощі, що пов'язані зі збереженням постійної температури мастила, наявніс-

Таблиця 2

Механічна стабільність лабораторних зразків мастила в порівнянні з товарними за ASTM D 217

Мастило	Пенетрація мастила, 10 ⁻¹ мм		
	вихідного	після 10000 подвійних ходів (Кр – коефіцієнт руйнування, %)	після 100000 подвійних ходів (Кр – коефіцієнт руйнування)
Bn (вихідне мастило)	250	323 (22,6)	360 (30,5)
Bn+аеросил	230	236 (2,5)	248 (6,1)
Bn+тальк	234	242 (3,3)	250 (6,4)
Bn+ПЭВД	330	348 (5,2)	355 (7,0)
Bn+графіт	213	220 (3,2)	237 (10,1)
Gazpromneft Metalgrease AC	374	420 (11,0)	462 (13,4)
Shell Cassida Grease HTS 2	281	312 (10,0)	364 (22,8)
Shell Darina Grease R 2	275	342 (19,6)	360 (23,6)
Bentomos 23	278	324 (14,2)	357 (22,1)

Механічна стабільність лабораторних зразків мастила в порівнянні з товарними за модернізованою методикою ASTM D 1831

Мастило	Межа міцності на зсув при 50 °С, Па		
	вихідного мастила	після руйнування	індекс руйнування, (K _r), %
Vn (вихідне мастило)	430	210	51,0
Vn+аеросил	320	170	47,0
Vn+талък	700	125	82,0
Vn+ПВД	160	100	37,5
Vn+графіт	640	200	69,0
Gazpromneft Metalgrease AC	120	0	не визначається
Shell Cassida Grease HTS 2	210	55	73,8
Shell Darina Grease R 2	240	40	83,3
Bentomos 23	512	215	58,0

тю в мастилі бульбашок повітря та відсутністю шаблонів для його нанесення в мірну чашку.

Результати визначення механічної стабільності лабораторних зразків мастил в порівнянні з товарними за модернізованою у УкрНДІНП «МАСМА» методикою ASTM D 1831 наведено в табл. 3.

Здійсненні дослідження свідчать, що додавання до складу базового мастила таких наповнювачів як: аеросил та поліетилен високого тиску підвищує його механічну стабільність за умов експлуатації в вузлах тертя типу «підшипників кочення» чи «роликів підшипників». Інші види наповнювачів не мають такого ефекту та скоріше негативно впливають на цей показник. У порівнянні з товарними мастилами, лабораторні зразки з вмістом аеросилу та поліетилену, і навіть вихідне мастило, мають кращі значення механічної стабільності.

Висновки

У результаті проведеної роботи розглянуто три стандартизовані методи визначення механічної стабільності мастил, що імітують різні умови експлуатації. За наведеними методами досліджено ряд бентонітових мастил з додаванням різних за природою неорганічних наповнювачів у порівнянні з товарними зарубіжними мастилами. За отриманими результатами визначена можливість

принципового покращення механічної стабільності та працездатності мастила при підвищених температурах при додаванні до його складу такого наповнювача, як аеросил. За методикою згідно з ASTM D 1831, що відтворює умови роботи в підшипниках кочення, позитивний вплив також має поліетилен високого тиску. У порівнянні з товарними мастилами зразок з вмістом аеросилу за всіма трьома методами дослідження механічної стабільності має кращі характеристики.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бонер К. Дж. Производство и применение консистентных смазок / Ред. Синицына В.В. – М.: Гостоптехиздат, 1958. – 704 с.
2. Определение механической стабильности высокотемпературных антифрикционных смазок / Железный Л.В., Мартынюк Н.А., Папейкин А.А. и др. // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. – 2007. – № 5. – С.34-36.
3. Ищук Ю.Л. Состав, структура и свойства пластичных смазок. – К.: Наук. думка, 1996. – 515 с.
4. Малек В.И. Влияние добавок на механическую стабильность литиевых смазок: Автореф. Дис...канд. техн. наук: 05.17.07. – М., 1992. – 24 с.

Надійшла до редакції 7.11.2012