

Самостійна робота за темою 12

Тема: Триботехнічні матеріали

(Самостійно опрацювати матеріал за темою 12 згідно плану)

12.1. Трансмісійні оливи. Оливи для гідромеханічних передач.

12.2. Гідравлічні оливи. Індустріальні оливи.

12.3. Пластичні мастила.

12.4. Тверді мастильні матеріали.

12.1. Трансмісійні оливи. Оливи для гідромеханічних передач.

Специфічні умови, у яких працює трансмісійна олива, характеризуються трьома основними особливостями: високими питомими контактними навантаженнями в зоні зачеплення шестеренних передач, підвищеними швидкостями відносного ковзання тертьових поверхонь зубів та широким інтервалом робочих температур.

Виходячи з особливостей умов роботи змащувальних матеріалів у сучасних трансмісіях, загальною для всіх трансмісійних олив є вимога надійно і протягом заданого ресурсу роботи розділяти контактуючі зуби шестерень та охороняти поверхні тертя від зносу, пітингу, заїдання та інших пошкоджень, а також знижувати до мінімуму втрати на тертя. Крім того, олива повинна відводити тепло від поверхонь тертя, знижувати дію ударних навантажень, шум та вібрацію шестерень, з'єднань та вузлів силових передач. На правильний вибір трансмісійних олив впливають такі фактори:

- конструкція і компоновка, передаюча потужність, швидкість, співвідношення ковзання і колової швидкості, передаточне число, матеріал зубчатих коліс, однорідність цього матеріалу;
- технологія виробництва—прецизійність виготовлення шестерень, клас обробки поверхонь шестеренних передач, термічна обробка, твердість поверхні;
- коробка передач—жорсткість, теплові деформації, об'єм оливи;
- умови роботи—швидкість ковзання, навантаження, вібрації, температура, нагрів зовні;
- сумісність з матеріалами—чорними, кольоровими і легкими сплавами, пластиками, матеріалами сальників, лакофарбовими покриттями.

В агрегатах трансмісій автотракторної та сільськогосподарської техніки середньоексплуатаційна температура, що встановилась за час роботи трансмісії, складає 60...90 °С. При обкатці та деяких важких режимах роботи машин, наприклад, при буксировці, температура масла підвищується до 120 °С. Фактична температура масла в зоні контакту зубів шестерен значно вище температури масла в об'ємі на 150...250 °С. Помітно впливає на температуру швидкість ковзання на поверхні зубів у зоні їх контакту та в'язкість оливи.

Швидкості ковзання та питомі тиски на поверхні зубів шестерень є важливими характеристиками, що визначають можливість застосування оливи в

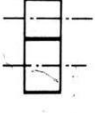
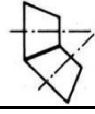
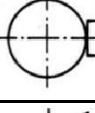
шестеренчастій передачі. При збільшенні навантаження змащувальна плівка, що розділяє поверхні тертя, може руйнуватися, що приводить до безпосереднього контакту металевих поверхонь, їх заїданню та катастрофічного спрацювання. Зі збільшенням швидкості ковзання навантаження, при якому починається заїдання, знижуються. Фактичні швидкості ковзання в циліндричних та конічних передачах складають на вході в зачеплення 1,5...3,0 м/с, у деяких агрегатах вони досягають 9...12 м/с. Для гіпоїдних передач швидкості ковзання складають 15 м/с, а для черв'ячних редукторів на лінії зачеплення — 20...25 м/с.

Внаслідок лінійного контакту зубів шестерень на їх поверхні виникають високі питомі навантаження, що ускладнює здійснення гідродинамічного режиму мащення. Напруженість зубчастих передач залежить від їх типів та взаємного розташування осей. У циліндричних, конічних і черв'ячних передачах питомі навантаження в полюсі зачеплення складають звичайно 500...1500 МПа, досягаючи в деяких випадках 2000 МПа. У гіпоїдних передачах вони в 2 рази вище. Під впливом таких навантажень в'язкість оливи в тертьовому контакті різко зростає й умови для гідродинамічного режиму мащення погіршуються.

Виходячи з особливостей умов роботи змащувальних матеріалів у сучасних трансмісіях, загальною для всіх трансмісійних оливи є вимога надійно і протягом заданого ресурсу роботи розділяти контактуючі зуби шестерен і охороняти поверхні тертя від зносу, пітингу, заїдання та інших пошкоджень, а також знижувати до мінімуму втрати на тертя. Крім того, олива повинна відводити тепло від поверхонь тертя, знижувати дію ударних навантажень, шум та вібрацію шестерень, сполучень та вузлів силових передач.

З трибологічної точки зору найбільш сприятливою вважається класифікація зубчастих передач за взаємним розташуванням осей. Основні типи шестеренних передач схематично представлені в таблиці 12.1.

Таблиця 12.1 - Основні типи зубчастих передач

Назва передачі	Схема	Тип контакту
Циліндричні зубчасті колеса (паралельні осі)		Лінійний контакт (кочення і ковзання перпендикулярно або під кутом до лінії контакту)
Конічні шестерні (перетинні осі)		
Черв'ячні передачі (перетинні осі, зачеплення по осям)		Лінійний контакт (переважає ковзання)
Гіпоїдні передачі (перетинні осі, зачеплення по зовнішнім осям)		Точковий контакт (переважає ковзання)

З ростом питомого навантаження і швидкості ковзання зростають вимоги до несучої здатності трансмісійних олив. У випадку використання конічних зубчатих коліс з перетинними осями ковзання здійснюється в площині евольвентного зачеплення, при використанні гіпоїдних передач має місце додаткове тертя ковзання в зоні ніжок зубів із-за взаємного розташування осей. Критеріями вибору трансмісійних олив служить в'язкість, температури застигання і спалаху. Основні вимоги до якості олив визначаються здатністю впливу на швидкість зношування, навантаження заїдання, коефіцієнт тертя і припрацювальні властивості. До допоміжних показників якості олив відносять: в'язкісно-температурні, низькотемпературні, антикорозійні властивості, агресивність до неметалів, спінювання, окислювальна стабільність, деаерація, сумісність з ущільнювальними матеріалами.

У трансмісіях автомобілів, тракторів та сільськогосподарських машин використовують оливи широкого асортименту, починаючи від дистилатів та залишків без присадок або з м'якими протизносними присадками, і закінчуючи гіпоїдними з високоефективними протизадирними присадками.

Різноманітність вимог до трансмісійних олив, залежно від галузей застосування, та численність марок визначили необхідність класифікувати їх за в'язкістю та за найважливішими експлуатаційними ознаками, прийнятими у міжнародній практиці.

За класифікацією (ГОСТ 17479.2–85), залежно від рівня в'язкості, трансмісійні оливи поділяють на 4 класи (табл. 12.2.)

Таблиця 12.2 - Класифікація трансмісійних олив за в'язкістю

Клас в'язкості	Кінематична в'язкість при температурі 100°C, мм ² /с	Температура, при якій динамічна в'язкість не перевищує 150 Па·с, °C, не вище
9	6,0–10,99	– 35
12	11,0–13,99	– 26
18	14,0–24,99	– 18
34	25,0–41,0	–

У кожному класі встановлені допустимі межі кінематичної в'язкості при 100°C та мінусових температурах, при яких ще забезпечується надійна робота трансмісій, бо динамічна в'язкість при цій температурі не перевищує 150 Па·с.

Залежно від експлуатаційних властивостей та рекомендованих галузей застосування оливи для трансмісій автомобілів, тракторів та іншої мобільної техніки віднесені до 5 груп (табл. 12.2)

Групу трансмісійних олив за експлуатаційними властивостями встановлюють за результатами оцінки їхніх властивостей і випробувань з визначенням трібологічних характеристик за ГОСТ 9490-75 (табл. 12.3).

Згідно з ГОСТ 17479.2–85 передбачена також система позначень (маркування) олив для трансмісій. Трансмісійні оливи маркують групою знаків, перша з яких – літери ТМ (трансмісійна олива); друга група знаків

позначається цифрами і характеризує належність трансмісійної оливи до цієї чи іншої групи за експлуатаційними властивостями; третя – позначається цифрами, які характеризують клас в'язкості при температурі 100°C. При наявності загущуючої присадки позначення додатково має індекс “з”.

Таблиця 12.3 - Класифікація трансмісійних олив за експлуатаційними властивостями

Група оливи	Склад оливи	Рекомендована область застосування
TM-1	Нафтові (мінеральні) оливи без присадок	Циліндричні, конічні та черв'ячні передачі, які працюють при контактних напруженнях від 900 до 1600 МПа та температурі оливи у об'ємі до 90°C.
TM-2	Мінеральні оливи з протизносними присадками	Те ж, при контактних напруженнях до 2100 МПа та температурі оливи у об'ємі до 130°C.
TM-3	Мінеральні оливи з протизадирними присадками помірної ефективності	Циліндричні, конічні, спірально-конічні та гіпоїдні передачі, які працюють при контактних напруженнях до 2500 МПа і температурі оливи у об'ємі до 150°C.
TM-4	Мінеральні оливи з протизадирними присадками високої ефективності	Циліндричні, спірально-конічні та гіпоїдні передачі, що працюють при контактних напруженнях до 3000 МПа і температурі оливи у об'ємі до 150°C.
TM-5	Мінеральні оливи з протизадирними присадками високої ефективності багатofункціональної дії, а також універсальні оливи	Гіпоїдні передачі, які працюють з ударними навантаженнями при контактному тиску більше 3000 МПа і температурі оливи у об'ємі до 150°C.

Таблиця 12.4 - Трібологічна характеристика трансмісійних олив

Показники	Експлуатаційна група				
	TM-1	TM-2	TM-3	TM-4	TM-5
Навантаженням зварювання, Н, не менше	2700		2760	3000	3280
Протизносна властивість за показником зношування (Д _з) при осьовому навантаженні 392 Н, температурі 20 ± 5°C протягом однієї години, мм, не більше	0,5		–	–	0,4

Наприклад, позначення оливи ТМ-3-18 свідчить: трансмісійна олива 3-ї експлуатаційної групи (з протизадирними присадками помірної ефективності), класу в'язкості 18 при 100°C. У позначенні трансмісійної оливи ТМ-5-12 (рк) аббревіатура (рк) означає, що олива одночасно є робочо-консерваційною.

Асортимент трансмісійних олив. Сьогодні, коли багато нафтовиробників випускають продукцію з фірмовими назвами, визначення трансмісійних олив за ГОСТ треба розглядати з точки зору належності їх до певної класифікаційної групи.

Найбільше розповсюдження в Україні мають трансмісійні оливи, які випускаються згідно з ГОСТ 23652–79 (таблиця 12.5).

Таблиця 12.5 - Основні характеристики деяких трансмісійних олив

Показники	ГОСТ 3-80 —15	ГОСТ 3-80 —10	ГОСТ 3-80 П—15В	ГОСТ 3-80 П—15К	ГОСТ 3-80 — 14 зип	ТАД-17П(ТМ-5-18)
Кінематична в'язкість при 100 °С, мм ² /с.	15±1	≥10	15±1	≥16,0	≥14,0	≥17,5
Індекс в'язкості ІВ, не менш		90		90	85	100
Температура спалаху у відкритому тіглі, °С, не менш	185	128	185	185	215	200
Температура застигання, °С, не більше	–18	–40	–20	–25	–25	–25
Масова частка механічних домішок, % не вище	0,03	0,02	0,03	0,01	0,01	відсутня
Зольність, %	≥0,3	—	—	—	—	≥0,3
Масова частка активних хімічних елементів. %:						
фосфору	≥0,06	—	—	—	—	≥0,1
хлору	—	—	—	—	≥0,5	—
сірки	≤3,0	≤1,6	1,2	—	—	2,7-3,0
Трібологічні характеристики (ГОСТ9490):						
індекс задиру, (І _з) не менш	—	48	50	55	60	58
навантаження зварювання, (Р зв), Н, не менш	—	3479	3283	3479	3920	3687
показник зношування (Д _з) при навантаженні 392 Н, (20±5°C, 1 год), мм, не більш	0,55	—	—	0,50	—	0.40
Густина при 20°C, кг/м ³ , не вище	950	915	930	910	910	907

Зарубіжна класифікація трансмісійних олив. Провідна роль у розробці

трансмiсiйних оливах за рубежом належить США. Практично всi розвинутi краiни та краiни, що розвиваються, користуються оливами, якi випускають американськi фiрми, або самi виробляють трансмiсiйнi оливи, пристосовуючи їх до вимог специфiкацiй США.

Трансмiсiйнi оливи, як i моторнi, подiляють на рiзнi сорти, залежно вiд їхньої в'язкостi (класифiкацiя SAE J306) та призначення (класифiкацiя API). Згiдно з класифiкацiєю SAE оливи для трансмiсiй подiляють на зимовi з iндексом W (70W, 75W, 80W, 85W) та лiтнi (90, 140 та 250). Крім того, класифiкують всесезоннi трансмiсiйнi оливи (75W-90, 80W-90, 85W-140), у маркуванні яких пiсля SAE спочатку вказують показник зимової оливи, а потiм лiтньої (табл.12.6).

Таблиця 12.6 - Класи в'язкостi SAE J306 автотракторних трансмiсiйних оливах

Показник	Класи в'язкостi						
	70W	75W	80W	85W	90	140	250
Кiнетична в'язкiсть при 100°C, мм /с: мiнiмальна максимальна							
	4,1	4,1	7,0	11,0	13,5	24	41
Температура при якiй динамiчна в'язкiсть не перевищує 150 Па·с, °C, не менш							

Орiєнтовна вiдповiднiсть в'язкiсних класiв трансмiсiйних оливах SAE i ГОСТ (табл. 12.6.)

Таблиця 12.6 - Вiдповiднiсть в'язкiсних класiв SAE i ГОСТ 17479.2-85

ГОСТ 17479.2-85	9	12	18	34
Класифiкацiя SAE	75W	80W/85W	90	140

Вiдповiдно до класифiкацiї API трансмiсiйнi оливи, за рiвнем експлуатацiйних властивостей, подiляють на шiсть груп у залежностi вiд конструкцiї агрегатiв, трансмiсiй та умов їхньої експлуатацiї (табл. 12.7).

Бiльшiсть автомобiльних фiрм Захiдної Європи для оцiнки експлуатацiйних властивостей трансмiсiйних оливах використовують також армiйськi специфiкацiї США MIL-L-2105D або MIL-L-2105C.

Таблиця 12.7 - Класифiкацiя API для автотракторних трансмiсiйних оливах

Група	Призначення i склад оливи	Рекомендована
GL-1	Оливи, придатнi до застосування в агрегатах з цилiндричними, черв'ячними i спiрально-конiчними зубчастими передачами в умовах низьких швидкостей i навантажень.	Механiчнi коробки передач з ручним перемиканням, головнi передачi ведучих мостiв

	Мінеральні оливи без присадок або з антиокиснювальними, протизносними, антикорозійними і антипінними присадками без протизадирних компонентів	зі спірально-конічними і черв'ячними шестернями
GL-2	Призначені для мащення черв'ячних передач, що працюють в умовах як і оливи групи GL-1, але до них висувуються більш високі вимоги до антифрикційних властивостей. На відміну від оливо GL-1 вони можуть містити антифрикційні присадки	Головні передачі ведучих мостів вантажних автомобілів з черв'ячними зачепленнями
GL-3	Оливи, призначені для звичайних трансмісій зі спірально-конічними зубчастими передачами, що працюють у помірно складних умовах за швидкостями навантаженнями. Вони мають більш високі протизносні і протизадирні властивості в порівнянні з оливами GL-2, але більш низької якості, ніж оливи GL-4	Головні передачі ведучих мостів автомобілів зі спірально-конічними зубчастими колісьми, деякі механічні коробки передач з ручним переключенням
GL-4	Для автомобільних трансмісій з гіпоїдною передачею, що працюють в умовах великої швидкості при малих крутних моментах, і малих швидкостях при високих крутних моментах. Такі умови вимагають обов'язкової наявності в оливах вискоефективних протизадирних присадок	Головні передачі ведучих мостів легкових автомобілів з гіпоїдними зубчастими колесами, деякі механічні коробки передач, установлені на вантажних автомобілях
GL-5	Оливи, призначені для автомобільних гіпоїдних передач, що працюють в умовах великих швидкостей і малих крутних моментах, а також при наявності ударних навантажень на зубах коліс при високих швидкостях ковзання. Умови роботи більш жорсткі, ніж в оливі GL-4, тому в них рекомендується вводити більшу кількість сіркофосфорвмісних присадки	Головні передачі ведучих мостів легкових і вантажних автомобілів з гіпоїдними зубчастими колесами; деякі механічні коробки передач
GL-6	Оливи для автомобільних гіпоїдних передач з підвищеним вертикальним зміщенням осей зубчастих коліс, що утворюють умови для досягнення високих крутних моментів при підвищених швидкостях і ударних навантаженнях. Рекомендовано вводити в оливу більшу кількість сіркофосфорутримуючої протизадірної присадки, ніж в оливі GL-5	Головні передачі ведучих мостів автомобілів з гіпоїдними зубчастими колесами, котрі характеризуються більшим зсувом осей (більше 50 мм або до 25% діаметру веденої шестерні)

Оливи для гідромеханічних передач

В сучасній автотракторній техніці все більше розповсюдження отримують гідромеханічні передачі (ГМП), що об'єднують в одному агрегаті гідропривід, механічну коробку передач, складну систему автоматичного регулювання. У ГМП, як і в механічних трансмісіях, умови роботи оливи характеризуються широким інтервалом робочих температур, високими навантаженнями й швидкостями ковзання у місцях контакту зубів шестерень. Динамічні навантаження на трансмісію у машин з ГМП в 1,5...3 рази менші, ніж у машин з механічними коробками передач (завдяки відсутності жорсткого зв'язку між двигуном і трансмісією), а температура оливи в літній період може досягати до 150 °С.

Швидкість надходження оливи в гідротрансформатори становить 80... 100 м/с, а якщо знімається потужність більша, ніж це потрібно для подолання робочих зусиль, надлишкова потужність витрачається на внутрішнє тертя оливи, що ще більше підвищує її температуру. Це дає підставу вважати, що ГМП є найбільш теплонапруженим вузлом з усіх видів трансмісії.

Створення в гідротрансформаторі високошвидкісних потоків оливи призводить до інтенсивної аерації, посиленого піноутворення, що створює умови для підвищеного окиснення оливи.

Через конструктивну складність і наявність різноманітних за призначенням та умовами роботи вузлів до якості змащувальних матеріалів для ГМП ставлять складні та суперечливі вимоги, що значно відрізняються від вимог до звичайних трансмісійних олив. Перш за все це стосується в'язкісних, протизносних, фрикційних, антиокиснювальних та інших властивостей.

При виборі оливи для ГМП в'язкість є однією з найважливіших експлуатаційних характеристик. Це обумовлено перш за все необхідністю одержання високого коефіцієнта корисної дії (ККД) гідротрансформатора у великому інтервалі можливих робочих температур. Для створення умов нормальної роботи ГМП з найбільшим ККД та коефіцієнтом трансформації, оливи повинні мати якомога меншу в'язкість. При використанні малов'язких олив також поліпшується паливна економічність і робота автоматичної системи керування. З іншого боку, для забезпечення високої змащувальної властивості й для запобігання витокам олив через ущільнення олива повинна бути відносно в'язкою.

Оливи для ГМП повинні мати також високий індекс в'язкості. Вимоги до низькотемпературних властивостей олив обумовлені необхідністю забезпечення можливості запуску двигуна й зрушення з місця при низьких температурах навколишнього повітря.

Внаслідок того, що в гідромеханічній трансмісії є навантаженні вузли тертя (зубчасті передачі, підшипники кочення, муфти вільного ходу, плунжерні пари й інші тертьові деталі), необхідно використовувати оливи з ефективним протизносними присадками.

Однак для гідромеханічних передач, що мають фрикційні диски, розробка олив з добрими протизносними властивостями ускладнена.

Це викликано тим, що надійна робота фрикціонів може бути забезпечена лише оливою з необхідними фрикційними властивостями, які забезпечують контактування дисків з відносно високим коефіцієнтом тертя (від 0,1 до 0,2). Тому в деяких закордонних специфікаціях передбачається використання олив, що містять протизносними присадки або модифікатори тертя з вузькими межами значень коефіцієнта тертя. Висока температура оливи в ГМП, яка досягає 100... 120 °С й вище, при контакті з різноманітними каталітично активними металами та киснем повітря викликає інтенсивне його окиснення. Внаслідок накопичення в оливі продуктів окиснення порушується робота системи автоматики, фрикційних дисків, підвищується спрацювання деталей гідромеханічної передачі. Для запобігання окиснення й відкладання осадів на деталях ГМП в оливи поряд з антиокиснювальними присадками вводять додатково миюче-диспергуючі присадки.

Поряд з високою окиснювальною стабільністю оливи для ГМП повинні мати добрі антикорозійні й антипінні властивості, бути сумісними з різними ущільнювальними матеріалами.

Оливи для гідромеханічних передач виробляють з малов'язких фракцій сірчистих парафінистих нафт шляхом їх селективної очистки, глибокої депарафінізації й загущують в'язкісними присадками.

Асортимент олив для ГМП включає три марки олив: **А** і **Р** (ОСТ 38 01434–87) та **МГТ** (ТУ 38 101103-87) Їх одержують загущенням малов'язких фракцій сірчистих парафінових нафт селективного очищення після глибокої депарафінізації.

Олива марки **А** має в'язкість при температурі 40°C (v_{40}) 17...22 мм²/с), а при –20°C (v_{-20}) ≤ 100 мм²/с. Її використовують для всесезонної експлуатації в гідротрансформаторах та в автоматичних коробках передач автомобілів при температурі не нижче 30...–35°C.

Олива марки **Р** ($v_{40}=17...22$ мм²/с, $v_{-20} \leq 1300$ мм²/с) призначена для системи гідропідсилювача керма і гідрооб'ємних передач;

Оливу **МГТ** ($v_{40} = 6...7$ мм²/с, v_{-50}) використовують в гідромеханічних коробках передач і гідросистемах націпного обладнання при температурі +50... – 50 °С.

Зарубіжні оливи позначаються класифікаціями Type A, Suffis I Dexron/

12.2. Гідравлічні оливи. Індустріальні оливи

Широке застосування у автотракторному та сільськогосподарському машинобудуванні гідроприводів на сьогодні визначилось як один з основних напрямів підвищення технічного рівня машин.

Сучасні трактори та сільськогосподарські машини оснащуються роздільно-агрегатними гідронаціпними системами, об'ємними гідроприводами трансмісій та рульового керування, гідроприводами активних робочих органів тощо. З розширенням і ускладненням функцій, які виконують гідроприводи, особливо актуальною є проблема використання гідравлічних олив, що забезпечують заданий рівень працездатності в умовах експлуатації машинно-тракторного парку.

Гідравлічна олива у гідроприводі виконує функції робочого тіла, тому її називають робочою рідиною. Основною функцією гідравлічної оливи є передача механічної енергії від її джерела до виконавчих органів із забезпеченням зміни величини або напрямку прикладеної сили. Одночасно вона є змащувальним та охолоджуючим середовищем для тертьових поверхонь гідроприводу.

З підвищенням потужності і компактності сучасних гідравлічних систем умови роботи олив стали більш жорсткими. Тиск робочої рідини у гідроприводах тракторів і сільськогосподарських машин досягає 40 МПа. Робоча температура у гідросистемах, як правило, на 40...50 °С вище за температуру навколишнього середовища і може перевищувати 100°C. Робочі рідини контактують з різними матеріалами, а також дроселюються з великим перепадом тиску через малі робочі зазори, зазнають дії високих питомих тисків на поверхнях трібосистем.

Специфічні умови роботи сільськогосподарської техніки (запиленість, велика вологість, широкий діапазон температур навколишнього середовища, високий рівень вібрації тощо) ставлять жорсткі вимоги до якості робочих рідин. Перш за все вони повинні мати оптимальний рівень та високий індекс в'язкості, низьку температуру застигання.

Вибір в'язкості робочої рідини залежить від пускових та робочих характеристик гідравлічної системи. В'язкість оливи не повинна бути нижче певного рівня, щоб звести до мінімуму втрати від витоків з різних з'єднань і ущільнень гідравлічної системи та забезпечити необхідну змащувальну здатність оливи. Підвищена в'язкість робочої рідини призводить до збільшення її опору рухові у напірних магістралях, особливо при низьких температурах. Для гідроприводів, які працюють у широкому діапазоні температур, в'язкість робочої рідини при максимально можливій температурі не повинна бути нижче 8 мм²/с, а при найнижчій – вище 1500 мм²/с. Оптимальною в усталених умовах роботи гідросистеми вважається в'язкість 30–40 мм²/с. В'язкість, як визначальний показник експлуатаційних властивостей, вказують у маркуваннях гідравлічних олив.

Крім підвищених вимог до в'язкісних властивостей, гідравлічні оливи повинні характеризуватися такими показниками:

- мати добру змащувальну здатність і необхідні протизносними та протизадирні властивості;
- мати високі антиокиснювальні властивості, термічну та хімічну стабільність, що забезпечує тривалу роботу робочої рідини у гідравлічній системі;
- захищати чорні та кольорові метали від корозії в процесі експлуатації і під час тривалих перерв у роботі;
- бути стійкими до утворення емульсії з водою і до піноутворення;
- не мати шкідливого впливу на гуму, еластомери й інші ущільнювальні матеріали.

Як основу для гідравлічних олив використовують добре очищені

мінеральні оливи з відповідними в'язкісно-температурними характеристиками та задовільними низькотемпературними властивостями. Присадки, які поліпшують індекс в'язкості (вініполи, поліметакрилати та поліізобутилені) і додаються до гідравлічних олив, повинні мати високу стійкість до деструкції для збереження механічної стабільності олив протягом тривалого часу. Більшість олив для гідравлічних систем містять присадки, які поліпшують антиокиснювальні властивості, стійкість до корозії та спрацьовування. Оливи містять також протипінні та деемульгуючі присадки. Для поліпшення низькотемпературних властивостей у гідравлічні оливи можуть бути введені депресорні присадки.

Вітчизняна класифікація гідравлічних олив. Гідравлічні оливи для мобільної техніки класифікують за в'язкістю та рівнем експлуатаційних властивостей. Вітчизняна класифікація олив за в'язкістю (ГОСТ 17479.3–85) відповідає в'язкісній градації робочих рідин, прийнятій міжнародною організацією зі стандартизації (ISO 3448–75). Згідно з ISO оливи поділяють на 18 класів. Кожному класу відповідає символ в'язкісної класифікації (VG) та число, яке характеризує кінематичну в'язкість оливи при температурі 40°C з допуском $\pm 10\%$. Для вітчизняних олив передбачено 10 класів в'язкості (табл. 7.20).

Таблиця 12.8 - Класифікація гідравлічних олив за кінематичною в'язкістю

Клас в'язкості	Кінематична в'язкість при 40°C, мм ² /с	Клас в'язкості	Кінематична в'язкість при 40°C, мм ² /с
5	4,14–5,06	32	28,8–35,2
7	6,12 – 7,48	46	41,4–50,6
10	9,0–11,0	68	61,2–74,8
15	13,5–16,5	100	90–110
22	19,8–24,2	150	135–165

Залежно від експлуатаційних властивостей гідравлічні оливи поділяють на групи А, Б і В (табл. 12.9)

Згідно з ГОСТ 17479.3–85 передбачена система позначень гідравлічних олив, яка складається із знаків: перший з яких літерами МГ позначається — мінеральна гідравлічна, далі вказують клас в'язкості та належність до групи за експлуатаційними властивостями.

Наприклад, МГ-15-В – олива мінеральна гідравлічна (МГ), цифра 15, вказує на те, що ця олива має кінематичну в'язкість 13,5–16,5 мм²/с при температурі 40°C, за експлуатаційними властивостями відповідає групі В.

- Таблиця 12.9 Класифікація гідравлічних оливи за експлуатаційними властивостями

Група оливи	Склад оливи	Рекомендована галузь застосування
А	Нафтові оливи без присадок	Гідравлічні системи з шестеренними та поршньовими насосами, що працюють при тиску до 15 МПа та температурі оливи у об'ємі до 80 °С
Б	Нафтові оливи з антиокислювальними антикорозійними присадками	Гідравлічні системи з насосами усіх типів, що працюють при тиску до 25 МПа та температурі оливи у об'ємі більше 80 °С
В	Добре очищені нафтові оливи з антиокислювальними протизносними присадками	Гідравлічні системи з насосами усіх типів, що працюють при тиску вище 25 МПа та температурі оливи у об'ємі більше 90 °С

Позначення гідравлічних оливи за ГОСТ 17479.3–85 та їхня відповідність раніше прийнятим показникам якості у нормативно-технічній документації (НТД) наведені в табл. 12.10.

Таблиця 12.10 - Позначення гідравлічних оливи

ГОСТ 17479. 3–85	НТД
МГ-22-А	АУ (ТУ 38 1011232–89)
МГ-32-А	ЕШ (ГОСТ 10363–78)
МГ-10-Б	РМЦ (ГОСТ 15819–70)
МГ-15-Б	АМГ-10 (ГОСТ 6794–75)
МГ-22-Б	АУП (ОСТ 38 01364–84)
МГ-46-Б	МГ-30 (ТУ 38 10150–79)
МГ-15-В	ВМГЗ (ТУ 38 101479–74)
МГ-15-В	МГЕ-10А (ОСТ 38 01281–82)
МГ-22-В	Р (ТУ 38101179–71)
МГ-46-В	МГЕ-46В (МГ-30у) (ТУ 38 001347–83)
МГ-68-В	МГ-8А (М-8А) (ТУ 38 1011135–87)

Міжнародною класифікацією ISO 6074/4–1982 (Е) нафтові гідравлічні оливи поділяють на чотири якісні групи. Відповідність експлуатаційних груп вітчизняних гідравлічних оливи класифікаційним групам ISO наведено нижче:

ГОСТ 17479.3– А Б В В із загущеною
ISO 6074/4–1982 Н HL HM HV

Маркування оливи згідно з класифікацією ISO складається з символів

якісної та в'язкісної класифікації, наприклад, HL VG-46 означає: гідравлічна (H) олива якісної групи, яка включає мінеральні оливи з антиокислювальними та антикорозійними присадками (L) з кінематичною в'язкістю при 40°C у інтервалі 41,4–50,6 мм²/с. (VG – 46).

Асортимент гідравлічних олив. Незважаючи на великий асортимент олив для різних гідравлічних систем, які випускаються нафтопереробною промисловістю, у сільському господарстві застосовується небагато з них.

Основні фізико-хімічні та експлуатаційні показники гідравлічних олив, що використовуються як робоча рідина в гідроприводах автотракторної та сільськогосподарської техніці, наведені в таблиці 12.11.

Таблиця 12.11- Характеристика гідравлічних олив

Марка оливи	Кінематична в'язкість, мм ² /с		Індекс в'язкості	Температура, °C		Галузь застосування
	при 50°C	при – 40°C (–50°C)		застигання, не вище	спалаху, не менш	
1	2	3	4	5	6	7
МГЕ–10А	≥ 10	(1500)	–	– 70	96	Гідравлічні системи автомобільної техніки, що працюють при температурі оливи від –50°C до +70°C
ВМГЗ	≥ 10	1600	130	– 60	135	Гідроприводи автотракторної техніки, що працюють при температурі оливи від –50°C до +50°C
АУ	12–14	1300	–	– 45	165	Гідравлічні системи різноманітних машин і механізмів. Працездатна при температурі і оливи від – 30°C до +90°C
ЭШ	≥ 20	–	135	– 50	160	Гідрсистеми крокуючих екскаваторів та інших аналогічних машин. Працездатна у інтервалі температур від – 45°C до +80÷100°C

Продовження таблиці 12.11

1	2	3	4	5	6	7
Г-30	27-33	4000 (при - 15°C)	85	- 30	190	Гідравлічні системи будівельних, підйомно- транспортних та інших машин з об'ємним гідроприводом і гідро-керуванням. Працездатна у інтервалі температур від 20°C до +75°C
МГЕ- 46В	≤6 (при 100°C)	100 (при - 15°C)	90	- 30	190	Гідрооб'ємні передачі сільськогосподарськ ої техніки, які працюють при тиску до 35 МПа (короткочасно до 42 МПа). Працездатна при температурі оливи від -10°C до +80°C

Індустріальні оливи

Індустріальні оливи являють собою великий асортимент мастильних матеріалів, призначених для зменшення тертя, зношування та запобігання задирам тертьових поверхонь різних машин та механізмів промислового обладнання: метало-та деревообробних верстатів, пресів, контрольно-вимірювальних приладів, насосів гідросистем тощо. Одночасно вони повинні відводити теплоту з трібосистеми, захищати деталі від корозії, очищувати тертьові поверхні від забруднення, служити ущільнюючим засобом, запобігати утворенню стійких емульсій з водою або мати здатність емульгувати, добре фільтруватися, бути нетоксичними, не мати неприємного запаху та ін.

В умовах застосування мастильні індустріальні оливи піддаються впливу високих температур і тисків, контактують з різними металами, повітрям, водою та агресивними середовищами. У результаті чого вони окислюються, що призводить до підвищення їхньої в'язкості, кислотного числа та корозійної агресивності, забруднення продуктами зношення. Внаслідок цього посилюється абразивне зношування у трібосистемах і погіршується фільтрування оливи. В оливах з'являються продукти деструкції, які

викликають зниження в'язкості та температури спалаху, накопичується вода та ін. Індустріальні оливи, які застосовуються у трібосистемах, можна розглядати як свого роду конструкційний матеріал, властивості якого у ряді випадків впливають на працездатність поверхні тертя не менше, ніж властивості матеріалу, з якого виготовлені деталі, що змащуються.

Експлуатаційні властивості індустріальних олив істотно впливають на втрати потужності на тертя, зношення тертьових деталей, плавність руху при малих швидкостях ковзання, стабільність окиснення та корозії, емульгованість, піноутворення і деаерацію. Найважливішими з них є: мастильні властивості, здатність стабілізувати коефіцієнт тертя, забезпечуючи при цьому плавне стійке ковзання і демпфірування, антиокислювальну стабільність, захисні, деемульгуючі, протипінні, деаераційні, екологічні властивості. Умова тертя є визначальною при виборі оливи. Мастильні вузли та деталі, залежно обладнання, яке застосовується, значно відрізняються умовами роботи, температурними, навантажувальними та іншими характеристиками.

З метою уніфікації, поліпшення якості і розширення виробництва індустріальних олив для промислового обладнання передбачена єдина система класифікації та їхні позначення (ГОСТ 17479.4–87). Система класифікації враховує міжнародні класифікації індустріальних олив за в'язкістю (ISO 3448–75) та областями застосування.

Згідно з ГОСТ 17479.4–87, залежно від призначення, індустріальні оливи поділяють на чотири групи: Л, Г, Н і Т, у кожену з яких входить значна кількість олив з різними композиціями присадок (табл. 7.24)

Таблиця 12.12 - Класифікація індустріальних олив за призначенням

Група	Призначення олив	Присадки
Л	Для легконавантажених вузлів (шпинделі, підшипники та спряжені з ними з'єднання)	Антиокислювальні, антикорозійні, антифрикційні, протипінні
Г	Для гідравлічних систем	Антиокислювальні, антикорозійні, протизносні, протипінні, деаераційні, в'язкісні, депресорні, миюче-диспергуючі
Н	Для напрямних ковзання	Антиокислювальні, антикорозійні, протизносні, протизадирні, протистрибкові, миюче-диспергуючі
Т	Для важконавантажених вузлів (зубчастих та інших передач, підшипників і спряжених з ними з'єднань)	Антифрикційні, протизносність, протизадирні, антикорозійні, в'язкісні, депресорні

Крім того, стандартом передбачено розподіл індустріальних олив на п'ять підгруп: А, В, С, Д і Е залежно від складу оливи та рекомендованої галузі застосування (табл. 12.13).

В залежності від значення кінематичної в'язкості при температурі 40°C індустріальні оливи поділяють на 18 класів (табл. 12.13).

Відповідно до класифікації для позначень індустріальних олиव виділяють чотири групи знаків розділених між собою дефісом.

Таблиця 12.13 - Класифікація індустріальних олив за рівнем експлуатаційних властивостей

Підгрупа	Склад оливи	Рекомендована галузь застосування
A	Нафтові оливи без присадок	Шпинделі, підшипники, гідросистеми, напрямні ковзання, зубчасті передачі промислового обладнання, умови роботи яких не передбачають особливих вимог до антиокиснювальних та антикорозійних властивостей олив
B	Нафтові оливи з анти-окиснювальними та антикорозійними присадками	Ті ж агрегати та вузли, умови роботи яких передбачають підвищені вимоги до антиокиснювальних та антикорозійних властивостей олив
C	Нафтові оливи з анти-окиснювальними, антикорозійними та протизносними присадками	Ті ж агрегати та вузли з переважним тертям ковзання, а також трібосистеми, де використовуються антифрикційні сплави кольорових металів, умови роботи яких передбачають підвищені вимоги до антиокислювальних, антикорозійних та протизносних властивостей олив
D	Нафтові оливи з антиокиснювальними, антикорозійними, протизносними та протизадирними присадками	Елементи промислового обладнання з переважним тертям кочення і ковзання та термонавантажені трібосистеми з тертям кочення і ковзання, умови роботи яких передбачають підвищені вимоги до антиокислювальних, антикорозійних, протизносних та протизадирних властивостей олив
E	Нафтові оливи з протистрибковими присадками	Напрямні ковзання високоточних автоматизованих верстатів, умови роботи яких передбачають підвищені вимоги до антиокислювальних, адгезійних, протизносних, протизадирних та протистрибкових властивостей

Таблиця 12.14 - Класи в'язкості індустріальних олив

Клас в'язкості	Кінематична в'язкість при 40°C, мм ² /с	Клас в'язкості	Кінематична в'язкість при 40°C, мм ² /с
2	1,9–2,5	68	61–75
3	3–3,5	100	90–110
5	4–5	150	135–165
7	6–8	220	198–242
10	9–11	320	288–352
15	13–17	460	414–506
22	19–25	680	612–748
32	29–35	1000	900–1100
46	41–51	1500	1350–1650

Знак першої групи – літера **И** вказує на приналежність олив до індустріальних; знаки другої групи (**Л**, **Г**, **Н**, **Т**) характеризують їхнє призначення (табл. 12.15).; знаки третьої групи (**А**, **В**, **С**, **Д** і **Е**) – призначення за експлуатаційними властивостями (див. табл. 12.15), знаки четвертої групи – цифри, які означають клас в'язкості (табл. 12.15).

Наприклад, з позначення оливи **И-Л-А-10** слідує, що вона індустріальна (**И**), призначена для легконавантажених вузлів (**Л**), без присадок (**А**), належить до 10 класу в'язкості.

Асортимент індустріальних олив включає понад 90 найменувань.

Найбільш широке застосування у сільськогосподарському виробництві мають мало- та середньов'язкі оливи групи **Л** і **Г** (табл. 12.15) без присадок.

Таблиця 12.15 - Характеристика окремих індустріальних олив

Марка оливи	Кінематична в'язкість, мм ² /с		Температура, °C		Густина, кг/м ³
	при 40°C	при 50°C	спалаху, не нижче	застигання, не вище	
И-Л-А-7 (И-5А)	6–8	4–5	140	– 18	870
И-Л-А-10 (И-8А)	9–11	6–8	150	– 15	880
И-Л-А-15 (И-12А)	19–25	10–14	170	– 30	880
И-Г-А-32 (И-20А)	19–35	17–23	200	– 15	890
И-Г-А-46 (И-30А)	41–51	28–33	210	– 15	890
И-Г-А-68 (И-40А)	61–75	37–45	220	– 15	900
И-Г-А-100 (И-50А)	90–110	47–55	225	– 15	910

Оливи И-Л-А-7 і И-Л-А-10 застосовують для мащення найбільш розповсюджених високошвидкісних вузлів та механізмів, замаслювання волокон і у виробництві олив різного призначення. Їх використовують також у гідравлічних системах різних будівельних машин.

Олива И-Л-А-15 застосовується для змащування шпинделів металорізальних верстатів, які працюють з частотою обертання до 5000 хв⁻¹, підшипників малопотужних електродвигунів з кільцевою системою мащення.

Цю оливу застосовують також у гідросистемах верстатів та механізмах деяких сільськогосподарських машин. Використовується ця олива як базова для виготовлення олив з присадками та пластичних мастил.

Оливи И-Г-А-32, И-Г-А-46, И-Г-А-68, И-Г-А-100 застосовують як робочі рідини у гідравлічних системах верстатного обладнання, для мащення легко- та середньонавантажених зубчастих передач, пресів, напрямних кочення та ковзання верстатів та інших механізмів, де не потрібні спеціальні оливи.

У зв'язку із застосуванням у гідравлічних системах сучасного промислового обладнання фільтрів тонкого очищення вказані оливи замінюють легованими мастильними матеріалами, які відповідають їм за в'язкістю.

Оливи И-Г-С-32 (ИГП-18), И-Г-С-46 (ИГП-30), И-Г-С-68 (ИГП-38, ИГП-49) призначені для гідравлічних систем верстатів, автоматичних ліній, пресів. Використовують їх також для змащування високошвидкісних коробок передач, мало- та середньонавантажених редукторів і черв'ячних передач, варіаторів, електромагнітних і зубчастих муфт та інших вузлів та механізмів із збільшеним у 2–4 рази терміном заміни оливи. При необхідності можуть використовуватися у гідравлічних системах сільськогосподарської техніки.

Особливу групу індустріальних олив представляють мастильні матеріали для напрямних ковзання високоточних металорізальних верстатів, умови роботи яких відрізняються високими навантаженнями і можливістю дуже низьких швидкостей руху. Тому мастильні матеріали для напрямних металорізальних верстатів містять так звані антифрікційні присадки, які знижують тертя при відносно низьких швидкостях руху.

Оливи И-Н-Е-68 (ИНСн-40), И-Н-Е-100 (ИНСн-65), И-Н-Е-220 (ИНСн-110). застосовують для змащування напрямних ковзання (швидкість переміщення 0,016–3,3 мм/с) та кочення металорізальних верстатів, ходових передач гвинт-гайка, верстатів високої точності та інших, де потрібна рівномірність повільних переміщень без ривків, а також для змащування пневматичного бурильного інструменту

Оливи И-Т-Д-68 (ИРн-40), И-Т-Д-100 (ИРн-75) та И-Т-Д-220 (ИРн-150)

використовують для зубчастих та черв'ячних передач, коробок передач, редукторів, мотор-редукторів, зубчастих муфт, які працюють при середніх та високих навантаженнях, у тому числі ударних, всіляких середньонавантажених елементів верстатного обладнання і автоматичних ліній. Крім того, ці оливи можна використовувати для змащування напрямних ковзання верстатів, за винятком верстатів високої точності, а також у циркуляційних системах мащення різноманітних механізмів, що працюють при підвищених навантаженнях.

Більшість індустріальних олив з присадками відповідає вищій категорії якості, а за експлуатаційними властивостями – рівню кращих закордонних зразків.

Нафтопереробна промисловість має необхідний асортимент олив з присадками для промислового обладнання. Збільшення обсягу виробництва таких олив має першорядне значення. Технічний прогрес у виробництві олив

для промислового обладнання взаємозв'язаний з прогресом у машинобудуванні, металургії та інших сферах використання. Це є запорукою раціонального використання олив з присадками.

12.3. Пластичні мастила

Загальні відомості. Пластичні мастила належать до особливої групи мастильних матеріалів. Вони являють собою складні колоїдні системи та містять: дисперсійне середовище – рідку змащувальну оливу; дисперсну фазу – твердий загусник; модифікатори структури і домішки – присадки та наповнювачі. Загусник, який вводиться в оливу, утворює у її об'ємі структурний каркас. В середині каркасу рідина утримується силами взаємодії між молекулами дисперсної фази та дисперсійного середовища.

Наявність рідкого і твердого компонентів у мастилах визначає їхню основну особливість, яка полягає у тому, що мастила, залежно від умов роботи, мають механічні властивості, а також властивості притаманні як рідкому, так і твердому тілу. За певних температур, у відсутності або під впливом малих навантажень, мастила деформуються як пружне тверде тіло, а при критичних навантаженнях, що перевищують механічну міцність каркасу, вони набувають плинності. Для пластичних мастил також характерна властивість відновлення зруйнованої структури після зняття навантаження (тиксотропні властивості).

Таким чином, загальною ознакою всіх пластичних мастил, крім залежності від складу і умов виготовлення, є наявність межі міцності, аномальної плинності та здатності до тиксотропного відновлення зруйнованої структури.

Властивості пластичних мастил залежать від властивостей компонентів, які входять до їхнього складу – оливи, загусника та інших речовин, передбачених рецептурою. У пластичних мастилах 70–95% маси, звичайно, припадає на частку дисперсійного середовища. Для виготовлення мастил використовують переважно нафтові мастильні оливи. Синтетичні і деякі рослинні оливи використовуються значно рідше і лише для виробництва спеціальних мастил.

Вид базової оливи залежить багатьох важливих властивостей пластичних мастил: структурна стабільність, в'язкісно-температурна характеристика, загущуюча властивість та інші. Одним із важливих показників, за яким добирають змащувальну оливу для виготовлення мастил, є в'язкість. Застосування олив з підвищеною в'язкістю знижує втрати мастила на випаровуваність, поліпшує адгезійні та антикорозійні властивості, водостійкість. Разом з тим, збільшення в'язкості погіршує низькотемпературні властивості. Для одержання низькотемпературних мастил використовують загущені оливи з високим індексом в'язкості. Для виготовлення мастил, які працюють при температурах 200°C і більше, використовують синтетичні рідини (полісилоксани, складні ефіри тощо). Від антиокислювальних властивостей оливної основи залежать працездатність

при підвищених температурах та термін служби мастила. Хімічний склад впливає на формування структури мастила та сумісність його з еластомірними ущільнюючими матеріалами.

Найважливішим компонентом пластичних мастил є загусник. Загусник, як правило, складає 5–30% маси, але його тип і концентрація у значній мірі визначають основні показники якості мастила: міцність, водостійкість, теплостійкість тощо. Відповідно до типу загусника мастила поділяють на: мильні, вуглеводневі, на органічних та неорганічних загусниках. Як загусники найбільше розповсюджені при виробництві мастил одержали мила. На частку пластичних мастил загущених милами припадає більша частина всіх мастил, які випускаються в Україні та за рубежом.

Мильні загусники являють собою солі жирних кислот, одержані в результаті їхньої нейтралізації лугами. За типом катіона молекули мила мастила поділяють на кальцієві, натрієві, літієві, барієві та ін. Залежно від складу жирів, які застосовують для виготовлення мильних загусників, розрізняють мастила на синтетичних, технічних жирних кислотах і природних жирах. Від типу катіона мила залежить загущуюча властивість, водостійкість і температура плавлення мастила. У зв'язку з різноманітністю умов застосування пластичних мастил для загущення однієї і тієї ж оливи використовують різні загущуючі речовини. З метою поліпшення експлуатаційних властивостей і розширення сфери застосування мастил для їхнього виготовлення використовують різноманітні мильні загусники у поєднанні один з одним або з загусниками іншої природи.

Крім мильних загусників, під час виробництва пластичних мастил застосовують також тверді вуглеводні загущуючі речовини (парафін, церезин, петролатум, озокерит і воски). Оскільки ці загусники мають слабку загущуючу властивість, їх вводять у оливу в значній кількості (20–30%). Загущені вуглеводнями пластичні мастила мають хороші тиксотропні властивості, не розшаровуються, хімічно стабільні і вологостійкі, що дозволяє використовувати такі мастила як найбільш ефективний консерваційний матеріал.

Як загущуючі речовини використовують також деякі органічні сполуки (різноманітні пігменти) з високою температурою плавлення. Мастила на органічних загусниках мають підвищену хімічну та термічну стабільність.

До групи неорганічних загусників належать силікагель, бентонітові глини, порошки металів та їхніх оксидів, технічний вуглець. Найбільше розповсюджені одержали пластичні мастила з силікагелевими загусниками. Мастила на неорганічних загусниках характеризуються високою хімічною стабільністю, хорошими змащувальними та високотемпературними властивостями. За захисною властивістю вони значно поступаються мильним мастилам.

Для поліпшення різноманітних функціональних властивостей пластичних мастил у них вводять стабілізатори й модифікатори колоїдної структури, присадки та наповнювачі.

Як правило, у пластичних мастилах застосовують ті ж присадки, що й у

змащувальних оливах: протизносні антиокиснювальні, інгібітори корозії та ін. З метою поліпшення протизносних та протизадирних властивостей пластичних мастил як наповнювачі використовують графіт, дисульфід молібдену, дисульфід вольфраму тощо. На відміну від присадок, наповнювачі нерозчинні у дисперсійному середовищі. Домішки, що вводять до складу мастил, не тільки поліпшують окремі показники їхньої якості, але й часто надають їм таких властивостей, які не можуть бути забезпечені іншими способами (герметизуюча дія, струмопровідні та інші властивості).

Основні функції, які виконуються пластичними мастилами, ті ж, що й під час використання рідких мастильних матеріалів, а саме: зниження спрацювання та енергетичних втрат на тертя, запобігання заїданню тертьових деталей, захист металевих поверхонь від корозії, ущільнення зазорів між спряженими деталями. Крім того, залежно від призначення і умов використання мастила можуть виконувати роль електроізоляційних або струмопровідних матеріалів, підвищувати коефіцієнт тертя, забезпечувати роботу твібосистем вузлів тертя в умовах вакууму тощо.

Пластичні мастила відзначаються високою працездатністю при малих швидкостях ковзання і високих тисках, під час дії ударних і знакозмінних навантажень, при змінному режимі швидкостей. Наявність межі плинності дозволяє мастилам необмежено довго утримуватися на похилих і вертикальних площинах, у негерметизованих трібосистемах та в спряженнях з великими зазорами. Вони не витікають під впливом сили ваги і інерції. Ця властивість мастил сприяє також захисту змащованого вузла від потрапляння в нього пилу, води та інших речовин. У порівнянні з рідкими оливами пластичні мастила мають більш високий ресурс працездатності, значно менше витрачаються, забезпечують невеликі витрати на обслуговування трібосистем. До недоліків мастил відносять низьку охолоджуючу здатність, більш складну подачу до трібосистем і складність під час використання в централізованих системах.

Завдяки різноманітності властивостей пластичні мастила застосовують у різних умовах експлуатації машин і механізмів, які не можуть бути вирішені використанням рідких олив з технічних та економічних причин. Основними об'єктами застосування мастил є важкодоступні, відкриті і негерметизовані трібосистеми. Використання пластичних мастил у добре герметизованих вузлах дозволяє забезпечувати тривалу роботу агрегатів без зміни і поповнення мастила до капітального ремонту, а в деяких випадках – на весь період існування трібосистем.

Можливості використання пластичних мастил у тих чи інших умовах залежать від основних їхніх властивостей. Як і всі мастильні матеріали, пластичні мастила оцінюються змащувальними, захисними та протикорозійними властивостями, а також властивостями, характерними лише для цього виду мастильних матеріалів: об'ємно-механічними (межа міцності на зсув і в'язкість), здатністю тиксотропних перетворень (механічна стабільність), температурою краплепадіння, пенетрацією, колоїдною, термічною, хімічною стабільністю й іншими показниками.

Межа міцності на зсув. Межею міцності пластичного мастила називають мінімальне напруження, при якому починається руйнування структурного каркасу мастила внаслідок зсуву одного його шару відносно іншого. Цей показник характеризує межу переходу мастила від стану спокою до пластичної течії. Межа міцності мастила залежить від швидкості навантажування і температури. За величиною межі міцності оцінюють здатність мастила надходити до робочих вузлів, утримуватися на рухомих деталях, не стікати по похилих і вертикальних поверхнях.

Стандартні методи випробувань передбачають визначення межі міцності мастила на зсув у капілярних та ротаційних пластометрах. Найпоширенішим методом є оцінка міцності мастил на пластометрі К-2 за ГОСТ 7143–73. Цей метод оснований на визначенні тиску, при якому при заданій температурі відбувається зсув мастил у капілярах пластометра. Для більшості пластичних мастил межа міцності при температурі 20°C становить 100–1000 Па.

В'язкість. За аналогією з рідкими змащувальними оливами, для яких відношення напруження зсуву (τ) до градієнта швидкості зсуву (D) характеризується динамічною в'язкістю, вказана залежність при усталеній течії пластичних мастил названа їх ефективною в'язкістю:

$$\eta = \frac{\tau}{D} \quad (12.15)$$

Однак між ефективною в'язкістю мастил і динамічною в'язкістю рідин є суттєва різниця. На відміну від рідких мастильних матеріалів в'язкість пластичних мастил не є постійною величиною при даній температурі, а суттєво залежить від швидкості зсування шарів. В'язкість пластичних мастил різко знижується при підвищенні температури і градієнта швидкості зсуву, асимптотично наближаючись до в'язкості базової оливи. Тому ефективну в'язкість мастил оцінюють при заданому градієнті швидкості та постійній певній температурі. В'язкісні властивості пластичних мастил характеризують криві залежності в'язкості від градієнта швидкості зсуву, які одержані в робочому інтервалі швидкостей деформації та температур. Аналітично в'язкісно-швидкісну характеристику мастила визначають як відношення величин в'язкості при мінімальній та максимальній швидкостях деформації і постійній температурі. Про вплив температури на в'язкість пластичних мастил судять за в'язкісно-температурною характеристикою, яка являє собою відношення в'язкості при мінімальній та максимальній температурах і постійному градієнті зсуву.

Механічна стабільність. У процесі експлуатації пластичні мастила зазнають механічного впливу, що призводить до руйнування їхніх структурних елементів. Як правило, це викликає зменшення межі міцності і в'язкості мастила. Після припинення деформації (відпочинку мастила) об'ємно-механічні властивості відновлюються до певного рівня. Рівень зміни цих властивостей при механічному руйнуванні та в процесі наступного відпочинку характеризує механічну стабільність пластичних мастил, яку оцінюють на спеціальних приладах—тикстометрах за ГОСТ 19295–73. Суть

оцінки полягає у визначенні зміни межі міцності на розрив після інтенсивного руйнування мастила у зазорі між ротором та статором тиксотметра і при наступному тиксотропному її відновленні.

Критеріями механічної стабільності є індекси руйнування мастила K_p та тиксотропного відновлення K_B :

$$K = \frac{\sigma_n - \sigma}{\sigma} \quad \geq \quad (12.16)$$

$$K = \frac{\sigma_B - \sigma}{\sigma} \quad \geq \quad (12.17)$$

де, σ_n , σ_B , σ — межа міцності на розрив відповідно початкового, зруйнованого та відновленого мастила.

Температура краплепадіння. Мінімальна температура, за якої відбувається падіння першої краплі розплавленого мастила під час його нагрівання із заданою швидкістю в спеціальному приладі, називається температурою краплепадіння. Цей стандартний показник (визначається за ГОСТ 6793–74) є одним з критеріїв переходу пластичних мастил у плинний стан при підвищенні температури. Залежно від температури краплепадіння мастила поділяють на низько-, середньо- та тугоплавкі. Для деяких мастил температура краплепадіння є оціночним показником верхньої температурної межі працездатності.

Пенетрація. Цей показник служить для оцінки консистенції (густоти) пластичних мастил. Його найчастіше використовують під час виробництва мастил для контролю додержання рецептури і технології. Згідно з ГОСТ 5346–78 вимірювання пенетрації полягає у визначенні глибини (у десятих частках мм) занурювання у досліджуване мастило стандартного конусу за 5 секунд при температурі 25°C під дією маси 150 г.

Колоїдна стабільність. Під час експлуатації та зберігання під впливом температури, тиску або інерційних сил можливе виділення дисперсійного середовища з мастила. Внаслідок цього погіршуються експлуатаційні властивості мастил. Тому пластичні мастила повинні характеризуватися якомога більшою колоїдною стабільністю. Колоїдна стабільність характеризує здатність мастил утримувати рідку фазу – оливу і не розшаровуватися. Вона залежить від стану та властивостей загусника і дисперсійного середовища, їхнього співвідношення та наявності поверхнево-активних речовин тощо. Колоїдна стабільність визначається на приладі КСА при заданих навантаженнях, часі і температурі за ГОСТ 7142–74. Метод визначення оснований на вимірюванні об'єму оливи, відпресованої з мастила. Цей показник виражається у відсотках.

Термічна стабільність. Деякі види пластичних мастил при використанні в умовах навіть короточасних підвищених температур можуть змінювати об'ємно-механічні та фізико-хімічні властивості. Здатність мастила зберігати свої властивості і перш за все не зміцнюватися під короточасним впливом високих температур називається термічною стабільністю. Внаслідок термозміцнення утруднюється надходження мастила до тертьових поверхонь, погіршуються його адгезійні властивості, а отже, і змащувальна властивість.

Як правило, термічну стабільність мастил оцінюють за зміною їхніх властивостей після нагрівання без механічного впливу. За ГОСТ 7143–73 схильність мастила до термозміцнення визначають на приладі СК шляхом вимірювання зміни меж міцності внаслідок годинної витримки мастила при 120°C.

Хімічна стабільність. Характеризується здатністю пластичних мастил зберігати властивості під впливом різноманітних хімічно активних речовин (кисню, кислот, лугів тощо). Звичайно, під цією характеристикою мають на увазі здатність мастил протистояти окисленню. Під час окислення мастил відбуваються зміни об'ємно-механічних властивостей, знижується колоїдна стабільність, накопичуються корозійно-агресивні речовини. Тому в умовах підвищених температур (вище 100°C) і в хімічно агресивних середовищах необхідні мастила з підвищеною стійкістю до окислення. Ця властивість особливо важлива для мастил, що є незамінними і працюють тривалий час. Хімічна стабільність пластичних мастил залежить від стійкості до окислення базової оливи, загусника, наявності присадок та інших факторів. Менше інших на окислювальні процеси впливають вуглеводневі загусники (парафін, церезин). Тому загущені цими продуктами мастила мають високу хімічну стабільність. Визначення хімічної стабільності виконують за ГОСТ 5734–76. Згідно з стандартом оцінюється кількість органічних кислот, які утворюються під час нагрівання мастила, нанесеного шаром товщиною 1 мм на мідну пластинку.

Класифікація пластичних мастил. Промисловість випускає широкий асортимент пластичних мастил різноманітного призначення, які відрізняються складом і властивостями.

Відповідно до ГОСТ 23258–78 “Смазки пластичные. Наименование и обозначение” класифікаційне позначення мастил складається з 5 літерних і цифрових індексів, розташованих у порядку, який вказує: групу (підгрупу) відповідно до призначення; загусник; рекомендований (умовний) температурний інтервал застосування; дисперсійне середовище; консистенцію мастила.

Згідно з вказаним стандартом за призначенням пластичні мастила поділяють на 4 групи – антифрикційні, консерваційні, канатні і ущільнювальні.

Антифрикційні мастила призначені для зниження тертя і зношування тертьових деталей. У свою чергу їх ділять на 12 підгруп, які позначають індексами: С – загального призначення (солідоли) для звичайних температур (до 70°C); О – загального призначення для підвищених температур (до 110°C); М – багатоцільові, працездатні від – 30°C до + 130°C в умовах підвищеної вологості; Т – термостійкі для робочих температур 150°C і вище; Н – морозостійкі, працездатні нижче –40°C; И – протизадирні і протизносні, призначені для підшипників кочення при контактних напруженнях вище 2500 МПа і підшипників ковзання – вище 150 МПа; Х – хімічно стійкі для трібосистем, контактуючих з агресивними середовищами; П – приладові для трібосистем приладів і точних механізмів; Т – редукторні (трансмісійні); Д –

приробіткові (дисульфідмолібденові, графітні та інші пасти) для полегшення складання, запобігання задирам і прискоренню приробітку; У – вузькоспеціалізовані (галузеві); Б – брикетні для тертьових поверхонь з використанням мастил у вигляді брикетів.

Група консерваційних мастил, яка позначена індексом З, призначена для запобігання корозії металевих поверхонь під час зберігання, транспортування і експлуатації.

Канатні мастила мають індекс К. Їх використовують для запобігання зносу і корозії сталевих канатів.

Ущільнювальні мастила призначені для герметизації зазорів; полегшення складання і розбирання арматури; сальникових пристроїв; різьбових, рознімних і рухомих з'єднань. Цей вид мастила позначається індексами: А – арматурні для використання в арматурах і сальникових пристроях; Р – різьбові; В – вакуумні для рухомих та роз'ємних з'єднань вакуумних систем. Загусник позначається першими двома літерами металу, який входить до складу мастила: Ка – кальцієве; На – натрієве; Ли – літієве; Ли-Ка – змішане літієво-кальцієве тощо. Комплексне мило позначається малою літерою “к”, після якої вказується індекс відповідного мила кКа, кВа і т. д.

Рекомендований температурний діапазон застосування мастила вказують дробом: у чисельнику – зменшену у 10 разів мінімальну температуру (без знака мінус), у знаменнику – зменшену у 10 разів максимальну температуру. Наприклад, індекс “3/12” відповідає температурному діапазону застосування від – 30° до + 120°С. За мінімальну температуру застосування приймають температуру, при якій в'с.

Тип дисперсійного середовища і наявність твердих домішок позначають малими літерами російського алфавіту: “у” – синтетичні вуглеводні; “к” – кремнійорганічні рідини; “г” – домішка графіту; “д” – домішка дисульфиду молібдену. У мастилах, виготовлених на нафтовій основі, індекс “н” не вказують. Його використовують лише у позначеннях мастил, виготовлених на суміші нафтового або іншого масла.

Залежно від значення penetрації мастила мають дев'ять індексів класу консистенції(табл. 12.16).

Приклад класифікаційного позначення літієвого мастила Литол 24: МЛи 4/13-З – мастило антифрикційне, багатоцільове (М) загущене літієвим милом (Ли), працездатне при температурах від – 40°С до + 130°С (4/13). Відсутність індексу дисперсійного середовища вказує, що мастило виготовлене на нафтовій основі. Остання цифра 3 характеризує консистенцію мастила (межі penetрації при 25°С становлять 220–250).

Таблиця 12.16 - Класи консистенції пластичних мастил (ГОСТ 5346-78)

Індекс класу консистенції	Пенетрація при 25°С	Індекс класу консистенції	Пенетрація при 25°С
00	400–430	4	175–205
03	335–385	5	130–160

1	310–340	6	85–115
2	265–295	7	нижче 70
3	220–250		

Використання і вибір пластичних мастил. При виборі пластичних мастильних матеріалів необхідно домагатись повної відповідності їх властивостей умовам роботи в обладнаннях, які вони повинні змащувати. Оскільки пластичні оливи використовуються переважно для змащування підшипників (головним чином, підшипників кочення), то більш за все приходится вирішувати проблеми підбору мастила для цих вузлів.

Підбір мастила в підшипниках здійснюється з врахуванням строку служби, частоти обертання, робочої температури, положення підшипника, початкового крутного моменту, ущільнення

Спосіб використання мастила в підшипниках кочення впливає на коефіцієнт тертя і строк служби підшипників. Для виконання основних трибологічних функцій мастило повинно завжди бути присутнім в трібосистемі. Кількість пластичного мастила в багатьох трібосистемах поповнюється періодично. В інших трібосистемах воно виконує свої функції протягом всього строку служби змащувального пристрою без поповнення.

У випадках підшипників кочення з покриттям і ущільненими дисками оптимальні експлуатаційні характеристики досягаються при заповненні підшипника мастилом на 30% об'єму. Якщо вони повністю заповнені мастилом, надлишок його швидко витискується з зони тертя в свободне середовище підшипника в залежності від частоти обертання.

Під час роботи мастила зазнають механічні, термічні і хімічні навантаження. Вони поглинають частки зносу та інші механічні домішки – пил, воду, агресивні гази і розчинники.

Зовнішні дії (навантаження, швидкість, температура) на трібосистему, а отже на пластичне мастило, руйнують його структуру, що призводить до змінення механічних і реологічних властивостей мастила. Температурні змінювання можуть призвести до руйнування колоїдної структури і виділенню дисперсійного середовища (оливи). В результаті погіршується змащування, а залишений загусник може склеювати трібосистему.

Збільшення температури вище температури плавлення компонентів мастила призводить до витікання його з трібосистеми, що може спричинити задир тертьових поверхонь. Механічні дії викликають зрізання волокон загусника, їх фрагментацію, розділення агрегатів, які утворюють просторову структуру, розкручування волокон і та ін. В результаті змінюється в'язкість мастила, межа текучості, пенетрація та інші властивості, пов'язанні з його структурою. При втраті 50% оливи внаслідок випаровування або синерезису корисний строк служби мастила в підшипниках знижується.

Основними параметрами роботи підшипників є навантаження, температура, швидкість обертання. Навантаження і швидкість належать до зовнішніх факторів. Температура в підшипнику залежить від температури оточуючого середовища і процесів виділення теплоти в результаті тертя.

Несуча здатність підшипників характеризується динамічною вантажопідйомністю C (Н) і граничною частотою обертання $n_{гр}$ (c^{-1}). Частіше використовують відносні показники C/P і $n/n_{гр}$, де P – еквівалентне навантаження на підшипник у відповідності з блоком навантаження, n – частота навантаження. Температура роботи підшипника – це температура, яка встановилась в результаті рівноваги між кількістю теплоти, підведеної до підшипника зовні, і кількістю теплоти, яка виділяється в результаті процесів тертя, з кількістю теплоти, що відводиться в оточуюче середовище.

Середня робоча температура більшої частини підшипників знаходиться в межах $30...80^{\circ}C$. В цьому діапазоні температур можуть робити практично усі пластичні мастила без негативного впливу на міцність їх структури. При температурі вище за $100^{\circ}C$ деякі мастила (звичайні кальцієві, натрієві, алюмінієві) не здатні працювати. При температурі до $120...150^{\circ}C$ можуть використовуватися мастила, загущені літієвими милами, комплексні мастила (Ca, Na, Al) і мастила, загущені неорганічними і органічними загусниками.

Проблеми змащування підшипників при негативних температурах пов'язана з зимовою експлуатацією машин і механізмів або їх експлуатацією в холодних кліматичних зонах. Хоча при низьких температурах ($-20^{\circ}...30^{\circ}C$) збільшується в'язкість дисперсної фази і мастило твердіє, опір обертанню підшипника залишається невеликим. В цих умовах нормальне змащування забезпечують усі мастила, за виключено тих, що виготовленні на оливах з великою в'язкістю. При температурі нижче $-(30^{\circ}...50^{\circ}C)$ використовуються низькотемпературні мастила на оливах з невеликою в'язкістю і кількістю загусника.

При виборі пластичних мастильних матеріалів враховують також вплив частоти обертання підшипників. Збільшення кутової швидкості і зсуву мастила руйнує його структуру і в значній мірі зменшує в'язкість. Враховуючи, що адгезія до поверхні тертя має обмежену величину, кутова швидкість має великий вплив на ефективність мащення. Потрібно також мати на увазі, що в умовах високих швидкостей і навантажень збільшується температура в підшипнику з можливістю теплової деструкції мастила і виникненню задиру і заїданню. Тому при зростанні навантаження кутову швидкість необхідно зменшувати. Щоб температура в контакті не перевищувала допустимих значень (звичайно при $C/P \leq 10...5$ кутова швидкість обмежується до 75% максимальної швидкості).

Враховуючи, що при даній частоті обертання на колову швидкість впливають розміри підшипників, для характеристики умов роботи мастила, використовують показник pd , де d – внутрішній діаметр підшипника. Приблизні значення цього показника для різних видів підшипників, що змащуються, приведені в таблиці 12.17.

Для підшипників, які працюють з частотою обертання <3000 об/хв. і $pd \leq 150000$ мм·об/хв можна використовувати будь-який вид мастила, при частоті обертання >5000 об/хв використовують високоякісні мастила з великою міцністю структури: літієві, комплексні (Ca, Al, Li) і полімерні. При великих частотах обертання краще працюють мастила на оливах з малою в'язкістю, але з високим класом консистенції – більш тверді.

Таблиця 12.17 - Приблизні максимально допустимі значення pn для підшипників

Тип підшипника	$pn, \cdot 10^4$ мм·об/хв
Кульковий	16...40
Роликовий	12...40
Конічний	10...25
З бочкоподібними роликами	80...22
Упорний кульковий	6...15

Сумісність використання пластичних мастил. Взаємна сумісність мастил залежить від загусників і присадок, вміщених в них. Несумісність проявляється в структурних змінах, особливо після короткочасного помірного нагріву суміші, впливаючого на penetрацію після перемішування, сінерезису, температури краплепадіння і т. ін. Зміну властивостей викликану зміненнями в композиції, точно прогнозувати неможливо навіть при використанні однакових мил і олив. Мастила з однаковим типом мил звичайно взаємно сумісні. Літієві мастила несумісні з натрієвими, кальцієві – з комплексними натрієвими (в деяких пропорціях компонентів змішування). Для виключення цих проблем старе мастило при її заміні необхідно повністю вилучати з трібосистем.

Несумісність пластичних мастил може бути обумовлена декілька факторами: кальцієві мастила стабільні в слабо підкислених середовищах, кальцієві комплексні – в лужних середовищах. Введення невеликої кількості кальцієвого мила в комплексне мастило не викликає змінення властивостей індивідуальних компонентів, тоді як добавка невеликої кількості комплексного кальцієвого мастила в кальцієву змазку змінює рН суміші, звичайно достатньої для значних структурних змінень. Введення мильних мастил в немильні призводить до обмінних реакцій між катіонами мил, присадками і іонами четвертинного амонію глини, в результаті яких руйнується структура гелю системи і внаслідок цього пом'якшується змазка.

Полурідкі антифрикційні мастила займають проміжне положення між оливою і пластичним мастилом. Вони звичайно являють собою мильні мастила з довгими волокнами на базі високов'язких олив. З одного боку це структуровані системи, хоча і з низькою концентрацією загусника (2...4%), подібно пластичним. З другого – подібно оливам, вони течуть під дією власної ваги. Завдяки більш високій в'язкості вони мають кращу несучу і демпфуючу здатність, ніж оливи, на базі яких вони виготовлені. Для покращення несучої здатності і адгезії, зниження зносу і запобігання задирів в ці мастила вводять присадки в незначній кількості (менш 2%), оскільки хімічно активні присадки перешкоджають формуванню оптимально колоїдної структури і погіршують контактну витривалість металу при жорстких режимах експлуатації трібосистем.

Перевага полурідких мастил над трансмісійними оливами полягає в їх ущільнюючих властивостях, малих втратах на втечі, високих адгезійних характеристиках, які особливо добре проявляються в режимі граничного мащення при запуску механізму.

Полурідкі мастила використовують для змащування тихохідних редукторів різного призначення (Трансол–100, –200, –300, Циатим–208 СТП–Л, СТП–3 та ін.).

Недоліком полурідких мастил є поганий тепловідвід від тертьових деталей, а також великі енергетичні втрати в порівнянні з оливами при підвищенні частоти обертання. Це обмежує колову швидкість зубчастих пар, змащених полурідкими мастилами (6 м/с).

Асортимент пластичних мастил. Промисловість випускає широкий асортимент пластичних мастил різноманітного призначення, які відрізняються складом і властивостями. Асортимент за призначенням та галузі використання антифрикційних мастил наведено в таблиці 12.18.

12.4. Тверді мастильні матеріали

Призначення, характеристика і властивості

У деяких трібосистемах, які працюють у специфічних умовах, коли можливості використання рідких олив і пластичних мастил надто обмежені або взагалі недопустимі, єдиним способом змащування є застосування твердих мастильних матеріалів (ТММ).

Вони використовуються для змащування трібосистем кочення і ковзання при високих питомих навантаженнях на поверхні кочення і при дуже низьких швидкостях ковзання (що є в зонах з дуже малою часткою гідродинамічного режиму мащення), а також для змащування електропровідних контактів високоточних механічних приладів, які вимагають дуже низьких коефіцієнтів тертя при пуску і для яких недопустиме забруднення оливою або пластичним мастилом в процесі експлуатації. Сучасні тверді мастильні матеріали створюються також переважно для використання в екстремальних умовах – глибокому вакуумі, при впливі радіації, дуже низьких (-240°C) і дуже високих (до 900°C і вище) температур. Використання ТММ доцільне у трібосистемах, працюючих в умовах вібрацій і ударних навантажень. Вони невибагливі у контакті із забрудненнями й самі не забруднюють деталі. Під час їх експлуатації не утворюються відходи, які вимагають утилізації. В цьому аспекті ТММ є по суті конструкційним матеріалом самої деталі.

Тверді мастильні матеріали можуть також не належати ні до одного з елементів тертьових деталей (наприклад, у вигляді порошку), можуть входити як наповнювач композиційного матеріалу або покриття одного або двох елементів трібосистеми. Крім того можна виділити суміші ТММ з сполученими, які полегшують їх нанесення на робочу поверхню, і нові антифрикційні мастила, головними представниками яких є металографічні матеріали.

У наш час застосовують різноманітні природні та штучні тверді мастильні матеріали. Їх умовно поділяють на 2 групи:

- неорганічні: шаруваті (графіт, дисульфід молібдену, дисульфід вольфраму WS_2 , диселеніди молібдену та вольфраму MoSe_2 , WSe_2 , нітрид

бору BN, фторирований графіт (CF_x)_n та ін.); нешаруваті (фториди й хлориди метилів CaF₂, BaF₂, ZrCl, окисли та ін.); м'які метали (Pb, Sn, In та ін.);
 - органічні полімерні матеріали (політетрафторетилен, поліініди тощо).

У таблиці 12.18 приведені показники щільності, коефіцієнту тертя і гранично припустима температура експлуатації деяких ТММ (сульфідів, селенідів і телуридів металів).

Таблиця 12.18 - Характеристика твердих мастильних матеріалів

З'єднання	Тип кристалічної грати	Щільність, г/см ³	Коефіцієнт тертя	Гранично допустима температура експлуатації, ° С	
BiS ₃	Ромбічна	7,40	0,07...0,14	500	—
CuS	Гексагональна	4,28	0,17...0,41	520	—
Cu ₂ S	Гексагональна	5,60	0,18	450	—
MoS ₂	Гексагональна	4,8...5,16	0,02...0,30	1100	400
NbS	Моноклина	5,9...6,0	0,04	1300	400
PbS	Кубічна	7,50...7,59	0,37	410	500
TaS ₂	Гексагональна	7,16	0,06	1500	—
WS ₂	Гексагональна	7,50...7,63	0,03...1,60	1400	500
NbSe ₂	Гексагональна	6,25	0,06...0,17	1350	350
TaSe ₂	Гексагональна	—	0,08	900	575
MoSe ₂	Гексагональна	6,90	0,03...0,22	1350	400
WSe ₂	Гексагональна	9,0	0,02...0,18	1350	350
MoTe ₂	Гексагональна	7,80	0,10...0,34	1240	400
WTe ₂	Ромбічна	9,44	0,27...0,49	1020	—

Важливою перевагою твердих змащувальних матеріалів перед іншими видами є зменшення зносів трібосистемах машин і механізмів при їх пуску і зупинці, а також при можливому виникненні так званого ефекту "оливого голодування" (наприклад, при запуску в умовах низьких температур).

Головним фактором забезпечення змащувальної дії в контакті твердих тіл є формування плівки з малим опором зсуву. При цьому шорсткі поверхні твердих тіл сприймають механічне навантаження на невеликій частки номінальної площини, а зсув реалізується в плівці, тому опір ковзання в цих умовах набагато нижче ніж у випадку відсутності плівки в зоні контакту.

Плівка твердозмащувальної речовини крім антифрикційної дії має також протизносні властивості. Оскільки в її присутності знижується імовірність розриву когезійних зв'язків в контактуючих тілах, знижується і імовірність зносу. Дуже важливо, що присутність твердого змащувального матеріалу зменшує і можливість появи між тертьовими поверхнями твердих часток зношування, що мають абразивну дію. Перелічувані фактори призводять в результаті до зниження інтенсивності адгезійного і абразивного зношування.

Недоліком твердих мастильних матеріалів є більш низьке відведення тепла від поверхонь тертя, а також відносно низький строк служби.

До найпоширеніших твердих мастил у автотракторному та сільськогосподарському машинобудуванні відносять графіт, нітрид бору дисульфід молібдену, політетрафторетилен.

Графіт є найбільш сталою кристалічною модифікацією вуглецю з яскраво вираженою шаруватою структурою. (рис 12.19)

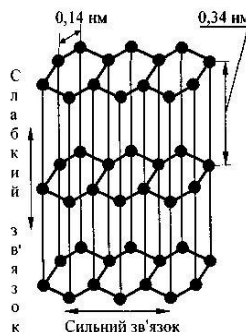


Рис 12.19 Схема кристалічних ґрат графіту

В гексагональних кристалічних ґратах графіту розташовані атоми вуглецю, зв'язані уздовж ліній шестикутників ковалентними силами. Зв'язок між кристалічними площинами, відстані між якими здійснюється за рахунок слабких Ван-дер-Ваальсових взаємодій, енергія котра на 3...4 порядки нижче, ніж у ковалентних. Тому зсувна міцність графіту в напрямку, рівнобіжним заповненими атомами вуглецю кристалічним площинам, набагато менше, ніж у напрямках, що відповідають розриву ковалентних зв'язків.

Величина енергії зв'язку між структурними шарами графіту залежить від адсорбції сторонніх речовин. Пара води, кисень, вуглеводні, проникаючи в міжплощинні простори графіту, збільшують відстань між його шарами й знижують тим самим енергію зв'язку між ними. Тому мастильні властивості графіту слабо виявляються у вакуумі і при температурі більш 100° С.

Найбільш сприятливі мастильні властивості графіту виявляються в присутності вологи. Ефект мастильної дії графіту визначається тим, що молекули води, що утримуються в повітрі, сорбуються в міжплощинних проміжках і ще більше послабляють міжплощинні зв'язки. Під час втрати адсорбційних шарів води внаслідок нагрівання або зниження атмосферного тиску антифрикційні властивості графіту погіршуються. При відсутності вологи коефіцієнт тертя поверхонь, розділених графітовим прошарком, досягає 0,3, у той час, як при наявності сорбованої вологи він складає приблизно 0,05. Ця обставина обмежує використання графіту. Однак у загальному машинобудуванні графіт знайшов широке застосування для мащення сухих нарізних сполучень, канатів як добавку в трансмісійні оливи і т. ін.

Гарна змащувальна властивість графіту за нормальних умов забезпечується завдяки здатності міцно зчіплюватися з поверхнею чавуну, сталі, хрому та інших конструкційних матеріалів. При дуже високих температурах поява оксидного шару на поверхні графіту може поліпшувати

його мастильні властивості. Цьому сприяє хороший зв'язок графітових плівок з оксидами металів, що беруть участь у терті.

Хороші мастильні властивості графіту виявляються під час змащення сталевих та мідних поверхонь, схильних до окислювання. З підвищенням температури міцність і модуль пружності графіту зростають. Тому графіт не лише термостійкий, а й не схильний до повзучості під час сильного нагрівання. Він має високу температуру плавлення (3000°C), непогану електропровідність, пластичним він стає при температурі 2000°C . Тому графіт є добрим високотемпературним мастилом й дуже ефективний для використання в щітках та інших ковзких електроконтактах. Необхідно відзначити також такі властивості графіту, як малу хімічну активність, стійкість до дії більшості кислот і лугів, практичну інертність до радіоактивного випромінювання.

Графіт добре використовується як у складі компонента різних антифрикційних матеріалів: чавуна, композицій на полімерній основі, графітовмісних змащувальних матеріалів.

Нітрид бору в модифікації, близький до графіту, має також гексагональну структуру з відстанню між атомами в площині базису, рівним $2,5\text{\AA}$, між площинами базису – $5\text{\AA}$.

На відміну від графіту площини спайності нітриду бора складаються з різних атомів (бор і азот). Механізм дії нітриду бора при терті схожий з графітом, однак значення коефіцієнта тертя більш високі. Це мабуть пов'язано підвищеною в порівнянні з графітом міцністю між поверхнями кристалітів. У високотемпературних умовах роботи трібосистеми (до 900°C) гарні результати дає використання суміші графіту з нітридом бора. Графітні плівки забезпечують мащення до температури 500°C , а нітрид бора – в інтервалі температур $500\ldots 900^{\circ}\text{C}$. Трібологічні характеристики графіту і нітриду бора наведені в таблиці 12.20.

Таблиця 12.20 - Характеристики графіту і бора

Матеріал	Коефіцієнт тертя		Вакуум, Па
	на повітрі	у вакуумі	
Графіт:			
природний	0,19	0,44	$6 \cdot 10^{-1}$
паралітичний	0,18	0,50	$6 \cdot 10^{-1}$
Нітрид бора	0,25	0,70	$2 \cdot 10^{-1}$

Нітриду бора забезпечує низький коефіцієнт тертя (0,15 при 600°C) в умовах високих температур.

Гарні трібологічні властивості має також дисульфід молібдену MoS_2 – природний мінерал (молібденіт), можливе також використання синтетичного дисульфиду молібдену

Дисульфід молібдену (MoS_2), як і графіт має шарувату гексагональну кристалічну структуру (рис 12.21.)

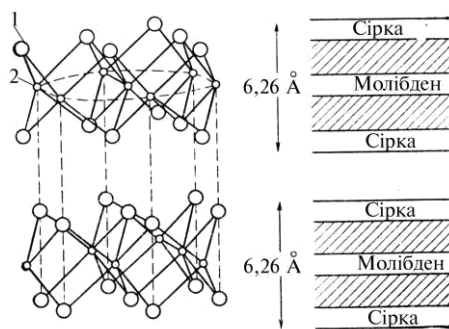


Рис. 12.21. Кристалічна гексагональна структура дисульфиду молібдену: 1 – молібден; 2 – сірка

Шари сірки, які утворюють поверхні кристала MoS_2 , забезпечують сильну адгезію до поверхні металу. Крім того, змащувальна дія дисульфиду молібдену так само, як і графіту, заснована на його кристалічній структурі з дуже малою поверхневою енергією базисних площин. Відстань між атомами сірки, що знаходяться в різноманітних шарах кристалу, значно більша, ніж всередині шарів. Тому слабкі зв'язки між шарами сірки забезпечують вільне переміщення шарів відносно один одного. З другого боку, всередині шару діють сильні ковалентні зв'язки між Mo і S , забезпечуючи високу міцність базисних шарів. Вказана анізотропія (розщеплення шарів у певній площині) у будові кристалічної решітки MoS_2 виражена тим сильніше, чим чистіша речовина. Тому найбільш ефективно мастильні властивості MoS_2 виявляються в умовах вакууму. На відміну від графіту, при наявності води коефіцієнт тертя MoS_2 та спрацьовування збільшуються.

Дисульфід молібдену може сприймати статичні навантаження до $3 \cdot 10^3$ МПа і динамічні до 10 МПа, тобто він практично працездатний до тисків, рівних границі текучості багатьох металів. Для підвищення довговічності антифрикційних покриттів на основі дисульфиду молібдену до нього добавляють сульфіди деяких металів в якості модифікаторів.

Вважається також перспективним використання MoS_2 разом з графітом в різних пропорціях в залежності від вимог до ТММ.

До недоліків дисульфиду молібдену слід віднести те, що він легко окислюється. При підвищених температурах MoS_2 окислюється до триоксиду молібдену, що негативно впливає на мастильні властивості й адгезію дисульфиду молібдену до поверхні металу.

Дисульфід молібдену найбільш ефективний у різноманітних вузлах тертя ковзання (шарніри, важелі, шліцьові та різьбові з'єднання, ланцюгові та зубчасті передачі та ін.).

Достоїнствами графіту і дисульфиду молібдену є те, що вони часто зустрічаються в природі у вигляді мінералів, що добуваються промисловими способами.

В якості протекторних механічних мастил широко використовують безперервні полімерні покриття із термопластичних і термоактивних пластмас. До полімерів, що використовують в якості ТММ, відносять поліетилен, нейлон, капрон і політетрафторетилен.

Політетрафторетилен (ПТФЕ) являє собою термопластичний матеріал, який має унікальні антифрикційні властивості. Молекули цього полімеру являють собою міцні вуглецеві ланцюги з елементарним кільцем у вигляді $-\text{CF}_2-$ з надзвичайно слабкими міжмолекулярними зв'язками. ПТФЕ створює поверхні з дуже малою енергією, що забезпечує ефективну змащувальну дію. Висока хімічна інертність полімеру та його нездатність сорбувати вологу дозволяють використовувати ПТФЕ у найрізноманітніших умовах, включаючи вакуум, різні газові середовища, підвищені та низькі температури.

В процесі тертя молекули ПТФЕ переносяться на відповідну деталь і орієнтуються в напрямі ковзання. При помірних навантаженнях і швидкостях ПТФЕ перевищують усі ТММ, однак в умовах підвищених навантажень і швидкостей зношування і тертя цього полімерного покриття різко збільшується. Крім того, ПТФЕ має низьку теплопровідність, недостатню механічну міцність, великий коефіцієнт лінійного розширення і незначну адгезію до покритої поверхні.

Ефективність використання твердих мастильних матеріалів залежить від конструкції трибосистеми, підготовки його поверхні й способу нанесення. Тверді мастильні матеріали наносять: у порошкоподібній формі, у вигляді суспензії, пасти, лакових покриттів, металевої плівки з м'якого металу й хімічних покриттів із солей металів. Тверді мастильні матеріали можуть бути використані також як домішки, які суттєво підвищують ефективність рідких олив і пластичних мастил. Суспензії з твердими мастильними матеріалами можна вводити в моторні, трансмісійні, гідравлічні оливи й мастильно-охолодні рідини для поліпшення їх антифрикційних властивостей.

Методи і технологія нанесення

У промисловості застосовують методи і технології нанесення покриттів у залежності від умов експлуатації трибосистем (навантаження, швидкості ковзання, температура) і необхідного технічного ресурсу. Усі методи можна розділити на три групи.

Перша група. Нанесення покриттів із суспензій, що складаються з антифрикційного наповнювача, що зв'язує речовини і розчинника. Суспензії наносяться напилюванням з пульверизатора з наступним сушінням і отвердінням, можливе нанесення пензликом або зануренням деталі. Такі технології застосовують при нанесенні покриттів, призначених для роботи на повітрі, у вакуумі і середовищі інертних газів при малих і середніх тисках, помірних температурах і швидкостях ковзання. У якості сполучних використовують органічні (фенольні, епоксидні, кремнійорганічні смоли) і неорганічні типу ВНИИ НП (ВНИИ НП-209, ВНИИ НП-212, ВНИИ НП-213 і ін.).

Друга група. Нанесення покриттів механічним (натирання, галтівка, вібкат натрію, фосфати і борати металів), фізичним (катодний, іонний, плазмовий, детонаційний, газо-термічний, пневматичний та ін.), електрофізичним (електрофоре́з) і хімічним способами.

Механічні методи нанесення покриттів забезпечують зчеплення часток, наприклад, часток MoS_2 , завдяки їхній адгезії до металу і впровадження в поверхневий шар при механічних процесах натирання, галтівки, віброгалтівки і т. ін.

Третя група. Нанесення покриття методами дифузійної хіміко-термічної обробки металевих деталей деякими газами (сірководнем, сірковуглецем і ін.). Відміною рисою покриттів, які наносяться цим методом, є наявність у покриттів синтетичного MoS_2 значної товщини (до 100 мкм) і збереження працездатності у вакуумі в широкому інтервалі температур ($-200\ldots 850^\circ \text{C}$). Цей метод дозволяє одержати більш міцне зчеплення покриття з поверхнею деталі, тому що в цьому випадку має місце не адгезія або механічне впровадження часток, а їхній хімічний зв'язок з металом.

Досвід застосування таких покриттів досить різноманітний. Так, наприклад, поряд з моношаровими застосовують багатошарові покриття, наприклад, покриття з м'якою металевою підкладкою. Підкладку одержують електролітичними методами, напилюванням у вакуумі та ін.

У найбільш відповідальних випадках, наприклад, в роз'ємних електроконтактів, використовують багатошарові металеві покриття, що забезпечують плавне наростання зсувного опору в міру поглиблення в поверхню.

Як полімерні покриття звичайно використовують термопласти: капрон, нейлон, фторопласт та ін. Часто в полімер додають у якості наповнювача графіт або дисульфід молібдену. Однак покриття на основі термопластів експлуатуються лише в слабко навантажених вузлах, оскільки при експлуатації виявляються наступні недоліки: різке падіння міцності з ростом температури, плин під навантаженням, слабка адгезія до деталі.

Досить ефективні покриття у виді м'яких хімічних сполук, сформованих на поверхні хімічним шляхом за рахунок обробки реагентами, що містять хлор, йод, сірку, фосфор. При цьому на поверхні утворюються тонкі, міцно зв'язані з основою плівки хлоридів, йодидів, сульфідів, фосфатів.

Досить доцільно використовувати прийоми поповнення покриття у міру зношування. До числа таких прийомів відноситься ротапринтний метод поповнення запасу покриття на робочій поверхні.

На рис. 112.22 показані деякі варіанти ротапринтного методу

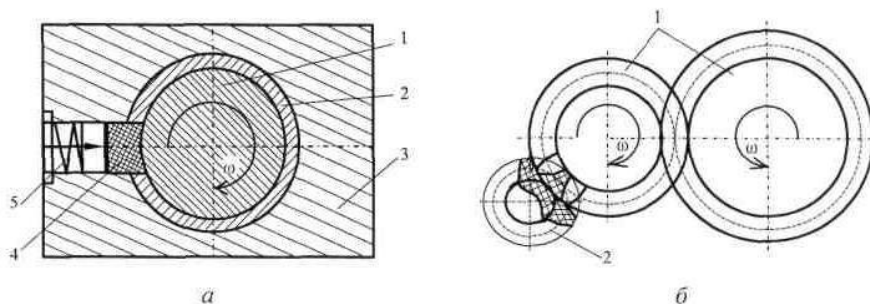


Рис 12.22. Ротапринтний метод поповнення покриттів

На схемі, рис. 12.10 а, показаний спосіб подачі мастильного матеріалу в підшипник ковзання. Вал 1 обертається у втулці 2, встановленої в корпусі 3. До поверхні вала постійно притиснутий вкладиш 4 із покриття за допомогою пружини 5. На схемі, рис. 12.1, б, зубчаста передача 1 постійно змазується за рахунок шестірні 2, виготовленої з армованого покриття.

Починаються спроби керування мастильною дією покрить. При обробці поверхонь, покритих шаром покриття (графіт, дисульфід металів та ін.), пучком прискорених іонів можна домогтися різкого зниження коефіцієнта тертя (аномально низьке тертя).

Цікавий прийом застосування покриття у поле постійних магнітів. Тут покриття змішують з колоїдно-дисперсним феромагнітним порошком. Наприклад, на тертьових поверхнях у зоні зачеплення шестірень розміщається пара магнітів, які створюють магнітне поле. Порошкова суміш подається в зону зачеплення і утримується там магнітним полем, забезпечуючи постійне мащення контакту зубів. Шорсткуваті лускаті частки феромагнетику механічно утримують частки покриття.