

Лекція 9

ЗМАЩУВАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ

План

- 9.1. Змащувальні матеріали. Класифікація змащувальних матеріалів
- 9.2. Експлуатаційно-технічні вимоги до мастил. Основні властивості мастил
- 9.3. Основні види змащувальних матеріалів
- 9.4. Присадки до змащувальних матеріалів. Загальні відомості
- 9.5. Принцип вибору присадок до мастильних матеріалів

9.1. Змащувальні матеріали. Класифікація змащувальних матеріалів

Мастила застосовують для зниження зношеності й опору тертю деталей машин. При цьому основним є зниження, а, в міру можливості, запобігання зношуваності – найважливішому фактору, що негативно впливає на довговічність машин і їх працездатність. Крім цих двох функцій, мастила мають відводити тепло із зони тертя, захищати змащені поверхні від корозійного впливу зовнішнього середовища, ущільнювати зазори між сполученими деталями, видаляти із зони тертя продукти зношеності, корозії та інші забруднення, а в окремих випадках виконувати функції, що не стосуються змащення, наприклад, передавати зусилля у гідравлічних системах.

Здатність мастила виконувати і зберігати всі ці функції якомога триваліший час визначається його експлуатаційними властивостями.

Щоб поліпшити експлуатаційні властивості мастил, у них уводять присадки. Мастило з присадками називають легованим, а його нелеговану основу – базовим мастилом.

Мастильні матеріали класифікують за агрегатним станом, видом вихідної сировини, способом здобуття та за цільовим призначенням.

За агрегатним станом мастильні матеріали розрізняють рідкі (мастила), пластичні (змащення), тверді та газоподібні, а за видом вихідної сировини – нафтові (мінеральні), тваринні, рослинні й синтетичні. Нафтові мастила поділяють на дистилятні, залишкові й компаундні.

Перелік мастил за цільовим призначенням дуже великий. Їх поділяють на мастила моторні, трансмісійні осьові, індустріальні, гідравлічні, турбінні, компресорні, електроізоляційні і технологічні для приладів.

Класифікація автомобільних мастил. Визначальними показниками вибору автомобільних мастил є в'язкість і експлуатаційні властивості.

Класифікація моторних мастил за в'язкістю

Класифікація моторних мастил за ГОСТом 17479.1. Відповідно до ГОСТу 479.117 залежно від величини кінематичної в'язкості за температури 100°C моторні мастила поділяють на 22 класи: чотири зимові (3_з–6_з), вісім літніх (6–24) і десять всесезонних (33/8–6_з/16). Дробові класи вказують, що за в'язкістю за температури мінус 18°C мастило відповідає класу, зазначеному в чисельнику, а за в'язкістю за температури 100°C – класу, зазначеному в знаменнику.

Класифікація в'язкості моторних мастил за SAE J 300. Відповідно до SAE

J 300 моторні мастила поділяють за в'язкістю на шість зимових (DW – 25W) і вісім літніх (20—60) класів.

Для всесезонних моторних мастил упроваджено подвійне номерне позначення (наприклад, SW-30, 15W-40, 20W50 і т.д.), причому перша цифра означає відповідність зимовому класу в'язкості за низькотемпературними властивостями, а друга – відповідність літньому класу за високотемпературними.

Класифікація трансмісійних мастил за в'язкістю

Класифікація в'язкості трансмісійних мастил за ГОСТом 17479.2.

Відповідно до ГОСТу 17479.2 залежно від величини кінематичної в'язкості за температури 100°C за ГОСТом 33 трансмісійні мастила поділяють на чотири класи (9,12,18,34).

Класифікація в'язкості трансмісійних мастил за SAE J 306.

Відповідно до SAE J 306 трансмісійні мастила поділяють на сім класів в'язкості: чотири зимові (70W–85W) і 3 літні (90–250).

Для всесезонних моторних мастил уведено подвійне номерне позначення (наприклад, 75W-90, 85W-140 і т. д.), причому перша цифра позначає відповідність зимовому класу в'язкості за низькотемпературними властивостями, а друга – відповідність літньому класу за високотемпературними властивостями.

Інші класифікації мастила за в'язкістю

Класифікація в'язкості за AGMA. Класифікація Американською асоціацією виробників зубчастих передач (AGMA) була розроблена для редукторних мастил. Відповідно до неї мастила класифікують залежно від в'язкості, вимірюваної в універсальних секундах Сейболта SUS за температури 100°C і 210°C і наявності в мастилах протизадирних (EP) присадок.

Класифікація в'язкості за ISO. Класифікація в'язкості за ISO 3448 розроблена для індустріальних мастил, які залежно від кінематичної в'язкості

за температури 40°C поділяють на 18 класів. У повному обсязі ця класифікація використовується у ГОСТі 17479.4-87 «Мастила індустріальні. Класифікація і позначення».

Класифікація базових мастил за в'язкістю. У США використовується класифікація базових мастил залежно від їх в'язкості, що вимірюється в універсальних секундах Сейболта. Мастила селективного очищення (Neutral (N) – нейтральне) класів 100 N, 150 N, 200 N, 300 N, 400 N, 500 N, 600 N і 700 N регламентуються за в'язкістю за температури 100°C, а мастила залишкові (Brightstock (Brt) – брайтсток) класів 135 Brt і 150 Brt – за в'язкістю за температури 210°C.

Класифікація моторних мастил за експлуатаційними властивостями

Класифікація моторних мастил за ГОСТом 17479.1. За цим ГОСТом, залежно від сфери застосування, моторні мастила поділяють на групи А, Б, В, Г, Д і Е (табл. 9.1).

**Таблиця
9.1**

Групи моторних мастил за експлуатаційним призначенням згідно з ГОСТ 17479.1-85

Група мастил за експлуатаційними властивостями		Рекомендована сфера застосування
1		2
А		Нефорсовані бензинові двигуни і дизелі
Б	Б ₁	Малофорсовані бензинові двигуни, що працюють в умовах, які призводять до утворення високотемпературних відкладень і корозії підшипників
	Б ₂	Малофорсовані дизелі
В	В ₁	Середньофорсовані бензинові двигуни, що працюють в умовах, які сприяють окиснюванню мастил й утворенню відкладень усіх видів мастильного матеріалу
	В ₂	Середньофорсовані дизелі підвищеними вимогами до антикорозійних, протизносних властивостей мастил і здатністю запобігати утворенню високотемпературних відкладень
Г	Г ₁	Високофорсовані бензинові двигуни, що працюють у важких експлуатаційних умовах, які сприяють окиснюванню мастил, утворенню відкладень усіх видів і корозії
	Г ₂	Високофорсовані дизелі без наддування або з помірним наддуванням, що працюють в експлуатаційних умовах, які сприяють утворенню високотемпературних відкладень
	Д ₁	Високофорсовані бензинові двигуни, що працюють в експлуатаційних умовах важчих ніж для мастил групи Г

Д	Д ₂	Високофорсовані дизелі з наддуванням, що працюють у важких експлуатаційних умовах або коли застосовуване паливо вимагає використання мастил з високою нейтралізуювальною здатністю, антикорозійними і протизносними властивостями, малою здатністю до утворення усіх видів відкладень
	Е ₁	Високофорсовані бензинові двигуни і дизелі, що працюють в експлуатаційних умовах, важчих, ніж для мастил груп Д ₁ і Д ₂
Е	Е ₂	Вирізняються підвищеною диспергувальною здатністю, кращими протизносними властивостями

Позначення моторних мастил, що застосовуються в автомобілях, тракторах, тепловозах, сільськогосподарській, дорожній, судновій та іншій техніці, встановлено ГОСТом 17479.1-85 (зміни 1–3). Після прийняття зміни 3 збільшилася кількість класів в'язкості і змінилися їхні границі, введені нові групи за призначенням й експлуатаційними властивостями. При цьому трохи змінилась і термінологія. *Класифікація моторних мастил за ААІ*. Стандарт Асоціації автомобільних інженерів (ААІ) Російської Федерації (СТО ААІ 003-98) установлює класифікацію моторних мастил для автомобільних двигунів, побудовану за типом відкритих класифікацій API і ACEA, установлює загальноприйняті принципи позначення мастил з указанням їх торговельної марки і регламентує загальні технічні вимоги до них.

Мастила класифікують за в'язкістю – температурними й експлуатаційними властивостями. Залежно від в'язкісних характеристик за додатних і від'ємних температур моторні мастила поділяють на класи в'язкості за 8AE1300.

Класифікація моторних мастил за ACEA. Класифікація встановлює мінімальний рівень якості моторних мастил для бензинових двигунів, а також мало- і великовантажних дизелів, прийнятих для членів ACEA.

Позначення мастил відповідно до класифікації ACEA включає ряд букв і цифр, що позначають клас і категорію, а також додаткові відомості – номер року введення або чергового видання.

Класифікація моторних мастил API. Класифікація API неодноразово переглядалася, змінювалась і доповнювалась. Принциповою основою класифікації є поділ мастил на дві категорії і ряд класів.

Категорія S (Service) – мастила для чотиритактних бензинових двигунів легкових автомобілів, мікроавтобусів і автофургонів. У порядку зростання експлуатаційних характеристик у цю категорію включено такі класи мастил: SA, SB, SC, SD, SE, SF, SG, SH, SI.

Категорія C (Commercial) – мастила для чотиритактних і двотактних дизелів автомобілів, сільськогосподарської і дорожньо-будівельної техніки. У порядку зростання експлуатаційних характеристик включено такі класи мастил: CA, CB, CC, CD II, CE, CF, CF-2, CF-4, CG-4 і CH-4.

Цифри і позначення означають, що мастила класів CD II, CF-2

призначені для використання в двотактних дизелях, а CF-4 і CG-4 – для чотиритактних.

Класифікація моторних масил ILSAC. Класифікація Міжнародного комітету зі стандартизації та допуску до застосування мастильних матеріалів (ILSAC) поки містять два класи масил для чотиритактних бензинових двигунів

– GF-1, GF-2. За своїми експлуатаційними властивостями ці класи майже ідентичні. Основна відмінність полягає в тому, що мастила класів OP-1 і CP-2 мають енергозберігаючі властивості. Крім того, ці мастила мають бути всесезонними, причому зимова характеристика обмежується трьома найменш в'язкими класами (OW, 5W, 10W), а літній клас може бути кожним.

Класифікація трансмісійних масил за експлуатаційними властивостями.

Класифікація трансмісійних масил за ГОСТом 17479.2.

Залежно від рівня експлуатаційних властивостей трансмісійні мастила поділяють на п'ять груп: ТМ 1, ТМ 2, ТМ 3, ТМ 4, ТМ 5.

Позначення мінеральних трансмісійних масил, що застосовуються для змащування агрегатів трансмісій автомобілів, тракторів, тепловозів, сільськогосподарських, дорожніх, будівельних машин і суднової техніки, встановлено ГОСТом 17479.2-85. Позначення складається з груп знаків, перша з яких позначається буквами ТМ (трансмісійне мастило); друга група знаків позначається цифрами і характеризує належність до групи масил за експлуатаційними властивостями; третя – позначається цифрами і характеризує клас кінематичної в'язкості.

Наприклад, ТМ-5-9_з розшифровується так: ТМ – трансмісійне мастило; 5 – мастило з протизадирними присадками високої ефективності та багатофункціональної дії; 9 – клас в'язкості; з – мастило містить згущувальну присадку.

Класифікація трансмісійних масил за API. Відповідно до цієї класифікації всі трансмісійні мастила залежно від рівня експлуатаційних властивостей поділяють на дев'ять класів: GL-1, GL-2, GL-3, GL-4, GL-5, GL-6, MT-1, PG-1 і

PG-2. Клас GL-6 на сьогодні не використовується, оскільки класифікаційні вимоги до цих масил застаріли. Не набули поширення класи PG-1, PG-2, уведені

1988 року.

Класифікація багатофункціональних масил для тракторів. Для експлуатації тракторів, дорожньої і будівельної техніки потрібні моторні, трансмісійні та гідравлічні мастила. Таке різноманіття типів масил створює труднощі у процесі експлуатації техніки, тому очевидним є прагнення фахівців замінити їх одним багатофункціональним мастилом, здатним

працювати в усіх агрегатах мобільної техніки і начіпних агрегатах. Вирішення цього завдання досить непросте, оскільки вимоги до різних типів мастил різні, а іноді й суперечливі. Проте завдяки досягненню компромісу створено мастила типу STOU і UUTO.

Мастила типу STOU мають бути працездатними у двигунах, агрегатах трансмісій (коробках передач, головних передачах, кінцевих передачах, гідравлічних гальмах, муфтах зчеплення) і гідравлічних пристроях для навішування знарядь, відповідати вимогам класифікацій за в'язкістю, експлуатаційними властивостями моторних і трансмісійних мастил, а також спеціальним вимогам фірм-виробників техніки.

Мастила типу UUTO повинні відповідати вимогам класифікацій за в'язкістю, експлуатаційними властивостями трансмісійних мастил і спеціальним вимогам фірм-виробників техніки. Подальшим розвитком мастил типу UTTO є мастила ERTTO на основі рослинних базових мастил, що відповідають підвищеній вимозі захисту навколишнього середовища.

9.2. Експлуатаційно-технічні вимоги до мастил. Основні властивості мастил

Великі питомі навантаження і високі температури у вузлах тертя, вплив агресивних середовищ, пари води, відпрацьованих газів і постійний контакт з киснем повітря – усе це не дуже сприятливо позначається на показниках якості мастила. Ускладнює роботу також широкий діапазон зміни температури навколишнього повітря і навантаження, за яких працюють двигуни.

Порівняно недавно функціональні властивості багатьох мастил оцінювали насамперед за їхніми в'язкісно-температурними характеристиками і мастильною здатністю. На тепер вимоги до експлуатаційних властивостей мастил значно розширилися і підсилилися, що й зумовило введення більшої кількості показників властивостей мастил. У загальному мастила повинні мати:

- 1) оптимальні в'язкісно-температурні властивості, що забезпечують рухливість за низьких температур і важливі для створення міцної мастильної плівки на робочих поверхнях у широкому діапазоні температур;
- 2) змащувальні властивості, що забезпечують мінімізацію тертя і різних видів зношування;
- 3) високу стійкість до окиснювання, що запобігає значній зміні хімічного складу мастил у процесі їх роботи;
- 4) мийні властивості, що впливають на зниження схильності мастил до утворення різних відкладень на робочих поверхнях і в системі змащення;
- 5) безперебійне надходження до усіх вузлів тертя двигуна;
- 6) надійне охолодження тертьових деталей і відведення теплоти від вузлів тертя;

7) винесення продуктів зношування із зони тертя і захист цієї зони від проникнення в неї шкідливих домішок із зовнішнього середовища;

8) відсутність корозійної агресивності стосовно деталей двигуна, захисту від шкідливого впливу кисню повітря і парів;

9) якомога більшу хімічну стабільність, відсутність здатності до окиснювання в умовах високих температур і безпосереднього контакту з гарячими деталями і до утворення нагару, лакових плівок і липких відкладень (шламу) на внутрішніх поверхнях двигуна;

10) протипінні властивості (здатність не утворювати стійкої і повільно спадної піни);

11) мінімальну токсичність;

12) низьку вартість і широку сировинну базу.

Крім того, в мастила має бути низька випаровуваність, піноутворююча здатність й емульгованість, мастило не має чинити негативного впливу на ущільнювальні матеріали, не бути токсичним, не піддаватися біопшкодженням, не змінювати властивостей під час збереження і регенерації, легко транспортуватись і не викликати забруднень навколишнього середовища.

Такі вимоги дуже різноманітні та суперечливі, вони роблять завдання створення надійних і ефективних мастил винятково важким. Їх можна задовольнити тільки за умови, що такі мастила мають необхідні фізико-хімічні властивості, такі, наприклад, як в'язкість, температура застигання, хімічна стабільність і ряд інших.

Основні властивості мастил. В'язкість – найважливіша фізична (об'ємна) властивість мастил, оскільки її величина передусім визначає можливості рідкого змащування поверхонь тертя.

В'язкістю, або внутрішнім тертям рідини називають опірність відносному зрушенню її шарів під дією прикладеної до неї сили. Така сама сила створює в різних рідинах різні швидкості зрушення шарів, розміщених один від одного на однаковій відстані. Таким чином, в'язкість впливає на несучу здатність мастильного шару і характеризує пошкодження мастил в експлуатації.

В'язкість може бути динамічною і кінематичною. Динамічна в'язкість, або коефіцієнт в'язкості η кількісно характеризує опір рідини зсувові її шарів. У системі СІ одиницею динамічної в'язкості є паскаль-секунда, що дорівнює динамічній в'язкості середовища, дотичне напруження якого (за ламінарної плинності й різниці швидкостей шарів, розміщених на відстані 1 м по нормалі до швидкості, яка дорівнює 1 м/с) дорівнює 1 Па. Динамічна в'язкість ньютонівських рідин є фізичною константою, що залежить тільки від температури і тиску.

Слід зазначити, що ньютонівськими рідинами називають рідини, які підпадають під закон Ньютона. Ньютонівські рідини характеризуються тим, що напруження зрушення τ у них є лінійною функцією градієнта швидкості зрушення dV_x/dy .

У мастильній техніці в'язкість мастил здебільшого виражається в

одинацях кінематичної в'язкості.

Кінематична в'язкість V являє собою відношення динамічної в'язкості η даної рідини до її густини ρ за одних і тих самих температур та атмосферного тиску:

У системі СІ одиницею кінематичної в'язкості є квадратний метр за секунду ($\text{м}^2/\text{с}$), що дорівнює кінематичній в'язкості, за якої динамічна в'язкість середовища зі щільністю 1 кг/м^3 дорівнює $1 \text{ Па}\cdot\text{с}$.

Від в'язкості мастила залежать:

- легкість пуску двигуна в холодну погоду;
- потужність двигуна (утрата на тертя);
- зношування деталей тертя;
- витрата палива;
- витрата мастила.

Найважливішим показником якості мастила є залежність в'язкості від температури коливання, яка у широких межах у несприятливих випадках може настільки змінюватися, що умови його роботи будуть розрізнятися докорінно.

Слід зазначити, що зі зниженням температури від 100 до 50°C в'язкість мастила може збільшитися в 4–5 разів. З охолодженням моторних мастил до 0°C і тим більше до мінусових температур їх в'язкість збільшується в сотні і тисячі разів.

Залежність в'язкості від тиску. З підвищенням тиску в'язкість мастил зростає. Ступінь зміни в'язкості залежить від хімічного складу мастил і температури. Установлено такі закономірності:

- тваринні і рослинні мастила змінюють в'язкість під тиском менше, ніж мінеральні;
- мінеральні мастила з парафіністих нафт змінюють в'язкість під тиском менше, ніж мінеральні мастила зі смолистих нафт;

- з підвищенням температури мастила вплив тиску на його в'язкість зменшується.

За високого тиску в'язкість може зрости настільки, що мастило втрачає властивості рідини і перетворюється в пластичне або «квазітверде» тіло. Затвердіння вуглеводного мастила відбувається за тиску 7000 кг/см^2 , ефірного мастила – за $20\,000 \text{ кг/см}^2$, а полісилоксанових мастил різної структури – за тисків $5\,000\ldots 25\,000 \text{ кг/см}^2$.

У багатьох високонавантажених деталях, що працюють в умовах герцівського контакту (зубчасті передачі, підшипники кочення, кулачкові механізми), максимальні питомі тиски на поверхні тертя й у мастильному шарі можуть досягти кількох десятків тисяч кілограмів на квадратний сантиметр.

Залежність в'язкості мастила від температури і тиску у реальних умовах його роботи в підшипниках сприятливо впливає на працездатність цього вузла. За збільшенням навантаження на підшипник підвищується тиск у мастильному шарі і його в'язкість. У свою чергу, підвищення в'язкості

призводить до збільшення гідродинамічних втрат, тепловиділення в підшипнику, температури, а потім і до зменшення в'язкості мастил. Таким чином, здійснюється авторегулювання в'язкості мастила і несучої здатності підшипника. У цьому процесі однаково важливі чутливість в'язкості до зміни тиску і температури.

Густина – це співвідношення маси тіла до його об'єму; її розмірність – г/см³. Густина мастила тим більша, чим вища номінальна в'язкість, однак є численні винятки, що залежать від хімічного складу мастил.

Густина мастил змінюється в межах 0,78...0,97. Густина деяких синтетичних мастил вища за одиницю.

З підвищенням температури мастила його густина дещо зменшується в результаті теплового розширення. Зі збільшенням тиску густина мастил трохи зростає внаслідок стисливості.

Стисливість мастил, як і інших матеріалів, характеризується модулем пружності за всебічного стискування. Вимоги до стисливості різні і можуть бути навіть протилежними залежно від призначення мастила. У мастил для змащення деталей, підданих ударним навантаженням, має бути демпфірувальна дія, для чого бажаний низький модуль пружності, тобто значна стисливість.

Гідравлічні мастила, що передають рух, повинні відзначатися високою густиною і, отже, мінімальною стисливістю.

Нафтові мастила мають порівняно малу стисливість, наприклад, за тиску 4 000 кг/см² їх об'єм зменшується на 15...20%. Значно більша стисливість притаманна полісилоксановим (силіконовим) мастилам. Модуль пружності мастил трохи зменшується з підвищенням температури, збільшується – зі зростанням тиску.

Теплоємність. Теплові властивості мастил впливають на їхні мастильні властивості, оскільки визначають умови тепловідведення від поверхонь тертя. Очевидно, що зі збільшенням теплоємності і теплопровідності мастила дія його як охолоджувального агента поліпшується і, за інших рівних умов, може бути допущена більш висока температура в зоні контакту поверхонь тертя. Однак значення як питомої теплоємності, так і температуропровідності різних мастил можуть коливатися залежно від сорту мастила лише у вузьких межах, тож можливості вибору тут досить обмежені.

Теплоємність різних нафтопродуктів коливається в досить вузьких межах – 1700...2 500 Н·м²/[с²·град] – і помітно змінюється залежно від зміни температури, зростаючи з її збільшенням. З підвищенням тиску теплоємність спочатку зменшується за тиску 200...300 МПа, досягаючи мінімуму, що становить 0,9 первісного значення, а потім зростає, але досить повільно. Теплоємність нафтопродуктів зменшується зі зростанням густини, тобто зі зростанням молекулярної маси нафтопродуктів парафінового ряду. Залежність вуглеводнів ароматичного ряду обернена.

Коефіцієнт об'ємного розширення мастил є значущим для розрахунку місткості резервуарів мастильних систем. Значення цього коефіцієнта залежить від густини мастила. Зі зменшенням густини значення коефіцієнта збільшується, тому малов'язкі мастила зазвичай характеризуються більшим об'ємним розширенням, ніж мастила високої в'язкості. Коефіцієнт об'ємного розширення мастил густиною 0,82...0...0,96 відповідно перебуває в межах $(91...60) \cdot 10^{-5}$.

Теплопровідність (або коефіцієнт теплопровідності) – кількість тепла в калоріях, що проходить за 1 с через площу 1 см^2 шару товщиною 1 см за різниці температур 1°C . Одиниця виміру – $\text{кал}/(\text{см} \cdot \text{с} \cdot ^\circ\text{C})$. Для води вона становить 1,43, нафти – 0,35, парафіну – 0,60.

З підвищенням температури теплопровідність мінеральних мастил і органічних рідин зменшується.

Застигання. У разі зниження температури мастила його в'язкість зростатиме до застигання. Характер і температура застигання різні залежно від типу мастил.

Одні мастила до повного затвердіння зберігають однорідність складу. Інші ж, у складі яких є утримувальні парафінові вуглеводні, застигають у результаті виділення у процесі охолодження твердої фази – кристалів парафіну, що за вищої температури містяться в мастильному матеріалі в розчиненому стані.

Зі зниженням температури кількість і розміри кристалів парафіну збільшуються, і з досягненням деякої критичної точки (що залежить від градієнта швидкості зсуву в мастильному матеріалі) відбувається структурування мастильного матеріалу – кристали зростаються в сітку, усередині якої утримуються рідкі вуглеводні. Мастильний матеріал при цьому втрачає рухливість, тобто застигає. Температура застигання мастильного матеріалу тим вища, чим більший вміст у ньому парафінових вуглеводнів з високою температурою плавлення.

Стабільність мастильних матеріалів. Під стабільністю мастильних матеріалів розуміють їх здатність зберігати без зміни властивості в процесі експлуатації й зберігання. Незворотна зміна цих властивостей у результаті окиснювання є старіння мастила. Його інтенсивність – головний фактор, що визначає термін експлуатації мастильного матеріалу в трибосистемі.

Стабільність проти старіння мастильного матеріалу залежить, крім окиснювання, також від його випаровуваності, а мастильних матеріалів, до складу яких входять полімери, – від можливої деполімеризації, тобто деструкції полімерів від механічних і термічних впливів у процесі експлуатації. Стабільність варто вважати найважливішою властивістю мастила після в'язкості, оскільки ця властивість визначає його довговічність, тобто термін експлуатації в об'єкті змащення. Найбільше на стабільність мастильного матеріалу впливають такі умови експлуатації, як температура, контакт із повітрям та ін.

Піноутворення мастильних матеріалів. Під час проходження через

шестерні насоса, редуктори та інші агрегати двигуна, а також унаслідок розбризкування і збовтування мастильний матеріал насичується повітрям. Повітря в мастильному матеріалі в розчиненому вигляді може становити об'ємних часток 7...10%; у вигляді повітряно-масляної емульсії – 50...60%, більше – коли дрібні бульбашки повітря дисперговані по всій масі мастильного матеріалу; у вигляді піни – коли велика насиченість повітрям найтоншої мастильної плівки утворює на поверхні мастильного матеріалу структуру з низьким умістом мастила.

Шкідливі наслідки піноутворення полягають у тому, що:

1. У разі сильного піноутворення мастильного матеріалу піна може заповнити корпус (картер) і вибиватися назовні через ущільнення. Це призводить до зниження рівня мастила, унаслідок чого зміщуваний механізм може вийти з ладу.

2. Насичений повітрям мастильний матеріал не здатен забезпечити належну несучу здатність мастильного шару в умовах рідинного тертя, а також нормальні умови змащення за граничного тертя.

3. За циркуляційної системи змащення порушується можливість прокачування мастильного матеріалу по мастилопроводу і подача його рівномірним струменем до змащуваних поверхонь.

4. У гідравлічних передачах (об'ємних і динамічних) піноутворення мастильного матеріалу порушує режим роботи.

5. Унаслідок піноутворення мастильний матеріал насичується повітрям, що пришвидшує його окиснювання.

З підвищенням температури мастильного матеріалу піноутворення спочатку може не бути, потім розвиватися і досягти деякого максимуму, перейшовши через який його інтенсивність швидко зменшується.

Емульгування мастильного матеріалу. Повітря, розчинене в мастильному матеріалі, може сприяти утворенню емульсії, повітряно-масляної емульсії і піни. Стійкі водомасляні емульсії неприпустимі з таких причин:

1. У разі емульгування мастильного матеріалу зменшується його в'язкість, що погіршує умови для рідинного тертя.

2. Мастильний матеріал втрачає однорідність, погіршуються його мастильні властивості в умовах граничного тертя.

3. Вода в емульсії спричиняє корозію змащуваних деталей.

4. Збільшується об'єм мастильного матеріалу в картерах і резервуарах; для підтримання необхідного рівня надлишки треба періодично видаляти, при цьому вміст води в мастильному матеріалі буде безупинно зростати.

Отже, мастила, які застосовуються в умовах можливого обводнювання, мають бути із задовільними антиемульсійними властивостями, тобто здатністю забезпечувати швидке відстоювання води і запобігати утворенню стійких емульсій.

Корозійність мастильного матеріалу. Змащування поверхонь мастильними матеріалами може спричиняти корозію металевих поверхонь. Продукти корозії, потрапляючи в мастильний матеріал, не тільки забруднюють його і зумовлюють осадження, а й можуть стимулювати окиснювання мастильного матеріалу і внаслідок абразивної дії призводити до зношеності.

Одним зі стимуляторів корозійної агресивності мастильного матеріалу є вода. Корозію спричиняють також неорганічні кислоти, що можуть потрапити в мастильний матеріал ззовні, наприклад, у двигунах внутрішнього згорання в результаті згорання пального, що містить сірку.

На міді, олові і сріблі корозію може викликати наявність у мастильному матеріалі недостатньо міцно хімічно зв'язаної сірки. Під дією активного середовища метали і їхні сплави темнішають та покриваються плівкою, товщина якої дедалі підсилюється. Надалі плівка може перетворитися в пухкий або твердий і крихкий наріст, частки якого, відокремлюючись, чинитимуть абразивну дію на поверхні тертя. З підвищенням питомого навантаження корозійна агресивність мастильного матеріалу стосовно деталей з кольорових металів підсилюється.

Липкість і змочуваність мастильного матеріалу. Липкі мастила потрібні для запобігання розбризкуванню мастила, що застосовується у недостатньо герметизованих або відкритих механізмах, особливо коли мастильний матеріал потрапляє на готову продукцію та спричиняє її псування. Основні галузі застосування мастила підвищеної липкості – текстильна, легка і харчова. Це стосується і приладових мастил, наприклад, мастил для змащення годинників, що не повинні розтікатися. Показником змочуваності (і деякою мірою, можливо, липкості) є однозначно зумовлена фізична константа – поверхневий натяг мастила. Чим він менший, тим мастило сильніше розтікається, а отже, потребує герметичніших ущільнень.

Мийні властивості мастильних матеріалів є значущими для змащення деталей, що нагріваються до температури 100...150°C і вище. У результаті інтенсивного окиснювання мастильних матеріалів за високої температури поверхні, що змащуються, можуть покриватися продуктами окиснення – осадами, лаком або нагаром.

Мастильний матеріал із задовільними миючими властивостями має запобігати цьому явищу, але не змиванням відкладень з поверхні деталей, а в результаті диспергування й утримання в мастильному матеріалі в завислому стані нерозчинних продуктів окиснення. Мийні властивості можуть виражатися також у розчиненні частини продуктів окиснення й створенні на поверхнях адсорбованих плівок, які змазуються, що ускладнює прилипання до них продуктів окиснення, які випадають з мастильного матеріалу. Мастильні матеріали, які мають підвищену лужність, крім зазначених вище проявів миючих властивостей, здатні нейтралізувати утворювані у них кислоти, усуваючи тим самим їх корозійну агресивність.

Негорючість мастильних матеріалів важлива у разі експлуатації їх в умовах підвищеної пожежної небезпеки, викликаній випаровуваністю мастильного матеріалу і окиснюваністю, що призводить до виникнення вибухо- й пожежо-небезпечності маслоповітряної суміші у великому діапазоні температур. Відомо, що для запалення суміші необхідна висока концентрація тепла, за якої швидкість тепловиділення переважає швидкість втрат тепла. Це трапляється, коли реакційноздатна суміш стикається з джерелом нагрівання (відкритим полум'ям, електричною іскрою), що має дуже високу локальну температуру. Полум'я виникає і в разі зіткнення мастильного матеріалу з гарячою поверхнею. Чим вища температура поверхні, тим інтенсивніший процес окиснення і наступне запалення. Воно трапляється і від нагрівання суміші, але при цьому називається самозапалюванням.

Більша або менша горючість притаманна всім мастильним матеріалам, що складаються з вуглеводнів і їхніх похідних, як нафтовим, так (меншою мірою) і синтетичним. Негорючі тільки мастильні матеріали на принципово інших основах – фтор- і фторхлорвуглецеві, а також водомастильні емульсії, що застосовуються як гідравлічні рідини.

Нетоксичність мастильних матеріалів – дуже важлива властивість, що належить до експлуатаційних, оскільки визначає можливість контактування з цими матеріалами усього живого.

Екологічні властивості мастильних матеріалів необхідно розглядати з погляду не тільки впливу на організм людини, що працює з ними, а й забруднення навколишнього середовища. Забруднювальні речовини, потрапляючи в повітря, ґрунт, водойми, порушують біологічні процеси, що є основою життя й обміну живої природи з неживою. Вони можуть призвести до загибелі рослин, лісів, тваринного світу і поступового отруєння з патологічними змінами і хворобами.

Тривалий вплив на внутрішні органи навіть слідів вуглеводнів може спричинити руйнування тканин печінки, нирок та інших життєво важливих органів людини, до розвитку важких хвороб. Мастильні матеріали можуть викликати також і захворювання шкіри унаслідок як тривалого, так і часткового впливу. При цьому через постійне розчинення шкіряного жиру шкіра втрачає необхідну еластичність, у ній з'являються тріщини, в яких розвивається інфекція. Уражальна дія вуглеводних рідин значно підсилюється з підвищенням температури. У зв'язку з цим мастильні матеріали повинні бути нешкідливі для обслуговуючого персоналу і не мати неприємного запаху. Обидві ці вимоги особливо актуальні для мастильних матеріалів з присадками.

Базові мастильні матеріали – це нафтові мастила фенольного селективного очищення. Сировиною для їх виготовлення є мазут, що залишається після відгону з нафти бензиногасових і газойлевих фракцій.

Мазут переганяють на мастила у вакуумі за наявності водяної пари. Розрізняють масляні дистиляти, тобто продукти перегонки, і залишок, або напівгудрон. З дистилятів і залишку добувають відповідно дистилятні і залишкові мастила, що піддаються наступному очищенню. Широко застосовують мастильні матеріали, які являють собою суміш дистилятних і залишкових компонентів. В'язкі мастила виробляють із залишку. Технологія отримання мастила значною мірою визначає їхні експлуатаційні властивості.

Мастилам з природної сировини – нафтовим і жировим через їх походження притаманна неоднорідність хімічного складу. Більш однорідні синтетичні мастила.

Основною речовиною сучасних мастил – нафтових, жирових і значної частини синтетичних є вуглеводні різних класів і їхні похідні.

На відміну від власне вуглеводнів, молекули яких складаються тільки з атомів вуглецю і водню, їхні похідні, що входять до складу мастила, містять у молекулах також атоми кисню, а в деяких випадках атоми сірки й азоту, що впливають на мастильну ефективність мастил.

Структура молекул вуглеводнів і їхніх похідних характеризується функціональними групами атомів, що мають важливе значення для змащувальних властивостей мастил. Як такі групи треба виділити метиленову CH_2 , металну CH_3 , гідроксильну OH , карбонільну CO , карбоксильну COOH . Атомні групи CH_2 і CH_3 є чисто вуглеводними і полярно інертні, інші містять атоми кисню і мають дипольний момент, тобто полярно активні. Ця розбіжність має важливе значення для змащувальної ефективності.

Вибираючи базові мастила (основу), варто враховувати не тільки призначення товарного продукту і його особливості, а й загальні властивості мастил.

Порівняно недавно функціональні властивості багатьох мастил оцінювали насамперед за їх в'язкісно-температурними характеристиками і змащувальною здатністю. На тепер вимоги до експлуатаційних властивостей мастил значно розширились і стали жорсткішими, що і спонукало до введення великої кількості різних показників властивостей мастила.

Вуглеводневі мастила. Вуглеводи – сполуки, що складаються з вуглецю і водню. Співвідношення між вуглецем і воднем у вуглеводах коливається в широких межах. За складом і будовою вуглеводні поділяють на: а) граничні (насичені), або парафінові, із загальною формулою $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ (алкани); б) неграничні (ненасичені) із загальною формулою C_nH_{2n} (алкени) і $\text{C}_n\text{H}_{2n-2}$ і т. д.; в) ароматичні похідні $\text{C}_n\text{H}_{2n-6}$ (арени); г) поліметиленові, або нафтеніві C_nH_{2n} (циклани).

Нафтові мастила складаються з вуглеводнів трьох основних класів: парафінових, нафтових і ароматичних. У межах кожного класу можливі численні різновиди вуглеводнів. Дуже поширені також вуглеводні змішаного (гібридного) складу – нафтеніві – парафінові, нафтоароматичні,

ароматично-парафінові. Вуглеводні, що входять до базових матеріалів, можуть мати молекулярну масу від 300 до 1000 і вище.

Парафінові вуглеводні нормального і розгалуженого видів складаються з молекул у вигляді відкритих ланцюжків атомів, довжина яких визначається кількістю атомів вуглецю. Вони представляють клас вуглеводнів, що є гомологами найпростішого вуглеводню метану – CH_4 . У разі послідовного заміщення водневих атомів метану на залишок або радикал CH_2 , названий метилом або метильною групою, виходить гомологічний ряд вуглеводнів загальної формули $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$.

Парафінові вуглеводні відомі також за назвою граничні, метанові й алкани. Вони являють собою відкриті метиленові ланцюжки з метильними групами на кінцях. Ці ланцюжки можуть бути прямими у нормальних парафінах або розгалуженими в ізопарафінах.

Парафінові вуглеводні з числом атомів вуглецю від C до C_4 за нормальної температури є газами; з числом атомів від C_5 до C_{14} – рідинами; від C_{17} і вище – твердими речовинами.

Нафтові вуглеводні або нафти – клас поліметаленових циклічних вуглеців. Вони є складовою багатьох сортів мастил.

Нафтові вуглеводні складаються з молекул у вигляді кілець (циклів), утворених метиленовими групами CH_2 . Кількість цих груп – 5 або 6.

Нафтові кільця можна розглядати як замкнені метиленові ланцюжки. У вигляді такої подібності структури нафтові вуглеводні за своїми фізико-хімічними властивостями близькі до парафінового та іноді називаються циклопарафінами.

Значна частина цих вуглеців є поліциклічними, тобто складається з двох або трьох, рідше чотирьох, звичайно злитих (сконденсованих) кілець. Можливі комбінації з кілець з однаковим числом атомів C і змішані комбінації з кілець 5 або 6 атомів C .

Ароматичні вуглеводні – клас вуглеців, що містять бензольні ядра, які можуть бути конденсованими і мати насичені або ненасичені бічні ланцюги. До найважливіших ароматичних вуглеводнів належить бензол (C_6H_6) і його гомологи (загальна формула $\text{C}_n\text{H}_{2n-6}$). Вони характеризуються так само, як і нафтові, циклічною будовою. У кожному кільці мають 6 атомів вуглецю, але складаються не з метиленових груп CH_2 , а з груп CH . Через це кожен атом вуглецю (чотиривалентний) має один подвійний зв'язок, а молекула виявляється ненасиченою. Цим пояснюється менша стабільність і деякі інші особливості ароматичних вуглеводнів, у тому числі кращі мастильні властивості, ніж у парафінових і нафтових.

Вуглеводні змішаної будови. Поряд із розглянутими вище індивідуальними вуглеводнями до складу нафтових мастил входять гібридні, що звичайно навіть переважає кількість вуглеводнів змішаної будови, які являють собою різноманітні комбінації індивідуальних вуглеводнів розглянутих трьох класів. Ці «гібридні» вуглеводні можуть мати такі структури:

а) нафтові кільця (з 5 або 6 атомами вуглецю) з парафіновими бічними ланцюжками (кількість, довжина і розгалуженість ланцюжків можуть бути будь-якими);

б) ароматичне кільце з парафіновими бічними ланцюжками;

в) сконденсовані в різних комбінаціях ароматичні та нафтові кільця з парафіновими бічними ланцюжками.

Похідні вуглеводнів. У всіх мастилах поряд з розглянутими вище вуглеводнями утримується деяка кількість похідних вуглеводнів. У нафтові мастила вони переходять із сирової нафти у вигляді двох сполук, а саме: а) сірчистих; б) кисневих.

У мастилах тваринного і рослинного походження і переважної частини синтетичного походження, а також синтетичних мастилах похідні вуглеводнів складають основну речовину.

У мастилах усіх типів утворюються також різноманітні похідні вуглеводнів як продукти окиснення у процесі старіння.

Сірчисті сполуки. В усіх нафтах у різних кількостях містяться сірчисті сполуки. Особливо багато їх саме в сірчистих нафтах. До цих хімічних сполук належать: сірководень, сульфіді, сульфони, сульфооксиди, алкілсульфоокислоти, полісульфіді та ін. Уміст сірчистих сполук залежить від природи сирової нафти. Сірчисті сполуки зазвичай тісно зв'язані з ароматичними вуглеводнями. Вони істотно впливають на фізико-хімічні і трибологічні властивості мастильних матеріалів.

Кисневі сполуки. У свіжих нафтових продуктах кисневі сполуки можуть бути двох основних видів: 1) асфальтово-смолисті речовини; 2) нафтові кислоти.

Асфальтово-смолисті речовини утримуються в різних кількостях у всіх нафтах. Вони можуть бути як у процесі видобутку нафти, так і в процесі окиснювання мастильного матеріалу.

На окиснюваність мінеральних мастил киснем впливають здебільшого хімічний склад мастил, температурні умови, тривалість окиснювання, концентрація кисню, каталітична дія металів й інші речовини.

Смолам притаманна низька хімічна стабільність; окиснюючи в процесі роботи мастила, вони ущільнюються і перетворюються в асфальтени, що призводить до зміни кольору мастила.

За своїм складом смоли неоднорідні і являють собою складну суміш різних сполук. В основному вони є рідкими або напіврідкими поліциклічними сполуками з конденсованими нафтовими й ароматичними кільцями і парафіновими бічними ланцюжками. До складу кілець входять кисень, передусім сірка й азот. Уміст кисню в смолах може досягати від 2...3 до 6...10%. На відміну від смол асфальтени – тверді, крихкі речовини, що наплаваються за підвищених температур. З усіх високомолекулярних речовин вони мають найбільшу молекулярну масу (від 1600 до 6000).

Нафтові кислоти. Під час очищення нафтопродуктів з них виділяють нафтові кислоти, що являють собою карбоксильні похідні нафтенів, переважно п'ятичленних. Вони мають загальну формулу $C_8H_{2n-1}COOH$ і

характерний запах. Нерозчинні у воді, але розчинні у вуглеводнях.

Нафтенові кислоти складають основну масу кислих продуктів, що утримуються в нафтах. Вони чинять значну кородувальну дію на метали, особливо на свинець і цинк. На чорні метали діють слабо, а на алюміній майже не діють.

Жирні кислоти – це органічні сполуки загальної формули RCOOH , де R – жирний радикал (CH_3 , C_2H_5 і т. д.). Кислотні властивості жирних кислот залежать від наявності в молекулі одноатомного радикала карбоксилу.

За кількістю карбоксилів у молекулі розрізняють одноосновні, двоосновні і багатоосновні кислоти.

Насичені жирні кислоти, тобто карбонові кислоти жирного (парафінового) ряду, за своєю структурою аналогічні парафіновим вуглеводням; вони являють собою метиленові ланцюги, у яких на відміну від молекули парафінового вуглеводню одна або обидві метильні групи CH_3 замінені відповідно на одну або дві карбоксильні групи COOH . Ненасичені жирні кислоти відрізняються від насичених тим, що одна або дві метиленові групи CH_2 у них замінені ненасиченими групами CH .

Жирні кислоти (пальмітинова, стеаринова, олеїнова та ін.) і їхні похідні є важливою складовою жирних кислот. Вони утворюються також у процесі старіння нафтових мастил у складі інших продуктів окиснювання. Деякі жирні кислоти і їхні похідні (мила) застосовуються як присадки до нафтових мастил. Мила (солі жирних кислот) утворюються при взаємодії жирних кислот з металами.

Продукти окиснення мастил. У процесі взаємодії мастил з киснем утворюються продукти окиснення, кількість і хімічний склад яких залежить від початкового складу мастила, а також умов і тривалості експлуатації. Метали впливають на процеси окиснювання. Під час нагрівання мастил у тонкому шарі (100 мкм) найбільший ступінь окиснення спостерігається на поверхні маловуглецевої сталі Ст20; значно менший каталітичний вплив чинять такі сплави, як бронза, латунь, дюралюміній, неіржавійні сталі та ін.

Елементоорганічні сполуки. Як компоненти мастил використовують елементоорганічні сполуки, що є синтетичними продуктами. Їх поділяють на дві групи:

1) основи двох категорій синтетичних мастил: полісилоксанових (силіконових) і фторо- (фторо-, хлоро-) вуглецевих;

2) присадки, призначені для поліпшення експлуатаційних властивостей мастил.

Присадки здебільшого являють собою вуглеводневі сполуки, молекули яких містять атоми металів: барію, кальцію, магнію, цинку та інші і неметалевих елементів: сірки, фосфору, хлору, азоту. Менша частина присадок – це вуглеводні і їхні кисневмісні похідні (наприклад, поліізобутилен) і неорганічні сполуки (наприклад, дисульфід молібдену).

9.3. Основні види змащувальних матеріалів

Авіаційні мастильні матеріали. Авіаційні парки підприємств, що експлуатують повітряні кораблі, укомплектовані поршневими,

турбогвинтовими (ТГД) і турбореактивними (ТРД) двигунами, умови роботи мастильних матеріалів у яких різні.

У поршневих двигунах основні вузли тертя (циліндропоршнева група) працюють за високих температур, що призводить до інтенсивного окиснювання масляної плівки на дзеркалі циліндра та інших деталей циліндропоршневої групи (ЦПГ). З підвищенням температури в'язкість мастила знижується. У цих умовах працездатність деталей і вузлів ЦПГ забезпечується високов'язкими (залишковими) мастилами.

У ТГД на відміну від поршневого надійного змащування потребують зубчасті передачі редуктора й опори ротора турбокомпресора. Забезпечити їхню надійну роботу можна, застосовуючи менш в'язкі мастильні матеріали, ніж залишкові.

У ТГД основними об'єктами змащування є опори ротора, що потребують не тільки надійного змащування, а й, насамперед, охолодження. Найуспішніше справляються з цими завданнями за допомогою низьков'язких мастильних матеріалів. Виходячи з умов роботи, мастила авіаційних силових установок поділяються за типами двигуна.

Мастила турбогвинтових двигунів. У ТГД близько 80% потужності двигуна витрачається на редуктор для приведення у рух повітряного гвинта. Передавання великих потужностей через редуктор створює значні навантаження в закріпленні шестерень, причому дія цього навантаження в часі значно більша, ніж у вузлах кочення опор ротора двигуна.

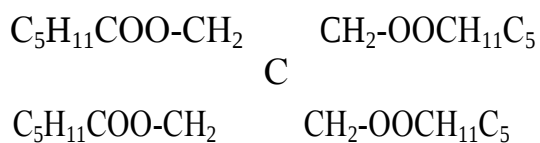
З цих причин для редуктора потрібні мастила, в'язкіші, ніж для підшипників кочення з вищою змащувальною здатністю, і кращими¹ протизадирними властивостями.

У сучасних ТГД (двигунах і редукторах) застосовуються мінеральні і синтетичні мастила. До перших належать: СМ-4,5, СМ-8, СМ-9, СМ-11,5, а до других – Б-3В.

Мінеральні мастила марок СМ являють собою суміші залишкового (СМ-20) з дистилатними мастилами (МК-8, МК-8п, МС-8п) за винятком СМ-9. Цифрами в марках сумішевих мастильних матеріалів позначений рівень кінематичної в'язкості за температури 373К.

Основні властивості мастильних матеріалів наведено в табл. 9.2.

Синтетичне мастило Б-3В являє собою складний ефір пентаеритриту і гексанової кислоти



з присадками – антиоксидною (параоксидифеніламін) і протизадирною (каптакс). Досвід використання цього мастильного матеріалу показав, що каптакс під впливом високої температури перетворюється в альтакс.

Цей процес супроводжується випаданням на фільтрах і деталях мастило-системи осаду, що складається з альтаксу, який знижує надійність роботи

двигуна. Замість мастильного матеріалу Б-3В використовують матеріал ЛЗ-240 з вищою стабільністю.

Мастила турбореактивних двигунів. Одним із перших мастил ТРД був мастильний матеріал МК-8, що за своїми властивостями мало відрізнявся від трансформаторного мастила.

**Таблиця
9.2**

Основні властивості мастильних матеріалів ТГД і редуктора вертольотів

Показник	СМ-4,5	СМ-8	СМ-11,5	СМ-9
Густина температури за 293 К, кг/м ³ , не менше	870	870	870	—
В'язкість кінематична, мм ² /с, за температури 393К	7,0...9,0	4,3...4,7	9,5...13,5	9,0
Кислотне число, мг КОН на 1 г мастила, не більше	0,005	0,07	0,10	—
Температура спалаху в закритому тиглі, К, не менше	411	415	423	—
Уміст механічних домішок, %, не більше	Немає	Немає	Немає	0,07
Уміст води	Немає	Немає	Немає	Немає
Зольність, % (за масою), не більше	—	0,05	0,05	—
Коксівність, %, не більше	0,15	0,2	0,2	—
Температура застигання К, не вище	238	243	253	—

У 1972 р. розроблено мастильний матеріал МК-8п з вищими властивостями за рахунок введення в мастило МК-8 0,6% (за масою) іонолу. Сьогодні, крім мастил МК-8 і МК-8п, промисловість випускає мінеральне мастило МС-8п.

Вищі індекси в'язкості, кращі низькотемпературні властивості і вищу термоокиснювальну стабільність мають синтетичні мастила (ІПМ-10, ВПП НП-50-1-4Ф).

Деякі властивості мінеральних мастил наведено в табл. 9.3.

Маркування мастильних матеріалів складається з позначень методу очищення (букви К і С після М, значення кінематичної в'язкості за 323 К (мм²/с) і наявності присадок (буква П після цифри). Мінеральне мастило МК добувають очищенням мазуту кислотнo-контактним способом, а мастило МС – селективним розчинником (головним чином фенолом).

Мастило марок МК і МС використовують у двигунах, де температура мастила не перевищує 373К.

Синтетичні мастила мають вищі протизносні властивості. Верхній температурний діапазон працездатності цих мастил досягає 480К. Як присадки в синтетичні мастила в ТРД вводять іонол, неозон, бутилксиленол,

трикрезилфосфат.

Слід зазначити, що трикрезилфосфат має високу токсичність.

Таблиця 9.3

Основні властивості мінеральних мастил для ТРД

Показник	Мастила МК-8, МК-8п	Мастило МС-8п
В'язкість кінематична, $\text{мм}^2/\text{с}$, за температури, К: 293, не більше 323, не менше	30,0 8,3	8,0
Кислотне число, мг KOH на 1 г мастила, не більше	0,04	0,05
Температура спалаху в закритому тиглі, К, не нижче	413/408*	423
Уміст: води водорозчинних кислот і лугів механічних домішок	Немає Немає Немає	Немає Немає Немає
Густина за температури 293 К, $\text{кг}/\text{м}^3$, не більше	885	875

*Для МК-8п.

Мастила для поршневих двигунів. Для цих двигунів використовують здебільшого мастило МС-20, що виробляється фенольним очищенням гудронів малосірчистих нафт. Мастило має недостатні низькотемпературні властивості, температура застигання – 255К. Воно містить до 0,5% за масою депресорної присадки АЗНІІ, що являє собою алкілпохідні нафталіни.

У холодну пору року для поліпшення пускових властивостей перед зупиненням двигуна до нього додають (розріджують) бензин. За температур 278...268К до нього додають 5...6% бензину; за температури нижчої від 268К. розбавляють технічним бензином Нефрас-С (10–12% за масою). Через недостатні пускові властивості мастил двигуни перед запуском у холодну пору року потрібно підігрівати.

Спеціальні авіаційні мастила. Мастила, призначені для допоміжних силових установок (ДСУ), турбохолодильних установок (ТХУ), гепоїдних передач, різних пристроїв і приладів, а також для внутрішньої консервації двигунів і агрегатів називають *спеціальними*, їх класифікують за призначенням. Для ДСУ використовують здебільшого ті самі мастила, що й для АСУ (ІПМ-10, ВНП НП 50-1Ф, 36/1КУ-А).

Для змащення важконавантажувальних зубчастих редукторів застосовують мастила ТС-гіп, МС-20 і СМ-9.

Осьові шарніри втулок несучих гвинтів вертольотів у літню пору змащують мастилом МС-20, у зимову – МС-14 за температур 268...248К і ВНП НП-25 (мастило шарнірне) – за температур 283...223К.

9.4. Присадки до змащувальних матеріалів. Загальні відомості

У процесі роботи машин і механізмів відбуваються значні хімічні і фізичні зміни мастильних матеріалів, тобто зміна їх складу і властивостей, що впливає на експлуатаційні властивості мастильних матеріалів. Для запобігання подібним змінам у більшість мастильних матеріалів уводять спеціальні речовини і їхні композиції. Залежно від стану і розчинності в мастильних матеріалах ці речовини отримали різну назву. Органічні мастилорозчинні продукти називають присадками, вони є найпоширенішою групою домішок до мастильних матеріалів. Тверді нерозчинні речовини, як правило, неорганічного походження, називають антифрикційними домішками.

Як присадки використовують понад 100 органічних сполук. За допомогою присадок можна підвищити стійкість мастильних матеріалів до окиснювання, абсолютне значення їх в'язкості і зменшити залежність в'язкості від температури, знизити температуру застигання (змінити плинність), підвищити їх мастильну здатність, зменшити корозію металевих поверхонь, знизити відкладання нагару на деталях двигуна тощо.

За функціональною дією присадки поділяють на антиоксидні, в'язкісні (загусні), мийні – диспергувальні, антифрикційні, протизносні, депресорні, протипінні, протизадирні, антифрикційні, захисні (інгібітори корозії, антиіржавійні) та ін.

Присадки вводять у мастильні матеріали в невеликих кількостях: від часток до кількох відсотків (у композиціях їхня загальна концентрація може доходити до 15% і більше). Виняток становлять в'язкісні присадки, які можна додавати в кількості до 20–30%.

Основні вимоги до присадок, що поліпшують мастильну здатність, залежать від їх призначення. Наприклад, протизадирні присадки мають підвищувати навантаження заїдання, протидіяти сильному руйнуванню поверхонь тертя; протизносні – ліквідовувати прогресуючу зношеність поверхонь за помірних навантажень; антифрикційні – знижувати і стабілізувати тертя.

Крім того, необхідно, щоб присадки задовольняли такі вимоги:

- не погіршували фізико-хімічні властивості мастильних матеріалів;
- не чинили руйнівної дії на конструкційні матеріали;
- розчинялися в мастильних матеріалах і зберігали стабільність у розчині;
- зберігали свої властивості в умовах експлуатації за заданих температур,

а також в умовах зберігання;

- не мали різкого запаху, що перешкоджатиме використанню мастильних матеріалів у закритих приміщеннях;
- не спричинювати спінювання мастильних матеріалів, не погіршувати

їх деемульгувальну здатність;

- для запобігання заїданню і зниження зношуваності поверхонь діяли температурно-вибірково.

Від характеру взаємодії присадок (у випадку композиції) з полярними мастильними матеріалами залежить сприйнятливість мастильних матеріалів до присадок і взаємне ослаблення (антагонізм) або посилення (синергізм) функціональної дії присадок у разі їх спільного застосування. Антагонізм або синергізм дії двох присадок залежить від їх взаємодії, на що впливають зовнішні фактори – температура, вологість. Наприклад, на взаємодію молекул присадок впливають продукти окиснення мастильних матеріалів, вода може викликати гідроліз присадок.

Для зниження тертя і зношуваності та запобігання заїданню як присадки застосовують такі речовини:

Кисневмісні сполуки: тваринні та рослинні жири; жирні кислоти; спирти і їхні похідні; сульфокислотні сульфанати; продукти окиснювання технічних вуглеводнів. Як присадки для зниження тертя і зношуваності найефективніші жирні кислоти і їхні ефіри (у тому числі жири). Більше вони знижують тертя й менше запобігають заїданню, тобто вони здебільшого антифрикційні.

Органічні сполуки сірки й інших елементів VI групи різного характеру: аліфатичні й ароматичні сульфіді, дисульфіді і біс-(алкіларидтіо) алкани; похідні тіовугільні кислот-ксантогенати і тритіокарбонати; кисневмісні бісксантогенати; дитіолтіони; тіокислоти і їх солі; тіоспирти і їхні похідні; осірковані ненасичні вуглеводні; осірковані жири і продукти сіркування технічних вуглеводнів. За винятком маносульфідів, тіоспиртів (меркаптанів) і етиленгліколь-бісксантогенатів усі перелічені сірковмісні сполуки використовують як протизадирні присадки.

Галоїдовмісні органічні сполуки, переважно хлоровмісні: хлоровані аліфатичні вуглеводні (хлорований парафін), хлорозаміщені жирні кислоти і їхні ефіри; хлоровані оліфінові ароматичні вуглеводні, хлорований нафталін, бензол і фенол; хлоровані ацикличні вуглеводні. Хлоровмісні сполуки є типовими протизадирними агентами.

Сполуки, в які входять елементи V групи: фосфор, сурма і арсен, але в основному ефіри і солі фосфорної, фосфористої і фосфонових кислот, що є ефективними протизносними присадками.

Азотовмісні сполуки: жирні й ароматичні аміни, високомолекулярні аміді; похідні сечовини, продукти нітрування технічних вуглеводнів. Як протизношувальні агенти можна використовувати тільки аміді кислот фосфору; жирні й ароматичні аміни й аміді для цього не ефективні. Аміді використовують як антиокисники.

Різного типу сполуки металів – оксидні й сірчисті сполуки молібдену і вольфраму, колоїдне залізо та інші – використовують як протизадирні присадки. Металеві солі нафтонових і жирних кислот (свинцю, олова, сурми та ін.) застосовують для цієї мети тільки в сполученні з хімічно активними компонентами (сіркою і хлором).

Сполуки, що містять кілька активних елементів у молекулі й композиції, – сірку і хлор; сірку і фосфор (ефіри кислот фосфору, що містять сірку); фосфор і хлор; сірку, хлор і фосфор; сірку, фосфор і метали (дитіофосфати металів – цинку, стронцію, барію, сурми); сірку, фосфор і азот (амінні солі дитіокарбонати металів цинку, свинцю, сурми) – застосовують як протизадирні та протизносні присадки.

За хімічним складом присадки являють собою похідні різних органічних сполук – алкілфенолів, амінів, дитіофосфорних, дитіокарбамінових, саліцилових кислот і деяких інших речовин.

Молекули присадок складаються з однієї або кількох полярних груп і однієї або кількох неполярних. Полярні групи зумовлюють адсорбцію молекул поверхнево-активних присадок на межі між мастильним матеріалом і металом. За складом активної (полярної) групи виділяють *S*, *P*, *O*, *CI*, *N*, *B* – присадки. Неполярні групи (алкільні радикали, нафтеніві або ароматичні кільця і їхні сполуки) визначають розчинність присадок у мастильних матеріалах.

Розглянемо основні присадки до мастильних матеріалів.

Мийні присадки (детергенти) призначені для зниження схильності мастильних матеріалів до утворення відкладень (нагару, лаку) переважно на нагрітих металевих поверхнях. Крім того, вони нейтралізують різні кислі продукти, що нагромаджуються в мастильному матеріалі.

Є три типи мийних присадок: сульфонати, феноляти і фосфонати. Найчастіше вони являють собою солі кальцію і барію, рідше застосовують солі магнію. Сьогодні сульфонати є найпоширенішими мийними присадками.

Мийні присадки застосовують переважно в двигунах внутрішнього згорання. Вони утримують вуглецеві частинки і густі продукти окиснення в мастильному матеріалі у тонкодисперсному стані у вигляді суспензії, перешкоджаючи утворенню осаду і відкладень. Мийні присадки для моторних мастильних матеріалів звичайно мають підвищену лужність для нейтралізації кислот, що утворюються унаслідок згорання палива, особливо з умістом сірки.

Депресорні присадки (депресатори) застосовують для зниження температури застоювання мастильних матеріалів, що містять парафінові вуглеводні, і поліпшення рухливості мастильних матеріалів за низьких температур. Вони перешкоджають утворенню кристалічної ґратки під час застоювання парафінів, знижуючи тим самим температуру, за якої мастильний матеріал зберігає рухливість. Слід зазначити, що в мастильних

матеріалах, які не містять парафінових вуглеводнів, депресорні присадки не ефективні.

Велику частину хімічних сполук, що використовуються як депресорні присадки, становлять полімінтакрилати, поліакриламіді і продукти, здобуті конденсацією хлорованого парафіну з нафталіну або фенолом.

Диспергувальні присадки (дисперсанти) використовують для підвищення колоїдної стабільності мастильних матеріалів, утримання в їх об'ємі домішок органічного і неорганічного характеру, які нагромаджуються в процесі роботи. Це запобігає осадкоутворенню на робочих поверхнях і в мастильній системі двигунів внутрішнього згорання.

Найпоширенішими з дисперсантів є сукциніміді. У загальному випадку вони також майже не впливають на протизносні властивості мастильних матеріалів, хоча і трохи знижують їхні протизадирні характеристики, особливо в парі тертя кільце–гільза циліндра. Підвищення ефективності мастильної дії сукцинімідів досягається введенням до їх складу різних активних елементів (S, P, Mo).

Антифрикційні протизносні та протизадирні присадки. Для поліпшення властивостей мастильних матеріалів застосовують різні присадки, основними з яких є такі: антифрикційні, що впливають на величину тертя (коефіцієнт тертя) деталей тертя; протизносні, що впливають на зменшення зношування поверхонь тертя за помірних навантажень; протизадирні, завдяки яким запобігають задиркам і заїданням поверхонь тертя в умовах великих навантажень і високих температур.

Протизносні присадки почали застосовувати в моторних мастильних матеріалах у 1935–1937 рр. Першими присадками були трикрезилфосфат і трибутилфосфат. Як протизносні присадки, а також присадки, що мають антифрикційні і протизадирні властивості, застосовують сірчані, хлористі та фосфорні сполуки різних видів, а також високомолекулярні жирні кислоти і їхні ефіри.

На сьогодні найпоширенішими також є протизносні присадки, що містять фосфор і хлорофосфорорганічні сполуки. Ефективність протизносної дії присадок визначається їх хімічною активністю і поверхневими властивостями. У зоні контакту деталей тертя фосфоровмісні присадки розкладаються з утворенням плівки фосфату заліза (FePO_4), що добре захищає деталі тертя від зношування.

Сірковмісні кисневі сполуки ефективніші за протизносною дією, ніж сполуки родинного складу, які не містять кисень. Стійкі граничні шари на металевій поверхні у випадку застосування сполук типу сульфоксидів

утворюються завдяки наявності атомів сірки, що є донорами електронів. Експериментально підтверджено, що сульфоксиди великою мірою знижують зношуваність, ніж відповідні сульфіді.

З початку 1950-х років велика увага приділялася застосуванню як присадки двосірнистого молібдену. Відомо, що ця присадка має досить значні про-тизносні та протизадирні властивості. Механізм дії присадки пов'язаний з утворенням на поверхні тертя захисних плівок.

Випробування ряду двигунів показали, що у випадку застосування дисульфиду молібдену зношуваність поршневої групи знижується на 25–30%, витрата мастильного матеріалу скорочується на 30% (у середньому). Загальне забруднення мастильного матеріалу також трохи знижується.

Протизадирні присадки почали вводити в трансмісійні мастильні матеріали наприкінці 20-х років XX століття у зв'язку з появою гіпоїдних передач. Першими присадками були свинцеві мастильні матеріали і сполуки з активною сіркою.

Протизадирні присадки, що являють собою органічні сполуки, які містять сірку, хлор або фосфор, реагуючи з поверхнею тертя сталевих деталей, утворюють на ній сульфідні, хлоридні та фосфатні плівки заліза з високою температурою плавлення. Ці плівки вберігають вузли тертя від заїдання.

Плівка сульфідів заліза має температуру плавлення 1193°C і запобігає заїданню за температур до 700°C , а хлориду заліза – 675°C і 300°C відповідно.

Відомі такі протизадирні присадки: ВІД-1, ОТП, сульфол, ЛЕ-6/9, ЛЗ-23К та ін.

В'язкісні (загущувальні) присадки призначені для поліпшення температурних характеристик мастильних матеріалів, тобто зменшення крутості кривих залежності в'язкості від температури (підвищення індексу в'язкості). Ці присадки дають змогу регулювати співвідношення рівнів в'язкості мастильних матеріалів за низьких і високих температур. Вони сприяють зміні товщини мастильної плівки у вузлі тертя. За цією метою застосовують загущувальні полімерні присадки, ефективність дії яких залежить від типу полімеру і його молекулярної маси. Зі збільшенням останньої мастильна дія поліпшується, що визначається насамперед підвищенням в'язкості мастильного матеріалу.

Як загущувальні присадки найефективніші поліізобутилені і поліметакрилати. Застосовують також інші високомолекулярні органічні полімерні сполуки: полівініл-алкінові ефіри, поліалкілстироли, сополімери

стиролу з олефінами.

Ефективність застосування присадок для контролю за в'язкістю залежить від особливостей мастильної основи. Сприйнятливість до загущувальних присадок базових мастильних матеріалів залежить від їх групового хімічного складу і структури. Як в'язкісні присадки застосовують різноманітні органічні сполуки.

Протипінні присадки. Основною причиною, що викликає спінювання мастильних матеріалів, є аерація. Це – небезпечне явище, унаслідок якого знижується тиск мастильного матеріалу в системі і погіршуються його протизносні властивості. За наявності мийних присадок (а вони завжди наявні в сучасних моторних мастильних матеріалах) піноутворення підсилюється. Боротьба з піноутворенням найбільш утруднена у випадку застосування високов'язкого мастильного матеріалу.

Протипінні присадки запобігають появі піни, а в разі появи забезпечують її ефективне гасіння.

Як протипінні присадки використовують полісилоксанові (силіконові) полімерні кремнієорганічні сполуки, що нерозчинні в нафтових мастильних матеріалах і містяться в них у вигляді дисперсної фази. Механізм дії протипінної присадки ґрунтується на руйнуванні пухирців повітря, які приєднуються до них диспергованими частинками полісилоксанової рідини. Досить ефективна присадка ПМС-200А.

Припрацьовувальні присадки. У процесі роботи вузла тертя вихідний мікро- і макрорельєф, а також структура приповерхневих шарів, отримана в результаті механічної обробки або яких-небудь інших технологічних операцій, зазнають істотних змін. Як було зазначено, мікрорельєф змінюється в напрямі, що забезпечує мінімальні тертя і зношування. При цьому чистота поверхні, її шорсткість можуть змінюватись у бік поліпшення або погіршення. Аналогічні зміни відбуваються у структурі поверхневих шарів. Особливості перебігу цих процесів мають велике значення для забезпечення високої зносостійкості поверхні в експлуатаційних умовах. Тому необхідно, щоб вони відбувалися в найбажанішому напрямі та реалізовувалися якомога швидше.

Для пришвидшення процесів припрацювання використовують припрацьовувальні, або обкатні, присадки, що являють собою ПАР, які містять сірку, фосфор, хлор, жирні кислоти.

Як припрацьовувальні присадки застосовують такі: ЦІАТІМ-339, ВНІІ НП-360. Остання менш водостійка, ніж ЦІАТІМ-339, тому для підвищення її

миючих властивостей додають ще сульфонатну присадку ПМФ.

Антиоксидні й антикорозійні присадки. Ці дві групи присадок розглядаються спільно, оскільки їхні функції значною мірою збігаються і розрізняються вони передусім за механізмом дії.

Антиоксидні присадки-інгібітори призначені для гальмування процесів окиснювання мастильних матеріалів у двигуні. Завдяки дії цих присадок знижується інтенсивність корозійних процесів, а також швидкість утворення різних сполук, що викликають появу в двигуні вуглецевих відхилень.

Антикорозійні присадки здійснюють здебільшого одну функцію – запобігання корозії антифрикційних сплавів через створення на поверхні деталей тертя захисної плівки. Корозійна агресивність мастильних матеріалів залежить від складу нафтових кислот і їхньої структури, а також від схильності мастильного матеріалу до утворення карбонових і оксикарбонових кислот у процесі його застосування у двигуні. Механізм дії антиокиснювальних присадок полягає в тому, що вони гальмують процес окиснювання вуглеводнів на його початковій стадії (за рахунок дезактивації утворених радикалів), і разом з тим затримують процес окиснювання на глибоких стадіях розвитку, знижуючи концентрацію гідроперекисів в окиснених вуглеводнях.

Сірка і фосфор, які входять до складу антикорозійних присадок, під впливом високих температур взаємодіють із металом з утворенням на поверхні деталей міцної захисної змащувальної плівки. Одночасно плівки пасивують металеві поверхні, які можуть каталізувати окиснювання мастильних матеріалів. Отже, процес утворення плівки, як уже зазначалося, – це прояв не тільки антикорозійної, а й антиоксидної функції присадки.

Як антиоксидні присадки використовують сірчані, азотисті, фосфорні алкілфенольні сполуки, а також феноли з різними функціональними групами (амінофенол, нафтиламін, оксидофеніламін та ін.). Для підвищення стабільності турбінних, трансформаторних, приладових та інших глибокоочисних мастильних матеріалів застосовують присадки типу іонол, *n*-оксидофеніламін та ін. Для моторних мастильних матеріалів звичайно використовують діал-кілдитіофосфати металів присадки ДФ-11, ЛАНІ-317, ДФ-1. Як правило, до мастильних матеріалів додають від 0,1 до 1,0% антиоксидних присадок.

Перспективними є беззольні антиокиснювальні та антикорозійні присадки. Ці присадки за ефективністю не поступаються розробленим раніше зольним присадкам. До антиокиснювальних беззольних присадок належать сполуки біофенолів і антифенолів.

Інші види присадок. Крім розглянутих присадок, застосовують антисептичні, адгезійні та багатофункціональні присадки.

Антисептичні (біоцидні) присадки застосовують для запобігання бактеріям і грибкам у мастильних матеріалах.

Адгезійні присадки підвищують липкість і нерозтічність мастильних матеріалів. Це полярно активні речовини, наприклад тваринні, або високомолекулярні полімери і сополімери.

Багатофункціональні присадки. Більшість присадок здатні виконувати одночасно кілька різних функцій, що пов'язано з утворенням захисних плівок, що запобігають зношуванню поверхонь тертя й одночасно знижують інтенсивність перебігу корозійних процесів; вони можуть поліпшувати також і інші властивості мастильних матеріалів. Наприклад, діалкілдитіофосфати цинку і барію об'єднують властивості антизносної, антиоксидної, антикорозійної і миючої присадок.

9.5. Принцип вибору присадок до мастильних матеріалів

Різноманітні присадки і їхні композиції, які вводяться в нафтові і синтетичні мастильні матеріали у визначених, строго дозованих концентраціях, дають змогу отримувати, власне кажучи, нові продукти зі заздалегідь заданими властивостями, що зазвичай мають мало спільного з первинним мастильним матеріалом.

Як уже зазначалося, присадки, які використовуються в мастильних матеріалах, можуть виявляти синергетичні або антагоністичні властивості, що підсилюють або послабляють їх дію в основному функціональному напрямі. Наприклад, наявність детергентів впливає на ефективність дії дитіофосфатів цинку або протизносних присадок. Сумісність у мастилах різних функціональних присадок наведено в табл. 9.4. Впливає на ефективність дії присадок і склад основи.

Таблиця 9.4

Сумісність у мастилах присадок різного функціонального призначення

№ з/п	Тип присадки	1	2	3	4	5	6	7	8
1	В'язкісні (згущувальні)		+	0	0	0	+	0	-
2	Депресорні			0	0	0	0	0	0
3	Детергентно-диспергувальні				+	+	-	-	-
4	Антиоксидні					+	+	0	0
5	Антикорозійні						-		0
6	Протизносні							+	0
7	Протизадирні								0
8	Протипінні								

Примітка: «+» – синергізм, «-» – антагонізм, «0» – відсутність взаємодії.

Дедалі більшого поширення набувають маслорозчинні ПАР (дитіофосфати, дитіокарбонати та ін.), що містять легувальні елементи –

мідь, нікель, кобальт, хром і найчастіше молібден. Такі присадки, які отримали назву **модифікаторів** тертя, створюють на поверхні металу багат шарові адсорбційно-хемосорбційні плівки «сендвичевої структури» із проникненням легувальних елементів у поверхню зони тертя.

Вибір присадок і необхідність введення їх у мастильні матеріали залежить від виду зміщуваних вузлів тертя, умов їх роботи, а також від процесів, що проходять на поверхнях тертя і лімітують їх працездатність. Дуже важливо, що підбираючи присадки до мастильних матеріалів для змащення машин і механізмів, використовують статистичні дані про характер пошкоджень пар тертя, про довговічність і причини виходу з ладу устаткування в різних галузях промисловості. Неправильний вибір присадки може викликати підвищене зношування або погіршення фізико-хімічних властивостей мастильних матеріалів. Тому перш ніж визначити вимоги до присадок, необхідно ретельно вивчити режими тертя і види пошкоджень робочих поверхонь.

У загальному випадку вибору присадок до мастильних матеріалів, крім складу і властивостей самої присадки (наявність домішок, стабільність під час збереження), варто враховувати хімічний склад мастильного матеріалу, концентрацію присадки і її сумісність із присадками іншої функціональної дії, технологію введення присадок (послідовність, температуру та інші фактори) і умови застосування мастильного матеріалу (температуру, питомі тиски, контакт із різними металами, тривалість роботи і т. ін.).