

УДК 621.891

Дмитриченко М.Ф., д. т. н., проф., Національний транспортний університет

Мнацаканов Р.Г., д. т. н., проф., Національний транспортний університет

Мікосянчик О.О., аспірант, Національний транспортний університет

ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗМАЩУВАЛЬНОГО МАТЕРІАЛУ В КРИТИЧНИХ РЕЖИМАХ ТЕРТЯ

Досліджено закономірності зміни товщини змащувального шару в періоди прискореного та нормального масляного голодування, безпосередньо перед заїданням, в режимі ковзання на марках сталі ШХ-15 та Ст 45 при мащенні мінеральним маслом И-40А. При повторній подачі масла в зону контакту встановлена можливість відновлення змащувального шару після роботи в критичних умовах.

Процес заїдання обумовлений руйнуванням змащувального шару на поверхні пар тертя. Трибохімічний аспект даної проблеми до теперішнього часу не розкритий в достатній мірі.

На процес заїдання істотно впливають навантаження, швидкість ковзання і кочення, шорсткість контактних поверхонь і їх матеріал, температура, фізико-хімічні характеристики змащувального матеріалу і навколишнього середовища, число і якість присадок в базовому маслі, спосіб мащення і інші чинники [1,2].

Заїдання відноситься до аварійних видів руйнування поверхонь тертя, оскільки, на відміну від інших, виникнувши, воно протягом короткого часу може привести до повної непридатності механізму до подальшої експлуатації.

Руйнування змащувального шару настає унаслідок двох основних причин. Це зміни поверхонь пар тертя і змащувального матеріалу, зі всім спектром протікаючих механічних, фізико-хімічних і термічних процесів на межі розділу фаз. Проте добре відомо, що заїдання відбувається при температурах, які не істотно впливають на об'ємні властивості матеріалу. По іншому справа йде із змащувальним матеріалом. Впродовж всього терміну служби він зазнає значні фізико-хімічні зміни в об'ємі і особливо на межі розділу фаз. Це процес, у свою чергу, змінює, а в окремих випадках і дуже різко, змащувальну здатність масел і мастил. Заїдання, що протікає при зміні змащувального матеріалу, відбувається в двох випадках: унаслідок втрати змащувальних властивостей масла або в результаті спрацьовування змащувального матеріалу за відсутності підживлення його в зоні контакту.

Сфера масляного голодування, в яку входять два ці випадки, відноситься до групи, так званих, критичних режимів, які і складають предмет наших досліджень.

Для визначення товщини змащувального шару в контакті поверхонь тертя в експериментах використовувався метод вимірювання падіння електричної напруги в режимі нормального тліючого розряду.

На першій стадії досліджень була поставлена задача знаходження загальної закономірності зміни товщини змащувального шару в період масляного голодування і, особливо, на ділянці безпосередньо перед заїданням.

В якості зразків використовувалися циліндричні ролики діаметром 50 мм з матеріалів ШХ-15 з твердістю HRC 58 і Сталь 45 з твердістю HRC 28-32. Початкова шорсткість робочих поверхонь $R_a = 0,3$ мкм. Контактна напруга складала 700 МПа. Змащення поверхонь тертя мінеральним маслом И-40 проводилося зануренням в масляну баню.

Була прийнята наступна схема випробувань. Припрацювання роликів здійснювалося в режимі фрикційного кочення. Контактна напруга складала 700 МПа. Швидкість кочення - 2,5 м/с. Після завершення припрацювання, про що свідчить стабілізація товщини змащувального шару, забиралася ванна із змащувальним матеріалом і імітувався режим масляного голодування. Причому імітувався режим прискореного масляного голодування (масло після припрацювання повністю витирається з доріжок тертя) і режим нормального масляного голодування (масло не витирається з доріжок тертя). На рис. 1 показана зміна товщини змащувального шару в період припрацювання для різних матеріалів в режимі фрикційного кочення.

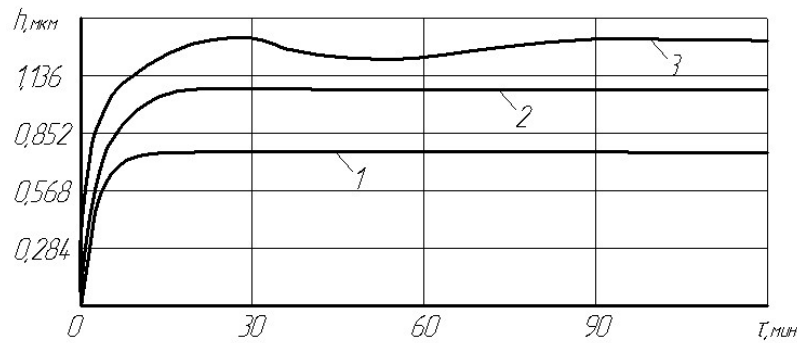


Рис. 1. Зміна товщини мастильного шару в період припрацювання в режимі:
1, 2- фрикційне кочення; 3 - кочення з проковзуванням;
1,3- Ст-45; 2 - ШХ-15

Кінетика зміни товщини змащувального шару носить ідентичний характер у всіх виконаних експериментах як для матеріалу ШХ-15, так і для Ст 45 (криві 1,2). Крива 3 показує зміну товщини змащувального шару приблизно при одних і тих же параметрах, але за наявності 15 % проковзування одного із зразків. Як видно з малюнка, сталі значення товщини шару за наявності проковзування вдвічі перевищує товщину шару, який сформувався при припрацюванні в умовах фрикційного кочення (крива 3).

У даному випадку очевидний позитивний вплив дотичних напруг в результаті проковзування і велика активація поверхонь тертя, внаслідок чого є зростання товщини змащувального шару.

У умовах фрикційного кочення стала товщина змащувального шару, що сформувалася на ШХ-15 після припрацювання, приблизно на 30-40 % перевищує товщину шару, що сформувався на Ст-45.

Наступний етап випробувань включав режим масляного голодування. На рис. 2 показана зміна товщини змащувального шару при роботі в режимі ковзання на сталі ШХ-15. Масло з поверхонь роликів не витиралося (крива 1).

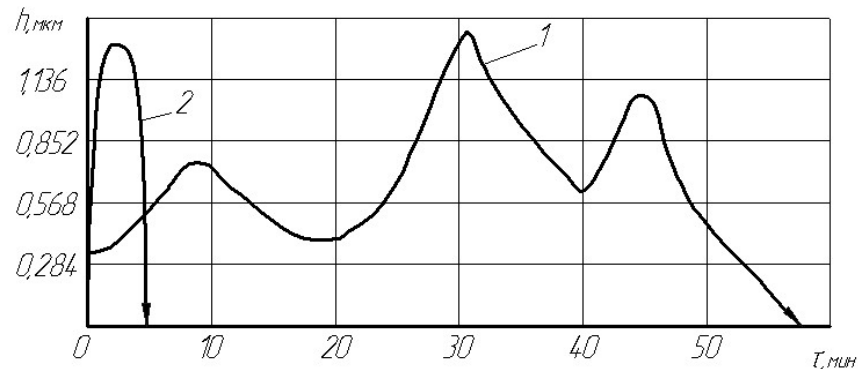


Рис. 2. Зміна товщини мастильного шару при ковзанні по сталі ШХ-15:
1 - масло не витиралося з поверхонь тертя;
2 - масло витиралося з поверхонь тертя

Відразу спостерігається різке зменшення товщини шару, проте до 8 хвилини випробувань товщина зростає, і потім настає період коливань товщини шару з певною закономірністю. Перепад товщини складає приблизно 0,25-0,3 мкм. На завершальному етапі випробувань встановлено зростання товщини змащувального шару, яке досягає сталого значення товщини в період припрацювання. Після цього починається зменшення товщини шару до повного руйнування змащувального шару. Слід зазначити, що процес руйнування змащувального шару протікає не лавиноподібно, не різко, а як би розтягнутий в часі. В даному досліді тривалість цього процесу дорівнює 12 хвилин.

На рис.2 (крива 2) показана зміна товщини змащувального шару при роботі в режимі ковзання на сталі ШХ-15. Масло з поверхонь тертя ретельно витиралося. На відміну від попереднього досліду, тут при переході до режиму ковзання спостерігається різке зростання товщини змащувального шару до величини, рівної сталому значенню товщини шару в період припрацювання. Потім слідує такий же різкий спад товщини шару, його руйнування і схоплювання робочих поверхонь. Цей процес продовжується 2 хвилини, тобто при витиранні масла з доріжок тертя швидкість руйнування змащувального шару збільшилася в 6 разів, в порівнянні з дослідом, де масло не витиралося.

На малюнку 3 показана зміна товщини змащувального шару в експерименті, що складається з двох етапів.

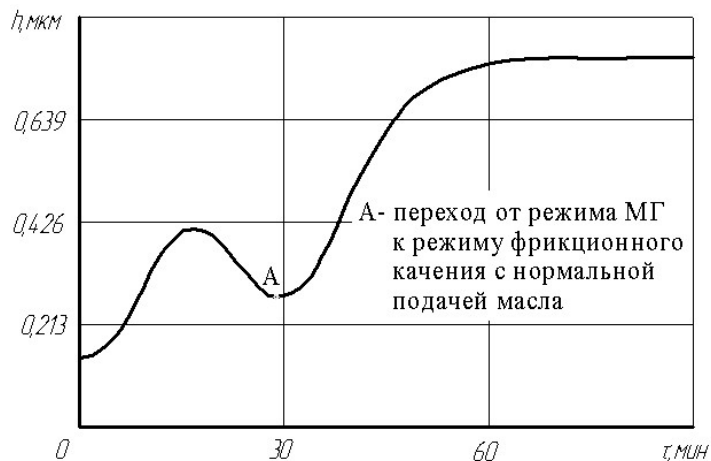


Рис. 3. Зміна товщини масляного шару після переходу від режиму масляного голодування до режиму фрикційного кочення (точка А) для ШХ-15

Була поставлена задача з'ясувати здатність змащувального матеріалу в сукупності з поверхнею тертя на прикладі масла И-40А відновити змащувальний шар. Перший етап протікав по схемі: різке зменшення товщини шару при переході до масляного голодування в режимі ковзання, коливання товщини шару. На 30 хвилині, коли товщина шару стала зменшуватися, була відновлена подача масла в зону контакту і змінений режим тертя на фрикційне кочення. Як видно з малюнка 3, товщина шару стала збільшуватися і через 15 хв. досягла величини, що становить 70 % від сталої товщини шару в період припрацювання. Подальше напрацювання 30 хвилин в даному режимі показало незмінність товщини змащувального шару, що може свідчити про стабілізацію процесів, які відбуваються в контакт. Одержані результати свідчать про можливе відновлення змащувального шару після роботи в таких важких умовах, до яких відноситься масляне голодування, хоча це питання вимагає, звичайно, більш чітких рекомендацій і є предметом окремих досліджень.

Після того, як була проведена серія випробувань з матеріалом ШХ-15, нами в подальших експериментах був використаний матеріал Ст.-45, з твердістю вдвічі меншою, ніж у ШХ-15. На малюнку 4 показана зміна товщини змащувального шару в умовах масляного голодування, коли масло не витиралося з доріжок тертя.

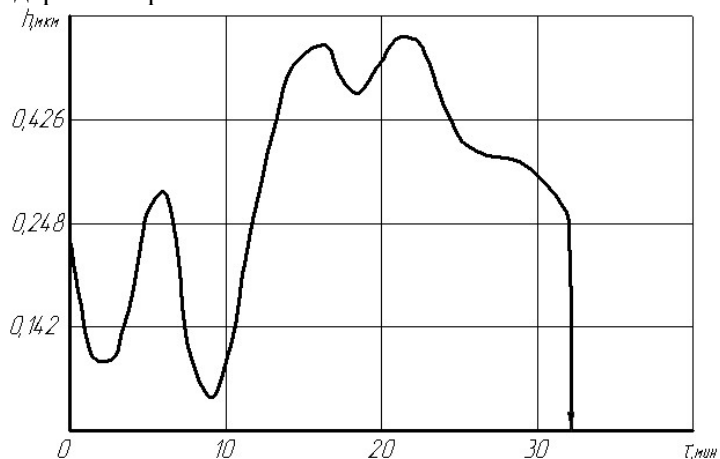


Рис. 4. Зміна товщини мастильного шару в умовах масляного голодування для Ст.-45 (масло не витиралося з доріжок тертя)

Тут також встановлено різке зменшення товщини шару при переході до ковзання, проте величина мінімального значення товщини змащувального шару значно менше ніж в аналогічних експериментах на сталі ШХ-15. По мірі напрацювання товщина виросла і почали протікати вже знайомі нам її коливання. Однак, амплітуда коливань товщини значно менше, ніж для ШХ-15. Це перша відмінність. По-друге, тривалість існування змащувального шару до повного руйнування майже удвічі менше, ніж для змащувального шару на сталі ШХ-15. І третє - процес руйнування змащувального шару відбувається майже миттєво, тобто змащувальний шар зривається з поверхні

металу. Пригадаємо, що на сталі ШХ-15 в ідентичних умовах цей процес розтягувався до 2-12 хвилин, залежно від умов експерименту.

На малюнку 5 показана зміна товщини змащувального шару в досліді, що відбувається по тій же схемі, але масло було ретельно витерто з поверхні роликів. Схоплювання встановлено вже через 30 с. Аналогічні випробування на сталі ШХ-15 показали, що змащувальний шар "живе" в експериментальних умовах в 4 рази довше.

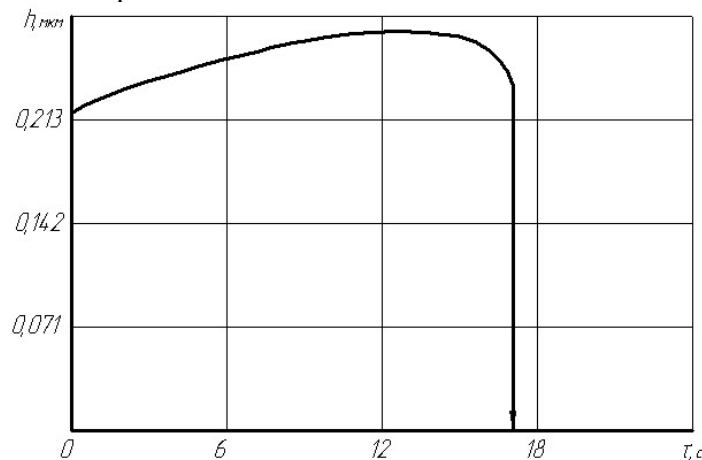


Рис. 5. Зміна товщини мастильного шару в умовах масляного голодування для Ст-45 (масло витиралося з доріжок тертя)

Порівнюючи характер зміни товщини змащувального шару, показаному на рис. 4 (Ст.-45) зі всіма попередніми дослідями (ШХ-15), можна однозначно сказати, що основним чинником, що впливає на відмінність характеру протікання змащувальної дії, є твердість дослідного зразка, оскільки всі інші параметри були однаковими. Якщо спробувати накласти сумарну (по всій серії експериментів) криву зміни товщини змащувального шару в період масляного голодування для сталей ШХ-15 і Ст.-45, то вийде схема, показана на малюнку 6.

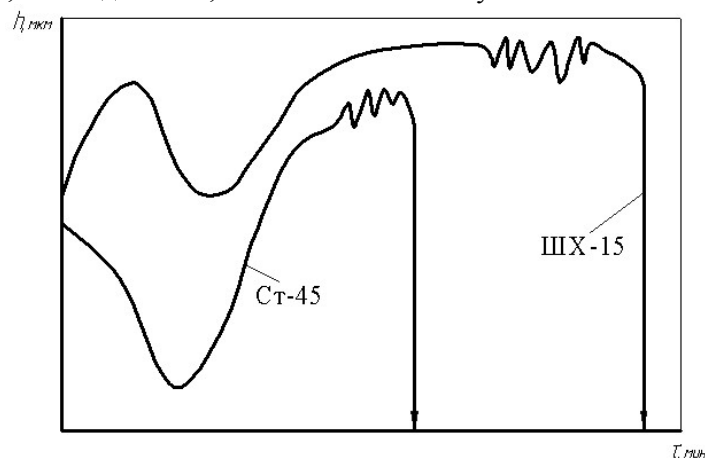


Рис. 6. Узагальнені криві кінетики зміни товщини мастильного шару для сталей ШХ-15 і Ст-45 в умовах масляного голодування

На першій стадії змащувальний шар на більш м'якій сталі при переході до жорстких умов тертя починає інтенсивно витиратися, що проявляється в різкому провалі товщини шару. На більш твердій сталі перехід до жорстких умов тертя викликає коливання товщини, але інтенсивного витирання шару не спостерігається. Другий етап приблизно однаковий для обох сталей - частота коливань товщини змащувального шару різко зростає, але амплітуда коливань залишається невеликою. Третій етап розрізняється по інтенсивності руйнування змащувального шару. Базуючись на вказаних експериментальних фактах, можна пояснити одержані результати впливу твердості на характер прояву змащувальної здатності масел в критичних режимах. Зменшення твердості сприяє пластичній деформації і підвищеному зношуванню контактуючих пар, що викликає механічне руйнування масляної плівки[3]. Це узгоджується з нашими результатами, коли при переході до критичного режиму на Ст.-45 змащувальний шар різко зменшує товщину до критичних значень. Проте зменшення твердості сприяє також прискоренню процесу припрацювання, збільшенню поверхні контакту і зниженню локальних температур в дискретних

точках контакту. Тобто варіювання по твердості дослідного зразка може ініціювати той або інший конкуруючий процес і змінювати змащувальну здатність масла.

Список літератури

1. Дроздов Ю.Н. и др. Исследование заедания смазывающихся поверхностей // Известия ВУЗов. - М.: Машиностроение 1966 - № 5 - С 9-14.
2. Райко М.В., Белоус В.С., Дмитриченко Н.Ф. О природе смазочного действия в контакте зубьев и некоторых путях его улучшения // Вестник машиностроения - 1981. - № 2. - 40 с.
3. Рыбакова Л.М., Куксенова Л.И.. Структура и износостойкость металла. М., Машиностроение, 1982г., с.250

Дмитриченко М.Ф., д.т.н., професор, ректор
Мнацаканов Р.Г., д.т.н., професор (044) 290-18-86
Мікосянчик О.О., аспірант
Національний транспортний університет
01010, Київ, вул. Суворова, 1.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СМАЗОЧНОГО МАТЕРИАЛА В КРИТИЧЕСКИХ РЕЖИМАХ ТРЕНИЯ

Исследованы закономерности изменения толщины смазочного слоя в периоды ускоренного и нормального масляного голодания, непосредственно перед заеданием, в режиме качения на марках стали ШХ-15 и Ст 45 при смазке минеральным маслом И-40А. При повторной подаче масла в зону контакта установлена возможность возобновления смазочного слоя после работы в критических условиях.

EFFICIENCY OF LUBRICATING MATERIAL IN CRITICAL MODES FRICTION

Conformities to the law of change of thickness of lubricating layer in a period of speed-up and normal oily starvation are explored, right before jamming, in the mode of line contact on the steels ШХ-15 and Ст 45 at greasing by the mineral oil И-40А. At the repeated serve of oil possibility of renewal of lubricating layer after work in critical terms is set in the area of contact.