

УДК 631.3–192:662.63

## ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПРИ ТЕРТІ ТА ЗНОШУВАННІ ТРИБОСПРЯЖЕНЬ

Петренко К.Г., інженер

Журавель Д.П., д.т.н.

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, м. Мелітополь, Україна

Для розгляду процесу зношування необхідно мати уяву про основні поняття, які використовуються при вивченні явищ, що відбуваються при контакті та відносному переміщенні тіл, а саме: про поняття зовнішнього тертя, сили тертя, мащення, зношування і зносу.

Зовнішнє тертя - явище опору відносному переміщенню, що виникає між двома тілами у зонах стикування поверхонь по дотичних до них, яке супроводжується дисипацією енергії [1,2].

Дисипативність процесу тертя характеризується перетворенням зовнішньої роботи, витраченої на подолання сил тертя, у теплову, хімічну, електричну та інші види енергії. Незначна частина роботи тертя витрачається на збільшення внутрішньої енергії поверхневих шарів контактуючих тіл (не більше кількох відсотків).

Зовнішнє тертя класифікується залежно від особливостей відносного руху і наявності змащувального матеріалу на поверхнях тертя (таблиця 1).

Таблиця 1

### Класифікація видів тертя

Ознака класифікації	Вид тертя
Наявність відносного руху	Тертя спокою і тертя руху
Характер відносного руху	Тертя ковзання і тертя кочення
Наявність олії	Тертя з олією і без неї

Сила тертя - сила опору при відносному переміщенні одного тіла по поверхні іншого під дією зовнішньої сили, тангенціально спрямованої до спільної межі між цими тілами.

Мащення - дія оливи, внаслідок якої між двома поверхнями зменшується сила тертя і (або) інтенсивність зношування.

Зношування - процес руйнування і відокремлення матеріалу з поверхні твердого тіла і (або) накопичення його залишкової деформації при терті, що виявляється у поступовій зміні розмірів і (або) форми тіла.

Знос - результат зношування, який визначається у встановлених одиницях - довжини, об'єму, маси тощо.

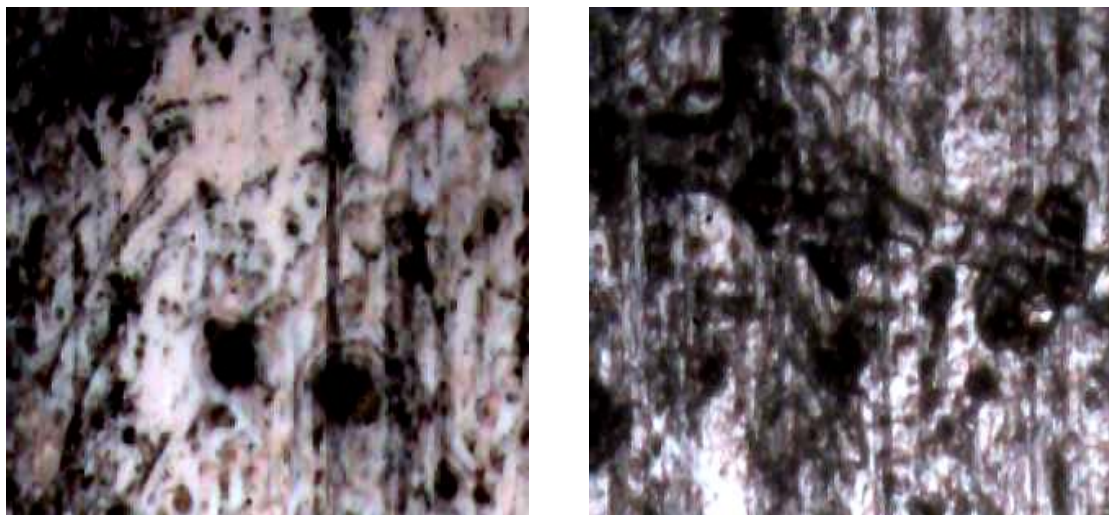
Взаємодія тіл при зовнішньому терті локалізована в дуже тонких поверхневих шарах контактуючої пари. Фізико-механічні й хімічні властивості цих шарів відрізняються від аналогічних властивостей основного матеріалу тіл. Ця різниця пояснюється, в основному, змінами у поверхневих шарах, які відбулися в процесі механічної обробки, а також під впливом тертя [3-5].

Для з'ясування механізму зношування розглядають параметри, якими характеризуються поверхні деталей машин.

Комплекс властивостей, наданих поверхні тіла (деталі) в результаті її обробки, називається якістю поверхні.

Якість поверхні деталей визначається геометричними параметрами, залишковими напруженнями, структурою і зміцненням, середовищем та режимами роботи..

Нами були проведені металографічні дослідження впливу середовища біодизельних палив на стан поверхні металів в залежності від режиму роботи (рис.1).



1.            2

1 – без зупинок, 2- з зупинками на 168 годин

**Рис. 1. Стан поверхні зносу зразків в середовищі біодизеля**

Проведений металографічний аналіз поведінки поверхонь зразків показав, що при зупинці процесу зношування відбувається руйнування поверхневого шару метанолом біопалива.

Якщо в початкові періоди зношування видно тільки механічна дія на зразок, то після зупинки спостерігаються вириви, викликані впливом метанолу в статичному стані, що призводить до прискореного зносу [6].

Геометричні параметри характеризують відхилення форми реальних поверхонь від ідеальних (за кресленням).

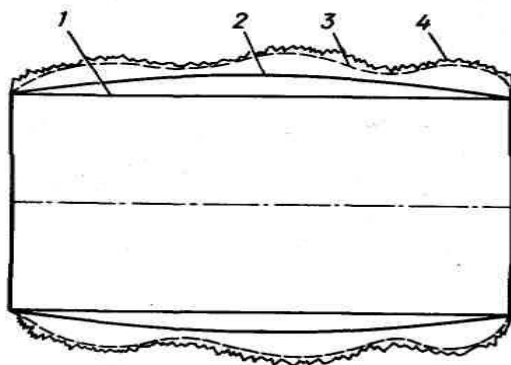
Розрізняють такі основні види відхилень, форми поверхонь (рис.2).

Залишковими напруженнями називають ті, які проявляються у матеріалі (металі) після припинення зовнішнього впливу силового і (або) температурного. Це залежить від способу обробки. Розрізняють гартівні, зварювальні, шліфувальні та інші залишкові напруження.

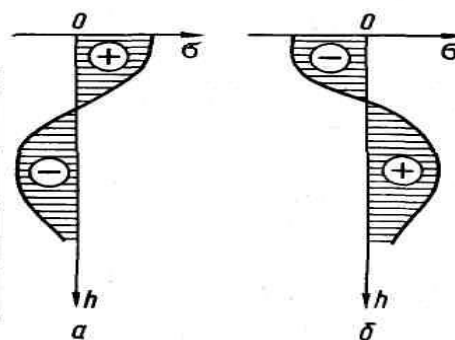
Наприклад, при механічній обробці металів на поверхневий шар деталі впливають сили, які виникають при різанні. Це викликає нагрівання поверхневого шару та його пластичне деформування. Середня температура поверхневого шару сталі при шліфуванні становить 300-400 °С, а самої поверхні - 800-850 °С [7,8].

Такі ж температури того ж порядку характерні і для швидкісного точіння. Нагрівання поверхневого шару металу викликає утворення у ньому після охолодження температурних напружень розтягу (рис.3, а). Пластична деформація металу сприяє розвитку напружень стиску (рис.3, б).

При сумісній дії температурного й силового факторів знак залишкової напруги у поверхневому шарі визначається впливом переважаючого фактора. Наприклад, при фрезеруванні з різними швидкостями різання у поверхневому шарі можуть виникнути як стискуючі, так і розтягуючі напруження.



1 - поверхня за кресленням; 2 - макровідхилення; 3 - хвилястість; 4 – шорсткість  
Рис. 2. Схема відхилень форми поверхні твердого тіла



а – напруження розтягу; б – напруження стиску;  $\sigma$  - напруження;  $h$  – відстань від поверхні  
Рис.3. Епюри залишкових напружень у поверхневому шарі металу

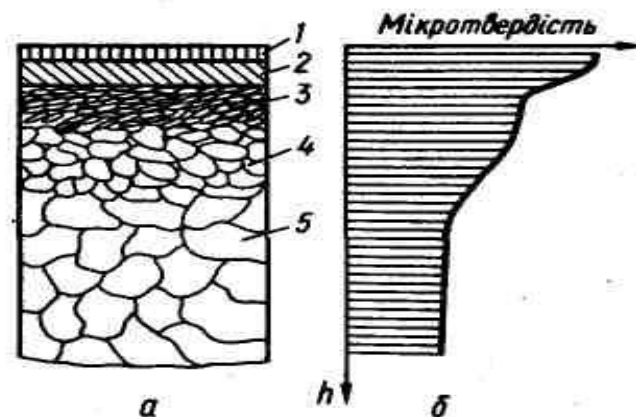
Малі швидкості різання сприяють виникненню стискуючих залишкових напружень.

Залишкові напруження суттєво впливають на експлуатаційні властивості робочих поверхонь, оскільки вони алгебраїчно додаються до зовнішніх (робочих) напружень і можуть їх посилити (ослабити). Найнебезпечнішими вважаються розтягуючі напруження які найчастіше призводять до зниження втомленісної міцності деталей.

Вплив силового й температурного факторів викликає також структурні та фазові зміни у поверхневому шарі, що обумовлює неоднорідність його будови. На поверхні шару атоми мають вільні незрівноважені зв'язки і більшу активність, ніж атоми усередині тіла. Це створює поблизу поверхні атомне (молекулярне) тяжіння мікрочастинок інших речовин із зовнішнього середовища. Відбувається *адсорбція* - утворення на поверхні плівки з газів вологи мастила чи поглинання цих речовин поверхнею (*абсорбція*). Крім цього, через вплив атмосферного кисню поверхня вкривається плівкою окислів. Під плівками є метал, який залежно від відстані до поверхні має різний ступінь деформації та зміцнення. Схематичну будову поверхні сталюї шліфованої деталі і зміну мікротвердості поверхневого шару з глибиною наведено на рис.4.

Залежно від виду і режиму обробки, матеріалу, мастильно-охолодної рідини глибина поверхневого шару становить від 0,2 мкм (при поліруванні) до 2,0 мм (при чорновому точінні).

Складність процесів, які відбуваються при контактуванні тіл призвела до виникнення різних теорій зовнішнього тертя: механічної, молекулярної, молекулярно-механічної, енергетичної та ін.



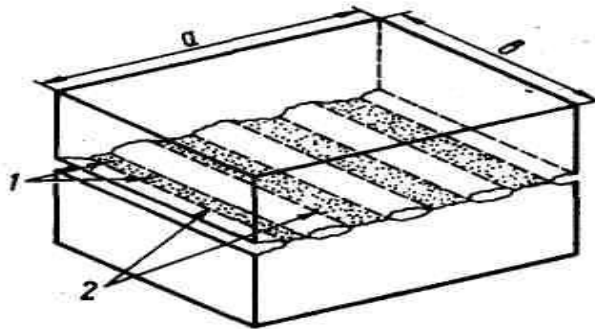
- 1 – адсорбована плівка газів, вологи і забруднень; 2 – плівка окислів;
- 3 – наклепаний шар з дуже деформованою кристалічною ґраткою;
- 4 – наклепаний шар з дуже викривленою кристалічною ґраткою;
- 5 – шар з природною початковою структурою;  $h$  – глибина шару

**Рис. 4. Схема будови поверхневого шару шліфованої деталі (а) і зміна мікротвердості цього шару (б)**

Найбільшого розвитку набула молекулярно-механічна теорія, запропонована І. В. Крагельським. Ця теорія базується на уявленні про двійсту (молекулярно-механічну) природу тертя і дискретність контакту поверхонь при терті.

Розгляд контактування поверхонь з позиції молекулярно-механічної теорії дає таке уявлення про протікання цього процесу.

Внаслідок неминучої наявності макро- і мікровідхилень та хвилястості взаємне зіткнення двох оброблених поверхонь відбувається не по номінальній площі  $A_{ном} = ab$ , а тільки по її частині (рис.5).



- 1 – фактична  $A_{\text{факт}}$  площа контактування;  
2 – контурна  $A_{\text{конт}}$  площа контактування

**Рис.5 .Схематичне зображення різних площ контакту**

У зіткнення звичайно входять найвищі мікронерівності, сумарна площа контакту яких називається фактичною  $A_{\text{факт}}$ . Внаслідок деформацій мікронерівностей утворюються плями дотику, які становлять контурну площу дотику,  $A_{\text{конт}}$ . Фактична площа контакту дорівнює сотим чи десятим часткам відсотка від номінальної площі, а контурна - кільком відсоткам [9,10].

При переміщенні однієї поверхні відносно другої плями дотику переміщуються, зникають, знову з'являються. Взаємодію виступів, що утворюють плями дотику поверхонь тертя, називають фрикційними зв'язками.

Тертя з точки зору молекулярно-механічної теорії - це процес подолання фрикційних зв'язків. Виникнення і порушення цих зв'язків з двоїстою молекулярно-механічною природою визначає процес зношування.

Розрізняють п'ять видів фрикційних зв'язків (за класифікацією І. В. Крагельського) щодо взаємодії поверхонь (рис.5).

Вид фрикційного зв'язку характеризується відношенням глибини укорінення  $h$  одиничної нерівності до її радіуса  $R$  та градієнтом механічних властивостей  $dt/dh$ , що відбиває різницю міцності адгезійного зв'язку поверхневих шарів від міцності розташованих нижче шарів ( $\tau$  - опір зсуву).

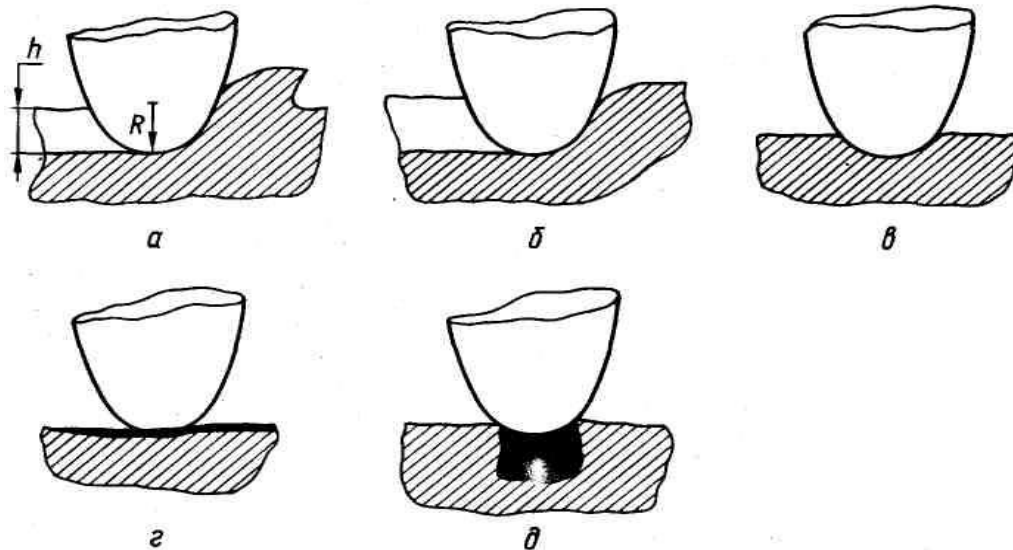
При першому виді фрикційного зв'язку (рис.6, а) здійснюється мікрорізання. Умовою проходження цього процесу є  $h/R > 0,1$  для незмащених поверхонь і  $h/R > 0,2-0,3$  - для змащених. Мікрорізання потребує більших тисків для глибокого укорінення одиничної мікронерівності, при нормальних умовах роботи деталей машин практично не спостерігається.

Пластичне відтискування (другий вид зв'язку) проявляється при  $h/R < 0,1$  (рис.6, б). Поверхневі шари металу при такому деформуванні зміцнюються, мікронерівності вигладжуються. Сили адгезії незначні.

Третій вид фрикційного зв'язку належить до пружного витиснення матеріалу, тобто на контактуючих поверхнях здійснюється взаємодія в умовах пружної деформації -  $h/R < 0,01$  (рис. 6, в).

При четвертому виді зв'язку (рис.6, г) виникає адгезійна взаємодія плівки, яка вкриває поверхню третьових частин деталей. Четвертий вид фрикційного зв'язку відомий як позитивний градієнт механічних властивостей ( $d\tau/dh > 0$ ), коли розташовані вище шари мають меншу міцність, ніж нижчі. Якщо поверхні, що труться, підпорядковані зазначеному правилу, їх пошкодженість найменша.

За п'ятим видом фрикційного зв'язку (рис. 6, д) здійснюється схоплювання поверхонь, яке супроводжується глибинним «вириванням» матеріалу менш міцної поверхні. Для виникнення схоплювання основних матеріалів необхідні достатня величина міжмолекулярних (атомних) сил і попереднє руйнування плівок, що вкривають поверхню деталей.



**Рис.6. Схематичне зображення фрикційних зв'язків при взаємодії поверхонь (а, б, в, г, д)**

Перші три види фрикційних зв'язків характеризують механічну взаємодію мікровиступів, четвертий і п'ятий - молекулярну.

Перераховані фрикційні зв'язки практично не існують відокремлено, найчастіше при контактуванні поєднується кілька їх видів.

Складність вивчення та опису процесу зношування полягає в тому, що утворення й руйнування фрикційних зв'язків супроводжуються так званими похідними процесами, виникненням локальних температур, адсорбційним насиченням елементами з навколишнього середовища та від контртіла, хімічною взаємодією (окисленням) тощо.

**Список використаних джерел**

1. Надійність обладнання харчової галузі. Навчальний посібник. Сухенко Ю.Г., Паламарчук І.П., Жеплінська М.М., Муштрук М.М., Журавель Д.П. – К. ЦП «КомпрІнт», 2019. – 370 с.

2. Журавель Д. П. Моделювання енергетичного балансу трибосистеми сільськогосподарської техніки в середовищі змашувальних матеріалів. Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти. Запоріжжя, 2013. Вип. 1. С. 126-132.

3. Журавель Д.П., Новік О.Ю., Бондар А.М., Петренко К.Г. Триботехніка. Курс лекцій з навчальної дисципліни для здобувачів ступеня вищої освіти «Магістр» зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування». Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2019. 280 с.

4. Журавель Д. П. Вплив забрудненості абразивом біопаливо-мастильних матеріалів на енергоємність поверхневих шарів металів вузлів і агрегатів мобільної техніки. Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти. Херсон, 2017. Вип. 5. С.56-65.

5. Журавель Д. П. Оцінка зносу трибоспряжень в середовищі біопаливо-мастильних матеріалів. Праці ТДАТУ. Мелітополь, 2012. Вип. 12. т.2. С. 28-33.

6. Журавель Д. П., Юдовинський В.Б. Моделювання хімотологічних та триботехнічних процесів в спряженнях тертя. Праці Таврійської державної агротехнічної академії. Мелітополь, 2007. Вип. 7, т. 3. С. 30-38.

7. Дидур В. А., Журавель Д.П. Надежность мобильной сельскохозяйственной техники при использовании биологических топливо-смазочных материалов. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України / НУБіП ; відп. ред. Д. О. Мельничук. К., 2016. № 251. С. 69-78.

8. Журавель Д. П. Методологія оцінки надійності мобільної сільськогосподарської техніки при експлуатації на різних видах паливо-мастильних матеріалів. Вісник Сумського національного аграрного університету / СНАУ. Суми, 2016. Вип. 10/3(31). С.66-71.

9. Журавель Д. П. Методологія забезпечення надійності мобільної техніки при використанні біологічних ТСМ. Енергозабезпечення технологічних процесів в агропромисловому комплексі України: матер. VI Міжнар. наук.-техн. конф. / ТДАТУ. Мелітополь, 2015. С. 8-10.

10. Журавель Д. П. Забезпечення надійності мобільної сільськогосподарської техніки при експлуатації на різних видах паливо-мастильних матеріалів. Сучасні проблеми землеробської механіки: збірник тез доповідей XVII міжнародної наукової конференції / СНАУ. Суми, 2016. С. 163-164.