

УДК 621.891+539.375.6

**DEFORMATIONAL CHARACTER OF SURFACE WAVE FORMATION  
AND DESTRUCTION OF PARTS UNDER FRICTION AND WEAR  
ДЕФОРМАЦІЙНИЙ ХАРАКТЕР ПОВЕРХНЕВОГО ХВИЛЬОУТВОРЕННЯ І  
РУЙНУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ТЕРТІ І ЗНОШУВАННІ****Malinovsky Yu. A./ Малиновський Ю. О.***candidate of technical sciences, associate professor/ кандидат технічних наук, доцент*

ORCID: 0000-0001-5980-0908

*Separate structural subdivision "Krivoy Rog Professional College  
of the National Aviation University"/ Відокремлений структурний підрозділ  
«Криворізький професійний коледж Національного авіаційного університету»***Vlasenkov D. P./ Власенков Д. П.,***Senior Lecturer/старший викладач**Separate structural subdivision "Krivoy Rog Professional College  
of the National Aviation University"/ Відокремлений структурний підрозділ  
«Криворізький професійний коледж Національного авіаційного університету»***Oleinik S.Yu./ Олійник С. Ю.,***Senior Lecturer/ старший викладач*

ORCID: 0000-0002-6169-8874

*Krivoy Rog National University / Криворізький національний університет*

**Анотація.** Як впливає з аналізу відмов, головною причиною виходу з ладу машин є не їх поломки, а знос рухомих з'єднань та робочих органів під впливом сил тертя. Разом з тим при створенні машин практично жодне рухоме з'єднання не розраховується на зносостійкість.

Зазначимо, що такі розрахункові методики існують, але вони вимагають доопрацювання, оскільки були виявлені деформаційні явища при терті та зношуванні, які не отримали обґрунтування у базових теоріях тертя. Як правило, в них враховуються процеси взаємодії деталей під штампом, і не враховуються деформаційні явища перед штампом, який розганяє перед собою деформаційну хвилю, що біжить.

При такому баченні питання поверхневі шари напівпростору або втрачають поздовжню стійкість, або знаходяться під впливом циклічних навантажень, що призводить до інтенсивного зношування і поверхневого руйнування деталей кінематичних пар, що стикаються.

Таким чином, через подовжню деформаційну хвилю, що біжить, проявляються елементи ударно-хвильового уявлення про процеси тертя і зношування.

**Ключові слова:** тертя, зношування, деформаційна хвиля, штамп, напівпростір, дотичне зусилля, поверхневий шар, подовжня стійкість.

**Abstract.** As it follows from the analysis of failures, the main reason for the failure of machines is not their breakdowns, but the wear of moving joints and working bodies under the influence of frictional forces. At the same time, during the creation of machines, almost no moving connection is calculated on wear resistance.

We note that such calculation methods exist, but they require refinement, since deformation phenomena during friction and wear were discovered, which were not substantiated in the basic theories of friction. As a rule, they take into account the processes of interaction of parts under the stamp, and do not take into account the deformation phenomena in front of the stamp, which disperses the running deformation wave in front of it.

With this view of the issue, the surface layers of the half-space either lose their longitudinal stability or are under the influence of cyclic loads, which leads to intensive wear and surface destruction of the parts of the kinematic pairs in contact.

*Thus, through the running longitudinal deformation wave, elements of the shock-wave representation of the processes of friction and wear are manifested.*

**Key words:** *friction, wear, deformation wave, stamp, half-space, tangential force, surface layer, longitudinal stability.*

Надійність і довговічність машин, що експлуатуються і проектується, може бути значно підвищена в результаті вдосконалення і широкого використання для них сучасних методик розрахунку на тертя і знос.

Сучасні вимоги до надійності та довговічності, експлуатованих та проєктованих машин потребує вдосконалення для них методик розрахунку на тертя та знос.

Для оцінки умов тертя та зносостійкості деталей розглядаються геометричні, молекулярні, деформаційні та комбіновані теорії. Однак, при взаємодії деталей, часто мають місце деформаційні процеси, які проявляються у вигляді гофрованих поверхонь, що мають у поперечному перерізі криві, близькі до синусоїд. Амплітуди синусоїд, що утворилися, можуть бути розглянуті як сформовані деформаційні мікронерівності. Розміри цих мікронерівностей можуть бути зіставні з геометричними мікронерівностями, а іноді можуть їх перевершувати.

Такі додаткові (невраховані) шорсткості повинні бути вивчені при виконанні розрахунків на тертя та зношування. Проте досі не була розроблена подібна теорія. Тому нами було поставлено завдання, створити передумови для розробки теорії тертя і зносу з урахуванням деформаційно-хвильових процесів при переміщенні плоского штампу або ролика, що котиться по напівплощині.

Для формулювання поставленого завдання розглянуті деформаційні процеси, що відбуваються в тонких поверхневих шарах штампу і заготовки. При такій постановці завдання тонкий поверхневий шар напівпростору або втрачає стійкість і отримує хвилеподібні деформації, або поверхневий шар знаходиться під впливом циклічних навантажень.

У роботі розглянута можливість руйнування поверхневих шарів деталей, що взаємодіють, як під впливом дотичних, так і нормальних зусиль. Перед руйнуванням цих шарів їх зовнішня поверхня піддається циклічним деформаціям і під дією цих деформацій плоска поверхня набуває хвилеподібного вигляду. Авторами встановлено, що висота цих хвилеподібних деформаційних нерівностей може бути спрогнозована внаслідок застосування запропонованих розрахункових формул. При цьому можливі два найбільш характерні (і небезпечні) розрахункові випадки. Для умови тривалої експлуатації фрикційних пар дотичні та нормальні зусилля повинні бути такими, щоб не викликати втрати поздовжньої стійкості поверхневих шарів, у цьому випадку деформації їх будуть пружними, і поломки цих пар виникають при багатоцикловому поверхневому навантаженні. Тобто, пружні деформації зникають після зняття навантаження.

Якщо розрахунки на зносостійкість та довговічність не були виконані ретельно, то найчастіше виникає втрата поздовжньої стійкості поверхневих шарів через пов'язаність поздовжніх і згинальних деформацій. Тоді на поверхнях деталей, що контактують, виникають стійкі пластичні і незворотні

гофри, які змінюються і зрізаються при зворотному ході штампу.

Термін служби таких сполук зазвичай невеликий через інтенсивне зношування внаслідок зовнішніх деформацій. Тому представлені розрахункові залежності дають об'єктивну оцінку, переважно, для другого розрахункового випадку, коли деформації кінцеві та можуть бути змінені.

В обох випадках відбувається втрата працездатності пари.

В цілому, з урахуванням зазначених особливостей процесів тертя та зношування може істотно змінитися площа всіх виступів на кожному з тіл, що контактують, а також може змінитися висота найбільших мікронерівностей. Для вірного розрахунку ступеня зносу поверхонь, що розглядаються, необхідно скоригувати дані по площі виступів контактуючих тіл, і висоті найбільших мікронерівностей.

Також у роботі передбачена можливість урахування збільшення еквівалентної напруги  $\sigma_e$ , за рахунок зростання швидкості взаємного ковзання деталей  $V$ , шляхом введення до розрахунків коефіцієнта динамічності  $\delta_d$ .

У роботі встановлено, що при будь-якому характері взаємодії рухомих деталей настає стан проходження перед штампом хвилі, що рухається, яка призводить до руйнування деформаційних і геометричних мікронерівностей в залежності від співвідношення діючих вертикальної і дотичної навантажень для певної кількості циклів навантаження мікронерівностей контактуючих деталей.

Виявлено розрахункові випадки руйнування поверхневих шарів взаємодіючих деталей під впливом дотичних та нормальних зусиль ( $T_C, P$ ). Для забезпечення тривалої експлуатації цих деталей дотичні зусилля  $T_C$  не повинні перевищувати критичну силу  $T_{кр}^*$  для верхнього напівпростору. При цьому порушення цілісності поверхневих шарів настає тільки в результаті їх руйнування втоми. У цьому випадку еквівалентна нормальна напруга  $\sigma_e$  не повинна перевищувати межі витривалості матеріалу  $\sigma_{11}$ , а також кількість циклів навантаження буде значною, близько  $10^8$  циклів і більше.

Визначено розрахунковий випадок, коли діючі зусилля такі, що  $T_C \geq T_{кр}^*$  і тонкий поверхневий шар перед штампом втрачає поздовжню стійкість, в результаті чого отримує залишкові непружні деформації. При подальшому проходженні штампу за деформаційними виступами їх вершини можуть бути частково або повністю зрізані. У разі такого характеру взаємодії деталі пари отримують інтенсивне зношування та подальше втомне руйнування для значно меншого числа циклів навантаження елементів пари.

Встановлено розрахунковий випадок, коли діюче дотичне зусилля  $T_C = T_{кр}^*$  і поздовжні деформації від  $T_C$  будуть значно менше відчутні, ніж поперечні прогини балки під дією ваги штампу  $P$ . Ці деформації мають вигляд хвилі, що біжить по балці на пружній підставі і носять циклічний характер. При досягненні взаємодіючими деталями базового числа циклів ( $10^8$ ) і більше настає руйнування втоми поверхневих шарів (деталей). Такий вид втомного руйнування деталей можливий при більшому числі циклів навантаження, ніж при  $T_C = T_{кр}^*$ .

У роботі показано, що зі збільшенням швидкості взаємодії деталей суттєво зростають еквівалентні напруги, зміни яких можуть бути враховані з використанням коефіцієнта динамічності.

Крім того, в роботі показано, що запропонована методика може бути рекомендована до застосування як при описі тертя ковзання, так і тертя кочення.

### **Література**

1. Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ. М., «Машиностроение», 1977, 526 с.

2. Трение изнашивание и смазка. Справочник в 2 книгах. Под ред. И.В. Крагельского и В.В. Алисина – М., «Машиностроение». Кн. 1, 1978, 400 с. Кн. 2, 1978, 358 с.

3. Андреев А.В. Расчет деталей машин при сложном напряженном состоянии – М., «Машиностроение», 1981, 216 с.

4. Биргер И.А., Шорр Б.Ф., Иосилевич Г.Б. Расчет на прочность деталей машин. Справочник. Изд. 4 – М.: «Машиностроение», 1993, 646 с.

5. Учитель А.Д., Малиновский Ю.А., Панченко А.Н. Интенсификация процессов механического взаимодействия инструмента с заготовкой при выполнении высокоточных и энергоемких технологических операций методами давления и резания. *Металлургическая и горнорудная промышленность* № 5-6, Дніпро, 2019, с. 1 – 28.