

**Лисенко С.В.**

Державний  
біотехнологічний  
університет,  
м. Харків, Україна,  
**E-mail:** sevoli@ukr.net

**ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА  
ДОВГОВІЧНОСТІ РУХОМИХ З'ЄДНАНЬ  
КЛИНОПАСОВИХ ВАРІАТОРІВ  
ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ**

<https://doi.org/10.37700/ts.2024.24.45-51>

УДК 631.354.2-585.17

*Лисенко С.В. Підвищення надійності та довговічності рухомих з'єднань клинопасових варіаторів зернозбиральних комбайнів.*

**Анотація.** У статті викладені технологічні методи і заходи захисту рухомих з'єднань клинопасових варіаторів зернозбиральних комбайнів. Проаналізовано дослідження ефективності розроблених покриттів і заходів захисту рухомих з'єднань від шкідливих наслідків фретинг-корозії з метою запобігання руйнувань, а також зменшення інтенсивності пошкоджуваності деталей варіаторів і рухомих з'єднань від корозії.

**Ключові слова:** клинопасовий варіатор, sprzęження, надійність, ресурс, знос, фретинг-корозія, тертя, окислення.

*Lysenko S.V. Increasing the reliability and durability of moving joints of V-belt variators of grain harvesters.*

**Abstract.** The article describes technological methods and measures to protect the moving joints of V-belt variators of grain harvesters. The study of the effectiveness of the developed coatings and measures to protect movable joints from the harmful effects of fretting corrosion in order to prevent destruction, as well as to reduce the intensity of damage to variator parts and movable joints from corrosion, was analyzed.

**Key words:** V-belt variator, coupling, reliability, resource, wear, fretting corrosion, friction, oxidation.

### **Постановка проблеми**

Ресурс роботи рухомих з'єднань найчастіше обмежується передчасним зносом, а також руйнуванням контактуючих деталей в процесі розвитку особливого виду пошкоджень деталей, який отримав назву фретинг – корозії і як правило виникає на контактуючих металевих поверхнях при відносному коливальному русі. Коливальний рух виникає в наслідок вібрації, зворотно-поступальних переміщень, скручуванням контактуючих деталей, періодичним вигинанням. Переміщення може бути дуже малим, але воно є достатнім для виникнення на рухомих з'єднаннях фретинг-корозії.

При фретинг-корозії значно погіршується якість поверхонь деталей, а це може привести до істотного зниження їх втомної міцності. До цього часу, при оцінці втомної міцності конструктори практично не враховують вплив цього фактора. Однак експерименти показують, що під впливом фретинг-корозії втомна міцність може знизитися в кілька разів.

Внаслідок інтенсивного зносу контактуючих поверхонь при фретинг-корозії деталі часто втрачають розміри і допуски. Важко перебільшити масштаби виходу з

ладу машин і механізмів через фретинг-корозію і економічні збитки, що наносяться нею.

Якщо розглянути сучасні конструкції варіаторів, то в них значно зросли навантаження, робочі швидкості, зменшилися допуски. Враховуючи це, вивчення причин виникнення фретинг – корозії і знаходження заходів боротьби з нею для сучасного машинобудування має велике народногосподарське значення.

Вагомим чинником у проблемі підвищення довговічності та надійності клинопасових варіаторів зернозбиральних комбайнів є забезпечення вільного переміщення маточин на валах при дотриманні конструкторських спряжень.

### **Аналіз останніх досліджень та публікацій**

Вивчаючи останні дослідження про розвиток та виникнення фретинг – корозії та вплив зовнішніх механічних факторів навантаження спряжуваних тіл, природи матеріалів, температури, навколишнього середовища, електричних контактних явищ, можна зробити висновок: що дані напрацювання не дозволяють з упевненістю дати поради відносно зменшення зносу в умовах фретинг - корозії та підвищення втомної міцності.

Вивчаючи роботи Солкінд М.І. та Лукас Р.І. [1], в яких вони відзначають, що на даний час не має тесту на фретинг-втому малогабаритного зразка, який би регулював параметри та точно відтворював механізм фретинга.

Детальну інформацію та огляд проблем фретинг-корозії можна знайти в роботах в наукових працях [2, 3].

### **Формулювання мети досліджень**

Дослідити вплив фретинг-корозії на рухомі з'єднання клинопасових варіаторів зернозбиральних комбайнів та проаналізувати різноманітні варіанти, що дозволять запобігти виникненню руйнувань та дозволять зменшити інтенсивність корозійної пошкоджуваності рухомих з'єднань варіатора.

### **Результати досліджень**

Для забезпечення вільного переміщення маточин варіатора на яких кріпляться рухомі шківів і переміщаються на валу при дотриманні спряжень деталей є істотним чинником при вирішенні проблеми підвищення довговічності та надійності клинопасових варіаторів.

Під час коливання клинового паса та виникнення штовхоподібних навантажень при обертанні рухомих шківів в місці контакту рухомої маточини з валом виникають вібрації з відносним переміщенням яке відбувається як в осьовому напрямку і в напрямку обертання. В умовах недостатнього мащення ці переміщення слугують причиною виникнення фретинг-корозії.

В наслідок цього на з'єднаних поверхнях маточин, валів появляються вироблення, що призводять до виникнення шуму при роботі варіатора, а продукти зносу ущільнюють зазор в спряженні, що веде до втрати рухливості, відбувається заклинювання рюхами шківів.

Фретинг-корозія є різновидом корозійно-механічного зношування і пов'язана з розхитування і руйнуванням кристалічної ґратки при повторних тангенціальних зсувах і з місцевим з'єднанням контактуючих поверхонь. Характерними умовами виникнення фретинг-процесу є тертя ковзання дуже малими зворотно-поступальними

переміщеннями, починаючи з величин на порядок вище міжатомних відстаней, і динамічне накладення навантаження [4]. Динамічний характер навантаження різко збільшує градієнт деформацій і температур на контакті, що веде до інтенсивного окислення. Спрямованість розвитку фретинг-процесу в сторону окислення або з'єднання залежить від середовища в зоні контакту, а також від ступеня спорідненості металів контактуючих поверхонь і застосованого мастила. Конструкція сполучення пересувних конусів і їх мастило дуже впливають на працездатність і довговічність варіаторів з широким клиновим пасом.

При фретинг-корозії значно погіршується якість поверхонь деталей, а це може привести до істотного зниження їх втомної міцності.

Наявні експериментальні дані з фретинг-корозії не вичерпують усього різноманіття проявів цього виду поверхневого руйнування. У більшості опублікованих робіт розглядається вплив зовнішніх механічних факторів на інтенсивність розвитку фретинг-корозії. Однак найбільш повну інформацію для встановлення механізму цього явища можна отримати, досліджуючи структурні зміни поверхневих шарів, природу утворення окислів і так далі. Що стосується деталей варіатора, то тут втомно-корозійні пошкодження знаходяться на деталях які мають шліци, [4] рис. 1.

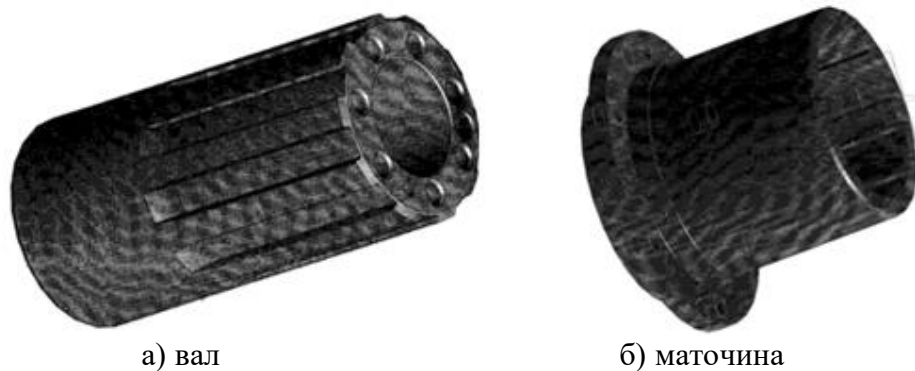


Рис. 1. Блок варіатора барабана ведучий

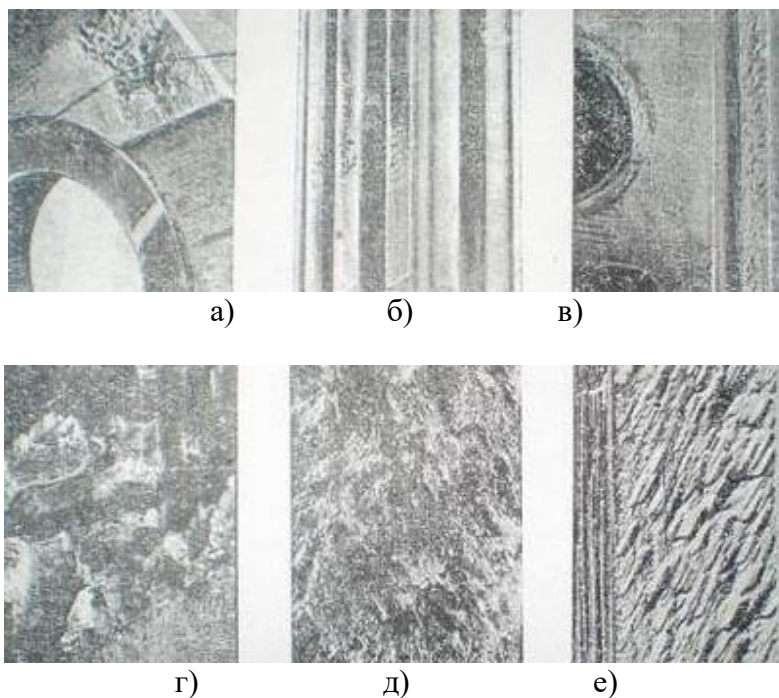


Рис. 2. Ділянки поверхонь деталей, що пошкоджені фретинг-корозією:  
а, г – прилипання; б, д – втомно-корозійне руйнування; в, е – абразивне руйнування

Під впливом зовнішнього навантаження і ймовірного мікропереміщення поверхонь нарощується пластична деформація матеріалу, як результат корозійні процеси на контактній поверхні. Корозія поверхні відбувається в більшості в складках деформованого рельєфу.

Процес зношування при виникненні фретинг-корозії показаний на рис. 3. Початковий етап – це контактування деталей в окремих точках (рис. 3а). При виникненні вібрації в зоні контакту окисні плівки руйнуються, перетворюючись у невеликі каверни, які заповнені окисними плівками (рис. 3б), потім вони поступово збільшуються в розмірах і стають одною великою каверною (рис. 3в).

В результаті підвищується тиск частинок металу, що окислилися, утворюються тріщини. Потім ці тріщини зливаються, відколюються окремі частинки металу. Відбувається абразивна дія. В результаті підвищується температура, тиск, сили тертя зростають, результат – утворення твердих структур, які відкололися з поверхні каверн.

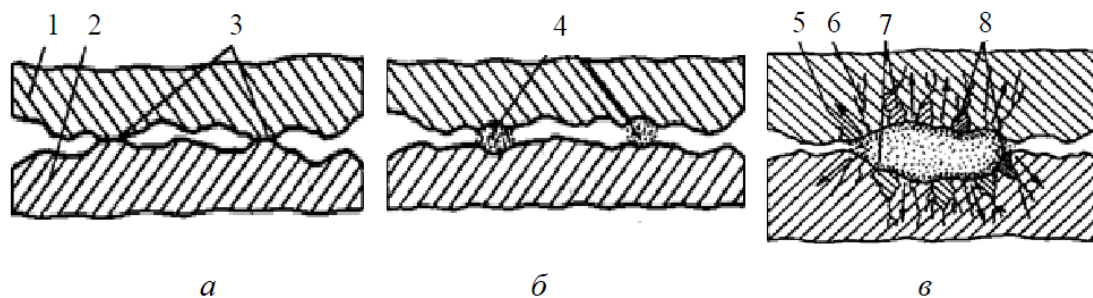


Рис. 3. Процес зношування при фретинг-корозії.

1, 2 – деталі що контактують; 3 – точки контакту поверхонь; 4 – дрібні каверни;  
5 – велика каверна; 6 – тріщини; 7 – частини металу які відкололися; 8 – тверда структура яка відкололася

При фретинг-корозії відбувається зміна фізико – хімічних властивостей спряжень під дією пластичного деформування, відносного переміщення, руйнування захисних плівок, адсорбційної взаємодії матеріалу з середовищем. Корозійні процеси можуть мати хімічну або електрохімічну природу. Швидкість фретинг-корозії визначається природою матеріалів поверхонь тертя, корозійної активністю середовища, амплітудою ковзання, контактним тиском, числом і частотою циклів відносного контактуючих деталей, температурою в зоні контакту, ступенем прилягання поверхонь.

Можна назвати три групи заходів захисту рухомих з'єднань варіаторів від шкідливих наслідків фретинг-корозії:

- виключенням безпосереднього контакту сталевій поверхні по сталевій або чавунній;
- застосуванням самозмащувальних полімерних матеріалів;
- конструктивні заходи із застосуванням пружних шпонок, що поліпшують надходження рідкого мастила під маточини дисків.

Шкідливі наслідки фретинг-корозії пропонується усувати застосуванням проміжних бронзових втулок та хромуванням з'єднаних поверхонь. При цьому в якості додаткового конструктивного заходи на контактуючій поверхні бронзової втулки доцільно проточувати масляні канавки, що сприяють збереженню мастила в зоні виникнення фретинг-корозії. Слід приділяти серйозну увагу якості хромування сталевій поверхні, так як було виявлено, що в разі наявності плям, непокритих шаром хрому, процес фретинг-корозії протікає ще більш інтенсивно, ніж при контактуванні не хромованих сталевих поверхонь. Застосування різних марок бронзи не виявило ніякої

переваги якійсь із них. Тому доцільно застосовувати бронзи з підвищеними механічними властивостями, наявність дефіцитного олова в ній не обов'язково.

Радикальним засобом боротьби з фретинг-корозією є застосування рідкого мастила із забезпеченням відповідного надходження в рухливе з'єднання деталей.

Як попереджувальні заходи застосовуються системи примусової подачі масла, допоміжних деталей із самозмащувальних матеріалів і інші способи.

Недостатня вивченість процесів і складність взаємозв'язку фретинг-корозії, а також вплив великого числа факторів які визначають їх активність в кожному конкретному випадку вказує на складність при розробці схем захисту.

Проаналізовані свідчення в різних джерелах вказують, що боротися з цим руйнуванням можливо різними шляхами, а саме:

- підбором відповідних пар контактуючих матеріалів;
- використанням різних гальванічних і дифузійних покриттів;
- застосуванням рідких і твердих мастил, неметалевих прокладок і покриттів, тощо.

А. Бартель робить спробу систематизувати різноманітні заходи щодо попередження фретинг-корозії, виділяючи їх в чотири основні групи: конструктивні, механічні, підбір матеріалів, монтажні та виробничі [5].

В якості конструктивних можливостей для боротьби з фретинг-корозією рекомендується застосовувати безконтактні лабіринтові ущільнення, замість циліндричної посадкової поверхні - кулясту, тертю ковзанням віддавати перевагу тертю коченням, щільно підганяти призматичні і сегментні шпонки.

Попередженням фретинг-корозії «механічним» шляхом є забезпечення та створення напруженої посадки деталей. Посадочні місця повинні попередньо піддаватися дроб'єструйній обробці.

Широкі можливості для попередження фретинг-корозії дає третя група заходів - підбір пар матеріалів, слабких до взаємодії з фретинг-корозією. Так, дуже тверді матеріали (наприклад, з високим вмістом карбідів) мають підвищену здатність протистояти фретинг-корозії. Позитивний ефект дає застосування корозійно - стійких сталей, а також нанесення плазмових покриттів. Також слід приділити увагу спеціальній обробці контактуючих поверхонь. Так, азотування з додатковим нанесенням порошку дисульфиду молібдену, нанесення гальванічного шару хрому, обробка поверхні піскоструминним методом з подальшим нанесенням металевого пилю свинцюватої бронзи, покриття з неметалічних матеріалів дають можливість успішно боротися з фретинг-корозією.

До четвертої групи віднесено такі монтажні та виробничі заходи, як ретельна підгонка з'єднаних деталей, посадка підшипників ковзання і шарикопідшипників з натягом.

Застосування таких матеріалів як тефлон і гума в з'єднанні «вал – втулка» дозволяє іноді повністю усунути фретинг-корозію. Тефлонову плівку напилюють на вал, потім вал піддають термічній обробці і перед складанням покривають звичайної змазкою. Крім розглянутих методів пропонується використовувати різні демпфіруючі пристрої, що використовуються для гасіння вібрації.

Р. Б. Уотерхауз рекомендує для усунення відносного переміщення контактуючих поверхонь зменшувати тангенціальні сили або збільшувати сили тертя. Для збільшення сили тертя використовуються дві можливості. Там, де дозволяє конструкція, найбільш простим і ефективним методом є збільшення нормального навантаження. Другий метод Уотерхауза Р. Б. – для збільшення коефіцієнта тертя нанесеним на поверхню за допомогою гальваніки шару міді, олова.

Для підвищення втомної міцності деталей, що працюють в умовах фретинг-корозії, застосовують спосіб концентрації зменшувальних напружень, при нанесенні канавок певної глибини на поверхню, яку необхідно захистити від руйнування.

### Висновки

1. Можливі шляхи зниження фретинг-корозії:
  - зменшення сили тертя, мікрозміщення, зосередження ковзання в проміжній зоні;
  - підвищення твердості однієї з деталей, використання оптимальних конструкторських рішень;
  - використання мастильних матеріалів, інгібіторів корозії - для зниження впливу агресивності середовища;
  - створення в поверхневих шарах стискаючих напружень з використанням хіміко-термічної обробки;
  - застосовувати нанесення металевих покриттів.
2. Конструкторські шляхи:
  - зменшення коливальних переміщень спряжених поверхонь за рахунок збільшення натягу у пресових посадках;
  - використання демпферних пристроїв для зменшення вібрацій, тощо.
3. Таким чином, систематичне вивчення механізму фретинг-корозії і фретинг-втоми, наявність розрахункових і експериментальних даних про напружено-деформований стан конструкції дозволяють, з одного боку, прогнозувати реальну межу витривалості деталі, а з іншого – вибрати науково обґрунтовані і найбільш оптимальні конструктивні рішення і технологічні методи, що знижують вплив фретинг-корозії на опір втоми.

### Список використаної літератури

1. Sdh N.P. The delamination theory of wear. *Wear*. 1973. Vol. 25. P. 111–124.
2. Braunovie M. Tribology, fretting wear. *Eng. Dig (can)*. 1981. Vol. 27, No.9, 48, 50, 53, 54.
3. Duggan T., Byrne I. Fatigue as a design criterion. Macmillan Press. L.T.D., London. 1977. 286 p.
4. Кухтов В., Лисенко С. Подвижные соединения клиноременных вариаторов и пути повышения их надежности. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробовування нової техніки і технологій для сільськогосподарського господарства України. Дослідницьке. 2014. Випуск 18 (32). Книга 1. С. 104–111.
5. Bartel A. Passungsrost bzw. Reiboxidation-besondere Verschleibprobleme. *Der. Maschinenshaden. Helf 7/8, Ang.* 1963. 208 p.

### References

1. Sdh N.P. (1973). The delamination theory of wear. *Wear*. Vol. 25. P. 111–124.
2. Braunovie M. (1981). Tribology, fretting wear. *Eng. Dig (can)*. Vol. 27, No.9, 48, 50, 53, 54.
3. Duggan T., Byrne I. (1977). Fatigue as a design criterion. Macmillan Press. L.T.D., London. 286 p.
4. Kuhtov V., Lysenko S. (2014). Moving joints of V-belt variators and ways to increase their reliability. Technical and technological aspects of the development and testing

of new equipment and technologies for the agricultural economy of Ukraine. Doslidnytske. Issue 18 (32). Book 1. P. 104–111.

5. Bartel A. (1963). Passungsrost bzw. Reiboxidation-besondere Verschleibprobleme. Der. Maschinshaden. Helf 7/8, Ang. 208 p.