



УДК 664.643.1,

THE INFLUENCE OF THE TECHNOLOGICAL ENVIRONMENT ON THE MECHANICAL WEAR OF THE WORKING ORGANS OF THE MACHINE
ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА НА МЕХАНІЧНЕ ЗНОШУВАННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ МАШИНИ**Stadnyk I.Y. / Стадник І.Я.***d. t.s ., prof. / д.т.н., проф.*

ORCID: 0000-0003-4126-3256

Derkach A.B. / Деркач А.В.*c.t.s ., / к.т.н.,*

ORCID: 0000-0002-0395-362x

Kravcheniuk H. U. / Кравченко Х.Ю.*c.t.s ., / к.т.н.,*

ORCID: 0000-0002-7547-6834

*Ternopil Ivan Puluji National Technical University,**Ternopil 46001, Hohol str. 6,**Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,**м. Тернопіль 46001, вул. Гоголя 6***Fedoriv V.M./ Федорів В.М.***c.t.s ., as.prof. / к.т.н., доц*

ORCID:0000-0002-4499-0910

*Khmelnyskiy National University. Khmelnytskyi, 11 Instytutska St., 29016**Хмельницький національний університет.**Хмельницький, вул.Інститутська, 11, 29016*

Анотація. Розглянуто середовище із складом хімічних та поверхнево-активних речовин які потрапляючи на циліндричну поверхню робочих органів викликають корозійне руйнування і зношування або корозійно-механічне спрацювання. Оскільки тертя завжди супроводжується з нагріванням в умовах корозійно-механічного зношування, вирішальне значення для оцінки якості терморегулювання має тривалість процесу та конструктивні параметри машини в чутливому середовищі щодо точки термодинаміки. Встановлено, що температура середовища змінюється не тільки в часі, але і по висоті робочої камери, так як гідродинамічний процес відрізняється досить великою складністю і тому нами передбачено шляхи для вивчення природи цього процесу з належною точністю задати коефіцієнт тепловіддачі.

Ключові слова: поверхнево-активні речовини, середовище, гідродинамічний процес, коефіцієнт тепловіддачі, сил тертя, валки.

Вступ.

Аналіз сучасного стану парку устаткування харчової галузі України свідчить про те, що його технічний рівень не можна визнати задовільним. Характерною особливістю технологічного обладнання є наявність різної конструкції робочих органів, що механічно впливають на середовище при безпосередньому контакті з ним. Це активно відображається і пливає на процес їх зношування. Так як середовище, в більшості випадків є агресивними і, при контактуванні їх з металами, розвивається електрохімічна корозія [1, 2].

В Україні і за кордоном ведуться інтенсивні роботи з розробки нового покоління високоефективного обладнання для формування, розкачування, транспортування, розділення із використанням різних конструкцій робочих



органів. Основною вимогою до проектування такого обладнання є забезпечення можливих конструкцій за технічними характеристиками замовника в короткий інтервал часу із малими витратами і високою надійністю. Індустріальні технології потребують розробки автоматизованих комплексів із комп'ютерним програмним управлінням, які дадуть можливість оперативно реагувати на сьогоденні вимоги до довговічності і якості спрацювання машин.

Робочі середовища у харчовій галузі за своїм складом і природою дуже різноманітні. Їх умовно можна розділити на газоподібні, рідкі, тверді, що містять хімічні та поверхнево-активні речовини. Потрапляючи на поверхню рухомих робочих органів вони викликають корозійне руйнування і зношування, або комплексне корозійно-механічне спрацювання. Це визначення корозійно-механічного зношування (КМЗ) знайшло своє відображення в ГОСТ 23.002-78, де цей вид зношування трактується, як «зношування в результаті механічної взаємодії, яке супроводжується хімічною і (або) електричною взаємодією матеріалу з середовищем».

Робочі середовища харчової промисловості в більшості випадків є ньютонівськими рідинами. Контактвання викликає на поверхні робочого органу корозію, яка спричиняє не тільки втрати металів, але також зниження механічної міцності конструкцій машин. Пошкодження від корозії призводять до зменшення точності і тривалості роботи механізмів формувальних, тістоподільних, тістомісильних машин. Продукти корозії забруднюють поверхні робочих органів, пошкоджують зовнішній вигляд і, потрапляючи в харчовий продукт, знижують його якість. Взаємодія робочих середовищ з поверхнею металу, що зумовлює корозійне його руйнування, визначається рядом внутрішніх та зовнішніх чинників.

Аналіз системних впливів на спрацювання валкових робочих органів.

В ряді робіт [3, 4] показано, що зносостійкість металів в хімічних і корозійно-активних середовищах визначається в основному їх корозійною стійкістю. Вона обумовлена характером та інтенсивністю протікаючих на поверхнях тертя хімічних (електрохімічних) процесів і швидкістю утворення продуктів корозії. В той же час, важко передбачити поведінку матеріалу при терті в агресивних середовищах. Використання раціональних матеріалів і захисних покриттів, які характеризуються високою зносостійкістю в середовищах борошняного виробництва, ускладнюється через відсутність належної кількості достовірних даних.

Внутрішні фактори визначаються природою і будовою металу робочого органу, способом їх обробки, напруженням, які виникають при експлуатації. Зовнішні фактори пов'язані з характеристиками корозійних середовищ і умовами навантаження деталей. Вони характеризують зовнішні умови експлуатації машин, визначають якісну і кількісну сторони явищ.

З аналізу даних літературних джерел та досліджень підприємств кондитерської промисловості [4,5] випливає, що якість виконуваної роботи формувальних машин з валковими робочими органами залежить від комплексу параметрів, які можна поділити на наступні категорії:

- форма, кінематика, стан і геометричні параметри;



- фізико-хімічні властивості середовища;
- експлуатаційні умови роботи: зазор між валками, зусилля взаємного стискання середовища, частота їх обертання;
- особливості тертя в рідких електропровідних середовищах.

Зазвичай результати зношування валкових робочих органів машин оцінюються вимірами зносу, які поділяються на характеристики службові і матеріальні [3,6]. До службових характеристик зносу відносяться показники, що характеризують якість технологічного процесу. Найбільш вживаними матеріальними характеристиками зносу можуть бути товщина пазів і форма його поперечного перерізу, форма контуру по довжині валка та кут затягування і нагнітання середовища.

В роботах [2,3,6] висвітлено питання про вплив електрохімічних корозійних процесів на механічні властивості металів. Вказано, що цей вплив проявляється в значній мірі і при терті та зношуванні металів. Наявність хімічно активного середовища на поверхні тертя може у декілька разів збільшити знос і навіть змінити характер цього процесу [3]. В нейтральних середовищах (вода, розчини кухонної солі) переважає киснева деполяризація за рахунок розчиненого в середовищі кисню.

За характером взаємодії з металами робочі середовища можна розділити на хімічно - і поверхнево-активні. В групу хімічно-активних середовищ входять водні розчини кислот, лугів, солей. Їх особливість є та, що молекули розчинених в них речовин можуть дисоціювати і, тим самим, обумовлюють можливість протікання електрохімічних корозійних процесів.

Необхідно відмітити, що валкові робочі органи експлуатуються в умовах підвищеної вологості. Пари води, адсорбуючись на поверхні валків, а також розчинені гази (CO_2), створюють умови для протікання електрохімічних реакцій. Робочі середовища хлібопекарської та кондитерської промисловості в більшості випадків є електрохімічними суспензіями. Тому процес корозійно-механічного зношування валкових робочих органів в більшості випадків протікає в умовах електрохімічного впливу середовищ.

Постановка задачі.

Утворена температура з розподілом в середовищі при дії валків, значно впливає на його структуру і поверхню валків. Для розрахунку розподілу температури нагрівання валка тертям необхідно, насамперед, визначити швидкість виділення тепла на границі розділу середовище-валок. Існують чотири методи розрахунку виділення тепла при терті. Два з них засновані на коефіцієнті тертя, третій - на експериментальному визначенні розсіювання потужності, і четвертий - на зворотній моделі теплопровідності для оцінки виділення тепла [4, 6].

Мета статті. Виконати розрахунок тепловиділення при дії робочого органу на середовище із використанням методики, що ґрунтується на вирішенні зворотної задачі теплопровідності.

Викладення основного матеріалу.

Для вирішення зворотної задачі теплопровідності можна використовувати різні методи, такі як метод Гаусса, метод найменших



квадратів, ітераційні методи та інші. Зазвичай, для проведення таких розрахунків використовують програми для чисельного моделювання теплопровідності.

При дослідженні процесів тертя та зношування поверхонь валків з використанням методів термодинаміки необоротних процесів, як правило, застосовують традиційні методи вимірювань та контролю. До таких методів відносять вимірювання та контроль температури в безпосередній близькості від зони тертя, а також вимірювання та контроль сили або моменту тертя поверхонь фрикційного контакту.

Низька чутливість до процесів тертя та зношування на мікрорівні, реакція на необоротні процеси, які виникають на стадіях катастрофічного руйнування поверхонь, складність інтерпретації отриманої інформації про зміни стану поверхонь фрикційного контакту призводить до низької достовірності існуючих методів контролю та діагностики. Тому при дослідженні процесів тертя та зношування поверхонь фрикційного контакту валків із тістом використовуються нетрадиційні методи, що володіють високою чутливістю до процесів, які виникають при терті поверхонь на мікрорівні.

Необхідність забезпечення гарантованої надійності формувальних машин, запобігання їх відмов, зменшення втрат від пошкодження та руйнування виробів в цілому потребує вдосконалення та розробки методів контролю та діагностики стану поверхонь фрикційного контакту з підвищенням їх достовірності.

Експериментальні дані по визначенню температури нагрівання валка в процесі нагнітання, одержані за допомогою розташованих у зоні нагрівання термопар. Використаємо для розрахунку тепловий потік на поверхні тертя (рис.1). При виборі теплового параметра доводиться враховувати, з одного боку, зовнішні умови, зокрема мікроклімат цеху, з іншого - баланс тепла робочої камери машини (тобто тепло, що виділяється в процесі нагнітання, тепло внесене середовищем). З всіх чинників, більшою чи меншою мірою, вони впливають на загальну температуру середовища. Практично лише один виявляється придатним для активного впливу на середовище - температура, що утворюється в робочій камері при дії поверхні валка.

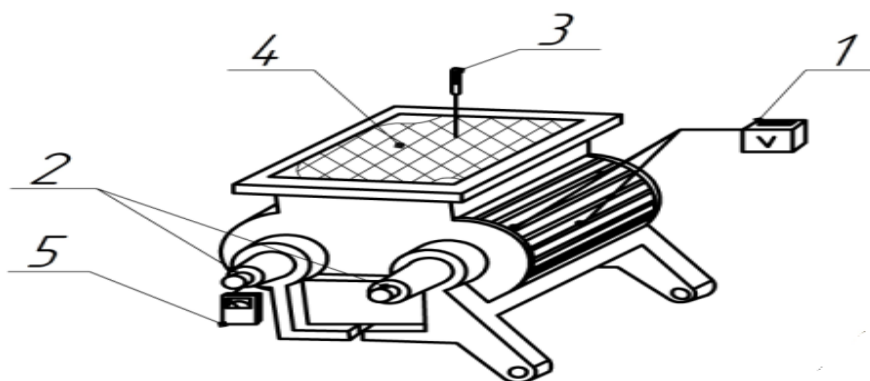


Рисунок 1. Схема установки для визначення температури:

1- термопара з осцилографом; 2- обертові валки; 3- термометр; 4 – тісто;
5- тахометр



Зміну температури в процесі нагнітання вимірювали за допомогою чотирьох термопар, закріплених на поверхні валка відповідно на відстані 5; 15 і 25 мм від торця валка. Вирішальне значення для оцінки якості терморегулювання має тривалість встановлення температури в чутливому середовищі. Це питання представляє особливий інтерес з точки зору порівняння якості чутливого валка в старому та новому виконанні. Вона ускладнена тим, що температура середовища змінюється не тільки в часі, але і по висоті робочої камери. Крім того, не можна точно сформулювати граничні умови, так як гідродинамічний процес відрізняється досить великою складністю і тому не можна з належною точністю задати коефіцієнт тепловіддачі.

При визначенні характеру температурного поля середовища по висоті було проведено зіставлення одночасного запису температури в двох поясах: спочатку у верхньому і нижньому, а потім у верхньому і середньому (із збереженням зазначеного розташування термопар). Отримані осцилограми свідчать про розшарування температури по висоті, але, разом з тим, привертає на себе увагу періодичність температурного ходу середовища, а також синхронність зміни температури па різній висоті. На рис. 2 представлена одна з осцилограм.

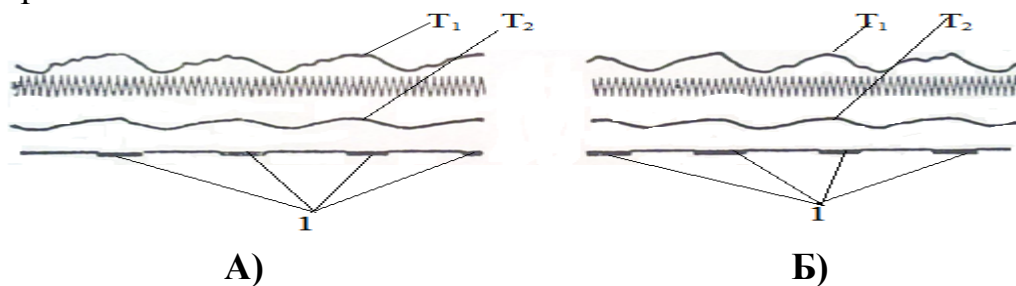


Рисунок 2. Зміна температури над поверхнею валка 1 після а) – шостого; б) – восьмого циклів нагнітання

Дослідження встановили, що відбувається приблизно рівномірно виділення тепла. Цикл виділення досить короткий, і втрати тепла на випромінювання й конвекцію незначні. Розподіл температури по площині, паралельній поверхні тертя, є рівномірним.

Відповідно до цього реальну картину зміни температури в об'ємі також допустимо замінити картиною зміни її середньої арифметичної величини. Надалі прийняті наступні позначення:

T'' і T' - поточні температури середовища і валка; τ - час; c - теплоємність матеріалу валка; ρ - його густина; F - бокова поверхня; V - об'єм; r - радіус; h - висота; α - коефіцієнт тепловіддачі; α , ρ , c , F і V - постійні параметри процесу.

Дійсна зміна температури по часі апроксимується лінійною функцією:

$$T'' = T'_0 \pm a \tau,$$

де позитивний знак при другому доданку відповідає прогріванню середовища, а негативний - охолодженню.

Рівняння теплообміну запишемо в наступному вигляді:

$$\alpha (T'' - T') F d\tau = c \rho V dT',$$



Приймаємо позначення - $k = \frac{\alpha}{c\rho} \frac{F}{V}$,

Отримуємо: $\frac{dT'}{d\tau} = k(T''_0 + \alpha r - T')$.

Початкову температуру середовища приймаємо за початок 0 відліку і відповідно вводимо позначення: $T' - T'' = \vartheta$.

ϑ - являє собою надлишкову температуру металу по відношенню до початкової температури середовища.

Таким чином, при охолодженні $\vartheta > 0$, а при нагріванні $\vartheta < 0$. Отже ,

$$\frac{d\vartheta}{d\tau} = -k(\vartheta - \alpha r), \text{ або } \vartheta' + k\vartheta = k\alpha r$$

Це звичайне диференціальне рівняння, лінійне, першого порядку, неоднорідне. Його загальне рішення виходить як сума двох рішень: загального розв'язання однорідного рівняння ϑ і власного розв'язання неоднорідного рівняння ϑ_2 .

У умовах нагнітання, коли частина валка не знаходиться у контакті з навколишнім середовищем, вільний потік повітря ззовні до робочої камери виявляється надзвичайно слабким. За оцінками, ефективний коефіцієнт теплопровідності має визначене значення. Таким чином, теплообмін у цій конструкції відбувається за рахунок як теплопровідності, так і випромінювання. Для визначення інтенсивності теплообміну введемо сумарний коефіцієнт тепловіддачі, представивши його у вигляді $\alpha = \alpha_K + \alpha_L$

При цьому перший доданок, відповідає конструктивному переносу тепла, визначиться у вигляді $\alpha_K = \frac{\lambda}{\vartheta_B}$

де λ - коефіцієнт теплопровідності повітря;

ϑ_B - товщина повітряного прошарку.

Другий доданок, що характеризує теплообмін випромінюванням, знаходиться з рівняння

$$\alpha_L = c \frac{\left(\frac{T_{mp}}{1000}\right)^4 - \left(\frac{T_{cm}}{1000}\right)^4}{T_{mp} - T_{cm}} \equiv c\vartheta$$

де T_{mp} - абсолютна температура внутрішньої поверхні валка;

T_{cm} - абсолютна температура поверхні валка;

c - коефіцієнт випромінювання системи валка.

Коефіцієнт c визначається за формулою

$$c = \frac{1}{\frac{F_{cm}}{F_{mp}} \left(\frac{1}{c_{cm}} - \frac{1}{c_e} \right)}$$

Тут, c_{cm} і c_{tp} - відповідно коефіцієнти випромінювання абсолютно чорного тіла та матеріалу валка. За умови малої товщини та високої теплопровідності стінки валка можемо припустити, що температура обох її поверхонь є однаковою. Тривалість встановлення температурного режиму, виходячи з



умови, що відносна надмірна температура в усіх випадках нагнітання має однакове задане значення, може бути розглянута як величина, обернена до

$$\text{коefficienta теплопровідності (k): } \tau = \frac{\ln \frac{\vartheta}{\vartheta_0}}{k}$$

Таким чином, час встановлення температурного режиму є величина, зворотна k

Висновки.

У процесі нагнітання середовища, що заповнює зазор, воно виявляє помітну швидкість руху, що суттєво підсилює теплообмін. Зазначено, що в умовах такого руху складно точно визначити коефіцієнт тепловіддачі через складні гідродинамічні умови. Однак час, необхідний для встановлення температурного режиму, дозволяє ефективно вирішити зворотню задачу теплопровідності.

Література

1. I. Stadnyk, V. Piddubnyi, I. Okipnyi, T. Hushtan, V. Vovk, V. Lazaryuk EFFECT OF INHIBITOR EXTRACT ON RESISTANCE TO CORROSION-FATIGUE FRACTURE OF STEEL 20. VII International Conference «In-service Damage of Materials, its Diagnostics and Prediction» October 18-20, 2023, Ternopil, Ukraine

2. Сухенко В.Ю. Методика исследования процессов коррозионно-механического изнашивания оборудования пищевых и перерабатывающих производств./ А. Дзюб, В. Мануилов, Ю. Сухенко// polish Academy of Sciences/-Lublin-Rzeszow; AgroMedia 2014. –Vol. 16, №3 -74-81с.

3. Крагельский И.В. Некоторые задачи науки о трении. В об. «Проблемы тения и изнашивания», К., «Техніка», 1981, вып.1,с.11-17.

4. Деркач А.П., застосування експериментально-статистичного моделювання для дослідження параметрів надійності валкових машин// Деркач А.,Стадник І.Я., 1Василів В.П.Научний вигляд в будуще. ISSUE№2, 2016-с.63...66.

5. Igor Yaroslavovych Stadnyk, Volodymyr Piddubnyi, Halyna Karpyk, Mykhail Kravchenko, Volodymyr Hidzhelitskyi ADHESION EFFECT ON ENVIRONMENT PROCESS INJECTION *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences* vol. 13, 2019, no. 1, p. 429-437 <https://doi.org/10.5219/1078>

6. Stadnyk, I., Novak, L., Matenchuk, L. 2018. Global rheological approach to the quality of medium injected by the rollers. *Potravinarstvo Slovak Journal for Food Sciences*, vol. 12, no. 1, p. 397-404. <https://doi.org/10.5219/867>

7. Declarative Patent for utility model Ukraine. *Dough feeding unit of the molding machine*. Patent owner : Stadnyk, I. A 21C 3/10 (2006.01) Ukraine. Patent no.111058., 25.10.16.

Abstract. *The considered environment with the composition of chemical and surface-active substances, which, falling on the cylindrical surface of the working bodies, cause corrosive destruction and wear or corrosion-mechanical activation. Since friction is always accompanied by heating under conditions of corrosive-mechanical wear, the duration of the process and the design*



parameters of the machine in a sensitive environment relative to the point of thermodynamics are crucial for evaluating the quality of thermoregulation. It was established that the temperature of the environment changes not only with time, but also with the height of the working chamber, since the hydrodynamic process is quite complex, and therefore we have provided ways to study the nature of this process with the appropriate accuracy to set the heat transfer coefficient.

Key words: *surface-active substances, environment, hydrodynamic process, coefficient of heat transfer, friction forces, rolls.*

Стаття відправлена: 15.01.2024р.

© Стадник І.Я.

д.т.н., проф.