

ПРО МОЖЛИВІ ШЛЯХИ ДОСЛІДЖЕННЯ СПРАЦЮВАННЯ ПАР КУЛАЧОК—РОЛИК ПОЛІГРАФІЧНИХ МАШИН

У поліграфічних машинах-автоматах часто застосовують кулачкові механізми. Нерівномірне спрацювання профілю кулачка призводить до порушення закону руху, що зумовлює додаткові динамічні навантаження, які часто є основною причиною відмови всього механізму.

Постановка досліджень повинна передбачати визначення основних факторів, від яких залежить спрацювання пари кулачок—ролик, оцінку впливу окремих факторів на спрацювання за умови, що інші фактори постійні. Тільки розділивши фактори в кожному конкретному випадку на основні та другорядні, проаналізувавши вплив окремих факторів на спрацювання, можна пояснити якісну картину спрацювання й охарактеризувати процес у кількісному відношенні з допомогою вибраного закону спрацювання.

Результати підрахунку ресурсу найбільш спрацьовуваних пар кулачок—ролик поліграфічних машин, одержані з використанням даних праці [2], свідчать про те, що фактичний ресурс кулачків у два-три рази менший від гарантованого, який наводиться у паспорті. Аналізуючи вплив різних факторів на спрацювання кулачкових пар, умовно поділимо їх на шість груп (див. таблицю). Зупинимось на ролі окремих факторів та взаємозв'язку між ними, розглянемо вплив окремих факторів на спрацювання пари кулачок—ролик.

Перша група — геометричні фактори. З їх допомогою можна добирати оптимальні параметри кулачкового механізму та закон руху штовхача, що дає змогу суттєво зменшити спрацювання пари кулачок—ролик.

Друга група — навантажувально-швидкісні фактори. Лінійна швидкість точок профілю кулачка задається частотою його обертання. Разом з тим швидкість кожної точки робочої поверхні кулачка зумовлена його геометричними розмірами, що, в свою чергу, визначається кінематикою механізму. Навантаження F на кулачок створює штовхач. Але навіть при постійному навантаженні $F = \text{const}$ реакція Q змінюється в широких межах у зв'язку зі зміною кута тиску α . Коли взяти до уваги також інерційні навантаження, які визначаються законом руху штовхача, то діапазон прикладених до кулачка зусиль коливається в значному інтервалі.

Отже, і навантаження на кулачок, і його лінійна швидкість не є повністю незалежними факторами, а в значній мірі визначаються кінематикою механізму.

Для визначення напружень у зоні контакту пари кулачок-ролик використовують відоме рівняння Герца—Беляєва:

$$\sigma_{\text{н}} = 0,418 \sqrt{\frac{QE_{\text{зв}}}{b} \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{r} \right)}, \quad (1)$$

де Q — нормальне зусилля (реакція) між роликом і кулачком; $E_{\text{зв}}$ — зведений модуль нормальної пружності; b — ширина кулачка; r — радіус ролика; R — радіус кривини кулачка в зоні контакту.

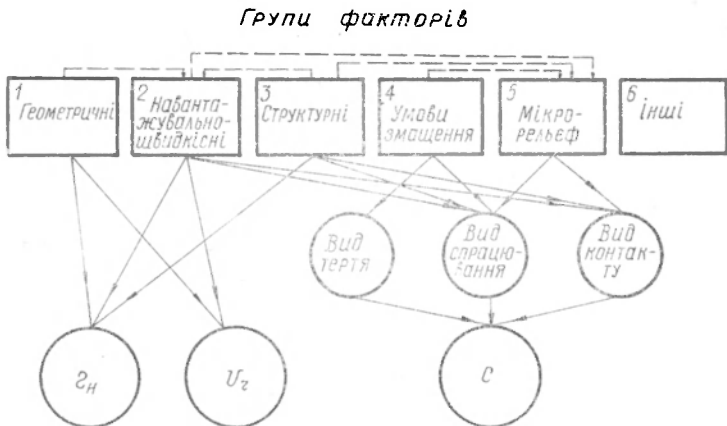
Всі геометричні фактори прямо (R, b, r) чи непрямо (d, l, R_1) через кут тиску α , який застосовують для визначення реакції Q , входять у рівняння (1). Звідси, очевидно, що розрахунок контактних напружень по профілю кулачка дає змогу оцінити вплив навантаження та геометричних факторів на спрацювання кулач-

Основні фактори, які впливають на спрацювання кулачкових пар

Група факторів	Результат дії факторів
<p>1. Геометричні</p> <p>1.1. Довжина штовхача, l</p> <p>1.2. Радіус-вектор робочого профілю кулачка, R_1</p> <p>1.3. Радіус кривини профілю кулачка, R</p> <p>1.4. Ширина кулачка, b</p> <p>1.5. Радіус ролика, r</p> <p>1.6. Міжцентрова відстань, d</p>	<p>Параметри кулачкового механізму разом з прикладним до штовхача навантаженням і частотою обертання кулачка визначають контактні напруження та швидкості переміщення зони контакту по профілю кулачка</p>
<p>2. Навантажувально-швидкісні</p> <p>2.1. Величина і характер навантаження на штовхач, F</p> <p>2.2. Частота обертання кулачка, n</p> <p>2.3. Закон руху штовхача</p>	<p>Безпосередньо визначають нормальне зусилля та швидкість переміщення зони контакту. Впливають на вид спрацювання і вид контакту</p>
<p>3. Структурні</p> <p>3.1. Пружні властивості матеріалів, $E_{\text{нр}}$</p> <p>3.2. Мікротвердість поверхні, H_{μ}</p> <p>3.3. Опір втомі поверхні, σ_y</p>	<p>Визначають вид контакту, вид тертя при усталеному процесі спрацювання. Впливають на значення контактних напружень</p>
<p>4. Умови змащування</p> <p>4.1. Наявність чи відсутність змащувальної речовини</p> <p>4.2. Тип змащувальної речовини</p> <p>4.3. Періодичність подачі змащувальної речовини</p>	<p>Впливають на реалізацію виду спрацювання та виду тертя</p>
<p>5. Мікрорельєф поверхні</p> <p>5.1. Шорсткість поверхні, R_a</p> <p>5.2. Хвилястість поверхні кулачка по ширині, b</p>	<p>Впливають на вид спрацювання та вид контакту</p>
<p>6. Інші фактори</p>	<p>Створюють специфічні умови, за яких здійснюється процес тертя, що може суттєво впливати на спрацювання</p>

ків. Вплив швидкості можна оцінити, визначаючи переміщення зони контакту пари кулачок—ролик по профілю кулачка. Таким чином, вплив геометричних і навантажувально-швидкісних факторів на спрацювання характеризується двома величинами: σ_H і v_r (див. рисунок).

Третя група — структурні фактори. У рівнянні (1) властивості матеріалів контактуючої пари певним чином представлені через зведений модуль пружності $E_{зв}$. Разом з тим відомо, що на



Вплив факторів на спрацювання пар кулачок—ролик при установлених умовах тертя.

поверхні матеріалів контактуючої пари за допомогою спеціальних методів можна створювати покриття з властивостями, що різко відмінні від властивостей матеріалів, з яких виготовляють кулачки та ролик (в основному чавун і сталі). Наприклад, методами хіміко-термічної обробки, іонно-плазмового напылення тощо на поверхні можна створювати спеціальні покриття типу FeV , Fe_2V , Cr_7C_3 , $Cr_{23}C_6$, TiC , TiN , що дає змогу навіть у декілька десятків разів підвищити довговічність кулачків. Зауважимо, що до складу більшості покриттів залізо взагалі не входить і за властивостями вони значно відрізняються від сталі й чавуну.

Структура і властивості утворених при змичненні покриттів вивчені недостатньо. Наприклад, значення модуля пружності для більшості з наведених структур ще не визначені. Як показує практика, на спрацювання пар при терті найбільший вплив мають мікротвердість, опір втомі, що у рівнянні (1) не входять. Структурою та властивостями покриттів у значній мірі визначаються (див. рисунок) такі особливості контактуючої пари, як вид спрацювання (абразивний, схоплювання, втомний та ін.), вид контакту (пружний, пружно-пластичний, пластичний).

Четверта група — умови змащування. Від цієї групи факторів залежить реалізація одного з видів тертя (рідкого, граничного, сухого тощо). Від умов змащування залежить вид спрацювання (окислювальний, схоплювання, фретинг-корозія тощо).

П'ята група — мікрорельєф поверхні. На спрацювання контактуючих тіл значний вплив має шорсткість поверхні, що особливо проявляється у процесі приробки. Усталеному процесу спрацювання відповідає так звана рівноважна шорсткість, яка зумовлена навантажувально-швидкісними факторами, властивостями матеріалу та умовами змащування. Від шорсткості поверхні залежить реалізація одного з можливих видів контакту і видів спрацювання.

Шоста група — інші фактори. На процес спрацювання можуть суттєво впливати специфічні умови процесу (високі температури, вакуум, наявність вібрацій тощо), які у нашому випадку не розглядаються.

Підсумовуючи вплив різних факторів на спрацювання пар кулачок—ролик, зауважимо, що окремі з них значною мірою залежать один від одного. Наприклад, мікрорельєф поверхні залежить від умов змащування, структурних і навантажувально-швидкісних факторів; геометричні фактори впливають на навантажувально-швидкісні і т. ін. На рисунку суцільними лініями показаний вплив окремих факторів на процес спрацювання пари кулачок—ролик, а пунктирними — взаємозв'язок між окремими факторами. У випадку усталеного процесу спрацювання фактори 3—5, очевидно, зберігаються на постійному рівні. Тому їхній сумарний вплив для усталеного процесу спрацювання можна виразити коефіцієнтом структурного пристосування C , що постійний для пари кулачок—ролик.

Аналіз різноманітних пар ковзання в умовах граничного та сухого тертя показав, що в загальному випадку спрацювання можна виразити залежністю [1].

$$H = k p^m v^n t, \quad (2)$$

де H — спрацювання пари тертя; k — коефіцієнт спрацювання, який характеризує матеріал пари й умови процесу; p — питомий тиск; v — швидкість ковзання; t — тривалість процесу тертя; m, n — коефіцієнти (наприклад, для абразивного і деяких інших видів спрацювання $m = n = 1$). Тоді швидкість спрацювання

$$\dot{\gamma} = k p^m v^n. \quad (3)$$

У випадку тертя-кочення, наприклад, для пар кулачок—ролик, доцільніше замість питомого тиску p скористатись контактними напруженнями $\sigma_{\text{н}}$. Тоді закон швидкості спрацювання для кулачка запишемо в вигляді

$$\dot{\gamma} = C \sigma_{\text{н}}^m v_r^n, \quad (4)$$

де $\sigma_{\text{н}}$, v_r — контактні напруження в зоні контакту кулачок—ролик і швидкість переміщення зони контакту по профілю кулачка, що визначаються факторами 1,2 (див. рисунок). Показник швидкості переміщення зони контакту по профілю кулачка дає змогу оцінити тривалість дії контактних напружень на кожен точку профілю кулачка. Чим v_r більше, тим менший час контакту для відповідної точки профілю кулачка.

Як відомо, інтенсивність втомного руйнування залежить від значення та тривалості дії контактних напружень і кількості циклів до руйнування. Оскільки основна причина виходу з ладу ку-

лачків — втомне руйнування (контактне та фрикційне) їх робочої поверхні, то використання швидкості v_r у рівнянні (4) виправдане. Величина C враховує сумарний вклад у процес спрацювання факторів 3—5, коефіцієнти m і n універсальні величини, постійні для всіх пар кулачок—ролик. У рівнянні (4) $C = C_1 + C_2 + C_3$, де C_1, C_2, C_3 — складові, відповідальні за структурний фактор, умови змащування та мікрорельєф поверхні.

Виходячи з рівняння (4), пропонуємо декілька принципово різних шляхів дослідження спрацювання пар кулачок—ролик.

1. У звичайному випадку при дослідженні пари кулачок—ролик величини σ_H і v_r змінюються від точки до точки вздовж профілю кулачка. Підраховуючи ці значення аналітичним способом та експериментально встановивши швидкість спрацювання у кожній точці профілю, знаходять постійну структурного пристосування C , а також m і n . Так досліджують спрацювання кулачка залежно від геометричних і навантажувально-швидкісних факторів.

2. Для оцінки ступеня впливу постійної C на процес спрацювання слід прийняти $\sigma_H = \text{const}$, $v_r = \text{const}$, що реалізується у випадку дослідження кулачків—дисків. Тоді, змінюючи від кулачка до кулачка тільки структуру поверхневих шарів, можна оцінити вплив на спрацювання структурного фактора 3 (див. рисунок), змінюючи від кулачка до кулачка тільки умови змащення, оцінюють вплив фактора 4, а змінюючи шорсткість робочої поверхні кулачків, оцінюють вплив на спрацювання її мікрорельєфу.

3. Для встановлення кореляції між показниками процесу спрацювання та відносною швидкістю v_r необхідно прийняти $\sigma_H = \text{const}$, $C = \text{const}$, що можна реалізувати за допомогою створеного спеціального саморегулюючого стенду, який дає змогу досліджувати ексцентрики з майже однаковими контактними напруженнями в усіх точках, але з суттєво різними швидкостями.

Зауважимо, що при розгляданні запропонованої схеми зроблено деякі допущення. По-перше, не враховується випадок відриву штовхача від кулачка і ударів ролика об робочу поверхню внаслідок раптової зміни швидкості, що призводить до підвищеного спрацювання. Вважається, що зміна навантажувально-швидкісних факторів відбувається плавно в обмежених границях, коли вони не перевищують певних критичних значень, при яких змінюється вид спрацювання. По-друге, не береться до уваги зміна геометричних розмірів пари кулачок—ролик при спрацюванні, яка хоч і в незначній мірі, але безперервно змінює навантажувально-швидкісні та геометричні фактори. По-третє, вважається, що спрацювання пар кулачок—ролик тільки втомного руйнування.

1. *Проников А. С.* Надежность машин. М., 1978. 2. *Стецьків О. П., Нос П. П., Топольницький П. В.* та ін. Про спрацювання кулачкових пар поліграфічних машин і технологічні методи підвищення їх довговічності // Поліграфія і видавнича справа. 1985. № 21. С. 56—60.

The article gives the analysis of influence of main factors on wearing of cam-roller couple friction. Quite different ways of investigations of wearing of couples under consideration are also given here.