

УДК 621.73

Євстратов В. О.

ШЛЯХ ТЕРТЯ ЯК ВАЖЛИВИЙ ЧИННИК ЗНОШЕННЯ ШТАМПІВ

Відомо, що зношування штампів відбувається нерівномірно: є області, в яких зношування йде надзвичайно інтенсивно. Наприклад, у відкритих штампах об'ємного штампування це область ґратового містка, у штампах для витягування – радіус матриці, у штампах для холодного видавлювання – бокова поверхня матриці та калібрувальний пасок пуансона [1, 2]. Визначити різну інтенсивність зношування можна дуже наочно за допомогою так званих діаграм зношення.

Діаграмою зношення домовимось називати залежність зношення контактної поверхні штампа $W(k)$ від координати k її поверхні, а також від числа виготовлених деталей N .

Аналіз діаграм зношення для різних видів інструмента (штампів молотових, для витягування, для видавлювання тощо) показав, що інтенсивність зношення dW/dN змінюється в широких межах залежно від умов видавлювання, у числі яких варто виділити шлях тертя, який у різних частинах контактної поверхні інструмента різний і залежить від координати k .

На відміну від тертя в машинних парах, де шлях визначається як сумарне лінійне переміщення одного з елементів, у процесах ОМТ шлях тертя як фізична величина ще навіть не визначена.

Метою роботи є визначення поняття «шлях тертя» для процесів пластичного деформування. Для початку уведемо наступне визначення: шлях тертя $L(k)$ – це функція координати k контактної поверхні деформуючого інструмента, значення якої визначається сумарним переміщенням часток деформованої заготовки відносно розглянутої точки контактної поверхні інструмента в заданому напрямку k :

$$L(k) = \int_{t(k)_n}^{t(k)_k} v_\tau dt, \quad (1)$$

де v_τ – дотична складова швидкості переміщення заготовки відносно інструмента (у змінних Ейлера);

$t(k)_n$ і $t(k)_k$ – час початку й кінця руху часток металу в точці з координатою k .

Наочно це можна показати на прикладі зношування матриць для холодного видавлювання. Розрахунок шляху тертя для різних матриць показав, що $L(k)$ не залежить від швидкості пуансона v_n , але сильно залежить від координати k точки контактної поверхні матриці, розмірів заготовки $d_3 = 2R_m, h_3$, а також відносного радіуса пуансона. Відмінність у шляхах тертя визначає різницю у інтенсивності зношування матриць.

Для циліндричної матриці, призначеної для зворотного видавлювання стакана (рис. 1), визначаємо $L(t) = L(z)$ наступним чином. Візьмемо довільні точки M контактної поверхні матриці, координати z якої задовольняють нерівності $0 < z < H$. Тут H – висота видавленої деталі. Визначимо для неї три характерних періоди часу:

- 1) t_1 , коли точка M взаємодіє із жорсткою зоною;
- 2) t_2 , коли повз точку M проходить осередок деформації і по контактній поверхні частки металу заготовки рухаються із змінною швидкістю;
- 3) t_3 , коли повз точку M проходить частина заготовки (стінка стакана), яка рухається з постійною швидкістю.

Скориставшись формулою (1), можна вирахувати шлях тертя для зазначених вище трьох періодів часу. Інтеграл беруться просто, але результати виявляються досить громіздкими, тому представимо їх у графічному вигляді (рис. 1, б). Графік $L(z) - z$ має вигляд кривої з гострим максимумом у точці B , де швидкість v_τ досягає максимального значення, а різниця границь інтегрування наближається до максимально можливої для даного процесу. Треба підкреслити, що шлях тертя, який розрахований по формулі (1), суттєво більший за простий зсув заготовки відносно матриці.

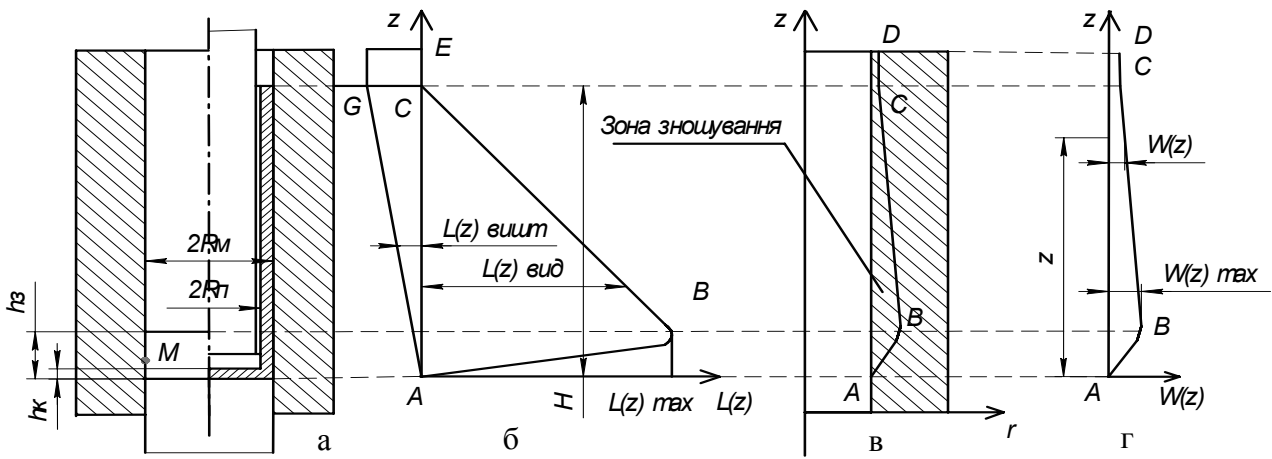


Рис. 1. Схема видавлювання стакана в циліндричній матриці (а), графік зміни шляху тертя при видавлюванні $L(z)_{\text{вишт}}$ та виштовхуванні $L(z)_{\text{вишд}}$ (б); крива зміни макрогеометрії матриці для фіксованого N (в); діаграма зношування для фіксованого N (г):

AE – вихідний контур робочої поверхні матриці (циліндр); $ABCD$ – те ж після видавлювання N заготовок; $W(z)$ – радіальне зношування матриці (для фіксованого N)

Крім того, треба звернути увагу на те, що і в процесі виштовхування видавлена деталь взаємодіє з матрицею. Але в цьому разі тертя практично не супроводжується пластичною деформацією, а відбувається так, як це має місце при терті двох твердих тіл. На рис. 1, б це позначено як шлях тертя при виштовхування $L(z)_{\text{вишт}}$ (лінія AD).

Тертя при видавлюванні та тертя при виштовхуванні призводить до того, що матриця змінює свій первісний (циліндричний) профіль: її поверхня спотворюється за рахунок зношування (рис. 1, в). Якщо побудувати лінію $ABCD$ в координатних осях $W(z) - z$ у відповідному масштабі, то отримаємо діаграму зношування матриці (рис. 1, г).

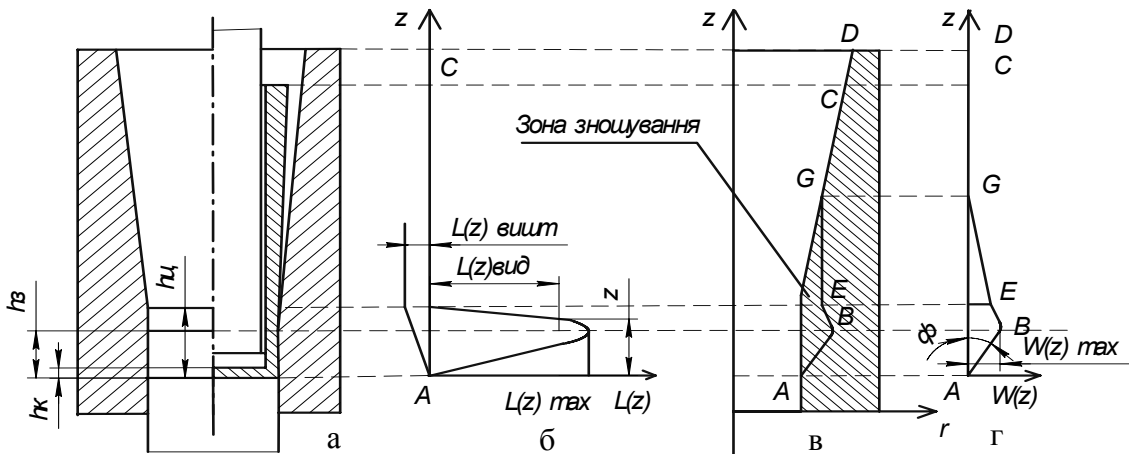


Рис. 2. Схема видавлювання стакана в конічній матриці (а), графік зміни шляху тертя при видавлюванні $L(z)_{\text{вишт}}$ та виштовхуванні $L(z)_{\text{вишд}}$ (б); крива зміни макрогеометрії матриці для фіксованого N (в); діаграма зношування для фіксованого N (г):

$ABEGCD$ – контур робочої поверхні матриці після видавлювання N заготовок

Порівняння рис. 1–2 показує наступне.

1. Шлях тертя та зношення контуру матриці в обох випадках суттєво різняться: якщо матриця має вигляд зрізаного конусу, то і $L(z)_{\text{вишт}}$ та $L(z)_{\text{вишд}}$, і $W(z)$ зменшуються (за умов однакової кількості видавлених деталей).

2. Суттєво розрізняються умови виштовхування видавленої деталі з матриці. Якщо матриця циліндрична, то при виштовхуванні деталі на ділянці BCD відбувається обтискування

стакана, що збільшує зусилля виштовхування (а також зусилля витягання пуансона з матриці). Це погіршує умови видавлювання та призводить до зменшення стійкості як матриці, так і пуансона. Тому видавлювання в конічних матрицях має переваги як з точки зору силового режиму, так і з точки зору збільшення стійкості матриць та пуансонів.

Кут конусності матриці можна встановити, якщо прийняти до уваги, що координати точки B легко визначити з рис. 2, г: $W(z)_B = W(z)_{max}$; $z_B = h_0$. Можна припустити, що оптимальним буде кут конусності матриці φ , який забезпечить мінімальне спотворення контуру матриці та легке виштовхування видавленої деталі, тангенс якого дорівнюватиме $tg\varphi = W(z)_B / z_B$. Проте тут треба мати на увазі, що зовнішній діаметр видавленої деталі буде змінюватись по координаті z , хоч і не дуже суттєво.

Аналіз діаграм зношування матриць для зворотного й прямого видавлювання показав, що зношування $W(z)$ пов'язане із числом видавлених деталей N залежністю, близькою до лінійної, яку можна представити в такому виді:

$$W(z) = \Phi(YB) \frac{L(z)}{L_0} N = \Phi(YB) - N - \frac{L(z)}{L_0}, \quad (2)$$

де $\Phi(YB)$ – експериментально визначена функція, яка залежить від умов видавлювання (матеріалу заготовки і її твердості, ступеня деформації, матеріалу й твердості матриці, умов тертя, швидкісного режиму деформації, коефіцієнта суцільності мастильного покриття);

$L(z)$ – шлях тертя для даної деталі;

L_0 – базовий шлях тертя, для якого визначена функція $\Phi(YB)$.

На даному етапі розвитку науки про тертя визначити $\Phi(YB)$ у загальному виді не вдасться можливим.

Аналіз багатьох діаграм зношування свідчить про наступне: для конкретної деталі й певного матеріалу матриці можна вважати, що при зворотному видавлюванні деталей типу стаканів $\Phi(YB) = C_0 + C_1 H_m$, де C_0 і C_1 – константи (які обчислюються за експериментальними даними методом найменших квадратів і мають розмірність мм/шт), а H_m – твердість матриці (в одиницях HRC). Наприклад, для гайки заднього колеса вантажного автомобіля (КрАЗ) $C_0 = 2,78 \cdot 10^{-5}$; $C_1 = -4,05 \cdot 10^{-7}$. Звідси витікає, що із збільшенням твердості матриці її зношення зменшується.

Видавлювання деталей типу стрижнів з голівками супроводжується більш інтенсивним зношенням, бо для цих деталей шлях тертя набагато більший (рис. 3), а тому й процес зношування матриць, призначених для видавлювання деталей типу стрижня з голівкою або комбінованим видавлюванням, підкоряється більш складним залежностям: він визначається не тільки твердістю матриці H_m , але й висотою калібрувального паска матриці $l_{км}$. Тому функція $\Phi(YB)$ отримує такий вид:

$$\Phi(YB) = A_0 + A_{11} H_m + A_{12} H_m^2 + A_{21} l_{км} + A_{22} l_{км}^2,$$

де H_m – твердість матриці (в одиницях HRC);

$l_{км}$ – висота калібрувального паска матриці (мм);

$A_0 \dots A_{22}$ – константи (які обчислюються за експериментальними даними методом найменших квадратів і мають розмірність мм/шт).

Наприклад, для другого переходу видавлювання складних поршнів радіально-плунжерних гідронасосів (завод «Гідропривід», Шахти) отримано:

$$A_0 = 6,17 \cdot 10^{-6}; A_{11} = -1,94 \cdot 10^{-6}; A_{12} = 3,35 \cdot 10^{-8}; A_{21} = 6,02 \cdot 10^{-7}; A_{22} = -4,02 \cdot 10^{-8}.$$

Звідси витікає, що при $l_{км} > 20$ і $H_m < 56$ можливе так зване «негативне зношування», тобто зменшення діаметра матриці по паску, що калібрує. Це відкриває шляхи керування зношуванням. Ще більш яскраво проявляється цей ефект при аналізі процесу зношування

пуансонів. Збільшення діаметра калібрувального паска пуансона спостерігали й раніше (Филимонов Ю. Ф., Cruden A. K., Morgan R.), але його розглядали тільки як зло. Проте, за певних умов це явище можна використати для підвищення стійкості пуансонів.

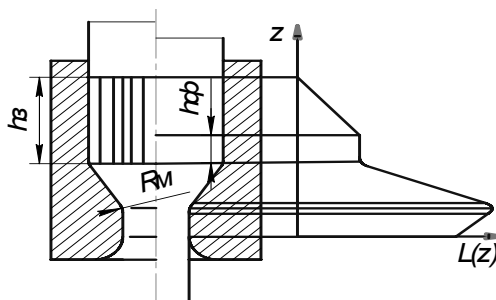


Рис. 3. Схема прямого видавлювання стрижня з головкою та графік залежності шляху тертя $L(z)$ від координати z

Для пуансонів функція $\Phi(VB)$ може бути представлена в такому виді:

$$\Phi(VB) = B_0 + B_{11}H_n + B_{12}H_n^2 + B_{21}l_k + B_{22}l_k^2,$$

де H_n – твердість пуансона (в одиницях HRC);

l_k – висота калібрувального паска пуансона (мм);

$B_0 \dots B_{22}$ – константи (які обчислюються за експериментальними даними методом найменших квадратів і мають розмірність мм/шт).

Для пуансона зі сталі Р6М5 при видавлюванні гальмового барабана задньої втулки велосипеда ХВЗ отримані такі дані:

$$B_0 = 1,10 \cdot 10^{-3}; B_{11} = -3,49 \cdot 10^{-5}; B_{12} = 2,80 \cdot 10^{-7}; B_{21} = -3,99 \cdot 10^{-6}; B_{22} = 5,20 \cdot 10^{-7}.$$

По залежності (2) легко визначити зносостійкість пуансона N_n як функцію допуску на його зношування Δd , у межах якого виготовлені деталі відповідають технічним вимогам кресленника $N_n = \Delta d \cdot L_0 / \Phi(VB) \cdot L(z)$. Якщо, наприклад, прийняти допуск $\Delta d = 0,20$ мм, $L(z) = L_0$, то за визначених вище констант $B_0 \dots B_{22}$ отримаємо максимальну можливу стійкість пуансона 62860 деталей. При цьому H_n та l_k дорівнюють 62,2 HRC та 3,8 мм. Важливо підкреслити, що відхилення значень H_n усього на 3 одиниці а l_k – на 2,5 мм, зносостійкість зменшується більш ніж у 2 рази!

ВИСНОВКИ

Отже, значне підвищення стійкості штампів (не тільки для видавлювання!) може бути отримано зменшенням шляху тертя, а також вибором оптимальних значень параметрів штампів (у прикладі з холодним видавлюванням – твердість та розміри калібрувального паска).

ЛІТЕРАТУРА

1. Евстратов В. А. Основы технологии выдавливания и конструирования штампов / В. А. Евстратов. – Харьков : Вища школа : ХГУ, 1987. – 144 с.
2. Евстратов В. А. Теория обработки металлов давлением. – Харьков : Вища школа : ХГУ, 1981. – 248 с.

Євстратов В. О. – д-р техн. наук, проф. НТУ «ХП».

НТУ «ХП» – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків.

E-mail: omd@front.ru