

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТ ЕНЕРГІЇ ПРИ ВИРУБЦІ НА КРИВОШИПНОМУ ПРЕСІ

В данной работе предложена методика определения потерь энергии при вырубке на кривошипном прессе, описаны использованные экспериментальные методы нахождения расхода энергии маховика, технологической жесткости преса и машины TIRAtest. Приведены расчеты для двух вариантов наладки преса. Показано, что применение наладки, которая обеспечивает меньший угол рабочего хода, вместо традиционной, позволяет значительно снизить потери энергии на трение в шарнирах кривошипно-шатунного механизма в период рабочего хода.

In this article we propose a method for determining the energy loss in cutting down on the crank press, describes the experimental methods used to find the flywheel energy consumption, technological rigidity of the press and the machine TIRAtest. Calculations are resulted for the two options set-up press. It is shown that the use of adjustment, which provides a lower angle of the working stroke, instead of the traditional, can significantly reduce energy losses due to friction in the hinges of a crank mechanism during the working stroke.

Вступ Витрати енергії на робочий хід є основою для розрахунку потужності привода при проектуванні пресів та при перевірці привода на працездатність.

У сучасній практиці використовуються графоаналітичні методи енергетичного розрахунку кривошипних пресів, запропоновані Є.М. Ланським [1] та Л.І. Живовим [2], які відрізняються певною трудомісткістю через наявність графічних побудов.

Безпосередньо визначити втрати енергії в період робочого ходу, які складаються з витрат енергії на виконання технологічної операції (A_o), на пружну деформацію (A_{np}) і на тертя в шарнірах кривошипно-шатунного механізму (A_m), надто складно в зв'язку з відсутністю датчиків для безпосереднього вимірювання енергії. Тому постала необхідність розробки методики визначення енерговитрат при виконанні розділювальних операцій на кривошипному пресі.

Ефективність використання енергії у головному виконавчому механізмі в процесі деформування відображає ККД робочого ходу преса. Автори робіт [3, 4], аналізуючи ККД робочого ходу для різних операцій, прийшли до висновку, що максимальне значення коефіцієнту корисної дії робочого ходу отримано на витяжних пресах, у яких при великих значеннях кута робочого ходу ($\alpha_p=80^\circ$) зусилля в кінці робочого ходу дорівнює нулю, а найменше значення ККД робочого ходу має місце у КГШП, для яких характерні максимум зусилля у кінці робочого ходу, тобто для малих кутів повороту кривошипа та малих значеннях миттєвого ККД кривошипно-шатунного механізму.

У роботі [5] теоретично обґрунтовано можливість підвищення ККД робочого ходу за рахунок зменшення витрат енергії на тертя в шарнірах кривошипно-шатунного механізму в період робочого ходу, завдяки зменшенню робочого кута.

Мета даної статті – запропонувати методику визначення витрат енергії при вирубці на кривошипному пресі та показати, що налагодження преса, яке забезпечує менший кут робочого ходу, дозволяє зменшити втрати енергії на тертя в шарнірах кривошипно-шатунного механізму в період робочого ходу.

Задача даної роботи – експериментально підтвердити (чи спростувати) теоретичні висновки отримані в роботі [5], використовуючи розроблену методику, на реальному кривошипному пресі та виробити рекомендації по зміні кінематики преса, які б забезпечили підвищення ККД робочого ходу при виконанні розділювальних операцій.

Основна частина У зв'язку зі складністю визначення енерговитрат запропоновано в процесі вирубки визначати втрати енергії фіксованої величини, наприклад, це може бути накоплена маховиком енергія, що є постійною при вирубці однієї і тієї ж заготовки не залежно від налагодження преса чи режимів роботи.

Електропневматична система управління забезпечує роботу преса в наступних режимах: одиничні ходи, налагодження (поштовхові ходи), автоматичні послідовні ходи та ручне прокручування маховика.

Найбільш цікавим режимом роботи преса є режим ручного прокручування маховика, при якому відключається двигун і гальмо, та включається муфта. Даний режим дозволяє визначити розхід енергій маховика при переключенні преса з режиму одиничних чи автоматичних ходів на ручне прокручування.

При переведенні преса з режиму одиничних ходів в режим ручного прокручування без виконання технологічної операції накоплена маховиком енергія витрачається на включення муфти $A_{вкл}$ та на холостий хід A_{xx} , при цьому головний виконавчий механізм здійснить певну кількість ходів n_1 .

$$E_{max} = A_{вкл} + A_{xx} \quad (1)$$

В режимі автоматичних ходів без виконання технологічної операції головний виконавчий механізм рухається до тих пір, поки прес не буде переведений в режим ручного прокручування маховика, при цьому повзун зупиниться, зробивши певну кількість ходів n_2 . У даному випадку у балансі енергій (1) відсутні втрати на включення муфти:

$$E_{max} = A_{xx} \quad (2)$$

Виходячи із рівнянь (1) та (2) можна представити роботу, витрачену на включення муфти, у вигляді частки від кута повороту кривошипного валу або величини ходу:

$$A_{вкл} = M_{xx} \cdot 2\pi \cdot (n_2 - n_1)$$

Розхід енергії на холостий хід преса знаходимо як добуток моменту холостого ходу (моменту тертя) на кут повороту кривошипного валу:

$$A_{xx} = M_{xx} \cdot \varphi_{xx}$$

або виходячи з кількості ходів преса

$$A_{xx} = M_{xx} \cdot 2\pi \cdot n$$

При виконанні технологічної операції (вирубки) у балансі енергій (1) з'являться втрати енергії на робочий хід, які складаються з роботи деформування, роботи пружної деформації і роботи сил тертя.

Представимо отримане рівняння балансу енергій для двох варіантів налагодження преса:

1) традиційного, - коли в нижньому положенні повзуна пуансон заходить в матрицю на мінімальну величину, що забезпечує повне відділення відрізаємої частини металу від заготовки;

2) коли захід пуансона в матрицю більший, що забезпечує менший кут робочого ходу.

Розписавши роботу сил тертя в період робочого ходу як добуток певного коефіцієнта (момента тертя в період робочого ходу) на кут робочого ходу

$$A_m = k \cdot \varphi_{p.x.}$$

отримали систему трьох рівнянь із трьома невідомими: E_m , M_{xx} та k .

$$\begin{cases} E_m = M_{xx} \cdot 2\pi \cdot n_2 \\ E_m = (A_0 + A_{np} + k \cdot \varphi_{p.x.1}) + M_{xx} \cdot 2\pi \cdot (n_3 + n_2 - n_1) \\ E_m = (A_0 + A_{np} + k \cdot \varphi_{p.x.2}) + M_{xx} \cdot 2\pi \cdot (n'_3 + n_2 - n_1) \end{cases}$$

Отже, вирішивши дану систему рівнянь знаходимо всі невідомі величини:

$$E_m = \frac{(A_0 + A_{np}) \cdot n_2}{(n_1 - n_3) - \frac{(n_3 - n'_3) \cdot \varphi_{p.x.1}}{\varphi_{p.x.1} - \varphi_{p.x.2}}}$$

$$M_{xx} = \frac{A_0 + A_{np}}{2\pi \cdot \left[(n_1 - n_3) - \frac{(n_3 - n'_3) \cdot \varphi_{p.x.1}}{\varphi_{p.x.1} - \varphi_{p.x.2}} \right]}$$

$$k = \frac{(A_0 + A_{np}) \cdot (n_3 - n'_3)}{(\varphi_{p.x.1} - \varphi_{p.x.2}) \cdot \left[(n_1 - n_3) - \frac{(n_3 - n'_3) \cdot \varphi_{p.x.1}}{\varphi_{p.x.1} - \varphi_{p.x.2}} \right]}$$

Числові значення для n_1 , n_2 , n_3 , n'_3 , $\varphi_{p.x.1}$, $\varphi_{p.x.2}$, A_∂ та A_{np} знайдемо експериментально.

Визначення кута повороту кривошипного валу при переключенні преса в режим ручного прокручування маховика здійснювалось по отворах на диску гальма, яке встановлено на валу. Отвори насвердлені рівномірно через кожні 5° , що дозволяє досить точно знайти кут повороту. Одному повному оберту диска відповідає один хід. По результатам експериментів вибіг маховика при холостому ході $n_2 = 7$, при вирубці для традиційного налагодження преса $n_3 = 5$, для налагодження, яке забезпечує кут початку робочого ходу 84° - $n'_3 = 5,3$.

При визначенні кута робочого ходу слід врахувати те, що завдяки присутній пружній деформації з'являється ще додатковий кут повороту, який компенсує величину пружної деформації, і, зменшується при зменшенні кута робочого ходу.

Для традиційного налагодження преса приході 1,6 мм та товщині вирубаємої заготовки $S=2$ мм кут робочого ходу $\varphi_{p.x.1} = 35^\circ$ (0,61 рад.). Для налагодження преса з кутом початку робочого ходу 84° , робочий кут становить $\varphi_{p.x.2} = 10,5^\circ$ (0,183 рад.).

Для визначення енергії, яка іде на виконання технологічної операції, за допомогою машини TIRAtest 2300 було отримано три діаграми «зусилля-хід» для заготовок товщиною 2 мм, різної ширини: 30, 20 і 10 мм.

Оскільки робота деформування пропорційна площі діаграми «зусилля-хід», то її числове значення представимо наступним чином:

$$A_\partial = k_p \cdot k_s \cdot F_\partial$$

де k_p - масштабний коефіцієнт зусилля, Н/мм; k_s - масштабний коефіцієнт ходу, мм/мм; F_∂ - площа, обмежена діаграмою «зусилля-хід», мм².

Однак робота, визначена таким чином, насправді не буде «чистою» роботою деформування, а включатиме ще і пружну деформацію машини. Тому для знаходження «чистої» роботи деформування необхідно врахувати пружну деформацію, тобто

$$A'_\partial = A_\partial - A_{np}$$

Для визначення роботи пружної деформації необхідно знати технологічну жорсткість машини та преса. Для визначення жорсткості машини TIRAtest суміщаємо експериментальні діаграми в єдиний початок (точка О), та проводимо пряму АВ через точки, що відповідають зусиллю в момент зриву навантаження (рис.1). При цьому різниця в величині ходу відповідає додатковій пружній деформації, яка пропорційна зусиллю, а співвідношення катетів у трикутнику АВС визначатиме технологічну жорсткість машини TIRAtest.

Для знаходження жорсткості преса, проведено навантаження повзуна за допомогою гвинтового домкрата, при цьому індикатором часового типу фіксувалося переміщення повзуна, пов'язане з пружною деформацією, а динамометром - прикладене зусилля. По усередненим значенням отриманих даних побудовано експериментальний графік жорсткості преса (рис. 2).

Із рис. 2. видно, що початкова ділянка графіка має нелінійний характер – це пояснюється вибіркою зазорів в зчленовуваннях головного виконавчого механізму і нелінійного пружного деформування стиків. Для визначення жорсткості преса приймаємо тільки лінійну частину графіка, а отже:

$$C = \frac{P_D}{\Delta l}$$

Для заготовки шириною 30 мм (довжина зрізу 60 мм), знаючи жорсткість машини TIRAtest $C_1 = 67 \text{ МН/м}$, зусилля в момент зриву навантаження $P_k = 27387 \text{ Н}$ та площу діаграми «зусилля-хід», визначимо, що «чиста» робота деформування складає $A'_\partial = 333 - 5,6 = 27,7 \text{ Дж}$.

Виходячи із технологічної жорсткості преса $C_2 = 151 \text{ МН/м}$, робота пружної деформації при вирубці $A_{np} = 2,5 \text{ Дж}$.

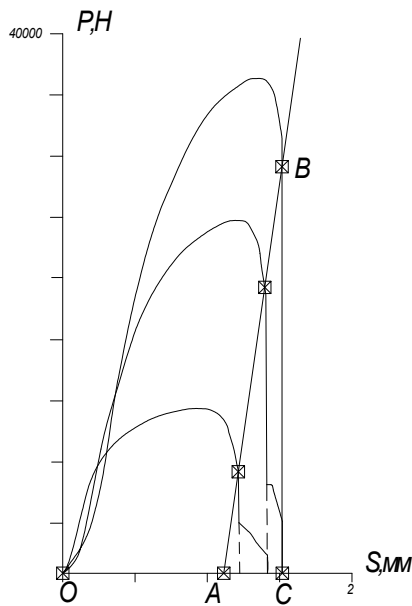


Рис. 1. Експериментальні графіки, отримані на машині TIRAtest

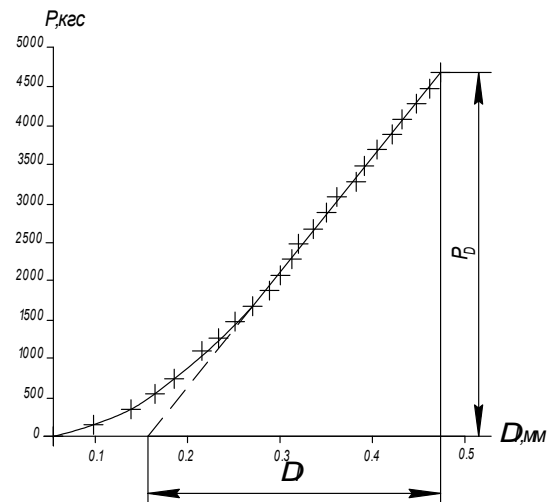


Рис. 2. Експериментальний графік жорсткості преса

Отже, числові значення невідомих величин у системі рівнянь наступні: $E_m = 370 \text{ Дж}$, $M_{xx} = 8.41 \text{ Н} \cdot \text{м}$ і $k = 37.13 \text{ Н} \cdot \text{м}$. Тоді роботи сил тертя відповідно дорівнюють $A_{m1} = 22.65 \text{ Дж}$ і $A_{m2} = 6.8 \text{ Дж}$, а ККД робочого ходу, з врахуванням пружної деформації, $\eta_{p.x.1} = 0.57$ і $\eta_{p.x.2} = 0.816$.

Висновки Таким чином, використавши інше налагодження преса, вдалося зменшити втрати енергії на тертя в шарнірах кривошипно-шатунного механізму в період робочого ходу, що погоджується із теоретичними розрахунками, приведеними у роботах [3, 5].

Розроблена методика визначення енерговитрат при вирубці дозволила експериментально підтвердити на реальному кривошипному пресі теоретичні висновки отримані в роботі [5], зокрема забезпечили підвищення ККД робочого ходу при виконанні розділювальних операцій.

Список літератури

1. Кузнечно-штамповочное оборудование: Учебник/Под ред. А.Н. Банкетова, Е.Н. Ланского. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1982. – 576 с., ил.
2. Живов Л.И., Овчинников А.Г. и др. - Кузнечно-штамповочное оборудование: Учебник для вузов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 506 с.: ил.
3. Аль-Сарайрех Ф.М. Энергетика робочого ходу листоштамповального кривошипного преса: Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата техн. наук. - Східноукраїнський національний ун-т ім. В.Даля. - Луганськ, 2004. - 15 с.
4. Рей Р.І., Монятовський С.С. Ковальсько-штамповальне обладнання. Преси кривошипні. Луганськ: СНУ, 2000. – 216 с.: іл.
5. Бабій О.О., Добровлянський С.М., Холявік О.В. Енергетика процесу виконання розділювальних операцій на кривошипному пресі. Вісник НТУУ «КПІ»: Машинобудування. - К.: НТУУ "КПІ", 2009. - №57. – с. 92-96
6. Рей М.Р. Методика аналитического расчета затрат энергии на рабочий ход обрезающего кривошипного преса. – Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. – 2006. – №1Е(6). – с. 140-144.