

УДК 621.979.2.

Рей М.Р., Рей Р.І., Сушкова Т.С.

ЕНЕРГЕТИКА РОБОЧОГО ХОДУ КРИВОШИПНОГО ГАРЯЧЕШТАМПУВАЛЬНОГО ПРЕСА ПРИ ГАРЯЧОМУ ВИДАВЛЮВАННІ

Ray M.R., Ray R.I., Sushkova T.S.

THE ENERGY OF WORKING STROKE OF THE CRANK HOT STAMPING PRESS DURING HOT EXTRUSION

Запропоновано аналітичні залежності для розрахунку витрат енергії на робочий хід кривошипного гарячештампувального преса для операцій гарячого видавлювання. Робота робочого ходу визначається сумою роботи пластичної деформації, втрат енергії на тертя при прямому ході повзуна і при пружному розвантаженні преса після переходу повзуна через крайнє нижнє положення . Виконано розрахунок для шести моделей пресів. Показано, що втрати енергії на тертя при пружному розвантаженні преса в 3,4...3,9 раз перевищують роботу пружної деформації, що підтверджує необхідність їхнього урахування в затратах енергії на робочий хід преса.

Ключові слова: пружна деформація, гаряче видавлювання, робочий хід, тертя, робота.

Вступ

Гаряче видавлювання є одним з найбільш поширених прогресивних технологічних процесів, що дозволяють при високому рівні механічних показників (міцність і ударна в'язкість) в максимально можливій мірі наблизити форму поковки до форми готової деталі. Типовим представником деталі, яку виробляють гарячим видавлюванням, є клапан двигуна внутрішнього згоряння. У технічній літературі відсутня інформація по аналітичному розрахунку витрат енергії на робочий хід преса при гарячому видавлюванні. В роботах [1], [2], [3] наведені графіки зусиль пластичної деформації, характерною особливістю яких є наявність двох ділянок. На першій ділянці зусилля є постійним, рівним приблизно 0,25 від номінального зусилля преса (в межах ходу повзуна від 0,15 до 0,3 від максимального ходу повзуна). На другій ділянці спостерігається монотонний ріст зусилля до максимального в кінці робочого ходу.

Мета

Метою роботи є розробка аналітичних залежностей для розрахунку витрат енергії на робочий хід кривошипного гаряче штампувального преса при гарячому видавлюванні.

Методика дослідження

На основі графіка технологічних зусиль деформації побудований навантажувальний графік преса, в якому врахований етап пружного розвантаження преса. В роботах [4], [5] показано, що робота пружної деформації преса на операціях з наявністю зусилля в крайньому нижньому положенні повзуна не зникає, а витрачається на роботу тертя і, якщо кут повороту кривошипного вала, відповідний ходу повзуна при пружному розвантаженні преса, більше кута мертвого тертя, то витрачається на підвищення кінетичної енергії привода. Витрата енергії на робочий хід преса буде визначаються за такою залежністю

$$A_{px} = A_{\partial} + A_f + A_{fy}, \quad (1)$$

де A_{∂} – робота пластичної деформації;

A_{fy} – втрати енергії на тертя при пружному розвантаженні преса;

A_f – втрати енергії на тертя при прямому ході повзуна, розраховуються по двох ділянках

$$A_f = A_{f1} + A_{f2}, \quad (2)$$

де A_{f1} – втрати енергії на тертя при постійному навантаженні на повзуні;

A_{f2} – втрати енергії в кінці робочого ходу на етапі монотонного зростання зусилля.

Втрати енергії на тертя при прямому ході повзуна в будь-якому випадку розраховуються за залежністю

$$A_f = \int_{\alpha_{np}}^{\alpha_{кр}} P \cdot m_k^{\mu} \cdot d\alpha, \quad (3)$$

де $\alpha_{np}, \alpha_{кр}$ – кути початку і кінця робочого ходу,

P – зусилля на повзуні у функції кута повороту колінчастого валу, на першій ділянці $P=const$,

m_k^μ – наведене плече сили тертя [6],

$$m_k^m = \mu[\lambda(r_a + r_b)\cos\alpha + r_a + r_b] \quad (4)$$

і після підстановки в (3) P , і (4) з урахуванням значення кута кінця робочого ходу, і інтегрування одержимо

$$A_f = \mu P_{вн}[\lambda(r_a + r_b)(\sin\alpha_n - \sin\alpha_{кв}) + (r_a + r_0)(\alpha_n - \alpha_{кв})], \quad (5)$$

де μ – наведене значення коефіцієнта тертя,

α_n – кут початку робочого ходу,

$\alpha_{кв}$ – кут кінця видавлювання при постійній силі, визначається

за $S_2 = 0,03S + (P_n - P_{вн})/C$,

$P_{вн}$ – зусилля на початковій стадії видавлювання,

P_n – номінальне зусилля преса,

C – коефіцієнт жорсткості преса,

λ – коефіцієнт кратності шатуна,

r_a, r_b, r_0 – радіуси кривошипний, цапф підшипників шатуна і цапфи підшипника головного валу.

Втрати енергії на тертя на кінцевому етапі штампування визначаються за залежністю (3), на увазі малості кута в залежності для визначення приведенного плеча сил тертя (4) прийнято, що $\cos\alpha = 1$.

На будь-якій ділянці, представленій лінійною залежністю зусилля від ходу повзуна зі зміною зусилля від початкового P_n до кінцевого P_k , поточне значення зусиль у функції кута повороту головного валу можна визначати:

$$P_\alpha = P_n + \frac{P_k - P_n}{S_n - S_k}(S_n - S_\alpha), \quad (6)$$

де S_α – переміщення повзуна у функції кута повороту головного вала;

$$S_\alpha = R\left[\left(1 + \frac{\lambda}{4}\right)\cos\alpha - \frac{\lambda}{4}\cos 2\alpha\right], \quad (7)$$

де R – радіус шатуна.

Після підстановки S_{α} з (7) в (6), потім (6) і (4) в (3), і інтегрування одержимо залежність для визначення втрат на тертя в межах кута повороту головного валу:

$$A_f = m_k^f \left\{ \left(P_H + \frac{P_K - P_H}{S_H - S_K} S_H \right) (\alpha_H - \alpha_K) - \frac{P_K - P_H}{S_H - S_K} R \cdot \left[\left(1 + \frac{\lambda}{4} \right) (\alpha_H - \alpha_K) - (\sin \alpha_H - \sin \alpha_K) - \frac{\lambda}{8} (\sin 2\alpha_H - \sin 2\alpha_K) \right] \right\} \quad (8)$$

де α_H – кут відповідний початку росту зусилля,

α_K – кут кінця зростання зусилля.

Для визначення втрат енергії на тертя при кінцевій стадії видавлювання у формулі (8) необхідно прийняти $P_K = P_{max}$, $S_K = 0$, $\alpha_K = 0$, провести заміну $\sin 2\alpha = 2 \sin \alpha \cos \alpha$ і з урахуванням малих значень кутів прийняти, що після нескладних перетворень формули (8) отримаємо:

$$A_f = m_k^f \left\{ \alpha_H - \frac{P_{max} - P_{вн}}{P_{max}} \cdot \frac{R}{S_H} \cdot \left[\left(1 + \frac{\lambda}{4} \right) (\alpha_H - \sin \alpha_H) \right] \right\} \quad (9)$$

де $P_{вн} = 0,25P_{max}$,

$S_H = S_2$,

$S_2 = \Delta h + (P_{max} - P_H) / C$, $S_2 = \Delta h + 0,75P_{max} / C$.

Втрати енергії на тертя при пружному розвантаженні преса отримаємо прийнявши $P_H = 0$, $P_K = P_{max}$; $S_H = \Delta \ell_y$; $S_K = 0$; $\alpha_H = \alpha_y$; $\alpha_K = 0$ і після підстановки в (8) формула для визначення втрат енергії на тертя при пружному розвантаженні преса буде мати вигляд:

$$A_{fy} = m_k^f P_{max} \left\{ \alpha_y - \frac{R}{\Delta \ell_y} \left[\left(1 + \frac{\lambda}{4} \right) \alpha_y - \sin \alpha_y \left(1 + \frac{\lambda}{4} \cos \alpha_y \right) \right] \right\}, \quad (10)$$

де $\Delta \ell_y$ – пружна деформація преса, $\Delta \ell_y = P_{max} / C$,

α_y – кут повороту головного валу, відповідний пружному розвантаженні преса, який досить точно можна визначити за залежністю:

$$\alpha_y = \sqrt{2\Delta l_y / (R(1 + \lambda))}. \quad (11)$$

Якщо в (10) зробити заміну $\sin 2\alpha_y = 2 \sin \alpha_y \cos \alpha_y$, і прийняти $\cos \alpha_y = 1$, враховуючи малість кута, отримаємо більш просту формулу для визначення втрат енергії на тертя при пружному розвантаженні преса:

$$A_{fy} = m_k^f P_{max} \left\{ \alpha_y - \frac{R}{\Delta l_y} \left[\left(1 + \frac{\lambda}{4} \right) (\alpha_y - \sin \alpha_y) \right] \right\}. \quad (12)$$

Похибка такої заміни не перевищує 3% у бік завищення результатів розрахунку.

Результати досліджень

За викладеною методикою були розраховані параметри робочого ходу кривошипних гарчештампвальних пресів (КГШП) з номінальним зусиллям від 6,3 МН до 63МН. Кут робочого ходу прийнятий рівним 45° , сумарна величина пластичної деформації дорівнює переміщенню повзуна для кута повороту головного валу за вирахуванням пружної деформації преса під дією зусилля рівного номінальному зусиллю преса P_n , величина абсолютної пластичної деформації на ділянці зростання зусилля приймалася рівної $0,03S$ (три відсотки від повного ходу повзуна преса).

Вихідні дані наведені в табл. 1, результати розрахунку в табл. 2.

Таблиця 1

Вихідні дані

Модель преса	P_n , МН	S , м	r_0 , мм	r_a , мм	r_b , мм	λ	Δl , мм	α_y , град.
K8538	6,3	0,20	140	210	140	0,140	1,26	8,9
K8540	10	0,25	190	305	185	0,145	1,7	8,9
K8542	16	0,30	200	360	285	0,150	2,3	9,2
K8544	25	0,35	280	450	320	0,155	3,1	10,0
K8546	40	0,4	305	510	350	0,160	4,4	11,5
K8548	63	0,46	400	656	535	0,165	6,3	12,6

Таблиця 2

Результати розрахунку параметрів робочого ходу

Мо- дель преса	$S_{px} \cdot 10^{-3}$ м	$S_2 \cdot 10^{-3}$ м	α_2 , град.	A_{g1} , кДж	A_{f1} , кДж	$\frac{A_{f1}}{A_{g1}}$	A_{g2} , кДж	A_{f2} , кДж
K8538	32,5	7,3	20,5	40	16	0,40	19	42
K8540	40,1	9,2	20,6	77	36	0,47	38	83
K8542	49,1	11,2	20,8	151	64	0,42	72	165
K8544	57,3	13,6	21,0	274	129	0,47	131	361
K8546	6,0	16,1	21,5	496	228	0,46	240	705
K8548	76,2	20,2	22,2	884	409	0,46	435	1397

Продовження табл. 2

Мо- дель преса	$\frac{A_{f2}}{A_{g2}}$	A_y , кДж	A_{fy} , кДж	$\frac{A_{fy}}{A_y}$	A_g , кДж	A_{px} , кДж	η_{px} , $\mu=0,06$	η_{px} , $\mu=0,03$
K8538	2,2	3,9	15	3,8	9	132	0,45	0,71
K8540	2,2	8,3	31	3,7	115	265	0,43	0,60
K8542	2,3	18	90	3,9	223	542	0,41	0,58
K8544	2,7	39	146	3,7	405	1040	0,39	0,56
K8546	3,0	89	312	3,5	736	1981	0,37	0,54
K8548	3,0	198	683	3,4	1319	3748	0,35	0,52

Аналіз результатів розрахунку, наведених у табл. 2, показує, що втрати енергії на тертя на початковій стадії видавлювання складають 40-47% від енергії пластичної деформації, втрати енергії на кінцевій стадії видавлювання в 2,2-3,0 рази більше енергії пластичної деформації. Таке становище можна пояснити різким зниженням кінематичного ККД при наближенні повзуна до крайнього нижнього положення. Значні втрати енергії на тертя супроводжують пружну деформацію преса як при прямому ході, так і при пружному розвантаженні преса після переходу повзуна через крайнє нижнє положення. Найбільші втрати енергії пов'язані з втратами на тертя, так зниження коефіцієнта тертя з 0,06 до 0,03 дозволить підвищити ККД робочого ходу на 17%, що можливо виконати, забезпечивши умови мастила в підшипниках головного виконавчого механізму близькими до гідродинамічних.

Висновки

1. Запропоновані математичні залежності для розрахунку витрат енергії на робочий хід кривошипного горячештампувального преса, працюючого на операціях гарячого видавлювання, дозволяють замінити графоаналітичний метод розрахунку аналітичним, знизити трудомісткість розрахунку та підвищити точність його результатів.

2. Підвищити економічність преса можна за рахунок збільшення коефіцієнта жорсткості преса, проте це призведе до збільшення його металоемності.

3. Найбільш раціональним з метою підвищення економічності преса є зниження коефіцієнта тертя в кінематичних парах головного виконавчого механізму шляхом поліпшення умов тертя наблизивши їх до гідродинамічних.

ЛІТЕРАТУРА

1. Власов В. И. Кривошипные кузнечнопрессовые машины / В.И. Власов, А. Я. Борзыкин, И.К. Букин-Батырев [и др.]. – М.: Машиностроение, 1982. – 424 с.

2. Живов Л.И. Кузнечно-штамповочное оборудование: учебник для вузов/ Л. И. Живова, Л. Г. Овчинников, Е.Н. Складчиков. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 560 с.

3. Банкетов А.Н. Кузнечно-штамповочное оборудование: учебник для машиностроительных вузов / А.Н. Банкетов, Ю.А. Бочаров, Н.С. Добрынский. – М.: Машиностроение, 1982. – 567 с.

4. Рей М.Р. Влияние жесткости кривошипного горячештамповочного преса на потери энергии за рабочий ход / М.Р. Рей // Вісник СХУ ім. В. Даля, 2006. – №6 (100). – С. 49 – 54.

5. Рей М.Р. Методика аналитического расчета энергетики рабочего хода кривошипного горячештамповочного преса / М.Р. Рей // Матеріали І Міжнар. Наук – практ. конф. «Передові наукові розробки – 2006», Т.5. – Дніпропетровськ : наука і освіта, 2006. – С. 13–18.

6. Рей М.Р. Методика определения приведенного коэффициента трения кривошипно-шатунного механизма преса / М.Р. Рей // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском в металургії та машинобудуванні: тем. зб. наук. пр. – Краматорськ, ДДМА, 2005. – С. 538–540.

REFERENCES

1. Vlasov V.I. Krivoshipnyye kuznechnopressovy cars / V. I. Vlasov, A.Ya. Borzykin, I.K. Bukin–Batyrev [etc.]. - Moscow: Mashinostroenie, 1982. – 424 p.

2. Zhivov L.I. Forge and forming equipment: the textbook for higher education institutions / L.I.Zhivova, L.G. Ovchinnikov, E.N. Skladchikov. – Moscow: Bauman Moscow State Technical University, 2006. – 560 p.

3. Banketov A.N. Kuznechno-shtampovochnoye's equipment: the textbook for

machine-building higher education institutions / A.N. Banketov, Yu.A. Bocharov, H.C. Dobrynsky. Moscow: Mashinostroenie, 1982. – 567 p.

4. Ray M.R. Vliyaniye of rigidity of a krivoshipny goryacheshtampovochny press on energy losses for a working course / M.R. Ray // Visnik of the Volodymyr Dahl National University, 2006. No.6(100). – pp. 49 – 54.

5. Ray M.R. Metodika of analytical calculation of power of a working course of a krivoshipny goryacheshtampovochny press / M.R. Ray // I International Scientific and practical conference Peredovi Naukovi Rozrobki – 2006, Vol. 5, Dnipropetrovsk: nauka i osvita, 2006. – pp. 13 – 18.

6. Ray M.R. Metodika determination of the specified coefficient of friction of the krivoshipno-shatunny mechanism of a press / M.R. Ray // Udoskonalennya process I obladnania to a vice in the metallurgist v mashinobuduvaniy: that. zb. sciences. the ave. – Kramatorsk, DDMA, 2005. – pp. 538 – 540.

Рей М.Р., Рей Р.И., Сушкова Т.С. Энергетика рабочего хода кривошипного горячештампового пресса при горячем выдавливании.

Предложены аналитические зависимости для расчета затрат энергии на рабочий ход кривошипного горячештампового пресса на операциях горячего выдавливания. Работа рабочего хода определяется суммой работы пластической деформации, потерями энергии на трение при прямом ходе ползуна и при упругой разгрузке пресса после перехода ползуна через крайнее нижнее положение. Выполнен расчет для шести моделей прессов. Показано, что потери энергии на трение при упругой разгрузке пресса в 3,4- 3,9 раз превышают работу упругой деформации, что подтверждает необходимость их учета в затратах энергии на рабочий ход пресса.

Ключевые слова: упругая деформация, горячее выдавливание, рабочий ход, трение, работа.

Ray M.R., Ray R.I., Sushkova T.S. The energy of working stroke of the crank hot stamping press during hot extrusion.

The purpose of this work is development of analytical relations for calculation of energy consumption on stroke crank of hot stamping press at hot extrusion. The analytical method proposed for calculation of energy consumption per stroke of the crank of hot press at hot extrusion operations with taking into account the work of plastic deformation, energy losses on friction during a forward stroke of the slider and the elastic unloading of the press when passing through the lowest position. The mathematical dependences for determination of energy losses in the areas of constant force, monotonous growth of the force and the area of elastic unloading of the press ram through the transition to the lowest position. It is shown that energy losses on friction in the elastic unloading of the press are 3.4-3.9 times higher than the work of elastic deformation of the press, which justifies their impact into the work of the working stroke of a press. For the first time analytical dependences for determining the energy losses on friction during the slide forward in areas of constant force, of the monotonous growth of the force and the area of elastic unloading of the press obtained by integrating the product of the reduced shoulder friction force on the force

on the slider of the press expressed as the function of rotation angle of crank shaft. The method allows to reduce the complexity of engineering work and improves the accuracy of the calculation results compared to graphic-analytical methods that has verified its industrial utility.

Keywords: *elastic deformation, hot extrusion, working stroke, friction, work.*

Рей М.Р. – канд. техн. наук, доцент Східноукраїнській національний університет імені Володимира Даля, м, Луганськ, Україна.

e-mail: oomd@snu.edu.ua

Рей Р.І. – д-р техн. наук, професор Східноукраїнській національний університет імені Володимира Даля, м, Луганськ, Україна.

e-mail: oomd@snu.edu.ua

Сушкова Т.С. – канд. техн. наук, доцент Східноукраїнській національний університет імені Володимира Даля, м, Луганськ, Україна.

e-mail: oomd@snu.edu.ua