

РАЗДЕЛ IV ОБОРУДОВАНИЕ И ОСНАСТКА ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ

УДК 621.974.8

Абдулганиев М. А.
Рей Р. И.
Явтушенко А. В.

ЭНЕРГЕТИКА РАБОЧЕГО ХОДА ГОРИЗОНТАЛЬНО-КОВОЧНОЙ МАШИНЫ

Энергетические параметры рабочего хода механических прессов, в том числе и горизонтально-ковочных машин (ГКМ), работающих на операциях объемной штамповки, рассчитываются графоаналитическими методами с присущими им недостатками. Разработка аналитического метода позволит снизить трудоемкость расчета и повысить точность его результатов.

Горизонтально-ковочные машины (ГКМ) явились первыми механическими прессами для горячей объемной штамповки, на их основе были построены кривошипные горячештамповочные прессы (КГШП). Основное назначение ГКМ – штамповка заготовок с удлиненной осью. Высокая эффективность использования ГКМ объясняет их широкое распространение. Так, на Камском автомобильном заводе [1] установлено 13 ГКМ, в том числе ГКМ усилием 2,5–12,5 МН с горизонтальным разъемом матриц формы «Газенклевер» и 2 ГКМ усилием 20 и 31,5 МН с вертикальным разъемом матриц производства Новокраматорского машиностроительного завода (г. Краматорск, Украина). Первый известный нам метод графоаналитического расчета энергетических параметров рабочего хода ГКМ изложен в монографии М. С. Несвита, О. И. Ньюнко, изданной в 1964 г. [2].

Затем в 1966 г. Е. Н. Ланской [3] и Л. И. Живов [4] расширяют границы использования метода графоаналитического расчета энергетических параметров рабочего хода универсальных прессов, кривошипных – горячештамповочных прессов и других типов механических прессов. В более поздних работах Е. Н. Ланской [5], [6] и Л. И. Живов [7] приводят этот же метод с небольшими уточнениями. Последнюю информацию по графоаналитическому методу энергетического расчета находим в изложении Л. И. Живова в учебнике, опубликованном в 2006 г. [8].

В последнее время появились публикации, посвященные вопросам энергетических затрат прессов за время рабочего хода. Так, в работе [9] изложена методика определения затрат энергии на рабочий ход КГШП. Используют численное интегрирование на основе графика технологических усилий на ползуне прессы, предложенного Л. И. Живовым [8]. В работе [10] показано, что энергия упругой деформации КГШП по закрытой высоте не исчезает, а при разгрузке прессы расходуется на компенсацию потерь энергии на трение или на возврат энергии в привод. Показано, что потери энергии на трение, сопровождающие упругую разгрузку прессы, в 3,4...4,0 раза превосходят энергию упругой деформации прессы. В работе [11] изложены аналитические зависимости для определения затрат энергии на рабочий ход при холодном выдавливании.

Цель работы – разработка аналитического метода расчета энергетических затрат на рабочий ход горизонтально-ковочных машин.

Затраты энергии на рабочий ход ГКМ с учетом рекомендаций, изложенных в работе [10], предлагается определять по следующей зависимости:

$$A_{p.x.} = A_{\partial} + A_f + A_{fy},$$

где A_{∂} – затраты энергии на пластическую деформацию;

A_f – потери энергии на трение при прямом ходе ползуна;

A_{fy} – потери энергии на трение при упругой разгрузке прессы в начале обратного хода ползуна.

Исходные данные для энергетического расчета заложены в графике усилий деформации. Форма графика приведена в работе С. М. Несвита, О. И. Ньюнка [2], начальное усилие высадки P_{oo} принято с учетом рекомендаций Л. И. Живова [4], усилие, возникающее в конце этапа открытой штамповки $P_{ок}$ и величины участков пластичной деформации h_1 , h_2 , принять с учетом рекомендаций [12], [13]. На основе графика усилий пластической деформации построен нагрузочный график ГKM (см. рис. 1), технологическая жесткость ГKM задавалось по рекомендациям Е. Н. Ланского.

$$P_{oo} = 0,05P_H; \quad P_{ок} = 0,35P_H; \quad P_{max} = P_H; \quad h = 0,45S_H; \quad h_1 = 0,25S_H.$$

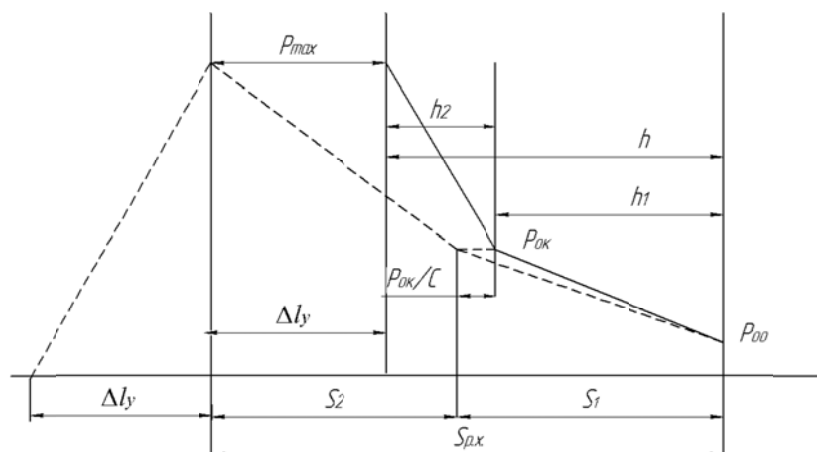


Рис. 1. Графики технологических усилий (—) и нагрузочный график (- - - - -)

Работа пластической деформации (полезная работа) определялась на основе графика усилий деформации по зависимости:

$$A_{\partial} = 0,5 \left[(P_{oo} + P_{ок}) h_1 + (P_{ок} + P_{max}) h_2 \right], \quad (1)$$

где величины, входящие в (1), представлены в нагрузочном графике ГKM (см. рис. 1).

Потери энергии на трение при прямом ходе ползуна рассчитываются по сумме потерь на 2-х участках по зависимости:

$$A_f = \int_{\alpha_k}^{\alpha_n} m_k^f P_{\alpha} d\alpha, \quad (2)$$

α_n, α_k – углы начала и конца участков определение потерь энергии на трение;

P_{α} – усилие на ползуне в функции угла поворота главного вала по нагрузочному графику прессы;

m_k^f – приведенное плечо сил трения.

Усилие в функции угла поворота главного вала определяется на основе нагрузочного графика ГKM по двум участкам, на первом участке:

$$P_{\alpha 1} = P_{oo} + \frac{P_{ок} - P_{oo}}{S_{p.x.} - S_2} (S_{p.x.} - S_{\alpha}); \quad (3)$$

на втором участке:

$$P_{\alpha 2} = P_{ок} + \frac{P_{max} - P_{ок}}{S_2} (S_2 - S_{\alpha}), \quad (4)$$

где S_{α} – перемещение ползуна в функции угла поворота главного вала:

$$S_{\alpha} = R \left[\left(1 + \frac{\lambda}{4} \right) - \cos \alpha - \frac{\lambda}{4} \cos 2\alpha \right], \quad (5)$$

где R – радиус кривошипа;

λ – коэффициент кратности шатуна.

В формуле не учтен коэффициент дезаксиальный, в виду его незначительного влияния на форму графика перемещений ползуна [7].

После подстановки (5) в (3) и (4) затем после подстановки (3), затем (4) в (2) и интегрирования получим следующие зависимости для определения потерь энергии на трение:

$$A_{f1} = m_k^f \left\{ P_{oo} + \frac{P_{ок} - P_{oo}}{S_{p.x.} - S} S_{p.x.} (\alpha_{p.x.} - \alpha_2) - \frac{P_{ок} - P_{oo}}{S_{p.x.} - S_2} R \cdot \left[\left(1 + \frac{\lambda}{4} \right) (\alpha_{p.x.} - \alpha_2) - \sin \alpha_2 \left(1 + \frac{\lambda}{4} \cos \alpha_2 \right) - \sin \alpha_{p.x.} \left(1 + \frac{\lambda}{4} \cos \alpha_{p.x.} \right) \right] \right\}, \quad (6)$$

где $\alpha_{p.x.}$ – угол рабочего хода;

α_2 – угол, соответствующий концу первого периода высадки, определяется по положениям ползуна в начале рабочего хода и в конце первого периода высадки; на втором участке:

$$A_{f2} = m_k^f \left\{ P_{max} \alpha_2 - \frac{P_{max} - P_{ок}}{S_2} R \left[\left(1 + \frac{\lambda}{4} \right) \alpha_2 - \left(1 + \frac{\lambda}{4} \cos \alpha_2 \right) \sin \alpha_2 \right] \right\}. \quad (7)$$

Потери энергии на трение во время упругой разгрузки ГKM выполняется по зависимости, приведенной в [14] как:

$$A_{fy} = m_k^f P_{max} \left(\alpha_y - \frac{R(1+\lambda)}{2\Delta\ell} \cdot \frac{\alpha_y^3}{3} \right), \quad (8)$$

где $\Delta\ell$ – упругая деформация ГKM по закрытой высоте:

$$\Delta\ell = P_{max} / C, \quad (9)$$

C – жесткость ГКМ по рекомендации Е. Н. Ланского [7];

α_y – угол упругой деформации ГКМ по закрытой высоте определяется как:

$$\alpha_y = \sqrt{2\Delta\ell / [R(1 + \lambda)]}. \quad (10)$$

Результаты расчетов и исходные данные для 8-и типоразмеров ГКМ усилием от 1,6 МН до 31,5 МН, для приведенного коэффициента трения в кинематических парах главного исполнительного механизма равном 0,06, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Исходные данные и результаты расчета энергетических параметров рабочего хода ГКМ

	модель	P_n , МН	S_n , мм	$C \cdot 10^9$, МН/м	h_l , мм	$P_{ок}/C$, мм	S_l , мм	Δh , мм	Δl , мм	$S_{p.x.}$, мм	S_2 , мм	λ	R , мм	m_k^f , мм
1	BA1132	1,6	200	2,2	50	0,25	52,5	90,0	0,7	90,7	38,2	0,33	100	15
2	BA1134	2,5	220	2,9	55	0,32	55,3	99,0	0,9	100,0	44,7	0,30	110	19
3	B1136	4,0	290	3,6	73	0,39	72,9	130,5	1,1	132,0	59,1	0,27	145	23
4	B1138	6,3	650	4,3	88	0,53	88,3	157,5	1,5	160,0	71,7	0,24	175	28
5	BB1139	8,0	380	4,9	95	0,56	65,6	171,0	1,6	173,0	77,4	0,21	190	31
6	BB1141	12,5	460	5,6	115	0,77	115,8	207,0	2,2	209,0	93,2	0,19	230	38
7	B143Б	20,0	570	6,3	143	1,12	142,6	256,5	3,2	260,0	117,4	0,17	285	47
8	B1145Б	31,5	700	7,0	175	1,42	176,4	315,0	4,5	320,0	143,6	0,14	350	58

Продолжение таблицы 1

	$\alpha_{p.x.}$, град	$\alpha_{ок}$, град	α_y , рад	A_{fy} , КДж	A_{fl} , КДж	A_{f2} , КДж	ΣA_f , КДж	$A_{p.x.}$, КДж	Δg	A_y , КДж	A_{fy}/A_y	$\Sigma A_f/A_g$	η
1	76	44	0,10	1,66	5,4	14,69	21,70	80,9	59,2	0,58	2,85	0,37	0,73
2	78	48	0,11	3,46	10,3	29,89	43,65	145,7	102	1,08	3,21	0,43	0,70
3	79	50	0,11	6,66	20,1	60,43	87,23	302,2	215	2,22	3,00	0,41	0,71
4	79	50	0,12	13,83	38,4	117,61	169,90	577,9	408	4,62	3,00	0,42	0,71
5	80	50	0,12	19,38	55,8	165,05	240,27	802,3	562	6,53	2,97	0,43	0,70
6	85	50	0,13	40,01	106,8	317,96	464,77	1528,8	1064	13,95	2,87	0,44	0,70
7	87	50	0,14	86,99	249,1	638,53	974,66	3083,7	2109	31,75	2,74	0,46	0,68
8	87	51	0,15	181,62	501,1	1249,53	1932,21	6012,2	4080	70,88	2,56	0,47	0,68

Расчет выполняется на основе совмещенного графика технологических усилий для 2-х переходной штамповки. Результаты расчета подтверждают правомерность включения в энергетический баланс рабочего хода потерь энергии на трение при упругой разгрузке ГКМ, так как потери энергии, сопровождающие упругую разгрузку ГКМ, в 2,6...3,0 раза превышают энергию упругой деформации. Анализ расчетных данных показывают более высокие значения КПД рабочего хода (0,68–0,73) по сравнению с КПД рабочего хода кривошипных горячештамповочных прессов, согласно данным работы [14] составляют 0,35...0,45 и 0,3–0,4 согласно данным Л. И. Живова [8], что можно объяснить работой ГКМ на больших угловых положениях главного вала, при которых имеет большие значения кинематический КПД. Основная потеря энергии за рабочий ход приходится на трение, улучшив условия трения в кинематических парах главного исполнительного механизма можно существенно повысить экономическую эффективность ГКМ.

ВЫВОДЫ

Предложенные математические зависимости позволяют снизить трудоемкость расчета энергетических параметров рабочего хода ГKM и повысить точность их результатов.

Затраты энергии на преодоление сил трения при упругой разгрузке ГKM в 2,5–3,5 раза превышают работу упругой деформации, что позволяет подтвердить учет потерь на трение в энергетическом балансе рабочего хода.

Основные потери энергии обусловлены трением, улучшение условий трения в главном исполнительном механизме ГKM с обеспечением гидродинамического трения позволит значительно повысить экономическую эффективность ГKM.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семендий В. И. *Прогрессивные технологии, оборудование и автоматизация кузнечно-штамповочного производства КамАЗа* / В. И. Семендий, И. А. Акаро, Н. Н. Волосов. – М. : Машиностроение, 1989. – 304 с.
2. Несвит С. М. *Горизонтально-ковочные машины и их автоматизация* / С. М. Несвит, О. И. Нюнько. – М. : Машиностроение, 1964. – 324 с.
3. Ланской Е. Н. *Элементы расчета деталей и узлов кривошипных прессов* / Е. Н. Ланской, А. Н. Банкетов. – М. : Машиностроение, 1966. – 380 с.
4. Живов Л. И. *Кузнечно-штамповочное оборудование. Прессы* / Л. И. Живов, А. Г. Овчинников. – Харьков : изд-во при Харьков. ун-те, 1966. – 456 с.
5. Банкетов А. Н. *Кузнечно-штамповочное оборудование* / А. Н. Банкетов, Ю. А. Бочаров, Н. С. Добринский и др. ; под ред. А. Н. Банкетова, Е. Н. Ланского. – М. : Машиностроение, 1970. – 602 с.
6. Живов Л. И. *Кузнечно-штамповочное оборудование. Прессы* / Л. И. Живов, А. Г. Овчинников. – К. : Вища школа, 1981. – 376 с.
7. Банкетов А. Н. *Кузнечно-штамповочное оборудование* / А. Н. Банкетов, Ю. А. Бочаров, Н. С. Добринский ; под ред. А. Н. Банкетова, Е. Н. Ланского. – М. : Машиностроение, 1982. – 576 с.
8. Живов Л. И. *Кузнечно-штамповочное оборудование: учебник для машиностроительных вузов* / Л. И. Живов, А. Г. Овчинников, Е. Н. Складчиков ; под ред. Л. И. Живова. – М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. – 560 с.
9. Рей М. Р. *Енергетика робочого ходу кривошипного горячештамповочного преса* / М. Р. Рей // *Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні* : зб. наук. пр. – Луганськ, 2005. – С. 116–122.
10. Рей М. Р. *Влияние жесткости кривошипного горячештамповочного преса на потери энергии за рабочий ход* / М. Р. Рей // *Вісник СНУ ім. В. Даля*. – Луганськ, 2006. – № 6 (100), ч. 1. – С. 40–54.
11. Рей М. Р. *Енергетика робочого ходу кривошипного горячештамповочного преса при холостом выдвигании* / М. Р. Рей, В. И. Соколов, В. И. Дубина // *Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні* : зб. наук. пр. – Луганськ, 2008. – С. 60–64.
12. Явтушенко О. В. *Проектування та розрахунок кривошипних пресів* : навч. посіб. – Запоріжжя : вид-во ЗНТУ, 2008. – 301 с.
13. Явтушенко О. В. *Проектування та розрахунок кривошипних пресів. Курсове проектування* : навч. посіб. – Запоріжжя : вид-во ЗНТУ, 2012. – 448 с.
14. Рей М. Р. *Затраты энергии на рабочий ход кривошипного горячештамповочного преса* / М. Р. Рей, Ю. И. Гутько, Т. С. Сушкова // *Вісник СНУ ім. В. Даля*. – Луганськ, 2009. – № 4 (141), ч. 2. – С. 19–24.

Абдулганиев М. А. – аспирант ВНУ им. В. Даля;

Рей Р. И. – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой ВНУ им. В. Даля;

Явтушенко А. В. – канд. техн. наук, доц., докторант ВНУ им. В. Даля.

ВНУ им. В. Даля – Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля, г. Луганск.

E-mail: oomd@edu.snu.ua

Статья поступила в редакцию 15.01.2013 г.