

Рей М.Р., канд. техн. наук, доцент

Восточнoукраинский национальный университет имени Владимира Даля, г. Луганск, Украина. e-mail: miraray@i.ua

МЕТОД ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ПРИ АДИАБАТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ В ЦИЛИНДРЕ ШТАМПОВОЧНОГО МОЛОТА

Ray M.R.

PhD, Associate professor of the Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Luhansk, Ukraine, e-mail: miraray@i.ua

THE METHOD OF THE ENERGY CALCULATION IN ADIABATIC PROCESSES IN THE CYLINDER OF STAMPING HAMMER

Разработан метод расчета энергетических параметров молотов, работающих на перегретом на основе адиабатического процесса пара в цилиндре молота. Составлены уравнения энергетического баланса действующих на падающие части сил и рассчитаны номограммы для их решения. Показано, что минимальное время хода падающих частей вверх достигается при условии равенства единице суммы периодов впуска нижнего и сжатия – предварения впуска верхнего пара.

***Ключевые слова:** штамповочный молот, перегретый пар, адиабатический процесс, работа, энергетический баланс.*

Введение

Паровоздушные молоты являются родоначальниками кузнечного оборудования. Благодаря своей надежности, универсальности и безотказности, а так же способности штамповать поковки с тонкими полотнами и высокими ребрами паровоздушные штамповочные молоты широко применяются и будут применяться в необозримом будущем.

В технической литературе, в учебниках и в учебных пособиях [1], [2] излагаются методы энергетического расчета штамповочных молотов при изотермическом процессе энергоносителя в цилиндре молота, что соответствует термодинамическому состоянию влажного пара которое описывается уравнением $PV = const$, (P – давление, V – объем). В последнее время паровоздушные молоты приводятся в действие перегретым паром или сжатым воздухом при адиабатическом термодинамическом процессе с показателем адиабаты для перегретого пара $K = 1,3$ и сжатого воздуха $K = 1,4$. Существенно отличаются и уравнения для определения работ расширения – сжатия [3].

Работа расширения влажного пара, (изотермический процесс)

$$A = p_1 V_1 \ln \frac{V_2}{V_1}.$$

Работа расширения для сжатого воздуха и перегретого пара (адиабатический процесс)

$$A = \frac{p_1 V_1}{K-1} \left(1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{K-1} \right),$$

где p_1 – начальное давление,

V_1, V_2 – начальный и конечный объемы.

В технической литературе, изданной в более позднее время, сохранен метод энергетического расчета молотов применительно к влажному пару, т.е. за основу принят изотермический процесс. Этот же метод изложен Л.И. Живовым в учебнике для вузов, изданном в МГТУ им. Н.Э. Баумана в 2006 г. [4], в нем имеются замечание относительно к использованию сжатого воздуха как энергоносителя.

Цель

Разработка метода расчета энергетических параметров штамповочных молотов, работающих на перегретом паре, на основе адиабатического процесса пара в цилиндре молота.

Методика исследования

Балансовое уравнение работы всех сил при ходе вверх молота можно представить следующим образом

$$\alpha B = A + C, \quad (1)$$

где $A = p_1 K_1 - p_0$,

$$B = p K_2 - p_0,$$

$$C = \frac{1,1G}{F},$$

здесь $K_1 = 1 + \lambda' + \left[\left(\frac{\varphi_0 + \lambda'}{\varphi_0} \right)^{K-1} - 1 \right] \frac{\varphi_0 + \lambda'}{K-1}$,

$$K_2 = \gamma_p + \frac{\varphi_u + \gamma_p}{K-1} \left[1 - \left(\frac{\gamma_p + \varphi_u}{1 + \varphi_u} \right)^{K-1} \right],$$

где α – отношение кольцевой и полной площадей поршня;

P_l – давление отработанного воздуха в цилиндре;

P_o – атмосферное давление;

P – давление сжатого энергоносителя;

G – вес падающих частей;

F – полная площадь поршня;

γ_p – период наполнения нижнего энергоносителя;

λ' – период сжатия верхнего энергоносителя, относительная величина суммарного отрезка впуска и расширения верхнего энергоносителя;

$\varphi_u(\varphi_o)$ – относительная величина проведенной высоты нижнего (верхнего) мертвого пространства цилиндра;

K – показатель адиабаты, для перегретого пара $K = 1,3$.

Решения уравнения (1) методом пробных подстановок требует значительных затрат времени для нахождения какого-либо решения из их бесконечного множества. Решая его номографическим методом [1], на основе данных табл. 1 и 2, можно без особого труда найти любое решение для взаимозависимых параметров γ_p и λ' .

Результаты исследования. Нами был исследован штампочный молот с весом падающих частей 15 т, работающий на перегретом паре при $P = 1,2$ МПа, $P_l = 0,23$ МПа (давление отработавшего пара в цилиндре); $\alpha = 0,85$, $F = 3846$ см², $\varphi_u = 0,09$, $\varphi_o = 0,12$.

Изучалась работа молота при первом холостом ходе поршня вверх. Из бесконечного множества взаимозависимых энергетических параметров γ_p и λ' при $\alpha = const$ исследовались пять вариантов. Первый и пятый характеризуют предельные случаи возможной работы молота: минимальную величину впуска нижнего пара и максимальную величину сжатия верхнего пара. Третий вариант соответствует точке пересечения кривых αB и $A + C$. Второй и четвертый вводятся для теоретического исследования функций расхода пара и работоспособности молота. Для всех пяти вариантов на основе данных табл. 1, 2 определялись параметры предложенных индикаторных диаграмм γ_p и λ' и рассчитывались числа двойных ходов падающих частей молота в минуту n , эффективная мощность молота N_e и индикаторный расход пара Q_u . Данные расчетов, приведенные в табл. 3, позволяют заключить, что оптимальным является третий вариант, при котором $\gamma_p + \lambda' = 1$. Первый, четвертый и пятый неприемлемы из-за неэкономичности и низких показателей быстроходности. Второй вариант характеризуется существенными потерями мощности (на 5,5 %) при незначительном уменьшении индикаторного расхода пара (всего на 3,08%).

Таблица 1

Работа энергоносителя в верхней полости цилиндра

λ'	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0
K_I	3,56	3,16	2,78	2,43	2,1	1,815	1,556	1,34	1,165	1,046	1
$P_I \cdot 10^5$ Па	$A = (P_I K_I - 1) \cdot 10^5$										
1	2,56	2,16	1,78	1,43	1,1	0,815	0,556	0,34	0,165	0,046	0
1,1	2,916	2,476	2,058	1,673	1,31	0,997	0,711	0,474	0,282	0,150	0,1
1,2	3,272	2,792	2,336	1,916	1,52	1,178	0,867	0,608	0,398	0,255	0,2
1,3	3,628	3,108	2,614	2,159	1,73	1,36	1,023	0,742	0,514	0,36	0,3
1,4	3,984	3,424	2,892	2,402	1,94	1,54	1,178	0,876	0,631	0,464	0,4
1,5	4,34	3,74	3,17	2,645	2,15	1,72	1,334	1,01	0,748	0,569	0,5
1,6	4,672	4,056	3,448	2,88	2,36	1,90	1,49	1,144	0,864	0,674	0,6
1,7	5,052	4,372	3,726	3,131	2,57	2,09	1,645	1,278	0,98	0,778	0,7
1,8	5,408	4,688	4,004	3,374	2,78	2,267	1,80	1,392	1,097	0,883	0,8
1,9	5,764	5,004	4,282	3,617	2,99	2,45	1,96	1,546	1,214	0,987	0,9
2,0	6,12	5,32	4,56	3,86	3,2	2,63	2,112	1,68	1,33	1,092	1
2,1	6,476	5,636	4,838	4,103	3,41	2,81	2,267	1,814	1,446	1,197	1,1
2,2	6,832	5,952	5,116	4,346	3,62	2,99	2,423	1,948	1,563	1,301	1,2
2,3	7,188	6,268	5,394	4,589	3,83	3,174	2,579	2,082	1,58	1,406	1,3
2,4	7,544	6,584	5,672	4,82	4,04	3,36	2,734	2,216	1,8	1,51	1,4
2,5	7,900	6,90	5,95	5,075	4,25	3,54	2,89	2,35	1,912	1,615	1,5

Для штамповочных молотов весьма важен также первый холостой ход вниз. Балансовое уравнение работ всех сил для этого случая имеет вид:

$$D + \frac{M}{F} = -\alpha E. \quad (2)$$

где $D = p\gamma_p\Pi + \varphi_o(p\Pi - p + p_l) + (1 - \mu)(p_l - p)$;

$$E = -p_{нач} \lambda \left[\frac{K}{K-1} (\Gamma - 1) + \frac{p_o}{p} \Gamma \right] - p_{нач} \left[1 + \frac{\varphi_u}{K-1} (\Gamma - 1) + \varphi_u \Gamma \left(1 + \frac{p_o}{p} \right) \right] + p(\varphi_u + \mu) + p_o(1 - \varphi_u);$$

$$\Pi = \frac{K}{K-1} \left[1 - \left(\frac{p_l}{p} \right)^{\frac{K-1}{K}} \right]; \quad \Gamma = \left(\frac{p}{p_{нач}} \right)^{\frac{K-1}{K}};$$

где μ – коэффициент нехода падающих частей.

Таблица 2

Работа энергоносителя в нижней полости цилиндра

γ_p	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
K_2	0,16	0,36	0,517	0,645	0,75	0,83	0,9	0,945	0,98	0,999	1,0
$P \cdot 10^5$ Па	$B = (PK_2 - 1) \cdot 10^5$										
6	-0,4	1,16	1,10	2,87	3,5	3,98	4,40	4,67	4,82	4,994	5
7	0,12	1,52	2,62	3,52	4,25	4,81	5,30	5,615	5,86	5,993	6
8	0,28	1,88	3,14	4,16	5,0	5,64	6,20	6,56	6,84	6,992	7
9	0,44	2,24	3,65	4,80	5,75	6,47	7,10	7,50	7,82	7,991	8
10	0,6	2,6	4,17	5,45	6,5	7,3	8,0	8,45	8,8	8,990	9
11	0,76	2,96	4,69	6,10	7,25	8,13	8,9	9,40	9,78	9,989	10
12	0,92	3,32	5,2	6,74	8,0	8,96	9,8	10,34	10,76	10,988	11

Таблица 3

Варианты	I	II	III	IV	V
Примеры					
γ_p	0,34	0,428	0,545	0,7	1,0
λ'	0	0,3	0,455	0,58	0,658
$N_э$, кВт	552	572	605	582	565
n , ходов/мин	52	55	58	56	54
Q и M^3 (при 11 ата)	1,081	1,067	1,101	1,195	1,466

Начальное давление нижнего выпуска для штамповочных молотов равно:

$$p_{нач} = (p - p_o) \left(\frac{\varphi_u + \gamma_p}{\varphi_u + 1} \right) - 0,5 p_o.$$

Равенство (2) также имеет бесконечное множество значений.

Для конкретного решения рассчитываются значения D для $\gamma_p^1 = 1$ и $\gamma_p^1 = 0$ и для $\lambda = 0$ и $\lambda = 1$.

По этим данным строится номограмма, и дальнейшие решения выполняются аналогично расчету при работе молота на влажном паре [1].

При известных $\gamma_p, \gamma_p^1, \lambda$ и λ' коэффициенты наполнения снизу и сверху поршня для штамповочных молотов рассчитываются по методике [1], затем обычным порядком определяется линейные размеры золотника и золотниковой втулки [2].

Выводы

1. Разработан метод расчета энергетических параметров штамповочных молотов, работающих на перегретом паре. Составлены уравнения энергетического баланса действующих на падающие части сил и рассчитаны номограммы для их решения.
2. Теоретическим исследованием доказано, что из всех возможных вариантов взаимозависимости энергетических параметров минимальное время хода вверх достигается при условии

$$\gamma_p + \lambda' = 1.$$

3. Предложенный метод расчета энергетических параметров штамповочных молотов может быть использован инженерно-техническими работниками при проектировании и усовершенствовании молотов.

Литература

1. Климов И.В. Основы теории и теплового расчета паровоздушных молотов / И.В. Климов // М.: Mashgiz, 1958. – 180 с.
2. Зимин А.И. Машины и автоматы кузнечного производства / А.И. Зимин // М.: Mashgiz, 1953. – 362 с.
3. Кухлинг Х. Справочник по физике / Х. Кухлинг // М.: «Мир», 1985. – 492 с.
3. Живов Л.И. Кузнечно-штамповочное оборудование: учебник для вузов / Л.И. Живов, А.Г. Овчинников, Е.Н. Складчиков // Под ред. Л.И. Живова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 580 с.

REFERENCES

1. Klimov, I.V., 1958. Osnovy teorii i teplovogo rascheta parovozdushnyh molotov, Moscow, Mashgiz, 180 p. (in Russian)
2. Zimin, A.I., 1953. Mashiny i avtomaty kuznechnogo proizvodstva, Moscow, Mashgiz, 362 p.
3. Kuhlning, H., 1985. Spravochnik po fizike, Moscow, Mir, 492 p. (in Russian)
4. Zhivov, L.I., Ovchinnikov, A.G., Skladchikov, E.N., 2006. Kuznechno-shtampovochnoe oborudovanie, Edited by Zhivov L.I., Moscow, BMSTU, 580 p. (in Russian)

Рей М.Р. Метод энергетичного розрахунку при адиабатичних процесах в циліндрі штампувального молота.

Розроблено метод розрахунку енергетичних параметрів молотів, що працюють на перегрітому на основі адиабатичного процесу пара в циліндрі молота. Складено рівняння енергетичного балансу діючих на падаючі частини сили, розраховані номограми для їх вирішення. Показано, що мінімальний час ходу падаючих частин в гору досягається, коли сума періодів впуску нижнього і стиснення-попередження впуску верхнього пару дорівнює одиниці.

Ключові слова: штампувальний молот, перегріта пара, адиабатичний процес, робота, енергетичний баланс.

Ray M.R. The method of the energy calculation in adiabatic processes in the cylinder of hammer.

A method for calculating of the adiabatic process parameters into the cylinder of hammer has developed. The energy balance equations of the forces that impact on the falling parts have written and nomograms for there solving calculated.

The study bases on the Basic Law and the laws of thermodynamics, which are accepted as axioms now. These dependences were used for determining the work of expansion - compression of a gas in an adiabatic process and the energy conservation during double stroke of the falling parts of stamping hammer:

The results are the balance equations of works of all forces during double stroke of the falling parts of stamping hammer up and down, the first is idling, and nomograms for their solving.

The balance equations of works of all forces during double stroke of the falling parts of stamping hammer operating with superheated steam have been developed.

Keywords: *stamping hammer, superheated steam, adiabatic process, work, energy balance.*