

В.А. Воскресенский

Сибирский государственный индустриальный университет

ОЦЕНКА ЭНЕРГИИ АВАРИЙНЫХ МАСС ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НА ПРЕДОХРАНИТЕЛЬ ПАРОВОЗДУШНОГО МОЛОТА

Штоки молотов нередко разрушаются в период выполнения технологической операции. Их работа происходит при больших динамических нагрузках, от которых в штоке возникает сложное напряженное состояние при одновременном действии продольных сжимающих сил и изгиба от нецентрального удара, либо от потери устойчивости. В случае разрушения штока на рабочем ходу происходит неуправляемое движение поршня паровоздушного молота вверх в рабочем цилиндре. При соударении отделившейся движущейся массы о верхнюю торцевую крышку рабочего цилиндра неминуемо произойдет удар, что приведет к значительным дополнительным разрушениям.

С целью защиты от разрушения в конструкциях паровоздушных молотов между крышкой и рабочим пространством цилиндра устанавливается, чаще всего, пневматический предохранитель, который предназначен компенсировать энергию движущихся оторвавшихся масс и защитить молот от разрушения.

Ранее [1] рассматривался этот процесс и было показано, что от энергии неуправляемых аварийных (после разрушения штока) масс возникает высокое давление, которое создается внутри цилиндра предохранителя при аварийной ситуации и которое многократно превышает рабочее. Для расчета величины давления внутри предохранителя требуется учитывать энергию удара аварийной массы, соударяющейся с плунжером предохранителя. Эта масса может состоять из объединения обломка штока и поршня, либо только поршня. Максимальная энергия перед соударением проявится, когда аварийная масса разгоняется на максимально возможном участке. Таким предельным размером разгона является монтажный ход L бабы молота (см. рисунок).

В ряде работ [2 – 4] излагается расчет сил сопротивления при движении на подъем поршня при нормальной работе молота. В литературе отсутствуют данные о расчете движения поршня в аварийном режиме. При аварийной ситуации и срабатывании предохранителя

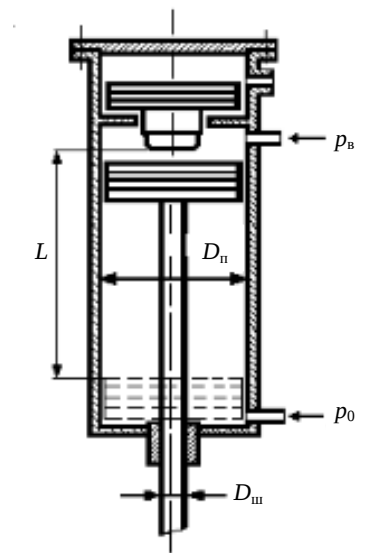


Схема рабочего цилиндра и предохранителя паровоздушного молота

следует учитывать некоторые особенности процесса. Во-первых, поскольку процесс неуправляемый, можно принять, что при аварийной ситуации происходит равномерно ускоренный разгон движущейся массы вплоть до ее встречи с плунжером предохранителя. Во-вторых, движущаяся масса может иметь различную случайную величину. Заранее планировать место поломки штока невозможно. Поэтому рассматриваем возможные крайние варианты разрушения штока.

Первый вариант – когда разрушение штока происходит по сечению непосредственно в месте его заделки в бабу молота. В этом случае разгоняемая аварийная масса будет максимальной. Она суммируется из масс штока $m_{ш}$ и поршня $m_{п}$. Внутри рабочего цилиндра давление p_0 со стороны энергоносителя (пара или сжатого воздуха) приходится на кольцевую площадь рабочего поршня, равную площади поршня за вычетом площади сечения штока. Для расчетного варианта массы практически вся длина штока будет участвовать в оценке ее величины. Сверху (как противодействие) на поршень действует противодействие выхлопа p_v .

Второй вариант – когда шток разрушается в рабочем цилиндре по сечению у нижней части поршня, причем так, что обломок штока остается внутри поршня. В этом случае энергоноситель давлением воздействуют на всю нижнюю поверхность поршня, которая включает в себя и площадь штока. Разгоняемая масса будет определяться массой поршня с остатком массы штока. Второй вариант в реальной практике эксплуатации паровоздушных молотов представляет собой случай скорее гипотетический, но исключать его, как предельный, было бы не целесообразно.

Можно предположить, что скорость массы поршня по второму варианту к моменту соударения с предохранителем будет выше, так как сила, создающая разгон, будет больше за счет большей площади, на которую оказывается рабочее давление энергоносителя. Поскольку проявление энергии в момент соударения зависит от квадрата скорости движущейся массы, то второй возможный вариант проявления энергии удара может оказаться более значимым.

Проведем расчет величины энергии, которая при ударе будет создаваться для каждого из рассматриваемых вариантов на реальных паровоздушных молотах. Для оценки возможных значений энергий удара используем паспортные данные реальных паровоздушных молотов [5]. В табл. 1 приведены данные по некоторым типам существующих молотов.

Энергия E , которая создается движущейся системой аварийных масс и которая должна поглощаться предохранителем площадью S , составит

$$E = \int_0^{L_x} P_x dL_x = \int_0^{L_x} Sp_x dL_x.$$

Для создаваемого усилия P_x выбираем в соответствии с паспортными данными табл. 1 допущение, что рабочее давление p_0 энергоносителя, которое по проектной документации находится в диапазоне $0,7 \div 0,9$, для расчета принято равным $0,8$ МПа для ковочных и штамповочных молотов. Для листоштамповочных прессов давление энергоносителя выбрано предельное – $0,6$ МПа. Противодействие выхлопа p_v принимаем одинаковым и равным $0,2$ МПа для всех типов молотов. Противодействие несколько выше приводимого в табл. 1, что может быть оправдано возможной более высокой скоростью перемещения поршня в аварийном режиме по сравнению с нормальным рабочим процессом. Пропускная способность каналов воздухопровода и золотниковой коробки рассчитывается на нормальный рабочий процесс, для которого создается определенное проходное сечение паро- или воздухопровода. При возрастании скорости перемещающихся масс возникнет увеличение скорости истечения энергоносителя, при которой для прежнего проходного сечения следует ожидать возрастающее сопротивление выхлопа.

Потери на трение при движении в направляющей втулке штока и поршня внутри цилиндра составляют [4] около 10% перемещающихся масс. Принято, что потери на трение в отношении к подводимому усилию, составляют только $0,1$ часть, что соответствует коэффициенту полезного действия $\eta = 0,9$.

Т а б л и ц а 1

Параметры молотов

Модель молота	Масса падающих частей, кН	Эффективная энергия удара у молота, кДж	Монтажный ход поршня, мм	Рекомендованное давление энергоносителя, МПа		Диаметр, мм	
				p_0	$p_{\text{в}}$	$D_{\text{п}}$	$D_{\text{ш}}$
Ковочные							
M132A	10,0	35,3	1000	0,7 – 0,9	0,15	330	110
M133A	20,0	70,0	1260	0,7 – 0,9	0,15	430	140
M134	30,0	152,2	1450	0,7 – 0,9	0,15	550	180
M136	50,0	175,0	1700	0,7 – 0,9	0,15	630	200
MA 136	50,0	175,0	1700	0,7 – 0,9	0,15	630	200
Штамповочные							
M211	10,0	–	1200	0,7 – 0,9	0,15	280	120
M212	20,0	–	1200	0,7 – 0,9	0,15	380	145
Листоштамповочные							
МЛЗ	30,0	33,0	1200	0,4 – 0,6	0,1 – 0,15	450	115
МЛ5	50,0	136,0	1500	0,4 – 0,6	0,1 – 0,15	700	150
Примечание. $D_{\text{п}}$ – диаметр поршня; $D_{\text{ш}}$ – диаметр штока.							

П р и м е ч а н и е. D_n – диаметр поршня; $D_{ш}$ – диаметр штока.

Рассмотрим создаваемое усилие для выше-названных вариантов разрушений штока. Для рассматриваемого первого варианта разрушения расчетная аварийная масса – это масса системы шток – поршень. Для второго варианта – это только масса поршня.

Для первого варианта, когда поломка штока произошла по сечению в месте крепления в бабе молота, усилие P_1 , действующее на подъем массы системы шток – поршень, определится так:

$$P_1 = \frac{\pi}{4} [p_0 (D_{\pi}^2 - D_{\text{ш}}^2) - p_{\text{в}} D_{\pi}^2] \eta.$$

Для второго варианта, когда разрушение штока возможно внутри цилиндра, усилие P_2 , действующее на разгон массы поршня m_{π} , составит

$$P_2 = \frac{\pi}{4} D_{\pi}^2 (p_0 - p_{\text{в}}) \eta.$$

Время разгона массы, движущейся к предохранителю, для рассматриваемых вариантов определяется выражением

$$t_p = \sqrt{\frac{2Lm}{P}}, \quad (1)$$

где L – длина участка разгона (рис. 1) от верхней точки поршня, находящегося в нижнем положении, до контакта со штоком предохранителя; m – масса, движущаяся с разгоном; P – усилие от рабочего давления энергоносителя, действующее на разгон движущихся масс к предохранителю.

Скорость, которую движущаяся масса может иметь при встрече с предохранителем, составит

$$v = \frac{P}{m} t_p. \quad (2)$$

Кинетическая энергия удара подвижных масс о плунжер предохранителя составит

$$E_k = \frac{mv^2}{2}. \quad (3)$$

Если в расчетное значение кинетической энергии (3) подставить выражение скорости (2), в котором время t_p учесть через формулу (1), и выполнить преобразования, то получим выражение энергии как произведение усилия P , действующего на поршень, умноженное на расстояние L его перемещения внутри цилиндра. По существу – это работа перемещения E_{π} движущихся аварийных масс:

$$E_{\pi} = PL. \quad (4)$$

На основе полученной зависимости можно рассчитывать для любого варианта разрушения системы шток – поршень энергию движущихся к предохранителю аварийных масс как кинетическую энергию E_k и как работу (энергию) перемещения E_{π} .

Используя данные табл. 1, проведем расчет ожидаемых величин энергий удара для рассматриваемых вариантов. Результаты расчета кинетической энергии E_k перед соударением системы и работы перемещения E_{π} также перед соударением системы, а также расхождение Δ в их расчете представлены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Расчетные значения энергий удара для рассматриваемых молотов

Модель молота	Движение системы шток – поршень			Движение только поршня		
	E_k , кДж	E_{π} , кДж	Δ , %	E_k , кДж	E_{π} , кДж	Δ , %
Ковочные						
M132A	38,69	39,17	1,2	45,71	45,91	0,43
M133A	84,46	84,73	0,3	97,54	97,97	0,44
M134	158,28	158,35	0,04	184,02	184,78	0,41
M136	245,82	246,07	0,1	282,18	283,66	0,52
Штамповочные						
M211	29,47	29,71	0,8	39,25	39,42	0,43
M212	57,98	58,63	1,1	70,65	72,78	3,01
Листоштамповочные						
МЛ3	24,78	24,82	0,16	68,79	68,06	1,06
МЛ5	290,35	290,62	0,09	206,06	206,28	0,11

Анализ сопоставления полученных результатов в оценке расчета кинетической энергии и работ перемещения аварийных масс показывает, что в расчете величины энергии удара по предохранителю движущимися массами удобнее использовать энергию как работу перемещения, т.е. в расчетах использовать второй рассматриваемый вариант, в котором методика расчета более простая.

Если провести сравнение двух рассматриваемых вариантов «шток – поршень» и только «поршень», то, как и предполагалось, у варианта, когда движется только поршень к предохранителю, энергия его соударения с предохранителем больше за счет более высокой скорости аварийной массы.

Из полученных результатов следует, что кинетическая энергия удара только массой поршня превышает энергию удара массой системы шток – поршень от 15 до 33 %. Так как при проектировании конструкции предохранителя следует рассматривать вероятные предельно максимальные ситуации, то именно эту характеристику разумнее закладывать при расчетах проектируемой конструкции.

Выводы. При расчете энергии удара движущихся аварийных масс о плунжер предохранителя предпочтительнее использовать ме-

тодику определения энергии удара через работу. Эта методика не снижает точности оценки энергии, но более простая в расчете, а следовательно, менее трудоемкая.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. В о с к р е с е н с к и й В.А. Энергетика и возможности предохранителя паровоздушного молота // Вестник СибГИУ. 2012. № 2. С. 21 – 23.
2. З и м и н А.И. Машины и автоматы кузнечно-штамповочного производства. Ч. 1. Молоты. – М.: Машгиз, 1953. – 495 с.
3. Ж и в о в Л.И., О в ч и н н и к о в А.Г. Кузнечно-штамповочное оборудование. Молоты. – Киев: Вища школа, 1972. – 280 с.
4. Б о ч а р о в Ю.А. Кузнечно-штамповочное оборудование: Учебник для студентов высших учебных заведений. – М.: Академия, 2008. – 480 с.
5. Каталог «Кузнечно-прессовое оборудование». Молоты. Вып. 5 / ЦБТИ, МСиИП СССР, 1960. – 43 с.

© 2015 г. В.А. Воскресенский
Поступила 4 марта 2015 г.