

Металлургия, 1966. – 304 с. **5.** Поздеев А. А. Первое приближение метода гидродинамических аналогий в теории обработки металлов давлением / А. А. Поздеев, В. И. Тарновский // Инженерные методы расчета технологических процессов обработки металлов давлением. – М.: Metallurgizdat, 1963. – 324 с. **6.** Третьяков А. В. Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением / А. В. Третьяков, В. И. Зюзин. – М.: Metallurgiya, 1973. – 224 с. **7.** Коновалов Ю. В. Расчет параметров листовой прокатки. Справочник / Ю. В. Коновалов, А. Л. Остапенко, В. И. Пономарев. – М.: Metallurgiya, 1986. – 430 с.

**Bibliography (transliterated):** **1.** Benyakovskij, M. A., et al. *Tehnologiya prokatnogo proizvodstva. V 2-h knigah. Kn. 2. Spravochnik.* Moskow: Metallurgiya, 1991. Print. **2.** Rudskoj, A. I. *Teoriya i tehnologiya prokatnogo proizvodstva: Ucebnoe posobie.* Sankt-Peterburg: Nauka, 2005. Print. **3.** Litovchenko, N.V. *Stany i tehnologiya prokatki listovoj stali.* Moskow: Metallurgiya, 1979. Print. **4.** Golovanenko, S. A. and L. V. Meandrov. *Proizvodstvo bimetallov.* Moskow: Metallurgiya, 1966. Print. **5.** Pozdeev, A. A. and V. I. Tarnovskij. «Pervoe priblizhenie metoda gidrodinamicheskikh analogij v teorii obrabotki metallov davleniem.» *Inzhenernye metody rascheta tehnologicheskikh protseccov obrabotki metallov davleniem.* Moskow: Metallurgizdat, 1963. Print. **6.** Tret'yakov, A. V. and V. I. Zyuzin. *Mehanicheskie svojstva metallov i splavov pri obrabotki metallov davleniem.* Moskow: Metallurgiya, 1973. Print. **7.** Konovalov, Yu. V., A. L. Ostapenko and V. I. Ponomarev. *Raschet parametrov listovoj prokatki. Spravochnik.* Moskow: Metallurgiya, 1986. Print.

Поступила (received) 26.10.2015

УДК 621.979

**А. А. КОЛТАКОВА**, студентка, НТУ «ХПІ»;  
**В. Я. ДАНИЛЕНКО**, канд. техн. наук, доц., НТУ;  
**А. Ю. СЕВЕРИН**, студент НТУ «ХПІ»

## К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАССЫ ПАДАЮЩИХ ЧАСТЕЙ МОЛОТА ПРИ ШТАМПОВКЕ

В работе рассмотрены возможности проверки технического состояния паровоздушных штамповочных молотов на основе оценки эффективной энергии удара. З переходом заводов из отработанного пара на работу на воздухе, на молотах наблюдается падение производительности и снижение энергии полного удара на 12 ... 17%. Это приводит к необходимости нанесения дополнительного количества ударов, что приводит к перерасходу энергоносителя из-за чего происходит износ деталей как молота так и штампа. В работе проведены расчеты энергии удара для четырех типов молотов. Полученные результаты показали, что для расчетов необходимо учитывать действительный ход падающих частей. По полученным результатам предложен алгоритм проверки состояния паровоздушных молотов.

**Ключевые слова:** молот, падающие части, энергия удара, действительный ход падающих частей, экономическая эффективность, энергоноситель.

**Введение.** Типоразмер штамповочного молота можно выбрать, пользуясь зависимостями и номограммами из справочника «Ковка и штамповка», том 2, под редакцией Е.И. Семенова [1] и другой аналогичной литературы. Такой

выбор молота можно считать правильным при условии, что молот, работающий в цехе, соответствует параметрам ГОСТ и эксплуатируется в нормальном режиме с соответствующим уходом.

Известно, что главным параметром паровоздушного молота является кинетическая энергия, развиваемая падающими частями (ПЧ)  $L = mV^2/2$ . и зависит она от массы и, в большей степени, от скорости этой массы. Учитывая, что на отечественных заводах работают молоты двойного действия, то скорость перемещения падающих частей будет зависеть не только от пути перемещения, но и от дополнительно действующих на них сил. Величина этих сил зависит от многих факторов, что, в свою очередь, окажет влияние на скорость перемещения падающих частей, а, впоследствии, на энергетические параметры и правильность выбора типоразмера молота.

К существенным факторам, влияющим на силы, действующие на падающие части, следует отнести параметры энергоносителя и состояние молота. Первый фактор характеризуется видом энергоносителя «пар» или «воздух» и его исходным давлением. Второй фактор – техническое состояние оборудования, прежде всего распределительного механизма и самого цилиндра.

Выбор молота без учёта этих факторов приводит к ошибочному определению тоннажа молота, а, как следствие, к уменьшению производительности, снижению стойкости штока и инструмента, перерасходу энергоносителя.

**Анализ последних исследований и литературы.** Рекомендации по определению массы падающих частей (МПЧ) молота были разработаны для молотов, работающих на паре. В связи с тем, что многие отечественные заводы перешли на использование сжатого воздуха в качестве энергоносителя, то энергетические параметры молотов снижаются [8] для различных типоразмеров молотов примерно на 12,5...17,5 % [5].

При определении энергии удара в термомеханическом расчете, ее величина получается несколько завышенной за счет того, что ход падающих частей принимается по ГОСТ-7024. Но в действительности рабочий ход значительно меньше за счет высоты верхнего кубика. Из источников, на которых был указан ход ПЧ видно, что он значительно отличается от заданных в ГОСТе. Так в [2] были приведены диаграммы управляемых последовательных

ударов штамповочного молота с МПЧ 2 т, на которых указан ход 865 мм, когда в ГОСТ-7024 он равен 1200 мм. На действительных индикаторных диаграммах [3] указан ход падающих частей молотов с МПЧ 1,5 т и 3,0 т, отличный от указанного в ГОСТ на 25...30%. В действительности рабочий ход значительно меньше за счет высоты верхнего кубика штампа и расчётной высоты заготовки.

**Цель исследования, постановка проблемы.** Разработка методика проверки возможности паровоздушных штамповочных молотов для повышения их эффективности и улучшения качества получаемых поковок.

**Материалы исследований.** На основании вышеизложенного предлагаем на предприятиях периодически ориентировочно проверять состояние молота и его энергетические параметры и по результатам вносить соответствующую корректировку в расчёты.

Проведенный анализ работы молотов, переведенных на воздух при изготовлении основных поковок Лозовского кузнечно-механического завода при давлении 0,6...0,7 МПа показал количество необходимых ударов для каждой поковки и стойкости молотового штампа до первого ремонта (табл. 1).

Таблица 1 – Данные количества ударов и стойкости штампов Лозовского кузнечно-механического завода

Давление сжатого воздуха у молота (0,6...0,7 МПа)	МПЧ, т	Масса поковки, кг	Кол-во ударов	Стойкость молотового штампа, шт.
14 Плита упорная	5,0	34	9	2200
15 Подвеска маятниковая	2,0	1,35	11	4500
16 Скребок	3,15	19,5	10	1000
17 Скребок	5,0	23,4	10	1000
18 Головка рычага	0,63	0,94	13	2100
19 Вилка	3,15	7,2	22	2100
20 Подбойка	3,15	15,3	17	2000
21 Рычаг	5,0	21,3	16	2800
22 Шестерня	5,0	20	14	3100

До настоящего времени определение МПЧ молота для штамповки поковок происходит, основываясь на ее геометрии. В справочнике [1] приведены формулы определения МПЧ при штамповке круглых в плане поковок в открытых штампах и не круглых в плане поковок. Либо по номограммам, которые так же основаны на геометрии заготовки и на геометрии

мостику облойной канавки. Согласно [4] можно ориентироваться в выборе молота по массе поковки и производительности оборудования (табл. 2).

Таблица 2 – Ориентировочная производительность и масса поковок в зависимости от массы падающих частей молота

МПЧ, т	Масса поковок, кг	Производительность,
0,63	1	200
1,0	1...2,5	300
2,0	2,5...7	600
3,15	7...17	1000
5,0	20...40	1750

**Анализ штампов, в которых пластическая деформация металла происходит преимущественно методом осадки.** Применяют в основном цельные штампы. Их габаритные размеры колеблются в широких пределах. Габаритные размеры и масса штамповых кубиков в зависимости от массы падающих частей молотов приведены в табл. 3 [6].

При необходимости высоту штампового кубика для паровоздушных молотов можно увеличить в 1,2–1,5 раза. Однако при этом следует соответственно уменьшить другие размеры кубика, с тем, чтобы сохранить его максимально допустимую массу.

Таблица 3 – Габаритные размеры и масса штамповых кубиков

№	МПЧ, т	Hм, м	Масса поковки, кг	Высота	Ширина	Длина	Минимал. высота без хвостовика	Масса штамп. кубика, кг	
								мин	макс
1	1,0	1,2	1–2,5	180	450	450	110	75	285
2	2,0	1,25	2,5–7	220	550	670	130	200	650
3	3,15	1,25	7–17	320	670	800	170	300	1260
4	5,0	1,3	20–40	320	800	950	200	500	1910

Для определения типоразмера молота и его энергетических параметров был выбран процесс осадки круглой заготовки, так как он является универсальным, не требует специальных инструментов, не трудоемкий, экономичный и постоянно используемым при изготовлении деталей на молотах.

Таблица 4 – Рассчитанная геометрия заготовок для разных молотов

Рассчитанная геометрия заготовок				
МПЧ, т	1,0	2,0	3,15	5,0
D, мм	60	82	120	175
H, мм	90	120	169	265
V, м <sup>3</sup>	$0,2546 \cdot 10^{-3}$	$0,6365 \cdot 10^{-3}$	$1,909 \cdot 10^{-3}$	$6,365 \cdot 10^{-3}$
G, кг	2	5	15	50

В результате расчета были выбраны заготовки (табл. 4) для молотов 1,0; 2,0; 3,15 и 5 т.

Выбор размеров и массы штампов и штамповых кубиков производят в соответствии с размерами поковки, при этом учитывают необходимость обеспечения достаточной прочности штампа. Масса верхнего штампа не должна превышать 30% от массы падающих частей молота (баба – шток – поршень), практически у паровоздушных молотов она составляет около 10%.

Поэтому при расчете действительного хода падающих частей необходимо учитывать высоту заготовки и высоту верхнего штампа. Для рассматриваемых молотов и принятых заготовок (табл. 4) был определен действительный ход падающих частей (см. табл. 5).

Таблица 5 – Определение действительного хода падающих частей

Техническая характеристика				
МПЧ молотов, т	1,0	2,0	3,15	5,0
Hm, по ГОСТ, м	1,2	1,2	1,25	1,3
Высота верхнего штампа, м	0,11	0,13	0,17	0,2
Высота заготовки, м	0,09	0,12	0,169	0,265
Hmд, м	1,0	0,95	0,911	0,835
Lэ по ГОСТ, кДж	25	50	80	125
L из лит.источников, кДж		45		

Для определения параметров паровоздушного молота и построения предположительных индикаторных диаграмм была разработана программа расчета в среде Microsoft Office Excel. Благодаря этой среде разработанная программа обладает простотой в использовании и достаточной точностью в получении результатов. При расчете работы молота на воздухе программа также способна учитывать коэффициент адиабаты  $k$  и вести расчет для разных масс падающих частей.

Расчёты позволили определить энергию удара ПЧ в зависимости от величины хода педали.

По результатам расчёта построены графики зависимости энергии удара от хода ПЧ для выбранных молотов в зависимости от величины хода педали рис. 1.

Из графиков видно (рис. 1), что значение энергии удара значительно ниже при действительном ходе ПЧ. Для полного удара снижение с 18% для ПВШМ с МПЧ 1 т и доходит до 38% для ПВШМ с МПЧ 5 т, это связано с увеличением как массы, так и хода падающих частей молота.

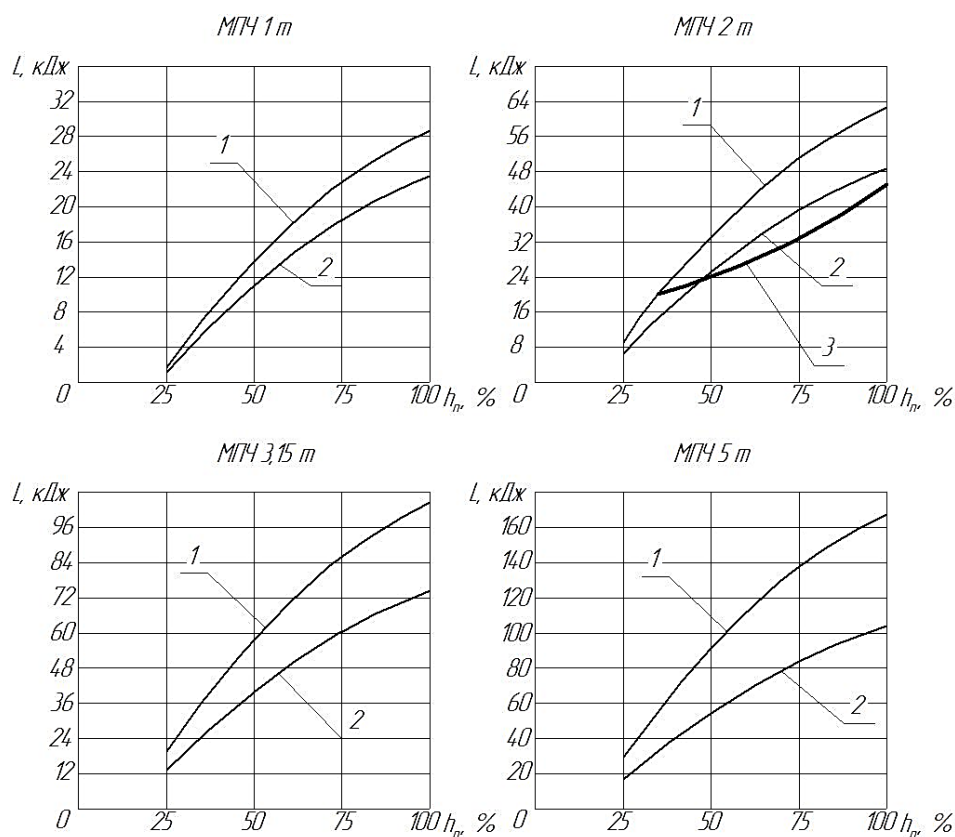


Рис. 1 – Энергия удара молота в зависимости от величины хода педали: 1 – энергия удара молота с ходом падающих частей по ГОСТ; 2 – энергия удара молота с действительным ходом; 3 – энергия удара с действительным ходом падающих частей по Щеглову для ПВШМ с МПЧ 2 т [2] (по Щеглову  $H_m=865$  мм, рассчитанное в данной работе  $H_m=950$  мм)

Используя методику, предложенную И.Я. Тарновским [7], выполнен расчет усилия и затраченной работы деформации при осадке круглых заготовок (табл. 4) для молотов от 1,0 до 5,0 т. Для расчетов была выбрана сталь 10, температура началаковки  $1100^{\circ}\text{C}$ , при которой  $\sigma_s=22$  МПа. По результатам

расчёта построены графики усилий и работы деформации (рис. 2 и 3) заготовок из табл. 4.

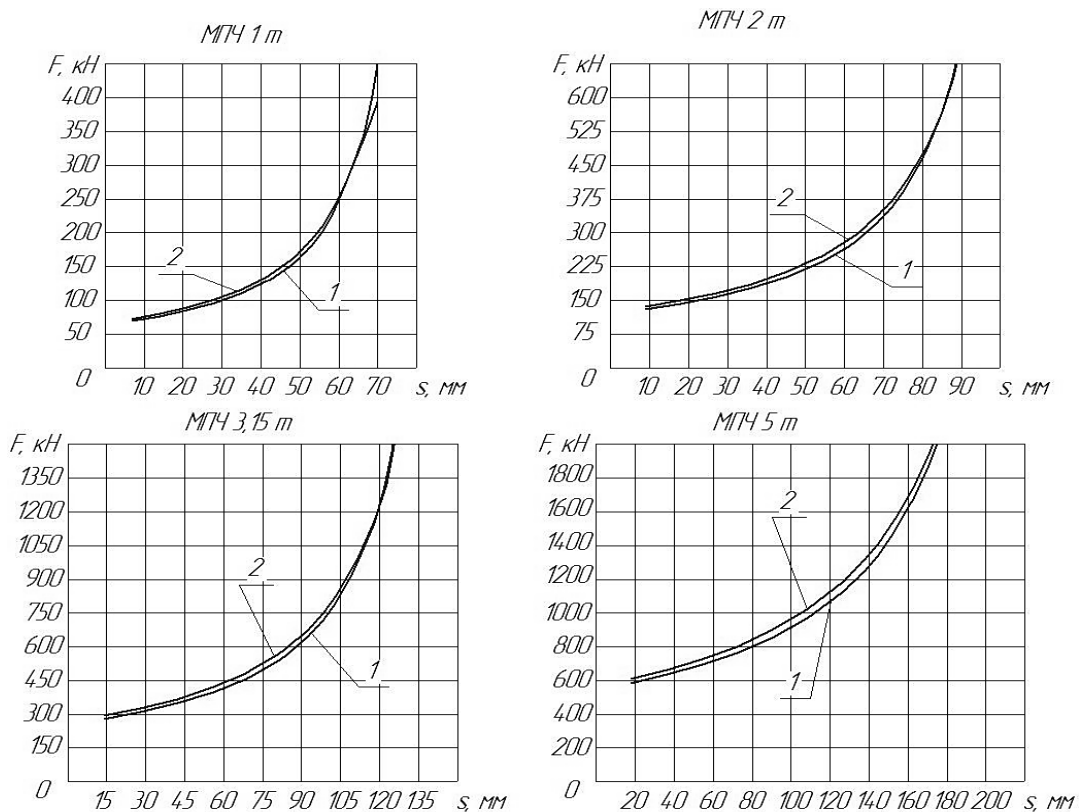


Рис. 2 – Графики усилий деформации при осадке заготовки из стали 10 при  $t_{н\kappa}=1100^{\circ}\text{C}$ :  
 1 – методом по Тарновскому И.Я.; 2 – по формуле Э. Зибеля

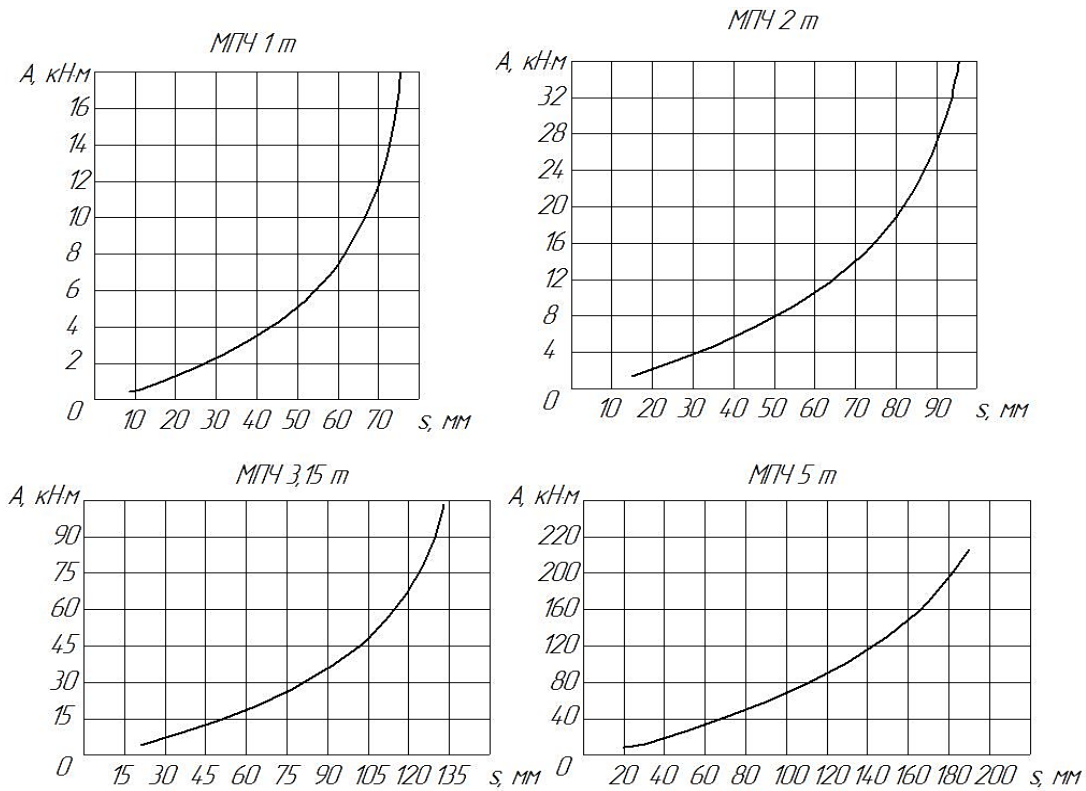


Рис. 3 – Работа деформации при осадке заготовки из стали 10 при  $t_{\text{нк}}=1100^\circ\text{C}$

Расчет усилий деформации, по формулам была определена работа деформации при осадке и построен ее график (рис. 3):

$$A_1 = \frac{P_1+P_2}{2} \Delta h ; A_2 = A_1 + \frac{P_2+P_3}{2} \Delta h ; A_i = A_{i-1} + \frac{P_i+P_{i+1}}{2} \Delta h$$

Работа деформации при осадке переводится в затраченную энергию, исходя из того [8], что КПД удара составляет 0,7...0,73. Величина работы деформации увеличивается примерно на 30%, полученные графики для выбранных молотов представлены на рис. 4



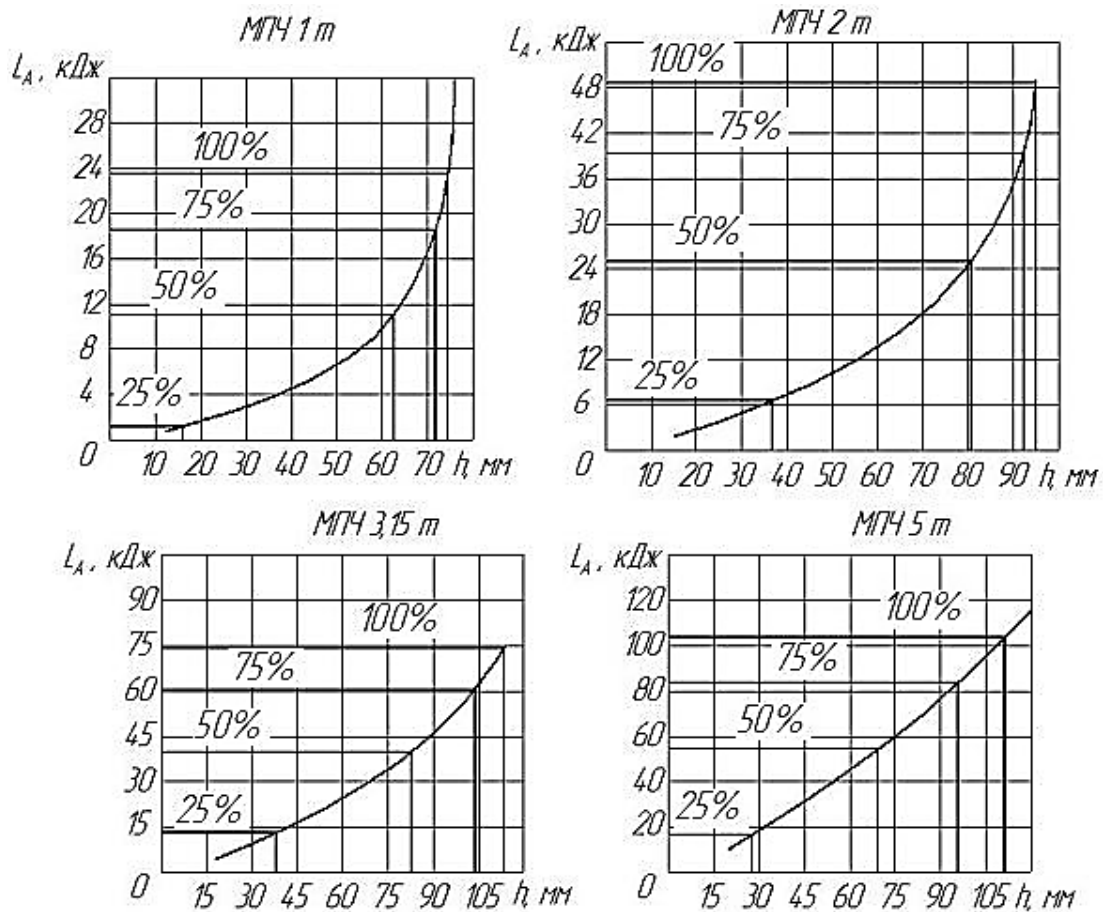


Рис. 4 – Энергия, затраченная на работу деформацию при осадке заготовок, Дж, и величина хода педали, %

На полученный график накладывается точки из графика энергии удара в зависимости от величины хода педали (рис. 1), что позволяет графически определить величину осадки рассчитанных заготовок для выбранных молотов 1,0; 2,0; 3,15 и 5,0 т в зависимости от хода педали. Проанализировав данные графики, можно заметить, что с увеличением МПЧ величина осадки возрастает, но не с такой же интенсивностью, как растет энергия удара. Это связано с уменьшением действительного хода ПЧ (табл. 5) при увеличении массы ПЧ, а с увеличением МПЧ молота, увеличиваются габариты штампа. Значение хода ПЧ по ГОСТ для различных МПЧ молота отличается не так кардинально, как идет увеличение высоты штампа.

Результаты расчетов затраченной энергии на осадку заготовок (рис. 4) перенесены на график зависимости энергии удара от величины хода педали (рис. 1), что позволило определить зависимость величины осадки заготовок для

выбранных типоразмеров молотов с действительной величиной хода падающих частей и ходом по ГОСТ, результаты сведены в табл. 8.

Таблица 8 – Определенная величина осадки заготовок на молотах с действительным ходом падающих частей и ходом ПЧ по ГОСТ

$H_{заг}$ мм. % от $h_n$	при $H_{мд}$	при $H_m$	при $H_{мд}$	при $H_m$	при $H_{мд}$	при $H_m$	при $H_{мд}$	при $H_m$
При 100%,	74,8	75,89	95,07	96,82	109,5	126,95	106,34	141,22
При 75%, м	72,08	74,36	91,03	95,62	99,75	119,38	91,7	131,68
При 50%, м	61,3	66,75	81,35	88,49	79,08	101,53	67,16	101,89
При 25%,	14,85	20,63	35	46,15	36,63	51,35	28,56	42,85
МПЧ, т	1,0		2,0		3,15		5,0	
D, мм	60		82		120		175	
H, мм	90		120		169		265	

По результатам построены зависимости величины осадки заготовок от энергии удара для выбранных типоразмеров молотов (рис. 5)

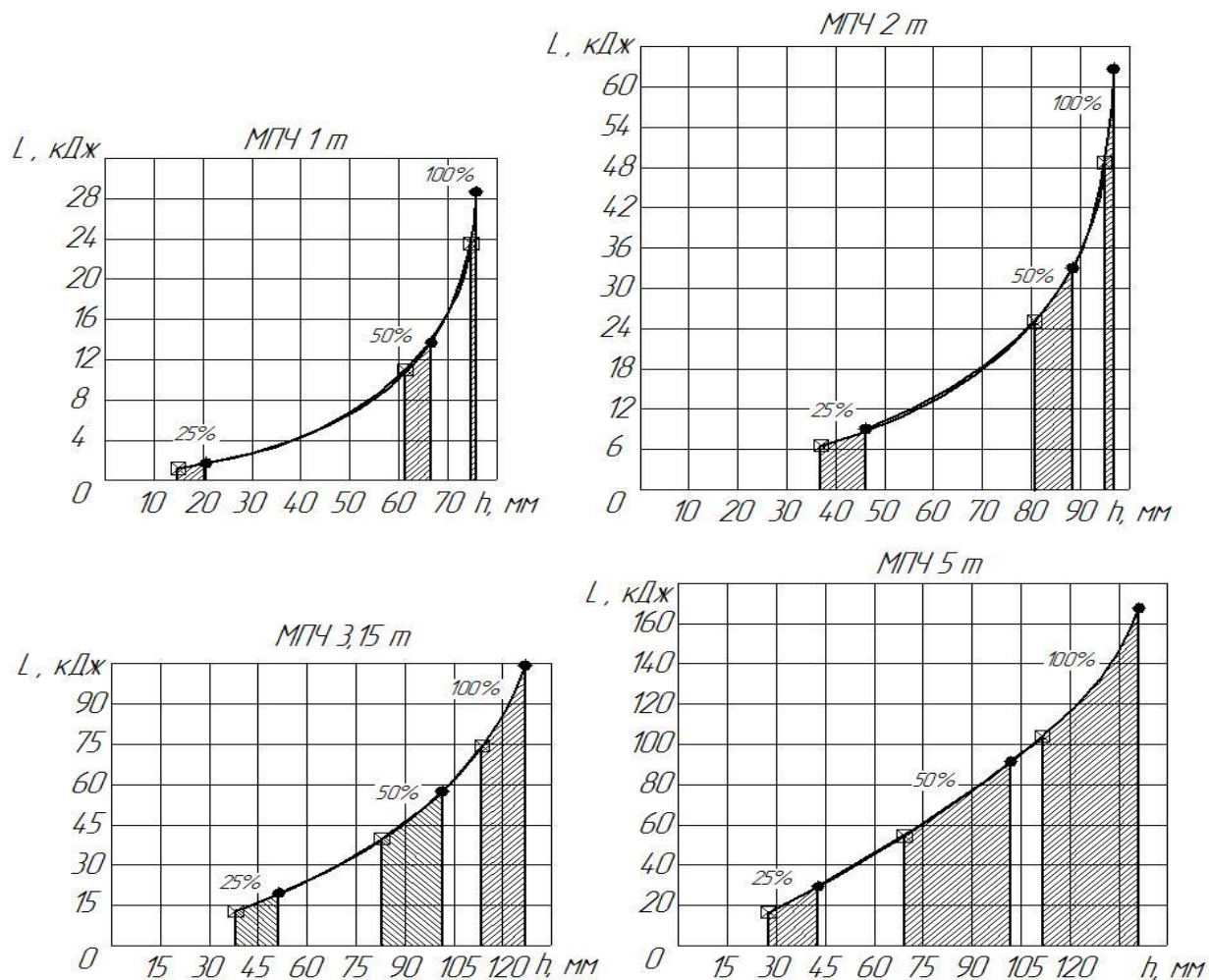


Рис. 5 – Графики для сравнительного анализа

Из графиков видно  $\min$  и  $\max$  величину осадки конкретных заготовок на каждом молоте в зависимости от степени нажатия на педаль. Полученные результаты позволяют судить о состоянии и энергетических возможностях молота при проведении соответствующей проверки.

При проверке молота на производстве, значения величины осадки заготовок откладываются на оси абсцисс графика (рис. 5) соответственно полученным экспериментально данным. Если величина осадки заготовки находится меньше  $\min$  значения при различных нажатиях на педаль – следовательно, параметры молота не соответствуют ГОСТ и это говорит о системных нарушениях в работе молота.

Если величина осадки заготовки, полученная экспериментальным путем на производстве, попадет в зону между  $\min$  и  $\max$  или будет больше  $\max$ , то молот находится в нормальном работоспособном состоянии.

По данным графикам видно, что зоны, соответствующие нормальной работе молота, достаточно велики, что свидетельствует о значительно завышенной энергии при  $N_m$  по ГОСТ.

В результате проведенной работы можно предложить алгоритм проверки состояния молота (рис. 6).

По рассчитанной в данной работе геометрии заготовок для выбранных типоразмеров молотов необходимо изготовить образец. Затем следует нагреть образец до температуры началаковки и осадить на молоте с нажатием на педаль на 100%. Измерить величину осадки и перенести на график, соответствующий типу молота.

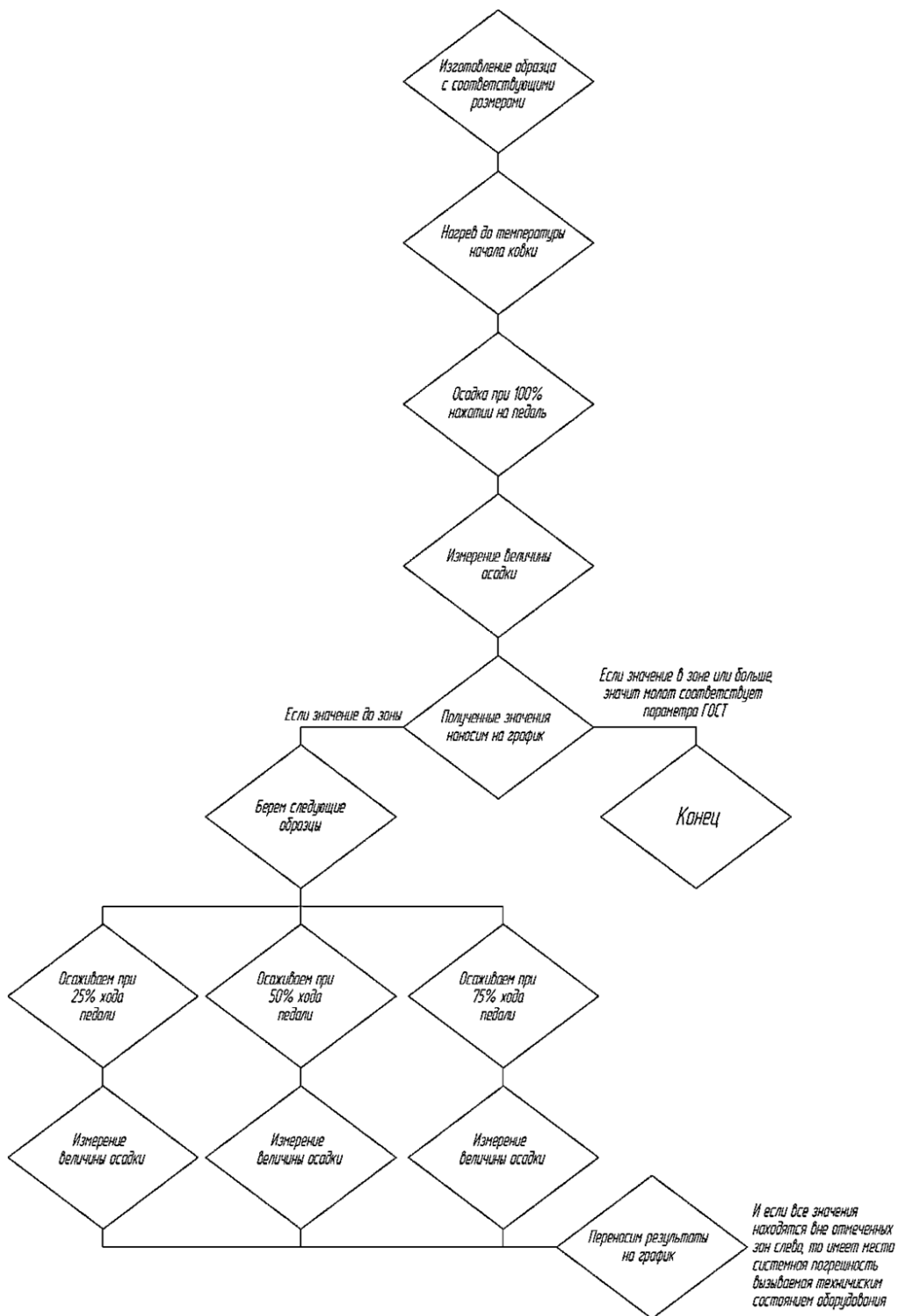


Рис. 6 – Алгоритм осуществления проверки молота

Если значение величины осадки находится в зоне между  $\min$  и  $\max$ , то параметры молота соответствуют указанным в ГОСТ и проверку можно закончить. Если полученное значение величины осадки меньше  $\min$ , то берем еще три таких же образца, нагреваем до температуры ковки и осаживаем

образцы, первый при 75% хода педали, второй при 50% хода педали и третий при 25% хода педали. Проводим измерение величины осадки заготовок и значения переносим на соответствующий график. И если все значения величины осадки находятся меньше  $\min$  значений, то имеет место системная погрешность, вызванная техническим состоянием молота.

**Выводы.** 1. В результате расчетов получены графики энергии удара для выбранных типоразмеров молотов с величиной хода по ГОСТу и действительным ходом падающих частей при различной величине хода педали. 2. Определена  $\min$  и  $\max$  величина осадки заготовок из стали 10, нагретой до температуры 1100°C, в зависимости от энергии удара при действительной и по ГОСТ величине хода падающих частей. 3. Предложен алгоритм проверки технического состояния и энергетических возможностей молотов на производстве.

**Список литературы:** 1. Ковка и штамповка: справочник / под ред.: Е. И. Семенов и др. – М.: Машиностроение, 1986. – Т. 2. Горячая штамповка, 592 с. 2. Щёголев В. Ф. Совершенствование кузнечного оборудования ударного действия. – М.: Машиностроение, 1968. – 224 с. 3. И.И.Фельдман, И. З. Табачников, М. А. Дымшиц. Модернизация кузнечнопрессового оборудования / МАШГИЗ, М., 1960. 4. Ковка и штамповка. Справочник / под ред. Е. И. Семёнова, Т. 1. – М.: Машиностроение, 1985. – 568 с. 5. М. А. Соболев, В. Я. Даниленко, А. Ю. Северин, А. А. Колтакова Анализ работы паровоздушных штамповочных молотов в зависимости от используемого энергоносителя // Харків: Вісник Національно технічний університет «ХПІ», №44–2014, , стр. 157–164. 6. Проектирование штампов для горячей объемной штамповки: учебное пособие / Ю. А. Титов, А. Ю. Титов. – Ульяновск: УлГТУ, 2012. – 116 с. 7. Тарновский И. Я., Поздеев А. А., Ганаго О. А. Деформации и усилия при обработке металлов давлением – М.: Машгиз, 1959. – 304. 8. Живов Л. И., Овчинников А. Г. Кузнечно-штамповочное оборудование, К.: Вища шк., 1985. – 280 с.

**Bidliography (transliterated):** 1. Forging and Stamping: Directory / ed .: Semenov E.I. et al. – Moscow: Engineering, 1986. – Vol. 2. Hot stamping, 592 p. 2. Shchegolev V.F. Improvement of forging equipment of percussive Action, Moscow.: Engineering, 1968. – 224 pp. 3. I.Z. Tabachnikov, M.A. Dymshits Modernization of forging and pressing equipment – Moscow, MASHGIZ, 1960. 4. Forging and stamping. Directory / ed. E.I.Semenov, Vol. 1. – Moscow: Engineering, 1985. – 568 p. 5. M.A. Sobol, V.I. Danilenkoand, A.Y. Sievierin, A.A. Koltakova. Analysis of the steamair-forging hammers, depending on the energy source // Kharkiv, Journal of National Technical University «KhPI», №44'2014, pp. 157–164. 6. Designing of stamps for hot forging: a tutorial / Y.A. Titov, A. Y. Titov. – Ulyanovsk: Ulyanovsk State Technical University, 2012. – 116 p.. 7. Tarnowski I.Y., Pozdeev A.A., O.A. Ganago, Deformations and efforts in metal forming. – Moscow: Mashgiz, 1959. – 304 p. 8. Zhivov L.I., Ovchinnikov A.G., Forge and stamping equipment, – Kiev. Vyshcha shk., 1985, 280 p.

Поступила (received) 22.10.2015