УДК 539.31

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ПОДТВЕРЖДЕНИЕ ЧАСТОТНОГО МЕТОДА РАСЧЕТА КОВОЧНОГО МОЛОТА

Юганова Н.А.

Ульяновский государственный педагогический университет им. И.Н. Ульянова (Россия, 432700 г. Ульяновск, пл. 100-летия В.И. Ленина, д.4), кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой технологии, yuganov_vs@mail.ru

В статье представлены теоретико-экспериментальные исследования динамики ковочного молота в процессе ударного взаимодействия с заготовкой, проводимые в течение ряда лет. Задача динамики ковочного молота решалась частотным методом в более ранних работах автора. Для проверки предлагаемого метода расчета ковочного молота была проведена серия экспериментальных исследований в основном производстве ЗАО «Авиастар-СП» (г. Ульяновск) на операциях свободной ковки на молоте модели М1345. Отражены результаты экспериментальных исследований, которые проводилась с целью проверки адекватности построенной математической модели ковочного молота, изучения взаимосвязей между напряжениями, возникающими в различных частях молота, и физико-механическими свойствами материала заготовки, режимом работы молота, а также исследования осадки заготовки в процессе ударного взаимодействия с падающими частями ковочного молота при фиксированном ходе бабы. Сравнение теоретических и экспериментальных результатов показало их хорошую сходимость.

Ключевые слова: ковочный молот, частотный метод.

EXPERIMENTAL CONFIRMATION OF FREQUENCY CALCULATION METHOD OF FORGING HAMMERS

Yuganova N.A.

Ulyanovsk State Pedagogical University (4, square of the 100-anniversary of V. I.Lenin, 432700 Ulyanovsk, Russia), Department of technical disciplines, candidate of technical sciences, head of the department, yuganov_vs@mail.ru

The paper presents the theoretical and experimental studies of the dynamics of forging hammer in the process of shock interaction with the workpiece, conducted over a number of years. Dynamics problem was solved by forging hammer frequency method in the earlier works of the author.To verify the proposed method of calculation of forging hammer, a series of experimental studies in the main production "Aviastar-SP" (Ulyanovsk) on the operations of the hammer forging model M1345. Presents the results of experimental studies that were conducted in order to verify the adequacy of the constructed mathematical model of the forging hammer, studying the relationships between stresses arising in different parts of the hammer and physico-mechanical properties of the workpiecematerial , mode of operation hammer, as well as research in the process of harvesting rainfall shock interaction with falling hammer forging parts for fixed during the women.Comparison of theoretical and experimental results showed good agreement between them.

Keywords: forging hammer, the frequency method

В работах [1,2,3,4] решалась задача математического моделирования ковочного молота в процессе ударного взаимодействия с заготовкой сложной вязкоупругой стержневой системой с распределенными параметрами, соударяющейся с препятствием. Для решения поставленной задачи использовался частотный метод, представляющий собой модификацию метода конечных элементов, основанного на точном интегрировании дифференциального уравнения для конечного элемента. Заготовки ковочного молота, испытывающие ударные нагрузки, моделировались в виде вязкоупругого тела Максвелла. Затем частотным методом получена оценка осадки заготовки при ковке, позволяющая назначать безопасные технологические режимы.

Применение предлагаемого подхода позволяет производить расчет напряженно-деформированного состояния в любом интересующем сечении рабочих частей молота, а также дает возможность проводить вариантные расчеты с целью совершенствования конструкции ковочных молотов. На основании проведенных расчетов в работе [5] предложена новая конструкция штока ковочного молота с отверстиями ступенчато-переменного сечения, позволяющая снизить нагрузки, возникающие в месте заделки штока в бабуна (18–20) % и направленная на повышение надежности штоков, что позволяет увеличить срок их эксплуатации и тем самым сократить материальные потери от замены штоков и от простоя оборудования в период их замены. Снижение напряжений достигается за счет перераспределения напряжений при ударном воздействии в различных сечениях штока. Эффект получен в результате частотного метода расчета ковочного молота в процессе ударного взаимодействия с заготовкой.

Для анализа напряженно-деформированного состояния элементов ковочного молота в процессе ударного взаимодействия с заготовкой создан программный пакет «Система», позволяющий осуществлять вариантные расчеты (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013617459).

Для проверки предлагаемого метода расчета ковочного молота была проведена серия экспериментальных исследований в основном производстве ЗАО «Авиастар-СП» (г. Ульяновск) на операциях свободной ковки на молоте модели М1345 (в 1999, 2011, 2012 гг.). Испытания проводились в условиях выполнения производственной программы. Ковка проводилась в соответствии с маршрутно-технологическим паспортом ковки завода. Режимы ковки устанавливали по результатам предварительных опытов в зависимости от условий и целей экспериментов с учетом технологических возможностей ковочного молота и рекомендаций [3]. Был выбран режим единичного удара, при котором баба совершает рабочий ход и останавливается. Регулировка удара и остановка бабы принудительные. Такие удары требуются при осадке, обжатии слитков и т.д.

Первая серия экспериментов, проведенная в 1999 г., проводилась с целью изучения взаимосвязей между напряжениями, возникающими в различных частях молота: штоке, бабе, нижнем и верхнем бойках, подушке и шаботе и физико-механическими свойствами материала заготовки, режимом работы молота (табл. 1).

Табл. 1. Экспериментальные образцы первой серии экспериментов

Марка материала	Температура ковки, ^{0}C	Обозначение заготовки	Размеры заготовки, мм	Масса, кг.
Алюминиевый	300 – 470	А1	∅80×280	3,85

сплав АК6		А2	∅100×260	5,6
Титан ОТ4	850 – 900	Т1	∅100×145	5,09
Сталь 45	950 – 1200	С1	∅170×390	69,5
		С2	∅180×465	83

Критериями оценки процесса удара являлись:

– Напряжение σ, Па.

– Частота продольных колебаний *f*, Гц.

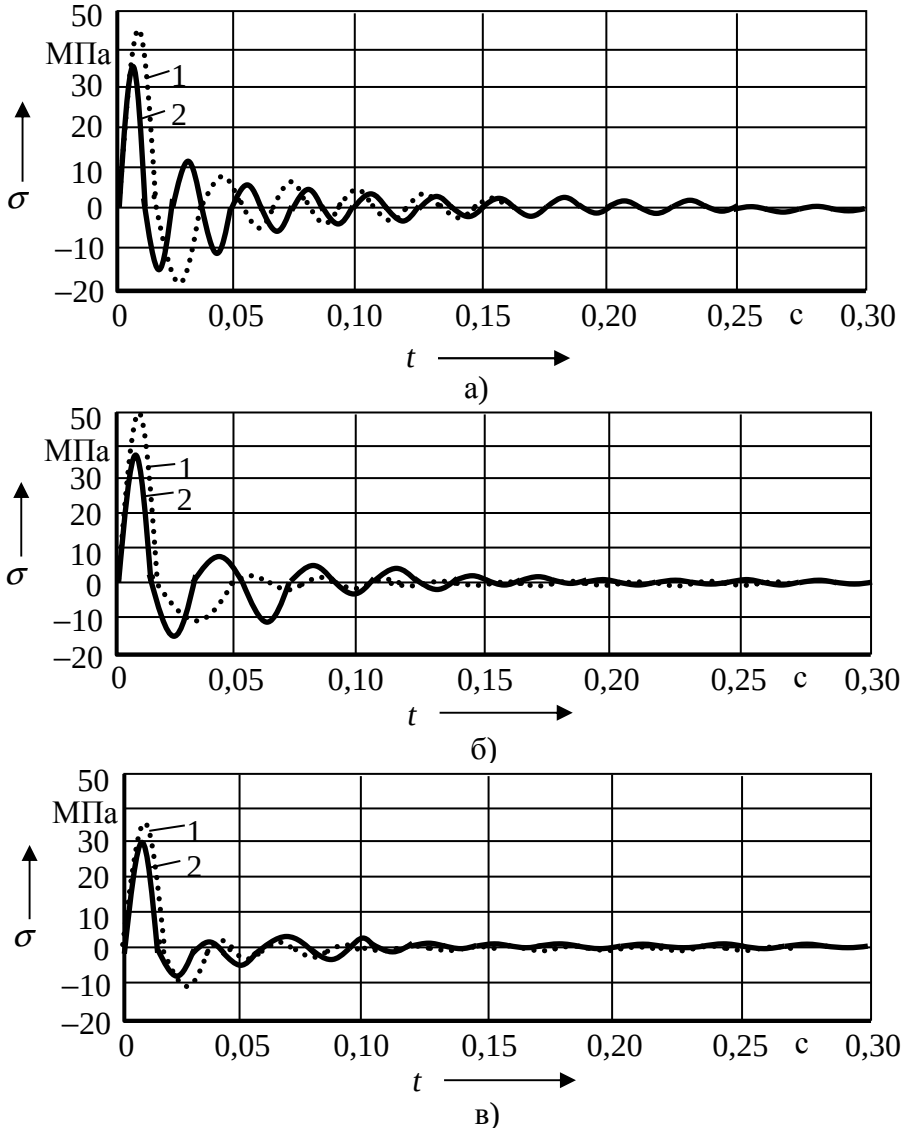

Рис. 1. Амплитуда напряжений σ в месте заделки штока в бабу: а – сталь 45, *V* = 4 м/с; б – титановый сплав ОТ4, *V* = 6 м/с; в – алюминиевый сплав АК6, *V* = 6 м/с; 1, 2 – соответственно теоретическая и экспериментальная кривые

Результаты сравнения теоретических и экспериментальных результатов приведены в работе [4] и показали среднюю погрешность вычислений 14 % для частот собственных колебаний и 25 % для амплитуд колебаний (рис. 1).

Вторая серия экспериментов, проведенная в 2011 г., выполнена для проверки адекватности построенной математической модели ковочного молота (табл. 2).

Табл. 2. Результаты экспериментальных исследований второй серии

	Материал заготовки	Температура ковки, ^{0}C	Форма и размеры заготовки	Ход бабы, мм	Размеры заготовки после 1 удара
1	30ХГСА	1170	∅ 45×115	635	∅ 50×93
2	30 ХГСА	1170	∅ 45×80	670	∅ 50×65
3	12Х18Н10Т	1170	∅ 210×92	448	∅ 220×83
4	АК6	450	110×140×86	610	95×96×145
5	АК6	465	∅ 110×240	510	∅ 50×93

В результате численных расчетов, осуществленных с помощью программного комплекса MathCAD2001, получен переходный процесс в точке контакта верхнего бойка молота с заготовкой, представленный на рис. 2. Получено, что осадка заготовки после первого удара составляет 21 мм. Что согласуется с экспериментальными данными.

Рис. 2. Переходный процесс в точке контакта верхнего бойка молота с заготовкой

В работе [1] получили, что экспериментальные исследования хорошо согласуются с теоретическими расчетами. Расхождения в среднем составляют 4,5 %.

Третья серия экспериментов (2012 г.) проводилась с целью определения напряжений в элементах ковочного молота, исследования осадки заготовки в процессе ударного взаимодействия с падающими частями ковочного молота при фиксированном ходе бабы, результаты представлены в табл. 3.

Табл. 3. Результаты экспериментальных исследований второй серии экспериментов

№	Материал заготовки	Температура ковки, ^{0}С	Форма и размеры заготовки, мм	Расстояние от заготовки до верхнего бойка до удара, мм	Величина отскока, мм	Размеры заготовки после удара, мм	Осадка заготовки, мм
1	АК6	470	∅50×90	860	20	∅54×75	15
2	АК6	470	∅250×327	623	150	∅254×317	10
3	12Х18Н10Т	1180	∅105×137	813	18	∅108×130	7
4	30ХГСА	1180	∅50×70	880	20	∅54×60	10
5	ВТ-22	950	∅170×272	678	20	∅174×260	12
6	ВТ-6	980	∅70×120	830	50	∅73×110	10

В результате численных расчетов, осуществленных с помощью программного комплекса MathCAD2001, получен график движения падающих частей ковочного молота в процессе ударного взаимодействия с заготовками (рис. 3), при исходных данных, представленных в табл. 3. Масса падающих частей ковочного молота М1345 равна 3150 кг, максимальная скорость соударения 7 м/с.

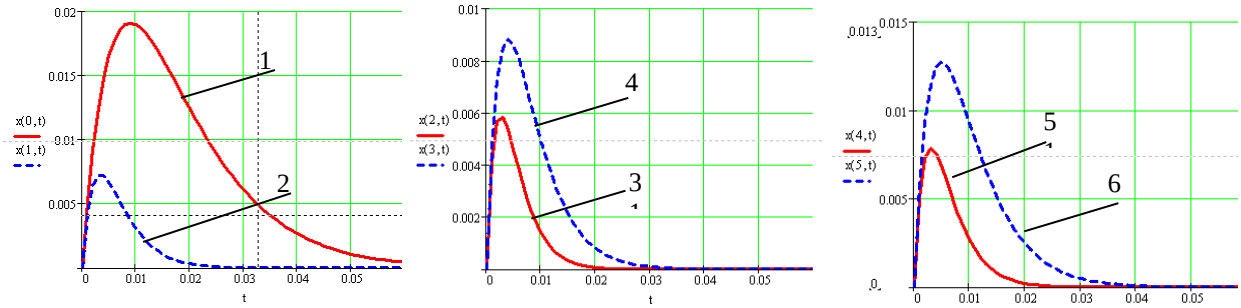

Рис. 3. Графики движения падающих частей ковочного молота, построенные в системе MathCAD2001 согласно частотному методу расчета [4]: 1, 2, 3, 4, 5, 6 – номера заготовок из табл. 3.

Результаты сравнения теоретических и экспериментальных результатов представлены в табл. 4.

Табл. 4. Сравнение теоретических и экспериментальных результатов второй серии экспериментов

№ заготовки по табл.1.	Материал заготовки	Расчетная частота собственных колебаний, $с^{-1}$	Осадка заготовки, мм		Расхождение, %
			эксперимент	расчет	
1	АК6	120	15	19,1	27
2	АК6	313	10	7,2	28
3	12Х18Н10Т	375	7	5,8	21
4	30ХГСА	250	10	8,8	17
5	ВТ-22	325	12	7,9	34
6	ВТ-6	202	10	12,8	28

В среднем расхождение теоретических и экспериментальных значений составляет 25,8 %. Полученная погрешность обусловлена степенью адекватности построенной математической модели, взятым минимальным коэффициентом сопротивления γ, требующим уточнения для разных материалов и прочих факторов, средним значением скорости соударения. Расчетные частоты собственных колебаний соответствуют диапазону частот, полученному в работе [3], при динамическом анализе ковочного молота частотным методом.

По результатам экспериментальных исследований составлены и подписаны акт опытно-промышленных испытаний с представителями ОАО «Авиастар-СП» и УлГТУ.

Список литературы

1. Санкин Ю.Н., Юганова Н.А. Линейная модель заготовки при ковке // Фундаментальные исследования / Ю.Н. Санкин, Н.А. Юганова. –2012. – № 11 (часть 4). – С. 952-955.
2. Санкин Ю.Н., Юганова Н.А. Ударное взаимодействие падающих частей ковочного молота с заготовкой // Фундаментальные исследования / Ю.Н. Санкин, Н.А. Юганова. – 2013. – № 10 (часть 13). – С. 2874-2877.
3. Юганова Н.А. Исследование напряженно-деформированного состояния элементов ковочного молота в процессе ударного взаимодействия с заготовкой / Н.А. Юганова. – Ульяновск: УлГПУ, 2013. – 67 с.
4. Юганова Н.А. Частотный метод расчета ковочного молота // Фундаментальные исследования / Н.А. Юганова. – 2012. – № 11 (часть 5). – С. 1210-1213.
5. Санкин Ю.Н., Юганова Н.А. Шток ковочного молота с отверстиями ступенчато-переменного сечения // Современные проблемы науки и образования / Ю.Н. Санкин, Н.А. Юганова. – 2012. – № 6; URL: http://www.science-education.ru/106-7499 (дата обращения: 23.11.2012).

Рецензенты:

Лебедев А.М., д.т.н., доцент, профессор Ульяновского высшего авиационного училища (института), г. Ульяновск.

Антонец И.В., д.т.н., профессор Ульяновского государственного технического университета, г. Ульяновск.