УДК 539.31

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОСТОЯННЫХ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРИ КОВКЕ ЗАГОТОВКИ, ВЗЯТОЙ В ВИДЕ ТЕЛА МАКСВЕЛЛА

Юганова Н.А.

Ульяновский государственный педагогический университет им. И.Н. Ульянова, Ульяновск, e-mail: yuganov_vs@mail.ru

Представлен способ определения постоянных математической модели при ковке заготовки, взятой в виде тела Максвелла. Способ заключается в экспериментальном определении величины осадки заготовки и нахождении связи между постоянными тела Максвелла и осадкой с помощью частотного метода расчета, согласно которому строится переходный процесс. Построена математическая модель ударного взаимодействия падающих частей ковочного молота с заготовкой. Частотным методом получена оценка осадки заготовки при ковке. Проведено сравнение теоретических исследований с экспериментальными. Получена хорошая сходимость результатов. Описан алгоритм экспериментального определения постоянных математической модели. Предлагаемый подход теоретического расчета осадки заготовки имеет ценность, заключающуюся в возможности предварительной оценки ее прочности, предварительного определения напряжений и деформаций, что позволит назначать оптимальные технологические режимы ковки.

Ключевые слова: динамический расчет ковочных молотов, тело Максвелла, осадка заготовки

METHOD FOR DETERMINING THE STANDING OF MATHEMATICAL MODELS OF FORGING BLANKS, TAKING IN THE BODY MAXWELL

Yuganova N.A.

Ulyanovsk Stat Pedagogical University, Ulyanovsk, e-mail: yuganov_vs@mail.ru

Shows how to determine a mathematical model of permanent forging blanks taken in the form of Maxwell's body. The method consists in determining the experimental rainfall harvesting and finding a permanent connection between the body and Maxwell draft by frequency calculation method, according to which the transition process is built. A mathematical model of shock interaction of falling parts of the forging hammer with the workpiece. Frequency by an estimate of rainfall blank forging. A comparison of theoretical and experimental studies. Obtained good convergence results. The algorithm of the experimental determination of the constants of the mathematical model. The proposed approach is a theoretical calculation of rainfall harvesting has value, is the ability to pre- assess its strength, preliminary determination of the stresses and strains that will assign optimal technological regimes forging.

Keywords: dynamic calculation of forging hammer, the body of Maxwell, deformation of the blank in forging

Заготовки ковочных молотов при ударном деформировании проявляют упругие, пластические и вязкие свойства. При высоких уровнях нагружения, когда в заготовке возникают значительные деформации, материал частично теряет упругие свойства: при разгрузке его первоначальные размеры и форма полностью не восстанавливаются, а при полном снятии внешних нагрузок фиксируются остаточные деформации, т.е. заготовка проявляет пластические свойства.

Основная часть энергии удара молота расходуется на деформирование заготовки (работа деформации), часть энергии теряется на упругие деформации бойков, бабы, штока, стоек, станин, колебание шабота, фундамента и др. Заготовка в процессе деформирования поглощает механическую энергию (работу) в процессе ударной нагрузки, тем самым проявляя вязкие свойства.

Подавляющее большинство заготовок перед дальнейшей ковкой проходит операцию осадки, при которой в результате продольного удара увеличивается площадь поперечного сечения заготовки за счет уменьшения ее высоты.

Известен способ моделирования заготовки методом конечных элементов, реализуемый программным комплексом Ansis. При использовании этого характеристики заготовки получаются случайным образом, вследствие чего не удается назначать вполне определенные технологические процессы ковки, исключающие брак.

Сущность предлагаемого подхода заключается в том, что заготовка моделируется в виде вязкоупругого тела Максвелла. Задача оценки осадки заготовки решается частотным методом, подробно описанным в работах [1, 2, 3, 4, 5].

Для вязко-упругого элемента Максвелла существуют следующие зависимости:

$$\frac{\partial}{\partial t} S_{ij} + \frac{S_{ij}}{t_M} = 2G_M \frac{\partial \varepsilon_{ij}}{\partial t},$$

где t_M – время релаксации напряжений; S_{ij} – тензор напряжений; ε_{ij} – тензор деформаций.

Вводя параметр преобразования Лапласа $p = \frac{\partial}{\partial t}$ и учитывая, что при построении АФЧХ $p = i\omega$, получим:

$$\left(i\omega + \frac{1}{t_M}\right) S_{ij} = 2G_M \varepsilon_{ij} i\omega;$$

$$S_{ij} = 2G_M \frac{i\omega\varepsilon_{ij}}{\left(i\omega + \frac{1}{t_M}\right)} = 2G_M \frac{i\omega\varepsilon_{ij} t_M}{(1 + t_M i\omega)}.$$

Откуда получаем выражения для характеристики E:

$$\overline{E} = E \frac{t_{M1} i\omega}{1 + t_{M1} i\omega}.$$

Коэффициент t_M определяется экспериментальным путем.

Расчетная схема рассматриваемой задачи представлена на рис. 1.

Расчетной схеме (рис. 1) соответствует следующая система разрешающих уравнений:

$$\begin{gathered}
S_{1,2}U_1 - T_{1,2}U_2 = -T_{1,2}[u_2]; \\
-T_{1,2}U_1 + (S_{1,2} + S_{2,3})U_2 - T_{2,3}U_3 = -T_{1,2}[u_1] - T_{2,3}[u_3]; \\
-T_{2,3}U_2 + (S_{1,2} + c_{3,4})U_3 - c_{3,4}U_4 = -T_{2,3}[u_2]; \\
(S_{4,5} + c_{3,4})U_4 - c_{3,4}U_3 - T_{4,5}U_5 = -T_{4,5}[u_5]; \\
-T_{4,5}U_4 + (S_{4,5} + S_{5,6})U_6 = -T_{4,5}[u_4],
\end{gathered} \tag{1}$$

где

$$S_{nk} = \frac{E_{nk} \cdot (1 + i\omega\gamma_{kn}) \cdot F_{nk}}{l_{nk}} - \frac{\mu_{nk} \cdot l_{nk}}{3} \cdot \omega^2;$$

$$T_{nk} = \frac{E_{nk} \cdot (1 + i\omega\gamma_{kn}) \cdot F_{nk}}{l_{nk}} + \frac{\mu_{nk} \cdot l_{nk}}{6} \cdot \omega^2;$$

$$[u_n] = -\frac{\mu_{kn} V_0 l_{kn}^2}{E_{kn} F_{kn} (1 + i\omega\gamma_{kn})} \cdot \frac{1 - \cos\alpha_{kn}}{\alpha_{kn}^2};$$

$$[u_k] = [u_n]; \quad \alpha_{kn} = \omega l_{kn} \sqrt{\frac{\mu_{kn}}{F_{kn} E_{kn} (1 + i\omega\gamma_{kn})}};$$

n, k – индексы, указывающие соответственно начало и конец участка; j – номер узла (i = 1,2…19); i – мнимая единица, $\sqrt{i} = -1$; E_{nk} – модуль упругости участка nk, Па; F_{nk} – площадь поперечного сечения участка nk, м^2; l_{nk} – длина участка nk, м; μ_{nk} – масса единицы длины стержня участка nk, кг/м; V_0 – скорость соударения с заготовкой, м/с; γ_{nk} – коэффициент сопротивления участка nk; ω – частота колебаний, с$^{-1}$.

Из системы разрешающих уравнений находятся изображения перемещений $U(\omega)$ в узлах системы. Для получения переходного процесса используется дискретное преобразование Фурье. Результат можно получить, осуществив численное интегрирование при $t = 0 \ldots \infty$ по формуле

$$u(x,t) = \frac{1}{\pi} \int_0^\infty \mathrm{Re}\left(U(\omega) \cdot e^{i \cdot \omega \cdot t}\right) d\omega, \tag{2}$$

где $u(x, t)$ – продольное перемещение поперечного сечения; x – координата сечения; t – время; ω – частота.

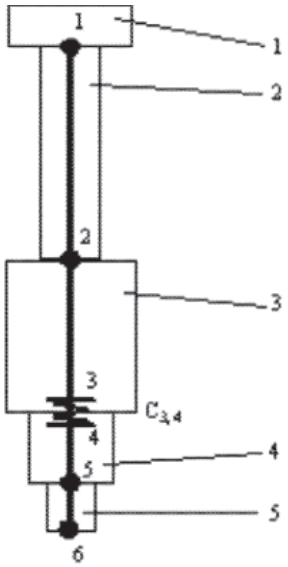

Рис. 1. Падающие части ковочного молота при ударе о заготовку:
1 – поршень; 2 – шток; 3 – баба;
4 – верхний боек; 5 – заготовка

Определение постоянных математической модели при ковке заготовки, взятой в виде тела Максвелла, производится следующим образом:

1. Производится экспериментальный удар молотом по разогретой заготовке.

2. Замеряется величина осадки заготовки.

3. Связь между постоянными тела Максвелла и осадкой заготовки находится по формуле (1), согласно которой строится переходный процесс.

Построим кривые (рис. 2), заданные уравнениями (1, 2) при следующих исходных данных (табл. 1), взятых для ковочного молота модели М1345 и заготовок из табл. 2.

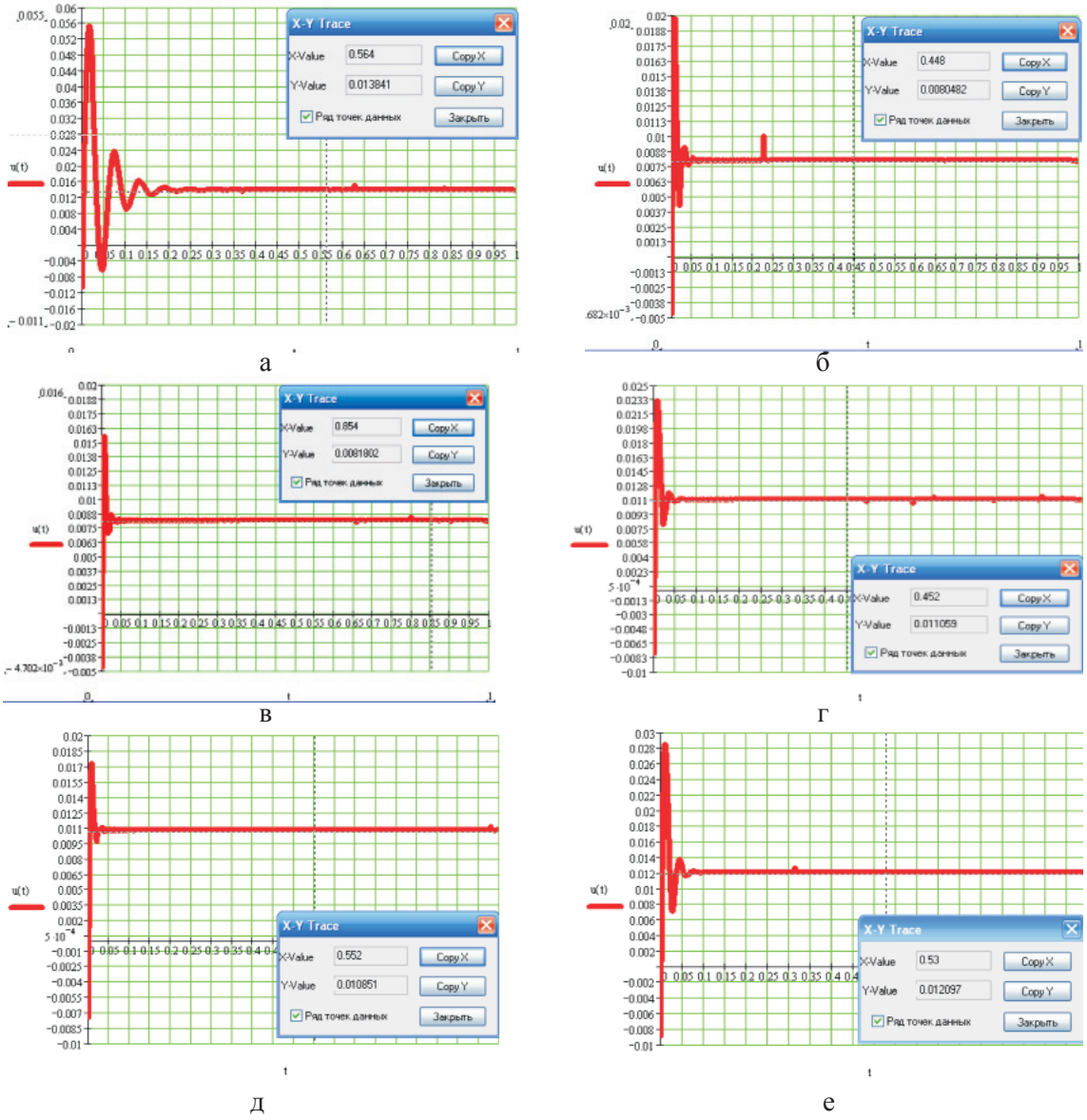

Рис. 2. Переходный процесс в точке контакта верхнего бойка с заготовкой ковочного молота: а, б, в, г, д, е – заготовки 1, 2, 3, 4, 5, 6 соответственно (табл. 2)

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. Постоянные Максвелла подобраны так, чтобы расчетная осадка заготовки согласовывалась с данными экспериментальных исследований (табл. 3).

Предлагаемый подход теоретического расчета осадки заготовки имеет ценность, заключающуюся в возможности предварительной оценки ее прочности. Возможность теоретического расчета напряжений и деформаций, возникающих в деталях ковочного молота и заготовки, позволяет назначать оптимальные технологические режимы ковки.

Таблица 1

Исходные данные для расчетов

Начало участка	Конец участка	l, м	E, Па	F, м^2	ρ, кг/м^3
1	2	1,6	$2{,}1\cdot10^{11}$	0,024	7800
2	3	0,906	$2{,}1\cdot10^{11}$	0,39	7800
3	4	пружина с жесткостью 75×10^6 кг/м			
4	5	0,3	$2{,}1\cdot10^{11}$	0,204	7800
5	6	0,115	$7\cdot10^9$	0,0016	7620

Таблица 2

Результаты экспериментальных исследований

№ п/п	Материал заготовки	Температура ковки, °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

Таблица 3

Результаты определения постоянных математической модели

№ п/п	Материал заготовки	Экспериментальная осадка заготовки, мм	Расчетная осадка заготовки согласно формуле (1)	Расхождение, %	Экспериментальный коэффициент t_M
1	АК6	15	13,8	8	0,002
2	АК6	10	8	20	0,005
3	12Х18Н10Т	7	8,1	16	0,003
4	30ХГСА	10	11,1	11	0,005
5	ВТ-22	12	10,8	10	0,003
6	ВТ-6	10	12,1	21	0,007

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).

References

1. Sankin yu.n., Yuganova n.a. Linejnaya model zagotovki pri kovke // Fundamentalnye issledovaniya / Yu.N. Sankin, N.A. Yuganova. no. 11 (chast 4) 2012, pp. 952–955.

2. Sankin Yu.N., Yuganova N.A. Udarnoe vzaimodejstvie padayushhix chastej kovochnogo molota s zagotovkoj // Fundamentalnye issledovaniya / Yu.N. Sankin, N.A. Yuganova. no. 10 (chast 13) 2013, pp. 2874–2877.

3. Yuganova N.A. Issledovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya elementov kovochnogo molota v processe udarnogo vzaimodejstviya s zagotovkoj / N.A. Yuganova. – Ulyanovsk: Ulgpu, 2013. 67 p.

4. Yuganova N.A. Chastotnyj metod rascheta kovochnogo molota // Fundamentalnye issledovaniya / N.A. Yuganova. no. 11 (chast 5) 2012, pp. 1210–1213.

5. Sankin Yu.N., Yuganova N.A. Shtok kovochnogo molota s otverstiyami stupenchato-peremennogo secheniya // sovremennye problemy nauki i obrazovaniya / Yu.N. Sankin, N.A. Yuganova. 2012. no. 6; url: http://www.science-education.ru/106-7499 (data obrashheniya: 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.

Работа поступила в редакцию 27.01.2014.