

М 491 681

Московский ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и
ордена Трудового Красного Знамени государственный
технический университет имени Н.Э. Баумана

На правах рукописи

БУРМИСТРОВ Сергей Брониславович

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ
СИСТЕМЫ ШТАМПОВОЧНОГО МОЛОТА ПО ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ
ПАРАМЕТРАМ ШТАМПОВКИ

05.03.05 – Процессы и машины обработки давлением

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 1990

Работа выполнена в Московском государственном техническом университете им. Н.Э.Баумана

Научный руководитель - доктор технических наук,
профессор Вочаров Д.А.

Официальные оппоненты - доктор технических наук,
Кирдеев Ю.П.

- кандидат технических наук,
Головин А.А.

Ведущее предприятие - ВПО КПО им. М.И. Калинина, г. Воронеж

Защита состоится "19" ноября 1990 г. в 14³⁰ часов
на заседании специализированного совета К.053.15.13 в Московском
государственном техническом университете им. Н.Э.Баумана по ад-
ресу: 107005, Москва, 2-я Бауманская, д. 5.

Ваш отзыв в 1-м экземпляре, заверенный печатью, просим
выслать по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ им.
Н.Э.Баумана.

19 1990 г.

И.Н.Шубин

М 491681

945

объем I п.л.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Одной из главных задач развития машиностроения является совершенствование качества выпускаемого технологического оборудования, которое должно соответствовать по технико-экономическим показателям лучшим мировым образцам.

Практика эксплуатации штамповочных молотов показала относительно низкую долговечность и надежность работы узлов и деталей их механической системы. Точность штампуемых поковок может не соответствовать заданным требованиям (ГОСТ 7504-74), вследствие нестабильности технологических процессов: недоштамповка, смещение полотна штампов. Наличие таких дефектов связано со значительными экономическими потерями. Особенно остро эти проблемы проявляются при разработке штамповочных молотов с ЧПУ и создании на их основе автоматизированных технологических линий. Повышение показателей работоспособности технологического оборудования связано с совершенствованием существующих и созданием новых перспективных конструкций штамповочных молотов с гидравлическим приводом.

189163 W
Важным этапом процесса проектирования молота является выбор его конструктивных параметров. На предприятиях модернизация отдельных узлов и деталей штамповочных молотов проводится без достаточного теоретического обоснования и часто основывается на опыте эксплуатации существующих моделей технологического оборудования. Следует отметить, что эмпирический выбор конструктивных параметров молота не исключает ошибок и часто связан со значительными затратами рабочего времени и материальных ресурсов.

Процесс проектирования конструкции технологического оборудования на современном этапе необходимо осуществлять используя имитационное моделирование его работы с применением вычислительной техники.

Имитационные модели позволяют заменить проведение сложных и дорогих натурных экспериментов и определить работоспособность конструкции молота до ее создания в процессе проектирования.

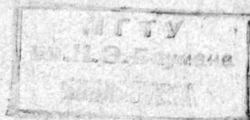
Цель работы. Целью настоящей работы является разработка научно-обоснованной методики проектирования механической системы штамповочного молота. Такая методика позволяет на стадии проектирования молота осуществить рациональный выбор конструк-

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1491681

Бурмистров С.Б. Разработка



тивных параметров его механической системы по заданным технологическим параметрам объемной штамповки.

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие задачи исследования:

- разработка математических моделей, отображающих динамику рабочих частей молота - "поршень-шток-баба-штамп" в процессе ударного деформирования поковки при штамповке. Создание на основе этих моделей пакета прикладных программ;
- выявление критериев подобия конструкции механической системы штамповочного молота;
- определение оценок работоспособности проектируемой конструкции механической системы молота;
- изучение влияния конструктивных параметров рабочих частей молота - узла "поршень-шток-баба-штамп" и отклонений характеристик конструкции механической системы молота на прочность штока и стабильность технологических процессов объемной штамповки;
- разработка алгоритмов рационального выбора конструктивных параметров механической системы молота по заданным технологическим параметрам объемной штамповки.

Научная новизна работы состоит в следующем:

- Разработаны математические модели, отражающие динамику рабочих частей молота - узла "поршень-шток-баба-штамп" в процессе штамповки.
- Определено влияние отклонений характеристик конструкции механической системы молота на прочность штока.
- Определено влияние массово-геометрических характеристик рабочих частей (баба-штамп) молота на стабильность технологических процессов объемной штамповки.
- Получены критерии подобия конструкции механической системы штамповочного молота.
- Разработаны алгоритмы рационального выбора конструктивных параметров механической системы молота по заданным технологическим параметрам объемной штамповки.

Практическая ценность. Создан пакет прикладных программ проведения на ЭВМ имитационного моделирования динамики рабочих частей молота - узла "поршень-шток-баба-штамп" в процессе ударного деформирования поковки при штамповке. Предложенные алго-

ритмы выбора конструктивных параметров механической системы молота по технологическим параметрам штамповки и пакет прикладных программ позволяют на стадии проектирования молота повысить надежность его механической системы и обеспечить стабильность технологических процессов объемной штамповки.

Апробация работы. По основным разделам работы сделаны доклады на научном семинаре кафедры "Комплексная технология автоматизированного производства" МГТУ им. Н.Э. Баумана, на Всесоюзной научно-технической конференции "Агрегатно-модульное построение техники" (г. Иркутск, 1987) и на Всесоюзном научно-техническом семинаре "Автоматизированное проектирование прогрессивных процессовковки и горячей штамповки" (г. Ленинград, 1989), на заседании конструкторской секции ВПО КПО им. М.И. Калнина.

Публикации. По теме диссертации опубликовано три статьи.

Объем работы. Диссертация изложена на 101 странице машинописного текста, содержит 15 таблиц, 69 рисунков. Список использованной литературы из 85 наименований и приложения.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность работы, ее цель, научная новизна и практическая значимость.

В первой главе проведен анализ состояния вопроса, сформулированы задачи исследования.

Развитие и совершенствование конструкции штамповочных молотов сопровождалось теоретическими и экспериментальными исследованиями их динамики и определением энергосиловых характеристик. Среди существующих исследований особое место занимают работы Унксова Е.П., Белиева Ю.В., Бочарова Ю.А., Гласова О.Г., Гайденберга Г.Я., Зимина А.И., Кирдеева Ю.П., Когана М.С. Примака В.А., Утробина В.И. и др.

Литературные данные показывают, что в процессе изготовления, монтажа узлов и деталей, а также при эксплуатации молота характеристики конструкции его механической системы получают отклонения от номинальных значений. В дальнейшем под понятием "отклонения характеристик конструкции механической системы молота" подразумевается: превышение величины рабочего зазора между бабой молота и направляющими допустимых значений, смещение центра масс рабочих частей — (баба-штамп) молота относительно

их центральной осевой линии, несоосность и непараллельность соединения штока с бабой молота и т.д. Наличие всевозможного рода отклонений характеристик конструкции механической системы молота оказывает влияние как на надежность его работы, так и на качество штампуемых поковок.

Слабым элементом механической системы молота с точки зрения надежности работы является шток, поломки которого объясняются возникновением усталостных напряжений. Экспериментальные исследования, проведенные Власовым О.Г., Котаном М.С., Пойменовым И.А. и др. показали, что в штоке возникают напряжения от изгиба $\sigma_{\text{из}}$ и сжатия $\sigma_{\text{с}}$, имеющие колебательный характер изменения. Отмечено, что основным направлением повышения надежности работы штока является совершенствование конструкции подвижных частей молота — узла "поршень-шток-баба".

Изучение проблемы позволяет сделать вывод о том, что стабильность технологических процессов объемной штамповки и надежность работы механической системы молота можно обеспечить за счет рационального выбора конструктивных параметров молота исходя из технологических параметров процесса штамповки (усилие и величина деформирования поковки и т.д.) и отклонений характеристик конструкции механической системы молота. Этот выбор должен быть основан на результатах имитационного моделирования динамики наиболее ответственного узла механической системы молота — "поршень-шток-баба-штамп" в процессе штамповки. При обработке результатов исследования необходимо использовать методы теории подобия и размерностей в механике.

Анализ литературных данных показал, что подобных методик исследования динамики штамповочных молотов не разрабатывалось и для их создания требуется решить следующие задачи:

1. Разработать математические модели, отображающие поведение элементов узла "поршень-шток-баба-штамп" молота в процессе штамповки в зависимости от конструктивных параметров молота, технологических параметров штамповки и отклонений характеристик конструкции механической системы молота.

2. Получить безразмерные комплексы — критерии подобия механической системы молота.

3. Определить влияние отклонений характеристик механической системы молота на прочность штока.

4. Определить влияние конструктивных параметров узла "поршень-шток-баба-штамп" молота на стабильность технологических процессов объемной штамповки и прочность штока.

5. Провести проверку адекватности разработанных математических моделей.

6. Разработать рекомендации рационального выбора конструктивных параметров механической системы молота.

7. Создать пакет прикладных программ проведения имитационного моделирования на ЭВМ динамики узла "поршень-шток-баба-штамп".

Во второй главе разработаны математические модели, отображающие динамику рабочих частей молота - узла "поршень-шток-баба-штамп" в процессе ударного деформирования поковки при штамповке. Создан пакет прикладных программ проведения на ЭВМ имитационного моделирования динамики рабочих частей молота. Представлены результаты исследования влияния конструктивных параметров молота, отклонений характеристик конструкции механической системы и технологических параметров штамповки на прочность штока и стабильность технологических процессов объемной штамповки.

Принято допущение, что ось штока отличается от прямойлинейной наличием естественного прогиба $X_{00}(s)$. Несоосность e_n и непараллельность ψ_n вертикально-базисной оси, идущей из центра диаметра рабочего цилиндра и центральной осевой линии бабы молота вызывают при сборке монтажный прогиб оси штока $X_n(s)$ (рис. 1). При разгоне рабочих частей ось штока получает начальный прогиб $X_0(s)$ за счет действия силы P от давления энергоносителя на поршень штока и сопротивления направляющих. Здесь s - естественная координата, отсчитываемая вдоль оси штока.

Выведены уравнения движения системы "поршень-шток-баба" в процессе удара при штамповке:

$$\begin{aligned}
 (M + m\ell)\ddot{W} + b\dot{W} + cW &= -P + A \int_0^l X'' u'' ds + \\
 &+ m \int_0^l (\Delta \ddot{w} - \ddot{u} X') ds + M \Delta \ddot{w}(l, t) \\
 m\ddot{u} - NX'' + Au'' &= mX'(\dot{W} - \Delta \ddot{w}) + m\ddot{u}\Delta w' + \\
 &+ N(X''\Delta w' - X'\Delta w'') - A(X''\Delta w' - X'\Delta w'')
 \end{aligned} \quad (I)$$

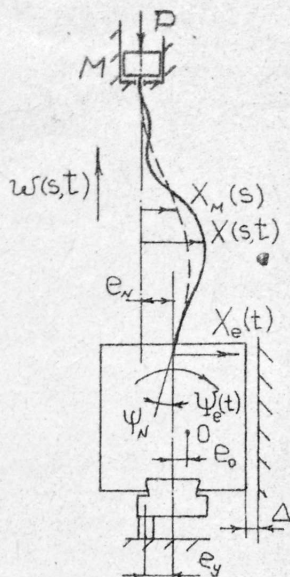


Рис. I

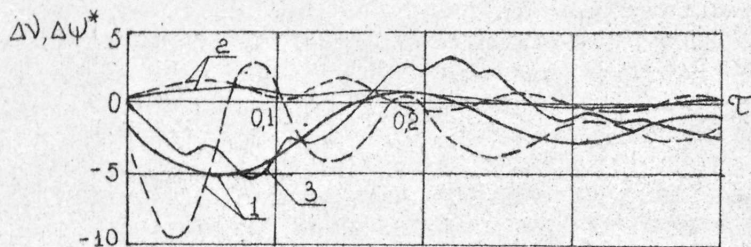


Рис. 2 Изменение напряжений сжатия $\Delta\psi$ и от изгиба

$\Delta\psi^* = \sup \Delta\psi(\xi, \tau)$ штока в процессе удара: 1 - $\Delta\psi$; 2 - $\Delta\psi^*$, $\xi = 0$; 3 - $\Delta\psi^*$, $\xi = 0,086$; $\Lambda = 124$, $\xi = 0,2$, $\gamma = 0,83$, $\chi = 0,17$, $M = 1,84$, $\delta = 0,37$, $\lambda = 5,1 \cdot 10^{-4}$, — $\alpha = 606$, $\beta = 12$; - - - $\alpha = 3034$, $\beta = 31$; $Q_1 = 0,5$ мм, $Q_2 = 0,2$ мм, $e_N = 0,1$ мм, $\psi_N = 0$.

$$N(s,t) = -P - (M+ml)\ddot{W} + m \int_s^l (\Delta \ddot{w} - \ddot{u} X') d\xi + \\ + A \int_s^l X'' u'' d\xi + M \Delta \ddot{w}(l,t)$$

с начальными

$$\begin{aligned} W(0) = -\frac{P}{C}, \dot{W}(0) = -v, u(s,0) = u_0(s), \dot{u}(s,0) = 0 \\ \psi_e(0) = 0, \dot{\psi}_e(0) = \frac{M \cdot v e}{J_e} \end{aligned} \quad (2)$$

и граничными условиями, зависящими от типа соединения штока с бабой молота и с поршнем в рабочем цилиндре:

$$\begin{aligned} 1) \text{ шарнир-заделка } s=0: u=X_1(t), u''=0; s=l: u=0, u'=0 \\ 2) \text{ заделка-заделка } s=0: u=X_1(t), u'=\psi_1(t); s=l: u=0, u'=0 \end{aligned} \quad (3)$$

Здесь $X(s,t)$ - динамический прогиб, $w(s,t)$ - продольное перемещение оси штока (рис. 1),

$$\Delta w(s,t) = \int_0^s (X_{00}' u' + \frac{1}{2} u'^2) d\xi$$

$$u(s,t) = X(s,t) - X_{00}(s), u_0(s) = X_0(s) - X_{00}(s)$$

$$\psi_1(t) = \psi_w + \psi_e(t), X_1(t) = e_w + X_e(t), e = e_0 + e_y$$

v - скорость, e_y - эксцентриситет удара при штамповке, e_0 - смещение центра масс O рабочих частей (баба-штамп) относительно их центральной осевой линии, C и β - упруго-демпфирующие характеристики соединения штока с бабой молота.

В качестве оценки работоспособности конструкции узла "поршень-шток-баба" принято условие прочности штока:

$$\sup_{t \geq 0} [|\sigma_c(t)| + \max_{s \in [0,l]} |\sigma_u(s,t)|] \leq [\sigma], \quad (4)$$

где $[\sigma]$ - допустимые напряжения в штоке.

Переходя к безразмерным переменным $\xi = \frac{s}{l}$, $\tau = \omega t$

$$\Delta \psi = \frac{l^2}{E} \sigma_u, \quad \Delta v = \frac{l^2}{E} \sigma_c \quad (5)$$

на основании (1)...(3) получены десять безразмерных комплексов:

$$\begin{aligned} \Lambda &= \frac{l}{l_0}, \quad \eta = \frac{Pl^2}{A}, \quad \alpha = \frac{cl^3}{A}, \quad \beta = \frac{bl^3\omega}{A}, \quad \xi = \frac{M}{ml}, \\ \mu &= \frac{M_0 h^2}{J_e}, \quad \delta = \frac{h}{l}, \quad e = \frac{e}{h}, \quad \lambda = \frac{\Delta}{h}, \quad \gamma = \frac{v}{\omega l} \end{aligned} \quad (6)$$

связывающих конструктивные параметры молота и технологические параметры штамповки. Здесь M_0 - масса, J_e - момент инерции системы "баба-штамп" относительно оси, проходящей через точку удара; M - масса поршня, h - высота бабы молота, Δ - величина рабочего зазора между бабой молота и направляющими, l - длина штока, m - приведенная масса штока, $A = EJ$, J - момент, l_0 - радиус инерции поперечного сечения оси штока, $\omega = \sqrt{A/ml^4}$.

Решение поставленной задачи (I)...(3) проводилось методом Галеркина.

Разработанная математическая модель (I)...(3) позволяет определить значения и характер изменения напряжений в сечениях $s \in [0, l]$ штока в зависимости от безразмерных комплексов (6) и параметров a_1, a_2 , характеризующих естественный прогиб $X_{\infty}(s)$, и e_n, ψ_n - монтажный прогиб $X_n(s)$ оси штока (рис. 4).

На основании имитационного моделирования динамики системы "поршень-шток-баба" определено влияние конструктивных параметров этого узла, технологических параметров штамповки - (6) и отклонений - (a_1, a_2) , (e_n, ψ_n) в конструкции механической системы молота на прочность штока. Определены области Ω и Ξ допустимых значений параметров a_1, a_2 и e_n, ψ_n , удовлетворяющих условию прочности штока (4) (рис. 3).

Показано, что при штамповке в центральных ручьях штампов возникновение напряжений от изгиба штока $\Delta\psi$ обусловлено отклонениями a_1, a_2 и e_n, ψ_n в механической системе молота. При штамповке в эксцентричных ручьях штампов в случае, когда параметры a_1, a_2 и e_n, ψ_n не соответствуют их допустимым значениям (рис. 3) Ω и Ξ напряжения от изгиба $\Delta\psi$ могут превышать напряжения сжатия $\Delta\sigma$ и стать основной причиной поломок штока.

В процессе имитационного моделирования динамики узла "поршень-шток-баба" выбираются тип и упруго-демпфирующие характеристики c и b соединения штока с бабой молота. Выбор основан

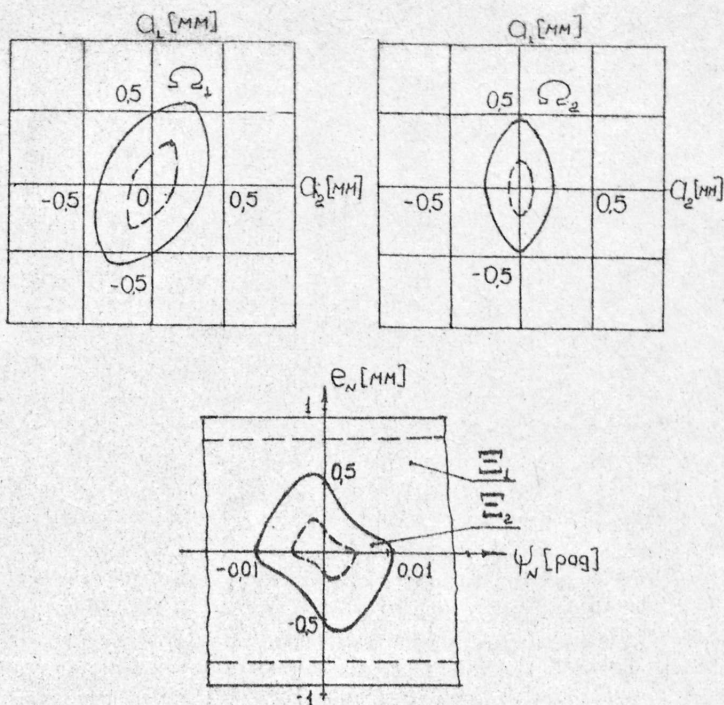


Рис. 3 Области допустимых значений параметров Q_1, Q_2 и e_N, ψ_N : Ω_1, Ξ_1 - шарнир-заделка; Ω_2, Ξ_2 - заделка-заделка: $\Lambda = 124$, $\xi = 0,2$, $\eta = 0,83$, $\gamma = 0,17$, $\varepsilon = 0$, $\lambda = 0$, $\mu = 1,84$, $\delta = 0,37$, — $\alpha = 606$, $\beta = 12$; --- $\alpha = 3034$, $\beta = 31$.

на выполнении условия прочности штока (4) при затухающем характере колебаний и исключении в нем знакопеременных напряжений.

Расчеты показали, что такой характер изменения напряжений в штоке может быть обеспечен в случае применения упругих амортизаторов в месте его соединения с бабой молота. При таком соединении поля допусков Ω и Ξ превышают соответствующие поля для случая жесткого заклиненного соединения штока (рис. 3). Кроме того, при шарнирном соединении штока полностью устраняется влияние непараллельности ψ_n центральной осевой линии бабы молота и вертикальной базисной оси (рис. 1, 3).

При увеличении гибкости штока Δ доля напряжений, связанных с его сжатием Δv , уменьшается. Падает суммарные напряжения в штоке. Шток становится менее чувствительным к возможным отклонениям характеристик конструкции механической системы молота, поля допусков Ω и Ξ увеличиваются.

Установлено, что направление прогиба оси штока $X(s, t)$ зависит от его естественного $X_{00}(s)$ и монтажного $X_m(s)$ прогибов. Варьируя взаимным расположением $X_{00}(s)$ и $X_m(s)$ уровень напряжений от изгиба $\Delta\psi$ может быть значительно уменьшен.

При увеличении скорости удара U напряжения от изгиба $\Delta\psi$ и сжатия Δv штока возрастают с одинаковой интенсивностью.

Для исследования влияния конструктивных параметров молота на стабильность технологических процессов объемной штамповки разработана динамическая модель (рис. 4). Возможные перемещения системы "баба-штамп" в процессе ударного деформирования поковки при штамповке отображаются с помощью уравнения Лагранжа 2 рода.

$$M\ddot{\bar{q}} + C\dot{\bar{q}} = \bar{Q}, \quad (7)$$

где $\bar{q}$ - вектор обобщенных координат, $\bar{Q}$ - вектор обобщенных сил, M - матрица масс, C - матрица жесткости этой системы.

Условием стабильности технологических процессов объемной штамповки является ограничение величины максимально возможного сдвига штампа при заданной деформации поковки.

$$\Delta_1 \leq \sup_{t \in [0, t_0]} |z_2| \leq \Delta_2 \cap \sup_{t \in [0, t_0]} |y| \leq \Delta_3, \quad (8)$$

где y - сдвиг штампа с учетом его бокового смещения x_2 и поворота φ системы "баба-штамп", $\{\Delta_i\}$ - поле допусков на

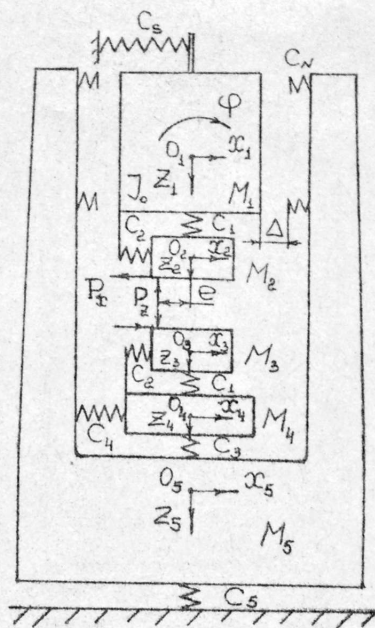


Рис. 4

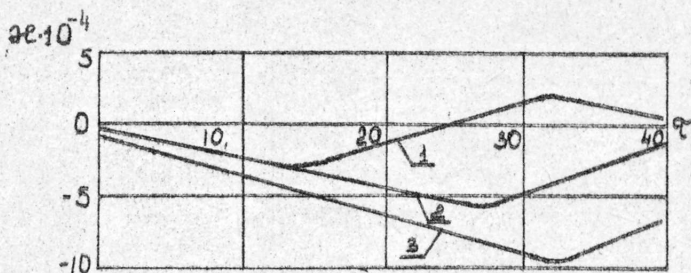


Рис. 5 Изменение сдвига штампа x_2 в процессе удара:

$M = 4, M_0 = 0.1, \delta = 0.4, \alpha = 0.3, \alpha_1 = 1 \cdot 10^{-6}, \gamma = 4 \cdot 10^{-4}, \gamma_2 = 3 \cdot 10^{-4}, \gamma_3 = 2 \cdot 10^{-5}, 1 - \epsilon = 0.008, \lambda = 2.1 \cdot 10^{-4}, 2 - \epsilon = 0.008, \lambda = 4.1 \cdot 10^{-4}, 3 - \epsilon = 0.05, \lambda = 6 \cdot 10^{-4}$

размеры штампуемой поковки, t_a - время активной фазы удара при штамповке. Знак совместного выполнения условий.

Переходя к безразмерным переменным: $\tau = \omega t$, $\omega^2 = c_2/M_2$
 $2\mu = y/h$ на основании (7) получены десять безразмерных комплексов:

$$\begin{aligned} \mu &= \frac{M_0 h^2}{J_0}, \quad \mu_0 = \frac{M_2}{M_1}, \quad \alpha = \frac{C_N}{C_2}, \quad \alpha_s = \frac{C_s}{C_2}, \quad \delta = \frac{y_0}{h}, \\ \eta_z &= \frac{P_z}{C_2 h}, \quad \eta_x = \frac{P_x}{C_2 h}, \quad \varepsilon = \frac{e}{h}, \quad \lambda = \frac{\Delta}{h}, \quad \gamma = \frac{v}{\omega h} \end{aligned} \quad (9)$$

связывающих конструктивные параметры системы "баба-штамп" молота и технологические параметры штамповки, где C_2 - жесткость соединения штампа, C_N - жесткость направляющих, C_s - изгибная жесткость штока, P_z, P_x - проекции реакции ударной силы на оси Oz и Ox , M_1 - масса бабы молота, M_2 - масса штампа, y_0 - координата центра масс бабы молота, J_0 - момент инерции системы "баба-штамп" относительно оси, проходящей через ее центр масс.

На основании имитационного моделирования динамики системы "баба-штамп" определяются характер изменения возможного сдвига штампа в процессе активной фазы удара при штамповке в зависимости от безразмерных комплексов (9) (рис. 5).

Выявлено влияние массово геометрических характеристик рабочих частей молота на стабильность технологических процессов объемной штамповки (8). Установлено, что с увеличением момента инерции системы "баба-штамп" J_0 относительно оси, проходящей через ее центр масс, величина максимально возможного сдвига штампа

$$2\mu^* = \sup_{\tau \in [0, \tau_a]} |2\mu(\tau)|$$

уменьшается и становится менее зависимой от скорости v и эксцентриситета e удара при штамповке. Влияние возникающих отклонений характеристик конструкции механической системы молота (превышение величины рабочего зазора Δ допустимых значений) на величину возможного сдвига штампа снижается. Процесс штамповки приобретает более стабильный характер.

Третья глава посвящена проверке адекватности разработанных

математических моделей реальным механическим системам. Сопоставление результатов расчетов проводилось с экспериментальными данными, выполненными в настоящей работе и опубликованными в работах других специалистов.

Результаты расчетов, полученные с помощью разработанных математических моделей, подтверждаются результатами экспериментальных исследований паровоздушных штамповочных молотов, проведенных О.Г. Власовым, М.С. Коганом, И.А. Пойменовым, В.И. Утробиним и др.

Нами проведена дополнительная экспериментальная проверка адекватности математической модели "поршень-шток-баба" для штамповочных молотов с гидравлическим приводом, которые отличаются наличием тонкого штока, соединенного с бабой молота через упругие амортизаторы.

На экспериментальном газогидравлическом молоте ПШМ-100 методами тензометрирования проведены исследования динамики штока. Измерения проводились при ударах о жесткую прокладку с различными значениями эксцентриситета.

Состояние системы "поршень-шток-баба" молота ПШМ-100 определялось следующими значениями безразмерных комплексов (6):

$$\Lambda = 287; \quad \eta = 3,3; \quad \alpha = 1510; \quad \beta = 34; \quad \xi = 0,2;$$

$$\mu = 1,2; \quad \delta = 0,2; \quad \varepsilon = 0,02; \quad \lambda = 5 \cdot 10^{-4}; \quad \chi = 0,1 \dots 0,22$$

Согласно критерию Стьюдента $t_{1-\alpha}$ с уровнем значимости $\alpha = 0,05$ предварительные осциллограммы показали, что для получения достоверной информации можно ограничиться $N = 5$ повторениями опыта.

Изменение напряжения в штоке молота ПШМ-100 имеет относительно низкочастотный затухающий колебательный характер. Частота продольных колебаний штока составляла $f_c = 50 \dots 70$ Гц, изгибных $f_u = 40 \dots 60$ Гц.

Анализ результатов экспериментальных исследований показал, что имеет место соотношение

$$\frac{\|\sigma_T - \sigma_s\|}{\frac{1}{2}(\|\sigma_T\| + \|\sigma_s\|)} \leq \varepsilon_{ps}$$

где σ_T - теоретические, σ_s - среднестатистические экспериментальные значения напряжений в штоке, $\varepsilon_{ps} \approx 10^{-1}$, $\|\cdot\|$ - Евклидова норма. Это показывает хорошее совпадение результатов

теоретических и экспериментальных исследований и доказывает адекватность разработанной математической модели реальной механической системы молота.

В четвертой главе разработаны алгоритмы рационального выбора конструктивных параметров механической системы молота по заданным технологическим параметрам объемной штамповки, представлены методики расчета характеристик упругих амортизаторов в месте соединения штока с бабой молота, верхних буферов и массово-геометрических характеристик рабочих частей молота.

Разработанные алгоритмы и пакет прикладных программ позволяют на стадии проектирования молота осуществлять выбор конструктивных параметров его механической системы. Этот выбор основан на выполнении условий прочности штока (4), стабильности технологических процессов объемной штамповки (8) и полученных в работе рекомендаций. Последовательно назначая входные параметры имитационных моделей выявляется рациональная конструкция механической системы молота: параметры штока, тип и упруго-демпфирующие характеристики соединения штока с бабой молота, массово-геометрические характеристики рабочих частей, величина допустимого рабочего зазора между бабой-молота и направляющими и т.д. Входные параметры имитационных моделей выражены через безразмерные комплексы (6), (9) и характеристики отклонений α_1, α_2 и ϵ_n, ψ_n в конструкции механической системы молота. Безразмерные комплексы (6), (9) являются критериями подобия конструкции механической системы молота, позволяющие распространить результаты проводимых исследований на гамму штамповочных молотов.

Назначая форму и размеры рабочих частей рассчитываются значения моментов инерции системы "баба-штамп" относительно осей, проходящих через ее центр масс J_0 и центр удара J_e . Определяется координата центра масс ψ_0 , его смещение ϵ_0 относительно центральной осевой линии этой системы.

Предлагаемая методика позволяет решить обратную задачу исследования: для конкретной конструкции молота выявить рациональные режимы штамповки.

Основные итоги и выводы

I. Процесс проектирования механической системы молота необходимо осуществлять с помощью научно обоснованной методики по технологическим параметрам штамповки с учетом возможных откло-

нений характеристик конструкции механической системы молота. Анализ литературных данных показал, что подобного рода методики проектирования штамповочных молотов не разрабатывались.

2. Разработаны математические модели и создан на их основе пакет прикладных программ проведения имитационного моделирования на ЭВМ динамики рабочих частей молота — узла "пошнень-штокабаба-штамп" в процессе штамповки. Имитационное моделирование позволит определить состояние и оценить работоспособность создаваемой конструкции механической системы молота.

3. Полученные безразмерные комплексы (6), (9) связывают конструктивные параметры молота и технологические параметры штамповки и являются критериями подобия механической системы молота. Критерии подобия (6), (9) позволяют распространить результаты проводимых исследований на гамму штамповочных молотов.

4. Разработанные алгоритмы с применением пакета прикладных программ позволяют на стадии проектирования молота исходя из технологических параметров штамповки, осуществить рациональный выбор конструктивных параметров его механической системы. Это даст возможность повысить надежность работы механической системы молота и обеспечить стабильность технологических процессов объемной штамповки. Безразмерные комплексы (6), (9) и характеристики отклонений Q_1, Q_2, e, ψ в конструкции механической системы молота являются входными параметрами пакета прикладных программ.

5. Выбор конструктивных параметров молота необходимо осуществлять из условия прочности штока (4) и стабильности технологических процессов объемной штамповки (8) и приведенных в работе рекомендаций.

6. Выбор типа и упруго-демпфирующих характеристик соединения штока с бабой молота необходимо осуществлять из условия прочности штока (4), при затухающем характере его колебаний и исключении в нем знакопеременных напряжений.

7. Выбор массово-геометрических характеристик рабочих частей молота необходимо осуществлять из условия стабильности технологических процессов объемной штамповки (8) при наибольшей независимости величины возможного сдвига штампа от технологических параметров штамповки и возможных отклонений характеристик

конструкции молота.

8. Одним из условий надежной работы штока является выполнение следующего условия: характеристики отклонений q_1, q_2 и e_n, ψ_n в конструкции механической системы молота должны находиться в области Ω и Ξ допустимых значений $(q_1, q_2) \in \Omega$ $(e_n, \psi_n) \in \Xi$. Области Ω и Ξ допустимых значений параметров q_1, q_2 и e_n, ψ_n определяются с помощью имитационного моделирования динамики узла "поршень-шток-баба" молота на основании условия прочности штока (4).

9. Разработанные алгоритмы и пакет прикладных программ рекомендуются использовать в качестве основы создания САПР штамповочных молотов.

Основное содержание диссертации отражено в работах:

1. Бочаров Ю.А., Гуськов А.М., Бурмистров С.Б. О динамике штока штамповочного молота // Изв. ВУЗов. Машиностроение, № 1, 1989. - С. 101-106.

2. Бурмистров С.Б., Гуськов А.М. Влияние некоторых конструктивных и технологических параметров на прочность штока штамповочного молота // Изв. ВУЗов. Машиностроение, № 1, 1990. - С. 108-114.

3. Бочаров Ю.А., Бурмистров С.Б. Влияние динамики механической системы штамповочного молота на стабильность технологических процессов объемной штамповки // Автоматизированное проектирование прогрессивных процессовковки и горячей штамповки. Материалы научно-технического семинара. - Ленинград, 1989. - С. 22-26.