

при підйомі вантажу із жорсткої основи з урахуванням зовнішньої сили приводу і демпферів з пружно-в'язким зв'язком.

Список літератури: 1. Семенюк В.Ф., Марцинкевич А.П. Математическая модель процесса гашения колебаний металлоконструкции козлового крана // Підвищення ефективності технології та техніки для виконання вантажно-розвантажувальних, будівельних і колійних робіт на залізничному транспорті. – Харків: ХарДАЗТУ, 1999. – №36. – С.3-11. 2. Будиков Л.Я. Многопараметрический анализ динамики грузоподъемных кранов мостового типа: Монографія. – Луганськ: Вид-во СХУ ім. В. Даля, вид. 2-е, 2003. – 210 с. 3. Демідас С.В. Мінімізація динамічних навантажень в елементах баштового крана на основі оптимізації режиму рухові механізму підйому: Дис. канд. техн. наук. – Київ, 2000. – 193 с. 4. Солтус А.П. Теорія експлуатаційних властивостей автомобіля: Київ: Арістей, 2006. – 175 с. 5. Подоляк О.С. Исследование динамических нагрузок при подъеме груза с жесткого основания автомобильным краном // Східно-Європейський журнал передових технологій. – Харків, 2009. – № 1/5 (37). – С.43-47.

Поступила в редколлегию 25.09.2009

УДК 623.438:539.3

Ю.Д. СЕРДЮК, гл. инж., Головной специализированный конструкторско-технологический институт, ОАО «Азовмаш», г. Мариуполь, **Н.А. ТКАЧУК**, докт. техн. наук, проф., зав каф. ТММиСАПР НТУ „ХПИ”, **Н.А. ДЕМИНА**, Государственный Таврический агротехнологический университет, г. Мелитополь

ОБЩИЙ ПОДХОД К КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ СТОЙКОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ШТАМПОВ

У статті описаний новий підхід до конструктивно-технологічного забезпечення стійкості елементів штампів шляхом обґрунтування параметрів та властивостей матеріалів на основі аналізу їхнього напружено-деформованого стану. Крім того, досліджується якість відштампованих деталей та вплив на неї конструктивно-технологічних параметрів штампів.

In the paper the new approach is described to structurally technological support of durability of stamps elements by the ground of parameters and properties of materials on the basis of their stressed and deformed state. Quality of stamped details and influence on it structurally technological parameters of stamps are researched in addition.

Введение. Штамповка деталей из листового материала является одним из самых эффективных технологий в современном машиностроении. По своей природе она обеспечивает изготовление деталей самой широкой номенклатуры как по толщинам, так и по форме в плане. Кроме того, ее применение дает возможность при соответствующей конструктивно-технологической проработке получать штамповкой не только заготовку, но и готовое изделие. При этом в современных условиях существенно расширился спектр материалов, подвергающихся листовой штамповке, – от бумаги до высоколегированных сталей.

Все отмеченные факторы и тенденции определяют потенциально широчайшие области применения штампов для холоднолистовой штамповки в данное

время и на перспективу. Кроме того, помимо технологического фактора, широко использованию штампов способствует и экономическая эффективность применения штамповой оснастки, возможность обеспечения высокой производительности, а также естественная приспособленность к автоматизации процесса штамповки. Дополнительным и очень существенным фактором при проектировании, изготовлении и эксплуатации штампов в последнее время выступает стандартизация и унификация их основных элементов, а также широкое внедрение обратной штамповой оснастки [1-3].

В то же время расширение области применения штамповки сдерживается проблемами обеспечения стойкости, прочности, жесткости элементов штампов, а также качества отштампованных деталей. Традиционный подход к конструктивно-технологическому решению данных проблем [4-6] потребовал в свое время существенного развития [7-9]. Однако в этих работах был преимущественно задействован классический математический аппарат для линейных расчетных моделей. Данный недостаток был частично устранен в работах [10-12], в которых предложен новый подход, опирающийся на самые современные методы математического моделирования процессов, происходящих при штамповке, с учетом целого спектра нелинейностей, в т.ч. физической, геометрической, структурной и конструктивной. В частности, в статье [12] описана комплексная многоуровневая математическая модель для анализа напряженно-деформированного состояния (НДС) элементов штамповой оснастки (ЭШО), сочетающая традиционные подходы (1-й уровень), модель, учитывающая контактное взаимодействие (2-й уровень), и наиболее общую модель для исследования в комплексе всех процессов и состояний при холоднолистовой штамповке (3-й уровень).

Для решения проблем, обозначенных в статье, в наибольшей степени подходит как раз подход, описанный в [12]. Однако он требует существенной доработки, связанной со спецификой решаемой задачи, а именно обеспечения возможности многовариантных исследований НДС элементов штамповой оснастки и штампуемого материала на всех стадиях штамповки при различных сочетаниях конструктивных и технологических параметров, дополненных возможностью встраивания задачи анализа в процесс целенаправленного варьирования структуры и параметров штамповой оснастки.

Таким образом, возникает актуальная и важная задача: совершенствование методов расчета ЭШО по критериям обеспечения стойкости и прочности элементов штампов, а также качества штампуемых деталей, на основе развития методов моделирования физико-механических процессов и состояний, сопровождающих процесс штамповки. Решение этой задачи и описывается в работе.

1. Расчетные схемы технологической системы «штамп – заготовка». Рассмотрим в качестве примера вырубные штампы, основными и наиболее нагруженными

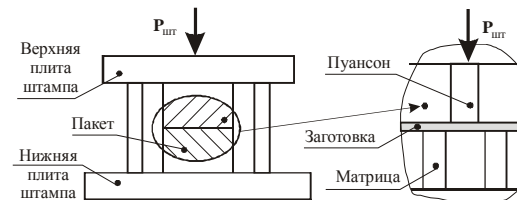


Рис. 1. Наиболее нагруженные элементы вырубных штампов

ми элементами которых являются нижняя и верхняя плиты, матрицы, пуансоны и пуансон-матрицы. Основной силовой поток вызывается усилиями штамповки $P_{шт}$, идущими от ползуна прессы через элементы штампа на штампуемый материал (заготовку) (рис. 1). Они обеспечивают выполнение технологической операции разделения материала, сопровождающуюся внедрением пуансона, матрицы и пуансон-матрицы в штампуемый материал, смятие, разделение материала и продвижение детали (или отхода).

2. Модели различных уровней для описания исследуемого процесса.

Соответственно, в операторном виде исследуемый процесс формально представим в виде:

$$L(u, p, f, \Delta, t) = 0, \quad (1)$$

где L – некоторый оператор (проецируется на различные уровни рассмотрения задачи); u – массив перемещений точек элементов системы «элементы штампа – заготовка»; p – массив обобщенных параметров, объединяющих описание структуры штампа, геометрическую форму его деталей, их размеры, свойства материалов и т.д.; f, Δ – силовые и кинематические параметры процесса штамповки (например, усилия штамповки $P_{шт}(t)$ или ползуна прессы $\Delta(t)$; t – время.

Самый нижний уровень I соответствует классическому оператору линейной теории упругости

$$L_I(u, p, f) = 0. \quad (2)$$

В этом случае выделяется квазистационарная линейная задача определения НДС элементов штампов по

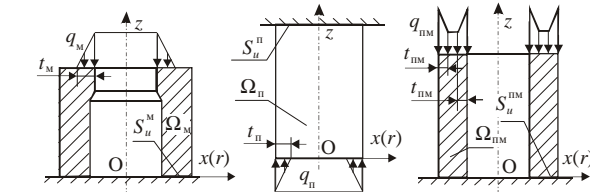


Рис. 2. Модель уровня I : расчетные схемы матрицы, пуансона и пуансон-матрицы

заданной системе сил f и граничных условий. Если Ω – область, занимаемая элементами штампа, с границей S (например, матрица, пуансон, пуансон-матрица, рис. 2), то в системе «кромочных» координат (т.е. с началом системы координат на режущей кромке, рис. 3), задаются известные из экспериментов области нагружения и законы распределения нагрузок (см. рис. 2-3):

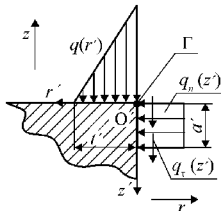


Рис. 3. Система «кромочных» координат $O'r'z'$:

Γ – режущая кромка;
 $q(r')$ – основное усилие штамповки;
 q_n, q_t – усилия обжатия и трения

$$\begin{aligned} L(u)|_{\Omega} &= 0; \\ \sigma_{z'}|_{r'<a'} &= q(r'); \sigma_{r'}|_{z'<a'} = q_n(z'); \tau_{r'z'}|_{z'<a'} = q_t(z'); \\ &; \int_{(S)} (q + q_t) ds = P_{шт}; P_{шт} = L_{шт} \sigma_{ср} t k_{ш}, \end{aligned}$$

где $L_{шт}$ – периметр детали; $\sigma_{ср}$ – напряжение среза детали заготовки; t – его толщина; $k_{ш}$ – коэффициент, учитывающий затупление кромки.

Оператор уровня II строится на основе анализа контактного взаимодействия элементов исследуемой системы, например, «режущие элементы штампа – штампуемый материал»:

$$L_{II}(u, p, f) \geq 0. \quad (3)$$

Рассмотрим, следуя [13-16], постановку задачи об исследовании напряженно-деформированного состояния сопряженных элементов штампа с учетом условий контакта со штампуемым материалом (рис. 4). Не нарушая общности, можно рассмотреть два соприкасающихся тела Ω и Ω' . Пусть S_c , S'_c – предельно возможные зоны контакта. Уравнения, описывающие поверхности S_c и S'_c , прием в форме

$$\Psi(\mathbf{r}) = 0, \Psi'(\mathbf{r}') = 0, \quad (4)$$

и выберем функции Ψ, Ψ' таким образом, чтобы было

$$\Psi(\mathbf{r}) > 0 \text{ при } \mathbf{r} \in \Omega, \Psi(\mathbf{r}) < 0 \text{ при } \mathbf{r} \in \Omega' \quad (5)$$

(для функции Ψ' аналогично).

В результате деформации поверхности S_c и S'_c изменяются; в первом приближении искажение формы границы тела определяется нормальными (вдоль \mathbf{v}) перемещениями лежащих на границе частиц.

Рассмотрим для определенности тело Ω ; пусть \mathbf{r}_0 – радиус-векторы частиц S_c до деформации; \mathbf{r} – после деформации, имеем $\mathbf{r} = \mathbf{r}_0 + u(\mathbf{r}_0)$. Из уравнения (4) вытекает, что

$$\Psi(\mathbf{r} - u(\mathbf{r}_0)) = 0. \quad (6)$$

Предположим, что Ψ – дифференцируемая функция с ограниченными вторыми производными; разлагая (6) в ряд Тейлора и ограничиваясь линейными по u слагаемыми, перейдем от уравнения (6) к уравнению

$$\frac{\Psi(\mathbf{r})}{|\nabla \Psi(\mathbf{r}_0)|} - u \cdot \mathbf{v}(\mathbf{r}_0) \equiv \varphi(\mathbf{r}, \mathbf{r}_0) - u_{vN}(\mathbf{r}_0) = 0. \quad (7)$$

Полученная зависимость означает, что в первом приближении форма деформированной границы определяется нормальными перемещениями лежащих на ней частиц.

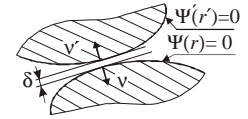


Рис. 4. К формированию расчетной схемы для исследования НДС элементов системы «режущие элементы штампа – заготовка» с учетом контактного взаимодействия

Условия непроникновения на S_c , S_c' строятся в первом приближении по величине перемещений и зазора между телами Ω и Ω' .

Пусть \mathbf{r}_0' – радиус-векторы точек S_c' до деформации; в результате деформации, определяемой полем перемещений u' , эти точки займут положение $\mathbf{r}^* = \mathbf{r}_0' + u_{vN}' \mathbf{v}'(\mathbf{r}') \equiv \mathbf{r}_0' + u_{vb}'(\mathbf{r}')$. Опустим из точки \mathbf{r}^* перпендикуляр на поверхность S_c , радиус-вектор точки пересечения этого перпендикуляра с S_c обозначим \mathbf{r}_{00} . Имеет место неравенство

$$u_{vN}(\mathbf{r}_0) \leq \delta^* = (\mathbf{r}^* - \mathbf{r}_{00}) \cdot \mathbf{v}(\mathbf{r}_{00}). \quad (8)$$

Очевидно, что $\mathbf{r}_{00} = \mathbf{r}_{00}(\mathbf{r}_0', u_{vb}')$; линеаризуем эту зависимость по нормальным перемещениям и по величине $(\mathbf{r}_0' - \mathbf{r}_0)$, называемую зазором, где \mathbf{r}_0 – радиус-вектор точки пересечения перпендикуляра, проведенного из точки \mathbf{r}_0' к поверхности S_c' , с поверхностью S_c . Заметим, что в неравенстве (8) \mathbf{r}_{00} с принятой точностью можно заменить на \mathbf{r}_0 .

$$[u_{vb}'(\mathbf{r}_0') + \mathbf{r}_0' - \mathbf{r}_0] \cdot \mathbf{v}(\mathbf{r}_0) - u_{vN}(\mathbf{r}_0) \geq 0, \forall \mathbf{r}_0 \in S_c, \mathbf{r}_0' = \mathbf{r}_0'(\mathbf{r}_0). \quad (9)$$

Это соотношение отражает условие непроникновения тел Ω и Ω' друг в друга. Зависимость $\mathbf{r}_0'(\mathbf{r}_0)$ определяется из выражения $\mathbf{r}_0' = \mathbf{r}_0 + t_0 \nabla \Psi(\mathbf{r}_0)$, где t_0 – корень уравнения $\Psi'(\mathbf{r}_0 + t \nabla \Psi(\mathbf{r}_0)) = 0$.

После линеаризации

$$\mathbf{r}_0'(\mathbf{r}_0) = \mathbf{r}_0 - \Phi'(\mathbf{r}_0, \mathbf{r}_0) \cdot \mathbf{v}(\mathbf{r}_0) / (\mathbf{v}(\mathbf{r}_0) \cdot \mathbf{v}'(\mathbf{r}_0)). \quad (10)$$

Формально условие (10) можно записать в форме

$$u_{vN} + u_{vN}' \leq \delta, \quad (11)$$

где δ – зазор в сопряжении элементов штамповой оснастки.

Из принципа возможных перемещений для каждого из тел Ω можно написать вариационное уравнение:

$$\begin{aligned} & \int_{\Omega^\alpha} \sigma_{ij}(u^\alpha) \delta \varepsilon_{ij} d\Omega - \int_{\Omega^\alpha} P^\alpha \cdot \delta u^\alpha d\Omega - \int_{S_c^\alpha} P^\alpha \cdot \delta u^\alpha dS - \int_{S_c^\alpha} \sigma_{ij}(u^\alpha) \cdot \delta u_i^\alpha v_j^\alpha dS \equiv \\ & \equiv a^\alpha(u^\alpha, \delta u^\alpha) - L^\alpha(\delta u^\alpha) - \int_{S_c^\alpha} \sigma_{ij}(u^\alpha) \cdot \delta u_i^\alpha v_j^\alpha dS = 0, \forall \delta u^\alpha, \alpha = 1, \mathbf{K}, M. \end{aligned} \quad (12)$$

В уравнении (12) $\delta u^\alpha \equiv u^\alpha - v^\alpha$ – возможное перемещение из истинного состояния; как истинное поле перемещений u^α , так и кинематически допустимое поле v^α должны удовлетворять условию непроникновения (11).

Для удобства дальнейших формулировок формализуем проводимые построения следующим образом. Введем пространства:

$$V^\alpha = \{v | v = v(\mathbf{r}), \mathbf{r} \in \Omega^\alpha; v|_{S_u^\alpha} = 0; v \in H^1(\Omega^\alpha)\}, \quad \alpha = 1, \mathbf{K}, M, \quad (13)$$

и их прямое произведение

$$V = V^1 \otimes \mathbf{K} \otimes V^M. \quad (14)$$

Определим далее формы

$$a(u, v) = \sum_\alpha a^\alpha(u, v), \quad L(v) = \sum_\alpha L^\alpha(v) \quad (15)$$

(через u, v обозначен произвольный элемент V).

В пространстве V введем множество функций K по формуле

$$K = \{v | v \in V; v_{vN}^\alpha + v_{vN}^\beta \leq \delta\}. \quad (16)$$

Индексы α и β определяют номера тел, соприкасающихся по кускам своих границ. Суммируя все равенства (12), найдем (здесь и ниже суммирование ведется по всем номерам тел)

$$a(u, \delta u) = L(\delta u) + \sum_\alpha \int_{S_c^\alpha} \sigma_{ij}(u^\alpha) \delta u_i^\alpha v_j^\alpha dS. \quad (17)$$

Разобьем последнюю сумму в (17) на пары слагаемых, каждая из которых соответствует паре соприкасающихся поверхностей S_c^α и S_c^β , и рассмотрим подробно одну из этих пар

$$\int_{S_c^\alpha} \sigma_{ij}(u^\alpha) \delta u_i^\alpha v_j^\alpha dS + \int_{S_c^\beta} \sigma_{ij}(u^\beta) \delta u_i^\beta v_j^\beta dS. \quad (18)$$

Заметим прежде всего, что

$$\sigma_{ij}(u^\alpha) \delta u_i^\alpha v_j^\alpha = \sigma_N(u^\alpha) \delta u_N^\alpha + \sigma_T(u^\alpha) \delta u_T^\alpha, \quad (19)$$

где δu_N^α – нормальный компонент вектора δu^α (проекция на нормаль v^α); δu_T^α – проекция δu^α на касательную плоскость.

Так как трение отсутствует, то второе слагаемое в формуле (19) равно нулю. По предположению $v^\alpha \equiv v^\beta$, $\sigma_N^\alpha = \sigma_N^\beta$, а различие между поверхностями при вычислении поверхностных интегралов в геометрически линейной теории можно пренебречь. Из всего сказанного вытекает, что выражение (18) имеет форму:

$$\int_{S_c^\alpha} \sigma_N^\alpha (\delta u_N^\alpha + \delta u_N^\beta) dS. \quad (20)$$

По предположению $u = (u^1, \mathbf{K}, u^M)$ – решение задачи, следовательно, $u \in K$. Пусть теперь $v = u + \delta u$ в (17) – (20) принадлежит K , тогда

$$\delta u_N^\alpha + \delta u_N^\beta \leq 0, \quad (21)$$

$\sigma_N^\alpha \leq 0, \forall \alpha$, и подынтегральное выражение в (21) неотрицательно.

Таким образом, решение задачи в дифференциальной постановке удовлетворяет вариационному неравенству, вытекающему из вариационного уравнения (17) и неотрицательности пар слагаемых (18):

$$a(u, \delta u) \geq L(\delta u), \forall \delta u, v \in K, u \in K. \quad (22)$$

Справедливо утверждение [15]: решение вариационного неравенства (22), если оно существует и обладает вторыми производными (хотя бы обобщенными), удовлетворяет всем уравнениям и условиям задачи в дифференциальной постановке, а решение вариационного неравенства (22) эквивалентно проблеме минимизации функционала

$$J(v) = 1/2 a(v, v) - L(v) \quad (23)$$

на подмножестве K пространства V .

Естественно, что по сравнению с общей постановкой [15], решаемая задача об определении напряженно-деформированного состояния элементов штампов с учетом их контактного взаимодействия обладает целым рядом специфических особенностей, основные из которых состоят в следующем:

- большая часть сопрягаемых элементов штампов взаимодействуют по поверхностям согласованной геометрии, что существенно усиливает строгость принятых в [15] предположений о геометрии контактирующих поверхностей;

- принятые в [15] модели предполагают малые перемещения точек поверхностей взаимодействующих тел, что ограничивает область применимости данной модели первыми этапами процесса штамповки (до момента большого проникновения режущих элементов штампов в заготовку);

- несмотря на то, что взаимодействующие поверхности контактирующих тел – плоские, область контакта и распределение контактного давления по-прежнему являются в данной задаче искомыми (как и в общем случае).

В результате приходим к необходимости решения нелинейной контактной задачи теории упругости для элементов технологической системы „режущие элементы штампа – заготовка”, в ходе которого определяются и контактные зоны, и давления.

Модель уровня III представляет наиболее общий подход к описанию процесса штамповки:

$$L_{III}(u, p, \Delta) \geq 0. \quad (24)$$

Оператор L_{III} включает в себя и моделирование напряженно-деформированного состояния, и разрушение материала, и контакт, и пластическое деформирование и т.д. Не останавливаясь подробно на его особенностях, можно просто принять в качестве L_{III} основные соотношения механики сплошной среды, описывающие упомянутые процессы.

Особенностью предлагаемого подхода является соединение в рамках единого исследовательского процесса моделей разных уровней L_I, L_{II}, L_{III} на основе единого обобщенного параметрического описания (рис. 5). Корректировка и выбор соответствующей модели производится на основе сопоставления результатов моделирования с данными экспериментов.

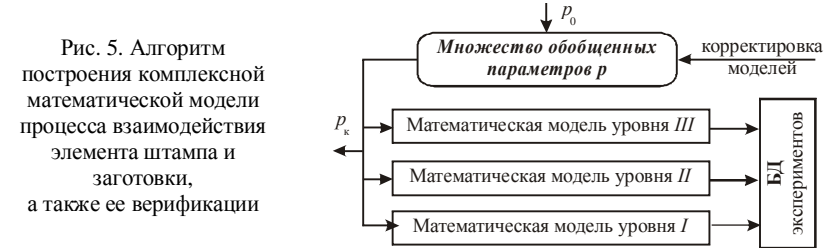


Рис. 5. Алгоритм построения комплексной математической модели процесса взаимодействия элемента штампа и заготовки, а также ее верификации

3. Реализация подхода в виде специализированного программно-модельного комплекса (ПМК). Реализация предложенной ранее многоуровневой комплексной модели в виде специализированного программно-модельного комплекса составляет содержание отдельных разработок. Технологии его высокоэффективного создания следует уделять большое внимание, поскольку на этом этапе создается конечный инструмент для проведения многовариантных численных исследований элементов реальных штампов. В свою очередь результаты этих исследований лежат в основе рекомендаций по выбору основных параметров элементов штамповой оснастки, что и определяет высокую степень важности этапа разработки специализированного программно-модельного комплекса.

Структура специализированного программно-аппаратного комплекса (СПАК). В соответствии с описанной структурой математической модели строится и программно-модельная реализация. Она включает, с

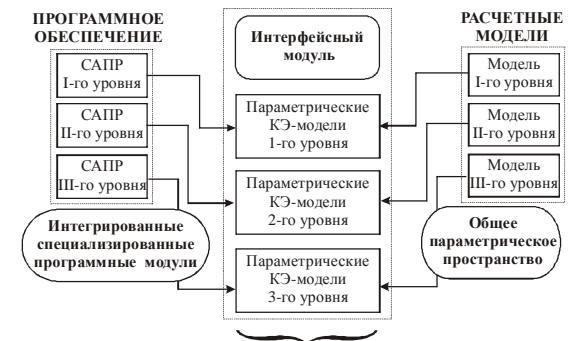


Рис. 6. Структура программно-модельного комплекса

одной стороны, интегрированные специализированные модули создаваемой САПР, а с другой – параметризованные расчетные модели (при использовании метода конечных элементов – конечно-элементные модели). Посредством интерфейсного модуля эти части ПМК взаимодействуют с универсальными системами CAE, а также с модулями параметрического анализа (рис. 6). В результате может быть создана база данных решений (БД на рис. 5), служащая основой для построения базы знаний в области моделирования, анализа и синтеза элементов штамповой оснастки.

Проведенный в тестовом режиме комплекс расчетных и экспериментальных исследований [17-19] подтвердил достоверность и точность работы отдельных модулей СПАК и позволяет сделать следующие выводы.

1. Предложенный подход к решению задачи синтеза численных моделей элементов сложных механических систем реализован в виде *сбалансированного* по составу, производительности, емкости аппаратного и программного обеспечения программно-аппаратного комплекса.

2. Разработанный СПАК дает возможность в автоматизированном режиме производить построение пространственных параметрических моделей и конечно-элементных сеток элементов исследуемых объектов.

3. Исследователь в процессе расчетов и экспериментов имеет возможность корректировки процесса синтеза моделей на всех этапах исследований.

4. Тестовые расчеты подтвердили высокую эффективность и точность разработанного ПАК.

5. Разработанный программно-аппаратный комплекс построен на базе соединения возможностей современных эффективных методов, технологий аппаратных средств и программных комплексов, что в совокупности создает качественно новую среду автоматизации расчетно-экспериментального исследования элементов сложных механических систем.

6. Предложенная структура СПАК для исследования напряженно-деформированного состояния ЭШО, с одной стороны, органически встраивается в созданный СПАК, а с другой – является реализацией комплексной математической модели (см. выше). При этом важной задачей является практическое наполнение программно-аппаратного комплекса, что составляет направление дальнейших исследований.

Заключение. Анализ предложенных в работе общего подхода, комплексной разноразмерной математической модели и структуры специализированного программно-модельного комплекса дает возможность сделать следующие выводы.

1. В работе предложен новый подход исследования НДС элементов раздельных штампов для холоднолистовой штамповки с учетом контактного взаимодействия с заготовкой на основе создания комплекса моделей различного уровня сложности и расчетно-экспериментального обоснования параметров численных моделей элементов штамповой оснастки.

2. На основе технологии обобщенного параметрического описания сложных механических систем в работе предложен новый подход к проведению исследова-

ний напряженно-деформированного состояния ЭШО, отличающийся тем, что предложенная иерархическая структура математических моделей соединяет в себе преемственность, адекватность, оперативность, параметричность, а также единый сквозной подход.

3. В отличие от многих ранее использованных расчетных схем и моделей, построенных по принципу раздельного исследования НДС пуансонов, матриц, пуансон-матриц и штампуемого материала, в данной работе предложен подход, основанный на исследовании этих элементов в составе единой технологической подсистемы взаимосвязанных и взаимодействующих тел. Это качественное изменение расчетной модели позволяет сделать вывод о ее более широких и глубоких потенциальных возможностях, большей степени точности, корректности, адекватности, управляемости. При создании расчетных моделей элементов штамповой оснастки в соответствии с расчетно-экспериментальной методикой были привлечены и обобщены результаты ранее проведенных экспериментальных исследований разных авторов. Это дало возможность обосновать характер приложения нагрузок к исследуемым матрицам, пуансонам и пуансон-матрицам.

4. Важной особенностью для решения прикладных задач является то, что для их решения использован метод обобщенного параметрического описания всех типов моделей. Он дает возможность, во-первых, организации процесса верификации расчетных моделей ЭШО на основе расчетно-экспериментального уточнения параметров численной модели, во-вторых, служит основой для организации многовариантных исследований напряженно-деформированного состояния элементов штамповой оснастки и реализации алгоритмов параметрического и структурного синтеза этих элементов, а в-третьих, естественно интегрирует в себя метод вариационных неравенств и метод конечных элементов, используя их соответственно в качестве теоретической основы и инструмента численной реализации.

Существенным преимуществом предложенного в работе программно-модельного комплекса является его адаптация к функционированию в составе или параллельно с системами автоматизированного проектирования штамповой оснастки. Это позволяет при модульном построении использовать геометрические и конечно-элементные модели в универсальных CAD/CAM/CAE системах: Pro/ENGINEER, ANSYS, SolidWorks, а также в среде специализированных САПР. За счет этого обеспечивается дополнительное преимущество таких систем по оперативности проведения расчетов напряженно-деформированного состояния и обоснования проектных параметров элементов штамповой оснастки, по снижению трудозатрат, сопряженных с проблемами передачи данных между подсистемами проектирования, изготовления и исследования, а также за счет функционирования встроенных обратных связей, которые обеспечивают параметричность и ассоциативность моделей на протяжении всего цикла разработки раздельных штампов. Предложенный в статье подход предоставляет потенциальные возможности для обеспечения долговечности, прочности элементов штампов и качества штампуемых деталей.

В качестве направлений дальнейших исследований – его совершенство-

вание и применение к решению комплекса прикладных задач.

Список литературы. 1. Бых А. И., Кузнецова Л. Г., Мовиович А. Я. Напряженно-деформированное состояние вырубных матриц специализированных переналаживаемых штампов // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2004. – № 8. – С.30-33. 2. Заярненко Е.И. Разработка математических моделей и расчеты на прочность разделительных переналаживаемых штампов – Дисс. докт. техн. наук. – Харьков, 1992. – 280 с. 3. Мовиович А.Я., Буденный М.М., Здор Г.В. Конструирование и изготовление оснастки для ударной импульсной штамповки // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні. Тем. зб. наук. праць. – Краматорськ: ДДМА, 2006. – С.480-486. 4. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. – Л.: Машиностроение, 1979. – 520 с. 5. Попов Е.А. Основы теории листовой штамповки. – М.: Машиностроение, 1968. – 283 с. 6. Скворцов Г.Д. Основы конструирования штампов для холодной листовой штамповки. – М.: Машиностроение, 1972. – 360 с. 7. Ткачук Н.А., Мовиович А.Я., Ткачук А.Н. Элементы разделительных штампов: методы и модели для исследования напряженно-деформированного состояния // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. – 2009. – № 2. – С. 16-25. 8. Львов Г.И., Ткачук Н.А. Моделирование и анализ элементов технологических систем листовой штамповки // Механика та машинобудування. – 1997. – № 1. – С.34-39. 9. Евстратов В.А. Теория обработки металлов давлением. – Харьков: Вища школа, 1981. – 248 с. 10. Демина Н.А. Влияние конструктивных и технологических параметров на напряженно-деформированное состояние матриц штампов холоднолистовой штамповки // Вестник НТУ „ХПИ“. Тем. вып.: „Машиноведение и САПР” – Харьков: НТУ „ХПИ”. – 2005. – № 60. – С.68-76. 11. Демина Н.А., Ткачук Н.А., Ткачук А.Н. Баланс перемещений и уровни напряженного состояния в системе „пуансон – матрица – заготовка” // Вестник НТУ „ХПИ“. Тем. вып.: „Машиноведение и САПР” – Харьков: НТУ „ХПИ”. – 2008. – № 2. – С.80-95. 12. Демина Н.А. Метод обобщенного параметрического описания моделей элементов штамповой оснастки // Вестник НТУ „ХПИ“. Тем. вып.: „Машиноведение и САПР” – Харьков: НТУ „ХПИ”. – 2008. – № 2. – С.71-79. 13. Кравчук А.С. Постановка задачи о контакте нескольких деформируемых тел как задачи нелинейного программирования // Прикл. мат. и мех. – 1978. – Т.42. – Вып.3. – С.466-474. 14. Дюво Г., Лионс Ж.Л. Неравенства в механике и физике. – М.: Наука, 1980. – 384 с. 15. Колтунов М.А., Кравчук А. С, Майборода В. П. Прикладная механика деформируемого твердого тела. – М.: Высш. школа, 1983. – 349 с. 16. Кравчук А.С., Сурсяков В.А. Численное решение геометрически нелинейных контактных задач // Доклады АН СССР, 1981. – Т.259. – № 6. – С.1327-1329. 17. Ткачук Н.А. Экспериментальное определение параметров конечно-элементных моделей // Механіка та машинобудування. – 1998. – № 1. – С.68-75. 18. Ткачук Н.А., Гриценко Г.Д., Глуценко Э.В., Ткачук А.В. Решение задач расчетно-экспериментального исследования элементов сложных механических систем // Механіка та машинобудування. – 2004. – №2. – С.85-96. 19. Ткачук Н.А., Гриценко Г.Д., Четурной А.Д., Орлов Е.А., Ткачук Н.Н. Конечно-элементные модели элементов сложных механических систем: технология автоматизированной генерации и параметризованного описания // Механіка та машинобудування. – 2006. – № 1. – С.57-79.

Поступила в редколлегию 10.12.07

УДК 623.438:539.3

Н.М. СТЕПАНОВ, гл. конструктор ГП „Харьковский бронетанковый ремонтный завод”,
Н.А. ТКАЧУК, докт. техн. наук, проф., зав. каф. ТММиСАПР,
А.Ю. ВАСИЛЬЕВ, мл. научн. сотрудник каф. ТММиСАПР,
Г.Д. ГРИЦЕНКО, канд. техн. наук, **А.В. ТКАЧУК**,
канд. техн. наук, ст. науч. сотр. каф. ЭИКТ, НТУ „ХПИ”

О НОВЫХ ПОДХОДАХ К ОБОСНОВАНИЮ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ УНИВЕРСАЛЬНЫХ БОЕВЫХ БРОНИРОВАННЫХ ПЛАТФОРМ

105

У статті наведено опис нового підходу до обґрунтування структури і параметрів універсальних бойових броньованих платформ. Намічені основні проблемні напрями досліджень.

In the paper the description of the new approach is presented to the ground of structure and parameters of the universal battle armored platforms. Basic problem directions of researches are listed.

Введение. Современное бронетанкостроение развивается по разным направлениям. Одним из основных тенденций на данном этапе является создание высокоунифицированных универсальных боевых бронированных платформ (УББП), на которые по модульному принципу устанавливаются те или иные боевые модули, капсулы, отсеки. В некоторых случаях это могут быть даже сменные или агрегируемые узлы, системы, агрегаты. Но принцип остается прежним – все они монтируются на едином универсальном шасси.

По данному пути идут и отечественные бронетанкостроители. Так, бронетранспортер БТР-4 (разработчик – Харьковское конструкторское бюро по машиностроению им. А.А. Морозова) может быть реализован [<http://morozov.com.ua>] и как классический бронетранспортер, и как БМП, и как самоходная артиллерийская установка, и как санитарная машина, и т.д.

Таким образом, наблюдается достаточно устойчивая прогрессивная тенденция в бронетанкостроении, которая распространяется и на тяжелые боевые машины. Однако при этом возникает множество проектных задач, которые необходимо решать на основе комплекса критериев и ограничений с привлечением методов математического моделирования физико-механических процессов и состояний основных элементов проектируемых машин. В настоящее время отсутствуют отработанные подходы и математические модели для решения сформулированной проблемы.

Цель данной работы – разработка новых подходов к обоснованию структуры, конструктивных параметров для обеспечения высоких тактико-технических характеристик (ТТХ) универсальных боевых бронированных платформ на основе математического моделирования физико-механических процессов и состояний, сопровождающих боевое применение создаваемых машин.

Анализ некоторых тенденций при проектировании бронированных машин. Наибольшее внимание в современном бронетанкостроении уделяется вопросам создания не отдельных колесных и гусеничных легкобронированных машин, а их семейств. Именно на основе анализа тенденций в их проектировании можно обосновать наиболее прогрессивные пути повышения ТТХ современных боевых бронированных машин (ББМ). В частности, по результатам анализа некоторых тенденций [<http://armor.kiev.ua>, <http://www.army-technology.com>] можно сделать следующие выводы.

1. При проектировании современных боевых бронированных машин большое внимание уделяется не одной отдельно взятой машине, а их семейству, имеющему единое базовое шасси.

2. Одной из основных тенденций является попытка обеспечения наиболее широкой универсальности создаваемых платформ, т.е. возможности установки широкого спектра боевых модулей.

3. В качестве базовых требований к ТТХ проектируемых машин высту-

106