

РАЗДЕЛ IV ОБОРУДОВАНИЕ И ОСНАСТКА ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ

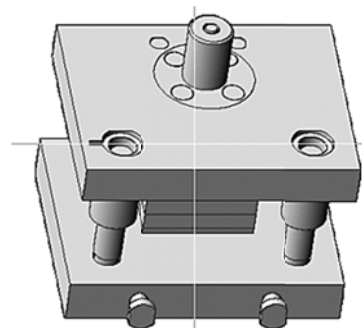
УДК 621.98.073: 539.3

Ищенко О. А.
Демина Н. А.
Грабовский А. В.
Ткачук А. В.

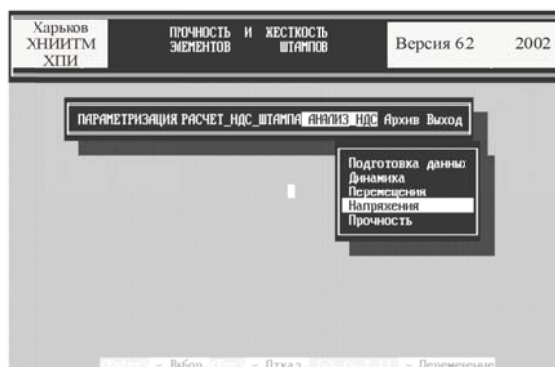
ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ БАЗОВЫХ ПЛИТ НА ИХ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ

Технологические системы листовой штамповки представляют собой замкнутые цепочки взаимосвязанных, взаимодействующих и взаимовлияющих элементов. Технологические системы (ТС) операций листовой штамповки включают: прессы, штампы (включая формообразующие и режущие части) и заготовку (штампующий материал). Их проектирование, технологическая подготовка и исследование проводятся в настоящее время с применением интегрированных систем автоматизированного проектирования.

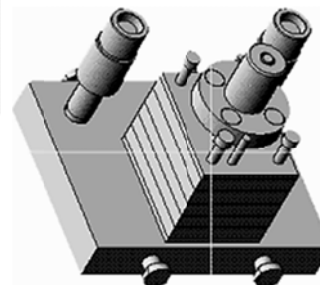
На рис. 1, 2 представлены этапы создания и примеры моделей штампов, полученные в одной из интегрированных САПР.



Модель штампа
в графическом
редакторе САПР



Общий вид монитора подсистемы
анализа НДС элементов штампов
«ШТАМП – НДС»



Модели отдельных
элементов
штампов

Рис. 1. Этапы моделирования и анализа в САПР «ХАРЬКОВ-ШТАМП» разработки Харьковского НИИ технологии машиностроения

Наибольший интерес в качестве объекта исследований с точки зрения обеспечения прочности, жесткости, долговечности, стойкости, точности представляют: режущие элементы штампов (пуансоны, матрицы, пуансон-матрицы) и базовые плиты штампов (верхняя, нижняя). Данные элементы – это сложные конструкции, в состав которых входят тела вращения, пластины, стержневые конструкции и массивные тела. Соответственно выделяются 2 типа задач: расчет напряженно-деформированного состояния (НДС) пуансонов, матриц и пуансон-матриц с целью обоснованного выбора технологических параметров процесса штамповки и прогнозирования стойкости инструмента; расчет напряженно-деформированного состояния плит с целью обоснованного выбора их конструктивных параметров.

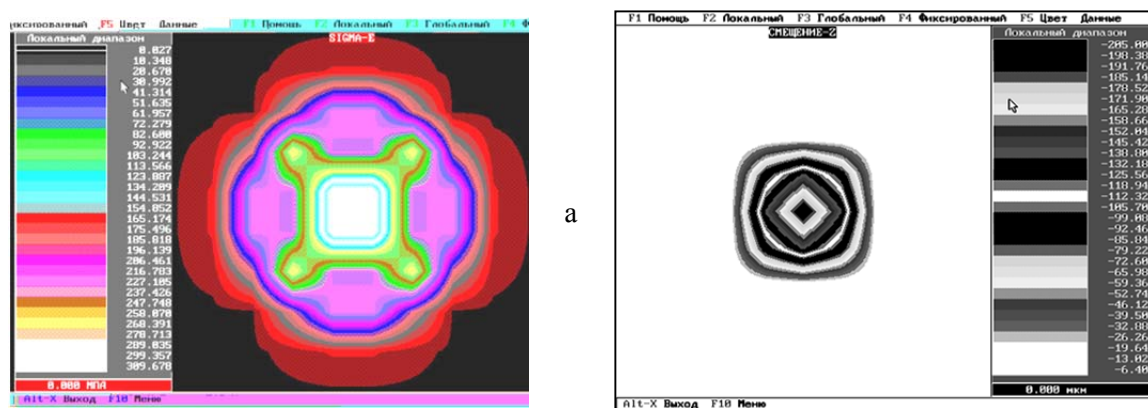


Рис. 2. Визуализация результатов исследований нижней плиты штампов в подсистеме «ШТАМП – НДС»:

а – поля напряжений; б – поля перемещений

Первой задаче из вышеперечисленных уделено внимание в диссертационной работе [1]. Вторая нашла частичное решение в работах [1–4]. В связи с этим в данной статье уделено внимание анализу НДС более нагруженной нижней базовой плиты разделительных штампов (в рассматриваемом случае варьируются их геометрические параметры). В результате создается основа для специализированной базы данных о зависимости прочностных и жесткостных характеристик от геометрических параметров базовых плит.

Целью работы является совершенствование численных моделей для исследования напряженного состояния базовых плит разделительных штампов с учетом контактного взаимодействия с другими элементами штампа и подштамповой плитой прессы.

Условия нагружения и сопряжения. На элементы штампов действуют усилия штамповки $P_{шт}$, распределенные по силовым элементам конструкции штампов. При этом не всегда возможно заранее установить закон распределения этих усилий, и это распределение становится искомым при решении задачи исследования НДС состояния элементов штампов.

На поверхностях сопряжения элементов штампов условия взаимонепроникновения тел представимы в виде $u_N^s - u_N^t \leq \delta^{st}$, где u_N^p – перемещения точек p -го тела в направлении нормали к поверхности в зоне контакта; δ^{st} – начальный зазор в сопряжении s -го и t -го элементов. В местах крепления податливых тел к жестким элементам, упругим опорам или основаниям, а также в области приложения внешней нагрузки граничные условия носят классический характер.

Методика решения задачи включает:

- **создание конечно-элементных моделей.** Для определения напряженно-деформированного состояния деталей штампов используется метод конечных элементов (МКЭ). Конечно-элементная разбивка данных деталей производится по следующему алгоритму: для исследуемой группы деталей определяется набор типов конечных элементов и общая схема построения модели; в графическом редакторе производится сканирование указанной области пространства, информация хранится в согласованном формате; запрашиваются у пользователя

параметры разбивки (густота разбивки); производится построение конечно-элементных моделей группы объектов. В качестве геометрического редактора могут использоваться как универсальные системы типа Pro/Engineer, так и специализированные (см. рис. 1);

- *расчет напряженно-деформированного состояния элементов технологических систем.* В процессе решения определяется область контакта, закон распределения контактных давлений, зоны отрыва и НДС всех сопряженных тел. Используется также схема решения с размещением в зоне контакта исследуемых тел слоя специальных стыковочных элементов;

- *визуализация расчетов элементов штампов.* Исследователям, конструкторам и технологам при работе важно получать результаты расчетов в удобном виде. В связи с этим используются форматы вывода в виде схем деформирования и картин распределения искомых функций (перемещений, напряжений) по сечениям и слоям (см. рис. 2). Данные картины могут быть наложены на картины геометрических моделей штампов или их чертежи и давать возможность быстрой качественной и количественной оценки отдельных деталей, узлов и конструкции в целом. Важнейшим свойством алгоритмов синтеза является возможность структурной и параметрической оптимизации изделия. Предложенный подход дает возможность осуществления целенаправленного выбора рациональной компоновки и параметров штампов. Решение этой задачи основывается на сведениях из баз данных по свойствам материалов, оборудованию и значениям параметров технологического процесса;

- *анализ результатов.* Исследование функционирования разработанных алгоритмов анализа прочности и жесткости штампов в тестовом режиме показало высокую их эффективность для снижения металлоемкости штамповой оснастки, рационального подбора ее параметров и сокращения сроков и стоимости проектирования. Встроенная система анализа дает возможность на оборудовании средней мощности производить серьезный анализ элементов штамповой оснастки (ЭШО) за счет специализации алгоритмов и программного обеспечения, учета реальных условий сопряжения данных элементов и взаимосвязи с основными модулями системы автоматизированного проектирования в режиме реального времени без предъявления высоких требований к квалификации пользователя.

Таким образом, предложенный подход отличается от предлагаемых ранее другими исследователями следующими качественными особенностями. Во-первых, в используемой математической модели учтено контактное взаимодействие ЭШО на уровне краевых условий в виде неравенств. При этом зона контакта и контактное давление являются искомыми. Во-вторых, разработанный подход реализован в виде комплекса геометрических и конечно-элементных моделей для исследования НДС элементов штамповой оснастки МКЭ.

Преимущество предложенной технологии их создания на основе использования обобщенного параметрического подхода – в повышенной оперативности, сбалансированности по критериям точности модели и временным затратам на решение возникающих задач анализа и синтеза, а также в возможности работы в автоматизированном режиме. В результате создается мощный и высокоэффективный инструмент для конструктора, технолога, исследователя.

Численные примеры. Задача об определении НДС нижних базовых плит штампов требует углубленного исследования, т. к. они являются основными базирующими, комплектующими и интегрирующими элементами штампов, воспринимая и передавая усилия от ползуна прессы на детали штампов и заготовку, а затем – на подштамповую плиту прессы. В данной работе, в отличие от [2], использован подход на основе трехмерного НДС базовых плит штампов. Этот подход, учитывающий контактное взаимодействие, предложен и частично реализован в [1, 3]. В данной статье используются те же расчетные схемы (рис. 3, 4). Также проведен анализ влияния высоты (толщины) нижней плиты H на ее НДС, а также диаметра провального отверстия d (см. рис. 3). Для этого толщина варьировалась в следующих значениях: $H = \{15; 30; 45; 60; 75; 90\}$ мм; а диаметр провального отверстия – в значениях $d = \{80; 120; 160; 200; 240\}$ мм. Между взаимодействующими телами задавались условия контактного взаимодействия по плоскостям c, c_1 (см. рис. 3) с трением, коэффициент трения – 0,3.

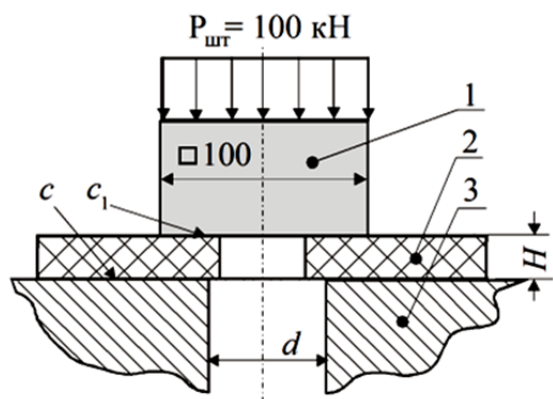


Рис. 3. Расчетная схема нижней плиты во взаимодействии с пакетом и подштамповой плитой пресса [3]:

1 – пакет; 2 – нижняя плита; 3 – подштамповая плита; c, c_1 – поверхности контакта

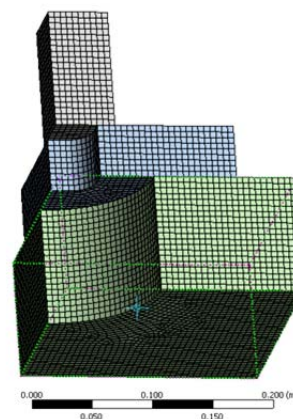


Рис. 4. Конечно-элементная модель нижней плиты во взаимодействии с пакетом и подштамповой плитой пресса

В то же время в дополнение к работе [3] проведен расширенный анализ НДС и контактного давления в базовых плитах штампов при различных сочетаниях их конструктивных параметров. На рис. 5–8 – картины распределения отдельных компонент НДС при варьировании указанных параметров (здесь а – распределение прогибов (м) нижней плиты штампа; б – распределение контактного давления (Па) в сопряжении нижней плиты штампа с пакетом; в – распределение контактного давления (Па) в сопряжении нижней штампа с подштамповой плитой; г – распределение эквивалентных напряжений (Па) в нижней плите штампа).

Исследования подтвердили, что ширина площадки контакта слабо зависит от величины прилагаемого $P_{шт}$ и определяется геометрическими размерами базовых плит и провального окна подштамповой плиты пресса. С увеличением толщины H контактные давления, прогибы и напряжения уменьшаются, а с ростом диаметра d – растут. Как видно из результатов, рекомендуемая толщина нижних плит – не ниже 10–15 % ее габарита, а диаметра провального отверстия – больше 70 % габарита пакета (для блоков с габаритными размерами от 140 × 160 мм до 280 × 320 мм). Для более наглядного восприятия установленных тенденций на рис. 9 представлены графики изменения относительных величин контактных давлений, перемещений и напряжений. В качестве базового для определения этих относительных величин выбрано сочетание параметров $H = 45$ мм; а $d = 160$ мм.

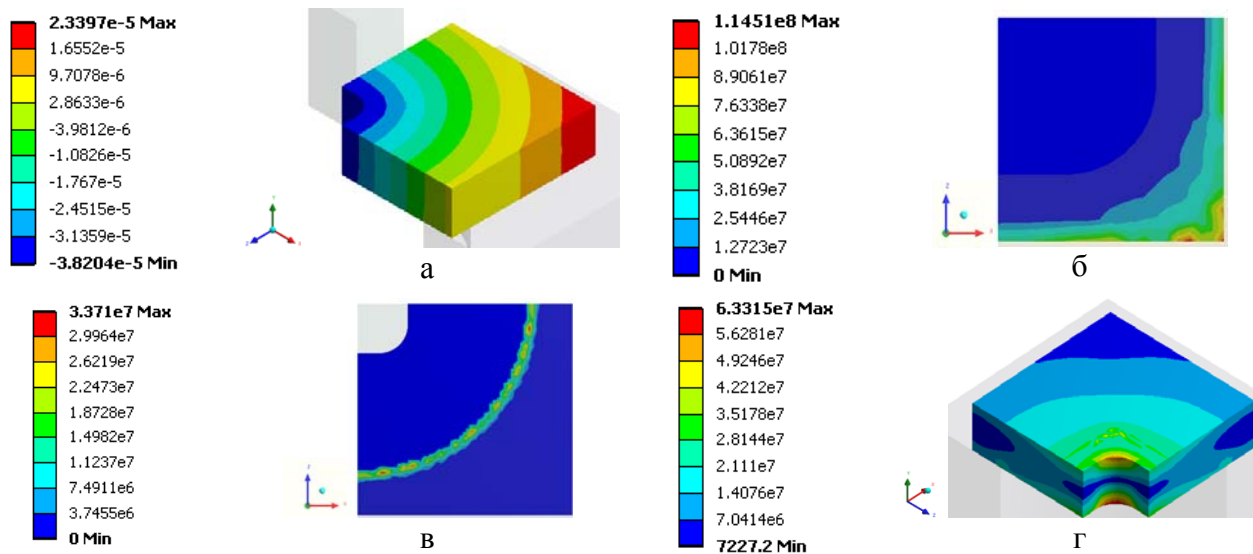


Рис. 5. Компоненты НДС нижней базовой плиты штампа (провальное отверстие – 240 мм)

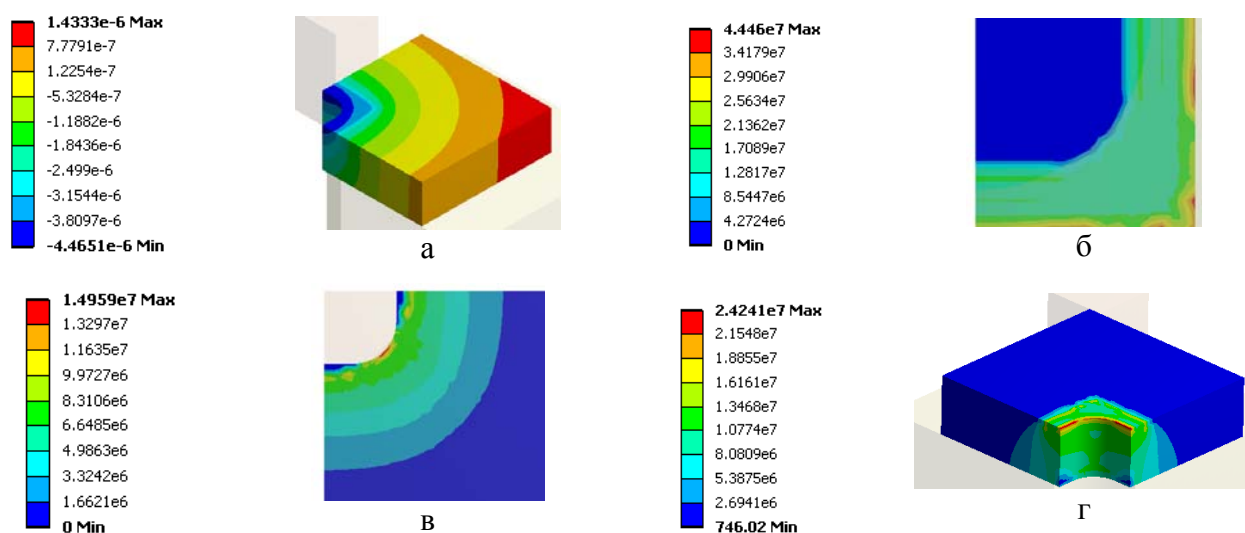


Рис. 6. Компоненты НДС нижней базовой плиты штампа (провальное отверстие – 80 мм)

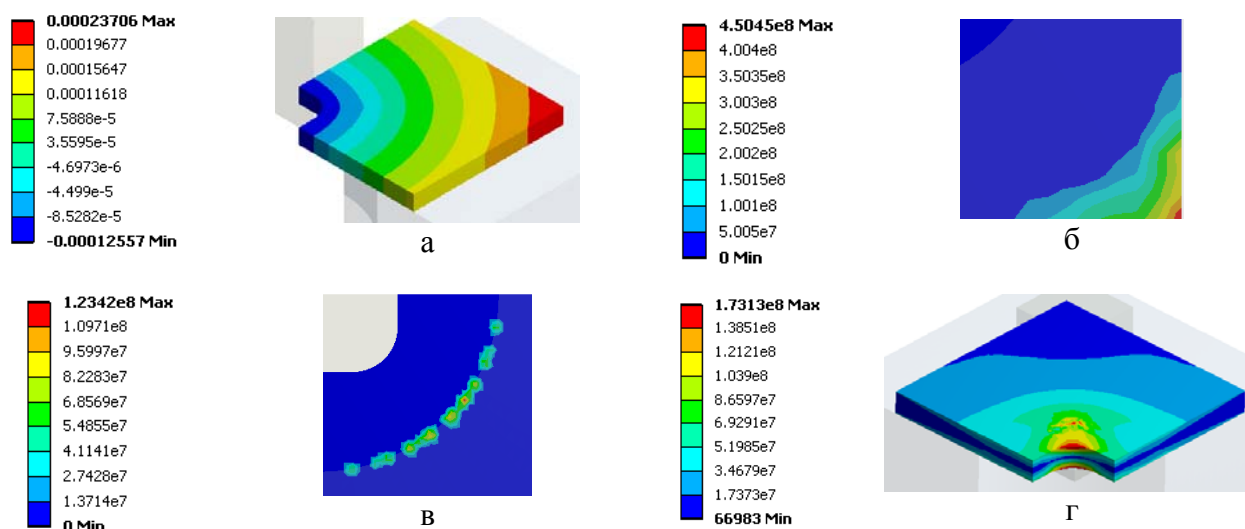


Рис. 7. Распределение компонент НДС нижней базовой плиты штампа высотой 15 мм

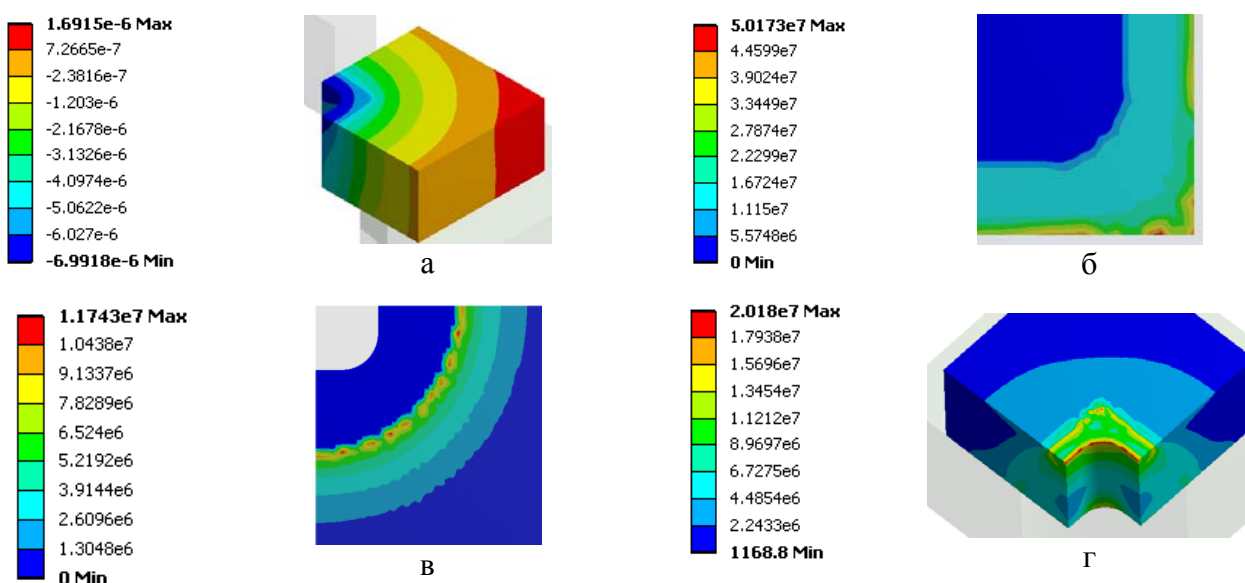


Рис. 8. Распределение компонент НДС нижней базовой плиты штампа высотой 75 мм

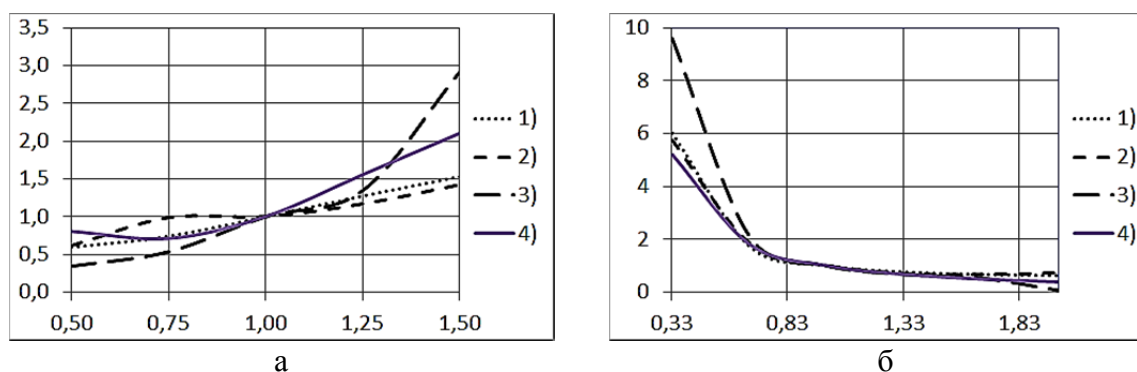


Рис. 9. Влияние диаметра провального отверстия подштамповой плиты штампа (отношения диаметра к базовому значению $d = 160$ мм); а – и толщины нижней плиты (отношение к базовой толщине $H = 45$ мм); б – на относительные контактные давления (1 – зона пакет-плита; 2 – зона плита-стол прессы), прогибы (3) и эквивалентные напряжения в ней (4)

ВЫВОДЫ

Представлен и получил развитие новый подход к исследованию влияния различных параметров на напряженно-деформированное состояние базовых плит штампов.

Существенным отличием его от предыдущих исследований является: трехмерная постановка задачи анализа НДС; учет контактного взаимодействия исследуемых деталей с сопряженными элементами (другими деталями штампов или прессы); организация в виде подсистемы, интегрируемой с САПР различного уровня; дополнительные возможности анализа результатов многовариантных расчетов.

Все это дает возможность представить полученный инструмент как работоспособный, который можно применить в дальнейших исследованиях базовых плит штампов и других элементов их конструкций.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дьоміна Н. А. Удосконалення методів розрахунку елементів штампового оснащення на основі аналізу їх напружено-деформованого стану : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.03.05 «Процеси та машини обробки тиском» / Н. А. Дьоміна. – Харків, 2011. – 20 с.
2. Заярненко Е. И. Разработка математических моделей и расчеты на прочность разделительных переналаживаемых штампов : дис... д-р техн. наук : спец. 01.02.06 и 05.03.05 / Заярненко Евгений Иванович. – Харьков, 1992. – 280 с.
3. Базовые плиты разделительных штампов: напряженно-деформированное состояние с учетом контактного взаимодействия / О. А. Ищенко, Н. А. Демина, А. В. Грабовский [и др.] // Вестник НТУ «ХПИ». – Харьков : НТУ «ХПИ», 2011. – № 51. – С. 50–58.
16. Моделирование контактного взаимодействия элементов штамповой оснастки / Н. А. Ткачук, Н. А. Демина, Ю. Д. Сердюк, А. Н. Ткачук, Г. А. Кротенко // Обработка материалов давлением : сб. науч. тр. – Краматорск : ДГМА, 2010. – № 2 (23). – С. 240–248.

Ищенко О. А. – ассистент ТГАТУ;

Демина Н. А. – канд. техн. наук, ст. преп. ТГАТУ;

Грабовский А. В. – канд. техн. наук, мл. науч. сотр. НТУ «ХПИ»;

Ткачук А. В. – канд. техн. наук, ст. науч. сотр. НТУ «ХПИ».

ТГАТУ – Таврический государственный агротехнологический университет, г. Мелитополь.
НТУ «ХПИ» – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков.

E-mail: tma@kpi.kharkov.ua

Статья поступила в редакцию 14.03.2012 г.