

УДК 539.3+621.9

doi:10.20998/2413-4295.2016.12.04

ФОРМИРОВАНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ РАСЧЕТНЫХ МОДЕЛЕЙ ЭЛЕМЕНТОВ ШТАМПОВ ДЛЯ РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ

О. А. ИЩЕНКО¹, А. В. ТКАЧУК², А. В. ГРАБОВСКИЙ^{2*}, Н. А. ДЕМИНА¹

¹ Кафедра высшей математики и физики, Таврический государственный агротехнологический университет, Мелитополь, УКРАИНА

² Кафедра теории и систем автоматизированного проектирования механизмов и машин, Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", Харьков, УКРАИНА

*email: grabovskiy@tmm-sapr.org

АННОТАЦИЯ В статье описан новый подход к формированию расчетных моделей для элементов разделительных штампов. Предложено формировать комплексную модель, учитывающая условия силового и кинематического сопряжения базовых плит, пакета и направляющих колонок. В созданных моделях учтен множественный контакт элементов штампов. Также обеспечено построение параметрических моделей. Эти модели позволяют организовывать многовариантные расчеты напряженно-деформированного состояния. На основе анализа результатов этих расчетов определяются рациональные проектно-технологические параметры разделительных штампов.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, разделительный штамп, базовая плита, расчетная модель, метод конечных элементов.

FORMATION OF COMPLEX COMPUTABLE MODELS OF DIES ELEMENTS FOR SHEARING OPERATIONS

O. A. ISHCENKO¹, A. V. TKACHUK², A. V. GRABOVSKIY², N. A. DEMINA¹

¹Higher Mathematics and Physic Department, Tavria State Agrotechnological University, Melitopol, UKRAINE

²Theory and Systems of Mechanisms and Machines Automated Design Department, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkov, UKRAINE

ABSTRACT The new approach in computable models formation for the shearing dies elements is described in the article. It has been suggested to form a comprehensive model which takes into account the conditions of power and kinematic connection between the base plates, the package and the guideposts. The designed models consider the multiple contacts between dies elements. The construction of the parameter-oriented models is also ensured. These models make it possible to organize multiple calculations of stress-strain state. It has been established that consideration of the contact interaction conditions significantly alter the results of the stress-strain state of the dies elements. A substantial disparity of the stresses distribution in the elements of dies was defined. Stress concentration zones have been identified. Maximum stresses which strongly nonlinearly depend on design parameters were revealed. Reasonable design and production parameters of the shearing die are determined after the analysis of the calculations results.

Keywords: the stress-strain state, shearing die, base plates, design model, finite-element method

Введение

Во многих работах [1-11] исследуется напряженно-деформированное состояние элементов разделительных штампов. При этом расчетные схемы элементов исследованных штампов строятся либо на основе выделения отдельных деталей штампов (в данном случае действие остальных заменяется соответствующими граничными условиями и усилиями нагружения), либо на основе исследования отдельные групп деталей. Например, в работе [2] использованы "изолированные" расчетные схемы (то есть напряженно-деформированное состояние (НДС) исследуется для отдельно взятых матриц, базовых плит, съемников и т. д.). В работе [1] строятся низкоуровневые расчетные схемы, объединяющие условиями контактного сопряжения только 2÷3 соседние детали (например, матрицу и пуансон, взаимодействующие через штампуемый материал или нижнюю базовую плиту штампа в контакте с подштамповой плитой прессы). В

тоже время разделительный штамп характеризуется как раз комплексным взаимодействием всех деталей и сборок. В связи с этим актуальной задачей является разработка комплексных расчетных схем элементов штампов для разделительных операций, которые интегрируют в себе все их основные сопрягаемые детали и узлы. На решение этой задачи направлена данная работа.

Формирование комплексных расчетных схем элементов разделительных штампов

Рассмотрен новый подход к формированию комплексных расчетных схем элементов разделительных штампов, базирующийся на системном анализе технологических систем "пресс – штамп – режущие части – заготовка". Следуя работе [1], рассмотрим разноразмерные подсистемы данной технологической системы. Однако, в отличие от подсистемы самого нижнего уровня (рис. 1 [1]), предлагается рассмотреть систему

среднего уровня. В этой подсистеме присутствуют все основные элементы, обеспечивающие рабочий процесс штамповки, базирование и взаимное относительное движение частей штампов.

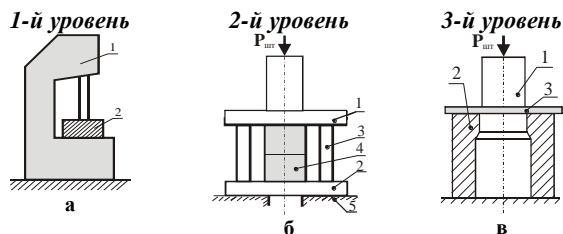


Рис. 1 – Подсистемы технологической системы "пресс – штамп – режущие части – заготовка":

а – пресс 1 и штамп 2; б – верхняя и нижняя плиты штампа 1 и 2, колонки 3, пакет 4 и подштамповая плита 5; в – пуансон 1, матрица 2 и штампуемый материал 3

Для формирования комплексных расчетных схем исследуем основные элементы разделительного штампа, вступающие в силовое взаимодействие (рис. 2).

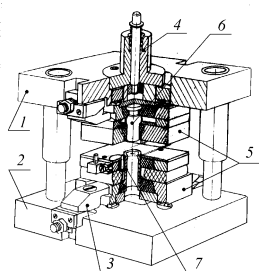


Рис. 2 – Взаимодействие элементов разделительных штампов на примере конструкции УСПШ совмещенного действия:
1 – верхняя базовая плита;
2 – нижняя базовая плита;
3 – прихваты; 4 – хвостовик;
5 – пакет; 6 – пуансон;
7 – матрица

Основные элементы штампа базируются на нижней и верхней базовых плитах. Основное рабочее движение осуществляется путем перемещения верхней базовой плиты по направляющим колонкам. При этом в силу деформирования нижней базовой плиты штампа колонки, в них запрессованные или соединенные при помощи склеивания (например, заливкой зазора между колонкой и плитой эпоксидным компаундом или иным твердеющим составом), деформируются, вступая в верхней части в зоне направляющих отверстий в контактное сопряжение с верхней базовой плитой. Во время такого взаимодействия возникают нормальные и касательные (от трения) усилия, включаемые в силовые потоки в технологической подсистеме "стол пресса – блок штампа – пакет – заготовка". Одновременно ответные усилия оказывают обратное воздействие на нижнюю базовую плиту. Таким образом, точный расчет этих усилий возможен только на основе анализа контактного взаимодействия, в которое опосредованно вовлечены не только соседние, непосредственно механически сопрягаемые, но и удаленные друг от друга элементы штампов.

Кроме рассмотренных элементов, необходимо также учесть контактное взаимодействие в сопряжении "пакет – нижняя базовая плита" и в сопряжении "нижняя базовая плита – подштамповая плита пресса".

На рис. 3 представлены элементы исследуемой технологической системы и соответствующие характер-

ные зоны контактного взаимодействия. Здесь k_1 – контакт "колонки – верхняя базовая плита"; k_2 – контакт "колонки – фиксирующий слой – нижняя базовая плита"; k_3 – плоскость опирания нижней базовой плиты на подштамповую плиту штампа; k_4 – плоскость опирания пакета на нижнюю базовую плиту.

Таким образом, комплексная расчетная схема разделительного штампа предполагает наличие множественного контакта в сопряжениях элементов штампа. При этом усилия, возникающие между контактирующими элементами, определяются в ходе решения самой контактной задачи, будучи в ней дополнительными неизвестными. В этом состоит принципиальное отличие создаваемой комплексной расчетной схемы от ранее использованных [1, 2].

Задача 1. В качестве иллюстрации рассмотрим контактное взаимодействие тестовой конструкции, схема которой на рис. 4: сменный пакет воздействует на нижнюю базовую плиту, опирающуюся на подштамповую плиту пресса. Варьируются: диаметр провального отверстия в подштамповой плите пресса – параметр p_2 (в диапазоне 160-360 мм); толщина плиты штампа – параметр p_1 (в диапазоне 15-90 мм).

Усилие штамповки $P_{шт}$ (см. рис. 3) – 50 кН, габариты штампа – 240×240 мм, габариты пакета 100×100 мм. Материал основных деталей – сталь 40Х (модуль упругости $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа, коэффициент Пуассона $\nu = 0,3$). В силу симметрии рассмотрена 1/4 конструкции.

На рис. 5-11 приведены характерные картины распределения компонент НДС элементов штампа.

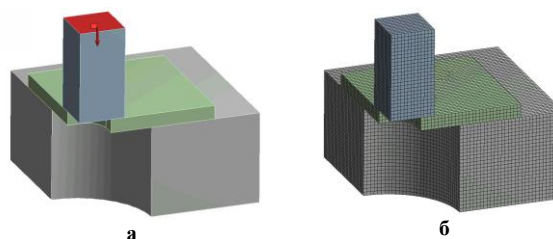


Рис. 4 – Нижняя базовая плита во взаимодействии со сменным пакетом и подштамповой плитой пресса: а – геометрическая модель, б – конечно-элементная модель

На рис. 12-18 приведены интегральные зависимости характеристик НДС от варьируемых параметров. Полученные зависимости изменения картин распределений компонент НДС элементов технологической подсистемы "пакет – нижняя базовая плита штампа – подштамповая плита пресса" дает возможность сделать следующие выводы.

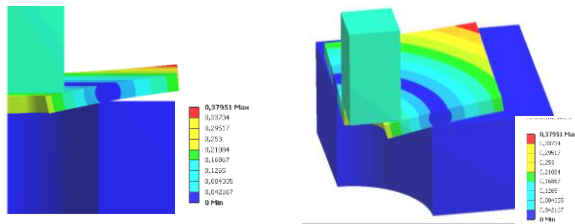


Рис. 5 – Результати дослідження НДС елементів штамп (задача 1): розподілення повних переміщень

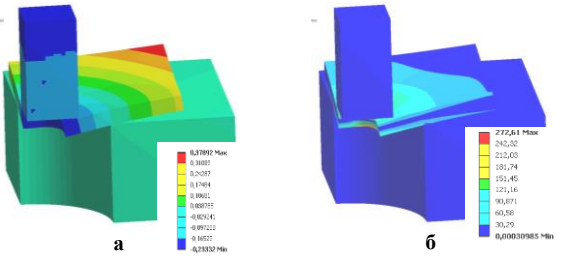


Рис. 6 – Результати дослідження НДС елементів штамп (задача 1): а – вертикальні переміщення; б – еквівалентні напруження по Мизесу

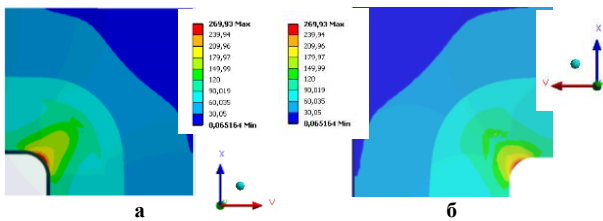


Рис. 7 – Розподілення еквівалентних напружень по Мизесу в нижній базовій плиті в площині сопряження (задача 1): а – со сменного пакетом, б – с подштамповою плитой преса

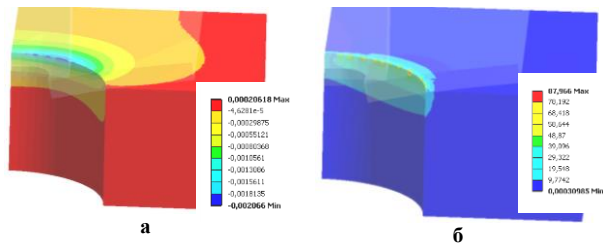


Рис. 8 – Результати дослідження НДС елементів штамп в подштамповою плиті преса (задача 1): а – вертикальні переміщення; б – еквівалентні напруження по Мизесу

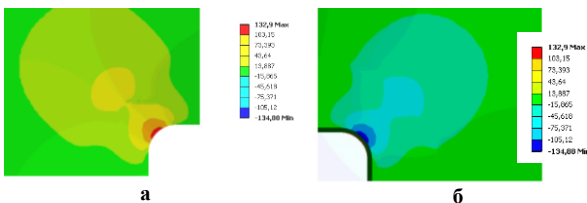


Рис. 9 – Касательні напруження в базовій плиті штамп (задача 1): а – вид сверху, б – вид снизу

1. Напряжения в элементах данной подсистемы концентрируются в зонах их механического контакта.

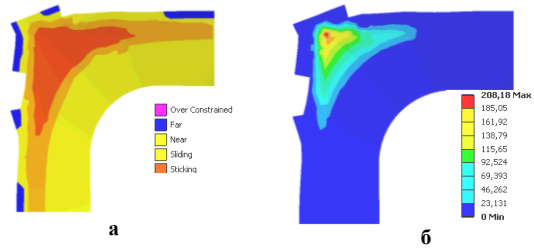


Рис. 10 – Результати дослідження напружено-деформованного стану елементів штамп в сопряженні сменного пакета и базовою плити (задача 1): а – розподілення контактних зон; б – розподілення контактних давлень

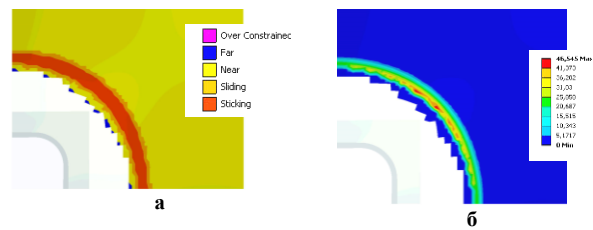


Рис. 11 – Результати дослідження НДС елементів штамп в сопряженні подштамповою плити преса и базовою плити штамп (задача 1): а – розподілення контактних зон; б – розподілення контактних давлень

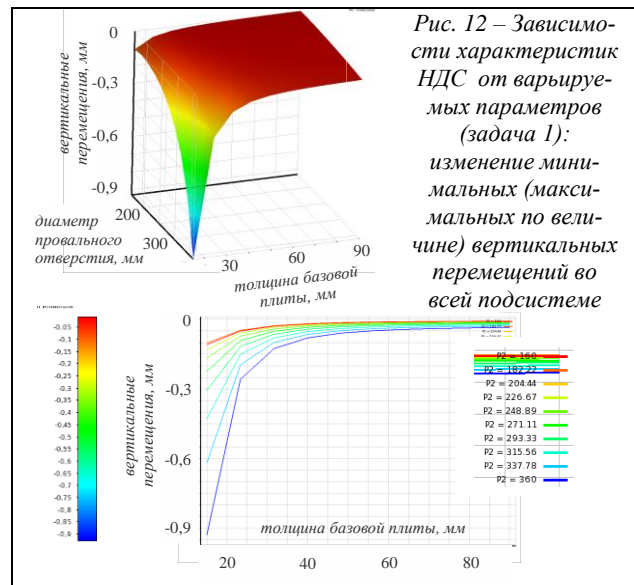
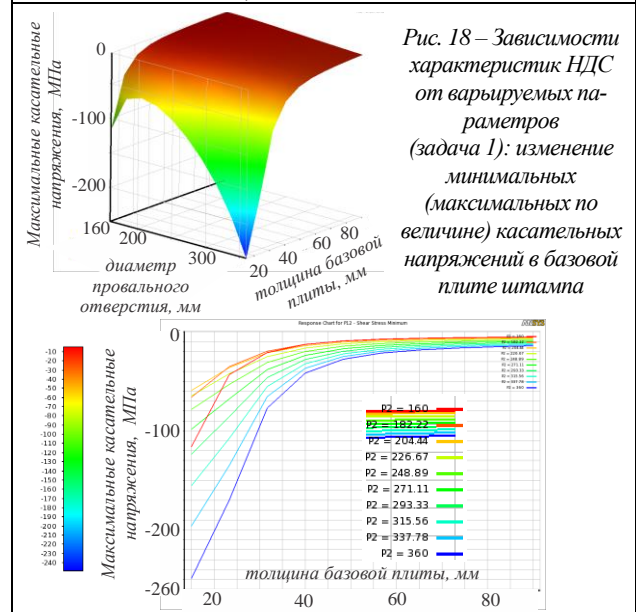
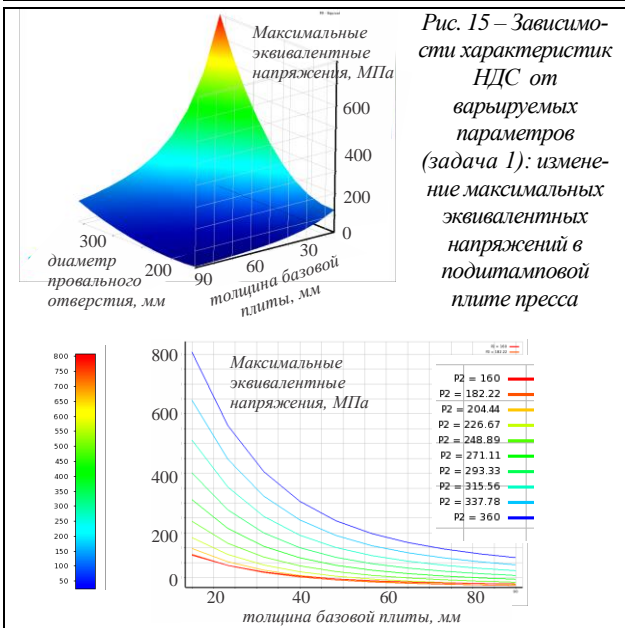
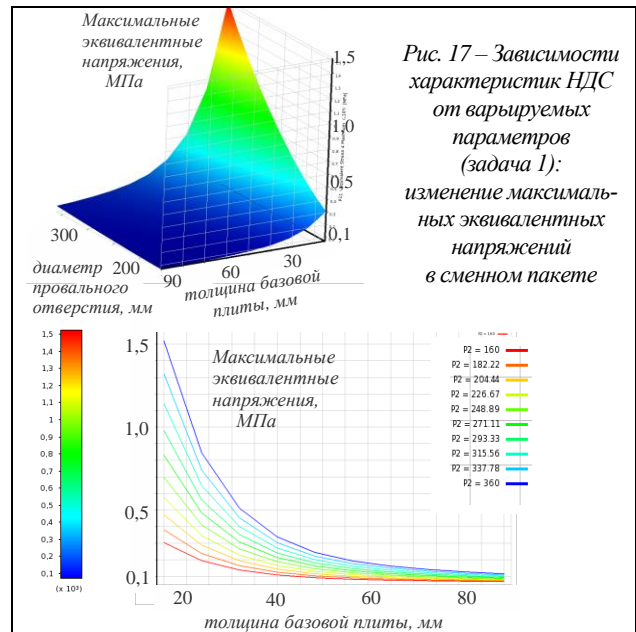
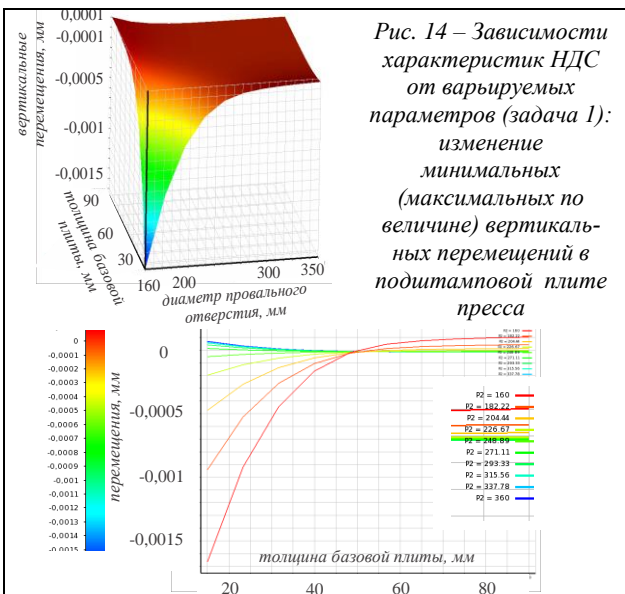
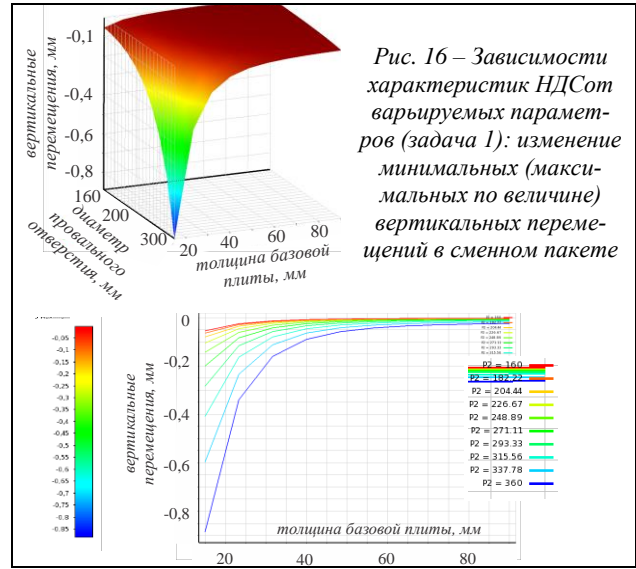
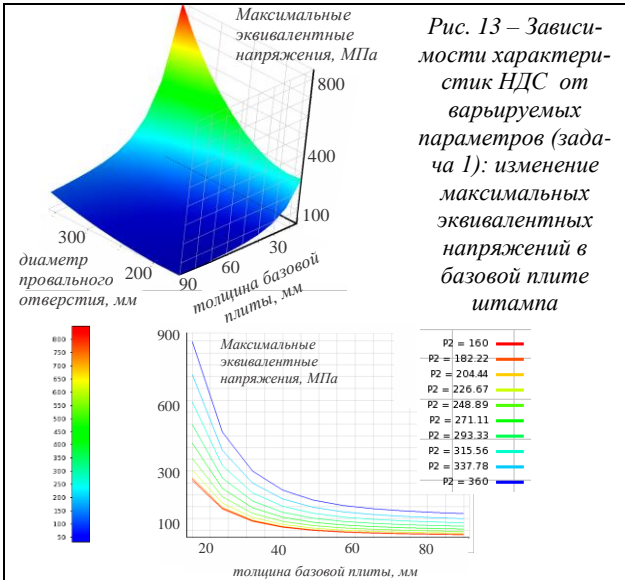


Рис. 12 – Зависимости характеристик НДС от варьируемых параметров (задача 1): изменение минимальных (максимальных по величине) вертикальных перемещений во всей подсистеме

2. Напряжения и контактные давления распределяются по площадям контактного сопряжения неравномерно.

3. Интегральные зависимости характеристик напружено-деформованного состояния от варьируемых параметров (в данном случае – толщина базовой плиты и диаметр провального отверстия) соответствуют "гиперболическому" поведению: резкое возрастание при убывании объема материала детали ниже некоторого предела, практически неизменная величина – при возрастании этого объема выше некоторого другого предела и плавное изменение в переходном диапазоне.



Таким образом, полученные картины распределений характеристик напряженно-деформированного состояния элементов штамповой оснастки определяют наиболее нагруженные их зоны, а построенные поверхности отклика дают возможность решать задачу обоснования проектно-технологических параметров штампов по критериям стойкости, точности, прочности и жесткости.

Тестовая задача 2. Для исследования взаимодействия элементов подсистемы "нижняя базовая плита штампа – направляющие колонки" рассмотрим контактное взаимодействие тестовой конструкции, схема которой на рис. 19. Усилие штамповки, материал и размеры элементов штампа – те же, что и в задаче 1.

Задача 2.1. Исследуется влияние усилия, действующего со стороны верхней базовой плиты штампа (параметр $p_1 = 0 \div 10$ кН) через втулку на уровне ее верхнего среза (на высоте 120 мм) под углом в плоскости плиты (параметр $p_2 = 0 \div \pi/4$). Втулка диаметром 20 мм посажена в нижней плите толщиной 45 мм с натягом (параметр $p_3 = 0.001, 0.005, 0.1, 0.2$ мм). Картины распределения компонент напряженно-деформированного состояния приведены на рис. 20-23, а на рис. 24-27 – зависимости характеристик НДС от варьированных параметров.

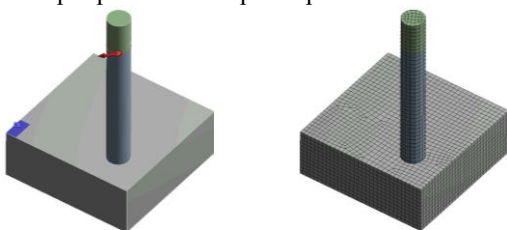


Рис. 19 – Геометрическая и конечно-элементная модели взаимодействия направляющей колонки с нижней базовой плитой штампа

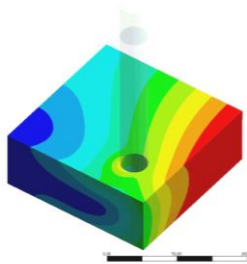


Рис. 20 – Распределение полных перемещений в нижней базовой плите штампа (задача 2)

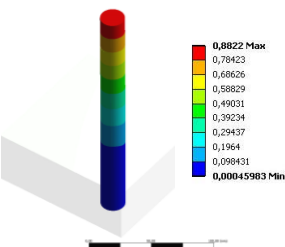


Рис. 21 – Распределение полных перемещений в колонке штампа (задача 2)

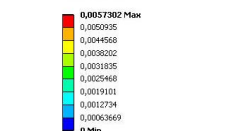


Рис. 22 – Распределение эквивалентных (по Мизесу) напряжений в колонке штампа (задача 2)

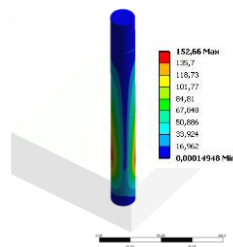


Рис. 23 – Распределение контактных напряжений в сопряжении колонки с плитой штампа (задача 2)

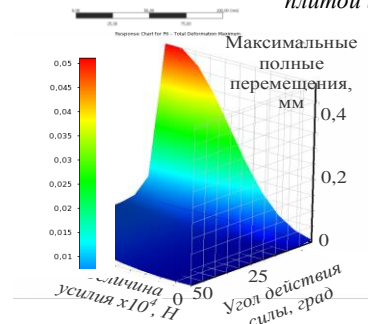


Рис. 24 – Зависимость полных перемещений верхнего среза колонки от параметров p_1, p_2 (задача 2.1)

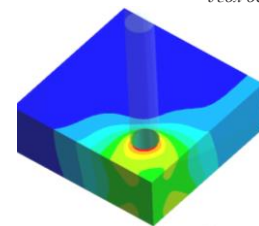
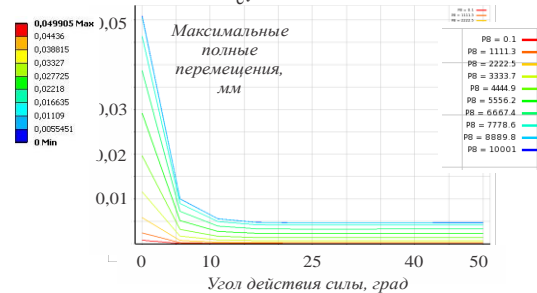


Рис. 25 – Распределения полных перемещений в нижней базовой плите штампа при натяге 0,1 мм (задача 2.1)

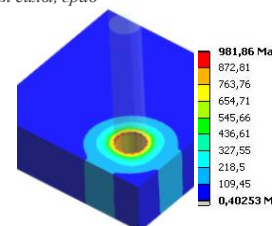


Рис. 26 – Распределения максимальных эквивалентных напряжений в нижней базовой плите штампа при натяге 0,1 мм (задача 2.1)

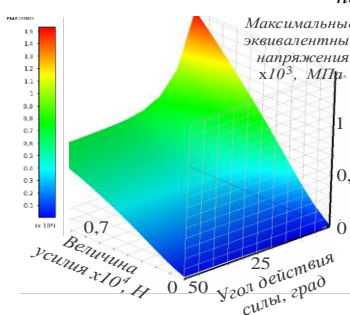
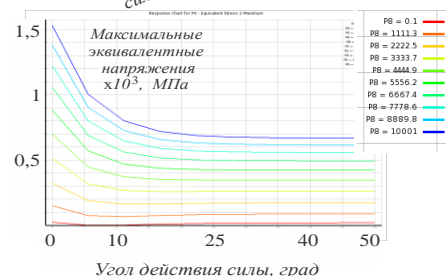


Рис. 27 – Зависимость максимальных эквивалентных напряжений от параметров p_1, p_2 (задача 2.1)



Как видно из представленных графиков и распределений, наблюдаются следующие закономерности.

1. Наиболее нагруженными от горизонтальных усилий зонами являются области, примыкающие к соединению колонок с плитами.
2. Контактные давления в сопряжении "колонка – плита" распределяются неравномерно, и чем меньше натяг, тем больше эта неравномерность.
3. Интегральные характеристики напряженно-деформированного состояния демонстрируют примерно такую же зависимость от конструктивных параметров, как и описанная выше (см. задачу 1) "гиперболическая" зависимость, и более равномерную и плавную – от параметров нагружения.

Задача 2.2. Исследуется влияние усилия, действующего со стороны верхней базовой плиты штампа (параметр $p_1 = 0 \div 10$ кН) через втулку на уровне ее верхнего среза (на высоте 120мм) под углом в плоскости плиты (параметр $p_2 = 0 \div \pi/4$). Втулка диаметром 20 мм посажена в нижней плите толщиной 45 мм при помощи клеювого состава (толщина слоя – параметр $p_3 = 2.0, 3.5, 5.0$ мм). В качестве фиксирующего состава применен состав на основе эпоксидной смолы ($E = 3,2 \cdot 10^3$ МПа, $\nu = 0,45$). На рис. 28-32 приведены результаты исследований.

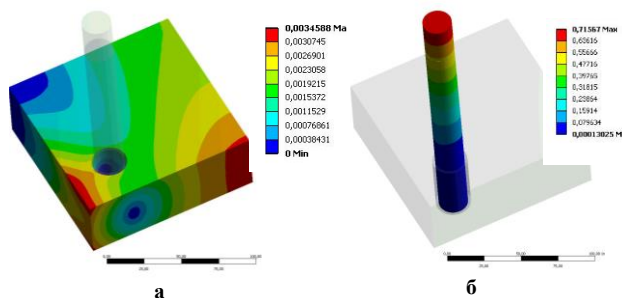


Рис. 28 – Распределение полных перемещений (задача 2.2):
а – в нижней базовой плите, б – в колонке штампа

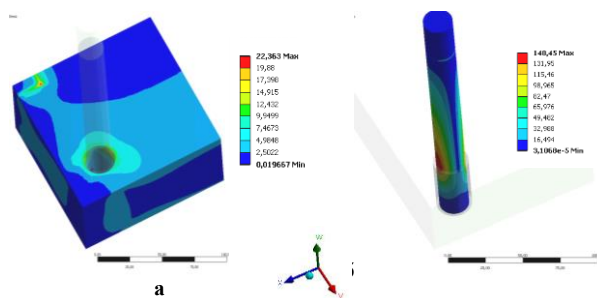


Рис. 29 – Распределение эквивалентных (по Мизесу) напряжений (задача 2.2):
а – в нижней плите, б – в колонке штампа

На рис. 28-30, в частности, представлены распределения перемещений и напряжений в тестовой конструкции. Видно, что распределения контактного давления в сопряжениях элементов штампов далеки от равномерных. Этот фактор существенным образом сказывается на напряженно-деформированном состоянии всех элементов штампов, находящихся во взаи-

модействии, и его нужно учитывать при формировании более адекватных, чем традиционные, расчетных схем элементов разделительных штампов.

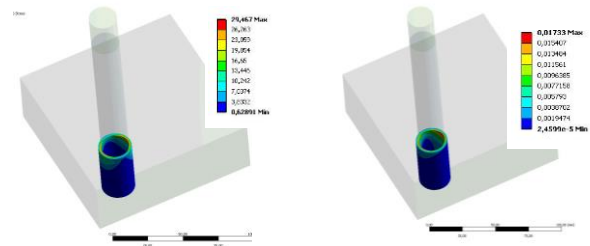


Рис. 30 – полных перемещений и эквивалентных (по Мизесу) напряжений в фиксирующем слое (задача 2.2)

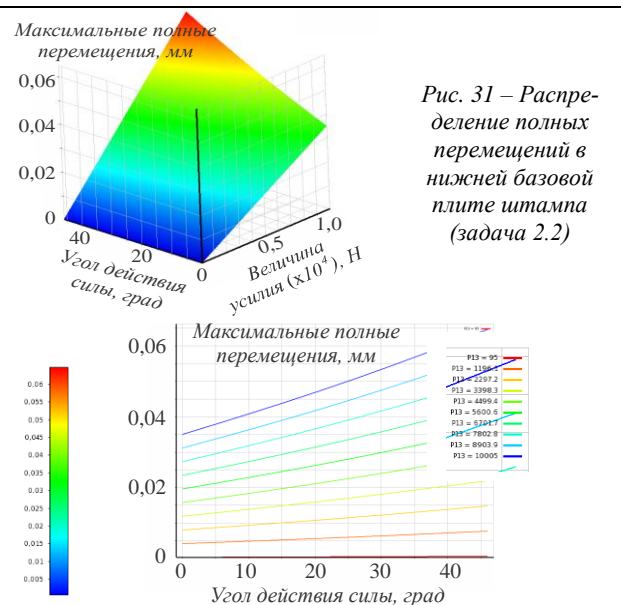


Рис. 31 – Распределение полных перемещений в нижней базовой плите штампа (задача 2.2)

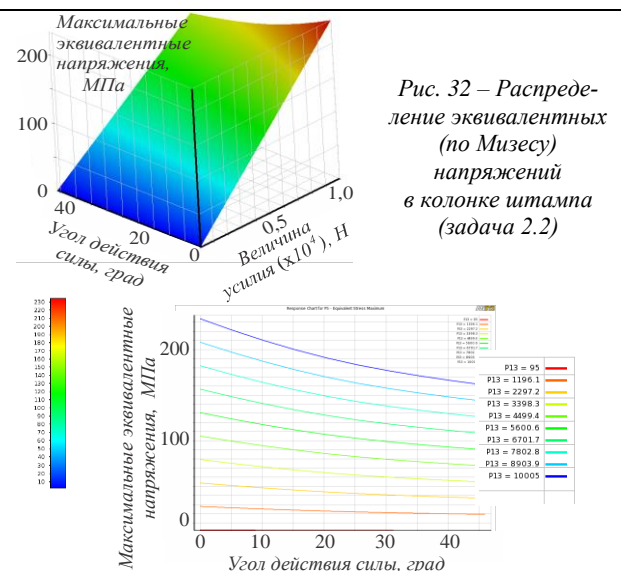


Рис. 32 – Распределение эквивалентных (по Мизесу) напряжений в колонке штампа (задача 2.2)

Как следует из анализа полученных результатов, напряженно-деформированное состояние данной подсистемы имеет свои особенности.

1. Напряжения в данном случае гораздо ниже, чем в случае посадки колонок с натягом.

2. Перемещения колонок от действия горизонтальных усилий выше, чем в случае посадки колонок с натягом.

3. Распределение напряжений в слое клеящего компаунда после полимеризации и приложения нагрузки в случае посадки колонок с натягом неравномерное по высоте.

4. Несмотря на более низкий уровень напряжений, следует учитывать также и более низкий уровень механических характеристик материала склеиваемого слоя по сравнению со свойствами металла, из которого изготовлены колонка и плита.

5. Интегральные зависимости характеристик напряженно-деформированного состояния данной подсистемы от всех варьируемых параметров носят примерно линейный характер.

Заключение

В работе представлен подход к созданию комплексных расчетных схем элементов штампов. Они отличаются от традиционных расчетных схем включением в единую интегрированную расчетную схему всех основных элементов разделительных штампов, причем с учетом их контактного взаимодействия значения контактных давлений определяются в ходе решения, контактной задачи, а не задаются заранее известными.

В ходе дальнейших исследований планируется провести анализ напряженно-деформированного состояния элементов разделительных штампов с учетом контактного взаимодействия на основе описанной в работе комплексной расчетной схемы.

Список литературы

1. Дьоміна, Н. А. Удосконалення методів розрахунку елементів штампного 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: дисс. доктора. техн. наук: спец. 01.02.06 и 05.03.05 / Заярненко Евгений Иванович. – Харьков. – 1992. – 280 с.
3. Ищенко, О. А. 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.
4. Ищенко, О. А. Контактное взаимодействие элементов штампов для разделительных операций / О. А. Ищенко // Моделирование процессов в металлургии. – 2015. – № 1. – С.93-96.
5. Ищенко, О. А. Моделирование напряженно-деформированного состояния базовых плит разделительных штампов / О. А. Ищенко, Н. А. Демина, А. В. Грабовский, Н. А. Ткачук // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2012. – №9. – С. 40 - 44.
6. Борисевич, В. К. Анализ разделительных процессов листовой штамповки / В. К. Борисевич, В. В. Драгобецкий // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2009. – № 12. – С. 9-12.

7. Zhang, L. C. A new mechanics model of stamping a thin strip on an elastic foundation / L. C. Zhang, Zhongqin Lin // *International Journal of Solids and Structures*. – 1997. – 34(3). – P. 327-339. – doi:10.1016/S0020-7683(96)00011-X.
8. Kardes, N. Determining the flow stress curve with yield and ultimate tensile strengths. Part I / N. Kardes, C. Choi, X. Yang, T. Altan // *STAMPING Journal*. – May/June. – 2011. – P. 12-13.
9. Kardes, N. Determining the flow stress curve with yield and ultimate tensile strengths. Part II / N. Kardes // *STAMPING Journal*. – July/August. – 2011. – P. 14-15.
10. Oujebbour, F. Z. Multicriteria shape design of a sheet contour in stamping / F. Z. Oujebbour, A. Habbal, R. Ellaia, Z. Zhao // *Journal of Computational Design and Engineering*. – 2014. – Vol. 1. – №. 3. – P. 187-193. – doi:10.7315/JCDE.2014.018.
11. Liu, W. Multi-objective optimization of sheet metal forming process using Pareto-based genetic algorithm / Liu W., Yang Y. // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2008. – 208(1). – P. 499-506. – doi:10.1016/j.jmatprotec.2008.01.014.
12. Azaoui, M. An heuristic optimization algorithm for the blank shape design of high precision metallic parts obtained by a particular stamping process / M. Azaoui, H. Naceur, A. Delamézière, J. L. Batoz, S. Belouettar // *Finite Elements in Analysis and Design*. – 2008. – 44(14). – P. 842-850. – doi:10.1016/j.finel.2008.06.008.
13. Lin, B. T. Application of an integrated CAD/CAE/ CAM system for stamping dies for automobiles / Lin B.T, Kuo C.C. // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – 2008. – № 35(9-10). – P. 1000-1013. – doi:10.1007/s00170-006-0785-y.
14. Hamdaoui, M. POD surrogates for real-time multi-parametric sheet metal forming problems / Hamdaoui M/, Le Quilliec G., Breitkopf P., Villon P. // *International Journal of Material Forming*. – 2013. – P. 1-22. – doi:10.1007/s12289-013-1132-0.

Bibliography (transliterated)

1. D'omina, N. A. Udoskonalennyya metodiv rozrakhunku elementiv shtampovoho osnashchennyya na osnovi analizu yikh napruzhenno-deformovanooho stanu [Improved methods of calculation elements die equipments based on the analysis of stress-strain state]: avtoref. dys. na zdobuttya nauk. stupenya kand. tekhn. nauk: spets. 05.03.05 "Protsesty ta mashyny obrobky tyskom" [thesis. dis. on competition sciences. degree candidate. sc. sciences specials. 05.03.05 "Processes and machines for pressure"]. Kharkiv, 2011, 20 p.
2. Zayarnenko, E. I. Development of mathematical models and calculations on durability of the dividing readjusted stamps [Development of mathematical models and raschety to die prochnost razdelytelnykh perenalazhyvaemykh]: diss. doct. tehn. nauk: special 01.02.06 and 05.03.05 [Dis. Drs. Sc. Sciences specials. 01.02.06 and 05.03.05]. Kharkiv, 1992, 280 p.
3. Ishchenko O.A. Bazovyye plity razdelitel'nykh shtampov: napryazhenno-deformirovannoye sostoyaniye s uchetoм kontaktnogo vzaimodeystviya [Basic plates of dividing stamps: the intense deformed state taking into account contact interaction] / O. A. Ishchenko, N. A. Dyomin, A. V. Grabovsky, etc. // *Vestnik NTU "KhPI" [Bulletin of NTU "KhPI"]*. Kharkiv: NTU "KhPI", 2011, 51, 50-58.
4. Ishchenko, O. A. Kontaktnoye vzaimodeystviye elementov shtampov dlya razdelitel'nykh operatsiy [Contact interaction of elements of stamps for dividing operations] / O. A. Ishchenko // *Modelyuvannya protsesiv v metalurgii [Modeling of processes in the industry]*. 2015, 1, 93-96.
5. Ishchenko, O. A. Modelirovaniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya bazovykh plit razdelitel'nykh shtampov [Modeling of the intense deformed condition of

- basic plates of dividing stamps] / **O. A. Ishchenko, N. A. Dyomin, A. V. Grabovsky, N. A. Tkachuk** // *Kuznechno-shtampovochne proizvodstvo. Obrabotka materialov davleniem [Forging and stamping production. Materials Forming]*, 2012, **9**, 40-44.
6. **Borisevich, V. K.** Analiz razdelitel'nykh protsessov listvoy shtampovki [Analysis of dividing processes of sheet stamping] / **V. K. Borisevich, V. V. Dragobetsky** // *Kuznechno-shtampovochne proizvodstvo. Obrabotka materialov davleniem [Forging and stamping production. Materials Forming]*, 2009, **12**, 9-12.
 7. **Zhang, L. C., Zhongqin Lin** A new mechanics model of stamping a thin strip on an elastic foundation. *International Journal of Solids and Structures*, 1997, **34**(3), 327-339, doi:10.1016/S0020-7683(96)00011-X.
 8. **Kardes, N., Choi, C., Yang, X., Altan, T.** Determining the flow stress curve with yield and ultimate tensile strengths. Part I. *STAMPING Journal*, May/June, 2011, 12-13.
 9. **Kardes, N.** Determining the flow stress curve with yield and ultimate tensile strengths. Part II. *STAMPING Journal*, July/August, 2011, 14-15.
 10. **Oujebbour, F. Z., Habbal, A., Ellaia, R., Zhao, Z.** Multicriteria shape design of a sheet contour in stamping. *Journal of Computational Design and Engineering*, 2014, **1**(3), 187-193, doi:10.7315/JCDE.2014.018.
 11. **Liu, W., Yang, Y.** Multi-objective optimization of sheet metal forming process using Pareto-based genetic algorithm. *Journal of Materials Processing Technology*, 2008, **208**(1), 499-506, doi:10.1016/j.jmatprotec.2008.01.014.
 12. **Azaouzi, M., Naceur, H., Delamézière, A., Batoz, J. L., Belouettar, S.** An heuristic optimization algorithm for the blank shape design of high precision metallic parts obtained by a particular stamping process. *Finite Elements in Analysis and Design*, 2008, **44**(14), 842-850, doi:10.1016/j.finel.2008.06.008.
 13. **Lin, B. T., Kuo, C. C.** Application of an integrated CAD/CAE/CAM system for stamping dies for automobiles. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2008, **35**(9-10), 1000-1013, doi:10.1007/s00170-006-0785-y.
 14. **Hamdaoui, M., Le Quilliec, G., Breitkopf, P., Villon, P.** POD surrogates for real-time multi-parametric sheet metal forming problems. *International Journal of Material Forming*, 2013, 1-22, doi:10.1007/s12289-013-1132-0.

Сведения про авторов (About authors)

Ищенко Ольга – ст. преподаватель кафедры высшей математики и физики, Таврический Государственный агротехнологический университет, Мелитополь, Украина.

Ishchenko Olga Anatoliyivna – Senior Lecturer, Higher Mathematics and Physic Department, Tavia State Agrotechnological University, Melitopol, Ukraine.

Ткачук Анна Владимировна – с.н.с., к.т.н., с.н.с. кафедры теории и систем автоматизированного проектирования механизмов и машин, Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", Харьков, Украина.

Tkachuk Anna Volodymyrivna – Ph. D. in Engineering Science, Senior Research Assistant, Theory and Systems of Mechanisms and Machines Automated Design Department, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute".

Грабовский Андрей Владимирович – к.т.н., доцент кафедры теории и систем автоматизированного проектирования механизмов и машин, Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", Харьков, Украина, e-mail: grabovskiy@tmm-sapr.org.

Grabovskiy Andrey Volodimirovich – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Theory and Systems of Mechanisms and Machines Automated Design Department, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: grabovskiy@tmm-sapr.org;

Демина Наталья Анатольевна – к.т.н., доцент кафедры высшей математики и физики, Таврический Государственный агротехнологический университет, Мелитополь, Украина.

Demina Nataliya Anatoliyivna – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Higher Mathematics and Physic Department, Tavia State Agrotechnological University, Melitopol, Ukraine.

Пожалуйста ссылаетесь на эту статью следующим образом:

Ищенко, О. А. Формирование комплексных расчетных моделей элементов штампов для разделительных операций / **О. А. Ищенко, А. В. Ткачук, А. В. Грабовский, Н. А. Демина** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 12 (1184). – С. 23-30. – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.04.

Please cite this article as:

Ishchenko, O., Tkachuk, A., Grabovskiy, A., Demina, N. Formation of complex computable models of dies elements for shearing operations. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **12** (1184), 23-30, doi:10.20998/2413-4295.2016.12.04.

Будь ласка посилайтеся на цю статтю наступним чином:

Ищенко, О. А. Формування комплексних розрахункових моделей елементів штампів для розділових операцій / **О. А. Ищенко, Г. В. Ткачук, А. В. Грабовський, Н. А. Дьоміна** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серия: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 12 (1184). – С. 23-30. – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.04.

АНОТАЦІЯ. У статті описано новий підхід до формування розрахункових моделей для елементів розділових штампів. Запропоновано формувати комплексну модель, що враховує умови силового та кінематичного спряження базових плит, пакету та напрямних колонок. У моделях, що створені, враховано множинний контакт елементів штампів. Також забезпечено побудову параметричних моделей. Ці моделі дають змогу організувати багатоваріантні розрахунки напружено-деформованого стану. На основі аналізу результатів цих розрахунків визначаються раціональні проектно-технологічні параметри розділових штампів.

Ключові слова: напружено-деформований стан, розділовий штамп, базова плита, розрахункова модель, метод скінчених елементів

Поступила (received) 12.02.2016