

# ДИНАМІКА ТА МІЦНІСТЬ МАШИН

УДК 621.98.073: 539.3

*Ищенко О.А., Демина Н.А., канд. техн. наук; Сердюк Ю.Д.,  
Ткачук А.В., канд. техн. наук; Танченко А.Ю.*

## НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ ШТАМПОВ ПРИ ВАРЬИРОВАНИИ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ

**Введение.** Основной направленностью проводимых исследований элементов разделительных штампов, в частности, матриц, является разработка новых подходов, моделей и алгоритмов, и, в конечном итоге, – комплекса численных моделей для анализа напряженно-деформированного состояния (НДС) элементов штамповой оснастки (ЭШО) с учетом контактного взаимодействия [1-3]. Основным результатом работы является инструмент численных расчетов параметров оснастки, встраиваемый в системы их автоматизированного проектирования. В ходе исследований, описанных в [1-3], был решен ряд конкретных задач, которые могут послужить основой для разработки некоторых рекомендаций при обосновании параметров элементов разделительных штампов. Однако полного решения эта задача не получила. В то же время для уточнения решения по определению напряженно-деформированного состояния элементов штампов требуется анализ влияния на него граничных условий в зоне подошвы матриц. Это является предметом исследований, описанных в данной статье.

**Постановка задачи.** Достаточно актуальным является вопрос баланса перемещений режущих кромок пуансонов и матриц и тесно связанная с ним задача назначения технологического зазора между ними. В ходе исследований установлено, что в общий баланс перемещений в зоне режущих кромок оказывают больший вклад перемещения точек матрицы, а не пуансона. При этом для того или иного набора конструктивных параметров можно построить базу данных, отражающую влияние варьируемых параметров на изменение радиального зазора между режущими кромками матрицы и номинальным геометрическим положением в ненагруженном состоянии. Пример графического представления результатов подобных исследований – на рис. 1. Здесь показано изменение радиального номинального технологического зазора вследствие упругого деформирования кромки матрицы  $\Delta_r$ . Видно, что при установлении зазора  $\Delta > 30 \div 50$  мкм влияние фактора  $\Delta_r$  незначительно. Однако при величине зазора  $\Delta \leq 10$  мкм данный фактор становится определяющим. Если же рассматривать беззазорную штамповку, то в диапазоне высот матрицы от 10 мм до 130 мм наблюдается эффект формирования „отрицательного” технологического зазора уже в ходе технологической операции вследствие упругого деформирования. Это на практике может

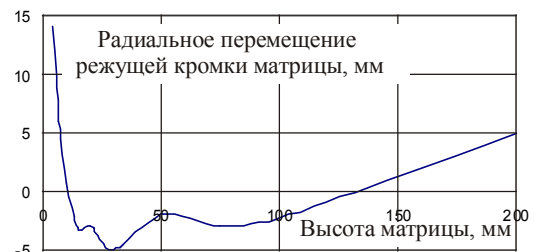


Рис. 1. Баланс перемещений с учетом радиального деформирования кромки матрицы диаметром 30 мм

привести к разрушению матрицы пуансоном уже на первых операциях пробивки – вырубки (или – кромок пуансона).

Что касается напряженного состояния пуансонов, матриц и пуансон-матриц, то уровень максимальных эквивалентных напряжений, как следует из [1-3], наблюдается в зоне режущих кромок и, как установлено, прямо пропорционален напряжению среза штампуемого материала:  $\sigma_3^{\max} = k_3 \sigma_{cp}$ , где  $k_3$  – коэффициент, определяемый в ходе расчетов напряженно-деформированного состояния.

Тогда вопрос обеспечения прочности пуансонов, матриц и пуансон-матриц при единичном или мелкосерийном производстве определяется условием  $k_3 \sigma_{cp} \leq \sigma_T / k$ , где  $\sigma_T$  – предел текучести материала инструмента;  $k$  – коэффициент запаса.

В то же время при крупносерийном и массовом производстве требуется выполнение условия  $k_3 \sigma_{cp} \leq \sigma_0 / k$ , где  $\sigma_0$  – коэффициент выносливости материала инструмента при импульсном многоцикловом нагружении.

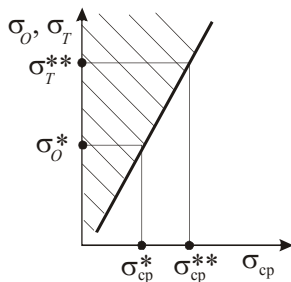


Рис. 2. К выбору свойств материала режущего инструмента

Тогда по графику на рис. 2 можно или решать задачу обоснования свойств материала пуансонов, матриц и пуансон-матриц, или при выбранном материале определять, для какого штампуемого материала можно применять данную оснастку (в т.ч. для единичного –  $\sigma_{cp}^*$  или крупносерийного –  $\sigma_{cp}^{**}$  производства соответственно).

В то же время приведенные примеры являются достаточно иллюстративными, поскольку только обозначают *тенденции* принятых проектных решений. Основное внимание следует уделять формированию электронных баз данных по результатам многовариантных расчетов НДС элементов штамповой оснастки с учетом контактного взаимодействия. Они являются основой при принятии проектных решений.

Рекомендации по применению созданных моделей к проектированию элементов разделительных штампов и выбору технологических параметров штамповки изложены в работах [1-3] и в основном отображают анализ НДС в зоне режущих кромок.

Отдельного рассмотрения требует вопрос влияния граничных условий в зоне подошвы матрицы на ее напряженно-деформированное состояние. Рассмотрены случаи жесткого закрепления подошвы, контакта без трения и с различными коэффициентами сухого трения (рис. 3).

**Результаты расчета напряженно-деформированного состояния матриц при помощи метода конечных элементов.** На рис. 4-9 приведены картины, характеризующие влияние на напряженно-деформированное состояние точек матрицы граничных условий на подошве. Видно, что ограниченные условия влияют на поведение матрицы только в зоне самой подошвы. В остальной части это влияние мало или пренебрежимо. В связи с этим можно заключить, что при проектировании штампа способ закрепления матриц может выбираться в основном из условий сохранения технологического зазора, а не стойкости матриц.

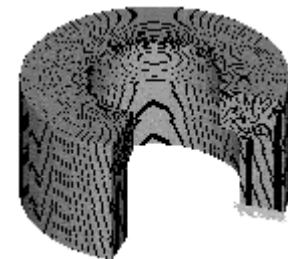
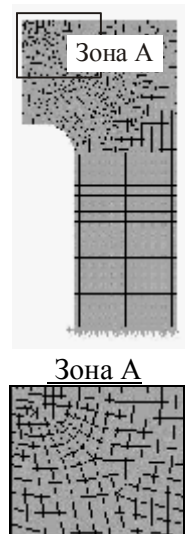


Рис.3. Расчетная схема матрицы разделительного штампа в виде тела вращения

**Заключение.** В статье описано решение частной, но очень важной задачи обоснования расчетных схем при исследовании напряженно-деформированного состояния матриц разделительных штампов. Действительно, конструктивно матрицы по-разному могут крепиться в разделительных штампах. Это влияет на граничные условия, реализуемые на их подошве.

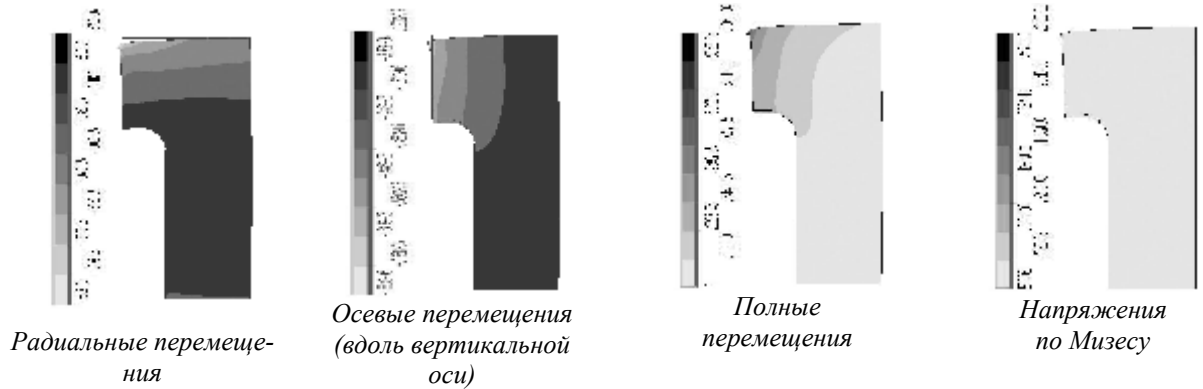


Рис. 4. Картины распределения компонент напряженно-деформированного состояния матрицы при различных видах граничных условий на ее подошве: случай жесткого закрепления

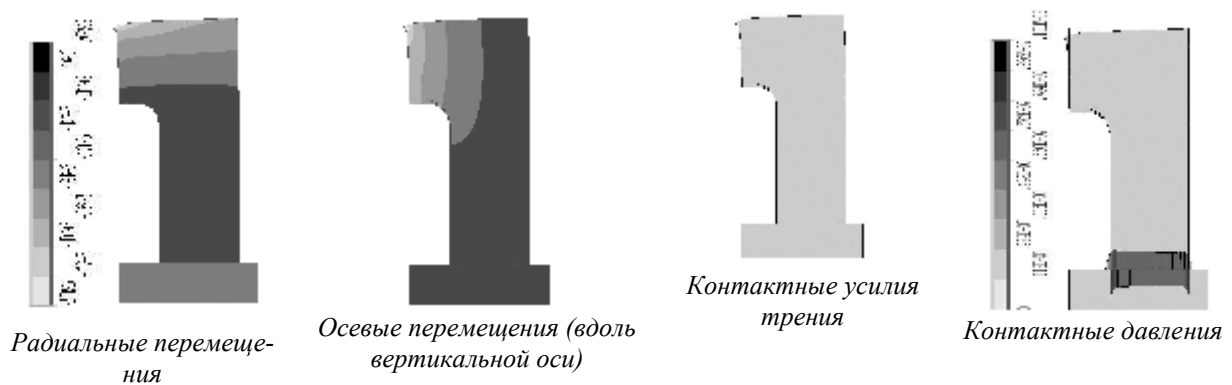


Рис. 5. Картины распределения компонент напряженно-деформированного состояния матрицы при различных видах граничных условий на ее подошве: случай свободного опирания

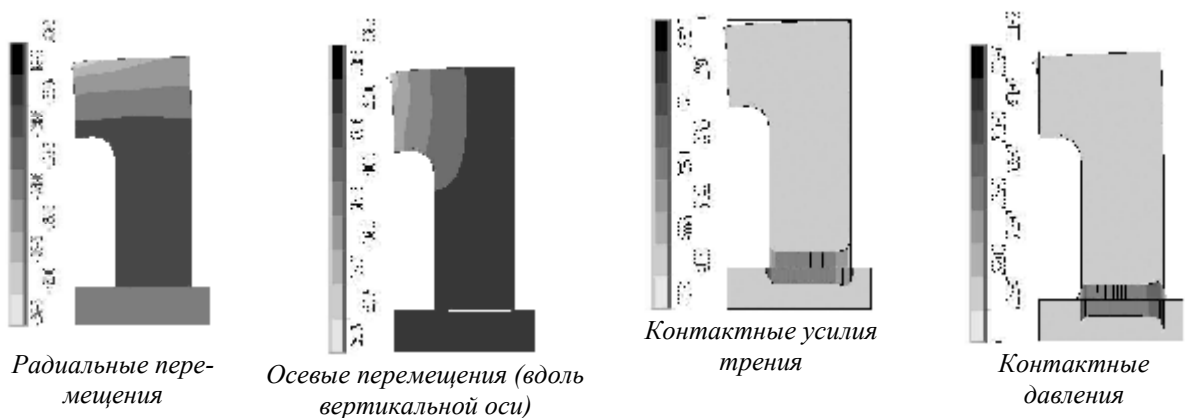


Рис. 6. Картины распределения компонент напряженно-деформированного состояния матрицы при различных видах граничных условий на ее подошве: случай сухого трения с коэффициентом  $k = 0.05$

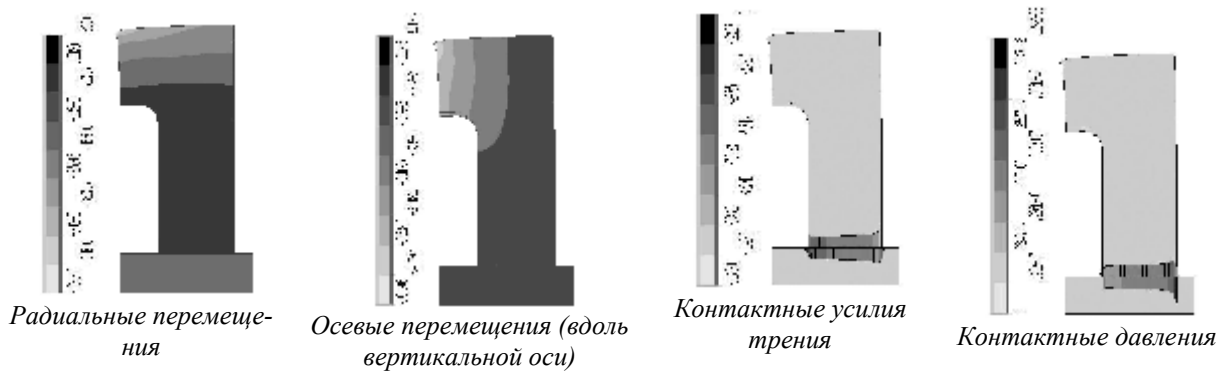


Рис. 7. Картины распределения компонент напряженно-деформированного состояния матрицы при различных видах граничных условий на ее подошве: случай сухого трения с коэффициентом  $k = 0.1$

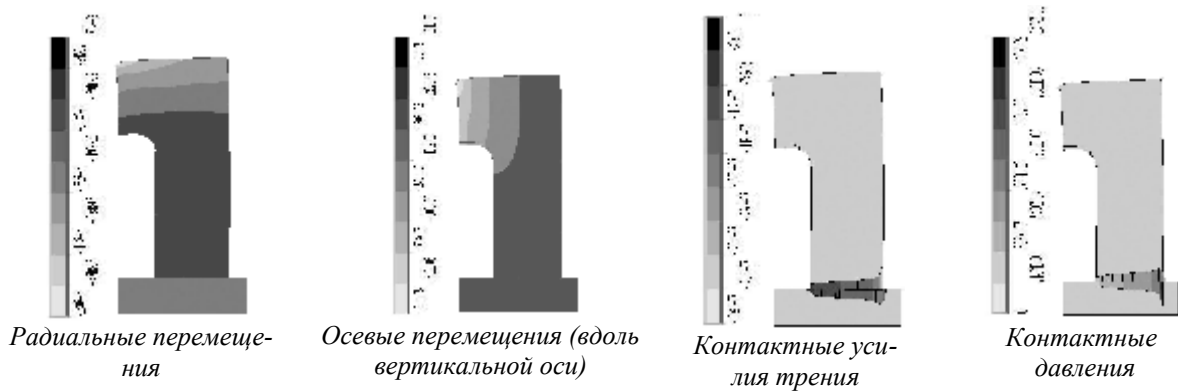


Рис. 8. Картины распределения компонент напряженно-деформированного состояния матрицы при различных видах граничных условий на ее подошве: случай сухого трения с коэффициентом  $k = 0.2$

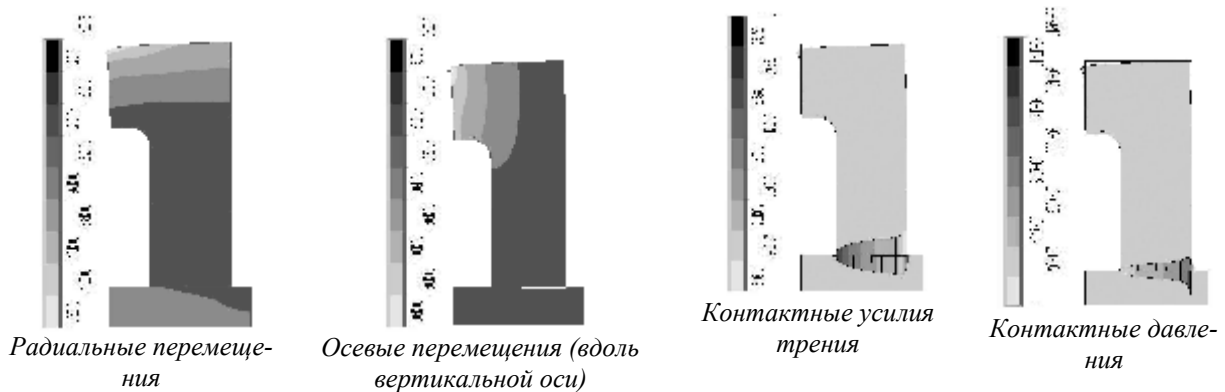


Рис. 9. Картины распределения компонент напряженно-деформированного состояния матрицы при различных видах граничных условий на ее подошве: случай сухого трения с коэффициентом  $k = 0.3$

Однако, как было показано в проведенных исследованиях, характер опирания в этой области слабо влияет на напряженно-деформированное состояние в остальных частях матриц средней высоты. Например, для случая жесткого закрепления радиальные перемещения кромки матрицы – 5,34 мкм, для свободного опирания без трения – 5,48 мкм, для контакта с коэффициентом сухого трения  $k = 0,3$  – 5,38 мкм. Для максимальных эквивалентных напряжений по Мизесу отличие – в долях процента. Видимые отличия наблюдаются только в распределении контактных напряжений и компонент НДС непосредственно в области подошвы матрицы (см. рис. 6-9). В то же время уро-

вень напружений в этой зоне невысок, а перемещения точек подошвы не оказывают существенного влияния на баланс перемещений в зоне режущих кромок. Т.о., можно заключить, что для матриц средней высоты вид граничных условий в районе подошвы слабо влияет на прочностные и жесткостные характеристики матриц, оказывающие заметное влияние на процесс разделения штампуемого материала, а также на стойкость инструмента.

В связи с установленными в процессе численных расчетов особенностями можно распространить все характерные закономерности напряженно-деформированного состояния элементов разделительных штампов, в частности, матриц, на различные виды их закрепления при формировании рекомендаций по их проектированию и эксплуатации.

В дальнейших исследованиях планируется определить влияние условий закрепления и опирания пуансонов, пуансон-матриц и базовых плит штампов на их напряженно-деформированное состояние.

**Литература:** 1. 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. 2. 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. 3. Демина Н.А. Экспериментальные исследования контактного взаимодействия матриц и пуансонов с листовой заготовкой / Н.А. Демина, Н.А. Ткачук, Ю.Д. Сердюк // Вісник НТУ „ХПІ”. – Харків: НТУ „ХПІ”. – 2011. –№ 22. – С.46-50.

**Bibliography (transliterated):** 1. Zajarnenko E.I. Razrabotka matematicheskikh modelej i raschety na prochnost' razdelitel'nyh perenalazhivaemyh shtampov: diss... doktora. tehn. nauk: spec. 01.02.06 i 05.03.05 / Zajarnenko Evgenij Ivanovich. – Har'kov, 1992. – 280 s. 2. D'omina N.A. Udoskonalennja metodiv rozrahunku elementiv shtampovogo osnawennja na osnovi analizu ih napruzhenno-deformovanogo stanu: avtoref. dis. na zdobuttja nauk. stupenja kand. tehn. nauk: spec. 05.03.05 „Procesi ta mashini obrobki tiskom” / N. A. D'omina – Harkiv, 2011. – 20 s. 3. Demina N.A. Jeksperimental'nye issledovanija kontaktного vzaimodejstvija matric i puansonov s listovoj zagotovkoj / N.A. Demina, N.A. Tkachuk, Ju.D. Serdjuk // Visnik NTU „HPI”. – Harkiv: NTU „HPI”. – 2011. –№ 22. – S.46-50.

Іщенко О.А., Дьоміна Н.А., Сердюк Ю.Д., Ткачук Г.В., Танченко А.Ю.

#### НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНІЙ СТАН ЕЛЕМЕНТІВ РОЗДІЛОВИХ ШТАМПІВ ПРИ ВАРІЮВАННІ ГРАНИЧНИХ УМОВ

У статті описано розв'язання задачі про аналіз залежності напружено-деформованого стану матриць розділових штампів від типу граничних умов на їх подошві. Установлено, що для матриць середньої висоти вплив граничних умов у цій зоні на напружено-деформований стан в області ріжучих крайок незначний. Це дає змогу формувати конструкцію для фіксації матриць із конструктивних міркувань, а не із міркувань міцності та жорсткості.

Ischenko O.A., Dyomina N.A., Serdyuk Y.D., Tkachuk H.V., Tanchenko A.Y.

#### STRESS-STRAIN STATE OF DIVIDING STAMPS ELEMENTS AT VARYING OF BOUNDARY CONDITIONS

The paper describes task solution of dependency analysis of stress-strain state of dividing stamps matrices from the type of boundary conditions on their soles. It is established that influence of boundary conditions is negligible for matrices of medium height in the zone of deformation in the cutting edges. This enables you to create a construction of matrices fixation by constructive considerations, not for reasons of strength and rigidity.