НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

Дьоміна Наталя Анатоліївна

УДК 621.98.073: 539.3

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ЕЛЕМЕНТІВ ШТАМПОВОГО ОСНАЩЕННЯ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ЇХ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ

Спеціальність 05.03.05 – процеси та машини обробки тиском

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2011

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі теорії і систем автоматизованого проектування механізмів і машин Національного технічного університету „Харківський політехнічний інститут” Міністерства освіти і науки України, м. Харків.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Ткачук Микола Анатолійович,
Національний технічний університет
„Харківський політехнічний інститут”, м. Харків,
завідувач кафедри теорії і систем
автоматизованого проектування механізмів і машин

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Тарасов Олександр Федорович,
Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ,
завідувач кафедри комп’ютерних
інформаційних технологій

доктор технічних наук, професор
Мовшович Олександр Якович,
Національний технічний університет
„Харківський політехнічний інститут”, м. Харків,
професор кафедри інтегрованих технологій
машинобудування ім. Семка М.Ф.

Захист відбудеться 16 березня 2011р. о 14^{00} годині на засіданні
спеціалізованої вченої ради Д 64.050.10 у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою:
61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету „Харківський політехнічний інститут” за адресою:
61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21

Автореферат розісланий «14» лютого 2011р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
Д 64.050.10 В.Г. Сукіасов

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Як показує світова практика, одним із пріоритетних напрямів сучасного машинобудування стає широке впровадження прогресивних технологічних процесів. Отримання деталей з листових матеріалів пластичною деформацією за допомогою високопродуктивного ковальсько-пресового устаткування є однією з найбільш прогресивних металозберігаючих технологій. Характерною для розвинених країн світу є тенденція подальшого розвитку листового штампування, що забезпечує зниження витрат на виробництво, підвищення продуктивності при забезпеченні необхідної якості виробів. Подальшого поширення набувають гнучкі виробничі системи, які дозволяють швидко перебудовуватися на нову продукцію з мінімальними витратами і високими результатами. При цьому листоштампувальне виробництво все більшою мірою має змішаний характер – від одиничного, дослідного до серійного, крупносерійного і масового.

У зв'язку з цим є досить важливим розробка конструкцій штампів, які були б ефективні за різної серійності продукції, що випускається. Для цього свого часу були запропоновані різні серії переналагоджуваних розділових штампів, а також розроблені методи їх розрахунку. Проте і запропоновані підходи, і побудовані математичні та числові моделі не враховують ряд важливих чинників. В першу чергу – це спільна контактна взаємодія елементів штампового оснащення (ЕШО). Цей чинник дуже важливий і для універсальних, і тим більше – для спеціалізованих штампів, у яких вимоги до міцності, жорсткості, точності і стійкості елементів конструкції мають бути ще більш строгими, ніж для спеціальних. Відповідно свого часу була розроблені аналітичні, напіваналітичні та числові методи для дослідження їх напружено-деформованого стану (НДС) з урахуванням контактної взаємодії, оскільки сам технологічний процес безпосередньо полягає у розділенні матеріалу за допомогою контакту ріжучих елементів штампу із заготовкою, а інші елементи штампу знаходяться у силовій контактній взаємодії, яка забезпечує передачу технологічних зусиль і рухів в оснащенні.

На даний час недостатньо сформований узагальнений підхід до розв'язання задачі про НДС елементів штампового оснащення з урахуванням контактної взаємодії. Тому така складова проблеми як удосконалення методів розрахунку ЕШО на основі аналізу напружено-деформованого стану з урахуванням контактної взаємодії на прикладі розділових штампів (РШ) складає актуальну науково-практичну задачу, що й визначило напрям дисертаційного дослідження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалася на кафедрі теорії і систем автоматизованого проектування механізмів і машин НТУ „ХПІ" згідно плану фундаментальних науково-дослідних робіт МОН України – „Розробка теоретичних основ комп'ютерних кластерних технологій і унікального програмно-апаратного комплексу для дослідження складних і надскладних механічних систем" (ДР № 0107U006813), а прикладні задачі розробки моделей для розрахунку параметрів штампового оснащення розв'язувалися в рамках договору про співпрацю між НТУ „ХПІ" і ВАТ „Головний спеціалізований конструкторсько-технологічний інститут" (ГСКТІ, м. Маріуполь).

Мета і завдання дослідження. *Метою роботи* є вдосконалення методів і моделей для розрахунку елементів штампового оснащення на основі визначення напружено-деформованого стану з урахуванням контактної взаємодії та розробка методології визначення раціональних параметрів елементів штампів.

Це передбачає, у свою чергу, розв'язання наступних завдань:

1. Аналіз та узагальнення методів і результатів дослідження напружено-деформованого стану елементів розділових штампів.

2. Розробка багаторівневої математичної моделі напружено-деформованого стану елементів розділових штампів з урахуванням контактної взаємодії.

3. Створення удосконалених числових моделей НДС елементів досліджуваних штампів для розділових операцій на основі запропонованої математичної моделі.

4. Розв'язання прикладних задач дослідження впливу конструктивних і технологічних параметрів на міцність і жорсткість елементів штампового оснащення, аналіз і узагальнення виявлених фізичних особливостей у розподілі компонент НДС, а також розробка науково обґрунтованих рекомендацій з вибору конструктивних і технологічних параметрів штампів.

5. Експериментальні дослідження НДС і контактної взаємодії елементів розділових штампів і впровадження результатів досліджень у виробництво.

Об'єкт досліджень: процес контактної взаємодії та напружено-деформований стан елементів штампового оснащення при вирубці-пробивці.

Предмет дослідження: вплив конструктивних і технологічних параметрів розділових штампів, товщини та розмірів деталі, а також властивостей матеріалу, що штампується, на величини і закони розподілу контактного тиску і компонент напружено-деформованого стану.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених завдань залучалися методи теорії обробки металів тиском, теорії пружності, теорії варіаційних нерівностей, метод скінченних елементів (МСЕ), розрахунково-експериментальний метод (РЕМ) визначення законів навантаження елементів штампового оснащення, теорія тривимірного геометричного параметричного твердотільного і поверхневого моделювання. За їх допомогою на основі узагальненого параметричного опису будуються геометричні моделі елементів розділових штампів, математичні і числові моделі для опису технологічних процесів, досліджується напружено-деформований стан і контактні навантаження на елементи штампів. Числові розрахунки проводилися із залученням ліцензійних комп'ютерних систем ANSYS (НТУ „ХПІ", 2010 р. від фірми EMT U, м. Київ) та SolidWorks (№ SEN0213 18/02-2006, серійний ліцензійний № 9710 0044 1189 7468).

Наукова новизна одержаних результатів полягає у вдосконаленні методів і моделей для розрахунку конструктивних і технологічних параметрів розділових штампів на основі аналізу напружено-деформованого стану з урахуванням контактної взаємодії з листовим матеріалом.

Вперше установлені залежності компонент НДС елементів штампів від конструктивних і технологічних параметрів, що може служити основою для науково обґрунтованих рекомендацій при проектуванні розділових штампів.

Удосконалена математична модель напружено-деформованого стану елементів штампового оснащення з урахуванням контактної взаємодії із заготовкою, що відрізняється тим, що процес штампування моделюється з використанням не однієї, а комплексу взаємозв'язаних моделей різного ступеня складності.

Для обґрунтування точності і адекватності створюваних числових моделей ЕШО залучено та удосконалено розрахунково-експериментальний підхід, що полягає в порівнянні не одиничних (як при традиційному підході), а множини результатів числових досліджень відповідно з множиною результатів експериментальних досліджень.

Отримав подальший розвиток метод параметричного опису складних механічних систем, що полягає в тому, що створювані числові моделі штампів визначаються набором параметрів, які містять не лише традиційні параметри, але і форму і розміри взаємодіючих тіл, конструктивні і технологічні параметри, властивості матеріалів, а також властивості їх скінченно-елементних моделей .

Практичне значення одержаних результатів. Для машинобудівних підприємств України, зокрема для інструментального і штамповочного виробництва, мають практичне значення створені та описані в дисертації моделі для визначення напружено-деформованого стану ЕШО з урахуванням контактної взаємодії. Вони дають змогу в найкоротші терміни промоделювати НДС при різних наборах параметрів з метою обґрунтування раціональних величин. Зокрема, розроблений програмно-модельний комплекс інтегрований у спеціалізовані системи автоматизованого проектування штампів для розділових операцій. Це дозволяє при створенні штампового оснащення розробляти рекомендації по проектуванню працездатних, довговічних, міцних розділових штампів для холоднолистового штампування.

Основні результати досліджень, рекомендації по проектуванню і виготовленню упроваджені в практику проектування і виготовлення розділових штампів у ВАТ „ ГСКТІ” і ВАТ „Азовмаш” (м. Маріуполь), ВАТ „Мелітопольський верстатобудівний завод ім.23 Жовтня” (м. Мелітополь), ТОВ „Технічний центр „Автопривод” (м. Мелітополь), а також у науково-дослідницький процес в НТУ „ХПІ” з відповідними актами впровадження. Важливою особливістю запропонованих підходів є можливість їх використання для аналізу і синтезу елементів штампів різного конструктивного виконання і призначення.

Особистий внесок здобувача. Усі положення дисертації, винесені на захист, розроблені здобувачем самостійно. Зокрема, проведені наступні дослідження: аналіз і узагальнення комплексу даних експериментальних досліджень контактних навантажень, напружень і деформацій ЕШО; розробка на основі параметричного підходу комплексної математичної моделі для дослідження процесів контактної взаємодії; розробка методів, моделей і алгоритмів для аналізу НДС і проведення числових досліджень при розв’язанні ряду прикладних задач розрахунків елементів штампів; розробка рекомендацій по використанню створеного програмно-модельного комплексу в практиці проектування і дослідження розділових штампів. Загальна постановка задачі та обговорення результатів дисертаційних досліджень здійснені з науковим керівником.

Апробація результатів дисертації. Основні результати і положення роботи доповідалися на XIV-XVIII міжнародних науково-практичних конференціях (МНТК) „Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров’я” (м. Харків, 2006-2010 рр.); 2-ій МНТК „Дні науки-2006” (м. Дніпропетровськ, 2006 р.); на 13-ій МНТК „Фізичні і комп’ютерні технології” (м. Харків, 2007 р.); VIII міжнародному симпозіумі українських інженерів-механіків (м. Львів, 2007 р.); МНТК „Машинобудування і техносфера XXI століття” (м. Севастополь, 2007 р.); МНТК „Актуальні проблеми механіки суцільного середовища і міцності конструкцій” (м. Дніпропетровськ, 2007 р.); МНТК „Університетська наука-2010” (м. Маріуполь, 2010 р.); МНТК „Нові наукоємкі технології, устаткування і оснащення для обробки матеріалів тиском” (м. Краматорськ, 2010 р.).

Публікації. Основні наукові положення і результати дослідження по темі дисертаційної роботи опубліковані у 18 наукових працях, серед яких 16 у наукових фахових виданнях ВАК України.

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, 4-х розділів, висновків, додатків, списку використаних літературних джерел. Повний обсяг дисертації складає 187 сторінок, у тому числі 73 рисунки і 6 таблиць у тексті, 41 рисунок і 5 таблиць окремо на 18 сторінках, 5 додатків на 20 сторінках, 199 найменувань використаних літературних джерел на 20 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У *вступі* обґрунтована актуальність і важливість вирішуваного науково-практичного завдання, віддзеркалені кваліфікаційні ознаки роботи, викладені відомості про публікації і апробацію дисертаційної роботи.

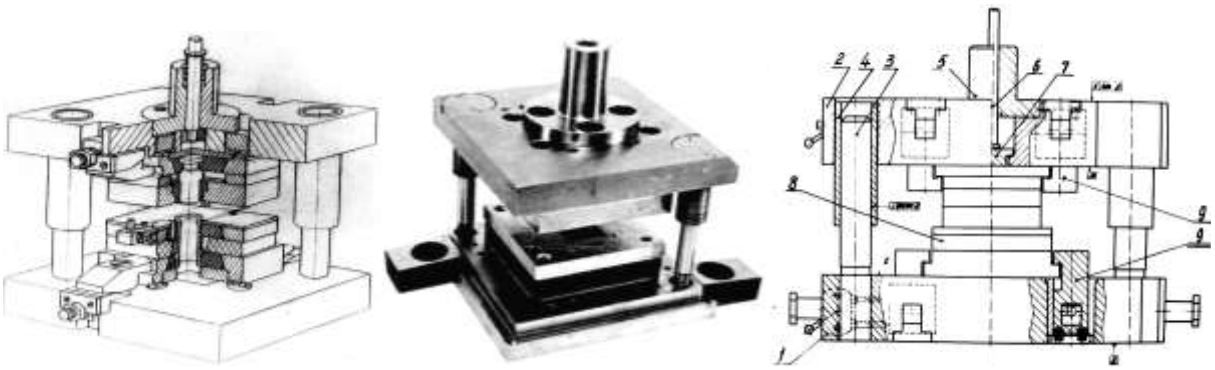
У *першому розділі* проведений аналіз існуючих методів дослідження контактної взаємодії елементів штампового оснащення. Накопичений величезний масив результатів експериментальних, аналітичних і числових досліджень НДС елементів штампового оснащення, в т.ч. окремі дослідження з урахуванням контактної взаємодії, служать основою для створення узагальнених моделей і підходів. Огляд традиційних технологій дослідження НДС елементів штампів наведений в роботах Романовського В.П., Скворцова Г.Д., Попова Є.О., Алієва І.С., Заярненко Є.І., Тарасова О.Ф., Мовшовича О.Я., Євстратова В.О. та інших авторів.

Як показав аналіз публікацій, на даний час недостатньо розроблений узагальнений підхід до розв'язання задачі про НДС штампів з урахуванням контактної взаємодії. Традиційні моделі не повною мірою враховують особливості реальної геометричної форми взаємодіючих тіл, спрощено моделюють їх контактну взаємодію і не дають повної і адекватної картини НДС. Недостатня узгодженість числових і експериментальних моделей і результатів. Потребує розвитку механізм проведення багатоваріантних досліджень в автоматизованому режимі.

Одним з інструментів числових методів дослідження НДС з урахуванням контактної взаємодії є метод скінченних елементів. Але при його застосуванні традиційні моделі не повністю враховують особливості форми та умови взаємодії елементів штампового оснащення.

Розділ завершує формулювання задач дисертаційних досліджень.

У *розділі 2* розглядається методологія дослідження НДС елементів штампового оснащення з урахуванням контактної взаємодії на прикладі розділових переналагоджуваних штампів. Аналіз конструкцій, технологічних параметрів і умов експлуатації (рис. 1, табл.1) дозволяє зробити висновок, що найбільш навантаженими і відповідальними елементами штампів є пуансони, матриці, пуансон-матриці і базові плити. Виявлені основні недоліки використання моделей для розрахунку цих елементів, основний з яких – роздільний розгляд НДС без урахування контактної взаємодії.



УСПШ **СПШ** **УПШ-М**

Рис.1. Конструкція та взаємодія елементів переналагоджуваних розділових штампів

Таблиця 1

Технічні характеристики СПШ

Найменування показників	Типорозміри				
	1	2	3	4	5
Габаритні розміри блоку, мм	160х160	220х220	280х320	360х300	430х560
Закрита висота блоку, мм	110	150	195	230	275
Зусилля преса, кН	25-100	100-250	400-630	630-1000	1000-2500
Габаритні розміри пакету, мм	100х100	125х125	180х180	320х320	360х360
Товщина заготовки, до мм	4,0	5,0	5,0	6,0	6,0

Для усунення відмічених недоліків запропоновано застосувати до побудови розрахункових моделей ЕШО системний підхід, що передбачає розглядати всі досліджувані конструкції і деталі як елементи багаторівневої технологічної системи. Верхнім рівнем є система „прес – штамп", підсистемою – „штамп – ріжучі елементи – заготовка", нижніми елементами – пуансони, матриці, пуансон-матриці і базові плити у взаємодії зі штампованою деталлю (рис. 2). Відповідно, і до самого процесу побудови розрахункових моделей елементів штампового оснащення пропонується застосувати розширений системний підхід, що базується на методі узагальненого параметричного опису складних механічних систем і адаптований в даній роботі до дослідження елементів РШ (найнижчий рівень, див. рис.2).

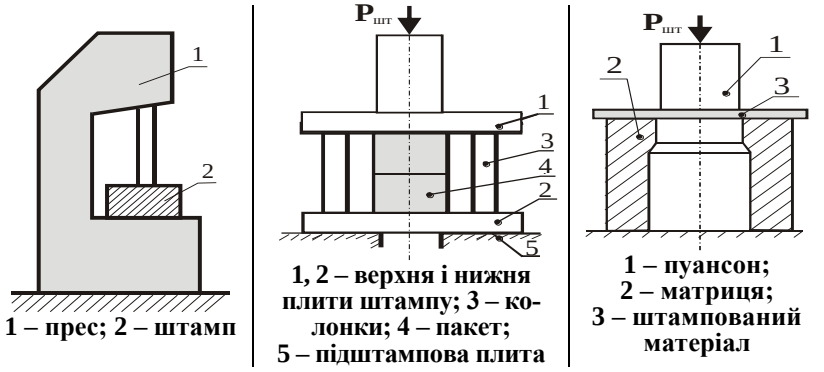


Рис.2. Елементи технологічної системи холоднолистового штампування: верхній рівень – прес; середній рівень – штамп; нижній рівень – ріжучі елементи

Пропонується технологія досліджень, яка представлена на рис. 3. Вона носить комплексний характер, тобто спирається і на експериментальні дані, і на аналітичні формулювання, і на подальшу числову реалізацію на основі МСЕ.

Математичне моделювання НДС елементів штампового оснащення відповідно із пропонованою технологією досліджень передбачає 3 варіанти підмоделей комплексної математичної моделі НДС.

Модель рівня **I.** Нижній рівень представляє лінійна модель, в якій передбачається відомими з експерименту і заданими закони розподілу контактних зусиль взаємодії зі штампованим матеріалом. У цьому випадку задача зводиться до тривимірної задачі теорії пружності для тіл із заданими площадками навантаження і відомими законами розподілу зусиль, причому запропонована нова форма запису граничних умов в термінах „кромкових" координат (рис.4, де Г – ріжуча кромка; $q(r')$ – основне зусилля штампування; q_n, q_τ – зусилля обтискання і тертя):

$$L(u)\big|_{\Omega} = 0; \qquad (1) \qquad \sigma_{z'}\big|_{r'<t'} = q(r'); \sigma_{r'}\big|_{z'<a'} = q_n(r'); \tau_{r'z'}\big|_{z'<a'} = q_\tau(r'); \qquad (2)$$

$$\int_{(S)} (q_n + q_\tau)\, ds = P_{\text{шт}}; \qquad (3) \qquad P_{\text{шт}} = L_{\text{шт}}\, \sigma_{\text{ср}}\, t\, k_{\text{ш}}. \qquad (4)$$

У рівняннях (1-4) L – оператор крайової задачі теорії пружності відносно переміщень *u*, що діє в області Ω, $P_{\text{шт}}$ – інтегральне зусилля штампування, розподілене по периметру $l_{\text{шт}}$ ріжучої кромки інструменту, $t, \sigma_{\text{ср}}, k_{\text{ш}}$ – товщина, опір зрізу штампованого матеріалу і коефіцієнт затупления ріжучих кромок відповідно.

Рис. 3. Загальна структура досліджень

Модель рівня **II**. Основний, найбільш помітний недолік математичної моделі I полягає у роздільному розгляді ріжучих елементів штампів (тобто окремо один від одного і від основного елементу технологічної системи, що їх зв’язує, – від штампованого матеріалу). На рис. 5 (де $\Omega_{\text{ш}}$ – область простору, займана штампованим матеріалом; S_c – зона можливої контактної взаємодії; ν', $\nu_{\text{ш}}$ – нормалі до поверхонь ріжучого елементу і заготовки відповідно) наведена схема такої взаємодії, віднесена до локальних „кромкових” координат. Тоді, окрім системи рівнянь, доповненої кінематичними граничними умовами на частинах поверхні S_u, додаються наступні умови на частини поверхні можливого контакту:

$$u_{\nu'} + u_{\nu_{\text{ш}}} \le \delta_c, \qquad (5)$$

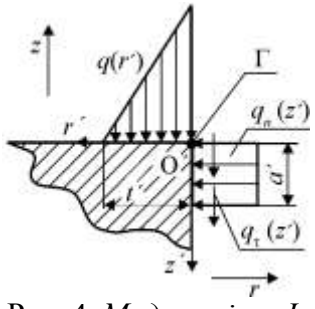


Рис. 4. *Модель рівня I.* Розрахункові схеми матриці, пуансона і пуансон-матриці та система „кромкових” координат *O′r′z′*

де $u_{\nu'}$, $u_{\nu_{\text{ш}}}$ – переміщення точок ріжучого елементу і заготовки по нормалях до поверхонь; δ_c – початковий зазор в сполученні (в даному випадку – нульовий).

При розв’язанні нелінійної задачі отримуємо не постульований заздалегідь, а шуканий закон розподілу контактних навантажень як ще одне невідоме одержаної задачі. При цьому як параметр навантаження можна узяти або величину зусилля штампування, або величину ходу повзуна преса з деякої нульової точки, і тоді

$$\int_{(S_c)} q_c\, ds = P_{\text{шт}}, \qquad (6) \qquad u\big|_{S_u^{\text{п}}} = \Delta. \qquad (7)$$

Співвідношення (6) задає силове навантаження, а (7) – кінематичне.

Отримувана в результаті задача стає складнішою, істотно нелінійною, причому як додаткові невідомі виступають конфігурації контактних зон і розподіл контактних навантажень. Як вихідні параметри і дані виступають розподіли q_c і ширина контактного пояска. Сама задача аналізу стає не лише громіздкою, але і якісно складнішою, оскільки переводить задачу аналізу НДС в нелінійну постановку.

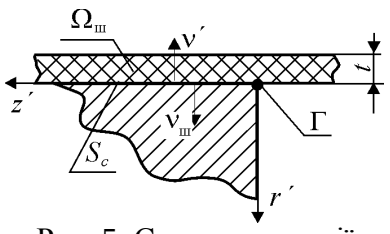


Рис. 5. Схема взаємодії ріжучого елементу штампу з штампованим матеріалом

Модель рівня **III.** Наступним якісним кроком у формуванні більш адекватної математичної моделі НДС елементів досліджуваної системи є усунення того факту, що при вивченні її поведінки ніяк не моделюється сам фізичний процес, який є основою технологічного процесу штампування, – процес розділення штампованого матеріалу. У цьому випадку переходимо від лінійного оператора L в (1) до нелінійного

$$L^{(n)}(\mathbf{u}, \Delta) = 0, \tag{8}$$

причому в ньому присутня нелінійність геометрична, фізична і структурна. Крім того, в операторові присутній також параметр процесу Δ (наприклад, хід повзуна преса), від якого залежить поточний стан навантаженості системи. Таким чином, записувана співвідношенням (8) модель виявляється найбільш складною зі всіх, проте при цьому очікувано більш адекватно описує поведінку досліджуваної системи.

Для моделювання НДС з урахуванням контактної взаємодії ЕШО (центральною в роботі є модель рівня **II**) використані методи теорії варіаційних нерівностей, описані в роботах А.С. Кравчука.

Нехай поверхні контактуючих тіл описуються рівняннями:

$\Psi(\mathbf{r}) = 0;\ \Psi'(\mathbf{r}') = 0;$ (9) $\Psi(\mathbf{r}) > 0$ при $\mathbf{r} \in \Omega$; $\Psi'(\mathbf{r}) < 0$ при $\mathbf{r} \in \Omega$, (10)

а положення довільної точки після деформації

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}_0 + u(\mathbf{r}_0). \tag{11}$$

Тоді (9) з урахуванням (11) представляється у вигляді

$$\Psi(\mathbf{r} - u(\mathbf{r}_0)) = 0. \tag{12}$$

З урахуванням представлення

$$\mathbf{r}_0' = \mathbf{r}_0 + t_0 \nabla \Psi(\mathbf{r}_0) \tag{13}$$

і лінеаризації умов непроникнення контактуючих тіл один в одного приходимо до умови контакту в загальному вигляді

$$u_{\nu N} + u'_{\nu N} \le \delta, \tag{14}$$

аналогічній (5). Таким чином, вихідна контактна задача (9)-(14) для тіл $1,2,\ldots\alpha$ зводиться до варіаційної нерівності

$$a(u,\delta u)\geq L(\delta u),\ \forall \delta u, v\in K, u\in K;\ a(u,v)=\sum_{\alpha} a^{\alpha}(u,v),\quad L(v)=\sum_{\alpha} L^{\alpha}(v), \qquad (15)$$

де $$\int_{\Omega^{\alpha}}\sigma_{ij}(u^{\alpha})\delta\varepsilon_{ij}d\Omega-\int_{\Omega^{\alpha}}\rho^{\alpha}F\cdot\delta u^{\alpha}d\Omega-\int_{S_{\alpha}^{\sigma}}P^{\alpha}\cdot\delta u^{\alpha}dS-\int_{S_c^{\alpha}}\sigma_{ij}(u^{\alpha})\cdot\delta u_i^{\alpha}\nu_j^{\alpha}dS\equiv$$

$$\equiv a^{\alpha}(u^{\alpha},\delta u^{\alpha})-L^{\alpha}(\delta u^{\alpha})-\int_{S_c^{\alpha}}\sigma_{ij}(u^{\alpha})\cdot\delta u_i^{\alpha}\nu_j^{\alpha}dS=0,\ \forall\delta u^{\alpha},\ \alpha=1,\ldots,M,$$

яка еквівалентна проблемі мінімізації функціонала повної внутрішньої енергії системи

$$J(v)=1/2a(v,v)-L(v)\to\min \qquad (16)$$

на підмножині K простору V:

$$K=\ v\big|v\in V;\ v_{\nu N}^{\alpha}+v_{\nu N}^{\beta}\leq\delta\ ,$$
$$V^{\alpha}=\{v\big|v=v(\mathbf{r}),\mathbf{r}\in\Omega^{\alpha};\ v\big|S_u^{\varepsilon}=0;\ v\in H^1(\Omega^{\alpha})\},\alpha=1,\ldots,M. \qquad (17)$$

Природно, що порівняно із загальною постановкою, вирішувана задача про визначення НДС елементів штампів з урахуванням їх контактної взаємодії володіє цілим рядом специфічних особливостей: велика частина контактуючих елементів штампів взаємодіють по поверхнях узгодженої геометрії, що істотно підсилює строгість прийнятих припущень про геометрію контактуючих поверхонь; прийняті моделі передбачають малі переміщення точок поверхонь взаємодіючих тіл, що обмежує область використання даної моделі першими етапами процесу штампування; незважаючи на те, що взаємодіючі поверхні контактуючих тіл – плоскі, область контакту і розподіл контактного тиску, як і раніше, є в даній задачі шуканими (як і в загальному випадку).

Формування комплексу моделей досліджуваних ЕШО здійснюється на основі їх єдиного параметричного опису, в т.ч. фізичної, математичної, геометричної, скінченно-елементної і експериментальної моделей. Запропонована адаптація методу узагальненого параметричного опису стосовно елементів штампового оснащення є замикаючою ланкою, що дозволяє об'єднати МСЕ, метод просторового геометричного моделювання, а також процедури і алгоритми синтезу ЕШО, в єдиній комплексній математичній моделі.

Запропонована також числова реалізація даного підходу на основі метода скінченних елементів. Перевага запропонованої технології на основі використання узагальненого параметричного підходу, створення спеціалізованих підсистем моделювання і аналізу елементів складних механічних систем і використання скороченого циклу досліджень – в підвищеній оперативності, збалансованості за критеріями точності моделей і часових витратах на розв'язання виникаючих задач аналізу і синтезу, а також у можливості роботи в автоматизованому режимі. Таким чином, створюється потужний і високоефективний інструмент для конструктора, технолога, дослідника.

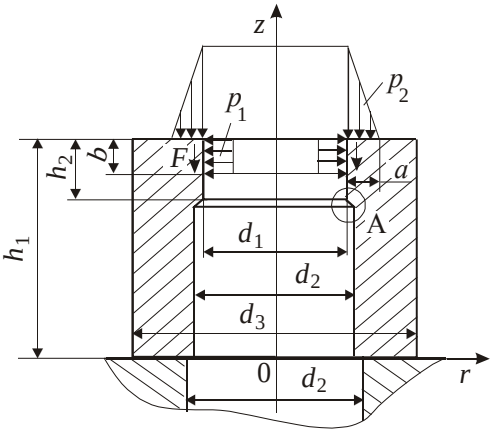


Рис. 6. Розрахункова схема та геометричні параметри матриці

Із застосуванням цих засобів у *розділі 3* проведено дослідження елементів штампового оснащення, зокрема, баланс переміщень і рівні напруженого стану в системі „пуансон – матриця – за-

готовка”.

Рівень **I.** Розрахункова схема матриці і результати приведені на рис. 6, 7. Дослідження НДС матриць служить основою для наступних висновків: 1) домінуючими напруженнями в досліджених матрицях СШ різної висоти є осьові – σ_z; 2) максимальне напруження має однаковий рівень незалежно від висоти і товщини стінки матриці; 3) деформований стан матриць істотно залежить від їх висоти. При цьому умовно можна виділити матриці: низькі, середньої висоти

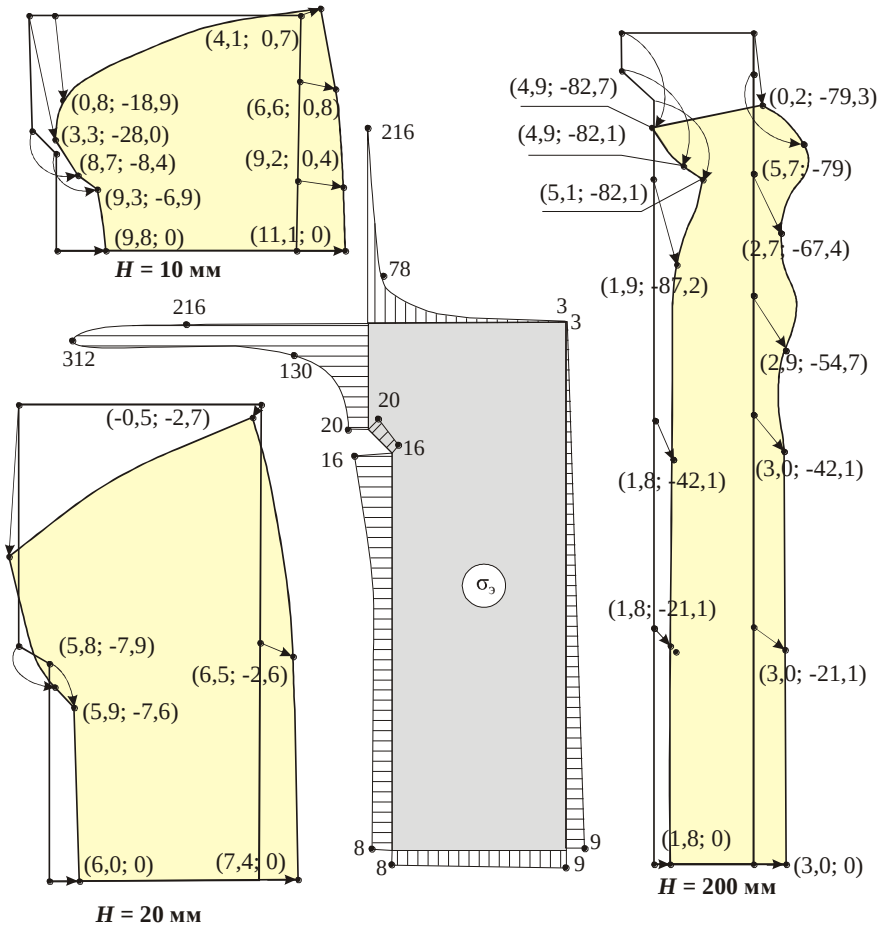


Рис. 7. Деформований стан та епюри еквівалентних напружень у матриці РШ

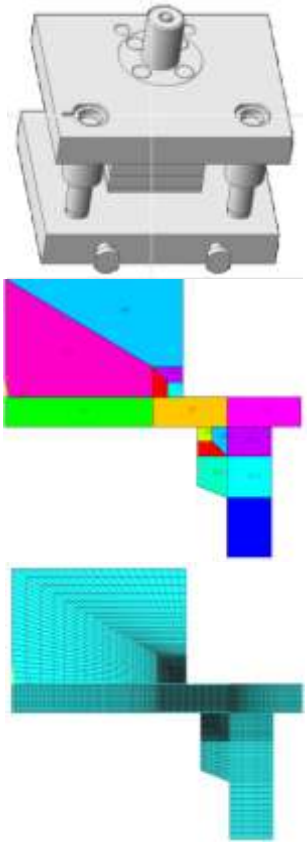


Рис. 8. Геометрична модель штампа, геометрична та СЕ моделі системи „пуансон – заготовка – матриця”

($d/3 < H < 2d$, $d = d_1$ – внутрішній діаметр матриці) та високі.

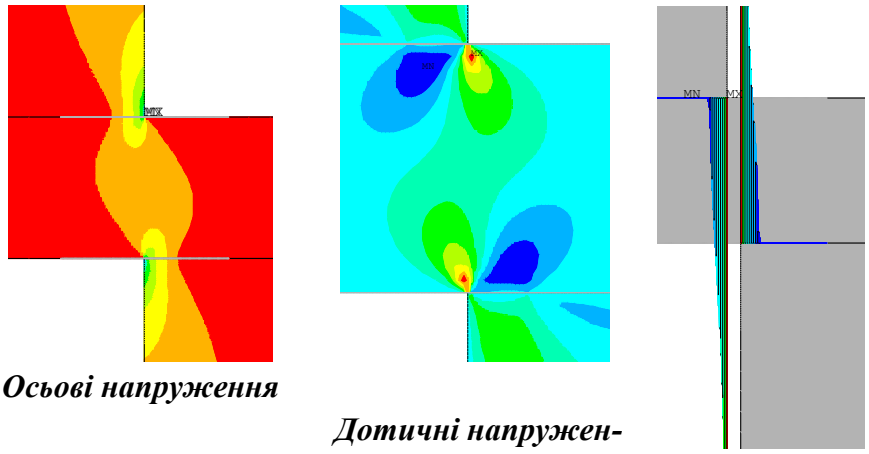
Також досліджено напружено-деформова-ний стан пуансон-матриць і пуансонів. Важливою особливістю їх НДС є наявність трьох характерних зон: 1) I – область безпосередньої околиці ріжучих кромок: у ній спостерігається різкий сплеск всіх компонент тензора напружень; 2) II – область, віддалена від ріжучих кромок на відстань, що перевищує товщину штампованого матеріалу, але менше товщини стінки матриці, є перехідною між областями I і III; 3) III – область, віддалена від ріжучих кромок: НДС визначається інтегральними силовими чинниками.

Рівень **II.** З використанням описаної в розд. 3 моделі рівня **II** проведені дослідження в осесиметричній постановці НДС елементів системи „матриця – матеріал – пуансон” з урахуванням контакту (рис. 8).

В ході багатоваріантного розрахунку варіюються геометричні і технологічні параметри штампів і контролюється ряд скалярних параметрів (напруження, переміщення і контак-тний тиск). Дані величини визначаються за допомогою спеціаль-ного макросу на мові APDL ANSYS.

На рис. 9, 10 представлені картини, що характеризують НДС в ріжучих елементах штампів і в

штампованому матеріалі, а також характерні картини розподілу компонент контактного тиску в досліджуваній системі.



Осьові напруження ***Дотичні напруження*** ***Контактний тиск***

Рис. 9. Типові розподіли компонент НДС у досліджуваній системі

Аналіз отриманих розподілів і параметричних залежностей контрольованих величин від варійованих параметрів штампів дозволяє зробити наступні основні висновки: контакт зі штампованим матеріалом реалізується уздовж ріжучих кромок по ширині $0.1 \div 0.5t$ (t – товщина штампованого матеріалу); контактний тиск між інструментом і заготовкою має дзвоноподібний з максимумом на кромці вигляд, наведений на рис. 10; розміри зони контакту і контактного тиску слабо залежать від величини прикладеного навантаження (рис. 11); із зменшенням товщини заготовки та із зростанням величини відносного зазору контактний тиск і еквівалентні напруження в заготовці зростають; збільшення товщини заготовки призводить до збільшення відносної ширини зони контакту (див. рис. 11); зменшення технологічного зазору між матрицею і пуансоном може досягати значних величин, сумірних із самим зазором, що необхідно враховувати при призначенні номінального зазору в процесі проектування того чи іншого конкретного штампу.

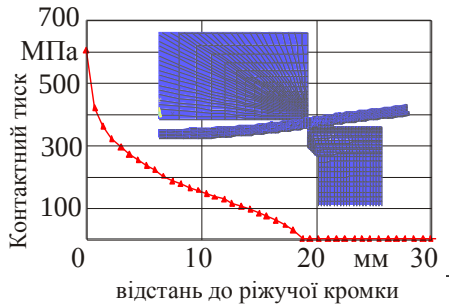
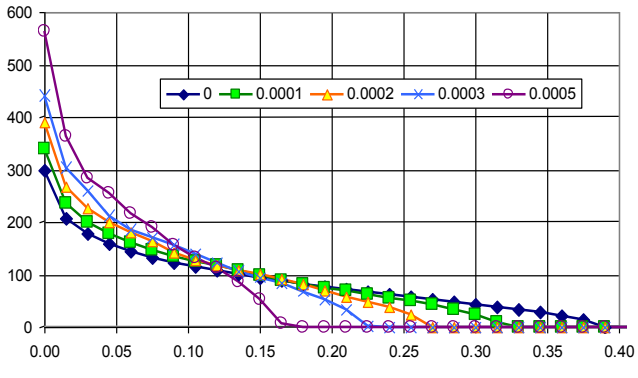
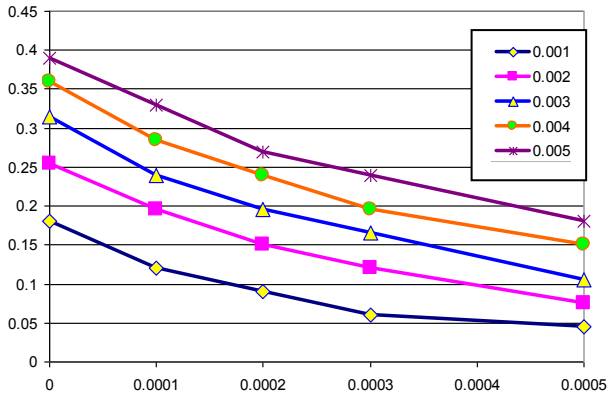


Рис. 10. Типові розподіли переміщень і контактного тиску залежно від відстані до ріжучої кромки



Розподіл контактного тиску (МПа) для різних величин зазору (м)



Залежність відносної ширини контакту від величини зазору (м) для 5-ти товщини (м)

Рис. 11. Розподіли контактного тиску при варіюванні конструктивних і технологічних параметрів

Аналіз одержаних за допомогою моделі рівня **II** результатів дозволяє зробити наступні

висновки: 1) у цілому запропонований підхід і розроблений комплекс моделей є досить ефективними працездатними інструментами для числового моделювання НДС елементів штампового оснащення; 2) отримані характерні результати в цілому корелюють з результатами, описаними в інших роботах (зокрема, це відноситься до ширини зони контактної взаємодії, характеру розподілу контактного напруження, залежності ширини зони контакту від товщини штампованого матеріалу і технологічного зазору між матрицею і пуансоном).

Для розв'язання виникаючої складної задачі дослідження напружено-деформованого стану ЕШО на рівні **III** запропоновано залучити узагальнений параметричний підхід, а як розрахунковий інструмент – програмний продукт LS-DYNA. Спеціалізовані програмні модулі реалізовані в середовищі мови Delphi і за допомогою мови APDL в середовищі пакету ANSYS. Поля напружень на деформованій геометрії елементів технологічної системи листового штампування при збільшенні ходу повзуна преса показані на рис. 12.

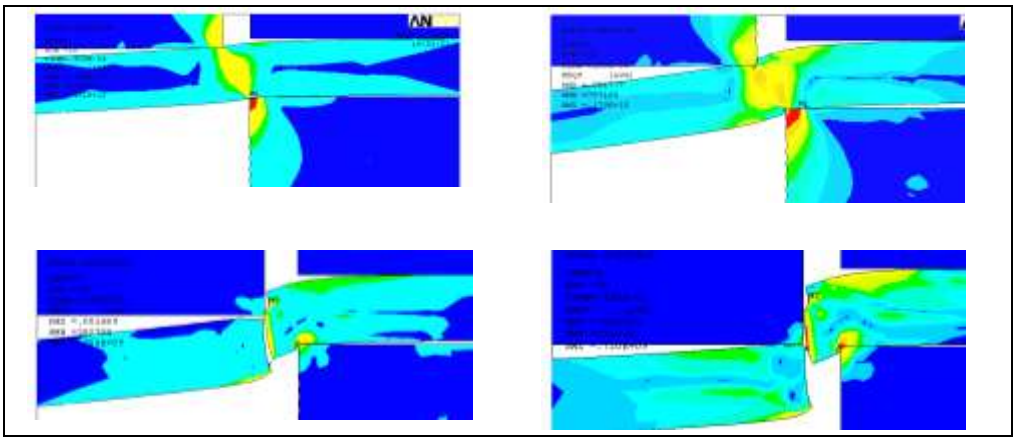
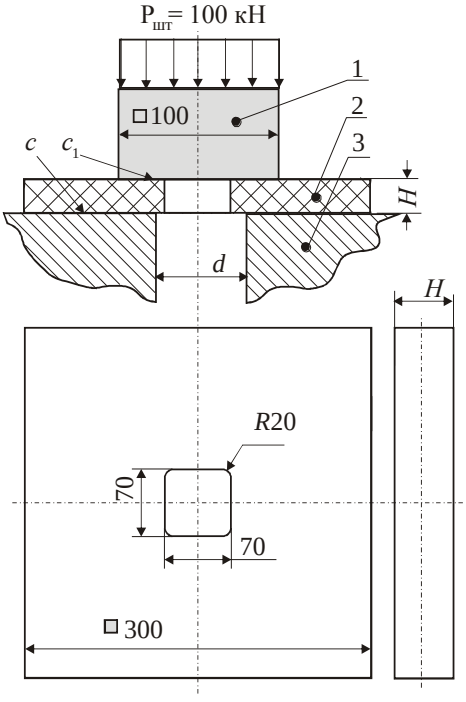
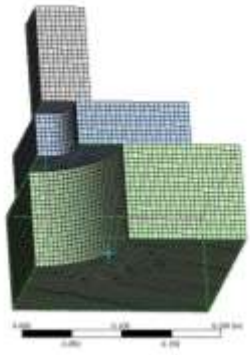


Рис. 12. Поетапне моделювання процесу розділення штампованого матеріалу

Розроблений комплекс моделей продемонстрував працездатність і можливість одержання повної інформації про поточне положення всіх взаємодіючих тіл у технологічній системі „ріжучий інструмент штампу – заготовка". Аналіз отриманих результатів продемонстрував також спадкоємність результатів від моделі **I** рівня до моделі **III**, а також деякі якісні відмінності. У результаті пропонується використання залежно від типу задачі моделі різного рівня складності.



а



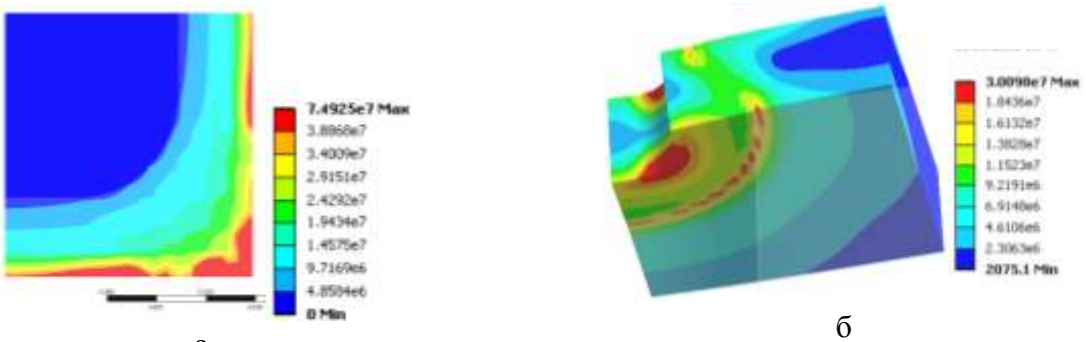
б

Рис. 13. Розрахункова схема (а) та СЕ модель (б) нижньої базової плити РШ

Окремого розгляду вимага-ють задачі дослідження НДС базових плит. На відміну від методів і моделей, в яких ви-користані пластинчасті скінчен-но-елементні моделі або метод R-функцій, в даній роботі запропоновано застосовувати просторові СЕМ (рис. 13). Це дає можливість адекватніше врахо-вувати контактну взаємодію в системі і отримувати достовір-ніші результати.

На рис. 14 представлені розподіли контактного тиску і напружень у нижній плиті, а на рис. 15 – залежності прогину і напружень від товщини плити і діаметру провального отвору в підштамповій плиті преса. Видно, що із збільшенням товщини плити і

зменшенням діаметру провального отвору прогини, контактний тиск і напруження зменшуються.



а б

Рис. 14. Контактний тиск (а) та напруження по Мізесу (б) в нижній плиті штампа

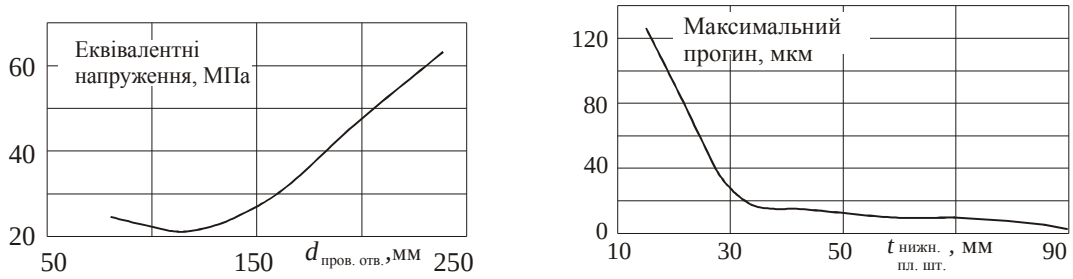


Рис. 15. Вплив діаметру провального отвору (мм) і товщини нижньої плити штампу (мм) на її НДС

На основі одержаних результатів розроблені рекомендації по раціональному проектуванню елементів штампів.

У *розділі 4* наведені результати експериментального дослідження елементів штампового оснащення.

Таблиця 2

Розміри досліджуваних ЕШО, мм

d_4	H_1	H_2	d_2	d_3	d_1	t	H_3
30	50	30	50	31	30,0	1	10
					30,0-0,1	2	
					30,0-0,2	5	
					30,0-0,5		

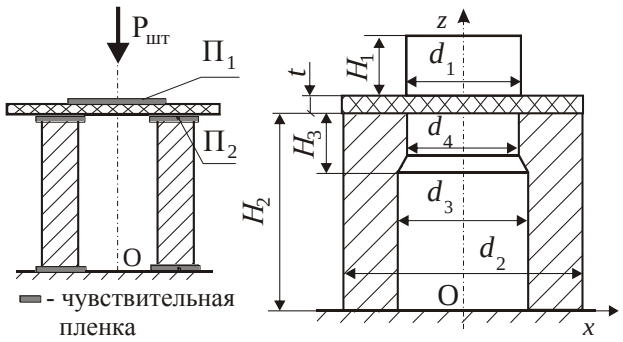


Рис. 16. Схема установки контактних плівок та розміри експериментальної збірки

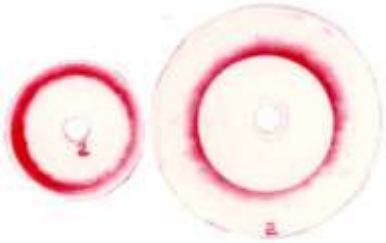
Використані результати експериментальних досліджень, проведених здобувачем на кафедрі теорії і систем автоматизованого проектування механізмів і машин у НТУ „ХПІ”, а також раніше отримані іншими дослідниками експериментальні результати.

Зокрема, здобувачем використана нова технологія вимірювання контакт-ного тиску із застосуванням плівок фірми Fujitsu (табл. 2, рис. 16). Ці плівки реєструють контактні зони та контактний тиск (змінюється інтенсивність кольорового відбитку: більша інтенсивність відповідає більшому тиску).

На рис.17 представлені робочі моменти випробувань. У результаті вимірювань одержані розподіли тиску (рис. 18, зусилля

$P_{шт}$ = 9 кН). Порівняння отриманих результатів з числовими даними дає можливість оцінити точність числового моделювання в 10-18% (рис. 19).

Рис. 17. Експериментальна установка



а

б

Рис. 18. Приклади контактних відбитків: а – заготовка товщиною 5 мм, зазор 0,1 мм; б – заготовка товщиною 5 мм, нульовий зазор

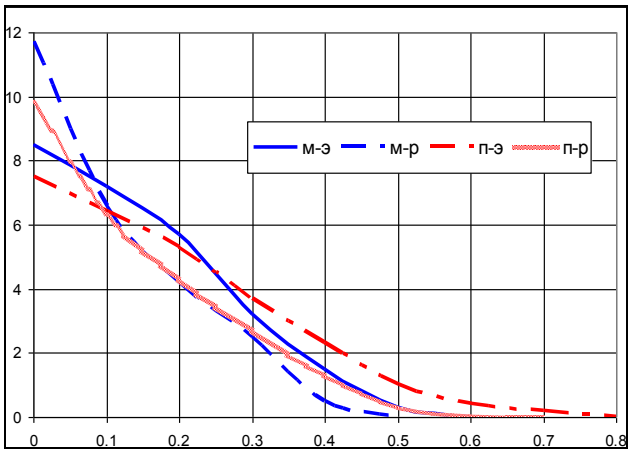


Рис. 19. Розподіл контактного тиску (МПа) по ширині поясу контакту (мм):
«п-е» – пуансон, експеримент;
«п-р» – пуансон, розрахунок;
«м-е» – матриця, експеримент;
«м-р» – матриця, розрахунок

Установлена також якісна та кількісна відповідність одержаних результатів з результатами інших дослідників. Таким чином, підтверджена точність розрахунків напружено-деформованого стану елементів штампового оснащення з урахуванням контактної взаємодії на основі запропонованих у дисертації удосконалених методів і моделей.

ВИСНОВКИ

У роботі вдосконалені методи розрахунку елементів штампового оснащення на основі дослідження напружено-деформованого стану елементів штампів для холоднолистового штампування з урахуванням контактної взаємодії шляхом створення комплексу моделей різного рівня складності і розрахунково-експериментального обґрунтування параметрів числових моделей, що в сукупності є розв'язанням науково-практичної задачі теорії і машин обробки тиском.

1. На основі аналізу існуючих методів розрахунку елементів штампового оснащення установлено, що на даний час не забезпечується повною мірою моделювання напружено-деформованого стану з урахуванням контактної взаємодії та інтеграція у сучасні комп'ютерні системи. Тому у дисертації поставлена та розв'язана задача удосконалення методів розрахунку штампового оснащення.

2. На основі узагальненого параметричного опису складних механічних систем у роботі запропонований перспективний підхід до проведення досліджень НДС елементів штампового

оснащення, який відрізняється тим, що запропонована ієрархічна структура математичних моделей побудована на основі єдиного наскрізного підходу. На відміну від багатьох раніше використовуваних математичних моделей, побудованих за принципом роздільного дослідження НДС пуансонів, матриць, пуансон-матриць, базових плит і штампованого матеріалу, запропонована модель для дослідження цих елементів у складі єдиної технологічної підсистеми з урахуванням контактної взаємодії. Це якісна зміна розрахункової моделі дозволяє зробити висновок про її ширші та глибші потенційні можливості, більшу міру точності, коректності, адекватності.

3. Розроблений підхід і математична модель реалізовані у вигляді комплексу моделей для дослідження напружено-деформованого стану елементів штампового оснащення методом скінченних елементів в автоматизованому режимі, на його основі проведені багатоваріантні розрахунки НДС елементів штампів з варіюванням конструктивних, технологічних і експлуатаційних параметрів. Таким чином, створено потужний і високоефективний інструмент для конструктора, технолога, дослідника. Встановлені якісні особливості напружено-деформованого стану ЕШО – матриць, пуансонів, пуансон-матриць, базових плит, серед яких, – локалізація навантажень, і, відповідно, напружень у зоні ріжучих кромок, а також незалежність від конструктивних, технологічних параметрів ріжучих частин і товщини заготовки.

4. Аналіз одержаних при розв'язанні прикладних задач розподілів і параметричних залежностей контрольованих величин від варійованих параметрів штампів дозволяє зробити наступні основні висновки: контакт зі штампованим матеріалом реалізується уздовж ріжучих кромок по ширині – до половини товщини заготовки, контактний тиск між інструментом і заготовкою має дзвоновидний з максимумом на кромці вигляд; розміри зони контакту і вигляд контактного тиску слабо залежать від величини прикладеного навантаження; із зменшенням товщини заготовки та із зростанням величини відносного зазору контактний тиск і еквівалентне напруження в заготовці зростають; збільшення товщини заготовки призводить до збільшення відносної ширини зони контакту; напруження на кромках матриці, пуансон-матриці і пуансона в 2,5-4,5 рази вище за напруження в заготовці та пропорційні напруженням зрізу штампованого матеріалу; зменшення технологічного зазору між матрицею і пуансоном може досягати за рахунок деформації значних величин, сумірних з самим зазором, що необхідно враховувати при призначенні номінального зазору в процесі проектування того чи іншого конкретного штампу; напруження і прогини нижніх базових плит сильно залежать від їх товщини і діаметру провального отвору в підштамповій плиті преса.

5. У ході розрахунково-експериментальних досліджень елементів штампового оснащення методами контактних відбитків, тензометрії і голографічної інтерферометрії підтверджені адекватність розроблених моделей і точність одержаних результатів. Похибка не перевищує 10-18%.

6. Розроблені в ході дисертаційних досліджень методи, алгоритми і моделі впроваджені в дослідницький та навчальний процес НТУ „ХПІ", а також у практику проектування розділових штампів у ВАТ „ГСКТІ", м. Маріуполь, ВАТ „Мелітопольський верстатобудівний завод ім.23 Жовтня", м. Мелітополь, ТОВ „Технічний центр „Автопривод", м. Мелітополь.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Гоголь Н.А. (Демина Н.А.) Методика экспериментального исследования элементов механических систем методом голографической интерферометрии / Н.А. Ткачук, Г.Д. Гриценко, Л.С. Липовецкий, Н.А. Гоголь, Е.В. Глущенко // Механіка та машинобудування. – Харків: НТУ „ХПІ". – 2005. – № 1. – С.88-99.

Здобувачем розроблено скінчено-елементні моделі та на їх основі проведено аналіз напру-

жено-деформованого стану елементів штампової оснастки та порівняння з експериментом.

2. Гоголь Н.А. (Демина Н.А.) К задаче формирования расчетных моделей элементов технологических систем листовой штамповки / Н.А. Гоголь, О.В. Назарова, А.В. Ткачук, О.В. Кохановская // Вісник НТУ „ХПІ”. – Харків: НТУ „ХПІ”. – 2005. – № 47. – С.50-60.

Розробила новий підхід до аналізу напружено-деформованого стану елементів штампової оснастки, що полягає у розв'язанні задачі контактної їх взаємодії.

3. Гоголь Н.А. (Демина Н.А.) Теоретические основы расчетно-экспери-ментального исследования элементов горно-шахтного оборудования / Н.А. Ткачук, Л.С. Липовецкий, В.И. Кохановский, Н.А. Гоголь, Г.Л. Федоренко// Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – Харків: НАКУ „ХАІ” ім. М.Є. Жуковського. – 2005. – № 1. – С.95-98.

Здобувач запропонувала новий розрахунково-експериментальний підхід до аналізу напружено-деформованого стану складних механічних систем.

4. Гоголь Н.А. (Демина Н.А.) Экспресс – модели и экспресс – системы для оперативного решения задач анализа и синтеза элементов сложных механических систем / Н.А. Ткачук, Е.А. Орлов, В.И. Головченко, Н.А. Гоголь // Вісник НТУ „ХПІ”. – Харків: НТУ „ХПІ”. – 2005. – № 53. – С.116-137.

Здобувач запропонувала структуру експрес – систем для оперативного аналізу та синтезу елементів механічних систем.

5. Гоголь Н.А. (Демина Н.А.) Моделирование напряженно-деформирован-ного состояния элементов штампов / Н.А. Гоголь, Н.А. Ткачук, О.П. Назарова // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь: ТДАТА, 2005. – Вип. 31. – С.103-108.

Здобувач описала нові підходи до моделювання напружено-деформованого стану елементів штампів на основі параметричного опису їх моделей.

6. Демина Н.А. Влияние конструктивных и технологических параметров на напряженно-деформированное состояние матриц штампов холоднолистовой штамповки / Н.А. Демина // Вісник НТУ „ХПІ”. – Харків: НТУ „ХПІ”. – 2005. – № 60. – С.68-76.

7. Демина Н.А. Методы определения прочностных и жесткостных характеристик элементов технологических систем / Н.А. Ткачук, Н.А. Демина, А.Н. Ткачук, О.П. Назарова // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь: ТДАТА, 2006. – Вип. 36. – С.155-164.

Здобувачем запропоновано системний підхід до організації досліджень технологічної оснастки.

8. Демина Н.А. Проектирование, анализ и синтез элементов механических систем на основе системного подхода / Н.А. Демина // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь: ТДАТА, 2006. – Вип. 43. – С.147-154.

9. Демина Н.А. Численное моделирование процесса холоднолистовой штамповки / Н.А. Демина, О.П. Назарова, А.Д. Чепурной, Я.М. Бараников // Вісник НТУ „ХПІ”. – Харків: НТУ „ХПІ”. – 2006. – № 3. – С.70-79.

На основі поєднання спеціалізованих програмних модулів, системи ANSYS, LS DYNA та параметричних моделей матриці, пуансона та заготовки здобувачем створено програмно-модельний комплекс для вивчання процесу штамповки.

10. Демина Н.А. К вопросу моделирования напряженно-деформированного состояния элементов штамповой оснастки / Н.А. Демина // Вісник НТУ „ХПІ”. – Вісник НТУ „ХПІ”. – 2006. – № 24. – С.75-83.

11. Демина Н.А. К вопросу о влиянии высоты матрицы штампа для вырубки-пробивки на ее деформированное состояние / Н.А. Демина, А.В. Ткачук, М.М. Пеклич, В.В. Подобедов

// Вісник НТУ „ХПІ”. – Харків: НТУ „ХПІ”. –2006. – № 33. – С.28-33.

Здобувач описала результати власних досліджень напружено-деформованого стану матриць штампу для вирубки-пробивки при різних значеннях їх висоти, провела аналіз та узагальнення одержаних даних.

12. Демина Н.А. Контактное взаимодействие в сопряжении „пуансон – штампуемый материал – матрица” / Н.А. Демина, О.П. Назарова, А.Н. Ткачук // Вісник НТУ „ХПІ”. – Харків: НТУ „ХПІ”. – 2007. – № 23. – С.39-48.

Здобувачем описаний новий підхід до визначення напружено-деформованого стану елементів технологічних систем на основі аналізу контактної взаємодії пуансону, матриці, заготовки, отримані та проаналізовані і узагальнені результати досліджень штампової оснастки.

13. Демина Н.А. Методика расчета на прочность узла крепления направляющей к траверсе пресса / В.И. Головченко, Л.Е. Полетун, Н.Л. Иванина, Н.А. Демина, С.В. Адамова// Вісник НТУ „ХПІ”. – Харків: НТУ „ХПІ”.. – 2007. – № 29. – С.21-38.

Здобувач прийняла участь у формуванні розрахункових схем елементів преса.

14. Демина Н.А. Метод обобщенного параметрического описания моделей элементов штамповой оснастки / Н.А. Демина, Н.А. Ткачук // Вісник НТУ „ХПІ”. – Хар-ків: НТУ „ХПІ”. – 2008. – № 2. – С.71-79.

Здобувач провела адаптацію метода узагальненого параметричного опису стосовно елементів штампової оснастки.

15. Демина Н.А. Общий подход к конструкторско-технологическому обеспечению стойкости элементов штампов / Ю.Д.Сердюк, Н.А. Ткачук, Н.А. Демина // Вісник НТУ „ХПІ”. – Харків: НТУ „ХПІ”. – 2009. –№ 28. – С.92-102.

Здобувач провела аналіз та узагальнення результатів дослідження напружено-деформованого стану елементів штампів.

16. Демина Н.А. Моделирование контактного взаимодействия элементов штамповой оснастки / Н.А. Ткачук, Н.А. Демина, Ю.Д. Сердюк, А.Н. Ткачук, Г.А. Кротенко // Обработка материалов давлением: сборник научных трудов. – Краматорск: ДГМА, 2010. – № 2 (23). – С. 240-248.

Здобувач обґрунтувала напрями удосконалення методів розрахунків елементів штампової оснастки, що, на відміну від традиційних підходів, розглядають моделі не роздільного, а сумісного моделювання пуансонів, матриць, пуансон-матриць у спряженні із заготовкою.

17. Демина Н.А. Моделирования элементов технологических систем листовой штамповки / О.П. Назарова, Н.А. Демина // Мат. 2 Міжнар. наук.-практ. конф. „Дні науки-2006”. Том 10. Технічні науки. – Дніпропетровськ, 2006. – С.45-47.

Здобувач запропонувала параметричний опис як основу досліджень елементів штампової оснастки.

18. Демина Н.А. Контактна взаємодія елементів технологічної оснастки/ Н.А. Ткачук, Н.А. Демина, О.П. Назарова // Тези доповідей Міжн. наук.-техн. конф. пам’яті ак. В.І.Моссаковського „Актуальні проблеми механіки суцільного середовища і міцності конструкцій”. – Дніпропетровськ, 2007. – С.79-80.

Здобувач одержала залежності характеристик напружено-деформованого стану матриць СШ від їхньої висоти з використанням нового комплексу моделей.

АНОТАЦІЇ

Дьоміна Н. А. Удосконалення методів розрахунку елементів штампового оснащення на основі аналізу їх напружено-деформованого стану. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.05 – процеси та машини обробки тиском. Національний технічний університет „Харківський політехнічний інститут”, Харків, 2011.

Дисертація присвячена удосконаленню методів розрахунку напружено-деформованого стану (НДС) елементів штампового оснащення для обґрунтування конструктивних і технологічних параметрів розділових штампів (РШ) за критеріями міцності, стійкості, точності. З цією метою в роботі створена комплексна математична модель, що відрізняється новим підходом: для визначення НДС використовується не традиційна однорівнева, а інтегрована багаторівнева математична модель з урахуванням контактної взаємодії пуансонів, матриць і пуансон-матриць, заготовки, а також базових плит штампів. В моделі першого рівня кожен елемент технологічної системи розглядається окремо від інших, а сили взаємодії є відомими з попередніх досліджень. Модель другого рівня розглядає контактну взаємодію елементів штампів із заготовкою, проте лише до стадії пластичної деформації штампованого матеріалу. Повністю процес взаємодії аж до моделювання розділення штампованого матеріалу досліджується із застосуванням математичної моделі третього рівня. Розроблена комплексна математична модель реалізована у відповідному програмно-модельному комплексі.

Одержані результати досліджень дають підставу для висновків про те, що для елементів РШ характерною є локалізація контактного тиску і, відповідно, напружень в зонах ріжучих кромок. Встановлені залежності контактних площадок, контактного тиску, напружень і переміщень пуансонів, матриць і пуансон-матриць від властивостей штампованого матеріалу, товщини і діаметру штампованої деталі, технологічного зазору між ріжучими частинами, конструктивних розмірів. Порівняння числових розрахунків з даними експериментальних досліджень підтвердили точність і адекватність побудованих моделей і отриманих результатів. Відмінність не перевищує 12-18%.

Ключові слова: обробка тиском, розділовий штамп, штампове оснащення, пуансон, матриця, напружено-деформований стан, контактна взаємодія

Демина Н. А. Совершенствование методов расчета элементов штамповой оснастки на основе анализа их напряженно-деформированного состояния. – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.03.05 – процессы и машины обработки давлением. Национальный технический университет „Харьковский политехнический институт”, Харьков, 2011.

Диссертация посвящена совершенствованию методов расчета напряженно-деформированного состояния (НДС) элементов штамповой оснастки для обоснования конструктивных и технологических параметров разделительных штампов (РШ) по критериям прочности, стойкости, точности. С этой целью в работе создана комплексная математическая модель, отличающаяся новым подходом: для определения напряженно-деформированного состояния используется не традиционная одноуровневая, а интегрированная многоуровневая

математическая модель с учетом контактного взаимодействия пуансонов, матриц и пуансон-матриц, заготовки, а также базовых плит штампов.

Модель первого уровня является наиболее оперативной с точки зрения оценки НДС режущих элементов РШ. В ней каждый элемент технологической системы рассматривается отдельно от остальных, а силы взаимодействия являются известными из предшествующих экспериментальных, аналитических и численных исследований.

Модель второго уровня рассматривает контактное взаимодействие элементов штампов с заготовкой, однако только до стадии пластического деформирования штампуемого материала.

Полностью процесс взаимодействия вплоть до моделирования разделения штампуемого материала исследуется с применением математической модели третьего уровня.

Несомненными преимуществами моделей второго и третьего уровней является возможность определения в ходе решения контактных зон и контактных усилий, возникающих между элементами штампов и заготовкой.

Разработанная комплексная математическая модель реализована в виде комплекса моделей с использованием метода конечных элементов, с помощью которых обеспечивается возможность проведения большого количества многовариантных исследований напряженно-деформированного состояния элементов разделительных штампов в автоматизированном режиме. Это делает их ценными для проведения научных исследований и практических расчетов.

С помощью разработанного комплекса моделей проведены численные исследования напряженно-деформированного состояния пуансонов, матриц и пуансон-матриц, заготовки, а также базовых плит разделительных штампов.

Полученные результаты дают основание для выводов о том, что для элементов РШ характерным является локализация контактных давлений и, соответственно, напряжений в зонах режущих кромок.

Установлены зависимости контактных площадок, контактных давлений, напряжений и перемещений пуансонов, матриц и пуансон-матриц от свойств штампуемого материала, толщины и диаметра штампуемой детали, технологического зазора между режущими частями, конструктивных размеров. Кроме того, получены результаты, свидетельствующие о возможности уменьшения номинального технологического зазора между пуансоном и матрицей в основном за счет упругого деформирования матрицы. Этот эффект следует учитывать при его назначении.

Получены также зависимости компонент напряженно-деформированного состояния базовых плит штампов от их толщины и диаметра провального отверстия. В отличие от ряда других исследований, в данных расчетах при помощи трехмерных конечных элементов учитывался более корректно контакт базовой плиты с сопряженными элементами.

Экспериментальные исследования проводились с применением чувствительных к контактному давлению пленок. Данные пленки дают возможность по степени интенсивности контактного отпечатка определять давления, действующие в различных областях контактного взаимодействия.

Исследования проведены на системе «пуансон - штампуемая деталь – матрица». Варьирование технологического зазора осуществлялось путем изменения диаметра пуансона.

Проведенные лабораторные исследования подтвердили локализацию контактных зон и контактных давлений в районе режущих кромок пуансонов и матриц.

Сравнение численных расчетов с данными экспериментальных исследований подтвердили точность и адекватность построенных моделей и полученных результатов. Погрешность

не превышает 12-18%.

Результаты диссертационных исследований внедрены в практику научных исследований НТУ «ХПИ», а также при проектировании разделительных штампов в ОАО «Азовмаш» и на других предприятиях.

Разработанные усовершенствованные модели и описанные результаты исследований дают возможность изучать влияние конструктивных и технологических факторов на прочность и стойкость элементов штампов, на баланс перемещений в технологической системе и качество штампуемых деталей.

Ключевые слова: обработка давлением, разделительный штамп, штамповая оснастка, пуансон, матрица, напряженно-деформированное состояние, контактное взаимодействие

Dyomina N. A. Development of computational methods of stamp equipment elements on the basis of their stress-straine state analysis. – Manuscript.

Thesis for the academic degree of candidate of engineering science in a speciality 05.03.05 – processes and machines of pressure forming. – National Technical University „Kharkiv Polytechnical Institute", Kharkov, 2010.

The thesis is devoted to the development of computational methods of the stressed-straine state of stamp equipment elements for the ground of structural and technological parameters of dividing stamps (DS) on the criteria of strength, stability, exactness. A complex mathematical model is created which differs by new approach: integrated multilevel mathematical model is used instead of traditional single-level one for determination of stressed and deformed state. This model takes into account contact interaction of puncheons, matrices and puncheon-matrices blank and also base stamp plates. A first level model is most operative at the sight of stressed-straine state estimation of DS cuttings elements. In this model every element of the technological system is examined separately from other, and interaction forces are known from preceding experimental, analytical and numeral researches. A second level model examines the contact interaction of stamp elements with a blank, however only to the stage of stamped material flowage. Fully the interaction process is simulated with the use of third level mathematical model right up to the modeling of stamped material division.

The developed complex mathematical model is realized in programmatic-model complex.

The got results ground for conclusions that DS elements is characterized by localization of contact pressures and tensions in the areas of cuttings edges. Dependences of contact area, contact pressures, contact tensions and movings of puncheons, matrices and puncheon-matrices are set from properties of the stamped material, thickness and diameter of the stamped detail, technological gap between cuttings parts, constructive dimensions.

Comparing of numerical calculations and experimental researches data confirmed the exactness and adequacy of built models and got results. An error does not exceed 12-18%.

Keywords: pressure forming, dividing stamp, stamp rigging, puncheon, matrix, stressed-straine state, contact interaction

Дьоміна Наталя Анатоліївна

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ЕЛЕМЕНТІВ ШТАМПОВОГО ОСНАЩЕННЯ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ЇХ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ

АВТОРЕФЕРАТ

Відповідальний за випуск:
доц. к.т.н, Зарубіна А.О.

Підп. до друку 09.02.2011 р. Формат 60х84/16. Папір офісний.
Друк – різографічний. Ум. друк. арк. 0,9. Гарнітура Таймс.
Наклад 100 прим. Зам. № 058400.

Надруковано у СПД ФО Ізрайлев Є.М.
Свідоцтво № 24800170000040432 від 21.03.2001 р.
61024, м. Харків, вул. Фрунзе, 16