

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

Для службового користування

Прим. № 89

**Фост Анатолій Михайлович**

УДК 621.73.073

**РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ  
ПАРАМЕТРІВ МЕХАНІЗОВАНИХ ПЕРЕНАЛАГОДЖУВАНИХ  
ШТАМПІВ ДЛЯ ГНУЧКИХ ВИРОБНИЧИХ КОМПЛЕКСІВ**

Спеціальність 05.03.05 – процеси та машини обробки тиском

**Автореферат**  
**дисертації на здобуття наукового ступеня**  
**кандидата технічних наук**

Харків-2005

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на Державному підприємстві “Харківський науково-дослідний інститут технології машинобудування” Міністерства промислової політики України, м. Харків.

**Науковий керівник:** Заслужений діяч науки і техніки України,  
лауреат Державної премії України,  
доктор технічних наук, професор  
**Мовшович Олександр Якович**,  
Державне підприємство “Харківський науково-дослідний інститут технології машинобудування” Міністерства промислової політики України,  
м. Харків, заступник директора з наукової роботи.

**Офіційні опоненти:** Доктор технічних наук, професор  
**Трішевський Олег Ігорович**,  
Національний технічний університет сільського господарства Міністерства освіти і науки України,  
м. Харків, професор кафедри технології матеріалів.

Кандидат технічних наук, доцент  
**Павленко Віталій Миколайович**,  
Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського „Харківський авіаційний інститут”  
Міністерства освіти і науки України,  
м. Харків, доцент кафедри теоретичної механіки та машинознавства.

**Провідна установа:** Державне підприємство “Завод ім. В.О.Малишева”  
Міністерства промислової політики України, м. Харків.

Захист відбудеться “ 11 “ 05 2005 р. о 14-30 г. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д64.050.10 у Національному технічному університеті “Харківський політехнічний інститут” за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”: Україна, 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21

Автореферат розісланий “08“ 04. 2005 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради  
Д64.050.10

Бортовой В.В.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Сучасний період розвитку промисловості, що характеризується переходом до ринкових методів господарювання, підвищенням попиту на конкурентноздатну, ліквідну продукцію та високими вимогами до якості, швидким оновленням її асортименту при одночасному скороченні матеріальних і трудових витрат, потребує розробки і впровадження нових технологій, обладнання та ефективних засобів технологічного оснащення.

При розгляді пріоритетних напрямків розвитку ковальсько-штампувального виробництва, який ґрунтується на системному підході і глибокому науковому аналізі вітчизняних та зарубіжних літературних джерел, необхідно виділити створення та широке впровадження гнучких виробничих систем, як магістральну концепцію.

При цьому, гнучкі виробництва можуть бути ефективні не тільки при дослідному та дрібносерійному характері випуску виробів, але також і при серійному та крупносерійному виробництві.

Впровадження гнучких виробничих систем скорочує кількість устаткування в два рази, знижує собівартість продукції в три-чотири рази, а продуктивність праці зростає в два-три рази.

Проте, впровадження гнучких виробничих систем в листоштампувальному виробництві досить часто стримується відсутністю ефективних видів технологічної оснастки, яка дозволяла б в найкоротші строки переналагоджувати систему на випуск нових деталей, забезпечуючи при цьому необхідну точність і якість штампування.

Використання, в даному випадку, спеціальних штамсів значно знижує економічні показники гнучких виробничих систем і потребує виготовлення великої кількості штамсів.

Треба підкреслити, що спроби створення переналагоджуваних штамсів для автоматизованих виробничих систем були й раніше. Але при цьому не вирішувалися питання їх структурної побудови, конструктивної міцності і жорсткості, надійності закріплення і довговічності роботи базових елементів переналагоджуваних штамсів в умовах гнучкого виробництва.

Не дивлячись на значні успіхи, досягнуті в листоштампувальному виробництві, гостро стоїть проблема розробки нових, економічно вигідних автоматизованих і механізованих штамсів для гнучких автоматизованих систем, що поєднують в собі, з одного боку, переваги спеціального штампового оснащення (високу стійкість, надійність, зручність обслуговування), з іншого боку – універсальних штамсів, що дозволяють здійснювати швидке переналагоджування комплексів в процесі експлуатації при мінімальній металоємності і трудомісткості виготовлення.

При цьому істотно скорочуються строки технологічної підготовки виробництва листових деталей і витрати на проектування штампового оснащення.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконувалася у відповідності з темами ТТУ655–89 “Розробка прогресивної автоматизованої переналагоджуваної оснастки для прискореної підготовки виробництва і САПР переналагоджуваних прес–форм“, а також з роботами по договору № 301/23 від 01.06.94 р. “Створення міжгалузевої системи прискореної технологічної підготовки виробництва виробів народногосподарського призначення на базі автоматизації проектування і виготовлення технологічної оснастки, композиційних матеріалів та високо енергетичних методів формоутворення”, а також по договору № 10 від 22.07.2002 р. “Створення переналагоджуваних засобів технологічного оснащення для гнучких виробничих систем”.

**Мета та задачі дослідження.** Мета роботи полягає у створенні на науковій основі механізованих переналагоджуваних штампів для гнучких виробничих комплексів на базі пресів зусиллям 250-1000 кН в інтересах прискореної технологічної підготовки виробництва, а також обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів основних елементів конструкції.

Для досягнення вказаної мети в роботі поставлені та вирішені наступні основні задачі :

- розроблені конструктивно-технологічні основи створення механізованих переналагоджуваних штампів для гнучких виробничих комплексів;
- розроблена математична модель силової взаємодії елементів конструкції, розрахункові схеми та методика теоретичного дослідження характеристик міцності базових елементів конструкції;
- досліджено вплив конструктивних і експлуатаційних параметрів на міцність і жорсткість базових плит;
- досліджено напружено-деформований стан армованих пластмасових тримачів;
- досліджені конструктивні параметри запобіжного пристрою, його надійність в процесі експлуатації;
- проведені виробничі випробування розроблених механізованих переналагоджуваних штампів для гнучких виробничих комплексів;
- визначена техніко-економічна ефективність отриманих наукових результатів.

*Об'єкт дослідження* - механізовані переналагоджувані штампи для гнучких виробничих комплексів.

*Предмет дослідження* – точність виготовлення, міцність та жорсткість базових елементів конструкції.

*Методи дослідження.* Теоретичні дослідження напружено-деформованого стану базових елементів конструкції виконані з використанням методу кінцевих елементів. Експериментальні дослідження проводились в лабораторних та виробничих умовах з використанням методів динамічного та

статичного тензометрування, голографії та спеклінтерферометрії на натурних зразках. При визначенні зносостійкості напрямних елементів конструкції використувався гравіметричний метод.

**Наукова новизна одержаних результатів.** На основі аналізу умов експлуатації гнучких виробничих комплексів, з урахуванням вимог точності, та якості штампування, економічних, ергономічних та екологічних вимог, в результаті теоретичних та експериментальних досліджень, вперше розроблені математична модель силової взаємодії сполучених елементів конструкції і розрахункові схеми основних конструктивних елементів; розраховані поля напружень та деформацій, що виникають в базових деталях штампів в процесі експлуатації; отримані залежності для визначення раціональних параметрів конструктивних елементів механізованих переналагоджуваних штампів і їх параметри точності.

**Практична значення одержаних результатів** полягає:

- в розробці основних принципів конструювання механізованої оснастки для гнучких виробничих комплексів, створення на цій основі і впровадження в виробництво нового виду механізованих переналагоджуваних штампів, що поєднують в собі переваги спеціальної та універсальної штампової оснастки;
- в створенні на цій основі методики і технології складання механізованих переналагоджуваних штампів, що забезпечують багатократне використання основних елементів пакетів в штампах різного технологічного призначення.

По результатам теоретичних та експериментальних досліджень, виробничих випробувань і впровадження дослідних зразків, розроблена гама типорозмірів механізованих переналагоджуваних штампів для гнучких листоштампувальних комплексів зусиллям 250...1000 кН.

Результати роботи впроваджені в виробництво на двох підприємствах України.

**Особистий внесок здобувача.** Всі наукові положення, які винесені на захист, розроблені автором самостійно. Постановка задачі дослідження та аналіз результатів теоретичних досліджень виконані спільно з науковим керівником.

**Апробація роботи.** Дисертаційна робота, її основні наукові положення, висновки і рекомендації доповідалися на науково-технічній раді “Харківського науково-дослідного інституту технології машинобудування”, Міжнародній науково-технічній конференції “Інтерпартнер 2001” (м. Алушта, 2001 р.), X міжнародній науково-технічній конференції “Технології XXI століття – 2003”, XI міжнародній науково-технічній конференції “Технології XXI століття – 2004” (Харків – Алушта, 2003, 2004 р.р.).

**Публікації.** За результатами досліджень, що наведено у дисертації опубліковано 9 наукових праць, з яких 6 статей за переліком ВАК України.

**Структура і обсяг роботи.** Дисертаційна робота складається з вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних літературних джерел та додатків.

Повний обсяг дисертації складає 223 сторінки, з них 35 ілюстрації по тексту, 54 ілюстрації на 27 сторінках, 13 таблиць по тексту, 9 таблиць на 10 сторінках, 2 додатки на 4 сторінках, 149 використаних літературних джерел на 14 сторінках.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

**У вступі** обґрунтовується актуальність теми, показаний зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами, планами, темами, сформульовані основні наукові положення та практична важливість роботи.

**В першому розділі** викладений аналіз сучасного стану питання. Найбільш вагомий внесок в розвиток конструкторсько-технологічних основ створення штампової оснастки, в тому числі для гнучких виробничих комплексів, внесли вчені та інженери: В.П. Романовський, В.Т. Мещерін, Є.Н. Ланський, Є.І. Ісаченков, В.Г. Шевелєв, Ф.П. Михаленко, Ф.Я. Мосін, Л.С. Куклев, Е.Є Хаєт, В.І. Горяйнов, Г.Д. Скворцов, В.І. Денисова.

Треба відзначити внесок українських вчених В.А. Євстратова, Є.І. Заярненко, О.Я. Горницького, М.Д. Жолткевича, Л.Г. Кузнєцової, О.Я. Мовшовича, М.А. Ткачука, О.А. Штурмана, О.М. Коломойцева, В.К. Борисевича, М.М. Будьонного.

Приведено огляд і аналіз технічного рівня листоштампувального виробництва галузі. Надано огляд сучасного стану рівня конструкцій штампової оснастки для листоштампувальних операцій, теоретичних і експериментальних досліджень питань міцності, жорсткості штампової оснастки.

Встановлено, що:

- за теперішнього часу в гнучких системах, автоматичних лініях, пресах-автоматах, на традиційному пресовому устаткуванні використовуються, в основному, спеціальні штампи, кожен з яких призначений для штампування деталі одного виду і розміру;
- блочно-пакетні штампи, що використовуються в окремих випадках, теж характеризуються певною спеціалізацією, яка не дозволяє використовувати один і той же пакет для штампування різних деталей, що знижує рівень гнучкості автоматизованих штампувальних комплексів і систем;
- більшість підприємств галузі, які використовують листове штампування, мають змішаний характер виробництва: від великосерійного і масового до одиничного і серійного;
- конструкції штампів для листоштампувальних операцій розробляються без проведення теоретичних і експериментальних досліджень характеристик їх міцності і жорсткості;

- розрахунки на жорсткість і міцність, що проводяться в деяких випадках, виконуються по спрощеним схемам, які не відображають діючі навантаження і реальні умови експлуатації.

Аналіз опублікованих робіт показує, що конструкції штампів розробляються без врахування напружено-деформованого стану несучих елементів, без проведення теоретичних і експериментальних досліджень характеристик їх міцності і жорсткості і, як наслідок, – їх висока металоємність.

На основі виконаних досліджень встановлено, що у розробників штампової оснастки немає наукового обґрунтованих рекомендацій по створенню ефективних конструкцій з достатньою жорсткістю, міцністю і мінімальною металоємністю; відсутні адекватні розрахункові схеми і математичні моделі, що відображають реальну силову взаємодію несучих конструктивних елементів; не досліджені умови експлуатації листоштампувальної оснастки для гнучких автоматизованих комплексів.

Приведені узагальнені висновки, що впливають із аналізу сучасного стану питання конструювання переналагоджуваних штампів для автоматизованих листоштампувальних комплексів, дозволили сформулювати мету і задачі дослідження, визначити актуальність і зміст цієї дисертаційної роботи.

**Другий розділ.** Конструкції механізованих переналагоджуваних штампів для гнучких виробничих комплексів розроблені на основі широкого аналізу позитивних якостей і вад спеціальної та універсальної штампової оснастки, що використовується на підприємствах оборонного комплексу. Встановлені початкові вимоги до конструювання штампів, основними з яких є наступні:

- достатня жорсткість, міцність і забезпечення потрібної точності при мінімальній металоємності;
- забезпечення необхідної продуктивності і можливості автоматизації подачі заготовок і видалення відштампованих деталей;
- можливість використання промислових роботів в автоматизованому режимі роботи;
- деталі та вузли конструкції повинні бути закінченими, конструкційно самостійними і мати максимальний рівень стандартизації для реалізації можливостей САПР;
- ремонтпридатність, зручність обслуговування і експлуатації відповідають вимогам охорони праці і ергономіки.

Розроблені механізовані переналагоджувані штампи повинні мати гаму типорозмірів, що охоплюють максимальну номенклатуру деталей, які штампуються.

Головними вимогами при розробці механізованої переналагоджуваної штампової оснастки є забезпечення можливості автоматизації при досягненні максимальної гнучкості і надійності.

Відповідальні елементи переналагоджуваних штампів (плити, тримачі, знімальники) виготовляються з конструкційних легованих сталей 12ХНЗА, 18ХГТ, 20Х з наступною цементацією на глибину 0,8-2,0 мм і загартуванням до твердості HRC 58-62.

Елементи системи напрямку виготовляються з сталі 38ХМЮА з наступним азотуванням до твердості HRC 62-68.

Основні лінійні розміри елементів конструкції виконуються по Н15-Н16 квалітетам точності. Відхилення від паралельності і перпендикулярності базових поверхонь допускаються до 0,01мм на довжині 150 мм. Взаємна неперпендикулярність Т-образних і шпоночних пазів повинна бути не більша 0,01мм на довжині 100 мм. Допуск на крок між пазами вибирається по Н15 квалітету. Неперпендикулярність напрямних колонок і втулок не повинна перевищувати 0,01мм на довжині 150 мм.

Шорсткість основних поверхонь елементів штампів, що сполучаються, складає Ra 2,5 - Ra 0,63.

Принциповою особливістю складання механізованих переналагоджуваних штампів є використання композиційних матеріалів для закріплення і направлення робочих елементів, напрямних колонок та втулок, а також використання різноманітних видів металевого армування для компенсації явищ усадки в пластмасових елементах конструкції.

Робочі елементи в модулях змінних пакетів закріплюються та направляються за допомогою блоків з самотвердіючої пластмаси АСТ-Т чи епоксидного компаунду марки ЕД-5, ЕД-6, які отримуються шляхом заливання робочих порожнин і знімальників з попередньо встановленими в них пуансонами, матрицями, пуансон-матрицями.

Використання великої кількості пластмаси при виготовленні з неї конструктивних елементів, в свою чергу, визвало необхідність проведення заходів по підвищенню їх міцності, жорсткості і виключенню явищ усадки при полімеризації.

Розроблений метод полягає в використанні металевого армування конструктивних елементів з пластмаси, шляхом введення в них просторового металевого каркасу.

При складанні оборотних штампів використовують наступні різновиди армування: сітчатє, стрижневе, сепараторне.

У всіх конструкціях модулів тримачі і знімальники мають робочі порожнини, виконані незалежно від розташування посадочних розмірів пуансонів і пуансон-матриць, з ухилом бічних стінок 15 градусів, що дозволяє витягувати з них пластмасові блоки зі спеціальними робочими елементами і, по мірі необхідності, міняти їх на нові.

Безпосередньо процес проектування переналагоджуваних штампів для автоматизованих штампувальних комплексів в силу принципових конструктив-



них особливостей, порівнюючи з проектуванням аналогічних стаціонарних штампів, значно спрощується і складається з послідовного виконання наступних етапів:

- визначення кількості і послідовності операційних переходів;
- вибору способу виконання операцій;
- складання схеми розкрою матеріалу;
- вибору типу і конструктивного виконання змінного пакету;
- проектування загального вигляду штампів;
- проведення комплексу розрахункових і експериментальних робіт з метою визначення найбільш раціональних конструктивних, технологічних рішень і геометричних параметрів основних елементів;
- розробка робочих креслень елементів штампів.

При проектуванні штампів рекомендується діаметр напрямних колонок вибирати з умови  $d_k \geq 0,8h$ , де  $h$  – товщина нижньої плити.

Експериментально встановлено, що мінімальна довжина посадочної частини напрямних колонок  $d_k$ , при якій забезпечується їх надійне закріплення, складає  $(0,7 - 1,2)d_k$ .

**Третій розділ** присвячений теоретичному дослідженню жорсткості і міцності основних конструктивних елементів штампів.

Розроблена конструкція базових плит механізованих переналагоджуваних штампів, у зв'язку з специфікою призначення і особливостями технічного виконання, що істотно відрізняються від конструкцій базових плит штампової оснастки інших типів.

Головні характерні особливості – ступінчасто-змінна товщина, наявність повздовжньо-поперечних отворів і посадочного місця для розміщення і фіксації пакету.

Аналіз розробленої конструкції, кінематики взаємодії конструктивних елементів, умов опору і закріплення на пресовому устаткуванні дозволили виявити основні навантаження в процесі штампування, які належить враховувати в розрахункових схемах (рис.1, 2).

Дослідження ґрунтується на побудові математичної моделі об'єкту, який проектується. В склад математичної моделі силової взаємодії в загальному випадку входять: система розв'язних диференціальних рівнянь, система навантажень і система відповідних кінцевих умов. В загальному вигляді математичну модель силової взаємодії сполучених деталей штампів можна подати в вигляді:

$$P(\sigma, \varepsilon, U) = Q(x, t)$$

при  $P_1(\sigma)|_{\Gamma_1} = \varphi_1(x, t)$ ,  $P_2(U)|_{\Gamma_2} = \varphi_2(x, t)$ ,  $P_3(U)|_{\Gamma_3} = \varphi_3$ ,

де:  $P$  – лінійний диференціальний оператор теорії пружності;

$Q$  – вектор навантажень;

$\Gamma_1$  – частина поверхні з силовими кінцевими умовами;

$\Gamma_2$  – частина поверхні з силовими кінцевими умовами;

$\Gamma_3$  – частина поверхні контактної взаємодії;

$\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$  – вектори правих частин кінцевих умов.

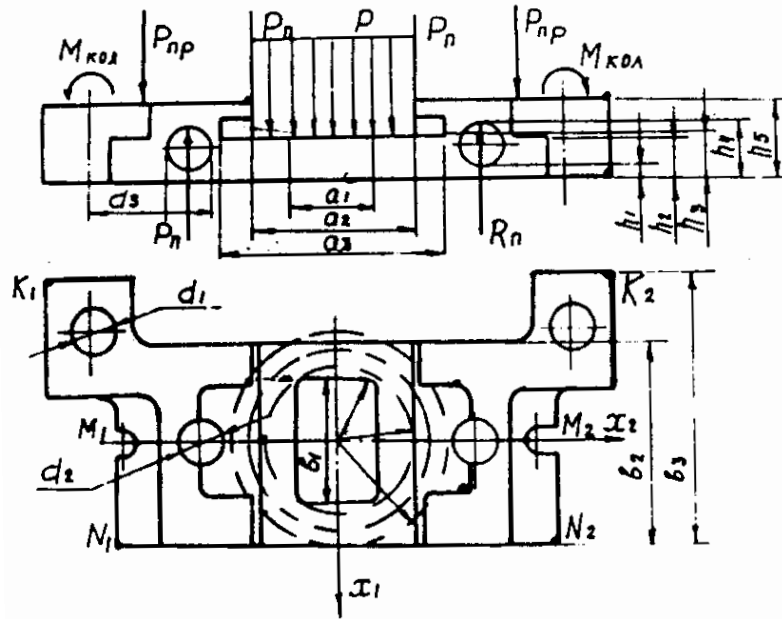


Рис.1. Розрахункова схема плити під дією вигинаючих навантажень.

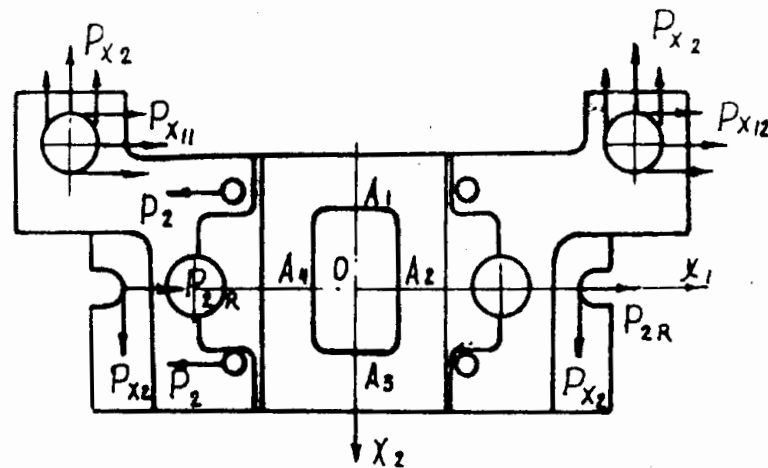


Рис.2. Розрахункова схема плити під дією горизонтальних зусиль.

В загальному вигляді, технологія розробки математичної моделі силової взаємодії і проведення розрахунків міцності деталей штампів містить:

- аналіз фізико-механічних і геометричних характеристик деталей, що штампуються, пресового устаткування і умов експлуатації;
- розробку розрахункової системи;
- визначення кінцевих умов і законів розподілу зовнішніх навантажень;
- вибір і обґрунтування методів дослідження.

Для механіки пружних тіл, до яких можуть бути віднесені штампи, лінійним диференціальним оператором є рівняння Ламе:

$$(\lambda + \mu) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} + \mu \cdot \Delta U + X - \rho \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = 0$$

$$(\lambda + \mu) \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} + \mu \cdot \Delta V + Y - \rho \frac{\partial^2 V}{\partial t^2} = 0$$

$$(\lambda + \mu) \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} + \mu \cdot \Delta W + Z - \rho \frac{\partial^2 W}{\partial t^2} = 0$$

де:  $U, V, W$  – переміщення точок досліджуваного об'єкту;

$$\varepsilon = \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial W}{\partial z} - \text{відносна зміна об'єму};$$

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} - \text{оператор Лапласа};$$

$$\frac{\partial^2 U}{\partial t^2}; \frac{\partial^2 V}{\partial t^2}; \frac{\partial^2 W}{\partial t^2} - \text{складова прискорення};$$

$\rho$  – густина;

$X, Y, Z$  – складові об'ємної сили;

$$\lambda = \frac{E}{(1 + \nu)(1 - 2\nu)} - \text{постійна Ламе};$$

$$\mu = G \cdot \frac{E}{2(1 + \nu)} - \text{модуль зсуву};$$

$E$  – модуль повздовжньої пружності;

$\nu$  – коефіцієнт Пуассона.

Дослідження напружено-деформованого стану базових плит по розробленій математичній моделі проводилось методом кінцевих елементів, що передбачає підхід, який ґрунтується на розгляді елементів кінцевих розмірів. Основними особливостями даного методу для інженерних розрахунків базових плит є розбивка оригінальних некласичних областей на кінцеві елементи, специфічний розклад діючих навантажень при їх дискретному визначенні, а також введення в програму, в найраціональнішому вигляді, кінцевих умов, що забезпечують найбільш повне урахування умов експлуатації штампів.

Реалізація розробленої програми дозволила отримати всі характеристики напружено-деформованого стану базових плит, включаючи еквівалентні напруження, розраховані по енергетичній теорії міцності у всіх варіантах навантаження, опору і закріплення, що враховані методикою.

Особливостями напруженого стану нижніх базових плит блоку є порівняно невеликі нормальні напруги  $\sigma_{x_1}$ , у той час, як дотичні напруження  $\tau_{x_1}, \tau_{x_2}$  порівнянні з нормальними  $\sigma_{x_2}$ . Величини еквівалентних напружень, що досягають в центральному перерізі 100 Мпа, навіть при максимальних зусиллях

штампування не перебільшують допустимих значень, що підтверджує правомірність конструктивних рішень і раціональність основних геометричних параметрів.

Дослідження впливу товщини базової плити на її характеристики міцності і жорсткості показало, що залежність, як максимальних вигинів, так і максимальних еквівалентних напружень від товщини плити має яскраво виражений гіперболічний характер (рис.3, 4). При цьому, максимальна інтенсивність змін виявилась в інтервалі товщин 30-60 мм, після чого зниження міцності і жорсткості сповільнилось і товщина плити понад 70 мм вже, практично, на них не впливала.

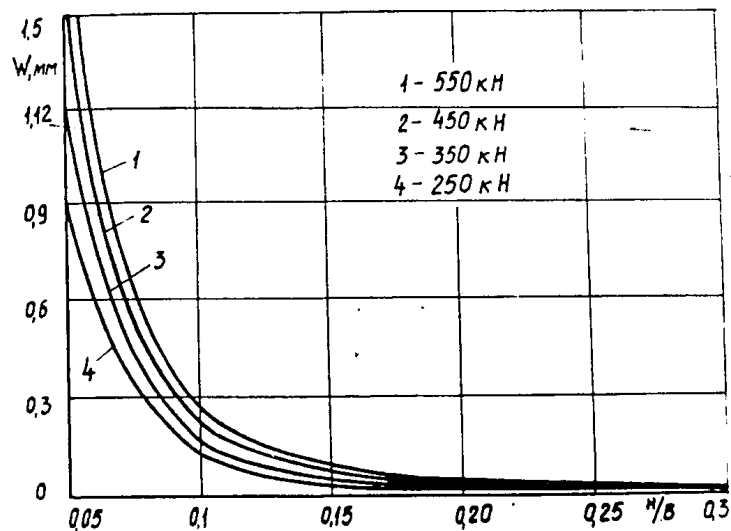


Рис.3. Залежність максимальних вигинів плит від їх відносної товщини при різних зусиллях штампування.

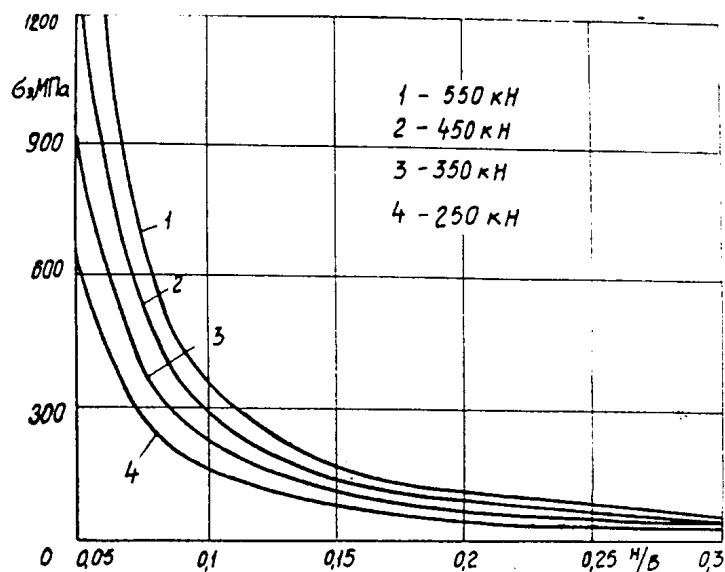


Рис.4. Залежність максимальних еквівалентних напружень плит від їх відносної товщини при різних зусиллях штампування.

Аналіз напружено-деформованого стану нижніх базових плит показав, що суттєвого зниження рівня напружень і деформацій в плитах можна досягти при чотирьохколонному їх розташуванні по кутах плити. При цьому, необхідно втримувати наступне співвідношення:  $d_k = (0,8 - 1,0)H$ . Де  $H$  – товщина плити. При діаметрі колонок  $d_k < 0,8H$  і більших зусиллях штампування в плитах виникають значні по величині напруження, які можуть перебільшити допустимі значення.

Жорсткість базових плит залежить від діаметру напрямних колонок лише при  $d_k > 30$  мм ( $d_k > 0,7H$ ). Колонки меншого діаметру суттєвого впливу на жорсткість плит не мають.

Проведений комплекс досліджень напружено-деформованого стану цангових фіксаторів з застосуванням методу кінцевих елементів дозволив визначити їх оптимальні геометричні параметри в залежності від розвинутих зусиль запирання.

Аналіз отриманих результатів показав, що із зменшенням числа пелюстків і підвищенням твердості матеріалу фіксатора, зусилля їх запирання зростає. При цьому раціональною виявляється конструкція трьохпелюсткового фіксатора в порівнянні з чотирьох-, шести- і восьмипелюстковими.

**Четвертий розділ** присвячений експериментальному дослідженню міцності і жорсткості несучих елементів механізованих переналагоджуваних штампів, визначенню їх працездатності в умовах квазістатичного навантаження на гідравлічному пресі П-125.

Для підтвердження правомірності результатів дослідження, напружено-деформований стан базових плит експериментально досліджувався на натурній конструкції з використанням методу статичного тензометрування. Як тензорезистори використовувались малогабаритні фольгові датчики типу ФКРА-1-2, які дозволяють фіксувати деформацію одночасно в двох перпендикулярних напрямках. Показники датчиків реєструвались тензометричною вимірювальною системою СІИТ-3. Гідравлічний прес П-125 використовувався як силове устаткування.

Експериментальні дослідження напружено-деформованого стану плит проводились для найбільш важкого випадку навантаження, а саме, центрального прикладення навантаження.

Встановлено, що при закріпленні плит в чотирьох точках по кутам найбільші вигини виникають в центрі плит. Консольні незакріплені зони, що лежать на головних осях, мають вигини протилежного знаку. При цьому, відхилення найбільшого контурного вигину від центрального складає 24%. Аналогічні деформації отримують плити, закріплені в чотирьох кутах по головним осям, але, в даному випадку, великі вертикальні зміщення отримують незакріплені кути плит, і відношення контурних вигинів до центральних збільшується більше ніж в два рази. В більш важких умовах працюють плити при закріпленні в двох то-

чках по одній з головних осей. В цьому випадку максимальний вигин мав місце в кутовій зоні біля напрямної колонки і складав  $W=0,04$  мм. В кутовій зоні без напрямної колонки  $W=0,01$  мм, що добре узгоджується з теоретичними результатами.

Зафіксовані в процесі експериментів величини напружень не перебільшували допустимі, що підтверджує достатню міцність базових плит. Аналіз картини деформованого стану базових плит дозволив встановити оптимальні місця розташування напрямних колонок і втулок.

В процесі експериментальних досліджень, нами вивчалась міцність і стійкість пуансонів відносно великої довжини.

Критична величина  $Q_{кр}$ , при якій відбувається втрата стійкості пуансону довжиною  $L$ , визначається з диференційного рівняння зігнутої вісі

$$\frac{d^2}{dz^2} \left( EJ \frac{d^2 U}{dz^2} \right) + Q \frac{d^2 U}{dz^2} = 0,$$

де:  $U(z)$  – вигин пуансону;

$EJ(z)$  – вигинна жорсткість пуансону.

Для пуансонів постійного поперечного перерізу розв'язання рівняння приводить до наступної формули для  $Q_{кр}$ :

$$Q_{кр} = \frac{\pi^2 EJ}{(\mu L)^2},$$

де  $\mu$  – коефіцієнт довжини пуансону.

На практиці, в більшості випадків, пуансони виготовляють ступінчастими. Для оцінки стійкості пуансонів змінного поперечного перерізу достатньо ефективною є енергетична теорія Релея.

По результатах виконаних чисельних експериментів встановлено, що домінуючим в вирубних пуансонах є осьове напруження  $\sigma_z$ , яке досягає свого максимуму в зоні різальної кромки

$$\sigma_{z \max} = k_z \sigma_{cp}.$$

де  $k_z=1,85-1,95$  – розрахунковий коефіцієнт.

Максимальних значень еквівалентні напруження в пуансонах, розраховані по енергетичній теорії, також досягають в зоні різальної кромки

$$\sigma_{\sigma \max} = k_{\sigma} \sigma_{cp},$$

де коефіцієнт  $k_{\sigma}=1,3-1,5$ .

При віддаленні від різальної кромки на відстань більшу  $0,5d$ , напружено-деформований стан практично співпадає з напружено-деформованим станом пуансона, навантаженого по торцю рівномірно розподіленим тиском.

Аналіз розрахунків на міцність і стійкість пуансонів змінного перерізу дозволив установити умову стійкості:

$$\sigma_{cp} \cdot t = \frac{Ed_0^4}{64kd_k I^2} \cdot \frac{\int_0^I (f')^2 d\gamma}{\int_0^I \frac{[f(I) - f(\gamma)]}{\lambda(\gamma)} d\gamma},$$

де  $d_0, d_k$  – діаметри кореневого і кінцевого перерізів пуансонів.

При проведенні експериментальних досліджень напружено-деформованого стану несучих елементів переналагоджуваних штампів, використовувалися методи топографічної інтерферометрії і спекл-голографічної інтерферометрії.

В експериментах використовувалися дослідні зразки базових плит, які пройшли дослідні випробування на працездатність, а також зразки пуансонів для вирубки-пробивки, виготовлені зі сталі Х12М, термооброблені до твердості HRC56-62 з модулем пружності  $E=2,1 \times 10^5$  Мпа. Навантаження виконувалися безпосередньо на столі СИН.

Аналіз топографічних інтерферограм процесу деформування нижньої базової плити довгих пуансонів і отриманих картин розподілення переміщень виявив їх добрий збіг з результатами теоретичних розрахунків.

Закріплення робочих елементів штампів сполученої і послідовної дії композиціями на основі пластмас акрилового класу визначає конструкцію і забезпечує ряд техніко-економічних переваг в порівнянні з іншими видами штампів. Проте, технологічні можливості цього способу закріплення мало досліджені.

З метою визначення міцності і експлуатаційних параметрів пластмасових тримачів з металевим армуванням нами було проведено експериментальне дослідження.

Конструкція, технологія виготовлення і спосіб закріплення тримача визначають його розрахункову схему. Припускається, що адгезія пластмаси забезпечує жорстке закріплення по боковій кінцевій поверхні, а її сполучення з пуансоном перешкоджає переміщенню точок внутрішньої циліндричної поверхні відносно абсолютно твердого пуансону.

В цих дослідженнях вивчається вплив товщини армованого пуансонотримача і об'єму пластмаси, що заливається, на його жорсткість і міцність.

В результаті комплексного дослідження характеристик міцності пластмасових пуансонотримачів встановлено:

- армування пластмасових тримачів просторовим металевим каркасом підвищує їх міцність і жорсткість, а також компенсує явища усадки при полімеризації пластмасової композиції, абсолютна величина напруження в цьому випадку зменшується в 1,5-2,0 рази;
- із збільшенням товщини пластмасового тримача, збільшуються і його несучі здібності. Оптимальною величиною для конструкцій, що розглядаються, є товщина 20-25мм;

- об'єм пластмаси, що заливається, чинить істотний вплив на напружений стан і несучі здібності тримача. Необхідно прагнути того, щоб об'єм частин пуансонів, що заливаються, займав не менше 30% загального об'єму корпусу пуансонотримача.

**В п'ятому розділі** подано методику і результати випробувань механізованих переналагоджуваних штампів, рекомендації по їх конструюванню і експлуатації, методика розрахунку і результати техніко-економічної ефективності використання результатів дисертації в умовах гнучких автоматизованих виробничих комплексів.

Метою виробничих випробувань було виявлення впливу не врахованих в процесі теоретичних і експериментальних досліджень факторів і параметрів, а також похибок обчислювань і лабораторних вимірів на працездатність конструктивних рішень.

При цьому для реєстрації параметрів, що контролюються, силової взаємодії конструктивних елементів в процесі динамічних випробувань використовувались відповідні вимірювальні засоби, прилади і апаратура.

Проведення виробничих експериментів по перевірці, уточненню і коректировці результатів лабораторних випробувань моделей і дослідних натурних зразків основних несучих деталей і розроблених конструкцій в цілому виконувалось методом динамічного тензометрування, який дозволяє реєструвати величини деформацій і напружень, що виникають, безпосередньо в процесі штампування.

На основі аналізу конструктивних особливостей переналагоджуваних штампів, специфіки їх використання в гнучких автоматизованих комплексах, а також необхідності досягнення потрібної точності експериментальних результатів розроблена методика проведення виробничих випробувань дослідних зразків створених конструкцій методом динамічної тензометрії з використанням відповідних приладів і апаратури.

В результаті проведення комплексу тензометричних вимірів в процесі виробничих випробувань переналагоджуваних штампів отримані характеристики напруженого стану, який виникає в нижніх базових плитах в процесі штампування і підтверджує результати теоретичних і експериментальних досліджень.

У відповідності до методики розрахунку економічної ефективності використання в гнучких автоматизованих комплексах переналагоджуваних штампів замість спеціальних встановлено, що річний економічний ефект від впровадження конструкцій складає 249,29 тис. грн. при значному розвантаженні інструментальних виробництв підприємств, які оснащуються.

## **ВИСНОВКИ**

Дисертаційна робота присвячена рішенням науково-технічної задачі створення на науковій основі механізованих переналагоджуваних штампів для гну-



чких виробничих комплексів з метою забезпечення можливості автоматизації при досягненні максимальної гнучкості і надійності, в рамках якої зроблено наступні висновки:

1. Відповідно з початковими економічними, технологічними та експлуатаційними вимогами, на основі результатів теоретичних і експериментальних випробувань розроблена конструкція переналагоджуваних штампів з механізованим закріпленням пакетів, яка забезпечує високий ступінь гнучкості і універсальності автоматизованих листоштампувальних комплексів.

2. Принциповою особливістю розроблених переналагоджуваних штампів є механізація фіксації та закріплення пакетів в блоці, використання композиційних матеріалів для закріплення і направлення робочих і напрямних елементів, а також використання різного виду металевого армування для компенсації явищ усадки в пластмасових блоках.

3. Використання високоєфективних сучасних теоретичних і експериментальних методів дозволило визначити основні навантаження на нижні базові плити, розробити математичні моделі їх силової взаємодії зі сполученими деталями і з підштамповими плитами пресів, отримати реальні розрахункові схеми, які враховують всі основні експлуатаційні і технологічні зусилля.

4. Розроблена алгоритмічна програма, яка дозволяє в широких межах проводити числові експерименти по створенню найбільш раціональних конструкцій базових плит переналагоджуваних штампів; методом кінцевих елементів визначений ступінь впливу конструктивних і експлуатаційних параметрів на характеристики міцності і жорсткості нижніх плит блоків, розраховані їх найбільш ефективні геометричні розміри, отримані оптимальні технологічні рішення.

5. Аналітично проведено комплекс розрахунків базових плит і пластмасових тримачів, визначено конкретні величини критичних зусиль, пов'язаних з фізико-механічними характеристиками листових матеріалів; методом кінцевих елементів виконано аналіз напружено-деформованого стану базових плит по основним розрахунковим схемам, визначені і сформульовані умови їх статичної та втомної міцності.

6. Розроблена методика використання голографічної інтерферометрії для дослідження процесів пружного деформування конструктивних елементів переналагоджуваних штампів при використанні технологічних операцій по обробці листових матеріалів.

7. Використання методу динамічної тензометрії в процесі виробничих випробувань дослідних зразків переналагоджуваних штампів, дозволило отримати реальні картини напруженого стану, який виникає в конструктивних елементах при штампуванні конкретних деталей, порівняти отримані результати з даними їх теоретичних і експериментальних досліджень і провести необхідне коректування раніше прийнятих конструктивних параметрів.

8. По результатах теоретичних, експериментальних досліджень і виробничих випробувань дослідних зразків виготовлена серійна партія переналагоджуваних штампів для гнучких автоматизованих листоштампувальних комплексів. Розроблена гнучка штампова оснастка впроваджена на 4-х машинобудівних підприємствах СНД, в тому числі на двох в Україні: державному підприємстві Харківський машинобудівний завод “ФЕД” і ВАТ “Полтавський автоагрегатний завод”. На одному з них – ДП Харківський машинобудівний завод “ФЕД”, розроблені переналагоджувані штампи експлуатуються в режимі гнучких автоматизованих листоштампувальних комплексів. Річний економічний ефект від впровадження переналагоджуваної штампової оснастки складає 249,29 тис. грн.

### **СПИСОК ПРАЦЬ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. Спицкий А.Н., Фост А.М. Исследование влияния материала на износостойкость подвижных элементов технологической оснастки. // Вестник национального технического университета «ХПИ». –Х.: НТУ «ХПИ». – 2001. –Вып.11. –С.80-83.

*Здобувачем проведений аналіз і встановлений вплив матеріалу і термічної обробки направляючих елементів переналагоджуваних штампів на їх зносостійкість.*

2. Мовшович А.Я., Буденный М.М., Фост А.М. Основные задачи по совершенствованию и дальнейшему развитию переналаживаемой технологической оснастки для листоштамповочного производства. // Високі технології в машинобудуванні. –Х.: НТУ «ХПИ». –2002. –Вип. 1. –С.226-232.

*Здобувачем запропоновані початкові вимоги до конструкції механізованих переналагоджуваних штампів для гнучких виробничих комплексів.*

3. Фост А.М. Нові прогресивні конструкційні матеріали, що використовуються в автомобілебудуванні. // Вісник Сумського національного аграрного університету: серія Механізація та автоматизація виробничих процесів. –Суми. –2002. –Вип. 8. –С.131-134.

4. Жолткевич Н.Д., Фост А.М. К вопросу конструирования технологической оснастки на основе композиционных материалов для листоштамповочных модулей. // Механіка та машинобудування. –Х.: НТУ «ХПИ». –2003. –Вип.1, т. 2. –С.213-216.

*Здобувачем запропоновані принципи конструювання переналагоджуваних штампів для листоштампувальних комплексів, матеріали для їх виготовлення.*

5. Фост А.М., Мовшович А.Я. Математическая модель силового взаимодействия несущих элементов переналаживаемых штампов. // Механіка та машинобудування. –Х.: НТУ «ХПИ». –2003. –Вип.1, т. 2. –С.320-323.

*Здобувачем визначені навантаження на елементи конструкції, запропонована математична модель їх силової взаємодії.*

6. Фост А.М., Жолткевич Н.Д., Горницкий А.Я. Переналаживаемый автоматизированный комплекс холодной листовой штамповки. // Резание и инструмент в технологических системах. Международный научно-технический сборник. –Х.: НТУ «ХПИ». –2004. –Вып.67. –С.169-174.

*Здобувачем визначений функціональний зв'язок і принцип роботи переналагоджуваного штамп, а також його місце в інтегрованому гнучкому листоштампувальному комплексі.*

7. Фост А.М., Иванов О.Е. Автоматизированный переналаживаемый комплекс для штамповки деталей из полосы. // Вопросы оборонной техники. –М: «ЦНИИнформации». –1987. Серия 2. –Вып.7 (193). –С.22-26, ДСП.

*Здобувачем обґрунтований модульний принцип конструювання переналагоджуваних штампів при штампуванні деталей з стрічки.*

8. Фост А.М., Покидченко В.М. Опыт применения штамповки для изготовления деталей специальной техники. // Вопросы оборонной техники. –М: «ЦНИИнформации». –1991. Серия 2. –Вып.2 (231). –С.32-34, ДСП.

*Здобувачем обґрунтована можливість застосування композитних матеріалів при штампуванні спеціальних виробів.*

9. Фост А.М., Рыжов Ю.Н. Особенности технологии сборки переналаживаемых штампов многократного применения. // Вопросы оборонной техники. –М: «ЦНИИнформации». –1989. Серия 2. –Вып.5 (212). –С.14-19, ДСП.

*Здобувачем розроблена технологія складання переналагоджуваних штампів багаторазового ви користування.*

## АНОТАЦІЇ

**Фост А.М.** Розробка та дослідження конструктивно-технологічних параметрів механізованих переналагоджуваних штампів для гнучких виробничих комплексів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук по спеціальності 05.03.05 – процеси та машини обробки тисненням. Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2004.

Дисертація присвячена розробці конструктивно-технологічних параметрів механізованих переналагоджуваних штампів для оснащення гнучких виробничих листоштампувальних комплексів на базі пресів зусиллям 250-1000кН.

Ефективне функціонування таких комплексів вимагає оснащення їх новими видами штампової оснастки, відповідно рівню устаткування.

Розроблена алгоритмічна програма та запропонована математична модель силової взаємодії елементів конструкції дозволили у широких межах провести численні експерименти з метою створення найбільш раціональних конструкцій базових плит переналагоджуваних штампів, визначити ступінь впливу конструктивних та експлуатаційних параметрів на міцність і жорсткість конструктивних елементів, одержати оптимальні технологічні рішення зниження металоємкості оснастки.

На основі аналізу конструктивних особливостей переналагоджуваних штампів, специфіки їх використання в гнучких виробничих комплексах, а також необхідності досягнення потрібної точності штампування, розроблені рекомендації щодо їх конструювання та експлуатації в умовах діючого виробництва.

**Ключові слова:** *механізований переналагоджуваний штамп, гнучкий виробничий комплекс, міцність, жорсткість, опирання, закріплення, математичне модулювання.*

**Фост А.М.** Разработка и исследование конструктивно-технологических параметров механизированных переналаживаемых штампов для гибких производственных комплексов. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.03.05 – процессы и машины обработки давлением. Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", Харьков, 2004.

Диссертация посвящена разработке конструктивно-технологических параметров механизированных переналаживаемых штампов для оснащения гибких производственных листоштамповочных комплексов на базе прессов усилием 250-1000 Кн.

Применение листовой штамповки связано с изготовлением дорогостоящих специальных штампов, высокая стоимость которых делает их применение невыгодным в условиях дискретно нестабильного производства при часто меняющейся номенклатуре выпускаемых изделий.

Анализ отечественной и зарубежной литературы и опыта работы предприятий показал, что магистральным направлением совершенствования листоштамповочного производства является широкое применение гибких производственных комплексов, обеспечивающих быструю переналадку при постановке на производство новых изделий.

Эффективное функционирование таких комплексов требует оснащения их новыми видами штамповой оснастки, отвечающими уровню оборудования.

Принципиальной особенностью разработанных для этих целей переналаживаемых штампов является механизация фиксации и закрепления пакетов в базовом блоке, применение композиционных материалов для закрепления и направления рабочих элементов, направляющих колонок и втулок, а также использование различного вида металлического армирования для компенсации усадочных явлений и повышения прочности пластмассовых блоков.

Разработанная алгоритмическая программа и предложенная математическая модель силового взаимодействия элементов конструкции позволили в широких пределах провести численные эксперименты по созданию наиболее рациональных конструкций базовых плит переналаживаемых штампов, определить степень влияния конструктивных и эксплуатационных параметров на прочность и жесткость конструктивных элементов, получить оптимальные технологические решения в части снижения металлоемкости оснастки.

Аналитически проведенный комплекс расчетов базовых плит, пластмассовых держателей, предохранительного фиксатора с использованием метода конечных элементов позволил получить величину критических усилий, связанных с физико-механическими характеристиками листового материала.

На основании исследования напряженно-деформированного состояния армированных пластмассовых держателей, получены картины распределения радиальных, тангенциальных, эквивалентных напряжений и вертикальных перемещений в меридиальных сечениях при различных объемах и толщинах заливаемой пластмассы. Установлено, что оптимальной, для предлагаемых конструкций штампов, является толщина пластмассового держателя, равная 25 мм.

Анализ напряженно-деформированного состояния базовых плит по основным расчетным схемам позволил сформулировать условия их статической и усталостной прочности, получить аналитические зависимости для определения рациональных конструктивных размеров, в зависимости от условий нагружения, опирания и закрепления.

Существенного снижения уровня напряжений, возникающих в базовой плите, можно достигнуть применением направляющих колонок. Необходимым для этого условием является соотношение диаметра колонки  $d_k = (0,8 - 1,0)H$ . При диаметре направляющих колонок  $d_k < 0,8H$  и больших усилиях штамповки в плитах могут возникнуть напряжения по величине превосходящие допустимые.

Лабораторные и производственные испытания, выполненные с использованием голографической интерферометрии, спекл-интерферометрии, статического и динамического тензометрирования, позволили получить реальные картины напряженного состояния, возникающего в конструктивных элементах при штамповке деталей, сравнить полученные результаты с данными теоретических

исследований и провести, в случае необходимости, корректировку ранее принятых конструктивных решений.

На основе анализа конструктивных особенностей переналаживаемых штампов, специфики их использования в гибких производственных комплексах, а также необходимости достижения требуемой точности штамповки, разработаны рекомендации по их конструированию и эксплуатации в условиях действующего производства.

Приведена методика расчета технико-экономической эффективности применения механизированной переналаживаемой оснастки для гибких производственных комплексов, а экономический эффект от ее внедрения на двух предприятиях Украины составил 249,29 тыс. грн.

**Ключевые слова:** механизированный переналаживаемый штамп, гибкий производственный комплекс, прочность, жесткость, опирание, закрепление, математическое моделирование.

**Fost A.M.** Developing and researching constructive-technological parameters of flexible manufacturing complexes. – Copyhand.

Dissertation on competition technical science candidate's degree according to speciality 05.03.05 – processes and pressure machining equipment. National technical university "Kharkov polytechnical institute", Kharkov, 2004.

Dissertation is devoted to developing constructive-technological parameters of mechanized adjustable dies for equipping flexible manufacturing sheet-die complexes on base of presses 250-1000 kH effort.

Effective functioning of such complexes demands their equipping by new adjustable die types according to equipment level.

Developed algorithymical programme and proposed mathematical model of power interaction of construction elements permitted in wide limits to make numeral experiments as to founding more rational constructions of base plates of adjustable dies, to define the degree of influence of constructive and operation parameters on strength and hardness of constructive elements, to receive optimal technological decision as to lowering metal-capacity equipping.

On the base of analysis of constructive properties of adjustable dies, specificity of their applying in flexible manufacturing complexes as well as necessity of receiving required precision of punching there are developed recommendations of their designing and exploiting in conditions of working manufacture.

**Key words:** *mechanized adjustable die, flexible manufacturing complex, strength, hardness, supporting, fixing, mathematical modeling*

**Фост Анатолій Михайлович**

**РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ  
ПАРАМЕТРІВ МЕХАНІЗОВАНИХ ПЕРЕНАЛАГОДЖУВАНИХ  
ШТАМПІВ ДЛЯ ГНУЧКИХ ВИРОБНИЧИХ КОМПЛЕКСІВ**

**Автореферат**

Відповідальний за випуск : к.т.н. Солом'яний А.У.

---

Підписано до друку 19 березня 2005 р. Формат 60×90 1/16

Друк офсетний. Обсяг 0,9 авт. Аркуша

Наклад 100 примірників. Замовлення №4 ДСК

Типографія ХАІ. 61070 Харків, вул. Чкалова, 17.