

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
"ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"

Анохін Олександр Анатолійович

УДК 621.73.073.001.63

**УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ РОБОЧИХ ДЕТАЛЕЙ ШТАМПІВ ДЛЯ
ХОЛОДНОГО ОБ'ЄМНОГО ШТАМПУВАННЯ ТА ВИДАВЛЮВАННЯ**

Спеціальність 05.03.05 - процеси та машини обробки тиском

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків - 2006

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному технічному університеті "Харківський політехнічний інститут" Міністерства освіти і науки України, м. Харків.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Євстратов Віталій Олексійович,
Національний технічний університет
"Харківський політехнічний інститут"
Міністерства освіти і науки України, м. Харків,
завідувач кафедри обробки металів тиском.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Тарасов Олександр Федорович,
Донбаська державна машинобудівна академія
Міністерства освіти і науки України, м. Краматорськ,
завідувач кафедри комп'ютерних інформаційних технологій;

кандидат технічних наук, доцент

Качанов Анатолій Петрович,

Кіровоградський національний технічний університет Міністерства освіти і науки України, м. Кіровоград,
доцент кафедри обробки металів тиском.

Провідна установа:

Державне підприємство "Завод ім. В.О. Малишева"
Міністерства промислової політики України, м. Харків.

Захист відбудеться **"21" червня 2006 р. о 14:30 год.** 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".

Автореферат розісланий **"19" травня 2006 р.**

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради Д 64.050.10

кандидат технічних наук, професор

Бортовой В.В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Широке впровадження прогресивної техніки й технології, що забезпечує підвищення продуктивності праці і якості продукції, є першорядною задачею.

Холодне об'ємне штампування (ХОШ) і холодне видавлювання (ХВ) відносяться до високопродуктивних і економічних процесів виготовлення деталей зі сплавів кольорових металів і різних марок стали. Економічна доцільність застосування холодного об'ємного штампування і видавлювання визначається підвищенням якості деталей, скороченням витрат металу, зменшенням трудомісткості, зниженням собівартості. Найвища ефективність процесів холодного об'ємного штампування й видавлювання досягається при виробництві осесиметричних деталей складної форми з великими перепадами перетинів і порожнинами різної конфігурації.

Однак висока економічна ефективність ХОШ і ХВ може бути досягнута лише в тому випадку, коли забезпечується висока працездатність штампового інструменту. Низька працездатність (2...10 тис. деталей) спостерігається у випадках руйнування інструменту в результаті недосконалої технології видавлювання, порушення процесу підготовки заготовок і відхилень від прийнятої технології, неправильного конструювання, виготовлення й експлуатації робочих деталей штампа.

Таким чином, підвищення працездатності робочого інструменту штампів для ХОШ і ХВ представляється актуальною задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана в рамках науково-дослідних робіт на кафедрі обробки металів тиском НТУ "ХП": "Дослідження та розробка технологічних процесів виготовлення точних заготовок деталей методами видавлювання і типових конструкцій високостійких штампів" (Д.Р. № 0188.0065291, НДІГідропривід, м. Харків), де здобувач був виконавцем окремих розділів, а також у рамках співробітництва з ВАТ "Електромаш" (м. Херсон) за договором № 18515, де здобувач був відповідальним виконавцем.

Мета і задачі дослідження. *Метою дисертаційної роботи є підвищення працездатності штампів для холодного об'ємного штампування і видавлювання шляхом удосконалення конструкцій їхніх робочих деталей.*

Для досягнення поставленої мети були сформульовані наступні задачі:

- дослідити напружено-деформований стан циліндричних опор, встановлених на суцільну плиту, а також плиту з центральним розташованим отвором;
- проаналізувати контактну взаємодію опор у виді зрізаного конуса й опор з галтельним переходом, встановлених на суцільну плиту або плиту з центральним отвором;
- показати вплив бандажування опор, встановлених на плиту з центральним отвором, на рівень напруг у небезпечних точках опор;

- виконати експериментальне дослідження контактної взаємодії опор пуансонів і виштовхувачів з плитою штампа;
- підготувати рекомендації для наступної розробки стандарту і керівних технічних матеріалів на конструювання й експлуатацію основних деталей штампів для холодного об'ємного штампування і видавлювання.

Об'єкт дослідження – штампи для холодного об'ємного штампування і видавлювання, їхні робочі елементи.

Предмет дослідження – напружено-деформований стан і контактна взаємодія пуансонів, виштовхувачів, опор пуансонів, опор виштовхувачів, плит штампів для холодного об'ємного штампування й видавлювання.

Методи дослідження. В основу теоретичних досліджень покладено фундаментальні основи механіки суцільних середовищ. Для аналізу напружено-деформованого стану важконавантажених деталей штампів використано метод кінцевих елементів (МКЕ). Експериментальні дослідження проводили на натурних моделях, а також моделюванням з використанням методу крихких прокладок і теорії подібності.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

- уперше детально проаналізовано напружено-деформований стан опор пуансонів і виштовхувачів, які спираються на плоскі плити з центрально розташованим отвором; показані умови, за яких максимум нормальної контактної напруги приходиться на периферійну частину опори або ж на центральну;
- уперше установлений вплив бандажа опори на її напружено-деформований стан, що дає можливість зменшити розтягуючі напруги у небезпечній точці опори.
- методологія структурного аналізу і проектування SADT (Structured Analysis and Design Technique) знайшла подальше використання для побудови алгоритму проектування штампів;

Практичне значення отриманих результатів.

- розроблено наукові основи конструювання опор пуансонів, опор виштовхувачів і плит штампів (суцільних і з центрально розташованим отвором);
- дано практичні рекомендації з вибору раціональних форм і розмірів опор пуансонів і опор виштовхувачів, що забезпечують мінімальні напруги на контактних поверхнях;
- розроблено алгоритм проектування штампів для холодного об'ємного штампування й видавлювання;
- запропонований у роботі експрес-метод аналізу розподілу контактних напруг на поверхні опора – плита можна з успіхом використовувати для удосконалювання конструкцій штампів безпосередньо у виробничих умовах;

– підготовлена науково обґрунтована база знань для розробки стандарту на конструкції робочих деталей штампів для холодного об'ємного штампування і видавлювання, а також створення керівних технічних матеріалів з конструювання й експлуатації штампів для холодного об'ємного штампування й видавлювання.

Результати дисертаційної роботи впроваджені в УкрДНТЦ „Енергосталь” (м. Харків) та у ДП ЦНДІ технології машинобудування (м. Харків).

Особистий внесок здобувача. Всі положення дисертації: ідеї, теоретичні і практичні результати отримані здобувачем особисто, серед них чисельні теоретичні дослідження, що дозволяють установити вплив конструктивних параметрів опор на розподіл контактних напруг в робочих деталях штампів; запропоновано метод експериментального дослідження і проведено фізичні експерименти на натурних зразках. Проведені теоретичні й експериментальні дослідження дозволили одержати нові відомості про умови роботи штампів для холодного об'ємного штампування.

Апробація результатів дисертації. Основні положення роботи здобувач доповідав на Міжнародній науково-технічній конференції “Фізичні і комп'ютерні технології в народному господарстві” (м. Харків, 2001 р.); Міжнародній науково-технічній конференції “Машинобудування і техносфера XXI століття” (м. Севастополь, 2003 р.); Регіональній науково-практичній конференції, присвяченій 50-річчю Білгородської області (м. Старий Оскол, 2003 р.); Міжнародній науково-технічній конференції “Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні” (м. Краматорськ, 2005 р.), а також на наукових семінарах кафедри обробки металів тиском НТУ “ХП”.

Публікації. Основний зміст дисертації викладено у 10 друкованих працях, з яких 7 статей у фахових виданнях, затверджених ВАК України.

Структура й обсяг роботи. Дисертація складається із переліку умовних скорочень, вступу, 5 розділів, висновків і 1 додатка. Повний обсяг – 145 сторінок, 40 ілюстрацій по тексту, 24 ілюстрації на 14 сторінках, 8 таблиць по тексту, одна окрема таблиця на одній сторінці, список з 95 найменувань використаних джерел на 10 сторінках. Обсяг основного тексту дисертації складає 116 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми, приведені відомості про наукову новизну роботи, показане практичне значення одержаних результатів і сформульовані положення, що виносяться на захист.

У першому розділі дисертації розглянуті загальні відомості про холодне об'ємне штампування й видавлювання, достоїнства цих технологій і проблеми стійкості штампового оснащення. На

підставі літературних даних про вплив різних факторів на стійкість деталей штампів встановлено, що найчастіше руйнуються матриці, пуанسونи і деталі, які розташовані по лінії дії технологічного зусилля – опори пуансонів, опори виштовхувачів, виштовхувачі. Приведено результати робіт з дослідження стійкості матриць, пуансонів, виштовхувачів, опор і рекомендації з їхнього конструювання.

Детальні дослідження матриць, які виконані в роботах вітчизняних та іноземних учених, показали, що при прямому способі видавлювання деталей стрижневого типу в найважчих силових умовах знаходиться матриця. Ними визначено напруги й деформації, що виникають в процесі складання і експлуатації бандажованих матриць, приведені методики розрахунку, дані рекомендації з конструювання матриць різної форми і призначення. В останні роки конструювання матриць поставлене на високий рівень, і проблема їхнього руйнування змінилась на проблему їхньої зносо-стійкості.

Також детально розглянуті питання стійкості пуансонів. У залежності від характеру впливу на стійкість всі основні конструктивні параметри пуансона розділені на три групи. Перша – параметри головки, що визначають технологічні навантаження; друга – розміри посадкової частини, що визначають значення середніх напруг у пуансоні при заданому навантаженні; третя – розміри перехідної частини (галтелі пуансона), що визначають значення локальних напруг при заданому навантаженні і середній нарузі в небезпечному перерізі пуансона. На підставі аналізу умов роботи і причин руйнування пуансонів для холодного видавлювання приведені рекомендації з їхнього проектування.

До теперішнього часу найменш вивченими залишаються опори пуансонів і виштовхувачів, а рекомендації з їх конструювання особливо суперечливі. У стандарті ГОСТ 19570-80, а також монографіях і довідниках з конструювання штампів для точного об'ємного штампування, холодного об'ємного штампування і видавлювання рекомендації щодо розмірів опор, які ще й досі використовують, розрізняються більш ніж у три рази (табл. 1).

Таблиця. 1

Рекомендовані у літературі відносні розміри опор пуансонів

| | | | | | | | |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|
| $D_{оп}/D_{в}$ | 3,6 | 3,4 | 3,2 | 3,0 | 2,75 | 2,1 | 1,2 |
| $H_{оп}/D_{оп}$ | 1,35 | 0,57 | 0,47 | 0,80 | 1,38 | 0,82 | 0,08 |

Аналіз раніше виконаних досліджень показав, що в штампах для холодного об'ємного штампування й видавлювання навантаження на робочі деталі наближаються до критичних, тому неточності в розрахунках і конструюванні часто призводять до різкого зниження стійкості штампів. Є значна область, у якій рекомендації з конструювання дуже суперечливі і потребують уточнення. У спеціальній літературі накреслені три основних напрямки підвищення стійкості штампів: по-

ліпшення технології процесу видавлювання (зменшення навантажень), оптимізація конструкції штампа (зниження локальних напруг), зміцнення матеріалу інструмента. Це свідчить про актуальність дослідження напружено-деформованого стану і розробки науково обґрунтованих рекомендацій з конструювання й експлуатації штампів для ХОШ і ХВ.

У висновках розділу сформульована мета і задачі дослідження.

В другому розділі розглянуті методики і методи дослідження, обрані для рішення поставлених у роботі задач.

Для дослідження напружено-деформованого стану було проведено:

- імітаційне (програмне) моделювання, при якому логіко-математична модель досліджуваного об'єкта являє собою алгоритм функціонування об'єкта, реалізований у виді універсального багатогоцільового програмного комплексу для розрахунків на міцність “CAN” на базі методу кінцевих елементів;
- фізичне моделювання, при якому модель і натура (об'єкт, який моделюється) являють собою реальні об'єкти єдиної фізичної природи і різної фізичної природи, між процесами в об'єкті-оригіналі й у моделі виконуються співвідношення подібності, що впливають зі схожості фізичних явищ;
- структурно-функціональне моделювання, при якому моделями є схеми (блок-схеми), графіки, кресленики, діаграми, таблиці, малюнки, доповнені спеціальними правилами їхнього об'єднання і перетворення.

У третьому розділі приведені результати дослідження напружено-деформованого стану важко навантажених деталей штампів. Виходячи з класифікації базових процесів видавлювання виділено дві групи таких деталей у штампі. Група 1 (для прямого способу видавлювання): матриця – пуансон – опора пуансона – верхня плита штампа. Група 2 (для зворотного способу видавлювання): нижня плита штампа – опора виштовхувача – виштовхувач – пуансон – опора пуансона – верхня плита штампа.

Для аналізу розглянуто 12 різних варіантів геометричних характеристик плити (діаметр отвору d_o) і опори (діаметр $D_{оп}$ і висота $H_{оп}$) (рис. 1). Навантаження на виштовхувач приймали у виді рівномірно розподіленої сили з інтенсивністю $q = 2$ ГПа, однакової для усіх варіантів. Дія заготовки замінена еквівалентними навантаженнями, прикладеними до робочої поверхні. Інші характеристики прийняті такими: модуль пружності $E = 210$ ГПа; коефіцієнт Пуассона $\nu = 0,3$. В усіх варіантах розрахунку прийнято, що основа плити штампа жорстко затиснена, а по інших поверхнях допускається проковзування одного тіла по іншому, коефіцієнт тертя пари прийнятий 0,3.

Для розрахунку використовували прикладний пакет „CAN”. При цьому задачу розглядали як осесиметричну, однак найменування осей приймали таким: по ординаті – вісь z , а по абсцисі – вісь x .

Показано, що напруги y_z розподілені в опорі (рис. 2) та по площинці контакту опори з плитою штампа (по координаті x) у край нерівномірно. Епюра $y_z = f(x)$ має два характерних максимуми (рис. 3). У штампах традиційної конструкції небезпечною є точка M (див. рис. 1).

Показано вплив діаметра й висоти опори на розподіл контактних напруг уздовж контактної площинки (див. рис. 3) і на рівень контактних напруг у небезпечній точці M (рис. 4, *a*). Установлено, що основний вплив має висота опори, а її діаметр визначає рівень контактних напруг в точці N (рис. 4, *б*).

Номінальну напругу в небезпечному перерізі $\sigma_{ном}$ обчислювали по формулі

$$\sigma_{ном} = \frac{F}{A},$$

де F – навантаження; A – площа поперечного перерізу.

Визначальним параметром при розрахунках є діаметр виштовхувача $D_в$. Виходячи з цього, на підставі даних чисельного моделювання, визначені залежності концентрації напруг у небезпечних точках M і N від різних співвідношень розмірів $D_{он}$ і $H_{он}$ (рис. 5)

Визначено, що діаметр отвору штовхальника не впливає на α_σ при достатній висоті опори – $D_{он}/H_{он} \leq 1,75$ і $D_{он}/D_в \geq 2$.

Концентрацію напруг, що впливає на стійкість інструмента, оцінювали теоретичним коефіцієнтом концентрації напруг,

$$\alpha_\sigma = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{ном}},$$

де σ_{max} – дійсна найбільша напруга в зоні концентрації;

$\sigma_{ном}$ – номінальна напруга в небезпечному перерізі (без врахування концентрації напруг).

У точці A (рис. 6, *a*) діють розтягувальні напруги, спрямовані уздовж радіуса (осі x). Це є однією з основних причин виходу опор з ладу – їх руйнування. Залежності розтягувальних напруг у точці A від висоти опори показані на рис. 7.

Застосування бандажа опори (рис. 6, *б*) дозволило знизити напруги розтягу і змінити їх на напруги стиску (рис. 8).

Значення допустимих напруг у точці A можна визначити в такий спосіб

$$\sigma_x \leq \frac{\sigma_B}{n_1},$$

де σ_B – межа міцності на розтяг;
 n_1 – коефіцієнт запасу міцності.

Встановлено вплив кута конусности опори на розподіл напруг на площинках контакту виштовхувача, опори і плити штампа, Характер розподілу напруг на поверхні плити штампа при використанні опори конічної форми не змінився. На площинці контакту виштовхувача й опори удалося зменшити на 15...20% напруги в небезпечній точці B_1 (див. рис. 1). На контактній поверхні опори і плити зміна кута конусности опори не викликала значного зниження напруг.

У процесі моделювання вдалося забезпечити $\sigma_z \approx \text{const}$ і $\alpha_\sigma \approx 1$ на площадці контакту виштовхувача й опори шляхом застосування галтельного переходу між діаметрами конічної опори (рис. 9, 10).

Умови роботи опори пуансона вигідно відрізняються від умов, у яких знаходиться опора виштовхувача. У зв'язку з відсутністю центрально розташованого отвору під штовхач напруги в зоні контакту опори й плити концентруються на зовнішньому діаметрі опори. Це дозволило прийняти розрахункову схему з опорою у виді зрізаного конуса і розміри елементів такими ж, як і для дослідження нижньої частини штампа.

Представлено епюри розподілу напруг на контактній поверхні опори з плитою штампа при різних значеннях діаметра й висоти опори пуансона (рис. 11). На концентрацію напруг на поверхні контакту значно впливає висота опори, у меншому ступені – її діаметр. Зміна діаметра майже не впливає на напруги на контактних поверхнях опори і плити під пуансоном, але помітно змінює їх на периферійних ділянках контактної поверхні опори.

При проектуванні опорних елементів для зниження локальних напруг на контактних поверхнях і в небезпечних перерізах варто застосовувати опори у виді зрізаного конуса з циліндричною основою або циліндричні опори з галтелями. Діаметр, висоту, кут конусности чи радіус галтелі опори треба вибирати на підставі встановлених вище залежностей. Для зниження напруг розтягу в опорі виштовхувача, яка розташована на плиті з центральним отвором, доцільно застосовувати бандаж.

У четвертому розділі дисертації розглянуті питання експериментальних досліджень.

Для визначення характеру розподілу напруг і деформацій у зоні контакту двох тіл при моделюванні процесів пружної деформації розроблений метод крихких прокладок. Суть методу полягає в тім, що в зону контакту двох тіл вводиться прокладка зі спеціально підібраними характеристиками міцності (рис. 12). Оскільки товщина прокладки набагато менша за розміри досліджуваних тіл, остільки є підстава припустити, що характер розподілу напруг змінюється мало. Модуль

пружності матеріалу прокладки приймається значно більшим модуля пружності матеріалу досліджуваної моделі, а це дозволяє говорити про те, що передача деформації прокладкою на поверхню контакту не спотворюється.

Основним результатом іспитів є картина тріщин (рис. 13) при зміні геометрії контактуючих тел. Обмеження зусилля в момент початку руйнування дозволяє одержати різні види картин тріщин.

Для моделі (див. рис. 12) використовували органічне скло з модулем пружності $E = 2,8$ ГПа. Розміри моделей $D = 100$ мм, $d_0 = 15$ мм, $H = 100$ мм, $D_g = 30$ мм, $L = 60$ мм не змінювалися, розміри D_{on} і H_{on} варіювалися в ході експерименту в межах 40...70 мм і 20...65 мм відповідно. Як крихку прокладку використовували скло товщиною до 2 мм із модулем пружності $E = 56$ ГПа. Представлені схеми відповідають моделюванню процесу роботи верхньої половини (а) і нижньої половини (б) штампа для ХВ. Навантаження проводили на гідравлічному пресі.

Одержано картину тріщин у тонкій прокладці, яка розрізняється залежно від зміни геометричних параметрів моделі штампа (див. рис. 13). По картині тріщин тонкої прокладки можна судити про характер деформацій на контактній поверхні опора – плита. При невеликій товщині опори (див. рис. 12, а) відбувається її прогин, розмір плями контакту зменшується до діаметра пуансона. У випадку центрального отвору під штовхач у плиті штампа (див. рис. 12, б) ситуація погіршується тим що на крайці отвору локалізуються напруги й деформації. Це добре видно на рис. 13, а та 13, б. При збільшенні висоти опори напруги на контактній поверхні розподіляються більш рівномірно (див. рис. 13, в – г), деформації не досягають критичної величини, тому центрально розташований отвір не є значним концентратором. При великій товщині опори збільшуються напруги на зовнішній крайці контактної поверхні опори (див. рис. 13, д). Отвір слабо впливає на характер деформації (див. рис. 13, е). Аналіз картини тріщин дає можливість якісно оцінити раціональність конструкції опорних елементів штампів для ХВ.

У реальних конструкціях штампа і на модельних зразках одержані картини відбитків, що залежать від конструкції елементів (рис. 14)

При випробуванні за схемою 1 (див. рис. 14, а) на поверхні опори пуансона А добре видно темне кільцеве поглиблення. Його формування відбувається в результаті циклічної пластичної деформації, як показали теоретичні розрахунки – у місцях концентрації напруг, це обумовлює часті поломки пуансонів у результаті руйнування опорної поверхні.

На контактних поверхнях В і В (див. рис. 14, а) відбиток чітко показує наявність вигину і взаємного проковзування поверхонь опори і плити, унаслідок чого спостерігається їхнє зношення.

При стисканні високої опори (див. рис. 14, б) характер розподілу напруг $\sigma_z(r)$ на поверхні А не змінюється, а на поверхні В змінюється принципово, епюра приймає такий же вид, як і на по-

верхні *A*. Це видно по контактних відбитках, де темне кільцеве поглиблення на поверхні плити і темна крайка на поверхні опори свідчать про високі контактні напруги в цій області.

Картини смуг інтерференції, одержані методом фотопружності на плоских моделях опор виштовхувачів, підтверджують результати, одержані методом крихких прокладок і методом контактних відбитків.

Результати проведених експериментальних досліджень показали:

– напруги на поверхнях контакту розподілені вкрай нерівномірно, що призводить до руйнування пуансонів, виштовхувачів та опор;

– на рівень напруг і їхній розподіл великий вплив мають співвідношення геометричних параметрів контактуючих деталей.

Недоліки методу крихких прокладок не дозволяють дати кількісну оцінку деформованого стану, але дані, визначені теоретичними методами, корелюють з даними, що одержані в результаті експерименту. Ці результати можна використовувати для доведення штампів у виробничих умовах.

У п'ятому розділі дисертації розглянута проблема проектування штампового оснащення і запропоновані шляхи її рішення з позиції процесного підходу.

Деталі штампа умовно розділені на три групи: базові, робочі, кріпильні елементи. З використанням діаграми Ісікави виявлені чинники, що визначають стійкість штампа.

З огляду на чинники, що впливають на стійкість штампа, процес конструювання штампа представлений структурно-функціональною моделлю. Модель складається з функціональних блоків, що характеризуються наявністю входу (I – input), виходу (O – output), механізму (M – mechanism) і керування (C – control). Параметром входу процесу проектування є технічне завдання на виготовлення деталі: її форма, розміри, матеріал. Механізмом процесу є вимоги і рекомендації з проектування. На основі принципу ієрархічної декомпозиції зверху вниз процес представлений більш простими підпроцесами зі структурними зв'язками (рис. 15). Відповідно до схеми процесу конструювання пуансона, матриці і виштовхувача можна виконувати паралельно. Параметрами входу цих процесів будуть технічне завдання на виготовлення деталі (I1) і технологічне зусилля (I2). Механізм цих процесів регламентується нормативною документацією і довідковою літературою (M1). Процес керування проводиться за допомогою перевірки конструкції на працездатність (C1). Вихідні параметри процесів конструювання (O1, O2) використовуються надалі на наступних етапах процесу проектування штампа. Крім того, вихідні параметри процесів конструювання пуансона і виштовхувача далі використовуються при конструюванні опор, механізмом процесу є нормативна і довідкова документація (M1) і параметри технологічного обладнання (M2). Дані, одержані в результаті процесу конструювання опор (O2), використовуються надалі для проектування і можуть впливати на процеси конструювання пуансона і виштовхувача. При моделюванні одноча-

сно зі структуванням проблеми розроблена структура баз даних із проектування штампового оснащення.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ І ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота присвячена вирішенню науково-практичної задачі аналізу взаємодії важконавантажених деталей штампів для холодного об'ємного штампування та видавлювання. Встановлено залежності впливу конструктивних параметрів опор пуансонів та виштовхувачів на їх напружено-деформований стан.

Найбільш важливі наукові і практичні результати роботи:

1. Ефективність процесів холодного об'ємного штампування і видавлювання істотно залежить від працездатності штампового оснащення. Аналіз показав, що стійкість важко навантажених деталей штампів, розташованих по лінії дії технологічного зусилля, залишається низкою. Рекомендації з конструювання цих деталей, що містяться в нормативних документах, спеціальній технічній літературі та КТМ, носять суперечливий характер і не відповідають сучасним досягненням науки й техніки. Використання таких рекомендацій часто призводить до передчасного руйнування робочих частин і виходу з ладу штампів. Це стає перешкодою для широкого застосування холодного об'ємного штампування і видавлювання.

Щоб подолати цей недолік з позиції системного підходу проаналізовано напружено-деформований стан деталей штампів, розташованих по лінії дії технологічного зусилля.

2. Напружено-деформований стан циліндричних опор (традиційної конструкції), установлених на плоску суцільну плиту й плиту з центральним розташованим отвором, характеризується крайньою нерівномірністю розподілу напруг, яка залежить головним чином від відношення діаметра та висоти опори до діаметра опорної частини пуансона або виштовхувача ($D_{оп}/D_{в}$, $H_{оп}/D_{в}$). Встановлено, що опори великого діаметру і малої висоти прогинаються, що призводить до значного підвищення коефіцієнта концентрації напруг в пуансоні або виштовхувачі, а опори малого діаметру і великої висоти призводять до значного перенапруження плит штампів. Це відзеркалено на графіках, які подані у роботі.

3. Контактна взаємодія опор складної форми (у виді зрізаного конуса та опор з галтеллю) із плоскою суцільною плитою або плитою з центральним отвором, не залежить від кута конуса або радіуса галтелі. Але застосування кута конуса опори в межах $53^{\circ} \dots 37^{\circ}$ дозволяє зменшити концентрацію контактних напруг між опорою і виштовхувачем або пуансоном на $15 \dots 20 \%$, а застосування галтелі дозволяє знизити коефіцієнт концентрації до одиниці. У роботі побудовані графіки, що дозволяють установити раціональні форми і розмірів опор.

4. Бандажування опор, установлених на плиту з центральним отвором, дозволяє керувати рівнем напруг у небезпечних точках опор, попереджувати їх руйнування і забезпечувати їхню надійну роботу в штампі.

5. На підставі експериментальних досліджень із застосуванням елементів теорії подібності розроблено спосіб візуалізації особливостей деформації на контактних поверхнях (метод крихких прокладок). Даний спосіб може бути використаний як експрес-метод оцінки раціональності конструкції штампа. Відповідність картини тріщин підтверджено методом контактних відбитків на натурних моделях і чисельному моделюванні за допомогою методу кінцевих елементів, реалізованого в універсальному багатоцільовому програмному комплексі для розрахунків на міцність “CAN”.

6. Запропоновано раціональні конструкції опор пуансонів і виштовхувачів (у виді зрізаного конуса, циліндра з виточками, бандажованої конструкції), що дозволяють зменшити нерівномірність контактних напруг на поверхнях опори і виштовхувача або пуансона, наблизивши коефіцієнт концентрації напруг до одиниці. Це відкриває можливості застосування пуансонів і виштовхувачів з нерозвиненою опорною частиною і значно підвищити коефіцієнт використання дефіцитних і коштовних інструментальних сталей. Для запобігання утворення тріщин на контактній поверхні опори з плитою, отримані залежності напруг розтягу у небезпечній точці від напруги натягу бандажу.

7. На підставі результатів, отриманих у дисертації, розроблені наукові основи конструювання опор пуансонів, опор виштовхувачів, установлених на плити штампів (суцільні та з центральним розташованим отвором), запропонована методика конструювання штампів для холодного видавлювання, створена основа для розробки стандарту і керівних технічних матеріалів на проектування штампів для холодного об'ємного штампування і видавлювання.

8. Результати дослідження впроваджено в УкрДНТЦ “Енергосталь” і на ДП ЦНДИ технології машинобудування.

ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ДИСЕРТАЦІЇ ОПУБЛІКОВАНІ В НАСТУПНИХ РОБОТАХ

1. Анохин А.А., Евстратов В.А., Евстратова Т.Л., Кузьменко В.И. Методика экспериментально-аналитического исследования напряженно-деформированного состояния деталей штампов // Кузнечно-штамповочное производство. – М. – 1999. – №11. – С. 9 – 13.

Особистий внесок здобувача полягає в розробці алгоритму експериментально-аналітичного дослідження напружено-деформованого стану деталей штампів.

2. Анохин А.А., Евстратов В.А., Хавин Г.Л. Применение метода граничных элементов для математического моделирования и оптимизации конструкций опорных элементов штампов для

выдавливания // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – Харьков: ХГПУ, 1999. – Вып. 76. – С. 72 – 75.

Здобувачем розроблено методику застосування граничних елементів до деталей штампів, які знаходяться в контакті під великими напруженнями.

3. Анохин А.А., Бондарь С.В., Зубатый С.С., Лавинский В.И. Влияние конструктивно-технологических особенностей на прочность составных бандажированных матриц для холодного выдавливания // Кузнечно-штамповочное производство. – М. –2000. –№1. – С. 20 – 23.

Здобувачем особисто проведено дослідження впливу технологічних факторів на міцність матриць.

4. Анохин А.А., Евстратов В.А., Кутецкий Я.В. Метод хрупких прокладок // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харьков. –2003. –№3. –С. 27–28.

Особистий внесок здобувача полягає в формулюванні ідеї методу та його запровадженні для експрес-аналізу правильності конструкції опор пуансона та виштовхувача.

5. Анохин А.А. Некоторые прогрессивные технологии восстановления качества поверхностей деталей // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – Харьков. – 2003. – №5. – С. 10 – 15.

6. Анохін О.А., Євстратов В.А., Кузьменко В.І., Кутецький Я.В. Методи дослідження процесів обробки металів тиском: визначення напруг на контактних поверхнях інструментів // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні. – Краматорськ: ДДМА, 2005. – С. 55 – 61.

Особистий внесок здобувача полягає в оцінюванні методів фізичного та математичного моделювання контактної взаємодії.

7. Анохин А.А., Евстратов В.А. Конструирование штампового инструмента с позиции процессного подхода // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. – Харків: НТУ “ХПІ”, 2005. – Вип. 1(10). – С. 18 – 21.

Особистий внесок здобувача полягає в формулюванні нового підходу в конструюванні штампів.

8. Анохин А.А., Евстратов В.А., Хавин Г.Л., Школьный С.Н. Применение математических моделей для оптимизации конструкций штампов холодного выдавливания // Сборник трудов 4-й международной научно-технической конференции “Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве” – Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2001. – С. 205 – 207.

Особистий внесок здобувача полягає в розробці алгоритму оптимізації конструкцій штампів.

9. Анохин А.А. Использование метода хрупких прокладок при исследовании деформаций на контактных поверхностях деталей штампов // Сборник научных трудов “Машиностроение и техносфера XXI века”. – Донецк: ДонНТУ, 2003. –С. 26 – 29.

10. Анохин А.А., Бахмутская О.Н. Моделирование при исследовании напряженно-деформированного состояния элементов штампов // Сборник научных трудов региональной научно-практической конференции “Полвека Белгородской области: итоги, проблемы, перспективы” – Старый Оскол: СТИ МИСиС, 2003. – С. 76–78.

Особистий внесок здобувача полягає в обґрунтуванні метода моделювання процесів обробки тиском.

АНОТАЦІЇ

Анохін А.А. Удосконалення конструкції робочих деталей штампів для холодного об'ємного штампування і видавлювання. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за фахом 05.03.05 – процеси і машини обробки тиском – Харківський національний технічний університет “ХПІ”, м. Харків, 2006.

Робота присвячена удосконаленню конструкцій робочих деталей штампів, розробці рекомендацій з підвищення їхньої працездатності і розробці алгоритму проектування штампів. Розглянуто існуючі конструкції елементів штампа, що визначають його працездатність.

У роботі показаний вплив конструктивних елементів і розмірів опор пуансонів та виштовхувачів на розподіл контактних напруг і їхню величину. Обґрунтована доцільність застосування опор у виді зрізаного конуса, а також із галтельним переходом.

Розроблено метод крихких прокладок, який дозволяє якісно оцінити розподіл напруг на контактних поверхнях.

На основі методології функціонально-структурного проектування створена модель процесу проектування штампів для холодного об'ємного штампування і видавлювання і розроблена структура розподіленої бази даних для побудови системи автоматизованого проектування.

Ключові слова: штамп для холодного об'ємного штампування і видавлювання, опора виштовхувача, опора пуансона, проектування штампів.

Анохин А.А. Совершенствование конструкций рабочих деталей штампов для холодной объемной штамповки и выдавливания. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.03.05 – процессы и машины обработки давлением – Национальный технический университет “ХПИ”, г. Харьков, 2006.

Работа посвящена усовершенствованию конструкций рабочих деталей штампов, разработке рекомендаций по повышению их работоспособности и разработке алгоритма проектирования штампов.

Ресурсосбережение является одним из приоритетных направлений развития машиностроения. Дальнейшее развитие технологии холодной объемной штамповки и выдавливания позволит увеличить коэффициент использования металла, сократить затраты, повысить производительность и улучшить качество продукции.

Важнейшей причиной, сдерживающей широкое применение холодной объемной штамповки и выдавливания, является низкая стойкость штампового инструмента. В работе приведены существующие конструкции элементов штампа, определяющие его работоспособность. На основании проведенного анализа установлена необходимость исследования опорных элементов пуансонов и выталкивателей с позиции системного подхода.

На основе метода конечных элементов, реализованного в универсальном расчетном программном комплексе “CAN”, исследовано напряженно-деформированное состояние тяжело нагруженных деталей, расположенных по линии действия технологического усилия. Результаты показали, что при использовании опор различной конструкции характер напряжений на поверхностях контакта весьма различается. Размеры опор должны выбираться в зависимости от технологического усилия, опорного диаметра пуансона или выталкивателя и от материалов из которых эти детали изготовлены. Использование цилиндрических опор не оправдано и требует применения пуансонов и выталкивателей с развитой конусообразной опорной частью. Более целесообразно применение опор в виде усеченного конуса или с выкружками в виде галтели. Такие опоры позволяют снизить неравномерности распределения напряжений на поверхностях контакта опоры и выталкивателя или пуансона, приблизив коэффициент концентрации напряжений к единице. При использовании плит штампов с центрально расположенным отверстием толкателя решающую роль на распределение напряжений на поверхности контакта опоры и плиты играет высота опоры.

Впервые разработан метод хрупких прокладок, показывающий характер распределения контактных напряжений. Он позволяет произвести экспресс-оценку проектируемого инструмента и доводку штампа в процессе производства.

Описаны эксперименты на натуральных образцах, которые показали характер и причины разрушений опор и плит штампов.

Используя методологию функционально-структурного проектирования, на основе результатов, полученных в работе, создана модель процесса проектирования штампов для холодной объемной штамповки и выдавливания. Одновременно с иерархической структурой модели разработана структура распределенной базы данных для построения системы автоматизированного проектирования.

Результаты работы внедрены в УкрГНТЦ „Энергосталь” (г. Харьков) и ГП ЦНИИ технологии машиностроения (г. Харьков).

Ключевые слова: штамп для холодной объемной штамповки и выдавливания, опора выталкивателя, опора пуансона, проектирование штампов.

Anokhin A. A. The improvement of the working details design for cold bulk punching and extrusion insert-dies. - Manuscript.

The dissertation for a scientific degree of candidate of technical sciences on a specialty 05.03.05 - processes and machines of mechanical working – National Technical University " KhPI ", Kharkov, 2006.

The dissertation is devoted to improvement of the working details design for cold bulk punching and extrusion insert-dies. Existing designs of elements of a stamp determining his working capacity are considered.

In this work the influence of constructive elements of contact pressure is shown. The optimal shapes and sizes of supports of punches and supports of pushers are obtained. The influence of plate shapes (plane and with bores) on distribution of contact pressure and their level is analysed.

The method of the fragile linings is developed, allowing to estimate character of distribution of pressure on contact surfaces.

On the basis of methodology of functional-structural designing the model of process of designing of shaping-dies for bulk cold punching and extrusion is created and the structure of the distributed database for construction of system of the automated designing is developed.

Keywords: stamp for cold bulk punching and extrusion, support of a pusher, support of a punch, design of insert-dies.

Автореферат

**УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ РОБОЧИХ ДЕТАЛЕЙ ШТАМПІВ ДЛЯ
ХОЛОДНОГО ОБ'ЄМНОГО ШТАМПУВАННЯ ТА ВИДАВЛЮВАННЯ**

Анохін Олександр Анатолійович

Відповідальний за випуск
к.т.н. Левченко В.М.

Підписано до друку 15.03.2006.

Формат 60×90/16.

Обсяг 0,9 авт. арк.

Наклад 100 прим. Замовлення № 05/05

61002, ТОВ “СТАС”, тіпографія “Mag Press”

м. Харків, вул. Дарвіна, 8

тел/факс: 719-44-55