

**СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

ШУМЕЙКО ПАВЛО ДМИТРОВИЧ

**УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ ХОЛОДНОГО
ЛИСТОВОГО ШТАМПУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯМ
ЕЛЕМЕНТІВ ОБ'ЄМНОГО ДЕФОРМУВАННЯ**

Спеціальність: 05.03.05. - процеси та машини обробки тиском

АВТОРЕФЕРАТ

**ДИСЕРТАЦІЯ НА ЗДОБУТТЯ НАУКОВОГО СТУПЕНЯ
КАНДИДАТА ТЕХНІЧНИХ НАУК**

Луганськ 1996



Дисертація є рукописом.

Робота виконана на кафедрі " Автоматизації Ковальсько-штампувального виробництва"
Запорізького державного технічного університету

Науковий керівник - кандидат технічних наук
професор Дубіна В.І.

Офіційні опоненти:

1. Доктор технічних наук, доцент Алієв І.С.
2. Кандидат технічних наук, доцент Гладушин В.В.

Провідне підприємство - АТ АвтоЗАЗ м. Запоріжжя

Захист відбудеться " 11 " листопада 1996 р на засіданні спеціалізованої наукової ради К 18.02.03. при Східноукраїнському державному університеті за адресою : 348034, м. Луганськ, кв. Молодіжний 20-а

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Східноукраїнського державного університету

Автореферат розісланий " 10 " червня 1996 р

ЛННБ ім. В. Стефаніка
АН України

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради
кандидат технічних наук, доцент Л.А. Рябічева Л.А.

Загальна характеристика праці, актуальності
і досліджуваності тематики.

Сучасне листоштампувальне виробництво є одним з прогресивних методів виготовлення деталей. Застосування в холодному листовому штампуванні (ХЛШ) елементів об'ємного деформування (ЕОД) у вигляді місцевого зменшення товщини листового металу методами холодного об'ємного штампування (ХОШ) з формуванням рел'єфних зон є однією з підвищуючих якості продукції, ресурсозберігаючих технологій. Рел'єфні зони формуються як з метою створення форми, так і з різними технологічними завданнями, серед яких створення вигідних умов контактного тертя, напружено-деформованого стану, змінення силового режиму штампування. Використання ЕОД у ХЛШ дозволяє виготовляти деталі, які не потребують послідуєчої механічної обробки. Вироби, отримані таким методом мають підвищену точність, чистоту поверхні, жорсткість. Але більш широке використання ЕОД у ХЛШ стримується з причини відсутності рекомендацій по проектуванню раціональної форми штампового інструменту для нанесення рел'єфних зон. З приладу цього актуальним завданням є розробка науково обгрунтованих рекомендацій для обліку форми рел'єфа ЕОД.

Ціль і основні завдання дослідження.

Метою дисертаційної роботи є підвищення точності виробів та стійкості штампового устаткування при виготовленні деталей з таврового профілю методом гнуптя з калібруванням.

Для досягнення даної мети сформульовані основні завдання роботи:

1. Розробити класифікацію використання ЕОД у ХЛШ.
2. Розробити нові способи штампування з використанням ЕОД.
3. Розробити математичну модель осажування нескінченно довгої штаби з затеканням металу у щілинні поглиблення.
4. Створити на основі математичної моделі програмне забезпечення ЕОМ для обліку параметрів процесу осажування з затеканням металу у поглиблення щілинного типу.
5. Експериментально дослідити процес гнуптя таврового профілю з калібруванням полки.
6. Розробити на основі виконаних теоретичних та експериментальних досліджень рекомендації по використанню ЕОД при штампуванні гнуптих деталей з таврового профілю.
7. Впровадити у виробництво розроблені способи штампування.

Характеристика методологій, методів дослідження предметів і об'єктів.

Теоретичне дослідження силових та деформаційних параметрів осажування нескінченно довгої штаби з аатеканням металу у рел'єфні поглиблення циліндричного типу виконано енергетичним методом, з використанням чисельного методу поєднаного спуску. Оптимізація параметрів рел'єфних поглиблень проведена методом золотого перерізу. Експериментальні дослідження виконані на оригінальному устаткуванні. Дані оброблені на основі методів математичної статистики.

Обґрунтування теоретичної і практичної цінності дослідження і його наукової новини.

Теоретична цінність праці визначається створенням класифікації процесів ХЛШ з БОД, математичної моделі осажування нескінченно довгої штаби з аатеканням металу у необмежену кількість рел'єфних поглиблень циліндричного типу з урахуванням контактного тертя та зміцнювання матеріалу. Розроблено кілька нових способів штампування з БОД.

Практична цінність полягає у створенні на основі розробленої математичної моделі пакета прикладних програм "RELIEF" за допомогою якого можливо виконувати розрахунки процесів, пов'язаних з осажуванням нескінченно довгої штаби з аатеканням металу у рел'єфні поглиблення циліндричного типу.

Рівень реалізації впровадження наукових розробок.

Результати дослідницької роботи реалізовані у кількох технологічних процесах, впроваджених на АО АвтоСАЗ. Спроектований та впроваджений у виробництво спосіб виготовлення колодки гальмової з таврового профілю, який підвищує продуктивність виготовлення деталі та строк експлуатації калібрального штампу у 12 разів, річний економічний ефект від впровадження має обсяг 359172 карб. (у цінах 1992 р). Спроектований та впроваджений у виробництво спосіб виготовлення диска колеса з використанням БОД. Річний економічний ефект від впровадження досягнутий за рахунок підвищення продуктивності і сягає 12163 тис. карб. (у цінах 1993 р).

Інформація про апробації і публікації результатів дослідження, структури і обсягу дисертації.

Основні положення дисертації доповідалися та обговорювалися на конференціях: "Ефективні технологічні процеси листового штампування" (м. Москва, 1993р.); "Прогресивні технології та

устаткування для обробки металів тиском" (м. Київ, 1993р.); "Устаткування та процеси обробки тиском" (м. Москва, 1995р.); на науково-технічному семінарі кафедри АКШВ Запорізького державного технічного університету (1995р).

Матеріали дисертації опубліковані у 11 друкованих роботах, у тому числі в 7 авторських свідоцтвах на винаходи.

Робота складається з вступу, п'яти розділів, висновків, переліку літератури з 69 найменувань та 8 додатків. Загальний обсяг роботи - 190 с. (100 сторінок машинописного тексту, 7 таблиць, 59 малюнків.

Декларація конкретного особистого вкладу дисертанта в розробку нових наукових результатів, внесення на захист.

Дисертантом особисто розроблені: класифікація процесів ХШВ з БОД; математична модель осажування нескінченно довгої штаби з затеканням металу у необмежену кількість рел'єфних поглиблень щілинного типу з урахуванням контактного тертя та зміцнювання матеріалу; пакет прикладних програм "RELIEF". У розробці способу виготовлення колодки гальмової дисертанту належить 50% вкладу; у розробці способу виготовлення диска колеса - 30%.

Особисто дисертантом виконані всі розрахунки, аналіз їх результатів, які виносяться на захист:

- а) Класифікація процесів ХШВ з використанням БОД.
- б) Математична модель осажування нескінченно довгої штаби з затеканням металу у необмежену кількість рел'єфних поглиблень щілинного типу.
- в) Методика обліку параметрів кінцевого формоамінення та сили осажування штаби з затеканням металу у щілинні поглиблення.
- г) Методика знаходження раціональної ширини та кількості рел'єфних поглиблень в пуансоні для калібрування колодки гальмової.
- д) Результати експериментів по осажуванню штаби у рел'єфні щілинні поглиблення та поперечному гнуттю таврового профілю.
- е) Впровадження способі в виготовлення колодки гальмової та диска колеса.

Основний зміст роботи .

У вступі обґрунтована актуальність теми дисертації, сформульована ціль, наукова новизна та практична цінність .

Перший розділ присвячений аналітичному перегляду раніше зв'язаних технологічних схем ХШВ з БОД, та рішення, пов'язаних

з ними. Увага приділена аналізу технологічних процесів, получених комбінюванням ХОШ та ХЛШ. Встановлено, що цілями вживання БОД у ХЛШ є не тільки формостворення, але й підвищення точності виготовляємих деталей, штампувальності матеріалу, стійкості штампового інструменту, продуктивності штампування, зниження металомісткості виробів.

Розглянуто сучасне положення досліджень процесу гнуття профілів у роботах Лисова М. Н., Сахненко В. Л., Мошнина Е. М., та ін. Оглянуто описання скривлення плоских поперечних перерізів при поперечному гнутті, під час якого відбувається сдвиг одних вадовжних шарів агинаємої заготовки відносно інших тому, що діють значні дотикальні напруження. Найбільш значні скривлення (депланації) відбуваються у торцевих поверхнях. Описати процес гнуття з депланацією перерізів за допомогою гіпотези плоских перерізів, яка використовується у багатьох дослідженнях, не можливо. В літературних джерелах не знайдено аналітичних та експериментальних залежностей стосовно процесу депланації перерізів.

Проведений огляд досліджень процесу осажування нескінченно довгої штаби з гатеканням металу у рел'єфні поглиблення щілинного типу, увага приділена роботам Євстратова В. А., Шофмана Л. А., Тарновського І. Я. Розглянуті дослідження проведені методами ліній коваання, інженерним, верхньої відмітки. В роботах Шофмана Л. А. розроблені схеми полів ліній коваання при різних відношеннях розмірів штаби та поглиблення, розглянуті умови створення утяжини. В роботах Євстратова В. А. та Тарновського І. Я. розглянуто поділ на області пластичного деформування та збудування поля швидкостей при рішенні завдання енергетичним методом. Однак у розглянутих роботах всі рішення стосуються знаходженню сили деформування, не вирішено завдання кінцевого формозміннення штаби, не враховано можливе зміцнювання металу, максимальна кількість рел'єфних поглиблень щілинного типу не перевищує двох.

У результаті перегляду встановлено, що для успішного використання БОД у ХЛШ потрібна систематизація, удосконалення розрахункових методів та накоплення нових експериментальних даних для створення надійних та працездатних техпроцесів на їх основі. З цим і пов'язані завдання дослідження.

Другий розділ присвячений розробці класифікації процесів ХЛШ в БОД по типу виготовляємих деталей, по комбінюванню

операцій ХЛШ та ХОШ. Розроблена класифікація вживання ЕОД у ХЛШ, на якій показані завдання вживання ЕОД та методи їх рішення, наведені приклади способів штампування.

На основі розробленої класифікації, вживаючи системний підхід, розроблено кілька нових способів штампування.

Способи виготовлення диска колеса розроблені на базі комбінювання рел'єфного протягування та витяжки, а також формування та чеканки. Вони вирішують проблеми підвищення точності по радіальному биттю шляхом компенсації остаточних напруг за допомогою нанесення рел'єфа на стінки диска, підвищення продуктивності шляхом усунення додаткової механічної обробки фасок крепіжних отвірів.

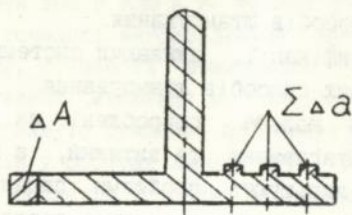
Розроблений штамп для пробивання совісних отвірів у стінках П- подібних профілів, вирішуючий проблему підвищення продуктивності шляхом усунення додаткової механічної обробки.

Розроблені способи обробки поверхні листа прокаткою рел'єфними валками, який дозволяє підвищувати коефіцієнт використання металу за рахунок подовження металу під час прокатки у холодному стані, при цьому не відбувається зниження штампувальності за рахунок зниження коефіцієнта контактного тертя у процесі обробки тиском, як на перших, так і на наступуючих переходах штампування.

Розроблений спосіб виготовлення гнутих деталей з таврового профілю типу колодки гальмової. Суть його полягає у наступному: заготовка з таврового профілю підлягає поперечному гнуттю у штампі на деякий радіус полкою зовні, під час гнуття відбувається нерівноважна деформація у поперечних перерізах полки профіля вздовж її довжини (на торцах - мінімум потоншення полки, а у центрі - максимум). Потім іде калібровка полки профіля по радіусу з нанесенням на її внутрішню поверхню рел'єфа, який наноситься пуансоном з рядом рел'єфних поглиблень щілинного типу в торцевих частинах, у які затекає лишок металу. Таким чином після калібрування маємо деталь з рівноважною шириною полки та випадає необхідність у додатковій механічній обробці. Крім того використання пуансона з рел'єфними поглибленнями знижує силу калібрування. Для обліку параметрів рел'єфних поглиблень у штамповому інструменті необхідно розглянути процеси гнуття заготовки з таврового профілю та осажування штаби з затеканням металу у рел'єфні поглиблення щілинного типу.

На мал. 1 показано поперечний переріз таврового профілю після калібрування з нанесенням рел'єфу.

ΔA - алик металу після калібрування плоским пуансоном;

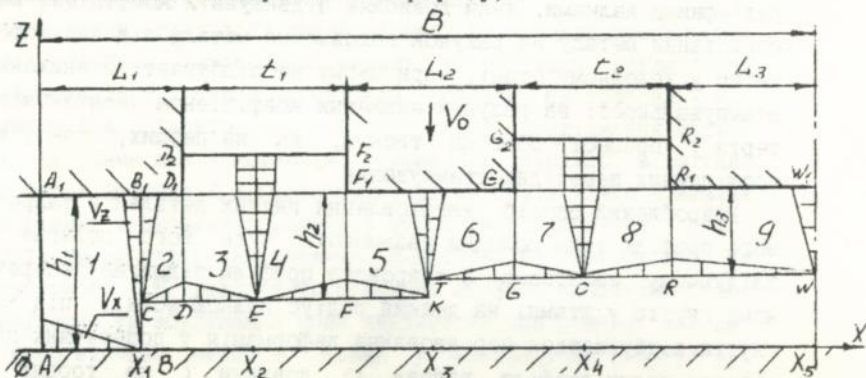


$\Sigma \Delta a$ - рел'єфні виступи;

$$\Delta A = \Sigma \Delta a;$$

Мал. 1.

У третьому розділі на основі енергетичного методу теоретично досліджений процес осажування нескінченно довгої штаби з затеканням металу у симетрично розташовані рел'єфні поглиблення щілинного типу. Кінематично можлива модель осажування штаби з затеканням металу у чотири симетрично розташовані рел'єфні поглиблення щілинного типу зображена на Мал. 2 (показана половина поперечного перерізу).



Мал. 2.

При її збудуванні прийняті наступні припущення: матеріал жорстко пластичний, нестискаємий, однорідний; деформація рівноважна, лінійна; вісь координат X лежить на площині матриці, яка нерухома; вісь Y - на боковій поверхні штаби; швидкість пересування пуансона - V_0 ; контактними є площини: A_1B ; AB ; B_1D ; F_1K_1 ; K_1G_1 ; R_1W_1 ; D_1D_2 ; F_1F_2 ; G_1G_2 ; R_1R_2 ; зона пластичної деформації розбита на області 1 - 9; область 1 має глибину h_1 ; глибина h_2 областей 2 - 5 є деякою

посередньою величиною та має межі змінення від 0 до h_4 ; також глибина h_3 областей 6 - 9 має межі змінення від 0 до h_4 ; координати X_1 та X_3 площин поділу течій, на яких компоненти V_x швидкості течій часток дорівнюють нулю, варіюються у межах відрізків $A_1 D_1$ та $F_1 G_1$; X_5 знаходиться на вісі симетрії штаби; на площинах з координатами X_2 та X_4 , які варіюються у межах $D F$ та $G R$, компонента $V_x = 0$, а по координаті Z немає розривів швидкостей; сдвиги локалізовані на поверхнях: BC ; CB_1 ; CD ; DD_1 ; DE ; EF ; FK ; KT_1 ; TK ; TG ; GG_1 ; $G O$; OR ; RR_1 ; RW ; FF_1 ; DF_1 ; GR_1 .

За основу прийняте перше основне рівняння енергетичного методу, яке враховує потужності сил внутрішнього деформування - W_d , тертя - W_t , сдвига - W_c , прирівняне зовнішній силі - P . Згідно з припущеннями поле швидкостей описане рівняннями:

$$V_{z,1} = -\frac{V_0}{h_1} Z; \quad V_{x,1} = \frac{V_0}{h_1} (X - X_1); \quad (1.)$$

для області 9 при $L + t + L + t < X < X_5$:

$$V_{z,9} = -\frac{V_0}{h_3} (Z - (h - h_3)); \quad V_{x,9} = \frac{V_0}{h_3} (X - X_5); \quad (2.)$$

Приймемо обозначення: $a_0 = L_1$; $a_1 = L_1 + t_1$; $a_2 = L_1 + t_1 + L_2$; $a_3 = L_1 + t_1 + L_2 + t_2$; и т. п..

При відсутності розривів швидкостей V_z на площинах X_2 та X_4 їх координати можна визначити як:

$$X_2 = \frac{X_3 a_0 - X_1 a_1}{X_3 - a_1 + a_0 - X_1}; \quad X_4 = \frac{X_5 a_2 - X_3 a_3}{X_5 - a_3 + a_2 - X_3}; \quad (3.)$$

За допомогою рівнянь Коши для плоских деформацій та пересувань, використовуючи рівняння (1.) - (2.) для кожної області знайдені швидкості деформацій та інтенсивності швидкостей деформацій:

$$\text{для області 1: } \xi_{L,1} = \frac{2 V_0}{\sqrt{3} h_1}; \quad \text{для області 9: } \xi_{L,9} = \frac{2 V_0}{\sqrt{3} h_3}; \quad (4.)$$

Потужність сил внутрішнього деформування за умовами плоского деформування визначається як:

$$W_d = M \iint_{F_j} \sigma_{s,j} \xi_{i,j} dF; \quad (5.)$$

де: M - довжина штаби; $\sigma_{s,j}$ - істинне значення границі пластичності для j - і області; F_j - площа області j .

Записавши за допомогою рівнянь (4.) інтеграли (5.) для областей 1-9, та сумуючи їх отримуємо рівняння потужностей W_d :

$$\sum_1^9 W_d = M \frac{2}{\sqrt{3}} V_0 (\sigma_{s,1} X_1 + (\sigma_{s,2} + \sigma_{s,3})(a_0 - X_1) + (\sigma_{s,4} + \sigma_{s,5})(X_3 - a_1) + (\sigma_{s,6} + \sigma_{s,7})(a_2 - X_3) + (\sigma_{s,8} + \sigma_{s,9})(X_5 - a_3)); \quad (6.)$$

Потужність сил тертя за умовами плоского деформування має вигляд як інтеграл по X для площин тертя, паралельних XY та по Z - для паралельних ZY , помножений на довжину штаби:

$$W_t = M \int_X \tau_k \sqrt{V_x + V_y} dX; \quad w_t = M \int_Z \tau_k \sqrt{V_z + V_y} dZ; \quad (7.)$$

Використовуючи рівняння (1.) - (2.) получена сума W_t (для площин тертя окрім стінок поглиблень) у загальному вигляді:

$$\sum W_t = M V_0 \frac{\tau_{k,1} X_1^2}{h_1} + \sum_{c=1}^C \frac{(\tau_{k,4c-2} (a_{2c-2} - X_{2c-1})^2 + \tau_{k,4c-1} (X_{2c+1} - a_{2c-1})^2)}{2h_{c+1}}; \quad (8.)$$

де: τ_{kj} - значення дотикових напруг у області j ; C - кількість поглиблень на половині поперечного перерізу.

Потужність сдвигів за умовами плоского деформування має вигляд як інтеграл по X для площин сдвигу, паралельних XY , та по Z - для паралельних ZY , помножений на довжину штаби:

$$W_s = M \int_X \tau_s |V_x - V_y| dX; \quad w_s = M \int_Z \tau_s |V_z - V_y| dZ; \quad (9.)$$

де: τ_s - границя текучості на сдвиг.

Використовуючи рівняння (1.)-(2.) получена сума W_s у загальному вигляді:

$$\begin{aligned} \sum W_s = M V_0 \left\{ \sum_{c=1}^C \left[\frac{\tau_{s,4c-2} (a_{2c-2} - X_{2c-1})^2 + \tau_{s,4c-1} (X_{2c+1} - a_{2c-1})^2}{2h_{c+1}} + \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{(a_{2c-2} - a_{2c-1}) (\tau_{s,4c-1} (a_{2c-2} - X_{2c-1})^2 + \tau_{s,4c} (X_{2c+1} - a_{2c-1})^2)}{2h_{c+1} (X_{2c+1} - X_{2c-1} - a_{2c-1} + a_{2c-2})} + \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{(\tau_{s,4c-2,4c-1} + \tau_{s,4c,4c+1}) (X_{2c+1} - X_{2c-1}) h_{c+1}}{2(a_{2c-1} - a_{2c-2})} + (X_{2c+1} - X_{2c-1} - t_c) * \right. \right. \\ \left. \left. * \left(1 - \frac{a_{2c-1} + a_{2c-2}}{2} \right) \right] + \frac{(h_1 - h_2) (\tau_{s,1} (h_1 - h_2) + \tau_{s,1,2} h_2)}{2h_1} + \right. \end{aligned}$$

$$+ \sum_{c=1}^{c-1} \left. \begin{array}{l} h_{c+1} > h_{c+2} \rightarrow \frac{\sum_{s,c-2} (h_{c+2} - h_{c+1})^2 + \sum_{s,c-2,c+2} (h_{c+1} h_{c+2} - h_{c+1}^2)}{2h_{c+1}} \\ h_{c+1} < h_{c+2} \rightarrow \frac{\sum_{s,c+2} (h_{c+2} - h_{c+1})^2 + \sum_{s,c-2,c+2} (h_{c+1} h_{c+2} - h_{c+1}^2)}{2h_{c+2}} \end{array} \right\} \quad (10.)$$

де: $\sum_{s,m,n}$ - середні значення для областей m та n .

Для аналізу кінцевого формозмінення та урахування потужностей сил тертя о стінки рел'єфних поглиблень процес осажування розбито на 5 рівних етапів. Швидкості пересування часток, координати площин поділу течій, величини h та h під час етапу враховуються як постійні та змінюються при переході до слідуючого етапу. Рівняння потужності сил тертя о стінки C -го поглиблення на i -му етапі осажування записано у загальному вигляді:

$$W_{t,c,i} = \frac{2M V_0 d (X_{2c+1,i} - X_{2c-1,i}) (\sum_{k,c-1,i} (X_{2c+1,i} - X_{2c-1,i}) + \sum_{k,c-1,i} (X_{2c+1,i-1} - X_{2c-1,i-1}) + \dots + \sum_{k,c-1,i} (X_{2c+1,i} - X_{2c-1,i}))}{t_c^2}; \quad (11.)$$

де: d - пересування пуансону за елементарний етап.

Для урахування зміцнювання використана апроксимація діаграми істинних напруг поліномом третього ступеня:

$$\sigma_s = A_0 + A_1 E_i + A_2 E_i^2 + A_3 E_i^3; \quad (12.)$$

де: E_i - інтенсивність деформації, знайдена як інтеграл:

$$E_i = \int_0^{t_3} \xi_i dt; \quad (13.)$$

де: t_3 - час елементарного етапу осажування.

Використовую рівняння (4.) отримані вирази для E_i у кожній області пластичного деформування, з котрих отримані вирази: $E_{i_2} = E_{i_5}$; $E_{i_3} = E_{i_4}$; $E_{i_6} = E_{i_9}$; $E_{i_7} = E_{i_8}$; (14.)

з яких слідує: $\sum_{s,2,3} = \sum_{s,4,5}$; $\sum_{s,6,7} = \sum_{s,8,9}$; (15.)

З урахуванням (14.), (15.) та виразів для W_d , W_t , W_c отримано рівняння сили i -го етапу осажування нескінченно довгої штаби у 2С симетрично розташованих рел'єфних поглиблень щілинного типу у загальному вигляді:

$$P = 2M \left\{ \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_{s,i,i} x_{i,i} + \frac{(h_{i,i} - h_{2i,i}) (\sum_{s,i,i} (h_{i,i} - h_{2i,i}) + \sum_{s,i,2i,i} h_{2i,i})}{2h_{i,i}} \right\} +$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{\sum_{k=1}^i X_{k,i}^2}{h_{k,i}} + \frac{2}{\sqrt{3}} \sum_{c=1}^C \left[\left((\sigma_{s,4c-2,i} + \sigma_{s,4c-1,i}) + \tau_{s,4c-1,i} \frac{(A_{2c-1,i} + A_{2c-2,i})\sqrt{3}}{4} \right) * \right. \\
& * (X_{2c,i} - X_{2c-1,i} - t_c) \left. \right] + \frac{\sqrt{3}}{2} \left[\frac{(A_{2c-2,i} - X_{2c-1,i})^2 + (X_{2c+1,i} - A_{2c-1,i})^2}{2h_{c+1,i}} * \right. \\
& * \left(\frac{t_c \tau_{s,4c-1,i}}{X_{2c+1,i} - X_{2c-1,i}} + \tau_{s,4c-2,i} + \tau_{k,4c-2,i} + \right. \\
& + \frac{\tau_{s,4c-2,4c-1,i} h_{c+1,i} (X_{2c+1,i} + X_{2c-1,i})}{t_c} + \\
& + \frac{d (X_{2c+1,i} - X_{2c-1,i}) (\tau_{k,4c-1,i} (X_{2c+1,i} - X_{2c-1,i}))}{t_c^2} \\
& \left. \left. + \frac{\tau_{k,4c-1,i-1} (X_{2c,i,i-1} - X_{2c-1,i-1}) + \dots + \tau_{k,4c-1,1} (X_{2c+1,i} - X_{2c-1,i}) \right) \right] + \\
& \left. \left. \left. \begin{array}{l} c-1 \\ \nearrow h_{c+1} > h_{c+2} \\ + \\ \nwarrow h_{c+1} < h_{c+2} \\ c=1 \end{array} \right\} \frac{\tau_{s,4c-2,i} (h_{c+2,i} - h_{c+1,i})^2 + \tau_{s,4c-2,4c+2,i} (h_{c+1,i} h_{c+2,i} - h_{c+2,i}^2)}{2h_{c+1,i}} \right. \\
& \left. \left. \left. \frac{\tau_{s,4c+2,i} (h_{c+2,i} - h_{c+1,i})^2 + \tau_{s,4c-2,4c+2,i} (h_{c+1,i} h_{c+2,i} - h_{c+1,i}^2)}{2h_{c+2,i}} \right\} \right. \right. \\
& \left. \right. \left. \right) \quad (16.)
\end{aligned}$$

Рівняння (16.) має параметри, які варіюються - координати X та h . Істинне значення цих параметрів знайдено мінімізацією рівняння чисельним методом по координатного запуску за допомогою ЕОМ. Розроблене програмне забезпечення дозволяє зробити облік координат ліній поділу течій, величин h , глибину затекання металу у щільві поглиблення, поширення штаби, силу у кожний етап осажування. Оптимізація кількості та ширини рел'єфних поглиблень проведена по критерію мінімуму питомої сили методом золотого перерізу за допомогою спеціально розробленого програмного забезпечення ЕОМ. Складена таблиця оптимальної кількості рел'єфних поглиблень у залежності від відношення V/h_4 та коефіцієнту осажування.

У четвертому розділі для перевірки адекватності розробленої математичної моделі проведено серію експериментальних досліджень а осажування аражків а затеканням металу у щільві поглиблення у спеціальному штампі, який моделює умови

плоского деформування. Для обліку розрахункових значень параметрів осажування використовувався пакет прикладних програм "RELIEF". Дослідження показало, що на інтервалі значень відносної ширини поглиблень: $0,6 < t / h_4 < 2$; (17.) теоретична модель дозволяє оцінювати силу осажування та параметри кінцевого формостворення з помилкою, яка не перевищує 25%. Джерелами накоплення помилки є складність точного урахування умов тертя, припущення про жорстко пластичну схему деформування, однорідності та нестискуваності матеріалу, а також те, що не враховано скривлення вільної поверхні при осажуванні. Знайдена умова мінімуму поширення штаби за умови стійкості краю штаби під час осажування: $L_4 = h_4$; (18.).

Експериментально досліджений процес поперечного гнуття заготовки з таврового профілю. Отримані дані про деформації у поперечному перерезі профіля у залежності від кутової координати. Результати представлені у вигляді таблиць та графіків.

У п'ятому розділі на базі проведених досліджень розроблені рекомендації по обліку форми штампового інструмента для калібрування деталей типу колодки гальмової з таврового профілю. Облік налічує визначення ширини полки профіля заготовки, визначення кількості та ширини рел'єфних поглиблень у калібрувальному пуансоні, визначення кількості та величини секторів рел'єфа та ширини у кожному секторі. Виконаний облік поглиблень у штампі для калібрування колодки гальмової автомобіля ЗАЗ-1102, зроблено впровадження у виробництво цієї технології.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Запропонована класифікація процесів ХЛШ з використанням ЕОД, яка дозволяє прискорити на основі системного підходу розробку нових способів штампування.

2. Розроблено способи виготовлення диска колеса, колодки гальмової, способи обробки поверхні листа, конструкцію штампів для пробивання П - подібних профілів.

3. Створена математична модель осажування нескінченно довгої штаби з гатеканням металу у щільові рел'єфні поглиблення, яка встановлює взаємозв'язок між параметрами кінцевого формоутворення, сили та параметрами рел'єфа з урахуванням контактної тертя та зміцнювання.

4. На основі запропонованої моделі розроблено програмне

забезпечення ЕОМ для обліку значень сили осажування, варіюваних параметрів, параметрів кінцевого формоамінення штаби, розроблено програмне забезпечення ЕОМ для обліку оптимальної ширини та кількості рел'єфних поглиблень.

5. Експериментально знайден інтервал значень відносної ширини щільових рел'єфних поглиблень на якому розроблений метод обліку адекватний реальному процесу.

6. Експериментально досліджен процес поперечного гнуття заготовки з таврового профіля.

7. Розроблені рекомендації по обліку форми інструмента для калібрування колодки гальмової.

8. Впроваджені у виробництво технологічні процеси виготовлення колодки гальмової та диска колеса автомобіля. Ефективність одобута за рахунок зниження працемісткості виготовлення та підвищення стійкості штампового устаткування.

Список публікацій, що відображують основні положення дисертації

1. Кравчун С. І., Шумейко Д. І., Шумейко П. Д., Дубина В. І. Удосконалення процесу листового штампування шляхом формування програмно - диференційованих рел'єфів // Сучасні технології у важкому та транспортному машинобудуванні. Сбірн. ст. Академії інж. наук України під заг. ред. Проволоцького А. Е. м. Дніпропетровськ 1995. с. 26 - 34.

2. Шумейко Д. И., Шумейко П. Д., Дубина В. И. Совершенствование процессов холодной листовой штамповки путем формирования рельефа // Эффективные технологические процессы листовой штамповки. Теа. докл. науч.-техн. семинара. Москва: ЦРДЗ. 1993. с. 59-66.

3. Шумейко Д. І., Дубина В. І., Шумейко П. Д. Розробка та впровадження нових технологій у листоштампувальному виробництві // Прогресивні технології та устаткування для обробки металів тиском. Теа. докл. конфер. Київ. 1993. с. 31-32.

4. Пат. України 5450, пат. Р Ф 1819172. Спосіб виготовлення колеса транспортного средства / Д. И. Шумейко, С. И. Кравчун, П. Д. Шумейко, А. Д. Шумейко, А. С. Кравчун. Опубл. 30.05.93. Бюл. N 20 / Открытия. Изобретения. - 1993- N 20 - С-130

5. А. С. 1794546 СССР Спосіб виготовлення диска колеса / Д. И. Шумейко, А. Д. Шумейко, П. Д. Шумейко. Опубл. 15.02.93. Бюл. N 6 / Открытия. Изобретения. - 1993 - N6 - С. - 40.

6. А. С. 1360955 СССР Штамп для пробивки сосновых ст-

верстий в стенках полых деталей и П - образных профилей / Д. И. Шумейко, П. Д. Шумейко. Оpubл. 23.12.87. Бюл. N47 / Открытия. Изобретения. - 1987 - N47 - С. - 54.

7. А. С. 1821341 СССР Способ обработки поверхности листа / Д. И. Шумейко, П. Д. Шумейко, А. Д. Шумейко. Оpubл. 15.06.93. Бюл. N 22 / Открытия. Изобретения. - 1993 - N 22 - С. - 43.

8. А. С. 1719189 СССР Способ обработки поверхности листа / Д. И. Шумейко, П. Д. Шумейко, А. Д. Шумейко. Оpubл. 15.03.92. Бюл. N 10 / Открытия. Изобретения. - 1992 - N 10 - С. - 65.

9. А. С. 1784302 СССР Способ обработки поверхности листа / Д. И. Шумейко, П. Д. Шумейко, В. И. Суадаленко, Ю. М. Эльяшев. Оpubл. 30.12.92. Бюл. N 48/Открытия. Изобретения. - 1992 - N48 - С. - 27.

10. А. С. 1770002 СССР Способ изготовления деталей / Д. И. Шумейко, П. Д. Шумейко. Оpubл. 23.10.92. Бюл. N 39 / Открытия. Изобретения. - 1992 - N 39 - С. - 30.

11. Сычук Ю. Т., Юдович С. З., Дубина В. І., Нагорный Ю. І., Васько В. П., Шумейко П. Д. Наруги та деформації при пробиванні рифленими пуансонами. Деп. в ДНТБ України 27.09.95., N.2189 - Укр95.

А Н Н О Т А Ц И Я

Шумейко П. Д. Совершенствование процессов холодной листовой штамповки использованием элементов объемного деформирования.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.03.05 - процессы и машины обработки давлением, Луганск, 1996. Рукопись

Защищаются 4 научные работы и 7 авторских свидетельств на изобретения, которые содержат в себе классификацию процессов холодной листовой штамповки с использованием элементов объемного деформирования, разработку на основе классификации новых способов штамповки, теоретические исследования силовых и деформационных параметров осадки бесконечно длинной полосы с затеканием металла в щелевые рельефные углубления, результаты экспериментальных исследований. На основе математической модели осадки полосы создан пакет прикладных программ "RELIEF", который позволяет произвести расчет силовых и деформационных параметров осадки. Разработаны рекомен-

ЛНБ ім. В. Стефана
АН України

даци и осуществлено промышленные внедрения, приводятся данные об их эффективности.

A B S T R A C T

Shumeiko P.D. Perfecting of cold sheet stamping processes by using of volume deformation elements.

Dissertation for the scientific degree of So. Candidate (Technics), speciality 05.03.05 - processes and machines for pressure treatment, Lugansk

1996. Manuscript.

4 scientific papers and 7 author's certificates being defended which contain the classification of cold sheet stamping processes with using of volume deformation elements; designing of new stamping methods on classification base; theoretical research of force and deformation parameters of endless long strip setting with the metal flow into the long hole relief; result of experimental investigations. Program packet "relief" is made in a base of mathematical model of strip setting. It allows to compute force and deformation parameters of setting in depending on stamp relief parameters. Recommendations have been compiled and industrial introductions have been made.

Ключові слова: елементи об'ємного деформування, осажування, силовий режим, формозмінення, холодне листове штампування.

Подписано к печати 07.06.96г. Заказ №588. Тираж 100 экз.
Запорожье, ЗГТУ, Типография, ул.Жуковского,64.