

этом силу тока до 14,4-16,0 А и используя максимальную частоту и длительность импульсов, при скорости перемещения электрода 0,6-0,8 м/с.

Выводы. Проведенные исследования позволили определить оптимальные режимы процесса упрочнения рабочих элементов вырубных штампов методом ЭИЛ. Стойкость вырубных шаблонов повысилась в среднем в 5 раз при статическом деформировании и в 3 раза при динамическом. Повышения износостойкости режущих кромок инструмента достигнуто в результате улучшения механических и физических свойств материала, условий трения по контактными поверхностям, жёсткости поверхности и условий смазки за счёт использования разработанных нами режимов процесса упрочнения.

Список литературы: 1. *Иванов Г.П.* Упрочнение разделительных штампов покрытиями дискретной структуры / Сорока Е.Б., Титов В.А., Ляшенко В.А., Герасимова О.В. // Вісник НТУУ ХПІ машинобудування, Вип. 52, Київ, 2008, с. 341-351. 2. *Михайленко Ф.Л.* Способы повышения стойкости разделительных штампов/ КШП, обработка металлов давлением, 1982 №1, с.60-65. 3. *Савчук К. А.* Повышение износостойкости штампа холодного деформирования. Савчук К.А. Некрасов В.М // кн. Технология и организация производства – Киев, 1979 –№4 – с.31 4. *Фролов Е. А.* Пневмоударная и статикодинамическая штамповка сложнодеформируемых листовых деталей упругими средами. Монография. Харьков. 2010 г. – 286с.

Надійшла до редколегії 30.10.2013

УДК 621. 979. 073

К вопросу оптимизации нанесения износостойких покрытий для улучшения эксплуатационных свойств вырубных штампов // Фролов Е. А. , Кравченко С. И. , Бондарь О. В. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія : Нові рішення у сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2013. – № 42 (1015). – С. 179–182. Бібліогр.: 4 назв.

У матеріалі статті представлені результати досліджень з оптимізації технології нанесення зносостійких покриттів на основі електроіскрового ледірованія поверхні вирубних штамів для операції листового штампування. Використання отриманих результатів з визначення оптимальних режимів зміцнення даним методом при впровадженні дозволили підвищити стійкість оснащення для розділових операцій листового штампування в 3-5 разів..

Ключові слова: технологія, штампування, лист, рідина, еластичне середовище, формовка, можливості.

The article presents the results of research articles on optimization technology wear-resistant coatings on the basis of electro-ledirovaniya surface cutting dies for sheet metal forming operations. The use of the results to determine the optimum conditions for strengthening the implementation of this method have improved resistance equipment f or the separation of operations stamping of 3-5.

Keywords: technology, stamping, liquid, elastic medium, forming , opportunities .

УДК 621.762

О. І. ХОМЕНКО, канд. техн. наук, с.н.с., ПІМ НАНУ, Київ;

Г. А. БАГЛЮК, докт. техн. наук, заст. директора, ПІМ НАНУ, Київ.

МОДЕЛЮВАННЯ УЩІЛЬНЕННЯ ЗАГОТОВКИ З КОНІЧНОЮ ЗАПАДИНОЮ В ЗАКРИТОМУ ЖОРСТКОМУ ШТАМПІ

Розглянуто вплив конічної западини у циліндричній заготовці на густину деталі при моделюванні ущільнення у циліндричній жорсткій матриці. Показано, що за рахунок інтенсивної деформації зсуву при ущільненні можна очікувати більш високої густини деталі. Зобр.: 4, Бібліогр.: 2 назв.

Ключові слова: порошковий матеріал, пресування, комп'ютерне моделювання, прямий варіаційний метод, конічна западина.

Вступ. Одним з методів отримання порошкових матеріалів з високою густиною є вибір схеми ущільнення, що забезпечує інтенсивну деформацію зсуву. Найпростіше таку схему реалізувати шляхом ущільнення в закритій матриці заготовок з внутрішнім отвором або западинами вздовж осі. Тоді при ущільненні заготовка буде деформуватися таким чином, щоб заповнити отвір або западину, а це, в свою чергу, пов'язане з інтенсивним плином матеріалу у радіальному напрямку. За рахунок такого зсуву в закритій матриці пори закриватимуться ефективніше, ніж при ущільненні заготовки без отворів чи западин. Оцінимо справедливність такого ствердження, моделюючи процес ущільнення заготовки електричного контакту, що має вигляд циліндра з конічною западиною, у закритій циліндричній матриці.

Схему ущільнення наведено на рис. 1. Циліндричну заготовку з конічною западиною 1, розташовану в жорсткій матриці 2, ущільнюють верхнім 3 та нижнім 4 пуансонами, що рухаються зі швидкостями v_u та v_d , відповідно. У випадку однобічного пресування одна з цих швидкостей дорівнює нулю. Заради визначеності розглянемо однобічне ущільнення одним верхнім пуансоном.

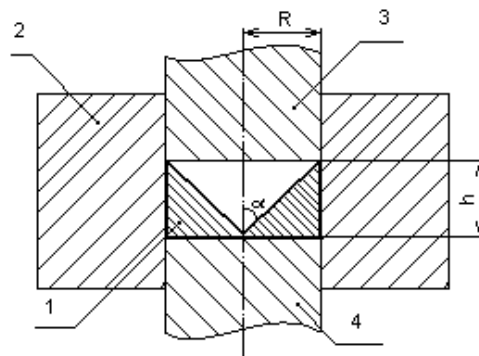


Рис. 1 – Схема ущільнення заготовки з западиною

Аналіз проблеми. Розмістимо початок циліндричної системи координат координат у точці перетину осі заготовки та торця нижнього пуансона. З умов рівноваги заготовки очевидно, що радіальна складова швидкості плинку матеріалу в цій точці та в точках на межі заготовки і прес-форми дорівнюватиме нулю. В такому разі граничні умови виглядатимуть наступним чином:

$$\left. \begin{aligned} v_r|_{r=0} &= 0 \\ v_r|_{r=R} &= 0 \\ v_z|_{z=h} &= -v_u \\ v_z|_{z=0} &= 0 \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

де h - висота заготовки;

R – радіус основи заготовки.

Стінки западини вільно осаджуватимуться, при цьому її початкова конічна форма спотворюватиметься. Для описання плинку матеріалу в осьовому

напрямку скористаємося відомим співвідношенням для ущільнення у закритій жорсткій матриці, а в радіальному – модифікованим співвідношенням для вільного осаджування:

$$\left. \begin{aligned} v_z &= -v_u \frac{z}{h} \left(1 - a_1 \left(1 + a_2 \frac{r^2}{R^2} \right) \left(1 - \frac{z}{h} \right) \right) \\ v_r &= -v_u \frac{a_3 r z v}{h} \left(1 - \frac{r}{R} \right) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

де θ – відносна пористість;

$$v - \text{коefficient Пуассона, } v = \frac{2-3\theta}{4-3\theta};$$

a_1, a_2, a_3 – деякі параметри.

Неважко переконатися, що рівняння (2) задовольняють граничним умовам (1). Знак мінус у першому рівнянні системи (2) означає, що верхній пуансон рухається у напрямку, протилежному додатному напрямку осі z . Знак мінус у другому рівнянні означає, що радіальна складова швидкості плину має напрямок, протилежний додатному напрямку осі r . Співмножник z введено до другого рівняння системи (2) задля кращого відтворення нерівномірності руху матеріалу в радіальному напрямку по висоті заготовки. За рахунок зустрічного руху точок поверхні западини, що лежать по різні боки осі заготовки, матеріал заготовки зазнаватиме зусилля стискання, через що ймовірність руйнування заготовки під час ущільнення зменшуватиметься.

Згідно (2) елементи тензора швидкостей деформації визначатимуться наступним чином:

$$\left. \begin{aligned} e_r &= -\frac{a_3 v_u z v}{h} \left(1 - \frac{2r}{R} \right) \\ e_z &= -\frac{v_u}{h} \left(1 - a_1 \left(1 + a_2 \frac{r^2}{R^2} \right) \left(1 - \frac{2z}{h} \right) \right) \\ e_\varphi &= -\frac{a_3 v_u z v}{h} \left(1 - \frac{r}{R} \right) \\ \gamma_{rz} &= \frac{v_u r}{h} \left(\frac{2a_1 a_2 z}{R^2} \left(1 - \frac{z}{h} \right) - a_3 v_u v \left(1 - \frac{r}{R} \right) \right) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Результати дослідження. Задачу вирішуватимемо прямим варіаційним методом. Визначимо інтенсивність деформації

$$H = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \sqrt{(e_r - e_z)^2 + (e_z - e_\varphi)^2 + (e_r - e_\varphi)^2 + 6\gamma_{rz}^2}, \quad (4)$$

а далі розрахуємо енергетичний функціонал J , що має дві складових, перша з яких зумовлена внутрішнім опором деформації:

$$J_1 = \Sigma \iiint_V \sqrt{(e_r + e_\varphi + e_z)^2} f_1(\theta) + H^2 f_2(\theta) dV, \quad (5)$$

$$\text{де } f_1(\theta) = \frac{4}{9} \cdot \frac{(1-\theta)^4}{\theta}, \quad f_2(\theta) = \frac{(1-\theta)^3}{3},$$

$$dV = r dr dz d\varphi,$$

а друга – тертям заготовки о бічну стінку матриці. Тертям о пуансон нехтуємо, бо торець верхнього пуансона за рахунок конічної западини має нульову площу контакту з заготовкою, а на торці нижнього пуансона швидкість ковзання дорівнює нулю. Швидкість ковзання матеріалу по стінках матриці дорівнюватиме осьовій складовій швидкості плинину при $r = R$, елемент бічної поверхні заготовки $dF_B = Rdz d\varphi$, тоді

$$J_2 = \frac{\sqrt{3}f_2(\theta)v_u\mu}{h} \left(R \iint_{F_B} \left(z - a_1(1+a_2) \left(z - \frac{z^2}{h} \right) \right) dz d\varphi \right), \quad (6)$$

де μ – коефіцієнт тертя.

Інтеграл в (6) можна взяти в аналітичній формі, проте заради одноманітності з (5), інтегрування доцільно теж виконувати чисельно.

Розрахунки за запропонованою моделлю виконують наступним чином. Заготовка є осесиметричною, тому достатньо розглянути половину перерізу заготовки. На неї наносять уявну сітку (рис. 2). Початкову густину матеріалу в кожній комірці вважають однаковою. Варіюванням параметрів a_1 , a_2 , a_3 знаходять на кожному етапі деформації такі їхні значення, що мінімізують енергетичний функціонал $J=J_1 + J_2$. Особливо треба відмітити, що функціонал J має декілька локальних мінімумів, тому треба шукати найменший з них. Отримані значення параметрів підставляють у рівняння (2) та для заданої швидкості руху верхнього пуансона розраховують переміщення вузлів сітки за деякий фіксований інтервал часу, скажімо, 1 с. При цьому комірки сітки змінюють свою форму. За новими координатами вузлів сітки розраховують показники деформації, а за ними – густину матеріалу у комірці. Розрахунок повторюють потрібне число разів, наприклад до досягнення потрібної висоти заготовки. Якщо заготовка деформується до заповнення западини матеріалом, подальше користання запропонованою моделлю неможливе, бо тоді слід скористуватися моделлю ущільнення циліндричної заготовки в закритому штампі.

Згідно запропонованого алгоритму моделювали деформацію заготовки описаної форми з початковою відносною пористістю 40 % в закритій циліндричній матриці приблизно до третини початкової висоти і отримали наступні результати.

Заготовка ущільнюється досить швидко: при деформації приблизно до половини початкової висоти вона стає практично суцільною (рис. 3, а).

Порівняння отриманої залежності з результатами моделювання однобічного ущільнення циліндричної заготовки [1] з тими ж діаметром і висотою (рис. 3, б) та заготовки у вигляді порожнистого циліндру (кільця) [2] з об'ємом порожнини, рівним об'ємові конічної западини (рис. 3, в), показує, що при відносній осьовій деформації порядку 0,5, коли заготовка з конічною западиною та кільцева заготовка стають практично суцільними, циліндрична заготовка залишається відчутно пористою (середня відносна пористість 0,05).

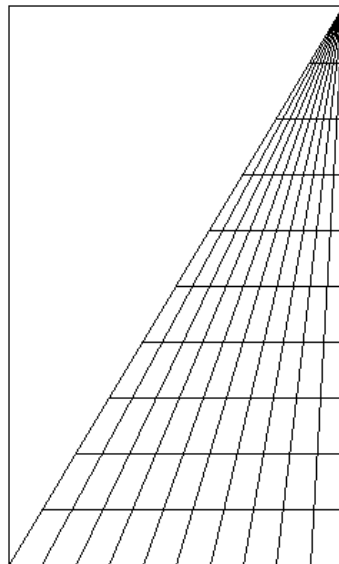


Рис. 2 – Уявна сітка на перерізі заготовки

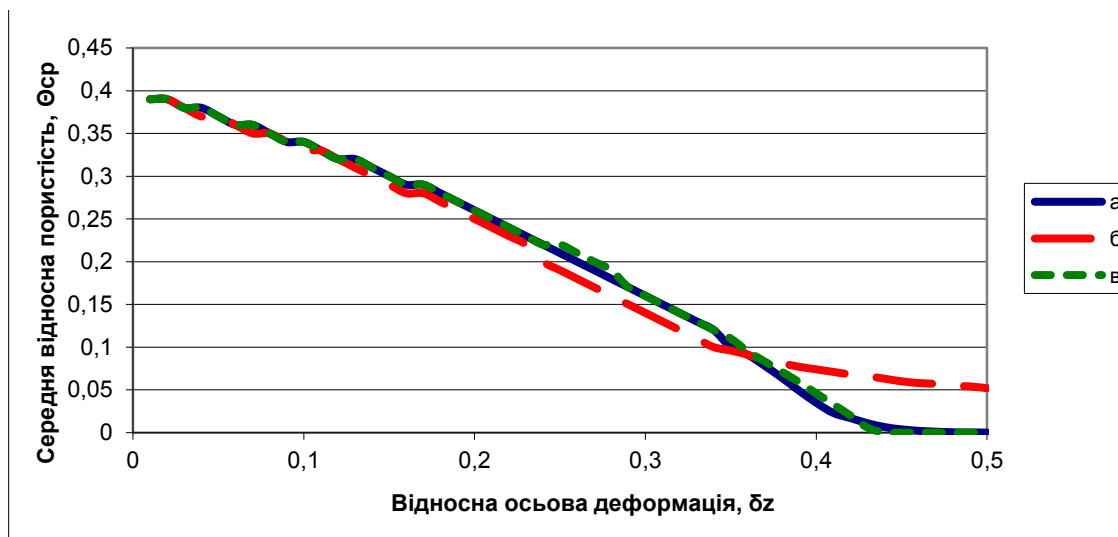


Рис. 3 – Зміна середньої пористості заготовки при ущільненні:
 а – заготовка з конічною западиною, б – циліндрична, в – кільцева

Ущільнення заготовки з конічною западиною відбувається досить рівномірно, без ділянок суттєвого перебільшення середньої відносної пористості. Розподіл ліній рівної пористості при різних значеннях відносної осьової деформації показаний на рис. 4.

Аналіз зміни параметрів в процесі ущільнення показує, що, як у випадку кільцевої заготовки, параметр a_3 по мірі ущільнення зростає, тобто плин матеріалу в радіальному напрямку має найбільший вплив на кінцевому етапі ущільнення. Аналогічно, спочатку має місце суттєве ущільнення заготовки, а потім – її помітна формозміна, що в розглянутому випадку заготовки електричного контакту призводить до зменшення витрат на її подальшу обробку.

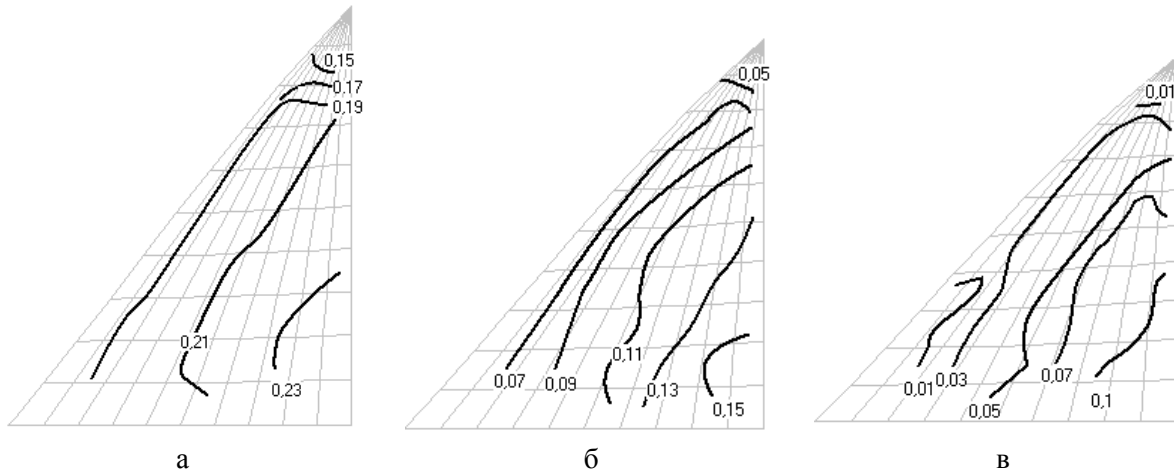


Рис. 4. Лінії рівної пористості при відносній осьовій деформації: а – 0,26, б – 0,35, в – 0,39 (відповідні значення відносної середньої пористості 0,2, 0,1 та 0,05)

Висновки.

1. Моделювання ущільнення циліндричної заготовки з конічною западиною показало, що на початкових етапах ущільнення має місце інтенсивний плин матеріалу в осьовому напрямку, а на кінцевих – в радіальному напрямку.

2. Середня пористість запропонованої заготовки після ущільнення виявляється нижчою, ніж циліндричної з такими ж діаметром і висотою, та порівняною з пористістю кільцевої з таким самим об'ємом порожнини.

3. Розподіл пористості по товщі запропонованої заготовки виявляється більш рівномірним навіть при однобічному ущільненні.

4. За рахунок інтенсивного плину матеріалу в радіальному напрямку слід очікувати більшої густини деталі при практичній реалізації запропонованої схеми ущільнення.

Список літератури: 1. Хоменко О.І. Вплив схеми пресування на розподіл густини порошкової заготовки при ущільненні в закритій матриці [Текст] / О.І.Хоменко, Г.А.Баглюк, А.О.Хоменко // Вісник національного технічного університету "ХПІ". Серія: Нові рішення у сучасних технологіях. – 2011, № 45 – С. 108 – 113 2. Баглюк Г.А. Моделирование процесса осадки пористого кольца в штампе с учетом контактного трения [Текст] / Г.А.Баглюк // Порошковая металлургия.. – 1984. – № 1/2. – С. 15-19.

Надійшла до редколегії 30.10.2013

УДК 621.762

Моделювання ущільнення заготовки з конічною западиною в закритому жорсткому штампі / Хоменко О. І., Баглюк Г. А. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення у сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2013. – № 42 (1015). – С.182–187. Библиогр.: 2 назви.

Рассмотрено влияние конической впадины в цилиндрической заготовке на плотность детали при моделировании уплотнения в цилиндрической жесткой матрице. Показано, что за счет интенсивной деформации сдвига при уплотнении можно ожидать более высокой плотности детали.

Ключевые слова: порошковый материал, прессование, компьютерное моделирование, прямой вариационный метод, коническая впадина.

This paper deals with the influence of the conic hollow in the cylindrical billet onto detail compactness during computer simulation of compaction in the closed rigid die. It was shown that detail higher compactness could be expected due to intensive shear deformation.

Keywords: powder material, pressing, computer simulation, direct variational method, conic hollow.