

Міністерство освіти і науки України
КПІ ім. Ігоря Сікорського
Навчально-науковий механіко-машинобудівний інститут
Херсонський національний технічний університет (ХНТУ)
Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України
Фізико-технологічний інститут металів і сплавів НАН України
ТОВ «Інформаційні технології САПР»
ТОВ «БСТІ «СТАНДАРТТ»
Інформаційна підтримка:
Журнал «Mechanics and Advanced Technologies»

МАТЕРІАЛИ

XIV МІЖНАРОДНОЇ
НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ
КОНФЕРЕНЦІЇ

**ТЕОРЕТИЧНІ ТА ПРАКТИЧНІ
ПРОБЛЕМИ В ОБРОБЦІ
МАТЕРІАЛІВ ТИСКОМ,**

**28 – 29 листопада 2024 р
Київ, Україна**

УДК 612.7

Міжнародна науково-технічна конференція "Теоретичні та практичні проблеми в обробці матеріалів тиском і якості фахової освіти", м. Київ, 28 – 29 листопада 2024 р.: Матеріали конференції – Київ: 2024.

До збірника матеріалів конференції включено тези представлених доповідей, в яких наведені результати досліджень з ресурсозберігаючих процесів пластичної обробки матеріалів.

Збірник призначений для широкого кола науковців та спеціалістів, працюючих в галузі машинобудування, буде корисний викладачам, аспірантам та студентам технічних вищих навчальних закладів.

СЕКЦІЯ ТЕОРЕТИЧНІ ТА ПРАКТИЧНІ ПРОБЛЕМИ ПЛАСТИЧНОГО ФОРМОУТВОРЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ МАШИНОБУДУВАННЯ

Зміст

| | |
|---|-----------|
| Карнаух С. Г., Алієв І. С. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РОЗДІЛЕННЯ ФАСОННОГО ПРОКАТУ НА УСТАНОВЦІ З КЛИНОШАРНІРНИМ МЕХАНІЗМОМ ІЗ ПОВОРОТНИМ НОЖЕМ..... | 5 |
| Алієв І.С., Левченко В.М., Абхарі П.Б., Алієва Л.І., Шімко О.І. ОСОБЛИВОСТІ ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПРИ КОМБІНОВАНОМУ ВИДАВЛЮВАННІ ПОРОЖНИСТИХ ДЕТАЛЕЙ | 9 |
| Алієв І.С., Левченко В.М., Марков О.Є., Сивак Р.І., Малій О.Г. РОЗРОБКА ШТАМПІВ ДЛЯ ВИДАВЛЮВАННЯ ПРЕЦИЗІЙНИХ ДЕТАЛЕЙ | 12 |
| Орлюк М.В. ЗМЕНШЕННЯ КІЛЬКОСТІ ПЕРЕХОДІВ ВИТЯГУВАННЯ ВІСЕСИМЕТРИЧНИХ ВИРОБІВ ЗА ДОПОМОГОЮ МАТРИЦІ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРОФІЛЮ. МІФ ЧИ РЕАЛЬНІСТЬ?..... | 16 |
| Ситник С.В.; Піманов В.В.; Орлюк М.В. ВПЛИВ ПОПЕРЕДНЬОГО ПРОФІЛЮВАННЯ ЗАГОТОВОК КВАДРАТНОГО ПЕРЕРІЗУ НА ПОДАЛЬШІ ФОРМОЗМІННІ ОПЕРАЦІЇ | 21 |
| Калюжний В.Л., Мельников А.Л. ХОЛОДНЕ ШТАМПУВАННЯ З МІДІ ВІСЕСИМЕТРИЧНОГО КОНУСНОГО ВИРОБУ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ОПЕРАЦІЙ ВИТЯГУВАННЯ І ОБТИСКУ | 26 |
| Калюжний О.В., Калюжний В.Л., Грандасір П.Ю. ТРАДИЦІЙНЕ ВИТЯГУВАННЯ ТА ВИТЯГУВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ДЕФОРМУЮЧОГО ІНСТРУМЕНТУ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРОФІЛЮ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ВІСЕСИМЕТРИЧНИХ ПОРОЖНИСТИХ НАПІВФАБРИКАТІВ ІЗ МАЛОВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ..... | 31 |

СЕКЦІЯ ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ ВИРОБІВ МАШИНОБУДУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ МЕТОДАМИ

Зміст

| | |
|---|----|
| Проценко П.Ю., Тігаренко А.Є., Савченко Д. В. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ СКІНЧЕНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПРОЦЕСІВ ХОЛОДНОГО ТРАДИЦІЙНОГО ОСАДЖУВАННЯ І ОСАДЖУВАННЯ ОБКОЧУВАННЯМ | 36 |
| Злочевська Н.К., Лавріненков А.Д., Орел А.І. ВИГОТОВЛЕННЯ БІПОЛЯРНИХ ПЛАСТИН ПАЛИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ МЕТОДАМИ ОБРОБКИ ТИСКОМ | 39 |
| Піманов В. В., Гуменний Д.О., Родюк О.К., Ситник С.В., Савченко Д.В. БОЄПРИПАС ПРОТИПІХОТНИЙ ДЛЯ ДИСТАНЦІЙНОГО МІНУВАННЯ ШЛЯХОМ СКИДУ З БПЛА ТИПУ КОПТЕР | 45 |
| Піманов В.В., Орлюк М.В., Савченко Д.В., Родюк О.К. ТЕХНОЛОГІЯ ФОРМОУТВОРЕННЯ ЗАГОТОВКИ ДЛЯ КОРПУСУ ГРАНАТИ КАЛІБРОМ 40ММ З ПРОГНОЗОВАНИМ УТВОРЕННЯМ ЕЛЕМЕНТІВ УРАЖЕННЯ | 48 |
| Кирилюк С.Ф., Баглюк Г.А., Толочин О.І., Кирилюк Є.С. ГАРЯЧЕ ШТАМПУВАННЯ ДИСПЕРСНО-ЗМІЦНЕНИХ МЕТАЛОМАТРИЧНИХ КОМПОЗИТІВ ТЕОРІЯ ТА ПРАКТИКА | 52 |
| Святський Ю.Г., Холявік О.В. ОСОБЛИВОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ КОРПУСНИХ АВТОМОБІЛЬНИХ КАРБОНОВИХ ДЕТАЛЕЙ В УМОВАХ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИРОБНИЦТВА | 56 |
| Холявік О.В., Здоровець А. В., Маловацький Д. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ САМОНАВІДНОЇ ОКОПНОЇ ТУРЕЛІ З ВИКОРИСТАННЯМ МІКРОКОНТРОЛЕРА ТА ДАТЧИКІВ | 63 |

УДК 621.97-231.32:621.96

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РОЗДІЛЕННЯ ФАСОННОГО ПРОКАТУ НА УСТАНОВЦІ З КЛИНОШАРНІРНИМ МЕХАНІЗМОМ ІЗ ПОВОРОТНИМ НОЖЕМ

¹Карнаух С. Г., ²Алієв І. С.

1,2 – Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ, Україна

Анотація. Аналізом вдосконаленої конструкції клиношарнірного механізму з увігнутим клином із поворотним ножем встановлено, що запропонований механізм має меншу кількість поверхонь тертя і може бути використаний для відрізки зсувом фасонного прокату складної конфігурації. Застосування механізму дозволяє забезпечити складний плоский рух інструмента, результатом якого є сполучений процес відрізки зсувом і кручення, що зменшує енергосилові параметри процесу розділення та шкідливі наслідки післядії розвантаження преса у кінці робочого ходу. На основі аналізу результатів моделювання із застосуванням графоаналітичного методу та програмного комплексу *Deform* встановлені залежності розрахунків геометричних і силових параметрів обладнання з використанням таких механізмів, які забезпечують раціональні режими відрізки. Величину параметру, який визначає положення центру обертання шарніру механізму, рекомендується вибирати рівною половині радіуса увігнутого клина. Установлено, що застосування установки нової конструкції забезпечує зниження енергосилових параметрів процесу розділення у порівнянні з відомими конструкціями сучасного обладнання та забезпечує геометричну точність відрізаних заготовок.

Ключові слова: заготовка; відрізка зсувом; кручення; момент, розвантаження преса, геометрична точність

Основні дослідження в області розділення сортового прокату стосуються розділення прокату простих конфігурацій [1, 2]. Однак в технічній літературі недостатньо обґрунтовані механізми розділення, границі зони деформування і характер напружено-деформованого стану при розділенні фасонного профільованого прокату [3]. Відсутні рекомендації по вибору технологічних схем розділення і конструкції обладнання для їх реалізації.

Тому обладнання і оснастка, які застосовуються для розділення фасонних профілів, до сих пір розробляються, у більшості випадків, на емпіричній основі. У роботі [4] досліджено технологічний процес розділення фасонних П – подібних профілів. Проведені дослідження показали прийнятну якість розділювальних заготовок. Однак представлена конструкція оснастки для реалізації запропонованої схеми розділення має цілий ряд недоліків. По-перше, низьку жорсткість конструкції, тому що в ній застосовується важільна система передачі навантаження на заготовку. По-друге, опорні частини важеля мають недостатні площі контакту, що знижує надійність роботи встаткування. Із-за складності конструкції надійність роботи штампа невисока.

Для усунення даних недоліків з метою спрощення конструкції запропонована установка із увігнутим клином з поворотним ножем. Запропонована нова конструкція установки (рис. 1, а, б) складається із клина 1, рухомого 2 і нерухомого (не показаний) ножів та шарніра 3. Клин 1 має дві робочі поверхні, одна з яких плоска й опирається на верхню поперечину установки. Друга робоча

поверхня клина виконана циліндричною радіусом R й сполучається з опуклою циліндричною поверхнею ножа 2. Бічні прямолінійні поверхні рухомого ножа 2 сполучаються з відповідними внутрішніми поверхнями шарніру 3, зовнішня поверхня якого – циліндрична й розміщена в станині.

Установка працює в такий спосіб. До вхідної ланки – клина 1 прикладається приводна (горизонтальна) сила F_2 , у результаті дії якої клин 1 поступально переміщається в напрямних і

своюю увігнутою поверхнею радіусом R натискає на відповідну опуклу поверхню рухомого ножа 2. У результаті ніж 2 здійснює складний плоский рух, переміщуючись поступально щодо шарніру 3, і повертаючись разом з ним у циліндричних напрямних станини навколо осі, розташованої на відстані l від центру кола радіусом R .

Якщо клин 1, а, отже, і точка A – центр кола радіусом R перемістяться на величину ходу приводу клина h_2 , то точка B рухомого ножа 2 переміститься по кардіоїді вниз, виконуючи робочий хід. При цьому рухомий ніж 2 надрізає й остаточно відрізає заготовку. Заготовка попадає в тару. Цикл роботи установки відновлюється.

Запропонована установка може бути використана для розділення фасонного прокату на мірні заготовки. Траєкторія руху відрізаної заготовки для трьох положень 1-3 представлена на рис. 1, в.

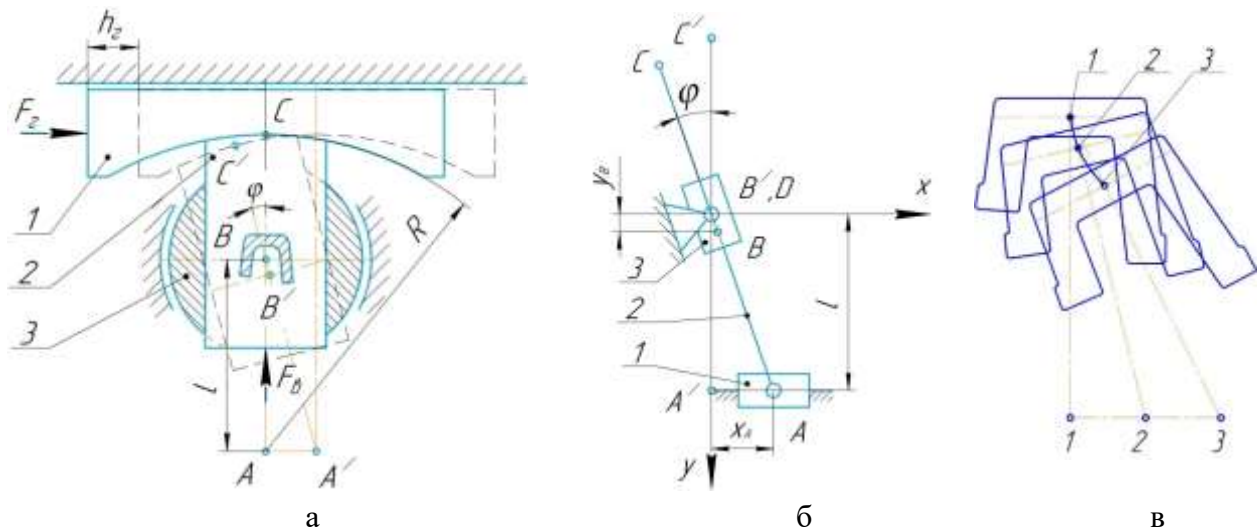


Рис. 1. Конструктивна (а), структурна (б) схеми установки клиношарнірного механізму з увігнутим клином із поворотним ножом і траєкторія руху відрізаємої заготовки (в)

Відрізка фасонного профілю може розглядатися як послідовність наступних етапів: вдавнення ножів у матеріал заготовки за рахунок повороту рухомого ножа відносно нерухомого з нанесенням концентратора напружень у площині розділення; відрізка зсувом по дузі з руйнуванням залишкової перемички. Таким чином, установка забезпечує рух відрізного рухомого ножа, який є сполученим процесом: відрізки зсувом і кручення, і поєднує позитивні сторони обох процесів. Рух ножа по дузі забезпечує надріз профілю по периметру й, тим самим, створює концентратор напружень в площині розділення.

Перевагою запропонованої схеми відрізки є: підвищення якості заготовок за рахунок підвищення геометричної точності: зменшення зминання на контактних поверхнях, величини кута скосу, утяжини; зменшення сили відрізки в момент розділення за рахунок нанесення концентратора напружень, що знижує наслідки явища миттєвого розвантаження встаткування, яке супроводжується руйнуванням фундаменту, розслабленням з'єднань, кавітацією тощо.

Аналізуючи запропонований клиношарнірний механізм, можна дійти висновку, що характер руху його ланок аналогічний характеру руху ланок кулісного важільного механізму з хитним кулісним каменем, а, отже, структурні схеми цих механізмів ідентичні (див. рис. 1, б). Однак є й принципові відмінності цих механізмів. Клиношарнірний механізм має короткі ланки, а тому – більшу жорсткість. Його шарніри відрізняються збільшеними опорними площами, здатними передавати значні навантаження. Ці відмінності забезпечують переваги клиношарнірного механізму перед важільними механізмами при застосуванні їх у ковальсько-пресовому встаткуванні. При цьому, у порівнянні із традиційними клиношарнірними механізмами, зменшується кількість поверхонь тертя, підвищується технологічність виготовлення деталей установки.

Модельовання процесу відрізки фасонного П – подібного прокату на установці запропонованої конструкції проведено за допомогою програмного комплексу DEFORM.

Матеріал заготовки фасонного П – подібного прокату – сталь Ст. 4кп (ДСТУ 2651-94). Переміщення клина та ножа задавали з використання залежностей, отриманих на основі структурного та кінематичного аналізів механізму.

Моделювали вплив величини відстані l , яка визначає положення центру обертання шарніра, на енергосилові параметри процесу розділення.

Основні результати чисельного експерименту зведені до табл.

Таблиця

| Результати моделювання | | | | |
|---|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Параметр | $l = 80 \text{ мм}$ | $l = 100 \text{ мм}$ | $l = 120 \text{ мм}$ | $l = 130 \text{ мм}$ |
| Сила відрізки $F, \text{кН}$ | 277 | 318 | 382 | 417 |
| Кут повороту рухомого ножа в момент розділення – $\varphi, \text{рад}/\varphi, \text{град}$ | 0,325/ 18,63 | 0,281/ 16,11 | 0,249/ 14,27 | 0,186/ 10,70 |
| Момент відрізки $M, \text{Н} \cdot \text{м}$ | 8500 | 8590 | 15400 | 20200 |
| Робота $A, \text{Дж}$, що відповідає моменту розділення | 976 | 843 | 802 | 630 |

Залежності роботи деформації, сили і моменту відрізки від параметра l представлені на рис. 2.

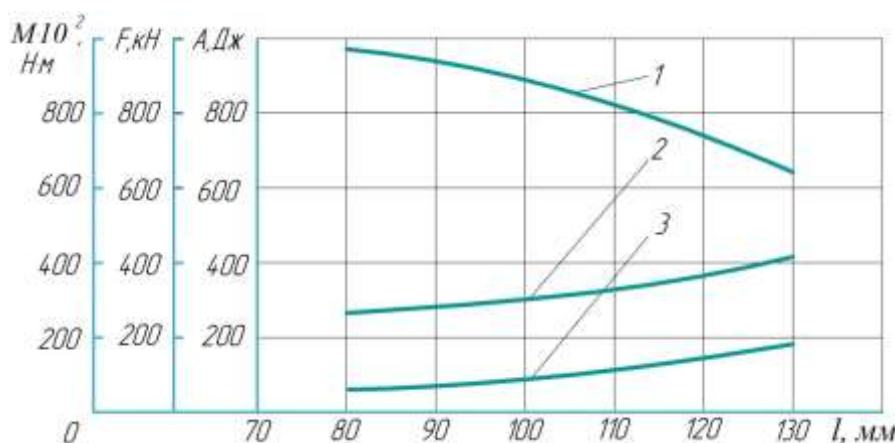


Рис. 2. Залежності роботи (1), сили (2) і моменту (3) розділення від величини відстані l , яка визначає положення центру обертання шарніра

Аналіз отриманих даних дозволяє зробити висновок про те, що енергосилові параметри процесу розділення практично не залежать від орієнтації фасонного П – подібного профілю прокату при складному оберально-поступальному русі.

Результати моделювання показують, що максимальна сила відрізки фасонного П – подібного прокату при розділенні за схемою навантаження, реалізованої у новій конструкції установки становить $F_{\max} = 417 \text{ кН}$. Вона значно менша за силу – 610 кН, яка приведена у роботі [4]. Це підтверджує, що установка нової конструкції має значні переваги у порівнянні з відомими реалізаціями.

Висновки.

1. Запропонована і досліджена конструкція клиношарнірного механізму з увігнутим клином із поворотним ножом, який може бути використаний, у тому числі, і для розділення фасонного прокату складної конфігурації. Запропонована конструкція має менше число поверхонь тертя і забезпечує

рух відрізного рухомого ножа, який є сполученим процесом відрізки зсувом і кручення, і поєднує позитивні сторони обох процесів. Складний плоский рух ножа по дузі забезпечує надріз П – подібного профілю по периметру й тим самим, створює концентратор напруження в площині розділення. Перевагою запропонованої схеми відрізки є підвищення геометричної точності заготовок: зменшення зминання на контактних поверхнях, величини кута скосу, утяжини, та зменшення сили відрізки в момент розділення.

2. На основі запропонованих математичних моделей нової конструкції установки із клиношарнірним механізмом з увігнутих клином із поворотним ножом та аналізу результатів моделювання з використанням програмного комплексу DEFORM, розроблені залежності для розрахунку технологічних параметрів процесу розділення фасонного прокату. Встановлено, що зі збільшенням параметру, який визначає положення центру шарніру механізму, збільшуються величини сили і моменту розділення, а величина роботи деформування зменшується. Рекомендована величина цього параметру повинна дорівнювати половині радіуса увігнутого клина.

3. Аналіз результатів розрахунку дозволяє зробити висновок про те, що енергосилові параметри процесу розділення практично не залежать від орієнтації фасонного П – подібного профілю прокату при його подачі у зону розділення.

4. Результати моделювання показують, що застосування установки нової конструкції забезпечує зниження енергосилових параметрів процесу розділення, у порівнянні з відомими конструкціями сучасного обладнання, та геометричну точність відрізаних заготовок.

Research of the process of separation of shaped rolled products using a new design of a press with a wedge-joint mechanism with a concave wedge with a rotary knife

Karnaukh S. G.

***Abstract.** The analysis of the improved design of the wedge-joint mechanism with a concave wedge with a rotary knife established that the proposed mechanism has a smaller number of friction surfaces and can be used for shear cutting shaped rolled products of complex configuration. The use of the mechanism makes it possible to ensure a complex flat movement of the tool, the result of which is a combined shearing and torsional cutting process, which reduces the energy parameters of the separation process and the harmful consequences of the afterloading of the press at the end of the working stroke. Based on the analysis of the modeling results using the grapho-analytical method and the Deform software complex, the dependences of the calculations of the geometric and power parameters of the equipment using such mechanisms that provide rational cutting modes are established. The value of the parameter that determines the position of the center of rotation of the joint of the mechanism is recommended to be chosen equal to half the radius of the concave wedge. It has been established that the use of a new design installation provides a reduction in the energy parameters of the separation process in comparison with known designs of modern equipment and ensures the geometric accuracy of the cut blanks. The conducted experimental studies confirmed the adequacy of mathematical models and the correctness of theoretical conclusions.*

***Key words:** workpiece; shear segment, torsion, moment, press unloading, geometric accuracy*

Список літератури

1. Aliiev I. S., Markov O. E., Karnaukh S. G. Development and investigation of the design of dies for separating profiles of a folding configuration on a standard workpiece. *Materials Working by Pressure*. Kramatorsk : DSEA. 2022. 1(51), pp. 154–165, DOI: 10.37142/2076-2151/2022-1(51)3 (in Russian).
2. Roganov L. L., Chosta N. V., Karnaukh S. G. Improvement of wedge-hinged mechanisms of presses for separation processes of pressure processing. *Materials Working by Pressure*. Kramatorsk: DSEA. 2009. 2(21), pp. 333–338 (in Russian).
3. Karnaukh S. G., Chosta N. V., Markov O. E., Kukhar V. V. Development and research of the press operating mechanism. made in the form of the wedge-joint mechanism with a curving wedge for separation operations. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2021. 116, pp. 3305–3314. DOI: 10.1007/s00170-021-07718-8.
4. Serdyuk A. I. Peculiarities of technology for waste-free separation of shaped U-shaped profiles in dies with complex movement of knives. Mariupol : PSTU. 2015. 139 p. (in Russian).

УДК 621.777.4

ОСОБЛИВОСТІ ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПРИ КОМБІНОВАНОМУ ВИДАВЛЮВАННІ ПОРОЖНИСТИХ ДЕТАЛЕЙ

Алієв І.С.¹, Левченко В.М.², Абхарі П.Б.¹, Алієва Л.І.¹, Шімко О.І.³

1 – Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ, Україна;

2 – Інститут радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова, м Харків, Україна;

3 – ПАТ НКМЗ, м. Краматорськ, Україна.

Видавлювання – ефективний метод отримання точних заготовок і деталей. Для виготовлення порожнистих деталей добре зарекомендували себе способи комбінованого видавлювання. Виготовлення деталей типу стакану з фланцем за одну операцію сприяє підвищенню точності розмірів і якості поверхонь деталі. Для дослідження деформованого стану використані МСЕ, методи ділільних сіток та металографічного аналізу. Встановлено характер розподілу показників деформації в деталі. Отримані різніми методами оцінки особливості розвитку та розподілу деформованого стану в процесі комбінованого видавлювання наближені один до одного. Комбіноване видавлювання стакану з фланцем забезпечує достатньо рівномірне зміцнення металу по об'єму деталі.

Ключові слова: комбіноване видавлювання; порожнисті деталі; деформований стан; МСЕ; макро- та мікроструктура; метод ділільних сіток.

Процеси видавлювання, які є ефективним методом виготовлення прецизійних деталей і заготовок, демонструють сталу тенденцію до поширення використання в практиці машинобудування. Для виготовлення порожнистих деталей типу стаканів і гільз використовують у різній послідовності всі основні способи видавлювання [1]. Спосіб комбінованого видавлювання деталей з фланцем має перевагу у продуктивності та точності деталей, що обумовлено обробкою деталі в одній і тій же матриці без перекладки на послідовних операціях видавлювання порожнистої частини та фланця [2]. Обмеженням цих способів є нерівномірність деформованого стану, яка особливо проявляється у комбінованих способах видавлювання, при яких у різних зонах деформованої заготовки є значна різниця в характері напружено деформованого стану [3].

Метою роботи є оцінка деформованого стану, що впливає на якість та механічні властивості виробів.

Металографічному дослідженню піддавалися зразки з латуні Л68, отримані в процесі комбінованого радіально-зворотного видавлювання (рис 1 а). Загальний вигляд із зазначенням вирізки зразків для проведення дослідження наведено на рис. 1, в. У ході дослідження визначено хімічний склад металу, виконано вимірювання мікротвердості за перерізом зразків, вивчено мікроструктуру матеріалу. Зразки для дослідження мікроструктури металу – мікрошліфи були виготовлені на шліфувально-полірувальному верстаті LaboPol-5. Мікроструктура металу отримана методом травлення водним розчином соляної кислоти та піддавалася дослідженню за допомогою великого фотомікроскопа відбитого світла НЕОРНОТ 30. Макроструктуру металу сфотографовано за допомогою дослідного стереомікроскопічного мікроскопа системи SZX16 (OLYMPUS). З отриманих картин видно, що опрацювання структури металу відповідає картині розподілу деформацій, отриманих методом розподільчих сіток. Найбільш деформовані ділянки прилягають до внутрішньої поверхні стакану. Зони, що прилягають до верхньої кромки стакану, деформовані слабше, але в цілому набули достатнього зміцнення.

Експериментальне дослідження деформованого стану у процесі комбінованого радіально-зворотного видавлювання деталей типу стакану (діаметром $2 R_0 = 24$ мм, порожниною з діаметром $2 R_p = 16$ мм та з фланцем товщиною $h = 5$ мм) показали результати (рис. 2), якісно близькі до отриманих при СЕ-моделюванні [3] і при аналізі макроструктурі. З початку процесу осередки деформації

радіального та зворотного видавлювання рознесені один від одного, що перешкоджає виникненню поверхонь з високим градієнтом деформацій та інтенсивними зрушеннями. Цю особливість осередку деформації в наявності двох автономних осередків деформації слід враховувати під час виборів поля швидкостей течії металу та аналізі силового режиму процесу методом енергетичного балансу потужностей. Особливість також у тому, що хоча інтенсивна деформація і зосереджується в окремих зонах у вихідних отворів, у проміжній зоні, яку прийнято вважати жорсткою, деформація також наростає і в цілому деталь стає рівномірно деформованою. Для порожнистих деталей типу гільз та глибоких стаканів важливе також рівномірний розподіл ступеню деформації в стінці деталі. Як правило, у внутрішніх шарах стінці метал деформується помітно більше. Для зниження такого роду нерівномірності пропонувані способи знакозмінного комбінованого деформування[3].

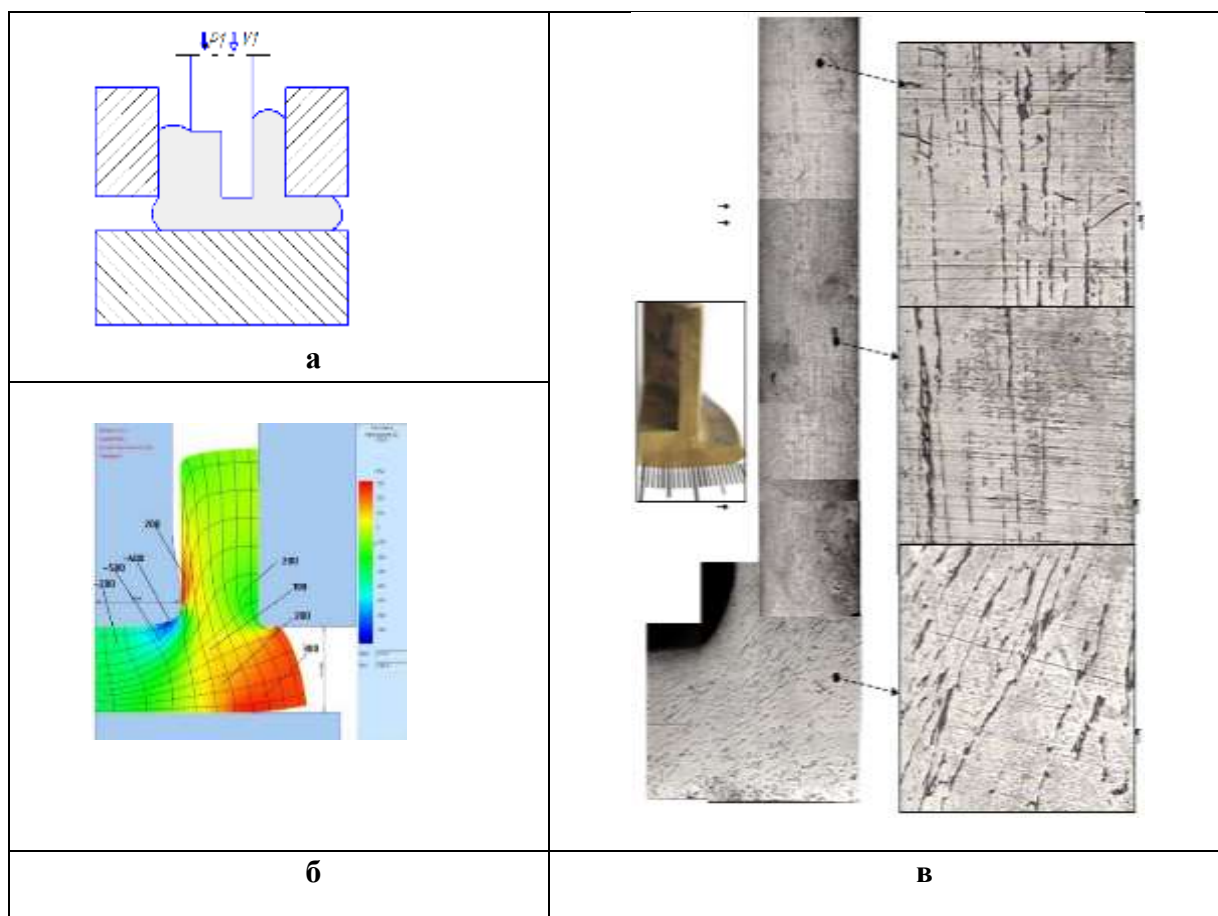


Рис. 1. Схема комбінованого видавлювання (а), МСЕ-модель (б), макроструктура (x25) і мікроструктура (x100) металу деталі(в)

Для оцінки можливостей прогнозування поетапного формоутворення заготовки у процесі комбінованого деформування було проведено порівняльний аналіз експериментальних даних та результатів, отриманих на основі СЕ-моделювання. Побудовано графіки прирощень стінки та фланця напівфабрикатів з алюмінієвого сплаву АД31 ($R_p=7,5$; $R_0 = 10,6$; $h = 3,0$ мм) з нанесенням значень збільшення розмірів, отриманих експериментально. Розбіжність зіставлених даних вбирається у 15%.

Висновки. Комбіноване видавлювання стакану з фланцем протікає при прийнятній нерівномірності розподілу деформації у перерізу деталі і забезпечує рівномірне зміцнення металу по всьому об'єму деталі. Методі вивчення деформованого стану за допомогою ділильної сітці,

металографічного аналізу дають результати наближені один до одного та до отриманих СЕ-моделюванням.

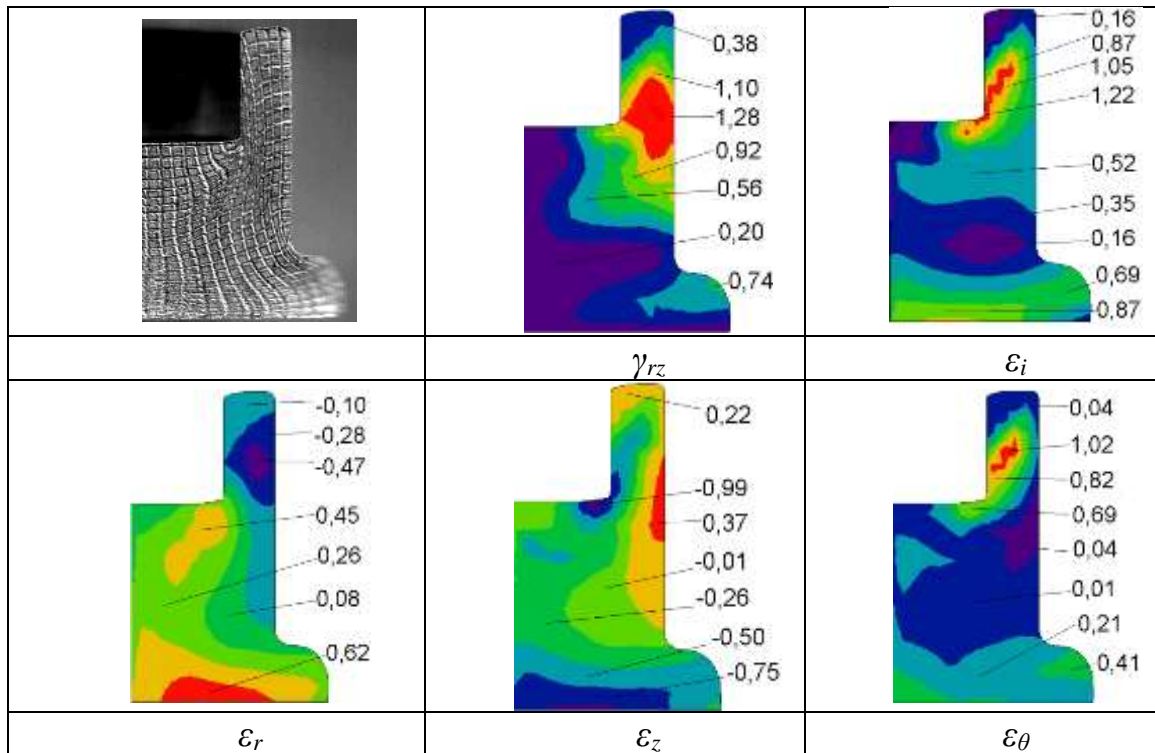


Рис. 2. Деформування ділильної сітки та поля деформацій при комбінованому радіально-зворотному видавлюванні деталі «Стакан з фланцем»

Features of the deformed state in combined extrusion of hollow parts

Aliiev Igramotdin, Levchenko Volodymyr, Aliieva Leila, Abhari Payman

Extrusion is an effective method for producing precise blanks and parts. Combined extrusion methods have proven themselves well for producing hollow parts. Manufacturing parts such as a cup with flange in one operation improves the dimensional accuracy and surface quality of the part. FEM, dividing mesh methods and metallographic analysis were used to study the deformed state. The distribution pattern of deformation indicators in the part was determined. The estimates of features of the developing and distributing the deformed state during combined extrusion obtained by different methods are close to each other. Combined extrusion of a cup with flange ensures fairly uniform hardening of the metal throughout the volume of the part.

Keywords: combined extrusion; hollow parts; deformed state; FEM; macro- and microstructure; dividing mesh method.

Список літератури:

- 1 Aliev I.S. Radial extrusion process. *Soviet Forging and Metal Stamping Technology (English Translation of Kuznechno-Shtampovochnoe Proizvodstvo)*. Part 3. 1988, pp. 54–61....ISSN: 0891-334x.
- 2 Алієва Л.І., Таган Л.В. Ресурсозберігаючі процеси холодного видавлювання: посібник для студентів спеціальностей 131–136. Краматорськ: ДДМА. 2020. 180 с. ISBN 978-966-379-927-8.
- 3 Алієв І.С., Грудкіна Н.С., Малій Х.В., Таган Л.В. Моделювання та розробка процесів точного об'ємного штампування видавлюванням : монографія. Краматорськ : ДДМА. 2021. 176 с. ISBN 978-617-7889-08-2.