

Всеукраїнський науково-технічний журнал

Ukrainian Scientific & Technical Journal

ISSN 2306-8744

DOI: 10.37128/2306-8744-2020-4

# Вібрації в техніці та технологіях



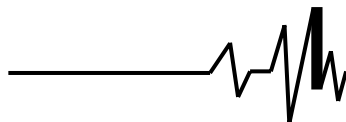
**Всеукраїнський науково-технічний журнал**

**Ukrainian Scientific & Technical Journal**

# **Вібрації в техніці та технологіях**

**№ 4 (99)**

**Вінниця 2020**

**ВІБРАЦІЇ В  
ТЕХНІЦІ ТА  
ТЕХНОЛОГІЯХ**

Журнал науково-виробничого та навчального  
спрямування Видавець: Вінницький національний  
аграрний університет

Заснований у 1994 році під назвою “Вібрації в техніці та  
технологіях”

Свідоцтво про державну реєстрацію засобів масової  
інформації

КВ № 16643-5115 ПР від 30.04.2010 р.

**Всеукраїнський науково-технічний журнал “Вібрації в техніці та  
технологіях” / Редколегія: Калетнік Г.М. (головний редактор) та інші. – Вінниця,  
2020. – 4 (99) – 113 с.**

**Друкується за рішенням Вченої ради Вінницького національного аграрного  
університету (протокол № від 18.12.2020 р.)**

**Періодичне видання включено до Переліку наукових фахових видань  
України з технічних наук (Категорія «Б» Наказ Міністерства освіти і науки  
України від 02.07.2020 р. № 886)**

**Головний редактор**

**Калетнік Г.М.** – д.е.н., професор,  
академік НААН, Вінницький національний  
аграрний університет

**Заступник головного  
редактора**

**Адамчук В.В.** – д.т.н., проф., акад. НААН,  
Національний науковий центр “Інститут  
механізації та електрифікації сільського  
господарства”

**Відповідальний секретар**

**Солоня О.В.** – к.т.н., доц., Вінницький  
національний аграрний університет

**Члени редакційної колегії**

**Булгаков В.М.** – д.т.н., проф., акад. НААН,  
Національний університет біоресурсів і  
природокористування України

**Веселовська Н.Р.** – д.т.н., проф.,  
Вінницький національний аграрний  
університет

**Деревенько А.І.** – к.т.н., доцент,  
Національний університет «Львівська  
політехніка»

**Зіньковський А.П.** – д.т.н., проф., Інститут  
проблем міцності імені Г. С. Писаренка  
НАН України

**Іскович-Лотоцький Р.Д.** – д.т.н., проф.,  
Вінницький національний технічний  
університет

**Купчук І.М.** – к.т.н., доцент, Вінницький  
національний аграрний університет

**Надуть В.П.** – д.т.н., проф., Інститут  
геотехнічної механіки імені М.С. Полякова  
НАН України

**Матвеев В.В.** – д.ф.-м.н., проф., академік  
НААН, Інститут проблем міцності імені Г.С.  
Писаренка НАН України

**Ольшанський В.П.** – д.ф.-м.н., проф.,  
Харківський національний технічний  
університет сільського господарства імені  
Петра Василенка

**Полєвода Ю.А.** – к.т.н., доцент, Вінницький  
національний аграрний університет

**Спірін А.В.** – к.т.н., доцент, Вінницький  
національний аграрний університет

**Твердохліб І.В.** – к.т.н., доцент, Вінницький  
національний аграрний університет

**Токарчук О.А.** – к.т.н., доцент, Вінницький  
національний аграрний університет

**Цуркан О.В.** – д.т.н. доц., Вінницький  
національний аграрний університет

**Зарубіжні члени редакційної колегії**

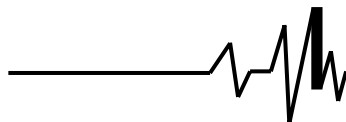
**Джордан Тодоров Максимов** – д.т.н., проф., Технічний Університет Габрово (Болгарія)

Технічний редактор **Замрій М.А.**

Адреса редакції: 21008, Вінниця, вул. Сонячна 3, Вінницький національний аграрний  
університет, тел. 46 – 00– 03

Сайт журналу: <http://vibrojournal.vsau.org/>

Електронна адреса: [vibration.vin@ukr.net](mailto:vibration.vin@ukr.net)

**З М І С Т****1. ТЕОРІЯ ПРОЦЕСІВ ТА МАШИН**

*Надутьий В.П., Сухарев В.В., Костыря С. В.*  
**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ МЕЛКОДИСПЕРСНОЙ ГОРНОЙ МАССЫ НА ВИБРАЦИОННОМ УСТРОЙСТВЕ НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ** .....5

*Солона О. В.*  
**КЕРОВАНІЙ ВІБРАЦІЙНИЙ МЛИН ДЛЯ ПОМОЛУ СИПКОВОГО СЕРЕДОВИЩА**.....11

*Дудніков А. А., Дудник В. В., Бурлака О. А., Канівець О. В.*  
**ЗМІНА ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРІАЛУ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ВІБРАЦІЙНОМУ ЗМІЦНЕННІ**.....21

*Ольшанський В. П., Сліпченко М. В., Спольнік О. І., Токарчук О. А.*  
**ПІСЛЯУДАРНІ КОЛИВАННЯ КВАДРАТИЧНОГО НЕЛІНІЙНОГО ДИСИПАТИВНОГО ОСЦИЛЯТОРА**.....29

*Солона О. В., Купчук І. М., Гонтар В. Г., Дідик А. М.*  
**ОЦІНКА ВПЛИВУ ШВИДКІСНИХ РЕЖИМІВ РОТОРА НА СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ПРИВОДОМ ВІБРАЦІЙНОЇ ДИСКОВОЇ ДРОБАРКИ**.....40

*Омельянов О. М., Замрій М. А.*  
**НАПРЯМКИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ВІБРАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МАШИН**.....49

**2. МАШИНОБУДУВАННЯ ТА МАТЕРІАЛООБРОБКА**

*Іскович-Лотоцький Р.Д., Веселовська Н.Р., Іванчук Я. В., Гнатюк О. Ф.*  
**СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ У ВАНТАЖНО-РОЗВАНТАЖУВАЛЬНИХ РОБОТАХ НА МОБІЛЬНОМУ АВТОМОБІЛЬНОМУ ТРАНСПОРТІ**.....59

*Sereda L., Trukhanska O., Shvets L.*  
**INVESTIGATION OF THE HYDRAULIC DRIVE OF THE UNIT FOR STRIP TILLAGE WITH SIMULTANEOUS APPLICATION OF LIQUID FERTILIZERS**.....67

*Паладійчук Ю. Б., Кордонський В. А.*  
**ОБҐРУНТУВАННЯ МЕХАНІКИ РУЙНУВАННЯ СТРУЖКИ ПРИ ПРОТЯГУВАННІ ЦИЛІНДРИЧНИХ ПОВЕРХОНЬ З ПРИПУСКОМ**.....73

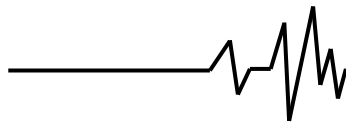
*Музичук В. І.*  
**ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ШТАМПУВАННЯ ОБКОЧУВАННЯМ КІЛЬЦЕВИХ ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ З КВАДРАТНОЇ ЗАГОТОВКИ**.....85

**3. ПЕРЕРОБНІ ТА ХАРЧОВІ ВИРОБНИЦТВА**

*Полевода Ю.А.*  
**ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ДЕФОРМАЦІЇ ШКАРАЛУПИ ГОРІХА** .....94

**4. ДУМКА МОЛОДОГО ВЧЕНОГО**

*Штуць А.А.*  
**КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ШТАМПУВАННЯ ОБКОЧУВАННЯМ ЦИЛІНДРИЧНИХ ТА ТРУБНИХ ЗАГОТОВОК З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ DEFORM – 3D** ..... 101

**Штуць А.А.**

асистент

*Вінницький національний  
аграрний університет***Shtuts A.***Vinnitsia National Agrarian  
University***УДК 621.98:519.876.5****DOI: 10.37128/2306-8744-2020-4-12****КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ  
ПРОЦЕСУ ШТАМПУВАННЯ  
ОБКочУВАННЯМ  
ЦИЛІНДРИЧНИХ ТА ТРУБНИХ  
ЗАГОТОВОК З  
ВИКОРИСТАННЯМ  
ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ  
DEFORM – 3D**

Метою моделювання є аналіз напружено-деформованого (НДС) [7,14] стану та формозміни трубчастих, циліндричних заготовок в процесі деформування, визначення енергосилових параметрів процесу, а також геометрії деформуючого інструменту, що забезпечують отримання якісного виробу з гарантованим заповненням профілю, точними розмірами в поперечному і поздовжньому напрямках, а також чистотою поверхні профільованої порожнини.

В даній статті проаналізовано особливості локального деформування, які визначають штампування обкочуванням як самостійний вид обробки металів тиском в металообробній промисловості. Найбільш ефективно ця задача вирішується шляхом використання процесів холодної пластичної деформації, які дозволяють максимально наблизити форму заготовки до форми готового виробу, а в ряді випадків виключають необхідність подальшої обробки. Використовуючи метод холодного деформування замість обробки різанням, можна в 2...3 рази підвищити коефіцієнт використання металу. При цьому забезпечується висока якість поверхні заготовок, покращуються фізико-механічні характеристики матеріалу, підвищується продуктивність праці та створюються умови повної автоматизації виробництва. Наведені приклади найбільш повної реалізації переваг штампування обкочуванням, що забезпечує ефективність промислового використання. В пріоритетних напрямках розвитку науки і техніки особлива роль відводиться енерго та ресурсозбереженню.

У [3] роботі наведено результати моделювання для штампування обкочуванням без обмеження з одностороннім та двохстороннім обмеженням течії металу по довжині заготовок із свинцю.

Аналіз проведеного експериментального дослідження показали, що процес штампування обкочуванням (ШО) заготовок конічними та циліндричними валками, надає можливість керувати напрямом плинину матеріалу заготовок шляхом зміни величини та напряму взаєморозташування осей валка заготовки, по відношенню до напряму обертання заготовки. Проведене моделювання



процесів ШО показало, що від зазначених параметрів суттєво залежить також напружено-деформівний стан, формозміна та деформівність матеріалу заготовок.

Технологічні можливості ШО обмежуються, головним чином, втратою стійкості і руйнуванням заготовок, що, в свою чергу, суттєво залежить від напряму плинну металу на контактні валки з заготовкою.

Таким чином, можливість управління напрямом плинну металу значною мірою визначає можливість виготовлення заготовок необхідної форми та розмірів без руйнування і втрати стійкості [2].

**Ключові слова:** комп'ютерне моделювання, *deform* – 3d, штампування обкочуванням, обробка металів тиском, технологічний процес, пластична деформація, напружено-деформований стан.

**Постановка проблеми.** В статті досліджується гіпотеза, що можливі умови деформування, за яких, із збільшенням деформацій напружений стан на бічній поверхні наближається не до напруженого стану розтягу, а до деякого проміжного ШО. У відповідності до гіпотези умову під час необмеженого збільшення деформацій [4,5]:

$$\lim_{\varepsilon_{\varphi} \rightarrow \infty} \frac{d\varepsilon_z}{d\varepsilon_{\varphi}} = -\frac{1}{2} \quad (1.1)$$

запишемо в більш загальному вигляді:

$$\lim_{\varepsilon_{\varphi} \rightarrow \infty} \frac{d\varepsilon_z}{d\varepsilon_{\varphi}} = -\xi, \quad \frac{1}{2} \leq \xi \leq 2 \quad (1.2)$$

Очевидно, що величина буде визначатися умовами тертя на торцях, матеріалом досліджуваного зразка та його типорозміром.

Для забезпечення наведеної умови розроблено узагальнену аналітичну залежність у вигляді диференціального рівняння:

$$\frac{d\varepsilon_z}{d\varepsilon_{\varphi}} = -\frac{\xi \cdot \varepsilon_{\varphi}^2 + 2 \cdot m^2}{\varepsilon_{\varphi}^2 + m^2}, \quad m > 0 \quad (1.3)$$

розв'язанням якого отримаємо співвідношення:

$$\varepsilon_z = -\xi \cdot \varepsilon_{\varphi} - (2 - \xi) \cdot m \cdot \arctg\left(\frac{\varepsilon_{\varphi}}{m}\right) \quad (1.4)$$

яке в параметричному представленні має такий вигляд:

$$\begin{cases} \varepsilon_{\varphi} = m \cdot tg(t); \\ \varepsilon_z = -m \cdot (\xi \cdot tg(t) + (2 - \xi) \cdot t); \end{cases} \quad t \in \left[0, \frac{\pi}{2}\right] \quad (1.6)$$

$$\eta = \frac{2 \cdot \left(\frac{d\varepsilon_z}{d\varepsilon_{\varphi}} + 1\right)}{\sqrt{1 + \frac{1}{3} \cdot \left(2 \frac{d\varepsilon_z}{d\varepsilon_{\varphi}} + 1\right)^2}} \quad (1.7)$$

Із урахуванням (4.6) та (4.7), отримаємо:

$$\varepsilon_u(t, m, \xi) = \frac{2}{3} \cdot m \cdot \sqrt{3} \cdot \int_0^t \sqrt{\frac{\xi^2 - \xi + 1}{\cos^4(\tau)} - \frac{2 \cdot \xi^2 - 5 \cdot \xi + 2}{\cos^2(\tau)} + (2 - \xi)^2} \cdot d\tau \quad (1.8)$$

$$\eta(t, \xi) = \frac{6 \cdot (-\xi - (2 - \xi) \cdot \cos^2(t) + 1)}{\sqrt{9 + 3 \cdot (1 - 2 \cdot \xi - 2 \cdot (2 - \xi) \cdot \cos^2(t))^2}} \quad (1.9)$$

$$\frac{d\varepsilon_z}{d\varepsilon_{\varphi}} = -\frac{1}{2} - \frac{3}{2} \cdot \frac{m^2}{\varepsilon_{\varphi}^2 + m^2}, \quad m > 0 \quad (1.10)$$



$$\begin{cases} \varepsilon_\varphi = m \cdot \operatorname{tg}(t) \\ \varepsilon_z = -\frac{m}{2} \cdot (\operatorname{tg}(t) + 3 \cdot t) \end{cases} \quad t \in \left[0, \frac{\pi}{2}\right] \quad (1.11)$$

$$\varepsilon_u(t, m) = m \cdot \int_0^t \sqrt{3 + \frac{1}{\cos^4(x)}} \cdot dx, \quad t \in \left[0, \frac{\pi}{2}\right], \quad (1.12)$$

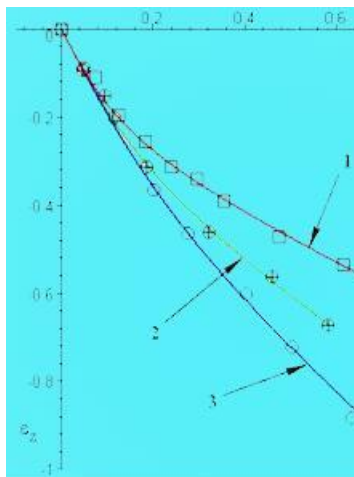
$$\eta(t) = \frac{1 - 3 \cdot \cos^2(t)}{\sqrt{1 + 3 \cdot \cos^4(t)}}, \quad t \in \left[0, \frac{\pi}{2}\right], \quad (1.13)$$

Очевидно, що співвідношення (1.10) – (1.11), (1.12) (1.13) є частковим випадком наведених співвідношень при  $\xi=0,5$ .

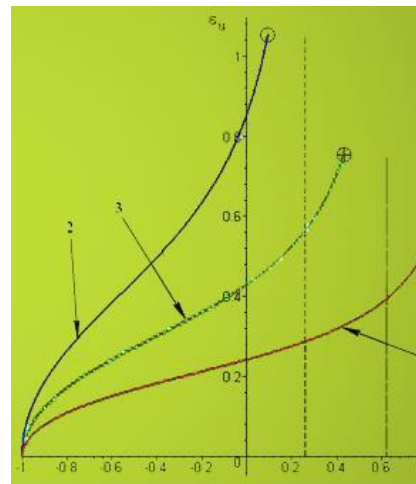
На рисунку 1.1. а та 1.1 б [5] наведено експериментальні та розрахункові результати дослідження НДС бічної поверхні трубних, циліндричних заготовок під час ШО із різних матеріалів та різним відношенням висоти до діаметру в початковому стані. Параметри визначали, як було вказано, методом найменших квадратів. Із аналізу представлених даних видно, що тільки для свинцевих зразків вид напруженого стану із збільшенням

деформації наближається до розтягу, для інших досліджуваних зразків показник наближається до . Із даних, які наведено на рис. 1.1.а та 1.1.б випливає, що у різних випадках отримано наступні значення.

Запропонована [4,5] узагальнена апроксимація залежностей між компонентами деформацій бічної поверхні при ШО трубних, циліндричних заготовок надає можливість краще описати експериментальні дані та виявити деякі особливості механіки деформування різних матеріалів.



а)



б)

**Рис. 1.1.а та 1.1.б** Графіки залежності між осьовою та коловою деформаціями (а) та відповідні їм траєкторії деформацій (б) [4] при ШО трубних циліндричних заготовок: розрахунок відповідно до залежностей (1.4), (1.5), (1.8); (матеріал – свинець,  $d_0 = 28,1 \text{ мм}$ ;

$h_0/d_0 = 1,083$ ,  $d_0, h_0$  – початкові діаметр та висота зразка),

2 (АДЗ1Т,  $d_0 = 28,1 \text{ мм}$ ;  $h_0/d_0 = 1,52$ ), 3 (свинець марки Lead[70-600F(20-300С)],  $d_0 = 34,7 \text{ мм}$ ;

$h_0/d_0 = 10,34$ ) –  $[\xi, m] = [0,5043; 0,1092]$ ,  $[0,8581; 0,2222]$ ,  $[0,6825; 0,1587]$  відповідно.

В попередніх роботах було встановлено [6], що для певної групи матеріалів під час процесу ШО трубних циліндричних заготовок поява пошкоджень зосереджується на бічній поверхні в області максимального діаметру.

**Аналіз останніх досліджень.** Як було показано, на бічній поверхні за умови

утворення зовнішніх буртів реалізується нестационарне деформування, що проявляється у зміні показника  $\eta$ .

Тому постає задача розробки моделі граничного стану бічної поверхні трубних циліндричних заготовок при ШО. Слід зазначити, що в рамках підходу теорії розсіяних пошкоджень задача визначення граничних



деформацій на бічній трубних циліндричних заготовок при ШО вперше була розв'язана в 70-их роках в роботах В. Л. Колмогорова, Г. Д. Деля, В. А. Огороднікова [7,8,11].

Але до сьогодні було відсутнє аналітичне описання кривої граничних деформацій бічної поверхні трубних циліндричних заготовок під час ШО за різних умов тертя та типорозмірів зразка. Поява такої моделі, що подана в попередніх роботах [14], надає можливість ставити та розв'язувати принципово нові задачі теорії граничних станів стосовно ШО.

**Мета дослідження.** Метою даного дослідження є формозміна трубних заготовок в процесі штампування обкочуванням (ШО) визначення енергосилових параметрів процесу, а також геометрії деформуючого інструменту, що забезпечують отримання якісного виробу.

**Виклад основного матеріалу.** Відповідно до експериментально-аналітичного підходу, за допомогою якого досліджується напружено-деформований та граничний стани, за результатами вимірювань розмірів та

спотвореної координатної сітки на проміжних стадіях деформування встановлюється залежність між осьовою та коловою деформаціями бічної поверхні циліндричного зразка при ШО:

$$\varepsilon_z = f(\varepsilon_\varphi) \quad (1.14)$$

у вигляді табличної заданої функції. Деформації та визначаються за допомогою виразів [13]:

$$\varepsilon_z = \ln\left(\frac{b}{b_0}\right); \quad \varepsilon_\varphi = \ln\left(\frac{a}{a_0}\right). \quad (1.15)$$

На бічній поверхні заготовки рис. 3.18. за допомогою зміни розмірів якої у відповідності до формул (1.2) визначаються значення колової та осьової логарифмічних деформацій [1,2].

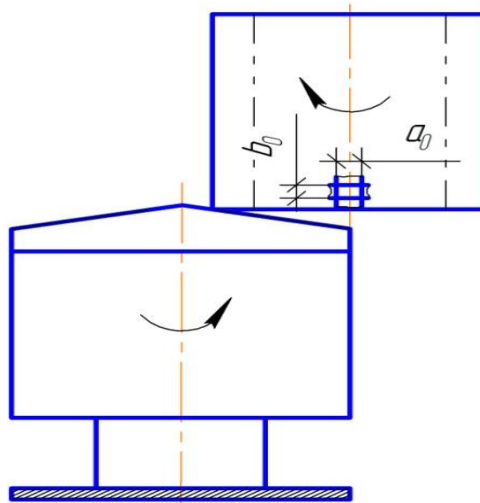


Рис. 1.2 – Схема розміщення валка відносно заготовки для експериментального визначення деформацій

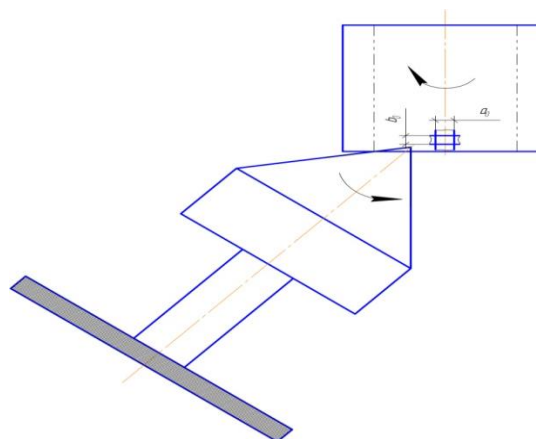


Рис. 1.3. – Схема розміщення валка відносно заготовки для експериментального визначення деформацій





Робочі органи (валоки) машин ПШО-1 та ПШО-2 розташовані в їх верхній частині, тому процес ШО буде відбуватися зверху в низ.

На рис. 1.4 зображено свинцевий зразок №4 при ШО [2].



Рис. 1.4 – Експериментальна модель заготовки №4 (зліва) на приставці ПШО- 2 та справа на приставці ПШО- 1, які виготовлено із свинцю при ШО.

Свинцеві зразки піддавали деформуванню на установці для проведення дослідження на ШО на приставці ПШО - 2 та на приставці ПШО – 1, із забезпеченням зусилля до 0,5 кН та сухого тертя на торцях зразків.

При цьому спостерігалось відбортуння та забортуння, яке проілюстровано на рис 1.12 експериментальне дослідження та моделювання в DEFORM 3D та часткове відображення на різних стадіях процесу ШО [2,3]. Для порівняння ми вирішили на базі експериментальних досліджень провести комп'ютерне моделювання.

Сьогодні багато питань можуть бути вирішені за допомогою моделювання. Його перевага полягає в тому, що не має необхідності витратити сировину та час на виготовлення експериментальних зразків, а одразу можна отримати результат на комп'ютері.

Одним із основних методів моделювання процесу обробки є математичне моделювання за допомогою методів скінчених елементів [1].

Програма DEFORM-3D дає можливість нам змоделювати процес, а також дозволяє встановити розподіл компонент напружень деформацій та температур в досліджуваних матеріалах.

Одним з основних факторів, що обмежують застосування процесів холодного штампування обкочуванням, є руйнування металу в процесі пластичної деформації. Програмний комплекс DEFORM-3D має вбудовані засоби прогнозування руйнування при холодній обробці матеріалів [2,3].

Дослідження ШО трубних і циліндричних заготовок здійснювали із застосуванням імітаційного моделювання за допомогою MCE.

В якості розрахунку була прийнята модель, що складається з трубних, циліндричних заготовок, деформуючого конічного валка, матриці та оправки. В результаті встановлено вплив на напружено-деформований стан матеріалу основних параметрів процесу ШО, що в подальшому використовувалося для оцінки деформівності матеріалу заготовок та оптимізації параметрів технологічного процесу.

Пошкодження в програмному комплексі DEFORM -3D обчислювали відповідно до моделі Cockroft-Latham [3,5]:

$$\int_0^{\epsilon_u} \frac{\bar{\sigma}_{\max}}{\sigma_u} \cdot d\epsilon_u = C \quad (1. 16.)$$

де  $\bar{\sigma}_{\max}$  – максимальне головне розтягуюче напруження;  $C$  – константа матеріалу.

На зразку моделювалась сітка скінчених елементів з такими параметрами: свинець марки Lead [70-600F(20-300C)], тип сітки – об'ємна, тип скінченого елемента – тетраедр, кількість елементів – 26229, кількість вузлів – 2484, кількість поверхневих багатокутників – 4016, мінімальний розмір елемента – 3.100506 мм, максимальний розмір елемента – 6.21012 мм.

В якості фізичних співвідношень між напруженнями та деформаціями використовували співвідношення теорії течії, зміцнення матеріалу – ізотропне, структура – нормалізована. Параметри тертя вибиралися наступними: тип – shear, коефіцієнт – 1. Швидкість переміщення головного інструменту (пуансона) складає 1 мм/с, обертання приводного інструменту 60 об/хв.



ШО проводилось до етапу досягнення висоти зразка 50 мм. Час деформування – 500 с. Температура проведення процесу деформування – 20°C.

Розрахунок процесу в програмному комплексі поділений на 200 кроків. Методика вибору граничних умов в програмному комплексі DEFORM 3D під час чисельного моделювання процесу ШО трубних, циліндричних заготовок.

В результаті моделювання отримали картини формозміни заготовки під час деформування (рис. 1.7.), розподілення по об'єму зразка накопиченої деформації (рис. 1.8.), інтенсивності напружень (рис. 1.9.) та

накопичених пошкоджень (рис. 1.10.) та формозміна в меридіональному перерізі циліндричної заготовки на кінцевому етапі ШО (рис. 1.11.) [2].

Для отримання та аналізу результатів моделювання напружено-деформованого стану в меридіональному перерізі зразка, скористалися спеціальними командами в постпроцесорі DEFORM 3D. Отримані результати представлено на рис. 1.10.

Аналіз отриманих результатів в postprocessor DEFORM -3D

На рис. 1.5. 1.6. наведено експериментальні моделі жорсткого конічного валка (матриця), жорсткого опорного кільця (матриця) [1,3].

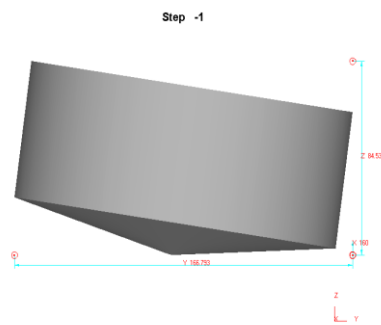


Рис. 1.5. Представлена експериментальна модель жорсткого конічного валка

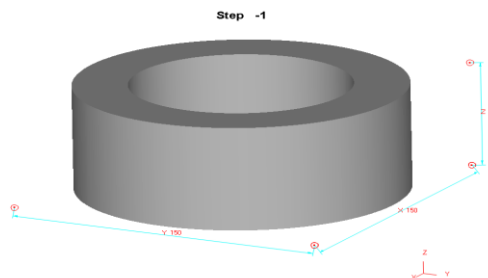


Рис. 1.6. Представлена експериментальна модель жорсткої опорної п'ятки (матриця)

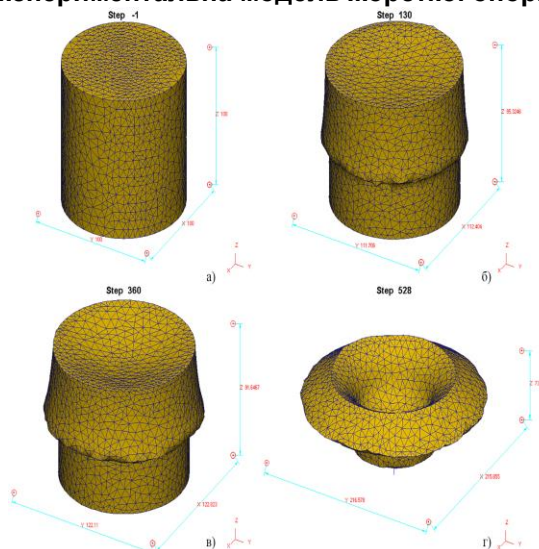


Рис. 1.7. Формозміна циліндричної заготовки при ШО: а) початковий етап; б) на 130 кроці ШО; в) на 360 кроці ШО; г) кінцевий крок деформування

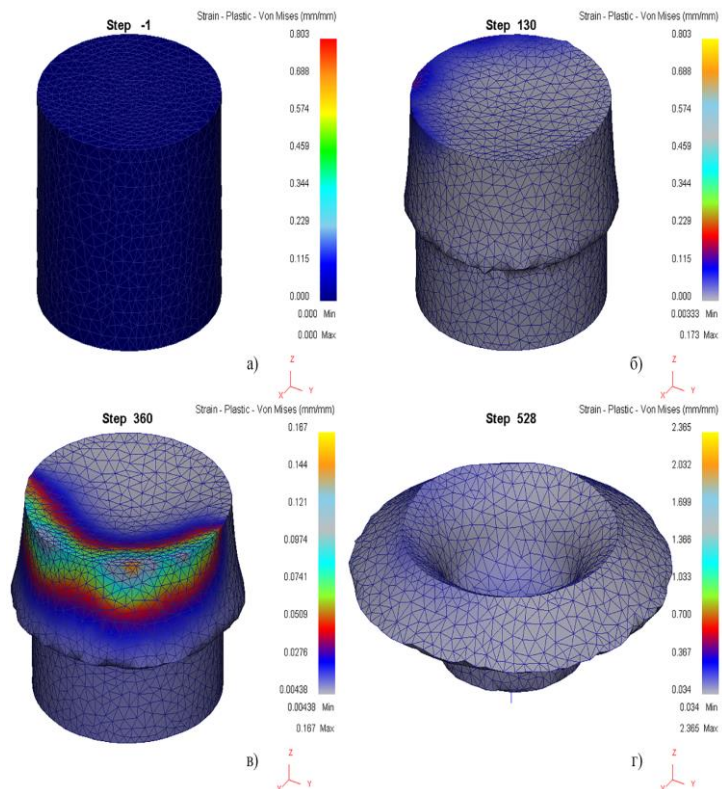
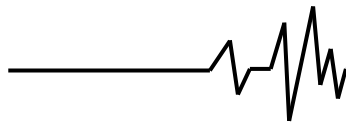


Рис. 1.8. Розподілення накопиченої деформації в об'ємі циліндричної заготовки при ШО: а) початковий етап; б) на 130 кроці ШО; в) на 360 кроці ШО; г) кінцевий крок деформування

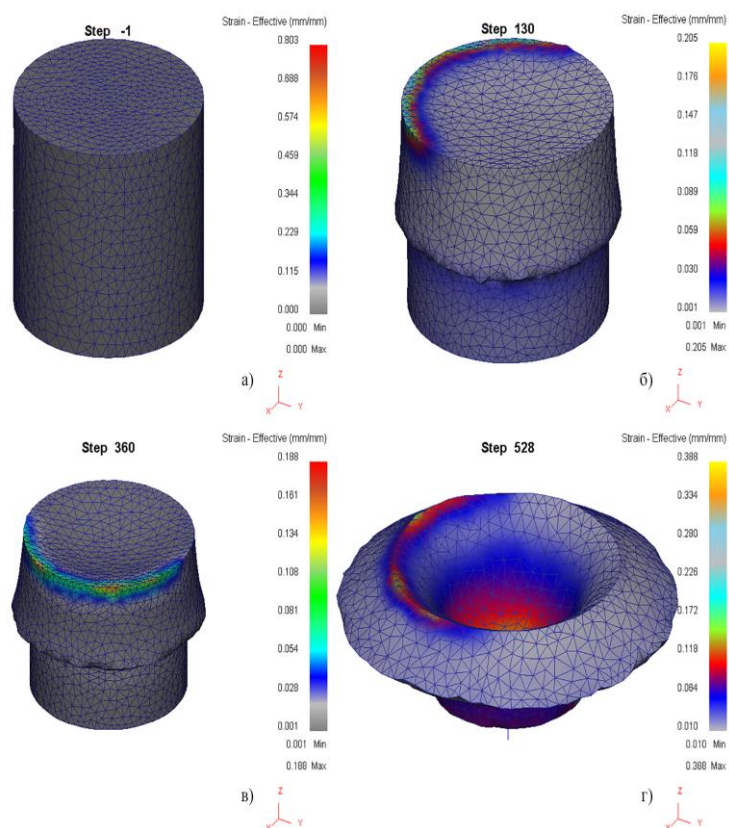


Рис. 1.9. Розподілення інтенсивності напружень по об'єму циліндричної заготовки при ШО: а) початковий етап; б) на 130 кроці ШО; в) на 360 кроці ШО; г) кінцевий крок деформування

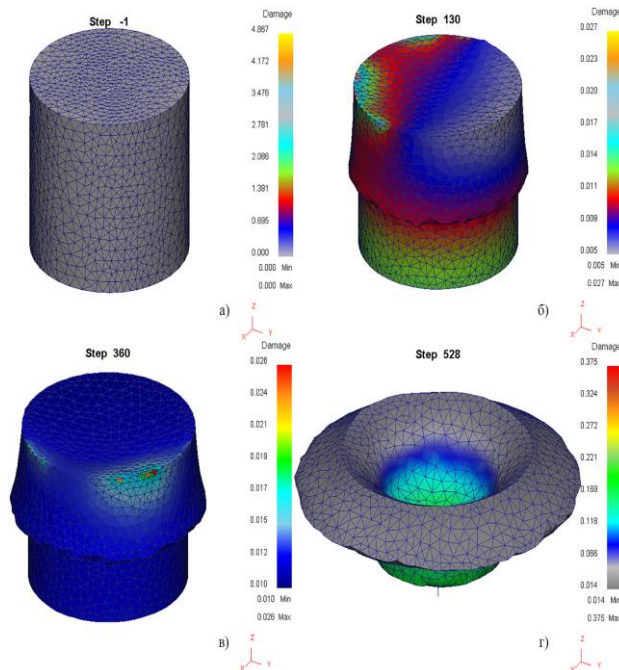


Рис. 1.10. Розподілення накопичення пошкоджень в об'ємі циліндричної заготовки при ШО: а) початковий етап; б) на 130 кроці ШО; в) на 360 кроці ШО; г) кінцевий крок деформування

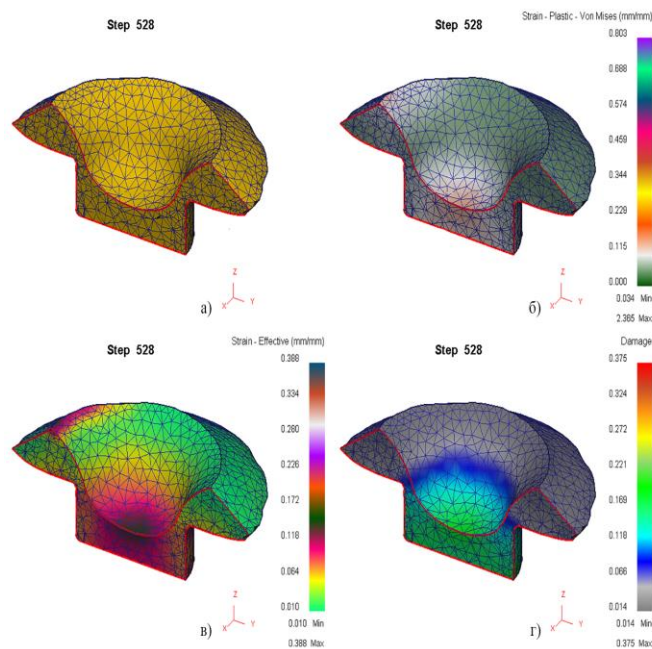


Рис. 1.11. Формозміна а) та розподілення в меридіональному перерізі циліндричної заготовки на кінцевому етапі ШО накопиченої деформації б); інтенсивності напружень в); накопичених пошкоджень

Під час додаткового аналізу результатів моделювання процесу ШО циліндричної заготовки в програмному комплексі DEFORM 3D, встановлено, що надто суттєвим під час підвищення точності визначення граничних умов в програмних комплексах є вибір умов тертя, який в основному впливає на отримані результати змодельованого процесу[5].

Отже, основною ідеєю підходу та методики підвищення точності визначення

граничних умов під час чисельного моделювання із використанням результатів експериментально-аналітичного моделювання НДС, циліндричних заготовок при ШО відповідно до реальних умов формозмінення є підбір таких умов тертя (в даному випадку – коефіцієнта тертя), що надасть можливість отримати результати моделювання ідентичні експериментальним. Коефіцієнт тертя підбирався шляхом чисельного експерименту.



В даному випадку порівнюється НДС [12,13] однієї точки бічної поверхні трубної, циліндричної заготовки в області максимального діаметру.

Експериментальні дані та результати чисельного моделювання опрацьовуються за допомогою експериментально-аналітичної методики та комбінованої методики чисельного і експериментально-аналітичного моделювання.

Результати застосування методики підвищення точності визначення граничних умов під час 3D моделювання із використанням результатів експериментально-аналітичного моделювання НДС циліндричного зразка при

ШО відповідно до реальних умов формозмінення проілюстровано на рис. 1.2. – 1.4.

Для наглядного порівняння результатів моделювання та експериментального дослідження на рис. 1.8. представлено заготовку під час проведення експерименту та в результаті моделювання.

Із представлених на рис. 1.4. траєкторій деформацій, які побудовано відповідно до результатів експериментального дослідження та чисельного моделювання циліндричну заготовку, видно, що узгодження між ними не перевищує природної похибки розсіювання експериментальних даних.

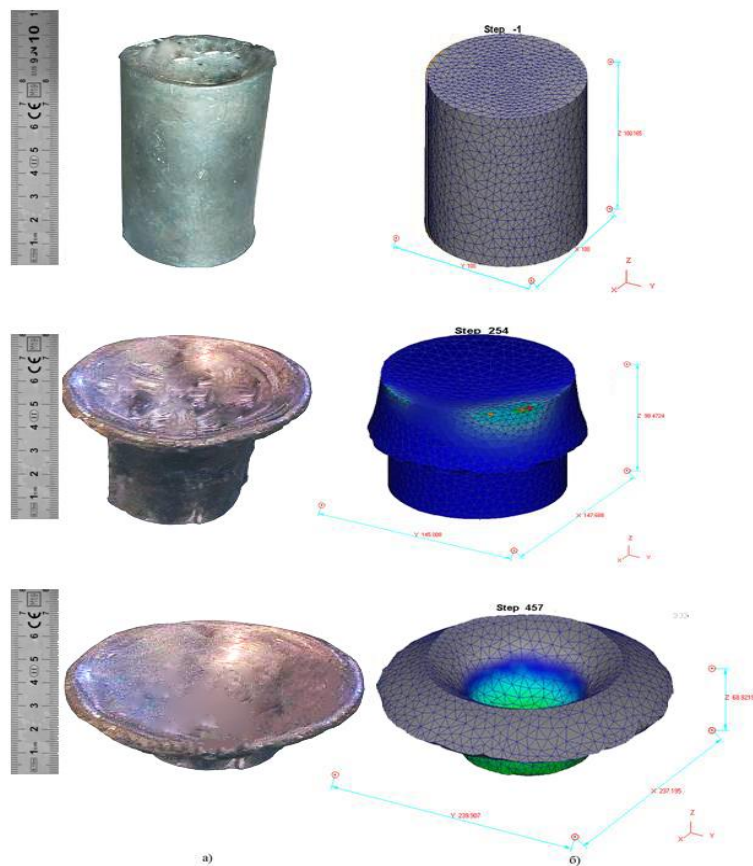


Рис. 1.12. ШО свинцевого заготовки №4: а) експериментальне дослідження; б) моделювання в DEFORM 3D

Тому для отримання результатів чисельного моделювання [11,12] адекватних реальним умовам формозмінення пропонується підхід та методика підвищення точності визначення граничних умов під час чисельного моделювання із використанням результатів експериментально-аналітичного моделювання НДС, циліндричних заготовок при ШО, який полягає в тому, що результати експериментального дослідження покладаються в основу визначення граничних

умов згаданої системи для проведення 3D моделювання зразка із забезпеченням

необхідних умов деформування. Очевидно, що методика підвищення точності визначення граничних умов під час чисельного моделювання із використанням результатів експериментально-аналітичного моделювання НДС трубних, циліндричних заготовок при ШО відповідно до реальних умов формозмінення підвищує ступінь достовірності результатів 3D моделювання [2,3].

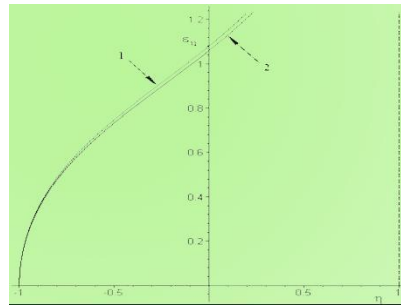


Рис. 1.13. Траєкторії деформації бічної поверхні свинцевої заготовки №5: 1 – експериментальне дослідження; 2 – моделювання в програмному комплексі DEFORM 3D.

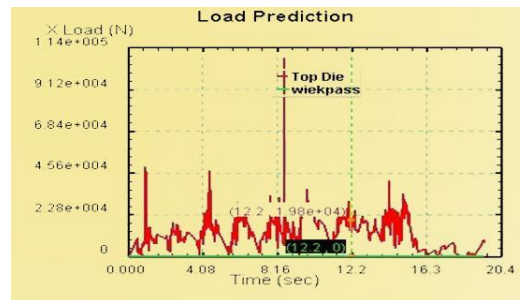


Рис. 1.14 Представлена схема навантаження прогнозу зусилля та розрахунку процесу штампування обкочуванням (ШО).

$$\sigma_H = \frac{1}{\sqrt{2}} [(\sigma_{11} - \sigma_{22})^2 + (\sigma_{22} - \sigma_{33})^2 + (\sigma_{33} - \sigma_{11})^2 + 6(\sigma_{12}^2 + \sigma_{23}^2 + \sigma_{31}^2)]^{1/2}. \quad (1.17.)$$

Також: - Інтенсивність напружень; - Зміна розміру зерна; - Вимірювання твердості; - Гідростатичний тиск; - Теплове розширення та ін.  
Траєкторії переміщення точок деформованої заготовки

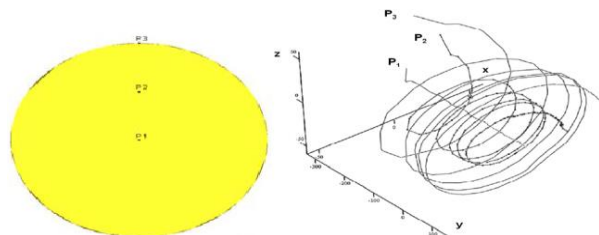


Рис. 1.15 Представлені координати точки (x, y, z) процесу штампування обкочуванням (ШО) [1,4,5].

**Висновки та пропозиції.** Проведено комп'ютерне моделювання процесу ШО циліндричних заготовок за допомогою пакета прикладних програм DEFORM-3D, заснованого на використанні методу скінченних елементів, за різними варіантами.

Комп'ютерним моделюванням визначено параметри НДС, використання ресурсу пластичності, кінцеву геометрію виробу, розподіл питомих зусиль на поверхні контакту заготовки з валком, а також залежність зусилля процесу ШО від переміщення матеріалу в матриці.

Подальший розвиток процесів можливий шляхом розробки нових технологічних схем на основі аналізу кінематики деформування та призначення сприятливих технологічних параметрів з урахуванням їх впливу на НДС і деформівність матеріалу заготовок.

**Список використаних джерел**

1. Матвийчук В.А. Совершенствование процессов локальной ротационной обработки давлением на основе анализа



деформируемости металлов: Монография В.А. Матвийчук, И.С. Алиев. Краматорск: ДГМА, 2009. 268 с.

2. Improvement of Stamping by Rolling Processes of Pipe and Cylindrical Blades on Experimental Research. [A. Shtuts, M. Kolisnyk, A. Vydmysh та ін.]. Actual Challenges in Energy & Mining. 2020. Vol. 844. 2020. С. Р. 168–181.

3. Shtuts A., Kolisnyk M., Yavdyk V. Improvement of processes of rolling stamping on the basis of investigation of technological parameters on the mechanics of workpieces' formation MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture, 2018. Vol.20. No.1. P. 19 – 25.

4. Матвійчук В. А. Комп'ютерне моделювання процесу штампування обкочуванням трубних заготовок. В. А. Матвійчук, А. А. Штуць. Всеукраїнський науково – технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК». 2016. С. 171–178.

5. Добранюк Ю. В. Моделювання за допомогою програмного комплексу DEFORM 3D напружено-деформованого стану на бічній поверхні циліндричного зразка під час торцевого стиснення. Ю. В. Добранюк, Л. І. Алієва, В. М. Михалевич. Обработка металлов давлением: сборник научных трудов. - Краматорск : ДГМА. 2010. №4(25). С. 3-10.

6. Добранюк Ю. В. Розрахунок граничного стану та побудова кривих граничних деформацій бічної поверхні циліндричного зразка під час торцевого стиснення. Ю. В. Добранюк, В. М. Михалевич, О. В. Михалевич. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 38308 від 11 травня 2011 р.

7. Михалевич В.М. Моделирование предельных деформаций на свободной поверхности при осесимметричной осадке В.М. Михалевич, В.А. Краевський, Ю.В. Добранюк. Прогрессивные методы и технологическое оснащение процессов обработки металлов давлением: мат. междунаrod. науч. техн. конф. - Балт. гос. техн. ун-т., СПб. 2009. С.108-112. ISBN 978-5-85546-474-0. (Росія)

8. Огородников В. А. Энергия. Деформации. Разрушение В.А. Огородников, В. Б. Киселёв, И. О. Сивак. Винница: УНІВЕРСУМ. Винница, 2005. 204 с.

9. Колмогоров В. Л. Пластичность и разрушение. В. Л. Колмогоров и др. М. : Металлургия, 1977. 336 с.

10. Матвійчук В. А. Розвиток технологічних можливостей процесів штампування обкочуванням. В. А. Матвійчук, А. А. Штуць, В. В. Явдик. Збірник наукових праць , Серія:Технічні науки. 2015. С. 27–33.

11. Михалевич В. М. Моделювання напружено-деформованого та граничного станів поверхні циліндричних зразків при

торцевому стисненні: монографія. В.М. Михалевич, Ю.В. Добранюк. Вінниця: ВНТУ. 2013. 180 с. ISBN 978-966- 641-532-8. (Україна).

12. Дель Г. Д. Определение напряжений в пластической области по распределению твёрдости. Г. Д. Дель. – Москва: Машиностроение, 1971. 200 с.

13. Огородников В. А. Деформируемость и разрушение металлов при пластическом формоизменении. В. А. Огородников. Киев: УМК ВО, 1989. 150 с.

14. Сурков В. А. Разработка технологии штамповки кольцевых и фланцевых заготовок обкатыванием. В. А. Сурков, Э. Р. Галимов. Сборник материалов XVII Всероссийской научно-технической конференции КФМВАУ. 2005. С. 134–135.

15. Огородніков В. А. Теоретичні та практичні проблеми в обробці матеріалів тиском і якості фахової освіти / В. А. Огородніков, Т. Ф. Архіпова. Збірник матеріалів ІХ Міжнародної науково-технічної конференції "Теоретичні та практичні проблеми в обробці матеріалів тиском і якості фахової освіти", (присвячена 120-річчю підготовки фахівців з обробки матеріалів тиском в КПІ ім. Ігоря Сікорсь. – 2018.

#### References

1. Matviichuk V. A., Aliiev I. S. (2009). Sovershenstvovanye protsessov lokalnoi rotatsyonnoi obrabotky davlenym na osnove analiza deformyruemosti metallov. Kramatorsk. [in Ukrainian].

2. Shtuts A., Kolisnyk M., Vydmysh A., et al. (2020). Improvement of Stamping by Rolling Processes of Pipe and Cylindrical Blades on Experimental Research . Actual Challenges in Energy & Mining. Vol. 844, 168–181. [in Switzerland].

3. Shtuts A., Kolisnyk M., Yavdyk V. (2018) Improvement of processes of rolling stamping on the basis of investigation of technological parameters on the mechanics of workpieces' formation. MOTROL Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. 1(20), 19 – 25. Lublin [in Poland].

4. Matviychuk V. A., Stuts A. A. (2016). Computational modeling of the process of stamping of rolled pipe blanks. All-Ukrainian scientific and technical journal "Technics, energy, transport of the agro-industrial complex." 171-178. [in Ukrainian].

5. Dobranyuk Yu. V., Alinva L. I., Mikhalevich V.M. (2010). Modeling behind the help of the DEFORM 3D software package of a stressed-deformed mill on the base surface of a cylindrical shape for an hour of butt clamping. Processing of metals by pressure: collection of



scientific papers. - Kramatorsk: No. 4 (25). P. 3-10. [in Ukrainian].

6. Dobranyuk Yu. V., Mikhalevich V. M., Mikhalevich O. V., (2011). Rozrakhunok of the boundary mill to induce the curves of the boundary deformations of the biological surface of the cylindrical shape for the hour of the butt clamping. Testimonies about the revision of copyright on TV No. 38308. [in Ukrainian].

7. Mikhalevich V.M., Kraevsky V.A., Dobranyuk Yu.V. (2009). Modeling of ultimate deformations on a free surface during axisymmetric upsetting. Progressive methods and technological equipment of metal forming processes: mat. international scientific and technical conf. - Balt. state tech. un-t. 108-112. [in Russia].

8. Ogorodnikov V. A., Kiselev V. B., Sivak I. O. Energy. (2005). Deformations. Destruction Vinnytsia: UNIVERSUM. 204. [in Ukrainian].

9. Kolmogorov V. L. (1977). Plasticity and destruction. Metallurgy. 336. [in Ukrainian].

10. Matviychuk V. A., Shtuts, A. A., Yavdik V. V. (2015). Development of technological possibilities of stamping processes. Collection of Science Practitioners, Series: Technical Sciences. 27-33. [in Ukrainian].

11. Mikhalevich V.M., Dobranyuk Yu.V. (2013). Model of stress-deformed and boundary mills of the surface of cylindrical razors in case of end clamping: monograph. Vinnytsia: VNTU. 180. [in Ukrainian].

12. [Del G.D. (1971). Determination of stresses in the plastic area by the distribution of hardness. Mechanical Engineering. Moscow. 200. [in Russia].

13. Ogorodnikov V.A. (1989). Deformability and destruction of metals in plastic form change. Kiev. 150. [in Ukrainian].

14. [Surkov V. A., Galimov E. R. (2005). Development of the technology of stamping ring and flange blanks by rolling. Collection of materials of the XVII All-Russian scientific and technical conference KFMVAU. 134-135. [in Russia].

15. Ogorodnikov V. A., Arkhipova T. F. (2018). Theoretical and practical problems in the processing of materials in a vise and quality of faculty. Collection of materials of the IX International scientific and technical conference "Theoretical and practical problems in the processing of materials in a vise and quality of technical education"(dedicated to the 120th anniversary of the training of specialists in the processing of materials by pressure in KPI named after Igor Sikors). [in Ukrainian].

### КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ШТАМПОВКИ ОБКОЧУВАННЯМ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ И ТРУБНЫХ ЗАГОТОВОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА DEFORM - 3D

Целью моделирования является анализ напряженно-деформированного (НДС) [7,14] состояния и формоизменения трубчатых, цилиндрических заготовок в процессе деформирования, определение энергосиловых параметров процесса, а также геометрии деформирующего инструмента, обеспечивающих получение качественного изделия с гарантированным заполнением профиля, точными размерами в поперечном и продольном направлениях, а также чистой поверхностью профилированной полости.

В данной статье проанализированы особенности локального деформирования, которые определяют штамповки обкочуваньям как самостоятельный вид обработки металлов давлением в металлообрабатывающей промышленности. Наиболее эффективно эта задача решается путем использования процессов холодной пластической деформации, которые позволяют максимально приблизить форму заготовки к форме готового изделия, а в ряде случаев исключают необходимость дальнейшей обработки. Используя метод холодного деформирования вместо обработки резанием, можно в 2 ... 3 раза повысить коэффициент использования металла. При этом обеспечивается высокое качество поверхности заготовок, улучшаются физико-механические характеристики материала, повышается производительность труда и создаются условия полной автоматизации производства. Приведенные примеры наиболее полной реализации преимуществ штамповки обкочуваньям, что обеспечивает эффективность промышленного использования. В приоритетных направлениях развития науки и техники особая роль отводится энерго и ресурсосбережению.

В [3] работе приведены результаты моделирования для штамповки обкочуваньям без ограничения по односторонним и двохсторонним ограничением течения металла по длине заготовок из свинца.

Анализ проведенного экспериментального исследования показали, что процесс штамповки обкочуваньям (ШО) заготовок коническими и цилиндрическими валками, дает возможность управлять направлением течения материала заготовок путем изменения величины и направления взаиморасположение осей валка заготовки, по отношению к направлению вращения заготовки. Проведено моделирование





процессов ШО показало, что от указанных параметров существенно зависит напряженно-деформированное состояние, формоизменение и деформируемость материала заготовок.

Технологические возможности ШО ограничиваются, главным образом, потерей устойчивости и разрушением заготовок, что, в свою очередь, существенно зависит от направления течения металла на контакте вала с заготовкой.

Таким образом, возможность управления направлением течения металла в значительной мере определяет возможность изготовления заготовок необходимой формы и размеров без разрушения и потери устойчивости [2].

**Ключевые слова:** компюперне моделювання, *deform - 3d*, штамповки обкочуванням, обробка металлов давлением, технологический процесс, пластическая деформация, напряженно-деформированное состояние.

#### COMPUTER SIMULATION OF THE PROCESS OF STAMPING BY ROLLING CYLINDRICAL AND PIPE PREPARATIONS USING THE DEFORM - 3D SOFTWARE COMPLEX

The purpose of modeling is the analysis of the stress-strain (VAT) [7,14] condition and deformation of tubular, cylindrical workpieces in the deformation process, determining the energy parameters of the process, as well as the geometry of the deforming tool. transverse and longitudinal directions, as well as the cleanliness of the surface of the profiled cavity.

This article analyzes the features of local deformation, which define stamping by rolling as an independent type of metal pressure treatment in the metalworking industry. This problem is most effectively solved by using cold plastic deformation processes, which allow to bring the shape of the

workpiece as close as possible to the shape of the finished product, and in some cases eliminate the need for further processing. Using the method of cold deformation instead of cutting, you can increase 2... 3 times the utilization of the metal. This ensures high quality of the workpiece surface, improves the physical and mechanical characteristics of the material, increases productivity and creates conditions for full automation of production. Examples of the most complete realization of advantages of stamping by rolling that provides efficiency of industrial use are resulted. In the priority areas of science and technology, a special role is given to energy and resource conservation.

In [3] the simulation results for rolling stamping without restriction with one-sided and two-sided restriction of metal flow along the length of lead blanks are presented.

Analysis of the experimental study showed that the process of stamping rolling (SHO) workpieces with conical and cylindrical rolls, allows you to control the flow of workpiece material by changing the size and direction of the axes of the workpiece roll, relative to the direction of rotation of the workpiece. The conducted modeling of SHO processes showed that the stress-strain state, deformation and deformability of the workpiece material also significantly depend on these parameters.

The technological capabilities of the SHO are limited mainly by the loss of stability and destruction of the workpieces, which, in turn, significantly depends on the direction of flow of metal at the contact of the roll with the workpiece.

Thus, the ability to control the direction of flow of the metal largely determines the ability to manufacture workpieces of the desired shape and size without destruction and loss of stability [2].

**Keywords:** computer simulation, *deform - 3d*, rolling stamping, metal forming, technological process, plastic deformation, stress-strain state.

#### Відомості про авторів

**Штуць Андрій Анатолійович** – асистент кафедри «Електроенергетики, електротехніки та електромеханіки» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, email: [shtuts1989@gmail.com](mailto:shtuts1989@gmail.com)).

**Штуць Андрей Анатольевич** - ассистент кафедры «Электроэнергетики, электротехники и электромеханики» Винницкого национального аграрного университета (ул. Солнечная, 3, г. Винница, 21008, Украина, email: [shtuts1989@gmail.com](mailto:shtuts1989@gmail.com)).

**Andrii Shtuts** - Assistant Professor, Department of Electric Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics, Vinnitsa National Agrarian University (3, Solnechna str., Vinnitsa, 21008, Ukraine, email: [shtuts1989@gmail.com](mailto:shtuts1989@gmail.com)).