

**Міністерство освіти і науки України**

**Донбаська державна машинобудівна академія**



**УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ  
І ОБЛАДНАННЯ ОБРОБКИ ТИСКОМ  
В МЕТАЛУРГІЇ І МАШИНОБУДУВАННІ**

Тематичний збірник наукових праць

**КРАМАТОРСЬК - ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ 2002**

**Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні:** Тематич. зб. наук. пр. – ДДМА, Краматорськ, 2002. – 567с. – Парал. тит. арк.: рос.

В збірнику представлені статті, присвячені теоретичним та експериментальним дослідженням, а також удосконаленню технологічних процесів і обладнання обробки тиском, які широко застосовуються в металургії та машинобудуванні. Ці дослідження та розробки виконані вченими, аспірантами та студентами технічних навчальних закладів, НДЦ, підприємств України та інших країн. Збірник буде корисним для студентів та аспірантів технічних ВНЗ, інженерно-технічних працівників науково-дослідних установ, машинобудівних та металургійних підприємств.

### *Редакційна рада*

Потапкін В.Ф.	доктор технічних наук, професор, ректор ДДМА, голова ради;
Алієв І.С.	доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри “Обробка металів тиском” ДДМА;
Белкін М.Я.	доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри “Металознавство, технологія та термічна обробка металів” ДДМА;
Бейгельзімер Я.Ю.	доктор технічних наук, науковий співробітник Донецького фізико-технічного інституту НАН України;
Дорошко В.І.	доктор технічних наук, професор, СУНУ (м. Луганськ);
Євстратов В.О.	доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри “Обробка металів тиском” НТУ “ХП” (м. Харків);
Іщенко А.О.	доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри “Механічне обладнання підприємств” ПДТУ (м. Маріуполь);
Лаптев О.М.	доктор технічних наук, професор, ДДМА;
Роганов Л.Л.	доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри “Машини та технологія обробки металів тиском” ДДМА;
Соколов Л.М.	доктор технічних наук, професор, ДДМА;
Сатонін О.В.	доктор технічних наук, доцент, ДДМА;
Гарасов О.Ф.	доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри “Комп’ютерно - інформаційні технології” ДДМА;
Федорінов В.А.	кандидат технічних наук, доцент, проректор з наукової роботи ДДМА;

*Адреса редакції збірника:* вул. Шкадінова 72, м. Краматорськ,  
Донецька обл., Україна, 84313  
E-mail: omd@dema.donetsk.ua

*Телефон:* (0626) 41-67-20, 41-69-42  
*Факс:* (0626) 41-63-15

<i>Матвійчук В.А., Михалеви́ч В.М., Краєвський В.О.</i>	
Розробка і дослідження процесів розкочування складно профільних заготовок з використанням операцій осадки і переформування	117
<i>Михайленко Б.Е., Семенов В.М., Борисов Р.С., Карасев А.К., Славецкий - Котвицкий Э.С.</i>	
Штамповка двурогних крюков горячим выдавливанием	122
<i>Смития А.Л., Близнюк С.А.</i>	
Влияние режимов нагрева на пластичность металла	125
<i>Ступка А.Г., Гринкевич В.А., Кузьмина О.М., Кияшко А.Г.</i>	
Исследование ковкости крупных слитков	128
<i>Костава А.А., Онищенко А.К., Савчинский И.Г., Петин И.М.</i>	
Особенности ковкости крупных поковок роторов из слитков массой 360 – 420 т	131
<i>Маковецкий В.В., Завгородний Д.В.</i>	
Исследование напряженно-деформированного состояния при правке штамповок из титановых сплавов	139
<i>Хван Д.В., Воропаев А.А.</i>	
Осадка длинномерных заготовок как нетрадиционный способ обработки металлов давлением	143
<i>Чубатюк В.М., Николайчук В.Я.</i>	
Розрахунок неоднорідних стержнів при різних видах ударних навантажень	148
<i>Блохин А.Г.</i>	
Сопротивление сдвигу при деформации порошковых гомогенных сред	153
<i>Буренищев Ю.А., Козлов Л.Г., Сивак Е.И., Сивак Р.И.</i>	
Поперечное выдавливание пористой заготовки с использованием гидростатического давления	159
<i>Вьял Е.Ю.</i>	
Анализ закономерности хрупкого разрушения порошковых прессовок	163
<i>Ивацко В.Т.</i>	
Усовершенствование технологических процессов холодного деформирования порошковых заготовок	167
<i>Компаний И.П., Павленко А.А.</i>	
Влияние геометрических характеристик брикета на его физические свойства и энергосиловые параметры процесса прессования	170
<i>Латтев А.М., Корж В.В.</i>	
Исследование величины коэффициента бокового давления при прессовании железного порошка с добавками карбида хрома	174
<i>Афанасьева М.А., Макишанцев В.Г., Шинкаренко О.М.</i>	
Особенности получения цилиндрических изделий с плоским дном методом взаимного ротационного деформирования труб	177
<i>Середа В.Г., Григоревич Е.Н., Курилкина О.А.</i>	
Определение угла наклона рабочей поверхности инструмента трения при обкатке днищ	181
<i>Рябичева Л.А., Цыркин А.Т., Хищенко В.Ф.</i>	
Экспериментальное исследование радиального деформирования пористых заготовок	184
<i>Сивак И.О., Сухоруков С.И., Сивак Е.И.</i>	
Оценка деформируемости пористых заготовок на неустановившейся стадії выдавливания	188
<i>Свицкий В.В.</i>	
Особенности технологии получения металлических волокон прессованием литых гранул	193
<i>Мирошниченко С.В., Сычков В.Г., Сычков С.Г.</i>	
Гомогенизация свойств заготовок реверсивной закрытой прошивкой	199
<i>Колот Л.П.</i>	
Поверхностное пластическое деформирование в роли компенсатора погрешностей формы	202
<i>Сивак Р.И.</i>	
Поверхность предельных деформаций материала основы для пористого спеченного материала на основе меди	205
<i>Пыц Я.Е., Рудов А.В.</i>	
Технологический процесс получения заготовок баллонов с толстостенными горловинами	209
<i>Панкратов А.И., Шеремет А.И.</i>	
Методы виброобработки поковок для снижения внутренних напряжений	214
<b>Розділ II – Теорія та технологія обробки тиском в металургії</b>	
<i>Потапкин В.Ф.</i>	
Определение технологической пластичности при прокатке	219
<i>Потапкин В.Ф.</i>	
Исследование деформированного состояния и технологической пластичности металла при прокатке	227

УДК 621.7

Магвійчук В.А., Михалевич В.М., Красівський В.О. (м. Вінниця, ВДТУ)

## РОЗРОБКА І ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РОЗКОЧУВАННЯ СКЛАДНОПРОФІЛЬНИХ ЗАГОТОВОК З ВИКОРИСТАННЯМ ОПЕРАЦІЙ ОСАДКИ І ПЕРЕФОРМУВАННЯ

*В статті розроблені та досліджені технологічні процеси переформовки заготовок штамповою обкаткою, які забезпечують високий коефіцієнт використання металу, високу продуктивність і точність заготовок з високими службовими характеристиками.*

*The technological processes of billets by revolving forging reforming are investigated in the article. These technological processes ensure a high capacity factor of metal, high efficiency and accuracy of billets with high operational characteristics.*

Розробка і застосування процесів штампування обкочуванням (ШО) сприяло становленню у галузі обробки металів тиском нових високопродуктивних ресурсозберігаючих технологій. Ефект від їх впровадження проявився у вигляді підвищення коефіцієнта використання матеріалу, формування унікальних складнопрофільних деталей з підвищеними службовими характеристиками тощо. До технологічних процесів ШО відносяться, головним чином, процеси торцевого розкочування і сферорухомого штампування, які були започатковані і розвинуті у працях вчених Санкт-Петербургу [1]. При застосуванні процесів ШО реалізовувалися операції висадки, осадки, прямого і зворотнього витискування, калібрування, роздачі, відбуртовки заготовок та інше. Слід відзначити, що процеси ШО є досить складними і недостатньо вивченими в силу дії різних факторів впливу. До основних з них слід віднести:

- різноманітність і складність схем деформування, які визначаються геометрією, взаємним розташуванням та рухом елементів оснастки;
- геометрія контакту та ступінь розбіжності векторів швидкості на поверхнях валка і заготовки, які суттєво залежать від форми валка, кута нахилу його осі і розміщення вершини по відношенню до осей заготовки, що в свою чергу чинить визначальний вплив на напрям течії металу і характер формоутворення заготовки;
- деформівність і стійкість елементів заготовки, а також контактні напруги і жорсткість обладнання, що визначає можливість реалізації процесу і отримання заготовок необхідної форми і розмірів.

В свою чергу така різноманітність факторів впливу дає можливість варіювати схемами деформування, застосовувати комбіновані схеми і досягати максимального ефекту по формуванню заготовок [2].

Дана робота присвячена розробці і дослідженню процесів ШО з використанням операцій переформування осадкою, а також калібруванням заготовки на заключних стадіях. Перевага використання таких схем деформування полягає у можливості виготовлення складнопрофільних виробів із відносно простих за формою заготовок. При цьому забезпечується високий коефіцієнт використання металу і максимальне наближення розмірів виробу до розмірів готової деталі.

Нами розроблялися і досліджувалися процеси переформування вихідних заготовок осадкою розкочуванням в закритих штампах для перетворення квадратних заготовок в плоскі або профільні круглі, а також для виготовлення кілець упорних підшипників із кільцевих заготовок.

Переформовка квадрата в круг відкриває широкі можливості по створенню маловідходних процесів. У цьому випадку із листа чи полоси на ножицях або в штампі вирубують квадратні заготовки, які розкочуванням переформують у круглі [3]. Таким чином можна виготовляти плоскі або з потовщеним дном заготовки, фланці трубопроводів з порожниною у центрі та інші. Основна проблема полягає в управлінні напрямом течії металу, що у результаті визначає можливість отримання заготовки необхідної форми при запобіганні руйнуванню та втраті стійкості.

Як показали експерименти, до основних факторів впливу на процес деформування належать кут нахилу валка  $\alpha$ , відносна товщина заготовки  $h/d$  та величина подачі  $S$ . Нами проведено дослідження при граничних величинах вказаних параметрів. Для цього переформовку заготовок здійснювали на установці сферорухомого пресування РХВ-160 з круговим рухом водила при  $\alpha=2^\circ$ , а також на установці торцьового розкочування СО424 конічним валком при  $\alpha=10^\circ$ . У якості вихідних використовували заготовки з танталу зі стороною квадрату  $b=22\text{мм}$  і товщиною  $t=0.4\text{мм}$ , а також заготовки із алюмінієвого сплаву АМ<sub>г</sub>2 з  $b=100\text{мм}$  і  $t=12\text{мм}$ .

Дослідження напружено-деформованого стану (НДС) на поверхні заготовок проводили методом сіток, а розподіл деформацій по перерізу – мікроструктурним аналізом та вимірюванням твердості. На рис. 1 представлені заготовки, які отримано переформовкою квадрата в круг методом ШО на проміжній і заключній стадіях. Апроксимацію і диференціювання експериментальних даних виконували з використанням пакету прикладних програм на базі згладжування кубічними сплайн-функціями, що розроблений в колективі під керівництвом В.А.Огороднікова [4]. У результаті були отримані поля компонент тензора деформацій, інтенсивності деформацій і напруг на поверхні заготовок, доведених до різних стадій переформовки.

На рис. 2 представлено розподіл інтенсивності деформацій  $\varepsilon_i$  та показника напруженого стану  $\eta$  на заключному етапі переформування квадратної танталової пластини в круг діаметром  $d=31\text{мм}$  при куті валка  $\alpha=2^\circ$ .

Як видно з рис. 2, деформований стан заготовки має ознаки симетрії. Компоненти деформацій  $\varepsilon_x$  і  $\varepsilon_y$  близькі за величиною і характером розподілу в плані заготовки і є деформаціями розтягу. На ділянках заготовки поблизу кутів вихідного квадрату деформації  $\varepsilon_x$  і  $\varepsilon_y$  переходять у незначні за величиною деформації стиску. Деформації у напрямку товщини  $\varepsilon_z$  на більшій частині заготовки є деформаціями стиску. Вони максимальні і за абсолютною величиною близькі до значень інтенсивності деформацій  $\varepsilon_i$ .

Мінімальна ступінь деформації має місце у центральній частині заготовки. На площі, яка описана навколо центру радіусом, що складає 0.5 від радіуса сформованої заготовки, ступінь деформації не перевищує значень  $\varepsilon_i/\varepsilon_{max}=0.3$ . Найбільша ступінь деформацій  $\varepsilon_{max}=1.4-1.5$  спостерігається на контурах заготовки, у зонах, що відповідають серединам сторін вихідних квадратів. Підвищені деформації мають місце також в кутах вихідного квадрату.

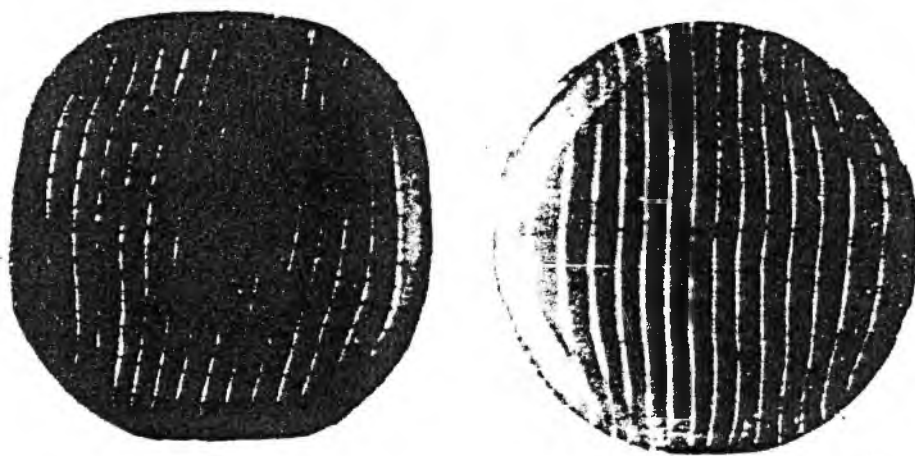


Рис. 1 – Вид переформованих заготовок з танталу на стадіях:  
а) проміжній; б) заключній

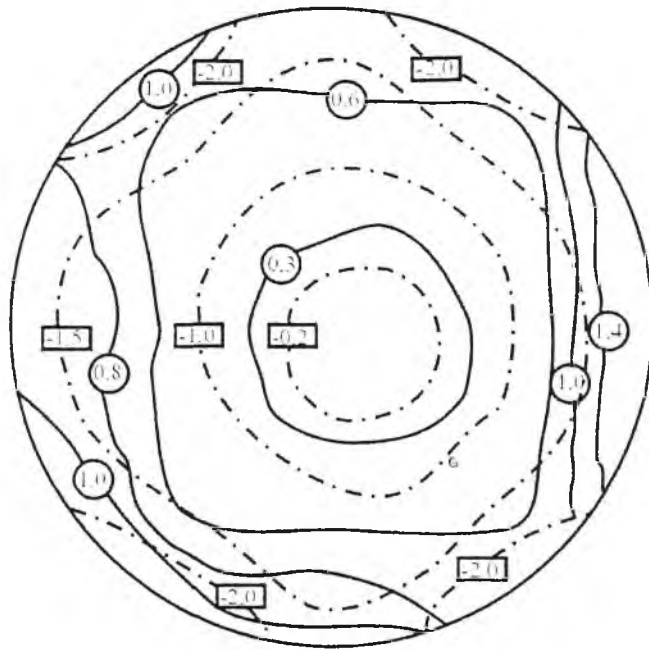


Рис. 2 – Розподіл інтенсивності деформацій  $\square$  і показника напруженого стану  $\circ$  по поверхні танталової заготовки на заключній стадії переформування квадрата в круг.

Таким чином даний процес за характером НДС близький до процесу осадки з перетіканням часток матеріалу в плані заготовки. Напружений стан в плані заготовки змінюється від значень  $\eta \approx -0.2$  поблизу центру заготовки до  $\eta \approx -1 \div -2$  поблизу контуру і  $\eta \approx -1 \div -0.5$  на боковій поверхні посередині сторони квадрату.

Найбільш небезпечною для руйнування зоною і є саме серединна частина бокової поверхні вихідного квадрату. Процес руйнування усугубляється тим, що при вирубці матеріал на певну глибину від площини зрізу вже вичерпав ресурс пластичності. Розрізання вихідних заготовок відбувається в умовах зсуву з накладанням напруг стиску або розтягу, а напружений стан даної зони при розкочуванні змінюється від одноосного стиску у напрямку зсуву. Тому нами досліджувалась пластичність при немонотонному деформуванні на комбінаціях дослідів кручення-осадка, кручення-розтяг, а також осадка зразків з поверхнею, утвореною в процесі зсуву. Для аналітичного аналізу застосовували тензорно-нелінійну модель анізотропного накопичення пошкоджень [5]

$$\psi_{ij}(\varepsilon_i) = \int_0^{\varepsilon_i} F(\varepsilon_i; \eta; \mu_\sigma) \cdot \left\{ a \cdot \beta_{ij}(\varepsilon_i) + b \cdot \left[ \beta_{ik}(\varepsilon_i) \cdot \beta_{kj}(\varepsilon_i) - \frac{1}{3} \cdot \delta_{ij} \right] \right\} \cdot d\varepsilon_i, \quad (1)$$

де  $\psi_{ij}$  – тензор пошкоджень;  $\varepsilon_i$  – накопичена пластична деформація;  $\eta = 3\sigma/\sigma_u$  ( $\sigma$  – середня напруга,  $\sigma_u$  – інтенсивність напруг) – показник напруженого стану;  $\mu_\sigma$  – параметр Лоде;  $\beta_{ij} = dE_{ij} / \sqrt{dE_{ij} \cdot dE_{ij}}$  – напрямний тензор приростів деформацій;  $d\varepsilon_i$  – прирости пластичних деформацій;  $F(\varepsilon_i; \eta; \mu_\sigma)$  – функція, що відображує властивості матеріалу;  $a$  – коефіцієнт, обумовлений коефіцієнтом тензорної нелінійності  $b(|b| \leq \sqrt{6})$ ;  $\delta_{ij}$  – одиничний тензор Кронекера.

У результаті експериментів встановлено, що заготовки з утвореною зрізом поверхнею можуть ще деформуватися в умовах стиску при  $-1 < \eta < -0.5$  до величини ресурсу пластичності  $\psi_2 = 0.6 \div 0.65$ . Залишковий ресурс пластичності металу на другому етапі при комбіна-

ції зріз-розтяг, виявився близьким до значень  $\psi_2 \approx 0$ . Проведення після зрізу відпалювання повністю відновлює пластичність під етап стиску для всіх досліджуваних матеріалів. Використана модель анізотропного накопичення пошкоджень металу виявилась цілком адекватною результатам експерименту.

Обрахування з використанням зазначеної моделі залишкового ресурсу пластичності під витяжку після переформування розкочуванням показало, що термообробка відпалюванням цілком знімає пошкодження матеріалу [6]. Переформовкою заготовок внаслідок текстурних і структурних змін забезпечується підвищення якості матеріалу. Після термообробки гранична деформація на розтяг збільшується на 8-10%, а гранична рівномірна деформація – на 5-8%. Ступінь плоскої анізотропії, яка прийнята в листовому штампуванні за характеристику здатності матеріалу до фестоноутворення, зменшується на 70-80%. Корпуси конденсаторів, які було отримано витяжкою з переформованих танталових заготовок, мали електролітичну стійкість в 3-4 рази більшу, ніж за базовою технологією.

При переформуванні квадратних заготовок торцювим розкочуванням конічним валком з кутом  $\alpha = 10^\circ$  також спостерігаються ознаки симетрії деформованого стану з перетіканням частин металу поблизу кутів вихідної заготовки. Разом з тим схема НДС стає суттєво відмінною, оскільки збільшення кута  $\alpha$  сприяє більш інтенсивній відцентровій течії металу. У результаті вже на початкових етапах розкочування у центральній частині заготовки на відстані 0.2 радіуса реалізується схема НДС близька до одноосного розтягу ( $\eta \approx 1$ ). Подальше деформування супроводжується втратою стійкості заготовки у вигляді витонення центральної частини та її руйнуванням.

Таким чином процес торцювого розкочування виявився малоприсадним для переформування квадратів в круг. Разом з тим зазначений характер течії металу відкриває широкі можливості по формуванню заготовок з порожниною в центральній частині. До таких виробів відносяться фланці трубопроводів тощо. При розкочуванні заготовок з порожниною в центрі (рис. 3а) з квадрата формується необхідна профільна кільцева заготовка. При необхідності виготовлення комірцевих фланців з патрубком попередньо сформована заготовка встановлюється у штамп і розкочується до необхідних розмірів циліндричним валком (рис. 3б).

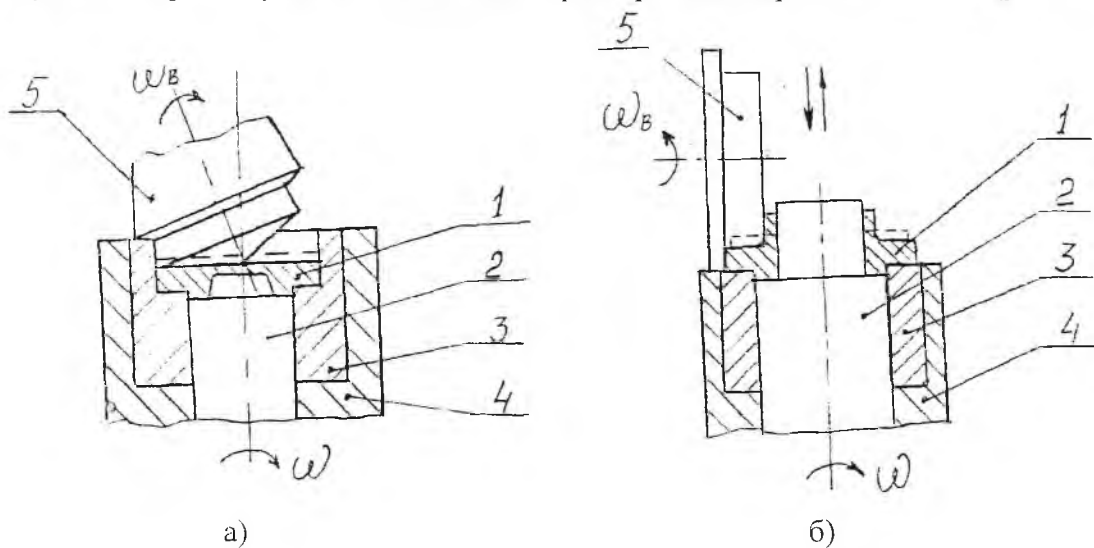


Рис. 3 – Схема виготовлення фланця розкочуванням: а) переформування квадрата в круг та пряме видавлювання; б) осадка та обернене видавлювання;

- 1 – заготовка;
- 2 – оправка;
- 3 – матриця;
- 4 – шпіндель;
- 5 – валок.

Процес осадки і калібрування торцьовим розкочуванням кільцевих заготовок був розроблений і апробований нами також для виготовлення кілець упорних підшипників. Вихідною заготовкою служило кільце із сталі ШХ15, відрізане від труби. На початкових етапах розкочування відбувається осадка заготовки з формуванням доріжки тіл кочення, при збільшенні внутрішнього і зовнішнього діаметрів. Після дотику зовнішньої поверхні до стінки матриці відбувається калібрування заготовки по зовнішньому діаметру, калібрування доріжки кочення, зменшення і калібрування заготовки по внутрішньому діаметру і формування фасок. Час розкочування 4-5сек. Для розкочування кільця з зовнішнім діаметром 60 мм і внутрішнім – 40мм достатнім є зусилля 50кН. Точність геометрії по зовнішньому і внутрішньому діаметру відповідає 7-8 квалітету. Шорсткість поверхні доріжки тіл кочення  $R_a=0.2-0.4\text{мкм}$ , інших поверхонь –  $R_a=0.8-2.5\text{мкм}$ .

Найбільш відповідальним елементом заготовки є доріжка тіл кочення, якість якої визначає службові характеристики підшипника. Дослідження НДС, структури матеріалу та аналіз деформованості матеріалу в зоні доріжки показали, що після проведення технологічної термообробки заготовки довговічність кілець підшипників буде вищою, ніж отриманих за базовою технологією.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Богоявленский К.Н., Селин М.Т., Лапин В.В. Оборудование и технология раскатки прецизионных заготовок. – М.: НИИМАШ, 1981. – 72 с.
2. Матвийчук В.А., Васянович И.А. Оценка влияния технологических параметров процесса холодной торцевой раскатки на деформируемость заготовок. // Электронная техника. Сер. Электровакуумные и газоразрядные приборы. - 1985, вып. 6. – С. 42-45.
3. А. С. 1183245 СССР, МКЧ В 21 D 37/12; В 21 Н 1/06. Способ изготовления плоских круглых изделий.
4. Покрас В.Д., Огородников В.А. Пакет прикладных программ для расчета деформаций по делительным сеткам (на базе сплайн-аппроксимации) // Математическое моделирование технологических процессов обработки металлов: Тезисы науч.-техн. конф, Пермь, 1987. – С. 97-98.
5. Михалевич В.М. Тензорні моделі накопичення пошкоджень. - Вінниця: «УНІВЕРСУМ-Вінниця», 1998. - 195 с.
6. Матвийчук В.А., Корнет И.Ф., Покрас В.Д. Совершенствование процесса холодной штамповки вальцовкой компрессорных лопаток на основе анализа деформируемости материалов // Кузнечно-штамповачное производство. // 1992. - №5. – С. 6-10.