



Всеукраїнський науково-технічний журнал

All-Ukrainian Scientific & Technical Journal

ISSN 2520-6168 (Print)

DOI-10.37128/2520-6168-2022-4

200-
2000-6-ОНКА

№4 (119)



2022

Machinery
Energetics
Transport
of Agribusiness

ТЕХНІКА
ЕНЕРГЕТИКА
ТРАНСПОРТ АПК



Всеукраїнський науково-технічний журнал

**ТЕХНІКА,
ЕНЕРГЕТИКА,
ТРАНСПОРТ АПК**

№ 4 (119) / 2022

м. Вінниця - 2022

**ТЕХНІКА,
ЕНЕРГЕТИКА,
ТРАНСПОРТ АПК**

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

Заснований у 1997 році під назвою «Вісник Вінницького державного сільськогосподарського інституту».
Правонаступник видання: Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки.
Свідоцтво про державну реєстрацію засобів масової інформації
КВ № 16644–5116 ПР від 30.04.2010 р.

*Всеукраїнський науково – технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК» /
Редколегія: Токарчук О.А. (головний редактор) та інші. Вінниця, 2022. № 4 (119). С. 126.*

*Друкується за рішенням Вченої ради Вінницького національного аграрного університету
(протокол № 9 від 23.12.2022 р.)*

Свідоцтво про державну реєстрацію засобів масової інформації №21906-11806 Р від 12.03.2016р.

*Журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК» включено до переліку наукових фахових видань
України з технічних наук (Категорія «Б», Наказ Міністерства освіти і науки України
від 02.07.2020 року №886);*

- присвоєно ідентифікатор цифрового об'єкта (Digital Object Identifier – DOI);

- індексується в CrossRef, Google Scholar;

- індексується в міжнародній наукометричній базі [Index Copernicus Value](#) з 2018 року.

Головний редактор

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

Заступник головного редактора

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

Відповідальний секретар

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

Члени редакційної колегії

Булгаков В.М. – д.т.н., професор, академік НААН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України

Севостьянов І.В. – д.т.н., професор, Вінницький національний аграрний університет

Граняк В.Ф. – к.т.н., доцент, Вінницький національний технічний університет

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

Іванчук Я.В. – к.т.н., доцент, Вінницький національний технічний університет

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

Іскович – Лотоцький Р.Д. – д.т.н., професор, Вінницький національний технічний університет

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

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

Яронуд В.М. – к.т.н., доцент, Вінницький національний аграрний університет

Зарубіжні члени редакційної колегії

Йордан Максимов – д.т.н., професор Технічного університету Габрово (Болгарія)

Відповідальний секретар редакції **Полєвода Ю.А.** – к.т.н., доцент, Вінницький національний аграрний університет
Адреса редакції: 21008, Вінниця, вул. Сонячна 3, Вінницький національний аграрний університет,
тел. (0432) 46–00–03

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

Електронна адреса: pophv@ukr.net



ЗМІСТ

I. АГРОІНЖЕНЕРІЯ

<i>Анісімов В.Ф., Гунько І.В., Рябошапка В.Б.</i> РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ ЖИРНО-КИСЛОТНОГО СКЛАДУ ТА НИЖЧОЇ ТЕПЛОТИ ЗГОРАННЯ БІОДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА.....	5
<i>Борисюк Д.В., Зелінський В.Й., Спірін А.В., Твердохліб І.В.</i> ПРИЧИННО-НАСЛІДКОВІ ЗВ'ЯЗКИ ПАРАМЕТРІВ ОСНОВНИХ РЕСУРСНИХ ГРУП ДВИГУНІВ ЯМЗ-236/238.....	16
<i>Volodymyr Kuzmenko, Viktor Maksimenko, Oleksandr Kholodiuk</i> THE INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL FACTORS ON THE ENERGY CONSUMPTION OF WORK OF THE CUT MASS ACCELERATOR.....	24
<i>Гунько І.В., Грибик Р.І.</i> МОДЕЛЮВАННЯ ҐРУНТООБРОБНОГО АГРЕГАТУ З РОЗРОБКОЮ РЕКОМЕНДАЦІЇ ПІДБОРУ РОБОЧИХ ОРГАНІВ.....	34
<i>Гунько І.В., Мизюк А.І.</i> ВПЛИВ РОБОЧОГО ТИСКУ ПОДАЧІ РІДИНИ НА ПЛОЩУ ОБРОБКИ БУЛЬБ.....	40
<i>Корчак М.М., Грушецький С.М., Токарчук О.А., Бабин І.А.</i> ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВПЛИВУ ФРЕЗЕРНОГО ОРГАНУ НА ПОДРІБНЕННЯ РОСЛИННИХ ЗАЛИШКІВ КУКУРУДЗИ.....	46
<i>Svetlana Kravets</i> ADAPTIVE INFLUENCE OF PRESSURE CHANGE OF THE HYDRAULIC SYSTEM OF THE HYDRAULIC DRIVE.....	55
<i>Шаргородський С.А., Галанський В.В.</i> ОСНОВНІ КОНСТРУКЦІЇ СЕКЦІЙ ДЛЯ ВНЕСЕННЯ ДОБРИВ У РОЗРІЗІ ТЕХНОЛОГІЇ STRIP-TILL.....	61
<i>Яронуд В.М., Мазур І.М.</i> ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ АПАРАТА ВИХРОВОГО ШАРУ ДЛЯ ОБРОБКИ РІДКОГО ГНОЮ СВИНЕЙ.....	68
II. ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА. МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО. ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ	
<i>Nataliya Veselovska</i> THE LATEST TRENDS IN THE CREATION OF IMPACT-VIBRATION EQUIPMENT WITH DIFFERENT TYPES OF DRIVES FOR SOIL PROBING.....	77
<i>Oleg Gaidamak</i> STUDY OF AN ENERGY-SAVING DIE FOR RADIAL REDUCTION.....	90
<i>Швець Л.В., Яківчук С.В.</i> ТЕРМОСИЛОВА ТЕХНОЛОГІЯ БЕТОНІВ НОВОГО ПОКОЛІННЯ.....	96
III. ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА	
<i>Возняк О.М., Штуць А.А.</i> КЕРУВАННЯ АСИНХРОННИМ ЕЛЕКТРОДВИГУНОМ ЗМІННОГО СТРУМУ ЗА ПРИНЦИПОМ ПОСТІЙНОСТІ V/F І ЗВИЧАЙНОГО ШІМ-КЕРУВАННЯ.....	102
<i>Матвійчук В.А.</i> РОЗВИТОК ЕНЕРГО- І РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ЗАГОТІВЕЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА.....	110
<i>Швець Л.В., Кучеренко М.О.</i> РОЗРОБКА УСТАНОВКИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ТА ПОДАЧІ ВОДИ З ВІТРОВИМ ПРИВОДОМ.....	120



CONTENTS

I. AGROENGINEERING

<i>Viktor Anisimov, Iryna Gunko, Vadim Ryaboshapka</i> DEVELOPMENT OF A METHOD FOR DETERMINATION OF FATTY-ACID COMPOSITION AND LOWER HEAT OF COMBUSTION OF BIODIESEL FUEL.....	5
<i>Dmytro Borysiuk, Viacheslav Zelinskyi, Anatoly Spirin, Igor Tverdokhlib</i> CAUSE-EFFECT RELATIONSHIPS OF THE PARAMETERS OF THE MAIN RESOURCE GROUPS OF YAMZ-236/238 ENGINES.....	16
<i>Volodymyr Kuzmenko, Viktor Maksimenko, Oleksandr Kholodiuk</i> THE INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL FACTORS ON THE ENERGY CONSUMPTION OF WORK OF THE CUT MASS ACCELERATOR.....	24
<i>Iryna Gunko, Roman Hrybyk</i> SIMULATION OF THE SOIL PROCESSING UNIT WITH THE DEVELOPMENT OF RECOMMENDATIONS FOR THE SELECTION OF WORKING BODIES.....	34
<i>Iryna Gunko, Andriy Myzyuk</i> INFLUENCE OF LIQUID SUPPLY WORKING PRESSURE ON POTATO PROCESSING AREA.....	40
<i>Mykola Korchak, Sergii Hrushetskyi, Oleksii Tokarchuk, Ihor Babyn</i> THEORETICAL JUSTIFICATION OF THE INFLUENCE OF THE MILLING ORGAN ON THE REDUCTION OF CORN PLANT RESIDUES.....	46
<i>Svetlana Kravets</i> ADAPTIVE INFLUENCE OF PRESSURE CHANGE OF THE HYDRAULIC SYSTEM OF THE HYDRAULIC DRIVE.....	55
<i>Serhiy Shargorodskiy, Vadym Halanskyi</i> BASIC CONSTRUCTIONS OF SECTIONS FOR FERTILIZER APPLICATION IN SECTION OF STRIP-TILL TECHNOLOGY.....	61
<i>Vitalii Yaropud, Igor Mazur</i> WAYS OF IMPROVING THE VERTICAL LAYER APPARATUS FOR PROCESSING LIQUID PIG MANURE.....	68

II. APPLIED MECHANICS. MATERIALS SCIENCE. INDUSTRY MACHINERY BUILDING

<i>Nataliya Veselovska</i> THE LATEST TRENDS IN THE CREATION OF IMPACT-VIBRATION EQUIPMENT WITH DIFFERENT TYPES OF DRIVES FOR SOIL PROBING.....	77
<i>Oleg Gaidamak</i> STUDY OF AN ENERGY-SAVING DIE FOR RADIAL REDUCTION.....	90
<i>Ludmila Shvets, Serhii Yakivchuk</i> THERMAL POWER TECHNOLOGY OF NEW GENERATION CONCRETE.....	96

III. ELECTRICAL ENERGY, ELECTRICAL ENGINEERING AND ELECTROMECHANICS

<i>Oleksandr Voznyak, Andrii Shtuts</i> CONTROL OF ASYNCHRONOUS AC ELECTRIC MOTOR ACCORDING TO THE PRINCIPLE OF CONSTANT V/F AND CONVENTIONAL PWM CONTROL.....	102
<i>Viktor Matviychuk</i> DEVELOPMENT OF ENERGY AND RESOURCE SAVING TECHNOLOGIES OF PROCUREMENT PRODUCTION.....	110
<i>Ludmila Shvets, Maksym Kucherenko</i> DEVELOPMENT OF AN INSTALLATION FOR THE PRODUCTION OF ELECTRICITY AND WATER SUPPLY WITH WIND DRIVE.....	120



УДК 621.77.01

DOI: 10.37128/2520-6168-2022-4-14

**РОЗВИТОК ЕНЕРГО- І РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ЗАГОТІВЕЛЬНОГО
ВИРОБНИЦТВА****Матвійчук Віктор Андрійович**, д.т.н., професор
Вінницький національний аграрний університет**Viktor Matviychuk**, Doctor of Technical Sciences, Professor
Vinnytsia National Agrarian University

В статті приведені результати розробки і дослідження енерго- і ресурсозберігаючих маловідходних технологій обробки металів тиском (ОМТ). При розробці процесів ОМТ актуальним є розширення технологічних можливостей маловідходного виробництва деталей складної форми. Цьому сприяє розвиток процесів локального деформування.

Метою даного дослідження є підвищення якості деталей, економія матеріальних, енергетичних і трудових ресурсів на основі розвитку розрахунку і проектування процесів штампування обкочуванням і вальцювання із проведенням оцінки деформовності матеріалу заготовок.

Для цього була розвинута методика розрахунку раціональних маршрутів при проектуванні процесів штампування обкочуванням і вальцювання, що забезпечує: зниження собівартості продукції внаслідок зменшення потужності обладнання, числа переходів і виключення браку від руйнування; підвищення якості виробів внаслідок формування сприятливої мікроструктури матеріалу, зменшення анізотропії механічних властивостей і обмеження ресурсу пластичності.

Показано, що точність розмірів заготовки після локального деформування залежить від технологічної схеми, точності розмірів інструменту і його налаштування, а шорсткість поверхні виробу залежить від технологічної схеми, шорсткості інструменту і якості змащення. При штампуванні обкочуванням і вальцюванні забезпечується точність розмірів виробу по 7-11 квалітету, а шорсткість поверхонь, при дотриманні технологічних вимог, становить $R_a = 5...0,6$ мкм.

На прикладі переформування штампуванням обкочуванням квадратних листових заготовок в круглі доведено зменшення ступеня плоскої анізотропії на 70-80% і відносного перепаду границі текучості в площині листа з 0,10-0,15 до 0,03-0,05, а також збільшення граничної деформації на розтяг на 8-10% і граничної рівномірної деформації на 5-8%. При витяжці циліндричних виробів з переформованих заготовок величина фестонів зменшується в 2-2,5 рази, а величина граничного ступеня витяжки збільшується на 10-15%. При цьому зменшується відносна різниця товщини стінки по периметру витягнутої заготовки, а зменшення товщини стінки по її висоті набуває лінійного характеру.

Ключові слова: штампування обкочуванням, вальцювання, точність, шорсткість, деформовність, ресурс пластичності, якість.

Ф. 3. Рис. 9. Літ. 11.

1. Постановка проблеми

Підвищення ефективності виробництва в металообробці забезпечується шляхом використання у якості заготівельних операцій процесів обробки металів тиском (ОМТ). Такий підхід дозволяє максимально наблизити форму і розміри заготовки до готової деталі, зробивши виробництво маловідходним і сформувавши вироби із підвищеними технічними характеристиками. Досить широке розповсюдження в металообробці отримало листове штампування. При цьому обмежуючим фактором в його подальшому розвитку є наявність анізотропії механічних властивостей вихідних заготовок, недостатність технологічних схем для виготовлення певного типу виробів і можливість руйнування матеріалу заготовок, в силу його недостатньої деформовності [1, 8].

2. Аналіз останніх досліджень та публікацій

Проблеми виготовлення листових заготовок і виробів з них дозволяють вирішувати процеси штампування обкочуванням (ШО) [2, 3, 7, 10] і вальцювання [4]. При цьому необхідний профіль



заготовки можна отримати шляхом застосування обґрунтованих технологічних схем. Проте не вирішеною залишається проблема зменшення анізотропії механічних властивостей матеріалу вихідної заготовки, розробка нових ефективних технологічних схем для виробництва деталей певного профілю і оцінки деформовності матеріалу заготовок при реалізації даних процесів.

3. Мета дослідження

Метою даної роботи є розробка і реалізація процесів маловідходного виготовлення якісних заготовок під наступне витягування, формування буртів на листових заготовках і загострення бурякорізальних ножів з оцінкою деформовності матеріалів заготовок для запобігання браку від руйнування та забезпечення високих службових характеристик виробів.

4. Виклад основного матеріалу

Методи локальної ОМТ мають цілу низку важливих переваг. Локалізація осередку деформації дозволяє виготовляти різноманітні вироби, зокрема і великогабаритні, при невеликих зусиллях деформування із використанням верстатів відносно малої потужності. Обмежена площа прикладення зусиль обумовлює гідростатичний підпір пластичної зони зі сторони оточуючих шарів деформованого металу. При цьому спостерігається відносно не високий рівень контактних напружень, що сприятливо впливає на стійкості і довговічності технологічного оснащення та дозволяє формувати тонкостінні елементи деталей складної форми.

Застосування способів ротаційної обробки з локальною дією інструмента на заготовку забезпечує досягнення високої продуктивності і точності виробів. При цьому висока продуктивність забезпечується шляхом реалізації обертального і відносного поступального руху заготовки і інструменту, а підвищення точності досягається за рахунок зменшення сил деформування та внаслідок надання заготовці обертального руху, що дозволяє зменшити відносне торцеве і радіальне биття. Крім того, методи локальної ротаційної обробки дозволяють деформувати заготовки з використанням закритих технологічних схем, що забезпечує підвищення точності заготовок в результаті їх калібрування.

На сьогодні розроблені численні методи локальної ротаційної ОМТ. В машинобудуванні все більше застосування знаходять штампування обкочуванням (ШО) і вальцювання заготовок.

При ШО відбувається деформування заготовки в торець та під різними кутами до поздовжньої осі із використанням конічного або циліндричного валка. Розвиток ШО здійснюється шляхом розробки нових технологічних схем деформування, розширення технологічних можливостей процесу і підвищення якості виробів на основі керування активними силами тертя та оцінки деформовності оброблюваних металів [5, 9]. Розглянемо ефективність використання ШО на прикладі декількох технологічних процесів.

В заготівельному виробництві досить розповсюдженими є плоскі круглі заготовки. Традиційно такі заготовки отримують вирубкою з листа, при цьому утворюються значні відходи у вигляді перемичок. Тому маловідходне отримання плоских круглих заготовок під наступні операції ОМТ є досить актуальним. Крім того, процес вирубки заготовок з листа не завжди задовольняє вимогам їх якості через анізотропію механічних властивостей і різну товщину листа після прокатки. При наступній витяжці виробів з таких заготовок основним фактором, що обмежує технологічні властивості процесу, є руйнування заготовок в найбільш небезпечних локальних зонах. Руйнуванню передують втрата стійкості деформування або місцеве потоншення заготовки у вигляді шийки, з моменту утворення якої унеможливується збільшення ступеня витяжки.

Підвищення деформовності листових заготовок при витяжці можна досягнути шляхом:

- 1) формування рівномірного коефіцієнта анізотропії матеріалу, тобто зменшення неоднорідності механічних властивостей листової заготовки;
- 2) зменшення ступеня витяжки в небезпечній зоні шляхом попереднього створення «запасу» поверхні заготовки у формі гофр;
- 3) збільшення товщини заготовки в локальній зоні, яка підлягає найбільш інтенсивному деформуванню при витяжці;
- 4) управління шляхами деформування матеріалу в небезпечній при витяжці зоні за допомогою зміни геометрії матриці і шорсткості її поверхні.

Досягнути ефекту підвищення деформовності матеріалу за рахунок використання трьох із перерахованих факторів впливу можна шляхом здійснення заготівельної операції переформування



квадратних заготовок в круглі методом ШО [6]. Відповідно до запропонованого способу лист без відходів розрізається на квадратні заготовки, які і переформовують, як показано на рис. 1, в круглі плоскі або з необхідним по товщині профілем.

При переформуванні заготовок методом ШО відсутня можливість керувати інтенсивністю і напрямом плину матеріалу зміщенням валка, оскільки через використання матриці-калібра неможливо забезпечити зміщення вершина валка за цент заготовки ($\delta < 0$), адже валок тоді матиме розмір більше, ніж розмір отвору матриці. А при відсутності зміщення ($\delta = 0$), як це показано на рис. 2а, переважним є відцентровий плин матеріалу. При цьому максимальна інтенсивність плину спостерігається на відстані $r < 0,2R$ від центру заготовки, де R – радіус отвору матриці.

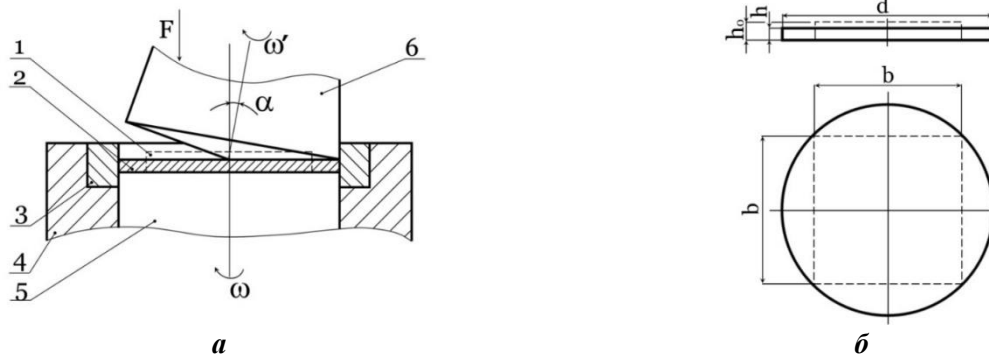


Рис. 1. Схема переформування заготовок методом ШО (а), вид вихідної квадратної і переформованої круглої заготовки (б): 1 – заготовка, 2 – виріб, 3 – матриця, 4 – шпиндель, 5 – штовхач, 6 – валок.

В результаті досліджень було встановлено, що для переформування доцільно використовувати вихідні заготовки з відношенням висоти до діагоналі квадрата в межах $(0,02 \leq h/d \leq 0,25)$. При використанні більш тонких заготовок можлива втрата стійкості заготовки у вигляді хвилястості з наступним утворенням гофрів. Для заготовок з відносно більшою товщиною складно отримати рівномірну деформацію і геометричні параметри по товщині.

Проблеми деформовності матеріалу виникають у вигляді руйнування центральної частини заготовки, рис. 2а і розвитку тріщин на бокових її поверхнях. Руйнуванню центра заготовки передують його потоншення, яке само по собі є ознакою браку рис. 2б. Запобігти локальному потонненню заготовки можна застосовуючи валок з малим кутом нахилу його осі ($\alpha \leq 3^\circ$), обмежуючи ступінь деформації і використовуючи профільовану торцеву поверхню інструмента. Таким чином, обмеження на кут нахилу осі валка обумовлює використання для переформування плоских заготовок преси сферопрухомого штампування ($\gamma = 2^\circ$).

Схеми деформування з кутом нахилу осі валка $\alpha = 10^\circ - 20^\circ$ доцільно використовувати при деформуванні кільцевих заготовок і, особливо, при необхідності формування складно профільованої поверхні на периферійній частині заготовки.



Рис. 2. Заготовки переформовані методом ШО при $\alpha = 10^\circ$ і при $\gamma = 2^\circ$



Умовно процес переформування поділяється на 3 стадії:

- стадія осаджування квадратної заготовки, коли краї заготовка не дотикаються стінок матриці, а також початок дотику, при якому основна частина заготовки може вільно розширюватися;
- стадія переформування;
- стадія калібрування.

Основна деформація заготовки, що становить 80-90% від загальної, відбувається на перших двох стадіях. Сумарна деформація на цих двох стадіях досягається за 5-6 оборотів інструмента, а на стадії калібрування - за 4-5 оборотів.

Загальний час переформування на існуючому обладнанні з числом обертів 100-200 об/хв становить 5-7 с. Збільшення часу переформування приводить до зменшення продуктивності, надмірному зміцненню матеріалу заготовки, а в деяких випадках і до руйнування. В свою чергу зменшення часу переформування обумовлює необхідність збільшення зусилля, що чинить негативний вплив на стійкість інструмента.

В процесі ШО формується текстура деформації, при якій кристали матеріалу намагаються набути кристалографічної орієнтації відносно сил деформування.

Гранична при витягуванні деформація збільшується зі зменшенням параметра неоднорідності Δ , який характеризує різну товщину і неоднорідність механічних властивостей листового матеріалу. При переформуванні квадратів методом ШО відбувається перетікання часток матеріалу в площині заготовки, у результаті чого суттєво змінюється наведена при прокатці листа анізотропія механічних властивостей. Тому важливим напрямом підвищення якості заготовок при переформуванні методом ШО є зменшення вихідної, наведеної при прокатці листа анізотропії.

Анізотропію листового матеріалу прийнято оцінювати коефіцієнтом анізотропії r_α , який визначається як відношення логарифмічної деформації по ширині ε_b і товщині ε_n зразка при випробуванні на розтяг:

$$r_\alpha = \frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_n} \quad (1)$$

Для ізотропного матеріалу це відношення дорівнює одиниці. Ступінь плоскої анізотропії, коли коефіцієнт анізотропії має різні значення в різних напрямках відносно напрямку прокатки в площині вихідного листа, оцінюють величиною:

$$\lambda_r = |r_{\max} - r_{\min}| / r_{cp} \quad (2)$$

де r_{\max} , r_{\min} , r_{cp} – максимальне, мінімальне і середнє значення коефіцієнта анізотропії в площині листа; $r_{cp} = (r_0 + r_{45} + r_{90})/3$, де r_0 , r_{90} , r_{45} – коефіцієнти анізотропії для зразків, вирізаних відповідно вздовж, поперек і під кутом 45° до напрямку прокатки вихідного листа.

Анізотропія механічних властивостей суттєво впливає на силові режими, розподіл деформацій і напружень в заготовці, технологічні параметри листового штампування. При глибокому витягуванні деталей типу «стакан» плоска анізотропія приводить до утворення фестонів, що викликає необхідність в обрізанні країв виробу і втраті металу на відходи. Крім того, утворення фестонів часто приводить до появи розшарувань і напливів, обумовлених нерівномірністю товщини стінок виробів і труднощами з їх зніманням з пуансона після витягування. Ступінь утворення фестонів залежить від ступеня анізотропії металу і технологічних параметрів процесу витягування.

Зменшити утворення фестонів при витягуванні можна шляхом посилення плинності матеріалу через крайку пуансона, потоншенням стінки виробу, використанням замість круглої заготовки профільної, а також змінюючи характеристики анізотропії пластичною деформацією і термічною обробкою.

Для дослідження анізотропії механічних властивостей матеріалу заготовок і впливу на неї процесу переформування методом ШО використовували зразки із танталової стрічки товщиною 0,4 мм і алюмінієвого сплаву АМг2 з вихідною товщиною листа 8 і 12 мм. Всі зразки для випробувань на розтяг вирізали із стрічки або листа під кутом $\alpha = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ по відношенню до напрямку прокатки вихідного листа. Зі сплаву АМг2 виготовляли також циліндричні зразки з базовою довжиною 20 мм і діаметром 4 мм (заготовки після ШО мали товщину $h_i = 5$ мм і 8 мм).

Аналогічною була схема розрізання заготовки після переформування ШО. Заготовки зі сплаву АМг2 також термічно обробляли з нагріванням до 400°C , витримкою 4 години і охолодженням на повітрі.



Коефіцієнти анізотропії, визначені за результатами випробування зразків по співвідношенню (1), представлені на рис. 3.

В результаті досліджень встановлено, що при переформуванні сплаву АМг2 коефіцієнт анізотропії r_α зростає від 0,3 до 0,6, при цьому його середнє значення r_{cp} збільшується з 0,48 до 0,65. При переформуванні танталу r_α зростає від 0,35 до 0,65, а r_{cp} від 0,5 до 0,7. Ступінь плоскої анізотропії λ_r , що прийнята в листовому штампуванні у якості характеристики здатності матеріалу до утворення фестонів, зменшилася в результаті переформування на 70-80%.

При застосуванні після переформування методом ШО відновлювальної термообробки покращилися, у порівнянні з вихідною заготовкою, характеристики міцності і пластичності. Відносний перепад границі текучості в площині листа зменшився з 0,10-0,15 до 0,03-0,05. Гранична деформація на розтяг збільшилася на 8-10%, а гранична рівномірна деформація на 5-8%.

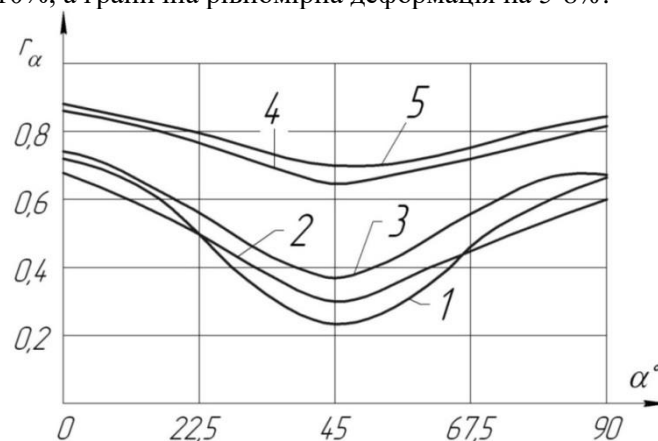


Рис. 3. Залежність коефіцієнта анізотропії матеріалів від кута α в стані постачання і після ШО: 1 – АМг2 в стані постачання; 2 – АМг2 після термообробки; 3 – тантал в стані постачання; 4 – АМг2 після ШО і термообробки; 5 – тантал після ШО

Відзначене покращення характеристик матеріалу переформованих заготовок привело до того, що при витягуванні циліндричних виробів величина фестонів зменшилася в 2-2,5 рази, а величина граничного ступеня витягування зросла на 10-15%. При цьому зменшилася відносна різниця товщини стінки по периметру витягнутої заготовки, а зміна товщини стінки по її висоті має лінійний характер. Що стосується службових характеристик виробів, то використання під витягування корпусів конденсаторів переформованих танталових заготовок дозволило збільшити електролітичну стійкість конденсаторів в 2-3 рази.

Ефективним напрямом забезпечення підвищеної деформовності заготовок з постійною товщиною стінки при витягуванні без потоншення є формування методом ШО заготовки із заданою формою по товщині. Призначення таких прийомів – створити «запас» товщини і поверхні під наступне максимальне витягування. Таким чином, попереднє потовщення в зоні максимальних при витягуванні деформацій заготовки дозволяє локально управляти деформованим станом.

На напружено-деформований стан (НДС) заготовок при переформуванні квадрата в круг методом ШО впливає відносна товщина заготовки, механічні властивості матеріалу, кут нахилу валка, величина подачі S_u тощо. Деформований стан на поверхнях заготовок визначали методом сіток. Для цього на танталових квадратних заготовках зі стороною квадрата $b = 22$ мм і товщиною $h_0 = 0,4$ мм наносили квадратну ділильну сітку. Переформування заготовок здійснювали на сфері рухомому пресі РХВ-160 з круговим рухом водила при $\gamma = 2^\circ$. Заготовки деформували до різних стадій (рис. 4), при цьому час повного переформування становив 5-6 с.

Після деформування сітку замірювали на інструментальному мікроскопі. Апроксимацію і диференціювання експериментальних даних виконували на ЕОМ з використанням пакета прикладних програм на базі кубічних сплайн-функцій [2]. В результаті були отримані поля компонент тензора деформацій, інтенсивності деформацій і напружень на поверхні заготовок, доведених до різних стадій переформування методом ШО в координатах Лагранжа і Ейлера.



На рис. 5 показаний характер розподілу НДС на поверхні танталової заготовки, переформованої в круг діаметром $d=31$ мм. Як видно з рис. 5, мінімальні ступені деформації ($\varepsilon_u \leq 0,5 \varepsilon_u^{\max}$) спостерігаються в центральній частині заготовки на площі, обмеженою колом радіусом $r = 0,6R$. Найбільший ступінь деформації сягає значень $\varepsilon_u^{\max} = 1,2 - 1,4$ на контурі заготовки, в зонах що відповідають серединам сторін вихідного квадрата.

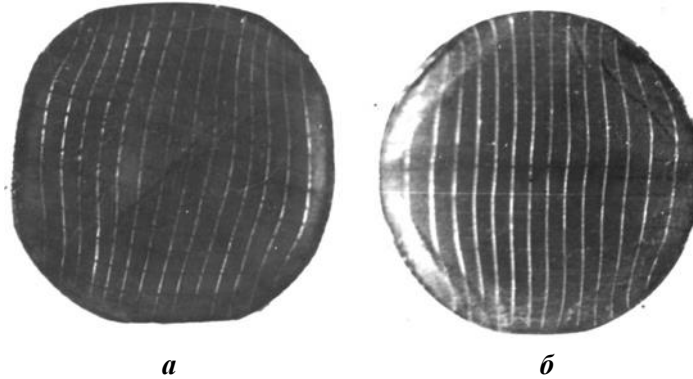


Рис. 4. Вигляд переформованих танталових заготовок на стадіях:
а – проміжній; б – заключній

Напружений стан змінюється від $\eta = 0 - 0,5$ в центрі заготовки (при куті нахилу валка $\alpha > 5^\circ$ тут $\eta \approx 1$) до $\eta = -2$ поблизу її периферії і $\eta = -0,7 \dots -1,0$ на бокових поверхнях. Тут $\eta = I_1(T_\sigma) / \sqrt{3I_2(D_\sigma)}$, де $I_1(T_\sigma)$ і $I_2(D_\sigma)$ – перший інваріант тензора і другий інваріант девіатора напружень.

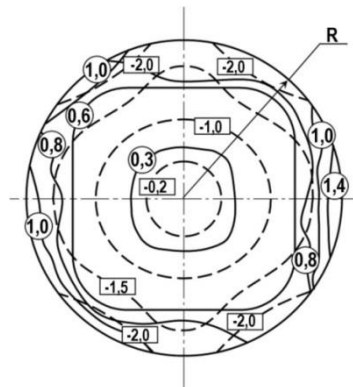


Рис. 5. Характер розподілу інтенсивності деформацій ε_u —○— і показника напруженого стану η —□— переформованої з квадрата на круг методом ШО танталової заготовки

Приведений на рис. 5 розподіл НДС характерний для заготовок різних розмірів, що обумовлено сталим відношенням діагоналі квадрата заготовки d до його сторони b і дозволяє використати результати досліджень для оцінки деформовності різних матеріалів. Отриманий розподіл інтенсивності деформацій ε_u і інтенсивності напружень σ_u для різних стадій переформування заготовки дозволив отримати шляхи деформування часток металу для різних точок поверхні заготовки.

Оцінкою деформовності по критерію Огороднікова В. А. [1] визначено величину використаного ресурсу пластичності при переформуванні ШО для різних ділянок заготовки. Розрахунки підтвердили результати експериментів про те, що найбільш небезпечними через руйнування при переформуванні зонами заготовки є її центральна і периферійна частини (ділянки максимальних деформацій).

Руйнування периферійної частини заготовки розпочинається на її бокових поверхнях в зоні максимальних деформацій (посередині сторін вихідного квадрата). Небезпека руйнування посилюється тим, що переформуванню підлягають заготовки, отримані безвідходним відділенням від листа і, відповідно, з вичерпанням в зоні зрізу ресурсом пластичності. За критерієм здатності металу підлягати переформуванню, при уникненні руйнування заготовки по бічних поверхнях, з урахуванням



характеру НДС (рис. 5) і немонотонності деформування, можна прийняти умову, яка відповідає граничній деформації при одновісному стиску:

$$\varepsilon_*(\eta = -1) \geq 2. \quad (3)$$

Умова (3) накладає обмеження по виключенню появи тріщин на бічній поверхні заготовки. Проте слід відзначити, що в периферійній зоні заготовки спостерігається великий градієнт використаного ресурсу пластичності, який перешкоджає розповсюдженню тріщин по площині заготовки. Тому якщо на бічних поверхнях заготовки допустимі не глибокі мікротріщини, то переформуванню можуть підлягати матеріали і з меншою пластичністю, ніж обумовлено виразом (3).

Розширювати можливість переформування методом ШО, у випадку обробки недостатньо пластичних металів, можливо шляхом використання квадратних заготовок зі зрізаними кутами, що дозволяє зменшувати величину накопиченої деформації, а також призначенням проміжного відпалу.

Проведена оцінка деформовності заготовок при ШО дозволила назначити відновлювальну термообробку і розробляти процес наступного витягування.

Значну номенклатуру деталей в АПК охоплюють круглі листові вироби з буртами різної ширини. Для отримання буртів на великих за розміром кришках і комірцях бражних і ректифікаційних колон нами був розроблений процес ШО, а також спроектовані і виготовлені обкочувальний пристрій до лоботокарного верстата ЛТ2, рис. 6 [6], та обкочувальна установка, рис. 7. Інструментом при цьому слугує конічний ролик.

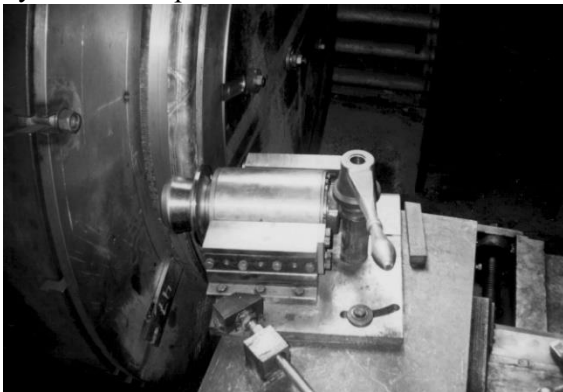


Рис. 6. Обкочувальний пристрій



Рис. 7. Обкочувальна установка

Розробка даного процесу дозволила ротаційним відбортуванням формувати такі вироби, як тарілки, царги і ковпаки ректифікаційних і бражних колон для спиртового виробництва, показані на рис. 8, на ВАТ «Вінницький дослідний завод» і ТОВ «Виробничо-комерційна фірма Вінпромсервіс».

Відзначені вироби відносяться до габаритних і досягають в діаметрі 1,5 м. Вихідними слугують круглі мідні листові заготовки товщиною 3 мм. Сформовані комірці і бурти деталей мають висоту 68 та 80 мм і розташовані по відношенню до площини заготовки під кутами 90° и 75°.

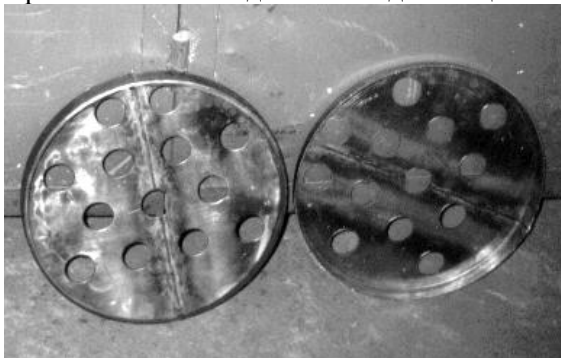


Рис. 8. Вироби, отримані ротаційним відбортуванням методом ШО

Точність розмірів виготовлених деталей залежить, головним чином, від точності оправки. Наявність пружин в пристрої дозволяє усунути вплив ефекту пружинення на кінцеві розміри виробу. При цьому відхилення по товщині стінки виробу на ділянці відбортування не перевищує 0,03 мм. Шорсткість оброблюваної поверхні заготовки не перевищувала значень $R_a = 0,16 \mu\text{м}$. За рештою видів допусків отримані вироби цілком задовольняють технічним вимогам. Продуктивність процесу



визначається, головним чином, часом кріплення заготовки на оправці, а операція відбортуння відбувається протягом 10-15 с. В результаті впровадження процесу і заміни малопродуктивного відбортуння вручну, продуктивність праці підвищилася в десятки раз.

На особливу увагу заслуговують також процеси локального деформування листових заготовок з періодичним профілем. Зокрема, складний періодичний профіль мають заготовки бурякорізальних ножів (рис. 9), які отримують високопродуктивною гарячою прокаткою. В результаті, ефективність виробництва ножів визначається, головним чином, процесом їх загострення.

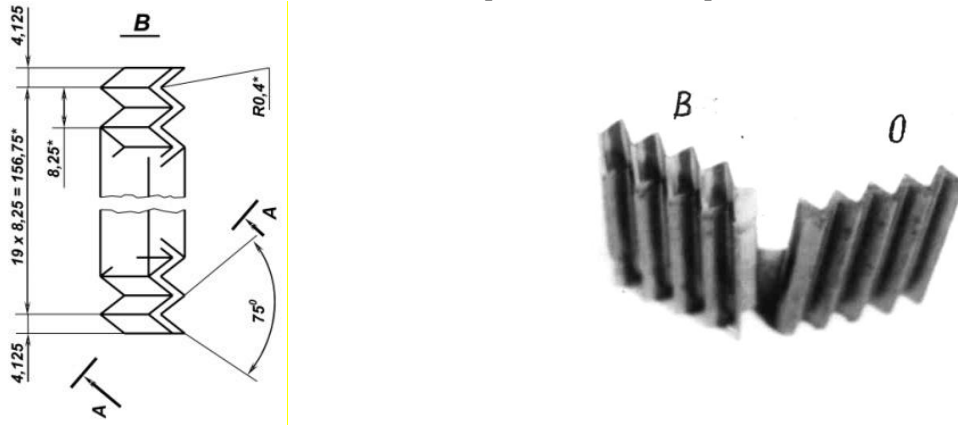


Рис. 9. Конструкція і загальний вигляд елемента бурякорізального ножа

Загострення фрезеруванням спрофільованої прокаткою заготовки є трудозатратною і малопродуктивною операцією. При обробці спрофільованих заготовок зі сталі У8А стійкість вартісних фрез невисока, якість леза ножа низька, зі значним відхиленням товщини від заданих значень. Це зумовлено різною товщиною вихідної заготовки, яка сягає декількох десятків міліметра і викликана недостатньою жорсткістю прокатних станів.

Аналіз процесів показав, що серед методів ОМТ, які дозволяють сформувати гостре лезо на плоскій або складно профільній заготовці особливе місце займає процес вальцювання. Властиві цьому процесу жорсткість обладнання і інструменту, локалізація зони деформації дозволяють отримувати тонкі леза. Характерна для процесу вальцювання плоска деформація дозволяє формувати складний профіль товщиною до 0,1 мм і менше.

В результаті проведених досліджень встановлено, що показник напруженого стану η змінюється при вальцюванні від значень $\eta \approx 0$ на вході в зону деформації, до $\eta = -4 \dots -5$ в зоні максимальної деформації заготовки. В результаті середнє за прохід значення показника складає $\eta \approx -2,5$, а розрахована за критерієм деформовності [1, 8] величина використаного ресурсу пластичності досягала для сталі У8А значень $\psi_u = 0,5 - 0,6$. Це дозволяє здійснювати загострення леза бурякорізального ножа холодним вальцюванням без застосування проміжної відновлювальної термообробки. На рис. 9 показаний фрагмент заготовки до і після загострення леза вальцюванням.

В результаті проведених експериментів було встановлено, що вальцюванням формується сприятлива для роботи ножа структура матеріалу і забезпечується якісний профіль леза з рівномірною товщиною і шорсткістю поверхні $R_a = 1,25$ мкм.

Різна товщина вихідної заготовки по її ширині не впливає на стабільність профілю леза, а проявляється при вальцюванні в різному його подовженні по ширині ножа, що легко усувається операцією обрізання.

5. Висновки

Розроблено метод ШО для підготовки заготовок під подальшу обробку тиском (А. с. № 1183245). Переформування квадратних листових заготовок в круглі ШО приводить до зменшення ступеня плоскої анізотропії на 70-80% та відносного перепаду границі текучості в площині листа з 0,10-0,15 до 0,03-0,05, а також до збільшення граничної деформації при розтягуванні на 8-10% та граничної рівномірної деформації - на 5-8%. При витяжці циліндричних виробів з переформованих заготовок величина фестонів зменшилася у 2-2,5 рази, а величина граничного ступеня витяжки зросла на 10-15%. При цьому зменшилася відносна різниця товщини стінки по периметру витягнутої заготовки, а зміна товщини стінки по її висоті набула лінійного характеру.



Для отримання бургтів на кришках і комірцях бражних і ректифікаційних колон розроблено процес ШО, обкочувальний пристрій до лоботокарного верстата ЛТ2 та обкочувальна установка. За допусками і шорсткістю поверхні виготовлені вироби цілком задовольняють технічним вимогам. В результаті впровадження процесу і заміни малопродуктивного відбортуння вручну, продуктивність праці підвищилася в десятки раз.

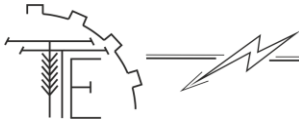
Розроблено процес загострення леза бурякорізного ножа вальцюванням, при якому формується сприятлива для роботи ножа структура матеріалу і забезпечується якісний профіль леза з рівномірною товщиною і шорсткістю поверхні $R_a = 1,25$ мкм.

Список використаних джерел

1. Огородников В. А. Оценка деформируемости металлов при обработке давлением. Киев: Вища школа, 1983. 175 с.
2. Матвійчук В. А., Алиев И. С. Совершенствование процессов локальной ротационной обработки давлением на основе анализа деформируемости металлов: монография. Краматорск: ДГМА. 2009. 155 с.
3. Гожій С. П., Кривда Л. Т. Штампування обкочуванням як засіб ресурсозбереження. *Наукові вісті Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»*. 2006. № 2 (46). С. 55–60.
4. Matviichuk V., Bubnovska I., Mykhalevych V., Kovalchuk M., Wójcik W., Tuleshov A., Smailova S., Imanbek B. Tensor models of accumulation of damage in material billets during roll forging process in several stages. *Mechatronic Systems II. Applications in Material Handling Processes and Robotics. Taylor & Francis Group, CRC Press, Balkema book, Boca Raton, London, New York, Leiden*. 2021. P. 111–120.
5. Краєвський В. О., Матвійчук В. А., Михалевич В. М. Вплив технологічних параметрів на кінематику холодного торцевого розкочування. *Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском в машинобудуванні і металургії*. 2003. С. 286–291.
6. Декл. пат. 70888А Україна, МКВ В21D22/16. Пристрій для давильних робіт / Матвійчук В. А., Михалевич В. М., Краєвський В. О.; заявник і патентоодержувач Вінницький національний технічний університет. №20031213282; заявл. 31.12.03.; опубл. 15.10.04., Бюл. №10. 1с.
7. Матвійчук В. А., Михалевич В. М., Колісник М. А. Оцінка деформовності матеріалу заготовок при прямому і зворотному витискуванні методом штампування обкочуванням. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2022. № 1 (104). С. 81–91.
8. Михалевич В. М. Тензорні моделі накопичення пошкоджень. Вінниця: «УНІВЕРСУМ – Вінниця», 1998. 195 с.
9. Gundebommu S.L., Matvijchuk V., Rubanenko O., Branitskiy Yu. Justification and development of methods building curves boundary deformation of metals. *Materials Today: Proceedings*, 2021, 38, P. 3337–3344.
10. Viktor Matvijchuk, Andrii Shtuts, Mykola Kolisnyk, Ihor Kupchuk, Iryna Derevenko. Investigation of the tubular and cylindrical billets stamping by rolling process with the use of computer simulation. *Periodica Polytechnica, Mechanical Engineering*. 2022. №1 (66), P. 51–58.

References

- [1] Ogorodnikov, V.A. (1983). *Estimation of deformability of metals during pressure treatment*. Kyiv: Higher School. C. 175. [in Ukrainian].
- [2] Matviychuk, V. A., Aliyev, I. S. (2009). *Improving the processes of local rotational pressure processing based on the analysis of the deformability of metals: Monograph*. Kramatorsk: DGMA. [in Ukrainian].
- [3] Gozhii, S.P., Kryvda, L.T. (2006). Rolling stamping as a means of saving resources. *Scientific news of the National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"*, 2 (46). 55–60. [in Ukrainian].
- [4] Matviichuk, V., Bubnovska, I., Mykhalevych, V., Kovalchuk, M., Wójcik, W., Tuleshov, A., Smailova, S., Imanbek, B. (2021). Tensor models of accumulation of damage in material billets during roll forging process in several stages. *Mechatronic Systems II. Applications in Material Handling Processes and Robotics. Taylor & Francis Group, CRC Press, Balkema book, Boca Raton, London, New York, Leiden*. 111–120. [in English].
- [5] Kraevsky, V.O., Matviychuk, V.A., Mikhalevich, V.M. (2003). Influence of technological parameters on the kinematics of cold end rolling. *Improvement of pressure treatment processes and equipment in mechanical engineering and metallurgy*. 286–291. [in Ukrainian].
- [6] Decl. stalemate. 70888A Ukraine, MKV B21D22/16. Device for pressing works / V.A. Matviychuk, V.M. Mikhalevich, V.O. Kraevsky; applicant and patentee Vinnytsia National Technical University. №20031213282; statement 31.12.03; published 15.10.04, Bul. No. 10. 1p. [in Ukrainian].



- [7] Matviychuk, V.A., Mikhalevich, V.M., Kolisnyk, M.A. (2022). Evaluation of the deformability of the material of the blanks during direct and reverse extrusion by the rolling stamping method. *Vibrations in engineering and technology*, 1 (104). 81–91. [in Ukrainian].
- [8] Mikhalevich, V.M. (1998). *Tensor models of damage accumulation*. Vinnytsia: "UNIVERSUM - Vinnytsia". [in Ukrainian].
- [9] Gundebommu, S.L., Matvijchuk, V., Rubanenko, O., Branitskiy, Yu. (2021). Justification and development of methods of building curves boundary deformation of metals. *Materials Today: Proceedings*, 38. 3337–3344. [in English].
- [10] Matvijchuk, V., Shtuts, A., Kolisnyk, M., Kupchuk, I., Derevenko, I. (2022). Investigation of the Tubular and Cylindrical Billets Stamping by Rolling Process with the Use of Computer Simulation. *Periodica Polytechnica, Mechanical Engineering*, 1 (66). 51–58. [in English].

DEVELOPMENT OF ENERGY AND RESOURCE SAVING TECHNOLOGIES OF PROCUREMENT PRODUCTION

The article presents the results of development and research of energy- and resource-saving low-waste technologies of pressure metal processing (OMT).

When developing OMT processes, it is important to expand the technological capabilities of low-waste production of parts of complex shape. This is facilitated by the development of local deformation processes.

The purpose of this study is to improve the quality of parts, save material, energy and labor resources based on the development of the calculation and design of rolling stamping and rolling processes with an assessment of the deformability of the material of the workpieces.

For this purpose, a method was developed for calculating rational routes in the design of stamping and rolling processes, which provides: a reduction in the cost of production due to a reduction in the power of the equipment, the number of transitions and the elimination of scrap from destruction; improving the quality of products due to the formation of a favorable microstructure of the material, reducing the anisotropy of mechanical properties and limiting the resource of plasticity.

It is shown that the accuracy of the dimensions of the workpiece after local deformation depends on the technological scheme, the accuracy of the dimensions of the tool and its setting, and the roughness of the surface of the product depends on the technological scheme, the roughness of the tool and the quality of lubrication. When stamping by rolling and rolling, the accuracy of the dimensions of the product is ensured according to quality 7-11, and the roughness of the surfaces, if the technological requirements are met, is μm .

On the example of reshaping by stamping and rolling of square sheet blanks into round ones, it was proven that the degree of planar anisotropy decreased by 70-80% and the relative drop in yield strength in the plane of the sheet from 0.10-0.15 to 0.03-0.05, as well as an increase in ultimate deformation for tension by 8-10% and ultimate uniform deformation by 5-8%. When drawing cylindrical products from reshaped blanks, the size of the festoons decreases by 2-2.5 times, and the size of the ultimate degree of drawing increases by 10-15%. At the same time, the relative difference in wall thickness along the perimeter of the elongated workpiece decreases, and the decrease in wall thickness along its height becomes linear.

Key words: rolling stamping, rolling, precision, roughness, deformability, plasticity resource, quality.

F. 3. Fig. 9. Ref. 10.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРА

Матвійчук Віктор Андрійович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Електроенергетики, електротехніки та електромеханіки» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, Україна, 21008, e-mail: vamatv50@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7837-5174>).

Viktor Matviychuk – Doctor of Technical Sciences, Professor, of the Department of Electric Power, Electrical Engineering and Electromechanics of Vinnitsa National Agrarian University (3 Soniachna St., Vinnitsa, Ukraine, 21008, e-mail: vamatv50@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7837-5174>).