

THE INTERNATIONAL SCIENTIFIC JOURNAL

# ***Problems of Tribology***

International Federation for Theory of  
Mechanics and Mechanisms (IFTOMM)  
National Committee of Ukraine  
for the Mechanics of Machines and Mechanisms

Technological University of Podolya, Ukraine

---

---

МІЖНАРОДНИЙ НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

# ***Проблеми трибології***

Міжнародна федерація з теорії машин та механізмів  
Національний комітет України з машинознавства

Технологічний університет Поділля  
Міністерства освіти і науки України

---

Internet: [www.tup.km.ua](http://www.tup.km.ua)

[www.r-style.kiev.ua/tribology/journal.htm](http://www.r-style.kiev.ua/tribology/journal.htm)

---

3,4' 2003

*Міжнародний науковий журнал*  
**Проблеми трибології**  
**(Problems of Tribology)**

*Засновано в серпні 1996 р.*

*Виходить 4 рази на рік*

---

Хмельницький, 2003, № 3,4

---

**Засновник:**

**Технологічний університет Поділля (м. Хмельницький)**

**Головний редактор А.Г. КУЗЬМЕНКО**

**Редакційна рада:**

**М.Є. Скиба, Р.І. Сілін, А.Г. Кузьменко, В.Г. Каплун, С.Г. Костогриз,  
Р.В. Сорокати́й, О.В. Диха**

**Редакційна колегія:**

д.т.н. В.М. Александров (Росія, Москва),  
д.т.н. О.Є. Андрейків (Україна, Львів),  
д.т.н. В.А. Войтов (Україна, Харків),  
д.т.н. Я.М. Гладкий (Україна, Хмельницький),  
д.т.н. П. Діріх (Німеччина, Циттау),  
к.т.н. О.В. Диха (Україна, Хмельницький),  
д.т.н. В. Д. Євдокімов (Україна, Одеса),  
д.т.н. Г.С. Калда (Україна, Хмельницький),  
д.т.н. В.Г. Каплун (Україна, Хмельницький),  
д.т.н. С.Г. Костогриз (Україна, Хмельницький),  
д.т.н. Я.А. Криль (Україна, Івано-Франківськ),  
д.т.н. К. Леник (Польща, Люблін),  
д.т.н. М.П. Мазур (Україна, Хмельницький),

к.т.н. В.П. Олександренко (Україна, Хмельницький),  
д.т.н. М.І. Пашечко (Україна, Львів),  
д.т.н. Є.С. Переверзєв (Україна, Дніпропетровськ),  
д.т.н. В. Б. Рудницький (Україна, Хмельницький),  
д.т.н. М.Ф. Семенюк (Україна, Хмельницький),  
д.т.н. Р.І. Сілін (Україна, Хмельницький),  
д.т.н. Ф.П. Снеговський (Україна, Херсон),  
к.т.н. Р.В. Сорокати́й (Україна, Хмельницький),  
д.т.н. Л.А. Сосновський (Білорусь, Гомель),  
д.т.н. М.С. Стечишин (Україна, Хмельницький),  
д.т.н. В.П. Стрельніков (Україна, Київ),  
д.т.н. М.В. Чернець (Україна, Дрогобич),  
д.т.н. В.В. Шевеля (Україна, Хмельницький)

**Адреса редакції:**

Україна, 29016, м. Хмельницький, вул. Інститутська 11,  
Технологічний університет Поділля,  
редакція журналу "Проблеми трибології (Problems of  
Tribology)".  
тел. (0382) 72-81-82  
E-mail: [tribo@beta.tup.km.ua](mailto:tribo@beta.tup.km.ua)

**Editorial board address:**

International scientific journal "Problems of Tribology",  
Technological University of Podillia,  
Institutskaia str. 11, Khmelnitsky, 29016, Ukraine  
phone (0382) 72-81-82  
E-mail: [tribo@beta.tup.km.ua](mailto:tribo@beta.tup.km.ua)

**Internet: [www.tup.km.ua](http://www.tup.km.ua), [www.r-style.kiev.ua/tribology/journal.htm](http://www.r-style.kiev.ua/tribology/journal.htm)**

Зареєстровано Міністерством України у справах преси та інформації  
Свідцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації:  
Серія КВ № 1917 від 14 березня 1996 року

© Технологічний університет Поділля, 2003

© Редакція журналу "Проблеми трибології  
(Problems of Tribology)", 2003

**Матвійчук В.,  
Михалевич В.,  
Краєвський В.**

Вінницький державний технічний  
університет,  
м. Вінниця, Україна

## РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ШТАМПУВАННЯ ОБКОЧУВАННЯМ СКЛАДНОПРОФІЛЬНИХ ВИРОБІВ З БУРТАМИ ТА ФЛАНЦЯМИ

Серед номенклатури металевих виробів значну частку становлять складнопрофільні вироби типу втулок, корпусів, кришок приладів та апаратів, які мають досить розвинені елементи типу фланців і буртів. Ці деталі відрізняються як формою, так і відносною товщиною, розміром окремих елементів і, як правило, є складними у виготовленні.

Для виготовлення вказаних деталей застосовуються такі процеси, як листова витяжка, ротаційне витискування, відбортовка жорстким пуансоном тощо. Кожний із цих процесів має максимальну ефективність в межах певної форми і точності вихідної заготовки та готової деталі, абсолютних і відносних розмірів заготовки, її матеріалу, серійності виробництва. А оскільки варіації форм і розмірів деталей є досить значними, то для їх виготовлення часто використовують комбіновані процеси із застосуванням зварювання. У будь-якому випадку доцільним є аналіз технологічних можливостей та обмежень існуючих процесів і розробка принципово нових, які б значно розширювали ці можливості.

Метою даної роботи є розробка технологічних процесів ротаційного штампування трубчастих та листових заготовок розкочуванням для формування складнопрофільних виробів з розвиненими буртами і фланцями. Процеси розкочування, найбільш відомими з яких є ротаційне витискування, холодне торцеве розкочування (ХТР), сферорухоме штампування, широко використовуються в металообробці [1, 2]. Їх важливою перевагою є локалізація деформації, що дозволяє в холодному стані значно змінювати форму і товщину заготовки. Особливе місце серед відзначених процесів належить саме процесам ХТР. До їх переваг відносяться досить широкі можливості по формуєтворенню заготовок, що обумовлено значним спектром кінематичних параметрів деформування та досить високою жорсткістю інструментальної оснастки.

Основна проблема при розробці технологічних процесів ХТР полягає в управлінні напрямом течії металу, що у результаті визначає можливість отримання заготовок необхідної форми при запобіганні руйнуванню та втраті стійкості. З іншої сторони, таке управління дозволяє значно спростити розкочувальне обладнання, усуває необхідність створення поворотних розкочувальних головок, розширює галузь використання процесів.

Дослідженням кінематики руху частин заготовки у зоні контакту з валком було встановлено, що напрям течії металу залежить від ряду параметрів. До основних з них, при розкочуванні конічним валком, слід віднести кут нахилу осі валка  $\alpha$  по відношенню до осі заготовки, та величину і напрям зміщення вершини валка  $\delta$  по відношенню до центра обертання заготовки. При цьому, із збільшенням кута нахилу  $\alpha$  та величини зміщення  $\delta$ , посилюється відцентрова течія металу.

Найбільшого розповсюдження отримали технологічні процеси з кутом  $\alpha = 10^\circ$ . Це обумовлено, головним чином, тим фактом, що при зменшенні кута нахилу збільшується площа плями контакту і, відповідно, сила деформування. При його збільшенні зростають радіальні навантаження на інструментальний блок, що вимагає значного посилення жорсткості обладнання. Разом з тим, при реалізації на даному обладнанні процесів ротаційного витискування спостерігаються значно менші зусилля, і тому при необхідності кут нахилу осі валка можна збільшувати до  $\alpha = 30^\circ \dots 40^\circ$ . Але все ж таки можливості управління процесом деформування шляхом зміни кута нахилу валка досить обмежені. Значно ширші технологічні можливості відкриває зміщення вершини валка (ексцентриситет)  $\delta$ .

В процесі ХТР течію металу у радіальному напрямку обумовлює дія радіальної складової сили тертя ковзання, що викликана різною направленістю векторів швидкості заготовки та інструменту у зоні контакту. Була знайдена аналітична залежність кута  $\psi$  між векторами швидкості заготовки та інструменту від параметрів процесу розкочування. Залежність кута  $\psi$  від напрямку та величини зміщення інструменту відносно осей заготовки  $\delta$  при різних кутах конуса інструменту зображена на рис. 1. Як видно із графіків при додатному зміщенні валка матеріал тече від центра заготовки ( $\psi < 0$ ), а при від'ємному – до центра ( $\psi > 0$ ). Інтенсивність течії не є симетричною відносно нульового зміщення: матеріал більш інтенсивно тече від центра заготовки. Отримані аналітичні залежності дозволяють цілеспрямовано управляти інтенсивністю течії металу у заданому напрямі при розкочуванні трубчастих заготовок за схемами осадки, висадки, калібрування, відбортовки тощо.

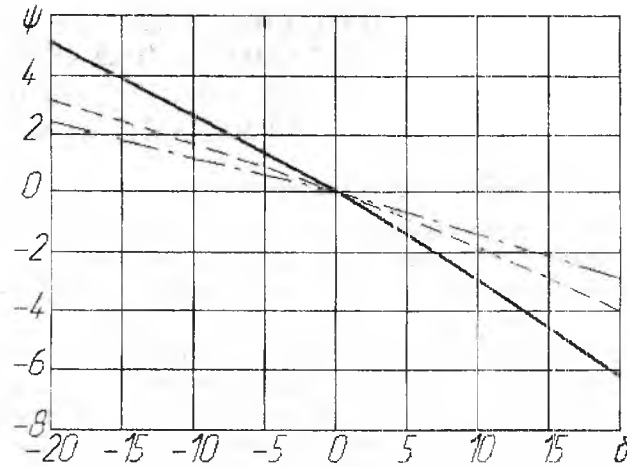


Рис. 1 - Залежність кута  $\psi$  від напрямку та величини зміщення  $\delta$  при різних кутах конуса:  
 $\alpha = 2^\circ$  (суцільна лінія),  $\alpha = 10^\circ$  (пунктирна лінія),  $\alpha = 20^\circ$  (штрихова лінія)

Ефект впливу ексцентриситету на формування заготовки був використаний при розробці способу відбортовки трубчастих заготовок [2]. Суть способу полягає у тому, що при відбортовці зовнішнього бурта кінчним валком, вершину валка зміщують від центру заготовки на величину, що дорівнює 1,5...8 товщинам стінки заготовки (рис. 2 а). Величина зміщення залежить від коефіцієнта тертя на контактні валок-заготовка та відносних розмірів заготовки під бурт  $h_0/b_0$ . При відомому коефіцієнті тертя  $\mu$  орієнтовне значення ексцентриситету валка можна визначити із співвідношення  $\delta = (2,5 \dots 3)\mu b_0$ .

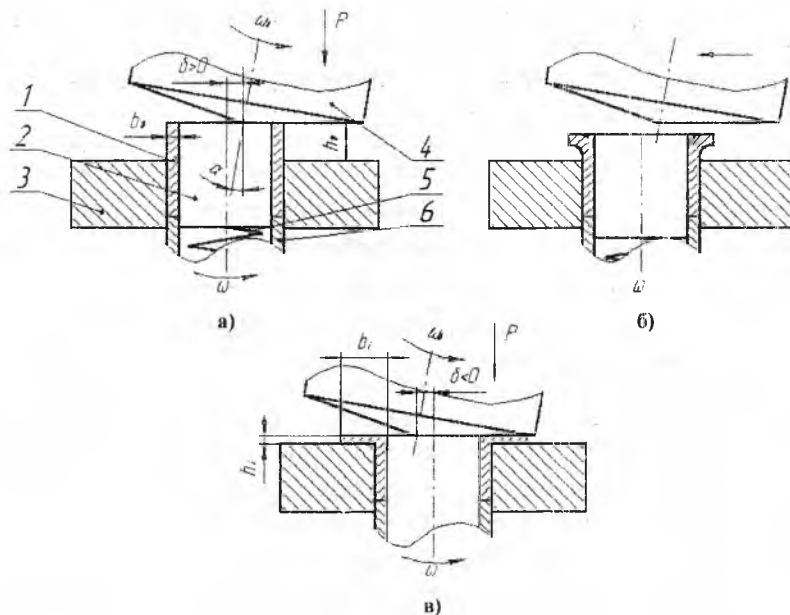


Рис. 2 – Послідовність операцій при відбортовці розкочуванням:  
 1 – заготовка; 2 – оправка; 3 – матриця; 4 – валок; 5 – пружина; 6 – виштовхувач

При відбортовці високих буртів ( $h_0/b_0 > 4$ ) інтенсивні відцентрові сили можуть призвести до вивороту стінки заготовки. Для запобігання вивороту необхідно на проміжному етапі зміщувати валок в протилежному від початкового напрямку та продовжувати процес розкочування (рис. 2 б, в).

При розробці процесу відбортовки проведено дослідження напружено-деформованого стану (НДС) матеріалу заготовок. Дослідження НДС у поперечних перерізах заготовок із міді М06 на різних етапах відбортовки проводили методом заміру твердості, а на бокових поверхнях – методом сіток. Встановлено, що на початкових стадіях розкочування максимальна ступінь деформації спостерігається

на контакті валка з заготовкою, а після формування бурта і при його подальшій осадці – в серединній зоні бурта.

Найбільш жорсткий напружений стан спостерігається на внутрішній поверхні заготовки  $\eta = 1,5 \dots 2$ , проте тут має місце відносно низький рівень деформацій  $\varepsilon_i = 0,5 \varepsilon_{\max}$ . Іншою небезпечною в плані руйнування є периферійна зона бурта, де поряд з високим рівнем ступеня деформації має місце також відносно жорстка схема напруженого стану ( $\eta = 0,4 \dots 1,0$ ). Певний інтерес в прогнозуванні руйнування заготовки представляє серединна частина бурта, де на заключних стадіях деформування при відносно м'яких схемах напруженого стану ( $\eta = -1,5$ ) накопичуються максимальні ступені деформації.

Необхідно відзначити, що процес відбортовки розкочуванням протікає в умовах немонотонних деформацій з чергуванням згину і висадки, з переходом відкритої поверхні в контакт з інструментальною оснасткою та наступним виходом її частини з контакту. Особливі умови накопичування пошкоджень мають місце поблизу торцевої поверхні заготовки, якщо вихідну заготовку відділяють від труби шляхом пластичного зсуву. Все це обумовило вибір для оцінки деформованості матеріалу заготовки критерію немонотонного деформування [3, 4]. Розроблена методика оцінки деформованості дозволяє проектувати процес відбортовки розкочуванням заготовок з різних матеріалів, визначати гранично можливі розміри та службові характеристики виробів.

За даним способом були отримані деталі із сталей 10, 20, 12X18H10T та міді М0<sub>6</sub>. Відбортовані вироби відрізняються високою точністю розмірів елементів (рис. 3) та службовими характеристиками.

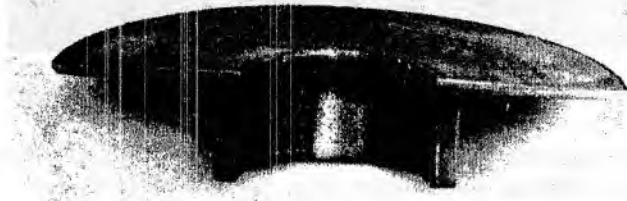


Рис. 3 – Деталь, яка виготовлена відбортовкою розкочуванням

Як відзначалося вище, додатне значення ексцентриситету валка ( $\delta > 0$ ) забезпечує формування відбортовкою зовнішнього бурта. При зміщенні вершини валка за центр заготовки ( $\delta < 0$ ) відбувається інтенсивна течія приконтатних шарів металу заготовки у напрямку її осі, що забезпечує формування внутрішнього бурта. Даний процес протікає при порівняно більш м'яких схемах напруженого стану і дозволяє отримувати високоякісні вироби типу „стакан” з отвором по центру дна.

Наявність унікальних можливостей у ХТР по управлінню формоутворенням заготовок дозволило застосувати даний процес для реалізації ротаційної витяжки таких виробів, як тарілки, комірці, ковпаки ректифікаційних і бражних колон для спиртового виробництва. Вказані вироби відрізняються габаритністю і досягають в діаметрі 1,5 м. Для реалізації процесу була спроектована і виготовлена розкочувальна приставка до токарного лобового верстата ЛТ2, загальний вигляд якої представлено на рис. 4.

З метою управління зусиллям витяжки розкочувальний блок сконструйовано підпружиненим. Ґрунтуючись на встановлених закономірностях течії металу на контакті валок-заготовка, розроблено стабільний високопродуктивний процес ротаційної витяжки зовнішніх і внутрішніх елементів зазначених вище виробів.

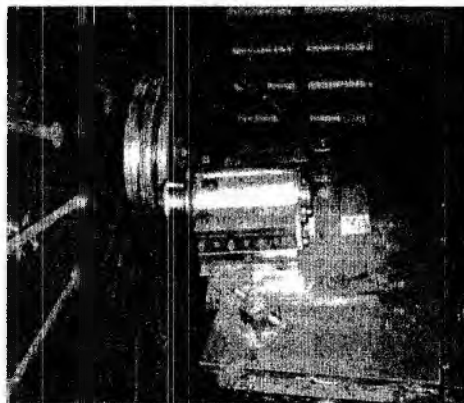


Рис. 4 – Розкочувальна приставка

Відносно невелика товщина заготовки і зусилля деформування дозволяють варіювати кутом нахилу валка у значно ширших межах, ніж у традиційних процесах ХТР. Вихідними під витяжку були круглі мідні листові заготовки товщиною 3 мм. В результаті обкочування на жорсткій оправці конічним валком за схемою ротаційної витяжки сформовано елементи, що розміщені по відношенню до площини вихідної заготовки під кутами  $90^\circ$  і  $75^\circ$  з висотою 68 і 80 мм. Отримані вироби відрізняються високою точністю та якістю поверхні (рис. 5). На основі критерію немонотонного деформування проведено аналіз службових характеристик виготовлених деталей.

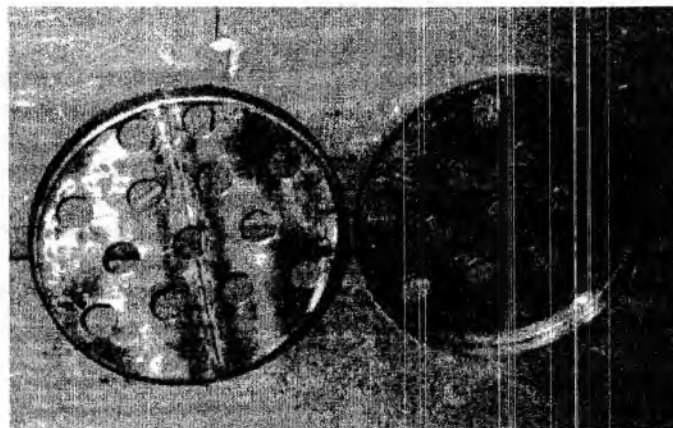


Рис. 5 – Вироби, отримані ротаційною витяжкою конічним валком

Таким чином, на основі встановлених закономірностей по управлінню течією металу в процесах холодного розкочування, розроблено високоефективні процеси відбортовки і ротаційної витяжки заготовок, проведена оцінка деформування матеріалів, розроблено рекомендації по забезпеченню необхідних службових характеристик виробів.

#### Література

1. Богоявленский К.Н., Елкин Н.М. Холодная раскатка заготовок сложного профиля // Кузнечно-штамповочное производство. - 1986. - № 7. - С. 22-25.
2. А.с.1493359 СССР, МКЧ В 21 D 53/00. Способ получения колец из трубной заготовки.
3. Михалевиц В.М. Тензорні моделі накопичення пошкоджень. – Вінниця: „УНІВЕРСУМ - Вінниця”, 1998. – 195 с.
4. А.с.1587392 СССР, МКЧ G.01 N.3/24. Способ оценки деформируемости материала.

Надійшла 26.06.2003

## ЗМІСТ

№ 3 (29)

|  |     |
|--|-----|
| Мелехов Р.К., Крупан Г.М., Табуренко О.О., Капінос В.І. Використання феритно-аустенітних сталей для виготовлення зварних виробів.....  | 3   |
| Пашечко М.І. Сегрегація атомів поверхневих шарів при зношуванні евтектичних сплавів системи Fe-Mn-C-B-Si-Ni-Cr-Al-S.....   | 12  |
| Чернець М., Яремек П. До питання про оцінку зношування озброєння та механічної швидкості буріння тришарошковими долотами. Частина II. Оцінка механічної швидкості буріння..... | 18  |
| Sergienko V., Balakin V., Kupreev A., Yarosh O. Heat analysis of brakes.....   | 22  |
| Ткачук Д. В. Метод диагностики теплового состояния фрикционных сопряжений.....   | 31  |
| Павлик В.О. Експериментальні дослідження властивостей і процесу зношування матеріалів із покриттями при терті кочення в агресивних середовищах.....                            | 36  |
| Мамарин В.В., Грипачевский Н.С., Бутаков Б.И. Выбор рационального профиля смазочного слоя подшипника.....  | 42  |
| Грипачевский Н.С., Бутаков Б.И., Мамарин В.В. Особенности эксплуатации тракторов в осенне-зимний период.....   | 45  |
| Матвійчук В., Михалевич В., Краєвський В. Розробка технологічних процесів штампування обкочуванням складнопрофільних виробів з буртами та фланцями.....                        | 47  |
| Кульгавый Э.А. Триботехнические характеристики и их применение.....  | 51  |
| Пасічник О.А., Бабак О.П. Стенд для випробувань паливних насосів високого тиску і методика вимірювання зносу деталей.....  | 62  |
| Сіренко Г.О., Луцишин Н.І., Шийчук О.В. Лінійні перфторполієфіри як основа хімічно - та термостійких мастильних матеріалів.....  | 64  |
| Соловык Е.К., Аулин В.В., Крылов А.В. Триботехнические свойства полимерометаллических покрытий восстановленных деталей.....  | 76  |
| Врюков Н.Н., Врюков М.Н., Ковал А.Д. Abrasive wear of steels and alloys.....   | 85  |
| Каплун В.Г. Вплив легування поверхні азотом на її зносостійкість.....  | 104 |

## № 4 (30)

|  |     |
|--|-----|
| Дудчак В.П. Триботехнические свойства медно-фторопластовых композиций для вставок поршней двигателей внутреннего сгорания (ДВС).....   | 107 |
| Кузьменко А.Г., Кащук Д.Я., Дыха А.В. Вдавливание конуса .....   | 112 |
| Каплун П.В. Вплив покриттів на зносостійкість і довговічність підшипників кочення..  | 130 |
| Власенко М., Аулін В., Лисенко С. Триботехнічні характеристики поверхонь тертя при електротрибохімічному методі припрацювання.....   | 140 |
| Сытар В.И., Буря А.И., Дудка А.Н., Данилин Д.С. Термостойкие триботехнические материалы на основе модифицированных ароматических полиамидов и углеродных наполнителей.....                               | 145 |
| Sirenko H.A., Kuzyshyn O.V., Zavoiko A.M. Problems of selection of lubricants for ethylene high-pressure compressors. Statement of a question of selection lubricants for high-pressure compressors..... | 149 |
| Брыков Н.Н., Пугачев Г.А., Брыков М.Н. Влияние условий изнашивания на степень упрочнения и износостойкость мегастабильных аустенитных сплавов.....   | 157 |
| Кульгавый Э.А. Проблемы анализа и синтеза трибосистем.....   | 173 |
| Кузьменко А.Г. Приближенное алгебраическое $Q_2$ – преобразование функций.....   | 181 |
| Дыха О.В., Кузьменко А.Г. Про зв'язок енергетичного і напруженого стану змашеної поверхні з її зносостійкістю.....   | 195 |
| Лантвойт О. Б. Моделі управління швидкістю протікання процесів старіння і зносу базових моделей автомобільної техніки.....   | 198 |
| Лісовий В.І. Математична модель на лінійних інтенсивностях часу тестувань автомобіля.....  | 203 |
| Рефераты .....   | 207 |
| Требования к публикациям.....  | 213 |
| Содержание .....   | 216 |