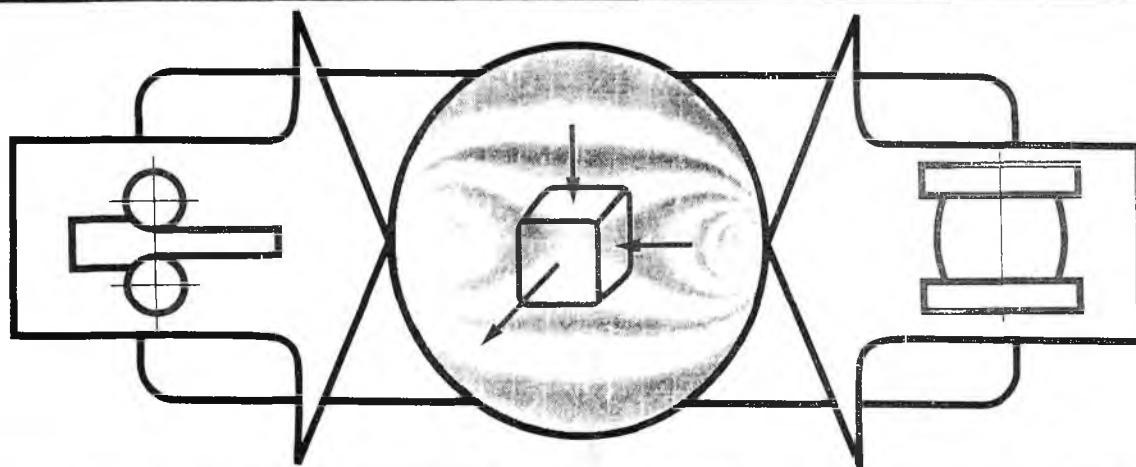


Міністерство освіти і науки України
Донбаська державна машинобудівна академія

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

Тематичний збірник наукових праць



Краматорськ 2004

УДК 621.7

Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні: Тематич. зб. наук. пр. – ДДМА, Краматорськ, 2004. – 656 с. – Парал. тит. арк.: рос.

Донба

У цьому випуску збірника представлені статті, присвячені теоретичним та експериментальним дослідженням, а також удосконаленню технологічних процесів, обладнання та оснастки для обробки матеріалів тиском, які широко застосовуються в металургії та машинобудуванні. Ці дослідження та розробки виконані вченими, аспірантами та студентами технічних навчальних закладів, НДІ, 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, голова ради;
Алієв І.С.	доктор технічних наук, професор, проректор з наукової роботи, завідувач кафедри “Обробка металів тиском”, заступник голови;
Белкін М.Я.	доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри “Металознавство, технологія та термічна обробка металів” ДДМА;
Бейгельзимер 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 “ХПГ” (м. Харків);
Лаптев О.М.	доктор технічних наук, професор, ДДМА;
Огородніков В.А.	доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри “Прикладна механіка” ВДТУ (м. Вінниця);
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, професор, ДДМА;
Тарасов О.Ф.	доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри “Комп’ютерно-інформаційні технології» ДДМА;
Федорінов В.А.	кандидат технічних наук, професор, ректор ДДМА.

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

Телефон: (0626) 41-81-22, 41-69-42

Факс: (0626) 41-63-15

ISBN 966-7851-37-0

©Донбаська державна
машинобудівна академія (ДДМА), 2004

СС

<i>Мишулин А.А., Савчинский И.Г., Михайлов В.Г.</i>	
Разработка и практическое опробование новых методов обработки давлением труднодеформируемых сталей и сплавов	274
<i>Матвійчук В.А., Михалеви́ч В.М., Краєвський В.О.</i>	
Розробка маловідходних процесів формування тонкостінних циліндричних деталей	281
<i>Тюрин В.А., Романенко В.П., Овечкин В.В.</i>	
Опыт совершенствования производства заготовок железнодорожных колёс	287
<i>Соколов Л.Н., Марков О.Е., Олешко В.М., Савчинский И.Г.</i>	
Влияние формы бойков на устранение осевых дефектов слитков при ковке крупных поковок	290
<i>Рябичева Л.А., Кравцова Ю.В.</i>	
Влияние скорости деформации на эффективную реакцию пористого тела	296
<i>Давиденко А.А., Бейгельзимер Я.Е., Коваленко И.М., Белоусов Н.Н., Прудников А.М.</i>	
Влияние параметров процесса гидропрессования на показатели качества готовых прутков	303
<i>Фролов Е.А.</i>	
Перспективы пневмоударного формообразования сложнорельефных тонколистовых деталей	309
<i>Головка А.Н., Эсаулов А.Н., Чернов С.А.</i>	
Анализ влияния формоизменения на структуру металла при прессовании алюминиевых труб через комбинированные матрицы с плоским рассекателем	314
<i>Кухарь В.В., Диамантопуло К.К.</i>	
Численные расчёты параметров формоизменения при профилировании заготовок продольным изгибом	321
<i>Бейгельзимер Я.Е., Эфрос Б.М., Прокофьева О.В.</i>	
Разуплотнение металлов в процессе холодной гидроэкструзии	325
<i>Сивак І.О., Савуляк В.В.</i>	
Штампувание гофрированных заготовок с использованием гидростатического подпора	331
<i>Киселёв В.Б., Огородников В.А., Сивак И.О.</i>	
Исследование пластической деформации листовых материалов измерением твёрдости	336
<i>Алиева Л.И., Борисов Р.С., Лобанов А.И.</i>	
Верхняя оценка силовых параметров при выдавливании инструментом с криволинейным профилем	340
<i>Музычук В.И.</i>	
О возможности получения головки шатуна аксиально-роторного поршневого насоса методом пластического формоизменения	345
<i>Косенко М.В., Абхари П.</i>	
Выдавливание полых конических деталей	350
<i>Завдоев А.В., Шевелев А.И., Сынков С.Г.</i>	
Влияние термомеханической обработки на структурные изменения и механические характеристики сплава ПМФ9	353
<i>Бейгельзимер Я.Е., Решетов А.В., Сынков С.Г., Орлов Д.В., Шевел А.И., Сынков А.С., Заика Т.П.</i>	
Новые пути практического применения винтовой экструзии	358
<i>Ступка А.Г., Кияшко А.Г.</i>	
Осадка с приложением вибронагрузки	364
<i>Базна М.М., Ступка А.Г., Величко Л.Ю.</i>	
Опытная ковка центробежно литых заготовок	367
<i>Мирошниченко С.В.</i>	
Особенности деформирования заготовки интенсивной пластической деформацией при закрытой прошивке с простым сдвигом	371
<i>Чухлеб В.Л.</i>	
Исследование течения металла при ступенчатой прошивке с различной величиной ступени	374
<i>Майоров Г.И., Коробко Т.Б., Майоров Д.Г., Луценко В.А.</i>	
Особенности построения математической модели для гофрирования осесимметричных заготовок в штампе с поворотными дисками	377
<i>Кузьмина О.М.</i>	
Применение метода стержней к анализу напряжённо-деформированного состояния при осадке	381
<i>Буренников Ю.А., Сивак Е.И., Алиева Л.И.</i>	
Применение промежуточных отжигов для улучшения механических характеристик заготовок, получаемых при поперечном выдавливании	384
<i>Шевченко М.П., Юхименко А.А.</i>	
Последеформационная обработка высокоуглеродистой проволоки-резерв долговечности армоканатов	388
<i>Винников М.А., Карнаух С.Г.</i>	
Выбор информативной системы критериев разделения материалов	391
<i>Тарасов А.Ф., Винников М.А.</i>	
Экспериментальное исследование процесса разделения скрапа на пресс-ножницах	398
<i>Кузьмин М.А., Дрыга А.И.</i>	
Режимы повторного деформирования при обработке давлением	403
<i>Белкин М.Я., Фельдман В.Е.</i>	
Особенности технологии получения поковок ответственного назначения	406

УДК 621.7
 Матвійчук В.А., Михалевич В.М., Краєвський В.О. (м. Вінниця, ВНТУ)
 РОЗРОБКА МАЛОВІДХОДНИХ ПРОЦЕСІВ ФОРМУВАННЯ ТОНКОСТІННИХ
 ЦИЛІНДРИЧНИХ ДЕТАЛЕЙ

В статті розробтан технологический процесс формирования внешних буртов штамповкой с последующим на заготовках, которые получены переформированием квадратных заготовок в круглые методом холодной торцевой раскатки. Проведены исследования напряженно-деформированного состояния на всех этапах процесса. Предложена методика расчета критических элементов заготовок.
In this article manufacturing method of the external collars forming by rotary forging on the billets which were received reforming of blooms in round by cold face rolling is developed. Explorations of deformation mode at all stages of process are carried out. The design procedure of critical elements of billets is offered.

Листове штампування відноситься до найбільш розповсюджених технологій обробки металів тиском завдяки таким перевагам, як висока точність деталей, продуктивність праці і ступінь автоматизації процесів при мінімальній металоємкості виробів. Відзначені переваги сприяли як вдосконаленню традиційних процесів штампування, так і появи та вдосконаленню таких прогресивних способів, як електрогідроімпульсне і електромагнітне штампування, штампування еластичним середовищем, у тому числі з управлінням течією матеріалу на різних ділянках заготовки тощо. Разом із тим, кожний із освоєних процесів має певне обмеження щодо отримання виробів певної форми, ступеня деформування окремих елементів та енергосилових характеристик обладнання. Все це беззаперечно сприятиме появі нових та вдосконаленню існуючих технологій листового штампування.

Проте найбільш вузьким місцем листового штампування залишаються заготівельні операції, які і обумовлюють підвищену витрату матеріалу. Так, при вирубці зі смуги чи листа найбільш розповсюджених круглих заготовок, більше 20% металу йде у брукт, при цьому із збільшенням відносної висоти заготовки коефіцієнт використання металу зменшується. Отримання заготовок відносно малої висоти із прутка методами пластичного зсуву неможливе, а операції різання приводять взагалі до неприйнятних відходів.

Проблемою при листовому штампуванні є також наведена при прокатці листів анізотропія матеріалу, яка в подальшому приводить до утворення фестонів при витяжці, короблення та появи інших небажаних ефектів.

Дана робота присвячена вдосконаленню прогресивних маловідходних способів листового штампування та формування тонких заготовок з відношенням висоти до діаметра $s/D < 0,1$ шляхом переформування квадрата в круг. За базовий процес нами прийнято холодне торцеве розкочування заготовок конічним валком. В рамках процесу нами розроблено операції переформування розкочуванням квадратних заготовок в круглі [1,2] та відбуртовки листових матеріалів ротаційною витяжкою.

Хоча ротаційна витяжка (або давильна обробка) матеріалів не є новим процесом [3], однак і досі ще не вироблені точні рекомендації по вибору режимів видавлювання у залежності від форми деталі, властивостей оброблювального металу, геометрії інструмента та інших факторів.

Щодо конструкції установок і інструменту для давильних робіт, то у літературі накопичено значна кількість різних рекомендацій. При цьому основними недоліками існуючих конструкцій насамперед є некероване гофроутворення, збільшення кількості переходів чи введення додаткових елементів для калібрування заготовки, необхідність значної зміни конструкції оснастки при формуванні внутрішніх та зовнішніх буртів.

Для здійснення давильних робіт нами пропонується використовувати схему торцевого розкочування конічним валком з видозміненою конструкцією пристрою і давильного інструменту. Зміни у конструкції давильного інструменту пов'язані із необхідністю врахування форми бокової поверхні виробу, що необхідно отримати. За допомогою розробленого інструменту (рис. 1а) виконується ряд операцій за один перехід, а саме:

утовщення стінки заготовки, формування бічної поверхні, підтримка фланця під час формування бічної поверхні, калібрування заготовки із можливістю утонення стінки.

Етапи процесу ротаційної витяжки методом холодного торцевого розкочування показано на рис. 1. Під час першого етапу деформування (рис. 1б) валок контактує із заготовкою по твірній конуса AB . Внаслідок того, що центр валка має значне від'ємне зміщення по відношенню до центра заготовки, то згідно закономірностей, що отримані у роботі [4], метал буде текти до центру заготовки, що викличе певне потовщення заготовки в осередку деформації.

При подальшій осьовій подачі інструмента контакт валка із заготовкою переміщується на торову частину валка BC (рис. 1в), яка передбачена конструкцією валка. Тому процес утворення бічної поверхні відбувається як і при звичайних процесах ротаційної витяжки, коли формоутворення проводиться торовидними валками. Єдиною відмінною від цих процесів є те, що фланець підтримується поверхнею конуса, тим самим переміщуючи матеріал до центру заготовки внаслідок неспівпадання векторів швидкості валка та заготовки.

Після виходу заготовки із контакту з торовою частиною формування продовжується конічною поверхнею CD (рис. 1г), аж до контакту із торовою частиною валка DE , яка копіює заокруглення оправки та заготовки. В подальшому розпочинається процес калібрування бічної поверхні за допомогою торцевої подачі інструмента (рис. 1д). Калібрування можна проводити із певним утоненням бічної стінки заготовки.

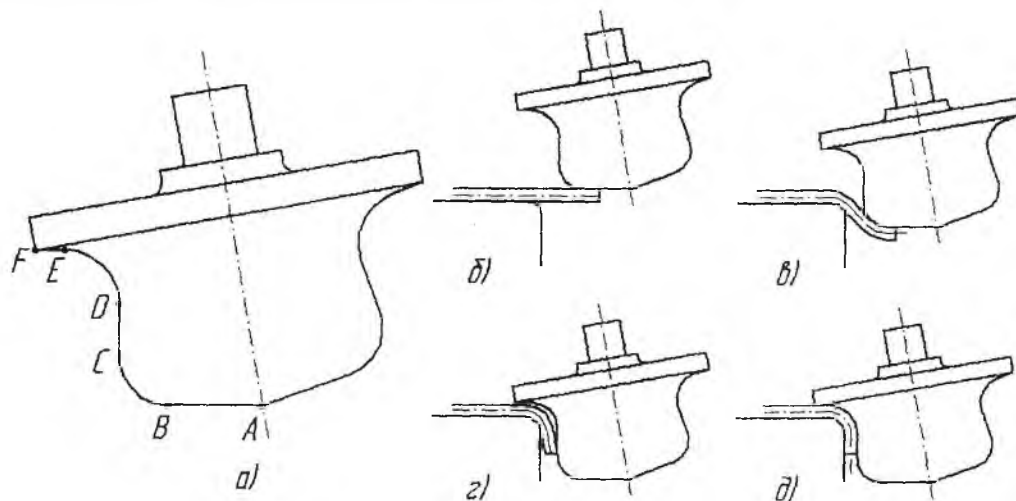
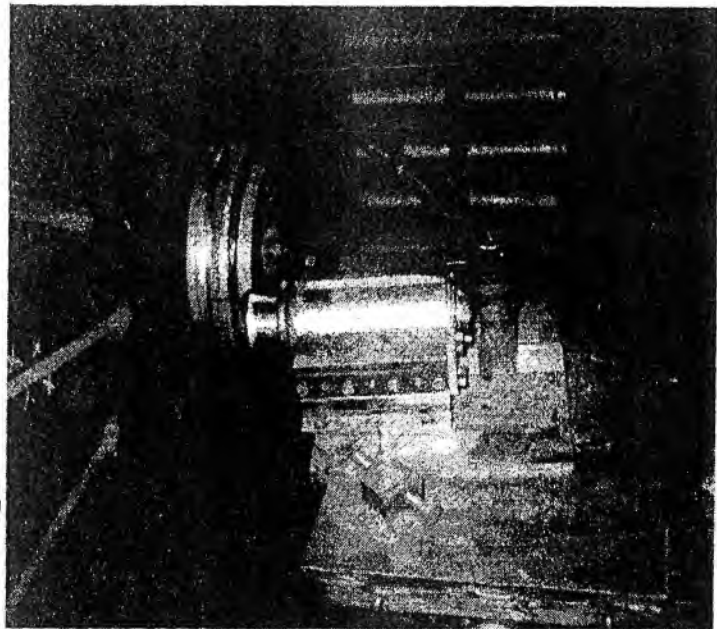
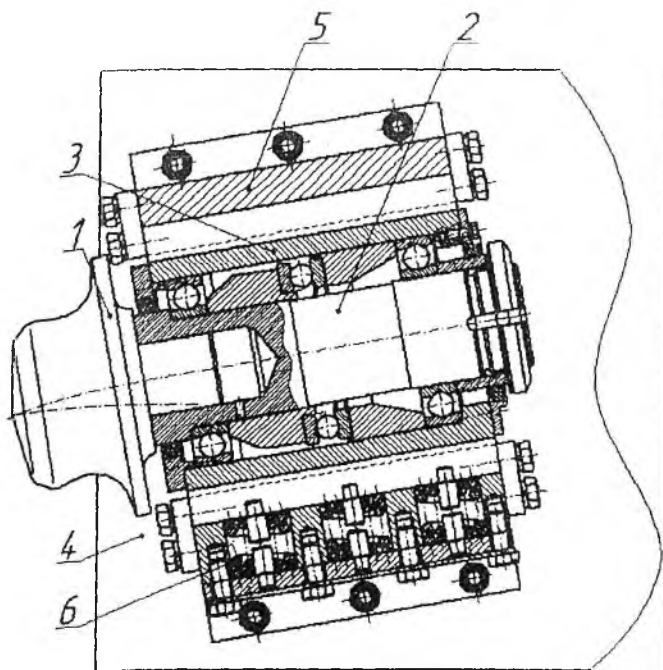


Рис. 1. Етапи формування зовнішніх буртів

Наявність унікальних можливостей по управлінню формоутворенням заготовок дозволило застосувати даний інструмент для формування таких виробів, як тарілки, комірці, ковпаки ректифікаційних і бражних колон для спиртового виробництва. Вказані вироби вирізняються габаритністю і досягають в діаметрі 1,5 м. Для реалізації процесу була спроектована і виготовлена розкочувальна приставка до токарного лобового верстата ЛТ2. схем та загальний вигляд якої представлено на рис. 2.

Давильний ролик 1 встановлюється в гніздо осі 2, при цьому державка 5 розміщується під необхідним кутом до осі оправки на супорті 4, який разом з державкою 5 і давильним роликом 1 підводиться до ділянки заготовки, яка відбуртовується. Підпружинення давильного ролика 1 пружними елементами 6 дозволяє запобігати перевантаженням пристрою при радіальному битті поверхні оправки, а також формувати бурти при від'ємному куті нахилу бокової поверхні оправки, що передбачається для компенсації пружинення заготовки.

Ґрунтуючись на встановлених закономірностях течії металу на контакті валок-заготовка [4], нами розроблено стабільний високопродуктивний процес ротаційної витяжки зовнішніх і внутрішніх елементів зазначених вище виробів.



а)

б)

Рис. 2. Розкочувальна приставка

Відносно невелика товщина заготовки і зусилля деформування дозволяють варіювати кутом нахилу валка у значно ширших межах, ніж в 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° і 75° з висотою 68 і 80 мм. Отримані вироби відрізняються високою точністю і якістю поверхні (рис. 3). На основі критерію деформівності нами проведено аналіз службових характеристик виготовлених деталей та встановлено граничні ступені деформування для відносно малопластичних металів.



Рис. 3. Вироби, отримані ротаційною витяжкою конічним валком

Значний інтерес представляє розробка маловідходних процесів формування циліндричних тонкостінних деталей. Для підвищення коефіцієнта використання металу спочатку листовий матеріал розкрояють практично без відходів на квадратні заготовки. Наступною операцією є переформування квадратних заготовок у круглі методом торцевого розкочування. Отримані плоскі круглі заготовки піддаються відбуртовці зовнішнього контуру давильною обробкою. Задача, яка виникає при цьому – визначення максимальної ширини фланця та найменшого радіуса заокруглення оправки, при якому буде відбуватись формування без руйнування та гофрування.

Процес переформування квадратних заготовок у круглі розроблено і досліджено у роботах [1,2]. У результаті досліджень встановлено, що при переформовці заготовок спостерігається інтенсивна відцентрова течія металу, так що при ступенях деформації 50-

60% спостерігається потоншення центральної частини заготовки з можливістю подальшого руйнування. Інтенсивність відцентрової течії зменшується із зменшенням кута нахилу валка α , що підтверджено аналітичними дослідженнями, виконаними у роботі [4].

Переформуванню підлягали заготовки із танталу, міді і алюмінієвого сплаву AM_{22} . Напружено-деформований стан по діаметру заготовки розподілявся нерівномірно. Максимальні значення контактних напруг спостерігаються на відстані 0,3...0,5 радіуса заготовки від її центра. Зона максимальних напружень розтягу не співпадає із центром заготовки, а знаходиться від нього на відстані 0,1...0,2 радіуса у напрямку протилежному плямі контакту. Показник напруженого стану на заключних стадіях переформування змінюється від значень $\eta = 0,5...1,0$ в центрі заготовки до $\eta = -1,5...2,0$ на периферії (рис.4).

Деформації ε_x і ε_y близькі за величиною і характером розподілу і є переважно деформаціями розтягу. Деформація по товщині ε_z на більшій частині заготовки є деформацією стиску. Вона є максимальною із компонент деформацій і близькою за значенням до степені деформації ε_i . Мінімальна величина ступеня деформації має місце в центральній частині заготовки $\varepsilon_i/\varepsilon_{\max} \approx 0,3$. Найбільші значення $\varepsilon_i = 1,4...1,5$ спостерігаються на периферії заготовки.

Побудова шляхів деформування частин заготовки та оцінка деформівності матеріалу показала, що практично для всіх матеріалів в центрі заготовки при переформуванні квадрата у круг матиме місце руйнування. Тому при загальноприйнятих кутах нахилу валка $\alpha = 10^\circ$ переформування доцільно лише для утворення кільцевих заготовок (з подальшою вирубкою центральної частини). Зменшення кута нахилу до $\alpha = 2^\circ$ дозволяє отримувати якісні круглі заготовки.

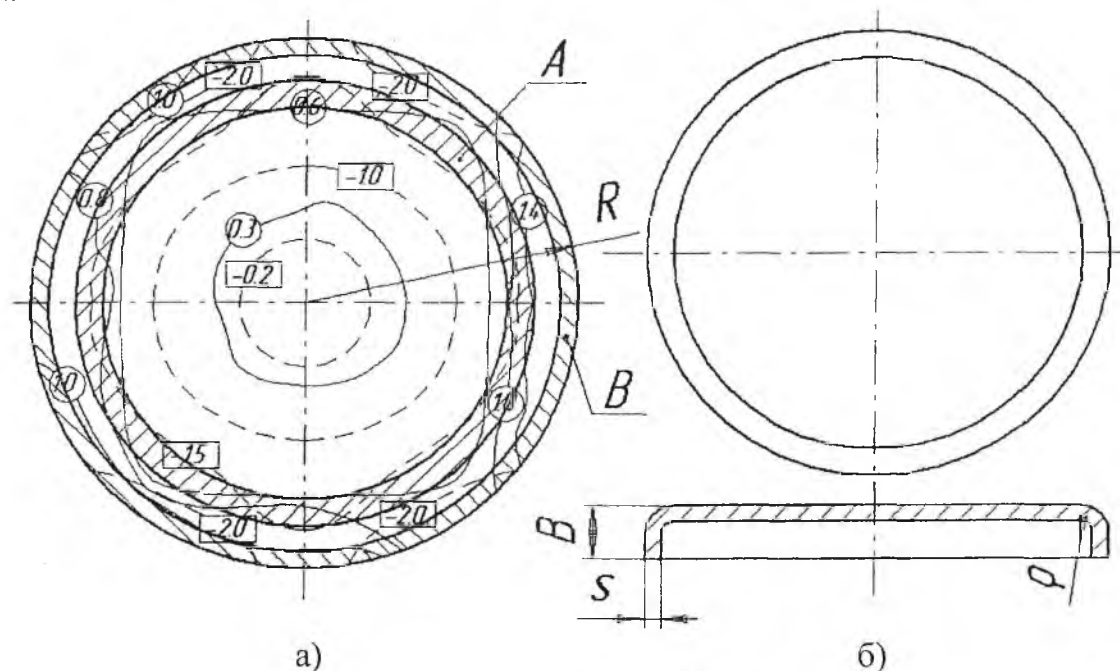


Рис. 4. Розподіл інтенсивності деформацій ε_i і показника напруженого стану η по поверхні танталової заготовки на заключній стадії переформування квадрата в круг та небезпечні зони при відбуртовці штампуванням обкочуванням (а) та вигляд готового виробу (б)

Значний інтерес представляє також встановлення можливостей давильної обробки заготовок отриманих переформуванням квадратних заготовок у круглі. Найбільш небезпечною зоною для руйнування при формуванні зовнішніх буртів давильною обробкою є зовнішні шари осередку згину (зона А на рис. 4) та периферія заготовки, де має найбільший ступінь деформації при переформуванні та відбуртовці (зона В на рис. 4). Напружено-деформований стан у зоні А подібний до того, який виникає при згині широкої

смуги, тобто масмо справу із об'ємно-напруженим та плоско-деформованим станом. Це обумовлено тим, що при згині широких смуг поперечна деформація вздовж лінії згину (поперек смуги) утруднена і тому виникають поперечні напруження σ_z [5]. На периферії заготовки при формуванні буртів, як показали дані експериментів, що проведені у роботі [6] напружено-деформований стан близький до одноосового стиску.

І на периферії і в осередку згину маємо немонотонне пластичне деформування. Для оцінки залишкового ресурсу пластичності використаємо тензорну модель накопичення пошкоджень із врахуванням „пам'яті напрямів”, що запропонована у роботі [7]. Розіб'ємо процес формування циліндричних заготовок на два етапи: перший етап – етап переформування квадратної заготовки у круглу методом холодного торцевого розкочування, другий – процес відбуртовки зовнішнього контуру штампуванням обкочуванням. У межах кожного етапу вважаємо напрямний тензор приростів деформації $\beta_{ij} = const$. Тоді з тензорно-лінійної моделі, що враховує „пам'ять напрямів”, із використанням степеневі функції пошкодженості отримаємо наступне критеріальне співвідношення

$$\psi_2 + \psi_{кр} = \left[-k_{12} \cdot g_1 - g_2 + \sqrt{g_1^2 \cdot (k_{12}^2 - 1) + 1} \right]^{\frac{1}{n}} - \psi_1 \cdot \alpha_{12}; \quad (1)$$

$$g_1 = \psi_1^n + \int_{\varepsilon_u^{(1)}}^{\varepsilon_u^{(1)} + \Delta\varepsilon_{кр}} \frac{\varepsilon_u^{n-1} \cdot n \cdot (1 - \delta)}{\varepsilon_{*2}^n \cdot \sqrt{(1 - \delta)^2 + 2 \cdot \delta \cdot (1 - \delta) \cdot k_{12} + \delta^2}} d\varepsilon_u; \quad (2)$$

$$g_2 = \int_{\varepsilon_u^{(1)}}^{\varepsilon_u^{(1)} + \Delta\varepsilon_{кр}} \frac{\varepsilon_u^{n-1} \cdot n \cdot \delta}{\varepsilon_{*2}^n \cdot \sqrt{(1 - \delta)^2 + 2 \cdot \delta \cdot (1 - \delta) \cdot k_{12} + \delta^2}} d\varepsilon_u - \left(\psi_1 \cdot \alpha_{12} + \frac{\Delta\varepsilon_{кр}}{\varepsilon_{*2}} \right); \quad (3)$$

де $\psi_1 = \frac{\varepsilon_u^{(1)}}{\varepsilon_{*1}}$ - використаний ресурс накопичення пошкоджень на першому етапі

деформування;

α_{12} - коефіцієнт, який характеризує порядок чергування умов деформації;

$k_{12} = \beta_{ij}^{(1)} \cdot \beta_{ij}^{(2)}$ - косинус кута зламу траєкторії деформації при переході до чергового етапу деформування;

$\delta = \frac{\varepsilon_u - \varepsilon_u^{(1)}}{\Delta\varepsilon_{кр}}$ - характеризує швидкість повороту тензора пошкоджень;

$\Delta\varepsilon_{кр} = \varepsilon_{*2} \frac{a}{e \left(\frac{\varepsilon_{*1}}{\varepsilon_u^{(1)}} \right)^{\frac{a}{2}}}$ - величина накопиченої пластичної деформації на другому етапі, по

досягненні якої тензори приростів пошкоджень та пластичних деформацій стають співвісними;

$\varepsilon_u^{(1)}$ - величина накопиченої деформації на першому етапі деформування;

ε_u - величина накопиченої деформації;

$\varepsilon_{*1} = \varepsilon_{*c}(\eta^{(1)}, D^{(1)})$, $\varepsilon_{*2} = \varepsilon_{*c}(\eta^{(2)}, D^{(2)})$ - гранична до руйнування деформація при стаціонарному деформуванні (діаграма пластичності);

a, n - коефіцієнти, які характеризують властивості матеріалу та режим навантаження.

Для визначення мінімального радіуса заокруглення оправки ρ_{min} , при якому не відбувається руйнування заготовки при формуванні буртів штампуванням обкочуванням у

зоні А, та максимального розміру фланця B_{\max} при умові збереження суцільності заготовки у зоні В за діаграмами пластичності матеріалу заготовки та напружено-деформованим станом визначаємо косинус зламу траєкторії деформування k_{12} . Для зони А $k_{12} = 0,866$, а для зони В $k_{12} = -0,5$. За формулою (1) визначаємо залишкові ресурси пластичності у зонах А та В - ψ_{2A} та ψ_{2B} відповідно. Тоді

$$\rho_{\min} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_{*2A} \cdot \psi_{2A}} - 1 \right); \quad (4)$$

$$B_{\max} = R \cdot \varepsilon_{*cB} \psi_{2B}. \quad (5)$$

Критична ширина фланця також обмежена можливістю утворення гофр на його поверхні, яких неможливо позбавитись при подальшому калібруванні. У роботі [6] запропоновано метод визначення критичної ширини фланця, тобто тієї ширини при якій спостерігається втрата його стійкості. Критична ширина фланця за умови гофроутворення визначається за формулою

$$B_{\max} = \left(\frac{1}{\cos \sqrt{-c_1 + \sqrt{c_1^2 + c_2}}} - 1 \right) \cdot R, \quad (6)$$

$$\text{де } c_1 = \frac{19}{30} \cdot c_2; \quad c_2 = \frac{1}{\frac{631}{3150} + \frac{4 \cdot \sigma_s \cdot R^2 \cdot (1 - \nu)^2}{5 \cdot E \cdot s^2}};$$

E - модуль пружності;
 ν - коефіцієнт Пуассона;
 σ_s - границя текучості.

Порівнявши дані розрахунків за формулами (5) та (6) приймаємо за критичну ширину фланця меншу величину.

Висновки

У роботі розроблено технологічний процес формування зовнішніх буртів ротаційною витяжкою на заготовках, що отримані переформуванням квадратних заготовок у круглі методом холодного торцевого розкочування. Проведено дослідження напружено-деформованого стану на усіх етапах процесу. Запропоновано методіку розрахунку критичних елементів заготовок.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.С. 1183245 СССР, МКЧ В 21 D 37/12; В 21 Н 1/06. Способ изготовления плоских круглых изделий.
2. Матвійчук В. А., Михалевич В. М., Краєвський В. О. Розробка і дослідження процесів розкочування складнопрофільних заготовок з використанням операцій осадки і переформування. // В зб.: Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском у металургії і машинобудуванні. – Краматорськ – Хмельницький. – 2002. – С. 117-121.
3. Гредитор М. А. Давильные работы и ротационное выдавливание. – М.: Машиностроение, 1971. – 239 с.
4. Краєвський В. О., Матвійчук В. А., Михалевич В. М. Вплив технологічних параметрів на кінематику холодного торцевого розкочування. // В зб.: Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском у металургії і машинобудуванні. – Краматорськ – Хмельницький. – 2003.
5. Попов Е. А. Основы теории листовой штамповки. – М.: Машиностроение, 1977. – 278 с.
6. Баркая В. Ф., Рузанов Ф. И. Определение критической ширины фланца при ротационной обкатке цилиндрических оболочек. // Кузнечно-штамповочное производство. – 1973. - №10. – С. 15-17.
7. Михалевич В. М., Матвійчук В. А., Краєвський В. О., Козлов К. Є. Тензорно-лінійна модель з врахуванням «пам'яті напрямів» при двохступеновому деформуванні. // В зб.: Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском у металургії і машинобудуванні. – Краматорськ – Хмельницький. – 2002.