

Міністерство освіти і науки України
Донбаська державна машинобудівна академія

ШЕВЦОВ СЕРГІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ



УДК 621.774.72.002(043.5)

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА БАЛОНІВ
НА ОСНОВІ КОМБІНУВАННЯ РОТАЦІЙНОГО ОБКОЧУВАННЯ
ІНСТРУМЕНТОМ ТЕРТЯ З ПІДСАДКОЮ ДНИЩА**

Спеціальність 05.03.05 – процеси та машини обробки тиском

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Краматорськ – 2018

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Донбаській державній машинобудівній академії (ДДМА, м. Краматорськ) Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Марков Олег Євгенійович,
Донбаська державна машинобудівна академія
(м. Краматорськ), завідувач кафедри «Механіка
пластичного формування» (МПФ).

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Кухар Володимир Валентинович,
Державний вищий навчальний заклад «Приазовський
державний технічний університет»
(м. Маріуполь), завідувач кафедри «Обробка металів
тиском»;

кандидат технічних наук, доцент
Кузьміна Ольга Михайлівна,
Національна металургійна академія України
(м. Дніпро), доцент кафедри «Обробка металів тиском»
ім. академіка О. П. Чекмарьова.

Захист відбудеться «16» листопада 2018 р. о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 12.105.01 при Донбаській державній машинобудівній академії (84313, м. Краматорськ, вул. Академічна, 72, ауд. 1319).

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Донбаської державної машинобудівної академії (84313, м. Краматорськ, вул. Академічна, 72).

Автореферат розісланий «__» жовтня 2018 р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради Д 12.105.01



Ю. К. Добронос

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В сучасних умовах важливим завданням для України є розвиток машинобудування. Це стане можливим за умови підвищення якості та зниження собівартості виробленої металопродукції. Усі деталі машин у енергетичному машинобудуванні відносяться до виробів відповідального призначення і значна частина з них виробляється способами гарячого пластичного деформування. Особливе місце серед цих виробів займають тонкостінні деталі з днищем (газові балони, корпуси вогнегасників, корпуси гідроциліндрів та амортизаторів та ін.). Ці вироби мають специфічну форму та виготовляються з декількох частин (пустотілий корпус, днище та горловина), які зварюються. Собівартість зазначених виробів висока. Виготовлені таким способом деталі не гарантують високу надійність з'єднання металу днища й корпусу балону. В результаті ударна в'язкість і міцність металу балону в зоні зварного шва є низькою. За цих умов можливий обрив днища балону під дією високого тиску.

На сьогодні менш розповсюдженим методом для виготовлення тонкостінних деталей з днищем є спосіб використання операції обкочування трубної заготовки інструментом тертя (ІТ). Що пов'язано з тим, що відсутнє повне заварювання стінки днища внаслідок недостатньої температури та низьким рівнем стискаючих напружень у місці стику стінок трубної заготовки. Тому такі способи виготовлення не набули широкого розповсюдження при виробництві днищ балонів.

Підвищення якості та зниження витрат на виготовлення днищ пустотілих заготовок потребує удосконалення способів обкочування. Одним зі шляхів вирішення цієї проблеми є розробка й впровадження у виробництво способів виготовлення заготовок з днищем на основі комбінування операцій обкочування та підсадки сферичного днища ІТ. У сучасній теорії й практиці обробки металів тиском недостатньо розвинуті наукові основи механізму формування напружено-деформованого стану (НДС) металу труби в процесі тангенціального обкочування та підсадки ІТ заготовок з різним співвідношенням геометричних параметрів. Це стримує розробку енергоощадних технологій виготовлення тонкостінних деталей з днищем. У цьому зв'язку необхідність розробки науково обґрунтованих рекомендацій для проектування процесів обкочування сферичних днищ з підсадкою, з метою підвищення якості та зниження витрат на їх виготовлення, представляє значний науковий і практичний інтерес, що підтверджує актуальність теми дисертаційної роботи.

Зв'язок з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота відповідає пріоритетному напрямку розвитку науки і техніки «Новітні ресурсозберігаючі технології в енергетиці, промисловості та агропромислового комплексу» та науковому напрямку «Розвиток ресурсозберігаючих процесів обробки тиском на основі створення нових технологічних способів і методик аналізу закономірностей пластичного деформування» наукової школи кафедр «Обробка металів тиском» (ОМТ) і «Механіка пластичного формування» (МПФ) Донбаської державної машинобудівної академії (ДДМА). Робота виконана в рамках держбюджетних науково-дослідних робіт ДДМА, за планами Міністер-

ства освіти і науки України (0108U010041, 0112U006709, 0118U003047), при виконанні яких автор брав участь як виконавець.

Мета й завдання дослідження. Мета дисертаційної роботи – підвищення якості днищ балонів та ємностей з трубчастих заготовок на основі комбінування ротаційного обкочування інструментом тертя з підсадкою днища.

Для досягнення зазначеної мети поставлені й вирішені наступні завдання:

- проаналізувати існуючі способи та методи розрахунку при виготовленні довгомірних тонкостінних заготовок з днищем та встановити напрямки їх подальшого удосконалення;

- розробити методики проведення теоретичних і експериментальних досліджень моделювання процесів тангенціального обкочування та підсадки сферичних днищ інструментом тертя;

- розробити математичну модель процесу обкочування інструментом тертя встановити на основі енергетичного метода та теорії оболонок для ефективні технологічні діапазони для виготовлення бездефектних днищ обкочуванням та підсадкою;

- встановити НДС металу, формозміну стінки днища та енергосилові параметри у процесі комбінування операцій обкочування та підсадки сферичного днища залежно від різної товщини стінок труби, температури нагрівання та подачі заготовки в інструмент тертя, що дозволить визначити ефективні режими деформування;

- провести перевірку теоретичних результатів моделювання формозміни трубної заготовки при обкочуванні та підсадці експериментальними дослідженнями для розробки практичних рекомендацій та методики з удосконалення способу ротаційного обкочування та підсадки сферичного днища інструментом тертя, що дозволить підвищити якість днища та знизити витрати на їх виготовлення;

- розробити методику, технологічні рекомендації та провести дослідно-промислову апробацію та впровадження запропонованого процесу обкочування та підсадки сферичного днища.

Об'єкт досліджень: Технологічний процес виготовлення днищ балонів ротаційним обкочуванням інструментом тертя.

Предмет досліджень: Закономірності формозміни, параметри енергосилового, напружено-деформованого та теплового стану заготовки при комбінуванні обкочування та підсадки сферичного днища інструментом тертя.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження НДС реалізовані на основі використання теорії оболонок, енергетичного методу та методу скінчених елементів (МСЕ). Підтвердження формозміни заготовки та закриття осьового отвору у процесі обкочування та підсадки сферичного днища проводили експериментом у лабораторних та виробничих умовах. При обробці результатів експериментів застосовувалися методи математичної статистики. Вірогідність наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечена дотриманням відповідних сучасних методик при проведенні експериментів і підтверджена відповідністю експериментальних даних з результатами теоретичних розрахунків.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Вперше на основі теоретичного дослідження МСЕ встановлена гомологічна температура нагрівання трубної заготовки, що забезпечує достатній рівень температури у процесі обкочування для зварювання стінок днища та виключення перегрівання металу.

2. Вперше на основі МСЕ встановлено параметри НДС у процесі ротаційного обкочування сферичних днищ інструментом тертя залежно від співвідношень товщини стінок, величини подачі, температури нагрівання трубної заготовки, що дозволило визначити рівень стискаючих напружень для оцінки ступеня закриття отвору та встановити ефективні режими деформування.

3. Вперше теоретично встановлено та експериментально доведено закономірності впливу ступеня підсадки інструментом тертя після обкочування на НДС, енергосилові параметри процесу, товщину та ступінь зварювання стінок днища, що дозволило встановити раціональні технологічні режими підсадки.

4. Отримали подальший розвиток уявлення про закономірності формування днища трубної заготовки після обкочування та підсадки в залежності від величини подачі, відносної товщини стінки, температури нагрівання та ступеня підсадки, які дозволили підвищити точність отримуваних результатів та удосконалити процес деформування, який забезпечує гарантоване зварювання стінок днища.

Практичну цінність дисертаційної роботи представляють наступні її основні результати:

- запропоновано новий спосіб ротаційного обкочування сферичних днищ інструментом тертя з використанням операції підсадки плоским інструментом, який гарантує зварювання стінок металу днища;

- розроблено методика проектування технологічних параметрів процесів обкочування інструментом тертя, яка полягає у визначенні температури попереднього нагрівання, величини подачі, відносної товщини стінки заготовки та ступеня підсадки;

- розроблено рекомендації для проектування нових технологічних процесів обкочування, механічні режими деформування й підсадки, які дозволяють інтенсифікувати процес закриття осьового отвору й забезпечують високу якість металу днища.

Результати роботи у вигляді технологічних рекомендацій для розробки процесів ротаційного обкочування та підсадки впровадженні в НДІ «УкрНДІ-Металургмаш» та прийняті до впровадження на ПрАТ «Новокраматорський машинобудівний завод» при виробництві досвідно-промислової партії балонів і ємностей для засобів пожежетишіння.

Науково-практичні розробки, виконані в дисертації, використовуються в навчальному процесі й НДР кафедр «Механіка пластичного формування» та «Обробки металів тиском» Донбаської державної машинобудівної академії при вивченні дисципліни «Спеціальні види технологій і обладнання для обробки металів тиском», а також при виконанні студентами спеціальності «Прикладна механіка» курсових, дипломних проектів і магістерських робіт.

Особистий внесок здобувача. Автором самостійно виконаний аналіз літературних джерел, здійснена постановка мети й завдань дисертаційної роботи і розроблені математичні та скінчено-елементні моделі процесів ротаційного обкочування та підсадки сферичних днищ інструментом тертя. Проведено експериментальні дослідження й розроблені рекомендації з проектування технологічних процесів обкочування та підсадки днищ. Розроблені та запропоновані для промислового освоєння технологічні процеси й інструмент для тангенціального обкочування ІТ. Внесок здобувача в роботах, опублікованих разом зі співавторами, представлений в анотаціях до списку опублікованих робіт з теми дисертації.

Публікації. Матеріали і основні положення дисертаційної роботи опубліковані у 29 наукових друкованих працях, з них 1 монографія, 15 статей в 13 наукових спеціалізованих виданнях України, 2 статті у журналах, що входять до міжнародних наукометричних баз даних, 7 тез доповідей на МНТК, 2 статті в інших журналах України. Нові технічні рішення захищені 2 патентами України.

Апробація результатів дисертації. Основні положення роботи, наукові й практичні результати доповідалися на міжнародних науково-технічних конференціях (МНТК): МНТК з проблем дослідження і вдосконалення технологій і обладнання обробки тиском (Краматорськ, ДДМА, 2000–2012 рр.); XVI–XIX МНТК «Досягнення й проблеми розвитку технологій і машин обробки тиском» (Краматорськ, 2013–2016); НТК «Розвиток методів розрахунку удосконалення технологій та обладнання процесів обробки металів тиском» (Краматорськ, ДДМА, 2007); VI МНТК «Перспективні технології, матеріали та обладнання у ливарному виробництві» (Краматорськ, ДДМА, 2017); XXXVII Всеукраїнській науково-практичній інтернет-конференції «Вітчизняна наука на зламі епох: проблеми та перспективи розвитку» (Переяслав-Хмельницький, 2017); МНТК «Інноваційні педагогічні технології у підготовці майбутніх фахівців з вищою освітою» (Вінниця, ВНТУ, 2013); МНТК «Якість освіти: управління, сертифікація, визнання» (Краматорськ, ДДМА, 2013); Дистанційній всеукраїнській науковій конференції «Математика у технічному університеті XXI сторіччя» (Краматорськ, ДДМА, 2017); XXXVII НТК професорсько-викладацького складу, науково-технічних працівників, аспірантів і студентів (Краматорськ, 2015); IX МНТК «Ресурсозбереження та енергоефективність процесів та обладнання обробки тиском у машинобудуванні й металургії» (Харків: НТУ ХПІ, 2017), а також на щорічних наукових семінарах ДДМА (2001–2017 рр.) і об'єднаному науковому семінарі при спеціалізованій раді Д 12.105.0 ДДМА (2018 р.).

Структура дисертації. Дисертація складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел і 5 додатків. Загальний об'єм роботи становить 223 сторінок, у тому числі основного тексту – 151 сторінки, 74 рисунків (з них 10 рисунків на окремих сторінках) і 7 таблиць (з них 3 таблиці на окремих сторінках), список використаних джерел з 214 найменувань на 27 сторінках, 5 додатків на 14 сторінках, а решта (анотація, список публікацій, зміст, титульна сторінка) на 18 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** наведена загальна характеристика роботи, обґрунтована актуальність теми, показаний зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами, планами й темами. Сформульовано мету роботи й завдання дослідження. Дано характеристику наукової новизни й практичної цінності отриманих результатів, їх апробація й впровадження, відзначений особистий внесок здобувача.

У **першому розділі** розглянуті сучасні підходи до удосконалення технологічних процесів ротаційного обкочування трубних заготовок. Проаналізовано математичні та експериментальні методи дослідження способів обкочування труб. Порівнювалися способи тангенціального та ротаційного обкочування труб інструментом тертя. Встановлено перспективи удосконалення технологій та інструменту для обкочування сферичних днищ.

Процесам обкочування труб присвячена значна кількість наукових робіт. Вагомий внесок у дослідження зазначених способів і інструменту для обкочування трубних заготовок внесли: М. Я. Бровман, Л. Н. Вашук, А. І. Іванов, В. Г. Капорович, О. М. Кулік, В. В. Кухар, О. М. Кузьміна, Я. І. Литвинський, О. В. Маковецький, В. Г. Макшанцев, М. І. Могильний, М. П. Найденов, В. О. Паламарчук, Я. Є. Пиц, В. С. Рижиков, В. Є. Родіонов, В. О. Ростовщikov, В. В. Сергєєв, В. Г. Серєда, О. В. Сирота, В. К. Удовенко, К. Т. Хведелідзе, В. І. Юдін, А. Ghaei, Qi Zhang, F. Knauf, R. Koppensteiner, Lixia Fan, M. Sanjari, H. W. Sizek та багато інших закордонних і вітчизняних учених.

На основі літературного огляду було встановлено, що на теперішній час днища місткостей (газові балони, корпуси вогнегасників, корпуси гідравлічних циліндрів та амортизаторів) виробляють за допомогою зварювання пустотілого корпусу з штапованим днищем. Собівартість зазначених виробів дуже висока. Виготовлені деталі з використанням зварних елементів не гарантують високу надійність металу з'єднання днища й корпусу балону. В результаті ударна в'язкість і міцність металу балону в зоні зварного шва є низькою. За цих умов можливий обрив днища балону під дією високого тиску.

Конкуруючим методом виготовлення днищ балонів є обкочування трубної заготовки. Але при обкочуванні не відбувається повного заварювання металу труби через низький рівень стискаючих напружень у місті стику стінок отвору днища. Це знижує герметичність днища балону. Такі заготовки не завжди є придатними для виробництва балонів, в яких газ або рідина знаходиться під високим тиском, тому необхідно призначати додаткову операцію заварювання отвору днища.

Підвищити герметичність та знизити витрати на виробництво днищ можна за рахунок удосконалення способів ротаційного обкочування інструментом тертя (ІТ). Одним з напрямків вирішення цих задач є удосконалення й впровадження у виробництво способів виготовлення заготовок з днищем на основі комбінування операцій обкочування та підсадки сферичного днища ІТ.

У сучасній теорії й практиці обробки металів тиском недостатньо розвинуті наукові основи механізму формування НДС металу труби у процесі ротаційного обкочування та підсадки ІТ заготовок з різним співвідношенням геоме-

тричних параметрів. Це ускладнює розробку ресурсозберігаючих технологій виготовлення пустотілих деталей з днищем. У зв'язку з цим показано, що необхідність розробки науково обґрунтованої методики проектування процесів тангенціального обкочування та підсадки сферичних днищ, з метою підвищення якості та зниження її собівартості, представляє значний науковий та практичний інтерес, що підтверджує актуальність теми дисертаційної роботи.

У **другому розділі** розроблені методики теоретичних та експериментальних досліджень процесів ротаційного обкочування та підсадки днищ ІТ. Складено методику математичного дослідження механізму формування днища при обкочуванні та підсадці. За результатами математичних розрахунків встановлюватимуться ефективні діапазони геометричних та термошвидкісних параметрів для проведення досліджень процесів обкочування та підсадки сферичних днищ ІТ. Обкочування з підсадкою характеризується об'ємною деформацією, яка призводить до зменшення довжини заготовки та збільшення товщини днища. На НДС днища у процесі тангенціального обкочування чинить вплив відносна товщина стінки труби, подача заготовки в ІТ та температура деформування.

При обкочуванні труб важливим параметром є встановлення розподілу температур за поздовжнім перерізом заготовки, а також встановлення НДС металу труби. Встановлення НДС металу труби та механізму формування днища доцільно проводити методом скінченних елементів (МСЕ). Для цього моделювання розроблено спеціальну методику досліджень. В якості досліджуваного матеріалу обрано конструкційну сталь 34ХН. Вихідні дані та граничні умови для моделювання процесу обкочування ІТ: модуль Юнга для цієї сталі – $2 \cdot 10^5$ МПа; коефіцієнт Пуассона – 0,32, температура інструменту – 30 °С, коефіцієнт тертя по Зібелю – 0,35. Число скінченних елементів задавалося 80 000. Температура підігрівання заготовки – 900 °С; 1050 °С та 1200 °С (гомологічна температура ($t_{гом}$) дослідження варіюватиметься у діапазоні 0,6; 0,7 та 0,8 відповідно), діаметр труби – 90 мм, товщина стінки варіювалася в діапазоні 9 мм; 6 мм і 4,5 мм (співвідношення діаметра труби і товщини стінки $D/s = 10; 15; 20$). подача трубної заготовки в ІТ варіювалась у діапазоні 70 мм; 80 мм і 90 мм (відносна подача l/D становила 0,8; 0,9 та 1,0).

На першому етапі, відповідно до запропонованої методики дослідження, встановлювався вплив 2 факторів (температура нагрівання заготовки та відносна товщина стінки заготовки). Зазначені фактори варіювалися на 3 рівнях. Для встановлення цієї моделі були промодельовані 9 схем обкочування. За результатами моделювання встановлюватиметься: градієнт температур уздовж трубної заготовки, розподіл інтенсивності логарифмічних деформацій, середніх напружень та інтенсивності напружень. За цими даними встановлювався показник схеми напруженого стану днища у місці змикання стінок, а також формозмінення заготовки при ротаційному обкочуванні ІТ.

Після встановлення раціональної гомологічної температури нагрівання трубних заготовок, яка забезпечує повне закриття отвору, визначалася рекомендована подача заготовки l/D при різній відносній товщині стінки труби (D/s), яка б сприяла появі високого рівня стискаючих напружень при високій

температурі, закриттю та заварюванню отвору днища. За цим етапом необхідно додатково дослідити 9 схем процесу ротаційного обкочування ІТ при встановленій вище температурі нагрівання заготовок при різних значеннях відносної подачі та відносної товщині стінки.

На третьому етапі дослідження необхідно перевірити вплив операції підсадження сферичного днища на формування НДС у місці змикання стінок труби та енергосилові параметри процесу деформування. Для цього необхідно було після обкочування сферичного днища підсадити його на різний ступень деформації. Підсадка проводилась на два ступеня деформації: 15 % та 30 %. За результатами досліджень необхідно встановити ефективний ступінь підсадки, який сприяє підвищенню якості днища.

Кількісно встановити ступінь заварювання стінок отвору труби можна на основі показника схеми напруженого стану (η) металу труби в зоні отвору днища $\eta = 3\sigma_{cp} / \sigma_i$, де σ_{cp} – середні напруження, МПа; σ_i – інтенсивність напружень, МПа. Цей показник дозволить встановити знак і величину напружень у місці змикання стінок труби у безрозмірному вигляді, що дозволить перенести ці результати на матеріали, які не використовувалися в дослідженні.

Експериментальні дослідження проводили на лабораторному стані для обкочування, створеному на базі модернізованого токарного верстата, оснащеного механізмами й устаткуванням, що забезпечують реалізацію процесу обкочування трубчастих заготовок, а також контроль і реєстрацію параметрів технологічного процесу. Для вимірювання й реєстрації цих параметрів застосовувалися: тензометричний стіл, месдоза пінолі, ходографи переміщення супорта і пінолі. Тензометричний стіл призначений для реєстрації складових повної сили деформування, яка виникає при взаємодії у процесі обкочування закріпленого на ньому тангенціального інструменту й заготовки. Після обкочування та підсадки сферичних днищ проводили металографічний аналіз заготовок.

У **третьому розділі** розглядається побудова математичних моделей, пов'язаних з НДС днища балону та температурного режиму під час формоутворення. Розв'язок цих задач дає можливість звузити межі для проведення подальших скінченно-елементних та експериментальних досліджень. Аналіз НДС проводився, з використанням методу оболонок та енергетичного методу. Розв'язок проводився відносно функцій переміщення металу, котрі визначаються за рахунок відомої геометрії днища після деформації, це дало змогу знизити порядок диференційних рівнянь. Був отриманий розв'язок, котрий дозволив визначити середню силу та середній тиск деформування: $P = \pi \sigma_T h_0^2 / (2\sqrt{3}) \cdot 13 = 11,8 \sigma_T h_0^2$, $p_c = 3,75 \sigma_T h_0^2 / b^2$. Крім того були визначені закономірності для визначення НДС в залежності від зміни функції переміщень.

Також ця задача розглядалася з точки зору енергетичного методу, де механізм пластичного деформування днищ балонів і ємностей можна подати у вигляді руху жорсткого інструменту з плоскою робочою поверхнею, що переміщається уздовж осі заготовки z зі швидкістю v_0 . Була визначена наближена

формула для верхньої межі сили деформування та усереднене значення нормального контактного напруження: $P_i = 3,63\sigma_{Ti}b_ih_i$, $p_c = 1,15\sigma_T h_0/b$.

Аналіз температурного режиму проводився на основі рівняння теплопровідності, котре з урахуванням поставленої задачі по деформації днища балону

$$\text{приводить до розв'язку } t = \frac{\mu\rho\omega b}{3\alpha} - \left(\frac{\mu\rho\omega b}{3\alpha} - t_n \right) \exp\left(-\frac{\alpha\tau}{c\rho h_0} \right).$$

Остання залежність дає змогу визначати: час розігрівання днища балону до температури пластичної деформації в наслідок тертя між заготовкою та ІТ, в залежності від початкової температури заготовки t_n , та з кутовою швидкістю ω обертання заготовки, а також граничну температуру процесу деформації.

У **четвертому розділі** було проведене моделювання МСЕ процесів ротаційного обкочування та підсадки сферичних днищ ІТ. На першому етапі визначався вплив відносної товщини стінки пустотілої заготовки та початкової температури нагрівання на розігрівання днища при сталій величині подачі заготовки в ІТ. Аналіз результатів розподілу температур за поздовжнім перерізом дозволив встановити, що максимальне розігрівання заготовки локалізується в осьовій зоні днища, що можна пояснити тривалим контактом заготовки з ІТ та максимальним накопиченням деформації у цій зоні. За перерізом пустотілої заготовки при ротаційному обкочуванні ІТ градієнт температур не виходить за межі температурного інтервалу гарячої обробки тиском. Було встановлено важливу для практики процесу ротаційного обкочування ІТ технологічну рекомендацію з температури нагрівання заготовок. Ця температура становить приблизно 1200 °С ($t_{zom} = 0,8$). Рівень цієї температури достатній для максимальної пластичності металу, мінімальної сили обкочування, заварювання стінок осьової зони днища, а також виключення утворення перегрівання та перепалення металу.

Аналіз результатів розподілу деформацій у тілі заготовки дозволив встановити, що максимальний рівень деформацій локалізується у зоні отвору днища. Товщина днища збільшується поступово від трубної ділянки до осьової зони. Зазначена закономірність характерна для пустотілих заготовок з різною відносною товщиною стінки та різною початковою температурою нагрівання. Кількісна відмінність розподілу деформованого стану заготовки за поздовжнім перерізом полягає в тому, що при обкочуванні пустотілих заготовок з товстою стінкою ($D/s = 10$) деформації з максимальним рівнем розташовуються на зовнішній поверхні днища. Обкочування тонкостінних заготовок призводить до появи максимальних деформацій на внутрішній поверхні днища. Цей результат є новим науковим спостереженням, який можна пояснити різним напруженим станом труби при обкочуванні тонкостінних і товстостінних пустотілих заготовок.

Додатково встановлено напружений стан металу трубної заготовки в процесі обкочування. Середні напруження дозволяють встановити рівень і знак напружень, на основі яких можна пояснити механізм закриття отвору днища. Аналіз отриманих результатів дозволив встановити, що при підвищенні температури рівень стискних напружень у днищі знижується: середні напруження

змінюються від від'ємних (стискних) з величин – 50 МПа до – 10 МПа. Отримана закономірність пояснюється зниженням опору деформуванню при підвищенні температури деформування. Максимальні стискні напруження виникають на зовнішній поверхні днища, що можна пояснити тиском від ІТ. При зменшенні товщини стінки заготовки рівень стискних напружень у зоні отвору знижується, що пояснюється меншою товщиною днища, а відповідно, і меншою силою ротаційного обкочування. Моделювання процесу ротаційного обкочування дозволило встановити, що відносна подача заготовки в ІТ $l/D = 0,8$ не призводить до повного змикання стінок труби в осевій зоні днища, що пояснюється малою кількістю об'єму металу заготовки.

На другому етапі було встановлено рекомендовану відносну подачу пустотілої заготовки. Відносна подача труби в ІТ (l/D) варіювалася в діапазоні 0,8 ... 1,0. Температура нагрівання заготовки приймалася однаковою для досліджуваних схем обкочування та становила 1200 °С. Аналіз результатів моделювання дозволив зробити висновок, що закриття отвору труби відбувається при відносній сталій подачі в ІТ, котра становить 0,9. При відносних подачах заготовки менших, ніж 0,9, закриття отвору не відбувається, а при більших співвідношеннях (1,0) відбувається невідправдане збільшення товщини днища. Збільшення величини подачі пустотілої заготовки в ІТ призводить до локалізації максимальних деформацій на зовнішній поверхні днища в осевій зоні. Ці результати можна пояснити більшою траєкторією пересування часток металу заготовки, що призводить до збільшення деформації в цих зонах. Збільшення довжини деформованої заготовки сприяє накопиченню деформацій високого рівня в днищі. У результаті збільшується товщина днища.

Кількісно оцінено ступінь заварювання стінок отвору труби за результатами аналізу напруженого стану в отворі днища (рис. 1, а).

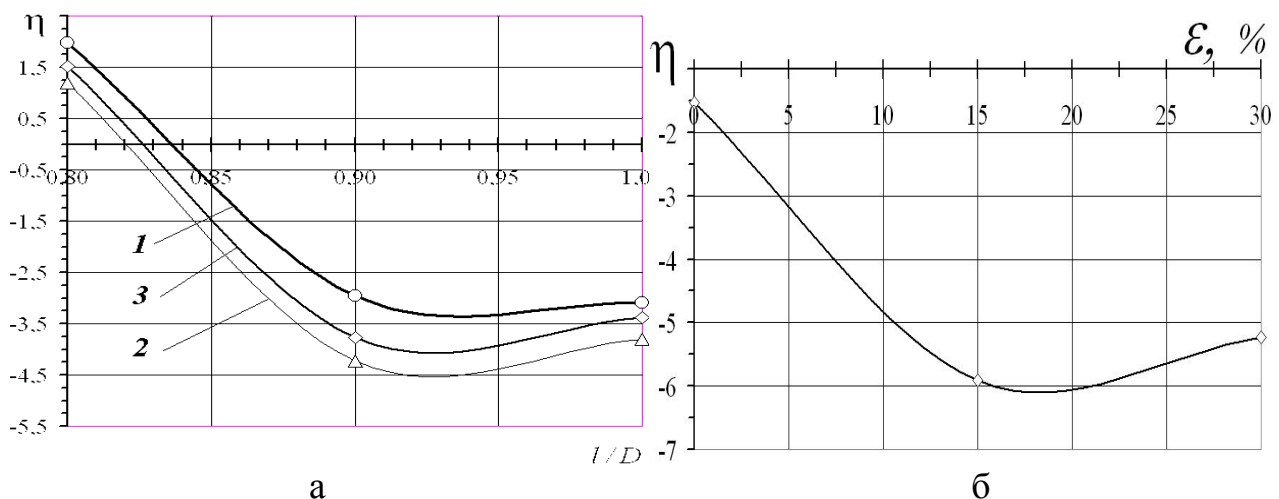


Рисунок 1 – Показник напруженого стану днища в залежності від: а – різних відносних подач і товщин стінок заготовок (1 – $D/s = 10$; 2 – $D/s = 15$; 3 – $D/s = 20$); б – ступеня підсадки

Максимальні стискні напруження ($\eta = -4,5$) мають місце при подачі заготовки в ІТ у діапазоні 0,9...0,95 (рис. 1, а). Цим пояснюється повне закриття отвору днища при відносній товщині стінки труби (D/s) у діапазоні 15...20.

Збільшення відносної подачі труби призводить до зниження рівня стискних напружень в осьовій зоні днища.

При збільшенні ступеня підсадки рівень стискаючих напружень на зовнішній поверхні днища підвищується (див. рис. 1, б). Але після підсадки на 15 % рівень середніх напружень перестає змінюватися. Це пояснюється утворенням увігнутості днища з боку пуансону. Увігнутий профіль днища призводить до появи розтягуючої компоненти напружень, що призводить до розкриття осьової лунки та зменшенні її глибини. Підсадка призводить до збільшення товщини стінки днища. Результати формозмінення та НДС днища після обкочування та підсадки представлені на рисунку 2.

Максимальна температура заготовки локалізується у центральній осьовій зоні днища, що можна пояснити тривалим контактом заготовки з ІТ під час обкочування та підсадки плоским пуансоном. Зі збільшенням ступеня підсадки зона пластичних деформацій збільшується.

Деформації з максимальним рівнем розташовуються на зовнішній поверхні днища (див. рис. 2, другий рядок). Цей результат можна пояснити впливом інструменту на випуклу частину днища. Максимальна інтенсивність напружень виникає в зоні переходу сферичного днища в циліндричну частину труби (рис. 2, третій рядок). Це пояснюється тим, що товщина днища в 1,8...2,2 рази більша, ніж товщина стінки труби, в результаті при підсадці днище пересувається вздовж осі як жорстка зона. При підсадці у зовнішніх шарах днища переважають стискні напруження, а у внутрішніх шарах переважають розтягуючі. Це пояснюється формою сферичного днища, яке при обтисканні чинить підпор на зовнішній поверхні.

Встановлено, що осьова сила обкочування P_x змінюється поступово, а при оформленні сферичності днища стрімко зростає (рис. 3, а). Це пояснюється тим, що процес калібрування сферичного днища потребує значної сили, внаслідок того, що весь метал спрямовується на збільшення товщини днища. При цьому збільшується площа контакту заготовки з інструментом. На цьому етапі відбувається зниження радіальної сили P_z та тангенціальної P_y . Це пояснюється тим, що закінчується процес обтискання стінки труби у бік осі заготовки.

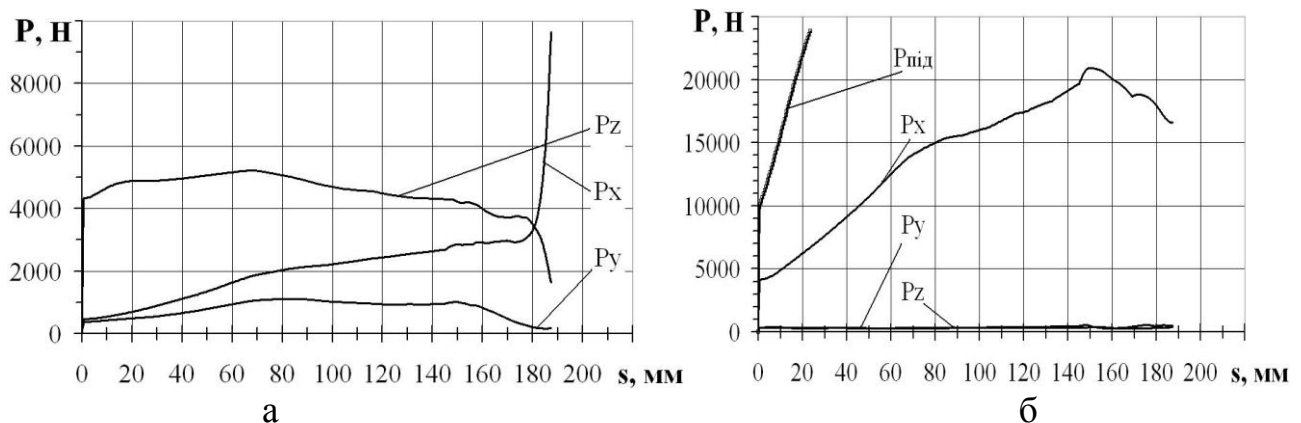


Рисунок 3 – Зміна складових сили обкочування в залежності від ходу інструменту тертя (а) та сили обкочування та підсадки на патроні верстату (б)

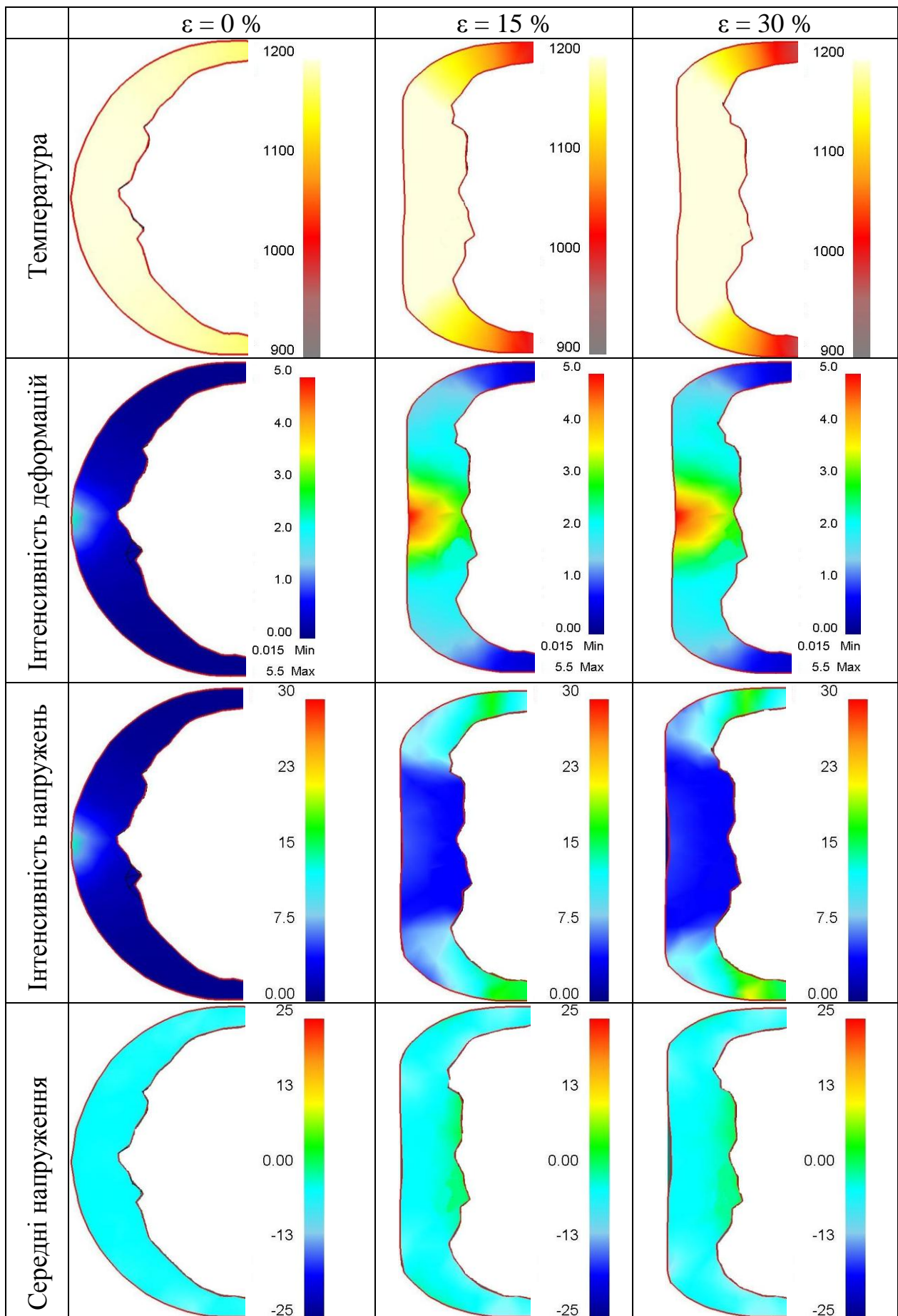


Рисунок 2 – Розподіл параметрів НДС після обкочування та підсадки днища

Для забезпечення запасу міцності підшипників необхідно проаналізувати сили, які діють на патрон під час обкочування та підсадки (рис. 3, б). Сили P_Y та P_Z , що діють на патрон верстату у процесі обкочування, змінюються несуттєво (рис. 3, б). Осьова сила P_X , яка діє на патрон верстата, від процесу обкочування постійно збільшується. Це пояснюється тим, що результуюча сила процесу обкочування більша за осьову від дії компонент P_Y та P_Z . Зниження осьової сили P_X відбувається наприкінці обкочування, коли відбувається зниження горизонтальної та вертикальної складової сили процесу обкочування (див. рис. 3, б). Операція підсадки днища потребує більшої сили, ніж операція обкочування. Це пояснюється збільшенням рівня стискаючих напружень при втисканні сферичного днища. Осьова складова сили обкочування (P_X) починає знижуватись, коли закінчується оформлення сферичної зовнішньої поверхні.

Крутний момент обкочування стрімко збільшується у началі процесу обкочування (рис. 4, а). Закономірність зміни крутного моменту визначається зміною профілю інструмента. На початку він збільшується, далі відбувається його зниження та вихід на стабільний рівень до ходу інструменту 130 мм. Часткове зниження крутного моменту у діапазоні ходу 20 ... 130 мм пояснюється розігріванням заготовки та відповідним зменшенням роботи деформування. Далі відбувається зростання крутного моменту до ходу 170 мм, що пояснюється наданням днищу сферичної форми. Після калібрувальної стадії відбувається стрімке зниження сили, що свідчить про завершення обкочування (рис. 4, а). Підсадка днища характеризується лінійним збільшенням крутного моменту в залежності від ступеня обтискання (рис. 4, б). Встановлена закономірність аналогічна змінню сили підсадки. Це пояснюється поступовим збільшенням площі контакту заготовки з ІТ, що призводить до підвищення крутного моменту. Величина крутного моменту підсадки нижче моменту обкочування.

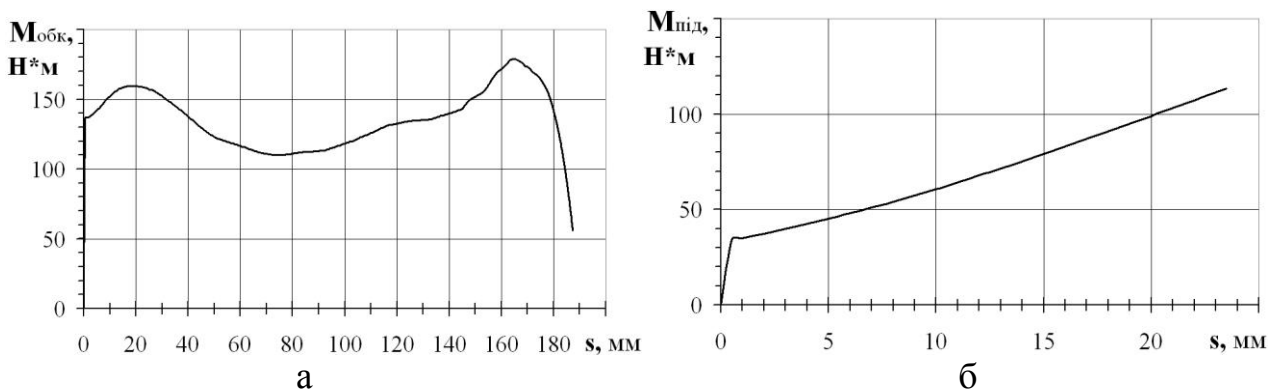


Рисунок 4 – Крутний момент на патроні при обкочуванні в залежності від ходу ІТ (а) та у процесі підсадки днища в залежності від ступеня обтискання (б)

Робота деформування поступово (за лінійною залежністю) збільшується у процесі обкочування до моменту калібрування днища (рис. 5, а). При калібруванні робота деформації стрімко зростає, що співпадає з характером зміни осьової сили P_X при обкочуванні (див. рис. 3, а).

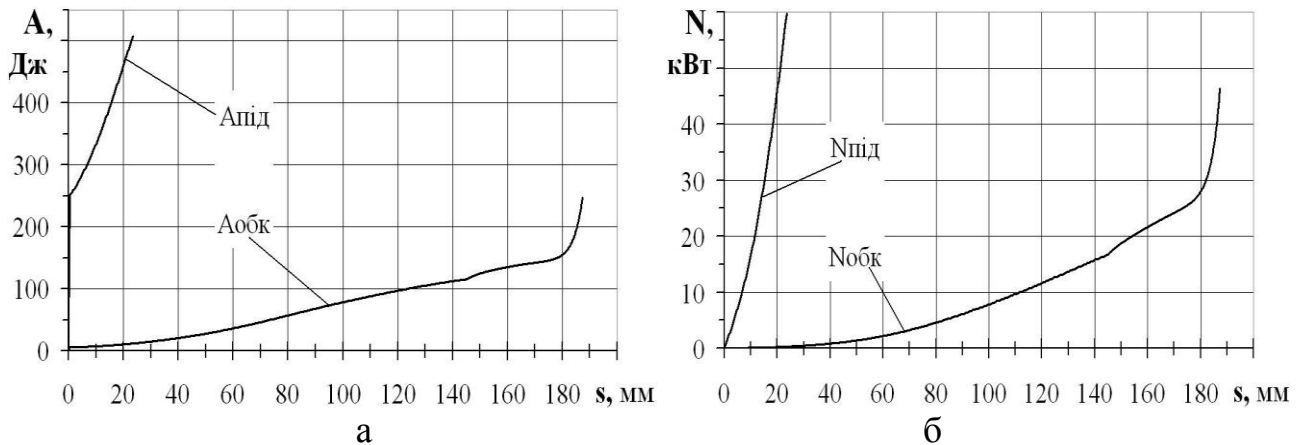


Рисунок 5 – Робота (а) та потужність (б) обкочування та підсадки днища в залежності від ходу ІТ (б)

Це пояснюється тим, що збільшення сили при однаковому ході призводить до збільшення роботи (енергії) обкочування. Більша робота витрачається на підсадку днища (див. рис. 5, а). Це пояснюється значною силою, яка потрібна для підсадки (див. рис. 4, б). Робота підсадки у 2 ... 2,5 рази вища, ніж при обкочуванні. Таким чином операція підсадки є більш енергоємною, за якою і слід розраховувати витрати електроенергії для обкочування днищ. Максимальна потужність (рис. 5, б) потрібна на етапі підсадки днища. На обкочування потрібно тільки 75 % потужності підсадки. Потужність електродвигуна необхідно визначати за операцією підсадки, а не обкочування.

Стрімкий зріст потужності відповідає процесу калібрування днища, коли стрімко збільшується сила (див. рис. 4, б) і робота деформування (див. рис. 5, а). Цей зріст потужності пояснюється зростанням витрат енергії при калібруванні, коли збільшується площа контакту заготовки та інструменту.

У п'ятому розділі у лабораторних та промислових умовах проведені експериментальні дослідження комбінування процесів обкочування та підсадки сферичних днищ ІТ для перевірки теоретичних результатів (рис. 6). Перевірці підлягали ефективні технологічні рекомендації, які були встановлені теоретично. На основі теоретичних і експериментальних досліджень розроблені рекомендації й методика для проектування нових технологічних процесів ротаційного обкочування та підсадки сферичних днищ ІТ.

Обкочуванню піддавалися пустотілі заготовки зі сферичним днищем з різними ступенями підсадки. З обкочених заготовок вирізалися макротемплети, з яких виготовлялися макрошліфи (рис. 7). Встановлено, що чим більший ступінь підсадки, тим більша товщина днища в осьовій зоні. При підсадці відбувається також змінення форми внутрішньої поверхні днища, що призводить до збільшення витрат металу. Глибина воронкоподібної внутрішньої осьової зони днища зберігається, але діаметр цієї воронки збільшується при підвищенні ступеня підсадки.

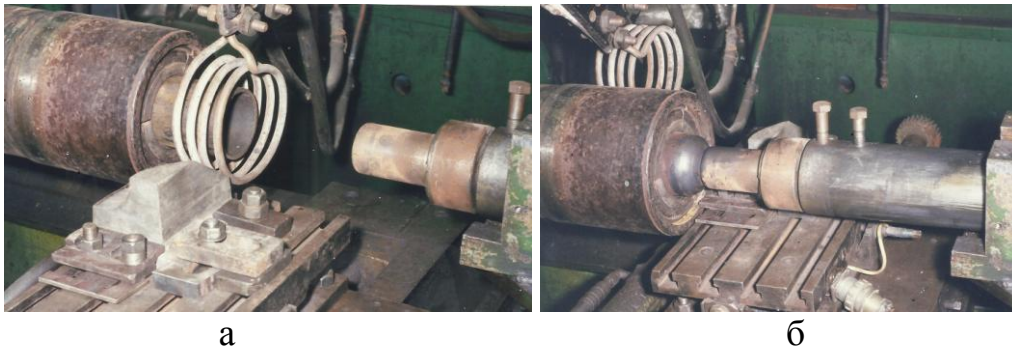


Рисунок 6 – Індукційне нагрівання трубної заготовки перед обкочуванням (а) та підсадка сферичного днища (б)



а



б



в

а – без підсадки; б – після підсадки на 15 %; в – після підсадки на 30 %
Рисунок 7 – Залишки осьових дефектів днищ з різним ступенем підсадки

Суцільність металу днища встановлювалась на основі металографічних досліджень в осьовій зоні днища (див. рис. 7). При збільшенні зображення у 2 рази можна чітко виділити залишки осьових дефектів. Макроструктурний аналіз осьових дефектів днищ з різним ступенем підсадки дозволив встановити, що максимальна товщина стінки днища з урахуванням осьових дефектів набирається після підсадки на 15 %.

Вирізані темплети після полірування та травлення досліджувалися на оптичному мікроскопі зі збільшенням у 20 разів. Аналіз отриманих результатів

дозволив встановити, що в структурі металу присутні оксидні плівки, які не сприяли повному заварюванню стінок днища.

Осьові дефекти днища після підсадки на 15 % розташовуються перпендикулярно до осі днища (рис. 8, а). Дефектів з боку внутрішньої поверхні днища при збільшенні не виявлено.

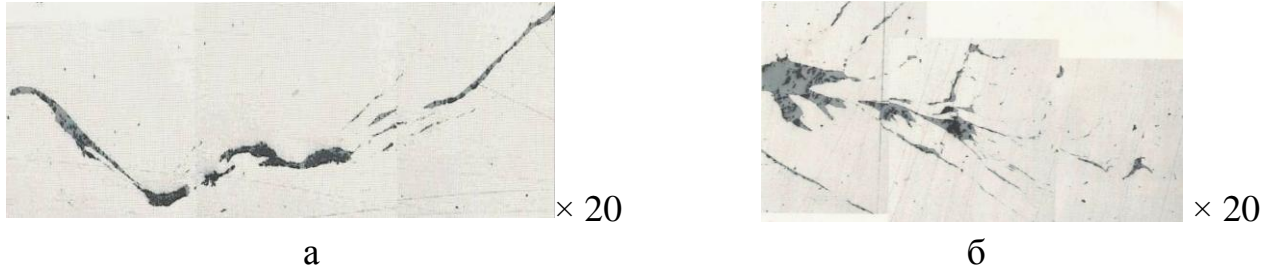


Рисунок 8 – Мікроструктура дефектів після підсадки на 15 % (а) та 30 % (б)

Збільшення підсадки до 30 % призводить до збільшення розмірів неметалевих включень (рис. 8, б). Ці включення мають форму великих включень з сіткою тонких оксидних плівок, які розташовані уздовж та поперек осі днища. Збільшення розмірів цих дефектів пояснюється появою розтягувальних напружень, які виникли при збільшенні діаметра воронки осьового дефекту з внутрішнього боку днища при збільшених ступенях підсадки.

Перевіріці піддавалися результати теоретичного дослідження енергосилових параметрів процесу обкочування та підсадки сферичних днищ ІТ. Для цього на супорті та пінолі верстату з месдоз були зняті данні сил процесу обкочування та підсадки заготовок тих же розмірів, що були встановлені як ефективні при теоретичному дослідженні. Якісно теоретична та експериментальна залежність зміни осьової сили обкочування співпадають (рис. 9, а). Криві мають різкий зріст сили на кінцевій стадії обкочування, коли відбувається калібрування та остаточне формування сферичного днища. Але експериментальні данні дають приблизно на 20 % значення сили нижче, ніж данні МСЕ. Отримана різниця пояснюється додатковим розігріванням інструменту від контакту з заготовкою, що буде сприяти зменшенню тепловідводу на інструмент. В результаті температура заготовки буде підвищуватися, що призведе до зниження опору деформації і сили обкочування.

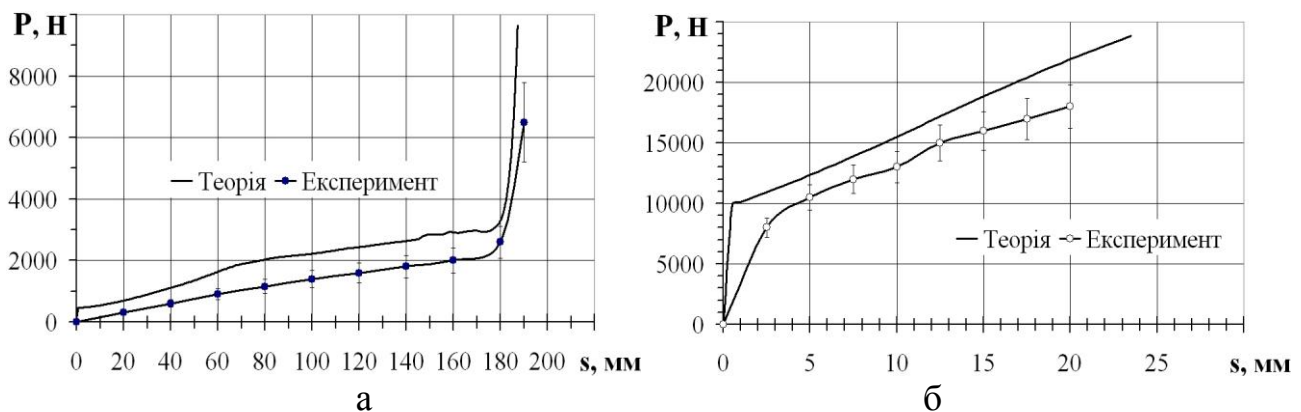


Рисунок 9 – Порівняння змінення осьової компоненти сили обкочування (а) та підсадки (б) сферичного днища по ходу руху ІТ

На другому етапі перевірялися та порівнювалися результати теоретичного та експериментального дослідження сили підсадки сферичного днища ІТ (рис. 9, б). Підтверджено, що максимальна сила деформування виникає на операції підсадки. Це пояснюється збільшенням ступеня деформації металу, а також підвищенням стискаючих напружень при підсадці сферичного днища.

Потужність процесу легко встановлюється через витрати електроенергії на процес деформування обкочуванням та підсадки (рис. 10). Встановлено, що процес обкочування призводить до поступового збільшення потужності, особливо на завершальному етапі формуванні днища та його калібруванні (рис. 10, а).

Результати теоретичного та експериментального досліджень якісно співпадають, різниця в середньому становить близько 15 %. Потужність підсадки перевищує потужність обкочування. Ці результати підтверджені експериментально (рис. 10, б). Отримані результати можна апроксимувати лінійною залежністю потужності підсадки від ступеня деформації. Це пояснюється збільшенням площі контакту заготовки з інструментом при збільшенні ступеня деформації у процесі підсадки.

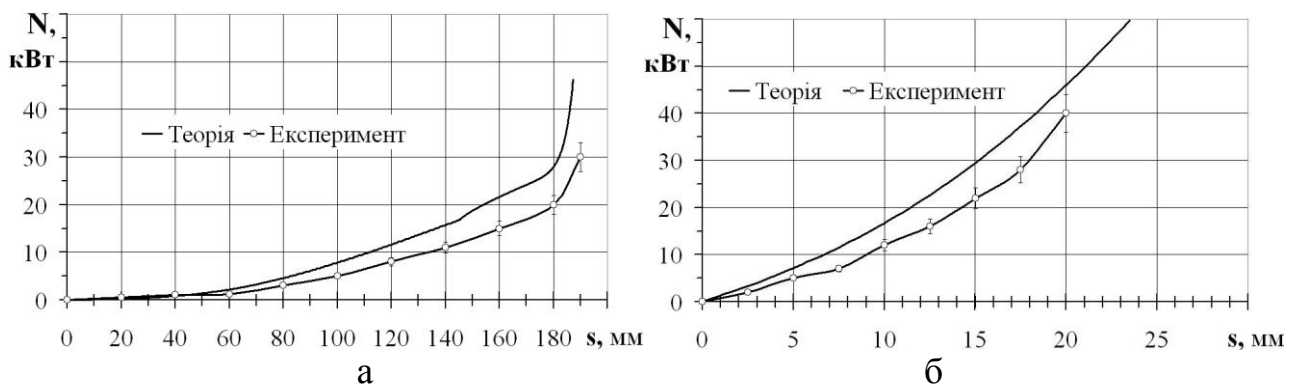


Рисунок 10 – Потужність, яка необхідна для обкочування (а) та підсадки (б) сферичного днища

У НДІ «УкрНДІМеталургмаш» та на ПрАТ «Новокраматорський машинобудівний завод» (НКМЗ) апробовано та впроваджено новий технологічний процес ротаційного обкочування днищ із застосуванням підсадки сферичного днища. Для нових технологічних процесів обкочування було підвищено якість осьової зони днища. Отримані результати підтверджують вплив підсадки обкоченої заготовки на підвищення рівня стискних напружень в осьовій зоні днища і заварювання осьових дефектів. Нові технологічні процеси обкочування підвищили якість продукції, що випускається, за рахунок підвищення щільності металу осьової зони днища.

ВИСНОВКИ

У роботі вирішена важлива науково-технічна задача удосконалення технологічних процесів виготовлення днищ балонів на основі застосування комбінованого обкочування трубних заготовок ІТ з підсадкою, що дозволило підви-

щити якість виробів відповідального призначення за рахунок заварювання внутрішніх дефектів.

1. На основі літературного огляду досліджень процесів і оснащення для виготовлення днищ балонів з трубних заготовок встановлено, що ефективним способом їх отримання є ротаційне обкочування ІТ. Однак на сьогодні не встановлені закономірності зміни НДС металу труби в процесі обкочування ІТ заготовок з різним співвідношенням геометричних параметрів, тому його визначення розширить технічні можливості процесу гарячого ротаційного обкочування труб, підвищить техніко-економічні показники продукції, що випускається. Були поставлені задачі досліджень.

2. Розроблено методику теоретичного дослідження МСЕ обкочування сферичних днищ ІТ з підсадкою, яка дозволяє встановити НДС металу пустотілої заготовки в процесі обкочування ІТ та підсадки з урахуванням нерівномірного температурного поля в об'ємі заготовки. Це дозволило знизити матеріальні витрати при проведенні експериментальних досліджень на 70 %. Для перевірки отриманих теоретичних результатів розроблено методику експериментальних досліджень. Розроблена методика дозволила встановити базові показники якості днищ сталевих заготовок, оцінити ступінь закриття та заварювання осьового отвору труби та встановити макро- та мікроструктуру металу днища.

3. На основі теорії оболонок та енергетичного методу дослідження процесів обкочування та підсадки сферичних днищ пустотілих заготовок з різними геометричними параметрами встановлено ефективні технологічні діапазони для виготовлення бездефектних днищ. Раціональна гомологічна температура нагрівання пустотілих заготовок перед ротаційним обкочуванням ІТ повинна складати $0,8T_{пл}$. Цієї температури достатньо для заварювання стінок отвору днища та виключення перегрівання та перепалення металу днища. Відносна довжина подачі заготовки в ІТ перед обкочуванням (l/D) повинна становити $0,9...0,95$ для повного закриття отвору днища. Відносна товщина пустотілої заготовки (D/s) повинна знаходитись у межах $15...20$ для зниження об'ємів напусків на внутрішню поверхню днища.

4. Встановлено НДС металу днища при реалізації комбінованого процесу обкочування та підсадки, виявлено, що максимальна інтенсивність деформацій виникає в зоні переходу сферичного днища в циліндричну частину труби. При підсадці у зовнішніх шарах днища переважають стискаючі напруження, а у внутрішніх шарах – розтягуючі. При ступені підсадки до 15 % рівень стискаючих напружень на зовнішній поверхні днища підвищується, а при збільшенні – починає зменшуватися. До ступеня підсадки 15 % днище має плоский торець, подальше підсадження призводить до появи увігнутої форми днища, що призводить до появи розтягуючої компоненти напружень на внутрішній поверхні. Це призводить до розкривання осьової воронки днища та зменшення її глибини. Підсадка призводить до збільшення товщини стінки днища. Інтенсивне збільшення товщини відбувається до ступеня підсадки 15 %.

5. Встановлено, що осьова сила оформлення сферичного днища стрімко зростає, при цьому відбувається зниження радіальної та тангенціальної компо-

нент сили обкочування. У процесі підсадки закономірності сили від ступеня деформації мають лінійну залежність. Підсадка днища характеризується лінійним збільшенням крутного моменту при підвищенні ступеня обтискання. Величина крутного моменту при реалізації процесу підсадки нижче моменту обкочування. Робота на підсадку у 2 ... 2,5 рази вища, ніж на обкочування. У процесі обкочування вживана потужність підвищується. Потужність підсадки на 25 % більша, ніж обкочування, та має лінійну залежність від ступеня деформації.

6. Результати експериментальних досліджень підтвердили данні скінчено-елементного моделювання. Відхилення теоретичних даних з формозміни заготовки від експериментальних не перевищує 12...15 %, що дозволяє зробити висновок про достовірність встановлених технологічних рекомендацій з термошвидкісних умов обкочування ІТ та підсадки, отриманих на основі МСЕ. Було встановлено, що максимальне збільшення товщини днища відбувається після підсадки у діапазоні 15...20 %. Макроструктурний аналіз осьових дефектів днищ з різним ступенем підсадки дозволив встановити, що максимальна товщина стінки днища набирається після підсадки на 15 %. Підсадка сферичного днища більш ніж на 15 % по висоті призводить до зменшення глибини лунки осьової зони, але при цьому збільшується її діаметр, що призводить до появи розтягувальної радіальної компоненти напружень і, як наслідок, розтягування неметалевих включень.

7. Узагальнено дані теоретичних і експериментальних досліджень для проектування і впровадження нових технологічних процесів ротаційного обкочування ІТ із застосуванням операції підсадки сферичного днища. Розроблено практичні рекомендації та методика для обкочування та підсадки днищ. Встановлено, що для бездефектного обкочування днищ ІТ доцільно використовувати відносну подачу трубною заготовки в ІТ величиною 0,925 з підсадкою 15 ... 20 %.

8. Апробовані та впроваджені у НДІ «УкрНДІМеталургмаш» та на ПрАТ «НКМЗ» новий технологічний процес ротаційного обкочування із застосуванням підсадки сферичного днища плоским інструментом. Виготовлені вироби відповідали технічним умовам замовника. Для нових технологічних процесів обкочування підвищено якість осьової зони днища. Отримані результати металографічних досліджень підтверджують високу ефективність схеми обкочування днищ з підсадкою на заварювання внутрішніх дефектів. Менше ніж 6 % отриманих днищ перевищують вимоги стандарту за розмірами внутрішніх дефектів. Нові технологічні процеси обкочування підвищили якість продукції, що випускається, за рахунок підвищення щільності металу осьової зони днища, що забезпечило зниження браку на 20...30 %. Механічні властивості деталей підвищилися в середньому на 9...14 %. Запропоноване технічне рішення захищені патентами України (№ 86619, 116546).

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1 Шевцов С. О. Удосконалення технології виробництва днищ балонів на основі обкочування інструментом тертя з підсадкою : монографія /

С. О. Шевцов, О. Є. Марков, О. М. Кулік. – Краматорськ : ДДМА, 2018. – 128 с. ISBN 978-966-379-836-3.

2 Особливості процесу виготовлення пустотілих поковок з буртом та фланцем / О. Є. Марков, М. С. Косилов, О. В. Герасименко, С. О. Шевцов // *Mechanics and Advanced Technologies*. – Київ : КПІ, 2017. – № 2. – С. 85–91. – DOI: <http://dx.doi.org/10.20535/2521-1943.2017.80.109575>

3 Аналіз формозміни та деформованого стану пустотілої ступінчастої поковки в процесі розкочування / О. Є. Марков, М. С. Косилов, О. В. Герасименко, С. О. Шевцов // *Mechanics and Advanced Technologies*. – Київ : КПІ, 2017. – № 3. – С. 47–53. – DOI: <http://dx.doi.org/10.20535/2521-1943.2017.81.115224>

4 Паламарчук В. О. Аналіз роботи деформування заготовок при ротаційній обкатці інструментом тертя / В. О. Паламарчук, С. О. Шевцов // *Совершенствование процессов и оборудования обработки давлением в металлургии и машиностроении : межвузовский тематический сборник научных трудов*. – Краматорск : ДГМА, 1998. – Вып. № 4. – С. 310–312.

5 Кулик А. Н. Распределение деформаций при экспериментальном исследовании ротационной обкатки трубчатых заготовок / А. Н. Кулик, С. А. Шевцов, Т. А. Кулик // *Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в машинобудуванні і металургії : тематичний збірник наукових праць*. – Краматорськ – Слов'янськ : ДДМА, 2000. – С. 339–341.

6 Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния при закатке сварных швов трубных заготовок для их последующей ротационной обкатки / А. Н. Кулик, С. А. Дмитриев, А. А. Сытник, С. А. Шевцов // *Обработка металлов тиском : збірник наукових праць*. – Краматорськ : ДДМА, 2013. – № 2 (35). – С. 39–42.

7 Упрочнение баллонов обкаткой тремя роликами / В. В. Пастернак, А. Н. Кулик, А. В. Послушник, С. В. Капорович, С. А. Шевцов, Т. А. Кулик // *Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні : тематичний збірник наукових праць*. – Краматорськ : ДДМА, 2000. – С. 375–378.

8 Численное математическое моделирование распределений напряжений и деформаций при поперечном выдавливании осесимметричных деталей с относительно тонким фланцем / С. А. Шевцов, С. В. Капорович, Л. И. Алиева, Д. Ю. Михеенко // *Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні : тематичний збірник наукових праць*. – Краматорськ – Хмельницький : ДДМА, 2002. – С. 86–90.

9 Завгородний Д. В. Методы расчета напряжений и деформаций при правке труб изгибом / Д. В. Завгородний, С. В. Новоселов, С. А. Шевцов // *Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні*. – Краматорськ – Слов'янськ : ДДМА, 2003. – С. 91–94.

10 Колесников С. А. Температурное поле остывающей цилиндрической поковки / С. А. Колесников, А. Н. Обухов, С. А. Шевцов // *Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні : тематичний збірник наукових праць*. – Краматорськ : ДДМА, 1999. – С. 124–126.

11 Исследования процесса поперечной прокатки осесимметричных ребристых металлоизделий / С. В. Капорович, С. А. Шевцов, А. В. Гуцин, О. Ю. Неня // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні : тематичний збірник наукових праць. – Краматорськ : ДДМА, 2005. – С. 146–150.

12 Моделирование энергосиловых параметров процесса горячей прокатки сварных швов на основе метода верхней оценки / Ю. К. Доброносков, С. А. Дмитриев, Е. А. Воротникова, С. А. Шевцов // Обробка металів тиском : збірник наукових праць. – Краматорськ : ДДМА, 2011. – № 4 (29). – С. 38–43.

13 Михеенко Д. Ю. Математическое моделирование деформированного состояния металла при прокатке с затеканием в щелевой паз / Д. Ю. Михеенко, А. А. Иванов, С. А. Шевцов // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні : тематичний збірник наукових праць. – Краматорськ : ДДМА, 2008. – С. 284–287.

14 Автоматизированное проектирование рабочих роликов косовалковых машин для правки труб различного сортамента / Завгородний В. Г., С. А. Шевцов, Д. В. Завгородний, С. В. Чемерис // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні : тематичний збірник наукових праць. – Краматорськ : ДДМА, 2003. – С. 210–214.

15 Колесников С. А. Разработка, исследование и совершенствование новых конструкций механизмов изменения модуля жесткости рабочих клетей прокатных станов / С. А. Колесников, В. Н. Гойда, С. А. Шевцов // Совершенствование процессов и оборудования обработки давлением в металлургии и машиностроении : межвузовский тематический сборник научных трудов. – Краматорск : ДГМА, 1998. – Выпуск № 4 – С. 138–142.

16 Моделивання деформованого стану східчастих пустотілих поковок в процесі розкочування / М. С. Косилов, О. Є. Марков, О. В. Герасименко, С. О. Шевцов // Вісник національного технічного університету «ХПІ». – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 35 (1257). С. 25–29. – (Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії).

17 Математическое моделирование энергосиловых параметров при холодной прокатке относительно толстых листов и полос / М. Я. Бровман, С. А. Шевцов, М. Е. Кокотько, А. А. Сатонин // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні : тематичний збірник наукових праць. – Краматорськ : ДДМА, 2001. – С. 492–498.

18 Математическое моделирование энергосиловых параметров при разделении металлопроката дисковыми пилами / Ищенко А. А., Шпак В. И., А. В. Послушник, С. В. Капорович, С. А. Шевцов, А. В. Левит // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в машинобудуванні і металургії : тематичний збірник наукових праць. – Краматорськ – Слов'янськ : ДДМА, 2000. – С. 103–106.

19 Пат. 86619 Україна, МПК (2014.01) B21D 51/00. Спосіб виготовлення корпусів балонів / Сатонін О. В., Кулік О. М., Дмитрієв С. А., Шевцов С. О. – № u201306940; заявл. 03.06.2013; опубл. 10.01.2014, бюл. № 1.

20 Пат. 116546 Україна, МПК (2017.01) В 21 J 5/00. Спосіб виготовлення порожнистих тонкостінних поковок / О. Є. Марков, В. М. Злигорєв, А. О. Шарун, А. В. Коляденко, Г. О. Овсяннікова, С. О. Шевцов – № u201612412 ; заявл. 06.12.2016 ; опубл. 25.05.2017, Бюл. № 10. – 4 с.

21 Завгородній Д. В. Розробка рекомендацій із удосконалення та програмних засобів з автоматизованого проектування технологій та обладнання для виправлення труб і трубних заготовок на косовалкових правильних машинах / Д. В. Завгородній, С. О. Шевцов, В. Г. Завгородній // Розвиток методів розрахунку удосконалення технологій та обладнання процесів обробки металів тиском : матеріали науково-практичної конференції, присвяченої пам'яті В. Ф. Потапкіна. – Краматорськ : ДДМА, 2007. – С. 38.

22 Перспективы развития оборудования для промышленного производства осесимметричных металлоизделий / С. В. Капорович, С. А. Шевцов, О. Ю. Неня, А. А. Иванов // Розвиток методів розрахунку удосконалення технологій та обладнання процесів обробки металів тиском : матеріали науково-практичної конференції, присвяченої пам'яті В. Ф. Потапкіна. – Краматорськ : ДДМА, 2007. – С. 43.

23 Розробка нових заготовок для поковок відповідального призначення / О. Є. Марков, О. В. Герасименко, М. С. Косілов, С. О. Шевцов // Перспективні технології, матеріали та обладнання у ливарному виробництві : матеріали VI Міжнародної науково-технічної конференції, 25–28 вересня 2017 р.– Краматорськ : ДДМА, 2017. – С. 88 – 89.

24 Паламарчук В. О. Побудова робочої поверхні інструмента тертя для обкочування трубчатих заготовок в системі автоматизованого проектування DELCAM POWERSHAPE / В. О. Паламарчук, С. О. Шевцов // Матеріали XXXVII Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції «Вітчизняна наука на зламі епох: проблеми та перспективи розвитку» : зб. наук. праць. – Переяслав-Хмельницький, 2017. – Вип. 37. – С. 399–402.

25 Паламарчук В. О. Використання статистичних методів у підготовці студентів напряму «Інформаційні технології проектування (ІТП)» / В. О. Паламарчук, С. О. Шевцов // Інноваційні педагогічні технології у підготовці майбутніх фахівців з вищою освітою: досвід, проблеми, перспективи : матеріали міжнародної науково-методичної інтернет-конференції. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – Розділ 5.

26 Паламарчук В. О. Комплексное применение методов математической статистики в подготовке студентов направления «Информационные технологии проектирования» / В. О. Паламарчук, С. О. Шевцов, Н. С. Грудкина // Качество образования: управление, сертификация, признание : сборник научных работ международной научно-методической конференции. – Краматорск : ДГМА, 2013. – С. 107–110.

27 Шевцов С. О. Математичне моделювання та оптимізація режимів зварювання електродами, котрі покрито екзотермічною сумішшю / С. О. Шевцов, Д. А. Волков // Математика у технічному університеті ХХІ сторіччя : збірник наукових праць за матеріалами дистанційної всеукраїнської наукової конференції. – Краматорск : ДДМА, 2017. – С. 281–283.

Додатково наукові результати дисертації відображені у роботах:

28 Разработка новых заготовок для поковок ответственного назначения / О. Е. Марков, А. В. Герасименко, М. С. Косилов, С. А. Шевцов // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. – Краматорськ : ДДМА, 2017. – № 2 (41). – С. 124–130.

29 Волков Д. А. Выбор оптимальных режимов сварки электродами с экзотермической смесью в покрытии / Волков Д. А., А. Ф. Власов, С. А. Шевцов // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. – Краматорськ: ДДМА, 2016. – № 2 (38). – С. 58–69.

Особистий внесок автора в роботах, опублікованих у співавторстві:

[1] – розробка комплексного підходу дослідження процесів обкочування та методів їх моделювання; [2, 3] – визначення раціональних значень основних геометричних параметрів деформувального інструменту; [4–6] – дослідження впливу обкочування на розподіл деформацій та напружень; [7] – дослідження формозмінення заготовки при обкочуванні роликами; [8, 9, 11–13] – розробка методики дослідження; [10] – розробка математичного апарату дослідження; [14] – розробка алгоритму проектування; [15] – розрахунок жорсткості обладнання та деформуючого інструменту; [16, 28] – розробка методики моделювання; [17, 18] – проведення математичного моделювання; [19, 20] – обґрунтування нових способів деформування; [21] – розробка алгоритмів; [22] – аналіз літературних даних; [23, 24] – розробка концепції проектування нових заготовок та інструменту; [25, 26] – статистична обробка отриманих результатів; [27] – оптимізація режимів зварювання; [29] – оптимізаційні розрахунки.

АНОТАЦІЯ

Шевцов С. О. Удосконалення технології виробництва балонів на основі комбінування ротаційного обкочування інструментом тертя з підсадкою днища. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.05 – процеси та машини обробки тиском. – Донбаська державна машинобудівна академія, Краматорськ, 2018.

Дисертація спрямована на вирішення актуальної науково-технічної задачі удосконалення технологічних процесів виготовлення днищ балонів на основі комбінування обкочування та підсадки сферичних днищ інструментом тертя, які забезпечують отримання якісних пустотілих виробів з високою суцільністю стінки днища.

Методом скінчених елементів проведено моделювання процесів обкочування та підсадки сферичних днищ, яке дозволило встановити ефективну геометрію оброблюваних заготовок, температуру нагрівання, величину подачі і ступінь підсадки днища.

Розроблено методику та рекомендації проектування технологічних процесів обкочування та підсадки днищ, які полягають у визначенні товщини стінки заготовки перед деформацією, температури нагріву заготовок, визначенні величини подачі і ступеня підсадки сферичного днища. Отримані рекомендації підт-

верджені у виробничих умовах. Обкочування та підсадку сферичних днищ слід проводити для труб з відносною товщиною стінки (D/s) в діапазоні 15 ... 20, гомологічна температура нагріву повинна становити 0,8, відносна подача заготовки в інструмент 0,925, а ступінь підсадки днища 15 ... 20%.

Апробація отриманих співвідношень в виробничих умовах підтвердила отримані рекомендації з формозміни сферичних днищ у процесі обкочування та підсадки інструментом тертя.

За результатами досліджень була впроваджена нова технологія ротаційного обкочування та підсадки сферичних днищ інструментом тертя. В результаті знизився брак на 20 ... 30 % і підвищилися механічні властивості стінки днища на 9 ... 14%. Встановлені в роботі рішення розширили технологічні можливості процесу ротаційної обкочування днищ і підвищили їх якість.

Ключові слова: обкочування, підсадка, сферичне днище, інструмент тертя, подача, ступінь підсадки, температура нагріву, напружено-деформований стан, метод скінчених елементів.

АННОТАЦИЯ

Шевцов С. А. Совершенствование технологии производства баллонов на основе комбинирования ротационной обкатки инструментом трения с подсадкой днища. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.03.05 – процессы и машины обработки давлением. – Донбасская государственная машиностроительная академия, Краматорск, 2018.

Диссертация направлена на решение актуальной научно-технической задачи совершенствования технологических процессов получения днищ баллонов на основе комбинирования обкатки и подсадки сферических днищ инструментом трения, которые обеспечивают получение качественных пустотелых изделий с высокой сплошностью стенки днища.

Методом конечных элементов проведено моделирование процессов обкатки сферических днищ, которое позволило установить эффективную геометрию обрабатываемых заготовок, температуру нагрева, величину подачи и степень подсадки днища.

Разработаны методика и рекомендации проектирования технологических процессов обкатки и подсадки днищ, которые заключаются в определении толщины стенки заготовки перед деформированием, температуры нагрева заготовок, определении величины подачи и степени подсадки сферического днища. Полученные рекомендации подтверждены в производственных условиях. Обкатку и подсадку сферических днищ следует производить из труб с относительной толщиной стенки (D/s) в диапазоне 15...20, гомологическая температура нагрева должна составлять 0,8, относительная подача заготовки в инструмент 0,925, а степень подсадки днища 15 ...20 %.

Апробація отриманих співвідношень в виробничих умовах підтвердила отримані рекомендації по формоизменению сферических днищ в процессе обкатки и подсадки инструментом трения.

По результатам исследований была внедрена новая технология ротационной обкатки и подсадки сферических днищ инструментом трения. В результате снизился брак на 20...30 % и повысились механические свойства стенки днища на 9...14 %. Установленные в работе решения расширили технологические возможности процесса ротационной обкатки днищ и повысили их качество.

Ключевые слова: обкатка, подсадка, сферическое днище, инструмент трения, подача, степень подсадки, температура нагрева, напряженно-деформированное состояние, метод конечных элементов.

ABSTRACT

Shevtzov S. O. Improvement of production technology of balloons on the basis of a combination of rotational spinning by a friction tool with bottom upsetting. – Manuscript.

Dissertation for the candidate of technical science degree, specialty 05.03.05 – Processes and Machines of plastic working. Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk, 2018.

The dissertation is directed on the solution of the actual scientific and technical task of improving the technological processes of manufacturing bottoms of balloons on the basis of combining the spinning and upsetting of spherical bottoms by a friction tool, which ensure the receipt of high-quality hollow products with high continuity of a bottom wall.

The simulation of the processes of spinning and upsetting of spherical bottoms carried out by of finite elements method, which made it possible to establish an effective geometry of the processed workpieces, the temperature of the heating, the size of the feed and the degree of bottom upsetting.

The methodology and recommendations for designing of technological processes for spinning and upsetting the bottoms, which consist in determining the thickness of workpiece wall before deformation, the heating temperature of the workpieces, the determination of the feed magnitude and the degree of upsetting the spherical bottom, is developed. The received recommendations are confirmed in the production conditions. The spinning and upsetting of spherical bottoms should be made from pipes with a relative wall thickness (D/s) in the range of 15 ... 20, the homo-heating temperature should be 0,8, the relative feed workpiece to the tool 0,925, and the degree of upsetting of the bottom 15 ... 20 %.

Approbation of the obtained relations in the production conditions confirmed the received recommendations on the modification of spherical bottoms in the process of spinning and upsetting by friction tool.

According to the results of the research, a new technology of rotational spinning and upsetting of spherical bottoms by friction tool was introduced. As a result, the gap was reduced by 20 ... 30% and the mechanical properties of the bottom wall were increased by 9 ... 14%. The solutions established in the work have expanded the technological capabilities of the rotational spinning of the bottoms and increased their quality.

Keywords: spinning, upsetting, spherical bottom, friction tool, feed, degree of upsetting, heating temperature, stress-strain state, finite element method.

Підп. до друку 5.10.18 Формат 60×84/16.
Ум. друк. арк. 1,4. Обл.-вид. арк. 1,82.
Тираж 100 пр. Зам. № 57.

Видавець і виготівник
Донбаська державна машинобудівна академія
84313, м. Краматорськ, вул. Академічна, 72.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК №1633 від 24.12.2003