

До спеціалізованої вченої ради Д.12.105.01  
Донбаської державної машинобудівної  
академії, м. Краматорськ

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертацію

**Шевцова Сергія Олександровича**

**«Удосконалення технології виробництва балонів на основі комбінування  
ротаційного обкочування інструментом тертя з підсадкою днища»,**

подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук  
за спеціальністю 05.03.05 – процеси та машини обробки тиском

### Оцінка структури, змісту і завершеності дисертації

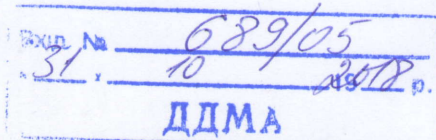
В результаті ознайомлення з рукописом дисертації встановлено, що вона складається з вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Вона викладена на 223 сторінках машинописного тексту, з яких 151 сторінка основного тексту. Робота містить 74 рисунків (з них 10 рисунків на окремих сторінках) і 7 таблиць (з них 3 таблиці на окремих сторінках). Список використаних джерел з 214 найменувань розміщено на 27 сторінках, додатки займають 14 сторінок.

Структура роботи відповідає вимогам, що пред'являють до кандидатських дисертацій, та не викликає заперечень. Дисертація виконана у Донбаській державній машинобудівній академії (ДДМА) та є завершеною науковою працею.

### Експертиза змісту розділів дисертації

Вступ містить загальну характеристику роботи, обґрунтування актуальності теми, 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.

**Перший розділ** містить літературний огляд сучасних підходів до проектування й удосконалення технологічних процесів виготовлення днищ балонів. Автор вивчив теоретичні й експериментальні методи дослідження процесів обкочування трубних заготовок; порівняв методи ротаційного й тангенціального обкочування трубної заготовки інструментом тертя; розглянув перспективи розвитку технологій і оснащення ротаційного обкочування днищ інструментом тертя. У результаті літературного огляду підтверджено народногосподарчу потребу в одержанні виробів із дном та необхідність встановлення закономірностей впливу розмірів заготовки й термомеханічних режимів деформування на характеристики напружено-деформований стан металу заготовки в процесі ротаційного обкочування інструментом тертя.





**Другий розділ** містить методики досліджень технологічних процесів обкочування труб інструментом тертя для формування днищ. Розглянуто методику теоретичного дослідження механізму закриття отвору труби при ротаційному обкочуванні. У якості теоретичних методів обрані енергетичний метод, метод оболонки і метод скінчених елементів. За основний теоретичний метод дослідження обрано метод скінчених елементів (МСЕ). У розділі викладені основні положення МСЕ. На формозміну трубної заготовки в процесі обкочування інструментом тертя впливають співвідношення розмірів вихідної заготовки, режими обкочування. Проведено планування математичного експерименту. Була розроблена методика дослідження процесу тангенціального обкочування трубної заготовки інструментом тертя. Обрано основні фактори, що впливають на формозміну заготовки в процесі деформації: відносна товщина стінки заготовки, подача заготовки в інструмент тертя та початкова температура нагрівання труби.

Достовірність отриманих теоретичних результатів перевірялася експериментальними дослідженнями, для чого була розроблена спеціальна методика досліджень. 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.

**Третій розділ** містить побудову математичних моделей, пов'язаних з НДС днища балону та температурного режиму під час формоутворення. Розв'язок цих задач дав можливість звузити межі для проведення подальших чисельних та експериментальних досліджень. Аналіз НДС проводився, з використанням методу оболонки та енергетичного методу. Розв'язок проводився відносно функцій переміщення металу, котрі визначаються за рахунок відомої геометрії днища після деформації, це дало змогу знизити порядок диференціальних рівнянь.

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. Була визначена наближена формула для верхньої межі сили деформування та усереднене значення нормального контактного напруження.

Аналіз температурного режиму проводився на основі рівняння теплопровідності. Ця залежність дає змогу визначати: час розігрівання днища балону до температури пластичної деформації в наслідок тертя між заготовкою та інструментом тертя, в залежності від початкової температури заготовки та з кутовою швидкістю  $\omega$  обертання заготовки, а також граничну температуру процесу деформації.



**Четвертий розділ** містить вивчення впливу геометрії заготовки й температурних режимів на формозміну й деформований стан металу заготовки. Для адекватної оцінки механізму закриття отвору днища розрахований показник напруженого стану металу заготовки, який враховує ступінь заварювання отвору днища залежно від різної товщини стінки та подачі заготовки в інструмент тертя при різних початкових температурах обкочування. Встановлено, що збільшити ступінь закриття отвору в днищі можна за рахунок збільшення подачі заготовки в інструмент тертя.

Встановлено НДС металу днища при реалізації комбінованого процесу обкочування та підсадки. 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 лунки днища та зменшення її глибини. Підсадка призводить до збільшення товщини стінки днища.

Встановлено, що осьова сила оформлення сферичного днища стрімко зростає, при цьому відбувається зниження радіальної та тангенціальної компонент сили обкочування. У процесі підсадки закономірності сили від ступеня деформації мають лінійну залежність. Підсадка днища характеризується лінійним збільшенням крутного моменту при підвищенні ступеня обтискання.

На підставі аналізу результатів теоретичного дослідження напружено-деформованого стану металу труби й механізму формування сферичного днища була обрана схема, у якій відбувався повне закриття отвору днища в порівнянні з іншими способами ротаційного обкочування. Отримані результати дозволили обрати дану схему для подальшого експериментального дослідження.

**П'ятий розділ** містить експериментальну перевірку впливу основних параметрів процесу деформування на формозміну заготовки в ході обкочування труб інструментом тертя, а також достовірності отриманих теоретичних результатів на сталевих заготовках. Було встановлено, що основний параметр, який впливає на закриття отвору днища при обкочуванні – це величина подачі.

Результати експериментальних досліджень підтвердили дані 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 інструментом тертя 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 при підсадці на 15 %.



Розділ містить рекомендації й методику для проектування технологічних процесів обкочування та підсадки днищ трубних заготовок інструментом тертя. Використовуючи розроблені рекомендації з процесу обкочування та підсадки днищ на трубних заготовках без оправки були розроблені нові технологічні процеси й проведена апробація у виробничих умовах.

У кожному розділі наведено висновки, а **загальні висновки** у повній мірі відбивають підсумок всієї роботи. У **додатках** наведені результати статистичної обробки у експериментальних дослідженнях та акти впровадження. Результати роботи впроваджені на ПАТ «Новокраматорський машинобудівний завод», НДІ «УкрНДІМеталургмаш», використані у науково-дослідних роботах та навчальному процесі ДДМА. Текстова частина роботи добре проілюстрована розрахунковими схемами, графіками, фотографіями, довідковий та узагальнюючий матеріал наведений у таблицях.

На основі проведеної експертизи слід констатувати наявність наступних необхідних елементів у роботі.

#### **Актуальність теми дисертації**

Основні існуючі методи виробництва пустотілих циліндрів із дном передбачають приварку дна до трубних заготовок. Отримані даним способом деталі не гарантують суцільності металу дна й корпусу труби, що знижує механічні властивості металу деталі в зоні зварного шва.

Розширення технологічних можливостей і підвищення техніко-економічних показників процесів виготовлення днищ балонів вимагає розробки нових схем деформування. Автором у дисертаційній роботі запропоновано новий прогресивний спосіб виготовлення днищ балонів обкочуванням та підсадкою. У сучасній теорії й практиці з обробки металів тиском відсутні наукові основи проектування процесів і практичні рекомендації для обкочування сферичних днищ з підсадкою днища. Це унеможлиблює розробку ресурсозберігаючих процесів виготовлення пустотілих виробів з дном. У зв'язку з цим необхідність розробки науково обґрунтованої методики проектування нових технологічних процесів обкочування інструментом тертя днищ балонів, з метою розширення технологічних можливостей і підвищення техніко-економічних показників, представляє значний науковий і практичний інтерес і підтверджує актуальність теми дисертаційної роботи.

#### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами**

Дисертаційна робота відповідає пріоритетному напрямку розвитку науки і техніки «Новітні ресурсозберігаючі технології в енергетиці, промисловості та агропромисловому комплексі» 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 фор-



мування» (МПФ) Донбаської державної машинобудівної академії (ДДМА). Робота виконана в рамках держбюджетних науково-дослідних робіт ДДМА, за планами Міністерства освіти і науки України (0108U010041, 0112U006709, 0118U003047), при виконанні яких автор брав участь як виконавець.

### **Ступінь обґрунтованості і достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій**

Вирішення поставлених задач проводилося з використанням сучасних методів теоретичних і експериментальних досліджень. Теоретичні дослідження реалізовані на основі МСЕ, при чому для оцінки напружено-деформованого стану металу при обкочуванні та підсадці інструментом тертя використаний програмний пакет «DEFORM 3D», який добре себе зарекомендував у дослідженнях процесів обробки металів тиском. Формозміну заготовки у процесі обкочування та при підсадці визначали експериментом у лабораторних та виробничих умовах на сталевих заготовках. Для проведення математичних експериментів використовували методику планування експерименту, а для обробки експериментальної інформації застосовували статистичну обробку за стандартної методикою. Основні результати теоретичних та експериментальних досліджень підтверджені їх перевіркою та використанням у виробничих умовах. Вищевикладене дає змогу констатувати, що сформульовані у дисертаційній роботі основні наукові положення, моделі та висновки, а також практичні рекомендації і методики є достатньо обґрунтованими, достовірними і адекватними.

### **Наукова новизна результатів дисертації**

Наукова новизна роботи вбачається в наступному:

– Вперше з використанням теоретичного дослідження МСЕ визначена температура нагрівання пустотілої заготовки, що забезпечує потрібну температуру у процесі ротаційного обкочування та підсадки для зварювання отвору днища.

– Вперше встановлено механізм формування НДС у процесі обкочування сферичних днищ інструментом тертя для різних товщин стінок, подачі, температури нагрівання пустотілої заготовки, в результаті встановлений рівень стискаючих напружень, що дало можливість кількісно оцінити закриття отвору днища та встановити раціональні режими ротаційного обкочування.

– Вперше доведено залежності впливу ступеня підсадки сферичного днища інструментом тертя на НДС, енергосилові показники та ступінь зварювання стінок днища, що дозволило визначити ефективні технологічні параметри підсадки.

– Отримали подальший розвиток залежності формоутворення днища балонів після обкочування та підсадки в залежності від подачі, товщини стінки, температури нагрівання та ступеня підсадки, які дозволили удосконалити процес деформування з забезпеченням зварювання отвору днища.



## **Значення дисертаційного дослідження для науки й практики**

Отримані результати дозволили визначити границі застосування нового способу обкочування та підсадки сферичних днищ, на основі отриманих закономірностей формозміни, напружено-деформованого стану та механізму закриття отвору днища при обкочуванні труб.

Практичне значення роботи представляють наступні результати:

- новий спосіб виготовлення днищ балонів, що розширює технологічні можливості процесу ротаційного обкочування;
- методика проектування технологічних процесів ротаційного обкочування, що полягає у визначенні подачі заготовки в інструмент тертя перед обкочуванням та підсадкою в залежності від відносної товщини стінки труби;
- нові технологічні процеси та термомеханічні режими деформування для обкочування сферичних днищ з підсадкою, що дозволяють заварити отвір трубної заготовки.

Ефективність від впровадження нових технологічних процесів обкочування днищ з підсадкою підтверджено актами впровадження на ПрАТ «Новокраматорський машинобудівний завод» та НДІ «УкрНДІМеталургмаш». Науково-практичні розробки, виконані в дисертації, використовуються на кафедрах ОМТ та МПФ ДДМА при вивченні спеціальних дисциплін, а також при виконанні студентами спеціальності «Обробка металів тиском» та «Обладнання та технології пластичного формування конструкцій машинобудування» курсових, дипломних проєктів і магістерських робіт.

## **Рекомендації щодо використання результатів дисертації**

Для використання у промисловості можна рекомендувати температурні та механічні режими обкочування, переходи технологічних процесів. На практиці доцільно застосовувати ефективні технологічні рекомендації для гарантованого заварювання отвору днища на етапі проектування технологічного процесу виготовлення днищ балонів та корпусів циліндрів амортизаторів та інших пустотілих виробів, які мають днище. Розробки будуть корисними науководослідним на навчальним організаціям, з точки зору використання у науковій, дослідній або освітній діяльності.

## **Повнота викладу наукових результатів у публікаціях автора**

Наукові результати, винесені на захист, викладені 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.

Статті містять всі необхідні складові частини, такі як: стан питання, формулювання мети роботи, наведення отриманих результатів та висновки по ро-



боті. Особистий внесок автора визначено у кожній з праць, що опубліковано у співавторстві, що свідчить про достатньо повне відображення сутності результатів дослідження у періодичних виданнях. Автореферат роботи цілком відбиває її зміст.

### **Апробація результатів дисертаційної роботи**

Основні положення роботи, наукові й практичні результати доповідалися більш ніж на 10 міжнародних науково-технічних конференціях: у ДДМА м. Краматорськ; НТТУ «ХП» м. Харків; м. Вінниця, м. Переяслав-Хмельницький, а також на щорічних наукових семінарах і об'єднаному науковому семінарі з обробки металів тиском ДДМА (м. Краматорськ).

Матеріали дисертації були використані у 3 держбюджетних науково-дослідних роботах.

### **Відповідність структури, змісту й оформлення дисертації встановленим вимогам і змісту автореферату основним положенням дисертації**

Назва роботи відповідає обраній спеціальності й сутності розв'язуваної задачі. Мета роботи й завдання досліджень є логічно обґрунтованими. Структура роботи, обсяг її окремих частин відповідають вимогам, що висувають до кандидатських дисертацій в Україні. Дисертаційна робота має всі необхідні розділи, які достатньо повно розкривають проведені автором дослідження – від ґрунтовного аналізу існуючих теоретичних та технічних рішень обкочування сферичних днищ з підсадкою до практичних рекомендацій і впровадження результатів у виробництво. Дисертацію написано грамотною технічною мовою та добре оформлено: кількість та якість ілюстративного матеріалу досить докладно пояснює основний текст роботи. Наукові положення й результати роботи не суперечать сучасним науковим досягненням у галузі науки та техніки.

Автореферат дисертації повністю відповідає змісту роботи і розкриває усі аспекти досліджень, виконаних автором.

### **Зауваження до дисертації та автореферату**

1. В першому розділі критичний огляд літературних джерел хоч і містить сучасних розробок з деформування трубчастих заготовок, але є досить перевантаженим аналізом досліджень, які проводилися у 70–80-ті роки минулого сторіччя (наприклад, це майже всі джерела №№ [48–78], [85–92], [98–169]). Але, на мій погляд, слід було б виділити та зосередитись на саме сучасних тенденціях розвитку теорії та технології процесів обкочування, які розвиваються у теперішній час.

2. У першому (оглядовому) або останньому розділі (як результат розробки) слід було б навести типові вироби та їх класифікацію, для яких доцільно використовувати обкочування та підсадку сферичних днищ. При цьому, у роботі виконані дослідження деформування заготовок із різною товщиною стінки: «товстостінні», «середньостінні» та «тонкостінні». Таке умовне розділення потребує



роз'яснень за механізмами формування виробу при обкочуванні, що у роботі не виконано.

3. У дисертації, при моделюванні, використовується параметр – відносна подача заготовки в інструмент тертя. Слід зазначити, що урахування цього параметру слід було б ув'язати з принципами зміщеного об'єму та розраховувати таким чином параметр логарифмічних ступенів деформації заготовок при підсадці, що є важливим для вибору температурних режимів і забезпечення умов отримання якісної структури металу.

4. На стор. 96 (третій розділ роботи) автор стверджує, що при дотриманні рекомендацій з використання умови Сен-Венана можна отримати занижені значення напружень на 20...30 %. Але не зрозуміло, з чим саме порівнює результати автор: або з іншими теоретичними рішеннями (на основі умов Мізеса, В.В. Соколовського та ін.), або з результатами експерименту, що було б більш коректно, але експериментальні дослідження було проведено пізніше – у п'ятому розділі, тому таке ствердження не є обґрунтованим.

5. У роботі не вказано, ізотермічні або неізотермічні умови обкочування приймали при дослідженні процесів з використанням методу оболонки.

6. Нові схеми обкочування трубних заготовок супроводжуються збільшенням товщини стінки днища, що потребує видалення значної кількості металу при механічній обробці. Тому доцільно, для оцінки ефективності запропонованого способу у порівнянні з базовою технологією обкочування, було б враховувати такі втрати металу при розрахунку коефіцієнту використання матеріалу.

7. У підрозділі 3.3 роботи (на стор. 117-125) розглянуто лише теплову задачу, яка пов'язана з розігрівом металу інструментом тертя. Але обробці піддають нагріті умовно тонкостінні заготовки, процес деформування яких супроводжується також інтенсивним підстигиванням матеріалу, у тому числі, за рахунок контактування заготовки з інструментом, потрібно було б враховувати, особливо при деформуванні хромонікелевих сталей.

8. У підрозділі 4.1, при проведенні скінчено-елементного моделювання температурних та деформаційних режимів обробки трубчастих заготовок інструментом тертя, як і при описі методики моделювання (підрозділ 2.1), не вказано, який матеріал приймали для інструменту, що має суттєвий вплив на граничні умови та умови теплопередачі.

9. У роботі не розглянуто умови втрати стійкості стінок заготовки при деформуванні комбінованим ротаційним обкочуванням з підсадкою днища.

10. У роботі не приділено увагу вибору засобів первинного нагріву трубчастих заготовок перед деформацією.

11. В якості зауваження з оформлення роботи слід відзначити те, що автор по тексту дисертації використовує для ідентифікації параметру товщини стінки заготовки різні символи ( $s$ ,  $S$ ,  $h$ ,  $h_0$ ), що утруднює сприйняття формул та проведення розрахунків.



## Загальний висновок

Дисертаційна робота Шевцова Сергія Олександровича «Удосконалення технології виробництва балонів на основі комбінування ротаційного обкочування інструментом тертя з підсадкою днища» є самостійною завершеною науковою працею на актуальну тему, у якій, на основі виконаних автором досліджень, отримані нові науково-технічні результати з проектування й удосконалення процесів ротаційного обкочування та підсадки сферичних днищ й на базі цього вирішені актуальні завдання, що розширюють технологічні можливості й підвищують техніко-економічні показники процесів виготовлення днищ балонів та схожих виробів.

Зазначені зауваження не зачіпають суті виконаної дисертації, а тому вони не знижують її загальної позитивної оцінки. Це дозволяє оцінити роботу, як таку, що відповідає вимогам «Положення про порядок присудження вчених ступенів і присвоєння вчених звань» МОН України, що пред'являються до кандидатських дисертацій.

На підставі викладеного вище аналізу можна зробити загальний висновок, що дисертаційна робота Шевцова Сергія Олександровича відповідає вимогам, які висувають до кандидатських дисертацій, а її автор заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.05 – процеси та машини обробки тиском.

## **Офіційний опонент**

Завідувач кафедри обробки металів тиском  
Державного вищого навчального закладу  
«Приазовський державний технічний університет»,  
доктор технічних наук, професор

**Кухар Володимир Валентинович**

*Лідис Кухар В.В.*

ЗАСВІДЧУЮ  
НАЧ. ЗАГАЛЬНОГО  
ВІДДІЛУ  
*Знач Т. О.*



*18.10.2018*