

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

**ВІДГУК**

офіційного опонента на дисертацію

**Злигорєва Віталія Миколайовича**

**«Удосконалення технологічних процесів кування крупних поковок  
на основі використання способу осадження профільованих заготовок»**,

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

**Оцінка структури, змісту і завершеності дисертації**

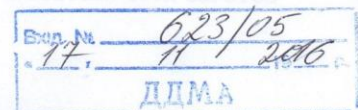
В результаті ознайомлення з рукописом дисертації встановлено, що вона складається з вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Вона викладена на 201 сторінці машинописного тексту, з яких 130 сторінок основного тексту. Робота містить 73 рисунка і 17 таблиць. Список використаних джерел з 187 найменувань розміщено на 24 сторінках, додатки займають 27 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 і планами. Поставлено мету і завдання дослідження. Дано характеристику наукової новизни й практичної цінності отриманих результатів, їх апробація і впровадження, відзначено особистий внесок здобувача.

**Перший розділ** містить літературний огляд сучасних підходів до проектування й удосконалення технологічних процесів кування крупних поковок. Автор розглянув теоретичні й експериментальні методи дослідження процесів кування крупних заготовок; розглянув тенденції розвитку металургійного виробництва спрямовані на розробку нових технологічних процесів кування крупних поковок. Завдяки проведеному літературному огляду було встановлено, що застосування процесів кування крупних поковок з осадженням злитка не гарантують отримання необхідної якості одержуваних поковок за результатами УЗК, навіть при високих коефіцієнтах уковування, за рахунок неповного заковування осьових дефектів злитків. Автор зробив висновок, що один з напрямків вдосконалення технологічних процесів кування – профілювання заготовки перед осадженням, що дозволить змінити напружено-деформований стан (НДС) заготовки в процесі осадження з метою інтенсифікації заковування осьових дефектів



злитка. На основі проведеного літературного огляду дисертант поставив мету та задачі дослідження.

**Другий розділ** містить техніку проведення теоретичних і експериментальних досліджень процесів профілювання й осадження чотирипроменевих заготовок. За основний теоретичний метод дослідження обрано метод скінчених елементів (МСЕ), покладений у програмний комплекс DEFORM 3D, використаний автором. Дослідження було розділено на два етапи: встановлення впливу процесу профілювання випуклими бойками (радіусними та з клиновим профілем) на НДС заготовки; визначення НДС заготовки в процесі осадження профілюваних чотирипроменевих заготовок. Автор удосконалив методику неруйнівного контролю вимірювання розмірів осьового дефекту для комплексної оцінки впливу процесів профілювання і осадження чотирипроменевих свинцевих заготовок на закриття внутрішніх порожнин. Достовірність отриманих теоретичних результатів перевірялася експериментальними дослідженнями, для чого була розроблена спеціальна методика досліджень.

**Третій розділ** містить вивчення впливу геометричних параметрів чотирипроменевих заготовок на НДС заготовки і заковування осьового дефекту в процесі профілювання й осадження. Було досліджено механізм заковування осьового дефекту для нових способів кування, а саме профілювання випуклими радіусними бойками з діаметром виступу  $D = \frac{D_{\text{заг}}}{4}$ ,  $D = \frac{D_{\text{заг}}}{2}$ ,  $D = D_{\text{заг}}$ ; профілювання випуклими бойками з клиновим профілем  $\alpha = 100^\circ$ ,  $\alpha = 120^\circ$ ; профілювання плоскими бойками  $\alpha = 180^\circ$ . Було досліджено НДС заготовки і заковування осьового дефекту в процесі осадження чотирипроменевих заготовок, виявлено раціональною геометрією інструменту для профілювання є випуклі бойки з клиновим профілем, які мають радіус округлення, рівний приблизно половині радіуса заготовки. Ефективна геометрія чотирипроменевої заготовки з точки зору заковування осьових дефектів при осадженні – глибина увігнутих граней  $d/D = 0,8 \dots 0,85$  і кут  $\alpha = 120^\circ$ . Заготовка з параметрами  $d/D = 0,85$  і  $\alpha = 120^\circ$  має максимальний показник жорсткості схеми напруженого стану ( $P\sigma = -9,4$ ) при ступені осадження  $\epsilon = 50\%$ . Новий технологічний процес кування передбачає послідовне застосування операцій профілювання і осадження, що в комплексі впливає на НДС в тілі заготовки і заковування осьового дефекту. Було встановлено кількісні показники зсуву осьових точок заготовки для різних кутів увігнутих граней і ступенів обтиснень, це дозволило встановити, що мінімальний зсув точок від осі заготовки (максимальне закриття осьової рихлості) забезпечує схема осадження чотирипроменевої заготовки, яка була попередньо профілювана бойками з кутом  $120^\circ$  на глибину  $10\%$ . Автор встановив закономірність зміни показника жорсткості схеми напруженого стану після осадження профілюваної заготовки в залежності від різних ступенів обтиснень при профілюванні і кутів випуклих бойків, яка дозволила зробити висновок, що збільшення глибини увігнутих граней і кутів практично прямо пропорційно зменшує показник жорсткості схеми напруженого стану в осьовій зоні заготов-

ки. Проведений аналіз отриманих результатів дозволив встановити, що формування увігнутих граней підвищує силу деформування.

**Четвертий розділ** містить експериментальні дослідження впливу профілю чотирипроменевої заготовки на її деформований стан і ступінь закриття осьових дефектів в процесі профілювання і осадження. Було встановлено, що обтиснення бойками з кутом  $120^\circ$  сприяє інтенсивному закриттю осьових дефектів та кут  $120^\circ$  є ефективним при профілюванні заготовки на чотирипроменевий переріз для заковування осьових дефектів. Отримані результати щодо закриття осьових дефектів при профілюванні відповідають теоретичним даним. Було зроблено висновок, що при збільшенні кута випуклих бойків і ступеня деформації зростає сила при профілюванні на чотирипроменевий переріз. В ході теоретичних досліджень автор прийшов до висновку, що інтенсивне закриття осьового дефекту в процесі осадження чотирипроменевої заготовки відбувається при деформації  $\epsilon > 25\%$ . Порівняння механізмів закриття осьового дефекту в процесі осадження циліндричних і чотирипроменевих заготовок дозволяє зробити висновок, що при осадженні чотирипроменевих заготовок інтенсивність заковування осьового дефекту вище, що підтверджує ефективність запропонованого нового способу осадження. Отримані результати були перевірені дослідженнями на сталевих зразках.

**П'ятий розділ** містить рекомендації з удосконалення технологічних процесів кування крупних поковок відповідального призначення. В умовах ковальсько-пресового цеху ПАТ «Новокраматорський машинобудівний завод» (ПАТ «НКМЗ») були проведені експериментальні дослідження на виробничих замовленнях, згідно яких за новою і базовою технологіями були виготовлені по 3 поковки. Відмінність нового технологічного процесу полягає в застосуванні операції профілювання заготовки двома випуклими бойками з обтисненням 300 мм (20 % від діаметра) до отримання чотирипроменевої заготовки з відстанню між увігнутими гранями 1 200 мм. Після профілювання проводилося осадження заготовки. Аналіз результатів ультразвукового контролю (УЗК) реалізованих технологічних процесів кування опорних валків із застосуванням профілювання і осадження чотирипроменевих заготовок дозволив зробити висновок, що в поковках осьових дефектів в бочці і шийках валка не виявлено, на відміну від базового технологічного процесу.

У кожному розділі наведено висновки, а **загальні висновки** у повній мірі відбивають підсумок всієї роботи. У **додатках** наведені технологічні процеси кування, висновки УЗК поковок, отриманих за базовим та новим технологічним процесом кування, акти впровадження, використання результатів та розрахунок економічного ефекту. Результати роботи впроваджені на ПАТ «НКМЗ», 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**

На сучасному виробництві в якості заготовок для кування виробів відповідального призначення використовуються злитки. Ковальські злитки характеризуються низькою якістю, викликаною наявністю литої структури і дефектами металургійного походження (осьова рихлість). Ці дефекти литої заготовки можна усунути шляхом застосування операції осадження злитка. Однак в деяких дослідних роботах вітчизняних і закордонних учених було показано, що операція осадження циліндричних заготовок не сприяє закриттю осьових дефектів ковальських злитків. Змінити напружено-деформований стан в процесі осадження можна за рахунок застосування заготовок спеціальної форми, тому до технологічного процесу кування повинна бути додана операція для профілювання ковальського злитка на спеціальний профіль. Відомий спосіб осадження заготовок, коли створюються умови формування заготовкою увігнутої бічної поверхні, що сприяє появі стискаючих напружень в осьовій зоні заготовки. Однак такий профіль заготовки операціями кування отримати складно, тому способи осадження заготовок з увігнутою бічною поверхнею не набули поширення в промисловості. Тому запропонована автором технологія, що містить попереднє радіальне обтиснення заготовки профільованими бойками та подальше осаджування профільованої заготовки, є досить перспективною з точки зору забезпечення бажаного НДС в осьовій зоні заготовки та підвищення показників якості ковального виробу.

У зв'язку з цим удосконалення технологічних процесів кування на основі застосування способу осадження профільованих заготовок для підвищення якості крупних поковок відповідального призначення за рахунок заковування осьових дефектів, запобігання утворенню поверхневих тріщин і підвищення проробки структури металу в об'ємі заготовки представляє значне наукове та практичне значення, що підтверджує актуальність теми дисертації.

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

Дисертаційна робота виконана в рамках наукового 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) ДДМА. Робота виконана в рамках науководослідних робіт (НДР) ДДМА (№ держреєстрації 0115U004735, 0115U004736), а також в рамках НДР, які проводилися на ПАТ «Новокраматорський машинобудівний завод», 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 куванні використаний програмний пакет «DEFORM 3D»,

який добре себе зарекомендував у дослідженнях процесів обробки металів тиском. Формозміну заготовки у процесі кування без оправки визначали експериментом у лабораторних умовах на свинцевих та сталевих заготовках, застосовуючи основні принципи фізичного моделювання та теорії подоби. Важливими є експерименти зі сталевими заготовками, нагрітими до ковальських температур, для оцінки формозміни та ефекту заковування осьових несучильностей. 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, алгоритми, висновки і практичні рекомендації є достатньо обґрунтованими, достовірними і адекватними.

### **Наукова новизна результатів дисертації**

Наукова новизна роботи вбачається в наступному:

- Вперше на основі метода скінчених елементів встановлені закономірності зміни розмірів осьового дефекту в процесі профілювання чотирипроменевих заготовок з різними глибинами, кутами та радіусами скруглень увігнутих граней, що дозволило встановити раціональну геометрію деформуючого інструменту для інтенсифікації закриття осьового дефекту;
- Вперше встановлені параметри напружено-деформованого стану в процесі осадження чотирипроменевої заготовки з різною глибиною і кутом увігнутих граней, що дозволило вибрати схему деформування, яка забезпечує високий рівень стискаючих напружень в осьовій дефектній зоні злитка;
- Вперше встановлені закономірності зсуву точок осьової зони заготовки при профілюванні випуклими бойками і подальшого осадження, що дозволило розробити ефективний спосіб кування крупних злитків;
- Одержали подальший розвиток уявлення про силові параметри процесу осадження профільованих на чотирипроменевий переріз заготовок, що дозволило уточнити розрахунки з вибору обладнання та режимів деформування.

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

Отримані результати дозволили визначити границі застосування нового способу кування крупних поковок відповідального призначення, виходячи з отриманих закономірностей зміни напружено-деформованого стану і параметрів заковування осьових дефектів.

Практичне значення роботи представляють наступні результати:

- запропоновано новий спосіб осадження чотирипроменевих заготовок, який підвищує якість крупних поковок відповідального призначення;
- розроблені технологічні рекомендації для проектування нових процесів кування з використанням операції осадження чотирипроменевих заготовок;
- розроблено методику проектування технологічних процесів кування крупних поковок із застосуванням операції профілювання і осадження чотирипроменевих заготовок, яка дозволяє визначити геометрію деформуючого інструменту і режими кування для максимального заковування осьових дефектів;

– розроблена нова конструкція випуклих бойків з клиновим профілем, яка підвищує рівномірність проробки структури за рахунок рівномірного розподілу деформацій та збільшує рівень стискаючих напружень в осьовій зоні заготовки при профілюванні та осадженні;

– спроектовано і впроваджено нові технологічні процеси кування крупних поковок із застосуванням операцій профілювання і осадження чотирипроменевих заготовок, які підвищили якість поковок.

Економічний ефект від впровадження нових технологічних процесів кування крупних поковок із застосуванням операції осадження чотирипроменевих заготовок на ПАТ «НКМЗ» з урахуванням пайової участі автора склав 1 875 873 грн. за рівнем цін 2015 р. Наукові результати дисертації використовуються в навчальному процесі кафедри обробки металів тиском (ОМТ) ДДМА при вивченні дисциплін «Ресурсозберігаючі технології кування», «Технологія кування» і «Кування крупних поковок», а також при виконанні студентами курсових, дипломних проектів і магістерських робіт.

#### **Рекомендації щодо використання результатів дисертації**

Для використання у промисловості можна рекомендувати конструкції бойків, режими (схеми) кування, карти технологічних процесів. На практиці доцільно застосовувати методики оцінки заковування, прогнозування формозміни і напружено-деформованого стану металу на стадії проектування технологічного процесу виготовлення відповідальних поковок. Отримані результати можуть бути використані на підприємствах, де встановлено кувальні гідравлічні преси та до номенклатури продукції відносяться крупні відповідальні поковки типу валів і дисків. Розробки будуть корисними науково-дослідним 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 19 друкованих працях, з них 9 наукових статей у 9 спеціалізованих виданнях МОН України, 2 статті в закордонних виданнях, 1 монографія, 1 стаття в іншому виданні; 3 тези доповідей на МНТК. Нові технічні рішення захищені 3 патентами України.

Статті містять всі необхідні складові частини, такі як: стан питання, формулювання мети роботи, наведення методик дослідження, аналіз отриманих результатів та висновки по роботі. Особистий внесок автора визначено у кожній з праць, що опубліковано у співавторстві, що свідчить про достатньо повне відображення сутності результатів дослідження у періодичних виданнях.

#### **Апробація результатів дисертаційної роботи**

Основні положення роботи, наукові й практичні результати доповідалися на міжнародних науково-технічних конференціях: ДДМА м. Краматорськ; ПАТ «НКМЗ» м. Краматорськ; НТУУ «КПІ» м. Київ; НТУ «ХПІ» м. Харків; м. Vrnо,

Czech Republic; м. Тернопіль, а також на щорічних наукових семінарах і об'єднаному науковому семінарі з обробки металів тиском ДДМА (м. Краматорськ).

Матеріали дисертації були використані у 2 держбюджетних науково-дослідних роботах та в рамках НДР з ПАТ «НКМЗ».

#### **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 ґрунтового аналізу існуючих теоретичних та технічних рішень кування пустотілих поковок 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 по дисертації та автореферату**

1. При виконанні аналізу літературних джерел щодо методів теоретичних досліджень процесів кування автором сконцентровано увагу лише на методі скінчених елементів (МСЕ) та не проаналізовані інші методи теоретичного аналізу процесів ОМТ. Це не показує переваги МСЕ у порівнянні з іншими теоретичними методами досліджень.

2. Автором не розкриті рекомендації за допомогою яких засобів будуть утримувати на практиці заготовку, яку протискають у профільованих бойках.

3. У роботі зустрічаються некоректне застосування поняття «ступінь деформації» (згідно до принципів зміщеного об'єму) щодо процесу профілювання – радіального обтиснення заготовки бойками випуклого профілю. Вираз, за яким визначали «ступінь деформації» при профілюванні, не наведений. Більш коректно було б вести мову про «ступінь обтиснення» та привести вираз, за яким його розраховують.

4. При висвітленні лабораторних експериментальних досліджень деформації нагрітих сталевих зразків не вказано, яким пристроєм контролювали температуру металу.

5. Вибір розмірів осьового дефекту, як 10 % від діаметру заготовки (злитку), у роботі не обґрунтовано.

6. У п'ятому розділі, що висвітлює результати промислової апробації, відсутні відомості про температурні інтервали кування, хоч мова йдеться про досить складні сталі 34ХНМ, 70ХЗГНМФ. Відповідно, у висновках по роботі не

сформульовані рекомендації по термомеханічним режимам кування таких сталей.

7. Одержання профільованої заготовки запропонованої конструкції супроводжується збільшенням периметру поперечного перерізу і формуванням виступів у вигляді «ребер жорсткості». Це може збільшити силу, потрібну для осадження профільованих заготовок. Тому доцільно було б порівняти силові режими осадження заготовок із круглим та профільованим поперечним перерізом.

8. З попереднього зауваження випливає також необхідність призначення режимів оптимальних пауз при осадженні профільованих заготовок, що у роботі не виконано.

9. Сталі (34ХНМ, 70ХЗГНМФ, 40ХН2МА та ін., див. «Розділ 5»), які кують у виробничих умовах, відносяться до мартенситного класу, тому поковки з них після виготовлення потребують термічної обробки, відомості про яку у роботі відсутні. Згадування про термічну обробку є лише при описі технології виготовлення поковки «Баллер», але сутність її не розкрито. Крім того, не розкрито хімічний склад сталі А688.

10. У роботі не має відомостей, з якого матеріалу були виготовлені лабораторні та промислові бойки для профілювання та плити для осаджування.

11. На с. 56 вказано, що «Після шліфування та полірування виконували макроструктурне дослідження...». Але представлені результати з аналізу «чвертного вирізу» (які, до речі, слід вважати досить корисними) не можна назвати макроструктурним дослідженням. Макроструктур або мікроструктур матеріалу у дисертації не наведено ні у «експериментальному», ні у «прикладному» розділах.

*Зауваження по оформленню:*

12. Використовуються не відповідні скорочення щодо швидкості деформування – «мм/сек» (див. стор. 44, 47, 51 тощо). Потрібно «мм/с».

13. По основному тексту роботи, при зверненні до таблиць та рисунків, зустрічається використання повних слів, як, наприклад, «В таблиці 3.8 представлен...» (стор. 79), «...представлена на рисунку 2.1» (стор. 41), що не рекомендується ДСТУ 3008-95. Потрібно «табл. 3.8», «рис. 2.1» і т.с.

### **Загальний висновок**

Дисертаційна робота Злигорева Віталія Миколайовича «Удосконалення технологічних процесів кування крупних поковок на основі використання способу осадження профільованих заготовок» 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 кування крупних поковок на основі використання способу осадження профільованих заготовок й на базі цього вирішені актуальні завдання, що розширюють технологічні можливості й підвищують техніко-економічні показники процесів кування.



Зазначені зауваження не зачіпають суті виконаної роботи, а тому вони не знижують її загальної позитивної оцінки. Це дозволяє оцінити роботу як таку, що відповідає вимогам Постанови КМУ від 24 липня 2013 р. № 567 «Про затвердження Порядку присудження наукових ступенів» (з урахуванням змін, що внесені Постановою КМУ від 19 серпня 2015 р. № 656 «Деякі питання реалізації статті 54 Закону України «Про вищу освіту»»), що пред'являються до кандидатських дисертацій.

На підставі викладеного вище аналізу можна зробити загальний висновок, що дисертаційна робота Злигорєва Віталія Миколайовича 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**

*Віталіє Злигорєв В.В.*  
ЗАСВІДЧУЮ  
НАЧ. ЗАГАЛЬНОГО  
ВІДДІЛУ  
*Злигорєв В.В.*  
16.11.2016

