

До спеціалізованої вченої ради Д.08.084.02  
Національної металургійної академії  
України, м. Дніпро

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертацію

**Клемешова Євгена Сергійовича**

**«Розвиток теоретичних та технологічних основ металозаощаджувального**  
**процесу кування шатунної шийки великогабаритних колінчастих валів»,**

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, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Вона викладена на 154 сторінках машинописного тексту, з яких 127 сторінок основного тексту. Робота містить 97 рисунків і 13 таблиць. Список використаних джерел з 85 найменувань розміщено на 9 сторінках, додатки займають 2 сторінки.

Структура роботи відповідає вимогам, що пред'являють до кандидатських дисертацій, та не викликає заперечень. Дисертація виконана у Національній металургійній академії України (НМетАУ) та є завершеною науковою працею.

### **Експертиза змісту розділів дисертації**

**Вступ** містить загальну характеристику роботи, обґрунтування актуальності теми, зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами та планами. Поставлено мету і завдання дослідження. Дано характеристику наукової новизни й практичної цінності отриманих результатів, їх апробації та впровадження, відзначено особистий внесок здобувача.

**Перший розділ** містить літературний огляд сучасних технологічних процесів виготовлення поковок колінчастих валів, їх особливості, переваги та недоліки. Автор розглянув тенденції розвитку металургійного та заготівельного виробництва спрямовані на розробку нових технологічних процесів кування поковок колінчастих валів. Завдяки проведенню літературному огляду було встановлено, що в сучасному технологічному процесі виготовлення поковок великогабаритних колінчастих валів застосовують напуск для спрощення форми поковки, внаслідок неможливості отримання шатунної шийки звичайними кувальними бойками. Автор зробив висновок, що одним із напрямків вдосконалення технологічного процесу є використання більш тонкого деформуючого інструменту, який, при відповідних режимах деформування надасть можливість

отримати шатунну шийку вільним куванням, а не механічною обробкою, тим самим заощадивши певну кількість металу за рахунок наближення форми поковки до форми готового виробу. Також розглянуто метод оцінки об'ємної нерівномірності деформації, та представлено його переваги та недоліки. На основі проведеного літературного огляду дисертант поставив мету та задачі дослідження.

Другий розділ містить обґрунтування щодо вдосконалення методу оцінки об'ємної нерівномірності деформації, наведено параметри процесу кування, які використано для дослідження. За основний теоретичний метод дослідження обрано метод скінчених елементів (МСЕ), покладений у програмний комплекс QForm, використаний автором. Дослідження було розділено на два етапи:

1) встановлення впливу товщини деформуючого інструменту в інтервалі 0,1...0,3, та ступеню деформації 30..70% від діаметра заготовки, на формування кінцевого (ефективного) діаметра коліна, з урахуванням утяжини;

2) визначення впливу товщини інструменту та ступеню деформації, що використані на першому етапі кування, на видовження шатунної шийки при ба-гаторазових обтисненнях на другому етапі кування при застосуванні того ж інструменту.

За проведеними дослідженнями автором отримано закономірності формозміни металу при використанні розроблених режимів кування. Визначено, що на першому етапі кування зі збільшенням товщини інструменту та ступеню деформації збільшується і величина утяжини. Автор встановив, що при товщині деформуючого інструменту 0,1 від діаметра заготовки процес деформації більш схожий із відрубуванням, тому поширення металу в поперечному напряму та утяжина незначні навіть при великих ступенях деформації, що також видно із аналізу нерівномірності деформацій. При товщині деформуючого інструменту 0,3 від діаметра заготовки поширення металу в поперечному перерізі а також утяжина є значними, однак при цьому, аналіз нерівномірності показав, що внутрішні шари металу пророблюються краще, ніж при використанні бойків з товщиною 0,1 від діаметра заготовки. Автором також проведено аналіз графіків нерівномірності розподілення деформацій для кожної схеми кування, за якими зроблено рекомендації щодо вибору більш раціональних схем для отримання кращої якості виробів.

Третій розділ містить результати експериментальних досліджень формозміни металу при куванні шатунної шийки з використанням тонкого деформуючого інструменту. Було проведено експеримент на свинцевих зразках, який повторює теоретичне дослідження при використанні комп'ютерного моделювання. За отриманими даними автором побудовано залежності впливу дослідження на параметрів процесу на формозміну та встановлено, що збільшення товщини інструменту та глибини його вдавлювання в заготовку збільшує величину утяжини, і таким чином зменшує ефективний діаметр коліна валу, при цьому поширення металу в поперечному перерізі також зростає.

Отримані результати експерименту співставлено із теоретичним розрахунком і виявлено, що відносно експериментальних даних середня похибка досліджуваних геометричних параметрів при комп'ютерному моделюванні не перевищує 10%, що є задовільною точністю для вирішення технічної задачі. Зроблено висновок, що побудована комп'ютерна модель є адекватною і із задовільною точністю описує реальний процес, що свідчить про можливість її використання для подальших досліджень.

**Четвертий розділ** відображає розробку вдосконаленої технологічної схеми на основі існуючої на даний час з урахуванням досліджень зроблених автором. Розроблена технологічна схема повторює деякі частини існуючої технологічної схеми, а саме – білетування зливка, осаджування та протягування зливка до діаметра заготовки. Після цього слідують операції, результати досліджень яких представлено в даній дисертаційній роботі, а саме – вдавлювання тонкого бойка в заготовку та кування шатунної шийки парою тонких бойків. Таким чином, отримана поковка буде наблизена за формою до готового виробу, із співвідношенням діаметру шатунної шийки 0,35...0,82 та довжини шатунної шийки у діапазоні 0,2...1,18 до діаметру коліна. Автором також приведено схему застосування розробок, із використанням раніше отриманих залежностей, для проектування технологічного процесу виготовлення великовагабаритного колінчастого валу.

У кожному розділі наведено висновки, а **загальні висновки** у повній мірі відбивають підсумок всієї роботи. Результати роботи впроваджені на ПрАТ «Дніпропрес Сталь», використані у навчальному процесі на кафедрі обробки металів тиском ім. акад. О.П. Чекмарьова (НМетАУ). Текстова частина роботи добре проілюстрована розрахунковими схемами, графіками, фотографіями, довідковий та узагальнюючий матеріал наведений у таблицях.

**Список використаних джерел** є інформативним, містить огляд як сучасних вітчизняних, так і іноземних (англомовних) наукових статей, тому достатньо охоплює зазначену галузь знань.

*Вважаю, що матеріал, наведений у дисертації, розташовано послідовно, він є логічно пов'язаним. Компонування тексту, рисунків і таблиць відповідає існуючим вимогам. В цілому, структура роботи відповідає основним вимогам до кандидатських дисертацій.*

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

#### **Актуальність теми дисертації**

При виготовленні поковок колінчастих валів ковальська витяжка (протяжка) займає до 60...70 % машинного часу. Відомі основні підходи до виконання цієї операції при використанні стандартизованого за розмірами деформуючого інструменту, яким, однак, неможливо наблизити форму коліна валу в поковці до форми готового виробу. Рекомендована товщина бойка, що використо-

вують на гідравлічних пресах, по відношенню до діаметру заготовки може складати від 0,5 і більше. За пропозицією автора, для отримання шатунної шийки колінчастого валу куванням рекомендовано застосовувати бойки з товщиною менше 0,5 від діаметра заготовки, які до даного часу на підприємствах не використовувалися. Це зумовлено, зокрема, обмеженим знанням щодо закономірностей впливу такого деформуючого інструменту, а також відносного ступеню деформації на формозміну шатунної шийки та щок колінчастого валу. Товщина бойка та відносний ступінь деформації обмежені великим видовженням шатунної шийки та вигином заготовки, що також може призводити до заклиниування (затиску) бойка металом. Ці обставини не дозволяють визначити раціональні параметри кування при використанні «тонкого» деформуючого інструменту для отримання шатунної шийки колінчастого валу, а це веде до додаткових витрат металу на етапі механічної обробки при видаленні ковальського напуску з шатунної шийки великоабаритних колінчастих валів.

*Зважаючи на це, робота яка спрямована на визначення закономірностей формозміни металу при куванні шатунної шийки колінчастого валу при співвідношенні товщини інструменту та діаметра заготовки в інтервалі менше 0,5, а також визначення умов максимального наближення форми та розмірів поковки до готового виробу для зменшення витрат металу при виготовленні великоабаритних колінчастих валів є актуальною.*

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

Виконана дисертаційна робота відповідає напрямку наукових досліджень Національної металургійної академії України (НМетАУ). Дослідження виконані в рамках програми та відповідної тематики держбюджетних науково-дослідних робіт кафедри обробки металів тиском НМетАУ: ДР №0116U002657, ДР № 0115U003169, а також господоговірної науково-дослідної роботи з ПрАТ «Дніпропрес Сталь» (ДР №0117U005159), де автор брав участь в якості виконавця.

#### **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 «QForm», який добре себе зарекомендував у дослідженнях процесів обробки металів тиском. Формозміну заготовки у процесі кування тонкими бойками визначали експериментом у лабораторних умовах на свинцевих заготовках, застосовуючи основні принципи фізичного моделювання та теорії подоби. Основні результати теоретичних та експериментальних досліджень підтвердженні їх перевіркою та використанням у виробничих умовах.

*Вищевикладене дає змогу констатувати, що сформульовані у дисертації-*

ній 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:

– Одержаняв розвиток метод прогнозування об'ємної нерівномірності деформації металу в процесах вільного кування для визначення раціональних режимів деформування при отриманні шатунної шийки великогабаритного колінчастого валу;

– Вперше теоретично визначено та експериментально перевірено залежність зміни величини ефективного діаметра коліна валу від товщини деформуючого інструменту (в інтервалі 0,1...0,3 до діаметру заготовки) та ступеню однічного обтиснення (в інтервалі 30...70%) при вільному куванні місць формування шатунної шийки великогабаритних колінчастих валів;

– Вперше при використанні деформуючого інструменту з відношенням товщини до діаметра заготовки в інтервалі 0,1...0,3 при багаторазових обтисненнях теоретично з використанням вдосконаленого методу визначення нерівномірності деформації металу для певної довжини шатунної шийки визначено кількість обтиснень, рівнів ступеню деформації та кути кантувань.

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

Автором описані нові наукові знання у вигляді закономірностей формозміни та зміни характеристик напружено-деформованого стану металу заготовки при її радіальному деформуванні відносно тонким бойком із відношенням товщини бойка до діаметру заготовки у межах 0,1...0,3, як при одиничному обтисненні з великими ступенями деформації (до 70 %), так і при обтисненнях з кантуваннями для формування неспіввісної шийки поковки колінчастого валу.

Дослідження процесу кування з використанням тонкого деформуючого інструменту при виготовленні поковок колінчастих валів дозволило:

- визначити геометричні параметри заготовки та ступінь обтиснення при використанні «тонких» бойків для формування необхідного діаметра шатунної шийки та щок валу в місці розташування коліна великогабаритного колінчастого валу;

- обґрунтувати раціональну кількість обтиснень, кути кантувань та ступінь обтиснення при куванні шатунної шийки великогабаритних поковок колінчастих валів;

- розробити технологічні рекомендації, які дозволяють при виробництві поковок великогабаритних колінчастих валів із використанням бойків з товщиною в інтервалі 0,1..0,3 від діаметра заготовки, зменшити витрати металу за рахунок мінімізації ковальського напуску;

- розробити та впровадити рекомендації у виробництво в ковальсько-термічному цеху ПрАТ «Дніпропрес Сталь» для виготовлення поковок колінча-

стих валів із злитків та заготовок масою більше 2 тон при використанні тонких бойків.

- використовувати в навчальному процесі результати, отримані в ході виконання дисертаційної роботи, на кафедрі обробки металів тиском ім. акад. О.П. Чекмар'єва при викладанні дисциплін «Конструкції та розрахунки машин та механізмів обробки тиском», «Моделювання та оптимізація процесів обробки металів тиском» і «Теоретичні та експериментальні дослідження процесів обробки металів» для бакалаврів спеціальності 6.050401 – металургія та магістрів спеціальності 8.136 – механічна інженерія, а також при виконанні студентами курсових проектів і випускних кваліфікаційних робіт.

*Таким чином, основні результати дисертації мають істотне значення для розвитку науки та практики процесів кування поковок колінчастих валів на гіdraulічних пресах.*

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

Для використання у промисловості можна рекомендувати конструкції бойків, режими (схеми) кування, алгоритми складання технологічного процесу. На практиці доцільно застосовувати методики оцінки нерівномірності розподілення деформацій, прогнозування формозміни металу на стадії проектування технологічного процесу виготовлення поковок колінчастих валів. Отримані результати можуть бути використані на підприємствах, де установлено кувальні гіdraulічні преси та до номенклатури продукції відносяться великогабаритні поковки типу колінчастих валів. 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 13 друкованих працях. Серед публікацій: 7 статей у спеціалізованих виданнях і тематичних збірниках згідно з переліком МОН України, 1 закордонне видання та 5 тез доповідей.

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.

*Таким чином, слід вважати, що основні результати роботи достатньо повно висвітлені у фахових та наукових виданнях.*

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

Основні положення роботи, наукові й практичні результати доповідалися на 9 науково-технічних та науково-практичних конференціях, які мають Всеукраїнський або Міжнародний статус та широке географічне представлення: м. Кременчук, Краматорськ, Запоріжжя, Київ, Дніпро, Харків, Залізний Порт.

Результати роботи обговорювалися на Придніпровському науковому семінарі «Обробка металів тиском» Національної металургійної академії України (м. Дніпро, 2015-2018 рр.).

*Отже, результатами дисертаційної роботи є оригінальними та пройшли достатню апробацію.*

**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 грунтовного аналізу існуючих теоретичних та технічних рішень кування поковок колінчастих валів 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 обробки металів тиском. Це не показує переваги МСЕ у порівнянні з іншими теоретичними методами досліджень.

2. В літературному огляді наведено приклад співвідношень товщини деформуючого інструменту за існуючою технологією, який складає 0,5 і більше від діаметра заготовки, але при визначені мети та задач роботи не достатньо чітко обґрунтовано вибір інтервалу товщин деформуючого інструменту для досліджень в інтервалі 0,1...0,3 від діаметру заготовки.

3. У роботі не має відомостей, з якого матеріалу були виготовлені лабораторні та промислові відносно тонкі бойки, для деформування (вдавлювання у заготовку) та подальшого кування шатунної шийки.

4. З попереднього пункту також випливає питання про стійкість такого тонкого інструменту. В роботі не наведено даних щодо навантажень, які витримує інструмент, в особливості із товщиною 0,1 від діаметра заготовки, і чи не виникає повздовжнього вигину або його руйнації в процесі деформування. Крім того, тонке тіло інструменту буде мати і низьку термічну стійкість (значний розігрів, контактування з гарячим металом заготовки тощо). Розгляд таких питань упущений автором.

5. В роботі не наведено даних щодо ступеню деформації на другому етапі дослідження. Лише приведено кількість обтиснень для кожного режиму деформування.

6. Схема кування із радіальним вдавлюванням тонкого бойка в циліндричну заготовку, особливо при великих ступенях деформації, є дуже близькою до схеми різки (це, як перші етапи розділових операцій) при якій відбувається перерізування волокон металу заготовки. Небезпека таких явищ автором у роботі не розглядалась. На мій погляд, для повного обґрунтування розмірів (товщини) бойків та ступенів деформації при куванні колінчастих валів новим способом доцільно було б проведення металографічних досліджень деформованих заготовок та поковок із виявленням їх макроструктури та наявності (або відсутності) ефекту перерізування волокон.

7. Викривлення заготовки при радіальному вдавлюванні бойка у бічну поверхню циліндричної заготовки при великих глибинах вдавлювання (ступенях деформації), як показано в роботі, буде супроводжуватись затисненням бойка. Це приведе до підйому заготовки (або поковки), що затиснула бойок, разом із підйомом траверси пресу при ході вверх. При цьому, технічних рішень для знімання заготовки з бойка у роботі не запропоновано. Доцільно було б визначити і силу, необхідну для виконання такого знімання.

8. На стор. 114-119 проводиться порівняння і аналіз результатів моделювання та натурного експерименту, при цьому вказана низка причин, через які спостерігається ця різниця результатів (похибки вимірювання, складність витримки подібності швидкості руху деформуючого інструменту, похибки при маліх деформаціях тощо). Але ж натуральні експерименти проводилися на свинці (C1), а комп'ютерче моделювання – для умов гарячої деформації сталі (40ХН2МА), криві змінення яких хоч і є подібними та відображають якісні характеристики формозміни, але мають значні кількісні відмінності, через які порівняння результатів у моделювання та експерименту у абсолютних величинах (табл. 3.1 – 3.4) не є в повній мірі коректним.

#### Зауваження по оформленню:

9. У тексті дисертації та автореферату є посилання на акти та довідки, що підтверджують практичне значення розробок (зазначено: акт від 22.01.2018 р., ПрАТ «Дніпропрес Сталь»; довідка 21.05.2018 р. використання у навчальному процесі). Але у додатках роботи ці довідки не наведені.

10. Рис. 2.6 та рис. 3.11 є повністю ідентичними (повторюються).

11. Інформацію у вигляді переліку наукових праць, опублікованих здобувачем, подано у дисертації двічі на стор. 10-12 (у розширеній анотації) та стор. 153-154 (у додатках). Достатньо було б привести цей перелік один раз. Крім того, маються незначні невідповідності щодо стандартів бібліографічного оформлення цих робіт, в тому числі і при розміщенні цього переліку в авторефераті, наприклад, для джерела № 5 – пропущені знаки тире між назвою видання, роком, номером випуску та сторінками, для джерел №№ 10-13 – не вказані сторінки, на яких розміщено ці тези доповідей у збірниках.

## Загальний висновок

Дисертаційна робота Клемешова Євгена Сергійовича «Розвиток теоретичних та технологічних основ металозаощаджувального процесу кування шатунної шийки великогабаритних колінчастих валів» 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 великогабаритних поковок колінчастих валів й на базі цього вирішенні актуальні завдання, що розширяють 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 Клемешова Євгена Сергійовича відповідає вимогам, які висувають до кандидатських дисертаций, 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**

Пимис Кухара В.В.



Відгук надійшов  
у Раду: 06.02.2019  
Вчений секретар: Леванд