

Спеціалізована вчена
рада Д 12.105.01
Донбаська державна
машинобудівна академія,
м. Краматорськ

Відгук офіційного опонента
на дисертацію **Боровіка Павла Володимировича**
«РОЗВИТОК ТЕОРЕТИЧНИХ ОСНОВ ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ
ТЕХНОЛОГІЇ І ОБЛАДНАННЯ ПРОЦЕСІВ ОПЕРАЦІЙ
РОЗДІЛЕННЯ В ПРОКАТНОМУ ВИРОБНИЦТВІ»

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

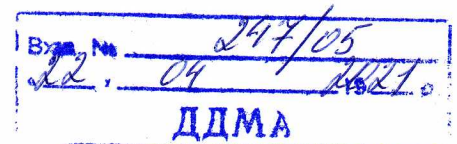
Оцінка структури, змісту і завершеності дисертації

Дисертація складається зі вступу, 7 розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг роботи складається з 428 сторінок машинописного тексту, з яких основного тексту 270 сторінок. Робота налічує 176 рисунків і 30 таблиць частина з яких на окремих 67 сторінках, список використаних джерел складається з 414 найменувань на 47 сторінках, анотації займають 7 сторінок, а 3 додатки 21 сторінку, враховуючи список опублікованих праць за темою дисертації і перелік науково-технічних конференцій.

Загальний зміст роботи розкриває сутність виконаного наукового дослідження. Подана робота є завершеною науковою працею.

Експертиза змісту розділів дисертації

У **вступі** міститься обґрунтування актуальності дисертаційної роботи та продемонстровано її зв'язок з науковими програмами, планами і темами. Визначені мета і задачі, приведені характеристика об'єкту, предмет і методи дослідження. Наведено наукову новизну і практичну цінність отриманих результатів, визначено особистий внесок здобувача, продемонстровано результати апробації та промислового використання. У **першому розділі** проаналізовані технології, обладнання, методи розрахунку і перспективи розділових операцій у прокатному виробництві. Встановлено, що поліпшення техніко-економічних показників процесів розрізання на ножицях можливе на основі розвитку наукових і практичних основ застосування методу скінченних елементів. На основі аналізу стану питання визначено мету і задачі роботи, вказані раніше. У **другому розділі** містяться обґрунтування та вибір напрямку і методів дослідження технологій і обладнання процесів розділення листового і сортового металопрокату. Аргументовано підґрунтя теоретичних досліджень та доцільність застосовування методів обробки та аналізу результатів. У **третьому розділі** розроблені прикладні аспекти моделювання процесів розділення методом скінченних елементів (МСЕ) в програмному комплексі Abaqus. Обґрунтовано типи скінченних елементів для опису розрізуваного металу та різального ін-



струменту. Вказано, що первісну область сітки доцільно розбивати на підобласті з різним розміром скінченних елементів та використовувати підхід Лагранжа-Ейлера для підобластей в зоні власне розрізання. Показано, що контактну взаємодію металу та інструменту слід описувати законом тертя Кулона з обмеженням дотичного контактного напруження. Визначено, що при застосуванні моделі пластичності Мізеса для моделі руйнування можна використовувати підхід Хіллерборга. Зазначено, що важливим аспектом процесів гарячого розділення металопрокату є термодинамічні ефекти в металі, що дозволяє підвищити до 7% точність отримуваних результатів. Розроблено підхід щодо визначення локальних і інтегральних показників результатів симуляцій. Продемонстровано, що за базову модель визначення інтенсивності напружень для гарячого розрізання доцільно обирати методика Андреюка-Тюленєва з використанням коефіцієнта адаптації, що дозволило підвищити точність до $\pm 10\%$, а для холодного розділення розроблено методика визначення механічних властивостей матеріалів в якій уточнено швидкість деформації при статичних випробуваннях на розривання, що дозволило підвищити точність розрахунку до $\pm 7\%$. **Четвертий розділ** містить результати двовимірного моделювання МСЕ поперечного розрізання на ножицях з паралельними ножами та тривимірні моделі поперечного розрізання квадратних, круглих та фасонних профілів ножами різної конфігурації, а також розрізання листових заготовок на ножицях похилими ножами і з криволінійним ножом. За результатами моделювання МСЕ встановлено ряд факторів, які впливають на опір та силу розрізанню, а також якісні показники зрізу. **П'ятий розділ** містить дослідження процесів поздовжнього розрізання листового металопрокату на дискових кромкообрізних і розпускних ножицях та ножицях кромкообрізних з перекочуванням дугового ножа шляхом моделювання МСЕ. Отримані результати показали, що необхідно мати уточнені математичні моделі розрахунку відносного проникнення до сколювання щоб підвищити точність розрахунку енергосилових параметрів процесів розрізання на ножицях. **В шостому розділі** зосереджені результати експериментальних досліджень процесів розрізання листового і сортового металопрокату на ножицях. Автором підтверджено адекватність розроблених скінченно-елементних моделей, проаналізовано вплив форми і розмірів перерізу та профілювання ножів на відносне проникнення до сколювання, досліджено кінематичні і енергосилові параметрів процесу поздовжнього розрізання дисковими ножами та процесу обрізання кромки на ножицях з перекочуванням дугового ножа. Додатково проведено дослідження стійкості інструменту на прикладі розрізання високоміцних сталей, що дозволило уточнити величини коефіцієнтів збільшення сили розрізання через зношення різальних кромки і збільшення бічного зазору. **В сьомому розділі** подано питання автоматизованого проектування та практичні рекомендації щодо вдосконалення технологічних режимів та обладнання при реалізації процесів поперечного і поздовжнього розрізання листового і сортового металопрокату.

Кожний розділ дисертаційної роботи містить висновки. **Загальні висновки** по дисертації в повній мірі підсумовують результати усієї роботи. У **додатках** наведено матеріали щодо опублікованих робіт за темою дисертації та апробації її результатів, а також акти, що підтверджують використання результатів у промисловості та навчальному процесі.

Підсумовуючи, можна констатувати, що виконання роботи та висвітлення її результатів відповідають достатньому науковому рівню. При цьому використані методи аналізу здатні адекватно відображати явища та процеси операцій розділення в прокатному виробництві. Основні положення дисертації не суперечать сучасним уявленням про процеси розрізання металопрокату на ножицях.

Актуальність теми дисертації

В сучасній промисловості України чорна та кольорова металургія займають одне з ключових місць. До пріоритетних напрямків їх розвитку відносяться підвищення якості готової продукції, збільшення виходу придатного, розширення технологічних можливостей обладнання, бо це сприяє зростанню рівня конкурентоздатності в умовах світового ринку металопрокату.

До розділових операцій прокатного виробництва входять процеси поздовжнього та поперечного розділення гарячого і холодного прокату. Загалом ефективність виробництва прокатної продукції потребує забезпечення швидкого і якісного розрізання з високою економічною ефективністю. Різноманітність процесів та обладнання, а також технологічна багатofакторність та неоднозначність впливу на енерговитрати та якість готової продукції потребує всебічного вивчення з метою якісних і кількісних оцінок.

Для встановлення нових закономірностей та вирішення ряду практичних задач необхідно досліджувати перебіг напружено-деформованого стану (НДС) та руйнування в розрізуваному металі. Це дозволить підвищити ступінь наукового обґрунтування технологічних та проектно-конструкторських рішень. Найбільш ефективним теоретичним методом в цьому сенсі є МСЕ, здатний вирішувати комплексні задачі. На його базі можна розробляти науково обґрунтовані практичні рекомендації та програмні засоби з автоматизованого розрахунку показників енергосилових і конструктивних параметрів обладнання, а також ефективні технічні та технологічні рішення операцій розрізання на ножицях в умовах прокатного виробництва.

Отже, робота, присвячена вирішенню актуальної науково-практичної проблеми з вдосконалення техніко-економічних показників процесів поздовжнього і поперечного розділення листового і сортового металопрокату.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами

Робота виконана в рамках кафедральних держбюджетних науково-дослідних робіт «Удосконалення технологічних процесів в галузі механіки машин» (ДонДТУ, м. Алчевськ, 2010) і «Удосконалення технологій та облад-

нання процесів правки листового і сортового металопрокату на основі розвитку методів по їх автоматизованому розрахунку і проектуванню» (ДДМА, м. Краматорськ, 2013), а також держбюджетних науково-дослідних робіт 0110U000094 (наказ № 686 від 22.07.2009); 0114U002537 (наказ № 1611 від 22.11.2013), госпдоговірної науково-дослідної роботи 0109U000834. У цих роботах автор брав участь як відповідальний виконавець.

Ступінь обґрунтованості і достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій

Ступінь **обґрунтованості** та **достовірності** наукових положень, висновків і рекомендацій, які сформульовані в дисертаційній роботі слід рахувати високим, оскільки це забезпечується:

- чітким визначенням мети і основних задач наукового дослідження, а також об'єкту та предмету дослідження;

- ґрунтовним аналізом літературних джерел, присвячених дослідженню дисертаційної роботи, як іноземних, так і вітчизняних;

- використанням сучасних наукових підходів та методу скінченних елементів для вирішення поставлених задач та досягнення означеної мети;

- змістовним аналізом та ефективним практичним застосуванням методу скінченних елементів при вирішенні комбінованих задач теорій пружності, пластичності та руйнування з урахуванням змінних умов протікання процесу;

- ефективним застосуванням сучасних методів фізичного моделювання та подальшої обробки з використанням методів кореляційного і регресійного аналізу;

- достатньо високим рівнем збігу теоретичних і експериментальних результатів;

- кваліфікованим аналізом та продуктивним узагальненням отриманих в ході дослідження результатів.

Слід зауважити, що проведені в дисертаційній роботі дослідження є досить складними в теоретичному аспекті, оскільки потребують високого рівня знань не тільки фундаментального, але і прикладного характеру.

Достовірним фактом підтвердження та ефективності наукових результатів слід вважати їх передачу та застосування в ДП «УкрНТЦ «Енергосталь» (м. Харків), ПАТ «НДіПТІМ» (м. Краматорськ), ПрАТ «Новокраматорський машинобудівний завод» (м. Краматорськ), НВП «Дніпроенергосталь» (м. Запоріжжя), а також в навчальному процесі на кафедрі «Машинобудування та прикладна механіка» СНУ ім В. Даля (м. Сєверодонецьк), що підтверджено відповідними документами.

Наукова новизна отриманих результатів

До нових наукових результатів, отриманих при дослідженнях за темою дисертації особисто автором, слід віднести наступні:

1. Вперше обґрунтовано узагальнений підхід щодо методу скінченних елементів при плоскому та об'ємному моделюванні процесів розрізання на ножицях різних конструкцій, що дозволяє теоретично досліджувати вплив широкого кола факторів на якісні та енергосилові показники процесів розрізання і вдосконалювати технологічні режими та обладнання.

2. Вперше встановлено функціональні зв'язки «опір розрізанню»-«напруження» та «відносне проникнення ножів»-«деформація» безпосередньо в зоні розрізання за рахунок моделювання процесів розрізання методом скінченних елементів і розробленого алгоритму з отримання та обробки даних моделювання щодо напружено-деформованого стану і руйнування.

3. Вперше для процесу гарячого розрізання паралельними ножами встановлено закономірності та надано кількісні оцінки впливу на його силові характеристики хімічного складу розрізуваних сталей та швидкості руху ножів з урахуванням термодинамічних ефектів в металі та пружних характеристик ножиць, що дозволило підвищити точність розрахунку енергосилових параметрів.

4. Розширено уявлення для процесів холодного розрізання про вплив на величину відносного проникнення ножів в метал до сколювання сукупної взаємодії геометричної форми і висоти поперечного перерізу профіля, а також механічних властивостей матеріалу і швидкості руху ножа.

5. Уточнено значення коефіцієнтів збільшення сили розрізання через зношення різальних кромки і збільшення бічного зазору при поперечному розрізанні, що дозволяє при проектуванні підвищити точність визначення максимального навантаження на ножиці.

6. Уточнено та визначено шляхом об'ємного моделювання методом скінченних елементів процесів поперечного розділення фасонними (профільованими) ножами різних типів вплив їхніх геометричних параметрів на навантаження ножиць та залишкову деформацію в зонах розділення.

7. Вперше визначено вплив сукупності сил зовнішнього опору на кінематику руху металу при розрізанні товстих листів на дискових ножицях, що є важливим при синхронізації швидкості машин в разі комбінування процесів поздовжнього розрізання з правкою.

Практична цінність роботи

Практичне значення дисертаційної роботи полягає в наступних її результатах:

- щодо різання шевронними ножами отримані і підтверджені патентами України на корисні моделі нові спосіб, методика розрахунку кінематичних параметрів та конструкція ножа з регульованим кутом нахилу різальних площин, а також нова конструкція опуклого ножа з постійним кутом нахилу різальних площин, що дозволяє збільшити відсоток листів, котрі відповідають підвищеним вимогам площинності;

- щодо розрізання квадратних заготовок в гарячому стані обґрунтовані практичні рекомендації геометричних параметрів фасонних ножів, котрі дозволяють покращити якість торцевої поверхні розрізуваної заготовки;

- щодо вдосконалення процесу поздовжнього розрізання дисковими ножами шляхом його реалізації в декілька послідовних стадій та/або суміщенням з процесами правки, які спрямовані на розширення сортаменту і підвищення якості розрізання, отримано технічні рішення котрі підтверджені патентами України на корисні моделі;

- комплекс методик та програмних засобів з автоматизованого розрахунку механічних параметрів матеріалів, що дозволяє з підвищеною точністю визначати розрахункові навантаження на обладнання та показники якості при проектуванні і розробці технологічних режимів та може бути застосований в системах автоматизованого керування.

Рекомендації щодо використання результатів дисертації

Результати досліджень можна рекомендувати до застосування як на металургійних підприємствах, які мають у своєму складі цехи з ділянками розрізання металопрокату на ножицях різних конструкцій, так і інших промислових виробництвах, де застосовуються ці процеси, а також при проектуванні нового обладнання на машинобудівних підприємствах і в дослідженнях науково-дослідних організацій та інститутів. Результати дисертаційної роботи впроваджено у навчальний процес при читанні курсів «Конструювання, розрахунок та САПР машин і обладнання» та «Дослідження, випробування та діагностика машин і обладнання», а також при виконанні курсових робіт та проектів, випускних кваліфікаційних робіт бакалаврів і магістрів за спеціальностями 133 «Галузеве машинобудування» та 131 «Прикладна механіка».

Повнота викладу результатів дисертації в опублікованих роботах

Основні матеріали, наукові і прикладні положення роботи викладені в 54 публікаціях. Серед них: 36 у наукових фахових видання України. Із загального числа всіх публікацій 16 включено в міжнародні наукометричні бази, з яких 4 в журналах включених до Web of Science Core Collection, 22 роботи опубліковані в матеріалах міжнародних науково-технічних конференцій. За результатами отримані 8 патентів на корисну модель.

Глибинний аналіз опублікованих робіт дозволяє стверджувати, що наукові висновки, результати та рекомендації, представлені в дисертаційній роботі, достатньо широко висвітлені в друкованих наукових працях.

Автореферат за змістом ідентичний основним положенням дисертаційної роботи та в достатній мірі відображає основні результати здобувача.

Апробація результатів дисертаційної роботи

Основні положення роботи, наукові та практичні результати доповідалися та обговорювалися на наукових конференціях та семінарах, а саме: Між-

народна науково-технічна конференція «Нові наукомісткі технології отримання матеріалів і виробів підвищеної якості методами обробки тиском» (м. Краматорськ, 2011); Всеукраїнська науково-технічна конференція «Механічне та мехатронне обладнання заводів чорної металургії» (м. Донецьк, 2011); Міжнародні науково-технічні конференції «Ресурсозбереження та енергоефективність процесів і обладнання обробки тиском в машинобудуванні та металургії» (м. Харків, 2011-2015, 2018, 2019); III Міжнародна науково-технічна конференція «Теоретичні та практичні проблеми в обробці матеріалів тиском і якості спеціального навчання» (м. Київ, 2012); Міжнародні наукові конференції «Актуальні питання сучасної техніки і технології» (м. Липецьк, 2012, 2013); Міжнародна науково-технічна конференція «Металургійні процеси і обладнання» (м. Донецьк, 2013); Міжнародні науково-технічні конференції «Нові наукомісткі технології отримання матеріалів і виробів підвищеної якості методами обробки тиском» (м. Краматорськ, 2012-2015, 2017-2020); III Міжнародна науково-технічна конференція "Машини та пластична деформація металів" (м. Запоріжжя, 2015); IV Міжнародна науково-технічна конференція «Машини та пластична деформація металів» (м. Кам'янське, м. Дніпро, 2018); Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні технології промислового комплексу» (м. Херсон, 2020); Міжнародна науково-технічна конференція «Теорія, технологія та машини обробки металів» (м. Кам'янське, 2020); розширені наукові семінари кафедри ММК ДонДТУ (2010–2014 рр.) і кафедри АММіО ДДМА (2015).

Зауваження по дисертації

1. В першому розділі, при описанні складових формули (1.4) використано незрозумілий термін «коефіцієнт усталення металу при деформації».

2. В підрозділі 2.2 зазначається, що «для спрощення тривимірних моделей і скорочення обсягів обчислення, при наявності площини симетрії, до розгляду брали тільки одну симетричну її частину» проте не вказано чи враховували другу симетричну половину і в який спосіб.

3. В таблиці 3.4 та формулі (3.1) використано параметр $\bar{\varepsilon}_{\max}$, який названо ступінь пластичної деформації при руйнуванні, проте незрозуміло, що це за параметр та в чому його фізичний сенс.

4. На рис. 4.18 представлені розподіли ряду параметрів при відповідних значеннях відносного проникнення ножів в метал, при цьому величина відносного проникнення ножів в метал більша 1,0.

5. Наведені в пункті 4.2.2 рекомендації щодо вибору раціонального діаметру ножа відносяться до конкретної конструкції ножиць, що ставить питання при застосуванні їх для ножиць з іншим кінематичним виконанням.

6. В розділах 4 та 5 доцільно було б конкретизувати типи скінченних елементів, які були застосовані для кожної з моделей.

7. В розділі 6 при дослідженні процесу різання гільйотинними ножами відзначається, що на початковому етапі процесу має місце сплеск по відношенню до сталого стану, проте не надано пояснень цього явища.

8. В рівнянні (7.17) щодо визначення відносного проникнення до сколювання, з метою лінеаризації використані показники ступеню фактору рівняння регресії, проте не вказано, яким чином визначали значення цих показників.

Висновок

Дисертаційна робота Боровіка Павла Володимировича «Розвиток теоретичних основ та вдосконалення технології і обладнання процесів операцій розділення в прокатному виробництві» за своїм змістом відповідає паспорту спеціальності 05.03.05 – процеси та машини обробки тиском.

Дисертація є завершеною науковою працею, котра містить вирішення наукової проблеми з розширення сортаменту продукції з вдосконалення техніко-економічних показників процесів поздовжнього і поперечного розділення листового і сортового металопрокату на основі розвитку наукових і практичних основ застосування методу скінченних елементів для вирішення комбінованих задач теорій пружності, пластичності та руйнування з урахуванням змінних умов протікання процесу.

Дисертаційна робота містить не захищені раніше наукові положення.

Дисертаційна робота відповідає вимогам п. 9, 10, 12 Постанови Кабінету Міністрів України від 24.07.2013, № 567 «Про затвердження Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника» (зі змінами, внесеними Постановою Кабінету Міністрів України № 607 від 15.07.2020) і Наказом МОН України № 40 від 12.01.2017 (зі змінами, внесеними згідно з Наказом Міністерства освіти і науки № 759 від 31.05.2019), які висуваються до докторських дисертацій. Здобувач Боровік Павло Володимирович заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.03.05 – процеси та машини обробки тиском.

Офіційний опонент

професор кафедри автомобілів та транспортної інфраструктури, Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут" (м. Харків),
доктор технічних наук, професор

 М. Є. Тараненко

Підпис професора кафедри автомобілів та транспортної інфраструктури, НАКУХАІ, підтверджую Вчений секретар НАКУХАІ, канд. філософських наук

 С.Є. Чмихун

