

В спеціалізовану вчену раду Д 12.105.01
Донбаська державна
машинобудівна академія,
84313, м. Краматорськ, вул. Академічна, 72

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

1. Актуальність теми дисертаційної роботи. Підвищення продуктивності прокатних станів та якості випускаємої цими станами продукції є основною задачею прокатного виробництва. Зокрема операції поздовжнього та поперечного розрізання металопрокату на ножицях безпосередньо відповідають за його якість та мають виконуватися з максимальною продуктивністю, мінімальними енерговитратами та відходами. При цьому самі процеси та обладнання, що їх реалізує, є досить різноманітними та багатофакторними, що вимагає їхньої систематизації та якісної і кількісної оцінки. Все це здатні забезпечити сучасні чисельні методи математичного моделювання, зокрема метод скінченних елементів (МСЕ), який здатен вирішувати комплексні завдання, а розвиток науково-практичних основ його застосування дозволить розробити науково обґрунтовані практичні рекомендації та програмні засоби, технічні та технологічні рішення операцій розрізання на ножицях в умовах прокатного виробництва. Тож, вдосконалення техніко-економічних показників процесів поздовжнього і поперечного розділення листового і сортового металопрокату є актуальною темою досліджень.

2. Відповідність планам наукових досліджень. Дисертаційна робота Боровіка П.В. повністю відповідає планам НДР кафедри, які містять такі роботи як «Удосконалення технологічних процесів в галузі механіки машин» і «Удосконалення технологій та обладнання процесів правки листового і сортового металопрокату на основі розвитку методів по їх автоматизованому розрахунку і проектуванню», а також держбюджетних НДР «Розвиток теоретичних основ безперервного розливання нержавіючих та автолистових сталей» (№ ДР 0110U000094); «Визначення механізмів та створення теорії електроімпульсної консолідації нових порошкових матеріалів» (№ ДР 0114U002537), госпдоговірної НДР з Міністерством освіти і науки

України «Фізичне і математичне моделювання процесів твердіння» (№ ДР 0109U000834). У цих роботах автор брав участь як відповідальний виконавець.

3. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій. Наукові положення і отримані результати в дисертаційній роботі достатньо обґрунтовані. Основні задачі наукового дослідження, згідно з поставленою метою, об'єкт та предмет дослідження запропоновано вирішувати комплексним методом шляхом використання моделей розділових процесів та подальшою оцінкою результатів експериментально. Слід відзначити, що автор застосовував метод чисельних рекурентних рішень скінченно-різницевої схем статичної рівноваги виділених елементарних об'ємів, експериментальні дослідження методами фізичного моделювання в лабораторних умовах, з використанням методів кореляційного і регресійного аналізу. Тому на мій погляд, наукові положення, висновки і рекомендації, сформульовані в дисертаційній роботі є достовірними і достатньо повно й чітко обґрунтованими, що підтверджуються відповідністю результатів досліджень експериментальним даним.

4. Наукова новизна отриманих результатів. Робота спрямована на розвиток наукових і практичних основ застосування методу скінченних елементів для вирішення комбінованих задач теорій пружності, пластичності та руйнування з урахуванням змінних умов протікання процесу стосовно процесів розрізання на ножицях в прокатному виробництві.

Автором наведені наступні твердження, з якими можна погодитися:

1. Вперше обґрунтовано та узагальнено підхід стосовно застосування методу скінченних елементів в плоских та об'ємних математичних моделях процесів гарячого та холодного 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 розроблено алгоритм з отримання та обробки даних результатів скінченно-елементного моделювання напружено-деформованого стану і руйнування, за допомогою якого встановлено, з урахуванням змінної в часі швидкості деформації, функціональні зв'язки «опір розрізанню»-«напруження» та «відносне проникнення ножів»-«деформація» безпосередньо в зоні розрізання.

3. Вперше шляхом скінченно-елементних симуляцій та фізичних експериментів процесу гарячого розрізання паралельними ножами визначено функціональні зв'язки та кількісно оцінено вплив хімічного складу розрізуваних сталей та швидкості руху ножів на силові характеристики з урахуванням термодинамічних ефектів в металі та пружних характеристик ножиць, що підвищило точність розрахунку енергосилових параметрів.

4. Розширено уявлення 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, в умовах холодного розрізання, що дозволило уточнити інтегральні значення енергосилових параметрів розрізання на ножицях.

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

6. Уточнено на базі об'ємних скінченно-елементних моделей процесів поперечного розрізання фігурними ножами різних типів і визначено вплив їх геометрії на навантаження ножиць та залишкову деформацію в зонах розділення.

7. Вперше враховано та визначено вплив сукупності сил зовнішнього опору на кінематику руху товстих листів при розрізанні на дискових ножицях, що є важливим для синхронізації швидкості машин при комбінуванні процесів поздовжнього розрізання з правкою та сприятиме поліпшенню умов захоплювання металу дисковими ножами, збільшенню товщини розрізуваних та запобіганню можливої серповидності готових листів.

5. Практична цінність роботи. Автором дисертації запропоновані нові технічні рішення та практичні рекомендації щодо застосування шевронного ножа, які дозволяють збільшити відсоток листів відповідних підвищеним вимогам площинності (пат. 122024, 104285, 90095 Україна); обґрунтовані практичні рекомендації щодо геометрії фігурних ножів для квадратних заготовок розрізуваних в гарячому стані, здатних покращити якість торцевої поверхні розрізуваної заготовки; технічні рішення щодо вдосконалення процесу поздовжнього розрізання дисковими ножами з можливим здійсненням в декілька стадій та/або суміщенням з процесами правки, задля розширення сортаменту і підвищення якості розрізання (пат. 63571, 72820, 87339, 122009 Україна); комплекс уточнених методик та програмних засобів з автоматизованого розрахунку механічних параметрів матеріалів та визначення розрахункових навантажень на обладнання, а також показників якості при проектуванні і розробленні технологічних режимів та можливості використання в системах автоматизованого керування.

Результати роботи були впроваджені на наступних підприємствах: ДП «УкрНТЦ «Енергосталь» (м. Харків), ПАТ «НДіПТІМ» (м. Краматорськ), ПрАТ «Новокраматорський машинобудівний завод» (м. Краматорськ), НВП «Дніпроенергосталь» (м. Запоріжжя). Крім того вони знайшли практичне і економічно підтверджене застосування в ПрАТ «Новокраматорський

машинобудівний завод» (м. Краматорськ) та НВП «Дніпроенергосталь» (м. Запоріжжя).

Окремі результати роботи використовуються в учбовому процесі на кафедрі «Машинобудування та прикладна механіка» Східноукраїнського національного університету ім В. Даля

6. Повнота викладення результатів в опублікованих працях. Можна стверджувати, що результати дисертації повністю викладені в опублікованих 54 роботах з наукової тематики, в тому числі 46 статей опубліковано в наукових збірниках та журналах, з котрих 36 у наукових фахових видання України. Слід зазначити, що з них 16 включено в міжнародні наукометричні бази, з яких 4 в журналах включених до Web of Science Core Collection, а 22 роботи опубліковані в матеріалах міжнародних науково-технічних конференцій. Отримано 8 патентів на корисну модель. Обсяг друкованих робіт та їх кількість відповідають вимогам щодо публікації основного змісту дисертації на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук. Проведено апробацію та обговорення результатів досліджень на 25 конференціях.

7. Оцінка змісту дисертації, її завершеність в цілому. Робота складається з анотації, списку опублікованих робіт за темою дисертації, вступу, 7 розділів, висновку, списку літератури і додатків. Загальний обсяг дисертації становить 428 сторінок машинописного тексту, з яких 270 сторінок тексту, 176 рисунків, 30 таблиць, список використаних джерел з 414 найменувань, анотації, список опублікованих робіт за темою дисертації і додатки загалом на 151 сторінці, до яких входять список опублікованих праць, перелік науково-технічних конференцій, документи, які підтверджують впровадження та ефективність результатів дисертаційної роботи.

У вступі сформовано проблему дослідження, обґрунтовано її актуальність, визначено мету роботи і задачі, що були поставлені та вирішені, вказана практична цінність і наукова новизна отриманих результатів. Представлено об'єкт, предмет і методи досліджень.

У першому розділі виконано огляд та проаналізовано технологічні аспекти, конструктивні особливості обладнання, методи розрахунку та визначено перспективи розвитку процесів розділення прокатного виробництва. Визначено, що поліпшення техніко-економічних показників процесів розрізання на ножицях потребує розвитку наукових і практичних основ застосування методу скінченних елементів. Визначено мету і задачі роботи, спираючись на аналіз стану питання.

У другому розділі зроблено акцент на обґрунтування та здійснення вибору напрямку і методів дослідження. Зокрема, щодо вдосконалення конкретних технологій розділення і обладнання, вмотивовано, що

інформацію для проектування технологій і обладнання розділення металопрокату доцільно отримувати методами математичного моделювання, серед яких, на даний час, найбільш ефективним є МСЕ, оскільки здатен вирішувати комбіновані задачі теорії пружності і пластичності, а також механіки руйнування. Автором визначається, що моделювання МСЕ доцільно поєднувати з елементами теорії планування експерименту та статистичної обробкою теоретичних експериментів, а для оцінки адекватності використовувати методи кореляційного і регресійного аналізу. При цьому вказується, що експериментальні дослідження переважно мають бути спрямовані на підтвердження адекватності розроблених скінченно-елементних моделей.

У третьому розділі в рамках проведених теоретичних досліджень були напрацьовані практичні основи моделювання з використанням скінченно-елементного програмного комплексу Abaqus, зокрема визначено типи скінченних елементів, правила контролю і управління формою та розмірами скінченних елементів в зоні розділення із застосуванням підходу Лагранже-Ейлера, процедуру моделювання появи та розвитку тріщини в пластичному матеріалі з ізотропним зміцненням під час розділення з використанням підходу Хіллеборга. Вказано на необхідність врахування пружної деформації станини при розрізанні паралельними при дослідженні процесів розрізання на ножицях інших конструкцій. Показано необхідність врахування термодинамічних явищ в розрізуваному металі при вивченні процесів гарячого розділення на ножицях. Розроблено алгоритм обробки результатів моделювання методом скінченних елементів щодо визначення та обробки локальних і узагальнених числових даних на базі якого можна розширювати уявлення про процеси, що відбуваються в металі під час розділення. Вказано, що при моделюванні МСЕ процесів гарячого розділення, ефективною для використання є методика Андреюка-Тюленева з визначення дійсного опору деформації за умови застосування коефіцієнта адаптації. Розроблено методику визначення механічних властивостей матеріалів для умов холодного розділення, ефективність якої підвищена за рахунок уточнення швидкості деформації при статичних випробуваннях на розривання.

У четвертому розділі представлено розроблені дво- та тривимірні скінченно-елементні моделі процесів поперечного розділення металопрокату в гарячому і холодному стані та теоретичні дослідження на їх базі. Зокрема досліджено вплив хімічного складу сталей та швидкості руху ножів на опір розрізанню паралельними ножами в гарячому стані, вплив механічних властивостей розрізуваного матеріалу та кінематичних параметрів на опір розрізанню та відносне проникнення ножів до сколювання для умов холодного розділення. Досліджено процеси гарячого та холодного розділення фігурними ножами квадратних, круглих та складних профілів, а також

процесів поперечного розрізання листового металопрокату шевронними та дуговими ножами. Встановлені фактори, що впливають на якість розрізання та силові характеристики при застосуванні кутових та шевронних ножів.

У п'ятому розділі розширено область використання ножиць на поздовжнє розділення металопрокату ножицями та виконано теоретичний аналіз цього процесу на базі розроблених скінченно-елементних моделей. Вказано, що стала швидкість листа в ножах майже збігається в умовах гарячого і холодного розрізання і становить 0,9...0,95 окружної швидкості диска. Щодо застосування принципу перекочування ножа змодельований процес обрізання бічних кромки на здвоєних кромкообрізних ножицях стану 2800 на прикладі чотирьох марок сталей, а отримані результати засвідчили необхідність отримання уточненої математичної моделі розрахунку відносного проникнення до сколювання.

У шостому розділі з використанням лабораторного та промислового обладнання виконані експериментальні дослідження процесів розрізання металопрокату на ножицях паралельними та фігурними ножами. Ці дослідження показали високий ступінь кореляції з розробленими скінченно-елементними моделями процесів розрізання металопрокату паралельними, похилими, фігурними, дисковими та дуговим ножами. Було виконано експериментальне дослідження стійкості інструменту, на прикладі розрізання високоміцних сталей, та уточнено вплив зношування на якість розрізання та значення коефіцієнту збільшення сили розрізання через знос різальних кромки і збільшення бічного зазору.

У сьомому розділі результати виконаних досліджень дозволили розробити емпіричні та регресійні моделі, що можуть біти використані при автоматизованому проектуванні, а також практичні рекомендації та технічні рішення стосовно вдосконалення процесів поперечного і поздовжнього розрізання металопрокату. Новизна запропонованих технічних рішень підтверджена патентами України на корисні моделі.

Наприкінці роботи представлено загальні висновки до дисертації, де відображені основні результати досліджень.

В цілому робота дозволила вперше всебічно розглянути процеси різання прокату ножицями, дисертація виконана на необхідному професійному рівні, достатньо проілюстрована графічним і табличним матеріалом, якісно структурована за логікою висвітлення матеріалу. І тому ця дисертація є завершеним самостійним науковим дослідженням, виконаним на актуальну тему, має наукову і практичну цінність.

Зміст автореферату достатньо повно розкриває основні положення дисертації та відповідає вимогам до оформлення.

8. Зауваження до дисертаційної роботи. За дисертацією можна зробити деякі зауваження:

1. Автор при викладенні матеріалу використовує терміни «фасонні» або «профільовані» ножі, доцільніше застосовувати термін «фігурні», оскільки він більш повно відображає сутність.

2. При моделюванні різального інструменту автор представляє його абсолютно жорстким, проте враховуючи можливості методу скінченних елементів мало сенс врахувати його пружну деформацію.

3. Щодо розбиття модельованої області розрізуваного металу на підобласті слід було уточнити принцип та критерії, які слід при цьому використовувати.

4. В п. 4.1.2 на рис. 4.13 представлена форма торцевої поверхні безперервнолітої заготовки після поперечного розділення (фактична та змодельована МСЕ), проте в тексті не вказано при яких саме значеннях кута розкриття ножів α та кута ухилу різальних кромки β вони отримані.

5. В тексті п. 4.1.3 слід було детальніше представити механізм отримання розподілів величин представлених на рис. 4.17 та 4.18.

6. В підрозділі 5.3 слід було привести для порівняння напружено-деформований стан смуг розрізаних на багатопарних дискових ножицях при шахматному встановленні ножів.

7. В розділі 6 окремі експериментальні залежності (зокрема рис. 6.3, 6.4, 6.9 та інші) на етапі пружної деформації станини мають уступи, але автор не надав пояснень можливих причин їх виникнення.

8. Щодо представлених на рис. 4.26 величин зношування різальних кромки слід було надати пояснення про неплавний характер зростання зношування.

Однак, зазначені зауваження і недоліки мають рекомендаційний та дискусійний характер і не знижують загальної позитивної оцінки.

Висновок. На підставі аналізу дисертаційної роботи Боровіка П.В. «Розвиток теоретичних основ та вдосконалення технології і обладнання процесів операцій розділення в прокатному виробництві» і опублікованих праць автора вважаю, що в дисертації з достатньою повнотою обґрунтовано і вирішено актуальну науково-прикладну проблему вдосконалення техніко-економічних показників процесів поздовжнього і поперечного розділення листового і сортового металопрокату. Матеріали дисертації викладено логічно і послідовно, стиль викладу чіткий і зрозумілий. Зміст автореферату повністю відповідає тексту дисертації, а основні наукові положення, які в них містяться, є ідентичними.

Актуальність, ступінь достовірності та обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, новизна, практичне значення, повнота викладення в опублікованих наукових працях дисертаційної роботи повністю відповідають кваліфікаційним вимогам до докторських дисертацій, викладеним в п. 9 та п. 10 «Порядку присудження наукових ступенів і

присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року № 567. Таким чином вважаю що її автор Боровік Павло Володимирович, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.03.05 – процеси та машини обробки тиском.

Офіційний опонент

Професор кафедри «Механічне обладнання заводів чорної металургії», ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет» Міністерства освіти і науки України (м. Маріуполь), доктор технічних наук, професор

А.О. Іщенко

Лігнше Іщенко А.О.

