ВІДГУК

офіційного опонента кандидата технічних наук
Штоди Максима Миколайовича
на дисертаційну роботу Базарової Катерини Володимирівни
«Удосконалення технології та обладнання для прокатки двотаврових балок на основі аналізу формозміни металу в розрізних калібрах», представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.05 - Процеси і машини обробки тиском

1. Актуальність теми дисертації

Двотаврові сталеві профілі відомі людству з середини XIX ст. З тих пір їхній сортамент дещо розширився. У світі почали виготовляти окрім звичайних балок з ухилом внутрішніх граней ще й балки з паралельними полицями, широкополичні, колонні, свайні, полегшені та інші типи балок. Це стало можливо з розвитком обладнання металургійних підприємств: використанням універсальних клітей в складі прокатних сортових станів та неперервно литої заготовки з формою профілю, який наближений до готової продукції. Всі сучасні прокатні стани, що випускають балкову продукцію поєднує одне – використання універсальних клітей. Проте в теперішній час в Україні відсутнє обладнання подобного типу. Замість цього у технологічній лінії деяких вітчизняних станів встановлені двовалкові кліті, які оснащені касетами з неприводними вертикальними валками. Недостатня міцність та жорсткість конструкції цих касет, а також недостатня обізнаність у процесах, що протікають в осередку деформації при прокатці в чорнових калібрах, не дозволяє українській металургійній промисловості конкурувати на світовому ринку сталевих двотаврових балок. Тому що точність вітчизняної продукції на даний час уступає головним конкурентам.

У зв'язку з цим постає важлива і актуальна задача розширення сортаменту сталевих балок, що випускає вітчизняна металургія, вдосконалення існуючих і освоєння нових ресурсозберігаючих технологій виробництва двотаврових балок в умовах вітчизняних сортових станів, і вдосконалення обладнання чистових клітей, що сприятимуть забезпеченню виробництва високоякісної та конкурентоспроможної продукції.

В дисертаційній роботі розроблені вирішення наведених вище питань шляхом вдосконалення методів розрахунку чорнових балкових калібрів, впровадження нових технологічних режимів прокатки сталевих балок в чорнових проходах та зміни конструктивних параметрів касет з неприводними вертикальними валками для оснащення двовалкових клітей чистової лінії сортового або рейкобалкового стану.

Актуальність тематики досліджень підтверджується її зв’язком з тематикою науково-дослідних робіт Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля (м. Сєвєродонецьк). Робота виконана в рамках держбюджетної науково-дослідної роботи відповідно до координаційних планів Міністерства освіти і науки України (№ держ. реєстрації 0111U007437), в якій авторка була виконавцем.

1. Ступінь обгрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертації

Обґрунтованість наукових положень дисертаційної роботи «Удосконалення технології та обладнання для прокатки двотаврових балок на основі аналізу формозміни металу в розрізних калібрах», забезпечено багатостороннім аналізом більш ніж двохсот літературних джерел. Проаналізовані джерела охоплюють відомості стосовно сортаменту двотаврів і технічні вимоги до готової продукції, розглянуто досвід роботи вітчизняних рейкобалкових і крупносортних станів, а також світові прогресивні технології виробництва двотаврів підвищеної точності. Авторкою роботи обґрунтовано і доведено доцільність запропонованих залежностей, меж раціональних значень технологічних параметрів прокатки і розроблених методів розрахунку напружено-деформованого стану технологічного обладнання. Наукові положення і висновки підтверджуються застосуванням сучасних методів досліджень, обробка експериментальних даних виконувалася з використанням комп'ютерного програмного забезпечення. Сформульовані теоретичні положення та результати модельних розрахунків формозміни металу в чорнових закритих калібрах добре погоджуються з експериментальними даними. Отримані в роботі результати обговорені на наукових конференціях, а також наукових семінарах.

Результати досліджень у вигляді практичних рекомендацій з вдосконалення калібрувань валків та технологічних параметрів прокатки, технічних рішень з удосконалення конструкцій механічного обладнання для промислового впровадження на ПАТ «Алчевський металургійний комбінат» (ПАТ «АМК»), також використання їх в начальному процесі дозволяють відзначати достатню ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, що сформульовано у дисертаційній роботі.

2. Достовірність отриманих у роботі результатів

Основні теоретичні результати роботи базуються на використанні методу скінчених елементів і відповідають відомим положенням та математичному апарату теорії пружності та пластичності. Встановлені авторкою закономірності висотної деформації елементів двотаврової заготовки в чорнових закритих балкових калібрах та залежності їх формозміни від технологічних параметрів прокатки зіставляються, як з відомими теоретичними рішеннями, так і з результатами експериментальних досліджень. Для обробки отриманих результатів досліджень використовувалися методи математичної статистики. Всі дослідження проведені за розробленими методиками і не суперечать теоретичними твердженнями авторки відносно висунутих рішень з питань дисертаційної роботи. Отримані результати узгоджуються з загально прийнятим положеннями процесу гарячої прокатки.

Достовірність основних рішень і висновків дисертаційної роботи підтверджується промисловими дослідженнями і впровадженням їх на виробництві.

3. Наукова новизна роботи

Дослідження, що проведені у дисертаційній роботі, та їх результати, дозволяють стверджувати про наявність наукової новизни. Аналіз цих результатів дозволив зробити висновок про достатній рівень цієї наукової новизни роботи, що подано на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. Нові наукові результати роботи полягають у наступному:

1. Вперше встановлено для чорнових закритих балкових калібрів з відношенням товщини стінки до висоти розкату в межах від 0,2 до 0,4, що значно впливають на точність прокатки двотаврових профілів, закономірності висотної деформації полиць і фланців залежно від величин обтиснення стінки, бічного обтиснення фланців і ширини стінки та надано їх кількісні оцінки, що дає можливість управляти подальшою формозміною металу в чистових чотиривалкових універсальних калібрах для підвищення точності прокатки двотаврових профілів.

2. Вперше визначено кількісні оцінки граничних параметрів прокатки двотаврових профілів в чорнових закритих балкових калібрах, дотримання яких дозволяє сформувати в чорнових калібрах двотавровий розкат з максимально можливою висотою фланців, і в чистовому універсальному калібрі отримати готові двотаври з широкими полицями підвищеної точності.

3. Вперше з використанням методу скінченних елементів для касет з неприводними вертикальними валками чистової кліті встановлено залежності пружної деформації касети від сил деформування з урахуванням взаємного впливу деталей касети, які стикаються при роботі валкового вузла, що дозволяє прогнозувати товщину полиць готових двотаврів.

4. Вперше на основі тривимірної скінченно-елементної моделі касети з неприводними вертикальними валками встановлено залежності параметрів напружено-деформованого стану касети і додаткової питомої маси двотаврового профілю від зміни температури металу в полицях заготовки, застосування яких дозволило прогнозувати різнотовщинність полиць готових двотаврів.

Достовірність отриманих результатів підтверджується їх апробацією у виробничих умовах (надані відповідні акти).

4. Значення отриманих в дисертації наукових та практичних результатів

Практична цінність отриманих в роботі результатів складається в наступному.

Створено комплекс моделей з автоматизованого розрахунку формозміни металу в чорнових балкових калібрах, який дозволяє визначати раціональні межі технологічних параметрів прокатки при проектуванні раціональної форми чорнових калібрів. Розроблено практичні рекомендації відносно вдосконалення технологічних режимів роботи сортопрокатних станів, що забезпечують розширення сортаменту, підвищення якості та зниження собівартості гарячекатаних двотаврових профілів. Запропоновано заходи з удосконалення конструкцій механічного обладнання чистових клітей, що

дозволить підвищити точність прокатки двотаврових профілів, які виготовляються на вітчизняних станах.

Результати дисертаційної роботи використані на ПАТ «Алчевський металургійний комбінат» при удосконаленні існуючого калібрування двотавру №14 та розробці технології прокатки економічних імпортозамінних двотаврів № 16 і № 18 з паралельними полицями підвищеної точності і в Державному підприємстві ««УкрНТЦ «Енергосталь» при проектуванні технологічних режимів роботи, складу і конструктивних параметрів обладнання сортових станів стосовно до гарячої прокатки двотаврових профілів різного типорозміру.

5. Загальна характеристика змісту дисертації та автореферату

Дисертація складається зі вступу, 6 розділів, висновків, містить 271 аркуш, з яких 163 аркушів основного тексту, у тому числі 90 рисунки, 11 таблиць, список використаних джерел з 249 найменувань і додатків. Представлений автореферат дисертації містить 20 сторінок машинописного тексту, в тому числі список з 13 робіт, опублікованих авторкою за темою дисертації.

За структурою дисертація та автореферат є логічними, підпорядкованими меті роботи та її завданням. Оформлені грамотно і відповідно до вимог ДАК України відносно кандидатських дисертацій. Автореферат достатньо повно відображає зміст дисертації. Тема і зміст дисертації відповідають паспорту спеціальності 05.03.05 - процеси і машини обробки тиском.

В роботі докладно розглянуто методики досліджень. Проведені дослідження точності прокатки та роботи технологічного обладнання для виробництва двотаврів. Запропоновано новий метод розрахунку пружної деформації касет з неприводними вертикальними валками. Розроблено математичні моделі розрахунку інтегральних характеристик формозміни металу в чорнових закритих балкових калібрах, що враховують вплив декількох технологічних параметрів прокатки. Покращенню сприйняття матеріалу дисертаційної роботи сприяє високий рівень ілюстрацій результатів досліджень.

В першому розділі докладно розглянуто сучасний стан розвитку технології і обладнання для виробництва двотаврових профілів. Виконано аналіз сортаменту, технічних вимог до якості готової продукції та чинників**,** що впливають на точність прокатки двотаврів. Здійснений огляд існуючих методів математичного моделювання прокатки в балкових калібрах і розрахунку конструктивних параметрів обладнання сортових станів. На основі результатів аналізу науково-технічної літератури сформульовано мету і основні завдання дисертаційної роботи.

В другому розділі проаналізовано і обґрунтовано вибір методів наукових досліджень дисертаційної роботи. Наведено методи теоретичних і експериментальних досліджень процесу прокатки, визначення напружено-деформованого стану заготовки і основних закономірностей її формозміни в чорнових балкових калібрах. Представлено метод математичного

моделювання об'ємного напружено-деформованого стану елементів касети з неприводними вертикальними валками. Розглянуто методику дослідження фактичної точності прокатки двотаврів в виробничих умовах.

В третьому розділі було виконане теоретичне дослідження напружено-деформованого стану металу заготовки і впливу різних технологічних факторів на висотну деформацію фланців в чорнових закритих балкових калібрах. Встановлено закономірності формозміни металу в чорнових закритих балкових калібрах з відношенням товщини стінки до висоти розкату у межах від 0,2 до 0,4, на основі чого отримані залежності висотної деформації полиць і фланців від розподілу обтиснень по елементах заготовки і ширини її стінки. Для досліджених калібрів визначено раціональні значення граничних параметрів прокатки двотаврових профілів. Розроблено математичні моделі розрахунку інтегральних характеристик формозміни металу в чорнових закритих балкових калібрах, що враховують вплив прямого обтиснення стінки, бічного обтиснення фланців і ширини стінки на висотну деформацію фланців.

В четвертому розділі експериментально досліджено процес прокатки двотаврової заготовки в чорнових закритих балкових калібрах. Отримано епюри зміни інтенсивності деформацій переміщення по перерізу двотаврової заготовки і розподіл логарифмічних деформацій, характер яких підтверджує результати чисельного моделювання.

В п’ятому розділі реалізовано математичне моделювання об'ємного напружено-деформованного стану касет з неприводними вертикальними валками, що утворюють чистові універсальні калібри. Встановлено основні закономірності зміни ізополів переміщень і напружень в елементах конструкції касети та визначено пружні деформації окремих деталей касети з урахуванням їхнього взаємного впливу один на одного при роботі їх у зборі, а також визначено загальну пружну деформацію касети в цілому. Встановлено зв'язок між загальною пружною деформацією касети та різнотовщинністю полиць при зміні поточних параметрів прокатки. Одержав подальший розвиток метод визначення сумарної пружної деформації касети з неприводними вертикальними валками, включаючи деформацію плит, ексцентрикових осей, підшипників і валків, з урахуванням їх взаємного впливу при роботі валкового вузла в зборі, що дозволяє підвищити точність розрахунків і прогнозування різнотовщинності готових профілів залежно від сили прокатки.

В шостому розділі проведені дослідження точності прокатки при виробництві двотаврів №14 і № 20 та роботи прокатного обладнання, зокрема касет з неприводними вертикальними валками. Розроблено практичні рекомендації з удосконалення конструкції касети, впровадження яких дозволить підвищити точність прокатки двотаврових профілів. Удосконалено технологію прокатки й калібровки валків для прокатки двотавра №14 в умовах крупносортного стану 600 ПАТ «АМК». Розроблена і освоєна на стані 600 ПАТ «АМК» технологія прокатки економічних імпортозамінних двотаврів № 16 і № 18 з паралельними полицями підвищеної точності, відмінною рисою якої є використання калібровки валків з загальним для обох профілів

розрізним калібром, що дозволяє уніфікувати технологію виробництва вказаних профілів та зменшити час на переналагодження стану при переході від виробництва одного профілю до іншого.

В підсумку слід зазначити, що основні результати та рекомендації автора узгоджуються з фундаментальними положеннями теорії обробки металів тиском. Розроблені положення та рекомендації базуються на теоретичній обробці багатьох експериментальних результатів отриманих автором та іншими дослідниками.

6. Повнота викладу результатів в опублікованих працях

Основні результати дисертації викладені в 13 наукових працях, з них 2 статті – в зарубіжних виданнях, 11 статей – у спеціалізованих наукових журналах і збірниках наукових праць, рекомендованих МОН України для опублікування результатів дисертаційних робіт.

Кількість публікацій відповідає вимогам, що висунуто до дисертацій на здобуття наукового ступеню кандидата технічних наук.

7. Основні зауваження до дисертації:

1. При огляді розвитку математичного моделювання прокатки в калібрах і методів розрахунку обладнання (розділ 1.4) недостатня увага приділена сучасним вітчизняним школам: НТУУ «КПІ», НМетАУ, НТУ «ХПІ», ДДМА, ДГТУ та інші.

2. Стор. 74 «Під законом, який описує контактну взаємодію заготовки з валками, прийнятий закон тертя Амонтона-Кулона. Коефіцієнт тертя приймається рівним 0,5». Це подається як факт, проте відсутні будь-які пояснення причин такого вибору. В той же час відомо, наприклад, з робот Грудєва О.П., що зазвичай значення коефіцієнту тертя при гарячій прокатці має менші значення близько 0,3. Не зрозуміло також чому обрали закон тертя Кулона? Можливо при виборі моделі Зібеля моделювання дозволило отримати кращі результати?

3. При викладенні граничних умов, які були прийняті в процесі розробки математичної моделі процесу прокатки в розрізному калібрі (розділ 2.2), не зрозуміло чим користувалися при виборі основних технологічних параметрів процесу прокатки, зокрема, швидкості прокатки. З пояснювальної записки не зрозуміло яка швидкість прокатки в чорновій кліті реального стану?

4. В роботах Єршова С.В. показано, що при моделюванні процесів гарячої прокатки методами скінчених елементів важливу роль в точності результатів розрахунку відіграє якість розбивання заготовки на кінцеві елементи, важлива також і форма цих елементів. З опису методики моделювання не зрозуміло яким саме чином проходив процес дискретизації вихідної заготовки, які типи елементів були використані при цьому та як це впливало на точність розрахунків?

4. В тексті дисертації існують обмовки та друкарські помилки, наприклад: на стор. 79 останній абзац у фразі «Для чорнових калібрів параметр d/H знаходиться в межах від 0,7 до 0,1» необхідно використати слово «балкових» замість «чорнових», що стає зрозумілим з контексту. Тоді

ця фраза повинна звучати так: «Для балкових калібрів параметр d/H знаходиться в межах від 0,7 до 0,1».

5. При описі експериментального методу дослідження пластичної формозміни металу в розрізному калібрі на стор. 80 зазначено, що обраний метод координатних сіток, заснований на теорії скінченних деформацій, який одержав розвиток у роботах Е. Зібеля й П.О. Пашкова, таким чином викреслений вклад цілого ряду вчених, таких як Ренне, Корольов, Чекмарьов, Кліменко та інші. В даному випадку слід було пом'якшити формулювання на більш широке й не таке категоричне.

6. При виробництві балок на сучасних станах із універсальними клітями в чистових проходах найчастіше використовують відкриті розрізні калібри, що обумовлено рядом технологічних переваг. Проте в роботі для дослідження було обрано закриті розрізні калібри. Не зрозуміло, що стало причиною такого вибору?

7. В роботі стверджується, що моделювання процесу прокатки в розрізному калібрі було проведено для умов стану 650 МК «Азовсталь», проте на стор. 91 вказано, що початковий діаметр валків дорівнює 340 мм. У зв'язку з цим виникає питання: що автор розуміє під терміном «початковий діаметр валків», бо згідно з розмірами чорнової кліті стану 650 це значення ближче до радіусу валків, ніж до їхнього діаметру?

8. Під час теоретичного дослідження процесу прокатки в розрізному калібрі в роботі були фактично розглянуті тільки поперечні перерізи, що відповідають площині виходу штаби з осередку деформації. Такий метод не можна вважати повним й достатнім, тому що, наприклад, в процесі формування дефектів розкату може бути вирішальним напружений стан перерізу, який знаходиться між площиною входу й виходу в осередок деформації.

9. Математичні моделі формозміни металу в чорнових закритих балкових калібрах, що запропоновані в розділі 3.2, мають необґрунтовано високу точність (до четвертого знаку після коми). В той час як вимірювальні пристрої дозволяють отримати точність досліджуваних параметрів до другого знаку після коми.

10. Фраза на стор. 216: «У результаті чисельного дослідження визначено, що запропонована конструкція за параметрами НДС буде ефективнішою на 31% у порівнянні з використовуваною в цей час на стані 600 ПАТ «АМК», потребує уточнення, що мається на увазі під ефективністю касети та як її вимірювати?

Зроблені зауваження не спростовують достовірність матеріалів дисертації, її основних положень і висновків, а також не зменшують теоретичну та практичну цінність роботи.

8. Висновок щодо відповідності дисертації встановленим вимогам

У цілому дисертаційна робота, незважаючи на відзначені зауваження, є завершеною науково-дослідною роботою, що містить нові рішення відносно удосконалення технології та обладнання для прокатки двотаврових балок.

Виконані у дисертаційній роботі дослідження, а також закономірності, отримані за результатами роботи, становлять теоретичну і практичну цінність.

Результати дисертаційних досліджень, що полягають у встановленні закономірностей формозміни металу в чорнових закритих балкових калібрах які дозволили розробити рекомендації щодо удосконалення технологічного процесу прокатки: калібровок валків і технологічних режимів роботи прокатних станів; дослідження напружено-деформованого стану касет з непривідними вертикальними валками, які дозволили розробити рекомендації щодо удосконалення прокатного обладнання й методику розрахунку пружної деформації касети, є структурними елементами вирішення основної мети роботи та сприяють підвищенню точності прокатки двотаврових балок і збільшенню конкурентоспроможності вітчизняного металургійного виробництва.

Автореферат відповідає змісту дисертації. Робота має наукове значення й практичну цінність і вже впроваджена на практиці, що підтверджено відповідними актами. Можна також рекомендувати продовжити роботу по впровадженню результатів роботи на металургійних підприємствах України, зокрема на базі ДП «УКРДІПРОМЕЗ», ПАТ «НКМЗ», ПАТ «Металургійний комбінат «АЗОВСТАЛЬ» та інші.

Наукові завдання, що вирішуються в роботі відповідають науковим напрямкам паспорту спеціальності 05.03.05 – процеси і машини обробки тиском, а, відповідно, і отримані наукові результати, встановлені закономірності, наукові положення і наукова новизна.

За актуальністю, стилем викладання та оформлення, науковою новизною, повнотою досліджень та практичною значимістю результатів дисертаційна робота за темою «Удосконалення технології та обладнання для прокатки двотаврових балок на основі аналізу формозміни металу в розрізних калібрах» відповідає вимогам п. 9 та 11 “Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника”, затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України №567 від 24.07.2013 р. щодо кандидатських дисертацій.

Все це в сукупності дозволяє визначити, що Базарова Катерина Володимирівна заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.05 – процеси і машини обробки тиском.

Офіційний опонент

Доцент кафедри «Обробки металів тиском»
Дніпровського державного технічного
університету (м. Кам’янське),
кандидат технічних наук, доцент М. М. Штода

Підпис к.т.н., доц. Штоди М. М. засвідчую
Начальник відділу кадрів ДДТУ І. І. Лєсова