

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДОНБАСЬКА ДЕРЖАВНА МАШИНОБУДІВНА АКАДЕМІЯ**

БАЗАРОВА КАТЕРИНА ВОЛОДИМИРІВНА

УДК 621.771.01: 621.771.07

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПРОКАТКИ
ДВОТАВРОВИХ БАЛОК НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ФОРМОЗМІНИ
МЕТАЛУ В РОЗРІЗНИХ КАЛІБРАХ**

Спеціальність: 05.03.05 – «Процеси і машини обробки тиском»

**Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук**

Краматорськ – 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Східноукраїнському національному університеті ім. В. Даля Міністерства освіти і науки України (м. Сєвєродонецьк).

Науковий керівник: доктор технічних наук, старший науковий співробітник
Медведев Віктор Степанович,
ДП «УкрНТЦ «Енергосталь» (м. Харків),
головний науковий співробітник

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор,
Тришевський Олег Ігорович,
Харківський національний технічний університет
сільського господарства ім. П. Василенка (м. Харків),
завідувач кафедри «Технологія матеріалів»;

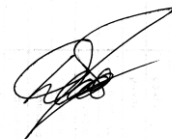
кандидат технічних наук, доцент,
Штода Максим Миколайович,
Дніпровський державний технічний університет
(м. Кам'янське), докторант кафедри «Обробка металів
тиском»

Захист відбудеться «10» грудня 2019 р. о 13 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 12.105.01 з захисту дисертацій Донбаської державної машинобудівної академії: 84313, м. Краматорськ, вул. Академічна 72, ауд. 1319.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Донбаської державної машинобудівної академії за адресою: 84313, м. Краматорськ, вул. Академічна, 72.

Автореферат розісланий «___» листопада 2019 р.

Учений секретар спеціалізованої
вченої ради Д 12.105.01



Ю.К. Доброносів

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Основним напрямком розвитку гірничо-металургійного комплексу України є підвищення конкурентоспроможності вітчизняних металургійних підприємств за рахунок освоєння ресурсозберігаючих технологій, які забезпечать виготовлення високоякісної продукції, зокрема – двотаврових профілів.

Серед різноманітності двотаврів найбільш економічними у виготовленні і конкурентоспроможними на світовому ринку є двотаври підвищеної точності. Однак їх виробництво потребує удосконалення технологічного процесу і устаткування, оскільки існуючі технології вітчизняних виробництв звичайних профілів не дозволяють виготовляти за зарубіжними стандартами двотаври підвищеної точності, особливо імпортозамінні з паралельними полицями.

Кардинальним рішенням цієї проблеми могло би стати переобладнання вітчизняних станів устаткуванням, що дає можливість прокатувати усі сортаментні ряди двотаврових профілів, зокрема – підвищеної точності, однак в умовах складної фінансово-економічної ситуації в Україні та світі це рішення для більшості вітчизняних підприємств є неможливим. Додаткові складності спричиняє недостатня вивченість процесу прокатки в складних фасонних калібрах, особливо в чорнових закритих балкових калібрах з відношенням товщини стінки до висоти профілю в межах від 0,2 до 0,4, які в значній мірі визначають точність готового профілю, що ускладнює керування кінцевою формозміною металу в чистових чотиривалкових універсальних калібрах.

Таким чином удосконалення технологічного процесу та обладнання для прокатки двотаврів шляхом встановлення фізичних закономірностей формозміни металу у фасонних балкових калібрах, розробки науково-обґрунтованих методів проектування калібрувань валків і параметрів виробничого устаткування з метою розширення сортаменту за рахунок виготовлення двотаврів підвищеної точності є актуальною науково-практичною задачею, вирішенню якої присвячена дисертаційна робота.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами й темами. Тема дисертації відповідає науковому напрямку «Створення нових та удосконалювання діючих технологій, устаткування і засобів автоматизації в прокатному виробництві» наукової школи Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля (м. Сєвєродонецьк). Дисертаційна робота виконана в рамках держбюджетної науково-дослідної роботи відповідно до координаційних планів Міністерства освіти і науки України (№ державної реєстрації 0111U007437), СНУ ім. В. Даля, у якій авторка проводила дослідження як виконавець.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є розширення сортаменту і підвищення точності прокатки двотаврових профілів шляхом вдосконалення калібрувань валків, технологічних режимів роботи та конструктивних параметрів касет з неприводними вертикальними валками чистових клітей сортових станів на основі експериментальних досліджень і математичного моделювання формозміни металу в чорнових закритих балкових калібрах, а також моделювання напружено-деформованого стану елементів касет.

Для досягнення зазначеної мети в роботі поставлені і вирішені такі основні задачі:

- встановити основні тенденції в розвитку сортаменту, технологічних процесів, способів прокатки і калібрування двотаврових профілів, методів математичного моделювання прокатки в фасонних калібрах і конструктивних особливостей обладнання для підвищення точності прокатки;

- дослідити фактичну точність прокатки двотаврових профілів, що виготовляються на сортових станах з двовалковими клітьми, обладнаними касетами з неприводними вертикальними валками, і встановити взаємозв'язок формозміни металу в чорнових закритих балкових калібрах з геометричними параметрами профілів у чистових універсальних калібрах;

- виконати дослідження напружено-деформованого стану металу при прокатці у фасонних балкових калібрах, встановити основні закономірності формозміни металу в осередку деформації і вплив технологічних факторів на висотну деформацію фланців, що визначають виготовлення готового профілю з точними розмірами по ширині полиць;

- розробити математичну модель розрахунку формозміни металу в чорновому балковому калібрі, що враховує вплив одночасно декількох технологічних факторів прокатки на висотну деформацію елементів профілю;

- експериментально дослідити розподіл деформацій по перерізу двотаврового профілю в чорнових закритих балкових калібрах з метою оцінки вірогідності математичної моделі прокатки та визначення впливу основних технологічних параметрів на характер деформування і ефективність процесу прокатки;

- дослідити напружено-деформований стан елементів касет з неприводними вертикальними валками і встановити вплив пружної деформації касет на різнотовщинність полиць двотаврових профілів при зміні параметрів прокатки;

- розробити практичні рекомендації з удосконалення калібрувань валків, технології прокатки і устаткування сортових станів для прокатки двотаврів підвищеної точності.

Об'єкт дослідження. Технологія і обладнання для прокатки двотаврових профілів.

Предмет дослідження. Основні закономірності механізму формування напружено-деформованого стану металу і основних показників точності геометричних характеристик гарячекатаних двотаврових профілів підвищеної точності, а також склад і конструктивні параметри чистових робочих клітей сортопрокатних станів.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження напружено-деформованого стану (НДС) металу в чорнових балкових калібрах і НДС касети з неприводними вертикальними валками проведені з використанням методів теорії пружності і пластичності і методу скінчених елементів (МСЕ), реалізованого за допомогою ліцензійних програмних комплексів SIMULIA/ABAQUS і ЛПРА відповідно. Експериментальні дослідження процесу прокатки двотаврових профілів проведені на основі методів фізичного моделювання, методу координатних сіток для визначення деформованого стану заготовки. Дослідження точності прокатки двотаврів виконані в промислових умовах з використанням

методу безпосередньої оцінки при визначенні геометричних параметрів і температур. При обробці результатів досліджень використані методи математичної статистики.

Наукова новизна отриманих результатів:

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 сформулювати 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.

Практична цінність отриманих результатів. На основі результатів виконаних теоретичних і експериментальних досліджень розроблено:

- комплекс методик і програмних засобів з автоматизованого розрахунку і проектування технологічних режимів обтиснень, калібрувань робочих валків, кінематичних параметрів процесу гарячої прокатки двотаврових профілів різного типорозміру в чорнових і чистових робочих клітях і пружної деформації технологічного обладнання сортових станів, що дозволяє підвищити якість готових двотаврів за рахунок надходження до чистових клітей підкату з точними розмірами;

- практичні рекомендації відносно вдосконалення технологічних режимів роботи сортопрокатних станів, що забезпечують розширення сортаменту, підвищення якості та зниження собівартості гарячекатаних двотаврових профілів;

- технічні рішення з удосконалення конструкцій механічного обладнання, спрямовані на підвищення техніко-економічних показників процесу промислового виробництва гарячекатаних двотаврових профілів.

Результати дисертаційної роботи використані на ПАТ «Алчевський металургійний комбінат» (ПАТ «АМК») (м. Алчевськ) і в Державному підприємстві «Український науково-технічний центр металургійної промисловості»

«Енергосталь» (ДП УкрНТЦ «Енергосталь») (м. Харків) при проектуванні технологічних режимів роботи, складу і конструктивних параметрів обладнання сортових станів стосовно до гарячої прокатки двотаврових профілів різного типорозміру. Економічний ефект за рахунок зниження трудомісткості проектно-конструкторських і проектно-технологічних робіт з урахуванням дольової участі авторки, становить 450 тис. грн.

Окремі положення дисертації використовуються на кафедрі машинознавства та обладнання промислових підприємств Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля в рамках викладання ряду спеціальних дисциплін, а також при виконанні науково-дослідних робіт, курсових та дипломних проектів студентами і магістрами спеціальності 133 «Галузеве машинобудування».

Особистий внесок здобувачки. Авторка самостійно виконала комплексне дослідження точності прокатки двотаврових профілів на крупносортовому стані 600 ПАТ «АМК», розробила математичне і програмне забезпечення з автоматизованого розрахунку та проектування процесів гарячої прокатки двотаврових профілів у чорнових робочих клітках сортопрокатних станів, виконала аналіз результатів чисельної реалізації і на їхній основі сформулювала практичні рекомендації з удосконалення відповідних технологій й устаткування. Узагальнила результати теоретичних та експериментальних досліджень. Внесок здобувачки в роботах, опублікованих разом зі співавторами, представлений в анотаціях до списку опублікованих праць за темою дисертації.

Апробація результатів дисертації. Матеріали дисертаційної роботи доповідалися й обговорені на науково-технічних конференціях (НТК) молодих фахівців ПАТ «АМК» (м. Алчевськ, 2010-2014), на VIII міжнародній науково-практичній конференції «Лиття. Металургія 2012» (м. Запоріжжя, 2012); НТК «Ресурсозбереження й енергоефективність процесів й устаткування обробки тиском у машинобудуванні й металургії» (Харків, НТУ «ХПІ», 2013-2014); VI Міжнародної науково-технічної конференції (МНТК) «Теоретичні і практичні проблеми в обробці матеріалів тиском і якості фахової освіти» (м. Київ, 2015); XVII, XVIII, XXII МНТК «Досягнення і проблеми розвитку технологій і машин обробки тиском» (м. Краматорськ, ДДМА, 2014, 2015, 2019), на наукових семінарах кафедри ММК і ПМ ДонДТУ (2010-2014 р.), об'єднаному науковому семінарі кафедри МОПП СХУ ім. В. Даля (2019 р.) і об'єднаному науковому семінарі по ОМТ ДДМА (2019 р.).

Публікації. Матеріали та основні положення дисертаційної роботи опубліковані в 13 статтях по науковій тематиці, з них 2 статті в зарубіжних виданнях, 10 статей в фахових збірниках, з них 6 робіт у збірниках за матеріалами науково-технічних конференцій.

Структура й обсяг дисертаційної роботи. Дисертаційна робота складається з анотації з переліком праць, вступу, 6 розділів, загальних висновків, 7 додатків на 18 сторінках, списку використаних літературних джерел (загалом 249 джерел). Повний обсяг дисертації складає 271 сторінок, обсяг основного тексту – 163 сторінки. Робота ілюстрована 11 таблицями та 35 рисунками в тексті, 55 рисунками на окремих сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовані мета й задачі досліджень, дана характеристика наукової новизни і практичної цінності отриманих результатів, відображено їх впровадження, наведені данні відносно апробації і публікації результатів досліджень.

У першому розділі розглянуто стан виробництва двотаврових профілів. Виконано аналіз сортаменту, технологічних процесів прокатки і устаткування для виробництва двотаврів. Висвітлено сучасний стан математичного моделювання прокатки в фасонних калібрах, способів прокатки і калібрувань валків двотаврових профілів, методів розрахунку устаткування для їх виробництва.

Значний внесок у створення і розвиток теоретичних основ обробки металів тиском, методів розрахунку калібрувань прокатних валків внесли Ю.М. Алексєєв, Б.П. Бахтінов, Е. Бейнон, А.Г. Виноградов, О.Ф. Головін, О.І. Гришко, В.М. Данченко, Ф.Є. Долженков, Б.М. Ілюковіч, А.А. Ільюшин, В.Т. Жадан, Л. Жез, В.І. Зюзін, В.М. Клименко, В.Л. Колмогоров, М.В. Литовченко, В.О. Луценко, Е. Кірхберг, Б.Г. Ложкін, О.П. Максименко, В. С. Медведєв, О.А. Мінаєв, М.С. Мутьєв, Н. Мец, І.М. Павлов, О. О. Поздєєв, П.І. Полухін, В.П. Полухін, В.С. Смирнов, Д.І. Старченко, І.Я. Тарновський, О.І. Целіков, О.П. Чекмарьов, В.О. Шилов, М. М. Штода, В. Тафель, В. Трінкс, З. Вусатовський, Е. Зібель та багато інших вітчизняних і зарубіжних вчених.

Аналіз існуючого стану виробництва двотаврів показав, що найбільш ефективним стосовно сортових станів України, обладнаних клітями дуо і тріо, є комбінований спосіб, при якому спочатку прокатку ведуть в закритих балкових калібрах з доданням розкату чорнової форми двотавру, а остаточне формування готового профілю виконують в універсальних чотиривалкових калібрах з проміжним контролем висоти полиць в двовалковому калібрі. У той же час встановлено, що на точність і якість готової продукції значною мірою впливає як процес формозміни металу в чорнових закритих балкових калібрах калібрувань прокатки двотаврів, так і прокатка на завершальній стадії процесу в чистовій клітї з остаточним коригуванням розмірів. Разом з тим, недостатня вивченість формозміни металу в закритих балкових калібрах не дозволяє визначити вплив різних технологічних факторів на деформацію елементів двотаврової заготовки і розробити більш точні методики розрахунку калібрувань валків.

Відсутність досліджень касет з неприводними вертикальними валками, що утворюють універсальні калібри чистових клітей, ускладнює розробку заходів, спрямованих на підвищення точності прокатки двотаврів і забезпечення економії металу при їх виробництві.

На основі проведеного аналізу визначено мету і завдання досліджень.

У другому розділі проаналізовано і обґрунтовано вибір методів наукових досліджень дисертаційної роботи. Основні напрямки досліджень: визначення фактичної точності прокатки двотаврів; виявлення недоліків в діючих технологічних процесах прокатки, калібруваннях валків і устаткуванні, що не дозволяють виготовляти двотаври підвищеної точності; теоретичні і експериментальні дослідження процесу прокатки в балкових калібрах; визначення закономірнос-

тей формозміни металу у фасонних калібрах, виявлення основних технологічних факторів, які впливають на параметри формозміни заготовки, дослідження пружної деформації касет з неприводними вертикальними валками, що в значній мірі визначають точність готових профілів і можливість розширення сортаменту станів за рахунок виготовлення економічних двотаврів з широкими полицями; розробка практичних рекомендацій з удосконалення калібрувань валків, технології прокатки і конструкції касет чистових клітей дуо для прокатки двотаврів підвищеної точності.

Дослідження фактичної точності прокатки проводилися в промислових умовах крупнорозмірного стану 600 ПАТ «АМК» при виробництві двотаврів №14 і №20. Досліджували різновтовщинність полиць і стінки й різноширинність

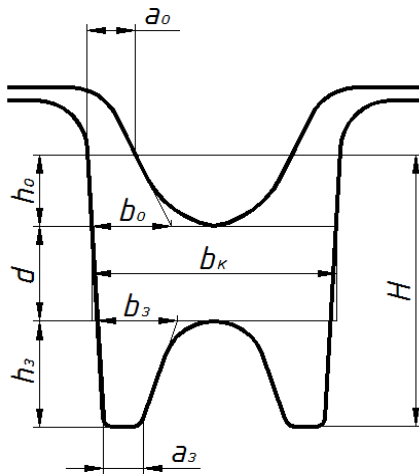


Рисунок 1 – Чорновий закритий балковий калібр

фланців (коливання загальної ширини полиці, висоти правих, лівих, верхніх і нижніх фланців) по довжині двотаврового профілю. Розміри профілів вимірювали на смугах двотаврів №20 і №14 довжиною відповідно 60 м та 74 м з кроком виміру 1 м. Визначення биття вертикальних валків касети здійснювалось з використанням кроку вимірів, рівному 100 мм. У процесі проведення вимірів для кожного з досліджуваних параметрів було сформовано кілька незалежних вибірок.

Теоретичні дослідження процесів прокатки, визначення НДС заготовки і основних закономірностей її формозміни в чорнових балкових калібрах (рис. 1) здійснено МСЕ з

використанням програмного комплексу SIMULIA/ABAQUS.

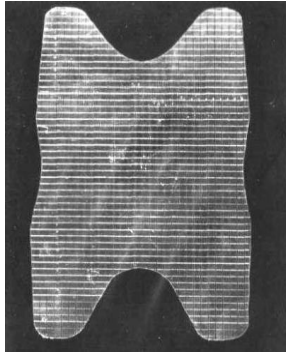
Визначення впливу технологічних факторів на висотну деформацію фланців здійснено шляхом активного багатофакторного експерименту на моделі чорнового закритого калібру для двотавру №16 в масштабі 1:2 з варіюванням коефіцієнтів деформації η_d , η_t і відношення B/d , що характеризує форму профілю, де B – ширина заготовки, d – товщина стінки.

Висотну деформацію фланців оцінювали безрозмірними параметрами: коефіцієнтами висотної деформації полиці $\eta_H = H/H'$, відкритого $\eta_{ho} = h_o/h'_o$ і закритого $\eta_{hs} = h_s/h'_s$ фланців. Абсолютні значення деформацій висоти полиць, відкритих і закритих фланців: $\Delta H = H - H'$, $\Delta h_o = h'_o - h_o$, $\Delta h_s = h'_s - h_s$. Тут H і H' – висота полиці, h_o і h'_o – висота відкритого фланця, h_s і h'_s – висота закритого фланця (розміри зі штрихом для заготовки після прокатки).

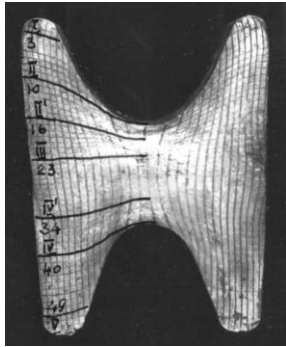
Деформацію по товщині елементів профілю характеризували безрозмірними параметрами: $\eta_d = d/d'$ – коефіцієнт обтиснення стінки по товщині, $\eta_{t_o} = t_o/t'_o$ і $\eta_{t_s} = t_s/t'_s$ – коефіцієнти бічного обтиснення відкритого і закритого фланців відповідно, $\eta_t = 0,5(\eta_{t_o} + \eta_{t_s})$ – середній по всьому калібру коефіцієнт бічного обтиснення відкритих і закритих фланців. Тут d і d' – товщина стінки,

t_o і t'_o – середня товщина відкритого фланця, t_3 і t'_3 – середня товщина закритого фланця.

В якості експериментального методу дослідження формозміни металу в калібрах застосовували метод координатних сіток. Експериментальне дослідження характеру плину металу, як і теоретичне, проводили на моделі чорново-



а



б

Рисунок 2 – Вихідна (а) і деформована (б) заготовка

го закритого калібру для двотавру №16 в масштабі 1:2. Калібр має відношення d/H , що дорівнює 0,3, і представляє область недостатньо досліджених чорнових закритих балкових калібрів. Фізичне моделювання процесу прокатки здійснювали на складених свинцевих зразках (97% Pb, 3% Sb) з координатними сітками. Діаметр валків 340 мм.

Фасонну заготовку (рис. 2, а) довжиною 350 мм розрізали навпіл і на торцях наносили координатну сітку з розміром чарунок 2x2 мм. Розміри чарунок вимірювали за допомогою інструментального мікроскопа УІМ-21. Складові частини заготовки спаювали припоем, що складається з 50% Sn, 32% Pb та 18% Cd. Після прокатки, нагріву в електропечі та розпаювання зразків за результатами вимірювання координат вузлів сітки (рис. 2, б) обчислювали найбільші логарифмічні деформації за методом Е. Зібеля.

Дослідження напружено-деформованого стану касети з неприводними вертикальними валками виконувалося МСЕ з використанням програмного комплексу ЛІРА.

Результати дослідження фактичної точності прокатки двотаврів, теоретичного і експериментального дослідження формозміни металу в чорнових закритих балкових калібрах оброблено методом кореляційно-регресійного аналізу з використанням програм Excel і MathCad.

У **третьому розділі** представлені результати дослідження напружено-деформованого стану заготовки і формозміни металу в чорнових закритих балкових калібрах, виконаного на основі трьох серій теоретичних експериментів при застосуванні МСЕ на моделях прокатки двотаврових заготовок зі сталі СтЗсп при температурі 1100°C. Механічні властивості сталі визначали за методикою Л. В. Андріюка. У всіх моделях швидкість прокатки становила 1 м/с, кутова швидкість обертання валків $\omega = 5,9 \text{ с}^{-1}$. Під законом, який описує контактну взаємодію заготовки з валками, прийнятий закон тертя Амонтона-Кулона. Коефіцієнт тертя $\mu = 0,5$. Межі варіювання безрозмірних параметрів прокатки, що активно впливають на висотну деформацію фланців: $1,373 \leq \eta_d \leq 2,371$; $1,000 \leq \eta_t \leq 1,305$; $1,37 \leq B/d \leq 6,73$ і $0,69 \leq B/H \leq 2,34$.

Теоретичний аналіз формозміни металу дозволив оцінити вплив основних

технологічних факторів прокатки – розподілу обтиснень за елементами профілю і його форми на зміну висоти фланців двотаврової заготовки. В результаті аналізу розподілу переміщень в поперечних перерізах розкату побудовано графічні залежності висотної деформації полиць і фланців від η_d , η_t , B (рис. 3-5).

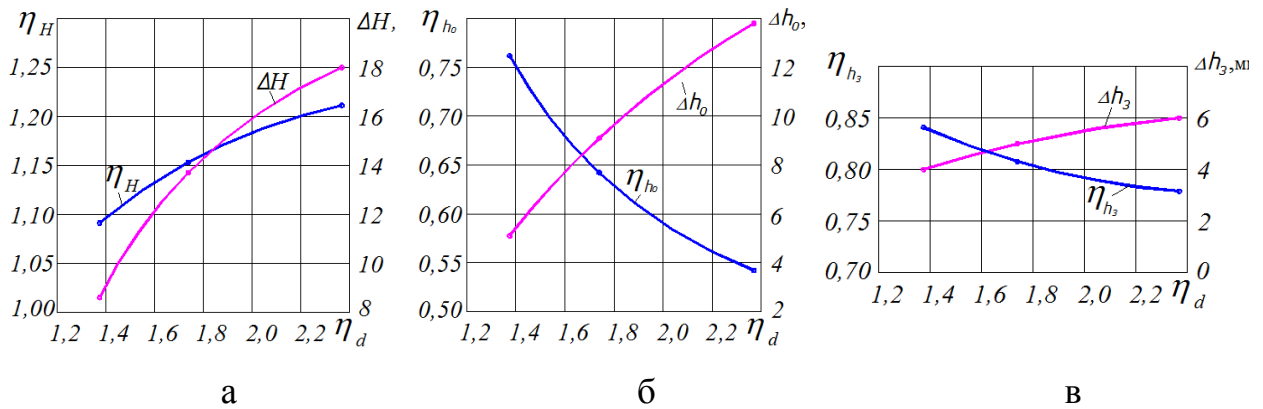


Рисунок 3 – Залежність висотної деформації полиць (а), відкритих (б) і закритих (в) фланців від обтиснення стінки

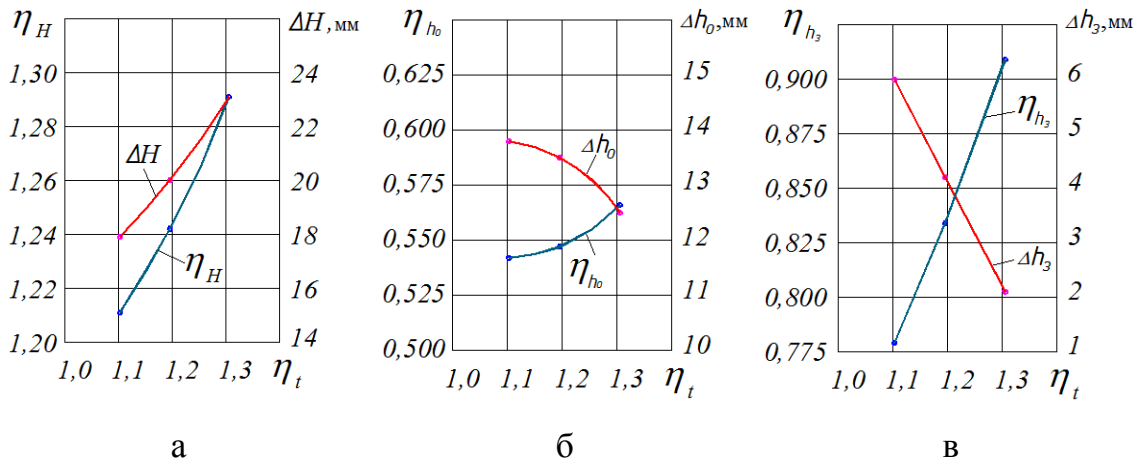


Рисунок 4 – Залежність висотної деформації полиць (а), відкритих (б) і закритих (в) фланців від бічного обтиснення фланців

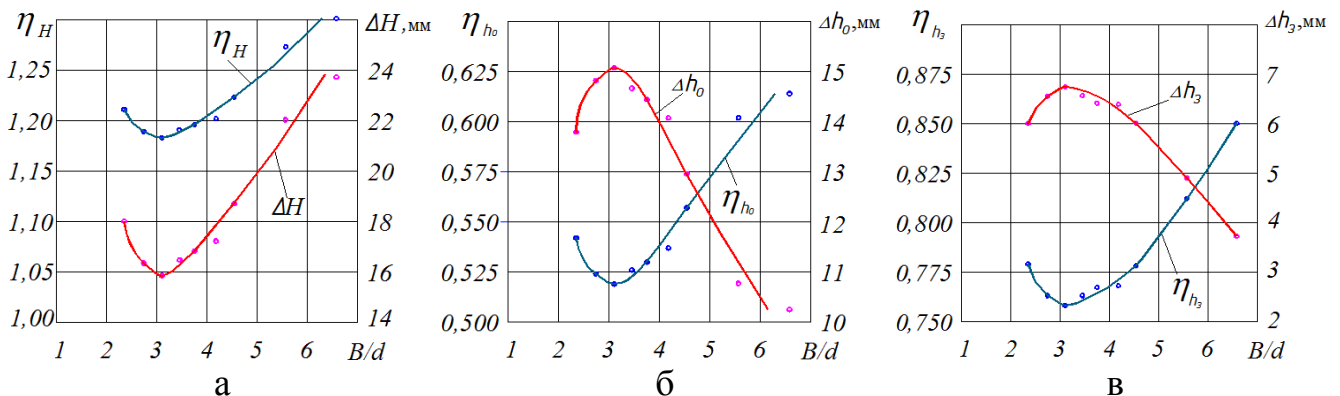


Рисунок 5 – Залежність висотної деформації полиць (а), відкритих (б) і закритих (в) фланців від ширини стінки (відношення B/d)

Встановлено, що збільшення обтиснення стінки η_d в межах від 1,373 до 2,371 сприяє зростанню висоти фланців, що дозволяє отримувати в чорнових калібрах заготовку з високими фланцями, яка задовольняє вимогам прокатки

двотаврів підвищеної точності. Незважаючи на збільшення утяжки полиць в 2,1 рази (рис. 3, а), абсолютний приріст висоти відкритих фланців Δh_o зростає в 2,7 рази (рис. 3, б), а приріст закритих фланців Δh_z – в 1,5 рази (рис. 3, в).

Збільшення бічного обтиснення фланців з 1,102 до 1,305 призводить до зменшення приросту висоти відкритих і закритих фланців і підвищеної утяжки полиць заготовки, що негативно позначається на геометричних розмірах готового двотавру. Інтенсивність зменшення приросту висоти закритих фланців більша, ніж відкритих: приріст висоти закритих фланців Δh_z зменшується майже в 3 рази (рис. 4, б), а приріст відкритих фланців Δh_o – в 1,1 рази (рис. 4, в). Утяжка полиць ΔH зростає на 29% (рис. 4, а). При η_t більш 1,305 має місце якісна зміна висотної деформації фланців – замість зростання висоти фланців відбувається їх утяжка, що не дозволяє отримати готовий профіль, який відповідає вимогам стандартів.

У діапазоні зміни відношення B/d від 2,36 до 6,73 має місце зменшення загальної висоти полиць, що досягає 30% (рис. 5, а). Прирости висоти відкритих Δh_o і закритих Δh_z фланців спочатку зростають на 8,6% і 10,4% до значення $B/d=3,1$, далі плавно зменшуються до 46,6% і 81% (рис. 5, б, в). Максимум приросту фланців Δh_o і Δh_z , мінімум утяжки полиць ΔH знаходяться при $B/d=3,1$.

Статистична обробка результатів теоретичного експерименту дозволила отримати аналітичні залежності висотної деформації полиць і фланців від обтиснення стінки, бічного обтиснення фланців, ширини стінки (відношення B/d) відповідно, що у загальному виді виражаються наступними рівняннями:

$$\eta_H, \Delta H, \eta_{h_o}, \Delta h_o, \eta_{h_z}, \Delta h_z = a_1 \cdot \eta_d^2 + b_1 \cdot \eta_d + c_1 \quad (1)$$

$$\eta_H, \Delta H, \eta_{h_o}, \Delta h_o, \eta_{h_z}, \Delta h_z = a_2 \cdot \eta_t^2 + b_2 \cdot \eta_t + c_2 \quad (2)$$

$$\eta_H, \Delta H, \eta_{h_o}, \Delta h_o, \eta_{h_z}, \Delta h_z = a_3 \cdot (B/d)^3 + b_3 \cdot (B/d)^2 + c_3 \cdot (B/d) + g_3 \quad (3)$$

Коефіцієнти регресії залежностей, що апроксимуються виразами (1)-(3), представлені в табл. 1.

Таблиця 1 – Коефіцієнти регресії залежності висотної деформації полиць і фланців від обтиснення і ширини стінки, бічного обтиснення фланців

Коефіцієнти регресії	Значення коефіцієнтів регресії для досліджуваних параметрів					
	η_H	ΔH	η_{h_o}	Δh_o	η_{h_z}	Δh_z
a_1	-0,078	-7,145	0,192	-4,363	0,014	-0,288
b_1	0,412	36,169	-0,938	25,056	-0,115	3,081
c_1	0,673	-27,592	1,689	-21,075	0,972	0,312
a_2	0,522	27,592	0,586	-28,892	0,445	1,300
b_2	-0,935	-40,789	-1,292	63,139	-0,431	-22,340
c_2	1,571	29,352	1,255	-20,693	0,714	29,040
a_3	-0,005	-0,368	-0,005	0,299	-0,002	0,074
b_3	0,079	5,483	0,078	-4,307	0,034	-1,256
c_3	-0,345	-23,988	-0,339	18,370	-0,165	5,963
g_3	1-657	48,81	0,974	-9,510	1,003	-2,050

Застосування багатофакторного теоретичного експерименту в динамічній постановці з варіюванням технологічних параметрів прокатки η_d , η_t , B/d і B/H дозволило з використанням методу найменших квадратів наближено описати процес прокатки в чорнових закритих балкових калібрах і отримати математичну модель формозміни металу у чорновому калібрі у вигляді наступних рівнянь регресії:

$$\eta_H = 0,3437 + 0,2671 \cdot \eta_d + 0,2117 \cdot \eta_t - 0,2365 \cdot (B/d) + 0,7231 \cdot (B/H) \quad (4)$$

($R=0,99$; $\sigma = 0,05$)

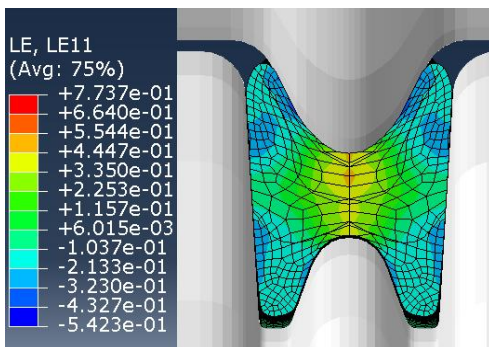
$$\eta_{ho} = 0,7300 - 0,1151 \cdot \eta_d + 0,0572 \cdot \eta_t - 0,1341 \cdot (B/d) + 0,4290 \cdot (B/H) \quad (5)$$

($R=0,98$; $\sigma = 0,06$)

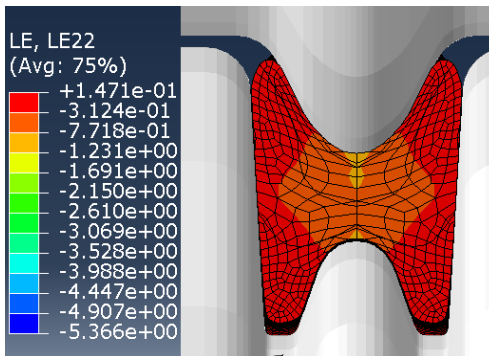
$$\eta_{h3} = 0,1229 + 0,0403 \cdot \eta_d + 0,5085 \cdot \eta_t - 0,2139 \cdot (B/d) + 0,6476 \cdot (B/H) \quad (6)$$

($R=0,99$; $\sigma = 0,04$)

Отримані регресійні рівняння дозволяють в виробничих умовах визначати раціональні співвідношення елементів чорнових двотаврових калібрів. Рекомендується використовувати залежності (4)-(6) на практиці при розробці робочих калібрувань валків.



а



б

Рисунок 6 – Розподіл логарифмічних деформацій у поперечному перерізі профілю при обтисненні $\Delta d = 37,7$ мм: $LE11$ уздовж осі X (а), $LE22$ уздовж осі Y (б)

закритих балкових калібрах необхідно вести з інтенсивним прямим обтисненням стінки з максимально можливим значенням η_d у межах від 2,0 до 2,4 і мінімальним бічним обтисненням фланців з коефіцієнтом бічної деформації фланців η_t у межах від 1,1 до 1,2 за умови збереження у чорнових калібрах відношення ширини стінки до її товщини B/d в межах від 2,5 до 4,0.

Аналіз НДС металу показав, що найбільші деформації характерні для стінки заготовки, максимальні з яких знаходяться в області вертикальної осі калібру. У фланцях деформації в вертикальному напрямку в 3-4 рази менше, ніж у стінці, мінімальні значення яких локалізуються на бічних зовнішніх гранях фланців у зонах, що прилягають до основи фланців. Тобто метал перетікає зі стінки до фланців в напрямку бічних зовнішніх граней, нейтральна лінія проходить через середину стінки заготовки (рис. 6).

На підставі виконаних теоретичних розрахунків та математичних моделей розроблені рекомендації з вибору раціональних співвідношень коефіцієнтів обтиснення стінки й бічної деформації фланців та ширини стінки до її товщини в чорнових закритих балкових калібрах. Для одержання в промислових умовах двотаврів з високими фланцями прокатку в чорнових

Чисельне дослідження дозволило визначити наступні слабкі місця у конструкції касети: нерівномірний розподіл навантаження у вертикальній площині внаслідок різної товщини верхньої і нижньої плит призводить у процесі прокатки до різної деформації поперечок плит (до 34%) (рис 8, б, в) і підшипників кочення (до 25%) (рис 8, г), перекосу всього валкового вузла, що сприяє їх поломці.

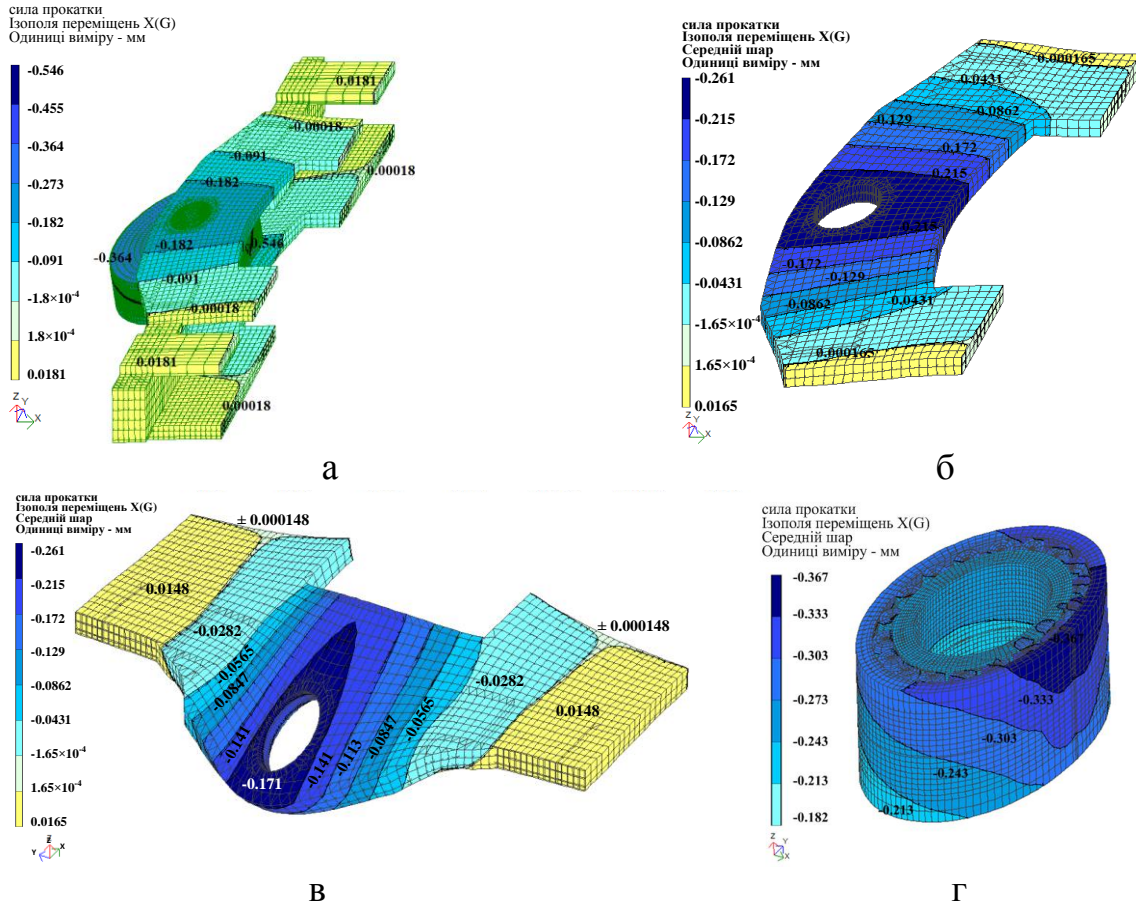


Рисунок 8 – Розподіл переміщень в елементах касети з неприводними вертикальними валками чистової кліті 580 у напрямку дії сили прокатки на вертикальний валок: касета в зборі (а), верхня плита (б), нижня плита (в), підшипники кочення (г)

Аналіз розподілу напружень в окремих деталях касети показав, що в плитах та ексцентриковій осі еквівалентні напруження не перевищують допустимих значень, а для підшипників і валків умова міцності не дотримується.

Теоретичний аналіз на основі МСЕ дозволив встановити зв'язок між загальною пружною деформацією касети та різнотовщинністю полиць при зміні поточних параметрів прокатки під впливом технологічних факторів прокатки. При зміні температури металу по полицях двотавра на 100°C пружна деформація касети змінюється на 14,1%, різниця в товщині полиць – на 20% від поля допуску на відхил даного розміру, а маса 1 м профілю – на 3,50–4,08%.

Розрахунки деформації касети за допомогою розробленого емпірико-аналітичного алгоритму з достатньою точністю збігаються з результатами математичного моделювання (МСЕ) деформованого стану касети (рис. 9). Розбіжність у загальній пружній деформації касети не перевищує 15,5%.

У шостому розділі на основі результатів дослідження у промислових умовах ПАТ «АМК» точності прокатки двотаврів у клітях дуо з використанням касет з неприводними вертикальними валками встановлено, що готові двотаври не відповідають профілям підвищеної точності: перевищення допустимого значення товщини фланців досягає 22%, відхил висоти фланців від допустимого значення досягає 35%. Виявлено наявність значної асиметрії профілю та різнотовщинності його елементів (рис. 10) і встановлено, що формування цих дефектів закладається на початковій стадії процесу прокатки і не виправляється на заключних стадіях у чистових клітях стана, оздоблених касетами недостатньої жорсткості і міцності. Коливання середньої товщини фланців в 1,5 – 2,0 рази більше, ніж стінки, і підкоряються синусоїдальному закону, що свідчить про радіальне биття вертикальних валків.

На основі результатів теоретичних та експериментальних досліджень удосконалена технологія прокатки двотавра №14, що полягає в обґрунтуванні її параметрів та калібрування валків, виконаного відповідно до розроблених практичних рекомендацій з деформаційного режиму прокатки в закритих балкових калібрах. Розроблене коригування калібрування двотавра №14 передано на стан 600 ПАТ «АМК» для промислового впровадження.

Розроблене універсальне калібрування валків з єдиним для обох профілів відкритим розрізним калібром, розташованим у кліті 4Г, на основі якого освоєно на стані 600 ПАТ «АМК» прокатка нових економічних імпортозамінних двотаврів з паралельними полицями № 16 та № 18 підвищеної точності.

Дослідження в промислових умовах роботи касет з неприводними вертикальними валками дозволило на підставі виявлених ушкоджень (рис. 11) визначити недоліки в їх конструкції, які підтверджуються теоретичним досліджен-

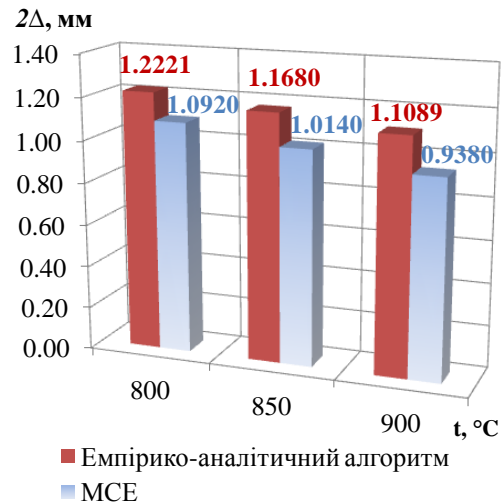


Рисунок 9 – Порівняння результатів розрахунку сумарної пружної деформації касети 2Δ , отриманих за допомогою МСЕ і емпірико-аналітичного алгоритму

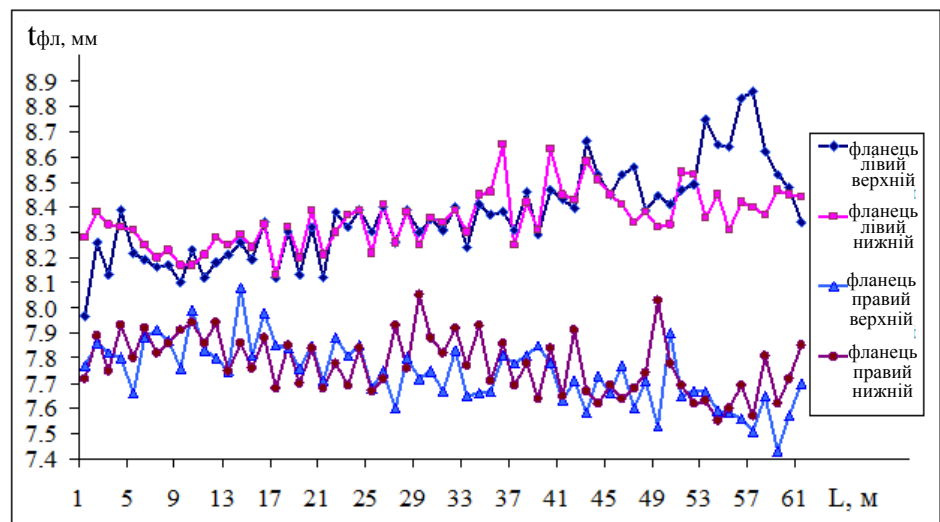


Рисунок 10 – Зміна середньої товщини фланців $t_{фл}$ по довжині розкату двотавра №14

ням НДС, виконаним з використанням МСЕ, і розробити варіант удосконалення касети, що був проаналізований за допомогою МСЕ. Зіставлення результатів чисельного дослідження НДС існуючої і удосконаленої конструкції касети представлено на рис. 12. Посилення поперечок плит бічними припливами в зоні отвору під цапфи ексцентрикових осей у сукупності з використанням плит рівної товщини приводить до зменшення значення переміщень у зазначеній області у верхній плиті в 2,37 рази, у нижній плиті в 2,44 рази, еквівалентних напружень σ_e – в 1,54 і 1,46 рази відповідно. У результаті скруглення прямих кутів вікна для проходження горизонтальних валків еквівалентні напруження σ_e в цій зоні у верхній плиті зменшуються в 1,38 рази, у нижній плиті – в 1,53 рази.

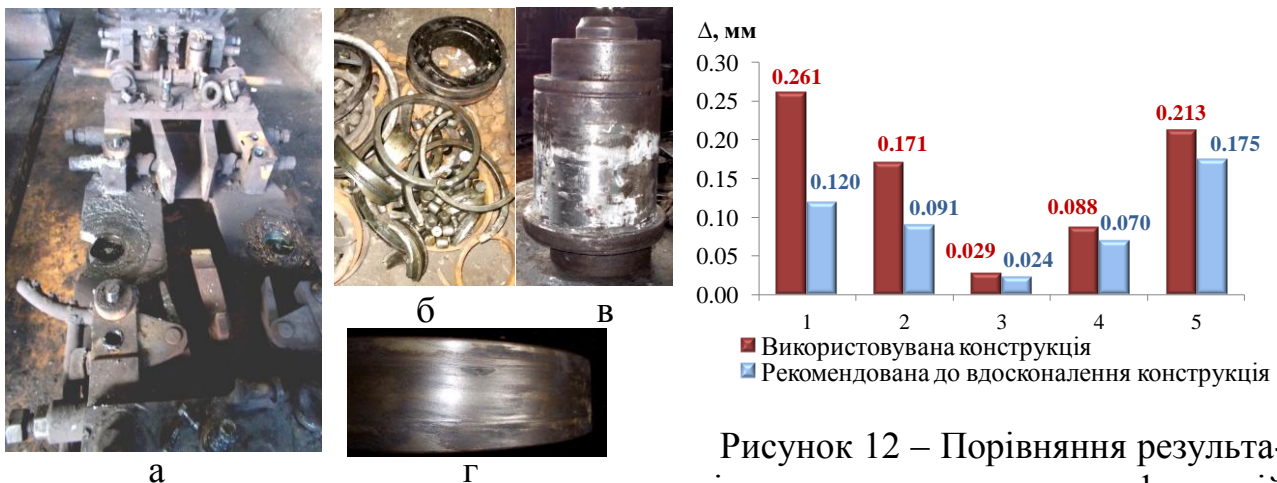


Рисунок 12 – Порівняння результатів розрахунку пружних деформацій в елементах касети використовуваної конструкції й удосконаленої: 1 – верхня плита, 2 – нижня плита, 3 – ексцентрикова вісь, 4 – підшипник кочення, 5 – вертикальний валок

Рисунок 11 – Поломки й uszkodження деталей касети кліті 580: поломка нижньої плити (а), зруйновані сферичні роликпідшипники (б), uszkodження поверхні осі (задирки) (в), задирка на робочій поверхні валка (г)

У цілому удосконалення касети дозволяє у верхній плиті знизити переміщення уздовж осі прокатки в 2,2 рази, а еквівалентні напруження σ_e в 1,45 рази. У нижній плиті значення переміщень зменшується в 1,9 рази, а напружень σ_e в 1,53 рази. Пружна деформація удосконаленої касети в зборі зменшується в 1,46 рази, а еквівалентні напруження σ_e в 1,26 рази.

Розроблені рекомендації з удосконалення конструкції касети з неприводними вертикальними валками передано до промислового впровадження. Результати дисертаційних досліджень використано на ПАТ «АМК» (м. Алчевськ) і в ДП УкрНТЦ «Енергосталь» (м. Харків).

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі отримане нове рішення актуальної науково-практичної задачі, що полягає в удосконаленні параметрів технологічного процесу прокатки двотаврів підвищеної точності, розробці методики визначення пружної деформації касети й удосконаленні її конструктивних параметрів. Робота спрямована на підвищення конкурентоспроможності готової продукції, що

пов'язано з розширенням сортаменту і підвищенням точності прокатки гарячекатаних двотаврових профілів.

1. В результаті аналізу літературних джерел визначено, що прогресивним напрямком у розвитку сортових станів є прокатка на спеціалізованих універсально-балкових станах з використанням клітей високої жорсткості, оздоблених комплектом вертикальних неприводних валків для обтиснення полиць двотаврів, що утворюють універсальні чотиривалкові калібри. На прокатних станах України, обладнаних клітями дуо і тріо, альтернативним рішенням є використання касет з неприводними вертикальними валками, застосування яких дає можливість на станах без універсальних клітей отримувати широкополичні двотаври з паралельними гранями полиць. Однак для підвищення точності прокатки таких профілів потрібно провести дослідження формозміни металу в фасонних калібрах, розробку науково-обґрунтованих методів проектування калібрувань валків і розрахунку параметрів прокатки, вдосконалення на їх основі технології прокатки, калібрувань валків і конструкції касет з неприводними вертикальними валками.

2. У результаті проведеного експериментального дослідження точності прокатки на сортових станах з чистовими клітями дуо, обладнаними касетами з непривідними вертикальними валками встановлено, що готові двотаври не відповідають профілям підвищеної точності: перевищення допустимого значення товщини фланців досягає 22%. Відхил висоти фланців від допустимого значення досягає 35%. Виявлено значну асиметрію профілю відносно горизонтальної і вертикальної площин, різнотовщинність і різноширинність готового профілю, які формуються на початковій стадії процесу і не виправляються на заключній стадії у чистових клітях.

3. Моделювання методом скінченних елементів дозволило встановити, що для чорнових закритих балкових калібрів з відношенням товщини стінки до висоти профілю у межах від 0,2 до 0,4 збільшення обтиснення стінки η_d в межах від 1,373 до 2,371 приводить до істотного росту висоти відкритих і закритих фланців з одночасним підвищенням абсолютного приросту висоти відкритих фланців Δh_o в 2,7 рази, а приросту закритих фланців Δh_z – в 1,5 рази. Зростання бічного обтиснення фланців η_t з 1,102 до 1,305 викликає зменшення абсолютного приросту висоти закритих фланців Δh_z майже в 3,0 рази, а приросту відкритих фланців Δh_o на 10%. При $\eta_t > 1,305$ відбувається якісна зміна висотної деформації фланців з переходом збільшення висоти фланців у їх утяжку.

4. На основі теоретичного дослідження методом скінченних елементів доведено, що для забезпечення необхідної висоти фланців шляхом регулювання параметрів прокатки в чорнових балкових калібрах необхідно, щоб коефіцієнт обтиснення стінки по товщині η_d приймав значення в межах від 2,0 до 2,4; коефіцієнт бічної деформації фланців η_t перебував у межах від 1,1 до 1,2; ширина різальних гребенів валків, є раціональною при відношенні ширини стінки до її товщини $B/d = 3,10$. Для одержання на завершальній стадії прокатки двотаврів з високими фланцями чорнові закриті балкові калібри необхідно проектувати зі збереженням відношення B/d в межах від 2,5 до 4,0. 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.

5. Результати експериментальних досліджень формозміни металу в чорнових закритих калібрах свідчать про адекватність розроблених математичних моделей. Розходження в абсолютних значеннях приросту висоти відкритого й закритого фланців склало 8,7% й 25 % відповідно. Розбіжність в утяжці загальної висоти профілю не перевищує 5 %.

6. На основі методу скінчених елементів визначені характер і параметри об'ємного напружено-деформованого стану касет з непривідними вертикальними валками, що утворюють чистові універсальні калібри. Встановлено, що при зниженні температури металу по полицях двотавра на 100°C загальна пружна деформація касети збільшується на 14,1%, що приводить до підвищення різниці в товщині полиць на 0,08 мм або 20% від поля допуску і зростанню маси 1 м довжини профілю на 4,08%, викликаючи тим самим перевитрати металу.

7. Розроблено рекомендації з удосконалення конструкції касети, використання яких дозволить в 1,5 рази зменшити пружну деформацію касети та підвищити точність прокатки двотаврових профілів за рахунок підвищення жорсткості касети внаслідок удосконалення конструкції валкових вузлів шляхом заміни двох сферичних роликотішпників на один конічний дворядний підшипник з більшими динамічною вантажопідйомністю і номінальною довговічністю і плит за рахунок зміни форми і розмірів поперечок.

8. Результати дисертаційної роботи у вигляді програмних продуктів, технічних рішень і практичних рекомендацій впроваджені на крупносортному стані 600 ПАО «АМК» при вдосконалюванні діючої і розробці нової технології прокатки двотаврів підвищеної точності та удосконаленні конструкції касет з вертикальними валками чистових клітей дуо. Удосконалено діюче калібрування валків і технологію прокатки двотаврів №14. Розроблена і освоєна технологія прокатки нових економічних імпортозамінних двотаврів №16 і №18 з паралельними полицями, що відрізняється використанням універсального калібрування валків з єдиним для обох профілів розрізним балковим калібром.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Шпаков В.А. О точности нанесения и измерения координатных сеток. / В.А. Шпаков, Е.В. Базарова // Сб. науч. тр. ДонГТУ. – Алчевск : ДонГТУ, 2008. – № 27. – С. 266–275.
2. Базарова Е.В. Исследование напряженно-деформированного состояния кассеты вертикальных валков. / Е.В. Базарова, В.А. Шпаков // Сб. науч. тр. ДонГТУ. – Алчевск : ДонГТУ. – 2010. – № 31. – С. 140–145.
3. Шпаков В.А. Исследование разнотолщинности фланцевых профилей на крупносортном стане 600 / В.А. Шпаков, Е.В. Базарова, А.А. Чичкан // Бюллетень научно-технической и экономической информации «Черная металлургия». – М.: ОАО «Черметинформация». – 2012. – Вып. 1 (1345). – С. 53–60.
4. Моделирование напряженно-деформированного состояния элементов касет с неприводными вертикальными валками для чистовых клетей сортовых станов. // В.С. Медведев, Е.В. Базарова, А.А. Чичкан, В.А. Шпаков // Вісник Національного

технічного університету «ХПІ». Зб. наук. пр. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2013. – №43 (1016). – С. 169–179.

5. Медведев В.С. Экспериментальное исследование течения металла в балочных калибрах / В.С. Медведев, В.А. Шпаков, Е.В. Базарова // Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні: зб. наук. праць – Луганськ: вид-во СНУ ім. В.Даля. – 2013. – № 1 (14). – С. 52–61.

6. Теоретическое исследование течения металла в закрытых балочных калибрах методом конечных элементов / В.С. Медведев, П.В. Боровик, В.А. Шпаков, Е.В. Базарова // Обработка материалов давлением : сборник научных трудов. – Краматорск : ДГМА. – 2014. – №1(38). – С. 166–172.

7. Точность прокатки двутавровых балок в клетях дуо с использованием кассет с неприводными вертикальными валками // В.С. Медведев, Е.В. Базарова, В.А. Шпаков, А.А. Чичкан // Металлургическая и горнорудная промышленность – 2014. – № 3. – С. 45–49.

8. Медведев В.С. Влияние обжатия стенки на изменение высоты фланцев в черновых закрытых балочных калибрах элементов / В.С. Медведев, Е.В. Базарова, В.А. Шпаков // Вісник Національного технічного університету «ХПІ»: зб. наук. пр. Серія: Інформаційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2014. – №43 (1086). – С.81–88.

9. Медведев В.С. Влияние ширины стенки на изменение высоты фланцев в черновых закрытых балочных калибрах элементов / В.С. Медведев, Е.В. Базарова, В.А. Шпаков // Обработка материалов давлением : сборник научных трудов. – Краматорск : ДГМА. – 2015. – №1(40). – С. 175–181.

10. Медведев В.С. Влияние бокового обжатия фланцев на изменение их высоты в черновых закрытых балочных калибрах / В.С. Медведев, Е.В. Базарова // Вестник НТУУ «КПИ». сб. науч. тр. Серія. Машиностроение. – К. : НТУУ «КПИ». – 2016 – № 1 (76). – С. 81–87.

11. Универсальная калибровка валков для прокатки двутавров смежных размеров / А.А. Чичкан, Э.Н. Клепач, В.С. Медведев, Е.В. Базарова // Металлургическая и горнорудная промышленность – 2016. - № 4. – С. 49–54.

12. Чичкан А.А. Освоение новых фасонных профилей на стане 600 ПАО «АМК» / А.А. Чичкан, Э.Н. Клепач, Е.В. Базарова // Бюллетень научно-технической и экономической информации «Черная металлургия». – М.: ОАО «Черметинформация». – 2016 – № 4 (1396). – С. 52–56.

13. Medvedev V.S. Influence of flanges' side reduction on changing their height in roughing dead beam passes / V.S. Medvedev, E.V. Bazarova // Теоретичні та практичні проблеми в обробці матеріалів тиском і якості фахової освіти. Матеріали VI МНТК 14–18 грудня 2015 р. – Київ: КПІ, 2015. – С. 64–65.

Особистий внесок здобувачки в роботах, опублікованих у співавторстві:

[1, 5] – дослідження формозміни металу в балкових калібрах методом фізичного моделювання; [2, 4] – дослідження напружено-деформованого стану кассет з неприводними вертикальними валками, що утворюють чистові універсальні калібри; [3, 7] – дослідження точності прокатки двотаврів у клітках дуо з ви-

користанням касет з неприводними вертикальними валками; [6, 8, 9, 10, 13] – дослідження характеру формозміни металу в чорнових балкових калібрах та впливу на нього параметрів прокатки за допомогою чисельного моделювання; [11, 12] – розробка параметрів універсального калібрування валків для прокатування двотаврів суміжних розмірів.

АНОТАЦІЯ

Базарова К.В. Удосконалення технології та обладнання для прокатки двотаврових балок на основі аналізу формозміни металу в різних калібрах. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.05 – «Процеси та машини обробки тиском». – Донбаська державна машинобудівна академія, Краматорськ, 2019.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуальних науково-практичних завдань, що полягає в удосконаленні параметрів технологічного процесу прокатки двотаврів підвищеної точності, розробці методики визначення пружної деформації касети й удосконаленні її конструктивних параметрів. Робота спрямована на підвищення конкурентоспроможності готової продукції, що пов'язано з розширенням сортаменту і підвищенням точності прокатки гарячекатаних двотаврових профілів.

На основі розроблених тривимірних скінченно-елементних моделей прокатки встановлені фізичні закономірності плину металу в чорнових закритих балкових калібрах з відношенням товщини стінки до висоти розкату в межах від 0,2 до 0,4, для яких визначено кількісні оцінки граничних параметрів прокатки двотаврових профілів в чорнових балкових калібрах, розроблено у вигляді рівнянь регресії математичні моделі розрахунку кількісних характеристик формозміни металу, що враховують вплив прямого обтиснення стінки, бічного обтиснення фланців і ширини стінки на висотну деформацію фланців. Теоретичні дослідження підтверджуються експериментальними дослідженнями, що свідчить про адекватність розроблених математичних моделей.

Розроблена методика визначення сумарної пружної деформації касети від сил деформування з урахуванням взаємного впливу деталей касети, які стикаються при роботі валкового вузла в зборі, що дозволяє прогнозувати різновтовщинність готових двотаврів. На основі результатів дослідження НДС методом скінченних елементів касети розроблено рекомендації відносно вдосконалення її конструкції. Удосконалено діюче калібрування валків і технологія прокатки двотаврів №14, розроблено та освоєно технологію прокатки нових економічних імпортозамінних двотаврів з паралельними полицями № 16 і № 18, що відрізняється використанням універсального калібрування валків з єдиним для обох суміжних профілів різним балковим калібром.

Ключові слова: прокатка, двотавр, метод скінченних елементів, метод сіток, напружено-деформований стан, формозміна, точність профілю, балковий калібр, касета з вертикальними валками, калібрування валків.

АННОТАЦИЯ

Базарова Е.В. Усовершенствование технологии и оборудования для прокатки двутавровых балок на основе анализа формоизменения металла в разрезных калибрах. – Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на получение научной степени кандидата технических наук по специальности 05.03.05 – «Процессы и машины обработки давлением». – Донбасская государственная машиностроительная академия, Краматорск, 2019.

Диссертационная работа посвящена решению актуальных научно-практических задач, заключающихся в совершенствовании параметров технологического процесса прокатки двутавров повышенной точности, разработке методики определения упругой деформации кассеты и совершенствовании ее конструктивных параметров. Работа направлена на повышение конкурентоспособности готовой продукции за счет расширения сортамента и повышения точности прокатки горячекатаных двутавровых профилей, что является актуальным для металлургической промышленности Украины.

На основе исследования методом конечных элементов течения металла в недостаточно исследованных черновых закрытых балочных калибрах с отношением толщины стенки к высоте профиля в пределах от 0,2 до 0,4 установлены закономерности формоизменения заготовки, с помощью которых определено, что увеличение обжатия стенки приводит к росту высоты открытых и закрытых фланцев. Повышение боковой деформации фланцев вызывает уменьшение приращения высоты фланцев и приводит к повышенной утяжке полок двутавровой заготовки. При увеличении отношения ширины стенки к ее толщине до значения 3,1 наблюдается незначительное приращение высоты фланцев с последующим уменьшением высоты всех элементов раската. Определены количественные оценки технологических параметров прокатки двутавровых профилей в черновых балочных калибрах, применение которых в процессе прокатки позволяет сформировать в этих калибрах двутавровый раскат с максимально возможной высотой фланцев, а в чистовом универсальном калибре получить готовые двутавровые профили с точными размерами по ширине полок. Разработаны математические модели расчета количественных характеристик формоизменения металла в черновых закрытых балочных калибрах, учитывающие влияние прямого обжатия стенки, бокового обжатия фланцев и ширины стенки на высотную деформацию фланцев. Теоретические исследования подтверждены экспериментально физическим моделированием, что свидетельствует об адекватности разработанных математических моделей.

На основе теоретических и экспериментальных исследований разработана методика определения суммарной упругой деформации кассеты с неприводными вертикальными валками с учетом взаимного влияния деталей и узлов, которая позволяет прогнозировать разнотолщинность готовых двутавровых профилей в зависимости от технологических режимов и деформирующих сил прокатки.

Разработаны рекомендации по совершенствованию конструкции кассеты, что позволяет уменьшить упругую деформацию кассеты и повысить точность прокатки двутавровых профилей. Усовершенствована действующая калибровка валков и технология прокатки двутавров №14. Разработана и освоена технология прокатки

новых экономических импортозамещающих двутавров с параллельными полками № 16 и № 18, отличающаяся использованием универсальной калибровки валков с единым для обоих смежных профилей разрезным балочным калибром.

Ключевые слова: прокатка, двутавр, метод конечных элементов, метод сеток, напряженно-деформированное состояние, формоизменение, точность профиля, балочный калибр, кассета с вертикальными валками, калибровка валков.

ANNOTATION

Bazarova E.V. The improvement of the technology and equipment for I-beams is based on the analysis of metal shaping in the splitting passes. – Qualification scientific work as a manuscript.

Dissertation for the Candidate's degree in Engineering, specialty 05.03.05 – Processes and Machines of plastic working. Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk. 2019.

The thesis is devoted to solving actual scientific and practical problems, connected with improving the parameters of technological process of high accurate I-beams rolling, developing a technique for determining the elastic deformation of a cassette and improving its design parameters. The work is aimed at improving the competitiveness of finished products by increasing the range and improving the rolling accuracy of hot-rolled I-beams.

On the basis of the study method of the finite elements for metal flow in rough closed beam gauges with a ratio the wall thickness to the profile height 0.2 to 0.4 are determined the quantitative assessments of the technological parameters of I-beam rolling, which application during the rolling process makes it possible form I-beams in the rough beam passes with the maximum possible height of the flanges and in a final universal caliber to obtain ready-made I-beams with accurate dimensions for width of shelves. Mathematical models are developed for calculating the quantitative characteristics of metal shaping in rough closed beam gauges considering a direct wall reduction, lateral reduction of flanges and wall width on the altitudinal deformation of flanges. Theoretical studies are confirmed experimentally by physical modeling, which confirms the adequacy of the developed mathematical models.

On the basis of theoretical and experimental studies a method for determining the total elastic deformation of a cassette with non-drive vertical rolls are developed further considering the mutual influence parts and units, which allows to predict the heterogeneity of the finished I-beams depending on the technological modes and deforming forces rolling. The recommendations for improving the design of the cassette are developed which reduces its elastic deformation and improves the accuracy of I-beams rolling. The current calibration of rolls and the technology of No 14 I-beams rolling are improved. The technology of rolling new economical import-substituting I-beams with parallel shelves No. 16 and No. 18 is developed and mastered. It is distinguished in using the universal calibration of rolls with a single rough beam gauge for both profiles.

Keywords: rolling, I-beam, method of the finite elements, method of grids, stress-strain state, shaping, profile accuracy, beam gauge, cassette with vertical rolls, rolls calibration.

Підп. до друку 15.10.2019. Формат 60 x 84/16. Ум. друк. арк. 1,16.
Обл.вид. арк. 0,9. Тираж 120 пр. Зам. № ____.

Видавець і виготівник
Донбаська державна машинобудівна академія
84313, м. Краматорськ, вул. Академічна, 72.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК №1633 від 24.12.2003