

**Міністерство освіти і науки України
Донбаська державна машинобудівна академія**

СЕЛЕЗНЬОВ МАКСИМ ЄВГЕНОВИЧ



УДК 621.967 : 621.98.04

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ
ПРОЦЕСІВ РІЗАННЯ ТОВСТОЛИСТОВОГО
МЕТАЛОПРОКАТУ НА НОЖИЦЯХ**

Спеціальність 05.03.05 – процеси та машини обробки тиском

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

Краматорськ – 2016

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Донбаській державній машинобудівній академії Міністерства освіти і науки України (ДДМА, м. Краматорськ).

Науковий керівник:

кандидат технічних наук, доцент
Боровік Павло Володимирович,
доцент кафедри «Машини металургійного комплексу та прикладна механіка», Донбаський державний технічний університет Міністерства освіти і науки України (м. Лисичанськ).

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Іщенко Анатолій Олексійович,
завідувач кафедри «Механічне обладнання заводів чорної металургії», Приазовський державний технічний університет Міністерства освіти і науки України (м. Маріуполь);

кандидат технічних наук, доцент
Коренко Марина Георгіївна,
доцент кафедри «Металургійні технології», Криворізький металургійний інститут Національної металургійної академії України Міністерства освіти і науки України (м. Кривий Ріг).

Захист відбудеться «01» грудня 2016 р. о 13⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 12.105.01 у Донбаській державній машинобудівній академії (84313, м. Краматорськ, вул. Академічна (Шкадінова), 72, 1-й навчальний корпус).

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Донбаської державної машинобудівної академії (84313, м. Краматорськ, вул. Академічна (Шкадінова), 72, 1-й навчальний корпус).

Автореферат розісланий «27» жовтня 2016 р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради Д 12.105.01

канд. техн. наук, доцент



Ю. К. Добронос

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Металургійна промисловість України на даному етапі зазнає якісних змін, пов'язаних з особливостями ринку і підвищенням вимог до продукції. Зокрема, спостерігається зростання попиту на листовий і смуговий металопрокат, що призводить до необхідності вдосконалення існуючого та створення нового обладнання, задіяного в його виробництві, з метою збільшення продуктивності та підвищення якості листа. При цьому процес виробництва листового металопрокату, як правило, включає операції подовжнього і поперечного різання, що застосовуються для отримання листів заданих розмірів. З цією метою на ділянках різання прокатних станів широко використовуються ножиці різних типів, що дозволяють досягти необхідної якості листа при забезпеченні високої продуктивності операцій різання в цілому. Зокрема для поперечного різання листового металопрокату широко використовуються ножиці з шевронним ножем, проте, практика застосування класичного шевронного ножа показала наявність дефекту у вигляді залишкової деформації готового листа. У свою чергу для обрізки бічних кромek листа і додання йому заданої ширини широко використовуються високопродуктивні дискові ножиці, серед особливостей роботи яких слід відзначити можливу появу серповидності листа, що ріжеться. Наявність даних дефектів при застосуванні зазначених способів різання істотно знижує якість прокатної продукції. Це призводить до необхідності розробки нових технічних рішень, спрямованих на підвищення якості листового металопрокату. Ефективне практичне застосування, цих рішень можливе лише при наявності чітких рекомендацій відносно їх технологічних параметрів, розробка яких може бути проведена на базі теоретичних і експериментальних досліджень енергосилових і кінематичних показників зазначених розділових операцій, що і зумовлює актуальність даної дисертаційної роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема дисертації відповідає науковому напрямку «Створення нових і вдосконалення діючих технологій, обладнання й засобів автоматизації в прокатному виробництві» однієї з провідних наукових шкіл Донбаської державної машинобудівної академії. Дисертація виконана в рамках держбюджетних науково-дослідних робіт, передбачених планами Міністерства освіти і науки України (№ держ. реєстрації 0113U003979; № держ. реєстрації 0114U002537 наказ № 1611 від 22.11.2013). У цих роботах автор брав участь в якості виконавця.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є підвищення якості листового металопрокату шляхом удосконалення технології та обладнання процесів подовжнього і поперечного різання на основі розвитку математичних моделей з визначення енергосилових і кінематичних параметрів даних технологічних процесів та розробки науково обґрунтованих рекомендацій з їх реалізації.

Для досягнення вказаної мети у рамках дисертаційної роботи були поставлені і вирішені наступні задачі:

– провести аналіз стану питання, визначити основні проблеми, характерні для процесів подовжнього і поперечного різання листового металопрокату на ножицях, а також намітити шляхи їх вирішення;

- встановити закономірності впливу параметрів різального інструменту на енергосилові показники процесу різання та якість листового металопрокату;

- розробити методики та програмні засоби для автоматизованого розрахунку енергосилових і кінематичних параметрів процесів подовжнього і поперечного різання листового металопрокату на ножицях;

- провести експериментальну оцінку адекватності використовуваних методик розрахунку енергосилових і кінематичних параметрів процесів подовжнього та поперечного різання листового металопрокату на ножицях;

- розробити практичні рекомендації з вдосконалення технології і устаткування процесів подовжнього і поперечного різання листового металопрокату на ножицях.

Об'єкт дослідження. Процеси подовжнього і поперечного різання листового металопрокату і устаткування для їх реалізації.

Предмет дослідження. Основні закономірності і методи розрахунку геометричних характеристик, енергосилових і кінематичних параметрів процесів подовжнього і поперечного різання товстолистового металопрокату на ножицях.

Методи дослідження. Основу теоретичних досліджень склали метод чисельного рекурентного рішення скінченно-різницевої форми статичної рівноваги виділених елементарних об'ємів осередку різання, а також метод скінченних елементів. Експериментальні дослідження включали фізичне моделювання досліджуваних процесів із застосуванням методів тензометрії. Реалізація експериментальних досліджень проводилася із застосуванням підходів до планування експерименту, а при обробці їх результатів були використані методи математичної статистики.

Наукова новизна одержаних результатів. Наукову новизну дисертаційної роботи складають наступні основні результати виконаних теоретичних і експериментальних досліджень:

- уперше встановлений вплив технологічних параметрів процесу різання і форми ріжучої кромки шевронного ножа з скругленням на величину залишкової деформації розрізаного листа і енергосилові параметри розділового процесу;

- уперше встановлені граничні умови реалізації процесу подовжнього різання товстолистового металопрокату на дискових ножицях з одним приводним ножем з пари при несиметричному заглибленні ножів, а також вплив технологічних параметрів даного розділового процесу на величину моменту різання;

- уперше встановлена залежність швидкості переміщення листа при різанні на дискових ножицях від дії сил зовнішнього опору, що необхідно для синхронізації комбінованих процесів правлення і подовжнього різання.

Практичне значення одержаних результатів. Практичну цінність дисертаційної роботи представляють наступні результати:

- методики і програмні засоби з визначення енергосилових і кінематичних показників процесів подовжнього і поперечного різання листового металопрокату на ножицях;

- рекомендації відносно реалізації процесу поперечного різання листового металопрокату шевронним ножем із скругленням, а також комбінування процесів правлення та подовжнього різання листового металопрокату на дискових ножицях;

– технічні рішення, спрямовані на вдосконалення процесів подовжнього і поперечного різання листового металопрокату, що дозволяють підвищити якість готової продукції з урахуванням мінімізації енерговитрат процесів різання, що визнані винаходами.

Результати дисертаційної роботи у вигляді програмних засобів, а також рекомендацій з вдосконалення технологічних режимів і конструктивних параметрів ножиць використані на ПАТ «Новокраматорський машинобудівний завод».

Окремі положення дисертації використовуються на кафедрі «Машини металургійного комплексу та прикладна механіка» Донбаського державного технічного університету у рамках викладання ряду спеціальних дисциплін, а також при виконанні науково-дослідних робіт, курсових і дипломних проектів.

Особистий внесок здобувача. Автор провів аналіз стану питання, розробив технічні рішення, спрямовані на вдосконалення процесів подовжнього і поперечного різання листового металопрокату. Розробив методики і математичні моделі до автоматизованого розрахунку енергосилових і кінематичних параметрів процесів подовжнього і поперечного різання листового металопрокату на ножицях. Взяв участь в створенні двох лабораторних установок, а також провів експериментальні дослідження, обробку і аналіз отриманих результатів. Особистий вклад здобувача в роботах, опублікованих в співавторстві, наведений в анотації до списку опублікованих робіт.

Апробація результатів дисертації. Матеріали дисертаційної роботи були докладені та обговорені на міжнародних науково-технічних конференціях: «Досягнення і проблеми розвитку технологій і машин обробки тиском» м. Краматорськ, Україна, 2013, 2015, «Актуальные вопросы современной техники и технологии» м. Липецьк, Росія, 2013, «Металургійні процеси та обладнання» м. Донецьк, Україна, 2013, «Научные перспективы XXI века. Достижения и перспективы нового столетия», м. Новосибірськ, Росія, 2015, «Ресурсозбереження та енергоефективність процесів і обладнання обробки тиском в машинобудуванні та металургії», м. Харків, Україна, 2013, 2015.

Публікації. Матеріали дисертаційної роботи опубліковані в 15 роботах з наукової тематики, з них 13 статей в фахових виданнях, з яких 1 у бібліографічній реферативній базі «Scopus». Отримано 2 патенти на корисну модель.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний об'єм роботи 206 сторінок, у тому числі 131 сторінка основного тексту, 88 рисунків, з яких 17 на окремій сторінці і 11 таблиць, з яких 1 на окремій сторінці, список використаних джерел з 202 найменувань і 2 додатки на 53 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтована актуальність теми і показаний зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами, планами і темами. Сформульовані мета і вирішувані задачі, дана характеристика об'єкту, предмету і методів дослідження. Відмічений особистий вклад здобувача, показані наукова новизна і практична цінність отриманих результатів, а також їх апробація і промислове впровадження.

У першому розділі викладено нинішній стан питання, а також аналіз технології, обладнання та методів розрахунку процесів різання листового металопрокату, зокрема визначено, що основною задачею технологічного процесу виробництва товстолистого металопрокату є отримання готового листа товщиною до 50 мм високої якості з мінімальними витратами і максимальною продуктивністю. Технологічна схема виробництва товстого листа, як правило, включає операції різання, що проводяться з метою надання йому встановлених форми і розмірів. Для реалізації даних операцій на ділянках різання сучасних станів застосовують різноманітне устаткування, серед якого особливе місце займають ножиці різних типів, котрі являються одними з найбільш складних по кінематиці і конструкції, машинами, що входять в комплекс прокатних станів.

Для поперечного різання товстолистого металопрокату широко застосовуються ножиці з класичним шевронним ножем, проте його застосування характеризується наявністю залишкової деформації частини листа, що відрізається, при цьому існує декілька технічних рішень, спрямованих на зниження цього дефекту шляхом застосування шевронного ножа з конструктивним елементом у вершині сходження похилих прямолінійних площин ріжучої кромки. Для реалізації процесу обрізання бічних кромek товстих листів широко використовуються високопродуктивні дискові ножиці, можливості яких на деяких станах істотно розширені за рахунок реалізації процесу різання в гарячому стані, проте їх застосування пов'язане з можливою появою серповидності листа.

Істотний внесок у розвиток теоретичних основ процесів різання металопрокату внесли: М. Г. Бойденко, П. В. Боровік, В. І. Дунаєвський, А. О. Іщенко, А. А. Корольов, М. І. Крилов, В. В. Носаль, С. М. Носенко, Є. В. Пальмов, А. М. Сабуров, О. В. Сатонін, В. В. Смирнов, О. І. Целіков і ряд інших вчених.

Для поперечного різання листового металопрокату шевронним ножем основним енергосиловим показником розділової операції є величина сили різання, методи розрахунку якої аналогічні вживаним при поперечному різанні гільйотинним ножем з тією відмінністю, що отримані значення, необхідно подвоювати внаслідок наявності у ріжучої кромки шевронного ножа двох похилих прямолінійних площин, що утворюють, відповідно, два ідентичні осередки різання, при цьому методика Целікова-Носаля дозволяє врахувати найбільшу кількість чинників що впливають на енергосилові параметри даного розділового процесу. Загальним недоліком відомих методик розрахунку величини сили різання для даного випадку є обмеженість їх застосування для опису процесу різання шевронним ножем з формою ріжучої кромки відмінною від класичної.

Стосовно процесу подовжнього різання листового металопрокату на дискових ножицях, розрахунок енергосилових показників в цілому зводиться до визначення сили і моменту різання. Проведений огляд існуючих методик по визначенню енергосилових параметрів цього розділового процесу свідчить про наявність різних підходів до рішення вказаної задачі. Проте найбільш точних результатів дозволяють добитися методики, що враховують реальну форму ножа, а також ряд додаткових технологічних параметрів, таких як: згинання відрізуваної частини листа, зазор між ножами та ін., що в різній мірі впливають на енергосилові показники процесу

різання дисковими ножами. При цьому методики на основі чисельного рекурентного рішення скінченно-різницевої форми статичної рівноваги з визначення геометричних характеристик і енергосилових параметрів у рамках кожного окремо виділеного елементарного об'єму осередку різання дозволяють враховувати реальну форму ножа, а також напрям сил тертя на контактній поверхні, що робить можливим отримання розподілу моментів між верхнім і нижнім дисковими ножами.

У другому розділі визначений напрямок а також обрані методи та обладнання досліджень процесів подовжнього і поперечного різання листового металопрокату на ножицях. Зокрема в якості основного завдання теоретичного дослідження прийнята оцінка впливу основних технологічних параметрів розділового процесу на його якісні і енергосилові показники. При цьому, з урахуванням сучасного рівня розвитку обчислювальної техніки, виконання зазначеного завдання може бути реалізоване за допомогою математичного моделювання, зокрема, із застосуванням методу скінченних елементів (МСЕ), який останнім часом широко використовується для вирішення задач обробки металу тиском, що обумовлено розвитком його теоретичних основ і достатньою потужністю сучасних ЕОМ. Проте варто вказати, що практичне застосування МСЕ пов'язане з певними труднощами, які обумовлені необхідністю застосування ЕОМ високої обчислювальної потужності, а також рівнем кваліфікації користувачів. Це призводить до необхідності розробки альтернативних методик розрахунку, застосування яких дозволить відмовитися від МСЕ на користь доступніших засобів математичного моделювання, які більше підходять до застосування в умовах виробництва.

Враховуючи досвід попередніх досліджень, при виборі методик і підходів до двовимірного математичного моделювання з метою підвищення точності розрахунку енергосилових параметрів дотримувалися наступних основних тенденцій: врахування реальної форми ножа, що використовується і адекватний опис зміни механічних властивостей металу по мірі заглиблення ножа залежно від початкових параметрів розділового процесу. Цей підхід, стосовно процесів різання листового металопрокату на ножицях, як правило, передбачає використання чисельного рекурентного рішення скінченно-різницевої форми умови статичної рівноваги виділених елементарних об'ємів осередку різання.

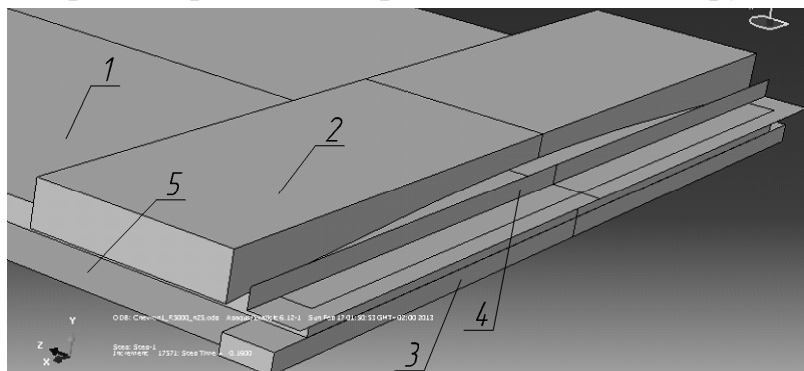
В якості середовища для створення математичних моделей зазначених процесів подовжнього і поперечного різання листового металопрокату доцільно використання систем автоматизації інженерних розрахунків через їх доступність і наявність достатнього функціонала для вирішення поставлених задач.

Оцінка адекватності результатів теоретичних досліджень, як правило, проводиться експериментальним шляхом, із застосуванням методів кореляційного і регресійного аналізу, при цьому достовірність розроблених математичних моделей може бути встановлена із застосуванням тестів Фішера і Стюдента, а також за величиною середньої відносної похибки апроксимації.

У третьому розділі розглянуте математичне моделювання і програмні засоби з автоматизованого розрахунку енергосилових параметрів процесів різання товстого листового металопрокату на ножицях.

Стосовно процесу поперечного різання листового металопрокату шевронним ножом на початковому етапі була розроблена тривимірна скінченно-елементна математична модель даного процесу. Модель (рис. 1) складається з бруса, що деформується, 1 (що моделює розрізуваний лист) і чотирьох абсолютно жорстких тіл, що не деформуються: верхній 2 і нижній 3 ножі, притискач 4 і стіл 5. Різ здійснюється шляхом переміщення у вертикальній площині нижнього ножа і притискача, по відношенню до нерухомого верхнього ножа.

В якості матеріалу, що розрізається, моделювалася сталь Ст2пс. Моделювали процеси різання шевронним ножом конструкції «Северсталь» (з горизонтальною



площадкою довжиною 283 мм у вершині сходження похилих прямолінійних площин ріжучої кромки), а також шевронним ножом із скругленням радіусом 5000 мм.

Також моделювався процес різання шевронним ножом класичної конструкції, при цьому кут нахилу прямолінійних площин ріжучих кромки для усіх

Рисунок 1 – Загальний вигляд тривимірної моделі різання шевронним ножом

ножів приймався рівним 3° , товщина листа складала 25 мм. На рисунку 2 показані розподіли значень сили різання N залежно від переміщення ножа S (див. рис. 2, а) й відповідні розподіли величини залишкової деформації Δ по ширині листа L , яка складала 1000 мм (див. рис. 2, б).

З отриманих розподілів видно, що для обох розглянутих випадків застосування шевронного ножа зі складною формою ріжучої кромки спостерігається збільшення значення сили різання в завершальній стадії розділового процесу ($> 50\%$), при цьому, дійсно, досягається істотне зниження величини залишкової деформації листа ($> 40\%$). Проте порівняно з ножом конструкції «Северсталь», при рівному значенні максимальної сили різання, застосування шевронного ножа з скругленням дозволяє добитися більшого (на $7,4\%$) зниження величини залишкової деформації, що робить конструкцію ножа зі скругленням більш перспективною.

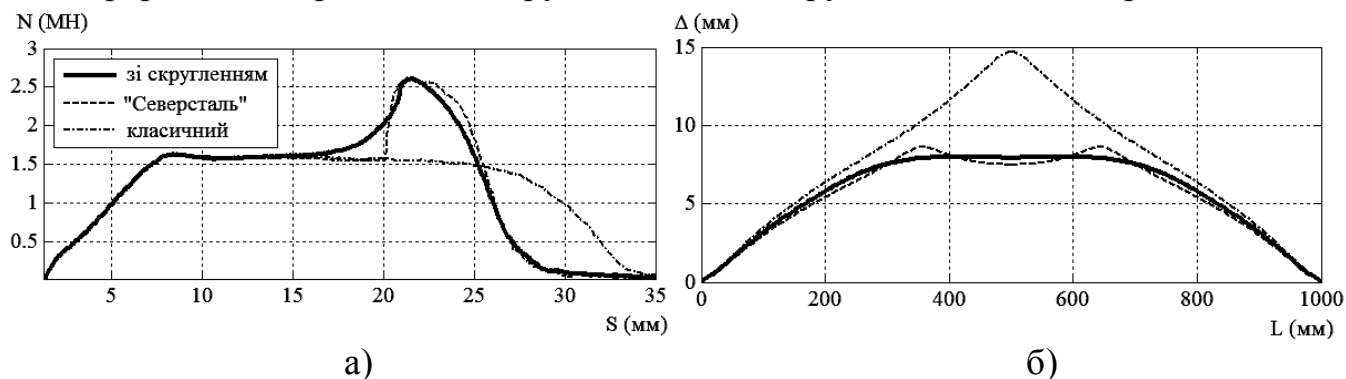
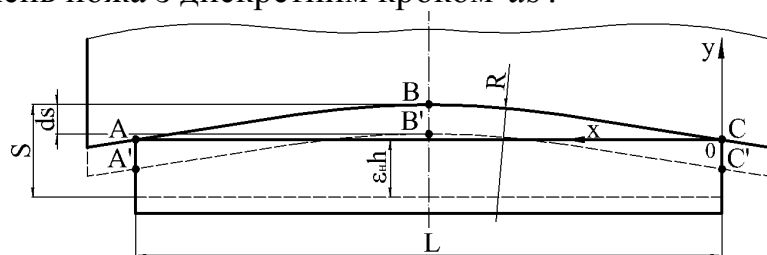
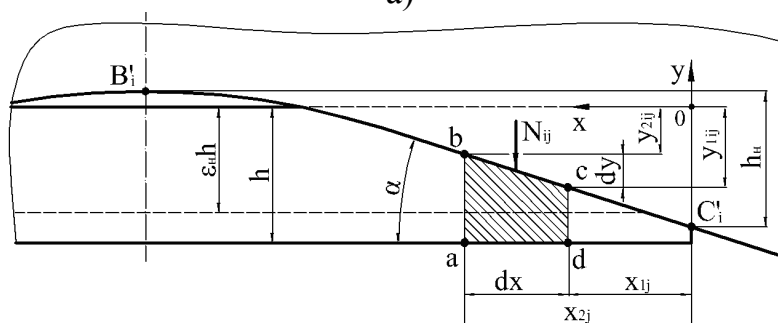


Рисунок 2 – Розрахункові розподіли значень сили різання N залежно від переміщення ножа S (а) і відповідні розподіли величини залишкової деформації Δ по ширині листа L (б)

Реалізація розробленої скінченно-елементної моделі досить трудомістка і займає значний машинний час. Для забезпечення швидкодії розрахунків у рамках даної роботи була розроблена математична модель процесу поперечного різання товстолістового металопрокату шевронним ножом із скругленням на основі чисельного рекурентного рішення скінченно-різницевої форми статичної рівноваги по визначенню геометричних характеристик і енергосилових параметрів у рамках кожного окремо виділеного елементарного об'єму осередку різання. Використання рекурентної схеми рішення даної задачі передбачало напрям розбиття, що відповідає переміщенню ножа, на підставі чого його початковому положенню відповідали точки ABC (рис. 3, а). Потім, з урахуванням вибраного підходу, розглядали m положень ножа з дискретним кроком ds :



а)



б)

Рисунок 3 – Розрахункові схеми з визначення геометричних і енергосилових параметрів процесу поперечного різання листового металопрокату шевронним ножом із скругленням

При цьому для визначення величини сили різання N_i при i -тому положенні ножа використовували залежність на основі виразу Целікова-Носаля, який після нескладних математичних перетворень та адаптації має наступний вигляд:

$$N_i = \sum_{j=1}^n 2\tau_{ij} \cdot F_{ij} \left(1 + z \frac{\operatorname{tg} \alpha}{0,6\delta} + \frac{\Delta_n^2 \sigma_{bc}}{\Delta_n^2 \sigma_{bc} + 10\delta h^3} \right), \quad (3)$$

де τ_{ij} – опір різанню у рамках кожного j -того виділеного елементарного об'єму $abcd$ площею F_{ij} при i -тому положенні ножа;

n – кількість елементарних об'ємів, що становлять площу різання;

σ_b – межа міцності матеріалу що ріжеться;

$$ds = \frac{S}{m}. \quad (1)$$

Величину повного ходу ножа S до розділення листа, виходячи з даної розрахункової схеми, можна визначити як:

$$S = h_n + h \cdot \varepsilon_n, \quad (2)$$

де h – товщина розрізуваного листа (див. рисунок 3, б);

h_n – відстань від поверхні листа до верхньої точки профілю ножа безпосередньо перед заглибленням;

ε_n – величина відносного заглиблення до сколу.

δ – відносне подовження при випробуванні на розтягування;

Δ_n – бічний зазор між ножами;

C – відстань від площини різку до притискача;

z – коефіцієнт, що враховує згинання частини листа, яка відрізається.

Величину опору різанню в рамках кожного виділеного елементарного об'єму визначали наступним чином:

$$\tau_{ij} = \frac{1,41 \cdot \sigma_b}{1,74 - \varepsilon_n} \cdot K_{\varepsilon n} (X_{ij})^{\alpha_\tau} \exp\left(\frac{X_{ij}^K}{K^{2K}}\right), \quad (4)$$

де X_{ij} – відношення величини відносного заглиблення для j -того елементарного об'єму $abcd$ (див. рис. 3, б) при i -тому положенні ножа до величини відносного заглиблення до сколу ε_n ;

α_τ – ступеневий показник, що характеризує форму розподілу опору різанню;

K – емпіричний коефіцієнт, значення якого може бути визначене як одиниця ділена на величину відносного заглиблення до сколу ε_n ;

$K_{\varepsilon n}$ – коефіцієнт епюри, що враховує нерівномірність розподілу питомого опору різанню по довжині «різального клину» залежно від кута нахилу ножа α .

На рисунку 4 представлені розрахункові розподіли значення сили N залежно від переміщення ножа S , отримані стосовно процесу поперечного різання листового

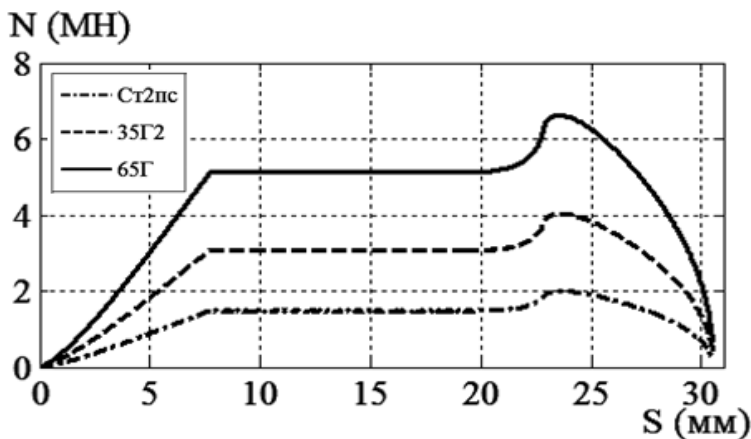


Рисунок 4 – Розрахункові розподіли значень сили різання N , залежно від переміщення ножа S

металопрокату товщиною 25 мм і шириною 1000 мм шевронним ножом із скругленням радіусом $R = 100h$ і кутом нахилу прямолинійних площин ріжучої кромки $\alpha = 3^\circ$.

Був також проведений порівняльний аналіз розробленої методики з існуючими для попередньої оцінки адекватності отриманих результатів.

На рисунку 5 представлені розподіли максимального значення

сили різання N_{\max} залежно від кута нахилу площин ріжучої кромки α для випадку поперечного різання листового прокату товщиною 25 мм класичним шевронним ножом, отримані, із застосуванням розробленої методики, а також існуючих методик: А. А. Корольова, О. І. Целікова та М. І. Крилова. Розрахунок проводився стосовно процесу різання листа шириною 1000 мм зі сталі марки Ст35Г2.

З представлених залежностей витікає, що запропонована методика добре узгоджується з існуючими, проте дозволяє моделювати процеси різання як ножом із скругленням, так і класичним шевронним ножом.

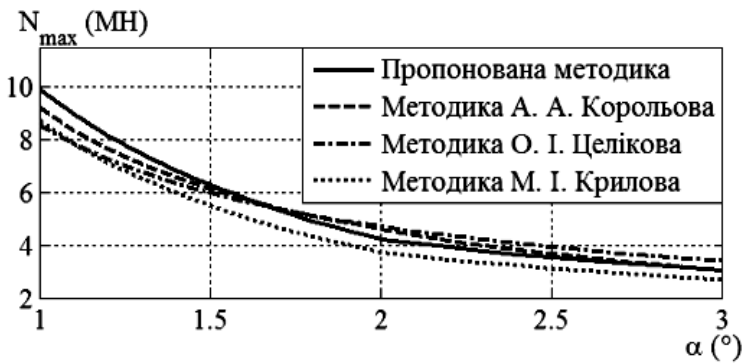


Рисунок 5 – Порівняння теоретичних залежностей максимальних значень сили різання N_{\max} від кута нахилу площин ріжучої кромки α

Також у рамках даної роботи розглядався процес подовжнього різання товстолистого металопрокату на дискових ножицях. Рішенням зі спрощення конструкції дискових ножиць може бути реалізація розділового процесу одним приводним ножом з пари. З метою визначення діапазонів застосування даного рішення була розроблена математична модель процесу різання товстолистого металопрокату одним приводним ножом з пари.

У основу отриманої математичної моделі цього розділового процесу також було покладено чисельне рекурентне рішення скінченно-різницевої форми статичної рівноваги по визначенню геометричних характеристик і енергосилових параметрів у рамках кожного окремо виділеного елементарного об'єму $abcd$ осередку різання, розрахункова схема якого (для випадку різання одним верхнім приводним ножом з пари) представлена на рисунку 6. Виходячи з цієї схеми, момент різання верхнім ножом може бути визначений наступним чином:

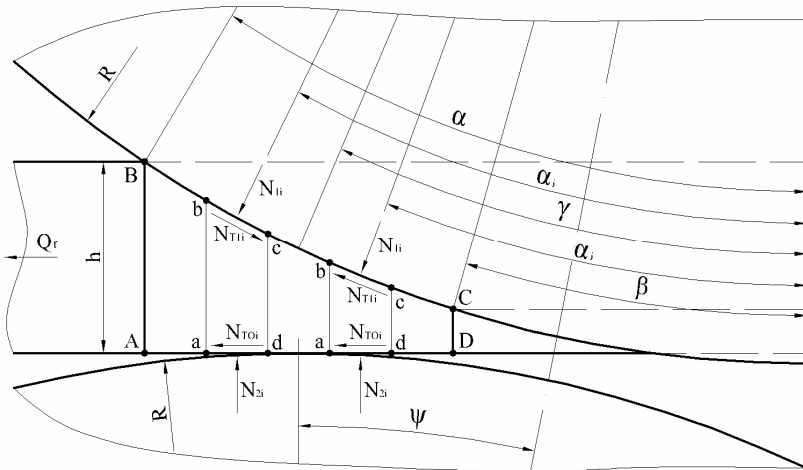


Рисунок 6 – Розрахункова схема осередку контакту ножів з листом при різанні дисковими ножицями з одним верхнім приводним ножом з пари

тертя на контактній поверхні виділеного елементарного об'єму, та залежить від величини нейтрального кута γ .

Стосовно процесу різання товстолистого металопрокату одним нижнім приводним ножом з пари, для визначення моменту різання (виходячи з умови рівноваги осередку різання) був отриманий наступний вираз:

$$M_1 = \sum_{i=1}^K R \cdot N_{Ti} \cdot \text{sign}(\alpha_i - \gamma), \quad (5)$$

де N_{Ti} – сила тертя між верхнім ножом і кромкою що відрізається, діюча у рамках виділеного об'єму $abcd$ осередку різання (див. рис. 6);

α_i – кутова координата виділеного об'єму;

R – радіус ножів;

$\text{sign}(\alpha_i - \gamma)$ – функція знаку, що враховує напрям сили

$$M_2 = R \cdot \left(Q_f + \sum_{i=1}^K N_{1i} \cdot \sin \alpha_i + \sum_{i=1}^K N_{1i} \cdot f_{TO} \cdot \cos \alpha_i \right), \quad (6)$$

де Q_f – результуюча зовнішніх сил опору, що діє в горизонтальному напрямі;
 f_{TO} – коефіцієнт тертя в опорах ножів.

На рисунку 7 представлені розрахункові розподіли значень сумарного моменту M залежно від величини результуючої сил зовнішнього опору Q_f (представленої у відношенні до величини сили різання N_1), отримані для вказаних схем приводу, при наступних налаштуваннях дискових ножиць: номінальний діаметр дискових

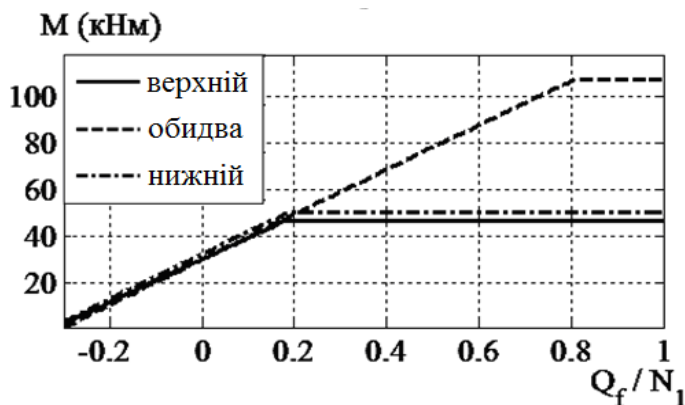


Рисунок 7 – Розрахункові розподіли сумарного моменту M залежно від відношення Q_f / N_1

ножів 1000 мм, кут нахилу осі ножів 9° , зазор між ножами в похилій площині приймався 8 мм, ширина кромки, що відрізається, складала 80 мм, дані розподіли отримані стосовно різання листів товщиною 40 мм із сталі СтЗсп при температурі 700°C .

Аналіз отриманих розподілів дозволив встановити, що результати моделювання добре узгоджуються з відомою методикою П. В. Боровіка (її застосували для моделювання процесу різання двома приводними ножами в парі)

при цьому різання листового металопрокату в гарячому стані на дискових ножицях з одним приводним ножом з пари можливе у вужчому діапазоні позитивних значень результуючої сил зовнішнього опору, чим на ножицях з двома приводними ножами (максимально допустимим значенням цієї величини відповідають точки виходу величини моменту різання на асимптотичні значення).

Також на основі розроблених математичних моделей розглянутих процесів подовжнього і поперечного різання листового металопрокату були отримані відповідні імітаційні математичні моделі, чисельна реалізація яких (на базі алгоритму генерування псевдовипадкових нормально розподілених чисел і відповідної статистичної обробки) дозволила попередньо оцінити можливий спектр робочих навантажень на вузли ножиць при реалізації даних розділових операцій. Крім того для процесу подовжнього різання листового металопрокату на дискових ножицях був проведений теоретичний аналіз залежності швидкості руху листового металопрокату від дії зовнішніх сил опору, за результатами якого отримали наступний вираз для визначення швидкості руху листа при різанні:

$$V_n = \frac{M_2 [\cos(\gamma_2)(a + bf + cf^2) - 1] - M_1}{M_2 \cos(\gamma_2) [(a + bf + cf^2) - 1] - M_1 \cos(\gamma_1)} V_o, \quad (7)$$

де V_o – окружна швидкість ножа;

M_1 та M_2 – моменти на верхньому і нижньому ножі, відповідно;

γ_1 та γ_2 – кути, що визначають напрям радіальних сил на верхньому і нижньому ножі по відношенню до вертикальної осі диска, відповідно;

f – коефіцієнт тертя між дисковим ножем і листом, що розрізається;

a, b, c – коефіцієнти регресії, значення яких (на базі результатів проведених раніше досліджень) для конструкційних сталей можна прийняти: $a = 2,76$; $b = -3,44$; $c = 4,69$.

На рисунку 8 представлена залежність швидкості руху листа від величини ре-

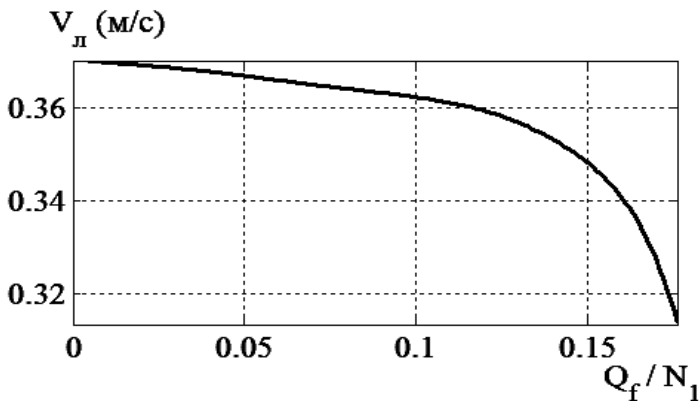


Рисунок 8 – Розрахунковий розподіл значень швидкості листа при різанні V_n залежно від відношення Q_f / N_1

зультуючої зовнішніх сил опору Q_f , представленій у відношенні до величини сили різання N_1 . Дана залежність отримана, виходячи з виразу (7), стосовно різання листа товщиною 35 мм із сталі 15ХСНД в холодному стані.

Аналіз отриманої залежності свідчить про те, що швидкість руху листа при різанні нижче окружної швидкості ножів, при цьому сама залежність носить зворотний нелінійний характер.

Четвертий розділ присвячений експериментальним дослідженням технології і устаткування процесів різання листового металопрокату на ножицях, а також обробці та аналізу отриманих результатів.

Стосовно експериментальних досліджень енергосилових параметрів процесу поперечного різання листового металопрокату шевронним ножем в якості основного завдання визначена оцінка адекватності розробленої методики розрахунку значення максимальної сили для випадку поперечного різання листового металопрокату шевронним ножем із скругленням, при цьому основна частина даних досліджень проводилася в лабораторії кафедри «Механіка і пластичне формування» Донбаської державної машинобудівної академії (ДДМА) на установці пресножиць. Для реалізації процесу поперечного різання в лабораторних умовах застосовувалися як класичні шевронні ножі, так і зі скругленням у вершині сходження похилих прямолінійних площин ріжучої кромки. В ході експериментальних досліджень різали пластини з конструкційних сталей завтовшки 3, 4 і 5 мм шириною 380 мм. На рисунку 9 представлені розподіли відповідних теоретичних й усереднених експериментальних значень максимальної сили різання N_{max} в залежності від радіусу скруглення R . Також, з метою розширення уявлення відносно енергосилових показників процесу поперечного різання листового металопрокату шевронним ножем, у рамках цього дослідження частина експериментів проводилася на лабораторних ножицях кафедри «Машини металургійного комплексу та прикладна механіка» Донбаського державного технічного університету (ДонДТУ).

Оцінка міри достовірності результатів математичного моделювання проводилася на базі дисперсійного аналізу виходячи з якого встановлено, що розрахункові значення сили різання відповідають реальним з вірогідністю $p \approx 93\%$.

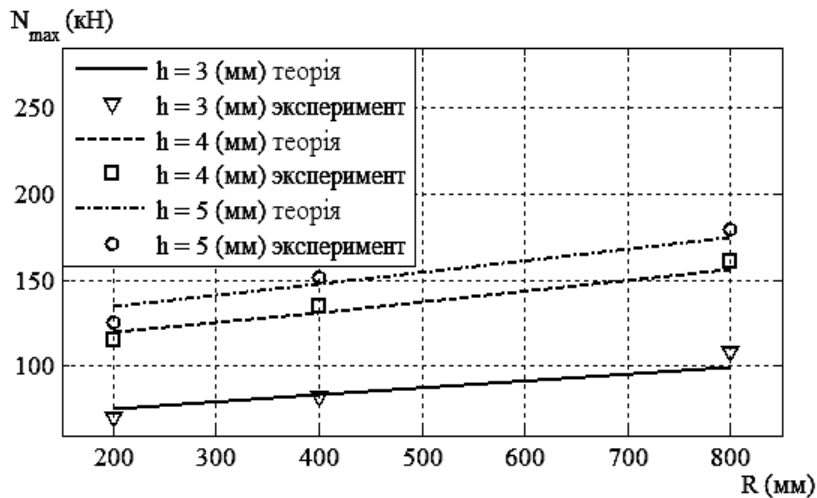


Рисунок 9 – Експериментальні й теоретичні залежності максимальних значень сили різання N_{max} від радіуса скруглення R

Для попередньої оцінки ефекту від застосування шевронного ножа зі скругленням у рамках даного експериментального дослідження виходячи з відомостей про залишкову деформацію сталевих зразків була отримана математична апроксимація, що описує залежність величини залишкової деформації Δ від радіуса скруглення R , ширини L та товщини листа h . Дана апроксимація може бути представлена у наступному вигляді:

$$\Delta = 34,433 + 0,458h - 0,033K_R - 7,125 \cdot 10^{-3} K_L - 4,125 \cdot 10^{-4} hK_R - 0,031hK_L + 1,182 \cdot 10^{-4} K_R K_L + 6,441 \cdot 10^{-6} hK_R K_L, \quad (8)$$

де K_R – коефіцієнт, що визначається величиною відношення радіуса скруглення до товщини листа;

K_L – коефіцієнт відношення ширини до товщини листа.

Адекватність отриманого виразу визначалася за величиною середньої відносної похибки апроксимації, яка склала $< 10\%$, що свідчить про високу точність прогнозу.

Експериментальні дослідження процесу різання листового прокату на дискових ножицях з одним приводним ножом з пари проводилися на установці двопарних дискових ножиць, створеної на базі лабораторної кліти кафедри «Автоматизовані металургійні машини і устаткування» ДДМА, а також на лабораторній установці однопарних дискових ножиць кафедри «Машини металургійного комплексу та прикладна механіка» ДонДТУ. При проведенні експериментів різалися смуги розміром $1 \times 20 \times 380$ мм із сталі та $2 \times 20 \times 380$ мм з алюмінію, а також пластини зі свинцевого сплаву товщиною: 8, 10 і 12 мм.

Оцінка відповідності теоретичних і експериментальних значень моменту різання проводилася в даному випадку за допомогою критерію Стьюдента, виходячи зі значень якого встановлено, що теоретичні значення величини, що досліджується відповідають реальним з вірогідністю $> 95\%$.

Також, з метою практичного обґрунтування результатів проведеного теоретичного аналізу впливу зовнішніх сил опору на швидкість руху листового метало-

прокату при різанні на дискових ножицях, у рамках даної роботи на установці двопарних дискових ножиць проводили різання сталевих смуг розміром $1 \times 20 \times 380$ мм.

На рисунку 10 представлені залежності теоретичних $V_{л}^T$ і експерименталь-

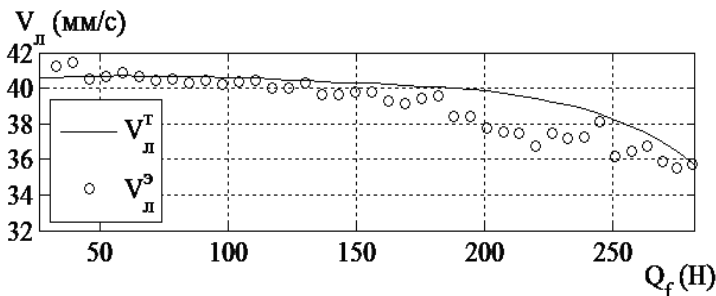
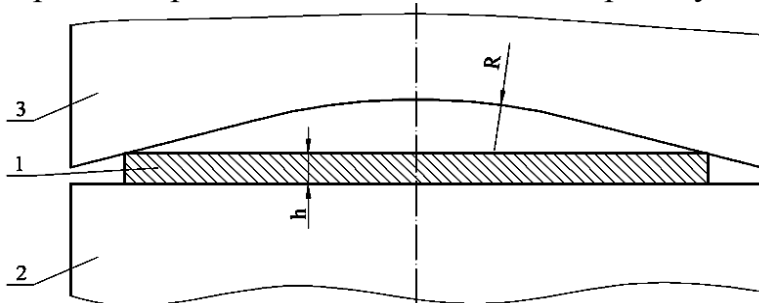


Рисунок 10 – Графічне представлення залежностей теоретичних $V_{л}^T$ і експериментальних $V_{л}^э$ значень швидкості листа від сили зовнішнього опору Q_f

них $V_{л}^э$ значень швидкості листа від сили зовнішнього опору Q_f . Ступінь адекватності в даному випадку встановлювався за допомогою тесту Фішера, з якого виходить, що результати теоретичного аналізу залежності швидкості руху листового металопрокату при різанні на дискових ножицях від дії зовнішніх сил опору адекватні з вірогідністю $p = 95$ %.

У п'ятому розділі приведені рекомендації з вдосконалення технологічних режимів і механічного устаткування процесів різання листового металопрокату на ножицях. Зокрема стосовно процесу поперечного різання листового металопрокату шевронним ножом запропонована нова конструкція ножа, використання якої дозволяє знизити величину залишкової деформації частини листа, що відрізається.

Суть пропонованого технічного рішення (рис. 11) полягає в тому, що для поперечного різання листового металопрокату застосовують ножиці з встановленим



1 – розрізуваний лист товщиною h ;

2 – ніж з прямою ріжучою кромкою;

3 – шевронний ніж із скругленням радіусом R

Рисунок 11 – Комплект ножів для поперечного різання листового металопрокату, що містить шевронний ніж із скругленням

комплектом з двох ножів при цьому один виконаний з прямолінійною, а другий з шевронною формою ріжучої кромки, що відрізняється від класичного шевронного ножа тим, що у вершині сходження похилих прямолінійних площин його ріжучої кромки виконано скруглення радіусом R , що має суттєвий вплив на енергосилові показники розділового процесу і може бути виражений через коефіцієнт K_R , що представляє відношення даної величини до товщини листа h .

Максимальну величину коефіцієнта K_R , для конкретних ножиць, можна визначити виходячи з умови допустимого перевантаження, представленої в наступному виді:

$$K_R = \max \quad \text{при} \quad N_{\max} = N_{\text{steady}} \cdot K_n, \quad (9)$$

де N_{\max} – максимальне значення сили різання при $K_R = \max$;

N_{steady} – значення сили при сталому процесі, еквівалентному, по суті, процесу поперечного різання класичним шевронним ножом;

K_n – допустимий коефіцієнт короточасного перевантаження ножиць.

У рамках даної роботи, для визначення рекомендованих максимально допустимих значень коефіцієнта K_R при відомому значенні K_n , на підставі розробленої математичної моделі процесу поперечного різання листового металопрокату шевронним ножом із скругленням, була сформована ітераційна процедура, що дозволяє при заданих вхідних параметрах виконати умову (9). Чисельний приклад з визначення рекомендованих значень коефіцієнта K_R при $K_n = 15\%$ для вказаних умов приведений в таблиці 1.

Таблиця 1 – Рекомендовані значення коефіцієнта K_R при $K_n = 15\%$

Межа міцності σ_b (МПа)	Товщина листа h (мм)			
	10	15	20	25
300	83,13	77,61	75,31	74,01
500	82,24	76,26	74,04	73,12
1000	81,47	74,95	72,30	71,04

рахунок обмеження його свободи в горизонтальній площині, що дозволить виключити можливість появи серповидності. На основі цього підходу було розроблено технічне рішення, представлене на рисунку 12. У рамках даного рішення поставлене завдання вирішується шляхом установки дискових ножиць в потоці прокатного стану

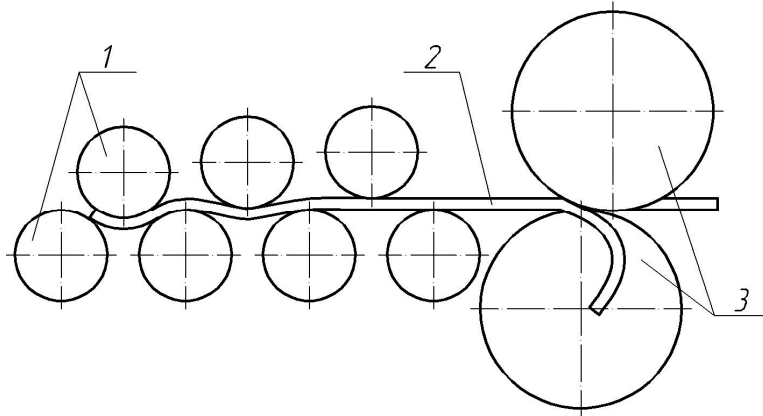


Рисунок 12 – Спосіб розташування дискових ножиць в потоці прокатного стану

дозволить контролювати силу подачі листа в дискові ножиці, внаслідок чого існує можливість виконувати різання одним приводним ножом з пари. Проте успішна реалізація запропонованого комбінованого технологічного процесу можлива тільки при узгодженні швидкості правлення і різання листа. При цьому одним з визначальних чинників при оцінці величини швидкості листа в процесі різання на дискових ножицях є величина результуючої сил зовнішнього опору, що призводить до

Стосовно процесу подовжнього різання листового металопрокату на дискових ножицях, виходячи з результатів проведених у рамках даної роботи досліджень, а також з урахуванням сучасних тенденцій розвитку обладнання, була розглянута можливість поєднання процесів правлення і подовжнього різання товстолистого металопрокату на дискових ножицях, з метою підвищення якості готового листа за

рахунок обмеження його свободи в горизонтальній площині, що дозволить виключити можливість появи серповидності. На основі цього підходу було розроблено технічне рішення, представлене на рисунку 12. У рамках даного рішення поставлене завдання вирішується шляхом установки дискових ножиць в потоці прокатного стану безпосередньо за листопрямильною машиною (див. рис. 12), у напрямі руху прокату так, щоб верхні і нижні ролики 1 листопрямильної машини подавали лист 2 безпосередньо в ножи 3 дискових ножиць, під час захвату ножами листа і подальшого його різання, внаслідок чого процеси правлення і різання об'єднуються в одну технологічну операцію. При цьому реалізація даного поєднаного технологічного процесу, теоретично,

необхідності визначення максимально допустимих значень даної величини, з цією метою у рамках даної роботи (на базі розробленої математичної моделі процесу різання листового металопрокату на дискових ножицях з одним приводним ножом з пари) була сформована ітераційна процедура, що дозволяє при заданих початкових параметрах процесу різання визначати максимально допустимі значення величини результуючої сил зовнішнього опору, виходячи з умови реалізації сталого процесу різання, потім для цих значень на базі виразу (7) визначали відповідні значення швидкості листа при різанні на дискових ножицях, які фактично відповідають швидкості подачі листа, при цьому дану величину доцільно представити у вигляді коефіцієнта K_V , що описує її відношення до окружної швидкості ножа. Чисельний приклад з визначення рекомендованих значень коефіцієнта K_V при максимально допустимих значеннях величини результуючої сил зовнішнього опору наведено в таблиці 2.

Таблиця 2 – Результати розрахунку рекомендованих значень коефіцієнта K_V для випадку різання листів при температурі 700°C

Марка сталі	Товщина листа h (мм)					
	25	30	35	40	45	50
16ГС	0,923	0,922	0,922	0,921	0,920	0,919
Ст3	0,919	0,918	0,917	0,916	0,915	0,913
45	0,929	0,929	0,928	0,927	0,926	0,926
65Г	0,937	0,936	0,936	0,935	0,935	0,934

ВИСНОВКИ

У дисертації виконані нові науково-технічні розробки щодо розвитку методів автоматизованого розрахунку й проектування, а також з вдосконалення технології та обладнання процесів подовжнього і поперечного різання товстолистового металопрокату на ножицях, що спрямовані на підвищення якості готової продукції з урахуванням мінімізації енерговитрат.

1. Подальший розвиток виробництва товстолистового металопрокату обумовлений тенденцією, спрямованою на підвищення якості готової продукції, зокрема шляхом розширення можливостей існуючого і спроектованого устаткування, яке застосовується для подовжнього й поперечного різання листового металопрокату, а також вдосконалення даних технологічних операцій в цілому за умови мінімізації їх енергосилових показників.

2. Підвищення якості листового металопрокату що розрізається на ножицях можливо шляхом застосування для поперечного різання шевронного ножа зі складною формою ріжучої кромки, при цьому найбільш перспективним є шевронний ніж зі скругленням, застосування якого дозволяє домогтися на 7,4 % більшого зниження величини залишкової деформації листа в порівнянні з шевронним ножом із

горизонтальною площадкою конструкції «Северсталь», при рівному значенні максимальної сили різання, теоретична оцінка якого можлива на базі розробленої в рамках даної роботи методики, достовірність якої підтверджена експериментально і становить $p \approx 93 \%$.

3. Застосування шевронного ножа зі скругленням для поперечного різання листового металопрокату характеризується збільшенням значення сили різання в завершальній стадії розділової операції, обумовленого величиною радіусу скруглення, значення якого також визначає величину залишкової деформації листа і для конкретних ножиць підбирається виходячи з допустимого коефіцієнта короткочасного перевантаження K_n , так при $K_n = 15 \%$ зниження величини залишкової деформації може скласти 16...21 %.

4. Реалізація процесу подовжнього різання листового металопрокату на дискових ножицях з одним приводним ножом з пари можлива при меншому допустимому значенні величини результуючої сил зовнішнього опору, яке для випадку гарячого різання може скласти $\approx 25 \%$, від максимально допустимого значення цієї величини при різанні двома приводними ножами в парі, що обумовлено зменшенням складової втягуючих сил і компенсується силою підпору листа у разі установки дискових ножиць в потоці прокатного стану безпосередньо за листопрямуючою машиною за умови поєднання процесу правлення і подовжнього різання на дискових ножицях, що також дозволить підвищити якість листового прокату за рахунок виключення можливої появи серповидності листа шляхом обмеження його свободи при різанні в горизонтальній площині.

5. Застосування запропонованого способу установки дискових ножиць в потоці прокатного стану, за умови узгодження швидкості правлення і різання дозволить здійснювати розділовий процес одним приводним ножом з пари, що істотно спрощує конструкцію дискових ножиць. При цьому слід враховувати, що швидкість листа в дискових ножицях нижче окружної швидкості ножів V_o і для випадку різання одним приводним ножом з пари може складати $(0,91...0,95)V_o$.

6. Швидкість листа при різанні на дискових ножицях залежить від дії сил зовнішнього опору, при цьому дана залежність носить зворотний нелінійний характер, а зі зменшенням коефіцієнта тертя зниження швидкості листа, при збільшенні величини результуючої сил зовнішнього опору, відбувається більш інтенсивно, що пояснюється зменшенням енергетичної складової активних (втягуючих) сил.

7. Результати дисертаційної роботи у вигляді програмних засобів, а також рекомендацій з вдосконалення технологічних режимів і технічних параметрів процесів різання можуть бути використані при розробці і впровадженні ножиць нових конструкцій, а також більш досконалих способів різання листового металопрокату, і передані для використання на ПАТ «Новокраматорський машинобудівний завод».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Боровик П. В. Технология многостадийной продольной резки горячих толстолистовых раскатов дисковыми ножами / П. В. Боровик, М. Е. Селезнёв // Сборник научных работ студентов Донбасского государственного технического университета. – Алчевск : ДонГТУ, 2011. – № 3. – С. 25–30.
2. Боровик П. В. Развитие технологии обрезки боковых кромок листового проката дисковыми ножами / П. В. Боровик, М. Е. Селезнёв // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета – Алчевск : ДонГТУ, 2012. – № 37 – С. 156–163.
3. Боровик П. В. Экспериментальная оценка влияния сил внешнего сопротивления на скорость резки толстых листов дисковыми ножами / П. В. Боровик, М. Е. Селезнёв // Обработка материалов давлением : сб. науч. тр. – Краматорск, 2012. – № 3 – С. 181–184.
4. Боровик П. В. Теоретическое исследование работы дисковых ножниц при увеличенном диаметре верхнего ножа / П. В. Боровик, М. Е. Селезнёв // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. – Алчевск : ДонГТУ, 2013. – № 39 – С. 135–140.
5. Боровик П. В. Анализ условий захвата толстолистового проката в процессе резки дисковыми ножницами / П. В. Боровик, П. А. Петров, М. Е. Селезнёв // Обработка материалов давлением : сб. науч. тр. – Краматорск : ДГМА, 2013. – № 2 – С. 227–231.
6. Боровик П. В. Повышение качества толстых листов за счёт применения шевронного ножа новой конструкции / П. В. Боровик, М. Е. Селезнёв // Вісник НТУ «ХП». – 2013. – № 43. – С. 41–46. – (Серія: Нові рішення у сучасних технологіях).
7. Селезнёв М. Е. Определение максимального усилия при поперечной резке толстолистовых раскатов шевронным ножом сложной формы / М. Е. Селезнёв // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. – 2013. – № 41. – С. 173–178.
8. Боровик П. В. Оценка скорости резки листа дисковыми ножами / П. В. Боровик, М. Е. Селезнёв // Вестник Нац. техн. ун-та «ХПИ» : сб. науч. тр. Темат. вып.: Инновационные технологии и оборудование обработки материалов в машиностроении и металлургии. – Харьков : НТУ ХПИ, 2014. – № 44 (1087). – С. 15–21.
9. Borovik P. V. Influence of a chevron type knife design on the quality of sheet material shearing / P. V. Borovik, M. E. Seleznyov // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – № 5. – С. 218–223.
10. Ульяницкий В. Н. Экспериментальная оценка стойкости инструмента при резке высокопрочных сталей / В. Н. Ульяницкий, П. В. Боровик, М. Е. Селезнёв // Обработка материалов давлением : сб. науч. тр. – Краматорск : ДГМА, 2015. – № 1(40) – С. 227–230.
11. Селезнёв М. Е. Сравнительный теоретический анализ эффективности применения шевронных ножей со сложной формой режущей кромки / М. Е. Селезнёв, П. В. Боровик // Научный вестник ДГМА. – Краматорск : ДГМА, 2015. – № 2. – С. 148–154.

12. Пат. 90094 Україна, МПК В 23 D 35/00, В 23 D 25/00, В 23 D 15/00. Комплект ножів для поперечного різання листового матеріалу / Боровік П. В., Селезньов М. Є. ; заявники та патентовласники Боровік П. В., Селезньов М. Є. – u201314896 ; заявл. 19.12.2013 ; опубл. 12.05.2014, Бюл. № 9.

13. Пат. 72820 Україна, МПК В 23 D 19/00. Спосіб розташування дискових ножиць в потоці прокатного стана / Боровік П. В., Селезньов М. Є. ; заявник і патентовласник Донбаський державний технічний університет. – u201202702 ; заявл. 06.03.2012 ; опубл. 27.08.2012, Бюл. № 16.

14. Боровік П. В. Оценка влияния схемы привода дисковых ножниц при резке боковых кромок толстолистовых раскатов / П. В. Боровик, М. Е. Селезнёв // Актуальные вопросы современной техники и технологии : сборник докладов X-й Юбилейной Международной научной конференции. – Липецк, 2013 – С. 18–21.

15. Селезнёв М. Е. Экспериментальная оценка эффективности применения модифицированного шевронного ножа / М. Е. Селезнев // Научные перспективы XXI века. Достижения и перспективы нового столетия : материалы III междунар. науч.-практ. конф. – Новосибирск, 2015. – № 4(11). – С. 99–102.

Особистий вклад здобувача в роботах, опублікованих в співавторстві:

[1, 2, 4, 5] – розробка математичних моделей процесів обрізки бічних кромок товстолистового металопрокату на дискових ножицях;

[3, 9, 10] – проведення експериментальних досліджень, обробка та аналіз отриманих результатів;

[6, 8, 11] – обробка та аналіз результатів скінченно-елементного моделювання досліджуваних процесів різання листового металопрокату;

[12, 13] – проведення теоретичних і експериментальних досліджень з метою підтвердження ефективності запропонованих технічних рішень;

[14] – розробка методики і алгоритму автоматизованого розрахунку енергосилових параметрів процесу різання товстолистового металопрокату на дискових ножицях з одним приводним ножом з пари.

АНОТАЦІЯ

Селезньов М. Є. Удосконалення технології та обладнання процесів різання товстолистового металопрокату на ножицях. – 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, 2016.

Дисертація присвячена підвищенню якості листового металопрокату шляхом удосконалення технології та обладнання процесів подовжнього і поперечного різання, на основі розвитку математичних моделей з визначення енергосилових і кінематичних параметрів даних технологічних процесів та розробки науково обґрунтованих рекомендацій з їх реалізації.

В роботі розроблені три математичні моделі інтегральних показників напружено-деформованого стану металу при реалізації процесів подовжнього і поперечного різання листового металопрокату на ножицях, на основі методу скінченних

елементів, а також рекурентного рішення умови статичної рівноваги з урахуванням реальної геометрії і механічних властивостей розрізаного матеріалу. Проведено теоретичний аналіз впливу зовнішніх сил опору на швидкість руху листового металопрокату при різанні на дискових ножицях.

Оцінка адекватності результатів теоретичних досліджень проводилася експериментальним шляхом. Встановлено вплив технологічних параметрів процесу поперечного різання і конструкції застосовуваного шевронного ножа на величину залишкової деформації листа.

На підставі результатів проведених досліджень стосовно процесів поздовжнього і поперечного різання листового металопрокату розроблені два технічних рішення, спрямовані на підвищення якості готового листа.

Ключові слова: листовий прокат; шевронний ніж; дискові ножиці; сила різання; швидкість листа; математична модель; якість листового прокату.

АННОТАЦІЯ

Селезнёв М. Е. Совершенствование технологии и оборудования процессов резки толстолистого металлопроката на ножницах. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.03.05 «Процессы и машины обработки давлением». – Донбасская государственная машиностроительная академия, Краматорск, 2016.

Диссертация посвящена повышению качества листового металлопроката путем усовершенствования технологии и оборудования процессов продольной и поперечной резки, на основе развития математических моделей по определению энергосиловых и кинематических параметров данных технологических процессов и разработки научно обоснованных рекомендаций по их реализации.

В работе разработаны три математические модели интегральных показателей напряженно-деформированного состояния металла при реализации процессов продольной и поперечной резки листового металлопроката на ножницах, в основу которых были положены метод конечных элементов, а также численное рекуррентное решение конечно-разностной формы статического равновесия по определению геометрических характеристик и энергосиловых параметров в рамках каждого отдельно выделенного элементарного объема очага резки, применение которого, в частности, позволило рассчитать значение максимальной силы для случая поперечной резки листового металлопроката шевронным ножом со сложной формой режущей кромки. Также, в рамках данной работы, проведен теоретический анализ влияния внешних сил сопротивления на скорость движения листового металлопроката при резке на дисковых ножницах.

Оценка адекватности результатов теоретических исследований проводилась экспериментальным путём, с применением методов корреляционного и регрессионного анализа при этом степень достоверности разработанных математических моделей устанавливалась с применением тестов Фишера и Стьюдента, а также по величине средней относительной ошибки аппроксимации. Кроме того, исходя из полученных данных относительно остаточной деформации листа установлено влияние технологических параметров процесса поперечной резки и конструкции режущей кромки применяемого шевронного ножа на величину остаточной деформации листа.

Исходя из результатов проведенных в рамках данной работы исследований разработаны два технических решения, направленные на повышение качества листового металлопроката. Так применительно к процессу поперечной резки предложена новая конструкция шевронного ножа, отличающаяся от классической наличием скругления в вершине схождения наклонных прямолинейных плоскостей режущей кромки. Применение шевронного ножа данной конструкции позволяет добиться повышения качества листового металлопроката за счёт уменьшения остаточной деформации разрезаемого листа. Касательно процесса продольной резки листового металлопроката предложен способ установки дисковых ножниц в потоке прокатного стана, позволяющий исключить появление серповидности листового металлопроката, за счёт ограничения свободы листа при резке в горизонтальной плоскости, также, применение предложенного способа установки дисковых ножниц, теоретически, позволит производить резку одним приводным ножом из пары.

Результаты диссертационной работы в виде программных средств, а также рекомендаций по совершенствованию технологических режимов и технических параметров процессов резки переданы для использования на ПАО «Новокраматорский машиностроительный завод».

Ключевые слова: листовой прокат; шевронный нож; дисковые ножницы; сила резки; скорость листа; математическая модель; качество листового проката.

ABSTRACT

Seleznyov M. E. Perfection of technology and equipment of the process of the longitudinal cutting of rolled thick sheets on scissors. - Manuscript

Dissertation for a Candidate's degree of Engineering, speciality 05.03.05 Processes and Machines of plastic working. Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk, 2016.

This thesis is devoted to increasing the quality of sheet metal by means of improving the process of longitudinal and transverse cutting as well as the equipment used for the implementation, based on the development of the methods for determining the energy-power and kinematic parameters of the process technology.

There have been developed three mathematical models of integrated indicators of stress-strain state of the metal underway longitudinal and transverse cutting of rolled sheet metal on scissors. The models are based on the finite element method and recurrent solution of static equilibrium conditions with account of the actual geometry and mechanical characteristics of the cut material. There has been made a theoretical analysis of the influence of external forces of resistance on sheet velocity at cutting on disk scissors.

Test evaluation of theoretical research has been made experimentally. There have been determined technological parameters of the process of cross-cutting and the influence of the design of a chevron knife on the value of permanent deformation of the sheet.

Based on the outcome of the processes research of longitudinal and transverse cutting of sheet metal there have been designed two engineering solutions aimed to improve the quality of the finished sheet.

Keywords: rolled sheet, chevron knife, disk scissors, cutting force, sheet velocity, mathematical model, quality of sheet metal.

Підп. до друку 24.10.2016. Формат 60 x 84/16.

Папір офсетний. Ум. друк. арк. 0,9. Обл.-вид. арк. 0,9.

Тираж 100 прим. Зам. № 98.

Донбаська державна машинобудівна академія

84313, м. Краматорськ, вул. Академічна, 72.

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи

до Державного реєстру

серія ДК №1633 від 24.12.2003.