

На правах рукопису

Жучков Сергій Михайлович

**Розробка нових технологічних процесів
безперервної прокатки сортової сталі,
заснованих на використанні резерву утягуючих
сил тертя в осередках деформації робочих клітей.**

**Спеціальність 05.03.05 – Процеси та машини обробки
тиском.**

Автореферат

**дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук**



00742816 (S)

Дисертація є рукописом.

Роботу виконано у Інституті чорної металургії
Національної Академії Наук (НАН) України.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор Комаров О.М.
доктор технічних наук, професор Ілжкович Б.М.
доктор технічних наук, професор Фурманов В.Б.

Ведуча організація - Український Державний науково-дослідний
інститут металів (УкрДНДІМет), м.Харків.

Захист відбудеться "04" 11 1997 р. у 12³⁰ годин на
засіданні спеціалізованої Ради (шифр Д.03.11.01) у Державній
металургійній Академії України (ДМетАУ).

за адресою 320635, м.Дніпропетровськ, проспект Гагаріна, 4.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотечі ДМетАУ.

Автореферат розісланий "27" 06 1997 р.

Прийнято до друку 24.06.97р. Самовлення № ГТ95
Тираж 100 экз. ГТИ, м. Дніпропетровськ

Вчений секретар
спеціалізованої Ради
доктор технічних наук, професор

М.М.Саф'ян

Загальна характеристика роботи

Актуальність роботи.

Розвиток економіки в умовах ринкових відношень диктує необхідність розробки нових ефективних технологічних процесів виробництва прокатної продукції та технологічного устаткування для їх реалізації, які забезпечують економію енергоресурсів, скорочення витрат на будівництво нових та реконструкцію діючих установок, високу технологічну гнучкість прокатних станів, яка дозволяє виробляти прокатні профілі можливо широкого розмірного та марочного сортаменту.

Розглядаючи сучасний стан виробництва сортового прокату, необхідно відмітити тенденції розвитку технологічних процесів, заснованих на більш повному використанні резерва утягуючих сил тертя у зонах деформації приводних робочих клітей шляхом використання різних засобів обробки металу тиском з неприводними валками (роліками) для обробки металу в лінії безперервного агрегату (стану), і можна сформулювати очікувані переваги таких технологічних процесів у порівнянні з традиційними.

1. Компактність стану. Скорочення його габаритів та площ для розміщення устаткування. Можливість переведення реконструйованих станів на більший перетин заготовки без збільшення їх габаритів та збільшення кількості приводних клітей, тобто з можливістю розміщення устаткування на існуючих площах.

2. Зниження капітальних витрат на будівництво та реконструкцію станів, у тому числі, на будівництво прокатних цехів за рахунок різкого зменшення габаритів деформуючих засобів, реалізуючих резерв утягуючих сил тертя у зонах деформації робочих клітей.

3. Технологічна гнучкість. Легкі компактні пристрої з неприводними валками (роліками) того чи іншого виконання у залежності від поставлених завдань, які встановлені у будь-яких міжклітьових проміжках лінії безперервного сортового стану, дозволяють вирішити практично будь-які питання зосвоєння виробництва сортового прокату широкого розмірного та марочного сортаменту.

4. Енергоекономічність. Можливість зниження енерговитрат за рахунок зменшення збитків електроенергії у трансмісії приводу прокатних клітей, а також зменшення непродуктивних енерговитрат у процесі деформації.

Ураховуючи викладене, розробка та широке впровадження нових технологічних процесів, заснованих на використанні резерва сил тертя у зонах деформації приводних робочих клітей, а також удосконалення традиційних технологій за рахунок використання засобів деформації



металу з неприводними валками (роліками), працюючих на тому ж принципі: використанні резерва утягуючих сил тєртя в зонах деформації приводних робочих клітей, є актуальною технічною проблемою.

Раніш виконані розробки (технологічні процеси та устаткування для їх реалізації), засновані на цьому принципі, мали, у головному, прикладне значення і вирішували конкретні технічні завдання в умовах конкретних станів.

Загальні закономірності взаємного вплива різних технологічних факторів на умови реалізації цих процесів, з урахуванням особливостей силової та енергетичної взаємодії приводного та неприводного деформуючих засобів при безперервній гарячій прокатці, не вивчені. Відсутність теоретичних основ процесів виробництва прокатної продукції, заснованих на більш повному використанні резерва утягуючих сил тєртя, не дозволяє виконати теоретичний аналіз з використанням методів математичного моделювання таких процесів для визначення найбільш оптимальних технологічних параметрів (для різних критеріїв оптимізації) конкретних процесів, наприклад, безперервної прокатки сортової сталі з використанням неприводних робочих клітей, в конкретних умовах - на різних безперервних і напівбезперервних сортових прокатних станах.

Виходячи з викладеного, розробка теоретичних основ процесів виробництва прокатної продукції, заснованих на більш повному використанні резерва утягуючих сил тєртя, вивчення закономірностей взаємного впливу різних технологічних факторів на умови реалізації та здійснення цих процесів, з урахуванням особливостей силової і енергетичної взаємодії зон деформації приводних і неприводних валків при безперервній гарячій прокатці, і розробка нових технологічних процесів на їх основі, є актуальною науковою проблемою.

Мета роботи.

Метою теперешньої роботи є теоретичне узагальнення наукових уявлень про основи силової та енергетичної взаємодії робочих клітей при реалізації процесів, заснованих на принципі використання резерва утягуючих сил тєртя в зонах деформації робочих клітей, і передбачаючих використання в лінії безперервного сортопрокатного стану засобів деформації металу з неприводними валками (роліками), та наукове обґрунтування нових технологічних процесів безперервної прокатки сортової сталі, технологічних приймань та засобів для реалізації цих процесів.

Для досягнення вказаної мети в роботі з використанням основних станових теорії безперервної прокатки, вивчені закономірності силової і енергетичної взаємодії робочих клітей комплексу "приводна -

неприводна кліті" ("ПК-НК"), як базисного елемента безперервного прокатного стану.

На базі встановлених закономірностей розроблені теоретичні основи силової і енергетичної взаємодії робочих клітей при реалізації цього процесу, розроблений метод визначення границь його здійснення, на підставі чого розроблена математична модель процесу прокатки в комплексі "ПК-НК" з урахуванням граничних умов його здійснення.

З використанням цієї моделі виконано аналітичні дослідження силової та енергетичної взаємодії робочих клітей в комплексі "ПК-НК".

Розроблений метод аналітичного визначення оптимального, з точки зору різних критеріїв, співвідношення одиничних деформацій в клітях комплексу "ПК-НК".

З використанням розробленого інструменту аналітичного дослідження процесу прокатки із застосуванням неприводних робочих клітей, пропонувані нові технологічні процеси безперервної прокатки сортової сталі різноманітного призначення, технологічні прийоми та засоби для реалізації цих процесів.

Наукова новина.

Розроблена сукупність уявлень про основи безперервної прокатки сортової сталі із застосуванням неприводних робочих клітей: розроблені теоретичні основи силової та енергетичної взаємодії робочих клітей при реалізації процесу, встановлені закономірності силової та енергетичної взаємодії робочих клітей комплексу "ПК-НК", як базисного елемента безперервного прокатного стану.

Розроблені методи аналітичного дослідження закономірностей змінювання енергосилових параметрів процесу, у тому числі, з урахуванням границь його здійснення:

- метод визначення резерва утягуючих сил тертя у зоні деформації приводної кліті;
- метод визначення стійкості штаби у пружно - пластичній області, в основу якого покладений приведено - модульний підхід при визначенні критичного зусилля;
- метод визначення опору, який створюється неприводною кліттю, з урахуванням збитків на тертя в підшипникових опорах валків неприводної кліті;
- метод аналізу силової і енергетичної взаємодії робочих валків комплексу "ПК-НК";
- метод визначення границь здійснення процесу;
- метод аналітичного визначення оптимальних умов реалізації процесу;

Обґрунтовані вибрані методи визначення характеристик тертя при

прокатці та опіру деформації металу в клітях комплексу "ПК-НК".

Розроблена математична модель процесу прокатки в комплексі "ПК-НК" з урахуванням граничних умов його здійснення, адаптована для умов безперервної прокатки сортової сталі.

Виконані аналітичні дослідження процесу прокатки в комплексі "ПК-НК" для заданих вихідних параметрів оброблюваного матеріалу (геометричні параметри і матеріал вихідної заготовки, вихідна температура її нагріву) і конструктивних параметрів комплексу (діаметр і матеріал валків приводної та не приводної клітей, віддаль між їх зонами деформації), у випадковості, для умов прокатки на безперервному дрібносортовому стані 250.

На підставі наслідків досліджень встановлені нові наукові положення, розширюючі загальні пізнання в області безперервної прокатки сортової сталі:

- показано, що прокатка з нульовим моментом у конкретній клітці безперервного стану, яка розглядається в теорії традиційного процесу безперервної прокатки як граничний стан, при якому саморегулювання процесу прокатки припиняється і він стає нестійким, може здійснюватися стійко за умовою неповного вичерпання резерва сил тертя в зонах деформації сусідніх приводних клітей та збереження прокатуваною штабою спроможності передавати останніми зусиль підпіру чи натягу до початку міжклітьової деформації штаби (втрата поздовжньої стійкості чи розрив).

- показано, що резерв утягуючих сил тертя в зоні деформації приводних клітей залежить від його параметрів та характеристик тертя на поверхні контакту металу с валками.

- показано, що при визначенні підпіру, який створюється не приводними валками, обов'язково урахування опіру, який створюється силами тертя в опорах не приводних валків.

- показано, що при визначених умовах реалізації процесу прокатки сортової сталі з використанням не приводних клітей в лінії безперервного стану, з'являється можливість економії енергії при прокатці не тільки за рахунок зниження збитків потужності на роботу холостого ходу та збитків в трансмісії приводу прокатних клітей, але й за рахунок зменшення непродуктивних енерговитрат в процесі деформації.

Практична значимість та реалізація результатів роботи у промисловості.

Основні результати аналітичних досліджень, перевірені експериментально, висновки і рекомендації, наведені в роботі є основою для розробки нових і науковою базою для удосконалення існуючих технологічних процесів безперервної прокатки сортової сталі,

заснованих на використанні резерва утягуючих сил тертя в зонах деформації робочих клітей.

Сформульована концепція розвитку технології та устаткування безперервних сортових прокатних станів, яка заснована на використанні в лінії безперервного сортопрокатного стану неприводних робочих клітей, та як її складений елемент - технологічна концепція проектування комплексу "ПК-НК".

На підставі наслідків аналітичних досліджень розроблені принципи конструювання і компоновки неприводних робочих клітей в лінії сортопрокатного стану.

Розроблений комплекс нових технічних рішень - нових технологічних процесів, а також удосконалень відомих у практиці прокатного виробництва технологічних процесів, заснованих на використанні резерва утягуючих сил тертя, і передбачаючих використання в лінії безперервного сортопрокатного стану засобів деформації металу з неприводними валками (роліками). Нові розробки створені на рівні винаходів і захищені авторськими свідоцтвами і патентами. Ряд розробок впроваджено у виробництво на металургійних підприємствах галузі.

Апробація роботи.

Матеріали дисертаційної роботи доповідані і обговорені на наступних науково-технічних конференціях і семінарах:

- Всесоюзній науково-технічній конференції "Інтенсифікація металургічних процесів і підвищення якості металу", Новокузнецьк, 1986;

- Всесоюзній науково-технічній конференції "Деформація металу в многовалкових калібрах" МГМІ ім. Носова, Магнітогорськ, 1987;

- Всесоюзній науково-технічній конференції "Нові технологічні процеси прокатки, як средство інтенсифікації виробництва і підвищення якості готової продукції", Челябінськ, 1989;

- Першому Конгресі прокатників, Магнітогорськ, 1995;

- науково-технічній конференції "Теорія і технологія процесів пластичної деформації - 96", Москва, 1996;

- наукових семінарах прокатних відділів Інституту чорної металургії НАН України;

- об'єднаних наукових семінарах кафедри "Обробка металів тиском" ДМетАУ і прокатних відділів ІЧМ НАН України, 1995-1996 р.р.

Публікації.

По матеріалах роботи опубліковано 35 статей, нові розробки захищені 48 авторськими свідоцтвами (А.с.) і патентами (П), у тому числі, 4 патентами СРСР (П), 5 патентами України (ПУ), 8 патентами

Російської Федерації (ПРФ) і 10 патентами Республіки Білорусь (ПРБ).

Структура та обсяг дисертації.

Дисертація викладена на 577 сторінках машинописного тексту та складається з 10 розділів, вступу і заключення, бібліографічного списку з 218 найменувань, 13 додатків і містить 141 малюнок і 32 таблиці.

Основні положення, винесені на захист.

Сукупність уявлень об основах безперервної прокатки сортової сталі із застосуванням засобів деформації металу з неприводним робочим інструментом (валками, роліками).

Методи аналітичного дослідження закономірностей змінювання параметрів процесу, у тому числі, з урахуванням границь його здійснення:

- метод визначення резерва утягуючих сил тertia в зоні деформації приводних клітей;

- метод визначення стійкості штаби в пружно - пластичній області, в основу якого покладено приведено - модульний підхід при визначанні критичного зусилля;

- метод визначення опору, який створюється неприводним деформуєчим засобом, з урахуванням збитків на тertia в підшипникових опорах його валків (роликів);

- метод аналізу силової та енергетичної взаємодії робочого інструменту приводних робочих клітей та неприводних деформуєчих пристроїв.

- метод визначення границь здійснення процесу;

- метод аналітичного визначення оптимальних умов реалізації процесу;

Математична модель процесу безперервної прокатки при більш повному використанні резерва утягуючих сил тertia з урахуванням граничних умов його здійснення, адаптована для умов безперервної прокатки сортової сталі.

Результати аналітичних та експериментальних досліджень найбільш складного в технологічному аспекті процесу прокатки, заснованого на більш повному використанні резерва утягуючих сил тertia в зоні деформації приводних робочих клітей, прокатки в комплексі "ПК-НК", які встановлюють нові наукові положення, розширючі практичні аспекти в області безперервної прокатки сортової сталі.

Концепція розвитку технології і устаткування безперервних сортових прокатних станів, яка заснована на використанні в лінії безперервного сортопрокатного стану засобів деформації металу з неприводними валками (роліками).

Комплекс нових технічних рішень – нових технологічних процесів, а також удосконалень відомих технологічних процесів, які засновані на використанні резерва утягуючих сил тертя, передбачаючих використання в лінії безперервного сортопрокатного стану засобів деформації металу з неприводними валками (роліками).

Зміст роботи

1. Стан питання та визначення завдань досліджень

При встановленому процесі прокатки, у тому числі на безперервних станах, в зонах деформації приводних робочих клітей стану існує резерв утягуючих сил тертя, причому величина цього резерву, яка складає по оцінках різних авторів 15-55%, в багато чому визначає рівень енерговитрат на прокатку.

На частинному використанні цього резерву засновані процеси прокатки із застосуванням чотирьохвалкових універсальних калібрів із неприводними вертикальними валками при виробництві фланцевих профілів, прокатки із одним неприводним валком, правки в багатороликових правильних машинах із неприводним рядом нижніх чи верхніх роликів та інші процеси.

Спроби використання цього резерву уживались також при здійсненні процесу прокатки із "зверхобтиском" чи з високими міжклітьовими натягами, однак значного практичного поширення ці процеси не одержали по причині низької стійкості процесу, маючого місце у першому випадку, або у зв'язку з неможливістю забезпечення стабільності розмірів прокату по довжині штаби, що характерно для процесу прокатки с високими міжклітьовими натягами.

Аналіз технічної літератури і патентної документації показав, що за останні роки в практиці прокатного виробництва все більший розвиток одержують технологічні процеси, засновані на принципі більш повного використання резерва сил тертя, передбачаючи застосування в лінії безперервного стану засобів обробки металу тиском з неприводними валками для деформації металу, кантовки розкату між клітьями, поздовжнього розділення розкату в лінії стану, правки прокату і так далі.

В ІЧМ НАН України був запропонований технологічний процес прокатки сортової сталі, заснований на цьому принципі, передбачаючий використання неприводних робочих клітей, встановлених в міжклітьових проміжках лінії безперервного сортового стану як деформуючих засобів.

У відповідності з пропозицією приводним клітям безперервного стану надаються функції деформуючого засобу, транспортуючого засобу і засобу передавання потужності у зону деформації неприводної кліті, яка виконує виключно функції деформуючого засобу. Такий підхід суттєво

зменшує габарити робочої (неприводної) кліті, спрощує її конструкцію, зводячи її по суті до силової роликової привалкової арматури. У такому виконанні неприводна кліть кріпиться до приводної робочої кліті з вихідного боку, а деформацію металу в неприводній робочій кліті здійснюють шляхом проштовхування розкату приводною робочою кліттю. Після виходу заднього кінця з двухвалкової приводної кліті, яка проштовхує, задній кінець розкату витягують з неприводної послідувочою приводною кліттю. Оскільки деформацію прокатуваного металу у системі "ПК-НК-ПК" можна здійснювати у головному приводом першої приводної кліті, а другою приводною кліттю тільки протягувати невеликий залишок розкату крізь неприводну кліть, на вихідному боці другої приводної кліті може бути встановлена наступна неприводна кліть. Вказана можливість при суттєвому спрощенні та здешевленні основного технологічного устаткування дозволяє широко варіювати розподілом витяжок по клітях стану та завантаженням їх приводних клітей.

В якості базового процесу безперервної прокатки сортової сталі прийнято враховувати прокатку без натягу і без утворення петлі металу між клітями (режим вільної прокатки). При цьому у кожний конкретний момент часу додержується постійність секундних об'ємів металу по усіх клітях та міжклітьових проміжках безперервного стану, а будь-які відхилення параметрів прокатки, впливаючі на змінення секундного об'єму металу, знаходяться у межах, зберігаючих можливість саморегулювання стану, тобто вороття до вказаного режиму вільної прокатки без вплива з боку.

Процес прокатки з використанням системи "ПК-НК-ПК" здійснюється із значними міжклітьовими зусиллями у проміжку "ПК-НК", якщо прийняти до уваги, що в проміжку "НК-ПК" прокатка здійснюється без міжклітьової силової взаємодії. Граничним станом приводної кліті при вичепанні резерву утягуючих сил тертя на контактні металу з валками є початок пробуксовки валків по поверхні металу. Неприводний деформуючий засіб, навпаки, працює у режимі проштовхування (протягування) штаби, і потужність для деформації штаби в цій зоні підводиться прокатуванню штабою. Тут граничний стан процесу - втрата стійкості штаби, яка проштовхується.

Існуючі методи аналізу силової та енергетичної взаємодії робочих клітей безперервного сортового стану розглядають такі випадки як екстремальні, та при визначених значеннях параметрів прокатки, вимагаючи втручання зовні для приведення системи в рівновагу. Відомі розроблені рядом дослідних шкіл моделі процесу безперервної прокатки, дозволяючи аналізувати стан системи, у тому числі, і з урахуванням доведених ситуацій. Однак, у зв'язку з тим, що ці ситуації не

розглядаються як робочі, питання реалізації процесів, передбачаючих застосування в лінії безперервного стану засобів обробки металу тиском з неприводними валками: стійкості процесу при використанні резерва утягуючих сил тертя, умов поздовжньої стійкості штаби в проміжку "ПК-НК", опіру, який створюється неприводними валками, та інші питання, у теоретичному аспекті, у вказаних роботах не досліджуються. Крім того, використання неприводних засобів обробки металу тиском збільшує дрібність процесу деформації: зменшує ступінь і швидкість одиначної деформації, знижує час міждеформаційної паузи, суттєво впливаючої на змінення міцнісних характеристик деформуемого металу, та як наслідок, на витрати енергії на деформацію.

Задача теперешніх досліджень поповнити вказаний пропуск - теоретично узагальнити наукові уявлення про основи силової та енергетичної взаємодії зон деформації при реалізації процесів, заснованих на принципі використання резерва утягуючих сил тертя в зонах деформації приводних робочих клітей, и передбачаючих використання в лінії безперервного сортопрокатного стану засобів деформації металу з неприводними валками (роліками), та науково обґрунтувати умови реалізації нових технологічних процесів безперервної прокатки сортової сталі, технологічних приймань та засобів для реалізації цих процесів.

Для виконання цієї задачі необхідно розробити методи аналітичного дослідження закономірностей змінювання енергосилових параметрів процесу, у тому числі, з урахуванням границь його здійснення:

- метод визначення резерва утягуючих сил тертя у зоні деформації приводної клітей;
- метод визначення стійкості штаби у пружно - пластичній області;
- метод визначення опіру, який створюється неприводною кліткою (інструментом);
- метод аналізу силової і енергетичної взаємодії зон деформації приводних робочих клітей та неприводного інструменту;
- метод визначення границь здійснення процесу;
- метод аналітичного визначення оптимальних умов реалізації процесу.

Вирішення перелічених завдань дозволяє створювати нові процеси прокатки, засновані на більш повному використанні резерва утягуючих сил тертя в зонах деформації приводних робочих клітей, або удосконалити існуючі на підставі інженерних розрахунків та результатів математичного моделювання, а не методом спроб та помилок.

2. Сутність, особливості та теоретичні основи процесу безперервної прокатки сортової сталі з використанням неприводних робочих клітей.

2.1. Основні положення.

При встановленому процесі безперервної прокатки з використанням системи "ПК-НК-ПК", якщо вважати, що в проміжку "НК-ПК" прокатка здійснюється без міжклітьової силової взаємодії, потужність, необхідна для здійснення деформації в неприводних валках передається від двигуна приводної клітей через прокатувану штабу. Рівень можливості передання потужності в зону деформації неприводних валків визначається величиною резерву сил тертя в зоні деформації приводних валків і спроможністю зберігати стійкість поздовжньому вигину прокатуваною штабою.

Таким чином, до числа факторів, визначаючих умови реалізації і стійкості процесу безперервної прокатки з неприводними пристроями, відносяться наявність резерва утягуючих сил тертя у приводних зонах деформації і відсутність міжклітьової деформації прокатуваної штаби перед неприводними валками.

Вказані фактори грають суттєву роль при використанні неприводних пристроїв, як основного деформуєчого засобу, працюючого з високим завантаженням. При використанні ж їх як засобу контролю розмірів розкату чи згинально-калібруючих засобів - значення цих факторів для умов реалізації процесу несуттєво. Це ж торкається умов роботи засобів для поздовжнього розділення розкату в потоці безперервного стану при реалізації технології прокатки-розділення (slitting - process).

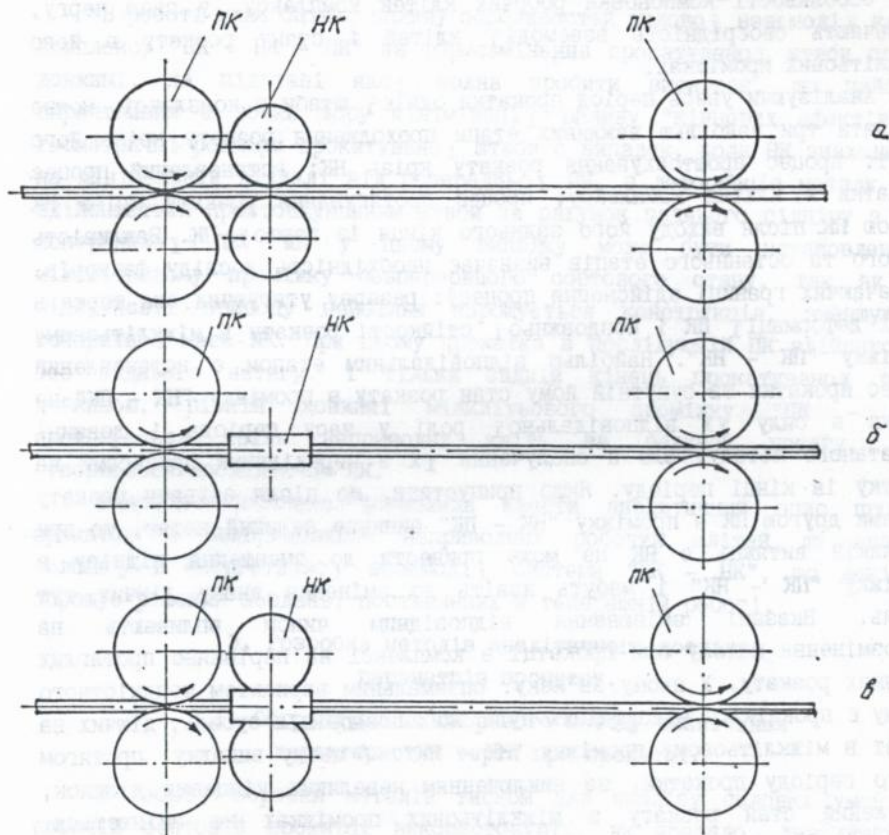
У цьому зв'язку, для більш загального рішення поставлених завдань, теперешній комплекс досліджень спрямований на вивчення закономірностей змінювання енергосилових параметрів прокатки при використанні неприводних пристроїв, як основного деформуєчого засобу (робочих клітей), працюючого з високим завантаженням, - найбільш загального випадку використання засобів обробки металу тиском з неприводними валками в лінії безперервного стану.

Конструктивно неприводні клітей можуть бути виконано у двохвалковому (горизонтальному чи вертикальному) і багатовалковому: трьох-, чотирьох- і більш валковому варіантах і використовуватись при виробництві будь-якого профілю сортаменту безперервного сортопрокатного стану (мал.1).

2.2. Взаємодія клітей та стан розкату в міжклітьових проміжках комплексу "ПК - НК - ПК".

Процес безперервної прокатки сортової сталі з використанням неприводних робочих клітей характерний особливістю компоновки

Схеми розташування неприводних клітей горизонтального (а) та вертикального (б) двохвалкового та чотирьохвалкового універсального (в) виконання в міжклітьовому проміжку двох суміжних робочих приводних клітей безперервного сортового стану.



ПК - приводні кліті; НК - неприводні кліті.

Мал. 1

комплексу "ПК - НК - ПК": по умовах реалізації процесу, у головному, по розумінню підвищення стійкості розкату поздовжньому вигину в проміжку "ПК - НК", передбачено розміщення НК в безпосередній близькості від попередньої ПК. У цьому зв'язку, міжклітьові проміжки комплексу не однакові, причому довжина міжклітьового проміжку між першою ПК і НК складає не більш 20% довжини міжклітьового проміжка між робочими клітьями типового безперервного сортового стану.

Особливості компоновки робочих клітей комплексу, у свою чергу, визначають своєрідність взаємодії клітей і стану розкату в його міжклітьових проміжках.

Аналізуючи увесь період прокатки однієї штаби в комплексі, можна виділити три найбільш важливих етапи проходження розкату крізь його кліті: процес прошовування розкату крізь НК; встановлений процес прокатки в клітях комплексу; процес протягування розкату крізь НК другою ПК після виходу його заднього кінця із першої ПК. Важливість першого та останнього етапів визначає необхідність досліду факторів, визначаючих границі здійснення процесу: резерву утягуючих сил тертя в зонах деформації ПК і поздовжньої стійкості розкату в міжклітьовому проміжку "ПК - НК". Найбільш відповідальним етапом є встановлений процес прокатки та супутній йому стан розкату в проміжку "НК - ПК" не тільки в силу їх відповідальної ролі у часу періода і довжині прокатаного металу, але й сполучення їх з перехідними процесами на початку і в кінці періоду. Якщо припустити, що після захвату розкату валками другою ПК в проміжку "НК - ПК" виникне великий натяг, то при невеликій витяжці в НК це може привести до зменшення підпіру в проміжку "ПК - НК" і мабуть навіть до змінення знаку діючих тут зусиль. Вказані змінювання відповідним чином впливають на формозмінення металу при прокатці в комплексі на порівняно протяглих ділянках розкату. У цьому зв'язку, оптимальним варіантом швидкісного режиму є прокатка з відсутністю будь яких поздовжніх зусиль, діючих на розкат в міжклітьовому проміжку "НК - ПК". У цьому випадку, протягом всього періоду прокатки, за виключенням невеликих кінцевих ділянок, напружений стан розкату в міжклітьових проміжках не змінюється. Прокатка з натягом розкату в міжклітьовому проміжку "НК - ПК", а також вільна прокатка кінцевих ділянок розкату відбувається тільки при проходженні цими ділянками проміжка "ПК - НК". Оскільки довжина цієї ділянки по умовах реалізації процесу несуттєва і набагато менше віддалі між площинами вісей робочих валків приводних клітей стану, вплив змінювання напруженого стану розкату на формозмінення металу при прокатці в комплексі може виявитись на вельми обмежених ділянках розкату. Крім того, "кінцеві ефекти", присутні, у тому числі, і

традиційному процесу безперервної прокатки, і проявляючі у змінюванні геометричних параметрів поперечного перетину розкату, в розглядаючому випадку не будуть посилені, прокатка ж в режимі "мінімального натягу" в теперешній час є основною відзначною рисою технології сучасних безперервних сортових станів, оснащених для цих цілей необхідними засобами автоматичного управління.

2.3. Особливості формозмінення прокатуваної штаби.

В роботі дана оцінка впливу особливостей силової взаємодії клітей комплексу "ПК - НК - ПК" на формозмінення прокатуваної штаби по її довжині, на підставі якої можна зробити висновок, що найбільш сприятливим з точки зору мінімізації впливу "кінцевих ефектів" на геометричні розміри прокатуваної штаби є випадок, коли НК знаходиться на мінімальній віддалі від попередньої ПК, а деформація металу в НК здійснюється проштовхуванням штаби за рахунок заднього підпіру з боку попередньої ПК. НК у цьому випадку може бути встановлена в міжклітьовому проміжку безперервного сортового стану, так як при відсутності приводу найбільш зпрощується конструкція, зменшуються габарити і маса НК. При цьому прокатка в послідуєчій ПК здійснюється без заднього натягу. І тільки задній кінець прокатуваної штаби довжиною, рівній довжині міжклітьового проміжку "ПК - НК", протягується крізь неприводну кліть за рахунок натягу, який створюється послідуєчою ПК.

Вказана обставина дозволила звести аналітичний опис процесу прокатки з використанням неприводних робочих клітей до аналізу силової і енергетичної взаємодії системи "ПК - НК", що декілька зпростує рішення завдань, поставлених в теперешній роботі.

3. Розробка методів аналітичного дослідження параметрів процесу.

3.1. Обґрунтування вибраного методу визначення характеристик тертя при прокатці.

В теорії обробки металів тиском для аналізу силових умов при гарячій сортовій прокатці використовують, як правило, два основних співвідношення для розрахунку сил тертя: закон тертя Г.Амонтона, згідно якому дотичні напруження пропорційні нормальним напруженням на контакт металу з валками $\tau = f r_{cp}$, та умову Зібеля, по якій питомі сили тертя пропорційні опіру деформації прокатуваного металу $\tau = f_{\sigma} \sigma_s$.

Коефіцієнт пропорційності у першому випадку (f) заведено називати коефіцієнтом тертя, а у другому (f_{σ}) - показником сил тертя.

В роботі виконана порівняльна оцінка вказаних вище характеристик

тертя для досить широкого діапазону змінювання параметрів прокатки з урахуванням впливу припущень, заведених при виводі формул для визначення середнього тиску прокатки і положення нейтрального перерізу.

У основу порівняння положені дві передумови: рівність середніх тисків прокатки в зоні деформації, одержаних для різних законів тертя, і рівність кутів нейтрального перерізу при заданих безрозмірних параметрах α/f і $f^2 R/h_1$, f , характеризуючих параметри зони деформації і фізичне тертя на контакті металу з валками.

У роботі показано, що методично більш вірним буде визначення показника сил тертя f_{σ} , виходячи з передумови рівності кутів нейтрального перерізу. Це обґрунтовується тим, що положення нейтрального перерізу, є своєрідним індикатором енергетичного балансу процесу прокатки, нерозривно пов'язано з усією сукупністю фізичних явищ, присутніх процесу прокатки, і найбільш чутливо до змінень, які відбуваються в зоні деформації.

Встановлено, однак, що при невеликих кутах контакту, не перевищуючих половини кута тертя, вибір означених передумов суттєвого значення не має.

3.2. Розробка методу визначення резерву утягуючих сил тертя в зоні деформації приводних клітей.

Процес безперервної прокатки з частковим або повним використанням резерву сил тертя в зонах деформації приводних клітей розглядався в теорії безперервної прокатки сортової сталі як екстремальний, який у практиці не використовується, і тому у повній мірі не досліджувався.

Найбільш важливим у цьому випадку є аналіз граничних умов реалізації процесу, тобто оцінка максимального резерву сил тертя в зоні деформації приводної кліті на межі його повного вичерпування.

При розробці методу скористалися відомими порівняннями для визначення кута нейтрального перерізу, в яких використовувалось два основних співвідношення для розрахунку сил тертя: закон тертя Г.Амонтона та умова тертя Е.Зібеля, з урахуванням схеми напруженого стану в зоні деформації, застосовувані для аналізу силових умов при гарячій сортовій прокатці.

Прирівнюючи нейтральний кут нулю, одержали ряд виразів, описуючих змінення максимального підпіру, який може розвинути приводна кліть, в функції безрозмірних параметрів α/f_{σ} і $f_{\sigma}^2 R/h_1$.

З урахуванням більш точного відображення природи сил тертя при гарячій сортовій прокатці виразами, в яких використовується умова тертя Е.Зібеля, в роботі використовувались залежності, засновані на цьому законі тертя.

Пропоновано для визначення максимального резерву утягуючих сил

тертя в зоні деформації приводної кліті на межі його повного вичерпання скористатися виразом (у відносному стані), одержаним із енергетичної теорії взаємодії валків і штаби, по В.Н.Видріну вигляду:

$$\frac{\sigma_{1.\max}}{\beta\sigma_s} = f_\sigma \left[2 \sqrt{\frac{h_1}{R}} \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{\Delta h}{h_1}} - \sqrt{\frac{2}{3}} \frac{\sigma_s}{\tau_{\text{ср.}}} A_1 + A_2 \right]$$

Разом с тим, в залежності від завдань, які вирішуються, можуть бути використовані і інші вирази, одержані із аналогічних розміркувань. У теперешній роботі такий вираз одержано з аналізу рівноваги сил в зоні деформації робочих клітей по О.П.Чекмарьову, М.Д.Кущигіну вигляду:

$$\frac{\sigma_{1.\max}}{\beta\sigma_s} = \frac{\delta \left[\frac{1}{\eta} - 1 \right] + 2}{\frac{1}{\eta} - 1} \ln \frac{1}{\eta} - 2$$

Встановлено, що у випадку використання неприводних клітей резерв утягуючих сил тертя здійснює найбільш суттєвий вплив на стійкість процесу деформації металу в чорнових клітях безперервного прокатного стану.

Показано, що практичний інтерес представляє змінення резерву утягуючих сил тертя в зоні деформації приводної кліті у діапазоні $\alpha/f_\sigma = 0-1,2$.

3.3. Розробка методу оцінки опіру розкату поздовжньому вигину перед неприводною кліттю.

Для розробки методу оцінки опіру розкату поздовжньому вигину перед неприводною кліттю при пружно-пластичному вигині в умовах стиску коротких товстих стержнів при високих температурах, якими можна подати розкат в міжклітьовому проміжку в комплексі "ПК-НК", скористалися підходом, прийнятим в теорії розрахунку систем, які деформуються, і заснованому на аналізі стійкості нелінійно-пружних систем, по якому для розрахунку критичних зусиль у вказаних випадках в рівності Ейлера в зоні пружності використовують модуль Юнга при даній температурі E_t , а в зоні пластичної деформації - місцевий або дотичний модуль пружності E'_t при даній температурі, визначаючий в пластичній області залежність між приростом стискуєчих напружень $\Delta\sigma$ і деформацій $\Delta\varepsilon$.

Одержано рівняння для розрахунку стійкості розкату поздовжньому вигину в міжклітьовому проміжку комплексу "ПК-НК" при приведено-модульному підході, вигляду:

$$\frac{\sigma_{\text{кр.}}}{\sigma_T} = \frac{4}{\left(1 + \frac{k_L L}{\pi \rho_1} \sqrt{\sigma_T / E_t} \right)^2},$$

з використанням якого виконані розрахунки стійкості розкату поздовжньому вигину і дана оцінка можливості використання неприводних клітєй, які встановлені на різних ділянках безперервного сортового стана.

Встановлено, що визначаючим фактором при розрахунку стійкості розкату поздовжньому вигину є гнучкість розкату λ в міжклітьовому проміжку, який розглядається.

Показано, що вплив температури металу на змінення відношення критичного напруження до межі текучості $\sigma_{кр.}/\sigma_T$ невелике. Разом с тим, при температурі металу порядку 1000°C має місце максимум відношення $\sigma_{кр.}/\sigma_T$.

Показано, що при використанні в якості критерія оцінки умов реалізації процесу деформації металу в комплексі "ПК-НК" по опіру розкату поздовжньому вигину дотично-модульної нагрузки можна суттєво занизити оцінку ефективності використання неприводних клітєй.

3.4. Розробка методу визначення опіру, який створюється неприводною кліттю.

Один із факторів, визначаючий умови реалізації процесу прокатки в комплексі "ПК-НК", є опір, який створений неприводною кліттю при деформації в ній металу.

Питання, пов'язані з визначенням поздовжнього опіру, який створюється деформуючим інструментом - матрицями, волоками, у тому числі роліковими - розглядалися у ряді робіт. Однак, специфіка спрямованості цих досліджень, які описують процеси калібрування, пресування або протягу, не дозволяє скористатися їх результатами для розрахунку параметрів прокатки в комплексі "ПК-НК".

В тепершній роботі розроблений метод визначення опіру, який створений неприводною кліттю, адаптований для умов гарячої сортової прокатки, а також зроблена оцінка впливу тертя в валкових опорах на опір, який створюється неприводною кліттю, при мінливості її навантаження.

Використовуючи одержані в роботах О.П.Чекмарьова і М.Д.Куцигіна вирази для визначення положення нейтрального перерізу та середнього тиску прокатки при умові тертя по Е.Зібелю, а також приймаючи рівність нулю поздовжніх зусиль в розкаті за межами комплексу "ПК-НК", одержали вираз для оцінки впливу тертя в опорах неприводних валків на опір, який створюється неприводною кліттю, у вигляді коефіцієнту заднього підпору:

$$\psi_0 = \frac{1 + k_1 \delta}{k_1 \frac{1}{\eta}} \left[\frac{1}{\eta} - 2 \frac{1}{\eta} A e^B + 1 \right],$$

де $k_1 = f_{\text{підш.}} r / f_{\sigma R}$ - показник, характеризує умови тертя в валкових опорах 1 на контактні металу з валком (відношення радіусів тертя в опорах 1 на боці валка), і без урахування тертя в опорах валків неприводно і кліті у вигляді:

$$\phi'_0 = 2 \left[\delta \ln \frac{2 \frac{1}{\eta} A}{\frac{1}{\eta} + 1} - 1 \right]$$

Показано, що не урахувавши тертя в опорах валків неприводно і кліті можна внести суттєву погрішність в розрахунки параметрів процесу прокатки в комплексі "ПК-НК".

Дана оцінка впливу завантаження неприводно і кліті, яка характеризується параметром α / f_{σ} , співвідношення сил тертя в валкових опорах (цапфах) 1 на контактні валків з прокатуваним металом, яке характеризується параметром k_1 , і масштабного фактора зони деформації неприводно і кліті, який характеризується параметром $f_{\sigma}^2 R / h_1$, на опір, який створюється неприводно і кліттю.

Показано, що із збільшенням k_1 і зменшенням α / f_{σ} значення урахування тертя в опорах валків неприводно і кліті зростає, а вплив параметру $f_{\sigma}^2 R / h_1$ в цьому випадку невеликий.

3.5. Обґрунтування вибраного методу визначення опору металу деформації.

Для оцінки динаміки змінування опору металу деформації в комплексі "ПК-НК" і аналізу впливу на неї температурно - швидкісних і деформаційних умов прокатки у вказаному комплексі скористалися роботами Я.С.Шварцбарта та інших, в яких запропонований метод розрахунку опору металу деформації, заснований на аналітичній залежності впливу багатосхідчасткового режиму деформування на опір деформації металу, підтверженої експериментальними дослідженнями, яка описує з достатньою для практичних цілей точністю процеси зміцнення і динамічного знеміцнення металу при прокатці, а також статичного знеміцнення металу в паузах міжклітьових проміжків з урахуванням природи металу, його температури, тривалості паузи, історії попереднього паузи деформування.

На підставі розрахунків, виконаних з використанням прийнятого методу, можна зробити наступні висновки:

- підвищення температури прокатки і зменшення швидкості прокатки на вході у комплекс знижують середні значення опору деформації у клітях комплексу;

- при прокатці в міжклітьовому проміжку комплексу "ПК-НК" повного знеміцнення металу не відбувається, що відповідає експериментальним даним, одержаних в роботах М.Я.Бровмана, М.Гайдука і Й.Конвічного та

інших;

- при паузах порядку 0,56 с ($L = 450$ мм; $V_{\text{вих.1}} = 0,88$ м/с при $T_0 = 1000^\circ\text{C}$) відбувається суттєве знеміщення металу в міжкільтовому проміжку комплексу "ПК-НК".

3.6. Розробка методу визначення границь існування процесу безперервної прокатки сортової сталі з використанням неприводних робочих клітей.

При розробці методу аналітичного дослідження процесу суттєвим є визначення границь існування процесу прокатки в комплексі "ПК-НК".

Умови реалізації процесу прокатки на безперервному сортовому стані з використанням комплексу "ПК-НК" описуються системою рівнянь, визначаючих заштовхуючу спроможність приводної кліті - резерв сил тертя в зоні її деформації, стійкість розкату поздовжньому вигину перед неприводною кліттю і зусилля опіру, яке розвивається неприводною кліттю.

Система рівнянь, яка описує умови реалізації процесу прокатки в комплексі "ПК-НК" в загальному вигляді може бути представлена наступним чином:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_{\text{рез.}} = F(\sigma_{\text{с.п.}}, f_{\sigma.\text{п.}}, \Delta h_{\text{п.}}, h_{\text{о.п.}}, h_{\text{к.п.}}, D_{\text{п.}}) \\ \sigma_{\text{кр.}} = F(\sigma_{\text{т.}}, E_{\text{т.}}, k_{\text{L}} L_{\text{п-н}}, \rho_1) \\ \sigma_{\text{оп.}} = F(\sigma_{\text{с.н.}}, f_{\sigma.\text{н.}}, \Delta h_{\text{н.}}, h_{\text{о.н.}}, h_{\text{к.н.}}, D_{\text{н.}}, k_1, \psi_0) \end{array} \right.$$

де $\sigma_{\text{рез.}}$ - напруження, яке може бути створено в розкаті резервом сил тертя, створених при прокатці в зоні деформації приводної кліті; $\sigma_{\text{кр.}}$ - критичне напруження в розкаті, при якому можлива втрата розкатом поздовжньої стійкості в проміжку "ПК-НК"; $\sigma_{\text{оп.}}$ - напруження в розкаті, виникає від опіру, який створюється неприводною кліттю; $\sigma_{\text{с.п.}}$, $\sigma_{\text{с.н.}}$ - опір деформації металу в зонах деформації приводної і неприводної клітей, відповідно; $E_{\text{т.}}$ і $\sigma_{\text{т.}}$ - відповідно, модуль пружності і межа текучості металу в міжкільтовому проміжку між приводною і неприводною клітьми; $f_{\sigma.\text{п.}}$ і $f_{\sigma.\text{н.}}$ - показник сил тертя на контактній поверхні металу і валків в приводній і неприводній клітях, відповідно; $\Delta h_{\text{п.}}$ і $\Delta h_{\text{н.}}$ - абсолютний обжим металу в приводній і неприводній клітях, відповідно; $h_{\text{о.п.}}$, $h_{\text{к.п.}}$ і $h_{\text{о.н.}}$, $h_{\text{к.н.}}$ - початкова і кінцева висота штаби при прокатці в приводній і неприводній клітях, відповідно; $D_{\text{п.}}$ і $D_{\text{н.}}$ - діаметри валків приводної і неприводної клітей, відповідно; $k_1 = f_{\text{підш.н.}} r_{\text{н.}} / f_{\sigma.\text{н.}} R_{\text{н.}}$ - показник, характеризуючий умови тертя в валкових опорах і на контакті металу з валками неприводної кліті (відношення радіусів тертя в опорах і на боці валка); $f_{\text{підш.н.}}$ - коефіцієнт тертя в валкових опорах неприводної кліті; $r_{\text{н.}}$ - радіус цапф (шийок) валків

неприводної кліті; $\psi_0 = \sigma_{0.н} / \sigma_{с.н}$ - коефіцієнт заднього підпіру для неприводної кліті; $\sigma_{0.н}$ - напруження заднього підпіру для неприводної кліті. $k_L L$ - приведена довжина міжклітьового проміжку між приводною і неприводною клітцями з урахуванням умов заземлення розкату в зонах деформації; ρ_1 - радіус інерції перерізу розкату в міжклітьовому проміжку між приводною і неприводною клітцями

Для практичного використання при моделюванні процесу прокатки в комплексі "ПК-НК" система рівнянь, яка описує силову взаємодію приводної і неприводної клітей, і визначаюча межі існування процесу, представлена у вигляді відносних напружень: резерву сил тертя до опіру деформації в приводній кліті $\sigma_{рез.} / \beta \sigma_{с.п}$; опіру, який створюється неприводною кліттю до опіру деформації в неприводній кліті $\sigma_{рез.} / \beta \sigma_{с.н}$; стійкості розкату поздовжньому вигину в міжклітьовому проміжку "приводна - неприводна кліті" до межі текучості металу в цьому міжклітьовому проміжку $\sigma_{кр.} / \sigma_T$ і має вигляд:

з урахуванням виразів, одержаних из аналізу рівняння енергетичного балансу:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\sigma_{рез.}}{\beta \sigma_{с.п}} = f_{\sigma} \left[2 \sqrt{\frac{h_{1п}}{R_{п}}} \arctg \sqrt{\frac{\Delta h_{п}}{h_{1п}}} - \sqrt{\frac{2}{3}} \frac{\sigma_{с.п}}{\tau_{ср.п}} A_1 + A_2 \right] \\ \frac{\sigma_{кр.}}{\sigma_T} = \frac{4}{\left(1 + \frac{k_L L}{\pi \rho_1} \sqrt{\sigma_T / E_t} \right)^2} \\ \frac{\sigma_{шт}}{\beta \sigma_{с.н}} = 2f_{\sigma} \left\{ \frac{R_{н}}{h_{1н}} \frac{b_{с.н}}{b_{1н}} \frac{\alpha_{н} - b_{1н} / b_{с.н} \alpha_{н} \gamma_{н}}{1 + 1_{н}} - \sqrt{\frac{R_{н}}{h_{1н}}} \left[\arctg \sqrt{\frac{\Delta h_{н}}{h_{1п}}} - 2q_{н} \arctg \sqrt{\frac{R_{н}}{h_{1н}}} \gamma_{н} \right] + 0,09 \frac{b_{0.н}}{h_{0.н}} \frac{n_{н}}{1+n_{н}} \left[\left(\frac{h_{0.н}}{h_{1.н}} \right)^{1+n_{н}} - 1 \right] + \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{1}{f_{\sigma}} \left[D_{н} \ln \frac{h_{0.н}}{h_{1.н}} + B_{н} E_{н} \alpha_{н} + C_{н} \alpha_{н} \right] + \frac{b_{с.н} R_{н}}{F_{1н} (1+1_{н})} (2\gamma_{н} - \alpha_{н}) \right\} \end{array} \right.$$

з урахуванням виразів, одержаних из аналізу рівноваги сил:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\sigma_{\text{рез.}}}{\beta \sigma_{\text{с.п}}} = \frac{\delta_{\text{п}} \left(\frac{1}{\eta} \text{п} - 1 \right) + 2}{\frac{1}{\eta} \text{п} - 1} \ln \frac{1}{\eta} \text{п} - 2 \\ \frac{\sigma_{\text{кр.}}}{\sigma_{\text{т}}} = \frac{4}{\left(1 + \frac{k_{\text{т}} L}{\pi \rho_1} \sqrt{\sigma_{\text{т}} / E_{\text{т}}} \right)^2} \\ \frac{\sigma_{\text{шп}}}{\beta \sigma_{\text{с.н}}} = \frac{1 + k_1 \delta_{\text{н}}}{k_1 \frac{1}{\eta} \text{н}} \left[\frac{1}{\eta} \text{н} - 2 \frac{1}{\eta} \frac{A}{\text{н}} e_{\text{н}}^{\text{в}} + 1 \right] \end{array} \right.$$

Таким чином, для визначення умов реалізації процесу прокатки в комплексі "ПК-НК" у кожному конкретному випадку слід (з урахуванням тих чи інших припущень) спільне рішення рівнянь, які визначають межі існування процесу по резерву сил тертя і стійкості розкату поздовжньому вигину, з рівнянням, яке визначає опір, котрий створюється при проштовхуванні неприводної клітці. У цьому зв'язку, в залежності від поставлених завдань для умов контактного тертя по Е.Зібелю може бути використана будь-яка з приведених систем рівнянь або їх комплексне застосування. При використанні інших законів тертя, наприклад, закону Г.Амонтона, для визначення умов реалізації процесу прокатки в комплексі "ПК-НК" необхідно скласти і вирішити аналогічну систему рівнянь для даних умов тертя.

3.7. Розробка методу аналізу силової та енергетичної взаємодії робочих валків комплексу "ПК-НК".

Для аналізу силової та енергетичної взаємодії робочих валків комплексу "ПК-НК" скористалися двома підходами до аналітичного опису процесу безперервної прокатки, заснованими на енергетичній теорії взаємодії валків і штаби і рівноваги сил в зоні деформації робочих клітей.

Порівняння енергетичного балансу комплексу "ПК-НК" у загальному вигляді виражається рівністю:

$$N_{\text{в.п}} - N_{\text{т.п}} - N_{\text{вн.п}} - N_{\text{д.п}} - N_{\text{т.н}} - N_{\text{вн.н}} - N_{\text{ш.н}} - N_{\text{д.н}} = 0$$

де $N_{\text{в}}$ - потужність на боці валків (повна потужність прокатки); $N_{\text{т}}$ - потужність тертя ковзання на контактній поверхні; $N_{\text{вн}}$ - потужність внутрішніх сил (формозмінення і зрізу на вході в зону деформації); $N_{\text{о}}$ і N_1 - відповідно, потужність переднього і заднього натягів (підпіру); $N_{\text{д}}$ - потужність динамічних сил; $N_{\text{о}}$ - інші вигляди потужності.

Індекси "п" і "н" у параметрів означають належність до відповідної клітки комплексу.

В роботі одержані приватні вирази для визначення доданків

рівняння енергетичного балансу для випадку прокатки в комплексі "ПК-НК"

Разом с тим, енергетичний підхід до аналітичного опису процесу прокатки не дозволяє визначати інші силові і технологічні параметри процесу прокатки, наприклад, тиск прокатки. Для цього використовували адаптовані для умов сортової прокатки вирази, одержані із умови рівноваги сил в зоні деформації робочої кліті. Вказана обставина дозволила, крім іншого, розробити інший, відмінний від енергетичного, підхід до аналітичного опису процесу прокатки в комплексі "ПК-НК" і з його допомогою виконати аналогічні аналітичні дослідження закономірностей змінювання параметрів прокатки (у тому числі силових) у функції розподілу деформації між приводною і не приводною клітьми.

З використанням одержаних рівнянь силової та енергетичної взаємодії клітей комплексу виконаний поелементний аналіз енерговитрат на реалізацію процесу при перерозподілі деформації по клітях комплексу і порівняльний аналіз енерговитрат та умов реалізації процесу по двом вказаним підходам.

Аналіз результатів досліджень показав, що найбільш суттєвими складовими у витратах потужності є витрати на формозмінення металу в приводній кліті (близько 80%) і потужність підпору, який створюється не приводною кліттю, яка включає витрати потужності на формозмінення металу, переборювання сил тертя ковзання і тертя в цапфах підшипникових опорів не приводної кліті. Потужність сил тертя ковзання на контактній поверхні і потужність зрізу у площині входу в зону деформації приводної кліті не перевищує 10% кожна, а потужність інерційних сил при відносно низьких швидкостях прокатки (не більш 1 м/с) не перевищує 1% у сумарних витратах потужності.

Характер змінення вказаних параметрів при перерозподілі деформації в клітях комплексу, одержаних із різних підходів, однаковий. При цьому, різниця в визначенні енерговитрат на реалізацію процесу по двох підходах, які розглядаються не перевищує 15%, а у діапазоні, відповідному умовам реалізації процесу з урахуванням границь його здійснення, різниця в розрахунках не перевищує 10%. При цьому різниця у визначенні границь здійснення процесу по резерву сил тертя при використанні різних підходів не перевищує 7%.

Ураховуючи адекватний характер змінення енергосилових параметрів процесу і невелику різницю в числених значеннях параметрів, одержаних при розрахунках, які не перевищують в області здійснення процесу 10%, в залежності від поставлених задач може бути рекомендований будь-який із приведених підходів або комплексне використання розробленого методу.

3.8. Розробка математичної моделі і програми розрахунку на ПЕОМ параметрів процесу прокатки в комплексі "ПК-НК".

Прийнята в роботі концепція математичного моделювання процесу прокатки в комплексі "ПК - НК" заснована на аналітичному опису процесу.

Структурна схема розробленої математичної моделі процесу прокатки в комплексі "приводна - неприводна кліті" представлена на мал.2.

Моделюючий алгоритм розробленої математичної моделі передбачає взаємозв'язок програм розрахунку параметрів прокатки в кожній кліті комплексу "ПК - НК" і дозволяє встановити закономірності змінення цих параметрів при перерозподілі деформації металу в клітях комплексу. Вказана обставина дозволяє, наприклад, при використанні вказаного моделюючого алгоритму встановити оптимальне з точки зору енергоспоживання співвідношення деформацій металу в клітях комплексу при заданих (постійних для даного конкретного випадку) значеннях сумарної (загальної) витяжки в комплексі. При цьому, в процесі виконання розрахунків забезпечується перевірка здійснення процесу прокатки в одержаному оптимальному співвідношенні деформацій в клітях комплексу, тобто встановлюються межі здійснення процесу по резерву сил тертя в зонах деформації приводних клітей і по стійкості розкату поздовжньому вигину перед неприводною кліттю.

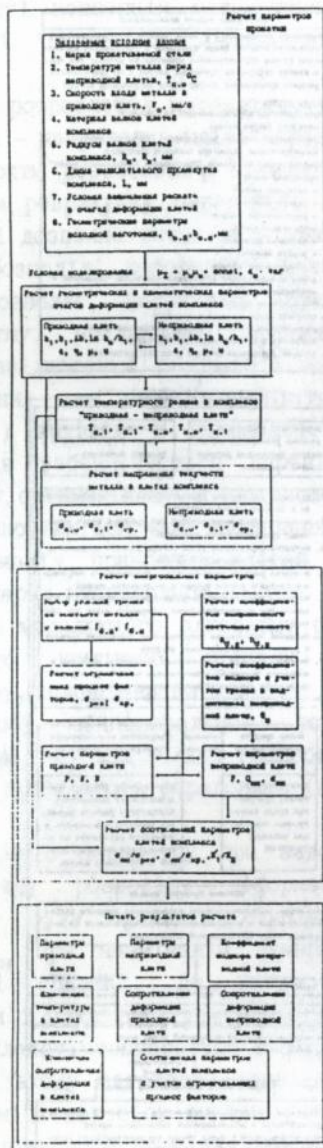
Структурна схема моделюючого алгоритму розробленої математичної моделі, об'єднуючого комплекс програм розрахунку параметрів досліджуваного процесу, приведена на мал.3.

В якості засобу обчислювальної техніки при моделюванні використовувалась ПЕОМ типу IBM PC/AT. Розроблений моделюючий алгоритм реалізований на базі програмного середовища (електронних розраховуючих таблиць) FRAMEWORK.

В якості вар'єюмого параметру при заданих вихідних даних для моделювання (параметру розподілу деформації між приводною і неприводною клітями) була прийнята ступінь деформації металу в неприводній кліті ϵ_n при незмінній сумарній (загальній) витяжці металу в комплексі "ПК-НК". До числа невар'єюмих параметрів відносяться параметри і показники для розрахунку напруження текучості металу в клітях комплексу, температура металу перед приводною кліттю комплексу, швидкість входу заготовки (вихідного підкату) в приводну кліть комплексу, розміри перерізу вихідної заготовки, радіуси валків клітей, довжина міжклітьового проміжку комплексу, а також параметри, характеризуючі умови теплообміну при прокатці і умови защеплення розкату в зонах деформації клітей комплексу.

Для зручності аналізу і використання результатів розрахунків

Структурна схема моделюючого алгоритму математичної моделі



змінення досліджуваних параметрів прокатки в комплексі "ПК-НК" представлені у функції відношення $(\mu_H - I)/(\mu_\Sigma - I)$, характеризуючого співвідношення зміщеної площі в неприводній клітці до зміщеної площі в комплексі клітей $\Delta F_H / \Delta F_\Sigma$.

Усі табличні результати розрахунків, виконаних за допомогою розробленого моделюючого алгоритму, можуть бути при необхідності представлені в графічному вигляді.

До відмітних особливостей програми розрахунку параметрів процесу прокатки в комплексі "ПК-НК" відносяться: урахування факторів, обмежувачих умови реалізації процесу, урахування реологічних властивостей і змінення температури металу при прокатці, урахування впливу тертя в опорах валков неприводної клітці на опір, який створюється при прокатці цією кліттю, широкий діапазон адаптації розробленої моделі, який дозволяє виконати розрахунок основних параметрів процесу безперервної прокатки з використанням неприводних робочих клітей для умов заготовочного, крупно-, середньо- та дрібносортового стану.

4. Аналітичні дослідження параметрів процесу деформації металу в комплексі "ПК-НК".

4.1. Дослідження умов здійснення процесу по резерву утягуючих сил тертя і стійкості розкату поздовжньому вигину перед неприводною кліттю.

З використанням розробленої математичної моделі виконані аналітичні дослідження умов здійснення процесу по резерву сил тертя і стійкості розкату поздовжньому вигину перед неприводною кліттю. Аналізувались напруження у прокатуваний штабі, створені резервом сил тертя $\sigma_{рез}$, опір, створеним неприводною кліттю $\sigma_{пп}$, а також критичні напруження поздовжньої стійкості розкату перед неприводною кліттю $\sigma_{кр}$, віднесені, відповідально, до опору деформації в приводній клітці $\sigma_{S,п}$, неприводній клітці $\sigma_{S,н}$ і границі текучості металу σ_T в міжклітьовому проміжку комплексу "приводна - неприводна клітці" ($\sigma_{рез} / \sigma_{S,п}$, $\sigma_{пп} / \sigma_{S,н}$, $\sigma_{кр} / \sigma_T$) в функції розподілу деформації між приводною і неприводною клітьми комплексу. Використання відносних величин напружень дозволило виключити вплив незалежного вар'юемого параметру - температури металу.

Виконані розрахунки для конкретних умов прокатки на стані 250 в діапазоні змінення параметру r_G^2/h_1 0,5 - 2,0, відповідному умовам прокатки в некаліброваних валках (на гладкій бочці) вуглецевих сталей на безперервних сортових і листових станах. З урахуванням основних завдань досліджень і можливостей проведення експериментів моделювались умови прокатки на безперервному сprobно-промисловому стані 250

прокатної лабораторії Інституту, оснащеному неприводною кліткою з діаметром робочих валків 210 мм, яка могла використовуватись як горизонтальна або як вертикальна робоча кліть.

В якості вихідних заготовок прийнятий підкат квадратного поперечного перерізу з боком 14, 20, 26 мм. Матеріал - ст.3. Температура прокатки - 1000 - 1200°C. Швидкість прокатки - 0,4 - 1,0 м/с. Віддаль між зонами деформації приводної і неприводної клітей - 500 мм. У дальшому моделювання процесу прокатки в комплексі "ПК-НК" здійснювалось з використанням в якості підкату зразка квадратного перерізу з боком 25 мм, що обумовлено умовами проведення експерименту.

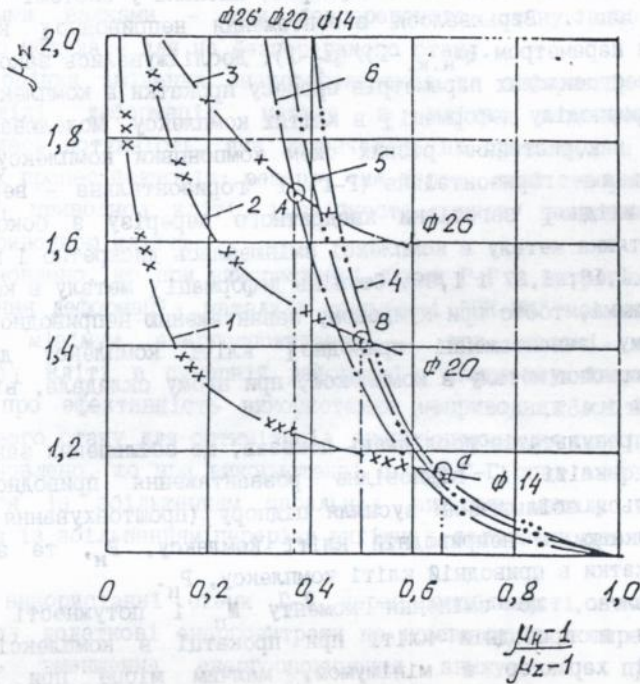
Результати досліджень показали, що для випадку прокатки заготовки квадратного перерізу з боком 20 мм при низьких значеннях загального коефіцієнту витяжки металу в комплексі "ПК-НК" близько $\mu_{\Sigma} = 1,1 - 1,3$ фактором, обмежувачим процес, є резерв утягуючих сил тертя, так як стійкість розкату поздовжньому вигину забезпечується при будь-якому рівні завантаження неприводної кліті в межах μ_{Σ} . При μ_{Σ} , більших 1,4, фактором, обмежувачим процес, стає стійкість розкату поздовжньому вигину.

Мал. 4 ілюструє значення кожного з обмежувачих процес факторів для умов його реалізації для вказаних вихідних параметрів. Тут, по осі абсцис відкладений параметр $(\mu_{н.к.} - 1) / (\mu_{\Sigma} - 1)$, а по осі ординат загальний коефіцієнт витяжки металу в комплексі "приводна - неприводна кліть" μ_{Σ} . Ліві області графіків, визначають області існування процесу для даних умов; в правих областях, обмежених цими кривими, процес прокатки в комплексі "ПК-НК" неможливий. Точки перетину (А, В, С) відповідних кривих на цьому графіку характеризують рівнозначність обмежувачих процес факторів - стійкості розкату поздовжньому вигину і резерву сил тертя в зоні деформації приводної кліті - на умови його реалізації.

Аналіз результатів виконаних досліджень показав, що змінення значності факторів, які визначають умови його реалізації, відбувається при значеннях параметру $r_0^2 R / h_1 = 0,80 - 1,05$, характерних для проміжних груп сортових станів.

Виконані аналітичні дослідження умов здійснення процесу по резерву сил тертя і стійкості розкату поздовжньому вигину перед неприводною кліткою показали, що найбільша ефективність процесу безперервної сортової прокатки з використанням неприводних клітей може мати місце в проміжних групах клітей безперервних сортових станів, а також дозволили намітити шляхи оптимізації процесу, використовуючи в якості критеріального фактору максимальну деформуючу здібність неприводної кліті.

Область здійснювання процесу
та значимість факторів, обмежувач його



- 1-3 - стійкість розкату поздовжньому вигину в міжклітьовому проміжку комплексу "приводна - неприводна кліті";
4-6 - резерв сил тертя в зоні деформації приводної кліті, для квадрата з боком, відповідально 14, 20 и 26 мм.

Мал. 4

4.2. Дослідження закономірностей змінення енергосилових параметрів процесу і оцінка змінення енерговживання в функції розподілу деформації в клітях комплексу "ПК-НК".

З використанням розробленої математичної моделі, виконані аналітичні дослідження закономірностей змінення параметрів прокатки в комплексі "ПК-НК" при перерозподілі деформації металу в клітях комплексу для тих же умов прокатки на безперервному дрібносортному стані 250.

В якості невар'язького технологічного параметру в межах одиничного експерименту прийнята загальна (сумарна) витяжка у системі "ПК-НК" $\mu_{\Sigma} = \mu_{\Pi} \mu_{Н} = \text{const}$. Вар'ювалося завантаження неприводної кліті, яке визначалося параметром $(\mu_{Н.к.} - 1) / (\mu_{\Sigma} - 1)$. Досліджувались закономірності змінення енергосилових параметрів процесу прокатки в комплексі "ПК-НК" в функції розподілу деформації в клітях комплексу. Моделювались умови прокатки з використанням різних схем компоновки комплексу "ПК-НК": "горизонтальна - горизонтальна" (Г-Г) і "горизонтальна - вертикальна" (Г-В) із вихідної заготовки квадратного перерізу з боком 25 мм. Загальна витяжка металу в комплексі змінювалась дискретно і приймалася рівною $\mu_{\Sigma} = 1,18; 1,27$ і $1,39$. Ступінь деформації металу в комплексі в базовому режимі, тобто при нульовому завантаженні неприводної кліті і максимальному завантаженні приводної кліті комплексу для даної загальної витяжки металу в комплексі, при цьому складала, відповідно, $\epsilon = 25\%, 35\%$ і 45% .

Аналіз результатів досліджень показав, що збільшення завантаження неприводної кліті і відповідне розвантаження приводної кліті супроводжується збільшенням зусилля підпору (проштовхування), $Q_{\Pi\Pi}$, і зусилля прокатки в неприводній кліті комплексу, $P_{Н}$, та зменшенням зусилля прокатки в приводній кліті комплексу, P_{Π} .

Встановлено, що змінення моменту M_{Π} і потужності N_{Π} , які витрачаються в приводній кліті при прокатці в комплексі, носить параболічний характер з мінімумом, маючим місце при значеннях параметру $(\mu_{Н.к.} - 1) / (\mu_{\Sigma} - 1)$, в діапазоні $0,3 - 0,5$.

Показана різнонаправленість впливу поширення металу на енерговживання при використанні різних схем компоновки клітей комплексу: позитивного - при використанні схеми Г-Г и негативного - при використанні схеми Г-В.

Встановлено, що із збільшенням загального коефіцієнту витяжки металу в комплексі інтенсивність спаду моменту і потужності прокатки в приводній кліті комплексу, а, отже, можливість енергозбереження, в діапазоні змінення параметра $(\mu_{Н.к.} - 1) / (\mu_{\Sigma} - 1)$, рівному $0 - 0,5$, який входить в область здійснення процесу, зменшується.

Показано, що ордината, проведена через характеристичні точки (точки перетину кривих), описуючих змінення зусиль прокатки в приводній P_{II} і неприводній P_{HI} клітях комплексу, в залежності від параметру $(\mu_{н.к.} - I) / (\mu_{\Sigma} - I)$, збіжна з мінімумом кривих, описуючих змінення моменту M_{II} і потужності N_{II} прокатки, встановлює оптимальне співвідношення деформацій в клітях комплексу з точки зору енергоспоживання і використання механічного устаткування - власно робочих клітей - комплексу "ПК-НК", що дозволяє, крім іншого, виробити підходи до проектування робочих клітей комплексу - в ідеалі - двозонної робочої кліті із зонами деформації, створеними приводними і неприводними валками - для безперервного стану або тризонного прокатного модуля - для не безперервного стану.

Для оцінки змінення енергоспоживання на деформацію металу при перерозподілі деформації металу в клітях комплексу "ПК-НК" аналізувалась потужність, яка витрачалась на прокатку, з урахуванням обмежувачих процес факторів: резерву сил тертя, який створювався в зоні деформації приводної кліті, і стійкості розкату поздовжньому вигину перед неприводною кліттю.

Встановлено, що при використанні схеми Г-Г в витратах потужності на виконання деформації металу в комплексі "ПК-НК" має місце яскраво виражений мінімум енергоспоживання - при частці завантаження неприводної кліті в сумарній деформації комплексу близько 50%, що свідчить про ефективність використання неприводних клітей в лінії безперервного стану для оптимізації енергоспоживання при прокатці.

Встановлено, що при використанні схеми Г-Г спад енергоспоживання зменшується із збільшенням загальної витяжки металу в комплексі "ПК-НК" та із збільшенням перерізу вихідної заготовки при інших рівних умовах.

При використанні схеми Г-В через особливості течії металу, викликаючої додаткові енерговитрати на компенсацію поширення металу, можливість зменшення енергоспоживання знижується, причому, із збільшенням загальної витяжки металу в комплексі і зменшенням вихідного перерізу відбувається ріст додаткових енерговитрат на компенсацію поширення металу.

Використання схеми Г-В найбільш ефективно для рішення інших завдань безперервної прокатки сортової сталі, наприклад, забезпечення відповідного формозмінення металу при прокатці при мінімальних капітальних витратах, а при рішенні завдань оптимізації енергоспоживання ця ефективність у порівнянні зі схемою Г-Г знижується.

5. Експериментальні дослідження енергосилових параметрів процесу деформації металу в клітях комплексу "ПК-НК".

Для досвідної перевірки розробленої математичної моделі виконані експериментальні дослідження безперервної прокатки з використанням неприводної робочої кліті на стані 250 прокатної лабораторії по двох основних схемах компоновки комплексу "ПК - НК": Г-Г і Г-В. В процесі їх виконання вимірювались і фіксувались наступні параметри:

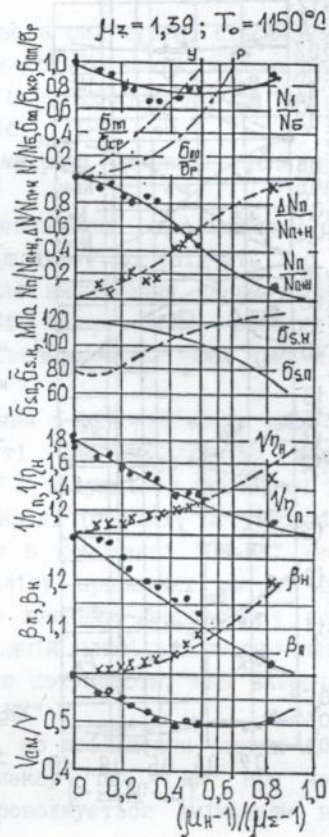
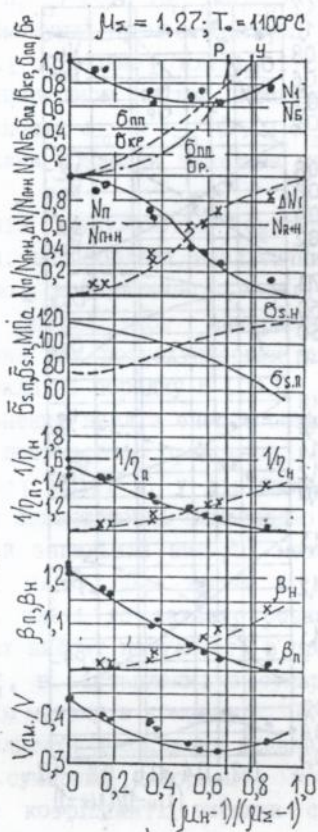
- зусилля прокатки в клітях комплексу "ПК - НК";
- поздовжні зусилля в розкаті, виникаючі при прокатці в комплексі "ПК - НК" ;
- енергетичні параметри двигунів головних приводів клітей стану 250, які використовувались при проведенні експериментів: току, напруження і частоти обертання, а також потужності, яка розвивається на валу двигуна головного приводу приводної робочої кліті комплексу при прокатці;
- температура металу перед приводною кліттю комплексу (температура нагріву заготовок);
- геометричні параметри підкату, недокатів (проміжних темплетів) і готового прокату, одержаного в комплексі "ПК - НК";
- швидкість прокатки в клітях стану.

Для вимірювання та реєстрації параметрів процесу прокатки в комплексі "ПК - НК" використовувались стандартні та нестандартні (розроблені в ІЧМ) засоби вимірювання параметрів процесу. Результативні помилки вимірювань силових параметрів процесу для різних засобів вимірювань складають 11,6 - 12,2%, а при вимірюванні енергетичних параметрів двигуна головного приводу кліті №1 стану 250 - 1,0 - 2,8%.

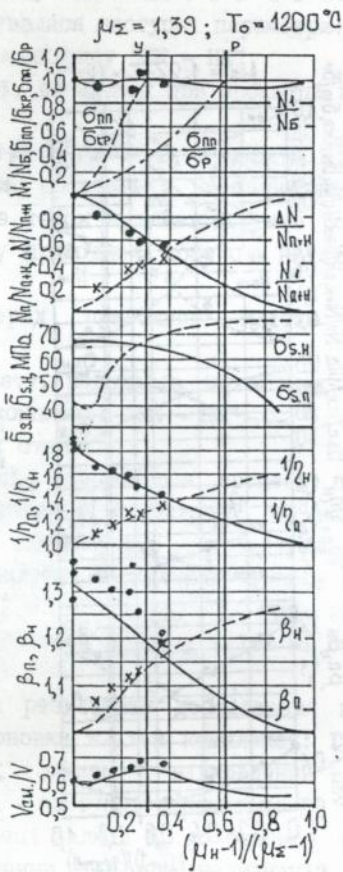
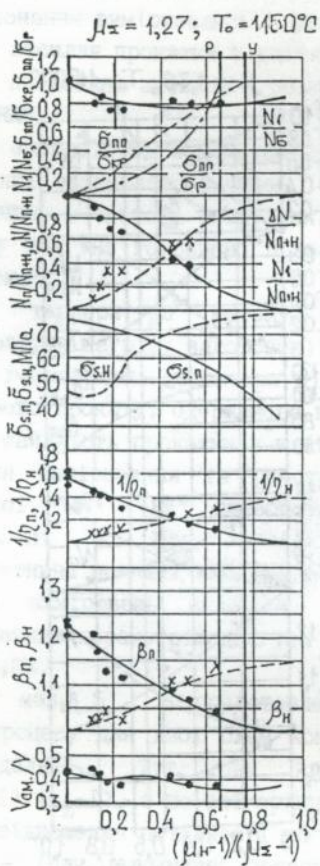
На мал. 5 і 6 представлені результати дослідження параметрів цього процесу для двох схем компоновки клітей комплексу: Г-Г і Г-В, відповідально. Тут по осі абсцис відкладений параметр $(\mu_{н.к.} - I) / (\mu_{\Sigma} - I)$, а по осі ординат - наступні параметри:

- відношення потужності на бочці валків N_B до базової потужності ПК N_B - (при нульовому завантаженні НК) при незмінній загальній витяжці металу $\mu_{\Sigma} = \text{const}$;
- відношення напруження опору, який створюється НК ($\sigma_{\text{оп}}$) до найбільш допущених напружень, які обмежують процес по умовах стійкості розкату поздовжньому вигину перед НК ($\sigma_{\text{кр.}}$) і резерву сил тертя, створеного в зоні деформації ПК ($\sigma_{\text{рез.}}$);
- приватні витрати потужності в ПК і НК, віднесені до сумарної потужності, яка витрачається на деформацію металу в комплексі "ПК - НК" ($N_{\text{ПК+НК}}$): відношення потужності ПК до захвату розкату валками НК

Параметри процесу в схемі компоновки клітей комплексу "Г-Г"



Параметри процесу в схемі компоновки клітей комплексу "Г-В"



(N_{II}) і додаткових затрат потужності в ПК від опіру НК (ΔN_{II}) до сумарної потужності, яка витрачається на деформацію металу в комплексі "ПК - НК" (N_{II+H});

- опір деформації металу в клітках комплексу $\sigma_{в.н}$, $\sigma_{в.п}$;
- коефіцієнт обжиму металу в клітках комплексу $1/\eta_{II}$, $1/\eta_H$;
- коефіцієнт поширення металу в клітках комплексу β_{II} , β_H ;
- відносний зміщений об'єм в комплексі по двох схемах: $V_{см.}/V_{\Sigma} = \ln(h_{0.п}/h_{1.п}) + \ln(h_{0.н}/h_{1.н})$;
- обмежуючі процес фактори: резерв сил тертя, створеного в зоні деформації приводної кліті, і стійкість розкату позовдільному вигину перед неприводною кліткою показано перпендикулярами до осі абсцис з точок рівності $\sigma_{III} = \sigma_{кр}(V)$ і $\sigma_{III} = \sigma_{рез}(P)$;

Точками показані значення параметрів, одержані експериментальним шляхом.

Аналіз результатів експериментальних досліджень підтвердив положення, встановлені аналітичним шляхом, що свідчить про здатність розробленої математичної моделі для визначення параметрів прокатки сортової сталі при використанні неприводних робочих клітей. Розходження між розрахунковими та експериментальними даними у даному випадку складає порядку 5-10%.

Виконаний аналіз енергоспоживання з використанням двох підходів: аналізу потужності приводної кліті при змінюючому завантаженні неприводної кліті N_1 у зіставленні з потужністю приводної кліті при нульовому завантаженні неприводної кліті (базової потужності) N_B , при незмінній загальній витяжці металу в комплексі "ПК-НК" (або тільки приводної кліті) $\mu_{\Sigma} = \text{const}$ і аналізу приватних витрат потужності приводної кліті до захвату розкату валками неприводної кліті N_1' і додаткових витрат потужності в приводній кліті від впливу неприводної кліті $\Delta N_1'$, в зіставленні з сумарною потужністю, яка витрачається на деформацію металу в комплексі "ПК - НК" $N_{1+H.к.}$.

Результати досліджень показали, що збільшення частки неприводної кліті в сумарній деформації комплексу "ПК - НК" при незміненому сумарному коефіцієнті витяжки супроводжується змінням відносного змішаного об'єму ($V_{см.}/V_{\Sigma}$).

При компоновці комплексу по схемі "Г-Г" чітко виражений мінімум в області завантаження неприводної кліті на рівні 0,50, що добре кореспондується з характером зміння коефіцієнтів обжиму ($1/\eta$) і поширення (β). У сполученні зі змінням опіру металу деформації ($\sigma_{в}$) зниження сумарного відносного змішаного об'єму, напряму визначаючого роботу деформації, визначає можливість оптимізації енергоспоживання при використанні неприводних клітей.

При використанні схеми "Г-В" зміння сумарного відносного

змішуваного об'єму носить декілька інший характер, визначений характером змінення поширення при змінюванні напрямку обжиму в неприводній клітці: замість прокатки штаби середньої ширини, що має місце при схемі "Г-Г", здійснюється прокатка вузької штаби, при якій інтенсивність поперечної течії металу (в поширення) суттєво вище. Відповідно змінюється і характер кривої, яка описує енергоспоживання.

При розташуванні клітєй по схемі "Г-Г" процес здійснюєм при максимальному завантаженні неприводної клітці порядку 68% (для $\mu_{\Sigma} = 1,27$) і 52% (для $\mu_{\Sigma} = 1,39$) від загальної деформації металу в комплексі "ПК - НК", причому при частці завантаження неприводної клітці в сумарній деформації комплексу порядку 50% спад енергоспоживання при $\mu_{\Sigma} = 1,27$ складає близько 35%, а при $\mu_{\Sigma} = 1,39$ - близько 28%.

Фактором, обмежуючим процес при $\mu_{\Sigma} = 1,27$, є резерв сил тертя в зоні деформації приводної клітці, а при $\mu_{\Sigma} = 1,39$ - стійкість розкату поздовжньому вигину перед неприводною клітєтє.

При використанні схеми Г-В зменшення енергоспоживання також має місце, однак, із-за особливостей формозмінення металу при прокатці в комплексі, пов'язаних із змінням напрямку його обжиму, викликаючого додаткові енерговитрати на компенсацію поширення металу, ефективність процесу з точки зору енергозбереження зменшується. Тут процес здійснюємо при максимальному завантаженні неприводної клітці близько 68% для ($\mu_{\Sigma} = 1,27$) і 33% (для $\mu_{\Sigma} = 1,39$) від загальної деформації (витяжки) металу в комплексі "ПК - НК".

Спад енергоспоживання при $\mu_{\Sigma} = 1,27$ складає, приблизно, 22%, а при $\mu_{\Sigma} = 1,39$ крива, характеризуюча енерговитрати при прокатці в комплексі має два мінімуми: при незначному завантаженні неприводної клітці (близько 10% в сумарній деформації комплексу і при дуже високій частці завантаження неприводної клітці (70-75%), причому приращення додаткових енерговитрат на компенсацію поширення металу відбувається в діапазоні 0,10-0,35 ($\mu_{н.к.} - 1$) / ($\mu_{\Sigma} - 1$) з максимумом в діапазоні 30-35%. Слід відмітити, що із збільшенням загальної витяжки відбувається зріст додаткових енерговитрат на компенсацію поширення металу.

Значимість факторів, обмежуючих процес не змінюється - при $\mu_{\Sigma} = 1,27$, обмежуючим фактором є резерв утягуючих сил тертя в зоні деформації приводної клітці, а при $\mu_{\Sigma} = 1,39$ - стійкість розкату поздовжньому вигину перед неприводною клітєтє.

6. Технологічна концепція проектування комплексу "ПК - НК"

в системі безперервного сортопрокатного стану.

На підставі результатів виконаних досліджень сформована технологічна концепція проектування комплексу "ПК - НК".

Основні положення цієї концепції можна сформулювати наступним

чином.

1. З метою збільшення довготривалості стаціонарних стадій процесу прокатки в комплексі і підвищення, тим самим, стабільності розмірів прокату по довжині штаби, при проектуванні комплексу "ПК - НК" необхідно мінімізувати віддаль між зонами деформації заштовхуючої приводної і неприводної клітей. Це необхідно також для забезпечення високої стійкості розкату поздовжньому вигину перед неприводною кліттю, багато в чому визначаючої межі здійснення процесу. В цьому зв'язку, комплекс "ПК - НК" доцільно виконати у вигляді двозонної робочої кліті (з приводними і неприводними валками розміщеними в одній станині) з консольним розташуванням бандажируваних твердосплавних валків. При цьому неприводна зона деформації повинна бути виконана комбінованою - з можливістю змінення розташування вісей робочих валків (горизонтальних або вертикальних) і конструкції калібру (двохвалкового або багатовалкового, наприклад, чотирихвалкового, універсального).

2. Для умов не безперервного стану рекомендується тризонний прокатний модуль, в якому поряд з перевагами двозонної робочої кліті забезпечується зменшення впливу "кінцевих ефектів". Цей варіант може бути використаний і при реконструкції безперервних станів, якщо довжина його міжклітьових проміжків дозволяє розташувати тризонний прокатний модуль, однак цей варіант потребує реконструкції приводу робочих клітей стану для забезпечення приводу робочих клітей модуля. Найбільш ефективно використання тризонних прокатних модулів у лініях нових конструкцій прокатних станів.

3. Для зменшення габаритів, маси і вартості основного технологічного устаткування прокатного стану при використанні неприводних робочих клітей і скорочення площ для його розташування за рахунок зменшення зусиль прокатки і підпору, а також для забезпечення зниження витрат енергії при використанні двозонної робочої кліті або тризонного прокатного модуля з одночасним поширенням технологічних можливостей конструкції за рахунок поширення області здійснення процесу прокатки з використанням неприводних клітей, рекомендується особливу увагу при проєктуванні звернути на правильний вибір співвідношення і власно діаметрів робочих валків приводної і неприводної зон деформації, прагнучи до зменшення цих діаметрів.

7. Розробка нових технологічних процесів безперервної прокатки сортової сталі, заснованих на використанні резерву сил тертя в зонах деформації робочих клітей

На підставі результатів виконаних досліджень розроблений комплекс нових технічних рішень - нових технологічних процесів (способів прокатки) і удосконалень відомих в практиці прокатного виробництва

технологічних процесів, заснованих на використанні резерву сил тертя в зонах деформації робочих клітей, а також устаткування (пристроїв) для їх реалізації – засобів деформації металу з неприводними валками (роліками). Розробки захищалися авторськими свідоцтвами СРСР (АС), патентами СРСР (П), України (ПУ), Російської Федерації (ПРФ), Республіки Білорусь (ПРБ).

7.1. Виробництво фланцевих профілів

Виконаний комплекс робіт по розробці, дослідженню і засвоєнню технології прокатки балочних профілів з використанням неприводних універсальних клітей (АС №1284617) на безперервному середньосортному стані 450 Західно-Сибірського металургійного комбінату (ЗСМК).

Для її реалізації були розроблені та виготовлені спробний, спробно-промисловий і головний промисловий зразки конструкцій неприводних універсальних клітей (НУК), які використовуються у чорновій групі стану (АС №1704333, ПРФ №1497851).

Результати засвоєння цієї технології при прокатці двотаврових балок №14 і 16 по ГОСТ 8239 показали доцільність її використання із застосуванням НУК в якості вигинально-калібруючого засобу, забезпечуючого контроль форми і розмірів елементів перерізу балочного розкату. Використання НУК замість приводної дуо кліті №3 в чорновій групі стану поряд з виконанням функцій цієї кліті забезпечило:

- стабілізацію геометричних параметрів перерізу балочного розкату, вступаючого в чистову групу клітей, що сприяло підвищенню точності прокатки;
- економію електроенергії за рахунок виключення її втрат на роботу холостого ходу і в трансмісії лінії головного приводу кліті №3;
- зниження витрат валків, завдяки благоприємним умовам деформації металу в універсальному калібрі у порівнянні з калібром дуо, і можливість використання одного й того ж калібру НУК в перебігу тривалого періоду.

Ця розробка удостоєна срібної медалі ВДНГ СРСР.

Аналіз особливостей силової взаємодії зон деформації, створених приводними і неприводними валками та його впливу на формозмінення штаби при прокатці дозволили поширити область застосування НУК при прокатці фланцевих профілів за рахунок її використання в якості розрізної кліті (ПУ по заявці №95125145).

Ефективність використання НУК у цій якості забезпечується можливістю формування випуклого переднього кінця розкату (створенню "язика" на його передньому кінці), стабілізуючим процес прокатки і приріст висоти фланців за рахунок інтенсифікації течії металу в поширення в калібрі НУК від дії заднього підпору.

На підставі аналізу стійкості розкату фланцевого перерізу

поздовжньому вигину і резерву сил тертя на контактi металу з робочим інструментом область застосування процесів, заснованих на використанні резерву сил тертя, в виробництві фланцевих профілів була розширена за рахунок застосування неприводних калібрів на ділянках правки готового прокату.

Для реалізації нової технології правки був розроблений та виготовлений пробний зразок конструкції НУКДП, який був встановлений з вихідного боку горизонтальної ролікоправильної машини в безперервній лінії правки стану.

Результати засвоєння цієї технології показали ефективність її використання при виробництві гарячекатаних профілів (кутової сталі, швелерів і балок) підвищеної точності. Найбільш ефективно її використання для ускладнення перекосу полиць та кривизни стінки – при виробництві швелерів та балок і стабілізації прямого кута між полицями – при виробництві кутової сталі.

На використанні резерву сил тертя в зоні деформації приводної кліті засновано удосконалення процесу виробництва кутової сталі, яке використовується на безперервному дрібносоротно-дротовому стані 320/150 Білоруського метзаводу (БМЗ).

Тут на підставі аналізу впливу особливостей силової взаємодії приводної і неприводної зон деформації на формозмінення штаби при прокатці і стійкості розкату поздовжньому вигину для стабілізації геометричних параметрів кутового прокату по довжині пропонується використовувати оригінальну конструкцію ввідної ролікової проводки з неприводним калібруючим роліком (АС №1577899), контролюючим ширину полиць передчистового кутового розкату. Приводні робочі валки чистової кліті у цьому випадку за рахунок резерву сил тертя в зоні деформації забезпечують протягання розкату крізь проводку з обжимом металу по вершинах фланців ребрами горизонтального неприводного калібруючого роліка (ПРФ по заявці №5065942, ПРБ №1183).

7.2. Виробництво арматурної сталі.

В області виробництва круглих арматурних профілів основний комплекс нових технічних рішень, в основу яких покладена ідея використання резерву сил тертя в зонах деформації робочих клітей, присвячений розвитку та удосконаленню технології прокатки-розділяння (slitting-process). В цьому процесі більшу частину циклу прокатки штаби на безперервному стані займає одноститкова деформація металу з формуванням багатониткового (подвійного, потрійного і т.д.) розкату, з'єднаного перемичками, який розділяють в лінії стану в поздовжньому напрямку, і послідовно прокатку з формуванням готового профілю здійснюють в дві нитки. Поздовжнє розділяння багатониткового розкату на частки здійснюють за допомогою спеціальних засобів: відливних касет

і пристроїв для поздовжнього розділення розкату з неприводними ділильними роликками, які встановлюються на вихідному боці робочої кліті, підготовлюючи розкат до поздовжнього розділення. Власно поздовжнє розділення здійснюється за рахунок резерву сил тертя в зоні деформації робочої кліті шляхом розклинюючої дії ділильних роликів.

Нові розробки в цій області виробництва прокатної продукції спрямовані на удосконалення як, власно, технологічного процесу прокатки-розділення (АС №1462579, АС №1814228, АС №1814229, П №1671381, П №1828611, П №1835197, ПФ №1734898, ПФ №2055653, ПРБ №138, ПРБ №440, ПРБ №774), так і засобів для його реалізації: ділильних касет і пристроїв для поздовжнього розділення розкату з неприводними ділильними роликками (АС №1358163, АС №1584254, АС №1649720, АС №1718512, АС №1823247). Тут на підставі аналізу стійкості розкату поздовжньому вигину була розроблена концепція конструкції пристроїв для поздовжнього розділення розкату (АС №1441550, П №1703210, ПФ по заявці №4936561, ПРБ №437, ПРБ №953), яка передбачає встановлення другої пари неприводних роликів ділильного пристрою, і забезпечує, з одного боку, підвищення стійкості розкату поздовжньому вигину перед ділильним пристроєм за рахунок введення додаткової опори для розкату, який удержує його від поздовжнього вигину в проміжку "робочі валки приводної кліті - неприводні ділильні роликки", а, з другого боку - стабілізацію геометричних параметрів ослабленого перерізу (перемички) подвійного розкату, що сприяло підвищенню точності готового прокату.

7.3. Виробництво сортової сталі.

Результати виконаних досліджень послужили підставою для розробки варіантів реконструкції безперервного двониткового дрібносортового стану 250 з метою переведення його на безперервнолиту заготовку перерізом 150x150 мм замість квадрату з боком 80 мм. В роботі показана ефективність використання двозонних клітей при реконструкції цього стану у порівнянні з традиційним підходом - встановленням додаткових клітей. Тут розрахунок параметрів прокатки і оцінка ефективності використання двозонних клітей виконувалися за допомогою розробленої в роботі математичної моделі і методів визначення умов реалізації процесу.

Слід згадати ряд технічних рішень, конкретизуючих умови реалізації процесів прокатки сортової сталі, заснованих на використанні резерву утягуючих сил тертя в зонах деформації приводних робочих клітей. Розроблені в роботі методи визначення параметрів процесу при використанні неприводного робочого інструменту деформації дозволили дати рекомендації для технологічних і конструкторських розробок, які торкаються особливостей реалізації таких процесів при

багатонитковій прокатці, безкаліберній прокатці та інших (АС №1736684, АС №1712010, АС №1784274, АС №1826228).

Закінчення

Дисертаційна робота спрямована на теоретичне узагальнення наукових уявлень про основи силової та енергетичної взаємодії робочих клітей при реалізації процесів, заснованих на принципі використання резерву утягуючих сил тертя в зонах деформації робочих клітей, і передбачаючих використання в лінії безперервного сортопрокатного стану засобів деформації металу з неприводними валками (роліками), і на розробку науково - обґрунтованих технічних рішень: нових технологічних процесів безперервної прокатки сортової сталі, технологічних прийомів і засобів для реалізації цих процесів.

З використанням основних положень теорії безперервної прокатки розроблена сукупність уявлень про основи безперервної прокатки сортової сталі із застосуванням неприводних робочих клітей, вивчені закономірності силової і енергетичної взаємодії робочих клітей комплексу "ПК-НК", на базі яких розроблені теоретичні основи силової та енергетичної взаємодії приводних і неприводних робочих клітей. Одержані результати підтверджені експериментально.

Показано, що прокатка нульовим моментом в конкретній кліті безперервного стану, яка розглядається в теорії традиційного процесу безперервної прокатки як кінцевий стан, може здійснюватися стійко при умові неповного вичерпання резерву сил тертя в зонах деформації сусідніх приводних клітей і збереження прокатуваною штабом спроможності передавати останніми зусилля підпору або натягу до початку міжклітьової деформації штаби.

Встановлено, що резерв утягуючих сил тертя в зоні деформації приводних клітей залежить від його параметрів і характеристик тертя на контактні металу з валками, причому практичний інтерес представляє змінення резерву утягуючих сил тертя в діапазоні $\alpha/f_{\sigma} = 0-1,2$.

Показано, що при використанні неприводних клітей резерв утягуючих сил тертя проявляє найбільш суттєвий вплив на стійкість процесу деформації металу в чорнових клітях безперервного прокатного стану.

Показано, що розрахунок стійкості розкату пождовжньому вигину для оцінки умов реалізації процесу деформації металу в комплексі "ПК-НК" слід виконувати, виходячи з приведено-модульного підходу, при використанні в якості критерія стійкості дотично-модульної нагрузки можна суттєво занизити оцінку ефективності використання неприводних клітей.

Встановлено, що змінення значності факторів, які визначають умови реалізації процесу, діється при значеннях параметру $f_{\sigma}^2 R/h_1 = 0,80 - 1,05$, характерних для проміжних груп сортових станів.

Показано, що при визначенні підпору, який створюється неприводними валками, обов'язкове урахування опіру, який створений силами тертя в опорах неприводних валків.

Встановлено, що при прокатці в міжклітьовому проміжку комплексу "ПК-НК" повного знеміцнення металу не відбувається, при цьому, підвищення температури прокатки і зменшення швидкості прокатки на вході в комплекс знижують середні значення опіру деформації в клітях комплексу.

Показано, що для визначення умов реалізації процесів безперервної прокатки з використанням неприводного робочого інструменту в кожному конкретному випадку слід (з урахуванням тих чи інших припустків) суспільне рішення рівнянь, які визначають границі здійснення процесу по резерву сил тертя і стійкості розкату поздовжньому вигину, з рівнянням, визначаючим опір, який створюється при проштовхуванні неприводним інструментом.

Встановлено, що характер змінення параметрів прокатки при перерозподілі деформації в клітях комплексу, одержаних з різних аналітичних підходів, заснованих на енергетичній теорії взаємодії валків і штаби та рівноваги сил в зоні деформації робочих клітей, однаковий, при цьому різниця в визначенні енерговитрат на реалізацію процесу по двох підходах, які розглядаються не перевищує 15%, а в діапазоні, відповідному умовам реалізації процесу з урахуванням границь його існування, різниця в розрахунках не перевищує 10%; різниця в визначенні границь здійснення процесу по резерву сил тертя при використанні різних підходів не перевищує 7%.

Встановлено, що при визначених умовах реалізації процесу прокатки сортової сталі з використанням неприводних клітей в лінії безперервного стану виявляється можливість економії енергії при прокатці не тільки за рахунок зниження витрат потужності на роботу холостого ходу і витрат в трансмісії приводу прокатних клітей, але й за рахунок зменшення невиробничих енерговитрат в процесі деформації. При використанні схеми Г-Г в витратах потужності на виконання деформації металу в комплексі "ПК-НК" має місце чітко виражений мінімум енерговживання - при частці завантаження неприводної кліті в сумарній деформації комплексу порядку 50%, при цьому падіння енерговживання зменшується із збільшенням сумарної витяжки металу і перерізу вихідної заготовки при інших рівних умовах. При використанні схеми Г-В внаслідок особливостей течії металу, визиваючої додаткові енерговитрати на компенсацію поширення металу, можливість зменшення енерговживання знижується, причому, із збільшенням загальної витяжки металу в комплексі і зменшенням вихідного перерізу здійснюється зріст додаткових енерговитрат на компенсацію поширення металу.

сортової сталі різного призначення, а також удосконалення існуючих технологічних процесів, заснованих на використанні резерву сил тертя в зонах деформації робочих клітей, технологічні прийоми і засоби для реалізації цих процесів

Сформульована концепція розвитку технології і устаткування безперервних сортових прокатних станів, заснована на використанні в лінії безперервного сортопрокатного стану неприводних робочих клітей.

Нові розробки створені на рівні винаходів і захищені 48 авторськими свідоцтвами і патентами, у тому числі, патентами СРСР (4) України (5), Російської Федерації (8) Республіки Білорусь (10). Ряд розробок впроваджений у виробництво на металургійних підприємствах галузі цих стран.

Сукупність одержаних результатів можна кваліфікувати як теоретичне узагальнення наукових уявлень про основи силової і енергетичної взаємодії робочих клітей при реалізації процесів, заснованих на принципі використання резерву сил тертя, який дозволив розробити нові технологічні процеси, технологічні прийоми і засоби для реалізації цих процесів.

Основний зміст роботи опубліковано в наступних роботах.

1. Технологія неперервної прокатки сортової сталі с использованием неприводных рабочих клетей/ А.П.Лохматов, С.М.Жучков, Л.В.Кулаков //Металл и литье Украины.- 1994.- №9-10.- С.16-19.

2. Концепция развития технологии и оборудования непрерывных сортовых прокатных станов при использовании неприводных рабочих клетей/ А.П.Лохматов, С.М.Жучков, Л.В.Кулаков // Сталь.- 1995.- №5.- С.51-53.

3. Жучков С.М. Прокатка балочных профилей с использованием неприводных универсальных клетей/ Металлург.- 1997.- №4.- С.36-37

4. Жучков С.М. Применение неприводной универсальной клетки с разрезным калибром при непрерывной прокатке балочных профилей/ Металлург.- 1997.- №5.- С.28-29

5. Особенности формоизменения металла при использовании неприводных клетей в системе непрерывного сортопрокатного станa. / Жучков С.М., Лохматов А.П., Кулаков Л.В., Сивак Э.В. // Черная металлургия. Бюл. АО ин-т "Черметинформация".- 1997.- №1-2.- С.21-29

6. Жучков С.М. Использование неприводных деформирующих средств в процессе двояной прокатки с продольным разделением раската в потоке станa/ Сталь.- 1997.- №7.- С.37-41

7. Жучков С.М. Использование неприводных рабочих клетей в процессе бескалиберной прокатки/ Металлург.- 1997.- №6.- С.32-35

8. Жучков С.М. Использование неприводных рабочих клетей в процессе непрерывной двухниточной прокатки. / "Металлург".- 1997.-

9. Производство балочных профилей с использованием неприводных универсальных клетей/ В.А.Теряев, С.М.Жучков, А.П.Лохматов // Сталь.- №11.- 1989.- С.55-58.

10. Неприводная универсальная клеть для прокатки балочных профилей/ В.А.Теряев, С.М.Жучков, А.П.Лохматов // Черная металлургия. Бюл. ин-та "Черметинформация". - 1990.- №4.- С.53-55.

11. Экспериментальные исследования технологии прокатки балочных профилей с использованием неприводных универсальных клетей/ С.М.Жучков, А.П.Лохматов, Ю.М.Беклемешев // Черная металлургия. Бюл. ин-та "Черметинформация".- 1992. -№5. -С.27-30.

12. Использование резерва втягивающих сил трения в очагах деформации рабочих клетей при непрерывной сортовой прокатке/ А.П.Лохматов, С.М.Жучков, Л.В.Кулаков // Сталь.- 1996.- №5.- С.27-32.

13. Снижение энергопотребления при непрерывной сортовой прокатке за счет использования резерва втягивающих сил трения в очагах деформации рабочих клетей/ А.П.Лохматов, С.М.Жучков, Л.В.Кулаков // Труды Первого Конгресса прокатчиков. Магнитогорск 23-27.10. 1995г.- М.: АО "Черметинформация".- 1996.- С.190-197.

14. Продольная устойчивость раската при прокатке балочных профилей с использованием неприводных универсальных клетей / С.М.Жучков, А.П.Лохматов, Л.В.Кулаков // Известия ВУЗов. Черная металлургия.- 1995.- № 2.- С.31-33.

15. Выбор методики определения резерва сил трения в приводной клетке. / А.П.Лохматов, С.М.Жучков, Л.В.Кулаков // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии: Сборник научных трудов.- К.: НАУКОВА ДУМКА.- 1995.- С.152-159 .

16. Выбор методики оценки сопротивления раската продольному изгибу перед неприводной клетью при непрерывной прокатке сортовой стали с использованием неприводных рабочих клетей / С.М.Жучков, А.П.Лохматов, Л.В.Кулаков // Металл и литье Украины.- 1995.- №7-8.- С.45-49.

17. Сравнительная оценка характеристик трения при прокатке / Л.В.Кулаков, А.П.Лохматов, С.М.Жучков // Известия ВУЗов Черная металлургия.- 1995.- №10.- С.24-28.

18. Анализ изменения сопротивления деформации металла в комплексе "приводная-неприводная клетка" при непрерывной сортовой прокатке / Л.В.Кулаков, А.П.Лохматов, С.М.Жучков // Известия ВУЗов Черная металлургия.- 1996.- №1.- С.26-30.

19. Методика определения сопротивления, создаваемого неприводной клетью, при непрерывной сортовой прокатке с использованием неприводных рабочих клетей/ А.П.Лохматов, С.М.Жучков, Л.В.Кулаков // Известия ВУЗов. Черная металлургия.- 1996.- №1.- С.26-30.

использованием доправочных устройств в потоке стана 450./ С.М.Жучков, Л.В.Кулаков, А.П.Лохматов и др. // Черная металлургия. Бюл. АО ин-т "Черметинформация". - 1993.- №8.- С.31-35.

21. Непрерывный мелкосортно - проволочный стан 320/150 Белорусского металлургического завода / Лохматов А.П., Жучков С.М., Токмаков В.А. и др.// Сталь.- 1987.- №7.- С.41-46

22. Освоение технологии прокатки - разделения арматурной стали на непрерывном мелкосортно - проволочном стане 320/150 / А.П.Лохматов, С.М.Жучков, Л.В.Кулаков и др. // Черная металлургия. Бюл. ин-та "Черметинформация".- 1989.- №1.- С.66-68.

23. Технология прокатки арматурной стали с продольным разделением раската в потоке стана на непрерывном мелкосортно-проволочном стане 320/150. / С.М.Жучков, Л.В.Кулаков, Э.В.Сивак и др.// Сб. научн. тр. "Черная металлургия. Наука. Технология. Производство." /Под ред. д-ра техн. наук Узлова И.Г.- М.: Металлургия.- 1989.- С.191-197.

24. Кассета для продольного разделения раската / Сивак Э.В., Жучков С.М., Кулаков Л.В. и др.// Металлург.- 1989.- №12.- С.33

25. Новые технические решения в области производства проката на стане 320/150 Белорусского металлургического завода./ Жучков С.М., Токмаков В.А., Стеблов А.Б. и др.//АО "Черметинформация".- Обзорная информация, Серия Прокатное производство.- М.: 1993.- Вып. 2.- 21 с.

26. Совершенствование технологии сдвоенной прокатки арматурных профилей на стане 320/150./ Жучков С.М., Бондаренко А.Н., Асанов В.Н. и др. // Сталь.- 1994.- №2.- С.54-58.

27. Пути совершенствования технологии сдвоенной прокатки арматурных профилей на стане 320/150 Белорусского металлургического завода / Жучков С.М., Бондаренко А.Н., Асанов В.Н. и др.// "Совершенствование технологических процессов на Белорусском металлургическом заводе". Научно-технический сб.статей. Часть I. Сталеплавильное производство. Прокатное производство.- Жлобин, 1994.- С.71-80.

28. Вводная проводка для прокатки угловой стали / С.М.Жучков, Э.В.Сивак, В.Д.Нашиванько // Металл и литье Украины (МЛУ).- 1995.- №4.- С.13-15

29. Использование вводной роликовой проводки при прокатке угловой стали на стане 320/150 / С.М.Жучков, А.Н.Бондаренко, В.Н.Асанов и др. // Сталь.- 1995.- №6.- С. 45-47.

30. Рациональные конструкции рабочих клетей мелкосортных станов / А.П.Лохматов, В.А.Теряев, Л.В.Кулаков, С.М.Жучков // Сталь.- 1986.- №3.- С.63-67

31. Теряев В.А., Жучков С.М. Измеритель размеров сечения фасонного проката / Металлург.- 1986.- №7.- С.40-41

профилей на стане 320/150 БМЗ / Жучков С.М., Кулаков Л.В., Сивак Э.В. и др. // Черная металлургия. Бюл. ин-та "Черметинформация".- 1989.- №8.- С.58-61

33. Совершенствование калибровок валков и оценка загрузки линий главных приводов на непрерывном мелкосортно-проволочном стане 320/150 БМЗ / Жучков С.М., Подковырин Е.Я., Токмаков А.М. и др.//Ин-т "Черметинформация".- Обзорная информация. Серия Прокатное производство.- М.: 1991.- Вып.3.- 15 с.

34. Жучков С.М., Лохматов А.П. Измерители размеров сечения фланцевого проката / Черная металлургия. Бюл. АО "Черметинформация".- 1994.- №9-10.- С.34-39

35. Жучков С.М., Бондаренко А.Н. Контроль работоспособности роликовых проводок прокатных станов. Сталь.- 1996.- №1.- С. 43-45

Авторские свидетельства СССР.

№1284617, №1704333, №1736647, №1712010, №1784294, №1358163
№1441550, №1718512, №1823247, №1584254, №1649720, №1462579, №1814229,
№1577899, №1814228, №1826225, №697218, №1065047, №1250338, №1523882,
№1519810.

Патенты СССР.

№1703210, № 1671381, №1828611, №1835197.

Патенты Российской Федерации.

№1497851, №1734898, №2013151, №2048939, №2055653, №2036743, по заявке №4936561/27, по заявке №5065942/02,

Патенты Республики Беларусь.

№1183, №138, №440, №437, №953, №774, №827, №1183, №952, №1024.

Патенты Украины.

№9932, №11103, №11106, по заявке №95125144, по заявке №95125146.

АННОТАЦИЯ

Жучков С.М. Разработка новых технологических процессов непрерывной прокатки сортовой стали, основанных на использовании резерва втягивающих сил трения в очагах деформации рабочих клетей.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.03.05 - Процессы и машины обработки давлением, Институт черной металлургии (ИЧМ) Национальной Академии Наук (НАН) Украины, Днепрпетровск, 1997

Защищается диссертационная работа в которой дана совокупность научных представлений об основах силового и энергетического взаимодействия рабочих клетей при реализации процессов, основанных на принципе использования резерва втягивающих сил трения в очагах деформации рабочих клетей, и дано научное обоснование новых технологических процессов непрерывной прокатки сортовой стали, технологических приемов и средств для реализации этих процессов.

непрерывного стана может осуществляться устойчиво при условии неполного исчерпания резерва сил трения в очагах деформации соседних приводных клетей и сохранения прокатываемой полосой способности передавать последними усилий подпора или натяжения до начала межклетевой деформации полосы.

Показано, что при определенных условиях реализации процесса прокатки сортовой стали с использованием неприводных клетей в линии непрерывного стана, появляется возможность экономии энергии при прокатке не только за счет снижения потерь мощности на работу холостого хода и потерь в трансмиссии привода прокатных клетей, но и за счет уменьшения непроизводительных энергозатрат в процессе деформации.

Ключові слова:

безперервний стан, приводні кліті, неприводні кліті, резерв сил тертя, математичне моделювання, нові технологічні процеси.

SUMMARY

Zhuchkov S. Development a new technology processes of continuous rolling of profiled still. It bases on using of reserve pull friction forces in the deformation centres of working deformation dummy.


Thesis on cosearching for scientific degrees of doctor's of technical sciences on speciality 05.03.05.- processes & machines of processing by pressure. Iron & still institute of Nation Scientific Academy, Ukraine, Dnipropetrovsk, 1997.

Defend thesis which kept a complex of scientific conceptions about bases of forces & energy interactin working stand in the presence of realize processes. That processes stays on principle of using reserve pull friction forces in the deformation centres of working stand & takes scientific base of new technology processes continuous rolling mill of profiled still, technology methods & means for realize this processes.

Show that rolling mill with zero moment in specific stand of continuous rolling-mill can realize stably if reserve of friction forces unfull exhaust in the deformatin centres of neighbours rolling stand. Show the preservation of rolling stripe ability to pass efforts support ore tension till begin amongst deformation of stripe.

Show possibility economy of energy in the presence of mill at the expence of wastes down working power of idling & wastes in the transmission driving gear of rolling stand, & show the expense of waste down unmanufacturing power inputs in the deformation process.

Main words: Uninterrupt rolling mill, drive stand, nondrive stand, reserve of friction forces, mathematics modulation, new technology processes.

 493872

№ 38284
АВ 38.284