

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

ФАКУЛЬТЕТ МЕТАЛУРГІЇ

обробки металів тиском

(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

другий магістерський

(рівень вищої освіти)

на тему: «Особливості течії та напруженого стану металу при гарячій прокатці
низьколегованих сталей»

Виконав: студент 2 курсу, групи МЕТ-18-3мд
спеціальності 136 Металургія

(код і назва спеціальності)

освітньої програми обробка металів тиском

(код і назва освітньої програми)

спеціалізації _____

(код і назва спеціалізації)

С. С. Черняк

(ініціали та прізвище)

Керівник доцент, к.т.н., Ю.О. Белоконь

(посада, вчене звання, науковий ступінь, підпис, ініціали та прізвище)

Рецензент доцент, к.т.н., В.М. Проценко

(посада, вчене звання, науковий ступінь, підпис, ініціали та прізвище)

Запоріжжя

2020

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет металургії
Кафедра обробки металів тиском
Рівень вищої освіти другий магістерський
Спеціальність 136 Металургія
(код та назва)
Освітня програма Обробка металів тиском
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ОМТ
« _____ » _____ 2019 року

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Черняку Сергію Сергійовичу
(ПРИЗВИЩЕ, ІМ'Я, ПО БАТЬКОВІ)

1 Тема роботи (проекту): «Особливості течії та напруженого стану металу при гарячій прокатці низьколегованих сталей»

керівник роботи Белоконь Юрій Олександрович, к.т.н., доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від «10» вересня 2019 року № 1540-с

2 Строк подання студентом роботи до 27 грудня 2019 року

3 Вихідні дані до роботи: дослідження гарячої прокатки штаби 3,0x1100 мм на стані НШСГП 1680 ПАТ «Запоріжсталь» із прискоренням в чистовій групі клітей та дослідженням напруження течії металу

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ; 1. Аналіз наукової інформації та стан проблеми; 2. Дослідницько-розрахункова частина; 3. Обробка та обговорення результатів експериментальних досліджень; 4. Охорона праці та техногенна безпека; Загальні висновки; Список використаної літератури; Додатки

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Презентація до 15 слайдів (обов'язкові слайди з метою та задачами дослідження, методикою дослідження, результатами дослідження, охорони праці та висновки

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Белоконь Ю.О., доцент		
2	Белоконь Ю.О., доцент		
3	Белоконь Ю.О., доцент		
4	Белоконь Ю.О., доцент		

7 Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз наукової інформації та стан проблеми		
2	Дослідницько-розрахункова частина		
3	Обробка та обговорення результатів експериментальних досліджень		
4	Охорона праці та техногенна безпека		
5	Вступ, Загальні висновки, Реферат,		
6	Оформлення пояснювальної записки роботи		
7	Підготовки графічного матеріалу		

Студент _____ (підпис) _____ **С. С. Черняк** (ініціали та прізвище)

Керівник роботи _____ (підпис) _____ **Ю. О. Белоконь** (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ (підпис) _____ **О. В. Явтушенко** (ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи: 129 с., 31 рис., 21 табл., 25 джерел.

Мета роботи – дослідження та розробка раціональних режимів деформації з метою вдосконалення технології прокатки штаб на безперервному стані гарячої прокатки 1680 в умовах ПАТ «Запоріжсталь».

Об'єкт роботи – енергосилові параметри, температурні та швидкісні режими виготовлення штаб на НШСГП 1680.

Метод дослідження та апаратура – аналітичний розрахунок та математичне моделювання температурно-швидкісних режимів гарячої прокатки штаб.

Проведено аналіз недоліків діючій технології. Визначено, що в діючому технологічному процесі вичерпані можливості підвищення ефективності процесу гарячої прокатки штаб.

Математично змодульовано залежність основних показників гарячої прокатки штаб від швидкісних та температурних режимів.

Розраховані оптимальні режими тиску і енергосилових параметрів процесу прокату по чотирьом варіантам, збудовано алгоритм розрахунку режиму деформації.

Результати роботи можуть бути використані при гарячій прокатці штаб на стані „1680”. Застосування ефективних технологічних режимів дозволить зменшити потреби електроенергії та збільшити виробіток стану.

ГАРЯЧА ПРОКАТКА, ШТАБА, ЕНЕРГОСИЛОВІ ПАРАМЕТРИ, НАПРУЖЕННЯ ТЕЧІЇ МЕТАЛУ, ЗУСИЛЛЯ ПРОКАТКИ, МОМЕНТ ПРОКАТКИ, ТЕМПЕРАТУРА ШТАБИ, ПРИСКОРЕННЯ

ABSTRACT

Explanatory note to the qualification work: 129 p., 31 fig., 21 tables, 25 sources.

The development object is studying and elaborating rational deformation conditions with the view of the technique improvement of bars rolling on the 1680 hot rolling continuous mill in the Light Sheet Hot Rolling Shop in the environment of the open joint – stock company Metallurgical Works “Zaporizhstal”.

The project objective is to determine optimal energy – power parameters, temperature and speed – conditions of the bars production on the “1680” hot rolling continuous mill.

The research method and equipment is mathematical modeling of the speed – range conditions of bars hot rolling.

The disadvantages of the existing technique are analyzed. The existing process is found to lack preconditions for the increase of the bars hot rolling process efficiency.

The dependence of the bars hot rolling main characteristics on the temperature and speed – range conditions is mathematically modeled.

The optimal pressure conditions and rolling process power – energy parameters for variants are determined; the deformation conditions algorithm is worked out.

The project results may be applied in the bars hot rolling on the “1680” mill. Exploiting efficient technological conditions will enable to reduce electrical energy consumption and increase the mill output.

HOT ROLLING, SHEETS, ENERGY-POWER PARAMETERS, STRESS METAL FLOW, EFFORT ROLLING, ROLLING MOMENT, TEMPERATURE STAFF, ACCELERATION

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1. АНАЛІЗ НАУКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ ТА СТАН ПРОБЛЕМИ	10
1.1. Вплив температурних та швидкісних режимів деформації на параметри гарячої прокатки штаб	10
1.2. Моделі з визначення напруження течії металу при гарячій прокатці ...	23
1.3. Технологічні засоби реалізації процесу гарячої прокатки з температурно - швидкісними режимами в чистовій групі клітей.....	32
1.4. Висновки до розділу 1	45
2. ДОСЛІДНИЦЬКО-РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА.....	46
2.1. Розрахунок напруження течії металу та середнього контактного тиску при гарячій прокатці штаби.....	46
2.2. Визначення витрат електроенергії.....	65
2.3. Висновки до розділу 2	69
3. ОБРОБКА ТА ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	70
3.1. Дослідження технологічних параметрів прокатки із прискоренням в чистовій групі клітей НШСГП 1680.....	70
3.2. Температурні режими прокатки та змотування гарячекатаних штаб....	97
3.3. Висновки до розділу 3	104
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА.....	106
4.1. Аналіз потенційно небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища.....	106
4.2. Розробка мір захисту від впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів	110
4.3. Технічні рішення по виробничій санітарії.....	111
4.4. Електробезпека	113
4.5. Заходи щодо пожежної та техногенної безпеки.....	116

4.6. Висновки до розділу 4	117
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	118
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	120
ДОДАТОК А. Публікації за темою кваліфікаційної роботи	123

ВСТУП

Приблизно 90% всього стопленого металу піддається прокатці, куванню, штампуванню та іншим видам пластичної обробки. Обробка металу тиском це кінцева ланка у металургійному циклі.

Обробка металу тиском (ОМТ) в загальному вигляді уявляє собою процес силового тиску на металеву заготовку у відповідних температурних умовах і надає заготовці належної форми. Поряд з цим суттєвим наслідком раціонально збудованого процесу є позитивна зміна структури та деяких властивостей металу. По фізичній сутності ОМТ є процесом пластичної деформації під яким треба розуміти безповоротні зміни відносно положення частин твердого тіла, які зв'язані з їх переміщеннями без зруйнування тіла.[1]

В останні роки все більшого поширення одержало виготовлення гарячекатаних штаб. Подовжня прокатка являється широко розповсюдженим засобом обробки металу тиском (ОМТ). При подовжній прокатці чиниться процес деформації металу між двома валками, які обертаються у різних напрямках. При цьому зменшується товщина, збільшуються довжина і ширина прокатуємої штаби.

Більше 70% штаб прокатані на безперервних станах гарячої прокатки. Бурхливий розвиток виробництва штаб пояснюється техніко-економічними показниками. В порівнянні з іншими типами агрегатів безперервні стани гарячої прокатки найвигідніші по експлуатаційним витрачальним коефіцієнтам і характеризуються високою продуктивністю і економічністю. Тому частка штабового прокату в деяких країнах в загальному обсязі виробництва складає 60-70 %.[2]

Напівнеперервний стан гарячої прокатки штаб 1680 (НШСГП 1680) ПАТ «Запоріжсталь» призначений для прокатки штаб товщиною 1,5-10,0 мм, шириною 860-1520 мм в рулонах, вагою до 14 т, зі швидкістю в останній

кліті стана до 15 м/с, що забезпечує необхідну температуру кінця прокатки штаби.

Але аналіз недоліків діючої технології показує необхідність дослідження та розробки раціональних режимів для подальшого удосконалення технології виробництва гарячекатаних штаб на НШСГП 1680.

Кваліфікаційна робота виконана з метою визначення оптимальних енергосилових параметрів, температурних та швидкісних режимів виготовлення гарячекатаних штаб на НШСГП 1680 в умовах ПАТ «Запоріжсталь».

1 АНАЛІЗ НАУКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ ТА СТАН ПРОБЛЕМИ

1.1. Вплив температурних та швидкісних режимів деформації на параметри гарячої прокатки штаб

Численними дослідженнями [4] встановлено, що температурний режим прокатки є одним з основних факторів, що визначає структуру, а отже, і механічні властивості гарячекатаних штаб. При цьому найбільше значення мають температура кінця прокатки і температура змотування штаби в рулон. Знання температури прокатки необхідно для встановлення енергосилових параметрів і розрахунків при проектуванні станів.

При гарячій прокатці інтенсивність контактного тертя обумовлена в основному дією температури та хімічного складу металу, стан окалини на його поверхні, стан поверхні валків, оточуючої швидкості валків та типу технологічного мастила.

Одним з найважчих та складних чинників, які сприяють на величину опору металу деформації та на умови тертя, є температура металу. Коливання температури обумовлює подовжню різнотовщинність і коливання товщини в межах партії штаб одного номінального розміру.[5] Пластичні характеристики металу поліпшуються зі збільшенням зерна фериту при дотриманні умови однорідності. Механічні властивості маловуглицевих конструкційних сталей залежать від величини, форми і ступеня однорідності феритного зерна, а також від кількості і розподілу цементиту.

Температурні режими прокатки залежать від температури нагрівання і початкової температури розкату; зниження температури внаслідок контакту металу, що прокатується, з навколишнім середовищем — повітрям, водою, валками і різними деталями стану; підвищення температури в результаті тепла пластичної деформації.

Фактори, що впливають на спад температури штаб в безперервній групі, можна виразити трьома основними параметрами: початкова температура і товщина штаб, швидкість прокатки.

Підвищення температури кінця прокатки розширює можливості стану для освоєння більш тонких штаб з більш високими механічними властивостями, що дозволить отримати вироби з глибокою і досить глибокою витяжкою. Збільшення товщини підкату при постійній товщині готової штаби і швидкості кінця прокатки дозволяє знизити теплові втрати, а отже, приводить до підвищення температури кінця прокатки.[6]

Ефективним шляхом рішення проблеми ресурсозбереження при виробництві гарячекатаних штаб є зниження витрат палива і металу, максимальне використання тепла попереднього переділу на прокатних комплексах слябінг – БПС гарячої прокатки і зниження втрат тепла металом у технологічній лінії стану.

Вплив коливання хімічного складу сталі на механічні властивості штаб, а також на зміни подовжньої товщини можна компенсувати регулюванням в процесі прокатки температури кінця прокатки і температури змотки в рулон.

Багато вчених, таких як: А.А. Динник, С. Екелунд, О.П. Чекмарьов, І.М. Павлов та ост., доказали, що при підвищенні температури прокатки від ~ 800 до 1200 °С (лабораторні іспити) коефіцієнт тертя знижується у 1,3 – 1,35 рази, а коливання товщини готових штаб до 0,2 мм. [7]

Тому в цій роботі метою дослідження є визначення впливу температурно- швидкісних режимів на процес гарячої прокатки штаб.

Вдосконалення температурно-швидкісних режимів деформації є однією з важливих умов, що забезпечує найбільш повне використання виробничих потужностей сучасних агрегатів і поліпшення якості гарячекатаних штаб.

При прокатці на сучасних станах передній кінець штаби прокатується на заправній швидкості, величина якої обмежується стійкістю штаби при переміщенні на відводящому рольгангу і умовами її захоплення моталкою. Заправна швидкість залежить в основному від товщини штаби і не перевищує

10-11 м/с. Після захоплення штаби моталкою швидкість прокатки збільшується для забезпечення сталості температури кінця прокатки і підвищення продуктивності стану. Максимальна швидкість прокатки на сучасних широкоштабових станах досягає 23 - 25 м/с.

Істотне підвищення продуктивності безперервних станів гарячої прокатки може бути повною мірою реалізовано при дотриманні умов одержання на них штаб заданих властивостей і розмірів.

Одним з основних факторів, що впливає на якість гарячекатаної штабової сталі, є температурний режим прокатки. Зокрема структура металу і його фізико-механічні властивості в значній мірі визначаються температурою кінця прокатки. Для одержання регламентованої структури і фізико-механічних властивостей штаби необхідно закінчувати прокатку при температурі, що відповідає області однофазного аустенітного стану металу.

Підвищення температури кінця прокатки на 25 - 30 °С призводить до зменшення розміру зерна фериту на чотири бали, а границю текучості - на 20%. Стабілізація температури кінця прокатки по довжині штаби за рахунок розгону чистової групи клітей привела до практично рівномірного розподілу розмірів зерна фериту по довжині рулону. [8]

Численними дослідженнями рекомендується обмежити діапазон необхідних температур кінця прокатки для маловуглецевих сталей в межах 860-900°С. Експериментально отримані залежності границі текучості від температури кінця прокатки [9] дозволили визначити межі її зміни, в яких матеріал штаби, призначений для глибокої витяжки, має оптимальні фізико-механічні властивості: при температурі кінця прокатки 860°С величині відхилення допустимої межі плинності 13-15 МПа (1,3 - 1,5 кг/мм²), межа зміни температури кінця прокатки складає $\pm (13-16 \text{ C})$ і $\pm (11-14^\circ\text{C})$.

Відомо, що температура кінця прокатки істотно залежить від швидкісного режиму роботи стану [10]. При прокатці на постійній швидкості відбувається спад температури кінця прокатки від переднього до заднього кінця штаби внаслідок визначеного перепаду температур по довжині підкату

на вході в чистову групу клітей. Так, на стані 2000 НЛМЗ величина цього зниження досягає 50 °С, або 0,01 - 0,2 °С/м в перерахуванні на одиницю довжини штаб різної товщини. За даними роботи [11], зниження температури кінця прокатки по довжині штаб складає 20 – 42 °С. На стані 1700 КарМК температура кінця прокатки зменшується по довжині штаби на 20 - 50°С. Більш низький перепад температур по довжині штаб, що прокатуються на стані гарячої прокатки 1680 металургійного комбінату ПАТ «Запоріжсталь», (25 - 27°С), пов'язаний з їх малою довжиною.

При збільшенні швидкості прокатки скорочується час перебування металу в чистовій групі, і, внаслідок цього, зменшуються втрати тепла за рахунок випромінювання і конвенції в міжклітинних проміжках і при контакті з робочими валками. Крім того, збільшення швидкості прокатки сприяє підвищеному тепловиділенню в результаті пластичної формозміни за рахунок росту опору деформації металу, що прокатується [12].

В останні роки високоміцні сталі з високою пластичністю, як правило одержують способом контрольованої прокатки. При прокатці товстих штаб (6 – 15 мм) прагнуть зменшити температуру кінця прокатки (і в останніх проходах), що дозволяє зменшити розміри зерен.

У чистових клітях процес контрольованої прокатки закінчують при 680 – 750 °С, що забезпечує збільшення границь текучості до 500 - 650 МПа. Однак зменшення температури прокатки приводить до збільшення опору деформації, а отже, зусилля і моменту прокатки. Характерно також, що коливання моменту сильніше, якщо захоплення листа відбувається при перемінній швидкості, тобто при прокатці з прискоренням. На рис. 1.1, а показана прокатка з прискоренням; на рис. 1.1, б – захоплення листа з постійною швидкістю.

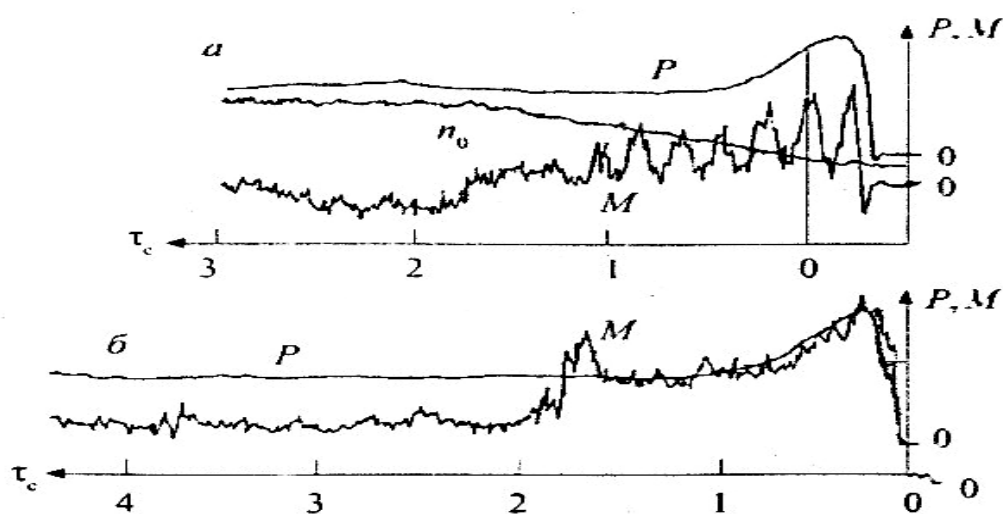


Рисунок 1.1 – Експериментальні криві $P(\tau)$, $M(\tau)$ і $n_0(\tau)$ на початку процесу прокатки: а – при захопленні листа валками з прискоренням; б – при постійній швидкості валків

З цього випливає, що зменшення температури прокатки забезпечує значне збільшення міцності й ударної в'язкості, особливо при низьких температурах, але при цьому зростають навантаження. Це змушує зменшувати обтиснення, якщо кліть або привод не мають достатніх запасів міцності. Для закінчення прокатки при 690 -750 °С і обтисненнях більш 10 %, що забезпечують високі механічні властивості сталі, рекомендується розробка прокатних клітей більшою міцністю. [13]

Зміна температури кінця прокатки внаслідок зміни швидкості складає, для маловуглецевих сталей, що прокатуються на стані „2000”, 3 – 30 °С/(м/с), а для стану „1700” ця величина дорівнює 18 – 19 °С/(м/с).

Прокатка з прискоренням чистової групи клітей приводить до утворення зворотного температурного перепаду, при якому температура кінця прокатки підвищується до хвостової частини штаби.[14] Так, при збільшенні швидкості прокатки на 3,5 м/с при розгоні чистової групи клітей стану „1700”, отриманий зворотний температурний перепад по довжині штаб товщиною 1,5-2,0 мм, досягає 25-30 °С. Підвищення швидкості прокатки на

2,7 м/с, на станах „1700” і „2000”, приводить до росту температури заднього кінця штаби на виході з чистової групи приблизно на 30°C, в порівнянні з прокаткою на постійній швидкості.

Прокатка штаб в чистовій групі клітей з перемінною швидкістю може бути причиною значної нестабільності температури кінця прокатки по довжині штаби, що, в свою чергу, негативно відбивається на якісних показниках. Таким чином, стабілізація температури кінця прокатки і її підтримка на визначеному рівні є однією з основних умов одержання гарячекатаних штаб високої якості.[15]

Світова практика показала, що при нагріванні під гарячу прокатку на поверхні сталі утвориться трудноудаляема окалина, що погіршує якість і властивості готової продукції. Максимальна товщина шаруючи окалини утвориться в сталі з найменшим змістом вуглецю, а мінімальна – у високовуглецевій сталі. Нагрівання сталей при більш високій температурі (> 1000 °C) приводить до утворення більшого шару окалини у високовуглецевій сталі. Це порозумівається тим, що окалина утрудняє проникнення кисню до поверхні сталі і, отже, зменшує нарощування окалини. Тому представляється доцільним проведення науково-дослідних і технологічних робіт, спрямованих на поступове зниження температури гарячої прокатки. Це дозволить не тільки зменшити окислювання сталі при гарячій прокатці, але і впливати на формування мікроструктури і текстури і, отже на рівень властивостей прокату.[16]

Широко застосовувана в автомобілебудуванні сталь, що відрізняється сполученням високої міцності і пластичності, гарної штампуемістю, у тому числі після нанесення гарячих покриттів, містить у малих кількостях вільні атоми впровадження азоту і вуглецю. На рис.1.2 приведений приклад здрібнювання структури зерна в вуглецевих сталях при зниженні температури гарячої прокатки, при цьому коефіцієнт витягнутості зерен росте, т.е. успадковується структура г/к штаби. На рис. 1.3 приведений середній, для всіх шарів сталі, коефіцієнт пластичності. Кращі його значення

відповідають температурі гарячої прокатки 600 і 650 °С з обтисненням 46,7 %. Зі зменшенням температури прокатки міцність сталі збільшується, а пластичність зменшується. Це порозумівається збільшенням кількості дефектів у сталі при зниженні температури прокатки і підтверджується зменшенням розміру зерна і збільшенням його витягнутості уздовж напрямку деформації.

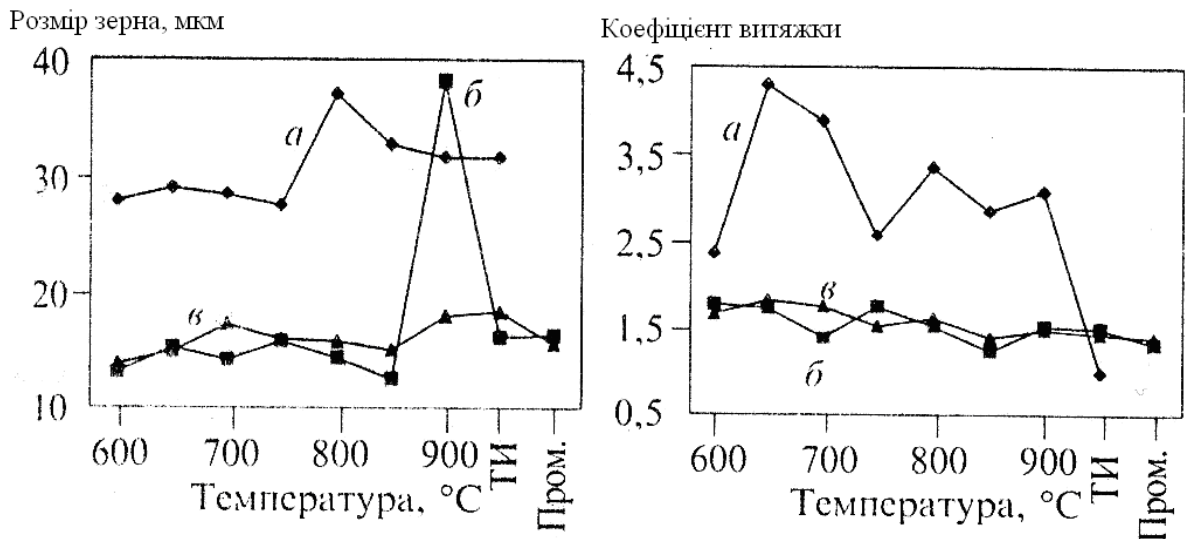


Рисунок 1.2 – Вплив температури прокатки на судній розмір зерна і коефіцієнт витягнутості зерна після гарячої прокатки (а) і кінцевого відпалу сталі (б – поверхня; в – центр готової штаби)

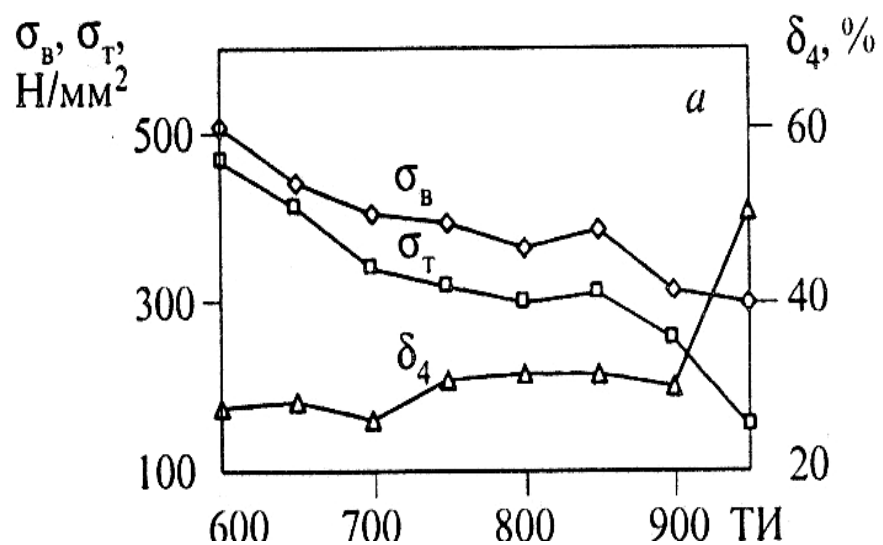


Рисунок 1.3 – Залежність механічних властивостей сталі від температури гарячої прокатки

Перспективність закінчення гарячої прокатки при знижених температурах може дозволити істотно знизити температуру нагрівання сталі під гарячу прокатку, уникнути виникнення на г/к штабах трудноудаляемого шару оксидів і завдяки формуванню структури і текстури з визначеними параметрами поліпшити механічні властивості сталі. [17]

Якість металопродукату визначається великим числом фізико-хімічних і технологічних параметрів, врахувати які не здатна жодна регресійна модель. До того ж, загальним недоліком, що обмежує можливості їхнього широкого застосування в металургії, є тверда прив'язка до конкретних марочних складів сталі і технологічному устаткуванню. Очевидно, тільки використання чисельних моделей, заснованих на закономірностях структуроутворення сталі в процесі металургійного переділу, є найбільш прийнятним способом рішення проблеми керування якістю металопродукції. Багаторічний досвід теоретичних і експериментальних робіт, накопичений на кафедрі металознавства і фізики міцності Московського державного інституту сталі і сплавів (технологічний університет), дозволив створити таку модель здрібнювання структури при багатопрхідній гарячій деформації сталі на сучасних штабових і сортопрокатних станах.

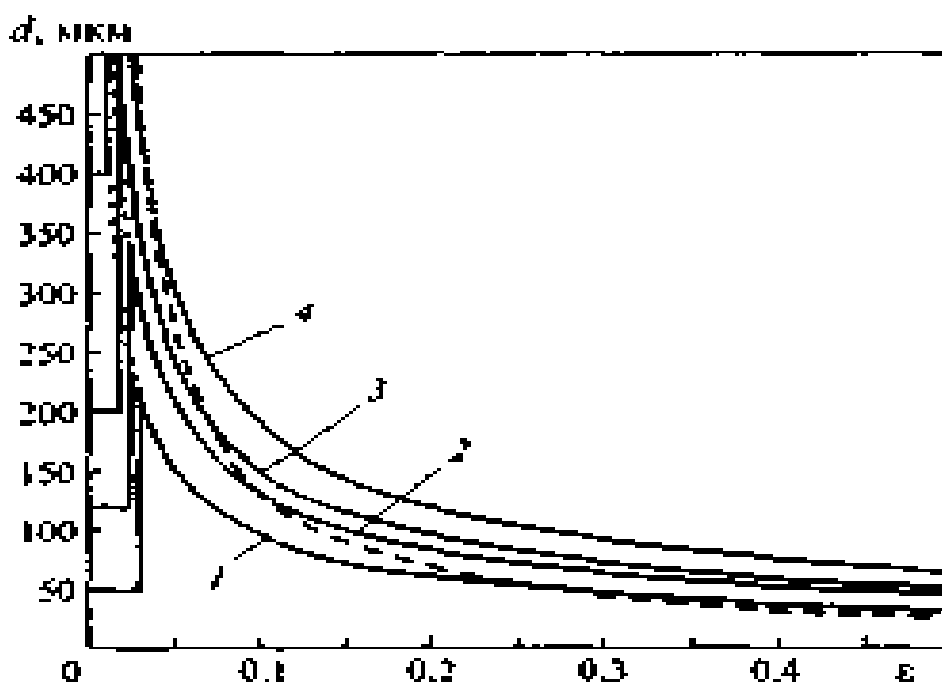
Для усіх без винятку сталей з цілком рекристалізованою структурою була надійно встановлена єдина закономірність – логарифмічно лінійна залежність ступеня здрібнювання зерна аустеніту від ступеня деформації. Апроксимацією експериментальних значень для кожної марки сталі були знайдені коефіцієнти регресії. Ступінь здрібнювання практично не залежить від часу і температури рекристалізації.

Досліджували кінетику рекристалізації аустеніту різних сталей. Структуру зерен аустеніту, сформовану в процесі гарячої прокатки вимірювали методом орієнтованих січних уздовж і поперек напрямку прокатки по 500 – 800 хордам. Це дозволило по його середньому розмірі, однорідності й анізотропії розпізнати структурний стан сталі в кожній фіксованій крапці технологічного простору, виділивши в ньому характерні

області: наклепу, первинної рекристалізації, рекристалізованого стану і росту зерна.

У результаті удалося установити, що параметр $\varepsilon_{кр}$ однозначно залежить від розміру вихідного зерна: він збільшується від 0,07 до 0,17 при зменшенні D_0 від 47 до 160 мкм. Для низько вуглецевих марок сталей було отримано наступне рівняння регресії: $\ln \varepsilon_{кр} = (1,77 \pm 0,39) - (0,9 \pm 0,15) \ln D_0$.

При великому числі проходів ($i > 3$) разів мір рекристалізованого зерна зменшується практично до мінімуму, що не залежить від розміру вихідного зерна аустеніту. У підсумку одержали універсальний закон здрібнювання $k = (D_0 / l)^{2/3} \varepsilon^{2/3}$, де l – чисельний коефіцієнт, що залежить від марки стали, що дозволяє прогнозувати розмір зерна аустеніту при багаторазовій деформації з чергуванням процесу наклепу і рекристалізації (рис. 1.4; 1.5).



1 – $D_0 = 50$ мкм; 2 – $D_0 = 120$ мкм; 3 – $D_0 = 200$ мкм; 4 – $D_0 = 400$ мкм

Рисунок 1.4 – Залежність розміру рекристалізованого зерна d від ступеня деформації ε і величини вихідного зерна D_0 при $l = 9,8$ мкм (штрихова лінія – залежність критичного ступеня деформації від вихідного діаметра зерна)

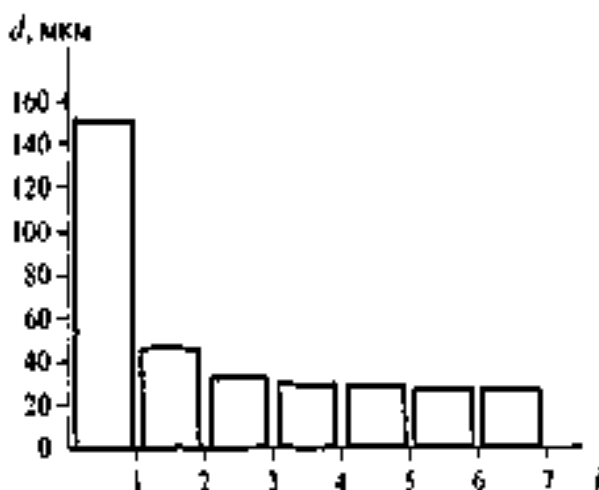


Рисунок 1.5 – Зміна величини зерна аустеніту при багатопрохідній деформації сталі ($D_0 = 150$ мкм, $l = 10,5$ мкм)

З усієї сукупності легуючих елементів, зміст яких у досліджуваних сталях змінювалося в широкому діапазоні, тільки Ti, Al, що утворюють із C и N в інтервалі температур гарячої прокатки 850 – 1150 °C мілко дисперсні частки – нітриди і карбонітриди розміром 0,01 – 0,1 мкм, можуть впливати на здрібнювання і ріст зерна при рекристалізації аустеніту.

При багатопрохідній деформації з чергуванням процесів наклепу і рекристалізації аустеніту результуюче здрібнювання досягає максимуму вже після 3 – 4 проходів. При цьому розмір рекристалізованого зерна зменшується до деякого мінімального значення, що зовсім не залежить від вихідного зерна D_0 , а визначається тільки об'ємною часткою $W = (\lambda/r)^3$ і дисперсністю λ неметалічних включень у сталі при заданому режимі обтиснень. Воно дійсно виявилось багато більше розміру часток: $r \approx 3,3$ мкм і $\lambda \approx 0,1$ мкм.

З цього можна зробити висновок, що розроблена геометрична модель здрібнювання рекристалізованого зерна аустеніту дозволяє прогнозувати параметри зереної структури металопрокату (розмір, однорідність і витягнутість зерна) при будь-якій кратності деформації. Модель призначена для використання в автоматизованих системах керування якістю (структурою

і текстурою, механічними і технологічними властивостями) гарячекатаної сталі з обліком її хімічного складу і закономірностей структуроутворення.[18]

В даний час існує тенденція заміни холоднокатаної продукції тонкою гарячекатаною штабою. Це дозволить істотно знизити собівартість продукції.

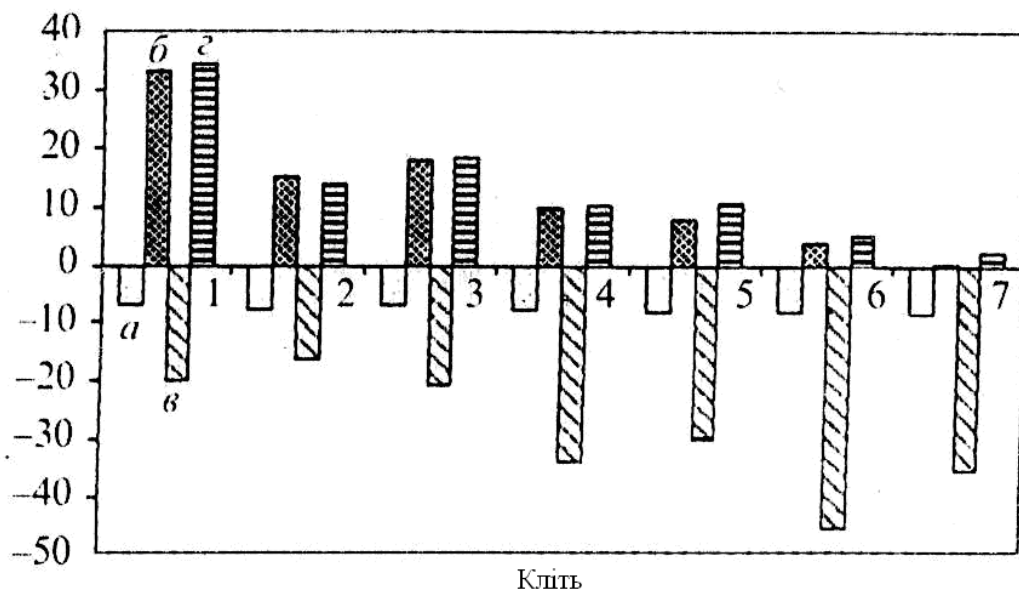
При традиційній гарячій прокатці температура повинна бути вище крапки A_{r3} , при якій аустеніт під час охолодження починає перетворюватися у ферит ($\gamma \rightarrow \alpha$). Це необхідно для досягнення гарних механічних властивостей штаби. Більш того, гаряча прокатка аустенітно - феритних сталей веде до неоднорідності механічних властивостей і коливанням товщини прокату, що зв'язано зі зміною напруги пластичного плину і навантажень при прокатці, а також з регулюванням товщини. При зменшенні кінцевої товщини штаби прокатка цілком в аустенітній області стає усе більш важкою. Це особливо важливо для переднього кінця штаби через обмеження максимальної швидкості на вихідному рольгангу при порулонній прокатці через аеродинамічну нестабільність. Оптимальна температура прокатки штаби і її заднього кінця може бути досягнута шляхом збільшення швидкості в чистових клітках стану.

Тому прокатку сталі у феритній області можна вважати перспективною. Вона полягає в чистовій прокатці штаби, що вже пройшла перетворення $\gamma \rightarrow \alpha$ перед станом і має цілком феритну структуру. Чорнова прокатка виконується в цілком аустенітній області. Потім штаба піддається інтенсивному охолодженню між чорною і чистовою групами для зниження температури смуги нижче крапки A_{r3} перед входом у першу кліть чистової групи. Для такої прокатки найбільше підходить гнучка установка для прокатки тонких слябів, розроблена фірмою «Даниэли Уин Юнайтед», є більш оптимальною.[18, 26]

Метою модернізації листопрокатних станів України є в основному освоєння виробництва тонких і надтонких штаб. Наприклад, у США і країнах ЄС спостерігається ріст споживання тонких гарячекатаних штаб на 6 – 8 % у

рік. Виробництво таких штаб супроводжується збільшенням товщини і температури підкату чистовою групою клітей, підвищенням заправної швидкості і прискорення, зменшенням пауз між штабами. У цих умовах важливо забезпечити високу ефективність систем охолодження робочих валків, особливо якщо вони з легованого і високохромистого чавуна, а також міжклітинного охолодження штаб.

Установлено, що значне тепловиділення в штабі зв'язано з її розігрівом у вогнищі деформації в перших клітях на 15-30 °С и в останніх на 1-4 °С (рис. 1.6). У результаті охолодження штаби на повітрі в міжклітинних проміжках її температура знижується на 7-10 °С. У підсумку при існуючій технології охолодження температура кінця прокатки складає ~ 890 °С. Температура валків у перших клітях більш 100 °С , в останньої – 70 °С. Ще один недолік системи охолодження складається в нестабільності температури валків при зміні параметрів прокатки, наприклад типорозміру штаби. Вона складає від 20 – 40 °С.

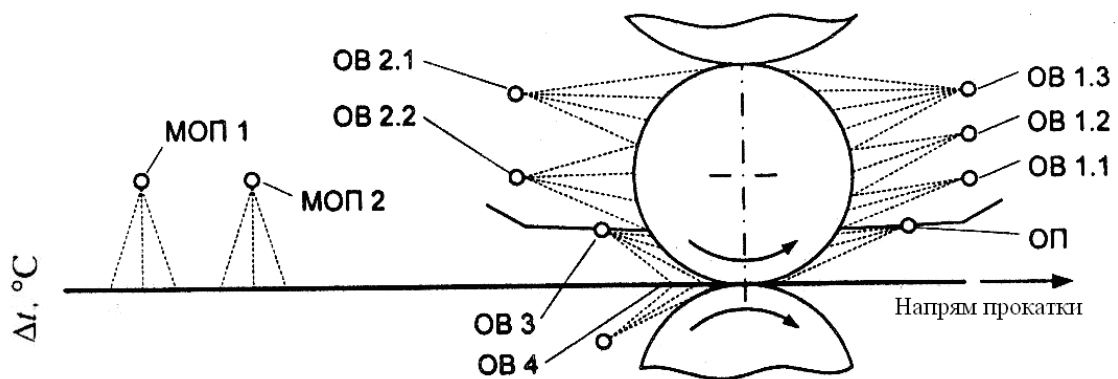


а, в – охолодження в міжклітинних проміжках; *б, г* – нагрівши у вогнищі деформації; *а, б* – існуюча система охолодження валків (на повітрі);
в, г – удосконалена

Рисунок 1.6 – Зміна температури штаби (Δt) у лінії стану

Результати аналізу умов роботи валків і прокатки дозволили рекомендувати: збільшити розміри зони охолодження валка на 25 – 30 % з боку входу і виходу штаби з вогнища деформації; перерозподілити потік води по окружності валка, для чого установити на вихідній стороні три ряди сопел, що створює зони охолодження зі зменшеною до опорного валка щільністю зрошення; наблизити зону охолодження до виходу з вогнища деформації; використовувати підстужування валків і штаби на вході у вогнище деформації; створити в міжклітинних проміжках дві ділянки охолодження штаби. Пропонована схема охолодження валка показана на рис. 1.7.

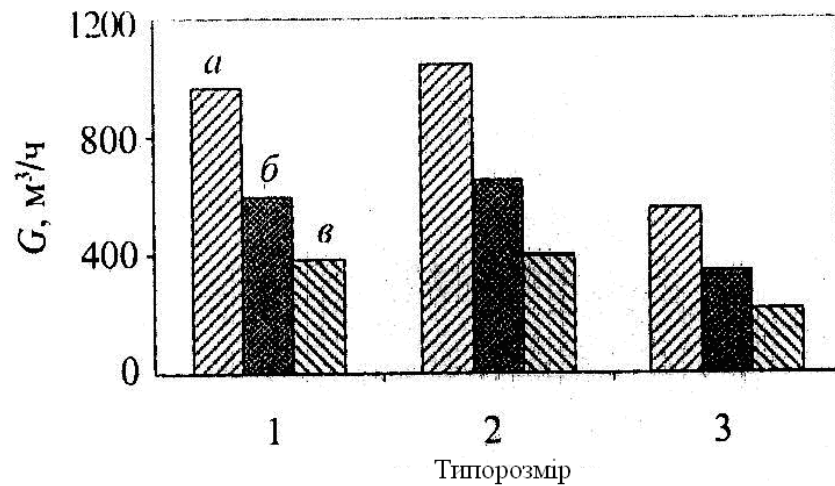
Система міжклітинного охолодження при регулюванні витрати води в діапазоні 0 – 300 м³/год забезпечує зміну температури в кожному проміжку від 0 до 30 °З, що дозволяє більш гнучко керувати температурою кінця прокатки. При зміні типорозміру штаби, що прокочується, передбачається регулювання витрати води на охолодження валків і штаби. На рис. 1.8 показані результати розрахунків витрати води на охолодження валків кліті.



ОП – обезпилювання; ОВ 1.1 - 1.3 – основного охолодження валка на виході з вогнища деформації; ОВ 2.1 - 2.2 – на вході; ОВ 3 – 4 – додаткові охолодження валка і підстужування штаби перед вогнищем деформації;

МОП 1 - 2 – міжклітинного охолодження штаби

Рисунок 1.7 – Схема міжклітинного проміжку і розташування колекторів системи охолодження валків і штаби:



1 – 1,5 x 1040 мм; 3,0 x 1850 мм; 3 – 12,0 x 1600 мм;

а, б, в - витрату сумарний, з боку виходу і входу штаб

Рисунок 1.8 – Зміна витрати води на охолодження валків (G) при зміні типорозміру штаб

У результаті розроблена методика розрахунку параметрів і режимів роботи систем багатозонного регульованого охолодження валків і штаби в чистовій групі клітей. Розроблено заходи щодо модернізації системи охолодження. З цього можна зробити висновок, що удосконалена система дозволяє більш ефективно використовувати охолоджувач, понизити середньомасову температуру валків до 55 – 65 °З, зменшити величину переохолодження його поверхні в 2 рази, а температуру у осередку деформації – на 130 °С, зменшити час охолодження валка на повітрі в 4 рази. Температура кінця прокатки штаб складе ~ 820 °С, сумарна витрата води на охолодження валків і міжклітинне охолодження штаби – менш 6000 м³/ч.[19]

1.2. Моделі з визначення напруження течії металу при гарячій прокатці

Використання експериментальних даних про σ_m представлених у виді графіків або таблиць, для обчислення напруження течії при гарячій прокатці незручно і призводить до зниження точності визначення шуканої величини.

Для зручності використання наявних експериментальних даних про σ_m В.І. Зюзін запропонував метод термомеханічних коефіцієнтів [12]. Суть цього методу полягає в тому, що напруження текучості при гарячій прокатці представляють як добуток σ_0 і трьох незалежних коефіцієнтів. Математично σ_m по даному методу записується у виді:

$$\sigma_m = \sigma_0 k_t k_\varepsilon k_u, \quad (1.1)$$

де σ_0 - базове значення напруження текучості;

k_t, k_ε, k_u - коефіцієнти, що враховують вплив температури, ступеня і швидкості деформації.

Як базовий σ_0 прийнято значення напруження течії матеріалу штаби при $\varepsilon = 0,1$; $u = 10 \text{ c}^{-1}$; $t = 1000^\circ\text{C}$.

Значення термомеханічних коефіцієнтів k_t, k_ε, k_u для кожного металу (сплаву) визначають по графіках. На рис. 1.9 представлені графіки $k_t = f(t)$, $k_\varepsilon = f(\varepsilon)$, $k_u = f(u)$ для сталі 45. Базове значення напруження течії даної сталі складає 86 Н/мм^2 .

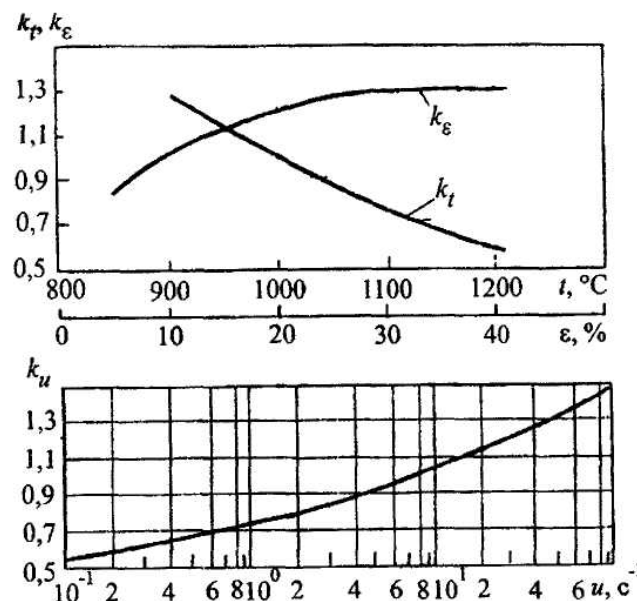


Рисунок 1.9 – Графічні залежності для визначення термомеханічних коефіцієнтів сталі 45 (дані В.І. Зюзіна)

У роботі [12] приведені базові значення напруження текучості σ_0 деяких сталей, а також досліджені В.І. Зюзінім діапазони зміни параметрів ε , t і u , що визначають область застосування моделі.

Застосування моделі (1.1) спрощує і прискорює процедуру визначення напруження течії за наявними експериментальними даними. Проте вона не виключає необхідності використання графічних залежностей для знаходження значень коефіцієнтів k_t, k_ε, k_u .

Аналіз експериментальних залежностей $k_t = f(t)$, $k_\varepsilon = f(\varepsilon)$, $k_u = f(u)$ В. І. Зюзіна, виконаний П. Л. Кліменко [5], показав, що вони з прийнятною для інженерної практики точністю апроксимуються рівняннями:

при $\varepsilon < 0,15$

$$k_\varepsilon = 4,7\sqrt{\varepsilon} - 4,5\varepsilon; \quad (1.2)$$

при $\varepsilon > 0,15$

$$k_\varepsilon = 0,82(1 + \sqrt{\varepsilon}); \quad (1.3)$$

при $u = 1-100 \text{ c}^{-1}$

$$k_u = 0,8 + 0,065\sqrt{u}; \quad (1.4)$$

при $u > 100 \text{ c}^{-1}$

$$k_u = 0,8 + 0,085\sqrt{u}; \quad (1.5)$$

при $t = 900-1200 \text{ }^\circ\text{C}$

$$k_t = 0,60 + 0,0045(1200 - t)\sqrt{\frac{1200 - t}{t}}; \quad (1.6)$$

Сукупність рівнянь (1.1) - (1.6) є математичною моделлю напруження течії при гарячій деформації сталей, досліджених В.І. Зюзінім.

По рівняннях (1.1) - (1.6) може бути підрахована величина напруження течії при гарячій прокатці в будь-якому перерізі або в будь-якій точці осередку деформації, якщо в кожному з них підставити значення параметрів ε , t , u відповідні даному перерізу або даній точці.

В результаті зміцнення і впливу швидкості деформації при прокатці опір деформації металу в осередку швидко зростає. Після виходу штаби з валків напруження течії металу σ_m , прокатаного в гарячому стані, швидко зменшується в результаті знеміцнення. При тривалому процесі релаксації напруження течії зменшується до величини $\sigma_{m\tau}$, тобто до величини практично дорівнюючій межі текучості при даній температурі в умовах статистичних випробувань. Сказане підтверджується приведеним на рис. 1.10 графіком зміни опору деформації σ_ϕ і межі текучості σ_m матеріалу штаб в міжклітьовому проміжку двох суміжних клітей неперервного стану гарячої прокатки. З рис. 1.10 видно, що величина межі текучості на вході у осередок деформації другої кліті залежить від температури штаби і опору деформації на виході з осередку деформації першої кліті, а також від тривалості транспортування (релаксації) металу між клітьми.

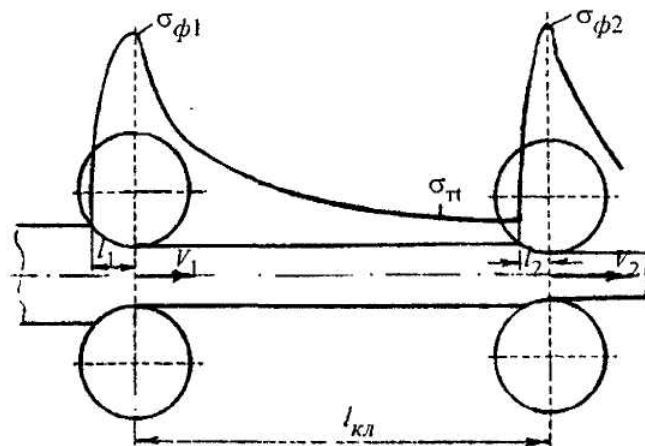


Рисунок 1.10 - Графік зміни опору деформації і напруження течії металу штаби при гарячій прокатці в двох суміжних клітях неперервного стану

Про вплив тривалості релаксації на напруження течії матеріала штаби при гарячій прокатці можна судити по графіку $\sigma_m = f(\tau)$ (рис. 1.11) для сталі Ст.3сп, побудованому за даними О.О. Дінника [8, 9].

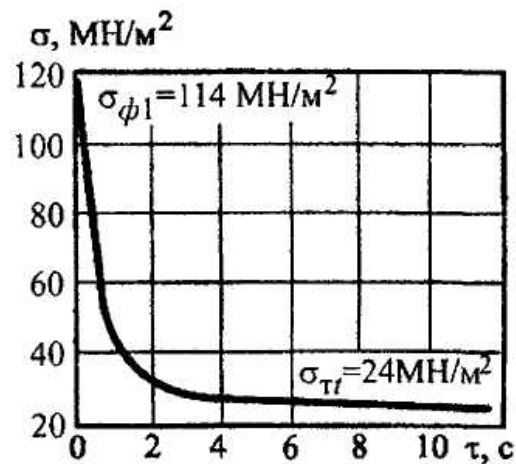


Рисунок 1.11 – Зміна напруження течії сталі Ст.3сп при $t = 1000^\circ\text{C}$ в процесі релаксації: $\sigma_{\phi 1}$ - значення опору деформації на виході з осередку деформації; σ_{mt} - значення напруження течії при $t = 1000^\circ\text{C}$

З цього графіка видно, що найбільш інтенсивне знеміцнення сталі Ст.3сп відбувається в перше 0,5-1,5 с після пластичної деформації, а приблизно через 3-4 с спостерігається практично повне знеміцнення металу. Коли прокатка здійснюється на великій швидкості, тривалість транспортування металу між клітьми обчислюється десятими і сотими долями секунди. У цих випадках метал знеміцнюється не повністю і входить у осередок деформації наступної кліті з вищим напруженням течії, що приводить до збільшення опору деформації матеріалу штаби при прокатці в даній кліті. Відмічена особливість формування σ_m і σ_ϕ матеріалу штаби повинна враховуватися при визначенні опору деформації на високошвидкісних станах.

Для розрахунку середнього значення опору деформації $\sigma_{\phi_{ср}}$ при прокатці необхідно знати середнє значення напруження текучості σ_{mcp} матеріалу штаби в осередку. Значення σ_{mcp} знаходимо методом термомеханічних коефіцієнтів. По аналогії з (1.1) математична модель σ_{mcp} при гарячій прокатці записується у виді:

$$\sigma_{mcp} = \sigma_0 k_{exp} k_{иср} k_{тер} \quad (1.7)$$

$k_{\text{зр}}, k_{\text{иср}}, k_{\text{иср}}$ - коефіцієнти, що враховують вплив середнього ступеня, швидкості і температури деформації при гарячій прокатці на напруження текучості.

Середнє значення відносного обтиску по довжині осередку деформації може бути визначене з умови:

$$\varepsilon_{\text{ср}} = \frac{1}{l} \int_0^l \frac{h_0 - h_x}{h_0} dx, \quad (1.8)$$

$$h_x = h_1 + \frac{\Delta h}{l^2} x^2. \quad (1.9)$$

Після сумісного рішення (1.8) і (1.9) отримуємо:

$$\varepsilon_{\text{ср}} = \frac{\Delta h}{lh_0} \int_0^l \left(1 - \frac{x^2}{l^2}\right) dx = \frac{2}{3} \frac{\Delta h}{h_0} = \frac{2}{3} \varepsilon. \quad (1.10)$$

Середня температура штаби в осередку деформації дорівнює:

$$t_{\text{ср}} = \frac{1}{3} (t_{0n} + 2t_{1n}), \quad (1.11)$$

де t_{0n}, t_{1n} - температура штаби на вході і виході з осередку деформації.

Для знаходження значень коефіцієнтів $k_{\text{зр}}, k_{\text{иср}}, k_{\text{иср}}$ застосовують рівняння (1.2) - (1.6), підставляючи в них замість ε, u і t відповідно $k_{\text{зр}}, k_{\text{иср}}$ і $k_{\text{иср}}$. Далі, знаючи $k_{\text{зр}}, k_{\text{иср}}, k_{\text{иср}}$ і σ_0 по моделі (1.7), обчислюємо значення $\sigma_{\text{ср}}$.

Відомі також інші, компактніші моделі σ_m . До них належать моделі:

В.І. Зюзіна [12]:

$$\sigma_p = \sigma_0 \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot \varepsilon^{m_1} \cdot u^{m_2} \cdot \exp(m_3 T) \quad (1.12)$$

де $A_1, A_2, A_3, m_1, m_2, m_3$ - постійні коефіцієнти, які визначаються індивідуально для кожної сталі;

Е. Зібеля і А. Помпа [2]:

$$\sigma = \sigma_0 + b \cdot u^m \quad (1.13)$$

де σ_0 – границя текучості при статичній деформації, кг/мм²;
 b і m – постійні коефіцієнти, які залежать від природи матеріалу.

А.Надаі [13]:

$$\sigma = \sigma_0 + m \cdot \ln \frac{u}{u_0} \quad (1.14)$$

де m – постійний коефіцієнт, який залежить від матеріалу.

О.І. Целікова і В.А. Персіянцева [2]:

$$\sigma = \sigma_0 + D \frac{A}{u} \left(1 - e^{-\frac{A \cdot \varepsilon}{u}} \right), \quad (1.15)$$

де D – модуль зміцнення, кг/мм²;

A – коефіцієнт пропорційності, що представляє собою швидкість релаксації, с⁻¹;

σ_0 – границя текучості при статичній деформації, кг/мм²;

u – середня швидкість деформації, с⁻¹.

Л.В. Андреюка, Г.Г. Тюленева [17]:

$$\sigma = s \sigma_0 \cdot (10\varepsilon)^a u^b \left(\frac{t}{1000} \right)^{-c}, \quad (1.16)$$

де σ_0 - базове значення напруження текучості матеріалу штаби, відповідне $\varepsilon = 0,1$; $u = 1 \text{ с}^{-1}$; $t = 1000^\circ\text{C}$; s, a, b, c - постійні коефіцієнти, визначені індивідуально для кожної сталі.

Моделі типу (1.12)-(1.15) були запропоновані тільки для восьми, переважно складно легованих сталей. У зв'язку з цим, вони мають локальну практичну цінність.

Практичний інтерес представляють моделі Л.В. Андреюка – Г.Г. Тюленєва (1.16). Такі моделі були розроблені для 66 марок вуглецевих і легованих сталей, зокрема сталей спеціального призначення. Модель (1.16) працездатна в діапазоні температур 800-1300°C.

Діапазон дії залежності (1.16) становить: $t = 800-1300^\circ\text{C}$, $\varepsilon = 5-55\%$, $u = 0,01-150 \text{ с}^{-1}$, експериментальні дані отримані для широкого діапазону марок сталей і сплавів. За даними авторів формули (1.16), можлива помилка визначення значення напруження течії металу з використанням цієї формули складає 4%. Враховуючи це, при розробці вдосконаленої моделі процесу гарячої прокатки в основу визначення напруження течії металу може бути взята формула Л.В. Андреюк - Г.Г. Тюленєва. Істотний недолік моделі Л.В. Андреюк - Г.Г. Тюленєва полягає в тому, що при випробуваннях більшості марок сталей хімічний склад і відсоток вмісту легуючих елементів були регламентовані стандартами 60х - 80х років ХХ століття (ГОСТ 380-60, ГОСТ 1050-88) по верхній межі. В умовах сучасного виробництва, з метою економії, вітчизняні металурги прагнуть мінімізувати процентний вміст легуючих елементів, крім цього відсутні довідкові дані для зарубіжних стандартів (EN10025-93, EN 10130-98, ASTM A366/A366M-91). Таким чином, уточнення значення напруження течії сталей в процесі гарячої прокатки, з урахуванням фактичного їх хімічного складу - ще один резерв підвищення точності енергосилового розрахунку широкоштабових станів.

Для визначення напруження течії металу при гарячій прокатці використовують формулу В.О. Ніколаєва [3, 4]:

$$\sigma_T = \sigma_{T_0} \cdot k_t \cdot k_\varepsilon \cdot k_u, \quad (1.7)$$

де σ_{T_0} – базове напруження течії, визначене при фіксованих (базових) значеннях температури (t), відносного обтиснення (ε) і швидкості деформації (u):

$$\varepsilon = \Delta h / H; \quad u = v \cdot \varepsilon / l_d,$$

k_t, k_ε, k_u – коефіцієнти, що враховують вплив температури, відносного обтиску та швидкість деформації.

Математична модель розрахунку базового напруження течії для різних марок сталей має вигляд:

для $N_1 \leq 5$ (вуглецеві, конструкційні, інструментальні, низьколеговані сталі)

$$\sigma_{T_0} = 80 + 25 \cdot \left\{ 1 - \left[\frac{5 - N_1}{4,5} \right]^{1,8} \right\}; \quad (1.8)$$

для $N_2 > 5$ (леговані, висококолеговані сталі)

$$\sigma_{T_0} = 110 + 38 \cdot \left(\frac{N_2 - 2}{32} \right)^{0,25 \times N_2} \quad (1.9)$$

де N_1 і N_2 – сума хімічних елементів у цій сталі, % (крім заліза, сірки і фосфору).

Формула поправочного коефіцієнту k_t в залежності від температури має вид:

$$k_t = 1,66 - 1,1 \cdot \left(\frac{t}{400} - 2 \right)^{0,7}, \quad (1.20)$$

де t – температура металу, $^{\circ}\text{C}$.

В роботі [20] на базі теорії планованого експерименту виконаний науково-обґрунтований аналіз точності відомих методів розрахунку напруження течії металу. Авторами розробка комп'ютерної програми, яка дозволила виконати оцінку точності методів Ніколаєва В.О. і Андреюка Л.В.-Тюленєва Г.Г. для 27 конструкційних, інструментальних і нержавіючих сталей, експериментальна інформація для яких надана в роботі [11]. Середня відносна похибка за методом Ніколаєва В.О. дорівнює 14,5%, за методом Андреюка Л.В. – Тюленєва Г.Г. - 21,2%.

1.3. Технологічні засоби реалізації процесу гарячої прокатки з температурно - швидкісними режимами в чистовій групі клітей

На сучасних безперервних станах гарячої прокатки, що працюють із прискоренням в чистовій групі, середня швидкість прокатки залежить від величини заправної швидкості, режиму і темпу прискорення роботи клітей після заправлення штаби в моталку і максимальної швидкості прокатки. Для максимального використання можливостей технологічного устаткування стану за умов одержання необхідних якісних показників штаб, що прокатуються необхідна оптимізація температурно-швидкісних режимів прокатки. Рівень середньої швидкості прокатки в чистовій групі клітей багато в чому визначає продуктивність стану.

Необхідна температура кінця прокатки головної частини штаби забезпечується обиранням визначеної величини заправної швидкості, що залежить від товщини штаби, температури переднього кінця підкату перед чистовою групою клітей, заданої температури кінця прокатки штаби та ін.

Коли штабу заправили в моталку, то починається прискорення чистової

групи клітей. При цьому відбувається підвищення температури кінця прокатки частини штаби, що прокатується з більшою швидкістю. Величина прискорення стану, при якому забезпечується стабілізація температури кінця прокатки по всій довжині штаби, при згладжуючому прискоренні, досить мале і складає $0,005 - 0,08 \text{ м/с}^2$ в залежності від товщини штаби.

Характерна особливість швидкісних режимів при прокатці штаб (товщиною 6-12 мм) полягає в тому, що вони звичайно прокатуються на постійній швидкості. При прокатці штаб зі швидкістю 7 - 8 м/с температура кінця прокатки складає $950-980 \text{ }^\circ\text{C}$ і вище, що затрудняє ефективному охолодженню штаб перед змоткою, сприяє підвищеному окаліновиникненню й одержанню незадовільних якісних показників металу. Таким чином виходить, що прокатку товстих штаб треба вести на швидкості 3 - 5 м/с і нижче, тим самим знижуючи температуру кінця прокатки до $890-900^\circ\text{C}$.

Досвід розробки швидкісного режиму прокатки тонких штаб [15], (товщиною 1,2 - 6 мм), відповідно до якого прискорення чистової групи клітей виробляється в два етапи: на першому етапі (після захоплення переднього кінця штаби моталкою), здійснюється інтенсивний розгін стану з прискоренням до $1,0 \text{ м/с}^2$ і тривалістю 3 - 4 с; на другому етапі прокатка ведеться зі згладжуючим прискоренням, що забезпечує необхідний рівень температури кінця прокатки. При цьому забезпечуються необхідні фізико-механічні властивості на 70 – 80 % довжини штаби.

Безперервні стани гарячої прокатки проектується для роботи з прискоренням до $1,0 \text{ м/с}^2$ і вище та розраховані на максимальну швидкість прокатки до 30 - 40 м/с. Скорочення машинного часу прокатки в чистовій групі і підвищення при цьому продуктивності стану за рахунок прокатки з підвищеними прискореннями може досягти (в залежності від конкретних умов) 10 – 30 % і більше. Дивлячись на відзначене вище, прокатка з інтенсивними прискореннями пов'язана з виникненням значної нерівномірності розподілу температури кінця прокатки по довжині штаби.

На даний час, крім прокатки з прискоренням, відомо кілька способів

впливу на температуру кінця прокатки по довжині штаби, серед яких необхідно відзначити наступні:

- 1) диференційований по довжині нагрів слябів в методичних печах;
- 2) екранування підкату на проміжному рольгангу;
- 3) підігрів металу на проміжному рольгангу;
- 4) керування роботою гідрозбиву окалини перед чистовою групою клітей;
- 5) прокатка в чистовій групі клиноподібного підкату;
- 6) перерозподіл обтиснень по довжині штаби в клітях чистової групи;
- 7) регульована подача у осередок деформації клітей чистової групи технологічного змащення з низьким коефіцієнтом теплопровідності;
- 8) примусове охолодження штаби водою в міжклітинних проміжках чистової групи.

Аналіз техніко-експлуатаційних характеристик перерахованих способів регулювання температури кінця прокатки показав, що найбільш ефективним засобом, що забезпечує усунення протиріччя між необхідністю стабілізації температури кінця прокатки по довжині штаби і підвищенням швидкості і продуктивності безперервного стану гарячої прокатки, є примусове охолодження штаби в період прокатки з прискоренням в між клітьових проміжках чистової групи.[21]

Розглянуті матеріали показують, що у функції систем управління температурно-швидкісним режимом прокатки в клітях чистової групи сучасних безперервних станах гарячої прокатки повинно входити забезпечення необхідного рівня температури кінця прокатки переднього кінця штаби і підтримка цієї температури по всій довжині штаби.

Для рішення цих задач на сучасних станах гарячої прокатки використовуються системи трьох типів:

1. Шляхом розгону чистової групи стану зі згладжуючими прискореннями.
2. Шляхом короткочасного інтенсивного розгону чистової групи і

подальшої прокатки зі згладжуючим прискоренням.

3. Шляхом інтенсивного розгону чистової групи і примусового охолодження штаби водою в між клітьових проміжках.[22]

Регулювання температурного режиму прокатки засновані на керуванні температурою підкату, зміною теплових втрат на проміжному рольгангу, тепловими втратами в клітях і між клітьових проміжках безперервної групи, зміною режиму деформації й умов теплообміну.

На температуру кінця прокатки штаб в чистовій групі клітей головним чином впливає температура і товщина підкату, що надходить з чорнової групи клітей, часом його перебування на проміжному рольгангу, сумарним коефіцієнтом витяжки в чистовій групі, швидкістю прокатки, режимом роботи гідрозбиву окалини й установок між клітьового душуювання.

Найбільш ефективні способи, з енергетичної точки зору, що запобігають тепловим втратам розкату під час його транспортування і прокатки слід відзначити такі способи, що передбачають регулювання теплових втрат підкату зміною температури навколишнього середовища шляхом установки теплових екранів або відбивачами.

Екрани встановлюють в верхній і нижній стороні проміжного рольганга, постачають механізмами для поперечного переміщення, вони можуть бути армовані жароміцними, наприклад, керамічними листами або листами з нержавіючої сталі, що розігріваються за рахунок теплообміну з екрануючим металом і зберігають тепло на протязі тривалого часу, або відбивачами, виконаними з матеріалу з низьким ступенем чорності.

Температура відбивача теплового екрана до моменту підходу хвостової ділянки штаби може досягати 850°C і майже в два рази знижувати теплові втрати штаби, що еквівалентно підвищенню температури кінця прокатки штаб товщиною 2-3 мм на $10-20^{\circ}\text{C}$.

З досліджень [23] видно, що розрахунковий максимальний ефект екранування складає 28°C при висоті екранів 1м, товщині алюмінієвих відбивачів 0,5 мм і ступеня чорності 0,21. Зменшення ступеня чорності до

0,09 істотно не змінює температуру розкату, але знижує температуру екранів більш ніж у два рази (до 150°C). Приведені розрахункові значення близькі до експериментальних результатів, отриманих на стані 1700 КарМК, де були встановлені екрани, що відбивають, з алюмінієвого сплаву товщиною 0,8 мм, загальною довжиною 45 м на відстані 850 мм від штаби. Відзначено зменшення температурного клина по довжині штаби на 27°C перед чистовою групою і на 17°C за чистовою групою стану (підкат 35 мм).

Ефективність іншого способу зниження теплових втрат на проміжному рольгангу, що полягає в застосуванні перемотувальних пристроїв, показана на рис. 1.12, де надані результати моделювання зміни температури по довжині підкату в процесі його змотки зі швидкістю 5,55 м/с і витримки в рулоні протягом 60 с. Температура початку змотки 1050°C .

Рулон діаметром 1 м із зазором між витками 10 мм. Середня (основна) частина підкату прохолоджується незначно - на 10°C для підкату товщиною 50 мм і 30°C для підкату товщиною 16 мм. При цьому спостерігається істотне зниження температури переднього і заднього кінця підкату (рис. 1.12). Отже, застосування перемотувальних пристроїв зажадає додаткових витрат енергії на забезпечення необхідної температури кінцевих ділянок підкату.

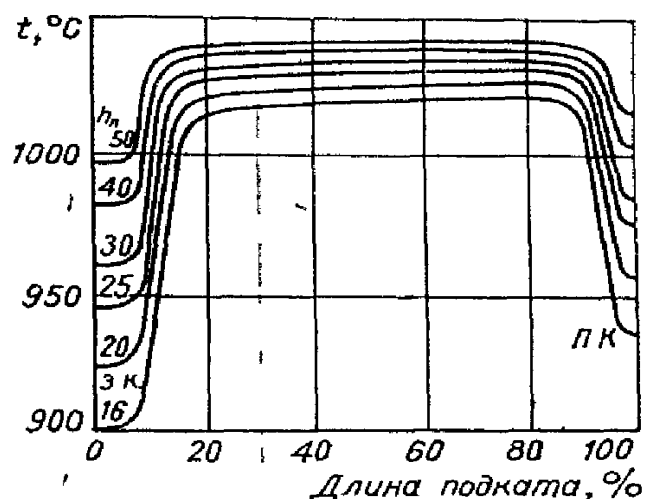


Рисунок 1.12 – Залежність температури початку прокатки (момент розмотування) у чистовій групі клітей від товщини підкату, що змотується в проміжний рулон.

Існують ще способи регулювання засновані на зміні товщини підкату. Змінюючи товщину підкату по довжині розкату, можна одержувати потрібний розподіл температури по довжині штаби на виході з останньої чистової кліті. Для цієї мети в чорнових клітках одержують підкат з товщиною, що рівномірно збільшується від переднього до заднього кінця. Одержуваний клин ліквідується в чистовій групі, що забезпечує рівномірний розподіл температури по довжині штаби при одночасному 2-3-кратному зниженні подовжньої різнотовщинності. Ефективність способу підтверджена експериментальними дослідженнями на стані 2500 ММК.

Ефект стабілізації температури спостерігається у всіх варіантах клиновидності ΔH_n , максимальне зниження температурного клина з 32 до 14 °С спостерігалось при клиновидності підкату $\Delta H_n = 3,7$ мм. Порівняння контрольних і експериментальних профілограм підтвердило позитивний вплив способу на формування подовжньої товщини готових штаб.

Комбінація цього способу з екрануванням розкату на проміжному рольгангу дозволяє підвищити температуру хвостових ділянок і уникнути підвищенню витрат енергії, що спостерігається при прокатці стовщених хвостових кінців при загальному зниженні енерговитрат на регулювання.

Підвищення температури головних і зниження зусилля прокатки хвостових ділянок штаб забезпечують одержанням клиноподібного підкату з товщиною, що збільшується, до переднього кінця і зміною обтиснень в безперервній групі.

Температура кінця прокатки головної ділянки штаб підвищилася до 790°С проти 760°С за існуючою технологією при істотній стабілізації зусилля прокатки. Стабілізація температури кінця прокатки по довжині штаби забезпечена підвищенням прискорення з 0,022 до 0,06 м/с².

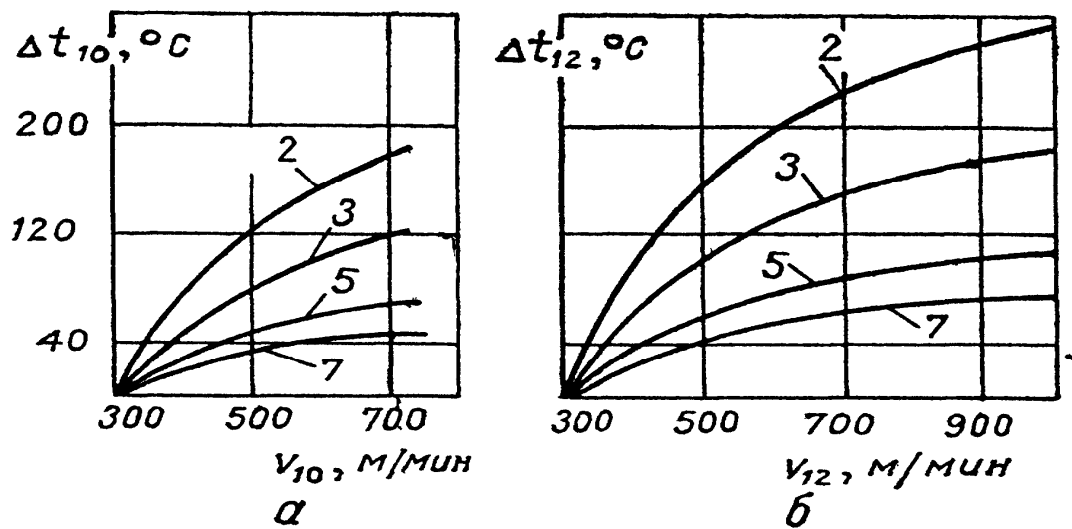
Регулювання температури прокатки зміною швидкісного режиму технологічно і широко поширено. Зміною швидкості прокатки регулюють як загальний рівень температури штаб, що прокатуються, так і розподіл

температури по їхній довжині, причому діапазон регулювання може перевищувати 100°C.

На рис. 1.13 приведені криві, які характеризують температурно-швидкісний ефект прокатки в шести - і семиклітьових безперервних групах і статистичні залежності, що відбивають, отримані в результаті досліджень станів 1700 ЖМЗ ім. Ілліча і 2000 НЛМЗ. Як видно з рисунку, ефективність регулювання температури швидкістю збільшується при зниженні загального рівня швидкості, зменшенні товщини готової штаби і збільшенні числа клітей у безперервній групі, тобто температурно-швидкісний ефект більше для умов прокатки, що відрізняються великими тепловими втратами.

Таким чином, треба відзначити, що при прокатці в безперервній групі клітей чиниться зменшення температурного клину на 45-70 %, який пов'язаний з інтенсивнішими тепловтратами переднього кінця штаби, а також зменшенням цих тепловтрат і підвищенням припливу темпу деформації при прокатці заднього кінця (так би мовити самовирівнювання температури).

Найбільш ефективнішим засобом регулювання температури в сторону збільшення є зміна швидкісного режиму. При збільшенні швидкості прокатки зменшується час охолодження штаб і збільшується прихід тепла внаслідок збільшення швидкості деформації. Треба відмітити, що при прокатці в безперервній групі відбувається зменшення температурного клину на 45 – 70%, яке пов'язане з найбільш інтенсивними тепловтратами переднього кінця штаби, а також зменшенням цих теплових втрат і збільшенням приливу деформації при прокатці заднього кінця (так зване самовирівнювання температури). Внаслідок цього була освоєна прокатка з прискоренням безперервної групи, яка забезпечує повну ліквідацію температурного клину. На рис. 1.14 показана залежність величини різнотовщинності штаби і перепаду температури на виході із стану від величини прискорення.



а - стан 1700 ЖМЗ ім. Ілліча; б - стан 2000 НЛМЗ (цифри біля кривих - товщина готової штаби, мм).

Рисунок 1.13 – Вплив зміни швидкості прокатки на зміну температури штаб різної товщини (остання кліть безперервної групи)

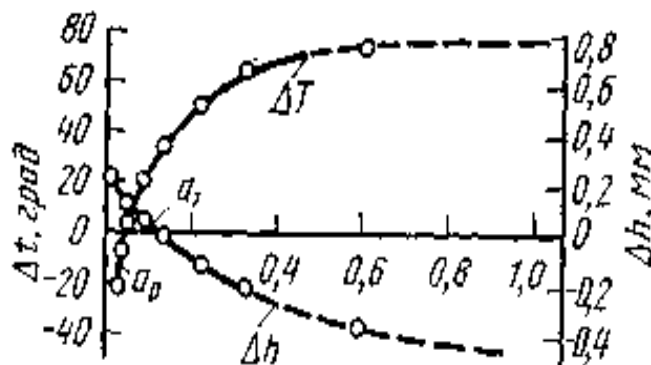
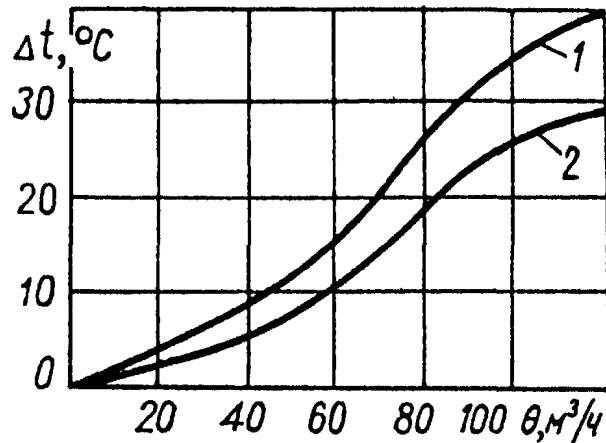


Рисунок 1.14 – Зміна різновтовщинності Δh і перепаду температур ΔT для штаби 2,5x1050 мм в кінці прокатки в залежності від темпу розгону стану.

Регулювання температури прокатки здійснюється зміною витрат води на гідрозбиві окалини, установленому перед першою кліттю безперервної групи стану. Параметри гідрозмиву: число колекторів - 2 (для подачі води на верхню і нижню поверхні штаби), число сопел в одному колекторі - 13, крок сопел - 130 мм.

Вплив витрат води на температуру кінця прокатки штаб показано на рис. 1.15 з якого випливає, що діапазон можливого регулювання температури кінця прокатки штаб товщиною 4 - 5 мм відповідно складає 40 і 30 °С при загальній витраті води 90-120 м³/г. Отримані дані вказують на нелінійну залежність охолоджуючого впливу гідрозбиву від витрат води.



1 – 3,2 мм; 2 – 5 мм

Рисунок 1.15 – Вплив примусового охолодження підкату перед безперервною групою клітей на зміну температури кінця прокатки штаб товщиною

Максимальна інтенсивність охолоджуючого впливу спостерігається при зміні витрат води з 60 до 90 м³/ч. Подальше підвищення витрат води, особливо при прокатці товстих смуг, несуттєво впливає на їхню температуру.

Як правило, чистові групи сучасних БСГП оснащені чотирьох колекторними гідрозбивачами з загальною витратою води до 200 м³/ч. Отже, завдання полягає в тім, щоб весь обсяг води, подаваної на штабу для видалення окалини, використовувати для зниження температури прокатки товстих штаб. Ця задача може бути вирішена поділом загального потоку води, подаваного гідрозбивачем, що збільшує її охолодний вплив за рахунок збільшення площі поверхні підкату, що контактує з водою гідрозбивача, а отже, і часу контакту штаби з охолодною водою.

Відомо, що в розглянутих умовах охолодний вплив прямо пропорційний часу контакту штаби з охолоджувачем. Це забезпечується

установкою в проміжку між ножицями і чистовим окалиноломачем двох колекторів для гідрозбиву окалини з верхньої і нижньої поверхні штаби. В цьому випадку при прокатці тонких штаб, коли немає необхідності в зниженні температури, працюють інші колекторні пари. При прокатці товстих штаб з великими тепловими втратами працюють інші колекторні пари. Запропонована зміна схеми розташування і включення колекторів гідрозбивача дозволить знизити температуру кінця прокатки товстих штаб на 15—30 °С без зміни загальних витрат води й умов прокатки в чорнових клітках стану.

Розглянута схема гідрозбивача окалини забезпечує тверде регулювання температури кінця прокатки. Якщо можна збільшити загальні витрати води на 100 м³/год і створити локальну систему автоматичного керування роботою гідрозбиву, то додаткову пару колекторів перед чистовим окалиноломачем доцільно використовувати для гнучкого регулювання температури прокатки в межах партії штаб. Тоді витрати води для необхідного керуючого впливу розраховується по рівняннях, отриманих експериментально-розрахунковим методом, заснованим на рішенні диференційного рівняння теплопровідності з використанням експериментальних даних про вплив витрат води і часу контакту штаби з охолодженою водою на спад температури в зоні дії гідрозбивачів.

Ще регулювання температури можливо здійснювати, регулюючи кількість активних клітей, при тих же геометричних параметрах профілю, що прокатується. Тому використання запропонованого способу прокатки забезпечує стабілізацію температури кінця прокатки в діапазоні 850—880°С, практично, по всій довжині готової штаби.

Ці розглянуті способи забезпечують більш сприятливі силові умови прокатки по довжині штаби, тому що збільшення числа активних клітей при заданому сумарному обтисненні викликає перерозподіл (вбік зменшення) обтиснення по клітям чистової групи, тому більш холодні хвостові ділянки

штаб прокатується з меншими обтисненнями, що забезпечує стабілізацію зусилля прокатки по довжині готової штаби.[24]

В чистовій групі клітей швидкості прокатки повинні забезпечити максимально можливу продуктивність стану і максимальну температуру кінця прокатки. Продуктивність стану визначається пропускною спроможністю окремих ділянок цеху - нагрівальних печей, чорнової і чистової груп, обробних пристроїв (моталок, ножиць), а також розмірами слябів і обжиманнями в клітях. На сучасних безперервних листових станах гарячої прокатки швидкість прокатки в останній кліті чистової групи досягає 27 м/сек.

Регулювання чисел оборотів двигунів робочих клітей чистової групи може здійснюватися в широких межах, що дає можливість вибирати швидкість прокатки відповідно до технологічних вимог. Для регулювання величини секундних об'ємів металу по клітях з метою усунення надмірно великих петель або натягнення між клітями швидкість прокатки в кожній кліті чистової групи повинна бути проміжною між мінімально і максимально можливою швидкістю даної кліті. Досвід роботи безперервних листових станів гарячої прокатки показав, що робочі швидкості в інтервалі $v_p = 1,08v_{\min} \div 0,92v_{\max}$ цілком забезпечують регулювання секундних об'ємів металу по клітях.

Як правило, вузьким місцем безперервних листових станів є нагрівальні печі. Чорнова група може лімітувати продуктивність стану при прокатці окремих розмірів слябів з розширенням. В тих випадках, коли ритм прокатки в стані визначає не чистова група клітей, а інша ділянка цеху, наприклад нагрівальні печі, швидкість прокатки в останній кліті чистової групи вибирають з урахуванням продуктивності ділянки нагрівальних печей.

Якщо нагрівальні печі не лімітують продуктивність чистової групи стану, то швидкість прокатки практично мало залежить при зміні ширини прокатаних штаб. При прокатці штаб однакової ширини із слябів однакового

розважування товщі штаби коротші тонких; оскільки нагрівальні печі працюють з граничною продуктивністю при нагріві тонких штаб, то швидкість прокатки в останній кліті при прокатці товстих штаб повинна бути вибрана меншою в порівнянні з прокаткою тонких. З рис. 1.16 видно, що для товщини до 5 мм швидкість прокатки зменшується пропорційно збільшенню кінцевої товщини штаби.

Швидкість прокатки в клітках чистової групи НШСГП 1680 при прокатці штаб із сталі 08кп показано на рис. 1.17. [13] При зміні ширини штаби з 750 до 1500 мм швидкість прокатки в 10-й кліті зменшують приблизно на 35 м/хв, що складає близько 10%. Практично можна вважати, що швидкість прокатки не залежить від ширини прокатуємих штаб.

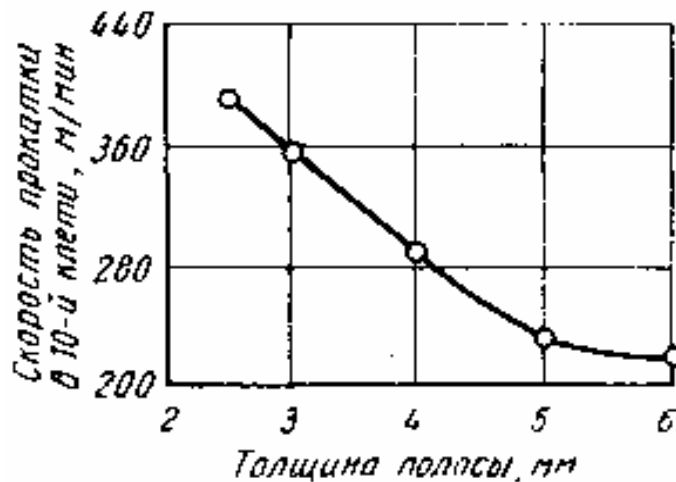
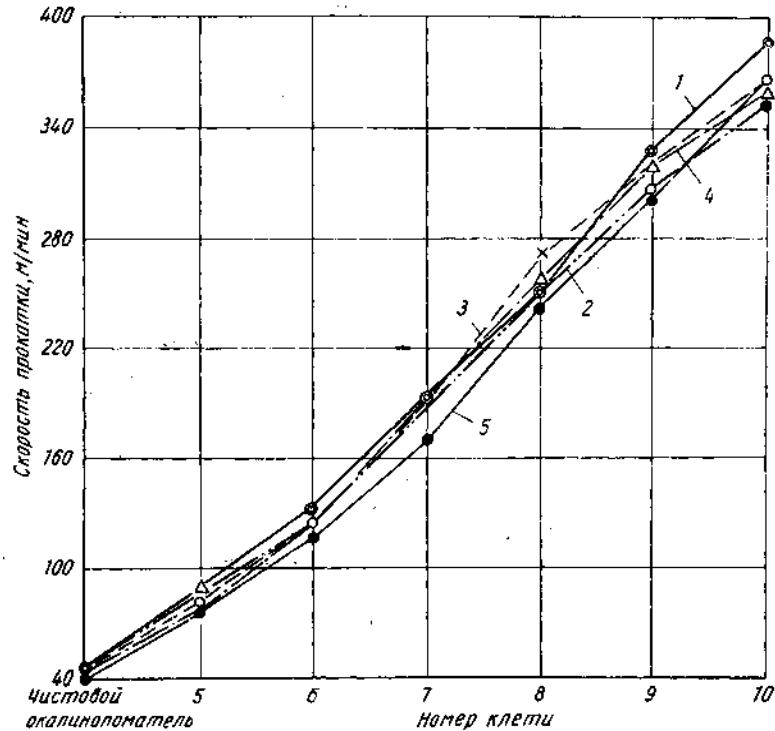


Рисунок 1.16 – Швидкість прокатки в останній кліті чистової групи стану в залежності від кінцевої товщини штаби

При зміні хімічного складу прокатуємої сталі швидкість прокатки встановлюють залежно від потужності приводних двигунів робочих клітей чистової групи. Чим більше опір деформації прокатуємого металу, тим нижче швидкість прокатки.

Швидкість прокатки в останній кліті чистової групи встановлюють не тільки з урахуванням технологічних вимог, але також з урахуванням співвідношення швидкостей в першій і останньої клітках чистової групи і загальної витяжки штаби в чистовій групі. Якщо довжина розкату після

чорнової групи більше, ніж відстань між чистовим окалиноломачем і першою кліттю, то швидкість прокатки визначають співвідношенням швидкостей в чистовому окалиноломачі і останньої кліті і загальною витяжкою в чистовій групі.



1 - 750 мм; 2 - 1250; 3 - 1000; 4 - 900; 5 - 1600 мм

Рисунок 1.17 - Швидкість прокатки в чистовій групі штаб товщиною 3 мм і шириною:

Температура кінця прокатки і змотки робить вплив на отримання рівномірної структури гарячекатаного листа. Збільшення температури кінця прокатки може бути досягнуте за рахунок підвищення швидкості прокатки в чистовій групі. За спостереженнями, при прокатці штаби товщиною 24 - 27 мм на БСГП „1680” збільшення швидкості прокатки в останній кліті (вище 6,5 м/с) на 1 м/с збільшує температуру кінця прокатки приблизно на 30°С. Збільшення температури кінця прокатки може бути досягнуте не тільки підвищенням швидкості прокатки, але також перерозподілом деформації між чорною і чистовою групами стану.

1.4. Висновки до розділу 1

Розглянуто температурно-швидкісні режими деформації на сучасних широкоштабових станах. Одним з основних чинників, що визначають якість гарячекатаної штабової сталі є температурно-швидкісний режим прокатки. Зокрема структура металу і його фізико-механічні властивості в значній мірі визначаються температурою кінця прокатки. Для отримання заданої структури і фізико-механічних властивостей штаби необхідно закінчувати прокатку при регламентованій температурі.

В аналітично-пошуковій частині роботи розглянуті відомі методики розрахунку напруження течії металу при прокатці на неперервному широкоштабовому стані гарячої прокатки. Встановлено, що для розрахунку напруження течії металу при прокатці доцільно використовувати методику термомеханічних коефіцієнтів.

Найбільш ефективнішим засобом регулювання температури в сторону збільшення є зміна швидкісного режиму. При збільшенні швидкості прокатки зменшується час охолодження штаб і збільшується прихід тепла внаслідок збільшення швидкості деформації.

2 ДОСЛІДНИЦЬКО-РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

2.1. Розрахунок напруження течії металу та середнього контактного тиску при гарячій прокатці штаби

У розділі 1 (п.1.2) представлені формули для розрахунку напруження течії металу, відповідність яких умовам зміцнення штаби під час гарячої прокатки може бути оцінено за експериментальними даними середнього контактного тиску. При цьому самі експериментальні величини середнього контактного тиску повинні бути достовірними, а набір інформаційних параметрів процесу прокатки повинен бути достатнім для виконання розрахунку. Таким вимогам в основному відповідають експериментальні дані отримані в роботі Саф'яна [14]. Для оцінки формул розрахунку напруження течії металу при гарячій прокатці використані температурно-швидкісні та геометричні параметри прокатки в чистовій групі НШСГП 1680 (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Параметри прокатки в чистовій групі НШСГП 1680

Номер кліті	Швидкість прокатки, м/с	Товщина штаби, мм	Температура прокатки, °С
5	1,21	13,62	980
6	1,98	8,33	935
7	2,94	5,61	905
8	3,85	4,28	865
9	4,89	3,37	845
10	5,5	3	800

Визначаємо напруження течії металу та середній контактний тиск при гарячій прокатці штаби 3,0x1100 мм зі сталі Ст.3кп за умовами представленими у таблиці 2.1.

Спочатку розрахуємо додаткові геометричні параметри прокатки для подальшого порівняльного аналізу:

1) Абсолютний обтиск:

$$\Delta h = h_0 - h_1;$$

$$\Delta h_5 = 27 - 13,62 = 13,38 \text{ мм}; \quad \Delta h_6 = 13,38 - 8,33 = 5,29 \text{ мм};$$

$$\Delta h_7 = 8,33 - 5,61 = 2,72 \text{ мм}; \quad \Delta h_8 = 5,61 - 4,28 = 1,33 \text{ мм};$$

$$\Delta h_9 = 4,28 - 3,37 = 0,91 \text{ мм}; \quad \Delta h_{10} = 3,37 - 3 = 0,37 \text{ мм}.$$

2) Відносний обтиск:

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h_0};$$

$$\varepsilon_5 = \frac{13,38}{27} = 0,50; \quad \varepsilon_6 = \frac{5,29}{13,38} = 0,39; \quad \varepsilon_7 = \frac{2,72}{8,33} = 0,33;$$

$$\varepsilon_8 = \frac{1,33}{5,61} = 0,24; \quad \varepsilon_9 = \frac{0,91}{4,28} = 0,21; \quad \varepsilon_{10} = \frac{0,37}{3} = 0,11.$$

3) Довжина дуги контакту, фактор форми осередку деформації та швидкість деформації дорівнюють:

$$\ell d = \sqrt{R \times \Delta h};$$

$$\ell d_5 = \sqrt{305 \times 13,38} = 63,9 \text{ мм} = 0,0639 \text{ м};$$

$$\ell d_6 = \sqrt{305 \times 5,39} = 40,2 \text{ мм} = 0,0402 \text{ м};$$

$$\ell d_7 = \sqrt{305 \times 2,72} = 28,8 \text{ мм} = 0,0288 \text{ м};$$

$$\ell d_8 = \sqrt{305 \times 1,33} = 20,1 \text{ мм} = 0,0201 \text{ м};$$

$$\ell d_9 = \sqrt{305 \times 0,91} = 16,7 \text{ мм} = 0,0167 \text{ м};$$

$$\ell d_{10} = \sqrt{305 \times 0,37} = 10,6 \text{ мм} = 0,0106 \text{ м};$$

$$u = \frac{v \times \varepsilon}{\ell d};$$

$$u_5 = \frac{1,21 \times 0,50}{0,0639} = 9,39 \text{c}^{-1};$$

$$u_6 = \frac{1,98 \times 0,39}{0,0402} = 19,15 \text{c}^{-1};$$

$$u_7 = \frac{2,94 \times 0,33}{0,0288} = 33,33 \text{c}^{-1};$$

$$u_8 = \frac{3,85 \times 0,24}{0,0201} = 45,32 \text{c}^{-1};$$

$$u_9 = \frac{4,89 \times 0,21}{0,0167} = 62,41 \text{c}^{-1};$$

$$u_{10} = \frac{5,5 \times 0,11}{0,0106} = 56,84 \text{c}^{-1}.$$

Розрахунок напруження течії металу по формулі Ніколаєва В.О.

Напруження течії металу (сталь марки Ст.3кп) визначимо по величині вуглецевого еквіваленту з роботи Ніколаєва В.О. [1], в залежності від швидкості деформації та групи марки сталі.

Хімічний склад сталі згідно ГОСТ 380-2005, %: 0,14-0,22 С, до 0,03 Si, 0,3-0,6 Mn, до 0,3 Ni, до 0,3 Cr, до 0,05 S, до 0,04 P, до 0,3 Cu, до 0,08 As, до 0,008 N.

Вуглецевий еквівалент дорівнює, %:

$$N = 0,18 + 0,03 + 0,45 + 0,3 + 0,3 + 0,3 = 1,155.$$

Так як $N \leq 5$, базова границя текучості визначається по формулі:

$$\sigma_{T6} = 80 + 25 \cdot \left\{ 1 - \left[\frac{5 - N_1}{4,5} \right]^{1,8} \right\};$$

$$\sigma_{T6} = 80 + 25 \cdot \left\{ 1 - \left[\frac{5 - 1,155}{4,5} \right]^{1,8} \right\} = 91,5 \text{ Н/мм}^2.$$

Використовуючи данні таблиці 1.2 і 1.3 одержуємо:

$$k_t = 1,66 - 1,1(t / 400 - 2)^{0,7};$$

$$k_{t5} = 1,66 - 1,1(980 / 400 - 2)^{0,7} = 1,03;$$

$$k_{t6} = 1,66 - 1,1(935 / 400 - 2)^{0,7} = 1,15;$$

$$k_{t7} = 1,66 - 1,1(905 / 400 - 2)^{0,7} = 1,23;$$

$$k_{t8} = 1,66 - 1,1(865 / 400 - 2)^{0,7} = 1,35;$$

$$k_{t9} = 1,66 - 1,1(845 / 400 - 2)^{0,7} = 1,42;$$

$$k_{t10} = 1,66 - 1,1(800 / 400 - 2)^{0,7} = 1,66.$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43 [1 - 6,3 (0,5 - \varepsilon)^2];$$

$$k_{\varepsilon5} = 1 + 0,43 [1 - 6,3 (0,5 - 0,5)^2] = 1,43;$$

$$k_{\varepsilon6} = 1 + 0,43 [1 - 6,3 (0,5 - 0,39)^2] = 1,40;$$

$$k_{\varepsilon7} = 1 + 0,43 [1 - 6,3 (0,5 - 0,33)^2] = 1,35;$$

$$k_{\varepsilon8} = 1 + 0,43 [1 - 6,3 (0,5 - 0,24)^2] = 1,24;$$

$$k_{\varepsilon9} = 1 + 0,43 [1 - 6,3 (0,5 - 0,21)^2] = 1,21;$$

$$k_{\varepsilon10} = 1 + 0,43 [1 - 6,3 (0,5 - 0,11)^2] = 1,02.$$

$$k_u = 0,38 + 0,065 (7 + \ln u) \text{ та } k_u = 1,03 + 0,1((\ln u) - 2,3)^{1,5};$$

$$k_{u5} = 0,38 + 0,065 (7 + \ln 9,39) = 0,98;$$

$$k_{u6} = 1,03 + 0,1((\ln 19,15) - 2,3)^{1,5} = 1,08;$$

$$k_{u7} = 1,03 + 0,1((\ln 33,33) - 2,3)^{1,5} = 1,16;$$

$$k_{u8} = 1,03 + 0,1((\ln 45,32) - 2,3)^{1,5} = 1,22;$$

$$k_{u9} = 1,03 + 0,1((\ln 62,41) - 2,3)^{1,5} = 1,28;$$

$$k_{u10} = 1,03 + 0,1((\ln 56,84) - 2,3)^{1,5} = 1,26.$$

Визначаємо напруження течії металу:

$$\sigma_T = \sigma_{T0} \cdot k_t \cdot k_\varepsilon \cdot k_u;$$

$$\sigma_{T5} = 91,5 \cdot 1,03 \cdot 1,43 \cdot 0,99 = 132 \text{ Н/мм}^2;$$

$$\sigma_{T6} = 91,5 \cdot 1,15 \cdot 1,40 \cdot 1,08 = 158 \text{ Н/мм}^2;$$

$$\sigma_{T7} = 91,5 \cdot 1,23 \cdot 1,35 \cdot 1,16 = 176 \text{ Н/мм}^2;$$

$$\sigma_{T8} = 91,5 \cdot 1,35 \cdot 1,24 \cdot 1,22 = 187 \text{ Н/мм}^2;$$

$$\sigma_{T9} = 91,5 \cdot 1,42 \cdot 1,21 \cdot 1,28 = 201 \text{ Н/мм}^2;$$

$$\sigma_{T10} = 91,5 \cdot 1,66 \cdot 1,02 \cdot 1,26 = 195 \text{ Н/мм}^2.$$

Розрахунок напруження течії металу по формулі

Андреюка Л.В. – Тюленева Г.Г.

Напруження течії металу:

$$\sigma = s \sigma_0 \cdot (10\varepsilon)^a u^b \left(\frac{t}{1000} \right)^{-c},$$

де σ_0 – базове значення напруження течії матеріалу штаби, відповідне $\varepsilon = 0,1$; $u = 1 \text{ с}^{-1}$; $t = 1000^\circ\text{C}$;

s, a, b, c – постійні коефіцієнти, визначені індивідуально для кожної сталі.

В таблиці 2.2 наведено базове значення напруження течії сталі Ст.3кп та коефіцієнти s, a, b, c [15].

Таблиця 2.2 – Коефіцієнти для формули Андреюка Л.В. – Тюленева Г.Г.

Сталь	$\sigma_0, \text{Н/мм}^2$	Значення коефіцієнтів			
		s	a	b	c
Ст.3кп	77,9	0,885	0,164	0,135	2,80

Визначаємо напруження течії металу:

$$\sigma_5 = 0,885 \cdot 77,9 \cdot (10 \cdot 0,50)^{0,164} 9,39^{0,135} \left(\frac{980}{1000} \right)^{-2,80} = 128 \text{ Н/мм}^2;$$

$$\sigma_6 = 0,885 \cdot 77,9 \cdot (10 \cdot 0,39)^{0,164} 19,15^{0,135} \left(\frac{935}{1000} \right)^{-2,80} = 155 \text{ Н/мм}^2;$$

$$\sigma_7 = 0,885 \cdot 77,9 \cdot (10 \cdot 0,33)^{0,164} 33,33^{0,135} \left(\frac{905}{1000} \right)^{-2,80} = 178 \text{ Н/мм}^2;$$

$$\sigma_8 = 0,885 \cdot 77,9 \cdot (10 \cdot 0,24)^{0,164} 45,32^{0,135} \left(\frac{865}{1000} \right)^{-2,80} = 199 \text{ Н/мм}^2;$$

$$\sigma_9 = 0,885 \cdot 77,9 \cdot (10 \cdot 0,21)^{0,164} 62,41^{0,135} \left(\frac{845}{1000} \right)^{-2,80} = 218 \text{ Н/мм}^2;$$

$$\sigma_{10} = 0,885 \cdot 77,9 \cdot (10 \cdot 0,11)^{0,164} 56,84^{0,135} \left(\frac{800}{1000} \right)^{-2,80} = 226 \text{ Н/мм}^2.$$

Розрахунок напруження течії металу по формулі В.І. Зюзіна

Формула В.І. Зюзіна потребує додаткові розрахунки температурних та геометричних параметрів прокатки для визначення напруження течії металу.

Середнє значення температури штаби в осередку деформації:

$$t_{cp} = \frac{1}{3}(t_0 + 2t_k);$$

$$t_{cp5} = \frac{1}{3}(1080 + 2 \cdot 980) = 1013 \text{ } ^\circ\text{C}; \quad t_{cp6} = \frac{1}{3}(980 + 2 \cdot 935) = 950 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$t_{cp7} = \frac{1}{3}(935 + 2 \cdot 905) = 915 \text{ } ^\circ\text{C}; \quad t_{cp8} = \frac{1}{3}(905 + 2 \cdot 865) = 878 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$t_{cp9} = \frac{1}{3}(865 + 2 \cdot 845) = 852 \text{ } ^\circ\text{C}; \quad t_{cp10} = \frac{1}{3}(845 + 2 \cdot 800) = 815 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Середнє значення умовного середнього обтиску:

$$\varepsilon_{cp} = \frac{2}{3} \cdot \frac{\Delta h}{h_0};$$

$$\varepsilon_{cp5} = \frac{2}{3} \cdot \frac{13,38}{27} = 0,33; \quad \varepsilon_{cp6} = \frac{2}{3} \cdot \frac{5,29}{13,62} = 0,26;$$

$$\varepsilon_{cp7} = \frac{2}{3} \cdot \frac{2,72}{8,33} = 0,22; \quad \varepsilon_{cp8} = \frac{2}{3} \cdot \frac{1,33}{5,61} = 0,16;$$

$$\varepsilon_{cp9} = \frac{2}{3} \cdot \frac{0,91}{4,28} = 0,14; \quad \varepsilon_{cp10} = \frac{2}{3} \cdot \frac{0,37}{3,37} = 0,07.$$

Визначаємо значення швидкісного коефіцієнта:

$$k_u = 0,8 + 0,065\sqrt{u};$$

$$k_{u5} = 0,8 + 0,065\sqrt{9,39} = 1,0;$$

$$k_{u5} = 0,8 + 0,065\sqrt{19,15} = 1,08;$$

$$k_{u7} = 0,8 + 0,065\sqrt{33,33} = 1,18;$$

$$k_{u8} = 0,8 + 0,065\sqrt{45,32} = 1,24;$$

$$k_{u9} = 0,8 + 0,065\sqrt{62,41} = 1,31;$$

$$k_{u10} = 0,8 + 0,065\sqrt{56,84} = 1,29;$$

Середнє значення коефіцієнта зміцнення:

$$k_{\varepsilon cp} = 0,82(1 + \sqrt{\varepsilon_{cp}});$$

$$k_{\varepsilon cp5} = 0,82(1 + \sqrt{0,33}) = 1,29;$$

$$k_{\varepsilon cp6} = 0,82(1 + \sqrt{0,26}) = 1,24;$$

$$k_{\varepsilon cp7} = 0,82(1 + \sqrt{0,22}) = 1,20;$$

$$k_{\varepsilon cp8} = 0,82(1 + \sqrt{0,16}) = 1,15;$$

$$k_{\varepsilon_{cp9}} = 0,82(1 + \sqrt{0,14}) = 1,13;$$

$$k_{\varepsilon_{cp10}} = 0,82(1 + \sqrt{0,07}) = 1,04.$$

Середнє значення температурного коефіцієнта:

$$k_{tcp} = 0,6 + 0,0045 \cdot (1200 - t_{cp}) \sqrt{\frac{1200 - t_{cp}}{t_{cp}}};$$

$$k_{tcp5} = 0,6 + 0,0045 \cdot (1200 - 1033) \sqrt{\frac{1200 - 1033}{1033}} = 0,96;$$

$$k_{tcp6} = 0,6 + 0,0045 \cdot (1200 - 950) \sqrt{\frac{1200 - 950}{950}} = 1,18;$$

$$k_{tcp7} = 0,6 + 0,0045 \cdot (1200 - 915) \sqrt{\frac{1200 - 915}{915}} = 1,32;$$

$$k_{tcp8} = 0,6 + 0,0045 \cdot (1200 - 878) \sqrt{\frac{1200 - 878}{878}} = 1,48;$$

$$k_{tcp9} = 0,6 + 0,0045 \cdot (1200 - 852) \sqrt{\frac{1200 - 852}{852}} = 1,60;$$

$$k_{tcp10} = 0,6 + 0,0045 \cdot (1200 - 815) \sqrt{\frac{1200 - 815}{815}} = 1,79.$$

Визначаємо величину напруження течії металу:

$$\sigma_m = \sigma_{T0} \cdot k_u \cdot k_\varepsilon \cdot k_t;$$

Базове значення напруження течії сталі Ст.3кп дорівнює 86 Н/мм² [16].

$$\sigma_{m5} = 86 \cdot 1,0 \cdot 1,29 \cdot 0,96 = 107 \text{ Н/мм}^2;$$

$$\sigma_{m6} = 86 \cdot 1,08 \cdot 1,24 \cdot 1,18 = 136 \text{ Н/мм}^2;$$

$$\sigma_{m7} = 86 \cdot 1,18 \cdot 1,20 \cdot 1,32 = 160 \text{ Н/мм}^2;$$

$$\sigma_{m8} = 86 \cdot 1,24 \cdot 1,15 \cdot 1,48 = 180 \text{ Н/мм}^2;$$

$$\sigma_{m9} = 86 \cdot 1,31 \cdot 1,13 \cdot 1,60 = 204 \text{ Н/мм}^2;$$

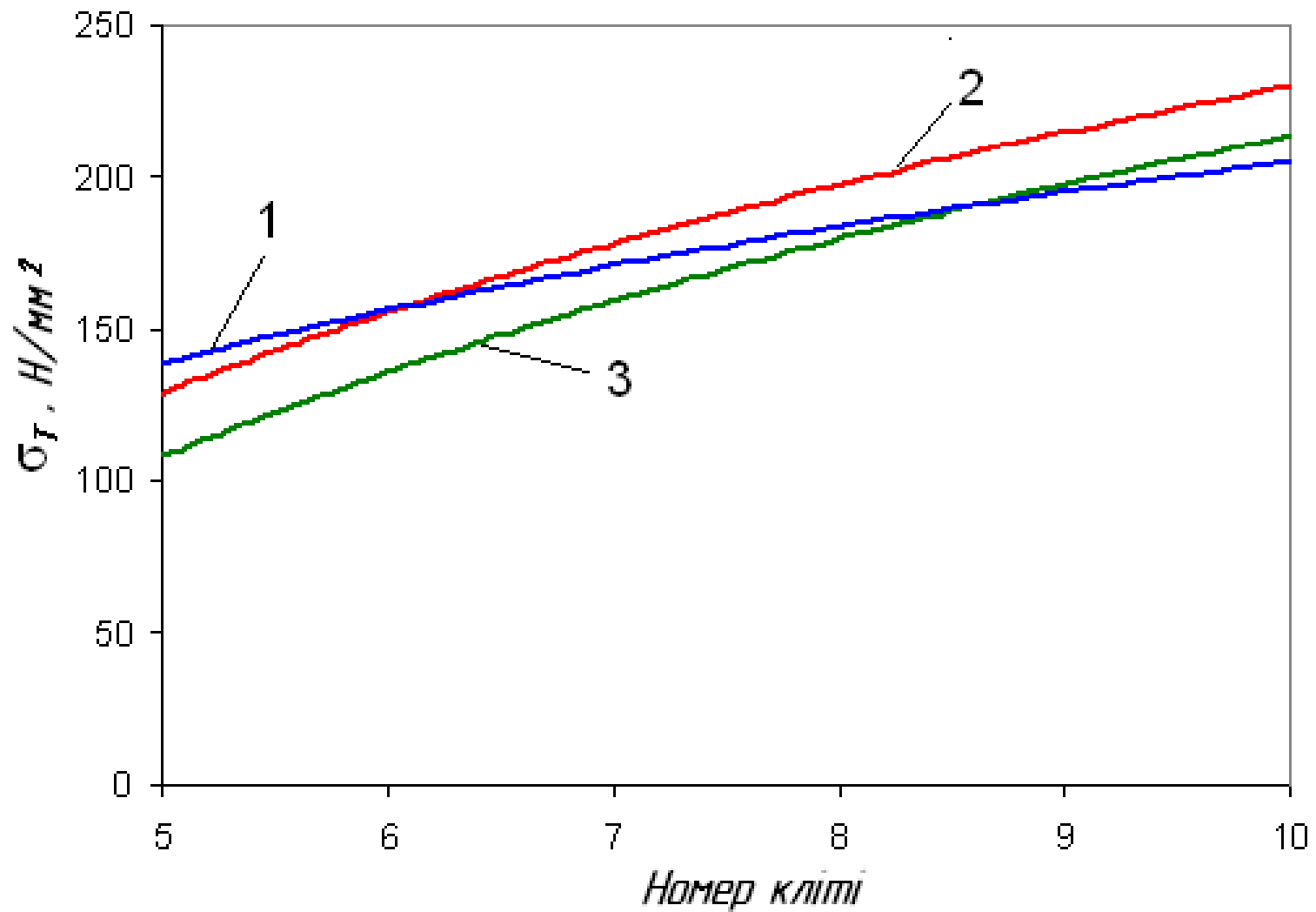
$$\sigma_{m10} = 86 \cdot 1,29 \cdot 1,04 \cdot 1,79 = 207 \text{ Н/мм}^2.$$

На рис. 2.1, 2.2, 2.3 представлені графічні залежності величини напруження течії металу визначені за формулами В.О. Ніколаєва, Л.В. Андреюка – Г.Г. Тюленева та В.І. Зюзіна.

Результати аналізу показали, що найбільш близькими формулами розрахунку напруження течії металу на початку прокатки в чистовій групі клітей НШСГП 1680 є формули В.О. Ніколаєва та Л.В. Андреюка – Г.Г. Тюленева. Дані формули добре співпадають при невеликому ступені і швидкості деформації. В подальшому при прокатці з збільшенням ступеня і швидкості деформації та зменшення температури штаби найбільш близькими формулами є формули В.О. Ніколаєва і В.І. Зюзіна.

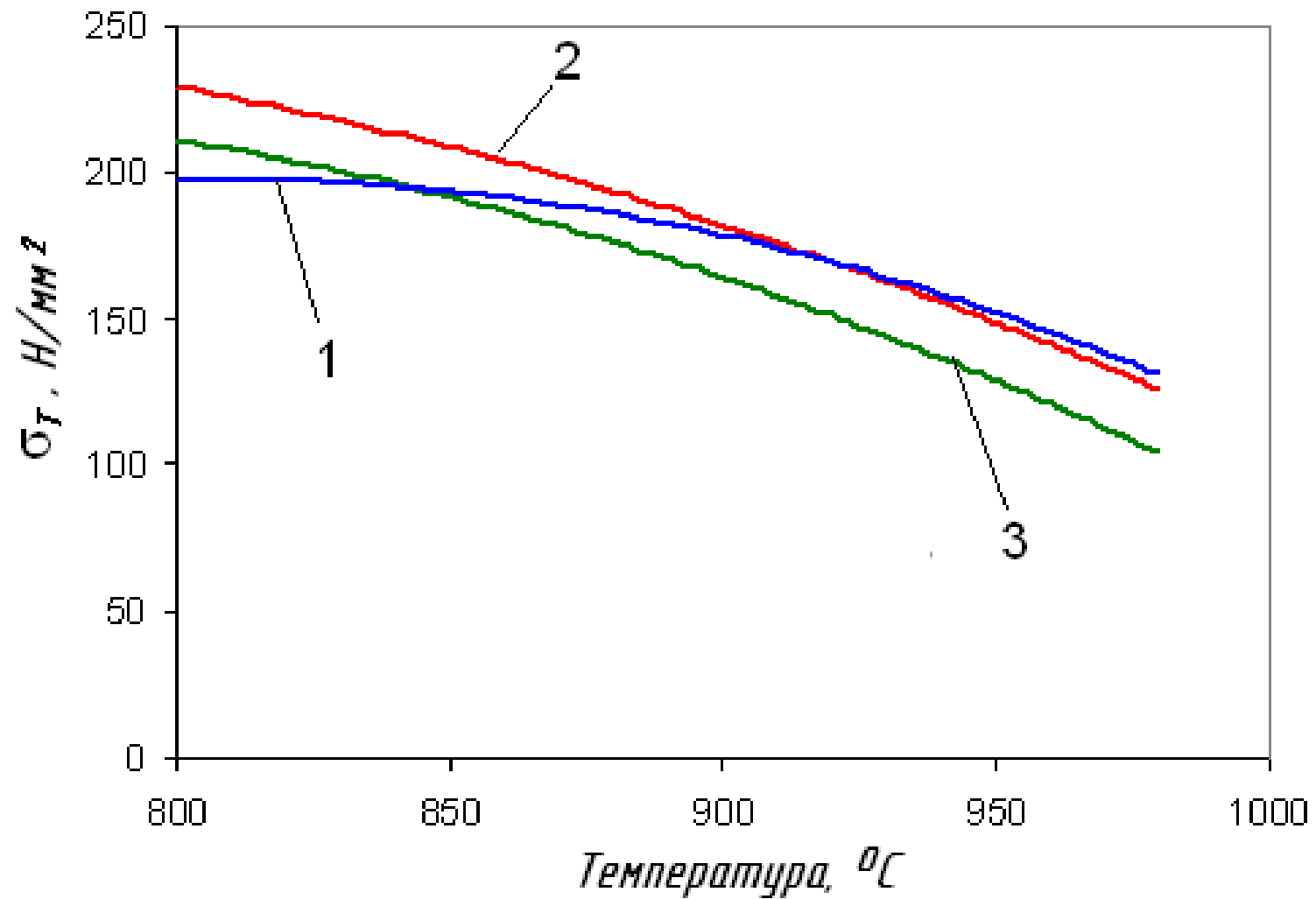
Таким чином встановлено, що формула В.О. Ніколаєва добре працює як при низьких температурно-швидкісних показниках прокатки та і при їх збільшеннях під час прокатки і може бути рекомендована для визначення напруження течії металу при гарячій прокатці.

Аналіз отриманих залежностей дозволив отримати наступні положення. При підвищенні температури збільшується амплітуда теплових коливань атомів і відповідно всі характеристики міцності, в тому числі і напруження течії металу, знижуються. Збільшення швидкості і ступеня деформації прямо підвищують напруження течії металу. Майже у всіх металів і сплавів напруження течії металу зростає з збільшенням ступеня деформації ϵ .



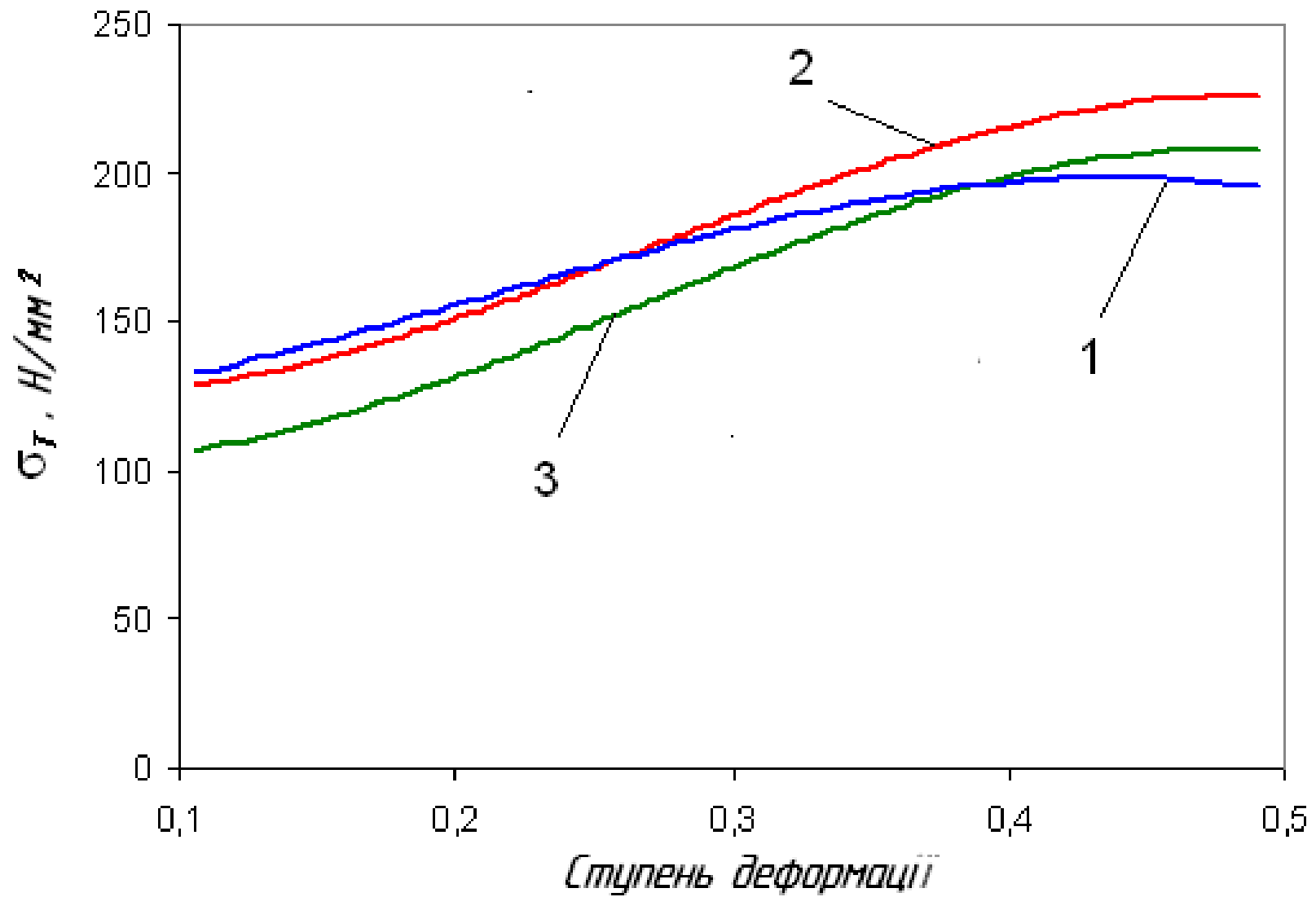
1 – В.О. Ніколаєва; 2 – Л.В. Андреюка – Г.Г. Тюленева; 3 – В.І. Зюзіна

Рисунок 2.1 – Розподіл напруження течії металу по клітям розраховане за теоретичними формулами



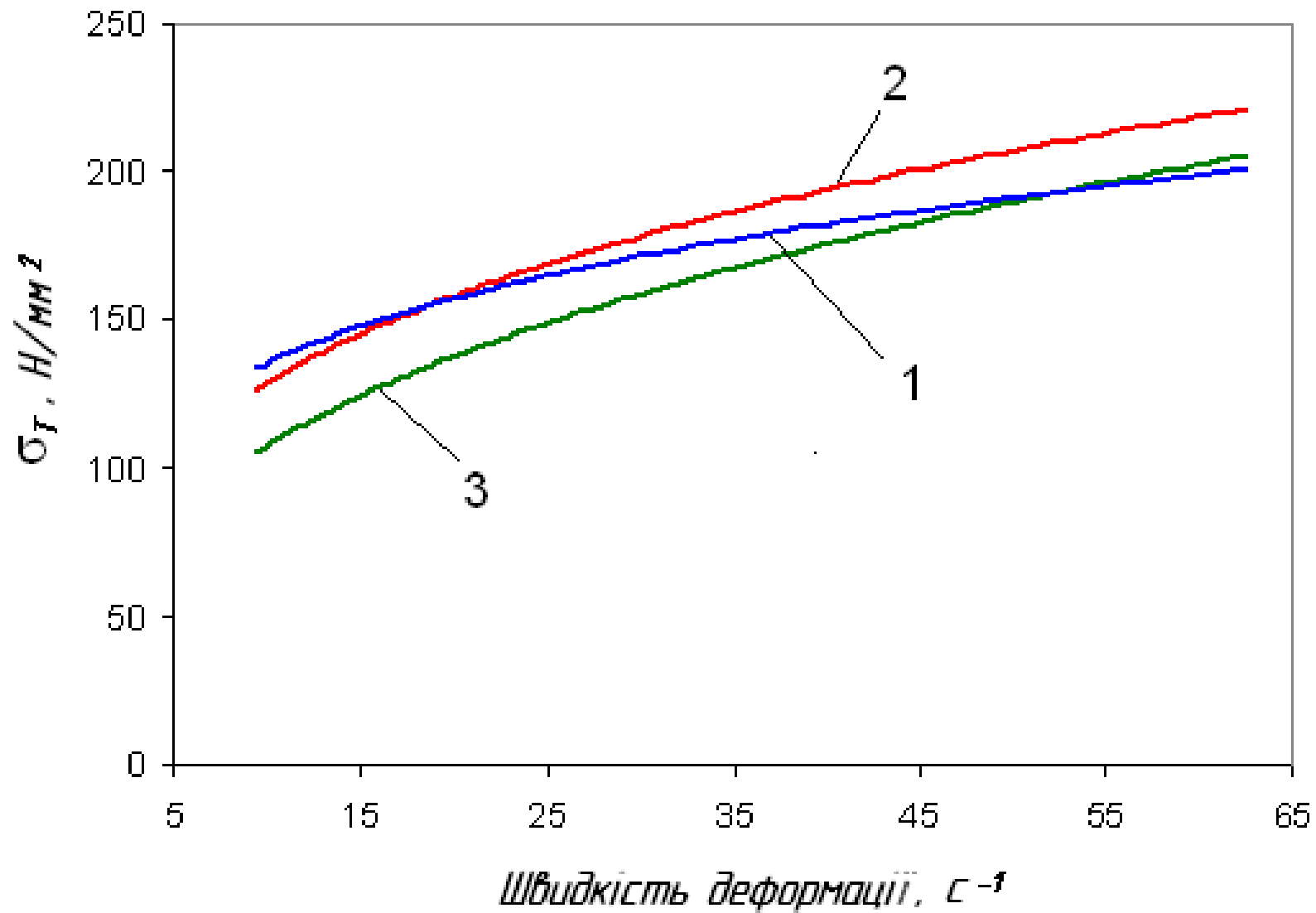
1 – В.О. Ніколаєва; 2 – Л.В. Андреюка – Г.Г. Тюленева; 3 – В.І. Зюзіна

Рисунок 2.2 – Залежність напруження течії металу від температури штаби розрахована за формулами:



1 – В.О. Ніколаєва; 2 – Л.В. Андреюка – Г.Г. Тюленева; 3 – В.І. Зюзіна

Рисунок 2.3 – Залежність напруження течії від ступеня деформації розрахована за теоретичними формулами



1 – В.О. Ніколаєва; 2 – Л.В. Андреюка – Г.Г. Тюленева; 3 – В.І. Зюзіна

Рисунок 2.4 – Залежність напруження течії від швидкості деформації розрахована за теоретичними формулами

Визначення середнього контактного тиску

Для порівняння розрахункових значень середнього контактного тиску з врахуванням визначення напруження течії металу за формулою В.О. Ніколаєва з дослідними даними, були використані експериментальні дані дослідження стану НШСГП 1680, виконані М.М. Саф'яном спільно з О.П. Чекмарьовим і В.І. Мелешко в роботі [15]. У зазначеній роботі за допомогою месдоз вимірювали тиск металу на валки клітей чистової групи при прокатці штаб з маловуглецевих і середньовуглецевих сталей. Режим прокатки штаби 3x1400 мм із сталі Ст.3кп представлений в таблиці 1. Для зазначених умов прокатки розраховано середній контактний тиск за формулами О.І. Целікова, С. Екелунда і Ш. Гелеі наведені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Порівняння величини середнього контактного тиску, розрахованого за різними формулами з дослідними даними при дослідженні НШСГП 1680

Номер кліті	Середній контактний тиск, Н/мм ²			
	Формула О.І. Целікова	Формула С. Екелунда	Формула Гелеі	Дослідні дані
5	201	104,8	173,5	139,2
6	263	167,5	255	191
7	323	218,5	296	311,5
8	362,5	262,5	264,5	377
9	412	321,5	229	407,5
10	284	224,5	209	307

В таблиці 3 наведені дослідні значення середніх контактних тисків, отриманих діленням повних тисків прокатки на контактну площу з робочими валками. Коефіцієнт зовнішнього тертя визначали за формулою:

$$\mu = 0,55 - 0,00024 \cdot t.$$

Значення напруження течії металу при відповідних температурах і швидкостях взяті за даними Надаї [13]. Середній контактний тиск по всіх формулах розрахований без урахування зплющування.

Формула О.І. Целікова:

$$p_{cp} = \beta \sigma_{и} n''_{\sigma} (p_{cp}/k),$$

де $\beta = 1 \dots 1,15$ коефіцієнт, що враховує нерівномірність напруженого стану (коефіцієнт Лоде $\beta = 1$ для дуже вузьких штаб; $\beta = 1,15$ для широких штаб);

$\sigma_{и} = \varphi(v, l_0, \varepsilon)$ - істинний опір деформації;

v – швидкість деформації;

n''_{σ} – коефіцієнт, що враховує вплив зовнішніх кінців, визначають по графіку;

$(p_{cp}/k) = \varphi(\delta, \varepsilon)$ – коефіцієнт напруженого стану.

$$\delta = 2f = \sqrt{R/\Delta h} \sim 2f/\alpha;$$

t – температура металу;

$\varepsilon = \Delta h/H \cdot 100\%$ – ступінь деформації.

Формула С. Екелунда:

$$p_{cp} = (1 + m) \cdot (2k + \eta u),$$

$$m = \frac{1,6f \sqrt{R\Delta h} - 1,2\Delta h}{h_0 + h_1};$$

$$2k = 9,81 (14 - 0,2t) \cdot (1,4 + C + Mn + 0,3Cr);$$

$$\eta = 0,098 (14 - 0,01t)c;$$

$$u = \frac{2v \sqrt{\Delta h / R}}{h_0 + h_1}.$$

Формула Ш. Гелі:

$$p_{cp} = k_f \left(1 + Cf \frac{l_d}{h} \sqrt[4]{v} \right),$$

де k_f – опір лінійної деформації;

C – визначається за графіком;

v – окружна швидкість валків, м/с.

Формула В.О. Ніколаєва:

$$p_{cp} = \sigma_{\phi} \left[1 + 0,48 f_{II} \cdot l_d / h_{cp} \right]$$

Формула В.О. Ніколаєва потребує додаткові розрахунки геометричних параметрів осередку деформації для визначення середнього контактного тиску.

Середня товщина штаби:

$$h_{cp} = \frac{h_0 + h_1}{2};$$

$$h_{cp5} = \frac{27 + 13,62}{2} = 20,31 \text{ мм};$$

$$h_{cp6} = \frac{13,62 + 8,33}{2} = 9,34 \text{ мм};$$

$$h_{cp7} = \frac{8,33 + 5,61}{2} = 6,97 \text{ мм};$$

$$h_{cp8} = \frac{5,61 + 4,28}{2} = 4,95 \text{ мм};$$

$$h_{cp9} = \frac{4,28 + 3,37}{2} = 3,83 \text{ мм};$$

$$h_{cp10} = \frac{3,37 + 3}{2} = 3,19 \text{ мм}.$$

Коефіцієнт тертя:

$$f = 0,55 - 0,00024 \cdot t;$$

$$f_5 = 0,55 - 0,00024 \cdot 980 = 0,31;$$

$$f_6 = 0,55 - 0,00024 \cdot 935 = 0,33;$$

$$f_7 = 0,55 - 0,00024 \cdot 905 = 0,33;$$

$$f_8 = 0,55 - 0,00024 \cdot 865 = 0,34;$$

$$f_9 = 0,55 - 0,00024 \cdot 845 = 0,35;$$

$$f_{10} = 0,55 - 0,00024 \cdot 800 = 0,36;$$

Середній контактний тиск:

$$p_{cp5} = 132 \left[1 + 0,48 \cdot 0,31 \frac{63,9}{20,31} \right] = 224 \text{ Н/мм}^2;$$

$$p_{cp6} = 158 \left[1 + 0,48 \cdot 0,33 \frac{40,2}{9,34} \right] = 305 \text{ Н/мм}^2;$$

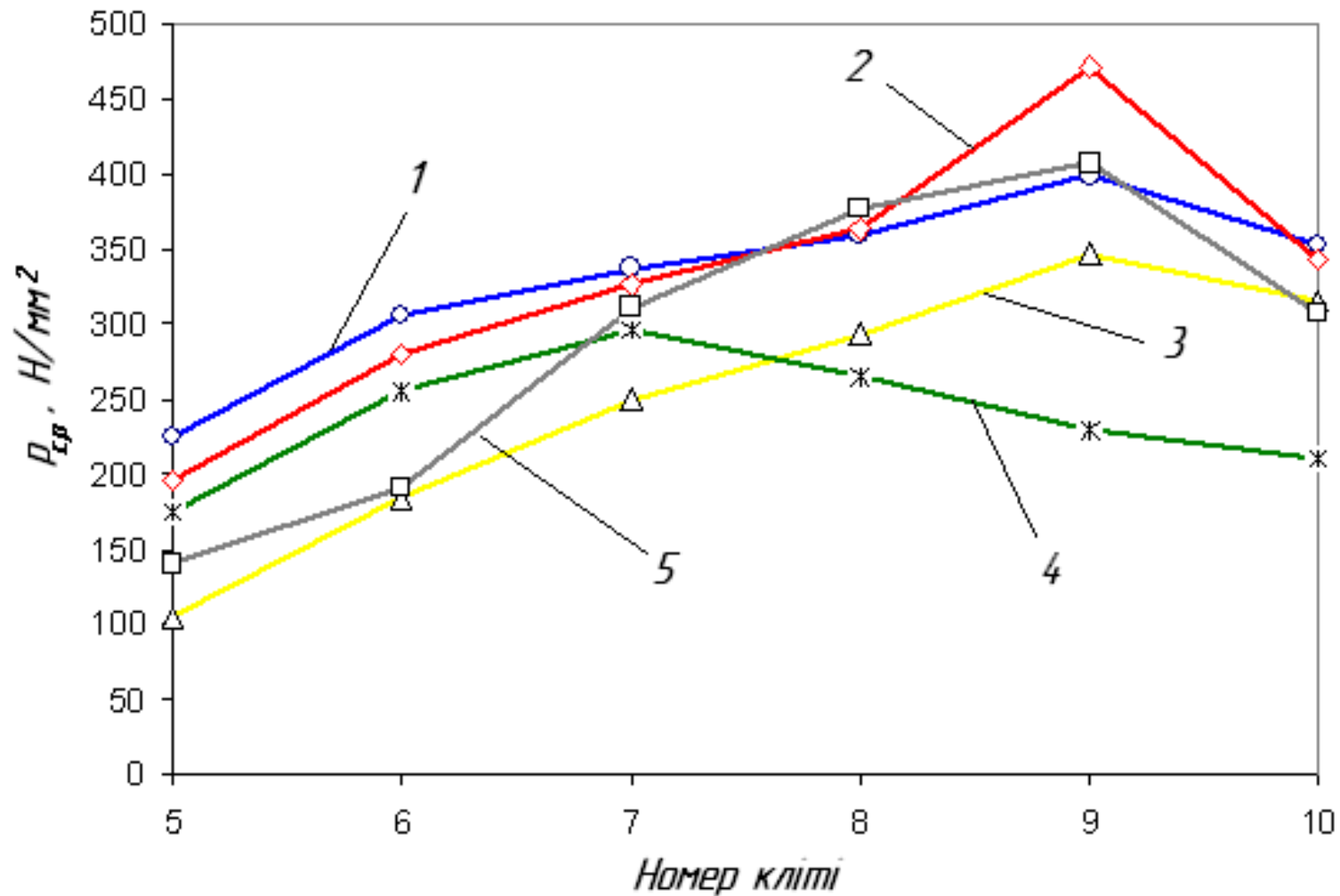
$$p_{cp7} = 176 \left[1 + 0,48 \cdot 0,33 \frac{28,8}{6,97} \right] = 336 \text{ Н/мм}^2;$$

$$p_{cp8} = 187 \left[1 + 0,48 \cdot 0,34 \frac{20,1}{4,95} \right] = 359 \text{ Н/мм}^2;$$

$$p_{cp9} = 201 \left[1 + 0,48 \cdot 0,35 \frac{16,7}{3,83} \right] = 398 \text{ Н/мм}^2;$$

$$p_{cp10} = 195 \left[1 + 0,48 \cdot 0,36 \frac{10,6}{3,19} \right] = 352 \text{ Н/мм}^2;$$

Результати порівняльного аналізу представлені на рисунку 2.5.



1 – В.О. Ніколаєва; 2 – О.І. Целікова; 3 – С. Екелунда; 4 – Ш. Гелеї; 5 – дослідні дані

Рисунок 2.5 - Розподіл середнього контактного тиску по клітям розраховане за формулами:

Точність розрахунку середнього контактного тиску по формулах – В.О. Ніколаєва, О.І. Целікова, С. Екелунда та Ш. Гелеї оцінювали відношенням $p_{срі}/p_{сроп}$ ($p_{срі}$ – розрахункове значення середнього контактного тиску по тій або іншій формулі; $p_{сроп}$ – дослідне значення середнього контактного тиску). В результаті аналізу встановлено, що середня величина невідповідності $p_{срі}/p_{сроп}$ (при $p_{срі}/p_{сроп} < > 1$) становить по формулах:

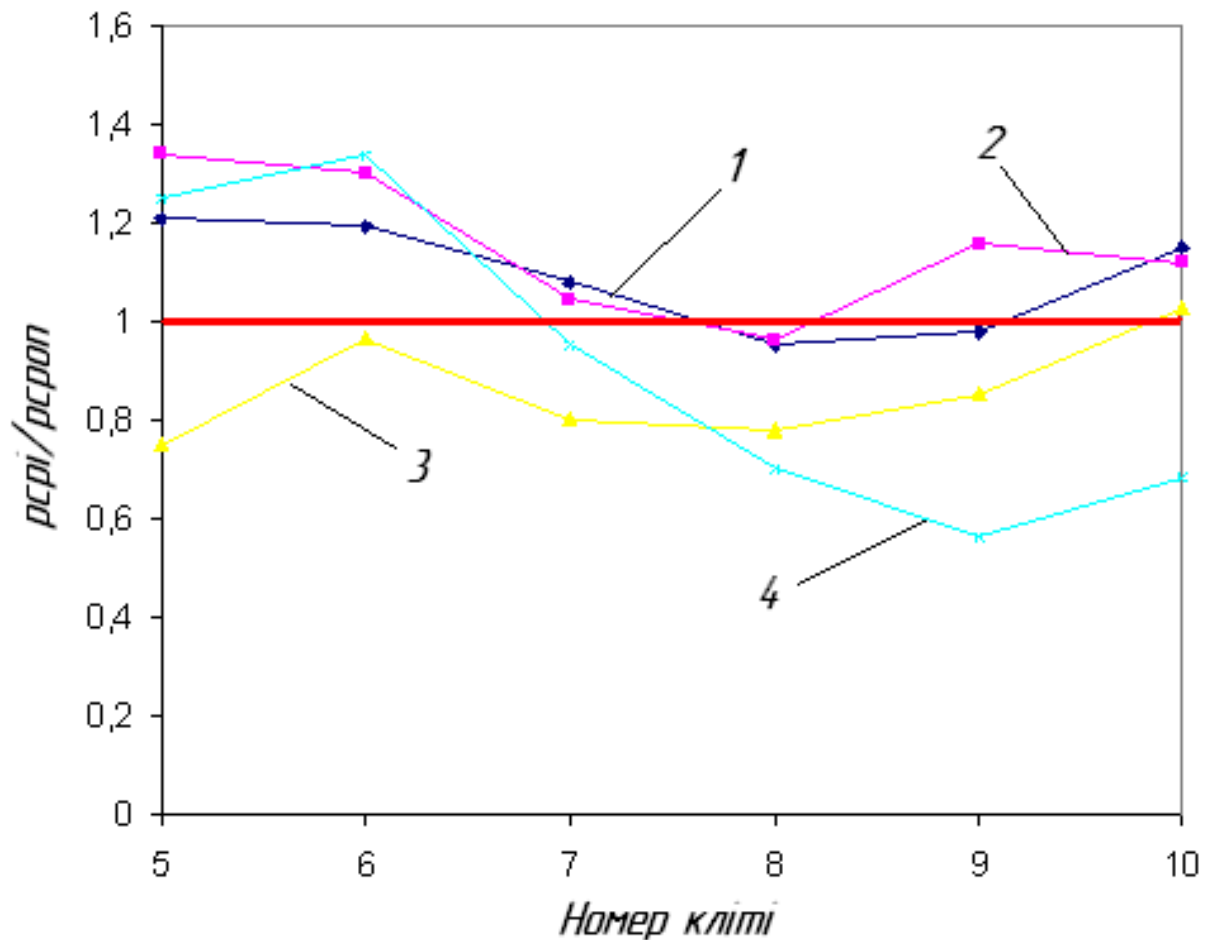
В.О. Ніколаєва – $0,95 \div 1,21$;

О.І. Целікова – $0,96 \div 1,34$;

С. Екелунда – $0,75 \div 1,03$;

Ш. Гелеї – $0,56 \div 1,34$.

На рис. 2.6 представлений порівняльний аналіз відношення $p_{срі}/p_{сроп}$ для різних формул визначення середнього контактного тиску.



1 – В.О. Ніколаєва; 2 – О.І. Целікова; 3 – С. Екелунда; 4 – Ш. Гелеї;

Рисунок 2.6 – Відношення $p_{срі}/p_{сроп}$ для різних формул:

Менша помилка отримана при розрахунку середнього контактного тиску з використанням розробленої моделі, із застосуванням залежностей визначення напруження течії металу по формулі В.О. Ніколаєва, що забезпечує збіг із дослідними даними в межах 0,95 – 1,21. Це є цілком прийнятним для практичного використання розробленої моделі. Отримана збіжність розрахункових результатів із дослідними пояснюється тим, що дана модель наряду з урахуванням основних факторів, що впливають на напруження течії металу (температури, швидкості та ступеня деформації) ще додатково враховує вплив хімічного складу сталі.

2.2. Визначення витрат електроенергії

По отриманим даним режиму деформації та енергосилових параметрів розрахуємо розрахунок питомої витрати електроенергії на стані НШСП 1680 по формулі:

$$W_{\Pi} = \frac{M_{\text{пр}}/t}{3600 \cdot \gamma \cdot R \cdot B}$$

$M_{\text{пр}}$ – момент прокатки, МН·м;

$\gamma=7,85$

R – радіус валків, м;

B – ширина розкату, м.

Визначасмо питому витрату електроенергії за експериментальними даними:

$$W_{\Pi(5)} = \frac{281 / 0,01362}{3600 \cdot 7,85 \cdot 1,1 \cdot 0,305} = 2,177 \text{ кВт} \cdot \text{годин} / \text{т};$$

$$W_{\Pi(6)} = \frac{148 / 0,00833}{3600 \cdot 7,85 \cdot 1,1 \cdot 0,305} = 1,876 \text{ кВт} \cdot \text{годин} / \text{т};$$

$$W_{\Pi(7)} = \frac{125 / 0,00561}{3600 \cdot 7,85 \cdot 1,1 \cdot 0,305} = 2,345 \text{ кВт} \cdot \text{годин} / \text{т};$$

$$W_{\Pi(8)} = \frac{74 / 0,00428}{3600 \cdot 7,85 \cdot 1,1 \cdot 0,305} = 1,822 \text{ кВт} \cdot \text{годин} / \text{т};$$

$$W_{\Pi(9)} = \frac{54 / 0,00337}{3600 \cdot 7,85 \cdot 1,1 \cdot 0,305} = 1,700 \text{ кВт} \cdot \text{годин} / \text{т};$$

$$W_{\Pi(6)} = \frac{17 / 0,003}{3600 \cdot 7,85 \cdot 1,1 \cdot 0,305} = 0,600 \text{ кВт} \cdot \text{годин} / \text{т}.$$

Визначаємо сумарну питому витрату електроенергії на НШСГП 1680 за експериментальними даними:

$$\sum W_{\Pi} = W_{\Pi(1)} + W_{\Pi(2)} + W_{\Pi(3)} + \dots + W_{\Pi(N)}$$

$$\sum W_{\Pi} = 2,177 + 1,876 + 2,345 + 1,822 + 1700 + 0,600 = 10,520 \text{ кВт} \cdot \text{годин} / \text{т}.$$

Визначаємо питому витрату електроенергії за даними визначення середнього контактного тиску по формулі В.О. Ніколаєва:

$$W_{\Pi(5)} = \frac{453 / 0,01362}{3600 \cdot 7,85 \cdot 1,1 \cdot 0,305} = 3,510 \text{ кВт} \cdot \text{годин} / \text{т};$$

$$W_{\Pi(6)} = \frac{237 / 0,00833}{3600 \cdot 7,85 \cdot 1,1 \cdot 0,305} = 2,995 \text{ кВт} \cdot \text{годин} / \text{т};$$

$$W_{\Pi(7)} = \frac{135 / 0,00561}{3600 \cdot 7,85 \cdot 1,1 \cdot 0,305} = 2,533 \text{ кВт} \cdot \text{годин} / \text{т};$$

$$W_{\Pi(8)} = \frac{70 / 0,00428}{3600 \cdot 7,85 \cdot 1,1 \cdot 0,305} = 1,734 \text{ кВт} \cdot \text{годин} / \text{т};$$

$$W_{\Pi(9)} = \frac{53 / 0,00337}{3600 \cdot 7,85 \cdot 1,1 \cdot 0,305} = 1,661 \text{ кВт} \cdot \text{годин} / \text{т};$$

$$W_{\Pi(6)} = \frac{20 / 0,003}{3600 \cdot 7,85 \cdot 1,1 \cdot 0,305} = 0,688 \text{ кВт} \cdot \text{годин} / \text{т}.$$

Визначемо сумарну питому витрату електроенергії на НШСГП 1680 по даним В.О. Ніколаєва:

$$\sum W_{\Pi} = 3,510 + 2,995 + 2,533 + 1,734 + 1,661 + 0,688 = 13,121 \text{ кВт}\cdot\text{годин/т.}$$

Визначимо різницю між сумарними питомими витратами електроенергії:

$$\begin{aligned} \sum \Delta W_{\Pi} &= \sum W_{\Pi(\text{до})} - \sum W_{\Pi(\text{після})} \\ \sum \Delta W_{\Pi} &= 13,121 - 10,520 = 2,601 \text{ кВт}\cdot\text{годин/т.} \end{aligned}$$

Аналогічно розраховуємо сумарну питому витрату електроенергії на НШСГП 1680 за формулами О.І. Целікова, С. Екелунда та Ш. Гелеї.

За даними О.І. Целікова:

$$\sum W_{\Pi} = 3,066 + 2,741 + 2,451 + 1,751 + 1,965 + 0,670 = 12,644 \text{ кВт}\cdot\text{годин/т.}$$

Визначимо різницю між сумарними питомими витратами електроенергії:

$$\sum \Delta W_{\Pi} = 12,644 - 10,520 = 2,124 \text{ кВт}\cdot\text{годин/т.}$$

За даними С. Екелунда:

$$\sum W_{\Pi} = 1,627 + 1,310 + 1,375 + 1,416 + 1,448 + 0,615 = 7,790 \text{ кВт}\cdot\text{годин/т.}$$

Визначимо різницю між сумарними питомими витратами електроенергії:

$$\sum \Delta W_{\Pi} = 10,520 - 7,790 = 2,730 \text{ кВт}\cdot\text{годин/т.}$$

За даними Ш. Гелеї:

$$\sum W_{\pi} = 8,877 \text{ кВт·годин/т.}$$

Визначимо різницю між сумарними питомими витратами електроенергії:

$$\sum \Delta W_{\pi} = 10,520 - 7,633 = 2,887 \text{ кВт·годин/т.}$$

На рис. 4.2 показана порівняльна діаграма сумарних питомих витрат електроенергії розрахована за різними методами визначення середнього контактного тиску.

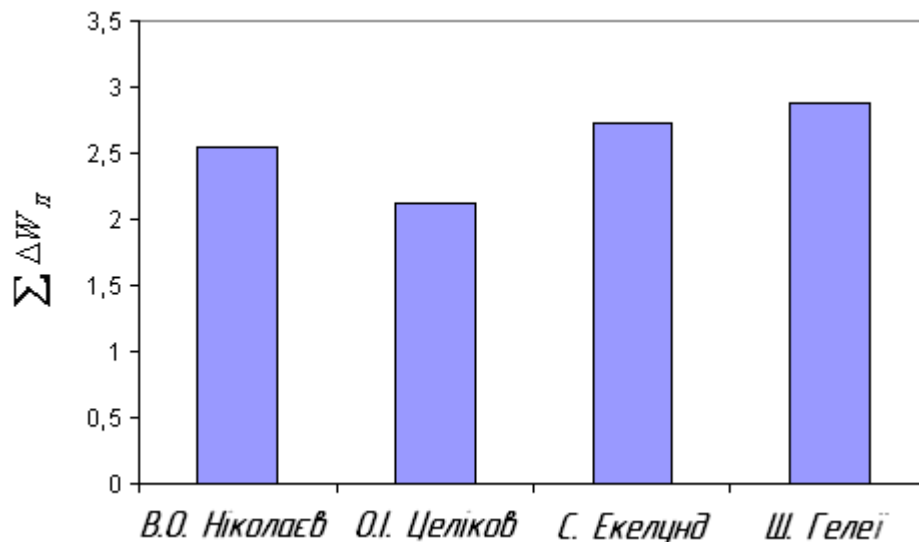


Рисунок 2.7 – Порівняльна діаграма сумарних питомих витрат електроенергії розрахована за різними методами визначення середнього контактної тиску.

Таким чином найбільш наближеними формулами з визначення середнього контактної тиску за порівнянням сумарних питомих витрат електроенергії є формули В.О. Ніколаєва та О.І. Целікова.

2.3. Висновки до розділу 2

Результати аналізу показали, що найбільш близькими формулами розрахунку напруження течії металу на початку прокатки в чистовій групі клітей НШСГП 1680 є формули В.О. Ніколаєва та Л.В. Андреюка – Г.Г. Тюленева. Дані формули добре співпадають при невеликому ступені і швидкості деформації. В подальшому при прокатці з збільшенням ступеня і швидкості деформації та зменшення температури штаби найбільш близькими формулами є формули В.О. Ніколаєва і В.І. Зюзіна.

Практичний інтерес представляють моделі Л.В. Андреюка – Г.Г. Тюленєва і модель В.О. Ніколаєва. Такі моделі були розроблені для багатьох марок вуглецевих і легованих сталей, зокрема сталей спеціального призначення. Моделі працездатні в широкому діапазоні температур гарячої прокатки від 800 до 1300°C.

Розрахунки середнього контактного тиску з використанням розробленої моделі, із застосуванням залежностей визначення напруження течії металу по формулі В.О. Ніколаєва показали, що формула забезпечує збіг із дослідними даними в межах 0,95-1,21.

3. ОБРОБКА ТА ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Дослідження технологічних параметрів прокатки із прискоренням в чистовій групі клітей НШСГП 1680

Дослідження технологічних параметрів прокатки із прискоренням в чистовій групі клітей НШСГП 1680 включало експериментальне визначення, розрахунок і аналіз деформаційних, кінематичних, енергосилових і температурних параметрів прокатки штаб із подвійних слябів товщиною 160-168 мм. Дослідження проводилося при прямій прокатці 46 слябів, 4 дослідних плавки вуглецевих сталей із реалізацією технологічної схеми "зливок-рулон". Відомості про сортамент штаб, розміри і об'єм досліджень приведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Об'єм досліджень технологічних параметрів прокатки із прискоренням на НШСГП 1680

Марка сталі	Розміри перетину сляба, мм	Розміри перетину штаби, мм	Кількість досліджених слябів
08пс	168 x 990	2,5 x 1000	18
3пс	160 x 1170	3,0 x 1180	10
08кп	165x 1190	3,6 x 1200	12
1кп	160 x 1245	3,8 x 1250	6

При визначенні технологічних параметрів прокатки в чистовій групі клітей із застосуванням різних швидкісних режимів використовувалася інформація, реєстрованих системою контролю роботи приводних двигунів, і показники стаціонарних пірометрів, встановлених в технологічній лінії слябінгу - 1150 - НШСГП 1680.

Реєструвалися наступні параметри:

- температура кінця прокатки зливків на слябінгу;
- температура поверхні і торця слябів при порізці на ножицях;
- температура поверхні слябів перед НШСГП 1680;
- температура розкату за кліттю № 4;
- токи якірних цепів приводних двигунів № 5 - № 10;
- швидкості обертання якорів приводних двигунів клітей № 5 - № 10;
- напруги якірних цепів приводних двигунів клітей № 5 - № 6;
- токи збудження приводних двигунів клітей № 5 - № 6;
- моменти на валу приводних двигунів клітей № 7 - № 10;
- температура кінця прокатки;
- температура змотування штаб;

При проведенні досліджень фіксувалися додатково:

- товщина підкату;
- товщина штаби;
- діаметри робочих валків клітей № 5 - № 10;
- робота установок гідросбива окалини;
- затримки в лінії стану.

На рис. 3.1, 3.2 в якості зразку приведені отримані при проведенні експериментальних досліджень дані про основні параметри роботи приводних двигунів чистових клітей. Приведені дані відповідають прокатці на НШСГП 1680 штаб зі сталі 1пс із розмірами перетину $3,8 \times 1250$ мм (плавка № 1027174) із застосуванням традиційного швидкісного режиму деформації і режиму, що передбачає збільшення швидкості прокатки по довжині штаби.

При проведенні досліджень основна частка штаб кожної дослідженої плавки прокатувалася з постійної по довжині штаби швидкістю прокатки в кожній чистовій кліті, а 2 - 3 останні штаби прокатувались із прискоренням.

Для приводних двигунів постійного струму чистових клітей № 5 і № 6 потужність на валу розраховувалася по формулі:

$$N_{\text{дв}} = I_{\text{дв}} \cdot U_{\text{дв}} \cdot \eta_{\text{дв}}, \text{ кВт}; \quad (3.1)$$

де: $I_{\text{дв}}$, $U_{\text{дв}}$ - струм і напруга якоря;

$\eta_{\text{дв}}$ - к.п.д. двигуна.

У цьому випадку величина моменту на валу двигуна визначалася із виразу

$$M_{\text{дв}} = \frac{30}{\pi} \cdot \frac{N_{\text{дв}}}{n_{\text{дв}}}, \text{ кН} \cdot \text{м}, \quad (3.2)$$

де $n_{\text{дв}}$ - число обертів якоря двигуна, об/хв.

Для приводних двигунів змінного струму клітей № 7 - №10 потужність двигуна розраховувалася по відомій величині моменту на валу двигуна із умови (3.2).

Отримані експериментальні значення потужності і моментів, що розвиваються приводними двигунами, використовувалися для розрахунку крутячих моментів, що підводяться до валків, і зусиль прокатки. При цьому використовувалися відомі методики.

Всі зареєстровані і розраховані деформаційні, кінематичні і енергосилові параметри прокатки штаб дослідженого сортаменту приведені в таблицях 3.2 - 3.15.

3.1.1 Деформаційні параметри

Отримані дані про режими деформації при прокатці штаб дослідних плавок і їх аналіз показали наступне.

Зафіксовані режими деформації при прокатці штаб дослідних плавок в клітях чистової групи відповідають існуючим на НШСГП 1680 і відзначені при проведенні раніших досліджень прямої прокатки з використанням подвійних слябів.

Таблиця 3.3 - Параметри прокатки штаб в чистових клітях НШСГП 1680 плавки 1027174, марки 1кп з розмірами перетину 3,8×1250 мм (товщина підкату 28 мм), із слябів з розмірами перетину 160×1245×8500 мм.

Параметри прокатки	КЛІТЬ					
	№5	№6	№7	№8	№9	№10
1. Товщина штаби після кліті, мм	18,5	11,5	7,7	5,5	4,27	3,80
2. Абсолютний обтиск, мм	9,7	7,0	3,8	2,2	1,23	0,57
3. Відносний обтиск, %	34,4	37,8	33,0	28,6	22,4	13,3
4. Швидкість прокатки, м/с:	1,34	2,15	3,20	4,52	5,80	6,70
5. Струм якоря двигуна, кА: при сталому процесі; при прокатці заднього кінця штаби	4,8-5,0 5,5-5,6	4,2-4,4 4,7-4,9	1,4-1,5 1,5-1,6	1,2-1,3 1,3-1,4	0,8 0,9	0,5-0,6 0,5-0,6
6. Потужність, що розвивається двигуном, кВт: при сталому процесі; при прокатці заднього кінця штаби	3200-3560 3900-4000	3000-3170 3340-3530	3800-3950 4090-4230	3370-3520 3520-3660	200-2340 2340-2550	1450-1550 1390-1480
7. Момент на валу двигуна, кН×м: при сталому процесі; при прокатці заднього кінця штаби	89-99 109-112	86-90 95-101	135-140 145-150	115-120 120-125	75-80 80-87	47-50 45-48
8. Сумарний момент на валках, кН×м: при сталому процесі; при прокатці заднього кінця штаби	530-600 670-690	330-350 370-400	320-340 350-360	190-200 200-210	96-103 103-113	49-53 46-50
9. Зусилля прокатки, МН: при сталому процесі; при прокатці заднього кінця штаби	11,0-12,5 14,0-14,4	8,5-9,0 9,5-10,2	11,0-11,7 12,1-12,4	9,0-9,5 9,5-10,0	6,0-6,4 6,4-7,1	4,1-4,4 3,8-4,2

Таблиця 3.4 - Параметри прокатки штаб з прискоренням в чистових клітях НШСГП 1680 плавки 1027174, марки 1кп з розмірами перетину 3,8×1250 мм (товщина підкату 28 мм), із слябів з розмірами перетину 160×1245×8500 мм.

Параметри прокатки	КЛІТЬ					
	№5	№6	№7	№8	№9	№10
1. Товщина штаби після кліті, мм [*]	$\frac{18,2}{19,3}$	$\frac{11,2}{11,6}$	$\frac{7,8}{8,0}$	$\frac{5,5}{5,6}$	$\frac{4,32}{4,40}$	3,80
2. Абсолютний обтиск, мм [*]	$\frac{10,0}{8,9}$	$\frac{7,0}{7,7}$	$\frac{3,4}{3,6}$	$\frac{2,3}{2,4}$	$\frac{1,18}{1,20}$	$\frac{0,48}{0,50}$
3. Відносний обтиск, % [*]	$\frac{35,5}{31,5}$	$\frac{38,5}{39,9}$	$\frac{30,3}{31,0}$	$\frac{29,5}{30,0}$	$\frac{21,4}{21,4}$	$\frac{11,1}{11,4}$
4. Швидкість прокатки, м/с: мінімальна максимальна	1,34 1,48-1,71	2,15 2,46-2,86	3,20 3,56-4,13	4,52 5,08-5,89	5,80 6,43-7,45	6,70 7,44-8,97
5. Струм якоря двигуна, кА: при початковій швидкості; при максимальній швидкості	4,4-4,6 5,3-5,5	4,3-4,5 4,8-5,1	1,3-1,4 1,5-1,6	1,2 1,4-1,5	0,7-0,8 0,8-0,9	0,5-0,65 0,6-0,8
6. Потужність розвиваєма двигуном, кВт: при початковій швидкості; при максимальній швидкості	3300-3510 4050-4200	3150-3280 3920-4360	3480-3670 4390-5280	3340-3520 4450-5430	2010-2200 2610-3280	1390-1700 1960-2890
7. Момент на валу двигуна, кН×м: при початковій швидкості; при максимальній швидкості	99-104 102-110	90-93 103-110	125-130 140-145	115-120 135-150	70-75 78-87	45-55 55-70
8. Сумарний момент на валках, кН×м: при початковій швидкості; при максимальній швидкості	600-640 620-680	350-370 410-440	300-310 340-350	190-200 230-250	88-96 100-112	46-59 59-79
9. Зусилля прокатки, МН: при початковій швидкості; при максимальній швидкості	12,5-13,3 12,9-14,1	9,0-9,5 10,2-11,0	11,1-11,5 12,1-12,5	9,0-9,5 10,9-11,9	5,5-6,0 6,3-7,1	3,8-4,9 4,9-6,6

* Чисельник - прокатка з початковою швидкістю; знаменник - прокатка з максимальною швидкістю.

Таблиця 3.5 - Параметри прокатки штаб в чистових клітях НШСГП 1680 плавки 0517200, марки 08кп з розмірами перетину 3,6×1200 мм (товщина підкату 28 мм), із слябів з розмірами перетину 165×1190×8500 мм.

Параметри прокатки	КЛІТЬ					
	№5	№6	№7	№8	№9	№10
1. Товщина штаби після кліті, мм	17,3	11,3	7,5	5,3	4,17	3,6
2. Абсолютний обтиск, мм	11,3	6,0	3,8	2,2	1,13	0,67
3. Відносний обтиск, %	39,5	34,7	33,6	29,3	21,3	16,1
4. Швидкість прокатки, м/с:	1,46	2,24	3,36	4,73	6,06	7,23
5. Струм якоря двигуна, кА: при сталому процесі; при прокатці заднього кінця штаби	4,6-4,8 1,9-5,3	5,3-5,8 5,9-6,2	1,1-1,3 1,2-1,4	1,2-1,3 1,3-1,4	0,7-0,8 0,7-0,8	0,6-0,7 0,5-0,6
6. Потужність, що розвивається двигуном, кВт: при сталому процесі; при прокатці заднього кінця штаби	2730-2990 3050-3300	3470-3790 3860-4050	2980-3590 3280-3710	3340-3650 3710-4100	2150-2270 2270-2330	1670-1870 1610-1740
7. Момент на валу двигуна, кН×м: при сталому процесі; при прокатці заднього кінця штаби	77-84 86-93	100-109 111-116	98-118 108-122	110-120 122-135	71-75 75-77	50-56 48-52
8. Сумарний момент на валках, кН×м: при сталому процесі; при прокатці заднього кінця штаби	450-500 520-560	400-440 440-470	230-280 250-290	182-200 205-230	89-95 95-98	53-61 50-56
9. Зусилля прокатки, МН: при сталому процесі; при прокатці заднього кінця штаби	8,8-9,7 10,1-10,9	11,0-12,1 12,1-12,9	8,0-9,8 8,7-10,1	8,7-9,5 9,8-11,0	5,6-6,0 6,0-6,2	4,2-4,9 4,0-4,5

Таблиця 3.6 - Параметри прокатки штаб з прискоренням в чистових клітях НШСПІ 1680 плавки 0517200, марки 08кп з розмірами перетину 3,6×1200 мм (товщина підкату 28 мм), із слябів з розмірами перетину 165×1190×8500 мм.

Параметри прокатки	КЛІТЬ					
	№5	№6	№7	№8	№9	№10
1. Товщина штаби після кліті, мм *	<u>17,5</u> 17,1	<u>11,4</u> 11,2	<u>7,5</u> 7,4	<u>5,3</u> 5,2	<u>4,15</u> 4,04	3,6
2. Абсолютний обтиск, мм *	<u>11,1</u> 11,5	<u>6,1</u> 5,9	<u>3,9</u> 3,8	<u>2,2</u> 2,2	<u>1,15</u> 1,16	<u>0,65</u> 0,54
3. Відносний обтиск, % *	<u>38,8</u> 40,2	<u>34,8</u> 34,5	<u>34,2</u> 33,9	<u>29,3</u> 29,7	<u>21,7</u> 22,3	<u>15,7</u> 13,4
4. Швидкість прокатки, м/с: мінімальна максимальна	1,46 1,67-1,69	2,24 2,54-2,58	3,36 3,85-3,92	4,73 5,46-5,54	6,06 7,06-7,11	7,23 8,14-8,25
5. Струм якоря двигуна, кА: при початковій швидкості; при максимальній швидкості	4,6-4,8 5,9-6,2	5,9-6,1 7,1-7,4	1,15-1,20 1,30-1,35	1,1-1,2 1,2-1,3	0,75-0,80 0,8-0,9	0,55-0,60 0,50-0,52
6. Потужність розвиваєма двигуном, кВт: при початковій швидкості; при максимальній швидкості	2870-3000 3690-3880	3510-3630 4480-4670	3280-3460 4250-4750	3190-3430 4140-4270	2210-2400 2750-2840	1680-1750 1610-1700
7. Момент на валу двигуна, кН×м: при початковій швидкості; при максимальній швидкості	82-86 91-94	102-105 114-117	108-114 122-134	105-113 118-120	73-78 78-80	50-52 42-45
8. Сумарний момент на валках, кН×м: при початковій швидкості; при максимальній швидкості	490-520 550-570	410-420 460-470	250-270 290-320	173-188 197-200	92-100 100-103	53-56 42-46
9. Зусилля прокатки, МН: при початковій швидкості; при максимальній швидкості	9,7-10,3 10,6-11,0	11,3-11,6 12,7-13,0	8,8-9,4 10,1-11,2	8,3-9,0 9,4-9,5	5,8-6,3 6,3-6,5	4,2-4,5 3,4-3,7

* Чисельник - прокатка з початковою швидкістю; знаменник - прокатка з максимальною швидкістю.

Таблиця 3.7 Параметри прокатки штаб в чистових клітках НШСГП 1680 плавки 1017144, марки Зпс з розмірами перетину 3,0×1180 мм (товщина підкату 29 мм), із слябів з розмірами перетину 160×1170×8500 мм.

Параметри прокатки	КЛІТЬ					
	№5	№6	№7	№8	№9	№10
1. Товщина штаби після кліті, мм	18,1	10,8	6,9	4,7	3,49	3,0
2. Абсолютний обтиск, мм	10,4	7,3	3,9	2,2	1,21	0,49
3. Відносний обтиск, %	36,5	40,3	36,1	31,9	25,7	14,0
4. Швидкість прокатки, м/с:	1,42	2,38	3,74	5,48	7,35	8,56
5. Струм якоря двигуна, кА: при сталому процесі; при прокатці заднього кінця штаби	5,3-5,4 5,8-6,0	5,5-5,7 6,1-6,3	1,5-1,6 1,6-1,8	1,3-1,4 1,5	1,0-1,1 1,1-1,2	0,6 0,6-0,7
6. Потужність, що розвивається двигуном, кВт: при сталому процесі; при прокатці заднього кінця штаби	3400-3680 3920-4380	4020-4120 4460-4600	4780-5110 5110-5440	4610-4780 4960-5140	3340-3710 3710-3900	1970-2170 1770-1900
7. Момент на валу двигуна, кН×м: при сталому процесі; при прокатці заднього кінця штаби	98-106 113-126	110-113 122-126	145-155 155-165	130-135 140-145	90-100 100-105	50-55 45-48
8. Сумарний момент на валках, кН×м: при сталому процесі; при прокатці заднього кінця штаби	590-650 700-780	440-450 490-510	350-370 370-400	220-230 240-250	117-132 132-140	53-60 46-50
9. Зусилля прокатки, МН: при сталому процесі; при прокатці заднього кінця штаби	12,0-13,2 14,3-15,9	11,2-11,5 12,5-13,0	12,2-12,9 12,9-14,0	10,8-11,3 11,8-12,3	7,8-8,8 8,8-9,3	5,4-6,1 4,7-5,1

Таблиця 3.8 Параметри прокатки штаб з прискоренням в чистових клітях НШСГП 1680 плавки 1017144, марки Зпс з розмірами перетину 3,0×1180 мм (товщина підкату 29 мм), із слябів з розмірами перетину 160×1170×8500 мм.

Параметри прокатки	КЛІТЬ					
	№5	№6	№7	№8	№9	№10
1. Товщина штаби після кліті, мм *	<u>17,8</u> 17,5	<u>10,6</u> 10,7	<u>6,8</u> 7,0	<u>4,6</u> 4,7	<u>3,48</u> 3,52	3,0
2. Абсолютний обтиск, мм *	<u>10,7</u> 11,0	<u>7,2</u> 6,8	<u>3,8</u> 3,7	<u>2,2</u> 2,3	<u>1,12</u> 1,18	<u>0,48</u> 0,52
3. Відносний обтиск, % *	<u>37,5</u> 38,6	<u>40,4</u> 38,8	<u>35,8</u> 34,6	<u>32,3</u> 32,8	<u>24,3</u> 25,1	<u>13,8</u> 14,8
4. Швидкість прокатки, м/с: мінімальна максимальна	1,19 1,42-1,46	2,00 2,32-2,38	3,14 3,56-3,66	4,60 5,24-5,40	6,10 7,04-7,24	7,08 8,28-8,51
5. Струм якоря двигуна, кА: при початковій швидкості; при максимальній швидкості	5,5-5,7 5,8-5,9	5,1-5,3 5,5-5,7	1,5-1,6 1,7-1,8	1,3-1,4 1,5-1,6	0,9-1,0 1,1-1,2	0,6-0,7 0,5-0,6
6. Потужність розвиваєма двигуном, кВт: при початковій швидкості; при максимальній швидкості	3480-3600 4360-4560	3490-3630 4350-4620	4070-4220 5110-5690	3720-3860 4560-4870	2770-2920 3730-4200	1570-1610 1570-1630
7. Момент на валу двигуна, кН×м: при початковій швидкості; при максимальній швидкості	120-124 126-128	114-118 122-126	140-145 155-168	130-135 140-145	90-95 105-115	48-50 40-42
8. Сумарний момент на валках, кН×м: при початковій швидкості; при максимальній швидкості	746-774 780-800	460-480 490-510	340-350 370-410	220-230 240-250	117-125 140-154	50-53 39-42
9. Зусилля прокатки, МН: при початковій швидкості; при максимальній швидкості	14,9-15,5 15,6-16,0	11,8-12,3 12,6-13,1	11,9-12,3 13,0-14,4	11,0-11,5 12,0-12,5	7,8-8,3 9,3-10,3	5,1-5,4 4,0-4,3

* Чисельник - прокатка з початковою швидкістю; знаменник - прокатка з максимальною швидкістю.

Таблиця 3.9 Параметри прокатки штаб в чистових клітях НШСГП 1680 плавки 0171067, марки 08пс з розмірами перетину 2,5×1000 мм (товщина підкату 29 мм), із слябів з розмірами перетину 165×990×8500 мм.

Параметри прокатки	КЛІТЬ					
	№5	№6	№7	№8	№9	№10
1. Товщина штаби після кліті, мм	15,4	9,3	5,6	3,9	2,91	2,50
2. Абсолютний обтиск, мм	13,2	6,1	3,7	1,7	0,99	0,41
3. Відносний обтиск, %	46,1	39,6	39,8	30,3	25	14,1
4. Швидкість прокатки, м/с:	1,33	2,20	3,65	5,30	7,02	8,18
5. Струм якоря двигуна, кА: при сталому процесі; при прокатці заднього кінця штаби	3,9–4,0 4,8–5,2	4,1–4,6 5,2–7,1	5,6–5,8 6,9–7,4	7,1–7,2 7,7–7,9	5,4–5,6 5,7–5,8	2,1–2,2 1,7–1,9
6. Потужність, що розвивається двигуном, кВт: при сталому процесі; при прокатці заднього кінця штаби	2300–2480 2580–2710	3400–3540 3880–4020	3810–4000 4160–4360	3200–3470 3650–3790	1760–1870 1940–2010	1570–1730 1300–1460
7. Момент на валу двигуна, кН×м: при сталому процесі; при прокатці заднього кінця штаби	69–74 77–81	98–102 112–116	118–124 129–135	92–100 105–109	50–53 55–57	42–46 35–39
8. Сумарний момент на валках, кН×м: при сталому процесі; при прокатці заднього кінця штаби	400–430 470–500	390–410 450–470	280–290 310–320	150–160 170–180	58–63 66–69	42–47 33–38
9. Зусилля прокатки, МН: при сталому процесі; при прокатці заднього кінця штаби	7,2–7,8 8,–9,3	10,5–11,1 12,2–12,8	10,0–10,4 11,1–11,5	7,9–8,4 9,0–9,5	4,2–4,6 4,8–5,0	4,1–4,7 3,3–3,8

Таблиця 3.10 Параметри прокатки штаб з прискоренням в чистових клітях НШСГП 1680 плавки 0171067, марки 08пс з розмірами перетину 2,5×1000 мм (товщина підкату 29 мм), із слябів з розмірами перетину 165×990×8500 мм.

Параметри прокатки	КЛІТЬ					
	№5	№6	№7	№8	№9	№10
1. Товщина штаби після кліті, мм*	<u>15,4</u> 15,4	<u>9,3</u> 9,3	<u>5,6</u> 5,6	<u>3,9</u> 3,9	<u>2,91</u> 2,90	<u>2,50</u> 2,50
2. Абсолютний обтиск, мм*	<u>13,2</u> 13,2	<u>6,1</u> 6,1	<u>3,7</u> 3,7	<u>1,7</u> 1,7	<u>0,99</u> 1,00	<u>0,41</u> 0,40
3. Відносний обтиск, %*	<u>46,1</u> 46,1	<u>39,6</u> 39,6	<u>39,8</u> 39,8	<u>30,3</u> 30,3	<u>25,4</u> 25,6	<u>14,1</u> 13,8
4. Швидкість прокатки, м/с: мінімальна максимальна	1,33 1,48-1,51	2,20 2,45-2,50	3,65 4,07-4,15	5,30 5,95-6,00	7,02 7,90-8,00	8,18 9,12-9,30
5. Струм якоря двигуна, кА: при початковій швидкості; при максимальній швидкості	4,2–4,8 5,5–5,7	4,4-4,7 5,4-6,0	1,25-1,3 1,45-1,5	1,0-1,15 1,2-1,25	0,62-0,66 0,75-0,8	0,55 0,6
6. Потужність розвиваєма двигуном, кВт: при початковій швидкості; при максимальній швидкості	2270-2430 2950-3260	3330-3610 4400-4730	3910-4030 4750-5060	3060-3200 3980-4170	2000-2100 2410-2840	1390-1570 1840-1960
7. Момент на валу двигуна, кН×м: при початковій швидкості; при максимальній швидкості	68-72 82-88	96-104 114-120	121-125 132-138	88-92 102-106	57-60 65-71	37-42 44-46
8. Сумарний момент на валках, кН×м: при початковій швидкості; при максимальній швидкості	390-420 490-500	380-410 460-480	290-300 320-330	140-150 170-180	69-73 81-89	36-42 45-48
9. Зусилля прокатки, МН: при початковій швидкості; при максимальній швидкості	7,0-7,6 8,8-9,3	10,3-11,1 12,5-13,0	10,4-10,7 11,5-11,8	7,4-7,9 9,0-9,5	5,0-5,3 5,9-6,5	3,6-4,1 4,6-4,8

* Чисельник - прокатка з початковою швидкістю; знаменник - прокатка з максимальною швидкістю.

Таблиця 3.11 - Швидкісні режими прокатки штаб дослідних плавок в чистових клітях НШСГП 1680

Номер плавки	Розміри перетину штаби, мм	Режим прокатки	Швидкість прокатки (м/с) в кліті					
			№5	№6	№7	№8	№9	№10
1027174	3,8×1250	1	1,36	2,15	3,20	4,52	5,80	6,70
		2	<u>1,34</u> 1,48-1,71	<u>2,15</u> 2,46-2,86	<u>3,20</u> 3,56-4,13	<u>4,52</u> 5,08-5,89	<u>5,80</u> 6,43-7,45	<u>6,70</u> 7,67-8,95
0517200	3,6×1200	1	1,46	2,24	3,36	4,73	6,06	7,15
		2	<u>1,46</u> 1,67-1,69	<u>2,24</u> 2,54-2,58	<u>3,36</u> 3,85-3,92	<u>4,73</u> 5,46-5,54	<u>6,06</u> 7,06-7,11	<u>7,15</u> 8,10-8,24
1017144	3,0×1180	1	1,44	2,38	3,69	5,38	7,00	8,09
		2	<u>1,44</u> 1,62	<u>2,38</u> 2,68	<u>3,69</u> 4,16	<u>5,38</u> 6,07	<u>7,00</u> 7,99	<u>8,09</u> 8,45-9,0
0171067	2,5×1000	1	1,33	2,20	3,65	5,30	7,02	8,18
		2	<u>1,33</u> 1,48-1,51	<u>2,20</u> 2,45-2,50	<u>3,65</u> 4,07-4,15	<u>5,30</u> 5,95-6,00	<u>7,02</u> 7,90-8,00	<u>8,16</u> 8,96-9,40

Примітка: **Режим 1** - прокатка з постійною швидкістю в кожній кліті по довжині штаби (традиційна технологія).

Режим 2 - прокатка із прискоренням: чисельник - початкова (до збільшення) швидкість прокатки; знаменник - максимальна швидкість прокатки.

Таблиця 3.12 - Кінематичні параметри прокатки штаб дослідних плавок в чистових клітях НШСТП 1680

№ плавки	Розміри штаби, мм	Прокатка з постійною швидкістю		Прокатка з прискоренням				
		Швидкість прокатки, м/с	Машинний час, с	Початкова швидкість прокатки, м/с	Максимальна швидкість прокатки, м/с	Час розгону, с	Машинний час, с	Прискорення, м/с ²
0171067	2,5 x 1000	8,16	69,7-70,3	8,16	8,96-9,40	16,3-28,7	66,1-67,3	0,037-0,058
1017144	3,0 x 1180	8,09	57,3-58,9	8,09	8,45-9,0	19,8-22,4	54,2-55,3	0,048-0,052
0517200	3,6 x 1200	7,15	56,9-59,2	7,15	8,10-8,24	24,3-26,4	53,5-56,1	0,031-0,041
1027174	3,8 x 1250	6,67	53,4-56,7	6,70	7,67-8,95	37,1-39,8	48,8-51,4	0,029-0,049

для штаб товщиною менш 2,5мм - посилення впливу негативних факторів при прокатці штаб із подвійних слябів у відсутності спроможності підвищення швидкості прокатки вище 9,2м/с;

для штаб товщиною 4,0мм і вище - збільшення температури кінця прокатки понад величини, регламентованої технологічною інструкцією.

В межах кожної дослідної плавки розподіл обтиску по клітях чистової групи при прокатці із застосуванням традиційної технології і із прискоренням практично однакові або розрізняються дуже трохи. Найбільш відмічені відмінності у величинах обтиску в межах кожної з дослідних плавок склали:

для клітей № 5 і № 6 - 0,8 мм і 0,7 мм відповідно (прокатки штаби із розмірами перетину 3,8×1250 мм, плавка 1027174, таблиці 3.3 ; 3.4);

для кліті № 7 - 0,3 мм (прокатки штаби із розмірами перетину 2,5×1000 мм, плавка 0171067, таблиці 3.9 ; 3.10);

для кліті № 8 - 0,2 мм (прокатки штаби із розмірами перетину 3,8×1250 мм, плавка 1027174, таблиці 3.3; 3.4);

для кліті № 9 - 0,03 мм (прокатки штаби із розмірами перетину 3,6×1200 мм, плавка 0517200, таблиці 3.5; 3.6);

для кліті № 10 - 0,13 мм (прокатки штаби із розмірами перетину 3,6×1200 мм, плавка 0517200, таблиці 3.5; 3.6).

Із приведеного виходить, що при аналізі впливу прокатки із прискоренням на енергосилові параметри процесу і їх зміну в порівнянні з традиційною технологією вживані режими обтиску для більшості дослідних плавок можна вважати практично однаковими.

3.1.2 Кінематичні параметри

При прокатці штаб дослідних плавок в чистових клітях НШСГП 1680 приймалися слідуєчі швидкісні режими:

основна частка штаб кожної плавки прокатувалася із постійною швидкістю, величина якої відповідає прийнятій на НШСГП 1680 із урахуванням товщини штаби і конкретних технологічних умов виробництва;

прокатки останніх штаб кожної плавки велася із прискоренням, причому швидкість прокатки збільшували після виходу із кліті № 10 переднього кінця штаби завдовжки ~ 50м.

Регулювання швидкості двигунів при прокатці із прискоренням здійснювалося операторами посту управління чистової групи клітей.

Захват переднього кінця штаби моталкою виконувалося при синхронізації її швидкості із швидкістю руху штаби.

Збільшення швидкості при прокатці із прискоренням переміщалося при досягненні її значень величин близьких до тих, що гранично допускаються (9,2 м/с в кліті № 10) або при стабілізації температури кінця прокатки по довжині штаби.

При прокатці штаб ряду плавок швидкість прокатки до початку прискорення знижували в більшості випадків для того, щоб забезпечити достатній резерв її збільшення в режимі прокатки із прискоренням. Швидкісні режими прокатки штаб дослідних плавок приведені в таблиці 3.11.

Із приведених даних видно, що при прокатці із прискоренням штаб, більшості дослідних плавок спостерігаються різні значення максимальної швидкості прокатки для окремих штаб. Так, наприклад, при прокатці штаб із розмірами перетину $3,8 \times 1250$ мм максимальна швидкість прокатки змінювалася в межах 7,67 - 8,95м/с, а при прокатці із розмірами перетину $2,5 \times 1000$ мм - в межах 8,96 - 9,40м/с. Про це свідчать дані, приведені на мал. 3.1 і 3.2, що відносяться до прокатки штаб плавок 1027174 і 0171067 із розмірами перетину відповідно $3,8 \times 1250$ мм і $2,5 \times 1000$ мм (три штаби цих плавок прокатувалися із прискоренням).

Співвідношення максимальної і початкової швидкості при прокатці із прискоренням штаб досліджених плавок змінюється в межах 1,13 - 1,34.

Необхідно вказати також, що вихід на максимальну швидкість здійснювався за різний час шляхом поетапного збільшення швидкості прокатки при ручному, як вже мовилося раніше, управлінні. Оскільки збільшення швидкості до максимального значення здійснювалося в різних режимах за різний час, що видно із даних, приведених на мал. 3.2, для кожної штаби, прокатої із змінною швидкістю, можна визначити лише величину середнього прискорення зміни швидкості прокатки від початкової до максимальної.

В таблиці 3.12 представлені кінематичні параметри прокатки штаб дослідних плавок в чистових клітях НШСГП 1680. Із даних, приведених в таблиці, витікає, що при традиційній технології (прокатці із постійною швидкістю) швидкість прокатки зростає із зменшенням товщини прокатуємих штаб, що є загальноприйнятим для широкоштабових станів гарячої прокатки.

При прокатці із прискоренням початкова швидкість також загалом змінюється відповідно до описаного вище характеру. Наявні невідповідності цьому пояснюються зниженням початкової швидкості перед прокаткою із прискоренням для забезпечення резерву її збільшення в період розгону клітей чистової групи (див. табл. 3.12).

Зміни тривалості (машинного часу) прокатки штаб однієї плавки пояснюються наступним:

при прокатці з постійною швидкістю - розрізняють довжиною підкату;

при прокатці із прискоренням - тим же, а також відмінностями у величинах прискорення і тривалості розгону.

Загалом коливання машинного часу в межах дослідних плавок при вживанні різних технологій складають: при прокатці із постійною швидкістю 1,0-3,1с; при прокатці із прискоренням - 0,4 - 2,4с.

Тривалість часу розгону при прокатці із прискоренням для штаб різних плавок змінюється в широких межах: від 16,3 - 28,7с до 37,1 – 39,8с для штаб із розмірами перетину 3,8×1250мм і 2,5×1000мм відповідно.

Величина прискорення для штаб всіх плавок, крім двох, змінюється в межах плавки трохи ($0,01 - 0,03\text{м/с}^2$). При прокатці штаб із розмірами перетину $2,5 \times 1000\text{мм}$ (плавка 0171067) величина прискорення складає $0,037 - 0,058 \text{ м/с}^2$, а штаб із розмірами $3,8 \times 1250\text{мм}$ (плавка 1027174) - $0,029 - 0,049\text{м/с}^2$. Останній приведений діапазон охоплює всі відмічені при виконанні експериментальних досліджень величини прискорення.

Тут слід відзначити, що для практично всіх прокатаних дослідних штаб вибір режиму прискорення обумовлений лише суб'єктивним чинником.

Зіставлення машинного часу прокатки із постійною швидкістю і прискоренням показало, що практично у всіх випадках машинний час при прокатці із прискоренням менше. Також можна відзначити, що практично завжди максимальне значення машинного часу при прокатці із прискоренням менше мінімального його значення в межах кожної дослідної плавки.

Ще раз підкреслимо, що при прокатці штаб із підкату зразково однакової довжини при прокатці із прискоренням машинний час в більшості досліджених випадків при заданих режимах прискорення на 2 - 4с менше, ніж при прокатці штаб із постійною швидкістю. Вказане, свідчить про наявність деякого резерву для підвищення продуктивності НШСГП 1680 при вживанні прокатки із прискоренням штаб певної частини сортаменту. Необхідними умовами для цього є заміна приводних двигунів клітей № 5 і № 6 на нові двигуни змінного струму і оснащення чистової групи клітей системою автоматичного регулювання натягу, що забезпечує автоматичне управління швидкісним режимом прокатки.

3.1.3. Енергосилові параметри

Виконані дослідження і аналіз навантажень, діючих в клітях чистової групи при прокатці із прискоренням штаб дослідженого сортаменту із подвійних слябів товщиною 160 - 168 мм, показали наступне. Найбільші

навантаження при прокатці із прискоренням відмічених штаб наступних розмірів перетину:

- у кліті № 5 і № 7 - $3,0 \times 1180$ мм сталі 3пс (плавка 1017144, табл. 3.8);
- у кліті № 8 - $3,8 \times 1250$ мм сталі 1кп (плавка 1027174, табл. 3.4) і $3,0 \times 1180$ мм сталі 3пс (плавка 1017144, табл. 3.8);
- у кліті №10 - $3,8 \times 1250$ мм сталі 1кп (плавка 1027174, табл. 3.4) і $3,0 \times 1180$ мм сталі 3пс (плавка 1017144, табл. 3.8).

Приведені вище дані відповідають прокатці заднього кінця штаб на відмічених плавках після виходу на режим прокатки з максимальною швидкістю. Найбільші значення енергосилових параметрів в цей період прокатки (чисельник) в зіставленні із мінімальними значеннями, відповідними сталому процесу прокатки до початку розгону (знаменник), склали (див. табл. 3.13).

Зріст навантажень по довжині штаб при прокатці із прискоренням обумовлено двома чинниками: збільшенням затрачаємої потужності двигунів при переході на вищий рівень швидкості і певним зниженням температури металу по довжині прокатуємих штаб і деяким підвищенням текучості при більшій швидкості деформації. Якщо не враховувати вплив інших факторів на збільшення потужності на валу двигунів при прокатці із прискоренням, її ріст повинний бути прямо пропорційний збільшенню швидкості від її початкового до максимального значення. При цьому якщо інші визначальні енергосилові параметри прокатки чинники є незмінними, значення моментів на валу двигунів, моментів, що підводяться до валків, і зусиль прокатки в робочих клітках не повинні змінитися. Оскільки при прокатці із прискоренням все ж таки відбувається зниження температури металу по довжині штаби (помітно менше порівняно з прокаткою з постійною швидкістю), це викликає не лише ще більше збільшення потужності, що розвивається двигунами, але і ріст моментів і зусиль при прокатці.

Таблиця 3.13 - Параметри прокатки досліджувальних штаб з прискоренням в чистових клітках

Параметри прокатки	№ клітей					
	5	6	7	8	9	10
Потужність двигуна, кВт	<u>4560</u> 3600	<u>5500</u> 4490	<u>5690</u> 4220	<u>5730</u> 3520	<u>4580</u> 3210	<u>2890</u> 1700
Момент на валу двигуна, кН·м	<u>133</u> 116	<u>142</u> <u>133</u>	<u>168</u> 145	<u>153</u> 138	<u>120</u> 95	<u>70</u> 55
Сумарний момент на валках, кН·М	<u>830</u> 720	<u>580</u> 540	<u>410</u> 350	<u>260</u> 230	<u>161</u> 125	<u>79</u> 59
Зусилля прокатки, МН	<u>16,0</u> 15,5	<u>15,9</u> 14,8	<u>14,4</u> 12,3	<u>13,3</u> 11,8	<u>11,0</u> 8,6	<u>6,7</u> 6,1

Отримані дані про фактичні навантаження при прокатці штаб дослідних плавок (див. табл. 3.3 - 3.10) свідчать про те, що при сталому процесі прокатки із постійною швидкістю (традиційна технологія) значення потужності, що розвиваються приводними двигунами, у всіх випадках не досягають номінального значення. Максимальне значення потужності складає 5440 кВт і відмічене при прокатці в кліті №7 заднього кінця штаби з розмірами перетину 3,0×1180 мм (плавка 1017144, табл. 3.7), що складає 0,78 від її номінального значення потужності двигуна (7000 кВт).

При прокатці із прискоренням штаб тієї ж плавки відмічена максимальна потужність на ділянці штаби, примикаючої до її заднього кінця, складає 5690 кВт, що також нижче за номінальне значення (табл. 3.8). Перевищення потужності на валу двигуна її номінального значення мало місце в кліті № 7 при прокатці в таких же умовах заднього кінця штаби з розмірами перетину 2,5×1000 мм (плавка 0171067, табл. 3.10). В цьому випадку розвиваєма потужність становить 5060 кВт, на 10% перевищила її номінальне значення.

При проведенні досліджень найбільші значення струму якоря приводних двигунів відмічені при прокатці із прискоренням штаб наступних розмірів

перетину і плавок (відповідно при прокатці із початковою швидкістю і при прокатці заднього кінця штаби на максимальній швидкості):

- у кліті №5, №8 і №9 - $2,5 \times 1000$ мм сталі 08пс (плавка 0171067, табл. 3.10);

- у кліті № 6, № 7 - $3,0 \times 1180$ мм сталі 3пс (плавка 1017144, табл. 3.8);

- у кліті №10 - $3,8 \times 1250$ мм сталі 1кп (плавка 1027174, табл. 3.4).

Найбільші значення струму якоря приводних двигунів складають (чисельник - прокатки з максимальною швидкістю ділянки штаби, що примикає до заднього кінця; знаменник - прокатка при сталому процесі з початковою швидкістю) приведені в табл. 3.14:

Таблиця 3.14 - Значення струму якоря двигунів чистових клітей досліджуваних штаб

Параметр прокатки	№ кліті					
	5	6	7	8	9	10
Струм якоря двигуна, кА	$\frac{7,8}{6,0}$	$\frac{8,2}{7,1}$	$\frac{1,8}{1,6}$	$\frac{1,7}{1,4}$	$\frac{1,3}{1,1}$	$\frac{0,8}{0,65}$

Максимальні значення струму якоря в клітях №5 і №6 складають $(1,11-1,16) I_n$, що значно нижче за допустиме перевантаження, що становить $2,0 I_n$.

Найбільші величини моментів на валу двигунів при прокатці із прискоренням відмічені, так і при вживанні традиційної технології, при прокатці хвостової частини штаб в клітях №6, №7 і №8 і складають відповідно 142, 168 і 153 кН·м. При цьому перевантаження двигуна в кліті №6 по моменту, склала $1,01 M_n$ (номінальний момент $M_n = 140$ кН·м) є допустимою, а максимальні діючі моменти в клітях №7 і №8 нижчі за номінальне значення (197 кН·м при базовій швидкості двигуна 340 об/мин).

Відповідно до розрахунків НКМЗ і виконаних раніше досліджень максимальний сумарний момент, що підводиться до валків, за умов міцності

їх трєфїв і з урахуванням нерівномірнього розподїлу моменту мїж валками не повинен перевищувати 640 кН·м. Аналіз навантажень, діючих в лініях приводу валків чистових клїтей, показав, що найбільшї величини моментів, що перевищують допустимї значення за умов мїцності, відмїчені в клїті №5 при прокатці окремих штаб із прискоренням, так і при традиційних швидкісних режимах прокатки. Цї величини складають при прокатці із прискоренням (відповідно при сталому процесї з початковою швидкістю і при максимальній швидкості) штаб наступних розмірів перетину і плавок:

3,8×1250 мм (плавка 1027174, табл. 3.4) - 640 і 680 кН·м;

3,0×1180 мм (плавка 1017144, табл. 3.8) - 774 і 800 кН·м.

При прокатці із застосуванням традиційних швидкісних режимів максимальнї значення моментів на валках при сталому процесї і прокатці заднього кінця для штаб вказаних плавок відповідно склали:

3,8×1250 мм (плавка 1027174, табл. 3.3) - 600 і 690 кН·м;

3,0×1180 мм (плавка 1017144, табл. 3.8) - 650 і 780 кН·м;

Аналіз експериментальних даних, що відносяться до умов прокатки штаб із відмїчених вище значень моментів, що підводяться до валків клїті №5, показує наступне. При прокатці штаб плавки 1027174 із розмірами перетину 3,8×1250мм із застосуванням традиційних швидкісних режимів середня температура по довжині підкату за клїттю №4 в деяких випадках складала 1080 - 1091°С (штаби №1 - №5), а температура заднього кінця штаб №1 і №5 на виході з чорнової групи була 1055 - 1060°С. Температура заднього кінця підкату за клїттю №4 для штаб №14 і №15 (згодом прокатаних із прискоренням) складала 1060°С при середній температурі по довжині підкату відповідно 1087 і 1100°С вказані дані приведено на рис. 3.1. При прокатці штаб цієї плавки найбільше значення температури підкату відмїчалось в середній по довжині його частині.

На рис. 3.2-3.5 приведені дані про температуру підкату за клїттю №4 при прокатці штаб з розмірами перетину 2,5×1000мм плавки 171067.

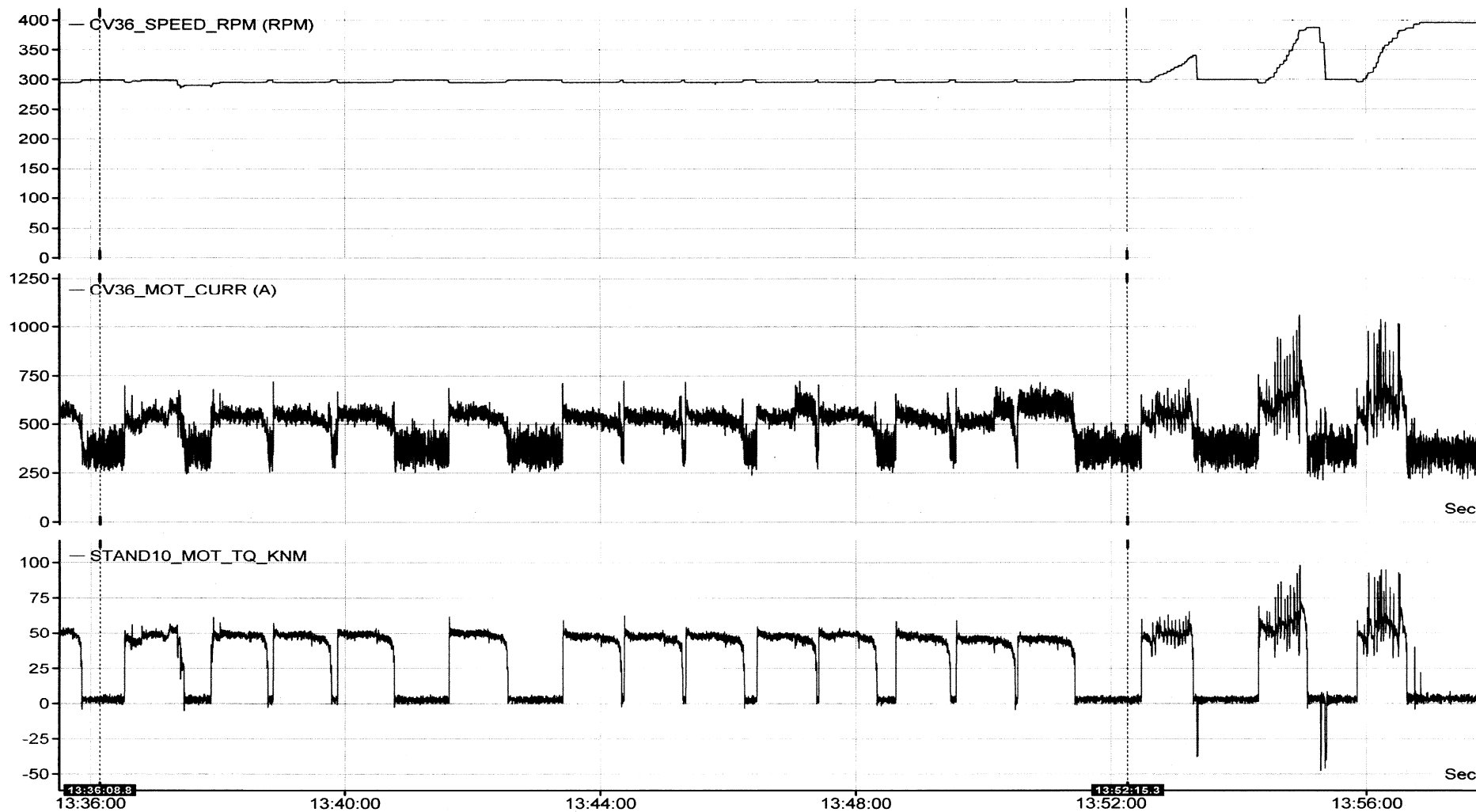


Рисунок 3.1- Параметри прокатки в кліті №10 штаби з розмірами перетину 3,8×1250

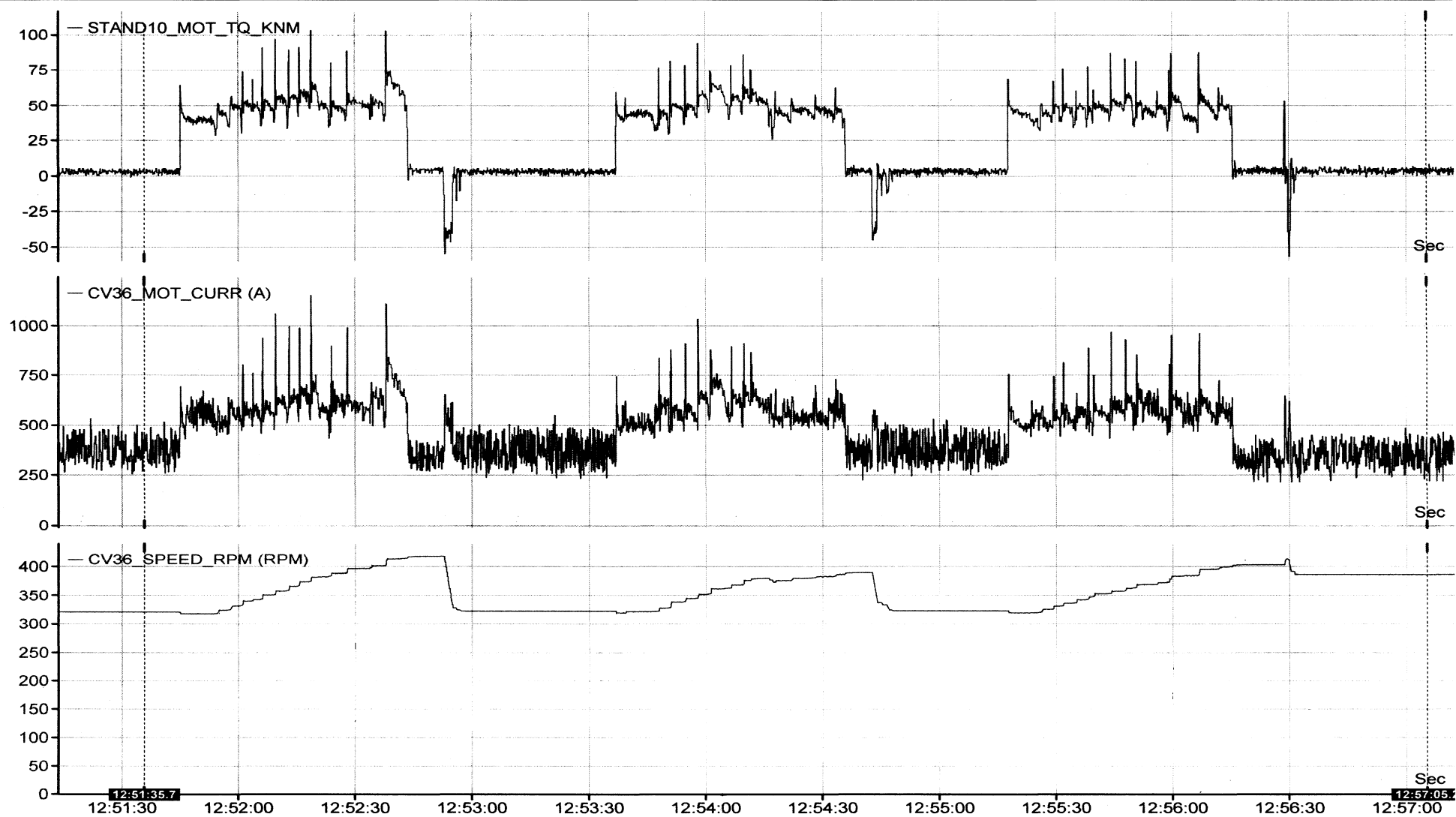


Рисунок 3.2 - Параметри прокатки в кліті №10 штаби з розмірами перетину 2,5×1000

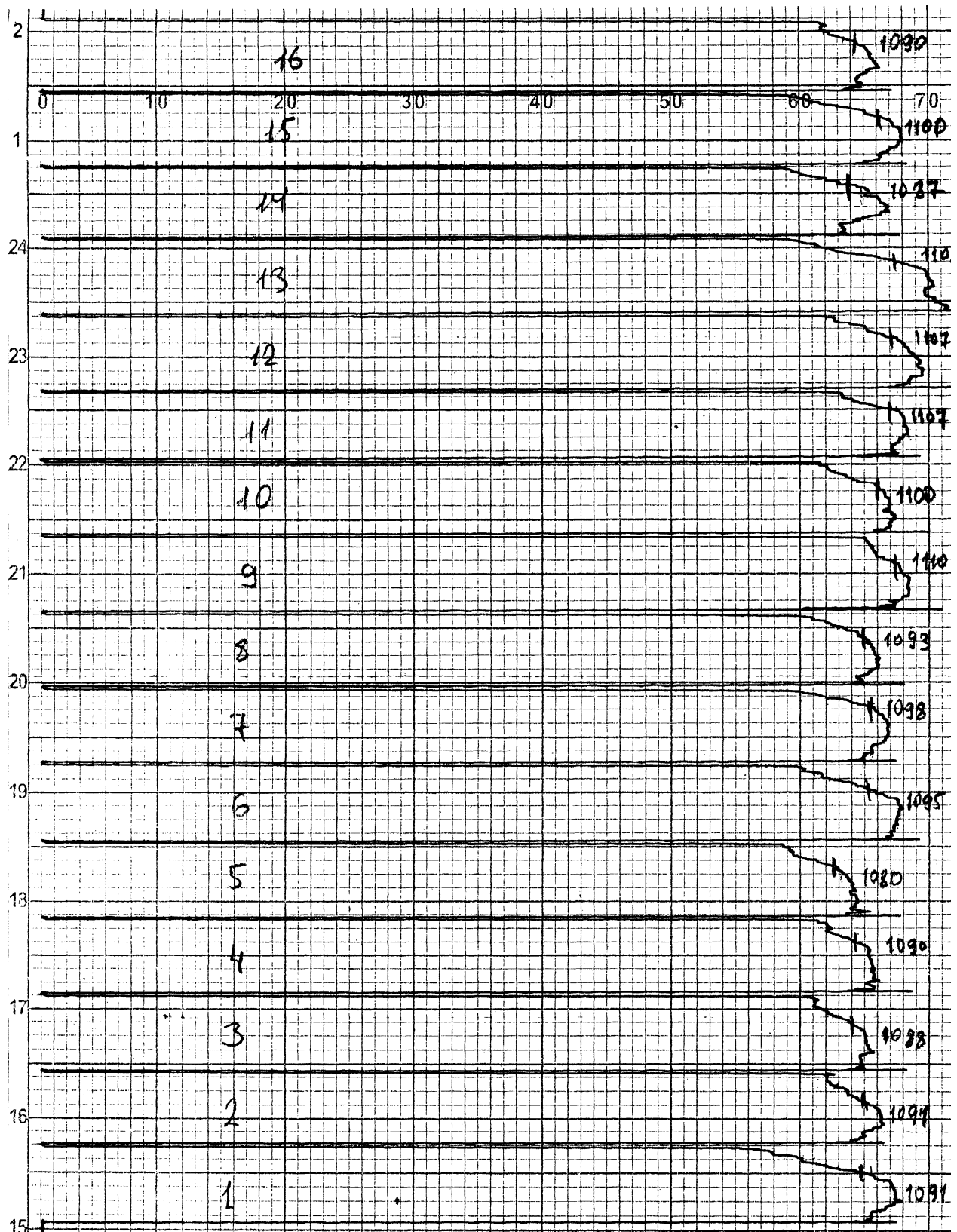


Рисунок 3.3 - Зміна температури металу по довжині розкату за кліттю № 4 (плавка № 1027174, марка 1кп)

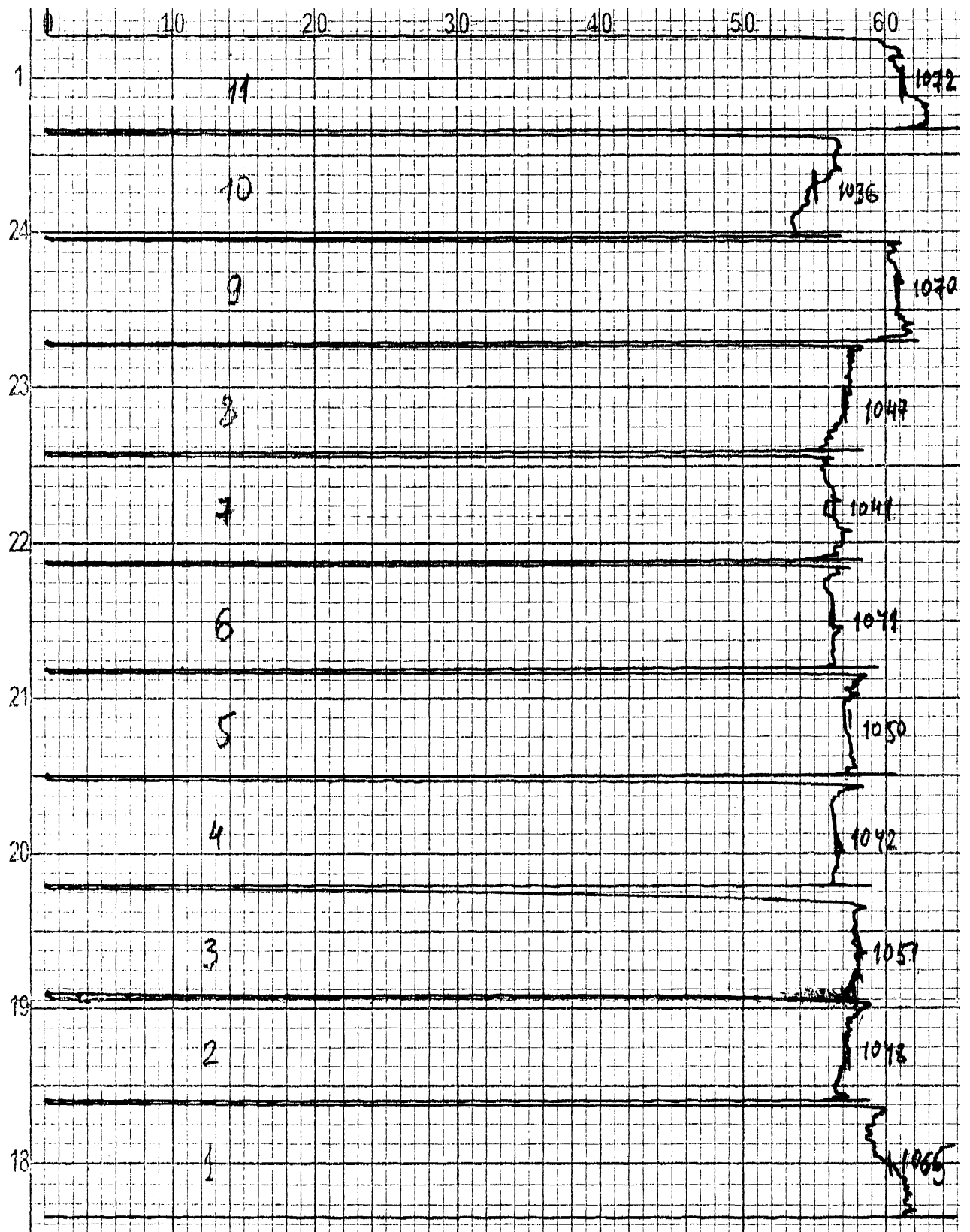


Рисунок 3.4 - Зміна температури металу по довжині розкату за кліттю № 4
(плавка № 1017144, марка Зпс)

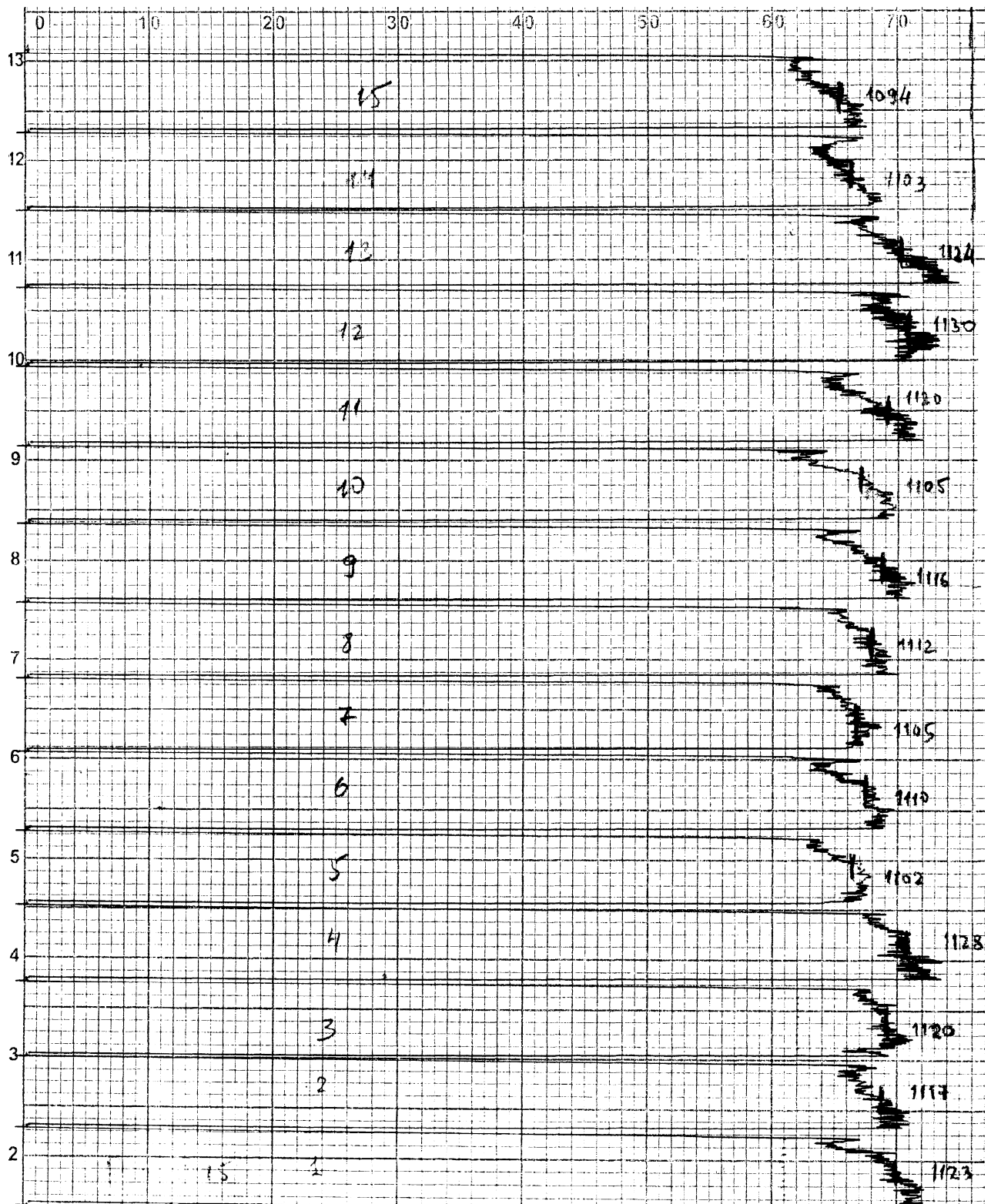


Рисунок 3.5 - Зміна температури металу по довжині розкату за кліттю №4 (плавка № 0171067, марка 08пс)

Представлені дані свідчать про те, що середня температура по довжині підкату для більшості штаб, прокатаних із застосуванням традиційних режимів (№1-№8), була нижче регламентованої і складала 1041 - 1051°C. Мінімальна температура заднього кінця підкату складала 1038 - 1040°C при прокатці штаб №6 і №7. При прокатці штаби №10 (прокатаної в чистових клітях із прискоренням) середня по довжині температура підкату була 1036°C, а температура його заднього кінця дещо вища - 1043°C.

Слід відзначити, що температура підкату для штаб №1 - №8 в більшості випадків (за винятком штаби №1) змінюється по довжині в невеликих межах, трохи зменшуючись або збільшуючись. Більш виражені зміни по довжині температури підкату спостерігалися при прокатці штаб №10 і №11, причому в цих випадках градієнти температури мали різні знаки.

При прокатці штаб плавки 171067 з розмірами перетину $2,5 \times 1000$ мм температура підкату за кліттю № 4 відповідала регламентованому діапазону (1060-1120°C), в деяких випадках перевищуючи її: середня по довжині підкату температура змінювалася в межах 1094 - 1125°C при мінімальній відміченій температурі заднього кінця 1075°C (штаби №10 і №15), що видно з рис. 3.3. В цьому випадку суттєве перевищення допустимого значення моменту, що підводиться до валків, обумовлено величиною обтиску в кліті №5, яка становить 12,7-13,0мм (див. табл. 3.9, 3.10), що на 2,7 - 4,1мм вище, ніж в раніше аналізованих випадках прокатки штаб плавок 1027174 і 1017144.

Таким чином, можна зробити висновок, що на відмічених випадках прокатки, коли значення моменту, що підводиться до валків, в 1,06 - 1,29 рази перевищує допустимі величини їх міцності, пояснюються зниженою температурою металу, особливо заднього кінця підкату і штаби, і значними обтисками в кліті №5. Температурний запас міцності, прийнятий при розрахунку допустимих навантажень валків, забезпечив їх міцність при відмічених величинах моменту, проте для запобігання поломкам валків необхідне виконання, зокрема наступних умов:

- відповідність температури підкату як середньої, так і мінімальної по довжині, регламентованим значенням;
- обмеження обтиску в кліті №5 при прокатці штаб шириною ≥ 1200 мм величиною 12,0 мм.

При прокатці штаб дослідних плавок в решті чистових клітей значення моментів, що підводяться до валків, не перевищують тих, що допускаються.

При прокатці із прискоренням зусилля прокатки досягають максимальних величин в клітях № 5, № 6, № 7 і складають відповідно 16,0, 15,9 і 14,4 МН, що менше допустимої величини з урахуванням втомних напруг, рівній 19,8 МН. Приведені величини зусиль відносяться до прокатки із прискоренням після досягнення максимальної швидкості. Відзначимо також, що найбільше зусилля деформації при проведенні досліджень, рівне 16,0 МН, спостерігалось при прокатці в кліті № 5 штаби з розмірами перетину $3,0 \times 1180$ мм плавки 1017144. Це зусилля також нижче допустимого значення (рис. 3.6 -3.7).

3.2. Температурні режими прокатки та змотування гарячекатаних штаб

При прокатці на НШСГП 1680 температура металу реєструється стаціонарними пірометрами, встановленими перед станом, за клітями №4 і №10, перед моталками. Дослідження температурних режимів при прямій прокатці слябів на НШСГП 1680, які були зроблені раніше, дозволили поглибити існуючі уявлення про процеси формування подовжньої різнотовщинності, структури і властивостей прокатуемого металу при практичній відсутності на стані технічних засобів, що дозволяють зменшити їх нерівномірність по довжині прокатуємих штаб.

Крім цього, температурні умови деформації є чинником, що багато в чому визначають навантаження, діючі на устаткування робочих клітей.

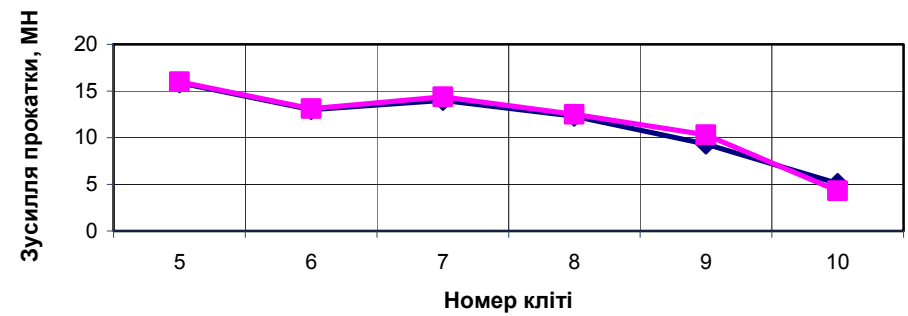
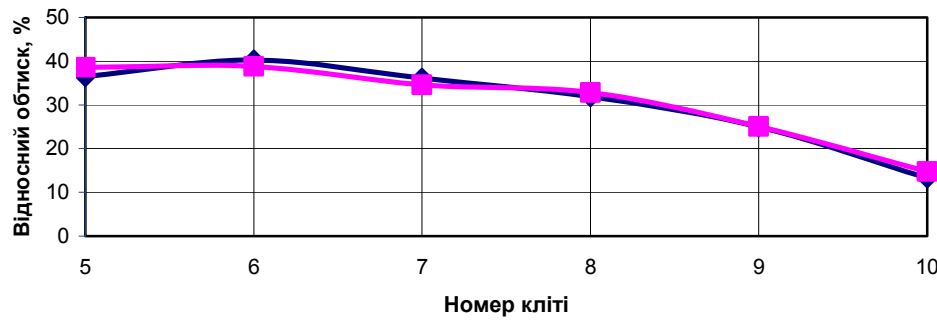
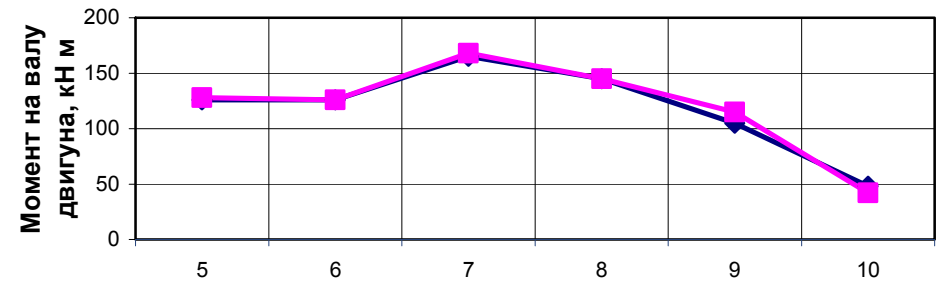
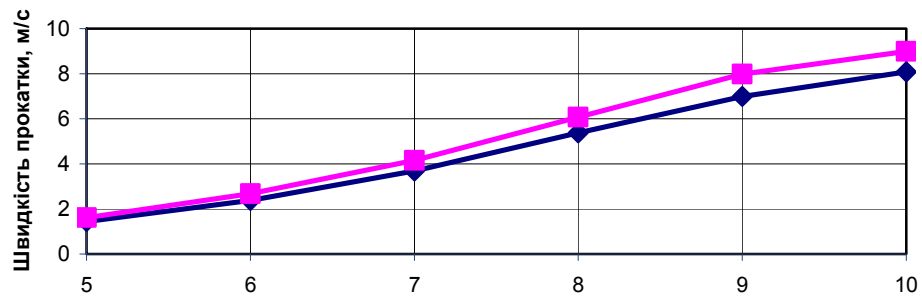
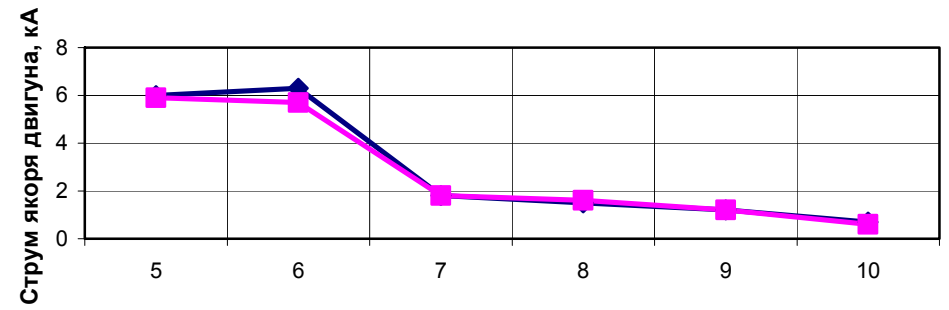
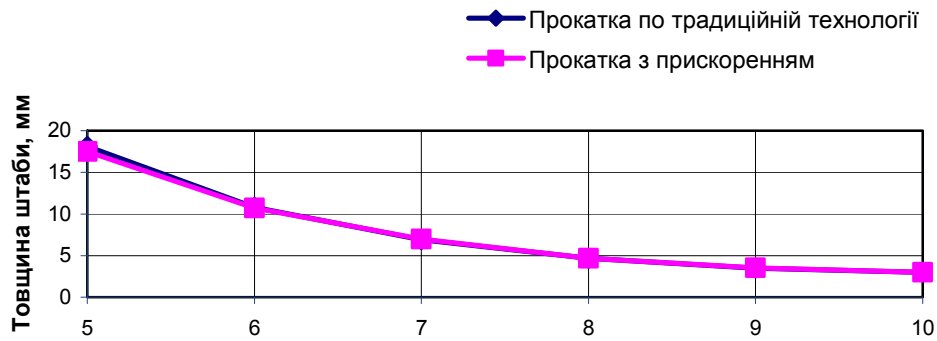


Рисунок 3.6 – Енергосилові і деформаційні параметри прокатки штаби 3,0 x 1180 мм, Ст 3 пс

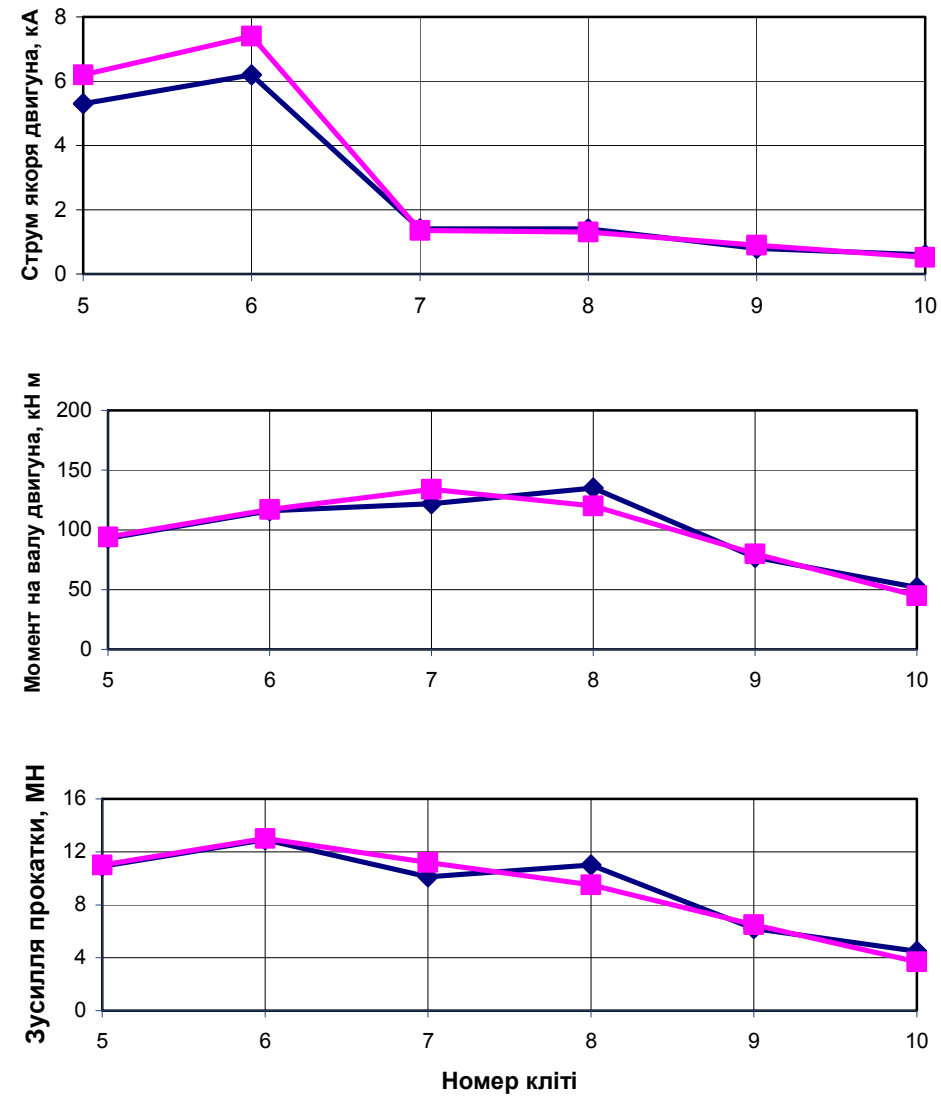
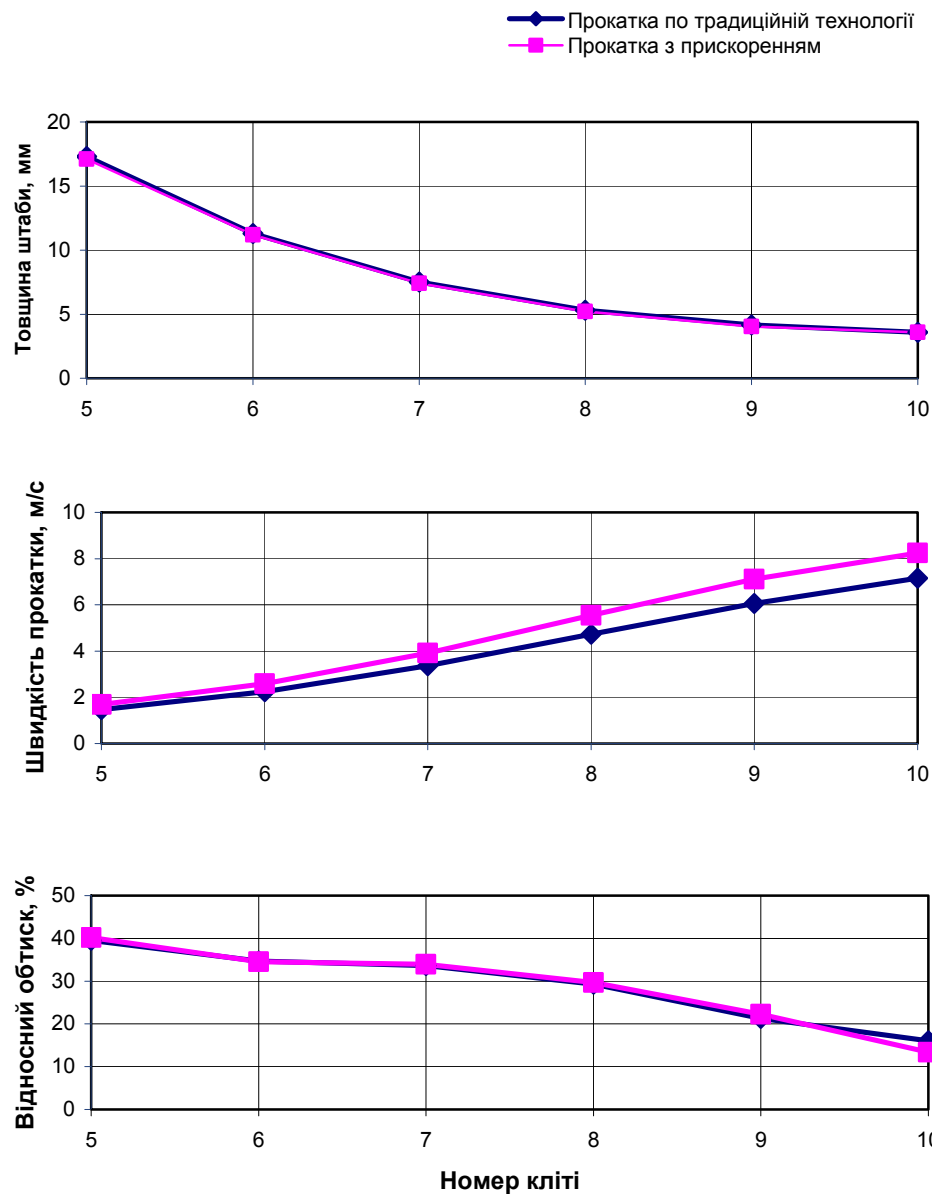


Рисунок 3.7 – Енергосилові і деформаційні параметри прокатки штаби 3,6 x 1200 мм, Ст. 08 кп

Прокатка із прискоренням, що передбачає збільшення швидкості по довжині прокатуємих штаб, скорочує тривалість перебування металу в чистовій групі клітей, що повинне змінити величину і нерівномірність розподілу його температури по довжині на виході з кліті №10.

Температурні умови прокатки і змотування на НШСГП 1680 штаб дослідженого сортаменту із застосуванням традиційних швидкісних режимів і прокатки із прискоренням приведені в табл. 3.15. Приведені температури представляють величини, усереднені по довжині прокатуємих штаб.

Аналіз отриманих даних свідчить про те, що для більшості слябів досліджених плавок середня по довжині температура їх поверхні перед кліттю дуо складає 1072 - 1121°C при загальній зміні температури в межах 1070 - 1145°C. Вказане загалом відповідає даним, отриманим раніше в дослідженні.

Дані про температуру металу за кліттю №4(див. табл. 3.15), свідчать про те, що в більшості досліджених випадків вказана температура відповідала регламентованій (1040 - 1120°C), при цьому, крім прокатки слябів плавки 0171067, відмічається приблизно однаковий рівень температури слябів, прокатаних із застосуванням різних технологій, представлених режимами 1 і 2. Для слябів плавки 0171067 відмічений більш нижчий (на 12 - 17°C) рівень температури розкату за кліттю №4 при прокатці із прискоренням.

При прокатці деяких слябів плавки 1017144 температура металу за кліттю №4 була нижче регламентованої (див. рис. 3.4, 3.5), що привело до появи навантажень, діючих в лінії приводу валків кліті №5, перевищуючих допустимі, про що мовилося раніше в пункті 3.1.3.

Нагадаємо, що в табл. 3.15 приведені середні по довжині підкату і штаби значення температури металу на ділянках технологічного контролю. Фактична зміна температури по довжині розкату за кліттю №4 в більшості випадків досягає 15 - 30°C і більш, причому для різних плавки ця зміна має якісно різний характер.

Таблиця 3.15 - Температурно - швидкісні режими прокатки і змотування штаб дослідних плавок

Номер плавки, марка сталі	Розміри перетину сляба, мм	Розміри перетину штаби, мм	Режим прокатки	Швидкість, м/с	Температура сляба перед кліттю ДУО, °С	Температура розкату за кліттю №4, °С	Температура кінця прокатки, °С		Температура змотування, °С	
							фактична	по ТІ	фактична	по ТІ
0171067 08пс	168 x 990	2,5x1000	1	8,16	1103 – 1115	1070 – 1105	840 – 867	840 -	610 – 627	без охолодж.
			2	8,96 – 9.40	1088 - 1110	1085 - 1102	851 - 872	880	619 - 636	
1017144 3пс	160x1170	3,0 x1180	1	8,10	1077 – 1121	1060 – 1121	872 – 884	860 -	560 – 573	580 - 590
			2	8,45 – 9,00	1099 - 1116	1086 - 1108	878 – 891	900	578 - 582	
0517200 08кп	165x 1190	3,6 x1200	1	7,15	1072 – 1094	1040 – 1058	877 – 881	870 -	585 – 615	580 - 620
			2	8,10-8,24	1081 - 1098	1059 - 1065	883 - 898	900	591 - 618	
1027174 1кп	160x1245	3,8x1250	1	6,67	1083 – 1100	1080 – 1106	870 – 886	870 -	611 – 640	без охолодж.
			2	7,67 – 8,95	1090 - 1101	1098 - 1100	883 – 905	910	625 - 647	

Примітка. **Режим 1**- прокатка з постійною швидкістю в кожній кліті по довжині штаби (традиційна технологія).

Режим 2 – прокатка із прискоренням.

В більшості випадків при прокатці слябів дослідних плавок великі значення температури відмічені в середній по довжині частині підкату, а температура переднього і, особливо, заднього кінця менше на величину до 15 - 30°C і більше (наприклад, плавки 1027174, 1017144 і інші). При прокатці слябів плавки 0171067, а також деяких слябів плавки 1027174, 1017144 температура розкату за кліттю № 4 монотонно знижується на величину до 27-30°C від переднього кінця до заднього.

При прокатці слябів плавки 0517200 відмічена більш низька температура в середній по довжині частині, при цьому загальна зміна температури по довжині дещо менше і складає в першому випадку 10 - 22°C, а в другому для більшості слябів не перевищує 8 - 10°C. Загалом отримані дані відповідають ранішим результатам, відзначеним при дослідженнях прокатки подвійних слябів товщиною 160 - 165 мм.

Середня по довжині штаби температура кінця прокатки загалом відповідає регламентованим значенням. В ряді випадків відмічені штаби (найчастіше їх число не перевищує однієї-трьох від загальної кількості в плавці), середня по довжині температура яких дещо менше (див. табл. 3.15, плавка 1017144), або більше (плавка 0171067) регламентованого діапазона, при цьому невідповідність температур не перевищує 10°C. Велика частка штаб плавки 0517200 мала середню по довжині температуру кінця прокатки менше регламентованої на 5 - 14°C, що, напевно, обумовлено умовами нагріву зливків в нагрівальних колодязях.

Для більшості досліджених плавки характерним є дещо більший (на 10 - 20°C) рівень середньої по довжині температури кінця прокатки для штаб, прокатаних із прискоренням. Це відмічено для штаб плавки 1027174, 0517200 і інших, при прокатці яких із прискоренням початкова швидкість відповідала робочій швидкості при прокатці із застосуванням традиційної технології. У випадках, коли початкову швидкість при прокатці із прискоренням знижували (наприклад, при прокатці штаб плавки 1017144, 0171067) середня

температура була дещо нижче на величину до 10 - 15°C, або відповідала прокатці штаб за звичайною технологією.

Таблиця 3.16 - Зміна температури кінця прокатки по довжині штаби.

Номер плавки	Марка сталі	Розміри перетину штаби, мм	Різниця температури кінця прокатки по довжині штаб, °C	
			при звичайній технології прокатки	при прокатці з прискоренням
0171067	08пс	2,5×1000	36 - 41	18 – 23
1017144	3пс	3,0×1180	25 - 40	20 – 24
0517200	08кп	3,6×1200	24 - 45	11 – 20
1027174	1кп	3,8×1250	29 - 47	7 – 18

Як і у виконаних раніше дослідженнях, відмічається суттєва нестабільність температури змотування по довжині прокатаних штаб. Для більшості штаб досліджених плавок температура середньої по довжині частини штаби суттєво нижче за температуру її кінців (особливо заднього). При цьому середня по довжині температура змотування дещо вища (на 15 - 30 °C) у штаб, прокатаних із прискоренням. Так, при змотуванні штаб плавки 1027174 з розмірами перетину 3,8×1250 мм, прокатаних із застосуванням традиційної технології середня температура змотування (без охолодження) змінювалася в межах 611 - 640°C, а при прокатці із прискоренням – 625 - 647°C; при змотуванні штаб плавки 0171067 з розмірами перетину 2,5×1000 мм - відповідно 610 - 627°C і 619 - 636°C.

Так само як і раніше, відмічені істотні коливання температури змотування по довжині штаб, досягаючи 113 - 140°C при змотуванні штаб 0517200 з розмірами перетину 3,6×1200 мм. В той же час, при змотуванні штаб плавки 1017144 з розмірами перетину 3,0×1180мм коливання температури по довжині штаб не перевищували 39 - 46°C.

Якщо не враховувати температурні умови змотування перших штаб дослідних плавок, прокатаних за традиційною технологією і із прискоренням,

частіше всього суттєво відмінних від умов змотування інших штаб, то можна відмітити дещо на менші коливання температури змотування по довжині штаб, прокатаних із прискоренням. Так, вихід за межі регламентованого діапазону температур змотування (в % від довжини штаби) при традиційній технології і при прокатці із прискоренням складає відповідно:

для штаб плавки 0517200 з розмірами перетину $3,6 \times 1200$ мм - 35,0 - 66,9% і 31,9 - 40,7%;

для штаб плавки 1017144 з розмірами перетину $3,0 \times 1180$ мм - 4,1 - 12,5% і 1,3 - 6,7%;

для штаб плавки 0171067 з розмірами перетину $2,5 \times 1000$ мм - 43,4 - 65,7% і 12,6 - 45,7%.

На підставі отриманих результатів експериментальних досліджень можна зробити висновок, що прокатка із прискоренням стабілізує температурні умови прокатки і змотування гарячекатаних штаб. Впровадження цієї технології із застосуванням раціональних режимів деформації і оптимізації умов виробництва дозволить понизити коливання температури кінця прокатки і змотування по довжині і в межах партії (плавки) штаб, що сприятиме підвищенню однорідності структури і рівномірності властивостей прокатуємого металу.

3.3. Висновки до розділу 3

Аналіз навантажень, діючих в лініях приводу валків чистових клітей, показав, що найбільші величини моментів, що перевищують допустимі значення за умов міцності, відмічені в кліті № 7 при прокатці окремих штаб із прискоренням, так і при традиційних швидкісних режимах прокатки. Тому треба обмежити обтиск в кліті № 7 при прокатці штаб шириною ≥ 1200 мм і товщиною 12,0 мм. На підставі отриманих результатів експериментальних досліджень можна зробити висновок, що прокатка із прискоренням стабілізує температурні умови прокатки і змотування гарячекатаних штаб.

Впровадження цієї технології із застосуванням раціональних режимів деформації і оптимізації умов виробництва дозволить понизити коливання температури кінця прокатки і змотування по довжині і в межах партії (плавки) штабт з 60 до 25 °С.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1. Аналіз потенційно небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища

Цех гарячої прокатки металу у своєму составі має ділянки з різними шкідливими умовами праці. Одним з основних ділянок цеху є стан гарячої прокатки, на якому роблять гарячу обробку металу тиском. Стан гарячої прокатки також має безліч ділянок: пічна, чорнова і чистова група клітей, хвостова частина.

Технологічний процес на НШСГП 1680 механізований і автоматизований, операції з металом здійснюються без особистої участі обслуговуючого персоналу.

На виробництві застосовуються наступні технічні засоби забезпечення безпеки праці: огорожувальні пристрої, що створюють перешкоду між людиною і небезпечним фактором, що надійно охороняють працюючого незалежно від правильності або не правильності його дій; запобіжні пристрої на випадок аварійних режимів – відключення устаткування при порушенні контрольованого параметра (температури, тиску, переміщення, величини струму або напруги, зусилля); гальмові пристрої для швидкої зупинки частин, що рухаються, машин і устаткування; блокувальні пристрої, що забезпечують фіксацію частин механізму в певному стані; сигналізація перед наступаючою або небезпекою, що наступила (світлова, звукова, кольорова і знакова). Велике значення має правильний розподіл функції між людиною і машиною для зменшення ваги праці.

До основних небезпечних і шкідливих факторів у цеху гарячої прокатки ставляться [22-24]:

- інфрачервоне випромінювання гарячого металу, під впливом якого робітник проводить 83,3% усього робочого часу і яке при даних роботах впливає на органи зору людини (300 - 4000 Вт/м);

- шкідливі хімічні речовини такі як: ангідрид хромовий, оксид марганцю, акролеїн, сірководень, оксид вуглецю і мінеральні масла, які протягом 83,3% робітника часу впливають на внутрішні органи людини;

- пил, що виділяється при вигорянні оксиду металу. Пил є одним з основних шкідливих факторів, які протягом 91,4% робітника часу впливають на слизову оболонку органів подиху, що приводять к захворюванням.

Оцінка факторів виробничого середовища наведена в таблиці 5.1.

Для зменшення впливу інфрачервоного випромінювання на органи зору робітників раціонально використати світлові екрани (фільтри), які безпосередньо встановлюються на постах чорнової і чистової групи, де оператори і вальцювальники візуально контролюють процес прокатки.

З таблиці 4.1 видно, що робота операторів, вальцювальників відноситься до робіт зі шкідливими і небезпечними умовами праці. Відповідно до гігієнічної класифікації умов праці вальцювальник має право на пільгових умовах на: пенсію по старості на пільгових умовах за списком №1; додаткова відпустка 24 дня; надбавка до зарплати 24%, молоко. Ст. 141 КЗОТ містить загальні вказівки про порядок видачі за рахунок підприємства спецодягу і запобіжних пристосувань (окуляри, маски, респіратори, мило і т.п.) всім працюючої на особливо шкідливих роботах з перебуванням у ненормальній температурі.

Таблиця 4.1 – Оцінка факторів виробничого і трудового процесу вальцювальника

№ п/п	Фактори виробничого середовища і трудового процесу	Нормал. значення	Факт. значення	3 класи шкідливих і небезпечних умов праці			Час дії фактора за зміну, %
				I ст.	II ст.	III ст.	
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Шкідливі хімічні речовини, мг/м ³ : <u>I клас небезпеки</u> Ангідрид хромовий Оксид марганцю <u>II клас небезпеки</u> Акролеїн <u>III-IV клас небезпеки</u> Ангідрид сірчистий Вуглецю оксид	0,01 0,05 0,2 10 20	0,06 0,39 0,66 16,83 25			6,0 7,8 3,3	90 90 90 90 90
2.	Масла мінеральні Пил переважно фіброгенної дії, мг/м ³	5 4	6,78 26,3			6,6	90 90
3.	Вібрація (загальна й локальна), дБ						
4.	Шум, дБА	80	105			25	100
5.	Інфразвук, дБА						
6.	Ультразвук, дБА						

1	2	3	4	5	6	7	8
7.	<p>Неіонізуюче випромінювання:</p> <ul style="list-style-type: none"> - радіочастотний діапазон, В/м - діапазон промислової частоти, кв/м - оптичний діапазон (лазерне випромінювання), Вт/м³ 						
8.	<p>Мікроклімат у приміщенні:</p> <ul style="list-style-type: none"> - температура повітря, °С - швидкість руху повітря, м/с 	27	32,1		5,1		100
9.	<ul style="list-style-type: none"> - відносна вологість повітря,% - інфрачервоне випромінювання Вт/м² 	40 - 60	40				
10.	<p>Температура навколишнього повітря (під час роботи на відкритому повітрі), °С</p> <p>улітку</p> <p>узимку</p>	140	411		411		83
11.	<p>Атмосферний тиск</p> <p>Вага і напруженість праці</p>						

4.2. Розробка мір захисту від впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів

Перелік технічних і санітарно-гігієнічних мір захисту виробничої сфери і робочих місць наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Міри захисту від впливу небезпечних і шкідливих факторів

Небезпечний або шкідливий фактор	Захисний пристрій	Принцип дії і призначення	Місце установки
Підвищений рівень шуму	Звукоізолюючі кабінки і перегородки	Звукопоглинання і відбиття, ізоляція органів слуху	Біля джерел шуму, у приміщенні оператора
Паровиделення	Витяжна вентиляція	Примусовий механічний відсос пари, що утворилася	Над станом
Небезпечний рівень струму	Ізоляція і огороження струмоведучих частин; заземлення й блокування	Захист від дотику до струмоведучих частин, захист від дотику до металевих частин устаткування. Захист від високих рівнів струму	Навколо струмоведучих частин, біля корпусів електродвигуна
Рухливі механізми	Запобіжники плавкі, пускачі дистанційні Кожуха, сітки, запобіжні	Захист від зіткнення із частинами, що рухаються, і механізмами.	На панелях пульта керування

Метал що переміщається	пристрої Огородження і розмітка небезпечної зони. Знаки безпеки	Захист від травм під час руху й переміщення металу	На території небезпечної зони
------------------------	--	--	-------------------------------

4.3. Технічні рішення по виробничій санітарії

Площадка, на якій розташований прокатний цех, обрана з умов прямого влучення сонячних променів, природного провітрювання і відводу стічних і поверхневих вод.

Між житловою зоною і заводом передбачається санітарна зона, розміри якої залежать від потужності технологічного процесу, характеру і кількості шкідливих речовин, що виділяються у навколишнє середовище, шумів і інших шкідливих факторів. Міри, що зменшують їхній несприятливий впливи на навколишнє середовище (описані нижче) і які забезпечують дотримання вимог відносно шкідливих речовин в атмосферному повітрі населених пунктів, і робочій зоні приміщень.

Освітлення у цеху

У прокатному цеху застосовується природне і штучне освітлення. Природне освітлення забезпечується одночасно через світлові прорізи в бічних стінах і ліхтарі.

Згідно ДНБ В. 2.5-28-2006 "Природне і штучне освітлення" роботи, що виконуються персоналом при прокатці слябів, відносяться до 8 розряду зорових робіт. У приміщеннях цеху для освітлення застосовують, як правило, газорозрядні лампи. Типи світильників вибирають залежно від умов їхньої роботи і вимог до якості освітлення. Для загального освітлення застосовують

світильники «Альфа». У місцях підвищеної небезпеки, де освітленість при системі загального висвітлення становить 150 лк і менш, норму освітленості збільшують на 1 розряд [25].

У випадку виходу з ладу робочого освітлення використовують аварійне освітлення, що забезпечує можливість продовження роботи або евакуації персоналу. У прокатному цеху установка аварійного освітлення обов'язкова на пості керування прокатним станом; пунктах керування системами водопостачання, вентиляції і каналізації, у машинному залі і диспетчерському пункті.

Найменша освітленість робочих поверхонь потребуючі обслуговування при аварійних режимах становить 5% освітленості, нормованої для загального робочого освітлення, але не менш 2лк. Аварійне освітлення для евакуації персоналу, проходів і сходів не менш 0,5лк.

Для виробничих приміщень, у яких проводяться точні роботи, установлені три розряди з мінімальними нормами при комбінованому висвітленні лампами накаливання: I розряд – для робіт, що вимагають розрізнення деталей розміром 0,1мм і менш - 400 –1500лк; II розряд – для робіт потребуюче розрізнення деталей розміром більше 0,1 до 0,3мм - 300 – 1000лк; III розряд – для робіт потребуючого розрізнення деталей розміром більше 0,3 до 1мм - 200 – 500лк; IV розряд – для робіт малої точності, що вимагають розрізнення деталей розміром від 1,0 до 10мм - 100 –150лк; V розряд – для грубих робіт потребуючого розрізнення деталей розміром більше 10мм – 100лк [23].

Мікроклімат

Для обігріву цеху в зимову пору року уздовж стін на ділянках, де працюють люди, установлене водяне опалення. Для перемішування повітря встановлені калорифери типу СТД-300. Вони розташовані так, щоб від них струміль примусової подачі повітря сквзала уздовж прольоту.

Для огороження припливу холодного повітря під час в'їзду і виїзду транспорту над воротами встановлені для створення завіси з теплого повітря. Всі обігрівальні установки забезпечують температуру повітря в приміщенні в межах 16-20 °С.

Вентиляція виробничих приміщень забезпечує потрібні гігієнічні якості повітря. У цеху спостерігається зайве теплове виділення від нагрітого металу, виділення пилю – незначне. Ділянка стана НШСГП 1680 ставиться до Іа групи: для забезпечення нормального повітрообміну в стінах цеху передбачені три ряди отворів для природної вентиляції [24]:

1ряд – на рівні 1,5м від підлоги;

2ряд – на рівні 4,5м від підлоги;

3ряд – на рівні 8,5м від підлоги.

Для видалення зайвого тепла і вентиляції, у прольоті стана передбачені витяжні ліхтарі. У літню пору для природної вентиляції використовуються також відкриті ворота. Але оскільки джерел тепла багато (нагрівальна піч, нагрітий метал і т.д.), те передбачена система приточної вентиляції.

4.4. Електробезпека

Вплив електричного струму на організм може викликати небезпечні для здоров'я наслідку і навіть привести до смерті. Небезпека збільшується тим, що наявність електричної напруги не може бути безпечно виявлена за допомогою наших органів почуттів. Імовірність смертельного результату при поразках електричним струмом велика. Великий вплив робить зовнішнє середовище.

Становий проліт відповідно до вимог ПУЕ, ставиться до зони класу В-16 – це зона, розташовані в приміщеннях, у яких при нормальній експлуатації вибухонебезпечні суміші горючих газів або пар ЛВЖ із повітрям не утворюються, а можливі тільки в результаті аварій або несправностей.

Небезпека поразки електричним струмом виникає при експлуатації несправних електроустановок, порушенні ізоляції на силових і контрольних кабелях, електродвигунах, командоапаратах, кінцевих вимикачах .

Фактичне значення струму на ділянці $I = 5,9 \text{ A}$, напруги відповідно $U = 220\text{-}380 \text{ В}$.

Однієї з основних причин поразки електричним струмом є пробій ізоляції.

При ушкодженні ізоляції електроустаткування напруга може випадково з'явитися на металевих частинах (на корпусі, кожусі, станині: на броні кабелю і т.д.), які в нормальному положенні не перебувають. При сполученні з металевими конструкціями, які оказались під напругою, виникає небезпека поразки електричним струмом.

Нещасні випадки можливі також при впливі електричного струму через дугу; безпосереднім зіткненні з відкритими струмоведучими частинами і проводами: випадковому, не викликаному виробничою необхідністю, або вплив при помилковій подачі напруги під час ремонтів і оглядів; при дотику до металевих частин устаткування, які випадково оказались під напругою; при торканні струмоведучих частин за допомогою предметів з низьким опором ізоляції; при зіткненні з будівельними деталями конструкцією, які випадково оказались під напругою; при впливі крокових напруг і др.

Небезпека електричних поразок створює різноманітне устаткування: електричний привод (включаючи пускорегулюючу апаратури), електроустаткування під'їмо-транспортних пристроїв, електрифікований внутрішньозаводський транспорт, зварювальні апарати, високочастотні і освітлювальні установки, переносний інструмент і т.д.

Міри захисту від поразки електричним струмом

У цехах з підвищеною температурою повітря використовують наступні міри захисту від поразки електричним струмом:

а) захист від дотику до струмоведучих частин;

- б) захист від дотику до устаткування, яке випадково оказались під напругою;
- в) захист від струмів надмірної сили (короткого замикання).

У першому випадку застосовують огороження і ізоляцію струмоведучих частин, розміщення їх на недоступній висоті, використання зниженої напруги.

У другому випадку, найпоширенішому, конструктивно простій і дуже ефективним заходом захисту є заземлення. Захисні функції заземлюючого пристрою складаються в зниженні до безпечної величини напруги щодо землі на металевих частинах, які оказались випадково під напругою, що дозволяє усунути небезпека поразки дотику до них людини.

Приєднання корпусів і інших конструктивних металевих частин електроустаткування до заземлюючого нульового проведення; називається захисним зануленням. Ціль захисного занулення перетворити пробій на корпус у коротке замикання між фазним і нульовим проведеннями, викликати тим самим протікання великого струму через захист і швидко відключити ушкоджене встаткування від мережі.

Пристрій, що автоматично відключає електроустановку за час не більше 0,2 с, при виникненні в ній струмів великої сили, у тому числі з появою напруги на корпусі і інших металевих частинах, називається захисним відключенням.

При обслуговуванні електроустановок застосовують основні і допоміжні захисні засоби. До основного відносяться захисні засоби, ізоляція яких надійно витримує робочу напругу установки і при користуванні якими допускається безпосередній дотик до струмоведучих частин, що перебуває під напругою. До додаткового ставляться засоби захисту, що підсилюють дію основних засобів і які забезпечують безпеку при напрузі дотику і кроковій напрузі. До засобів індивідуального захисту відносяться: ізолююча штанга, що ізолюють кліщі, діелектричні боти, діелектричні рукавички, що ізолюють підставки і ін.

Вибір схеми мережі

Прокатний цех відноситься до приміщень із підвищеною небезпекою поразки людей електричним струмом. Тут діють такі шкідливі фактори виробничого середовища: висока температура повітря (перевищує 32°C) запиленість повітря (перевищує в 2,13 рази ГДК), струмопровідний пил, шум, інфрачервоне випромінювання. З огляду на, вищевикладене, зробимо вибір мережі і покажемо на розрахунках, що вона задовольняє умовам безпеки.

Схема мережі, а отже і режим нейтралі джерела струму, що живлять цю мережу, вибираються по технологічних вимогах, а також за умовами безпеки.

По технологічних вимогах і за умовами безпеки самої оптимальної є чотирьохпроводна мережа із глухозаземленою нейтраллю, тому що вона дозволяє використати дві робочі напруги – лінійну і фазну. Від чотирьохпроводної мережі 380 В можна житися як силове навантаження – трьохфазне або однофазну, включаючи її між фазними проводами на лінійну напругу 380 В, так і освітлювальну, включаючи її між фазним і нульовим проведеннями, тобто на фазну напругу 220 В. При цьому досягається значне здешевлення електроустановки в цілому завдяки застосуванню меншого числа трансформаторів і меншого перетину проводів [25].

4.5. Заходи щодо пожежної та техногенної безпеки

Приміщення цеху по ОНТП 24-86 відноситься до категорії «Г» по пожежобезпечності, це викликано тим, що в цеху має місце наявність пожежонебезпечних факторів, пов'язаних із застосуванням газових сумішей IV групи для опалення нагрівальних печей, а також із застосуванням його при порізі металу за допомогою переносних газоріжучих пристроїв, що змазують і гідравлічних рідин, які можуть при більших температурах запалюватися. Для гасіння виниклих пожеж передбачені пожежні щити,

розташовані протипожежні гідранти, поширені засоби індивідуального пожежогасіння, а також розроблені системи блокування поширення пожежі.

Для успішної евакуації людей і цінностей передбачені виходи припустимої довжини і ширини, розміри дверних прорізів, що забезпечують достатню пропускну здатність, необхідна число сходових кліток і пожежних сходів.

Необхідний ступінь вогнестійкості виробничих будинків промислових підприємств визначається СНіП 2.09.02-85 залежно від категорії виробництва, площі і висоти будинку. Стіни будинку зроблені з неспаленого матеріалу. Для забезпечення безпечної евакуації в будинку цеху розташовані евакуаційні виходи. У цеху застосовується пожежне водопостачання в якому витрата води на зовнішнє водопостачання 15 л/с.

Для гасіння пожеж у прокатному цеху застосовують тверді, рідкі і газоподібні речовини: вода, інертний газ, хімічну і повітряно-механічну піни, пісок.

У прокатному цеху, у цей час застосовуються і пінні вогнегасники типу ВХП-10; ВВП-5; ВВП-10, у кількості 10 штук, які розташовані на протипожежних стендах [22].

4.6. Висновки до розділу 4

У розділі охорони праці та техногена безпека були проаналізовані шкідливі і небезпечні фактори, що впливають на людину, і є присутніми у процесі прокатки в даному цеху, а також існуючої міри захисту від перерахованих вище факторів.

Проаналізовані основні фактори, що впливають на працездатність співробітників ОЦ, заходи для забезпечення безпеки їхньої діяльності, запропоновані заходи для: шумозниження і поліпшення зорових умов роботи; зниження небезпеки поразки електричним струмом.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Розглянуто температурно-швидкісні режими деформації на сучасних широкоштабових станах. Одним з основних чинників, що визначають якість гарячекатаної штабової сталі є температурно-швидкісний режим прокатки. Зокрема структура металу і його фізико-механічні властивості в значній мірі визначаються температурою кінця прокатки. Для отримання заданої структури і фізико-механічних властивостей штаби необхідно закінчувати прокатку при регламентованій температурі.

2. В роботі розглянуті відомі методики розрахунку напруження течії металу при прокатці на неперервному широкоштабовому стані гарячої прокатки. Встановлено, що для розрахунку напруження течії найбільш доцільно використовувати методику термомеханічних коефіцієнтів. Розрахунок визначення напруження течії металу σ_m , залежно від різних значень температури, ступеня і швидкості деформації. Практичний інтерес представляють моделі Л.В. Андреюка – Г.Г. Тюленєва і модель В.О. Ніколаєва. Такі моделі були розроблені для багатьох марок вуглецевих і легованих сталей, зокрема сталей спеціального призначення. Моделі працездатні в широкому діапазоні температур гарячої прокатки від 800 до 1300°C.

3. Проведено експериментальні дослідження технологічних параметрів прокатки із прискоренням в чистовій групі НШСГП 1680, що включало експериментальне визначення, розрахунок і аналіз деформаційних, кінематичних, енергосилових і температурних параметрів прокатки штаб із подвійних слябів товщиною 160 -165 мм. Зафіксовані режими деформації при прокатці штаб дослідних плавів в клітках чистової групи відповідають існуючим на НШСГП 1680 і відзначені при проведенні раніших досліджень прямої прокатки з використанням подвійних слябів. У всіх клітках, крім кліті № 5, величини обтиску змінювалися в невеликих межах у зв'язку з тим, що

діапазон товщин прокатаних дослідних штаб, що становить $2,5 \div 3,8$ мм, також був невеликий. Основна частка штаб кожної плавки прокатувалася із постійною швидкістю, величина якої відповідає прийнятій на НШСГП 1680 із урахуванням товщини штаби і конкретних технологічних умов виробництва. Прокатка останніх штаб кожної плавки велася із прискоренням, причому швидкість прокатки збільшували після виходу із кліті № 10 переднього кінця штаби завдовжки ~ 50 м. При прокатці штаб ряду плавко швидкість прокатки до початку прискорення знижували в більшості випадків для того, щоб забезпечити достатній резерв її збільшення в режимі прокатки із прискоренням. Ще раз підкреслимо, що при прокатці штаб із підкату зразково однакової довжини при прокатці із прискоренням машинний час в більшості досліджених випадків при заданих режимах прискорення від 4 – 9 % (2 – 4 с) менше, ніж при прокатці штаб із постійною швидкістю. Вказане, свідчить про наявність деякого резерву для підвищення продуктивності НШСГП 1680 при вживанні прокатки із прискоренням штаб певної частини сортаменту. Аналіз навантажень, діючих в лініях приводу валків чистових клітей, показав, що найбільші величини моментів, що перевищують допустимі значення за умов міцності, відмічені в кліті № 7 при прокатці окремих штаб із прискоренням, так і при традиційних швидкісних режимах прокатки. Тому треба обмежити обтиск в кліті № 7 при прокатці штаб шириною ≥ 1200 мм і товщиною 12,0 мм. На підставі отриманих результатів експериментальних досліджень можна зробити висновок, що прокатка із прискоренням стабілізує температурні умови прокатки і змотування гарячекатаних штаб. Впровадження цієї технології із застосуванням раціональних режимів деформації і оптимізації умов виробництва дозволить понизити коливання температури кінця прокатки і змотування по довжині і в межах партії (плавки) штабт з 60 до 25 °С.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Василев Я. Д., Мінаєв О. А.. Теорія поздовжньої прокатки : підручник. Донецьк : УНІТЕХ, 2009. 488 с.
2. Целиков А. И., Томлёнов А. Д., Зюзин В. И. и др. Теория прокатки : справочник. Москва : Металлургия, 1982. 335 с.
3. Ніколаєв В.О., Мазур В.Л. Виробництво плоского прокату. Запоріжжя : ЗДІА, 2010. 320 с.
4. Николаев В.А. Горячая прокатка листов и полос. – Запорожье : ЗГИА, 2013. 169 с.
5. Клименко П.Л. Упрочнение стали и цветных металлов при холодной и горячей деформации. Днепропетровск : Пороги, 2011. 187 с. ISBN 978-617-518-133-1.
6. Третьяков А.В., Зюзин В.И. Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением. Москва : Металлургия, 1973. 224 с.
7. Cook P.M. The real curves, stress rate of deformation for the steels by reduction. *The Institution of Mechanical Engineers*. 1957. P. 75-77.
8. Динник А.А. Истинные пределы текучести при горячей прокатке стали. Современные достижения прокатного производства : сб. трудов. Т.2. Ленинград : ЛПИ, 1959. С. 64-70.
9. Динник А.А. Истинные пределы текучести стали при горячей прокатке. Теория прокатки : сб. научн. трудов. Москва : Metallurgidat, 1962. С. 157-173.
10. Полухин П.И., Гун Г.Я., Галкин А.М.. Сопротивление пластической деформации металлов и сплавов : справочник. Москва : Металлургия, 1983. 350 с.
11. Тарновский И.Я., Поздеев А.А., Меандров Л.В. и др. Механические свойства стали при горячей обработке давлением. Свердловск : Metallurgizdat, 1960. 260 с.

12. Зюзин В.И., Бровман М.Я., Мельников А.Ф. Сопротивление деформации сталей при горячей прокатке. Москва : Металлургия, 1964. 270 с.
13. Надаи А. Пластичность и разрушение твердых тел. Москва : Мир. Т.2. 1969. 864 с.
14. Чекмарев А.П., Риднер З.А. Прокатное производство. Киев : Изд. АН УССР, 1957. Т.2. Вып. 2. С. 18-21.
15. Зюзин В.И. Определение сопротивления деформации сталей при горячей прокатке. Труды ВНИИМЕТМАШ. 1963. № 8. С. 38-73.
16. Зюзин В.И. Определение сопротивления деформации методом термомеханических коэффициентов. Труды ВНИИМЕТМАШ. 1963. № 8. С. 74-89.
17. Андреюк Л.В., Тюленев Г.Г., Прицкер Б.С. Аналитическая зависимость сопротивления деформации сталей и сплавов от химического состава. *Сталь*. 1972. №6. С.522-523.
18. Laasraoui A., Jonas J.J. Prediction of steel flow stresses at high temperature and strain rates. *Metall. Trans. A*. 1991. No. 22. P. 1545-1558.
- 19.. Moreira A., Junior J., Balancin O. Prediction of steel flow stresses under hot working conditions. *Materials Research*. 2005. Vol. 8, No. 3. P. 309-315.
20. Яковченко А.В., Пугач А.А., Ивлева Н.И. Анализ точности известных методов расчета напряжения течения металла в зависимости от химического состава стали. Вестник Приазовского государственного технического университета. 2011. № 2(23). С. 69-80.
21. Сафьян М.М. Прокатка широкополосной стали. Москва : Металлургия, 1969. 460 с.
22. Юдин Е.Я. Охрана труда в машиностроении : учебное пособие. Москва : Машиностроение, 1983. 432с.
23. Белов С.Б. Охрана окружающей среды : учебное пособие. Москва : Высшая школа, 1983. 264 с.

24. Вышинский В.В., Ленский Ю.Н., Комов И.Г. и др. Охрана труда в черной металлургии. Киев : Техника, 1986. 192 с.

25. Панасейко С.П., Тарасов В.К., Павленко Ю.П. Методические указания к выполнению раздела "Охрана труда" в дипломных проектах для студентов всех специальностей. Запорожье : Изд-во ЗГИА, 2002. 56 с.

Додаток А.

Публікації за темою кваліфікаційної роботи

Міністерство освіти і науки України
Запорізький національний університет
Інженерний інститут

МАТЕРІАЛИ

XXIV науково-технічної конференції
студентів, магістрантів, аспірантів,
молодих вчених та викладачів

*Металургія як основа сучасної
промисловості*

Том I

26-29 листопада 2019 р.

Запоріжжя
2019

Черняк С.С., магістрант гр. МЕТ-18-3мд
Белоконь Ю.О., доцент, канд. техн. наук - науковий керівник

ОСОБЛИВОСТІ ТЕЧІЇ ТА НАПРУЖЕНОГО СТАНУ МЕТАЛУ ПРИ ГАРЯЧІЙ ПРОКАТЦІ НИЗЬКОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ

Інженерний інститут Запорізького національного університету, кафедра ОМТ

Представлена модель температурного режиму прокатки низьколегованих сталей, що враховує температурно-швидкісні умови прокатки. Визначення зміни температури штаби проводилося для вказаних розрахункових перетинів при послідовному їх проходженні через робочі кліті чистової групи напівнеперервного широкоштабового стана гарячої прокатки 1680 (НШСГП 1680).

Аналіз отриманих моделей свідчить про те, що підвищення швидкості прокатки позитивно впливає на подовжню різнотовщинність штаби. У результаті цього можна зробити такі висновки, що на зниження подовжньої різнотовщинності впливає підвищення швидкості прокатки штаби (при прискоренні на $0,029 - 0,49 \text{ м/с}^2$). Крім того, також ліквідується зворотній температурний клин (тобто температура заднього кінця штаби перевищує температуру переднього), що компенсує відсутність натягу на задньому кінці штаби. Внаслідок цього виключається вплив натягу на перекручування поперечного профілю штаби у міжклітєвих проміжках, поліпшуються площинність (коробчастість або хвилястість); стабілізуються механічні і металографічні характеристики штаби, що забезпечують високу якість процесу штампування сталей, а отже і якісні показники [1-3].

На підставі отриманих результатів досліджень можна зробити висновок, що прокатка із прискоренням стабілізує температурні умови прокатки і змотування гарячекатаних штаб з низьколегованих марок сталей. Впровадження цієї технології із застосуванням раціональних режимів деформації та оптимізації умов виробництва дозволить понизити коливання температури кінця прокатки та змотування по довжині і в межах партії (плавки) штаб з температурою 60 до 25 °С.

Література

1. Василев Я.Д., Мінаєв О.А. Теорія подовжньої прокатки : підручник. Донецьк : УНІТЕХ, 2009. 488 с.
2. Гарбер Э.А., Кожевникова И.А. Теория прокатки : учеб. для студентов вузов. Череповец : ЧГУ; Москва : Теплотехник, 2013. 306 с. ISBN 978-5-85341-517-1.
3. Целиков А.И., Никитин Г.С., Рокотян С.Е. Теория продольной прокатки. Москва : Металлургия, 1980. 320 с.

Пушнич Ю.О., магістрант гр. МЕТ-18-3мз
Явтушенко О.В., доцент, док. техн. наук - науковий керівник

ТЕХНОЛОГІЧНІ ТА КОНСТРУКТИВНІ МЕТОДИ ЗНИЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ЗУСИЛЛЯ ПРИ РОЗПОДІЛЬНИХ ОПЕРАЦІЯХ ЛИСТОВОГО ШТАМПУВАННЯ

Інженерний інститут Запорізького національного університету, кафедра ОМТ

Розділові операції листового штампування характеризуються несприятливим силовим режимом пластичного деформування. При виконанні операції поділу інструментом з

	Дослідження та вдосконалення технології прокатування штаб на неперервному стані горячого прокатування 1680 в умовах ПАТ «ЗАПОРІЖСТАЛЬ» з метою підвищення якості продукції	
42	Бондаренко О.О., магістр гр. МЕТ-18-3 мз, Бондаренко Ю.В., доц., канд. техн. наук Оцінка впливу фізико-механічних властивостей та геометричних параметрів матеріалів на якість правки листового прокату	39
43	Дворецький В.М., магістр гр. МЕТ-18-3 мз, Бондаренко Ю.В., доц., канд. техн. наук Аналіз впливу напружень та деформацій в елементах пресового обладнання	40
44	Сабіров В.Г., магістрант гр. МЕТ-18-3мд, Белоконь Ю.О., доцент, канд. техн. наук Отримання пористих структур інтерметалідних Ni-Al сплавів методом термохімічного пресування	41
45	Черняк С.С., магістрант гр. МЕТ-18-3мд, Белоконь Ю.О., доцент, канд. техн. наук Особливості течії та напруженого стану металу при гарячій прокатці низьколегованих сталей	42
46	Пушич Ю.О., магістрант гр. МЕТ-18-3мз, Явтушенко О.В., доцент, док. техн. наук Технологічні та конструктивні методи зниження технологічного зусилля при розподільних операціях листового штампування	42
47	Кустря Є.І., магістрант гр. МЕТ-18-3мд, Кругляк Д.О., доцент, канд. техн. наук Аналіз експлуатаційних умов роботи обвідних роликів на станах холодної прокатки	43
48	Кідалов В.С., магістрант гр. МЕТ-18-3мд, Кругляк Д.О., доцент, канд. техн. наук Удосконалення процесу прокатки на реверсивних станах	44
49	Соловійова Д.В., магістрант гр. МЕТ-18-3мд, Кругляк Д.О., доцент, канд. техн. наук Аналіз якості холоднокатних штаб після дресування зі змащуванням та без змащування	45
50	Гудіна К.А., магістр гр. 8.1369-ОМТ, Лавров М.В., ст. гр. ОТ-16-1/9, Проценко В.М., доцент, канд. техн. наук Розрахунок оптимальної продуктивності неперервного стана холодної прокатки в залежності від швидкості прокатки і маси рулону штаби, що прокатується	47
51	Хомицький А.С., ст. гр. МБ-18мз, Шевченко І.А., доцент, канд. техн. наук Вдосконалення процесу подрібнення матеріалів в молоткових дробарках	48
52	Стрельцов Д.О., ст. гр. МБ-18мз, Шевченко І.А., доцент, канд. техн. наук Вибір та обґрунтування розрахункових схем шоківих дробарок	48
53	Сумін М.А., ст. гр. МБ-18мз, Шевченко І.А., доцент, канд. техн. наук Теоретичний аналіз процесу дроблення крихких матеріалів в одновалковій дробарці	49
54	Німаніхін С.В., ст. гр. МБ-18мз, Шевченко І.А., доцент, канд. техн. наук Знос та відновлення елементів роторних дробарок	50
55	Смородін В. Р., ст. гр. 8.1339, Шевченко І.А., доцент, канд. техн. наук Зміна властивостей об'єкту обробки в умовах знакозмінних навантажень	51
56	Стрельцов Д.О., ст. гр. МБ-18мз, Шевченко І.А., доцент, канд. техн. наук Взаємозв'язок гранулометричних характеристик матеріалів і теорій дроблення	52
57	Сумін М.А., ст. гр. МБ-18мз, Шевченко І.А., доцент, канд. техн. наук Вплив коефіцієнта тертя в одновалковій дробарці на мінімальний розмір зазору для захоплення матеріалу	53
58	Хомицький А.С.(1), ст. гр. МБ-18мз, Кобрін Ю.Г.(2), аспірант кафедри МАМВ Необхідність дроблення матеріалів в молоткових дробарках	54
59	Німаніхін С.В.(1), ст. гр. МБ-18мз, Кобрін Ю.Г.(2), аспірант кафедри МАМВ Огляд конструкцій роторних дробарок	55
60	Онопрійко І.А., ст. гр. 8.1339, Шевченко І.А., доцент, канд. техн. наук Методи аналітичної інтерпретації процесу подрібнення	56
61	Сосновський В.М., ст. гр. МБ-18-1мд, Таратута К.В., доцент, канд. техн. наук Визначення навантажувальної здатності вузлів та деталей приводу стана холодної прокатки	57

Науково-дослідна частина
Наукове товариство студентів,
аспірантів, докторантів і молодих вчених

ЗБІРНИК
наукових праць студентів,
аспірантів і молодих вчених

«МОЛОДА НАУКА-2019»

Том V

«Секції Криворізького факультету ЗНУ»
«Секції Інженерного інститут ЗНУ»

Запоріжжя
2019

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ГАРЯЧОЇ ПРОКАТКИ ШТАБ З ПРИСКОРЕННЯМ В ЧИСТОВІЙ ГРУПІ КЛІТЕЙ НШСГП 1680

Вдосконалення температурно-швидкісних режимів деформації є однією з важливих умов, що забезпечує найбільш повне використання виробничих потужностей сучасних агрегатів і поліпшення якості гарячекатаних штаб.

Істотне підвищення продуктивності безперервних станів гарячої прокатки може бути повною мірою реалізовано при дотриманні умов одержання на них штаб заданих властивостей і розмірів. Одним з основних факторів, що впливає на якість гарячекатаної штабової сталі, є температурний режим прокатки. Зокрема структура металу і його фізико-механічні властивості в значній мірі визначаються температурою кінця прокатки. Для одержання регламентованої структури і фізико-механічних властивостей штаби необхідно закінчувати прокатку при температурі, що відповідає області однофазного аустенітного стану металу.

Підвищення температури кінця прокатки на 25-30 °С призводить до зменшення розміру зерна фериту на чотири бали, а границю текучості - на 20%. Стабілізація температури кінця прокатки по довжині штаби за рахунок розгону чистової групи клітей призводить до практично рівномірного розподілу розмірів зерна фериту по довжині рулону. Численними дослідженнями рекомендується обмежити діапазон необхідних температур кінця прокатки для маловуглецевих сталей в межах 860-900°С. Експериментально отримані залежності границі текучості від температури кінця прокатки дозволили визначити межі її зміни, в яких матеріал штаби, призначений для глибокої витяжки, має оптимальні фізико-механічні властивості: при температурі кінця прокатки 860°С величині відхилення допустимої границі текучості 13-15 МПа (1,3 - 1,5 кг/мм²), межа зміни температури кінця прокатки складає ± (13-16 С) і ± (11-14°С). Відомо, що температура кінця прокатки істотно залежить від швидкісного режиму роботи стану. При прокатці на постійній швидкості відбувається спад температури кінця прокатки від переднього до заднього кінця штаби внаслідок визначеного перепаду температур по довжині підкату на вході в чистову групу клітей. Більш низький перепад температур по довжині штаб, що прокатуються на стані гарячої прокатки НШСГП 1680 комбінату ПАТ «Запоріжсталь», (25-27°С), пов'язаний з їх малою довжиною. При збільшенні швидкості прокатки скорочується час перебування металу в чистовій групі, і, внаслідок цього, зменшуються втрати тепла за рахунок випромінювання і конвенції в міжклітинних проміжках і при контакті з робочими валками. Крім того, збільшення швидкості прокатки сприяє підвищеному тепловиділенню в результаті пластичної формозміни за рахунок росту опору деформації металу, що прокатується.

Лукошніков Андрій	<i>ПРО ПІДГОТОВКУ ТИТАНОВОЇ СТРУЖКИ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ЕЛЕКТРОЛІТИЧНИХ ПОРОШКІВ ТИТАНУ</i>	98
Олефіренко Владислав	<i>АНАЛІЗ КОНЦЕНТРАЦІЇ НАПРУЖЕНЬ СТУПІНЧАСТИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ДЕТАЛЕЙ МЕТАЛУРГІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ</i>	100
Пенкін Артур	<i>ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ЗМІЦНЕННЯ НИЗЬКОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ ПРИ ХОЛОДНІЙ ПРОКАТЦІ ШТАБ</i>	102
Прохорова Анастасія	<i>ОСОБЛИВОСТІ ВИРОБНИЦТВА ПОРИСТИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ ВУГЛЕЦЮ ДЛЯ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОЇ ТЕХНІКИ</i>	103
Пушич Юлія	<i>ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ РОБОТО ТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ ЛИСТОВОГО ШТАМПУВАННЯ</i>	105
Сабіров Віктор	<i>НАПРУЖЕННЯ ТЕЧІЇ МЕТАЛУ ПРИ ГАРЯЧІЙ ПРОКАТЦІ НИЗЬКОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ</i>	106
Сердюк Д.М., Заїченко В.О.	<i>ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСВОЄННЯ ЕЛЕМЕНТІВ В ПРОЦЕСІ ВЕЛР</i>	107
Сільчук Ольга	<i>ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ГАРЯЧОЇ ПРОКАТКИ ВИСОКОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ</i>	108
Соловйова Дар'я	<i>ОСОБЛИВОСТІ ДЕФОРМАЦІЇ НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВИХ МАРОК СТАЛЕЙ НА СТАНАХ ХОЛОДНОЇ ПРОКАТКИ</i>	109
Сумін Микита	<i>ОСОБЛИВОСТІ МЕХАНІКИ РУЙНУВАННЯ ТВЕРДИХ МАТЕРІАЛІВ</i>	110
Сьобко Андрій	<i>АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ГАЙОК ГВИНТОВОЇ ПАРИ НАТИСКНОГО МЕХАНІЗМУ ОБТИСКНОГО СТАНУ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ЇХНІХ ОПТИМАЛЬНИХ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ</i>	112
Цибенко Наталія	<i>ВИРОБНИЦТВО ПЕРИКЛАЗОВУГЛЕЦЕВИХ ВОГНЕТРИВІВ ДЛЯ ФУТЕРОВКИ КИСНЕВИХ КОНВЕРТЕРІВ</i>	114
Черняк Сергій	<i>ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ГАРЯЧОЇ ПРОКАТКИ ШТАБ З ПРИСКОРЕННЯМ В ЧИСТОВІЙ ГРУПІ КЛІТЕЙ НШСГП 1680</i>	116
Черняк Сергій	<i>ВЛАСТИВОСТІ САМООБПАЛЮВАЛЬНИХ ЕЛЕКТРОДІВ ДЛЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕЧЕЙ</i>	117
Шайтанов І.В.	<i>ДОСЛІДЖЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ ПОПЕРЕДНЬОГО НАГРІВАННЯ ШИХТОВИХ МАТЕРІАЛІВ ПРИ ВИПЛАВЦІ ФЕРОСПЛАВІВ</i>	118
Щербина Тетяна	<i>ПРО ПРОБЛЕМУ ДЕФІЦИТУ БРУХТУ ЧОРНИХ МЕТАЛІВ НА ВНУТРІШНЬОМУ РИНКУ УКРАЇНИ</i>	120
Юрченко Євгенія	<i>ІНТЕНСИФІКАЦІЯ КИСНЕВО-КОНВЕРТЕРНОЇ ПЛАВКИ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ ВЕЛР</i>	123