

Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерний навчально-науковий інститут ім Ю.М. Потебні

(назва факультету)

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи магістра

рівень вищої освіти другий (магістерський) рівень

(другий (магістерський) рівень)

на тему «Формування структури та властивостей високолегованих сталей при гарячій деформації»

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1362-омт

Белоконь О. С.

(ПІБ)

(підпис)

спеціальності

136 Металургія

(шифр і назва)

спеціалізація

(шифр і назва)

освітньо-професійна програма

обробка металів тиском

(шифр і назва)

Керівник Бондаренко Ю.В.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент Кругляк Д. О.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Запоріжжя - 2023 року

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

Рівень вищої освіти другий (магістерський) рівень
другий (магістерський) рівень

Спеціальність 136 металургія
(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма обробка металів тиском
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МТЕТБ
Ю.О. Белоконь

“ 07 ” 05 2023 року

З А В Д А Н Н Я
«НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ»

Белоконь Оксана Сергіївна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проєкта) «Формування структури та властивостей високолегованих сталей при гарячій деформації»

керівник роботи (проєкту) Бондаренко Юлія Володимирівна к.т.н, доц.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “01” 05 2023 року № 385-с

2. Строк подання студентом роботи (проєкта) 01.12.2023




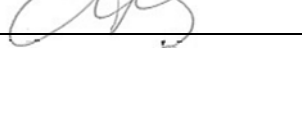
3. Вихідні дані до роботи (проєкта) високолеговані сталі марки 4Х4М2ВФС та 5Х3В3МФС, гаряча прокатка блюмів 140х250 мм на на стані 1050 ПрАТ «Дніпроспецсталь».

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Реферат. Вступ. Літературний огляд. Розрахунково-дослідницька частина, Індивідуальне завдання, Охорона праці та техногенна безпека, Висновки. Перелік посилань.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Креслення, презентаційний матеріал 15 слайдах (на 15 сторінках)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
		завдання прийняв
Літературний огляд	Бондаренко Ю.В., к.т.н., доц.	
Розрахунково-дослідницька частина	Бондаренко Ю.В., к.т.н., доц.	
Індивідуальне завдання	Бондаренко Ю.В., к.т.н., доц.	
Охорона праці та техногенна безпека	Бондаренко Ю.В., к.т.н., доц.	
Нормоконтроль	Белоконь Ю.О. завідувач кафедри	

7. Дата видачі завдання 01.05.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ		
2	Реферат		
3	Літературний огляд		
4	Розрахунково-дослідницька частина		
4	Індивідуальне завдання		
5	Охорона праці та техногенна безпека		
6	Висновки		

Студент

(підпис)

О.С. Белоконь

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

(підпис)

Ю. В. Бондаренко

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра: 84 с., 21 рис., 14 табл., 32 джерела.

ГАРЯЧА ПРОКАТКА, ВИСОКОЛЕГОВАНА СТАЛЬ, БЛЮМІНГ, РЕЖИМ ДЕФОРМАЦІЇ, КАЛІБРУВАННЯ, ПЛАСТИЧНІСТЬ.

Об'єкт дослідження – обтискний стан блюмінг 1050 ПрАТ «Дніпроспецсталь».

Мета роботи – встановлення закономірностей формування структури та властивостей високолегованих сталей при гарячій прокатці на обтискних станах.

Предмет дослідження – режим пластичної деформації високолегованих марок сталі 4Х4М2ВФС і 5Х3В3МФС.

Метод дослідження – визначення хімічного складу сплавів здійснювали рентгеноспектральним та хімічним методами. Металографічні дослідження структури та дефектів сталей проводили з використанням оптичного та растрового електронного мікроскопів.

На поверхні заготовки, листів, профілів, штампованих виробів спостерігаються різні тріщини поздовжні, поперечні, звивисті, переривчасті та безперервні. Причинами їх утворення служать розкачані пори або підкіркові бульбашки, великі залишкові напруги у зливку або заготовлі, напруги, викликані дуже швидким нагріванням і охолодженням, а також нерівномірністю деформації.

Для розробки оптимальних режимів деформації сталей необхідно враховувати залежність опору деформації від температурно-швидкісних параметрів, властивих даному технологічному режиму обробки тиском, зокрема прокатки на блюмінгу.

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 Сучасний стан досліджень та проблема прокатки високолегованих сталей.....	7
1.1 Аналіз структури та властивостей високолегованих сталей	7
1.2 Аналіз структури та властивостей високолегованих сталей.....	14
1.3 Аналіз видів дефектів та причини їх появи.....	18
1.4 Висновки до розділу 1.....	28
2 Дослідження причин зниженої пластичності та властивостей високолегованих сталей	29
2.1 Особливості деформації високолегованих сталей та її показники пластичності	29
2.2 Методика визначення граничної пластичності.....	31
2.3 Результати дослідження показників пластичності сталей 4Х4М2ВФС і 5Х3В3МФС	35
2.4 Висновки до розділу 2.....	46
3 Розробка режиму деформації та технології прокатки зливків з високолегованих сталей 4Х4М2ВФС та 5Х3В3МФС	47
3.1 Дослідження режиму деформації та технології прокатки зливків зі сталей 4Х4М2ВФС і 5Х3В3МФС	47
3.2 Розробка та побудова нових калібрів і розміщення їх на валках.....	57
3.3 Розрахунок утяжки торців блюмів по діючому режиму прокатки та дослідному варіанту	62
3.4 Висновки до розділу 3.....	64
4 Охорона праці та техногенна безпека.....	65
4.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих	65

факторів		
4.2	Заходи з поліпшення умов праці.....	68
4.3	Електробезпека	73
4.4	Пожежна та техногенна безпека	75
4.5	Висновки до розділу 4	78
	Висновки	79
	Перелік джерел посилання	81

ВСТУП

Дослідження сучасних проблем, пов'язаних із технологією прокатки високолегованих сталей, базуються на вивченні структури та властивостей за допомогою аналізу. Підвищення якості прокату здійснюється шляхом запобігання розвитку дефектів як на поверхні, так і в об'ємі зливка, а також уникнення утворення нових. Це вважається ключовими напрямками для збільшення виходу придатного прокату та підвищення продуктивності стану.

Вивчення якості металу, прокатоного на блюмінгу, пов'язане із певними труднощами. Оцінка поверхні зливка важка через те, що гладкі дефекти розпізнаються лише великими дефектами, тоді як більш дрібні тріщини, газові бульки та інші залишаються невидимими під оксидним шаром. Дефекти, які є концентраторами напруг, призводять до зниження деформованості сталі.

Аналіз літературних даних вказує на те, що якість макроструктури тісно пов'язана з умовами деформації при прокатці високих штаб. Зміна параметрів прокатки, навіть в умовах блюмінга, може інтенсифікувати тиску і обмежити вплив розтягуючих напруг.

Результати досліджень вказують на те, що якість деформованого металу залежить від ступеня обтиску. Зі зростанням обтиску збільшується глибина деформації і інтенсивність стискуючих напруг, що сприяє виникненню дефектів в початковому зливку.

Отже, оптимізація технології прокатки вимагає чіткого розуміння характеру напруг і деформацій у кожному конкретному випадку. Для покращення якості макроструктури прокату необхідно розглядати не лише умови виплавки та розливання сталі, але також використання оптимальних технологічних схем прокатки. Розробка оптимальних умов деформації для легованих сталей і сплавів, яка уникає утворення дефектів, є важливим завданням для науки і практики.

1 СУЧАСНИЙ СТАН ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПРОБЛЕМА ТЕХНОЛОГІЇ ПРОКАТКИ ВИСОКОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ

1.1 Аналіз структури та властивостей високолегованих сталей

Високолегована сталь, крім основних компонентів - залізу та вуглецю, також включає в себе ряд додаткових домішок, загальна кількість яких перевищує 10%. Додаткові елементи, які додаються до таких сталей, призначені для значного покращення фізичних та механічних властивостей основного сплаву.

Високолеговані сталі та сплави класифікуються за системою легування, структурою та властивостями. За системою легування сталі поділяють на хромисті, хромонікелеві, хромомарганцеві, хромонікелемарганцеві та інші. Серед найпоширеніших високолегованих сплавів є нікелеві, нікеле-хромові, нікеле-хромовольфраміві та нікеле-хромо-кобальтові.

За структурою високолеговані сталі поділяються на [2]:

- мартенситні, що характеризує наступний хімічний склад: хром — 8-19%, марганець — не більше 1,2%, кремній — 0,6-3%, вуглець — 0,12-0,7%; це 07X16H4Б, 20X17H2, 65X13, 13X11H2B2MФ, 25X13H2, 20X17H2, 11X11H2B2MФ, 40X10C2M, 30X13, 15X11MФ, 40X9C2 ;
 - феритні сплави, що відрізняються наступним складом: хром — 12-30%, марганець — до 0,8%, кремній — 0,8-2%, вуглець — 0,07-0,15%; це 08X18Tч, 12X17, 15X28, 10X13CЮ, 15X25T, 08X17T, 08X13 та ін;
 - мартенситно-феритні, мають наступний хімічний склад: хром — 11-18%, марганець — 0,5-0,9%, кремній 0,4-0,8%, вуглець — 0,12-0,22%; це 12X13, 14X17H2, 15X12BHMФ ;

- аустенитно-мартенситні, склад яких містить: хром — 14-18%, марганець і кремній — до 0,8%, вуглець — 0,05–0,9%; це 07X16H6, 08X17H5M3, 08X17H6T, 09X15H8Ю1 ;
- аустенитно-феритні, що містять у своєму складі наступні елементи: хром — 19-25%, марганець — 0,5–9%, кремній — 0,8–4,5%, вуглець — 0,08–0,2%; це 15X18H12C4ТЮ, 12X21H5T, 03X22H6M2, 03X23H6 ;
- аустенітні, до складу яких входять: хром — 10-19%, нікель — 2,8–25%, марганець — 0,6–15%, кремній — 0,4–0,8%, вуглець — 0,05–0,21%; це 12X18H12T, 20X25H20C2, 31X19H9MBBT, 45X14HMB2M, 08X10H20T2, 12X25H16Г7AP .

За системою зміцнення високолеговані сталі та сплави поділяють на:

- карбідні, які містять 0,2-1,0% вуглецю ;
- боридні (утворюються бориди заліза, хрому, ніобію, молібдену, вуглецю й вольфраму);
- інтерметалідне зміцнення (зміцнення дрібнодисперсними частинками).

За своїми властивостями високолеговані сталі та сплави розділяють на корозієстійкі (нержавіючі), жаростійкі (не піддаються окисленню при температурах до 1300°C) та жароміцні (здатні витримувати температури понад 1000°C без втрати міцності).

Корозієстійкі сталі, які не включають титан, ніобій або ванадій як легуючі елементи, втрачають антикорозійні властивості при нагріванні вище 500°C. Для досягнення антикорозійних характеристик, а також підвищеної пластичності та в'язкості, використовують нагрівання металу до 1000-1150°C і швидке охолодження у воді (гартування).

Інструментальні сталі, наприклад, 4X4M2ВФС і 5X3В3МФС, можна замінити більш економічними варіантами, такими як 3X2В8Ф, з метою заощадження вольфраму, або марками сталі, такими як 5ХНМ, 5ХНВ і інші.

Замінні марки сталі відносяться до складнолегованих важкодеформуючих матеріалів. При заміні менш легуваних сталей, таких як 4Х5МФС і 4-6ХВ2С, іноді спостерігають утворення поверхневих дефектів, таких як рванини і тріщини.

Для підвищення якості та техніко-економічних показників протягом багатьох років розробляли технології визначення основних характеристик інструментальної сталі. В результаті встановлено, що сталі, такі як 4Х4М2ВФС і 5Х3В3МФС, мають високий опір деформації, вузький температурний інтервал прокатки та схильність до утворення тріщин, тому вони відносяться до групи важкодеформуючих.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сталей 4Х4М2ВФС

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo	W	V	Cu
0.37 - 0.44	0.6 - 1	0.2 - 0.5	до 0.6	до 0.03	до 0.03	3.2 - 4	1.2 - 1.5	0.8 - 1.2	0.6 - 0.9	до 0.3

Таблиця 1.2. – Хімічний склад сталей 5Х3В3МФС

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo	W	V	Nb	Cu
0.45 - 0.52	0.5 - 0.8	0.2 - 0.5	до 0.4	до 0.03	до 0.03	2.5 - 3.2	0.8 - 1.1	3 - 3.6	1.5 - 1.8	0.05 - 0.15	до 0.3

Сталі для штамів гарячої обробки тиском призначені для роботи в умовах інтенсивного ударного навантаження, різкого нагріву і охолодження поверхні. Сталі із штамів мають складний комплекс експлуатаційних і технологічних властивостей: достатня міцність, зносостійкість, в'язкість і прокалюваність, а також теплостійкість, окалювальну стійкість і розгаростійкість (стійкість до виникнення тріщин в поверхневому шарі, що викликаються об'ємними змінами при різкій зміні температур). Достатня розгаростійкість досягається зниженням вмісту вуглецю в сталі до 0,3-0,6%, що супроводжується підвищенням пластичності і теплопровідності,

покращує відведення тепла вглиб інструменту. Дані марки сталі після гартування піддають відпустці при 550-680°C.

5ХНМ сталь застосовують для виготовлення великих (найбільша сторона призматичних заготовок 400 - 500 мм) штампів складної форми. Має високу прокалюваність і зберігає її до температури 500 °С досить високі механічні властивості.

Сталь 5ХНВ застосовують для виготовлення великих (сторона заготовок ~200 мм) і середніх штампів. Невеликі вироби зі сталі 5ХНВ піддаються гартуванню при 820-880°C на повітрі, а середні і великі (після охолодження до 750-780°C) в олії. Невеликі штампи відпускають при 480-520°C.

Стали 3Х2В8Ф, 4Х2В5МФ з високим вмістом вольфраму мають підвищену теплостійкість і призначені для інструментів, що працюють з поверхневим розігрівом до 700°C. Сталь 4Х4ВМФС з невеликими добавками вольфраму (молібдену) завдяки більш високій в'язкості має підвищену розгаростійкість і теплостійкість до 600°C. Присутність хрому забезпечує зносостійкість. Ця сталь призначена для інструментів високошвидкісного штампування при різкій зміні температурного процесу. Вироби зі сталі 4Х4ВМФС мають високу стійкість до корозії[4].

Характерні види дефектів, що виникають при прокатці зливків зі сталей 4Х4М2ВФС і 5Х3В3МФС вони пластичні, але брак металу по характеристикам є поверхневі рванини, тріщини, усадка(макроструктура) [5].

Основні причини утворення рванин є нерівномірна деформація і зміцнення металу, що викликається схемою прокатки і підстуживання розкатів водою, що призначена для охолодження валків. Крім цього рванини проявляються так, як схили до утворення поверхневих дефектів на зливках при недостатньому розкисненні металу[6,7].

Для більш глибокого розкиснення сталі додають алюміній 0,7 кг/т – перед легуванням кремнієм і силікокальцієм 1,5 кг/т, застосовують електромагнітне перемішування і розливання з екзосумішами. Схема

прокатки зливків сталей 4Х4М2ВФС і 5Х3В3МФС складається з кантування розкатів, роботу стану без охолодження валків водою, а також видача металу в прокат без накопичення зливків на транспортному рольгангу. Нагрівання зливків відбувається в нагрівальних колодязях.

Брак з усадки є результатом технології і розливання сталі в виливниці з тепло вставками.

Основні властивості інструментальної сталі[8]:

1. Низька чутливість до перегріву. Нагрів металу призводить до зміни його основних якостей. Тому вуглецеві інструментальні якісні сталі не нагріваються навіть при тривалому терті з іншими поверхнями.

2. Для того щоб спростити обробку металу його роблять більш сприйнятливою до обробки методом різання.

3. Сприйнятливність до прокалювання також визначається особливим хімічним складом.

4. Висока пластичність в гарячому стані дозволяє отримувати заготовки методом плавлення металу.

5. Високий опір процесу знеуглецювання дозволяє отримувати результат при гартуванні або інших процесів хіміко-термічної обробки.

6. Під час обробки металу може виникати ударне навантаження, при якому в більшості випадків стає причиною утворення тріщин. Високоякісна вуглецева інструментальна сталь не має подібного недоліку.

7. Зносостійкість і висока міцність, твердість поверхні.

Інструментальні якісні сталі класифікують на основні групи:

- Зносостійкі, теплостійкі і високотверді – ця група, представлена швидкорізальної легованої сталлю. Крім цього в дану групу відносять сплави з ледебуритною структурою, яка характеризується підвищеною концентрацією вуглецю (більше 3%). Застосування вуглецевих інструментальних сталей цієї групи полягає у виготовленні інструментів, які можуть піддаватися впливу високої температури.

- Теплостійкі і в'язкі сталі представлені сплавом, який має в своєму складі молібден, хром і вольфрам. Хімічний склад інструментальної вуглецевої сталі даної групи характеризується низьким значенням концентрації вуглецю.

- Не теплостійкі, в'язкі і високотверді сталі мають невелику кількість домішок і середнє значення вуглецю. Дана група має невисокий показник прокалюваності.

- Середня теплостійкість, висока твердість, зносостійкість-якості, властиві металам з 2-3% вуглецю і 5-12% хрому.

- Низька стійкість до температур і висока твердість характерні сталям з заевтектоїдною структурою. У більшості випадків вони не мають легуючих елементів або їх концентрація дуже мала. Високий рівень твердості забезпечується завдяки високою концентрацією вуглецю.

Високоякісна інструментальна сталь може піддаватися додаткової хіміко-термічній обробці для зміни складу і перебудови кристалічної решітки, за рахунок чого і досягається незвичайні експлуатаційні якості.

Твердість вважається основним параметром, високе значення якого не дозволяє використовувати сталь при виготовленні інструментів або деталей, які піддаються під час експлуатації ударам або вібрації. Ця рекомендація пов'язана з тим, що при збільшенні концентрації вуглецю підвищується твердість, але в'язкість зменшується. Зменшення в'язкості стає причиною підвищення крихкості структури, в результаті впливу ударного навантаження можуть з'являтися тріщини і інші дефекти.

Класифікація за рівнем твердості виглядає наступним чином:

1. Високий показник в'язкості і знижена твердість характерні металам, які в складі мають не більше 0,4-0,7% вуглецю.

2. Висока зносостійкість і твердість поверхневого шару досягаються при насиченні структури металу вуглецем до 0,7-1,5%.

Більший показник концентрації вуглецю робить метал дуже крихким, що не дозволяє його використовувати в якості матеріалу при виготовленні

інструменту. Крім цього легуючі елементи здатні підвищити в'язкість і знизити крихкість за умови великої концентрації вуглецю. У деяких випадках проводиться хімічна обробка для забезпечення зносостійкої поверхні і основи в'язкості, за рахунок чого інструмент або деталь набуває високі якості при експлуатації.

Інструментальні сталі піддають таким методам обробки як[9]:

- Загартування
- Зварювання
- Відпустка

Загартування – це термообробка інструментальних сталей, під час якої матеріал нагрівається до оптимальної температури, витримують температуру, після чого миттєво охолоджується для отримання нерівномірної структури. Після гартуванні збільшується твердість, міцність і знижується пластичність металу. Головним параметром якості, яким володіє загартування інструментальної сталі, вважається температура нагрівання і швидкість охолодження.

Завжди зварювання інструментальної сталі вважалася одним з найбільш складних видів обробки сталі. Для цього використовують електроди, які використовують для зварювання інструментальної сталі. Інструментальна сталь значно відрізняється від інших типів сталей за рахунок того, що у її складі міститься велика кількість вуглецю.

Для такої обробки сталі піддаються леговані метали.

Наступним етапом після гартуванні є відпустка. Це потрібно, щоб зняти напругу крихкого мартенситу, який утворюється при загартуванні, а також, щоб зменшити вміст залишкового аустеніту. Велика частина інструментальної сталі має досить велику область температур відпустки. Рекомендують для використання найбільш високу температуру відпустки, так як це додасть інструменту міцність. Матеріал повинен охолонути до температури 65⁰С, після чого до кімнатної температури між і після відпусток.

Є також багаторазова відпустка, яку використовують для більш складно легованої інструментальної сталі.

Щоб обробити інструментальну сталь використовують штампування.

Існує 2 види штампування:

- В яких деформація металу відбувається в холодному стані.
- В яких деформація металу відбувається в гарячому стані.

Коли штампування відбувається в гарячому стані, метал, на який впливають половинки штампа, починає деформуватися і заповнювати внутрішню порожнину штампа. При штампуванні поліпшується якість поверхні і точність форми.

1.2 Дослідження процесу гарячої деформації високолегованих сталей

Особливість гарячої деформації металів полягає в таких механізмах як[10]:

- деформація проходить за кілька проходів (прокатка, кування, об'ємне штампування);
- деформація здійснюється через певні проміжки часу;
- температура деформації в кожному наступному проході нижче;
- під час проміжку часу між деформаціями відбувається часткове відновлення структури;
- остаточна структура формується при накладення статичних і динамічних рекристалізаційних процесів.

При деформації в гарячому (аустенітному) стані відбувається:

- збільшення щільності дислокацій (наклеп);
- перебудова і перерозподіл дислокацій (знеміцнення).

У першій кліті (висока температура, малий ступень деформації).

Зміцнення відбувається в внутрішньо зернове ковзання дислокацій, двійникування.

Утворюється комірчаста структура.

Знеміцнення:

При $\varepsilon < 10\%$ - динамічна полігонізація. Якщо щільність дислокацій не досягла критичної величини, рекристалізація не відбувається.

При $\varepsilon = 25-30\%$ - неоднорідне накопичення дислокацій – можливість початку динамічної рекристалізації.

При $\varepsilon = 35-50\%$ при наклепі утворюється розвинена комірчаста структура.

Знеміцнення відбувається шляхом динамічної рекристалізації (первинної). При цьому відбувається переміщення і розсіпання (коалесценція зерен).

При подальшій деформації в рекристалізованих зернах знову збільшується щільність дислокацій (наклеп) і в подальшому знову відбувається знеміцнення.

Динамічна рекристалізація ніколи не призводить до повного знеміцнення, тому що в структуру вводяться нові дислокації.

Після закінчення деформації структура зерна рекристалізації, витягнута в напрямку деформації.

В процесі проходження заготовки між першою і другою кліттю відбуваються статичне повернення та рекристалізація, (тому що температура при виході з першої кліті набагато більше температури рекристалізації). При малих ступенях деформації $\varepsilon \approx 10\%$ - статична полігонізація. При ε свинцем 20% статична полігонізація і рекристалізація. При $\varepsilon > 20\%$ - статична рекристалізація (збірна і первинна).

У другій кліті ті ж процеси динамічного зміцнення і знеміцнення (температура деформації нижче). Процеси відбуваються повільніше тобто ступінь знеміцнення (σ_T) менше.

У наступних клітках T^0C , (σ_T), динамічна рекристалізація відбувається повільніше.

Статична рекристалізація залежить від температури і тривалості пауз (від швидкості прокатки).

Особливість гарячої деформації

При високих температурах рухливість точкових і лінійних дефектів висока. Це призводить до знеміцнення в процесі гарячої деформації.

Стадії знеміцнення:

1. Динамічне повернення (полігонізація);
2. Динамічна рекристалізація {первинна, вторинна, збірна}.

Зміцнення при малих ступенях деформації відбувається збільшення кількості дислокацій, їх переміщення один з одним, що призводить до утворення комірчастої структури.

При гарячій деформації одночасно відбуваються процеси зміцнення і знеміцнення, це пов'язано з високими температурами[11]. При малих ступенях деформації переважно відбуваються процеси зміцнення (збільшення щільності дислокацій, скупчення дислокацій по межах зерен, утворення ліній поперечного ковзання, і утворення комірчастої структури). У зв'язку з великою рухливістю дислокацій при цьому відбувається і їх часткове знищення. Із збільшенням температури і ступеня деформації – щільність і рухливість дислокацій збільшується, що призводить до рівної швидкості генерування та анігіляції дислокацій – період стійкого деформування. Залежно від температури і ступеня деформації утворення комірчастої структури відбувається по-різному.

При гарячій деформації процеси зміцнення практично завжди супроводжуються процесами знеміцненням, динамічним поверненням і динамічною рекристалізацією.

Взаємодія процесів зміцнення і знеміцнення залежить від:

- температури;
- ступеня деформації;

- швидкості деформування – при малих швидкостях деформування, метал повністю знеміцнюється, а при великих – частково.

Динамічне повернення полягає в утворенні субзерен і в їх зростанні, і рекристалізації.

Остаточний розмір зерна в гарячодеформованому металі залежить від швидкості деформації, ступеня та температури, і температури закінчення деформації.

Після закінчення деформації до повного охолодження металу також відбуваються рекристалізаційні процеси і статична рекристалізація (і в перервах між операціями деформації).

В умовах деформування полікристалічної речовини деформація протікає нерівномірно в різних зернах, в різних ділянках зерен і різних ділянках металу. Звідси випливає різниця неоднорідності трьох видів[12].

Перший вид - субкристалічна неоднорідність в межах зерна.

Другий вид – мікроскопічна неоднорідність – визначається взаємодією зерен.

Третій вид – макроскопічна неоднорідність – визначена характером зовнішнього деформуючого впливу.

Неоднорідність призводить до виникнення залишкових напружень в всіх видах, які можуть призводити до утворення тріщин, зниження пластичності і неоднорідність зміцнення.

При первинному нагріванні металу вище критичних температур, сталь набуває грубозернисту аустенітну структуру.

У процесі подальшої деформації і охолодження, температура знижується і відбувається перетворення аустеніту в ферито-цементитну суміш, при цьому: чим більше були зерна аустеніту, тим крупніше виходить і ферито-цементитні зерна.

Швидкість деформації впливає на процеси структуроутворення на всіх етапах деформування.

Чим вище швидкість деформації, тим менше встигають пройти процеси динамічного знеміцнення.

Особливо важливо цей вплив при деформації в останньому і передостанньому проході.

При великих ступенях деформації швидше відбуваються рекристалізаційні процеси, отже, швидше метал знеміцнюється. Час витримки впливає на можливість проходження статичної рекристалізації. Чим більше часовий інтервал між деформаціями, тим більше знеміцнення металу.

При виборі температури закінчення деформації слід звертати увагу на:

- можливість процесів статичної рекристалізації при подальшому охолодженні;
- утворення тієї чи іншої структури при.

Швидкість охолодження після деформації призводить до утворення ферито-цементитної структури з різним розміром пластинок.

При виборі режиму закінчення деформації, необхідно звернути увагу на процес утворення окалини. Мінімальна кількість окалини утворюється при температурі 700°C [13].

1.3 Аналіз видів дефектів та причини їх появи

Дефекти зливка можуть проявлятися в деформованій сталі, змінюючи свій вигляд в результаті обробки тиском.

Дефекти при прокатці як правило, не пов'язані зі структурними змінами, хоча іноді спостерігається часткове зневуглецювання з плавним переходом до основної структури.

Виникнення дефектів при прокатці пов'язано з порушенням режимів нагріву і деформації металу[14].

Дефекти деформованої сталі можна класифікувати наступним чином:

1. Неправильність профілю і загальної форми.

2. Поверхневий дефект.
3. Внутрішні дефекти.
4. Невідповідність за механічними властивостями.
5. Дефекти мікроструктури.
6. Невідповідність різним спеціальним вимогам.

На поверхні заготовок, листів, профілів, штампованих виробів спостерігаються різні тріщини поздовжні, поперечні, звивисті, переривчасті та безперервні. Причинами їх утворення служать розкачані пори або підкіркові бульбашки, великі залишкові напруги у зливку або заготівлі, напруги, викликані дуже швидким нагріванням і охолодженням, а також нерівномірністю деформації. Форма тріщин визначається їх походженням, а також способом деформації. Наприклад, в листах і смугах вони поздовжні або звивисті.

До специфічних поверхневих дефектів штампованих виробів відносяться складкоутворення, закови і черновини. Складкоутворення являє собою тріщини, що проходять в місцях зміни перетину і по внутрішній поверхні кільцеподібних виступів. Воно може бути викликане зустрічним рухом сталі в штампі, розбіжністю форм вихідної заготовки і порожнини штампа.

Закови-це складки, що утворюються на особливо небезпечних місцях виробів і спрямовані по контуру штампування.

Руйнування по серцевині (черновини)-численні тонкі тріщини в центральній області заготовки. Тріщини розташовані по межах первинних зерен, які виникають при неякісному прогріву зливка.

При недостатньому гомогенізуючому відпалі ліквацийні зони в центральній області розчиняється не повністю. Якщо до того була підвищена температура деформації, то відбувається оплавлення лікватів і внаслідок цього виникають розриви при гарячій деформації.

До внутрішніх дефектів деформованої сталі відносяться розшарування, флокенів, тріщин. Розшарування являє собою грубе порушення суцільності.

Причинами розшарувань можуть бути залишки усадочної раковини, газові бульбашки, неметалеві включення.

Неметалеві включення - порушення суцільності в металі, нерівномірне розподілення вздовж перетину, що мають найчастіше витягнуту форму.

В прокатаних заготівках можуть виникати як екзогенні, так і ендогенні включення.

Екзогенне включення - складаються з вогнетривких матеріалів і шлаку, що механічним потоком рідкого металу під час випуску та розливання сталі, фіксуються в затверділому стані.

Ендогенне включення - утворюються в результаті протікання різних фізико-хімічних процесів в металі під час його розкислення, кристалізації та охолодження в рідкому і твердому стані.

Щоб досягти максимально низький вміст неметалевих включень, потрібно проводити переплав металу.

Флокени — це розриви круглої або еліптичної форми з блискучою поверхнею руйнування. Вони формуються внаслідок скупчення в мікрообластях водню.

В середині виробів можуть утворитися численні тонкі тріщини по межах первинних зерен, викликані нерівномірним прогріванням, наявністю ліквації легкоплавких елементів або карбідної ліквації.

При деформації зливків складнолегованих і високовуглецевих сталей, що мають внутрішні термічні тріщини, останні в процесі прокатки не заварюються, а навпаки, розкриваються, утворюючи порожнини.

У деформованих сталях іноді виявляють термічні тріщини, які утворюються під дією напруг, що виникають при швидкому і нерівномірному нагріванні й різкому або нерівномірному охолодженні сталі після деформації. При збільшенні швидкості охолодження прокату створюється велика різниця температур в центрі і на поверхні металу, що призводить до розвитку значних термічних напруг[15].

На початку охолодження поверхневі шари відчують напругу розтягування, а внутрішні — стиснення. При подальшому охолодженні зменшення обсягу середньої частини металу утримуватися більш теплими зовнішніми шарами. Тому першими проявляються зовнішні дефекти, а потім — внутрішні. Особливо часто термічні тріщини утворюються в високовуглецевих і високолегованих важкодеформуючих сталях. Структурні напруги з'являються в результаті не одночасних структурних і фазових перетворень, обумовлених різницею температур по довжині і перетину прокатаного виробу [16]. Дефекти мікроструктури деформованих і відпалених виробів можуть утворитися при всіх способах деформації. Поверхнєве зневуглецювання відбувається в результаті взаємодії вуглецю, що міститься в сталі, з киснем або воднем навколишнього середовища. Зневуглецювання може бути наслідком занадто тривалої витримки сталі при високих температурах, попадання в піч без вуглецювання газової атмосфери, наявності окалини на поверхні. Цей вид дефектів виявляється мікроструктурним і хімічним аналізом. Зливки масою 2850-3400 кг марок 4X4M2BFC і 5X3B3MFC після нагрівання з гарячим всадом, прокатують на стані 1050 на сорт розміром 130-180 мм або граничну заготовлю 105-175 мм, призначену для станів 550, 325 або 280 . На поверхні заготовок, що прокатуються на стані 1050, проявляються дефекти такі як рванини і тріщини.

Рванини виникають на ребрах (кутах) і на гранях розкату.

Види поперечних дефектів і характер їх розташування показані на рис.

1.1.–1.4.



Рисунок 1.1 – Рванини, що утворилися на ребрах розкату на заготівлі зі сталі 4Х4М2ВФС



Рисунок 1.2 – Рванини, що утворилися на межі розкату на заготівлі зі сталі 4Х4М2ВФС



Рисунок 1.3 – Рванини, що утворилися в процесі прокатки на ребрах проміжних смуг на круглому сорті зі сталі 4Х4М2ВФС



Рисунок 1.4 – Рванини, що утворилися на гранях проміжних смуг на круглому сорті зі сталі 4Х4М2ВФС, утворилися при прокатці

Дослідження макроструктури дозволяє встановити наявність на металі, грубих окислів з різним ступенем окислення (FeO , Fe_3O_4 , Fe_2O_3) і зневуглицювання (рис 1.5. – 1.6.).

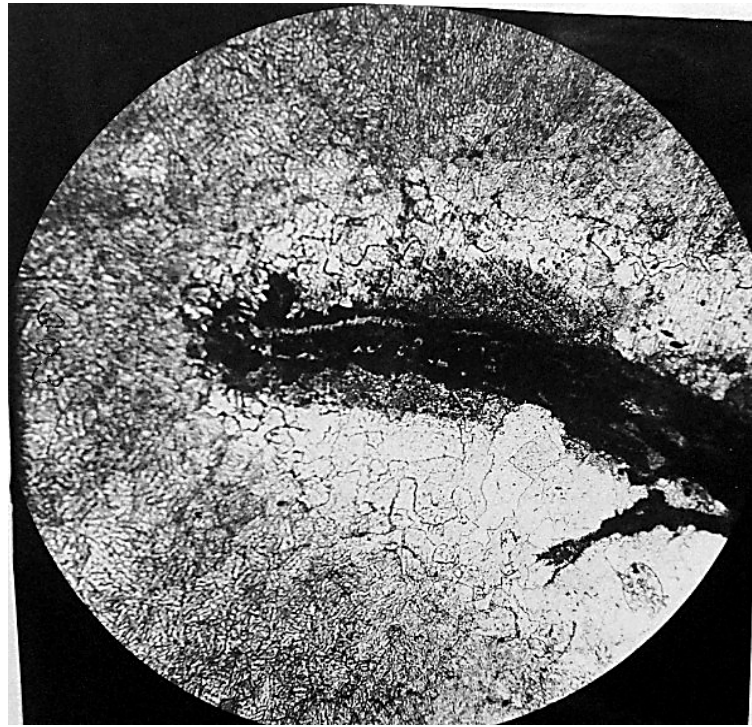


Рисунок 1.5 – Макроструктура металу в місцях дефектів сталі 4X4M2BFC у не відпаленому стані

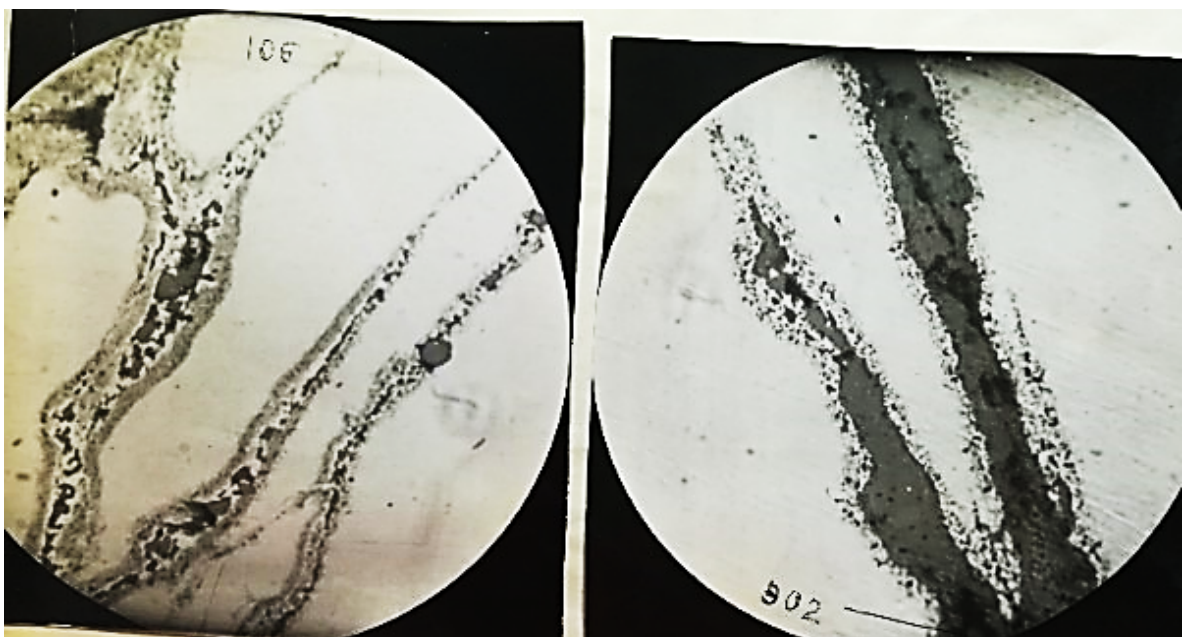


Рисунок 1.6 – Макроструктура металу в місцях дефектів сталі 4X4M2BFC не травлений стан

На деяких зливках дефекти проявляються по всій довжині розкату. Поздовжні тріщини проявляються на гранях заготовок.

Абразивна зачистка не відпаленого металу, може викликати глибокі тріщини в місцях зачистки в результаті додаткових напруг, що виникають при видаленні дефектів [17].

Не видалені дефекти при подальшій термічній або механічній обробці можуть бути вогнищем утворення великих дефектів. Це особливо важливо при обробці заготовки і подальшої прокатки.

Якщо після уповільненого охолодження прокатаний метал не піддають відпалу, то на кінцях штанг виникають термічні тріщини.

Ці тріщини поширюються в глиб порожнини від вже проявлених волосних тріщин або рванин.

Дрібні поздовжні тріщини, що не виходять за межі допуску на даний профіль через якість вихідного зливка, причиною яких є: поверхневі пори на зливку, полони, підкіркові бульбашки, скупчення неметалевих включень.

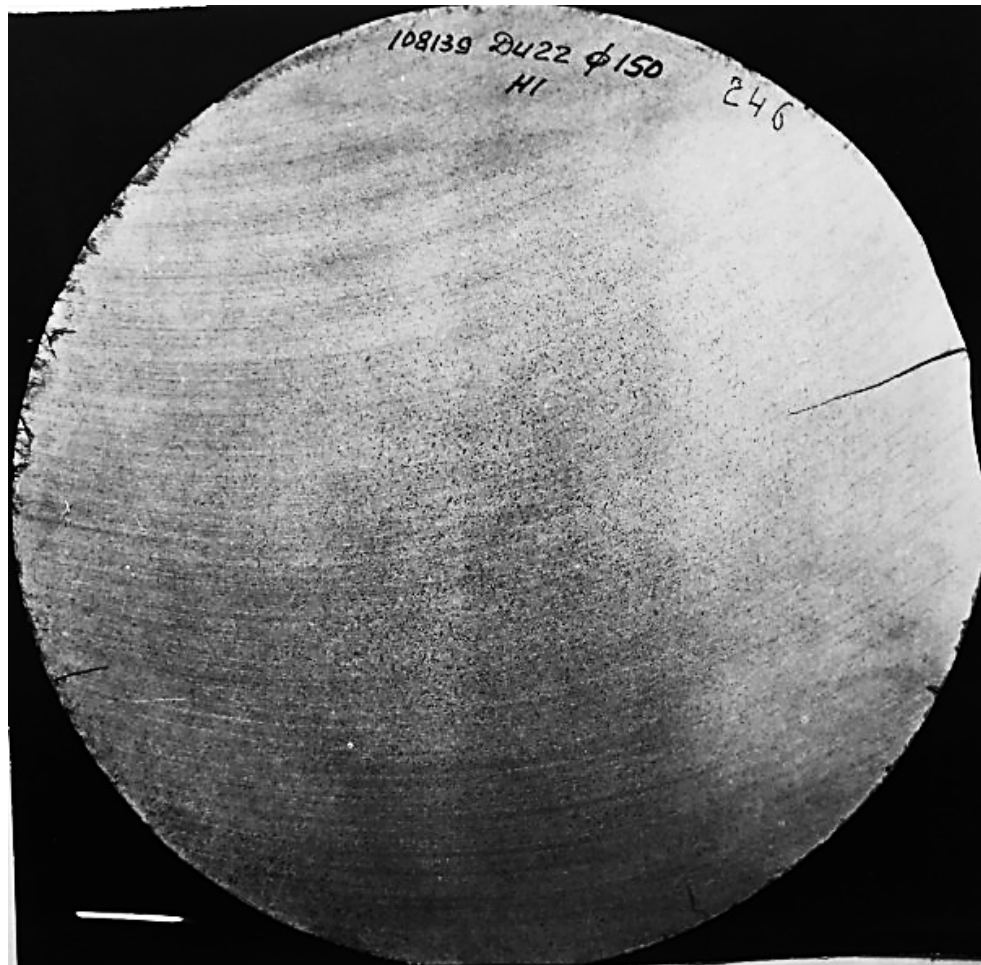


Рисунок 1.7 – Макроструктура сортової сталі 4X4M2BFC з тріщиною після гартування

Для покращення якості поверхні зливків і зниження обсягу робіт при зачистці сталей 4X4M2BFC і 5X3B3MFC застосовують розливання з екзотермічними сумішами.

Для знаходження зв'язку між кількістю браку і поверхневими дефектами і деякими технологічними параметрами для визначення можливих причин утворення дефектів проведена систематична обробка технологічних параметрів плавок, прокатаних з холодного посада.

Таблиця 1.3 – Порівняльні дані щодо якості поверхні катаної сталі 4Х4М2ВФС та 5Х3В3МФС нагрітої з гарячого та холодного посада .

Марка сталі	Вид посада	Сорт,заго товка	Кількість плавок	Категорія поверхонь				прийнято годним Т	Брак поверх. дефектів	
				І+ІІ		ІІІ+ІУ			Т	%
				К-ть штан г	%	К- ть шта нг	%			
4Х4М2ВФС	гарячи й посад	Сорт	5	-	-	-	-	98,9	12	12,8
		заго товка	7	65	26,4	181	73,4	94,9	0,76	0,66
	холод ний посад	Сорт	57	-	-	-	-	633,06	39,23	5,85
		заго товка	56	1461	78	358	22	678,25	1,89	0,28
5Х3В3МФС	гарячи й посад	Сорт	6	-	-	-	-	40,48	29,84	42,8
		заго товка	4	8	11	66	89	34,60	2,85	7,6
	холод ний посад	Сорт	36	-	-	-	-	379,54	60,75	13,6
		заго товка	59	1575	78,5	401	21,5	858	3,72	0,43

Можна оцінити вплив на якість прокату застосовуючи екзотермічні суміші при розливанні металу в виливниці сталі 4Х4М2ВФС. Результати наведені в табл.1.4., розлиті з екзосумішами і змащені лаком виливниці, зливки передають на колодязі гарячим всадом . Оцінювання прокатуваного металу проводиться шляхом спостереження за проявою рванин на поверхні розкатів під час прокатки. Завдяки (табл. 1.4.) видно, що при всіх умовах 57% плавок, розлитих з екзосумішами, прокатались без прояву рванин, а розлитих зі змазкою 37%.

За рахунок застосування екзосумішів поліпшується якість поверхні злиwkів. Аналіз технології розливання і нагріву плавок показує, що брак по

усадці відбуватися тільки на плавках розлитих в виливниці з тепло вставками.

Таблиця 1.4 – Результати прокатки зливків сталі 4Х4М2ВФС, розлитих з екзосумішами і з мастилом, нагрітих гарячим всадом.

Прокатка зливків	Технологія розливки в виливниці			
	екзосуміш		лак	
	Кі-ть плавки	%	Кі-ть плавки	%
Без рванин	12	57	7	37
З рванинами	10	43	12	63

1.4 Висновки до розділу 1

Дослідження гарячої пластичності встановлено, що максимальна пластичність спостерігається на поверхні зон зливків сталі 4Х4М2ВФС при 1250⁰С, для осьової 1180⁰С, а для поверхневої зони стали 5Х3В3МФС - 1200⁰С. Пластичність обох сталей в деформованому стані значно вище.

Опір деформації сталей з пониженням температури до 1000-900⁰С досягає і дещо перевищує рівень важкодеформованої інструментальної легованої сталі 3Х2В8Ф, переділ зливків якої проводиться в ковальських цехах.

Прокатку сталей 4Х4М2ВФС і 5Х3В3МФС необхідно проводити по режимам, призначених для твердих марок сталей, не допускаючи підстужування металу. Пластичні і міцні властивості металу різних плавок сталі 4Х4М2ВФС в інтервалі температур 900-1300⁰С помітно відрізняються один від одного. На поверхні заготовки, листів, профілів, штампованих виробів спостерігаються різні тріщини поздовжні, поперечні, звивисті, переривчасті та безперервні. Причинами їх утворення служать розкачані пори або підкіркові бульбашки, великі залишкові напруги у зливку або заготовлі, напруги, викликані дуже швидким нагріванням і охолодженням, а також нерівномірністю деформації. Форма тріщин визначається їх походженням, а також способом деформації.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИЧИН ЗНИЖЕНОЇ ПЛАСТИЧНОСТІ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ ВИСОКОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ

2.1 Особливості деформації високолегованих сталей та її показники пластичності

Основна причина низької деформованості високолегованих сталей та сплавів в порівнянні з вуглецевими та легованими – зниження рівня пластичності, що пояснюється зазвичай високим легуванням[18]. У кожному конкретному випадку, це зниження обумовлюється певними фізико-хімічними процесами, що протікають в матеріалі. Стосовно до теорії пластичної деформації та обробки металу тиском всі ці процеси, за пропозицією М. Я. Дзугутова, можна розділити на чотири основні групи.

Процеси першої групи (ПП1) характеризуються загальмовуванням в полікристалічному матеріалі внутрішньозеренної або міжзеренної деформації, що сприяє високим легуванням твердого розчину різними елементами без утворення надмірної зміцнюючої фази (ПП1а), або пересиченням твердого розчину і виділенням дрібнодисперсних частинок зміцнюючої інтерметалідної фази як всередині зерен, так і по їх межах (ПП1б).

Процеси другої групи (ПП2) пояснюються утворенням сітки крихкої надлишкової складової (частіше евтектичній) навколо відносно пластичних зерен основної структури твердого розчину.

Процеси третьої групи (ПП3) пов'язані з наявністю двох або більше структурних складових з різними властивостями.

Процеси четвертої групи (ПП4) відбуваються внаслідок ослаблення міжкристалітного зв'язку при температурах гарячої пластичної деформації.

Всі випадки зниження пластичності (ПП) сталей і сплавів пояснюються, виявленням одного з видів ПП або різних їх поєднанням.

Відповідно попередження ПП досягає запобіганням того фізико-хімічного процесу, який обумовлює даний вид ПП.

Однак якщо рівень пластичності знижується, то для деформування такого матеріалу необхідні температурно-деформаційні умови (збільшення жорсткості схеми напруженого стану, зменшення швидкості деформації), які підвищують пластичні властивості[19].

Пластична деформація всіх високолегованих сталей нерівномірна по перетину та вздовж осі деформованого виробу. В осередку деформації виникають зони, в яких ступінь деформації коливаються в досить широкому інтервалі і можуть бути нижче критичних, критичними або вище критичних. Така неоднорідність деформації стимулює зростання зерен в процесі динамічної та статичної рекристалізації.

У структурі гарячodeформованої сталі можуть спостерігатися зони великих слабodeформованих і нерекристалізованих зерен, ділянки з рекристалізованими зернами, що зазнали первинну, збірну або навіть вторинну рекристалізацію, області з подрібненими зернами. Різномізернистість в деформованих сталях, як правило, має зональний характер. Вона призводить до зниження міцності та пластичних властивостей сталі[20].

Вплив зміни показників жорсткості схеми напруженого стану та температурно-деформаційні умов при прокатці зливків на пластичність для різних температур досліджували для наступних матеріалів:

- 1) 4Х4М2ВФС – сталь аустенітного класу з інтерметалідною фазою – ПП1б;
- 2) 5Х3В3МФС – сталь мартенситного класу, яка має при високих температурах структуру аустеніту.

Дані матеріали володіють низьким рівнем пластичних властивостей, характеризуються низькими значеннями показника жорсткості схеми напруженого стану і майже не піддаються пластичній деформації при низьких температурах[21].

При проведенні експериментів з визначення показників пластичності сталі використовували заготовку зі зливків стаціонарної розливки без попередньої пластичної деформації, що також поглибило низьку пластичність обраних матеріалів.

2.2 Методика визначення граничної пластичності

Останнім часом, при виборі раціональних температурно-швидкісних умов для гарячої деформації металів в різних процесах обробки тиском, все частіше використовують результати випробувань на кручення. Цей метод, спільно з визначенням опору деформації через значення крутного моменту, надає достатньо повне уявлення про пластичність металу за умов гарячої обробки, особливо коли має місце зсувна деформація[22].

Широко використовується метод гарячого скручування для визначення рівня та інтервалів пластичності. З метою уточнення оптимальних температур нагрівання досліджувалася пластичність як литого, так і деформованого металу, що має профілі від 160 до 180 мм. Зразки були вирізані з периферійної зони заготовок.

Для дослідження гарячої пластичності литого металу був використаний промисловий зливочок масою 1,0 т сталі 4Х4М2ВФС та лабораторний зливочок масою 50 кг сталі 5Х3В3МФС[23]. Форма і розміри зразків наведені на рис.2.1.

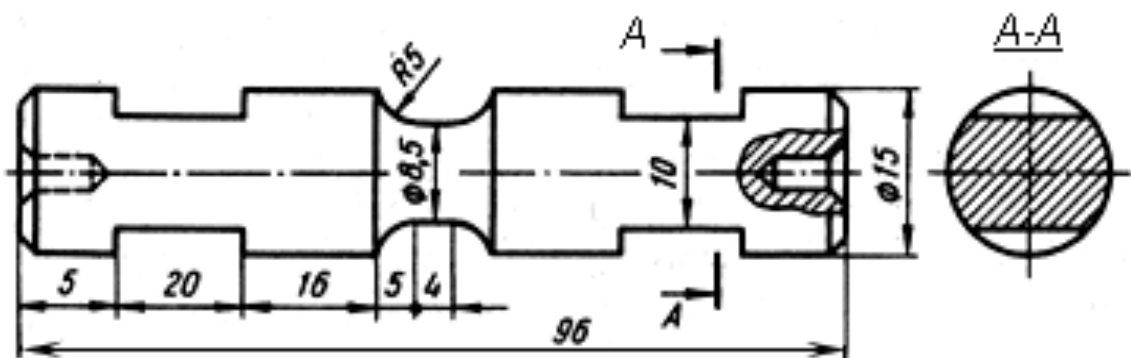


Рисунок 2.1 – Форма і розміри експериментальних зразків

Швидкість деформації зразків при обертанні активного захвату машини з частотою 135 об/хв була близька до середньої швидкості деформації при деформації зливка та становила:

$$u = \pi r \cdot N/30 \cdot I = 15 \text{ с}^{-1},$$

де r – радіус робочої частини зразка, мм;

N – частота обертання активного захвату машини, об/хв ;

I – довжина робочої частини зразка, мм.

Крутний момент та осьове зусилля фіксували за допомогою осцилографа Н-115, на ньому записували кут закручування зразка шляхом реєстрації імпульсів від додатково встановленого на активному захваті машини магнітно-індукційного датчика, що дає імпульси через 0,1 обороту.

Нагрів зразків з витримкою при температурі випробування 20 хв виконували у встановленій на машині електропечі опору.

Зразки для гарячого кручення виготовляли з злиwkів стаціонарного розливання діаметром 90 мм і висотою 290 мм, при цьому осі зразків були паралельними осі зливка і розташовувалися по колу, що дорівнює 0,75 радіуса зливка[24].

Випробування зразків при температурах 900-1250 °С (через 100 °С) проводили при навантаженнях за трьома схемами:

а) без закріплення пасивного захвата; при цьому він мав вільне переміщення в осьовому напрямку під вплив вимірювання робочої довжини зразка при скручуванні, що виключало виникнення осьових зусиль у зразку. У цьому випадку напружений стан зразка характеризується тільки наявністю крутного моменту, а показник жорсткої схеми напруженого стану дорівнює нулю;

б) із закріпленням пасивного захвата в осьовому напрямку; при цьому внаслідок видалення зразків при скручуванні в ньому виникають напруги стиснення до рівня 2-3 МПа;

в) з додатковим зовнішнім осьовим розтягуючим навантаженням при незакріпленому пасивному захопті; при цьому напруження розтягування в зразку в всіх дослідах становила 10 МПа. У цьому випадку зразок знаходиться у складнонапруженому стані (осьове розтягнення при одночасному застосуванні крутного моменту).

Типові діаграми кручення, отримані при навантаженнях зразків за вказаними схемами, наведені на рис 2.2. Як приклад взята сталь 4Х4М2ВФС при температурі випробування 1100 °С. На кривих залежності крутного моменту від кута закручування зразка можна виділити три характерні ділянки зміни опору сталі деформації в даних умовах випробування.

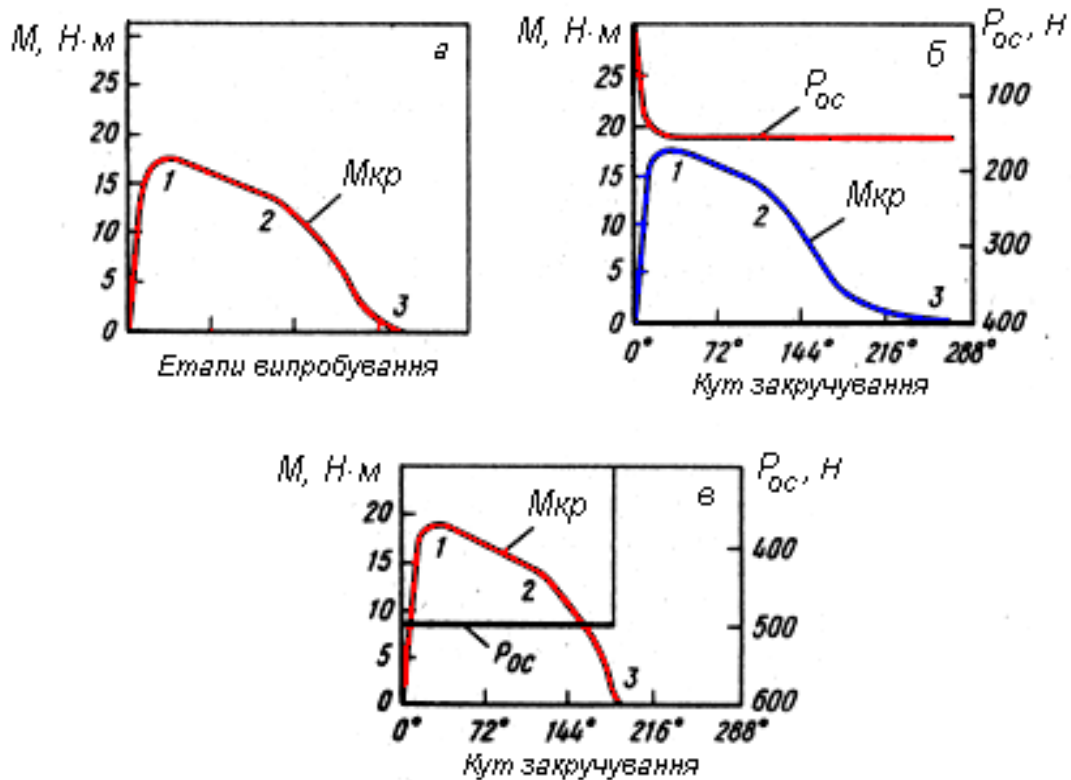


Рисунок 2.2 – Діаграми кручення зразків без закріплення пасивного захоплення (а), з закріпленням пасивного захоплення (б) та із застосування осьової розтягуюче навантаження P (в)

Для першого (відрізок 0-1) характерно різке зростання опору деформації при великому значенні деформування (кута закручування). На цьому етапі відбувається інтенсивне деформаційне зміцнення металу.

На другій ділянці (відрізок 1-2), яка характеризується плавним рухом опору деформації майже по прямолінійному закону, відбувається знеміцнення металу по механізму динамічного повернення при суттєвому збільшенні ступеня деформації через поперечне ковзання або переповзання дислокацій. Не виключено також, що на цьому етапі гарячої деформації, особливо в кінці його при значних деформаціях, певну роль в зниженні зміцнення металу можуть грати і інші процеси динамічного знеміцнення, зокрема динамічна рекристалізація, що протікає шляхом коалесценції субзерен та локальне переміщення ділянок великих кутів між зерен.

На третій ділянці (відрізок 2-3) відбувається різке зниження опору деформації зразка, що закінчується його руйнуванням. Слід зазначити, що точка 2 переходу від другої ділянки зміни $M_{кр}$ до третього вельми виразна в разі кручення без осьової напруги і з напругою розтягування від зовнішнього навантаження (рис. 2.2. а, в), а при наявності осьових напруг стиснення, це стадія переходу від ділянки другого до третього виражена менш чітко.

Завдяки цьому робимо висновок, що на третій ділянці деформування виникає розвиток тріщин у зразку, при цьому їхнє поширення зменшує площа поперечного перерізу робочої частини зразка, що відповідно знижує значення крутного моменту аж до нульового при руйнуванні. Зниження опору деформації на цій ділянці обумовлено також триваючими процесами динамічного знеміцнення металу.

Можна вважати, що на першій і другій ділянці деформування зразка, відбувається накопичення дефектів, які до кінця другого ділянки досягають критичного розміру, переростає на третій ділянці деформації в магістральну тріщину.

Слід зазначити, що збільшення довжини робочої частини зразка при скручуванні, який визначається за зростанням осьових напруг стиснення в ньому (випробування за другою схемою напруги з закріпленням пасивним захватом, рис. 2.2, б), відбувається нерівномірно на цьому етапі деформування. Збільшення довжини відбувається на перших етапах

деформації у порівнянні з невеликих кутах закручування до етапу досягнення максимального значення крутного моменту. При подальшому значному збільшенні ступеня деформації зразка відбувається лише незначне збільшення його довжини. Можливо, що подовження зразка на цьому етапі відбувається дещо більшому розмірі, ніж про це можна судити при незначному збільшенні осьових зусиль стиснення. Таке розміщення може бути викликане нівелюючим впливом протікання на цьому етапі деформації процесів динамічного знеміцнення металу.

Порівняння діаграм кручення зразків за трьома схемами показує, що значення пластичності (кута закручування до руйнування) металу максимально в умовах наявності осьових стискаючих напружень, перешкоджають руйнуванню, а мінімально при наявності в зразку осьових розтягуючих напружень, що сприяють руйнуванню.

Для всіх досліджених сталей характерне монотонне зниження опору деформації. При цьому найбільш високим опором деформації має сталь 5Х3В3МФС. Значно менше (майже на 30-35%) опір сталі 4Х4М2ВФС в дослідженому інтервалі температур опір деформації в всіх сталей зменшується майже вдвічі. Слід також зазначити, що найменше значення максимального крутного моменту при випробуванні з застосуванням осьових напружень розтягування. Пластичність на протилежність опору деформації не має однозначної зміни з ростом температури випробування.

2.3 Результати дослідження показників пластичності сталей 4Х4М2ВФС і 5Х3В3МФС

Розглянемо більш детально результати випробувань, які представлені на рис. 2.3.– 2.4.

Сталь 5Х3В3МФС за інших рівних умов має більш вузький інтервал пластичності та нижчий рівень пластичних властивостей, ніж сталь 4Х4М2ВФС. Це пояснює підвищений брак на сталі 5Х3В3МФС [25].

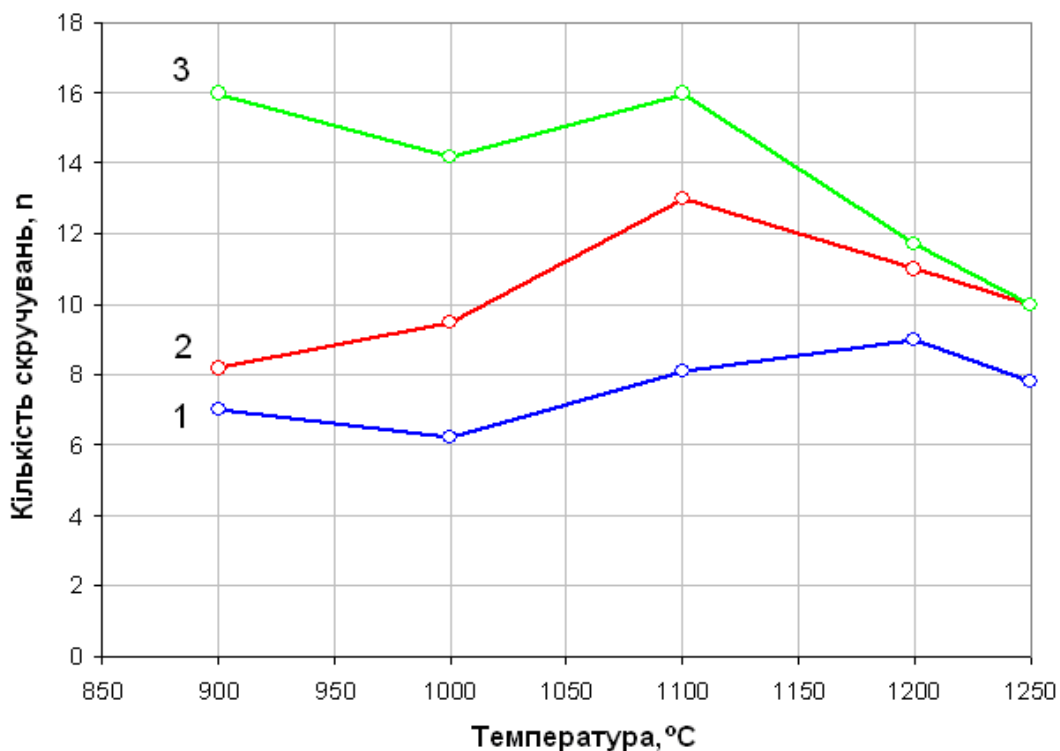
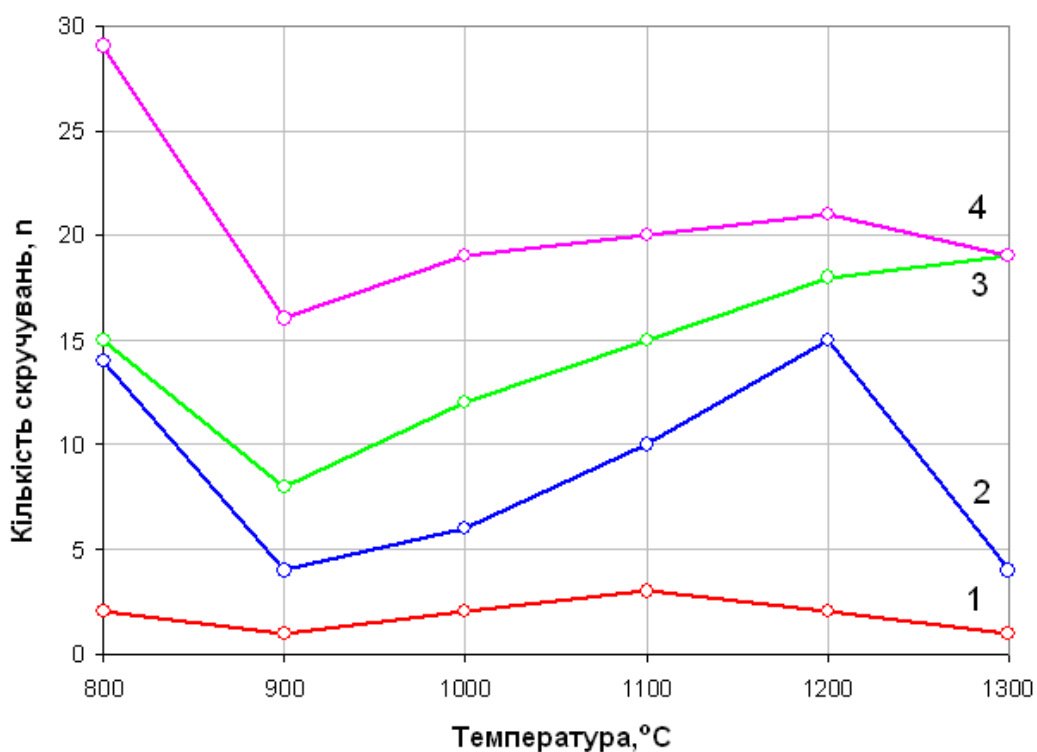


Рисунок 2.3. – Властивості литого (1) та деформованого (2, 3) металу сталі 5X3B3MFC при гарячому скручуванні



1 - осьова зона зливка масою 1 т; 2 - підповерхнева зона зливку; 3 - периферійна зона зливка; 4 - Периферійна зона заготовлі перетином 180 мм

Рисунок 2.4. – Властивості литого та деформованого металу сталі 4X4M2BFC при гарячому скручуванні

Крім того, опір деформування (по питомим тискаам) сталі 5Х3В3МФС майже в 1,5 разів вище, ніж сталі 4Х4М2ВФС. Сталь 5Х3В3МФС більш інтенсивно зміцнюється при зниженні температури (на 7,6 кг/мм² проти 60 кг/мм² при зниженні з 1200 до 1000 °С), що суттєво впливає на якість поверхні прокату.

На рис. 2.3. видно, що максимальна пластичність сталі 5Х3В3МФС в литому стані відповідає температурі 1200 °С.

На рис. 2.4. показана гаряча пластичність сталі 4Х4М2ВФС для різних зон промислового зливка, з якого видно, що максимальна пластичність осьової зони відповідає температура 1100⁰, а поверхневої зони 1200⁰. Ці дані представлені з результатами вивчення оплавлення різних зон цього зливка.

Така значна різниця в температурах максимальної пластичності по перетину зливка ускладнює вибір оптимальної температури нагріву для всієї маси зливка. Можна припустити, що діючі режими нагріву, які передбачають томління злиwkів сталі 4Х4М2ВФС при 1250⁰ і 5Х3В3МФС при 1230⁰, є позитивними для поверхневих зон, але не гарантує від перегріву і перепалу осьову частину. З урахуванням вищесказаного були проведені дослідження з визначення показників пластичності серійних плавok сталі 4Х4М2ВФС.

Була досліджена технологічна пластичність чотирьох серійних плавok сталі 4Х4М2ВФС шляхом скручування зразків в інтервалі температур 800-1300 °С, результати дослідження, представлені в таблиці 2.1., які свідчать про помітне коливання показників пластичності та опору деформації різних плавok сталі 4Х4М2ВФС.

Деформацію заготовок із сталі 4Х4М2ВФС також проводили в діапазоні температур 900-1300⁰С. Як показали експерименти, інтервал її максимальної деформованості ширше (1070-1115⁰С), ніж для інших сталей даного класу. Температура максимальної пластичності для неї становить 1100 °С. При показнику $K_{ж} = 0$ сталь 4Х4М2ВФС низкопластична у всьому діапазоні досліджуваних температур, а зменшення $K_{ж}$ від 0 до -4,0 її пластичності різко (в 1,6-1,8 рази) зростає. Подальше пом'якшення схеми напруженого стану від

4,0 до -8,0 позначається на пластичності менш помітно (λ_r росте лише в 1,3-1,5 рази).

Розрахунковий коефіцієнт для сталі 4Х4М2ВФС становить:

при - $4,0 \leq \sigma / T \leq 0$ $A = 2,8$ $B = - 0,48$;

при - $8,0 \leq \sigma / T \leq - 4,0$ $A = 4,7$ $B = - 0,39$;

Оптимальний наступний температурно-деформаційний інтервал обробки: $t = 1070 \div 1115^\circ\text{C}$ при $K_{ж} = - 3,5 \div - 5,6$.

Таблиця 2.1 – Число скручувань до руйнування та максимальний крутний момент при гарячому скручуванні зразків різних промислових плавов сталі 4Х4М2ВФС

№	Марки сталі	Температура випробування, °С						
		800	900	1000	1100	1200	1250	1300
1	4Х4М2ВФС	-	12,4	13,1	21,5	21,3	20,4	15,3
		-	169,0	127	80	52	44	37
2	4Х4М2ВФС	29,0	15,0	23,0	23,2	21,5	22,3	23,5
		-	160	123	76	50	41	36
3	4Х4М2ВФС	-	12,1	25,0	24,8	26,9	28,0	32,8
		-	195	127	78	49	36,5	31,5
4	4Х4М2ВФС	28,6	15,4	19,3	21,1	22,1	24,9	17,6
		232	182	130	87	55	45	35

Примітки: 1) В чисельнику – число скручувань до руйнування (n), в знаменнику – максимальний крутний момент ($M_{\text{макс.}}$, кг·см); 2) зразки вирізалися з периферійної зони квадратної заготовки перетином 180 мм.

Для визначення температур початку оплавлення литого металу необхідні зразки з поверхневої та осьової зони зливка сталі 4Х4М2ВФС масою 1000 кг, схильних до порушення суцільності при деформації. Дослідження проводиться за допомогою високотемпературного мікроскопа.

Температура початку оплавлення легкоплавних міждендритних ліквацийних ділянок, що знаходяться в таких межах: осьова зона – 1185-1200 °С; поверхнева зона – 1240-1270 °С; кути зливка – 1270-1310 °С.

Ці дані відповідають характеру кривих пластичних характеристик дослідженого зливка (рис. 2.4.).

В лабораторні печі зразок металу був нагрітий до 1250 °С протягом однієї години, вирізаний з поверхневої зони [26]. На рис., 2.5. показана макроструктура цього зразка, з якого видно, що на поверхні зливка проявляються мікротріщини та в порах відбувається проникнення дифузійних окислів всередину металу далі по між осями і межами зерен.

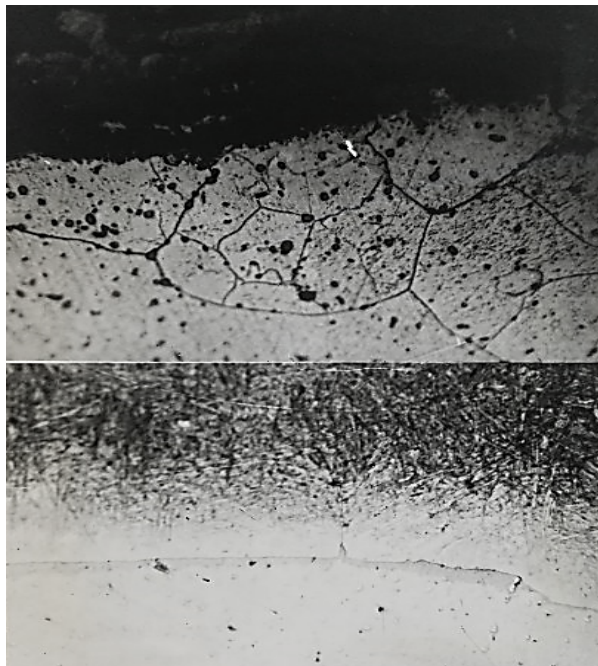


Рисунок 2.5. – Мікроструктура сталі 4X4M2BFC в поверхневій зоні зливка P = 1,0 т після нагріву при 1250 °С протягом однієї години

Для визначення критичних точок сталей 4X4M2BFC і 5X3B3MFC проводили дилатометричне вивчення фазових перетворень з використанням високочутливого диференціального дилатометра на основі лампи механотрон, призначений для дослідження фазових та структурних перетворень. Швидкість нагрівання та охолодження зразків становить 50 град/год. Результати дослідження з визначення критичних точок представлені у таблиці 2.2.

У доевтектоїдної сталі, прокатої в інтервалі температур A_{C3} - A_{C1} , в двофазній аустенітно-феритній області, також проявляється різнозернистість

структури. Причиною чого є різна швидкість динамічної та статичної рекристалізації фериту та аустеніту, причому феритні зерна, більш схильні до рекристалізації, ростуть швидше.

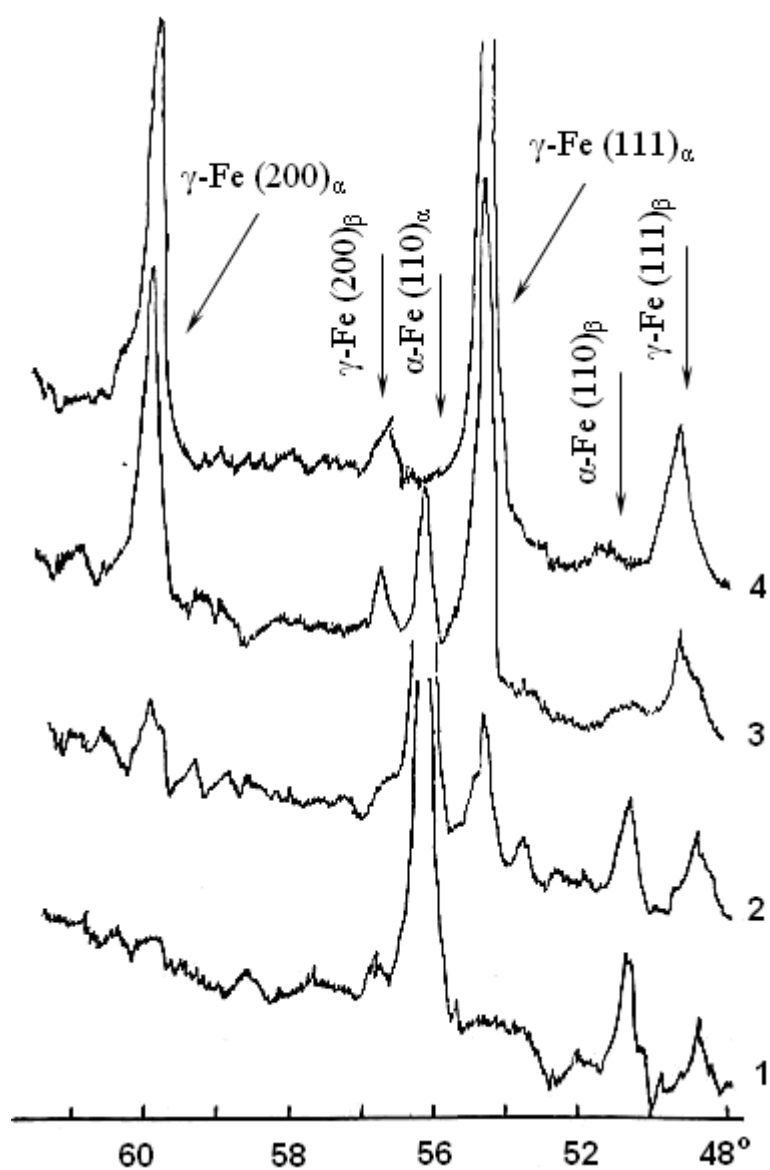
Таблиця 2.2. – Отримані критичні точки сталей 4Х4М2ВФС і 5Х3В3МФС

Критичні точки	4Х4М2ВФС	5Х3В3МФС
A _{C1}	810 °С	810 °С
A _{C3}	880 °С	900 °С
A _{R3}	750 °С	800 °С
A _{R1}	670 °С	695 °С
M _H	-	300 °С
M _K	-	105 °С

Далі були проведені дослідження щодо фазових перетворень за допомогою рентгенографії. Під час випробувань на пластичність зразків за методом гарячого скручування виявлено, що властивості пластичності сталі зменшуються в температурному інтервалі від 650 до 900 °С.

Для розкриття природи цього зменшення пластичності сталі 4Х4М2ВФС в інтервалі температур від 650 до 1000 °С було використано рентгенівську установку ВРК-1 та різні методики. Для проведення рентгенографічних досліджень був взятий зразок з діаметром 2,5 мм та робочою частиною довжиною 20 мм. Зразок нагрівали, пропускаючи через нього електричний струм до заданої температури зі швидкістю 200 градусів за хвилину, і утримували протягом 10 хвилин. Точність вимірювання температури становила ± 10 °С. Рентгенівська зйомка проводилася в інтервалі бреггівських кутів від 45 до 70 градусів.

Використано $K\alpha, \beta$ -випромінювання від залізного анода. На отриманих дифрактограмах були зареєстровані рефлекси $(110)\alpha$ -заліза та (111) і $(200)\gamma$ -заліза. На рисунку 2.6 представлені дифрактограми при різних температурах. З них видно, що при температурі 750°C лінії γ -Fe відсутні. При температурі 775°C проявляються перші лінії γ -Fe(111) α та $(200)\alpha$, інтенсивність яких зростає зі збільшенням температури. Інтенсивність лінії α -Fe зменшується. При температурі 875°C на дифрактограмі лінія α -Fe не проявляється.



1 – 750°C ; 2 – 775°C ; 3 – 850°C ; 4 – 875°C

Рисунок 2.6 – Ділянки дифрактограми знятих при температурах

Отже, $\alpha \Rightarrow \gamma$ перетворення в досліджуваній сталі проходить в інтервалі температур 775-875 °С. Таким же методом встановлено, що $\gamma \Rightarrow \alpha$ перетворення при охолодженні проходить в інтервалі 700-625 °С.

З проведених методів можна зробити висновок, що зменшення пластичних властивостей сталі 4Х4М2ВФС в температурному інтервалі 650-900 °С, утворює процес $\alpha \Rightarrow \gamma$ перетворення.

Для розробки оптимальних режимів деформації сталей необхідно враховувати залежність опору деформації від температурно-швидкісних параметрів, властивих даному технологічному режиму обробки тиском, зокрема прокатки на блюмінгу.

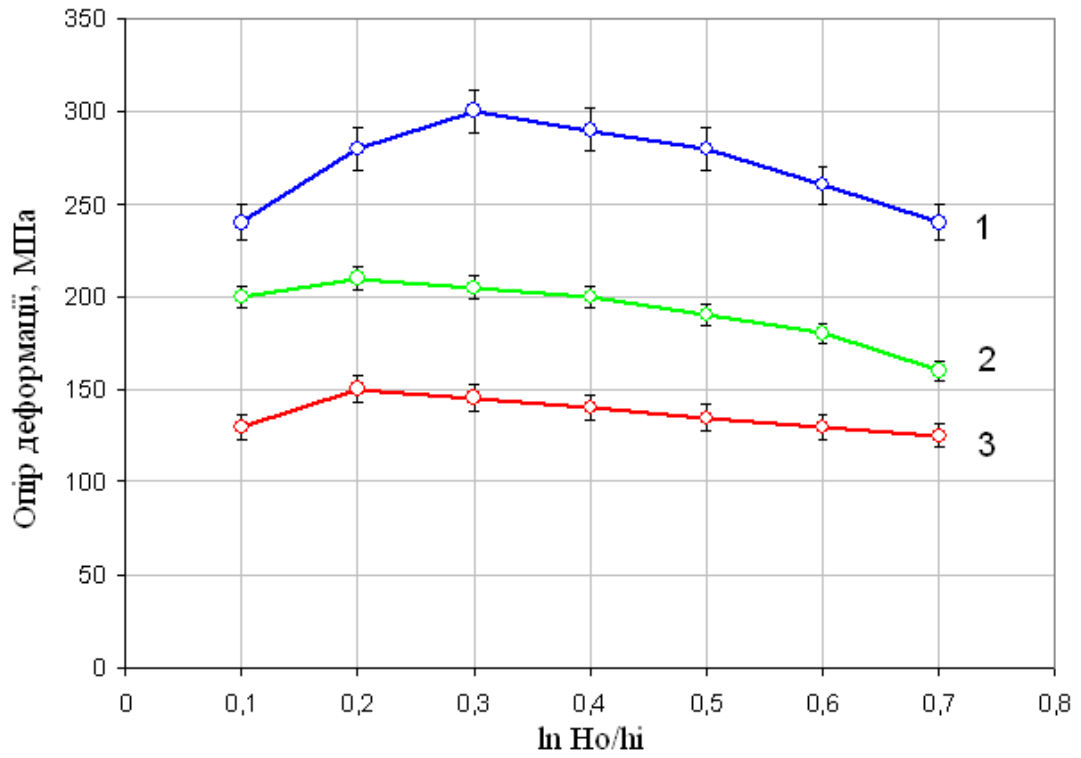
В даній роботі досліджується температурно-швидкісні залежності опору деформації (σ_i) сталі 4Х4М2ВФС. Дослідження проводилися на кулачковому пластометрі з максимальним зусиллям 150 т конструкції[27].

Температура випробувань витримувалася в інтервалі 900-1200 °С, швидкість деформації (u) змінювалася в межах від 8 до 30 1/с, деформація змінювалася до $\varepsilon_i = \ln \frac{H_o}{h_i} = 0,7$.

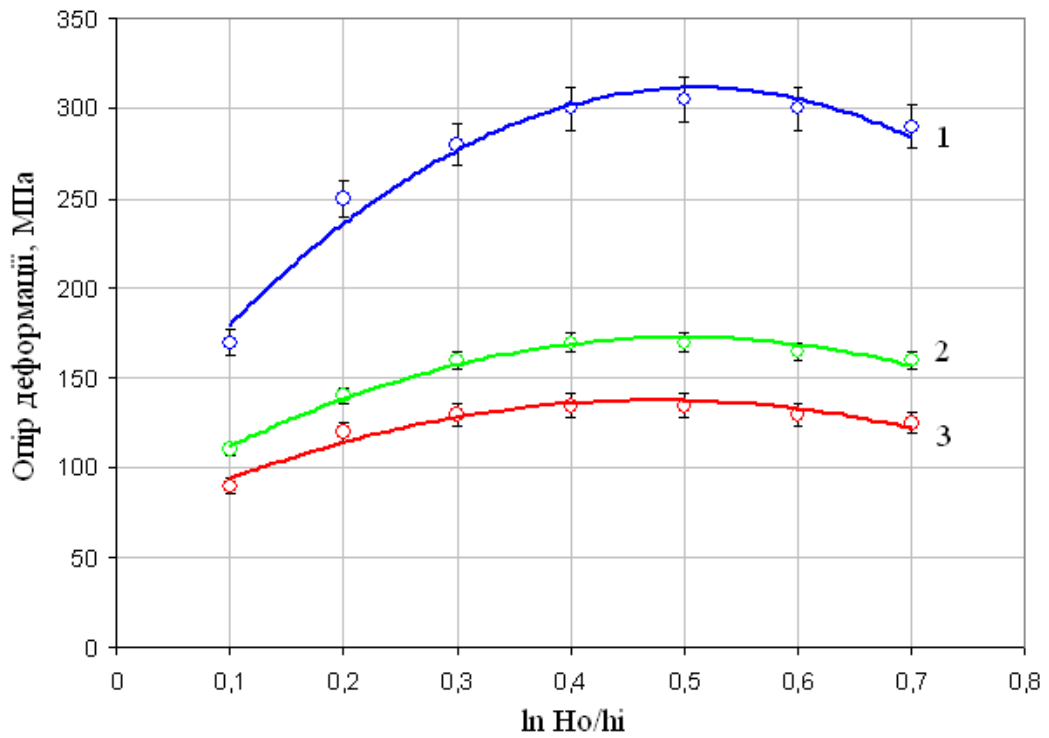
Значення σ_i при $u = 2,2 \cdot 10^{-3}$ 1/с, отримані на стандартній розривній машині. Отримані експериментальні криві $\sigma_i = f(\varepsilon, u, t)$ наведені на рис.2.7-2.9.

Криві зміцнення сталі 4Х4М2ВФС (рис. 2.7.), як і для більшості інших інструментальних сталей мають максимальну межу зміцнення, по досягненню якого опір деформації зі збільшенням ступеня обтиснення зменшується. Зі зниженням температури від 1200 до 900 °С опір деформації зі збільшенням ступеня обтиснення збільшується. Зі зниженням температури від 1200 до 900 °С опір деформації змінюється в 2 рази.

Якщо при 1200 °С $u = 8-30$ 1/с, і $\varepsilon = 20-35\%$ опір деформації складає 120-190 МПа, то при 900 °С та інших рівних умов опір деформації складе 270-370 МПа. При цьому інтенсивність зміцнення зі зниженням температури збільшується.

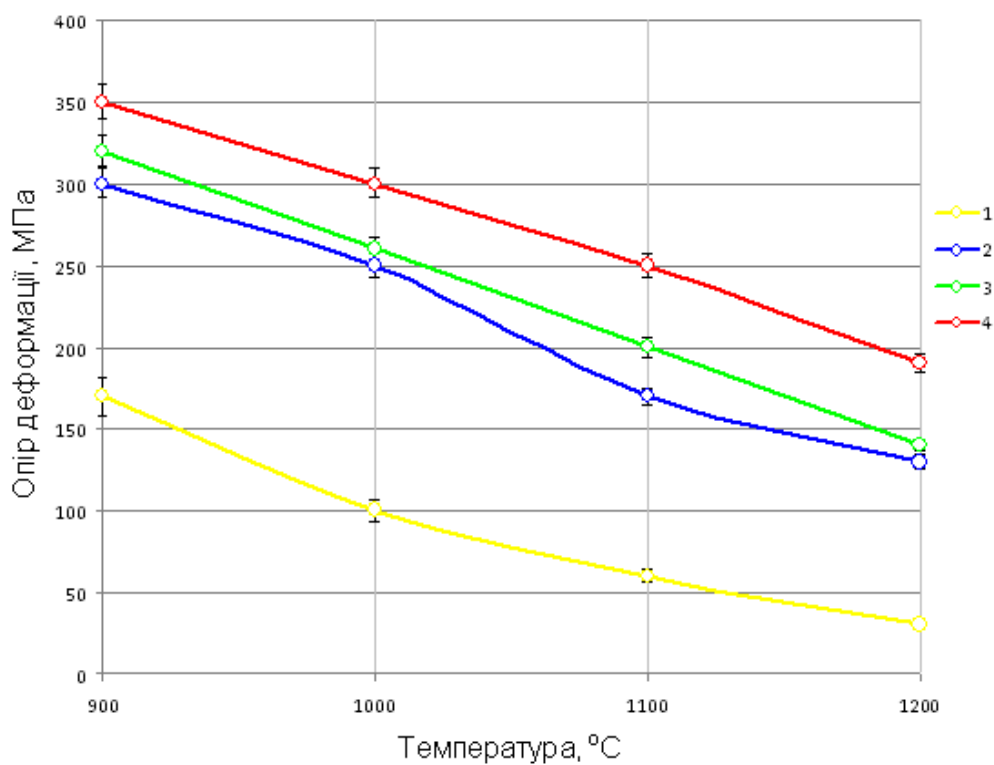


a



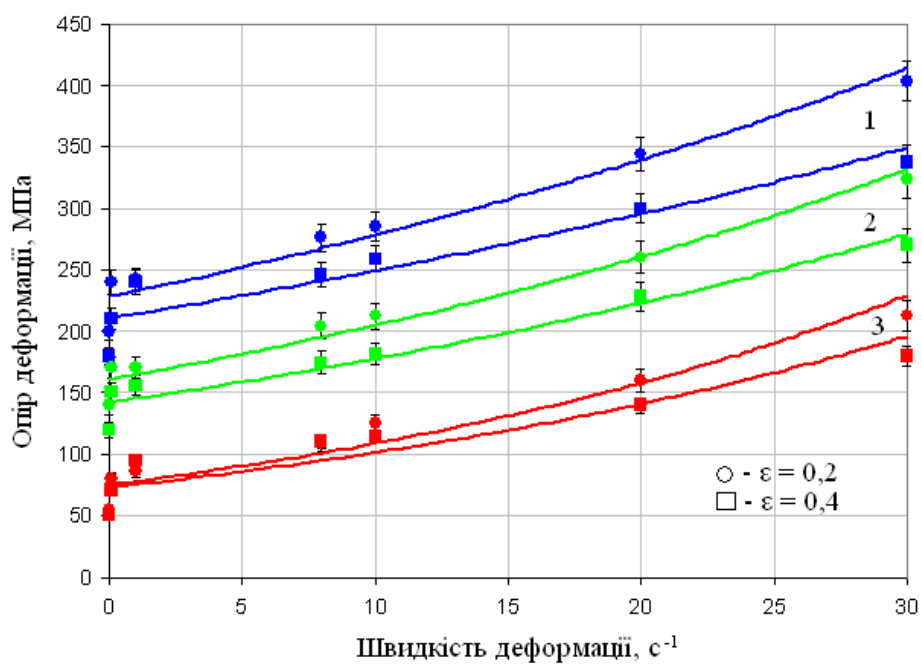
б

Рисунок 2.7. – Криві зміцнення сталі 3X2B8Ф (*a*) при $u = 8 \text{ 1/с}$ та сталі 4X4M2BФС (*б*) при $u = 7 \text{ 1/с}$.



1 – $u = 1,15 \cdot 10^{-3} \text{ 1/c}$; 2 – $u = 8 \text{ 1/хв}$; 3 – $u = 15 \text{ 1/c}$; 4 – $u = 30 \text{ 1/c}$

Рисунок 2.8 – Температурна залежність опору деформації сталі 4Х4М2ВФС



1 – $\varepsilon = 0,2$; 2 – $\varepsilon = 0,4$

Рисунок 2.9 – Залежності опору деформації сталі 4Х4М2ВФС від швидкості деформації

При швидкості деформації $7 \text{ }^1/\text{с}$, опір деформації сталі 4Х4М2ВФС при зниженні температури до 1000-900 °С і ступеня деформації більше 15% спочатку досягає, а потім перевищує рівень σ_i труднодеформованої інструментальної сталі 3Х2В8Ф, переділ якій здійснюється тільки на ковальському обладнанні. Тому підстужування сталі 4Х4М2ВФС може призвести до значних труднощів при її прокатці. З огляду на це, режим обтиснень сталей 4Х4М2ВФС на блюмінгу повинен бути аналогічним важкодеформованим нержавіючим сталям.

Для розробки оптимальних режимів деформації сталей необхідно враховувати залежність опору деформації від температурно-швидкісних параметрів, властивих даному технологічному режиму обробки тиском, зокрема прокатки на блюмінгу.

Дослідами встановлено, що з підвищенням температури σ_i сталі 4Х4М2ВФС, що знаходиться в аустенітному стані, знижується залежно близької до експоненційної типу, ($\sigma = \alpha kt$) рис.3.6. При переході в стан α -Fe спостерігається перегин прямої лінії.

В інтервалі швидкостей деформації на блюмінгах 0,8-3,0 $^1/\text{с}$, опір деформації сталі 4Х4М2ВФС, при $\varepsilon = 0,2$ – змінюється при 1200 °С від 96 до 108 МПа, а при 900⁰С від 210 до 230 МПа (рис.2.9).

Опір деформації сталі 5Х3В3МФС за значенням максимального крутного моменту в інтервалі температур 900-1200 °С вище, ніж у сталі 4Х4М2ВФС на 20-35% (табл.2.3).

Таблиця 2.3 – Максимальний крутний момент ($M_{кр}$) сталей 4Х4М2ВФС і 5Х3В3МФС при гарячому скручуванні

Марка сталі	$M_{кр}$ при температурах випробування, °С				
	900	1000	1100	1200	1250
4Х4М2ВФС	172	145	98	66	54
5Х3В3МФС	160	125	80	47	40

Таким чином, встановлено, що при швидкостях деформації на блюмінгу по опору деформації сталі 4Х4М2ВФС та 5Х3В3МФС відносяться до важкодеформованим матеріалам і прокатка їх повинна здійснюється по режимам твердих марок сталей, про це цьому виключають підстужування металу.

2.4 Висновки до розділу 2

Ці матеріали проявляють низьку пластичність, характеризуються низьким показником жорсткості схеми напруженого стану і майже не вказують на пластичну деформацію при низьких температурах. Виявлено, що для всіх досліджених сталей спостерігається монотонне зниження опору деформації. При цьому сталь 5Х3В3МФС має найвищий опір деформації, тоді як опір сталі 4Х4М2ВФС зменшується майже вдвічі в порівнянні з іншими сталями, майже на 30-35% в дослідженому температурному інтервалі.

Для розробки оптимальних режимів деформації сталей важливо враховувати залежність опору деформації від температурно-швидкісних параметрів, що є характерним для конкретного технологічного режиму обробки під тиском, зокрема прокатки на блюмінгу.

При швидкості деформації 7 1/с опір деформації сталі 4Х4М2ВФС при зниженні температури до 1000-900 °С і ступеня деформації більше 15% спочатку досягає та потім перевищує рівень σ_і труднодеформованої інструментальної сталі 3Х2В8Ф, переведення якої здійснюється лише за участю ковальського обладнання. Тому підстужування сталі 4Х4М2ВФС може ускладнити її прокатку. З урахуванням цього, режим обробки сталей 4Х4М2ВФС на блюмінгу повинен бути аналогічним режиму для важкодеформованих нержавіючих сталей.

З РОЗРОБКА РЕЖИМУ ДЕФОРМАЦІЇ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ПРОКАТКИ ЗЛИВКІВ З ВИСОКОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ 4Х4М2ВФС ТА 5Х3В3МФС

3.1 Дослідження режиму деформації та технології прокатки зливків зі сталей 4Х4М2ВФС і 5Х3В3МФС

За діючою технологією прокатки зливків сталей 4Х4М2ВФС і 5Х3В3МФС здійснюється на стані 1050 в клітях I і II.

На рис.3.1. представлена система калібрів блюмінга 1050, її застосовують для прокатки сталей 4Х4М2ВФС і 5Х3В3МФС. Деформація даних сталей проводиться за схемами і режимами, які призначені для твердих (високолегованих) марок сталей, наведена в таблиці 3.1. і 3.2 .

Швидкість прокатки зливків 4Х4М2ВФС і 5Х3В3МФС встановлено, всі процеси коливаються в межах 2-4 м/с.

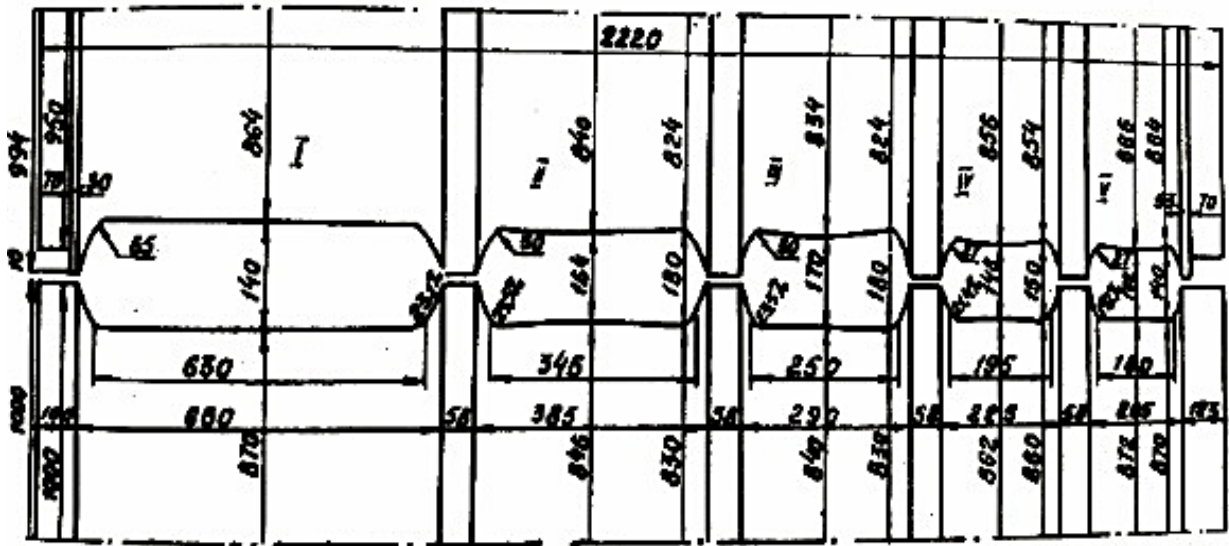


Рисунок 3.1 – Калібрування валків I кліті на стані 1050 ПрАТ “Дніпроспецсталь”

Сортовий метал і перероблена заготівля квадратного перетину розміром 140x250 мм виготовляється на I кліті стану 1050, розмірами 140x98 мм і круглого профілю розмірами $\varnothing 190 \times 130$ мм в II кліті[28].

Таблиця 3.1 – Діючий режим деформації зливків зі сталі 4Х4М2ВФС

№ пропуску	Показник стрілок	Обтиснення $\Delta h, \text{мм}$	Розширення $\Delta b, \text{мм}$	Н	В
0				540	540
1	370	30	-	510	540
2	340	30	5	480	545
Кантування					
3	350	50	10	490	590
4	300	50	10	440	500
5	250	50	10	390	510
6	205	50	10	345	520
Кантування					
7	295	45	10	475	355
8	250	45	10	430	365
9	205	45	10	385	376
10	165	40	5	345	380
Кантування					
11	15	65	10	315	355
12	70	65	10	250	365
Кантування					
13	130	55	10	310	250
14	70	60	10	250	270
Кантування					
15	55	35	10	235	260
16	15	40	10	195	270
Кантування					
17	75	45	10	225	205
18	30	45	10	180	215
Кантування					
19	45	30	10	185	190
20	20	25	5	160	195
Кантування					
21	30	25	16	170	170

Таблиця 3.2 – Діючий режим деформації зливків зі сталі 5Х3В3МФС

№ пропуске	Показник стрілок	Обтиснення $\Delta h, \text{мм}$	Розширення $\Delta b, \text{мм}$	H	B
0				590	590
1	415	35	5	535	595
2	330	35	5	520	600
Кантування					
3	430	30	5	510	525
4	400	30	5	540	530
5	370	30	5	510	535
6	340	30	5	480	540
Кантування					
7	350	50	10	430	490
8	300	50	10	440	505
9	250	50	10	330	510
10	205	45	10	345	520
Кантування					
11	295	45	10	475	355
12	250	45	10	430	365
13	205	45	10	385	375
14	165	40	5	345	380
Кантування					
15	135	65	10	315	355
16	70	65	10	250	365
Кантування					
17	130	55	10	310	260
18	70	50	10	250	270
Кантування					
19	95	35	10	235	260
20	15	40	10	198	270
Кантування					
21	75	45	10	225	205
22	30	45	10	180	215
Кантування					
23	45	30	10	185	190
24	20	25	5	180	195
Кантування					
25	30	25	10	170	170

Ад'юстажна обробка переробленої заготівки і товарного сорту включає попередній відпал металу і зачистку дефектів до повного видалення. Відмінно від товарного сорту перероблена заготівка допускає зачистку дефектів з будь-яким заляганням. Тому брак для сталей 4Х4М2ВФС і 5Х3В3МФС являються рванини і тріщини, ці дефекти найчастіше проявляються на переробленій заготівлі, ніж на товарному сорті[29].

Встановлено, що найбільш поширеними дефектами на поверхні прокату зі сталей 4Х4М2ВФС і 5Х3В3МФС є рванини і тріщини-волосовини.

Рванини. Тривале спостереження за процесом прокатки серійних і дослідних плавок з поста управління стана 1050 дозволили встановити певну закономірність утворення поперечних рванин на гранях при прокатці зливків в I кліті стана 1050: рванини виникали при деформуванні металу у 2-му чи 3-му калібрі і при подальшій прокатці збільшувалися.

При прокатці зливка на заготівку квадрат 180 мм за схемою ("X" - позначені пропуски, " K " - кантування на 90^0 і 270^0):

I калібр	II калібр	III калібр	IV калібр	V калібр
ХХК 90^0	ХХХХК 90^0	ХХК 90^0	ХХК 90^0	Х
ХХХХХХ 90^0	ХХК 90^0	ХХК 90^0		

Дефекти у вигляді рванин з'являються в III калібрі після 18 пропуску на верхній грані.

При прокатці зливків за схемою:

I калібр	II калібр	III калібр	IV калібр	V калібр
ХХК 90^0	ХХХХК 90^0	ХХК 90^0	ХХК 90^0	Х
ХХХХХХ 270^0	ХХК 90^0	ХХК 90^0		

Рванини спостерігаються в II калібрі після 14 пропуску на верхній грані.

Виникають припущення , що рванини виникають на одній і тій же грані, нагрітій в комірці до більш низької або більш високої температури.

Для усунення причини утворення рванин були проведені спеціальні спостереження і досліди, сенс яких призводить до визначення розташування граней з дефектами в комірці. Слід зазначити , що перехід від грані з рванинами на заготівлі в холодному стані до зливку і розташуванню його від коміррки досить важкий. Для визначення таких граней зі сталі 4Х4М2ВФС, що включає 9 злиwkів масою 2850кг, призначених на витрачання електродів для ЕШП, з гарячого посада прокатали за 19 пропусків на 240мм за двома схемами:

I калібр	II калібр	III калібр	IV калібр
ХХК90 ⁰	ХХХХК90 ⁰	ХХК90 ⁰	Х зливки № 1-7,9
ХХХХХХ270 ⁰	ХХК90 ⁰	ХХК90 ⁰	

Кантування на 270⁰ перед передачею розкату в II калібр застосовують часто з метою, щоб "гаряча" грань була вгорі і розкат не вигинало б вгору в разі нерівномірного прогріву злиwkів.

I калібр	II калібр	III калібр	IV калібр
ХХК90 ⁰	ХХХХК90 ⁰	ХХК90 ⁰	Х зливки № 8
ХХК180 ⁰	ХХК90 ⁰	ХХК90 ⁰	
ХХХХХХК90 ⁰			

Зміна схеми прокатки передбачало зміну граней, що знаходяться більш тривалий час в контактi з валками і охолодженою водою.

Знаючи схему прокатки, порядок кантування, розташування "холодних" граней на рольгангу перед прокаткою, на заготівках після остигання була встановлена схема прокатки при якій утворюються рванини.

Верхня грань смуги визначається за вм'ятинами верхнього ножа ножиць, яких посилили 900т : напрямок прокатки – по хвостовій частині смуги, яка не вирізала під час різання. Хвостова частина зливка після прокатки застосовувалась додатковим підтвердженням розташування "холодної" та "гарячої" граней зливка (за характером витяжки торця смуги). Огляд електродів в холодному стані виявив ураженість рванинами на всіх 9-ти розкатах лише однієї грані і прилеглий до неї кутів біля ребер . З урахуванням вищесказаних міркувань встановили, що уражена рванина грань електрода непомітно перебувала з лівої сторони по виходу смуги зі стану. У цих випадках вгорі виявлялася грань зливка, яка в колодязі була звернена до пальника, тобто "гаряча", на 8-му зливку "холодна" грань була вгорі по виходу смуги зі стану, а грань з дефектами – з права.

Така закономірність показала, що рванини є результатом погіршених умов деформації відносної грані. Причинами такого погіршення умов деформації могли б бути охолоджувальна вода і прокатка за схемою з 6 пропусками в I калібрі без кантування.

Дійсно, вода потрапляє з валків на метал, вона може затримуватися лише на верхній грані розкату. При прокатці злиwkів з 5 кантованнями при 18 пропусках до III калібру включно, окремі грані розкату потрапляли під вплив охолоджувальної води не одноразово.

Таким чином, при огляді поверхні всіх 9-ти електродів з'ясувалося, що рванини розташовувалися на гранях, які найбільше число разів охолоджувалися водою знаходилася вгорі, підвергалася деформації в 6-ти пропусках поспіль без кантування. Причому на восьмому зливку ця грань, у зв'язку з додатковим кантуванням в I калібрі на 180° , виявилася на протилежному боці.

Таким чином, при огляді поверхні електродів встановлено, що рванини розташовуються на гранях, які знаходилася зверху, підвергались деформації в 6-ти пропусках без кантування, тобто охолоджувались водою. Слід зазначити, що прокатка, яка передбачає 6 пропусків без кантування, сприяє

також розвитку болем нерівномірного розширення бокових граней (утворення подвійної бочки і глибокої западини); що при подальшій прокатці після кантування (вигинається вгору) призводить до інтенсивного охолодження смуги водою, особливо в западині.

За діючої схемою прокатки в I калібрі кантування передбачається після 2-го ,потім 4-го пропусків, але у зв'язку з високим опором деформації сталі 4X4M2BFC і особливо сталі 5X3B3MFC, оператори вимушені в ряді випадків розділити обтиснення за схемою на кілька пропусків, прокочуючи зливки по 6-8 пропусків без кантування.

Для перевірки отриманих результатів необхідно розробити прокатку 5 плавок кожної марки сталі, виплавлених з силікокальцієм і нагріти їх по одному режиму за дослідною схемою, в якій передбачувані кантування після 2-х пропусків в I калібрі (табл.3.3.– 3.4.). При деформації злиwkів в перших трьох калібрах максимально перекрили охолоджувальну воду, при цьому половину злиwkів в двох плавках прокатали з охолодження водою, з 6-ю пропусками в I калібрі без кантування.

Спостереження показали, що рванини з'являлися тільки на зливках, прокатаних за старою схемою.

Огляд в холодному стані показав, що окремі заготівки, прокатані за новою схемою і без води, на деяких серійних плавках мали дуже дрібні рванини, що не призводять до браку металу. Можна припустити, що впливає на утворення рванин на гранях розкатів сталей 4X4M2BFC і 5X3B3MFC:

1. Потрапляючи з валків на поверхні вода охолоджує тонкий поверхневий шар верхньої грані, опір деформації який різко зростає і досягає значення - труднодеформуючих сталей.

2. Збільшення числа пропусків без кантування в першому калібрі зміцнює поверхневий шар металу, знижує його пластичність.

3. Малопластичний нестійкий поверхневий шар металу після кантування смуги потрапляє в несприятливі умови з точки зору нерівномірності деформації і розтягуючих напруг (середня частина висоти

бокових грані), а потім знову і знову потрапляє під вплив охолоджувальної води.

Таблиця 3.3 – Дослідний режим деформації зливків зі сталі 5Х3В3МФС

№ пропуску	Показник стрілок	Обтиснення Δh,мм	Розширення Δb,мм	H	B
0				590	590
1	420	30	0	560	590
2	390	30	5	530	595
Кантування					
3	425	30	5	585	535
4	400	25	5	540	540
Кантування					
5	385	35	5	505	545
6	330	35	5	470	550
Кантування					
7	370	40	10	510	480
8	330	40	10	470	490
Кантування					
9	310	40	10	450	480
10	270	40	10	410	490
11	240	30	10	380	500
12	205	35	10	345	510
Кантування					
13	285	45	10	485	355
14	240	45	10	420	385
15	195	45	10	375	375
16	150	45	10	330	385
Кантування					
17	180	25	55	360	335
18	155	25	10	335	340
Кантування					
19	115	45	10	295	345
20	70	45	10	250	355
Кантування					
21	125	50	10	305	260
22	70	55	10	250	270
Кантування					
23	50	40	10	230	260
24	15	35	10	195	270
Кантування					
25	80	40	10	230	205
26	40	40	10	190	215
Кантування					
27	40	25	10	190	200
28	20	20	5	170	205
Кантування					
29	40	25	10	180	180

Таблиця 3.4 – Дослідний режим деформації зливків зі сталі 4Х4М2ВФС

№ пропуски	Показник стрілок	Обтиснення $\Delta h, \text{мм}$	Розширення $\Delta b, \text{мм}$	H	B
0				540	540
1	370	30	0	510	540
2	340	30	5	480	545
Кантування					
3	370	35	10	510	490
4	330	40	10	470	500
Кантування					
5	315	45	10	455	480
6	275	40	10	415	490
Кантування					
7	305	45	10	445	425
8	260	45	10	400	435
Кантування					
9	250	45	10	390	410
10	205	45	10	345	420
Кантування					
11	200	40	10	380	355
12	160	40	10	340	365
Кантування					
13	125	60	10	305	350
14	70	55	10	250	380
Кантування					
15	125	55	10	305	280
16	70	55	10	250	270
Кантування					
17	50	40	10	230	260
18	15	35	10	195	270
Кантування					
19	80	40	10	230	205
20	40	40	10	190	215
Кантування					
21	40	25	10	190	200
22	20	20	5	170	205
Кантування					
23	40	25	10	180	180

На рисунку 3.2. показаний недокат після 2-го пропуску в 2 калібрі стали 4Х4М2ВФС з кутовими рванинами на всіх ребрах. Попередні зливки цієї плавки, прокатані з гарячим всадом[30].

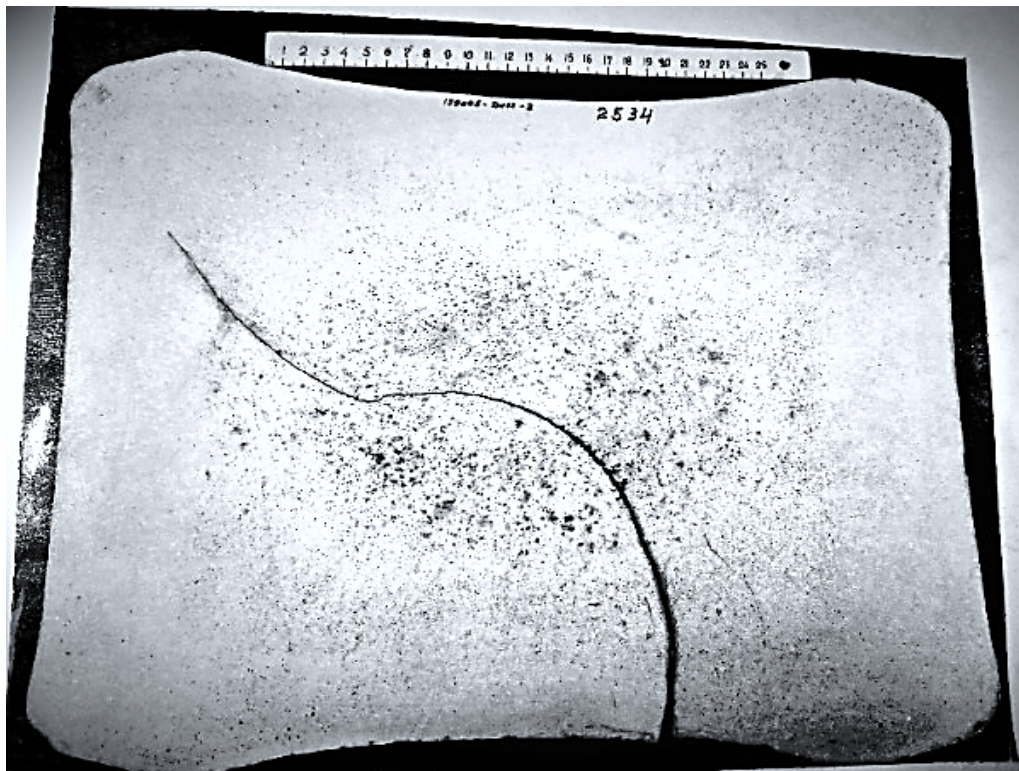


Рисунок 3.2 – Поперечний переріз недоката сталі 4Х4М2ВФС, прокатаного зі зливка $P = 3,2$ т (з гарячого посада) після 2-го пропуску в II калібрі на стані 950



Рисунок 3.3 – Кутові рванини на розкаті перетином 430x365мм сталі 4Х4М2ВФС.

Поява кутових рванин при прокатці сталей 4Х4М2ВФС і 5Х3В3МФС сприяє тривале розтягування напружень по кутах розкату, через підвищення нерівномірності деформації, це пов'язано з збільшенням роздрібненості деформації і з надмірним охолодженням смуги.

3.2 Розробка та побудова нових калібрів і розміщення їх на валках

Визначаємо розміри калібрів і становимо монтажну схему калібрів валків відповідно до рекомендацій, описаними в [31]. Відповідно до рекомендацій приймаємо глибину струмків $H_{вр}$: для першого калібру $H_{вр1} = 75$ мм, для другого калібру $H_{вр2} = 90$ мм, для третього й четвертого калібру $H_{вр3,4} = 80$ мм, для п'ятого калібру $H_{вр5} = 70$ мм. Зазор між буртами валків приймаємо 10 мм. Зважаючи на те, що валки приводяться від індивідуальних двигунів і тому нижній тиск, для вигину переднього кінця розкату, утвориться різницею окружних швидкостей валків. При цьому діаметри валків однакові й лінія прокатки збігається із середньою лінією валків.

Уточнивши розміри перетинів розкату в кожному проході, можна вибрати відповідні розміри ширини калібрів, щоб забезпечити правильне заповнення. Ширину калібру вибираємо залежно від ширини зливка в сортаменті стану. Ширину калібру приймають рівною: по дну струмка $V_d = V_{o \min} - (0 \div 10 \text{ мм})$; по буртам $V_{вр} = V_{1 \max} + (5 \div 10 \text{ мм})$. Тут $V_{o \min}$ – мінімальна ширина розкату, що задається в калібр; $V_{1 \max}$ - максимальна ширина розкату після прокатки в калібрі. При максимальній ширині зливка на стані, не перевищуючої 720 мм, ширину першого калібру можна прийняти рівною $V_d = 723$ мм, а в рознімання $V_{вр} = 759$ мм.

Визначаємо розміри II калібру.

$$V_d = 300 - (0 \div 10 \text{ мм}) = 300 - 5 = 295 \text{ мм}$$

$$V_{вр} = 350 + (5 \div 10 \text{ мм}) = 350 + 6 = 356 \text{ мм}$$

Випуск калібру:

$$\operatorname{tg} \phi = \frac{B_{\text{вр}} - B_{\text{д}}}{2 \cdot H_{\text{вр}}} \cdot 100 = \frac{356 - 295}{2 \cdot 90} \cdot 100 = 33,8 \%$$

Визначимо розміри III калібру.

Ширина калібру по дну струмка:

$$B_{\text{д}} = 205 - (0 \div 10 \text{ мм}) = 205 - 5 = 200 \text{ мм.}$$

Ширина калібру по буртах:

$$B_{\text{вр}} = 245 + (5 \div 10 \text{ мм}) = 245 + 5 = 250 \text{ мм.}$$

Випуск калібру:

$$\operatorname{tg} \phi = \frac{250 - 200}{2 \cdot 80} \cdot 100 = 31,3 \%$$

Визначимо розміри IV калібру.

Ширина калібру по дну струмка:

$$B_{\text{д}} = 180 - (0 \div 10 \text{ мм}) = 180 - 10 = 170 \text{ мм}$$

Ширина калібру по буртах:

$$B_{\text{вр}} = 200 + (5 \div 10 \text{ мм}) = 200 + 5 = 205 \text{ мм.}$$

Випуск калібру:

$$\operatorname{tg} \phi = \frac{205 - 170}{2 \cdot 80} \cdot 100 = 21,9 \%$$

Визначимо розміри V калібру.

Ширина калібру по дну струмка:

$$B_{\text{д}} = 145 - (0 \div 10 \text{ мм}) = 145 - 0 = 145 \text{ мм.}$$

Ширина калібру по буртах:

$$B_{\text{вр}} = 160 + (5 \div 10 \text{ мм}) = 160 + 5 = 165 \text{ мм.}$$

Випуск калібру:

$$Tg \phi = \frac{165-145}{2 \cdot 70} \cdot 100 = 14,3 \%$$

Радіус закруглення дна калібру приймаємо рівним:

$$r=(0,08 \div 0,1) \cdot B_d$$

Підставляючи числові значення одержимо:

$$\text{Калібр I} \quad - \quad r = (0,08 \div 0,1) \cdot 723 = 65 \text{ мм};$$

$$\text{Калібр II} \quad - \quad r = (0,08 \div 0,1) \cdot 295 = 30 \text{ мм};$$

$$\text{Калібр III} \quad - \quad r = (0,08 \div 0,1) \cdot 200 = 25 \text{ мм};$$

$$\text{Калібр IV} \quad - \quad r = (0,08 \div 0,1) \cdot 170 = 20 \text{ мм};$$

$$\text{Калібр V} \quad - \quad r = (0,08 \div 0,1) \cdot 145 = 15 \text{ мм};$$

Радіус закруглення в зазору приймаємо рівним:

$$r'=(0,1 \div 0,15) \cdot H_k$$

Підставляючи числові значення одержимо:

$$\text{Калібр I} \quad - \quad r' = (0,1 \div 0,15) \cdot 160 = 20 \text{ мм}$$

$$\text{Калібр II} \quad - \quad r' = (0,1 \div 0,15) \cdot 190 = 20 \text{ мм}$$

$$\text{Калібр III} \quad - \quad r' = (0,1 \div 0,15) \cdot 170 = 25 \text{ мм}$$

$$\text{Калібр IV} \quad - \quad r' = (0,1 \div 0,15) \cdot 170 = 25 \text{ мм}$$

$$\text{Калібр V} \quad - \quad r' = (0,1 \div 0,15) \cdot 150 = 20 \text{ мм}$$

В II й III калібрах роблять опуклість, що становить $f = 5$ мм, тоді висота посередині калібру буде відповідно дорівнювати:

$$H'_{k2} = H_{k2} - 2 \cdot f = 190 - 2 \cdot 5 = 180 \text{ мм};$$

$$H'_{к3} = H_{к3} - 2 \cdot f = 170 - 2 \cdot 2,5 = 165 \text{ мм.}$$

$$H'_{к4} = H_{к4} - 2 \cdot f = 170 - 2 \cdot 0,5 = 169 \text{ мм.}$$

У таблиці 3.5. узагальнені дані розмірів калібрів для валків блюмінга 1050. На рисунку 3.4.наведене калібрування валків блюмінга 1050.

Таблиця 3.5 – Розміри калібрів валків блюмінга 1050 .

Номер калібру	Висота H_k , мм	Ширина, мм		Радіус закруглення, мм		Ухил (випуск) %	Опуклість, мм
		по дну	у зазору	r	r'		
I	160	723	759	65	20	24	-
II	190	295	356	30	20	33,8	5
III	170	200	250	25	25	31,3	2,5
IV	170	170	205	27	25	251,9	0,5
V	150	145	165	20	20	14,3	-

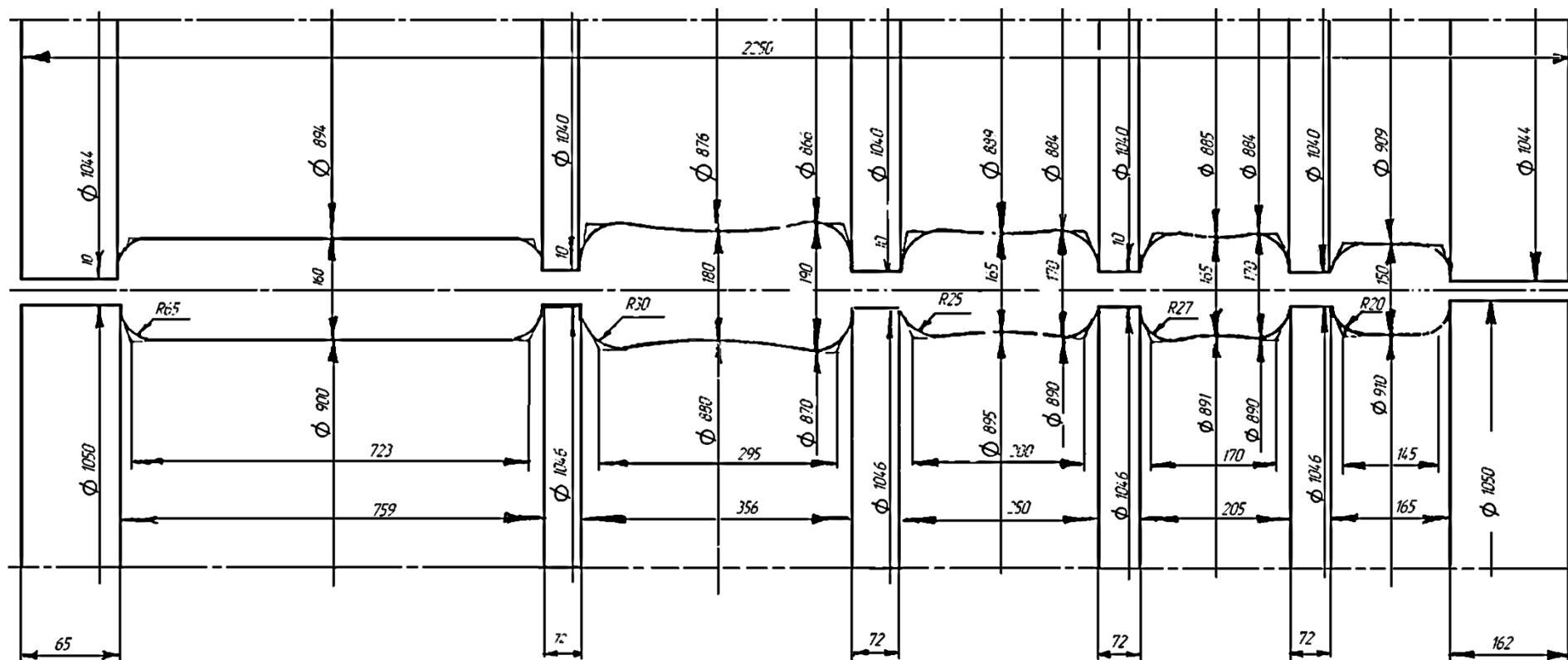


Рисунок 3.4 – Розроблена нова система калібрування блюмінга 1050 кліті I

3.3 Розрахунок утяжки торців блювів по діючому режиму прокатки та дослідному варіанту

Дані для розрахунку сформульовані в п.3.1 і 3.2. Розрахунок робимо по виразам у вигляді:

1. Передній торець штаби

а) при $l_0/H_{cp} < 0,2$

$$\Delta l_{n.m} = 0,8 \left[\frac{3}{4} \Delta h + \left(R - \frac{\Delta h}{2} \right) \ln \frac{1 - \frac{\Delta h}{2R}}{1 - \frac{\Delta h}{4R}} \right];$$

б) при $0,2 < l_0/H_{cp} < 1$

$$\Delta l_{\Sigma nm} = 0,4R \left\{ \sin \alpha \left[2 \sin \left(\alpha - \frac{\varphi_k}{2} \right) \times \cos \left(\alpha - \frac{\varphi_k}{2} \right) - \sin \alpha \cos \alpha - \sin \frac{\alpha}{2} \cos \frac{\alpha}{2} + \varphi_k - \frac{\alpha}{2} \right] + \right. \\ \left. + \cos \alpha \left[2 \cos^2 \left(\alpha - \frac{\varphi_k}{2} \right) - \cos^2 \alpha - \cos^2 \frac{\alpha}{2} + \ln \frac{\cos \alpha \cos \frac{\alpha}{2}}{\cos^2 \left(\alpha - \frac{\varphi_k}{2} \right)} \right] \right\}$$

де

$$\varphi_k = \arcsin h_0/5 R$$

2. Задній торець штаби:

а) при $l_0/H_{cp} < 0,6$

$$\Delta l_{zm} = 2R \left[\frac{\Delta h}{2R} + \ln \left(1 - \frac{\Delta h}{4R} \right) \right];$$

б) при $0,6 < l_0/H_{cp} < 1$

$$\Delta l_{\Sigma zm} = 4R \left[\sin^2 \left(\frac{\alpha - \varphi_k}{2} \right) - \cos^2 \left(\frac{\alpha - \varphi_k}{2} \right) + \cos^2 \frac{\alpha}{2} + \ln \cos \frac{\alpha}{2} \right],$$

де

$$\alpha - \varphi_k = \arcsin \frac{h_1}{R}.$$

Таблиця 3.6 - Результати розрахунку утяжки торців блюмів

№	140x250 мм базовий		140x250 мм дослідний	
	$\Delta l_{нт},$ мм	$\Delta l_{зт},$ мм	$\Delta l_{нт},$ мм	$\Delta l_{зт},$ мм
1	-7,37	36,70	-5,68	31,90
2	-6,48	31,90	-5,43	29,49
3	-7,31	36,70	-6,23	34,30
4	-7,77	36,70	-6,65	34,30
5	-8,18	36,70	-7,06	34,30
6	-8,64	36,70	-7,48	34,30
7	-8,18	36,70	-7,23	31,90
8	-8,64	36,70	-6,92	29,49
9	-9,11	36,70	-9,38	43,81
10	-9,59	36,70	-9,97	43,81
11	-6,81	29,48	-3,12	14,87
12	-7,13	29,48	-9,80	41,44
13	-7,46	29,48	-10,35	41,44
14	-7,77	190,55	-7,19	29,48
15	-8,32	31,90	-7,52	169,08
16	-7,96	109,61	-8,59	34,30
17	-7,19	138,61	-8,30	100,76
18	-4,87	19,77		
Σ	-133,9	921,2	131,75	798,74

З таблиці 3.6., видно, що при виконанні режиму обтиску згідно розрахунковому режиму величина обрізи зменшиться в середньому в 1,14 рази при прокатці 140x250 мм : - передній торець в 0,78 рази; - задній торець 1,15 рази. Норма технологічної обрізи при прокатці по діючому режиму для переднього й заднього торців становлять відповідно 2,5% і 16%. При прокатці по розрахунковому режиму норма технологічної обрізи для переднього й заднього торців складуть відповідно 2% і 12%.

Практичні рекомендації:

1. Посадку зливків на нагрів слід проводити ближче до стану І-У групи нагрівальних колодязів , не допускаючи приставних зливків;
2. Доцільно виконувати кантування кутових зливків в нагрівальних комірках;

3. Видачу зливків необхідно проводити рівномірно, не допускаючи їх підстужування на рольгангу перед станом.
4. Після видачі 8-9 зливків з комірки інші підігріти протягом 20-30 хвилин.
5. Прокатку зливків в перших трьох калібрах слід проводити без подачі охолоджувальної води на валки або з мінімальною її витратою.
6. Кантування розкату в I калібрі необхідно здійснювати після кожних двох пропусків.

3.4 Висновки до розділу 3

Технологічні параметри на прокатаному переділі зливків сталей 4X4M2BFC і 5X3B3MFC впливають істотно на утворення рванин на гранях і уграх розкатів. Формування поверхневих дефектів, таких як рванини, при прокатці металу на блюмінгу, зумовлено наступними технологічними параметрами:

- а) Збільшення числа пропусків при одночасному зростанні дрібності деформації в перших калібрах без кантувань.
- б) Інтенсивне охолодження розкатів водою, яка потрапляє з валків.
- в) Підстужування зливків перед посадкою їх в кліть стану 950, що призводить до надмірного охолодження, зокрема, в кутах.

Також важливу роль у формуванні зазначених поверхневих дефектів відіграє первинна якість литого металу.

Норми технологічного обрізу при прокатці за діючим режимом для переднього і заднього торців становлять відповідно 2,5% і 16%. При прокатці за розрахунковим режимом норми технологічного обрізу для переднього і заднього торців складають відповідно 2% і 12%.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕНА БЕЗПЕКА

4.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів

До основних небезпечних і шкідливих факторів в прокатному цеху відносяться: рухомі машини і механізми, запиленість і загазованість повітря, вібрація, шум, підвищена температура повітря, електробезпека та пожежонебезпека.

При обслуговуванні блюмінгів можливі опіки та ушкодження відлітаючої окалини при прокатці зливків, стискання маніпуляторами, падіння при змащенні шпинделів, травми при різанні гарячого металу і таврування заготовок, а так само при прибиранні окалини і обрізків.

В прольоті блюмінга спостерігається підвищена температура повітря і значне тепловипромінювання.

При прокатці металу утворюється пил оксидів заліза, діоксин азоту, оксид вуглецю, сірчистий ангідрид, оксид марганцю, оксид кремнію кристалічний. Небезпеку розлітання окалини збільшують пар, що утворюються на поверхні зливка з води, що охолоджує валки стану, а так само наявність деякої кількості рідкого шлаку в нижній частині зливка[32].

Пил, переважно фіброгенної дії, становить за фактом $4,597 \text{ мг/м}^3$, в той час як при нормативним значеннях $4,0 \text{ мг/м}^3$. Перевищення (ГДК) пилу від норми становить 1,15 разів і відноситься до I ступеня шкідливості характеру праці.

Санітарні норми передбачають наступні значення параметрів мікроклімату: відносна вологість повітря за фактичним значенням 38%; температура в холодний період року при важкій праці $16 - 18^\circ\text{C}$, при легкій праці – $21 - 26^\circ\text{C}$. У теплий період року, температура в цеху не повинна перевищувати більш ніж на 5°C температуру зовнішнього повітря, але в теж

час не повинна перевищувати 28°C . Швидкість повітря $0,1 - 0,5$ м/с. На стані блюмінг при роботі виникають низькочастотний шум, спектр якого перевищує межі допустимого рівня.

Рівень шуму на стані становить $91,7$ дБ, що значно перевищує межі допустимого 80 дБ. Перевищення (ГДК) пилу від норми становить на $11,7$ дБ і відноситься до II ступеня шкідливості характеру праці.

Гаряча прокатка на стані блюмінг 1050 супроводжується підвищеним рівнем тепловипромінювання від нагрітих зливків. Рівень інфрачервоного випромінювання на стані становить 707 Вт/м², що значно перевищує допустиме значення 140 Вт/м². Теплове випромінювання сприяє перегріванню організму і негативно впливає на зір працюючих.

Надмірне сильне тепловипромінювання різко погіршує умови праці і може викликати опіки шкіри і втрату працездатності.

З аналізу потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів дана оцінка виробничого середовища трудового процесу та розроблена карта умов праці старшого майстра стану 1050 (табл. 4.1.).

Аналіз карти умов праці показав, що старший майстер стану відноситься до важкої категорії 3 класу III ступеня робіт. За показниками робоче місце слід вважати з особливо шкідливим і особливо важкими умовами праці.

Згідно з даними з карти умов праці, працівник має право на пільгову пенсію, на додаткову відпустку і профілактичне харчування.

На підставі проведеного аналізу пропонуються заходи щодо зменшення та усунення цих шкідливих факторів.

Таблиця 4.1. – Оцінка факторів виробничого і трудового процесу.

Робоче місце – старший майстер стану

№ п/п	Фактори виробничого середовища й трудового процесу	Норм. знач. (ГДК, ГДУ)	Фактичне значення	III клас: шкідливі й небезпечні умови й характер праці			Час дії фактора за зміну, %
				I	II	III	
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м ³						
	<u>I-II клас безпеки</u>						
	<i>Оксиди марганцю (у перерахунку на MnO₂) аерозоль дезінтеграції</i>	0,3	НЧМ (0,08)				90,2
	<u>III-IV клас безпеки</u>						
	<i>Ангідрид сірчистий</i>	10	5,896				90,2
	<i>Азоту діоксид</i>	2	1,099	1,69			90,2
	<i>Вуглецю оксид</i>	20	11				96
	<i>Заліза оксид</i>	6	7,126	1,19			90,2
2	Пил переважно фіброгенної дії мг/м ³						
	Кремнія оксид кристалічний при вмісті у пилу від 2 до 10 %(горючі сланці, мідносульфідні руди)	4	4,597	1,15			96
3	Вібрація (загальна й локальна) дБ.						
4	Шум, дБА	80	91,7		11,7		100
5	Інфразвук дБ						
6	Ультразвук дБ						
7	Іонізуюче випромінювання:						
	- радіочастотний діапазон, В/м;	10 100	0 15				1,7 1,7
	- діапазон промислової частоти, кв/м;						
	- оптичний діапазон (лазерне випромінювання), Вт/м ²						
	- напруженість електростатичного поля	42	4,2				1,7
8	Мікроклімат у приміщенні:						
	- температура повітря ⁰ С;	21-28	36,6			8,6	96
	- швидкість руху повітря, м/с;	0,1-0,3	0,5	1,67			96
	- відносна вологість повітря, %;	55	38				96
	- інфрачервоне випромінювання, Вт/м ²	140	707		707		77,9
9	Температура навколишнього повітря(під час роботи на відкритому повітрі), ⁰ С:						
	- улітку						
	- узимку						
10	Атмосферний тиск						
11	Вага й напруженість праці						
	Кількість факторів			4	2	1	

4.2 Заходи з поліпшення умов праці

Згідно з існуючими шкідливими та небезпечними факторами виробництва, даний дипломний проект пропонує заходи з покращення умов праці та методи для усунення цих чинників.

Для зменшення утворення окалини забезпечують оптимальний режим нагріву зливка, щоб звести до мінімуму окислення металу.

Для захисту від відлітаючої окалини перед валками блюмінгу необхідно підвішувати ланцюгові завіси, а з боку станини встановлювати запобіжні сітки. Крім того, вздовж підвідного рольганга стану встановлюють пересувні екрани з густої сітки. Пульти управління тепло ізолюють і забезпечують кондиційованим повітрям[33].

Оглядові вікна заскліті товстим термостійким склом, захищеним зовні міцною сіткою. Роботу блюмінга автоматизують.

Рейки маніпуляторів закривають запобіжними кожухами. Прибирання окалини з рольгангів здійснюють гідрозмивом або довгими гребками, перебуваючи з боку рольганга.

Для безпечного доступу до з'єднувальних шпинделів стану для їх огляду і змашування роблять площадки зі сходами та поручнями. Нижні шпинделі стану захищають запобіжним бар'єром.

Придушення пилу, який утворюється при прокатуванні металу, здійснюють біля валків стану шляхом тонкого розпилення води форсунками під тиском 1,0-1,5 МН /м².

Ефективне видалення пилу досягається потужною витяжною вентиляцією.

Для кантування блюмінгів при прокатці застосовують спеціальні валки для кантування. При наявності гелікоїдальних проводок необхідно забезпечити особливо надійні закріплення цих проводок. Налагодження і кріплення валкової арматури виконують під час перерв у прокатці.

Для безпечного переходу через рольганги користуються мостами. Щоб уникнути небезпеки виходу прокату, що надходить до летючих ножиці і направляється після різки на стелажи, рольганги обладнують запобіжними бортами, що виключають небезпеку виходу заготовки в бік. Пульти управління летючими ножицями розташовують у безпечному місці.

Суттєвий вплив на стан організму людини, на його працездатність впливає мікроклімат у виробничих приміщеннях, під яким розуміють клімат внутрішнього середовища цих приміщень, який визначається діючими на організм людини поєднаннями температури, вологості, швидкості руху повітря та теплового випромінювання нагрітих поверхонь.

Для приведення до норми параметрів мікроклімату застосовують наступні заходи[34]:

- а) аерацію;
- б) кондиціонування;
- в) вентиляцію;
- г) технічні засоби зниження тепловиділень від агрегатів.

Аерація – це природна, організована вентиляція, яка здійснюється завдяки різниці температури повітря в приміщенні і зовнішнього повітря, а також в результаті її вітру.

Аерація прокатного цеху є основним і найбільш простим і дієвим оздоровчим заходом. Висока ефективність її пояснюється можливістю пропустити через цех протягом години велика кількість свіжого зовнішнього повітря, що практично неможливо добитися при штучній вентиляції. Витяжні отвори розташовуються в самій верхній частині будівлі у витяжних ліхтарях, а отвори для притоку свіжого повітря в нижній частині, в стінах будівлі.

В літній період року при значній температурі зовнішнього повітря кондиціонування повітря в прокатному цеху є абсолютно необхідним. Без кондиціонування повітря неможливо забезпечити в замкнутих ділянках прокатного цеху, а також на робочих місцях, що піддаються тепловому

опроміненню, сприятливих метеорологічних умов праці, що регламентуються санітарними нормами.

До числа ефективних заходів, що знижують температуру в прокатному цеху, відноситься припливна обдувна вентиляція точкового типу при фіксованих робочих місцях і зональна, коли потрібно обдування значних площ у стана.

Висока ефективність місцевої вентиляції пояснюється тим, що завдяки швидкому руху повітря значно прискорюється випаровування поту з поверхні тіла людини, а це сприяє інтенсивному охолодженню організму.

Незадовільне освітлення служить причиною травматизму, негативно впливає на зір працюючих і знижує продуктивність праці. Тому необхідно забезпечити хорошу освітленість робочого місця як у денний, так і в темний час доби. Основна вимога до виробничого освітлення полягає у створенні достатнього за величиною і рівномірного освітлення без утворення різких контрастів освітленості і тіней, а також у попередженні сліпимості людей променями світильників.

Для освітлення виробничих приміщень використовується природне та штучне освітлення.

Розрізняють бічне освітлення через вікна в стінах будівель і верхні через ліхтарі будівель. Раціональним є комбіноване природне освітлення, що забезпечує хорошу рівномірність освітлення.

Враховуючи запиленість скла необхідно очищати його від пилу та кіптяви не рідше 4 разів на рік, для чого будівлі треба забезпечити пристроями для доступу до верхнім ярусами вікон і ліхтарів.

Штучне освітлення в прокатному цеху здійснюється лампами накаливання і люмінесцентними лампами. Розрізняють загальне і комбіноване освітлення. Загальним називають освітлення, при якому світильники розміщують у верхній зоні приміщення (не нижче 2,5 м над підлогою) рівномірно (загальне рівномірне освітлення) або з врахуванням розташування робочих місць (загальне локалізоване освітлення).

Комбіноване освітлення складається із загального та місцевого. Місцеве освітлення використовується в якості додаткового при виконанні точних робіт, коли потрібно створити високу освітленість на окремих робочих місцях (пультах управління).

Застосування лише місцевого освітлення не допускається з огляду на небезпеку виробничого травматизму та професійних захворювань.

За чинними нормами освітленість в прокатному цеху повинна бути не менше 200 люкс.

Усе діюче обладнання стана блюмінга 1050, а також сам процес прокатки генерує шум та вібрації.

Надмірний шум надає шкідливий вплив на здоров'я працюючих, сприяє виникненню травматизму і знижує продуктивність праці. Робота в умовах підвищеного шуму протягом всього дня викликає стомлення слухових органів. Тривалий вплив шуму, що перевищує допустимі норми, призводить до втрати слуху. Шум високих тонів негативно впливає на органи, що керують рівновагою людини в просторі.

Заходи щодо захисту від шуму зводяться до наступним основним:

а) застосування звукоізолюючих кожухів для закривання особливо шумного обладнання або обладнання ізоляції від виробничих приміщень;

б) застосування глушників шуму при випуску відпрацьованих газів, пара, повітря.

в) застосування звукоізоляційних та звукопоглинаючих матеріалів (бетонна стіна поглинає лише 0,5% шуму, цегляна – 3,2%, а стіна обшита повстю завтовшки 50 мм – 70%);

г) використання засобів індивідуального захисту від шуму (бируши, навушники).

Вібрація – це коливання тіл з частотою менше 20-16 Гц. При підвищенні частоти коливань віброуючих тіл виникає і шум. Тривалий вплив струсів великої частоти і амплітуди викликає вібраційну хворобу, вражаючу нервово-м'язову, серцево-судинну системи людини і веде до пошкодження

суглобів. Симптоми вібраційної хвороби проявляються у вигляді головного болю, заніміння пальців рук, болю в кистях та передпліччі, виникають судоми, підвищується чутливість до охолодження, з'являється безсоння.

Заходи щодо захисту від вібрації зводяться до наступним основним:

- а) заміни виробничих процесів, що викликають шум і вібрації, іншими менш гучними процесами;
- б) раціоналізації виробничого устаткування (застосування кращої обробки і підгонки сполучуваних частин обладнання);
- в) влаштування спеціальних фундаментів, незалежних від конструкцій будівель і мають значну масу та акустичні шви; застосування ізолюючих прокладок;
- г) раціональному сполученню повітропроводів з воздуходувними машинами і кріплення трубопроводів на опорах з амортизуючими прокладками;
- д) зниження вібрацій за рахунок сили тертя демпферного пристрою, тобто переведення коливної енергії в теплову;
- е) використання індивідуальних засобів захисту від вібрації (амортизуючі підставки, взуття з повстяними або гумовими підошвами, антивібраційні рукавиці).

Для зменшення тепловипромінювання необхідно максимально знижувати температуру джерел променистого тепла.

Для захисту працівників від тепловипромінювання поряд із зменшенням інтенсивності випромінювання встановлюють між джерелами тепловипромінювання і працюючими екранами або завіси, затримують інфрачервону радіацію.

Екрани з листового металу, підшитої азбестом, зменшують інтенсивність опромінення, тому їх рекомендується виконувати багат шаровими з повітряними проміжками між окремими шарами і покривати алюмінієвою фарбою. При екрануванні необхідно залишати між тепловіддачі поверхнею і екраном повітряний проміжок (80-200 мм) для

вільної циркуляції повітря. Так як операторам стану потрібно вести спостереження за процесами, то екрани необхідно виконувати з прозорих матеріалів або з густої металевої сітки.

Тепловиділення від нагрівальних печей можна значно знизити теплоізоляцією їх кладки і охолодженням окремих елементів печі, зменшенням вибивання з отворів печей полум'я і газів, застосуванням щільно закриваються кришок. Здійснення цих заходів дозволяє скоротити тепловиділення від печей на 40-50 %.

4.3 Електробезпека

В прокатному цеху велика частина електроустаткування працює при напрузі до 1000 В. Різні контрольно-вимірювальні прилади, пристрій автоматики, штучне освітлення виробничих приміщень живляться від електричної мережі. Застосовують і високу напругу 6 кВт.

Безпечне проведення робіт у діючих електроустановках забезпечується повним, суворим та точним виконанням таких заходів:

- організаційних та технічних;
- навчанням і перевіркою знань працівників згідно з встановленими вимогами щодо термінів та обсягів;
- забезпеченням працівників та робочих місць необхідними засобами індивідуального та колективного захисту від ураження електричним струмом;
- дотриманням технологічної дисципліни в під час виконання робіт, правильною організацією робочого місця та проведенням протиаварійних тренувань.

Основні причини електротравматизму:

- порушення вимог нормативно-правових актів з охорони праці та інструкцій з електробезпеки;

- не виконання вимог нормативно-правових актів з охорони праці та інструкцій;

- порушення технології виконання робіт.

Основними заходами захисту від ураження електрострумом є:

- застосування робочої, подвійної, або підсиленої ізоляції;
- застосування блокуючих пристроїв та огорожувальних пристроїв для запобігання помилкових операцій та доступу до струмоведучих частин;
- надійного та швидкодіючого автоматичного відключення частин електрообладнання, що потрапило під напругу і пошкоджених ділянок електромережі, в тому числі захисного відключення;
- захисне заземлення та занулення корпусів електрообладнання та елементів електроустаткування, що можуть потрапити під напругу внаслідок пошкодження ізоляції;
- вирівнювання потенціалів;
- застосування напруги 42 В і нижче змінного струму частотою 50 Гц та 110 В і нижче постійного струму;
- застосування попереджувальної сигналізації, написів та плакатів;
- застосування обладнання яке понижує напругу електричних полів;
- застосування засобів захисту та пристроїв, в тому числі для захисту від дії електричного поля в електроустановках, в яких його напруженість перевищує допустимі норми.

Ізоляція забезпечує безпеку завдяки великому опору проходженню електричного струму. Якість ізоляції контролюється на підприємстві періодичними випробуваннями та вимірами її опору.

Недоліком ізоляції є поступове старіння зі збільшенням терміну експлуатації. Результатом старіння ізоляції є зменшення її опору.

Захисне заземлення – умисне приєднання металевого корпусу електроустановки до заземлювача або його еквівалента. При ушкодженні ізоляції та появі напруги на корпусі електроустановки (замиканні на корпус)

завдяки малому опору заземлюючого пристрою, ця напруга буде знижена до безпечної.

Захисне вимикання – установка, що миттєво реагує на будь-які порушення нормального режиму роботи електричної мережі, в тому числі появи небезпечної напруги на корпусі електроустановки, і вимикає її.

Індивідуальні діелектричні ізолюючі засоби поділяються на основні, що дають змогу торкатися до струмовідних частин під напругою (слюсарний інструмент з ізолюючими рукоятками, діелектричні рукавиці та інше) та допоміжні, що ізолюють персонал від землі (діелектричні килимки, діелектричні чоботи, калоші, ізолюючі підставки). Допоміжні засоби не забезпечують безпеку, а лише доповнюють основні.

Наслідки ураження електричним струмом залежать від таких факторів:

- сили струму, що протікає через тіло людини, яка в свою чергу залежить від величини прикладеної напруги та опору тіла;
- шляху протікання струму крізь тіло людини;
- часу дії струму на організм;
- частоти струму;
- фізіологічного стану організму;
- умов навколишнього середовища.

4.4 Пожежна та техногенна безпека

До числа заходів щодо попередження пожеж та обмеження поширення вогню відносять[35]:

- а) Правильний вибір ступеня вогнестійкості будівель і межі вогнестійкості окремих його елементів;
- б) Прийняття у відповідності з нормами величин площі між протипожежними перешкодами;
- в) Дотримання протипожежних розривів між будівлями.

Для успішної евакуації людей та матеріальних цінностей передбачені шляхи евакуації та евакуаційні виходи допустимої довжини і ширини, розміри дверних отворів, що забезпечують достатню пропускну здатність, необхідну кількість сходових кліток і зовнішніх пожежних сходів. Швидка локалізація і гасіння пожеж досягається пристроєм відповідних засобів зв'язку з пожежною сигналізацією, наявністю надійних джерел протипожежного впливу, під'їздів та доріг до будівель.

Прокатний цех відноситься до категорій В і Г, пожежонебезпеки (ОНТП 24-86), так як в ньому обробляють негорючу речовину (метал), але є горючі рідини-масла. По вогнестійкості прокатний цех відносять до I та II ступенями. Необхідна ступінь вогнестійкості виробничих будівель промислових підприємств визначається СНіП 2.09.02-85 залежно від категорії вибухонебезпеки виробництва, площі і висоти будівлі. Необхідна ступінь вогнестійкості громадських будівель визначається СНіП 2.08.01-85 залежно від площі і числа поверхів будівлі. Будівельні матеріали і конструкції по займистості ділять на три групи: вогнетривкі, вогнестійкими і спаленні. Протипожежні стіни в цеху є вогнетривкими.

Для забезпечення безпечної евакуації в будівлі цеху розташовані евакуаційні виходи, провідні з першого поверху назовні, в коридор, вестибюль. Їх кількість має бути не менше двох і розташовані в протилежних місцях будівлі.

Г	
П-I	2

Рисунок 4.1 – Знак пожежної безпеки

Найбільше припустиме відстань від найбільш віддаленого робочого місця до евакуаційного виходу для виробництва категорії пожежонебезпеки П і I і II ступенем вогнестійкості не нормується. Ширина шляхів евакуації визначається з розрахунку 0,6 м на 100 чоловік. Ширина проходів дорівнює

1 м, ширина коридорів не менше 1,4 м. Ширина дверей становить від 0,8 до 2,4 м. Марші та площадки сходів відповідно рівні 1,75 і 2,4 м.

Для гасіння пожеж в прокатному цеху застосовують тверді, рідкі і газоподібні речовини: воду, інертні гази, хімічну, повітряно-механічну піну, тверду вуглекислоту, пісок, (вогнегасники типу ВП-5, ВП-10, ВВ-5, ВВ-8, ВП-10).

Порядок включення стаціонарної повітряно-піною установки пожежогасіння УПП-400.

Вийняти пожежний рукав з касети установки, розмотати його в бік вогнища загоряння, не допускаючи згинання і скручування, приєднати пожежний рукав одним кінцем до одного з кранів 3-х ходового розгалуження установки РТ-70, до іншого кінця пожежного рукава приєднати піногенератор ГПП-200.

Вимкніть пускову кнопку на електропускової апаратурі.

Відкрити кран на 3-х ходовому розгалуженні РТ-70 до якого приєднаний пожежний рукав і закрити кран на сполучній трубі внутрішньої циркуляції, що з'єднує вихідний патрубок нагнітаючого насоса установки з ємкістю водопенобака.

Для гасіння пожежі в кабельних тунелях, масло підвалах, який неможливо-можна загасити за допомогою вогнегасників і піску, застосовується насичений перегріта пара з температурою до 300°C і тиском 6-18атм.

Протипожежне водопостачання включає комплекс пристроїв, призначених для отримання, зберігання і подачі води для гасіння пожеж (водопровід, природні і штучні водойми). Витрата води на зовнішнє пожежогасіння через гідрант для прокатного цеху категорії "Г" при об'ємі будівлі 2000 - 4000м³ становить 10 л/с. У виробничих будівлях I і II ступенів вогнестійкості категорії Г внутрішнє протипожежне водопостачання не передбачають.

4.5 Висновки до розділу 4

Аналіз карти умов праці показав, що старший майстер стану відноситься до важкої категорії робіт (3 клас III ступень). За показниками робоче місце слід вважати з особливо шкідливим і особливо важкими умовами праці. Згідно з даними з карти умов праці, працівник має право на пільгову пенсію, на додаткову відпустку і профілактичне харчування.

Згідно з існуючими шкідливими та небезпечними факторами виробництва, у кваліфікаційній роботі запропоновані заходи з покращення умов праці та методи для усунення цих чинників.

Встановлено, що прокатний цех відноситься до категорій В і Г, пожежонебезпеки, так як в ньому обробляють негорючу речовину (метал), але є горючі рідини-масла.

ВИСНОВКИ

Дослідження гарячої пластичності встановлено, що максимальна пластичність спостерігається на поверхні зон злиwkів сталі 4X4M2BФC при 1250⁰C ,для осьової 1180⁰C, а для поверхневої зони сталі 5X3B3MФC - 1200⁰C.

Пластичні і міцні властивості металу різних плавok сталі 4X4M2BФC в інтервалі температур 900-1300⁰C помітно відрізняються один від одного. На поверхні заготовки, листів, профілів, штапованих виробів спостерігаються різні тріщини поздовжні, поперечні, звивисті, переривчасті та безперервні. Причинами їх утворення служать розкачані пори або підкіркові бульбашки, великі залишкові напруги у зливку або заготовлі, напруги, викликані дуже швидким нагріванням і охолодженням, а також нерівномірністю деформації.

Для розробки оптимальних режимів деформації сталей необхідно враховувати залежність опору деформації від температурно-швидкісних параметрів, властивих даному технологічному режиму обробки тиском, зокрема прокатки на блюмінгу.

При швидкості деформації 7 1/с, опір деформації сталі 4X4M2BФC при зниженні температури до 1000-900 °C і ступеня деформації більше 15% спочатку досягає, а потім перевищує рівень σ_i труднодеформованої інструментальної сталі 3X2B8Ф, переділ якій здійснюється тільки на ковальському обладнанні. Тому підстужування сталі 4X4M2BФC може призвести до значних труднощів при її прокатці. З огляду на це, режим обтиснень сталей 4X4M2BФC на блюмінгу повинен бути аналогічним важкодеформованим нержавіючим сталям.

Технологічні параметри на прокатаному переділі злиwkів сталі 4X4M2BФC і 5X3B3MФC виконують суттєвий вплив на утворення рванин на гранях і уграх розкатів.

Встановлено, що виникнення поверхневих дефектів (рванин) при прокатці металу на блюмінгу сприяє наступні технологічні параметри:

- а) збільшення числа пропусків при одночасному збільшенні дрібності деформації в перших калібрах без кантувань;
- б) інтенсивне охолодження розкатів водою, що потрапляє з валків;
- в) підстужування злиwkів перед посадкою їх в кліть стану 1050, що призводить до надмірного охолодження в першу чергу кутів.

Первина якість литого металу також відіграє значну роль в утворенні зазначених поверхневих дефектів.

Норма технологічної обрізи при прокатці по діючому режиму для переднього й заднього торців становлять відповідно 2,5% і 16%. При прокатці за експериментальним режимом норма технологічної обрізи для переднього і заднього торців складуть відповідно 2% та 12%.

Аналіз карти умов праці показав, що старший майстер стану відноситься до важкої категорії робіт (3 клас III ступень). За показниками робоче місце слід вважати з особливо шкідливим і особливо важкими умовами праці. Згідно з даними з карти умов праці, працівник має право на пільгову пенсію, на додаткову відпустку і профілактичне харчування.

Згідно з існуючими шкідливими та небезпечними факторами виробництва, у кваліфікаційній роботі запропоновані заходи з покращення умов праці та методи для усунення цих чинників.

Встановлено, що прокатний цех відноситься до категорій В і Г, пожежонебезпеки, так як в ньому обробляють негорючу речовину (метал), але є горючі рідини-масла.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Федоринов В. А., Сатонин А. В., Грибков Э. П. Математическое моделирование напряжений, деформаций и основных показателей качества при прокатке относительно широких листов и полос : монография. Краматорск : ДГМА, 2010. 244 с.
2. Середа Б.П. Обробка металів тиском : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Запоріжжя : ЗДІА, 2005. 250 с.
3. *Середа Б.П.* Прокатне виробництво : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Запоріжжя: ЗДІА, 2008. 312 с.
4. Бесконечная прокатка сортового металла. Непрерывная прокатка : коллективная монография под ред. В. Н. Данченко. Днепропетровск : РИИ «Дніпро–ВАЛ», 2002. 403 с.
5. Данченко В. Н., Миленин А. А., Кузьменко В. И., Гриневич В. А. Компьютерное моделирование процессов обработки металлов давлением. Днепропетровск : Системные технологии. 2005. 448 с.
6. Потапкин В. Ф. , Федоринов В. А. , Сатонин А. В. , Добронос Ю. К. Развитие методов и оборудования по экспериментальному исследованию различных технологических схем прокатки. Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском в машинобудуванні та металургії. Краматорськ : ДДМА, 2005. С. 165–167.
7. Коновалов Ю. В. Черная металлургия Донбасса ретроспектива–перспектива. *Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском в металургії та машинобудуванні.* Краматорськ : ДДМА. 2002. С.66–73.
8. Medina S.F., Hernandez C.A. The Influence of Chemical Composition on Peak Strain of Deformed Austenite in Low Alloy and Microalloyed Steels. *Acta Mater.* 1996. Vol. 44. No. 1. P. 149-154.

9. Hernandez C.A., Medina S.F. and Ruiz J. Modelling Austenite Flow Curves in Low Alloy and Microalloyed Steels. *Acta Mater.* 1996. Vol. 44. No. 1. P. 155-163.
10. Серета Б.П. Теорія будови рідкого, кристалічного та аморфного стану речовини : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Запоріжжя : ЗДІА, 2008. 238 с.
11. Medina S.F. and Hernandez C.A. General Expression of the Zener-Hollomon Parameter as a Function of the Chemical Composition of Low Alloy and Microalloyed Steels. *Acta Mater.* 1996. Vol. 44. No. 1. P. 137-148.
12. Жучков С.М. Приоритеты и основные направления деятельности отдела физико–технических проблем процессов прокатки сортового и специального проката. *Металлургическая и горнорудная промышленность.* 1999. №5. С.41–45.
13. Toh T., Hasegawa H., Harada H. Evaluation of Multiphase Phenomena in Mold Pool under In-mold Electromagnetic Stirring in Steel Continuous Casting. *ISIJ International.* 2001. Vol.41. No.10. P.1245–1251.
14. Серета Б.П., Коваленко А.К., Белоконь Ю.А. Технология производства прутков из стали 40 ХГМ диаметром 200... 275 мм. *Металургія.* 2010. Вип. 21. С. 166-170.
15. Бондаренко Ю.В., Белоконь Ю.О. Проценко В.М., Явтушенко А.В., Кругляк Д.О. Вдосконалення технології сортової прокатки дуплексної неіржавкої сталі з метою поліпшення якості металу. *Металургія.* 2021. Вип. 2. С. 75-79.
16. Sheyko S., Mishchenko V., Belokon Y. Formation of the properties and structure of rolled low-alloyed steel under the hot deformation process. *Journal of Chemical Technology and Metallurgy.* 2022. 57(2). P. 402-406.
17. Sheyko S., Belokon Y., Kripak A., Tsyganov V., Kulabneva E. Development of rational chemical composition of special steel with increased mechanical and

- performance characteristics. *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*. 2023. 58(4). P. 795–803.
18. Василев Я. Д., Мінаєв О. А. Теорія поздовжньої прокатки : підручник. Донецьк : УНІТЕХ, 2009. 488 с.
19. Жук А. Я., Малышев Г. П., Желябина Н. К., Клевцов О. М. Техническая диагностика. Контроль и прогнозирование : монография. Запорожье : ЗГИА, 2008. 224 с.
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. Серeda Б.П. Металознавство і термічна обробка чорних і кольорових металів : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Запоріжжя : ЗДІА, 2008. 302 с.
22. 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.
23. 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.
24. Серeda Б.П., Белоконь Ю.О. Теорія прокатки : навч.-метод. посіб. Запоріжжя: ЗДІА, 2013. 102 с.
25. Серeda Б.П., Белоконь Ю.О., Оніщенко А.М. Теорія обробки металів тиском : навч.-метод. посіб. Запоріжжя: ЗДІА, 2012. 132 с.
26. Belokon Y., Temin H. The research thermoplastic deformation modes of dual-phase special alloys for obtaining rational intermetallic structure. *METAL 2021 - 30th Anniversary International Conference on Metallurgy and Materials. (Brno, May 26 – 28, 2021)*. Brno, 2021. P. 348-353.
27. Belokon Y., Yavtushenko A., Protsenko V., Bondarenko Y., Cheilytko A. Mathematical modeling of physical properties of anisotropic materials. *METAL*

2020 - 29th International Conference on Metallurgy and Materials (Brno, May 20 – 22, 2020). Brno, 2020, P. 440–445.

28. Серета Б.П., Кругляк І.В., Белоконь Ю.О. Конструкції агрегатів цехів обробки металів тиском : навч.-метод. посіб. Запоріжжя: ЗДІА, 2012. 168 с.
29. Серета Б.П., Кругляк І.В., Белоконь Ю.О. Оптимізація процесів обробки металів тиском : навч.-метод. посіб. Запоріжжя : ЗДІА, 2007. 149 с.
30. Серета Б.П., Коваленко А.К., Бабаченко Е.В., Белоконь Ю.А. Разработка математических моделей напряженно-деформированного состояния металла, обеспечивающих комплексную технико-экономическую оценку исследуемых процессов. *Вестник Нац. техн. ун-та "ХПИ": сб. науч. тр. Темат. вып.: Новые решения в современных технологиях*. Харьков : НТУ "ХПИ". 2011. № 47. С. 81-83.
31. Вышинский В.В., Ленский Ю.Н., Комов И.Г. и др. Охрана труда в черной металлургии. / 2-е изд. перераб. и доп. Киев : Техника, 1986. 192с.
32. 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.