ЗАЯВА

Я, Мосесов Владислав Араратович
(ПІБ повністю)

Студент групи КГ2021
(шифр групи)

Спеціальності 273 „Залізничний транспорт"
(код та назва спеціальності)

освітньої програми Залізничні споруди та колійне господарство
(назва освітньої програми)

освітнього ступеня підготовки магістр.
(бакалавр, магістр)

Заявляю, що моя випускна кваліфікаційна робота Дослідження життєвого циклу фіток

виконана самостійно і в ній не міститься елементів плагіату. Всі з
з друкованих та електронних джерел мають відповідні посилання.
Прошу перевірити її на наявність академічною плагіату.
Я ознайомлений з чинним «Порядком перевірки кваліфікаційних
робіт здобувачів вищої освіти на виявлення текстових та
апозичень засобами перевірки на плагіат», згідно з яким виявлен
підставою для відмови в допуску випускної кваліфікаційної
ахисту.

ата 16.12.21 Підпис [signature] Мосесов

ерівник Підпис [signature] Арбузов

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра «Транспорта інфраструктура»

«ДО ЗАХИСТУ»
Завідувач кафедри
О. Л. Тютькін
2021р. 12 «06»

ДИПЛОМНА РОБОТА

на здобуття ОС

«магістр»

Галузь знань 27 «Залізничний транспорт»

Спеціальність 273 «Залізничний транспорт»

ОП «Залізничні споруди та колійне господарство»

Тема:**«ДОСЛІДЖЕННЯ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ РЕЙОК»**

Rail life cycle research

Керівник дипломної роботи доцент М. А. Арбузов

Нормоконтролер доцент М. А. Арбузов

Виконавець, студент групи КГ2021 В. А. Мосесов

Mosesov Vladyslav

Дніпро
2021

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра «Транспорта інфраструктура»

«ДО ЗАХИСТУ»
Завідувач кафедри
_____О. Л. Тютькін
2021р. _____ «____»

ДИПЛОМНА РОБОТА

на здобуття ОС

«магістр»

Галузь знань 27 «Залізничний транспорт»

Спеціальність 273 «Залізничний транспорт»

ОП «Залізничні споруди та колійне господарство»

Тема:**«ДОСЛІДЖЕННЯ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ РЕЙОК»**

Raillifecycleresearch

Керівник дипломної роботи доцент _____ М. А. Арбузов

Нормоконтролер доцент _____ М. А. Арбузов

Виконавець, студент групи КГ2021 _____ В. А. Мосесов

MosesovVladyslav

Дніпро
2021

Український державний університет науки і технологій

ННЦОБД кафедра Транспортна інфраструктура
Галузь 27 Транспорт
Спеціальність 273 Залізничний транспорт
ОП«Залізничні споруди та колійне господарство»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Завідувач кафедри
_____ О. Л. Тютькін
«___»_____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ

до дипломної роботи на здобуття ОС _____магістр_____
(освітній ступінь)

студента групи КГ2021Владислав Араратович Мосесов
(номер групи) (ПІБ)

1 Тема дипломноїроботи:«Дослідження життєвого циклу рейок»
затверджена наказом по університету від «26» 03 2021 р. №148 ст.

2 Термін подання студентом закінченої дипломноїроботи 19.12.2021

3 Вихідні дані до дипломноїроботи: проблематика залізниць України.

4 Зміст пояснювальної записки:

1. Виробництво рейок в Україні. Загальні технічні вимоги.
2. Ресурс та термін служби рейок в процесі експлуатації.
3. Дослідження технології виробництва рейок.
4. Дефекти рейок та їх утилізація.
5. Визначення маси зношеного металу експрес тестом.

5 Демонстраційним матеріалом є слайди презентації.

6 Розділи та консультанти

Розділ	Консультант	Підпис,дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Виробництво рейок в Україні. Загальні технічні вимоги	Арбузов М.А.		
Ресурс та термін служби рейок в процесі експлуатації	Арбузов М.А.		
Дослідження технології виробництва рейок	Арбузов М.А.		
Дефекти рейок та їх утилізація	Арбузов М.А.		
Визначення маси зношеного металу експрес тестом	Арбузов М.А.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва розділу дипломної роботи	Термін виконання	Обсяг розділу, %
Виробництво рейок в Україні. Загальні технічні вимоги	26.10	20
Ресурс та термін служби рейок в процесі експлуатації	6.11	40
Дослідження технології виробництва рейок	19.11	60
Дефекти рейок та їх утилізація	5.12	80
Визначення маси зношеного металу експрес тестом	18.12	100

Дата видачі завдання: «23»10 2021 р.

Керівник дипломної роботи _____ М. А. Арбузов
(підпис) (ПІБ)

Завдання прийняв до виконання _____ В. А. Мосесов
(підпис) (ПІБ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи має 91 с., 20 рис., 18 табл.

Тема:Дослідження життєвого циклу рейок.

У магістерській роботі досліджується життєвий цикл рейок. Досліджується явище зносу рейок і визначається який фактор впливає на підвищений зносу рейок. Також аналізуються дефекти рейок та способи її усунення.

Ключові слова:рейка, боковий знос, вертикальний знос, приведений знос, дефекти рейок.

ЗМІСТ

ЗМІСТ ……..…5
ВСТУП ……..……6
1 **ВИРОБНИЦТВО РЕЙОК В УКРЇНІ. ЗАГАЛЬНІ ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ…….8**
1.1 Виробництво рейок……...……...….8
1.2 Класифікація , основні параметри і розміри…….....……9
1.3Характеристики рейок.....16
1.4Маркування рейок.....21
2**РЕСУРС ТА ТЕРМІН СЛУЖБИ РЕЙОК В ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ**.....**24**
2.1Ресурсні нормативи 24
2.2Використання рейок 25
2.3 Загальна характеристика стану рейок……..……..……27
3**ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА РЕЙОК**……**33**
3.1Гібридний процес безперервного лиття з електрошлаковим підігрівом меніску (БЛ+ЕШП) ……..……..….33
3.2Хімічний склад та технологія виробницва рейок**……..……**40
3.2.1 Загальна характеристика……...…….……...41
3.2.2 Стійкість…….……..43
3.2.3Пластична деформація……..46
3.2.4Термічна обробка……..47
4**ДЕФЕКТИ РЕЙОК ТА ЇХ УТИЛІЗАЦІЯ** **51**
4.1 Дефекти рейок……..…51
4.1.1 Аналіз проблематики утворення дефектів в рейках залізничної колії.....52
4.1.2 Аналіз дефектів рейок 57
4.1.3 Поперечні тріщини …….....59
4.1.4Фізико-хімічне обгрунтування причин утворення мікротріщин у рейковій сталі..60
4.2 Ефективна електрошлакова переробка відпрацьованих рейок……...70
4.2.1 Переплавка рейки……..……...71
4.2.2 Виробництво вістрякових рейок……..……...74
4.3 Утилізація рейок……...…...75
5**ВИЗНАЧЕННЯ МАСИ ЗНОШЕНОГО МЕТАЛУ ЕКСПРЕС ТЕСТОМ**……..**77**
ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ……...80
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ……...……81
ДОДАТКИ……..…88

					Помилка! Невідоме ім'я властивості документа.
Ар.	Зм.	№ докум.	Підпис	Дата	
Розробник		Мосесов В.А.			Стадія: П; Аркуш: 5; Аркушів:
Гол. кер.					
Консульт.					
Консульт.					
Нормокон.					

ВСТУП

Безпека руху залізничного транспорту залежить від якості, стійкості залізничного полотна та умов експлуатації залізничних рейок. В свою чергу експлуатаційна стійкість залежить від механічних властивостей залізничних рейок [45].

У наш час умови експлуатації залізниць України, їх перспектива входження в міжнародну систему транспортних коридорів Європа - Азія вимагає розвитку і модернізації залізничної колії, використання нових енерго- і ресурсозберігаючих технологій як при виробництві, так і при експлуатації елементів верхньої будови колії, в тому числі і рейок.

Порівняння якості вітчизняних рейок із зарубіжними зразками показує лідерство останніх. Дослідження показали, що пропускна здатність вітчизняних рейок дорівнює 0,5 млрд. т пропущеного вантажу брутто.

У цих же умовах експлуатації рейки виробництва таких країн як РФ, Японія і Франція показали ресурс 1 млрд. т вантажу брутто.

Для забезпечення ефективної експлуатації залізничних рейок необхідне підвищення їх якості, надійності та експлуатаційної стійкості, які визначають безперебійну і безаварійну роботу залізничного транспорту. Від рівня вимог нормативних документів залежить якість рейок, їх ресурс напрацювання пропущеного тоннажу і безпека руху залізничного транспорту.

Проблема підвищення працездатності рейок сьогодні стає ще більш актуальним питанням. В сучасних умовах експлуатації залізниць існує тенденція до збільшення навантаження на вісь при русі важкого транспорту і швидкості руху пасажирських поїздів. В даний час проблема підвищення працездатності рейок, є одним із головних завдань.

В сучасних умовах експлуатації залізниць при русі важкого транспорту навантаження на ось можуть досягати 35т, а швидкість пересування швидкісних поїздів до 250 км/год. Аналіз причин виходу з ладу рейок показує, що їх велика кількість спостерігається за дефектами контактно-втомного походження,

зм'яттям, зносом, термомеханічним пошкодженням. Якість і довговічність залізничних рейок визначається рівнем твердості в головці. Особливістю вимог до твердості головки рейки є жорсткі рамки за рівнем твердості на поверхні катання. Згідно ДСТУ 4344:2004 рівень твердості на поверхні головки рейки регламентованийпо верхньому показнику (401 НВ) - вище не можна для запобігання утворенню структур проміжного перетворення , так і по нижньому (374 НВ).

Європейський стандарт EN 13674-1-2011, який, по суті, є прогресивним, визначає рівень твердості головки рейки на глибині 20 мм на рівні не менше 321 НВ, що для нинішньої ситуації для українських виробників це недосяжно (ДСТУ регламентує максимально глибоку точку виміру твердості 11 мм з рівнем мінімум 321 НВ для вищої категорії рейок).

Таким чином, аналіз вітчизняної та світової нормативно-технічної документації на залізничні рейки показав, що в світовій практиці для виробництва серійних рейок використовуються доевтектоїдні середньовуглецеві і високовуглецеві, а також заевтектоїдні сталі. За ступенем легування застосовуються як вуглецеві, так і мікролеговані, леговані сплави. У якості мікролегуючих елементів використовуються ванадій, титан, ніобій, азот. В якості легуючих - марганець, кремній, хром. Вимоги до механічних властивостей, що визначаються при випробуваннях на розтяг, практично однакові для всіх світових стандартів щодо класів рейок.

Експлуатаційна стійкість залізничних рейок, переважно, визначається станом структури і механічними властивостями сталі. У зв'язку з цим провідна роль відводиться дослідженням в створенні нових, більш досконалих і прогресивних сталей, здатних забезпечити тривалу міцність рейок в умовах експлуатації[46].

1 ВИРОБНИЦТВО РЕЙОК В УКРАЇНІ. ЗАГАЛЬНІ ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

1.1 Виробництво рейок

В країнах з розвиненим швидкісним рухом пасажирських поїздів на швидкісних магістралях використовують рейки тільки вищої категорії якості, довжина яких сягає понад 100 м. Це зумовлено необхідністю забезпечення максимальної прямолінійності рейок, мінімальної кількості стиків для покращення умов взаємодії рухомого складу із залізничною колією та щоб забезпечити плавність руху поїздів [1, 2].

Наразі в нашій країні понад 80 % загальної кількості рейок, що укладено в залізничні колії ПАТ «Укрзалізниця», було виготовлено в різний час на ПАТ «Металургійний комбінат «Азовсталь» (МК «Азовсталь») і належать вони до першої категорії якості [3].

Зважаючи на це, необхідність підвищення технічних характеристик рейок є актуальним завданням на сьогоднішній день, оскільки ПАТ «Укрзалізниця» змушено закуповувати рейки за кордоном, особливо для навантажених ділянок шляху. Організація ж швидкісного руху буде потребувати ще більшого обсягу імпорту рейок.

Програмою «Метінвест Холдингу», частиною якого є ПАТМК «Азовсталь», передбачено перехід на виготовлення рейок вищої категорії якості довжиною 50-100 метрів, але це потребує багато часу і суттєвих капітальних витрат на реконструкцію або встановлення нового обладнання[4].

На сьогодні рейки не є пріоритетом виробника, але вони залишаються в портфелі продукції компанії. Це пов’язано як з кон’юнктурою ринку, так, на мій погляд, і з тим, що невирішеними є деякі питання технології їх сталеплавильного виробництва[5, 6].

Окрім вирішення проблеми виготовлення якісних магістральних рейок в Україні, важливим є й пошук ефективних технологій виробництва вістрякових рейок, які використовують для виготовлення стрілочних переводів.

Найчастіше вістрякові рейки виготовляють шляхом стругання рейкових деталей або фрезеруванням, що потребує суттєвих часових та матеріальних витрат [7, 8].

Тому необхідним є пошук нових рішень, серед якихперспективним може стати застосування електрошлакових технологій для підвищення якості рейкової сталі [9—12].

Застосування гібридної технології виплавки/розливки рейкового металу, що поєднує переваги безперервного лиття та електрошлакового переплавлення, відкриває нові можливості для отримання високоякісного рейкового металу, зокрема й сучасних заевтектоїдних марок.

Запропоновані нові технічні рішення [13] дають реальну можливістьвітчизняним виробникам вже сьогодні організувати випуск рейок вищої якості.

1.2.Класифікація , основні параметри і розміри

Рейки виготовляють типів Р50, Р65 і Р75 (цифри в познаці типу рейки означають приблизне значення маси одного метра довжини рейки в кілограмах).

Вони бувають таких виконань: з болтовими отворами на обох кінцях, на одному кінці, без болтових отворів.

Рейки виготовляють з вуглецевої і вуглецевої мікролегованої сталі.

Рейкову сталь виплавляють умартенівській печі, кисневому конвертері або електропечі. Розливають сталь у зливки або безперервнолиті заготовки.

За рівнем технічних вимог рейки поділяють на такі категорії:вищу (В), I, II і III .

Залежно від довжини рядків неметалевих включень рейки III категорії поділяють на першу та другу групи.

Форма і розміри поперечного перерізу рейок повинні відповідати рисункам 1.1, 1.2 і 1.3.

Розміри, для яких граничні відхили не вказано, забезпечують технологічним інструментом і на готовому прокаті не контролюють.

Розташування, число і діаметр болтових отворів у шийці на кінцях рейок повинні відповідати рисунку 1.4 і таблиці 1.2 .

Граничні відхили основних геометричних розмірів рейок наведено в таблиці 1.1 .

Граничні відхили розмірів d, t, b, f,l, вказаних в таблиці 1.2, не повинні перевищувати ±0,8 мм для рейок вищої категорії і ±1,0 мм для рейок I, II і III категорій. На замовлення споживача рейки можна виготовляти з іншим розташуванням, кількістю і діаметром болтових отворів на кінцях.

Таблиця 1.1 – Граничні відхили розмірів рейок типів Р50, Р65, Р75 (у мм)

Параметри	Граничні відхили розмірів рейок типів		
	Р50, Р65, Р75	Р50	Р65, Р75
	Категорії		
	Вищої	I, II, III	I, II, III
Висота рейки	± 0,6	+ 0,8 – 0,5	± 0,8
Ширина головки	± 0,4	± 0,5	± 0,5
Ширина підошви	± 0,8	± 1,0	+ 1,0 – 1,5
Товщина шийки	± 0,4	+ 0,8 – 0,5	+ 0,8 - 0,5
Висота підошви і висота бокової грані підошви	± 0,5	+ 1,0 - 0,5	+ 1,0 - 0,5
Висота шийки рейки	+ 0,3 – 0,7	± 0,5	+0,3 –0,7
Відхили форми поверхні катання головки від номінальної (по вісі симетрії)	± 0,3	± 0,5	± 0,5
Випуклість підошви (рівномірна)	+ 0,3	+0,5	+0,5
Угнутість підошви	Не допускають		
Несиметричність головки відносно підошви	± 1,0	± 1,2	± 1,3

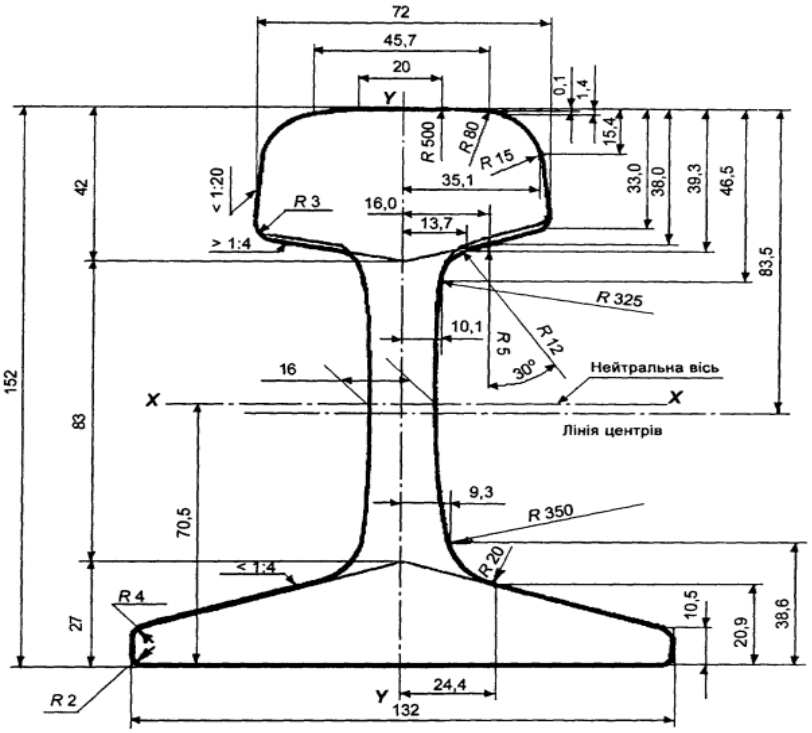


Рисунок 1.1 — Поперечний переріз рейки типу Р50

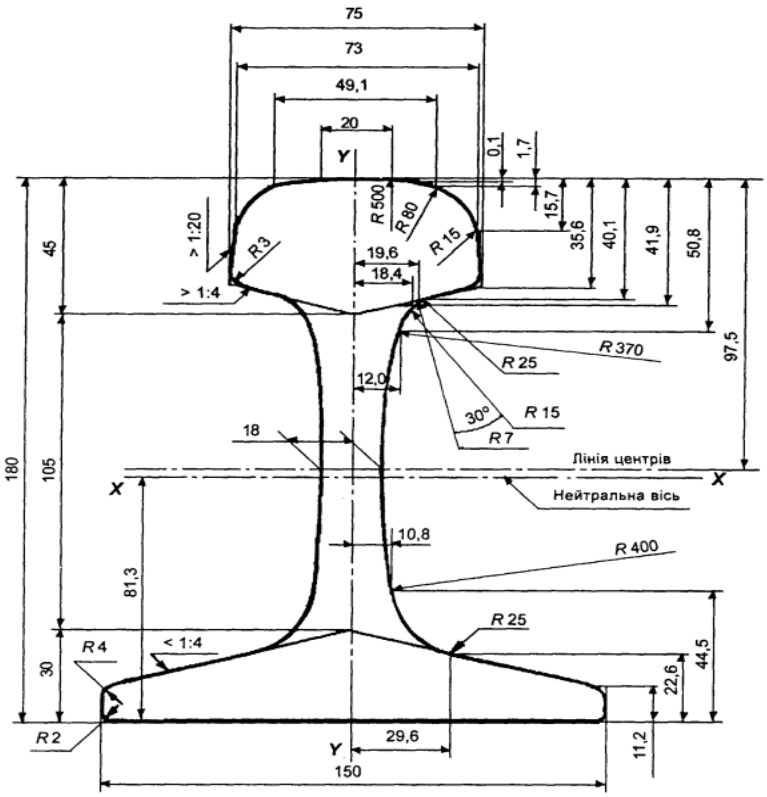


Рисунок 1.2 — Поперечний переріз рейки типу Р65

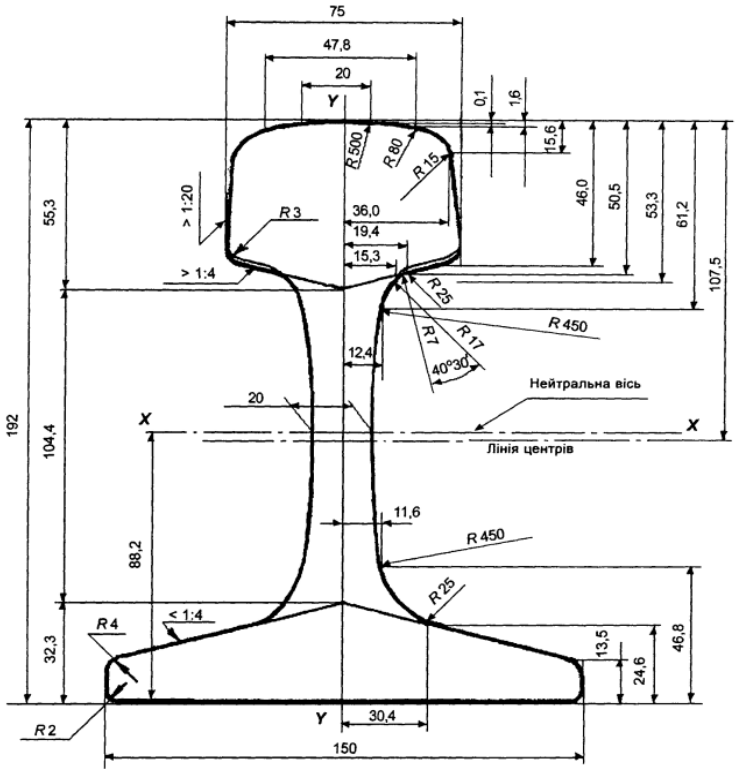


Рисунок 1.3 — Поперечний переріз рейки типу Р75

Осі болтових отворів на кінцях рейок повинні бути перпендикулярні до вертикальної подовжньої площини рейки. Поверхня болтових отворів повинна бути без розривів, задирок, ґвинтових слідів від просвердлення і слідів усадки у вигляді розшарування і тріщин. Задирки і напливи металу у болтових отворів потрібно видалити.

Шорсткість поверхні болтових отворів не повинна перевищувати RzQo. Цю вимогу забезпечують інструментом і на готових рейках не контролюють.

Крайки болтових отворів у шийці рейок повинні мати фаски розміром від 1,5 мм до 3,0 мм під кутом близько 45°.

Таблиця 1.2 - Граничнівідхилирозмірівd, t, b, f, l(у мм)

Тип рейки	Діаметр отвору, d	Розміри			
		t	b	f	l
Р50	34,0	68,5	66,0	216,0	356,0
Р65	36,0	78,5	96,0	316,0	446,0
Р75	36,0	80,4	96,0	316,0	446,0

Рейкивиготовляютьдовжиноювідповіднодотаблиці1.3. Виготовляютьрейки іншоїдовжини, аленеменшеніж 6,0 м (зкратністю0,1 м), заузгодженнямзіспоживачем

Граничні відхили довжини повинні відповідати таблиці 2.3 за температури рейки, рівної температурі довкілля.

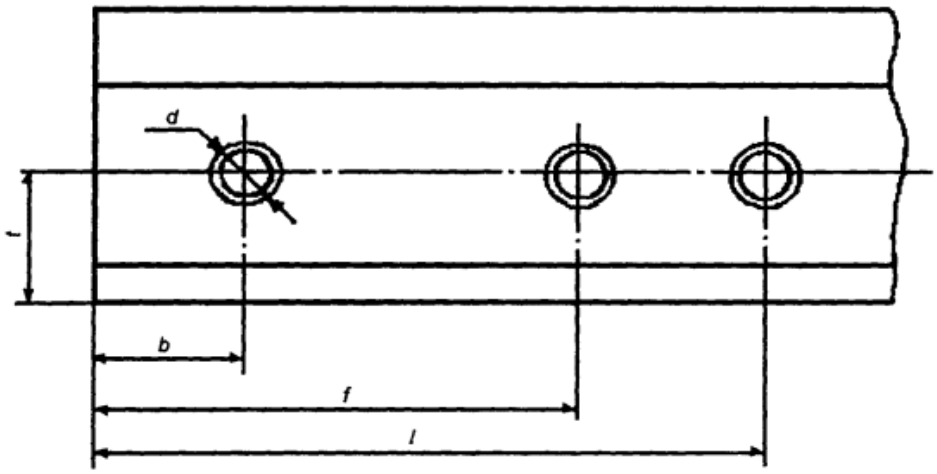


Рисунок 1.4 — Розташування болтових отворів на кінцях рейок

Таблиця 1.3 - Граничні відхили довжини рейок

Довжина рейки, м	Граничні відхили для рейок категорій, мм				Наявність отворів у шийці на кінцях рейок
	Вищої	I	II	III	
25,00	+10 −20	+10 −20	±20	±20	Без отворів
25,00 24,92 24,84	±4 ±4 ±4	±6 ±6 ±6	±15 ±15 ±15	±6 ±6 ±6	Отвори на обох кінцях
12,52	±4	±7	±7	±6	Отвори на одному кінці
12,50 12,46 12,42 12,38	±4 ±4 ±4 ±4	±7 ±7 ±7 ±7	±10 ±10 ±10 ±10	±6 ±6 ±6 ±6	Отвори на обох кінцях

Торці рейок повинні бути перпендикулярні поздовжній осі рейки. Косина торця під час вимірювання в будь-якому напрямку не повинна перевищувати 0,5 мм для рейок вищої категорії і 1,0 мм для рейок I, II і III категорій.

Поверхня торців рейок має бути без розривин, слідів усадки у вигляді розшарування і тріщин. Задирки і напливи металу на крайках торців потрібно видалити.

Шорсткість поверхні торців рейок не повинна перевищувати Rz80. Цю вимогу забезпечують інструментом і на готових рейках не контролюють.

Рейки повинні відповідати таким нормам за кривизною:

- стріла угину рейки в горизонтальній і вертикальній площинах за рівномірної її кривизни по всій її довжині не повинна перевищувати 1/2500 довжини для рейок вищої категорії і 1/2200 довжини для рейок I, II і III категорій;

- поодинокі місцеві деформації (угини) по всій довжині рейки на довжині 1,5 м не повинні перевищувати 0,3 мм для рейок вищої категорії і 0,6 мм для рейок I, II і III категорій.

Кривизна кінців рейок у горизонтальній і вертикальній площинах під час вимірювання стріли угину на довжині 1,5 м повинна відповідати таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Кривизна кінців рейок(умм)

Напрямок кривизни	Кривизна кінців рейок, категорій			
	Вищої	I	II	III
Вгору (по хорді)	0,5	0,7	0,8	0,7
Вниз (по дотичній)	не допускається	0,2	0,2	0,2
Горизонтально (по хорді)	0,5	0,7	1,0	0,7

Не допускаються скручування рейок. Рейку вважають скрученою, якщо під час вимірювання на контрольному стелажі зазор між краєм підошви і стелажем

становить: більше 1/25000 довжини рейки для вищої категорії і більше 1/10000 - для I, II і III категорій.

Не допускаются хвилястості рейок. Рейкою з хвилястістю вважають рейку, що має на поверхні по довжині виступи і западини (дві і більше), що чергуються, зі стрілою угину більше ніж 0,3 мм для рейок вищої категорії і більше ніж 0,6 мм для рейок I, II і III категорій, вимірюваною між лінійкою довжиною 1,5 м і поверхнею рейки за допомогою щупів.

Приклади умовних познак рейок:

— типу Р65, категорії I, з сталі марки М76Ф, довжиною 25 м з трьома болтовими отворами на одному кінці:

Рейка Р65-I-М76Ф-25-3/1 ДСТУ 4344:2004

— типу Р65, категорії II, з сталі марки М76, довжиною 12,5 м з двома болтовими отворами на обох кінцях:

Рейка Р65-II-М76-12,5-2/2 ДСТУ 4344:2004;

— типу Р65, вищої категорії (В), з сталі марки М76Ф, довжиною 25 м, без отворів:

Рейка Р65-В-М76Ф-25-0 ДСТУ 4344:2004;

— типу Р75,вищої категорії (В), з сталі марки М76Т довжиною 25 м з трьома болтовими отворами на обох кінцях:

Рейка Р75-В-М76Т-25-3/2 ДСТУ 4344:2004;

— типу Р50, категорії III, другої групи, з сталі М74, довжиною 25 м з двома болтовими отворами на одному кінці:

Рейка Р50-III/друга-М74-25-2/1 ДСТУ 4344:2004.

1.3Характеристики рейок

Рейки виготовляють зі спокійної мартенівської сталі марок М74, М74Ф, М74Т, М76, М76Ф, М76Т, з киснево-конвертерної сталі марок К74, К74Ф, К74Т, К76, К76Ф, К76Т і з електросталі марок Е74, Е74Ф, Е74Т, Е76, Е76Ф, Е76Т (цифри в познаці марки сталі вказують умовно середню масову частку вуглецю в сотих долях відсотка) .

Літери М, К і Е, що стоять перед цифрами, вказують спосіб виплавляння сталі: М — мартенівська, К — киснево-конвертерна і Е — електросталь. У познаці марки вуглецевої сталі літери після цифр відсутні. Літери Ф і Т, що стоять після цифр, означають, що сталь містить добавки ванадію (Ф) і титану (Т).

Приклад познаки сталі: М76Ф — мартенівська сталь з середньою масовою часткою вуглецю 0,76 % і добавками ванадію.

Хімічний склад рейкових сталей повинен відповідати нормам, наведеним у таблиці 1.5.

У готовому прокаті допускають такі відхили масової частки хімічних елементів, у відсотках: вуглецю ±0,02; марганцю ±0,05; кремнію ±0,02; фосфору +0,005; сірки +0,005; алюмінію +0,005; ванадію + 0,03; титану +0,005.

Загальна витяжка під час прокатування рейок із зливка повинна бути не менше 35, з безперервнолитої заготовки — не менше 9,6.

Макроструктура рейок повинна відповідати вимогам ДСТУ 3123 або шкалам, узгодженим із споживачем.

Урейкахнедопускаютьсярозшарування: (залишкиусадковоїраковиниіпідусадковоїкрихкості), внутрішнітріщини, плямистуліквацію, темніісвітлікірочки, чужоріднінеметалевіішлаковівкраплення.

Таблиця 1.5 – Масова частка хімічних елементів (у відсотках)

Марка сталі	Масова частка хімічних елементів							
	Вуглець	Марганець	Кремній	Ванадій	Титан	Фосфор	Сірка	Алюміній
						не більше		
М74Ф	0,69 — 0,80	0,80 — 1,30	0,18 — 0,40	0,03 — 0,07	—	0,035	0,040	0,015
К74Ф	0,69 — 0,80	0,80 — 1,30	0,18 — 0,40	0,03 — 0,07	—	0,035	0,040	0,015
Е74Ф	0,69 — 0,80	0,80 — 1,30	0,18 — 0,40	0,03 — 0,07	—	0,030	0,025	0,015
М74Т	0,69 — 0,80	0,80 — 1,30	0,18 — 0,40	—	0,007 — 0,0025	0,035	0,040	0,015
К74Т	0,69 — 0,80	0,80 — 1,30	0,18 — 0,40	—	0,007 — 0,0025	0,035	0,040	0,015
Е74Т	0,69 — 0,80	0,80 — 1,30	0,18 — 0,40	—	0,007 — 0,0025	0,030	0,025	0,015
М74	0,69 — 0,80	0,80 — 1,30	0,18 — 0,40	—	—	0,035	0,040	0,025
К74	0,69 — 0,80	0,80 — 1,30	0,18 — 0,40	—	—	0,035	0,040	0,025
Е74	0,69 — 0,80	0,80 — 1,30	0,18 — 0,40	—	—	0,030	0,025	0,025
М76Ф	0,71 — 0,82	0,80 — 1,30	0,25 — 0,45	0,03 — 0,07	—	0,035	0,040	0,015
К76Ф	0,71 — 0,82	0,80 — 1,30	0,25 — 0,45	0,03 — 0,07	—	0,035	0,040	0,015
Е76Ф	0,71 — 0,82	0,80 — 1,30	0,25 — 0,45	0,03 — 0,07	—	0,030	0,025	0,015
М76Т	0,71 — 0,82	0,80 — 1,30	0,25 — 0,45	—	0,007 — 0,0025	0,035	0,040	0,015
К76Т	0,71 — 0,82	0,80 — 1,30	0,25 — 0,45	—	0,007 — 0,0025	0,035	0,040	0,015
Е76Т	0,71 — 0,82	0,80 — 1,30	0,25 — 0,45	—	0,007 — 0,0025	0,030	0,025	0,015
М76	0,71 — 0,82	0,80 — 1,30	0,25 — 0,45	—	—	0,035	0,040	0,025
К76	0,71 — 0,82	0,80 — 1,30	0,25 — 0,45	—	—	0,035	0,040	0,025
Е76	0,71 — 0,82	0,80 — 1,30	0,25 — 0,45	—	—	0,030	0,025	0,025

Примітка. Допускають залишковий вміст у рейковій сталі хрому, нікелю і міді, що не перевищує 0,15 % кожного, за сумарної масової частки цих елементів не більше ніж 0,30 %.

У рейках допускають неметалеві включення у вигляді витягнутих у напрямку прокатки рядків глинозему, нітридів титану і ванадію, а також глинозему, зцементованого силікатами.

Довжина рядків не повинна перевищувати:

— 1,0 мм для рейок вищої категорії;

— 2,0 ммдля рейок I і II категорій;

— 2,0 мм для рейок III категорії першої групи;

— 8,0 ммдля рейок III категорії першої групи.

Довжина рядків крихкозруйнованих складних оксидів (алюмінатів, силікатів, шпінелей тощо) не повинна перевищувати:

— 1,0 мм для рейок вищої категорії;

— 4,0 мм для рейок категорії I і III першої групи;

— 8,0 мм для рейок категорії II і III другої групи.

Поверхня рейки повинна бути без розкачаних забруднень, пузирів-здуття, тріщин, розривів, плен, шпаківень, раковин, закатів, зморшок, підрізів, рябизни, рисок і відбитків.

На поверхні рейок допускають:

- поодинокі розкачані пузирі, волосовини і зморшки довжиною не більше ніж 0,5 м для рейок вищої категорії і не більше ніж 1,0 м для рейок I, II і III категорій, глибиною не більше ніж 1,0 мм, а в середній третині підошви не більше ніж 0,3 мм для рейок всіх категорій;

- поздовжні риски і подряпини глибиною не більше ніж 0,4 мм для рейок вищої категорії, не більше ніж 0,5 мм для рейок категорій I, II і III, а в середній третині підошви глибиною не більше ніж 0,3 мм для рейок всіх категорій;

- пологу зачистку плен, рябизни, поперечних рисок і подряпин в середній третині підошви і на поверхні головки рейок I, II і III категорій глибиною не більше ніж 0,5 мм, а в інших місцях - не більше ніж 1,0 мм для рейок всіх категорій, крім рейок вищої категорії;

- відбитки висотою до 5,0 мм на шийці рейки поза межами поверхонь спряження її з накладкою;

- вирублення із зачищенням абразивним інструментом відбитків на шийці в зоні її спряження з накладками у разі дотримання розмірів рейки і допустимих відхилів.

На поверхні рейок, призначених для зварювання, не допускаються розкачані пузирі і волосовини на довжині менше ніж 100 мм від торців.

Загартуванню піддають поверхню катання і бокові грані головок рейок вищої, I і II категорій.

Механічні властивості рейок під час випробовування на розтяг і ударну в'язкість мають відповідати нормам, наведеним у таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 - Механічні властивості рейок

Категорія рейки	Механічні властивості				
	Тимчасовий опір, σ_B, Н/мм^2 (кгс/мм^2)	Границя текучості, $\sigma_{0,2}$, Н/мм^2 (кгс/мм^2)	Відносне видовження, δ, %	Відносне звуження, Ψ, %	Ударна в'язкість KCU, Дж/см^2 (кгс·м/см^2)
	Не менше				
Вища	1290 (131)	850 (87)	10,0	30,0	15 (1,5)
I	1196 (122)	800 (82)	8,0	25,0	25 (2,5)
II	1137 (116)	740 (76)	6,0	25,0	15 (1,5)
III	900 (92)	—	5,0	—	—

Значення твердості на поверхні катання і за глибиною загартованого шару головки рейок вищої, I і II категорій повинні відповідати нормам, наведеним у таблиці 1.7.

Коливання значень твердості, що їх визначають в різних точках на поверхні катання за довжиною однієї рейки, не повинні перевищувати НВ 30 для рейок вищої категорії і НВ 40 для рейок I і II категорій.

Твердість за глибиною загартованого шару рейки має бути постійна або знижуватися до значень, наведених у таблиці 7. Підвищення твердості в окремих точках за глибиною загартованого шару до НВ 388 (HRCe 42,5) і до НВ 401 (HRCe 43,5) на кінцях рейок довжиною до 200 мм не є дефектом.

Таблиця 1.7 – Значення твердості рейок

Місце вимірювання	Значення твердості рейок категорій, НВ (HRCe)		
	Вищої	I	II
Поверхня катання головки, середня частина довжини рейки	374. . .401 (41,5. . .43,5)	341. . .388 (37,5. . .42,5)	311. . .388 (34,0. . .42,5)
Поверхня катання головки на кінцях до 0,2 м від торця	374. . .401 (41,5. . .43,5)	341. . .401 (37,5. . .43,5)	311. . .401 (34,0. . .43,5)
В головці на глибині 5 мм від поверхні катання по осі, не менше	341 (37,5)	311 (34,0)	311 (34,0)
В головці на глибині 11 мм від поверхні катання по осі, не менше	321 (35,0)	302 (33,0)	302 (33,0)
В головці на глибині 13 мм від поверхні катання по викружках, не менше	321 (35,0)	302 (33,0)	302 (33,0)

Поверхня головки нетермозміцнених рейок (категорія III) на їх кінцях зазнає загартування з індукційного або прокатного нагрівання на довжину від 50 мм до 80 мм, у цьому разі загартований шар повинен починатися на відстані не більше ніж 4,0 мм від торця і в поперечному перерізі не повинен розповсюджуватися нижче за початок закруглення вертикальних бокових граней головки до поверхні катання[22] .

Під час загартування кінців потрібно забезпечити виконання таких вимог:

– твердість на поверхні катання НВ 311...401 (HRCe 34,0...43,5);

– глибина загартованого шару - не менше ніж 5,0 мм;

– твердість на глибині 5,0 мм - не менше НВ 302 (HRCe 33,0);

– плавний перехід від загартованого шару металу до незагартованого по поперечному перерізу і по поверхні катання головки;

– відсутність в загартованому шарі структур перегрівання, ділянок мартенситу, гартувальних тріщин.

Допускається, за узгодженням зі споживачем, виготовляти рейки без загартування одного або обох кінців.

Мікроструктура металу головки поверхнево-загартованих рейок повинна являти собою троостит, троостосорбіт або сорбіт загартування з переходом до сорбітоподібного перліту і вихідної перлітної структури.

У мікроструктурі загартованого шару головки на кінцях рейок до 0,2 м від торця допускається наявність локальних ділянок бейніту.

Нерозірвану ферритну сітку зневуглецьованого шару на глибині більше ніж 0,5 мм від поверхні катання і бокових граней головки рейок вищої категорії не допускають.

Під час випробовувань рейковий пробний зразок повинен витримувати удар вантажем масою 1000 кг, що падає з висоти, вказаної втаблиці 1.8, без зламів і ознак зруйнованості.

Уповерхнево-загартованихрейках, щопройшливиправлення, допускаютьсязалишковінапруження, якізумовлюютьрозходженняпаза, щоотримуєтьсярозрізаннямшийкирейковоїпробивздовжїїнейтральноїосі, навеличинунебільшеніж 2,5 ммдлярейоквищоїкатегорії; небільшеніж 3,0 мм-Ікатегоріїінебільшеніж 3,5 мм-ІІкатегорії.

Таблиця 1.8 – Висота падіння вантажу під час випробування рейок (у метрах)

Температура зразка під час випробовування, °С	Категорія рейки	Висота падіння вантажу під час випробовування для рейок					
		нетермозміцнених, типів			поверхнево-загартованих, типів		
		Р50	Р65	Р75	Р50	Р65	Р75
Мінус 60 ± 2	Вища	—	—	—	3,5	5,0	5,5
Довкілля	I, II	—	—	—	3,0	4,2	4,5
Довкілля	III	6,1	7,3	8,2	—	—	—

1.4 Маркування рейок

На одній стороні на середній лінії шийки кожної рейки потрібно викатувати опуклі (не менше 1 мм) з плавним переходом до поверхні шийки цифри і літери висотою від 30 мм до 40 мм в такому порядку:

- познака підприємства-виробника (А — Маріупольський металургійний комбінат «Азовсталь», Д — Дніпровський металургійний комбінат);
- місяць (римськими цифрами) і дві останні цифри року виготовлення рейок;
- тип рейок;
- позначення стрілкою головного кінця (вістря стрілки вказує на головну частину рейки).

На шийці вздовж осі кожної рейки (на тій самій стороні, де викатано опуклі знаки) в гарячому стані наносять:

– шифр плавки в двох-шести місцях по довжині рейки на відстані не менше 1,0 м від її торців;

– познака головної чи донної рейки (індекси «1» чи «Х»).

Шифр плавки містить познаку способу виплавляння, марки сталі і номер плавки. На початку шифру літерами М, К або Е позначають відповідно мартенівський, киснево-конвертерний або електросталеплавильний спосіб виготовлення сталі.

Після літери, що вказує на спосіб виплавляння сталі, для рейок зі сталі марок М74Ф, К74Ф, Е74Ф, М76Ф, К76Ф і Е76Ф наносять літеру «Ф»; марок М74Т, К74Т, Е74Т, М76Т, К76Т, Е76Т — літера «Т» і марок М74, К74, Е74, М76, К76 і Е76 — літера «У». В кінці наносять літерну познаку або номер печі і порядковий номер (шифр) плавки.

На відстані не менше ніж 1 м від торця головної рейки з боку підусадкової частини зливка індексом «1» позначають головні рейки, а також рейки, прокатані з безперервнолитих заготовок, відповідні початку розливання плавки.

На відстані не менше ніж 1 м від торця рейки довжиною 12,5 м з боку донної частини зливка індексом «Х» позначають донні рейки, а також рейки, прокатані з безперервнолитих заготовок, відповідні закінченню розливання плавки.

Клейма, що наносять на шийку гарячої рейки, повинні бути висотою 12 мм і глибиною від 0,8 мм до 1,5 мм. Клейма повинні бути чіткі, без гострих окреслень контуру знаків і їх вершин. Відстань між знаками повинна бути від 20 мм до 40 мм.

Набоковій грані головки пробних рейок в гарячому стані на відстані від 5 м до 7 м від торця наносять індекси «1» чи «Х» відповідно для головних і донних рейок, а також цифри, що вказують на порядковий номер пробної рейки.

Не допускають:

– наносити і виправляти клейма і знаки вхолодному стані;

– наносити додаткові клейма і знаки набокові грані рейок в місцях, не встановлених цим стандартом.

Після закінчення оброблення рейок на один торець рейки способом клеймування в холодному стані повинні бути нанесені:

– шифр плавки — на торець підошви;

– індекси «1» або «Х» — на торець верхньої чверті шийки.

На кожну прийняту рейку вхолодному стані повинні бути нанесені:

– приймальні клейма відділу технічного контролювання (далі ВТК) підприємства-виробника і інспектора «Укрзалізниці» — на торець головки;

– знак загартування кінців рейок — літера «К» — на торець нижньої чверті шийки рейки;

– знак термічного зміцнення рейок — літера «З» — на торець нижньої чверті шийки рейки. На обох торцях головки рейок, які не відповідають вимогам цього стандарту, повинно бути вибито по три керна.

На відстані від 0,7 м до 1,0 м від торця рейки, на якому поставлені приймальні клейма, на шийку всіх загартованих рейок наносять поперечну смугу шириною біля 20 мм фісташковою (світло-зеленою) незмивною фарбою.

На рейки з болтовими отворами додатково на головку наносять смугу фісташковою (світло-зеленою) незмивною фарбою.

Приймальні клейма, нанесені на торець головки рейок, прийнятих інспекцією «Укрзалізниці», обводять незмивною фарбою і додатково на шийку торця рейки наносять поперечну смугу шириною біля 20 мм для:

- рейок вищої категорії — блакитного кольору;

- рейок I категорії — фісташкового (світло-зеленого) кольору;
- рейок II категорії — жовтого кольору.

Приймальні клейма рейок III категорії обводять фарбою білого кольору. На шийку торця рейки наносять поперечну смугу для рейок першої групи блакитного кольору, другої групи — білого.

Рейки III категорії з загартованими кінцями потрібно додатково маркувати поперечною смугою шириною 20 мм жовтою незмивною фарбою, яку наносять на поверхню головки рейки на відстані біля 0,5 м від торців із приймальними клеймами.

Укорочені рейки, призначені для укладання в криволінійні ділянки колії, потрібно маркувати незмивною фарбою кольору, відповідно до категорії:

– рейки довжиною 24,92 м і 12,46 м — зафарбуванням частини торця одного краю підошви;
– рейки довжиною 24,84 м; 12,42 м і 12,38 м — зафарбуванням частини торця обох країв підошви.

2РЕСУРС ТА ТЕРМІН СЛУЖБИ РЕЙОК В ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

2.1 Ресурсні нормативи

Значна неоднорідність умов роботи рейок Р65 за величиною середніх осьових навантажень (від 10...20 тс/вісь) вимагає використання рейок різних якісних категорій. Реалізація цієї умови можлива при диференційованому укладанні рейок в дорогу. Система заснована на відповідності ресурсу умовам експлуатації та, у першу чергу, колісним (осьовим) навантаженням. Дотепер диференційоване використання рейок не можна було здійснити у зв'язку з тим, що існуючі нормативи не відображають закономірний зв'язок якості сталі, пропущеного тоннажу (терміну служби), інтенсивності відмов утоми з колісним навантаженням і тим самим не дозволяють керувати надійністю рейок.

Тепер, коли ресурсні нормативи створені, залізничні лінії ранжуються:

– за величиною середньорічного осьового навантаження;
– по кривизні колії .

Диференційоване використання рейок предбачає також контроль за витратами на їх придбання. Тільки за рахунок цього можлива значна економія.

За критерій ресурсозбереження рейок прийнято тривалу межу витривалості, у якому досягається найменший пропущений тоннаж за мінімальної інтенсивності втомних відмов.

У зв'язку з цим, нетермозміцнені рейки «Азовсталь» з вуглецевої сталі категорії ІІ за ДСТУ 4344:2004, запровадженому з 2005-10-01 замість ГОСТ 24182-80, можна раціонально використовувати в інтервалі колісних навантажень 5...7 тс/колесо (10...14 тс/вісь) з інтенсивністю втомних відмов 1 шт/км на 50 млн т брутто.

2.2 Використання рейок

Рейки з вуглецевої мікролегованої сталі Ікатегоріївикористовуються при навантаженнях 6...8 тс/колесо (12...16 тс/вісь) з інтенсивністю втомних відмов 1 шт/км на 75 млн т брутто, а вищої категорії (В) - при навантаженнях 7...9

тс/колесо (14...18 тс/вісь) з мінімальною інтенсивністю втомних відмов 1 шт/км на 100 млн т брутто.

Поверхнево-загартовані по всій довжині рейки з вуглецевої сталі категорій II та III використовуються при навантаженнях 8...10 тс/колесо (16...20 тс/вісь) з інтенсивністю втомних відмов 1 шт/км на 50 млн т брутто.

Рейки з вуглецевої мікролегованої сталі категорії I використовуються при навантаженнях 9...11 тс/колесо (18...22 тс/вісь) з інтенсивністю втомних відмов 1 шт/км на 75 млн т брутто, а категорії вищої - за навантаженнях 10...12 тс/колесо (20...24 тс/вісь) з інтенсивністю відмов 1 шт/км на 100 млн т брутто.

Мінімальну інтенсивність відмов (1 шт/км на 100 млн т брутто) у нетермозміцнених та поверхнево-загартованих рейок вищої категорії (В) необхідно підтвердити експлуатаційними випробуваннями на довговічність.

З вищевикладеного виходить, що нетермозміцнені рейки «Азовсталь» раціонально використовувати у прямих залежно від якості сталі при навантаженнях: min 5..10тс/колесо, max 7..9 тс/колесо.

Середнє значення - 6...8 т/с колесо (12...16 тс/вісь) необхідно прийняти для практичного використання як найімовірніше.

Поверхнево-загартовані по всій довжині рейки використовуються при навантаженнях більше 8 тс/колесо (16 тс/вісь).У ланковому шляху напрацювання зменшується на 10-15% [44].

Середньорічне навантаження в тс/колесо - це половина середньорічного осьового навантаження (тс/вісь), визначеного за обліковою формою ЦО-4 за місяць і в середньому за рік.

Ресурс рейок у кривих радіусом 1000 м прийнятий таким же, як і у прямих. У зв'язку з інтенсивним бічним зносом нетермозміцнені рейки використовуються в кривих радіусом більше 1000 м, а поверхнево-загартовані по всій довжині - в кривих радіусом 1000 м і менше.

У найпоширеніших кривих радіусом 600...650 м при незначному бічному зносі ресурсний і фактичний термін служби дорівнюють 625...650млн т брутто, а

при інтенсивному бічному зносі термін служби буде в межах 300...325 млн т брутто, тобто в два рази менше. Отже, реурсні терміни служби застосовні для кривих радіусів 650...1000 м з незначним бічним зносом.

У кривих радіусом менше 650 м термін служби визначається фактичному стану, виходячи із встановленої максимальної величини їх наведеного та бічного зносів у цих кривих.

У кривих радіусом 200...400 м на величину бічного зносу колісне навантаження впливу не надає, впливає лише кривизна та ресурі (якість сталі).

Термін служби поверхнево-загартованих рейок у таких кривих дорівнює мінімальному ресурсу 325...375 млн. т брутто. Проте, фактичний термін служби менший за ресурсний у 3...4 рази, що й говорить про необхідність вжиття заходів щодо зниження інтенсивності бічного зносу у кривих, як мінімум у 2...3 рази.

Висновки:

1. Ресурсні терміни служби нетермозміцнених у поверхнево-загартованих рейок Рб5 «Азовсталь» прямих та кривих – це нова нормативна база. На відміну від існуючих, ресурсні нормативи складаються з обмеженої довговічності та тривалої витривалості, тобто повністю розкривають витривалість рейок. На цій стадії інтенсивність втомних відмов рейок залежить від ресурсу (якості сталі) та величини колісного навантаження, а на стадії тривалої витривалості тільки від якості сталі. Таким чином, якість рейкової сталі можна оцінити не тільки величиною ресурсу, але і інтенсивністю втомних відмов на стадії тривалої витривалості.

2. Ресурсні нормативи дозволяють керувати надійністю рейок, тобто практично здійснювати їхнє диференційоване використання. Залежно від ресурсу (якості сталі), величини колісного навантаження, радіусів кривих та інших факторів надійно можуть працювати і нетермозміцнені та поверхнево-загартовані по всій довжині рейки. Виходячи з цього, повинні проводитися заготівля (закупівля) та укладання рейок. Нова нормативно-технічна документація з рейок відповідно до ДСТУ 4344:2004 спрямована на значне

заощадження матеріальних та грошових ресурсів за рахунок удосконалення системи ведення рейкового господарства.

2.3 Загальна характеристика стану рейок

На сьогодняшній день проблема усунення рейкових дефектів, зокрема хвилеподібного зносу, та підвищення якості рейкової сталі залишається актуальною. Тому що від стану рейок залежить безпека пасажирів та вантажоперевезень. Над вирішенням цього питання працювали вчені багатьох країн. Серед них немало й наших співвітчизників, а саме: Даниленко Е. І., Даренський О. М., Тимофєєва Л. А., Скобло Т. С., Сапожков В. Є., Сидашенко А. І., Кулагіна М. І., Зоткіна Г. В. та багато інших.

У теперішній час у працях українських та закордонних учених про усунення хвилеподібного зносу основна увага приділялася розробленню й удосконаленню конструкції машин і механізмів рейкошліфувальних машин. Але не досліджувалося питання взаємодії рейкаколесо і впливу термо-механо-хімічних взаємодій на структуру і властивості як вихідного металу, так і того, що вжеексплуатується.

Крім того, у працях Даниленка Е. І. [23] досліджувався стан суцільнолитих хрестовин під впливомпідвищених колісних навантажень, але не розглядалося питання структури фазового складу рейкового металу.

Для забезпечення зносостійкості і безпеки руху поїздів застосовуються рейки типу Р50, UIC 60, Р65, хімічний склад і механічні властивості яких наведені в табл. 2.1, 2.2. Твердість забезпечується структурою, що одержана при їх виготовленні, а саме: термічна обробка, загартування і відпуск.

Структура згідно з ДСТУ 4344 належить до відпущеного мартенситу. Рейки такої структури мають незначний знос, але в результаті термо-механо-хімічних реакцій у зоні контакту рейка-колесо виникають дефекти (темні плями, поздовжні розшарування, вищербини, виривання), що призводять до руйнування рейок.

Для усунення хвилеподібного зносу рейок і дефектів, що його обумовлюють, необхідномати уявлення про причини утворення дефектів у зоні контакту рейка–колесо.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад рейкової сталі

Марка сталі	Масова частка хімічних елементів, %							
	Вуглець	Марганець	Кремній	Ванадій	Титан	Фосфор	Сірка	Алюміній
						Не більше		
М74Ф	0,69-0,80	0,80-1,30	0,18-0,40	0,03-0,07	-	0,035	0,040	0,015
К74Ф	0,69-0,80	0,80-1,30	0,18-0,40	0,03-0,07	-	0,035	0,040	0,015
Е74Ф	0,69-0,80	0,80-1,30	0,18-0,40	0,03-0,07	-	0,030	0,025	0,015
М74Т	0,69-0,80	0,80-1,30	0,18-0,40	-	0,007-0,0025	0,035	0,040	0,015
К74Т	0,69-0,80	0,80-1,30	0,18-0,40	-	0,007-0,0025	0,035	0,040	0,015
Е74Т	0,69-0,80	0,80-1,30	0,18-0,40	-	0,007-0,0025	0,030	0,025	0,015
М74	0,69-0,80	0,80-1,30	0,18-0,40	-	-	0,035	0,040	0,025
К74	0,69-0,80	0,80-1,30	0,18-0,40	-	-	0,035	0,040	0,025
Е74	0,69-0,80	0,80-1,30	0,18-0,40	-	-	0,030	0,025	0,025
М76Ф	0,71-0,82	0,80-1,30	0,25-0,45	0,03-0,07	-	0,035	0,040	0,015
К76Ф	0,71-0,82	0,80-1,30	0,25-0,45	0,03-0,07	-	0,035	0,040	0,015
Е76Ф	0,71-0,82	0,80-1,30	0,25-0,45	0,03-0,07	-	0,030	0,025	0,015
М76Т	0,71-0,82	0,80-1,30	0,25-0,45	-	0,007-0,0025	0,035	0,040	0,015
К76Т	0,71-0,82	0,80-1,30	0,25-0,45	-	0,007-0,0025	0,035	0,040	0,015
Е76Т	0,71-0,82	0,80-1,30	0,25-0,45	-	0,007-0,0025	0,030	0,025	0,015
М76	0,71-0,82	0,80-1,30	0,25-0,45	-	-	0,035	0,040	0,025
К76	0,71-0,82	0,80-1,30	0,25-0,45	-	-	0,035	0,040	0,025
Е76	0,71-0,82	0,80-1,30	0,25-0,45	-	-	0,030	0,025	0,025

Таблиця2.2 – Механічні властивості рейкової сталі

Нормативний документ	Категорія рейки	Тимчасовий опір $\sigma_в$, Н/мм^2 (кгс/мм^2)	Межа текучості $\sigma_{0,2}$, Н/мм^2 (кгс/мм^2)	Відносне видовження δ, %	Відносне звуження ψ, %	Ударна в'язкість KCU_2, Дж/см^2 (кгс·м/см^2)
		Не менше				
ДСТУ 4344	Вища	1290 (131)	850 (87)	10,0	30,0	15 (1,5)
	I	1196 (122)	800 (82)	8,0	25,0	25 (2,5)
	II	1137 (116)	740 (76)	6,0	25,0	15 (1,5)
	III	900 (92)	-	5,0	-	-

Метою дослідження було вивчення структурно-фазового стану рейок, як нових так і тих, що вже експлуатуються, аби запобігти утворенню хвилеподібного зносу рейок.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі основні завдання:

1) визначити структурно-фазовий склад нових рейок і тих, що вже експлуатуються;

2) визначити основні причини зносу рейок у процесі експлуатації;

3) обґрунтувати утворення хвилеподібного зносу рейок.

Донедавна підвищення контактної міцності здійснювалося за рахунок поліпшення якості макроструктури рейки. Рейки типу Р50, UIC 60 і Р65 містять близько 0,69-0,82 % вуглецю.

Подальше підвищення контактної міцності металу рейок за рахунок збільшення вуглецю небажане, оскільки з його підвищенням збільшується чутливість сталі до різних механічних і термічних дій, підвищується схильність рейок до утворення тріщин.

Подальше підвищення міцності рейок може бути здійснене завдяки застосуванню легування і термічної обробки поверхні уздовж головки.

Як показали результати досліджень нових рейок, поодинокий вихід з ладу відбувається за такими дефектами: розшарування головки по усадкових раковинах, наявність сегрегації неметалевих вкраплень, волосовини на підошві та ін. А на рейках, що були в експлуатації, у зв'язку зі збільшенням контактної напруги на поверхні кочення головки рейки з'являлися поперечні втомні тріщини, зім’яття головки з напливами металу.

Ці дефекти здебільшого зустрічаються в рейках, укладених у кривих ділянках колії, тобто у тих рейках, які сприймають поперечні і поздовжні контактні навантаження від рухомого складу.

Унаслідок термо-механо-хімічного впливу в зоні контакту рейка-колесо відбувається пластичний плин поверхневого шару металу головки рейки, який спричиняє на бічній внутрішній викружці виникнення напливів деформованого металу і поздовжніх тріщин під ними [24, 25, 30].Було порушене питання, чому і з якої причини з’являються згадані дефекти. Відомо, що в процесі кристалізації злитків у виливницях унаслідок високої температури здійснюється міграція атомів вуглецю на поверхню відливання і зневуглецювання поверхні. Чим

товщий переріз відливання і товщина стінок виливниць, тим довше зберігається висока температура, унаслідок чого на велику глибину відбувається зневуглецювання поверхні злитка.

Зневуглецьовані злитки після твердіння, перед плющенням, спрямовуються до нагрівальних колодязів, де за звичайних умов нагріву може відбуватися додаткове зневуглецювання й окислення [26–29].

Відповідно, рейкова сталь, як близька до евтектоїдного складу, буде мати той чи інший ступінь зневуглецювання поверхні. Наявність зневуглецьованого шару на контактній поверхні рейки має відіграти певну роль у початковій стадії процесу пластичної деформації, що виникає за наявності контактної напруги.

Металографічні дослідження цих рейок показали в місцях дефекту наявність зневуглецьованого шару, який на поверхні кочення сильно деформований і зношений, а на бічних гранях досягає глибини до 0,5 мм.

Цікаво встановити залежність розподілу зневуглецьованого шару за довжиною головки рейки і можливий зв'язок між уже утвореними напливами і зневуглецьованим шаром. Для цього був узятий 2-метровий шматок рейки, на якому з боку внутрішньої викружки були ділянки з напливом металу, вищербинами і ділянки, не уражені цими дефектами.

Результати дослідження показують, що по всьому периметру головки рейки спостерігається зневуглецьований шар, глибина якого неоднакова.

З рисунка2.1 бачимо, що глибина цього шару по довжині рейки розподіляється нерівномірно. Якщо тепер порівняти наявність напливів на бічній викружці головки рейки з глибиною зневуглецьованого шару, можна помітити, що в тих випадках, коли глибина шару максимальна, на дослідженій рейці є напливи деформованого металу і поздовжні тріщини під ними.

В окремих місцях напливи металу відкололися і на поверхні бічної викружки рейки утворилися вищербини.

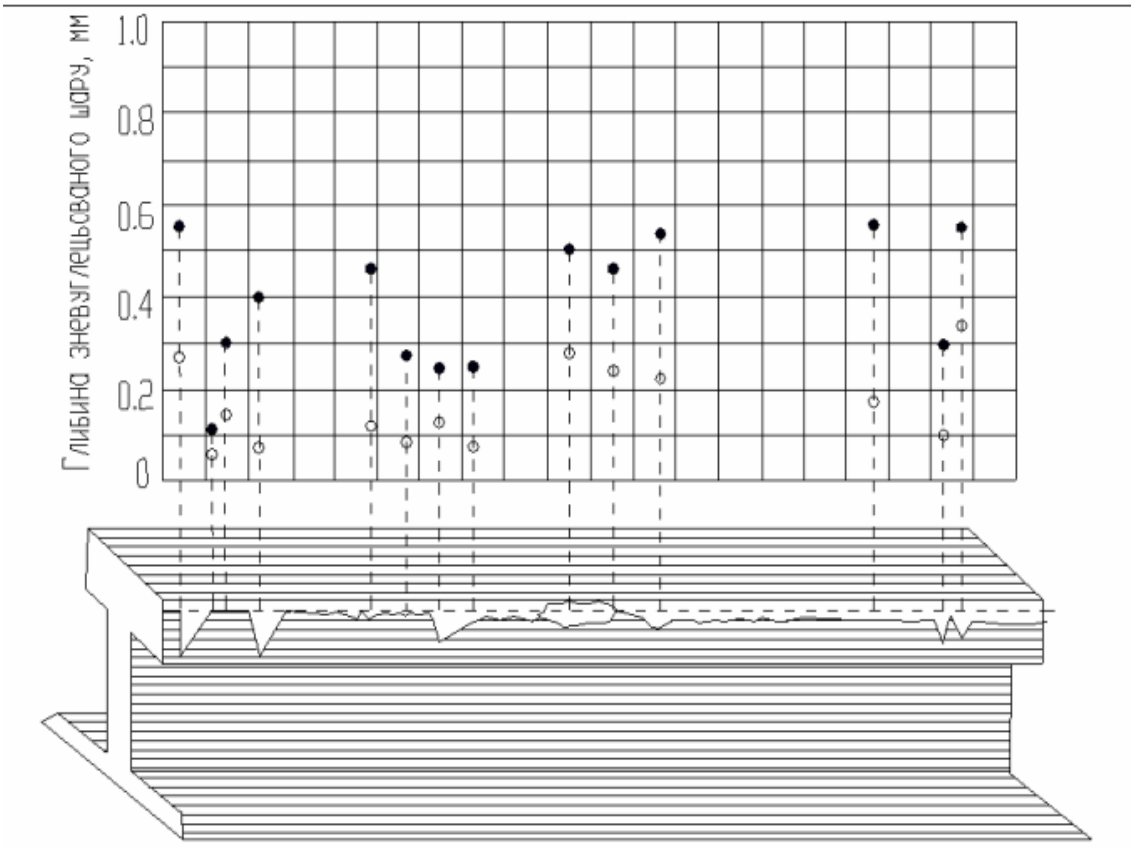


Рисунок2.1 - Графік розподілу зневуглецьованого шару по довжині 2-метрового шматка рейки:

○ – глибина зневуглецьованого шару до експлуатації;

● – глибина зневуглецьованого шару в процесі експлуатації.

Оскільки визначення глибини зневуглецьованого шару на поверхні кочення рейок, що були в експлуатації, унаслідок зносу і зім'яття є складним завданням, був досліджений 2-метровий шматок рейки, що не був в експлуатації.

У цій рейці характер розподілу зневуглецьованого шару такий же, як і в попередньому шматку. Відзначається, що ступінь зневуглецювання більший на поверхні кочення і бічних викружках рейки, де шар досягає глибини від 0,2 до 0,72 мм.

Одночасно досліджувався і характер розподілу неметалевих вкраплень по перерізу головки рейки. Відзначається сильна забрудненість металу рейок неметалевими вкрапленнями оксидного і сульфідного характеру. Розподіл цих

вкраплень по перерізу головки нерівномірний, а саме: на поверхні кочення і бічних гранях кількість неметалевих вкраплень на глибину 2–5 мм незначна, тоді як інша частина головки сильно забруднена неметалевими вкрапленнями.

Напливи металу, що спостерігаються на бічну грань, є результатом посиленої пластичної деформації металу над поздовжньою тріщиною, що зароджується на глибині 3–5 мм від поверхні кочення. Це підтверджується більш високою твердістю наклепаного металу напливу вище за тріщину.

Розвиток тріщини в поздовжньому напрямі під напливом деформованого металу характеризується втомою і призводить до виникнення відколів (вищербин) на бічній викружці. Наявні відколи великої довжини пояснюються зустріччю декількох самостійно розвинутих, поздовжніх тріщин.

Наявність скупчень неметалевих вкраплень сприяє розвитку тріщини в поздовжньому перерізі. Часто розвиток поздовжньої тріщини, як видно з рис. 6, набуває розгалуженого характеру і в тому випадку, якщо на її шляху зустрічаються слабкі місця металургійного характеру, вона може змінити свій напрям і розвинутися в поперечну втомну тріщину. Розвиток цієї тріщини до поверхні кочення виключається через наявність напруги стиснення в поверхневому наклепаному шарі металу рейки.

3ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА РЕЙОК

3.1 Гібридний процес безперервного лиття з електрошлаковим підігрівом меніску (БЛ+ЕШП)

Однією з основних проблем якості рейок є поява дефектів в осьовій частині заготовки, спричинених ліквацією та усадкою в металі, який твердне, та які суттєво зменшують термін служби рейок.

Виникнення останніх пов’язано з відсутністю достатнього перемішування та підживлення останніх порцій рідкого металу в глибокій лунці заготовки. Висока швидкість розливу безперервнолитої заготовки (від 0,5 м до декількох метрів за хвилину, залежно від її перерізу) призводить до утворення дуже глибокої рідкої лунки: навіть для заготовки квадрату 200×200 мм, довжина рідкої лунки сягає до 7 м при різній швидкості витягування.

Безперечно, що за таких умов підживлення усадки безперервнолитої заготовки в її осьовій частині є обмеженим і, як наслідок, з’являються дефекти ліквації та пористість.

Однак, значно зменшити глибину рідкої лунки неможливо, адже існує певна нижня межа швидкості розливання на машинах безперевного лиття заготовок, поза якою відбувається підморожування меніску й поверхня заготовки стає непридатною для подальшої прокатки[15, 16]. Тому, щоб знизити зазначений поріг мінімальної швидкості розливу й запобігти утворенню гофрів, запропоновано використовувати електрошлаковий обігрів меніску й зони контакту шлакової суміші з кристалізатором.

Таке рішення дозволить зберегти якість поверхні безперервнолитої заготовки при одночасному покращенні щільності й однорідності осьової зони за рахунок зменшення швидкості розливу і, відповідно, призведе до зменшення глибини двофазної зони та глибини рідкометалевої ванни (металургійної довжини безперевно литої заготовки).

Результати математичного моделювання формування круглої безперервнолитої заготовки діаметром 500 мм з вуглецевої сталі при різних

швидкостях розливу (200—500 мм/хв з кроком 100 мм/хв) показали практично прямолінійну залежність глибини як рідкометалевої ванни, так і двофазної зони від швидкості розливу[16].

Важливим є й той факт, що пряма залежність металургійної довжини глибини рідкометалевої ванни швидкості розливання збереглася навіть при врахуванні впливу чотирьох зон вторинного охолодження (довжини зон розпилення вторинного охолодження прийняті рівними:

зона 1 — 5000 мм;

зона 2 — 6000 мм;

зона 3 — 11 000 мм;

зона4— 11 000мм (дві останні — це послідовно розташовані секції охолодження, що відрізняються інтенсивністю подачі води), що відповідає геометрії МБЛЗ ДМК, м. Кам'янське).

Одержана за розрахунками величина зменшення глибини двофазної зони з 29 м до 11 м (зменшення майже втричі) при зниженні швидкості розливу в кристалізатор діаметром 500 мм до 300 мм/хв, дозволяє припустити, що гібридний процес розливу з електрошлаковим обігрівом [17]може дати друге життя напівбезперервній розливці ковальських зливків великого перерізу на вертикальних машинах [17].

Істотне зменшення частки рідкого металу, що перебуває в двофазній зоні, свідчить про перспективність запропонованого способу зниження швидкості розливу для попередження утворення осьової неоднорідно сті та усадкових ефектів.

Результати порівняльного дослідження макроструктури й всебічної оцінки мікроструктури модельних зливків ЕШП, які також було отримано при різній швидкості витягування (20 і 40 мм/хв відповідно) дали підстави для аналогічних висновків. В обох зливках спостерігається наявність пластинчастого перліту й ділянки глобулярного перліту, де зустрічаються фрагменти цементитної фази, які зазнають перетворення в глобулярні форми цементиту (рисунок3.1).

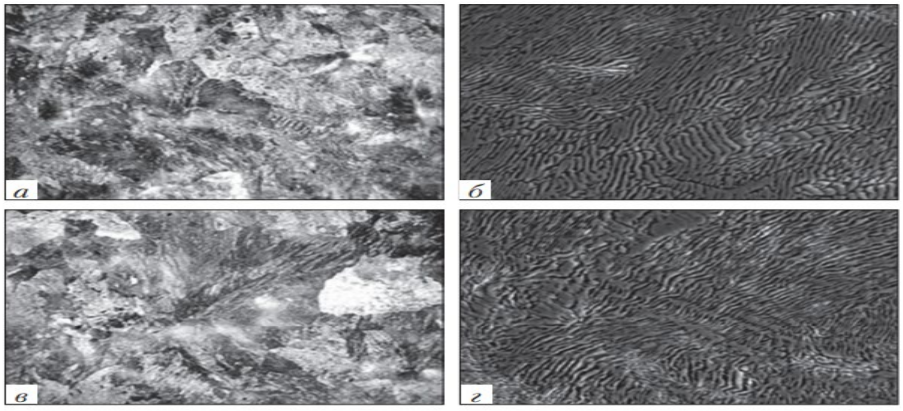


Рисунок3.1 - Мікроструктура зразків ме талу модельних зливків ЕШП, сформованих з різною швидкістю витяжки: 1 - 20 мм/хв; 2 - 40 мм/хв; а, в - зображення під оптичним мікроскопом; б, г - СЕМ (збільшення ×100)

Це, скоріш за все, пов’язано з нерівномірністю розподілу елементів і тривалістю перебування металу в температурному інтервалі перлітного перетворення (від 650 до 550 °С).

Загалом мікроструктура обох зливків однорідна, щільна, без будьяких виділень фаз по границях зерен. Відстань між первинними і вторинними осями дендритів в першому й другому зливках дещо відрізняється (таблиця3.1).

Таблиця 3.1 - Розмір структурних складових в ЕШП зливках рейкової сталі діаметром 180 мм

Швидкість витяжки зливка, мм/хв	Відстань між первинними осями, мкм	Відстань між вторинними осями, мкм	Міжпластинчаста відстань в перліті, мкм
20	248	82	0,74
40	162	43	0,56

Відомо, що чим більш подрібнена структура металу, тим більш однорідним він є, кращими є його властивості в литому стані і, відповідно, в кінцевому продукті. Відстань між первинними і вторинними осями гілок дендритів є

прямим показником дрібності первинної дендритної структури. Виявлено типову перлітну мікроструктуру з тонкої ламеллю цементиту в обох зливках ЕШП. Кількісна оцінка міжпластинчастої відстані в перліті показала, що обидва зливки ЕШП рейкової сталі К76Ф практично ідентичні (відстань 0,54 і 0,76 мкм відповідно). Ці значення є вищими, порівняно з міжпластинчастою відстанню в зразках рейкової сталі преміум класу після деформації та термічної обробки (відстань становить близько 0,2 мкм), оскільки дослідження було виконано на литому металі без будь-якої деформації та термічної обробки, які підвищують дисперсність перліту.

Розмір перлітних зерен в зливку ЕШП зі швидкістю витягування 20 мм/хв становить 100-120 мкм, субзерен - 20-30 мкм, тоді як розмір перлітних зерен в зливку, отриманому за швидкості витягування 40 мм/хв досягає 60-100 мкм, а субзерен - 10-15 мкм. Тобто, навіть незначне зниження швидкості подачі металу при поступовому формуванні зливка чинить позитивний вплив на його структуру. Також підвищується і щільність металу зливка за рахунок покращення підживлення усадки, що сприяє усуненню центральної неоднорідності зливка.

Висновки математичного моделювання підтверджуються й результатами дослідження металу зливків ЕШП, які було одержано із застосуванням струмопідвідних кристалізаторів (Ø110-620 мм) в лабораторних умовах Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України в різний час [18—20].

Зважаючи на вищевикладені результати, було розроблено декілька оригінальних технічних рішень процесу електрошлакового переплавлення, які є доцільними для впровадження у виробництво рейок і повністю відповідають концепції «кругової економіки» [21].

Сьогодні всі інновації проходять процедуру перевірки патентної чистоти для одержання національного пріоритету.

Запропоновану технологічну лінію гібридного процесу БЛ+ЕШП схематично наведено на рисунку 3.2.

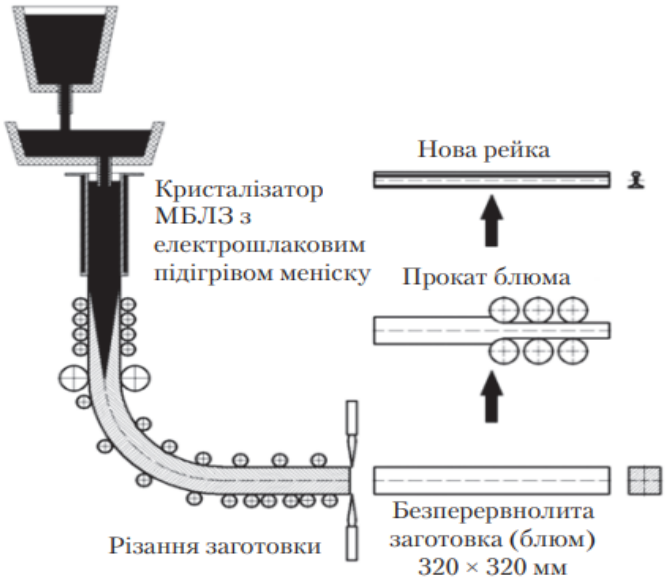


Рисунок3.2 - Технологічна схема гібридного процесу розливання металу на агрегаті БЛ +ЕШП

Технічні рішення, покладені в основу цієї технології, було випробувано на промисловій МБЛЗ на етапі можливості використання шлаку ЕШП для розливання сталі, та в лабораторних умовах на етапі використання електрошлакового нагріву для попередження кристалізації меніску при електрошлаковому процесі з використанням рідкого металу.

Ключовим питанням реалізації комбінованого процесу БЛ+ЕШП може стати логістика процесу розливання «плавка на плавку» на машині безперервного лиття, які зазвичай мають дві-шість ліній витягування (струмки). Розрахунок для діючої МБЛЗ МК «Азовсталь», де середня вага плавок становить 350 т, показує, що для гібридного процесу можна задіяти тільки один струмок, оскільки суттєве зниження продуктивності не дасть змогу повністю розлити плавку протягом визначеного часу.

З огляду на те, що потреба в рейках найвищого ґатунку для України на рік сягає біля 10 % (10 000—15 000 т) від загальної потреби України в магістральних рейках, вищезазначеного процесу може бути достатньо для її задоволення. При переведенні всієї машини на зниження швидкості в 5 разів для забезпечення адекватного часу розливання потрібно або скоротити об’єм металу, що

випускається з дугової сталеплавильної печі (ДСП) в ківш, або здійснювати ділення плавки на дві частини з їх послідовною подачею на установку ківш-піч (УКП) та вакуумування, або ж виконувати додатковий підігрів металу в ковші або промковші при одночасному збільшенні перерізу заготовки, що розливається.

Логістика операцій при впровадженні нової технології розливання БЛ+ЕШП потребуватиме чіткого розрахунку та налагодження, але принципова сумісність поєднання різних швидкостей розливу на багатострумковій МБЛЗ або загальне зниження її про дуктивності є очевидними. Таким чином, гібридний процес БЛ+ЕШП може бути реалізовано як наодному струмку діючої МБЛЗ, так і на всій діючій МБЛЗ і, вочевидь, на новому агрегаті, конструкцію якого може бути виготовлено в декількох варіантах.

Процес підігріву меніску для попередження утворення поверхневих дефектів при зниженій швидкості розливу можна реалізувати у струмопідвідному кристалізаторі (СПК) з постійним перетином (рисунок3.3, а) або ширенням (рисунок3.3, б) при нижньому підводі струму через тягнучий пристрій, або за схемою з замиканням струму між секціями струмопідвідного кристалізатора (рисунок3.3, в).

Останній варіант електричної схеми є найбільш перспективним як за простотою реалізації, так і за мінімальними витратами електроенергії, але може супроводжуватися підвищеною ерозією мідного кристалізатора, якої можна уникнути використанням інших матеріалів для виготовлення верхньої секції, оцінка ефективності використання яких, з точки зору терміну служби та мінімального забруднення металу, що розливають, потребує проведення натурних випробувань на пілотному зразку новоствореного кристалізатора.

Безумовно, для впровадження в промисловість нового процесу БЛ+ЕШП необхідно буде здійснити всі необхідні кваліфікаційні випробування рейок: визначення в’язкості руйнування (статичної та циклічної тріщиностійкості), характеристик втоми, залишкової напруги в підошві рейок тощо, з метою

гарантування їх високих експлуатаційних показників та економічної ефективності.

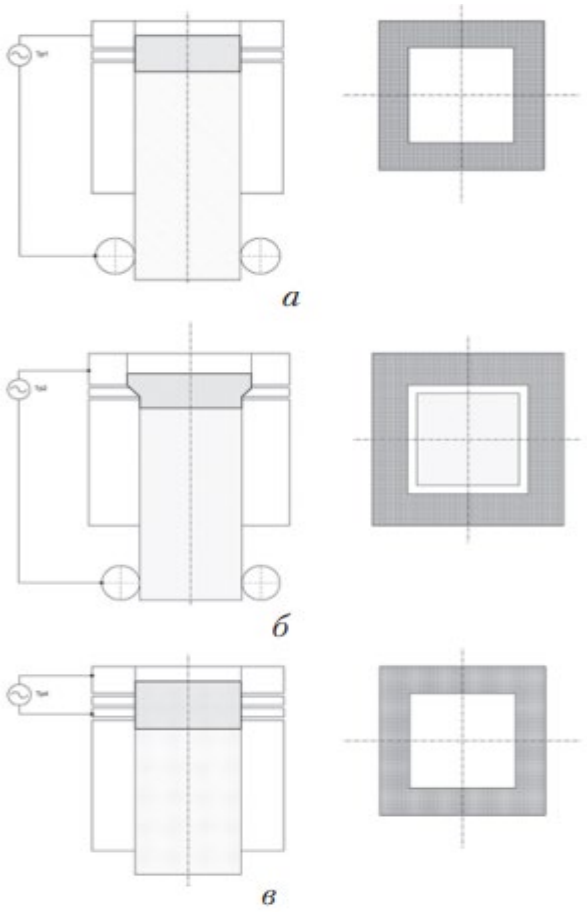


Рисунок3.3 - Варіанти реалізації гібридного процесу БЛ + ЕШП з підключенням струму до тягнучих роликів машини з використання струмопідвідного кристалізатора постійного перетину (а), з ширенням (б), а також зі замиканням струму між секціями струмопідвідного кристалізатора (в).

3.2 Хімічний склад та технологія виробництва рейок

У 1948 р. у складі Дніпропетровського філіалу Інституту чорної металургії була організована термічна лабораторія, яку очолив член-кореспондент АН УРСР К.Ф. Стародубов. Таким чином було покладено початок розробки нового переділу в чорній металургії – термічної обробки прокату в процесі його масового виробництва. Одним з перших співробітників під керівництвом К.Ф. Стародубова був І.Г.Узлов.

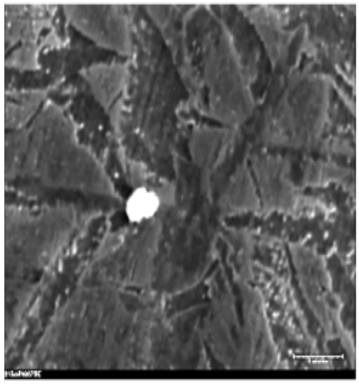
Згодом під його керівництвом виконувались науково-технічні дослідження та технологічні розробки нових процесів термічного зміцнення залізничних коліс, які враховують нові більш високі вимоги до їх експлуатаційних властивостей. З ім’ям І.Г.Узлова пов’язана теоретична розробка та практичне впровадження нової підгалузі металургії – термічної обробки прокату в умовах його масового виробництва [47].

Ще у 60-ті роки минулого сторіччя Інститут чорної металургії був визначений як головна організація з виробництва і якості металопродукції для залізничного транспорту, жорсткість умов експлуатації якого обумовлює необхідність підвищення вимог, що пред'являються споживачами до всіх його елементів, у тому числі і до залізничних осей, коліс і бандажів, елементів кузова вагонів.

3.2.1 Загальна характеристика

За останні роки в роботах, що виконувались відділом проблем деформаційно-термічної обробки конструкційних сталей Інституту (ВКС ІЧМ НАН України), отримали подальший розвиток наукові уявлення про протікання бейнітного перетворення в вуглецевих сталях при безперервному охолодженні.

Встановлено, що утворення бейнітних структур в низьковуглецевих сталях можливе при швидкостях охолодження нижче критичних при наявності додаткових центрів зародження, якими можуть служити карбонітриди титану і нітриди алюмінію (рисунок3.4) [48].



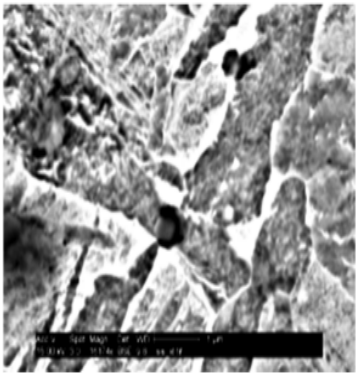


Рисунок 3.4 – Структура голчастого фериту, отримана з мікролегованої низьковуглецевої сталі в процесі бейнітного перетворення з використанням Ti (C, N) і AlN як центрів зародження голчастого фериту

Визначено основні фактори, що впливають на формування заданого структурного стану (рівномірної структури голчастого фериту з одночасним стимулюванням його інтрагранулярного зародження всередині аустенітного зерна при проміжному перетворенні вуглецевих і низьколегованих сталей):

– розмір аустенітного зерна;

– кількість, розподіл, морфологія часток;

– центрів зародження;

– оптимальні швидкості охолодження.

Розроблено технологічний процес термічної обробки низьковуглецевих сталей масового призначення, який забезпечує можливість виробництва високоміцного холодостійкого прокату для кузовів вантажних вагонів нового покоління σт ≥ 500 Н/мм2 , KCU-60 ≥ 29 Дж/см2 та σ-1 ≈ 350 Н/мм2 без використання дорогих легуючих елементів (нікель, хром, ванадій, ніобій та ін.).

Таблиця 3.2 - Механічні властивості сталі Ст3 в різному стані у порівнянні зі сталлю аналогом 10ХСНД

Матеріал	Границя плинності, $\sigma_т$, Н/мм²	Границя міцності, $\sigma_в$, Н/мм²	Відносне подовження, δ_5, %	Ударна в'язкість, KCU, Дж/см²
	не менше			
Ст3 мікролег. термічнозміцнена	660	840	18	35 (при – 60 °С)
Ст3 мікролег. гаряче-катана	355	470	40	90 (при – 70 °С)
Ст3 серійна гаряче-катана	255	380	26	29 (при – 20 °С)
Сталь аналог 10ХСНД	390	530	18	29 (при – 70 °С)

Також у ВКС ІЧМ НАН України отримали розвиток напрями:

– розробка і впровадження нових процесів термічної обробки суцільнокатаних коліс, центрів, бандажів та інших виробів залізничного призначення, що забезпечують підвищення їх службових властивостей і зниження енерговитрат на їх виробництво;

– удосконалення існуючих та розробка нових марок сталей для виробництва суцільнокатаних коліс, центрів і бандажів, що забезпечують високі значення зносостійкості, втомної міцності, холодостійкості і підвищений опір термічному впливу; – дослідження особливостей структуроутворення в процесі кристалізації та деформаційно-термічних обробок вуглецевих, мікро-, низько- і легованих сталей;

– розвиток методу оцінки ступеня деформаційного прооброблення прокату з вуглецевих і низьколегованих сталей за зміною параметрів слідів дендритної структури;

– дослідження впливу структурної спадковості на формування однорідної і дрібнозернистої структури та комплекс механічних властивостей у вуглецевих і легованих сталях;

– проведення досліджень, спрямованих на визначення природи дефектів та причин їх утворення в різних видах металопродукції.

Залізничні колеса безпосередньо сприймають нормальні, динамічні та теплові навантаження при взаємодії з рейкою, умови їх роботи постійно ускладнюються з підвищенням швидкості руху та навантажень на вісь, тому вимоги до них постійно зростають.

Протягом багатьох десятиріч ВКС ІЧМ НАН України займався вирішенням технологічних і технічних завдань зі створення технологій та устаткування для колесо-бандажного виробництва, в тому числі для колесопрокатного цеху Нижньодніпровського трубопрокатного заводу. І до сьогоднішнього дня ВКС ІЧМ НАН України тісно співпрацює з основним вітчизняним виробником металопродукції залізничного призначення – ПАТ «ІНТЕРПАЙП НТЗ» у питаннях науково обґрунтованого вдосконалення технології виробництва для підвищення показників якості.

3.2.2 Стійкість

Одним з основних показників довговічності залізничних коліс є стійкість до утворення дефектів на поверхні кочення. З існуючих типів вищербин в

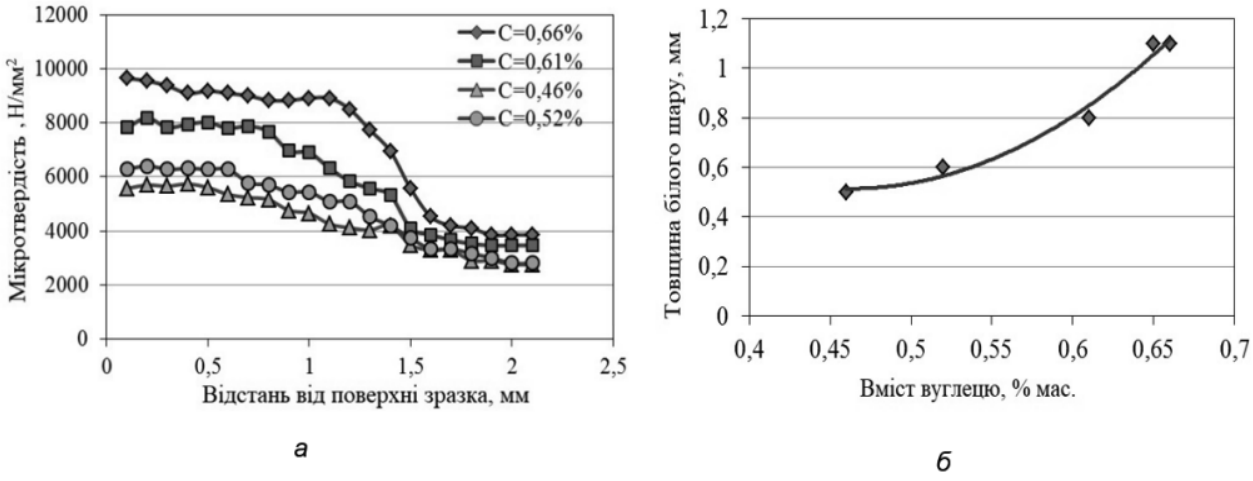
останні десятиріччя найбільш поширеними є дефекти, які утворилися в результаті теплового впливу на поверхню катання колеса при гальмуванні.

На основі результатів фізичного моделювання процесу гальмування колеса встановлено нелінійну залежність глибини мартенситного шару, який утворюється при гальмуванні залізничних коліс і визначає їх стійкість до утворення на поверхні катання дефектів термічного походження, від вмісту в них вуглецю в межах 0,46–0,66 % (рисунок3.5):

$$t = 15{,}32 \cdot (C)2 - 14{,}15 \cdot (C) + 3{,}78,$$

де t – товщина мартенситного шару, мм;

С – вміст вуглецю,%.



а *б*

Рисунок 3.5 - Зміна мікротвердості по перетину зразків ободів залізничних коліс з різним вмістом вуглецю, після гальмування на стенді (а), залежність товщини мартенситного шару від вмісту вуглецю в сталі (б)

Показано, що збільшення вмісту вуглецю призводить до зниження стійкості залізничних коліс до утворення дефектів на поверхні кочення. Аналіз досліджень світових виробників коліс показав, що найбільш перспективним напрямом удосконалення хімічного складу сталей для залізничних коліс є зниження вмісту вуглецю і використання для зміцнення інших елементів. Встановлено, що одним з таких елементів є кремній.

Розроблено нову марку «К» сталі для залізничних коліс з підвищеним до 0,85–1,05 % вмістом кремнію і марганцю до 0,90 %, мікролеговану ванадієм, що

забезпечує твердість ≥ 320 НВ і підвищення на 44 % стійкості до утворення дефектів на поверхні кочення [49].

Крім марки «К» було розроблено сталі залізничного призначення з новими системами легування для різних умов експлуатації:

– сталь для високоміцних залізничних бандажів з вмістом вуглецю до 0,7 %, мікролеговану ванадієм (НВ > 320)[50];

– сталь для залізничних коліс марки D по AAR M107 / M108 з вмістом вуглецю до 0,78 %, легована хромом і нікелем, з мікролегуванням молібденом (320–400 НВ, підвищена зносостійкість);

– сталь для залізничних коліс спеціального призначення марки D + з вмістом вуглецю до 0,55 %, легована хромом, нікелем і кремнієм (висока пластичність і стійкість до ударних навантажень при температурі -40 °С)[51].

В рамках комплексного проекту «Розробка та освоєння технологій виробництва і відновлення залізничних коліс, що забезпечують подовження їх ресурсу в різних умовах експлуатації» цільової програми наукових досліджень НАН України «Надійність і довговічність матеріалів, конструкцій, обладнання та споруд» (Ресурс-2)» ІЧМ НАН України спільно з Інститутом електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України (м. Київ), Фізико-технологічним інститутом металів та сплавів НАН України (м. Київ), Фізико-механічним інститутом ім. Г.В. Карпенка НАН України (м. Львів) проводить дослідження з удосконалення технології виробництва залізничних коліс для підвищення їх строку служби на залізницях України.

В рамках цієї роботи розроблено системи легування з принципово новим способом зміцнення сталі для залізничних коліс – тугоплавкою дисперсною фазою разом з твердорозчинним зміцненням. Встановлено позитивний вплив дослідних хімічних складів на показники в'язкості та пластичності у порівнянні з високоміцною сталлю марки «Т», що нормується ДСТУ ГОСТ 10791-2016. Розроблено режими термічної обробки, що забезпечують високий рівень твердості та пластичності зразків дослідних сталей для залізничних коліс[52]. Для

вуглецевих сталей з вмістом вуглецю 0,45- 0,6 % встановлено оптимальне співвідношення кремнію і марганцю, яке забезпечує отримання однорідної і дрібнозернистої мікроструктури в готових виробах.

Рекомендовано відношення вмісту марганцю до вмісту кремнію Mn%мас. / Si %мас. на рівні 1,5–2,0 рази для формування в мікроструктурі сприятливого розподілу кремнію та марганцю та зниженню різнозернистості (рисунок 3.6).

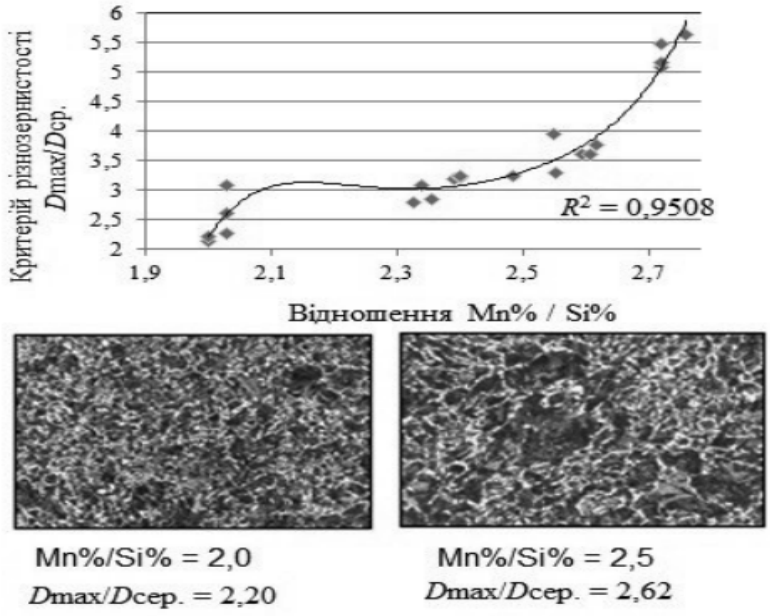


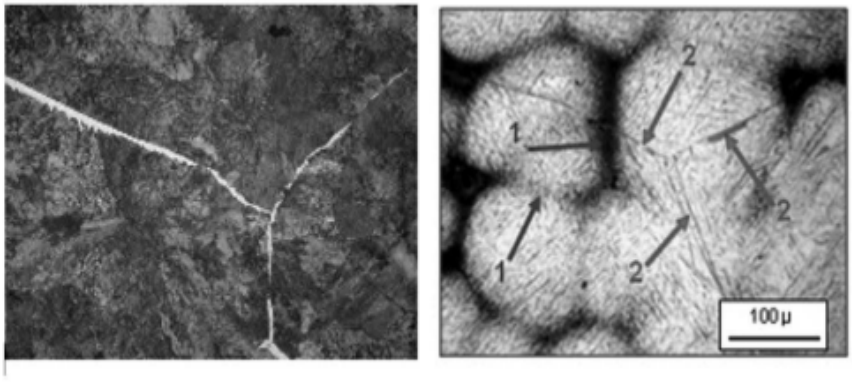
Рисунок 3.6 - Закономірність впливу відношення марганцю й кремнію у вуглецевих сталях з 0,45–0,6 % вуглецю на різнозернистість

3.2.3 Пластична деформація

Окрім хімічного складу важливим складником рівня показників якості та надійності коліс є режими гарячої пластичної деформації заготовки. Особливістю виробництва залізничних коліс є нерівномірна деформація по перетину обода і мала величина деформації внутрішніх областей, що потрапляють в місця відбору зразків для механічних випробувань, структура сталі яких близька до вихідного литого стану [53].Це дуже впливає на механічні властивості ободів залізничних коліс.

Руйнування обода, маючи катастрофічні наслідки, часто пов'язано з низьким рівнем в'язких властивостей сталі, які залежать від характеристик її

мікроструктури, яка визначається технологією виготовлення залізничних коліс. В роботах ВКС ІЧМ НАН України було встановлено закономірності формування первинного зерна аустеніту після кристалізації вуглецевих сталей для залізничних коліс з феритно-перлітною структурою. Показано, що в литій сталі формуються первинні міжкристалітні межі – місця стиків дендритних гілок і, вторинні міжкристалітні межі, які перетинають дендрити в довільних напрямках (рисунок3.7).



а б

Рисунок 3.7 - Мікроструктура (а – травлення ніталем; б – травлення пікратом натрію) литої сталі з 0,52 % С після кристалізації: 1 – первинні межі (міждендритні); 2 – вторинні межі

Походження міжкристалітних меж аустеніту після кристалізації під дією гарячої пластичної деформації і при перекристалізації визначає тип структури, що утворюється при його розпаді [54].Встановлено переважне утворення перліту на первинних міжкристалітних межах аустеніту, а фериту – на вторинних.

На основі цих результатів запропоновано новий режим гарячої пластичної деформації колісної заготовки при виробництві залізничних коліс в умовах колесопрокатного цеху ПАТ «ІНТЕРПАЙП НТЗ», який забезпечує підвищення в'язкості руйнування К1с коліс Ø 957 мм і Ø 1098 мм відповідно на 22 % і 30 % в порівнянні з існуючою технологією виробництва.

3.2.4 Термічна обробка

Заключний етап виробництва, що суттєво впливає на надійність та довговічність залізничних коліс – термічна обробка. В роботах, що виконуються в ІЧМ НАН України, було розглянуто закономірності зміни температури за перетином обода залізничного колеса в процесі його прискореного охолодження в залежності від хімічного складу сталі для залізничних коліс методом кінцевих елементів [55].

Встановлено принципову можливість отримання високого комплексу міцності і пластичних властивостей колісної сталі з формуванням однорідної мікроструктури без утворення мартенситу при термічній обробці в умовах ПАТ «ІНТЕРПАЙП НТЗ». Визначено припустимі інтервали швидкостей охолодження поверхневих і центральних ділянок ободу залізничних коліс при прискореному охолодженні зі сталей різного хімічного складу. Розроблено рекомендації для режимів прискореного охолодження при термічній обробці залізничних коліс різного хімічного складу з урахуванням модернізації устаткування на термоділянці колесопрокатного цеху ПАТ «ІНТЕРПАЙП НТЗ», що дозволять підвищити рівномірність структури за перетином ободу і зменшити глибину утворення голчастих мікроструктур в процесі прискореного охолодження.

З переходом виробництва металопродукції залізничного призначення на використання безперервнолитої заготовки створилась необхідність всебічного дослідження металу після кристалізації та встановлення закономірностей спадкового впливу вихідної структури на кінцевий комплекс властивостей та структурний стан після деформаційної та термічної обробки сталі. Було проведено цикл досліджень, які дозволили розширити уявлення про спадковий зв'язок хімічної мікронеоднорідності з дендритною ліквацією марганцю і кремнію в вуглецевій сталі і її вплив на особливості кінцевої структури елементів залізничних коліс, а також про природу їх утворення і трансформації в процесі деформаційно-термічної обробки[56].

Ще одним видом металопродукції залізничного призначення, підвищенням надійності і довговічності якого присвячені роботи ВКС ІЧМ НАН України є

залізничні осі. Було досліджено особливості дендритної будови вихідної безперервнолитої заготовки Ø 470 мм для виробництва залізничних осей та визначено ступінь деформаційної проробки металу по перерізу осьових заготовок Ø 380 і 220 мм після прокатки на пільгерстанах в умовах ПАТ «ІНТЕРПАЙП НТЗ»; за допомогою методу оцінки деформованого стану металу за зміною щільності «слідів» дендритної структури визначено ступінь деформаційного прооблення металу по перерізу осьових заготовок. За результатами досліджень розроблено рекомендації щодо підвищення втомної міцності залізничних осей виробництва ПАТ «ІНТЕРПАЙП НТЗ».

Досліджено вплив параметрів пластичної деформації на показники якості (макро- і мікроструктуру, механічні властивості) напівфабрикату і готової металопродукції.

Встановлено, що:

– на мінімальний коефіцієнт витяжки, необхідний для стабілізації механічних властивостей по перерізу прокату, основний вплив має початкова макроструктура безперервнолитої заготовки;

– мінімальний коефіцієнт витяжки, необхідний для стабілізації механічних властивостей, збільшується з ростом вмісту вуглецю та легуючих елементів в сталі (в першу чергу, це відноситься до показників пластичності та ударної в'язкості);

– на проробку литої структури впливає розмір безперервнолитої заготовки, причому, через два фактори – стан макроструктури та схему напружено-деформованого стану: чим менше переріз безперервнолитої заготовки (БЛЗ), тим дрібніша і рівномірніша лита структура і більш сприятлива схема напруженодеформованого стану центральної зони заготовки при прокатці.

Отримані результати стали основою при розробці та освоєнні енерго- та ресурсозберігаючої технології, яка виключає операцію кування, нового для ПАТ «ІНТЕРПАЙП НТЗ» виду продукції – важко навантажених залізничних осей.

В останні роки у ВКС ІЧМ НАН України виконуються дослідження, спрямовані на підвищення показників якості залізничних рейок[57]. Всебічно досліджено можливості відомих марок сталей для рейок залізничного призначення при принциповій зміні способу їх термічної обробки (рисунок 3.8).

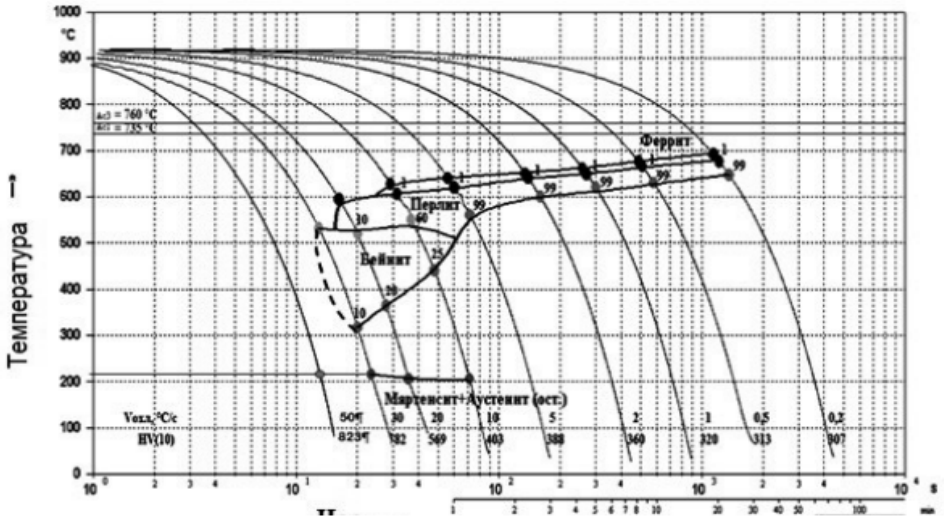


Рисунок 3.8 - Термокінетична діаграма розпаду переохолодженого аустеніту при безперервному охолодженні сталі з 0,80% C; 0,25% Si; 0,97% Mn; 0,055% V

Також проходять дослідження з розробки хімічного складу та режимів термічного зміцнення сталей для забезпечення в рейках значень показників якості на рівні кращих світових аналогів. Крім того, у ВКС ІЧМ НАН України виконуються роботи з дослідження структурного стану, службових і експлуатаційних властивостей різних видів металопрокату (науково-технічний центр Інституту чорної металургії НАН України) за наступними напрямами:

– дослідження закономірностей структуроутворення при термічній і термомеханічній обробці різних видів металопрокату, проведення їх макро- і мікроструктурного аналізу;

– дослідження механічних властивостей різних видів металопрокату при статичному, динамічному і циклічному навантаженні;

– розробка методик досліджень механічних властивостей і проведення натурних випробувань металопрокату і сталевих виробів різного призначення;

– метрологічний контроль випробувальних і вимірювальних засобів відділу і їх перевірка;

– проведення сертифікаційних і арбітражних випробувань за завданнями підприємств і організацій України.

Розробки відділу конструкційних сталей з підвищення надійності та довговічності металопродукції для залізничного транспорту знаходяться на рівні кращих світових аналогів. Завдяки успішному поєднанню високого рівня фундаментальних та прикладних досліджень майже всі вони впроваджуються на металургійних підприємствах. Загальний економічний ефект від впровадження результатів досліджень ВКС тільки в умовах ПАТ «ІНТЕРПАЙП НТЗ» за останні три роки (2016–2018 рр.) склав близько 7 млн грн.

4 ДЕФЕКТИ РЕЙОК ТА ЇХ УТИЛІЗАЦІЯ

4.1 Дефекти рейок

Дефекти рейок класифікуються таким способом:

1) поперечні дефекти, які, в свою чергу, поділяються на поперечні тріщини, складні тріщини і поверхневі тріщини;

2) злами від боксовин;

3) горизонтальне розшарування головки;

4) вертикальне розшарування головки;

5) рейки з усадочні раковини;

6) рейки із збитою головкою;

7) розшарування шийки;

8) злами підошви;

9) свіжі поперечні злами;

10) пошкоджені рейки.

Найбільш небезпечними є поперечні дефекти, так як не являючись помітними зовні, вони можуть служити причиною раптового поперечного зламу рейок.

У даній класифікації всі три поперечних дефекту головки об'єднані в одну групу.Це зроблено тому, що за допомогою вагона-дефектоскопа або ручного дефектоскопа майже неможливо встановити походження цього дефекту до тих пір, поки рейок не буде знятий з колії і ретельно досліджений.

4.1.1 Аналіз проблематики утворення дефектів в рейках залізничної колії

Утворення дефектів в рейках залізничної колії являє собою серйозну проблему, як через погіршення економічних показників, так і через небезпеку створення аварійних ситуацій.

Сьогоденні умови роботи залізничного транспорту характеризуються підвищенням силових впливів на елементи рухомого складу і залізничної колії, що пов’язано із підвищенням швидкостей руху, вантажопідйомності рухомого складу тощо.

Збільшення динамічних силових впливів призводить до прискорення утворення дефектів. Розглядаючи строк служби рейок залізничної колії, слід відмітити, що він може визначатися за двома критеріями: напрацювання рейкою нормативного тоннажу та наявність в рейці дефектів, які потребують негайної заміни.

Як показує досвід експлуатації залізничної колії, більшість рейок не напрацьовують нормативного тоннажу, а виходять з ладу за наявністю в рейці дефектів. Слід відмітити, що заміна рейки в колії пов’язана із значними складностями, оскільки в цьому випадку необхідно на тривалий час перекривати рух поїздів, а це в свою чергу призводить до значних економічних втрат.

Дефект - це пошкодження, що виникло або внаслідок порушення умов експлуатації чи виготовлення рейок, або внаслідок природного процесу втоми матеріалу. Усі дефекти рейок залізничної колії класифікуються в залежності від причин їх появи та зовнішніх ознак. У світі не існує єдиної класифікації дефектів, що значно ускладнює взаємодію між залізницями різних країн в плані статистичної обробки отриманих даних та вироблення єдиної стратегії боротьби з дефектами.

В Україні усі дефекти і пошкодженняу відповідності до [41] закодовані тризначним числом. Структура кодового позначення така:

- перша цифра коду визначає вид дефекту і місце його появи;

- друга цифра визначає різновид дефекту з урахуванням основної причини його зародження і розвитку;
- третя цифра визначає місце розміщення дефекту по довжині рейки.

На Українських залізницях (рис. 4.1) більше 80 % відмов рейок приходиться на дефекти пов'язані із контактно-втомлювальними пошкодженнями та зносом (дефекти I-IV груп)[42]. При цьому, як видно із розподілу, кількість тих чи інших видів дефектів сильно залежить від виробника рейок, що можна пояснити в першу чергу відмінностями у якості виготовленої на підприємствах сталі.

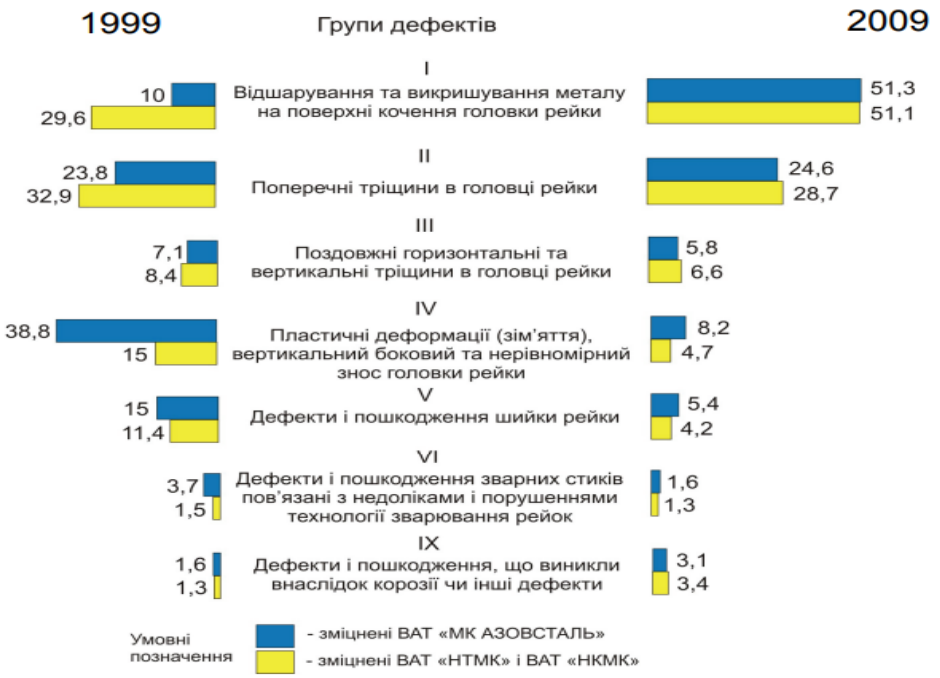


Рисунок 4.1 – Розподіл виходу рейок за дефектами на Українських залізницях у 1999 та 2009 рр.

Аналіз статистики утворення дефектів на Південно-Західній залізниці у 2010-2012 роках показав, що кількість дефектів I-IV груп не зменшується. Але при цьому помітно тенденцію, що у 2012 році збільшилася кількість дефектів

другої групи, що являють собою дуже значну небезпеку, оскільки ці дефекти можна виявити тільки за допомогою спеціального дефектоскопічного обладнання, можливості якого дуже обмежені.

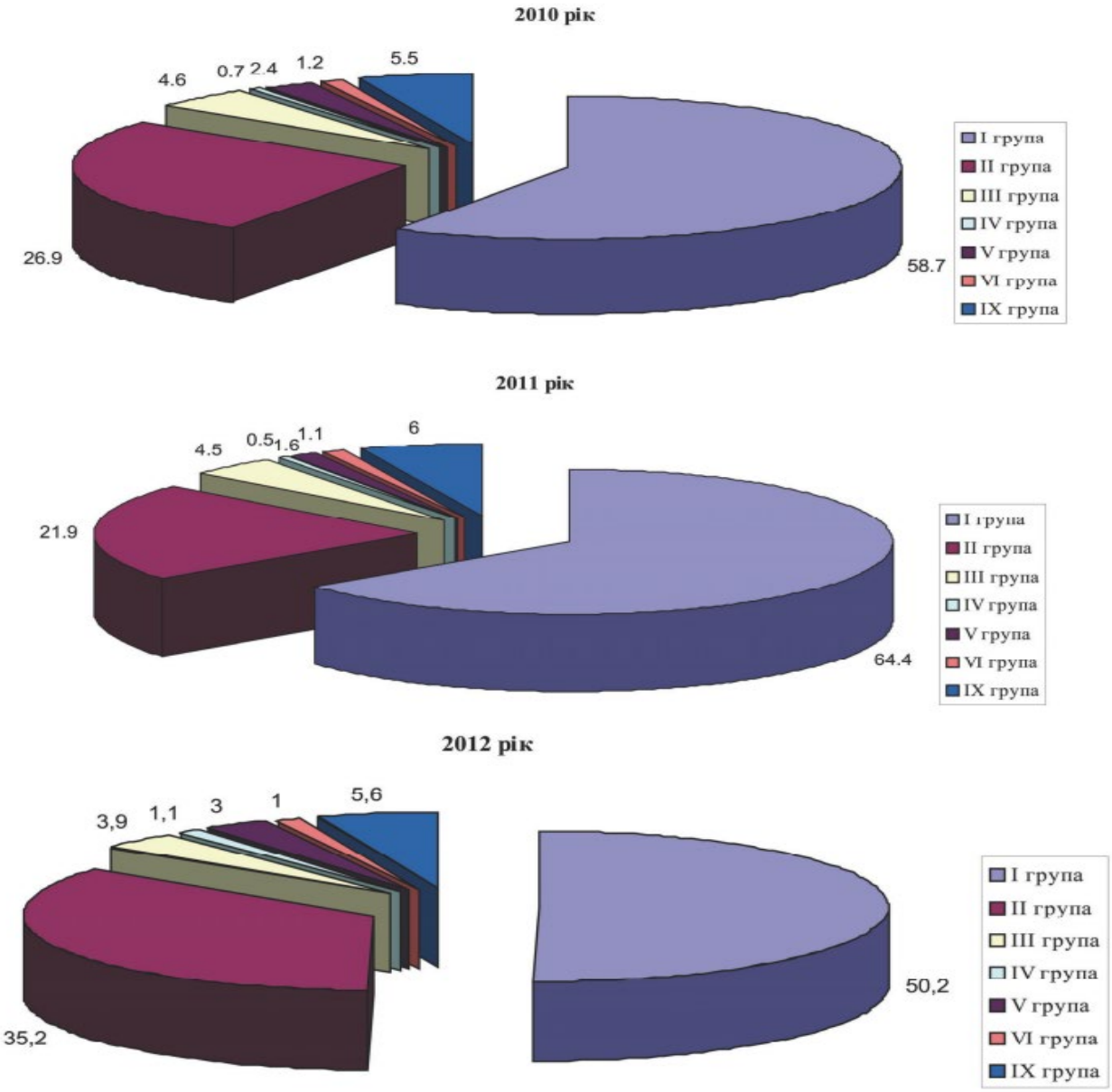


Рисунок 4.2 – Статистика розподілу дефектів за групами, що виявлені на коліях ПЗЗ у 2010-2012 рр.

Аналіз дефектності рейок [43] на інших залізницях світу (таблиця 4.1) показав, що причини та характер пошкоджень рейок на дорогах із переважним пасажирським рухом (SNCF, HSPC, NS, DB, EJR) відрізняється від тих, що утворюються на дорогах із вантажним(Spoornet, HH1, HH2) та змішаним рухом

(Branverket). Слід відмітити, що аналіз представлених даних ускладнює той факт, що класифікація дефектів у різних країнах відбувається за своїми нормативними документами.

Кожна із залізниць має свої власні проблеми, однак є і багато спільних проблем. Так великою проблемою майже для всіх залізниць є дефекти в зварних стиках. Це пов'язано із складністю виявлення поперечних тріщин в зварних стиках.

У трьох залізниць із переважним пасажирським рухом головною проблемою є пошкодження, пов'язані із втомою матеріалу (відшарування та викришування). Це вказує на зростання кількості дефектів контактновтомного пошкодження на залізницях із швидкісним рухом.

Таблиця 4.1 – Основні види дефектів на залізницях світу

Railway	Чотири основних види дефектів залізничних рейок			
	Перший	Другий	Третій	Четвертий
1	2	3	4	5
Railtrack(Велико британія) (99/00)	Викришування на головці рейки 21.7%	Вертикальні/ поперечні тріщини 20.1%	Горизонтальні/ поздовжні тріщини 12.5%	Тріщини в болтових отворах 9.6%
SNCF (Франція) (1999)	Викришування на головці рейки 23.4%	Внутрішні дефекти втоми 1.5%	Відшарування 8.4%	Дефекти в зварних швах 4.7%
HSPC (Північна Америка(1999)	Дефекти в зварних швах 31.5%	Опіки колесами 17.2%	Горизонтальне розшарування головки 13.3%	Тріщини в болтових отворах 11.3%
NS (1997) (Нідерланди)	Дефекти в ізолюючих стиках 59.4%	Поперечні злами 18.0%	Дефекти в зварних швах 15.0%	Відшарування, викришування на робочій грані рейки 5.2%
EJR(Японія)	Відшарування та викришування на головці рейки 63.9%	Тріщини в головці 15.8%	Поперечні злами 6.7%	Тріщини на кінцях рейок 6.1%
DB (1996) (Німеччина)	Дефекти в зварних швах 29%	Злам рейок без видимих дефектів Раптове руйнування 18%	Відмова через втому (викришування на робочій грані рейки та відшарування) 16%	Дефекти в місцях приварювання рейкових з'єднувачів 4%
Banverket* (1998) (Швеція)	Поперечні злами 55.1%	Дефекти в зварних стиках 32.7%	Горизональні дефекти 6.1%	Вертикальне розшарування 2.0%
Spoornet (Recent)(Південна Африка)	Дефекти в зварних швах 59.2%	Грат при зварюванні 17.7%	Горизонтальне розшарування головки/шийки 16.1%	Поперечна тріщина головки рейки 7.1%
HH1 (1999) (Північна Америка)	Вертикальне розшарування головки 34.7%	Дефекти в зварних швах 20.3%	Часткові злами 13.1%	Тріщини в болтових отворах 12.2%
HH2 (1999) (Північна Америка)	Поперечні злами 23.6%	Дефекти в зварних швах 15.5%	Опіки колесами 13.2%	Відшарування 9.6%

На дорогах із переважним вантажним рухом види дефектів на різних залізницях різняться між собою. Як видно спільними є проблеми пов’язані із поперечними зламами рейок.

Отже, як на вітчизняних, так і на інших залізницях світу дефекти контактно-втомлювального походження являють собою велику проблему як через значні економічні втрати, пов’язані із необхідністю виявлення цих дефектів за допомогою спеціального обладнання і, в разі необхідності, заміни гостродефектних рейок, так і через погіршення безпеки руху поїздів.

4.1.2 Аналіз дефектів рейок

Термін служби рейок від їх укладання в дорогу до вилучення є найважливішим показником, що багато в чому визначає фінансові витрати, безпеку руху поїздів, робочий ресурс колії та періодичність його ремонтів, обсяг робіт з поточного утримання, швидкості поїздів, осьові навантаження рухомого складу тощо.

На превеликий жаль, малий термін служби та передчасний вихід із ладу залізничних рейок, найдорожчих та дефіцитних елементів верхньої будови колії, залишається однією з найсерйозніших проблем для залізниць.

Незважаючи на значне зниження повних та часткових відмов рейок у дорозі з 1995 по 2009 р., їх кількість усе ж залишається значною, і питання дослідження експлуатаційної стійкості рейок у рамках проблеми «колесо-рейка» продовжують залишатися актуальними. Були проаналізовані найбільш характерні дефектні та гостродефектні рейки, зняті супутніми на Горьківській залізниці у 2007 р., з розбивкою за пропущеним тоннажем. Встановлено, що до 13,5% дефектних рейок знімалося зі шляху на початковій стадії їх експлуатації при пропущеному тоннажі до 100 млн т·км брутто, а в межах гарантованого терміну служби (до 300 млн. т·км брутто) з експлуатації вилучалася третина всіх дефектних рейок (34,3%).

У зв'язку з різким збільшенням кількості дефектних та гостродефектних рейок на мережі залізниць з 1991 по 1995 р. на перше місце вперше в історії

вітчизняного залізничного транспорту вийшов дефект 44 (бічний знос голівки рейки), а на друге – дефект 41 (знос рейки по поверхні катання).

У більшості публікацій стверджується, що це було пов'язано із наднормативним завуженням ширини рейок до неприпустимих значень 1506мм і менше.

Усунення цієї грубої помилки в 1995 р. призвело до різкого зниження кількості дефектних рейок, і насамперед по дефекту 44. За підсумками 2009 р. дефекти 44 і 41 зайняли відповідно п'яте та десяте місця.

Як випливає з структури дефектів, в даний час найбільша кількість відмов рейок відбувається за дефектами 17, 30, 10, 21. Причому дефект 17 з п'ятого місця в 1991 перемістився на друге в 1996, а з 1999 вийшов і на перше.

Дефект 17 лідирує протягом останніх 11 років, і причини його зародження та розвитку викликають найбільший інтерес.

Дефект 10 перемістився з восьмого місця 1991 р. на друге місце у 2008 та 2009 рр.

Дефекти 21 та 30 протягом ряду років за кількістю займали третє та четверте місця.

Питання природі дефектів, є найважливішим для колійного господарства. Відповідно до Нормативно-технічної документації з дефектів рейок (НТД/ЦП-93) дефект 17 - це тріщини, відшарування і фарбування металу по поверхні катання головки рейки, у тому числі і в рейковій батоги, дефекти 30Г і 30В відповідно горизонтальна і вертикальна тріщини в головці рейки, дефект 10 - тріщини по поверхні катання головки рейки, дефект 21 - поперечні втомні тріщини в головці, дефект 11 - тріщини і фарбування металу по бічній робочій викружці головки рейки.

4.1.3 Поперечні тріщини

У 1911р. було вперше визнано, що злами рейок у багатьох випадках є прямим наслідком внутрішніх поперечних тріщин в головці; тому поперечні тріщини стали вважатися найнебезпечнішим дефектом рейок з мартенівської сталі.

За визначенням AREA справжня поперечна тріщина є весь час зростаючую тріщиною, що зароджується близько ядра всередині головки рейки і розвивається в напрямку поверхні головки перпендикулярно до осі рейки; поверхню тріщини гладка, світла чи темна, форма - кругла або овальна.

Особливостями поперечної тріщини, що відрізняють її від інших дефектів, є наявність усередині головки центру розвитку або ядра (рисунок6.3), оточеного гладкою поверхнею тріщини.

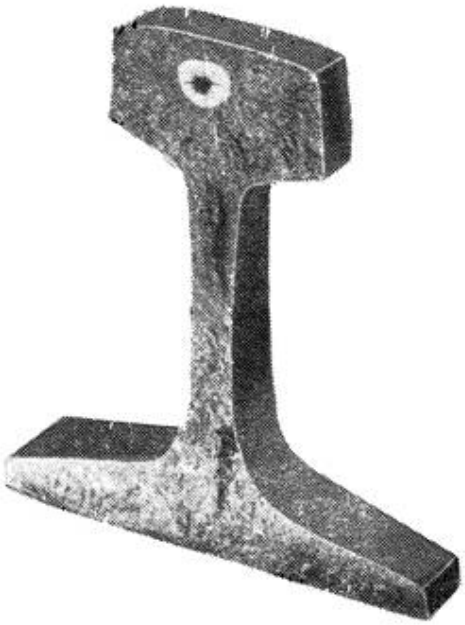


Рисунок 4.3 -Невелика поздовжня тріщина

4.1.4 Фізико-хімічне обгрунтування причин утворення мікротріщин у рейковій сталі

Швидкість руху поїздів відображає рівень технічної оснащеності залізниць й якість організації руху. З підвищенням швидкості руху поїздів скорочуються терміни доставки вантажів, прискорюється проїзд пасажирів, поліпшується використання вагонів і локомотивів, збільшується провізна спроможність ліній.

Однак у процесі експлуатації на поверхні кочення головки рейок та всередині них утворюються дефекти, які завдають економічні збитки залізничному транспорту, погіршуючи експлуатаційні показники роботи. Залізничні рейки є одним із найважливіших елементів верхньої будови колії. Від стану рейок найбільшою мірою залежить і безпека руху поїздів, і продуктивність перевізного процесу. Міцність та експлуатаційна надійність рейок визначають швидкості руху й осьові навантаження рухомого складу.

На сьогодні істотно змінилися режими навантаження й роботи колії і, зокрема, підвищилося осьове навантаження, збільшилися швидкості руху поїздів і вантажонапруженість ліній, що стало причиною підвищення рівня динамічного впливу коліс рухомого складу на колію.

Зміна експлуатаційних умов значно впливає на одиночний вихід з ладу рейок через пошкодження. Аналіз причин одиночної зміни рейок показує, що більшу частину складають дефекти, виникнення яких пояснюється недостатньою контактновтомною міцністю їх матеріалу. Вони виникають і розвиваються всередині головки рейок без будь-яких зовнішніх ознак.

У міру поступового розвитку втомної тріщини поперечний переріз рейки все більше послаблюється, і після досягнення нею критичного розміру для даних умов експлуатації настає остаточне руйнування рейки, що може служити причиною сходу рухомого складу.

Внаслідок особливої значимості рейок залізниці і металургійна промисловість приділяють велику увагу розробленню технологій, в яких дефекти і пошкодження є основою для оцінки всіх проблем, пов'язаних зі станом рейок.

Керівні документи[31] з класифікації дефектів і пошкоджень, прийняті в різних країнах, різні, оскільки засновані на технологіях виготовлення, умовах експлуатації й методах обстеження рейок, характерних для кожної країни.

Оскільки для умов експлуатації високошвидкісних ліній типові висока швидкість руху поїздів, невисокі осьові навантаження від рухомого складу і відносно невеликий вертикальний та поздовжній знос рейок, основними стають дефекти і пошкодження поверхні рейки контактно-втомного походження. Загальноприйнято, що основною причиною виникнення дефектів є силовий вплив у системі «колесо - рейка»[32, 33].

Втомні тріщини[32], що описані є процесом поступового руйнування через створення та розвиток початкової тріщини. Цей процес може призвести до рейкових розривів під впливом навантаження, яке передається на головку рейки через невелику площу поверхні.

Область контактної поверхні «колесо - рейка», як правило, перебуває в діапазоні від 1,5 до 3,0 см 2 , або до 5,0 см 2 у випадку зносу або дефектних коліс та/або рейок. Зростання тріщини залежить від багатьох факторів, і найбільш важливими серед них є: статичне навантаження на колесо, динамічне навантаження колеса, прокатні характеристики транспортного засобу, рейок, рейкова сталь, перепад температур, напруги в рейці, знос головки рейок, геометрія і жорсткість колії. Для кожного типу дефекту швидкість росту тріщини може значно варіюватися.

Пошкодження головок рейок [33] спостерігаються в усьому світі через збільшення експлуатаційних навантажень, вантажонапруженості й швидкості руху поїздів. Вони виникають на поверхні і поширюються вниз під невеликим кутом 10-30° у головці рейки на глибину кількох міліметрів. Після цього тріщина або поширюється назад на поверхню, в результаті чого частина рейки піднімається, залишаючи неглибоку порожнину, або йде вниз у рейку.

У першому випадку, який є найбільш поширеним, порожнина викликає сильні вертикальні ударні навантаження на залізничні транспортні засоби, які

можуть призвести до подальшого пошкодження як рейки, так і рухомого складу. У багатьох джерелах розглядаються й інші фактори, що призводять до появи або розвитку пошкоджень.

Дефекти рейок [34] мають як сталеплавильне (встановлено в 37 % випадків), так і прокатне походження (встановлено в 56 % випадків). Мікродослідження цілого ряду зразків, вирізаних з різних частин рейки (головки, шийки та підошви)показали, що дефекти можуть мати вигляд тонкої або широко розкритої тріщини (типу порожнини), похилої тріщини, іноді тонкої звивистої тріщини.

У більшості випадків тріщини повністю або частково заповнені неметалевими включеннями типу складних оксидів і окалини.

З метою уточнення природи походження дефектів були проведені мікрорентгеноспектральні дослідження за допомогою растрового електронного мікроскопа.

У результаті дослідження встановлено, що неметалеві включення є складними оксидами, в складі яких спостерігаються Si, Al, Mn, Ca, Na, K, Fe; в окремих випадках S і Ti. Оксиди подібного складу характерні для дефектів сталеплавильного походження.

Відомо, що їх наявність може негативно позначатися на механічних властивостях рейок, у тому числі призводити до локального зниження пластичності, що у свою чергу може стати однією з причин, що сприяють утворенню та збільшенню дефектів у процесі прокатки. У таблиці4.2 наведені результати мікрорентгеноспектрального аналізу, з якого видно, що поблизу дефектів спостерігаються скупчення дрібних включень, які, очевидно, є вторинними – виділилися у твердому металі внаслідок дифузії кисню за місцем дефекту, що відбувається в процесі тривалої витримки заготовки при високій температурі.

Таблиця 4.2 – Хімічний склад рйкової сталі поблизу тріщини

Номер зразка	Вміст елемента, %												
	C	O	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe
1	13,94	48,98	0,24	5,32	23,17	0,05	2,39	0,55	0,22			2,83	2,32
2	8,36	52,98	0,28	5,69	26,74	0,03	2,64	0,32	0,11			1,8	1,06
3	14,26	51,85	0,14	5,03	23,74	0,01	2,23	0,28	0,12			1,6	0,69
4	4,02	1,44		0,05	0,23		0,06	0,03		0,19	0,08	1,01	93,07

Крім силового впливу, рейка має й тепловий нагрів від колісної пари, постійна температура якої може бути набагато вищою, ніж у рейки. У цьому випадку колесо забезпечує додаткове підвищення температури на поверхні рейки, що додає термічної напруги і теплового розм'якшення, що може підвищити швидкість зносу рейки.

Встановлено, що тепловий стрес незначно впливає на швидкість зносу рейок, але теплове розм'якшення може підвищити швидкість зносу аж до порядку величини для розглянутих умов. Ще один фактор, що прискорює вихід рейок, – електрокорозія[35].

Про корозійний вплив на залізничні споруди часто забувають, оскільки він не передбачає негайної коригувальної реакції на рух поїздів[36]. Процес корозії є природним процесом, який відбувається повільно і безперервно протягом усього терміну служби всіх матеріалів і який може бути прискорений за рахунок блукаючих струмів від системи електрифікації залізниць.

На процес електрохімічної корозії впливають погана рейкова ізоляція, забруднення баласту вантажами, що перевозяться, накопичення гальмівного пилу поблизу пасажирських платформ. Також пошкоджуються блукаючими струмами конструкції мостів, тунелів, труб, інших підземних споруд. Крім того, блукаючі струми можуть також викликати відмову інших життєво важливих систем, таких як системи сигналізації та зв'язку.

Крім корозії від струмів витоку, виникає й внутрішня корозія, обумовлена мікроструктурою сталі. Рейкова сталь – це кристалічне тіло, яке складається з дрібних кристалів фериту, що утворюють зерна, і перліту (суміші цементиту з

феритом), розташованого, головним чином, на стиках феритних зерен, який утворює «сітку» або вкраплення між зернами (рисунок4.4).

Наявність різних за вмістом вуглецю фаз і, відповідно, зерен і границь лежить в основі формування мікрогальванічних елементів (пар) і, відповідно, електрохімічної корозії сталі. Основна маса зерен, приблизно 80 % від загальної кількості, має розміри в інтервалі від 9 до 19 мкм, середній розмір – 13,5 мкм.

Частинок з розміром менше 5 мкм практично немає. Відповідно, розвиток пластичних деформацій і пошкоджень від корозії може бути описано з точки зору фізико-хімічної механіки дисперсних систем, до яких належить сталь.

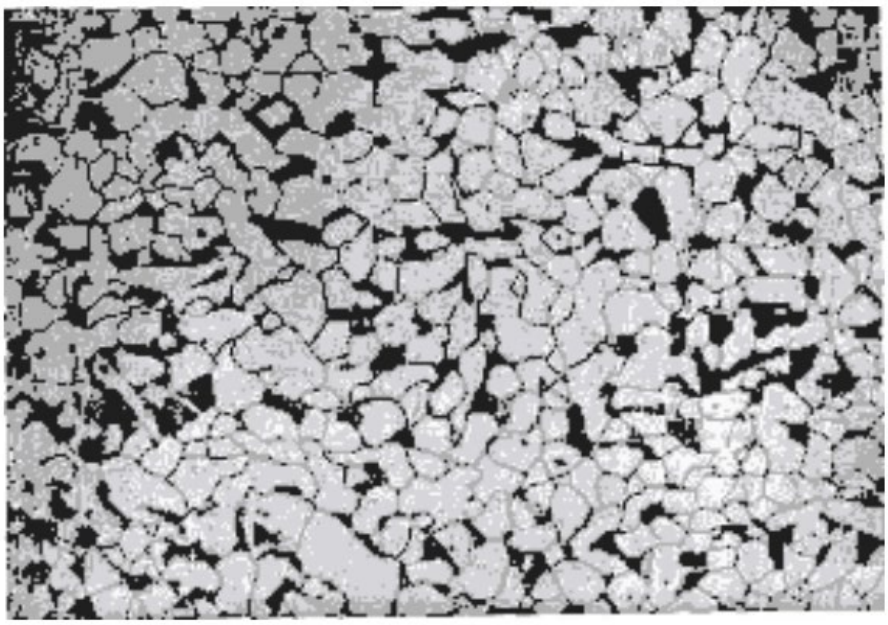


Рисунок4.4 - Мікроструктура сталі

Залежно від впливу на безпеку руху всі дефекти та пошкодження рейок розподіляються на гострodефектні і дефектні. Усі дані про вилучення рейок за дефектами та пошкодженнями по Південній залізниці за останні чотири роки було розділено за цими двома критеріями[38].

Основними дефектами є: поперечні тріщини в головці у вигляді світлих або темних плям і злами через них внаслідок недостатньої контактно-втомної міцності металу 21.2 (29,6 %), горизонтальне розшарування головки через наявність скупчень неметалевих включень 30Г.2 (19,4 %), гартівні тріщини в загартованому шарі металу головки 27.2 (13,8 %), поперечні тріщини в головці

через порушення технології зварювання рейок 26.3 (5,1 %), тріщини в шийці від болтових та інших отворів у рейках 53.1 (4,85 %), поздовжні тріщини і виколи через них у місцях переходу головки в шийку 52.1 (4,66 %).

Специфічний вплив рухомого складу та порушення режиму ведення поїзда, зокрема екстрене гальмування, призводять до зміни структури на поверхні кочення рейок і зміни напруженого стану усієї головки рейки і, як наслідок, може призводити до дефектів 21.2 і 30Г.2 й частково сприяти прискоренню появи дефектів: пробуксовка рейок колесами локомотивів та поперечні тріщини в головці і злами через них внаслідок буксування, юза, проходу коліс із повзунами або вибоїнами.

Традиційно на першому місці є дефекти контактно-втомного походження. Проаналізуємо, з точки зору електроповерхневих властивостей, сили взаємодії між зернами фериту та цементиту та ймовірність виникнення втомної тріщини. Скористаємося для цього уявленнями про електроповерхневі потенціали простих речовин.

Ці уявлення засновані на тому, що електродний потенціал залежить від числа електронів на зовнішніх орбіталях атомів простих речовин – металів і неметалів. Значення електродного потенціалу є кількісною характеристикою окислювально-відновних властивостей вимірюваного електрода по відношенню до окислювально-відновних властивостей водневого електрода.

Проста речовина з негативним стандартним електродним потенціалом має надмірну кількість електронів у поверхневому шарі або дипольний шар (за рахунок тунелювання електронів) ще до занурення електрода в розчин, тобто має абсолютний потенціал поверхні.

Атоми лужних металів мають у зовнішній орбіті 1 електрон, який притягується до одного протона ядра, а кожен із семи електронів галогенів притягується сімома протонами ядра.

У зв'язку з цим лужні метали легше інших речовин віддають електрони і окислюються. Навпаки, галогени легше інших речовин приймають електрони і відновлюються.

Потенціал поверхні, утворений за рахунок окислювальновідновної реакції, названо абсолютним електроповерхневим потенціалом [38] для відображення місця його виникнення (на поверхні речовини), відмінності від поверхневого потенціалу (закріпленого в електрохімії терміном) та його електростатичної природи (утворений зарядами). По суті, цей електроповерхневий потенціал є абсолютною величиною, на відміну від вимірюваного стандартного електродного потенціалу.

Таблиця 4.3 – Електроповерхневі потенціали хімічних елементів рейкової сталі поблизу тріщин

Елемент	C	O	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe
$\Delta\psi^0_{эп}$, В	-1,108	1,44	-3,69	-2,99	-1,23	1,41	-4,25	-4,2	-2,96	-2,52	-2,24	-2,51	-1,77
Сполука	Fe_3C	--	MgO	Al_2O_3	SiO_2	SO_3	K_2O	CaO	TiO_2	VO_2	Cr_2O_3	Mn_2O_3	Fe_2O_3
$\Delta\psi^0_{эп}$, В	1,66	--	1,125	0,33	-0,55	-1,43	2,35	1,38	-0,17	-0,12	0,03	0,14	-0,156

Як бачимо з даних таблиці4.3 оксиди мають більш позитивний електродний потенціал у порівнянні із залізом, через що утворюється гальванічна пара, корозія починає протікати за контактним типом, внаслідок якої залізо кородує з великою швидкістю, що перевищує звичайну корозію в кілька разів. Розглянемо термодинамічний аспект даної проблеми.

Для утворення тріщини необхідно затратити роботу на утворення двох нових поверхонь між зернами структурних елементів сталі. Ця робота визначається як поверхневий натяг на границі двох фаз. Роль вільної поверхневої енергії і поверхневого натягу у формуванні різних властивостей матеріалів виключно висока.

Так, відповідно до теорії Гріфітса[39]реальна міцність p_0 твердого пружнокрихкого тіла залежить від величини поверхневого натягу за формулою:

$$\rho_0 = \left(\frac{\sigma E}{l}\right)^{\frac{1}{2}} \qquad (4.1)$$

де Е – модуль Юнга, МПа;

l – довжина тріщини, м;

σ – поверхнева енергія або поверхневий натяг, Дж/м^2.

За визначенням питома вільна поверхнева енергія дорівнює роботі, яку необхідно витратити для утворення одиниці площі поверхні. При цьому робота витрачається на розрив зв'язків і виведення певного числа молекул на поверхню.

Ця теорія пояснює сутність різних ефектів Ребіндера (зниження міцності) як зниження питомої вільної поверхневої енергії твердих тіл у результаті фізико-хімічного впливу середовища і внаслідок цього зменшення роботи утворення нових поверхонь. У тілах, здатних до пластичної плинності (метали, сплави), розвиток тріщини супроводжується значним пластичним деформуванням.

У цьому випадку зв'язок міцності тіла з поверхневою енергією може бути описано формулою, схожою з рівнянням Гріфітса (4.1), в якому величина σ містить, крім істинної поверхневої енергії, роботу пластичних деформацій на одиницю поверхні тріщини.

Наявність однойменних зарядів на поверхні призводить до їх електростатичного відштовхування уздовж цієї поверхні. Ці сили спрямовані проти сил поверхневого натягу в тангенціальному напрямку і знижують його. У літературі щодо поверхневих явищ подібні сили називаються латеральними (бічними)[10].З огляду на зв'язок поверхневого натягу σ_0 з міцністю твердих тіл за теорією Гріфітса, можна дійти висновку, що поверхневий натяг твердих речовин змінюється подібно до рідких при зміні потенціалу.

Це свідчить про значущість латеральних сил відштовхування $\sigma_{ЛАТ}$ і порівнянності величин цих сил з величинами поверхневого натягу, а отже, силами зв'язку між частинками в кристалічній гратці, які зумовлюють σ_0.

Таким чином, реальна міцність має бути пов'язана з величинами σ_0 і $\sigma_{ЛАТ}$ співвідношенням:

$$\rho_0 = \left(\frac{\sigma_0 - \sigma_{ЛАТ}}{l}\right)^{\frac{1}{2}} (4.2)$$

де $\sigma_{ЛАТ}$ – електроповерхневе латеральне відштовхування (сила, яка припадає на одиницю довжини поверхні), Н/м;

l – довжина можливої тріщини (розмір зерна в мікроструктурі сталі), м.

Формула (4.2) дасть змогу більш ефективно управляти міцнісними характеристиками та іншими властивостями різних матеріалів, а також гетерогенними процесами шляхом впливу на електроповерхневі властивості систем. Існування латеральних сил та їх важлива роль у поверхневих явищах підтверджується численними експериментальними і теоретичними дослідженнями.

Відповідно до рівняння Ліпмана [39], поверхневий натяг σ електрода зменшується при збільшенні або зменшенні потенціалу від потенціалу нульового заряду за формулою:

$$d\sigma = -qd\varphi \qquad (4.3)$$

де q – поверхневий заряд, Кл;

φ – різниця потенціалів, В.

Взаємодії, пов'язані з електрокапілярним ефектом, названо електроповерхневим латеральним відштовхуванням. Ці сили пов'язані з існуванням поверхневого χ-потенціалу та електроповерхневого потенціалу0 $\boldsymbol{\Psi}_{ЕП}$, тобто зумовлені дією пов'язаних і вільних зарядів поверхні. За своєю природою вони можуть бути тільки відштовхувальними.

Електроповерхневе латеральне відштовхування ЕП $\sigma_{ЛАТ}$ на поверхні можна уподібнити електрокапілярному ефекту, що виникає при зміщенні електричного потенціалу ртуті від потенціалу нульового заряду **Ψ**, що викликає зменшення поверхневого натягу dσ у рівнянні Ліпмана (4.3).

Формула для електроповерхневого латерального відштовхування має вигляд:

$$\sigma_{ЛАТ}^{ЕП} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0(\Psi_{ЕП}^0)^2}{2\delta_0^2} \cdot \frac{S}{L} \qquad (4.4)$$

де ε –діелектрична проникність;

ε_0 – електрична стала;

δ_0 – відстань між поверхневими зарядами, м;

S – площа поверхні частинки, м^2;

L – довжина частинки, м.

У такому вигляді величину електроповерхневого латерального відштовхування ЕП $\sigma_{ЛАТ}$ легко визначити за величиною електроповерхневого потенціалу речовин 0 $\boldsymbol{\Psi}_{ЕП}$ і розмірами частинки. Зробимо відповідні розрахунки для сполук з таблиці4.4.

Таблиця 4.4 - Величини електроповерхневого латерального відштовхування хімічних елементів рейкової сталі поблизу тріщини

Спо-лука	Fe_3C	--	MgO	Al_2O_3	SiO_2	SO_3	K_2O	CaO	TiO_2	VO_2	Cr_2O_3	Mn_2O_3	Fe_2O_3
$\Delta\psi_{ЕП}^0$, В	1,66	--	1,125	0,33	-0,55	-1,43	2,35	1,38	-0,17	-0,12	0,03	0,14	-0,156
$\sigma_{ЛАТ}^{ЕП}$, мДж/м^2	2033	--	597	64	267	2283	1198	593	17	11	0,7	15	19

Відомо, що величина поверхневого натягу твердих тіл змінюється в широких межах від 100 до 3000 мДж/м^2[40]. Розрахунок за формулою (4.4) дають дані такого ж порядку, що свідчить про правильність теоретичних уявлень про розвиток тріщин у мікроструктурі сталі. Відповідно, найбільше зниження міцності за формулою (4.2) відбуватиметься на границях неметалевих включень і цементиту, що пояснює створення умов для утворення та розвитку тріщини під час динамічного навантаження на рейку.

Уточнена формула Гріфітса дозволяє дати пояснення появи мікротріщин між зернами фериту і цементиту, що може бути покладено в основу розвитку теорії пластичної плинності сплавів взагалі і рейкової сталі зокрема.

4.2 Ефективна електрошлакова переробка відпрацьованих рейок

Пошуки можливостей виготовлення рейок найвищого ґатунку в Україні призвели до формулювання ще кількох варіантів ефективної промислової реалізації електрошлакової технології:

- Україна має як нагальну необхідність створення, так і реальні можливості для організації власного виробництва сучасних рейок;
- ключовим чинником підвищення якості рейок в сучасному технологічному циклі є впрова д ження процесу безперервного розливу, а ЕШП є дієвим методом обігріву металу в кристалізаторі МБЛЗ, що дозволяє знизити швидкість розливання/витягування зливка й приз водить до зниження центральної неоднорідності БЛЗ;
- існує технічна можливість переплавлення рейок, знятих з колій після закінчення терміну служби;
- для виробництва сучасних рейкових сталей електрошлаковим способом необхідно реалізувати переплавлення в захисній атмосфері електродів з низьким вмістом водню (1 ppm) й кисню (5-10 ppm) і, відповідно, зі збереженням цього рівня в зливках;
- незважаючи на те, що свого часу висока собівартість ЕШП призупинила його застосування при виробництві рейок (порівняльна оцінка 1990-х років за результатами виготовлення дослідно-промислової партії рейок з металу ЕШП, показала, що собівартість виробництва рейок з металу ЕШП і аналогічних за традиційною технологією (у цінах 1990 р.) становила 332-339 руб/т та 160 руб/т відповідно).

Сьогодні, зазагальносвітовим досвідом, при застосуванні електрошлакових технологій можна очікувати збільшення собівартості рейок не більше, ніж на 0,2-0,3 дол. США (6-8 грн.) на 1 кг рейок, що є найбільшим показником навіть при

традиційних швидкостях формування зливка в електрошлаковому переплавленні витратних електродів), що робить дійсним та доцільним впровадження їх для виробництва рейок преміумякості.

4.2.1 Переплавка рейки

Зрозуміло, що використання струмопідвідних кристалізаторів в гібридному процесі і, тим більше, печей ЕШП для переробки відпрацьованих рейок, потребують певних енергозатрат. Попередні розрахунки необхідної потужності, яка визначає витрати енергоносіїв при реалізації рекомендованого в цьому досліджені процесів ЕШП рейок (також і для комбінованого процесу розливання рейкових сталей БЛ+ЕШП) показали, що для кристалізатора квадратного перерізу 320×320 мм вони станов лять не більше 400 кВ · А.

Таким чином, переплавлен ня відпрацьованих рейок на сучасному обладнанні ЕШП, навіть за песимістичним прогнозом, забезпечить зниження їх собівартості, порівняно зі стандартною технологією переплавлення ЕШП, щонайменше на трети ну. Однак, при ви користанні новітніх технологій і обладнання переплавлення та за умови вилучених із колії рейок як витратних елект родів, ситуація буде на користь запропонованих технічних рішень, оскільки зазвичай вартість електроду складає біля половини собівар тості рейки.

В ході роботи розроблено й запропоновано декілька варіантів технологічних схем виробництва рейок преміум якості, які дозволяють організувати процес переплавлення відпрацьованих рейок з одержанням заготовки, розміри яких або відповідають розмірам заготовки МБЛЗ, яку використовують для прокату рейок, або є максимально наближеними до профілю рейки для зменшення витрат на деформування.

Перший варіант організації процесу наведено на рисунку 4.5.

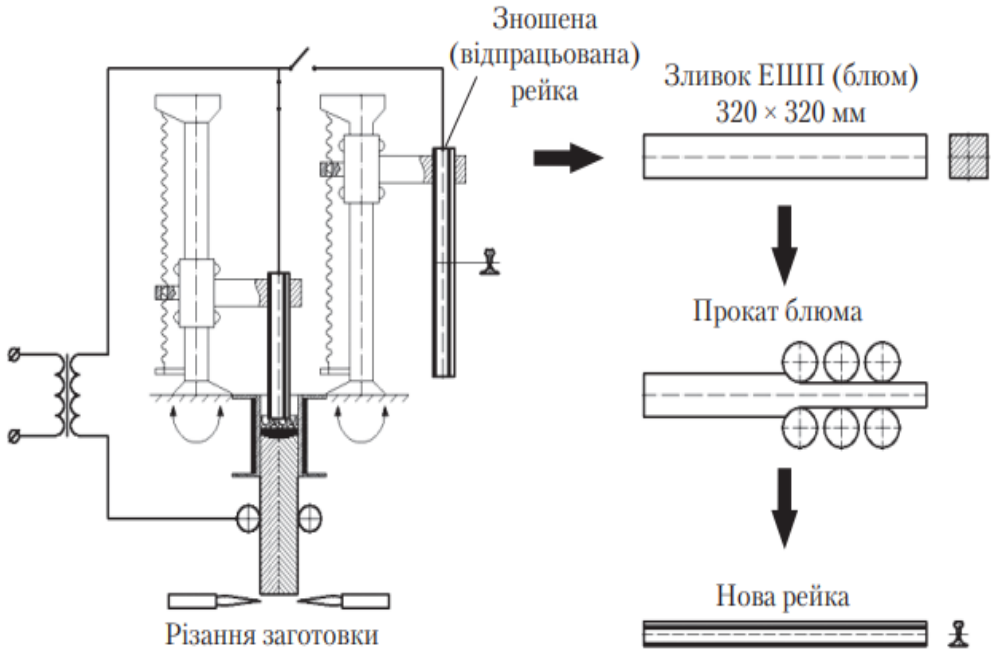


Рисунок 4.5 - Схема ЕШП на сучасній печі ЕШП із захисною атмосферою та зміною старих рейок, як витратних електродів

В Україні наразі відсутні печі ЕШП сучасної конструкції з захисною атмосферою й зміною електродів, що, з одного боку, ускладнює реалізацію запропонованого процесу переплавленняу рейок, а з іншого — дозволяє запропонувати спеціалізовану конструкцію печі ЕШП з додатковими устаткуваннями, що дають змогу перетворити процес переплавлення на напівбезперервний.

Концепція спеціалізованої печі ЕШП для переплавлення відпрацьованих рейок полягає в тому, що в кристалізатор, зокрема й струмопідвідний(рисунок 4.6), безперервно подається відпрацьована рейка через горизонтальний пристрій індукційного нагріву з наступним загином її на 90°.

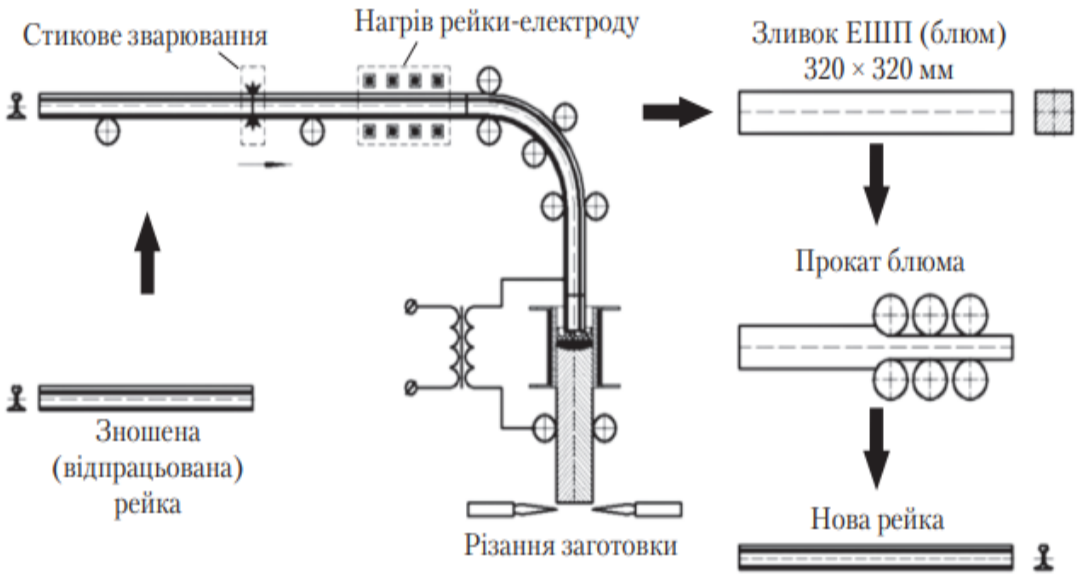


Рисунок 4.6 - Схема напівбезперервного ЕШП відпрацьованих рейок

Переплавлення старих рейок у нові в захисній атмосфері не супроводжується суттєвими втратами легуючих елементів, заліза тощо, а шлакова обробка металу забезпечує чистоту сталі та сприятливу морфологію неметалевих включень.

Орієнтовні показники ваги, довжини й швидкості подачі рейок Р65 (100 м такої рейки має вагу 6,5 т), що будуть передані на переплавлення, а також швидкості витягування зливка ЕШП різного розміру наведено в таблиці4.5.

Таку кількість металу ЕШП вільно може забезпечити 4-6 сучасних спеціалізованих установок електрошлакового переплавлення в захисній атмосфері, а використання щонайменше подвійної швидкості переплавлення без зниження якості металу сприятиме формуванню цінової конкурентоздатності зазначеної продукції.

Такий мікрозавод доцільно б побудувати у складі ПАТ «Укрзалізниця», яке знімає відпрацьовані магістральні рейки із залізничного шляху, або ж на металургійному заводі, що має прокатний стан для виготовлення рейок.

На жаль, на сьогодні обидва прокатних стани, які можуть в Україні виготовляти рейки, є застарілими й потребують суттєвої модернізації або заміни.

Таблиця 4.5 – Орієнтовані розмірні й вагові показники відпрацьованих рейок для процессу ЕШП

Характеристики	Розмір зливка ЕШП, мм × мм		
	320 × 320	400 × 400	400 × 500
Вага одного метра зливка, т	0,8	1,25	1,57
Швидкість ЕШП, кг/год	600	1000	1500
Лінійна швидкість витягування ЕШП, м/год	0,6—0,85	0,75—0,90	0,90—1,05
Лінійна швидкість подачі рейок на переплавленяу, м/год	8—10	13—15	20—25

4.2.2 Виробництво вістрякових рейок

Найефективнішим використанням запропонованого методу може стати виробництво вістрякових рейок із заготовок з максимально наближеним до необхідного розміру перетином.

При переробці старих рейок структура металу ЕШП має високу щільність і якість, що забезпечить виняткові властивості вістрякових рейок за невисокої собівартості останніх при переробці старих рейок.

Використання електрошлакових технологій для виготовлення вістрякових рейок можуть суттєво знизити й витрати на їх механічну обробку та підвищити термін експлуатації відповідальних вузлів рейкового полотна за рахунок високої якості металу ЕШП.

Таким чином, для гібридного процесу БЛ+ЕШП, який дозволяє суттєво знизити швидкість витягування заготовки за рахунок підіг ріву меніску й покращити щільність та однорідність металу заготовки за збереження якості її поверхні, розроблено схеми його практичної реалізації з використанням струмопідвідного кристалізатора.

Металографічними дослідженнями металу ЕШП доведено, що завдяки вищій чистоті границь зерен відсутні зернограничі виділення домішок, що забезпечує підвищений рівень властивостей металу, зокрема пластичності.

Запропоновано нові перспективні схеми виробництва нових рейок методом електрош лакового переплавлення на спеціалізованому мік - розаводі (умовно — мікрозавод у складі «Укрзалізниці»), які, за використання декількох сучасних печей ЕШП спеціальної конструкції, дозволять забезпечити переплавленняу старих рейок з мінімальними затратами легуючих та одержанням заготовок для магістральних та/або вістрякових рейок преміум якості.

4.3 Утилізація рейок

Коли рейки зношуються, з ними роблять так само, як і з довгими сталевими штангами та іншим масовим металевим довгоміром – їх утилізують, пропускаючи через спеціальні установки для холодної ломки.

Особливості ламання рейок:

I. Вихідні заготовки виготовлені з високоміцної рейкової сталі, що містить, як мінімум, 0,65% вуглецю, а також великі добавки марганцю та кремнію – найчастіше доводиться мати справу зі сталями марок 65ГС, 70С2 тощо, що відповідають ГОСТ 2283 та ГОСТ 1050 підвищену пружність та твердість;
II. Утилізовані заготовки мають складну конфігурацію поперечного перерізу, великий вагу та довжину, що перешкоджає комфортному транспортуванню такого лому до місць переробки;
III. Рейкова рубка не вимагає високої якості поверхонь розламу.

Стадії ламання рейок:

1. Рейку, призначену до переплавки, поміщають на опори рейсолома.
2. На ньому роблять надрізи для концентрації напруги, наносять їх на поверхню протилежну робочому інструменту установки холодної ломки.
3. За допомогою гідравлічного приводу підводять робочий пуансон у точку, однаково віддалену від двох сусідніх надрізів.

4. Приводять у дію силовий гідроциліндр і починається процес вдавлювання інструменту в тіло рейки.
5. Після того, як ламання завершується, повзуна з пуансоном повертають у початкове положення.

Обладнання для ломки, яке виготовляється на базі пресів мобільного або стаціонарного типу, виробляють компанії Mistra із Чехії та китайський Huachong.

Для рейоколомів від чеських виробників характерний підвищений комфорт експлуатації, що забезпечується двома окремими приводами, один з яких регулює роботу фрикційної пилки, завдання другого – здійснення натиску, що сколює, на рейку.

Мобільний варіант такого обладнання, що утилізує, представлений навісними системами, що випускаються французькою компанією Ardenn Equipment. Ці системи адаптовані до монтажу на потужну спецтехніку на гусеничному ходу.

Критерії вибору рельсоломних агрегатів:

1. Габарити заготовок та розміри перерізу рейок у плані.
2. Продуктивність установки холодної ламки.
3. Максимальний рівень витрат коштів, виділених на обробку рейок.
4. Тип приводу рельсолома та його сумарна енергоємність.

Якщо утилізація рейок проводитиметься в стаціонарних умовах, умежах високих програм вторинної переробки металобрухту, краще вибирати установки Mistra1000 чи Mistra800. Якщо обсяги рейок, що надходять на ламку, незначні і не стабільні, економічно розумніше буде орієнтуватися на рейоколоми марки Ardenn Equipment. Основною перевагою рейоколомного обладнання китайської торгової марки Huachong є їхня дешевизна.

5ВИЗНАЧЕННЯ МАСИ ЗНОШЕНОГО МЕТАЛУ ЕКСПРЕС ТЕСТОМ

У зв'язку зі швидким розвитком народного господарства з року в рік зростає вантажонапруженість залізниць, підвищуються швидкості руху поїздів, збільшуються осьові навантаження. Зі зростанням вантажонапруженості підвищуються вимоги до рейкового металу. Рейки зазнають швидкого зносу і виходять з ладу. Колеса вагонів також зношуються (рисунок 5.1).

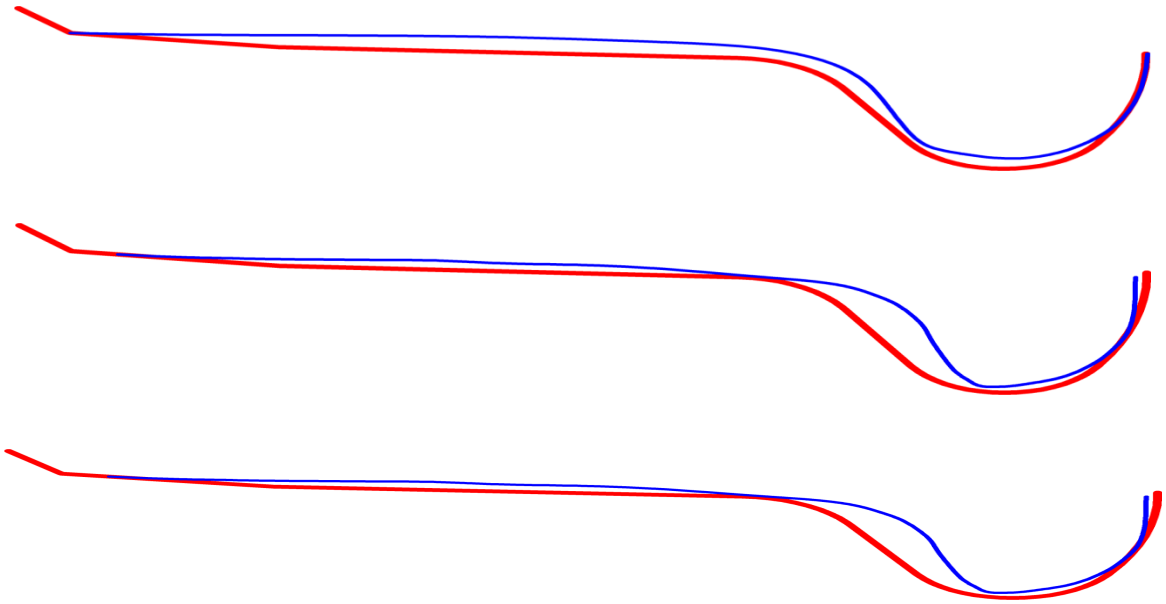


Рисунок5.1 - Приклад поперечного профілю обміряних коліс вантажних вагонів

Для визначення зв'язку між масою рейки та приведеним зносом було проведено аналіз 30 варіантів різних конфігурацій зносу рейки типу Р65 (таблиця 5.1).

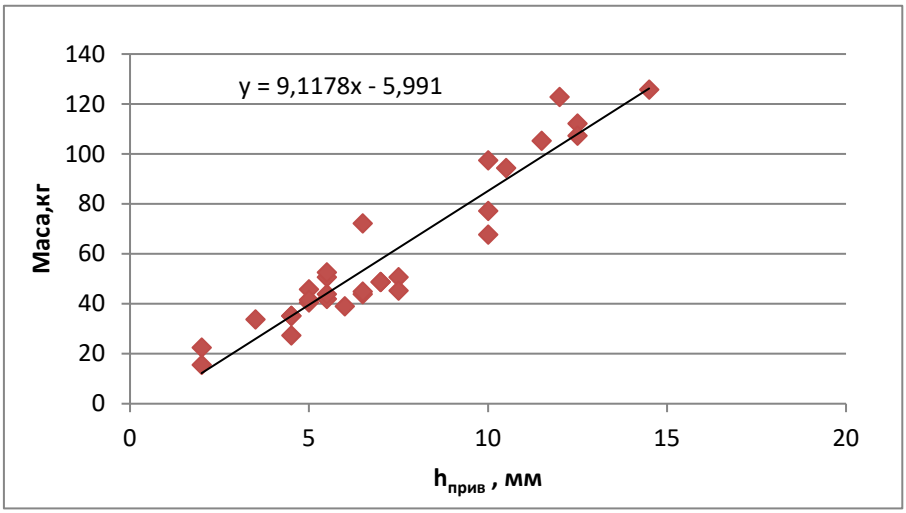
Поперечні профілі представілені в додатку А, на яких показано контур нової рейки та контур зношеної рейки. На міліметровому папері визначалася площа зношего металу. Вертикальний знос визначався посередені рейки. Горизонтальний знос вимірювався на рівні 13мм нижче поверхні кочення. Приведений знос визначався , як сума вертикального і половини горизонтального. Маса зношеного металу визначалася через площу зношеного металу, довжину рейки та густину, яка складае 7,8 г на мм^3 .

Таблиця 5.1 – Маса зношего металу рейки типу Р65 в залежності від зносу

№ п/п	S, мм^2	$A_{верт}$, мм	$B_{гор}$, мм	$h_{прив}$, мм	маса, кг
1	235	2	6	5	45,825
2	396	4	12	10	77,22
3	484	4	13	10,5	94,38
4	260	3	5	5,5	50,7
5	347	5	10	10	67,665
6	208	0	10	5	40,56
7	630	8	8	12	122,85
8	140	1	7	4,5	27,3
9	270	2	7	5,5	52,65
10	540	4	15	11,5	105,3
11	213	2	6	5	41,535
12	370	2	9	6,5	72,15
13	500	4	12	10	97,5
14	173	1	5	3,5	33,735
15	250	2	10	7	48,75
16	180	0	9	4,5	35,1
17	575	8	9	12,5	112,125
18	250	3	8	7	48,75
19	200	3	6	6	39
20	260	3	9	7,5	50,7
21	80	0	4	2	15,6
22	225	3	7	6,5	43,875
23	550	6	13	12,5	107,25
24	115	0	4	2	22,425
25	230	3	7	6,5	44,85
26	232	2	11	7,5	45,24
27	645	9	11	14,5	125,775
28	180	2	5	4,5	35,1
29	215	1	9	5,5	41,925
30	225	2	7	5,5	43,875

Метою даного експерименту було визначити, як зміниться маса зношеного металу рейки залежно від приведеного зносу, тобто визначалася можливість практичного визначення маси зношеного металу рейки за допомгою штанген-циркуля.

Також у ході розрахунків ми отримали діагарму залежності маси зношеного металу від приведеного зносу. За допомогою інтерполяції отримали формулу, за якою можна визначити масу зношеного металу по відомому приведеному зносу.



Таким чином існує практична можливість визначення маси зношеного металу за допомогою штанген-циркуля. При цьому похибка складає 10-15 %.

Даний метод може бути використаний , як експрес метод в польових умовах без вилучення рейки з колії.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

На сьогодняшній день проблема усунення рейкових дефектів, зокрема хвилеподібного зносу, та підвищення якості рейкової сталі залишається актуальною. Однією з основних проблем якості рейок є поява дефектів в осьовій частині заготовки, спричинених ліквацією та усадкою в металі, який твердне, та які суттєво зменшують термін служби рейок.

Зневуглецьований шар спостерігається на всіх рейках як по периметру поперечного перерізу, так і по його довжині. Зневуглецьований шар на поверхні кочення рейки в стані постачання досягає глибини до 0,72 мм, що викликає розвиток напливів деформованого металу.

Забрудненість металу і надмірні скупчення неметалевих вкраплень сприяють розвитку дефектів у вигляді тріщин під напливом тріщини в поздовжньому напрямі, що і призводить до утворення вищербин.

Перспективним рішенням може стати застосування електрошлакових технологій для підвищення якості рейкової сталі.

Застосування гібридної технології виплавки/розливки рейкового металу, що поєднує переваги безперервного лиття та електрошлакового переплавлення, відкриває нові можливості для отримання високоякісного рейкового металу, зокрема й сучасних заевтектоїдних марок.

Запропонована нова методика практичного визначення маси зношеного металу за допомогою штанген-циркуля. Похибка складає 10-15 %.

Даний метод може бути використаний , як експрес метод в польових умовах без вилучення рейки з колії.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. SirongYi. Dynamic Analysis of High-Speed Railway Alignment: Theory and Practice. URL: https://www.sciencedirect.com/science/book/9780128128879

2. Рынок рельсов: российская продукция вытесняет импорт. URL: http://www.indexbox.ru/news/rossijskie-relsyvytesnyayut-import/2016

3. «Укрзализныця» переходит на рельсы высшей категории, которые изготовлены «Азовсталью». URL: http:// mrpl.city/news/view/ukrzaliznytsya-perehodit-na-relsy-vysshej-kategorii-kotorye-izgotovleny-azovstalyu

4. АЗОВСТАЛЬ планирует освоить производство рельсов нового образца. URL: http://https://azovstal.metinvestholding.com/ru/press/news/show/2589

5. Медовар Л.Б., Стовпченко Г.П., Полішко Г.О., Педченко Є.О., Зайцев В.А. Сучасні рейкові сталі і можливості ЕШП (Огляд) Повідомлення 1. Сучасні умови експлуатації рейок і дефекти, що зменшують строк їх служби. Современная электрометаллургия. 2018. № 1. С. 3—7. https://doi.org/10.15407/sem2018.01.01

6. Медовар Л.Б., Стовпченко Г.П., Полішко Г.О., Коломієць Д.О., Педченко Є.О., Зайцев В.А. Сучасні рейкові сталі і можливості ЕШП (Огляд) Повідомлення 2. Вимоги стандартів до хімічного складу сталі для залізних. Современная электрометаллургия. 2018. № 2. С. 28—36. https://doi.org/10.15407/sem2018.02.03

7. ГОСТ Р 55820-2013 Рельсы железнодорожные остряковые. Технические условия.

8. Максимов А.Б., Гофман Л.Д., Кибалов А.А. Система управления качеством производства остряковых рельсов. Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. 2008. № 1. С. 125—128.

9. OrdóñezOlivaresR., GarciaC.I., RoblesHenrndezF.C. Metallurgyofhigh-carbonsteelsforrailroadapplications.J. S. Afr. Inst. Min. Metall., V. 113, no. 2. P. 155—162, Feb. 2013 . Available at: http://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2225-62532013000200016&lng=en&nrm=iso Accessed on: 31 July 2018.

10. Girsch G., Jörg A., Schoech W. Managing rail life to match performance and cut costs. Railway Gazette International, 2010 (August), 45—48. URL: https://www.speno.ch/images/speno-docs/english/RGIN-1008-rail%20steels%20article-hi%20 res.pdf Accessed on: 31 July 2018.

11. Ordonez R., Garcia C.I., Deardo A., Kalay S. New rail steels for the 21st century. Materials Science and Technology Conference and Exhibition 2009, MS and T'09. 3. 1614—1624.

12. Pointner P. High strength rail steels — The importance of material properties in contact mechanics problems. Wear, 2008. V. 265, no. 9—10. P. 1373—1379.

13. Кучук-Яценко С.И., Дидковский А.В., Швец В.И., Руденко П.М., Антипин Е.В. Контактная стыковая сварка высокопрочных рельсов современного производства. Автоматическаясварка. 2016. № 5—6. С. 7—16. https://doi. org/10.15407/as2016.06.01

14. Lee G.-G., Thomas B.G., Kim S.-H., Shin H.-J., Baek S.-K., Choi C.-H., Kim D.-S., Yu S.-J. Microstructure Near Corners of Continuous-Cast Steel Slabs Showing Three-Dimensional Frozen Meniscus at Hooks. Acta Materialia. 2007. V. 55, no. 20. P. 6705—6712.

15. Lee G.-G., Shin H.-J., Thomas B.G., Kim S.-H., Kim D.-S., Yu S.-J. Three-dimensional Microstructure of Frozen Meniscus and Hook in Continuous-cast Ultra-low-carbon Steel Slabs. AISTech 2007, Steelmaking Conference Proc., (May 7—10, 2007, Indianapolis, IN), AIST, Warrendale, PA. Vol. 1.P. 1—10.

16. Медовар Л.Б., Стовпченко А.П., Сибирь А.В., Волченков Е.А., Педченко Е.А., Полишко А.А., Лебедь В.А. Моделирование непрерывной разливки комбинированным процессом МНЛЗ + ЭШП. Современная электроме таллургия. 2017. № 4. С. 3—7. https://doi.org/10.15407/sem2017.04.01

17. JUMBOBLOOMVERTICALCASTER. URL: http://www.timkensteel.com/what-we-make/high-performancesteel/jumbo-bloom-vertical-caster

18. Медовар Л.Б., Цыкуленко А.К., Федоровский Б.Б., Шевченко В.Е., Лацман И.А., Грабовский Ц.Ф., Ус В.И., Петренко В.Л. О формировании поверхности

слитков из никелевых суперсплавов при ЭШП в токопроводящем кристаллизаторе. Проблемы СЭМ. 2000. № 4. С. 7—14.

19. Медовар Л.Б., Саенко В.Я., Стовпченко А.П., Цыкуленко А.К., Шевченко Н.Т., Журавель В.М., Полишко А.А, …, Лебедь В.А. Электрошлаковые технологии получения крупных кузнечных слитков. Современная электроме тал лургия. 2010. № 3. С. 5—10.

20. Полишко А.А. Укрупнение слитков последовательным кольцевым электрошлаковым наплавлением. Современная электрометаллургия. 2012. Т. 2, № 107. С. 14—16.

21. JouniKorhonena, AnteroHonkasalob, JyriSeppäläc. Circular Economy: The Concept and its Limitations. EcologicalEconomics. 2018. № 143. С. 37—46.

22. Методика контроля и оценка качества макроструктуры рельсов, прокатанных из

непрерывнолитых заготовок. Классификатор дефектов. Атлас эталонов (1996 г).

23. Даниленко, Э. И. Расчет характеристик жесткости и упругости рельсовой нити при кручении под воздействием вертикальных и горизонтальных сил [Текст] / Э. И. Даниленко // Наука та прогрес транспорту: Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. – Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2016. – № 5. – С. 79-88.

24. Митрофанов, Б. П. Природа упругого предварительного смешения: теория трения и износ [Текст] / Б. П. Митрофанов. – М., 2008. – С. 8-11.

25. Буше, Н. А. К вопросам о процессах происходящих на поверхности трения металлических материалов [Текст] / Н. А. Буше // О природе трения твердых тел. – Минск: Наука и техника, 2006. – С. 75-77.

26. Костин, В. Н. О некоторых закономерностях необратимого изменения намагниченности поликристаллических ферромагнетиков [Текст] / В. Н. Костин // Дефектоскопия. – 2004. – №1. – С. 29-38.

27. Chen, C. Magnetism and metallurgy of soft magnetic materials [Text] / Chin-wen Chen // Courier Dover Publications. – 2010. – 571 p.

28. Visintin, A. Models of Hysteresis [Text] / A. Visintin. – Danvers: CRC Press; 2010. – 221 p.

29. Bulatov, V. V. Computer simulation of dislocations [Text] / V. V. Bulatov, Wei Cai. – Oxford: Oxford University Press, 2006. – 284 p.

30. Gdouts, E. Fracture of nano and engineering materials and structures [Text] / E. Gdouts. – Berkeley: Springer, 2006. – 141 p.

31. Рельсовая сталь для высокоскоростных линий [Текст] // Железные дороги мира. – 2006. – № 11. – С. 71-77.

32. Popovic, Z. The Importance of Rail Inspections in the Urban Area -Aspect of Head Checking Rail Defects [Internet] / Z. Popovic, L. Lazarevic, L. Brajovic, M. Vilotijevic // International Scientific Conference Urban Civil Engineering and Municipal Facilities. – Procedia Engineering, 2015. – Vol. 117. – P. 596-608. Available from: doi: 10.1016/j.proeng.2015.08.220

33. Peng, D. NDI of Rail Squats and Estimating Defect Size and Location Using Lock-In Thermography. ENG [Internet] / D. Peng, R. Jones // Scientific Research Publishing. – 2013. – Vol. 05. – № 1. – P. 29-38. Available from: http://dx.doi.org/10.4236/eng.2013.51005

34. Троцан, А. И. Исследование причин образования поверхностных дефектов рельсов [Текст] / А.И. Троцан, В.В. Каверинский, А.О. Носоченко, И.М. Кошулэ // Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: Технічнінауки. – Маріуполь, 2012. – Вип. 25. – С. 106-114.

35. Asih, A.M.S. Modelling the Effect of Steady State Wheel Temperature on Rail Wear [Internet]/ A.M.S. Asih, K. Ding, A. Kapoor // Tribology Letters. – 2013. – Vol. 49. – Is. 1. – P. 239-249. Available from: http://link.springer.com/article/10.1007/s11249-012-0061-2.

36. Recommended Maintenance Practices for Stray Current Corrosion on DC Electrified Systems / K. Zan, V. Mawley, M. Ramos, S. Singh // 2014 Joint Rail Conference [Internet]. ASME International; 2014, Apr 2. Available from: http://dx.doi.org/10.1115/jrc2014-3712.

37. Звіт про науково-дослідну роботу «Розробка технологічних вказівок на використання старопридатних рейок довжиною 12,5 та 25 метрів в коліях КП «Харківський метрополітен»» [Текст] // В.Г. Вітольберг, О.М. Даренський, Д.О. Потапов [та ін.]. – Харків: УкрДАЗТ, 2014. – 62 с.

38. Основы теории твердения, прочности, разрушения и долговечности портландцемента, бетона и конструкций из них [Текст]: монография; в 3-х т. Т.1. Коллоидная химия и физико-химическая механика цементных бетонов / А.Н. Плугин, А.А. Плугин, Л.В.Трикоз [и др.]; под ред.А.Н. Плугина. – К.: Наук.думка, 2011. – 331 с.

39. Щукин, В. Д. Коллоидная химия [Текст] / В.Д. Щукин, А.В. Перцов, Б.А. Амелина. – М.: Изд-во МГУ, 1982. – 352 с.

40. Воюцкий, С. С. Курс коллоидной химии [Текст] / С.С. Воюцкий. – М.: Химия, 1976. – 511 с.

41. Каталог дефектів і пошкоджень рейок

42. Рудюк А.С. Дефектность рельсов на дорогах Украины / Рудюк А.С., Азаркевич А.А., Восковец Ю.А. и др. // Путь и путевое хозяйство. – 2011. – № 7. – С. 28-32.

43. Sawley K. Rail failure assessment for the office of the rail regulator.An assessment of Railtrack’s methods for managing broken and defective rails.P-00-070./ Sawley K., Reiff R. – 2000.

44.Крутиков А.М. Ресурс и срок службы реальсов Р65 МК «Азовсталь». О величине ресурсов, пределов выносливости и интенсивности усталостных отказов рельса // Залізничний транспорт України. – 2008. - №2. – С. 50-54.

45. Подольский, Р. В., Дейнеко, Л. Н. (2019). Определение путей повышения эксплуатационной стойкости железнодорожной колеи. Всеукраїнська науково-технічна конференція студентів і молодих учених «Молода академія-2019». Дніпро: НМетАУ, 82.

46. Корнева Л. В. (2007). Разработка химического состава и технологии термической обработки железнодорожных рельсов из стали бейнитного класса :

автореф. дис. на здобуття наук.ступеня канд. техн. наук : спец. 05 16 01 "Металловедение и термическая обработка" Новокузнецк,. 23 с.

47. Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины / Под ред. В.И. Большакова. Днепропетровск: АРТПРЕСС, 2007. 448 с.

48. Большаков В.И., Узлов О.В., Пучиков А.В. Особенности получения структуры игольчатого феррита в низколегированных конструкционных сталях. Металлургическаяигорноруднаяпромышленность. 2005. № 1. С. 63–65.

49. Babachenko A.I., Togobitskaya D.N., Kozachyok A.S., Kononenko A.A., Knysh A.V., Snigur I.R. Optimization of chemical composition of steel for railroad wheels providing stabilization of mechanical and increase of operational properties. MetallurgicalandMiningIndustry. 2017. № 3. P. 32–39.

50. Узлов И.Г., Узлов К.И., Бабаченко А.И., Хулин А.Н., Кононенко А.А. Опытно-промышленная реализация технологии производства высокопрочных локомотивных бандажей повышенной износостойкости. Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии: Сб. науч. тр. Дніпропетровськ.: ІЧМ НАН України, 2009. Вип. 19. С. 255–264.

51. Бабаченко А.И., Кононенко А.А., Кныш А.В., Дементьева Ж.А., Шпак Е.А., Клиновая О.Ф. Влияние температуры испытаний на механические свойства стали для железнодорожных колес с новой системой легирования. Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. науч. трудов. Дн-ск: ГВУЗ «ПГАСА», 2016. Вып. 78. С. 102–108.

52. Бабаченко А.И., Кононенко А.А., Филиппов А.А. Разработка химического состава стали для железнодорожных колес, обеспечивающего повышение их ресурса в различных условиях эксплуатации. Материалы 78 Международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта» (17–18 мая 2018, г. Днепр). Днепр, 2018. С. 284–286.

53. Babachenko A.I., Demina K.G., Kononenko G.A., Khulin A.N., Golovko O.N., Ashkelianets A.V. The influence of initial blank parameters on railway wheels

manufacture with hot plastic deformation process. Metallurgical and Mining Industry. Ukraine. 2017. № 6. P. 25–33.

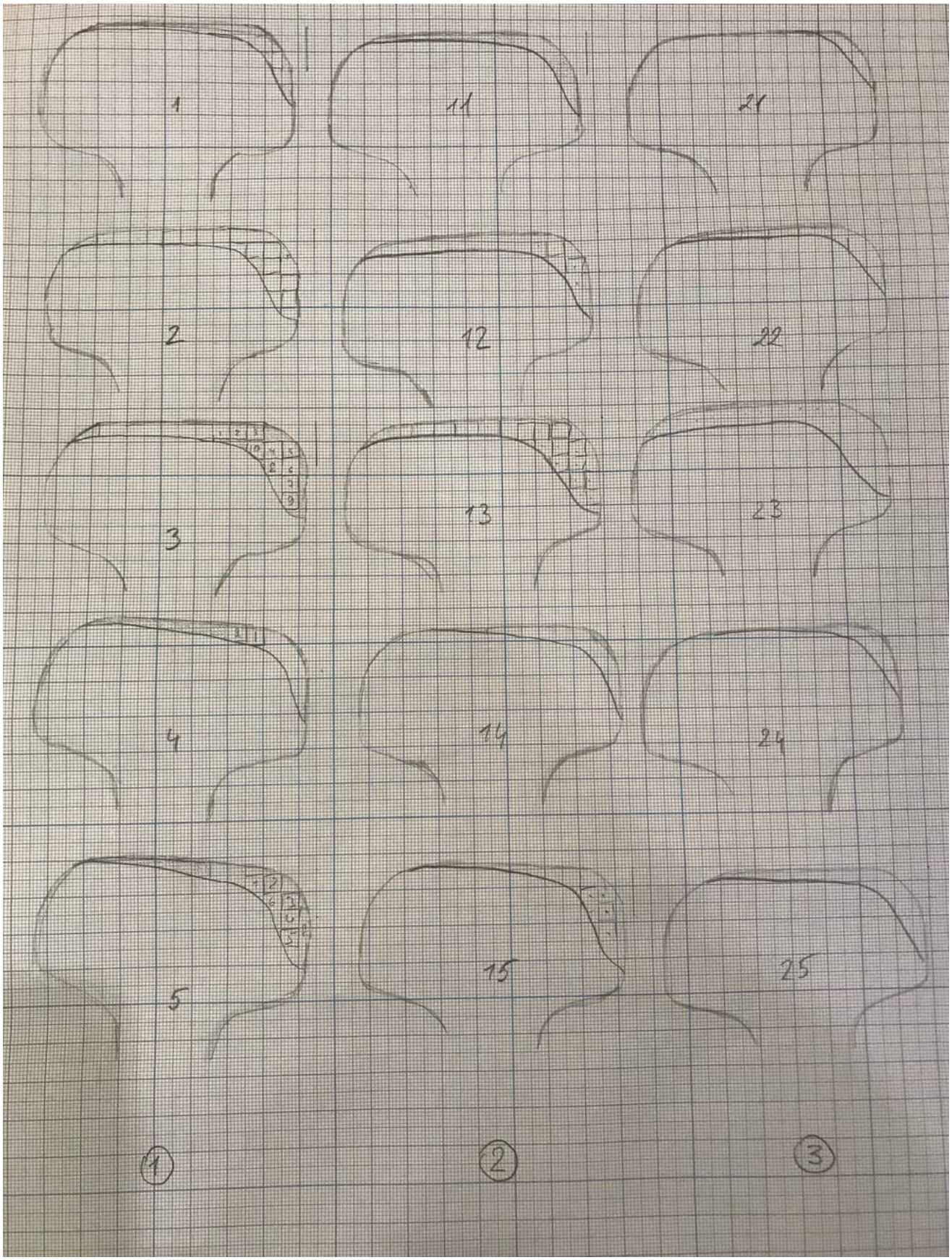
54. БорисенкоА.Ю., КононенкоА.А., БабаченкоА.И., НауменкоЛ.Д. Микроструктурныеисследованияформированияпервичногозернааустенитапослекристаллизацииуглеродистыхсталейс 0,5–0,7 % С. ДоповідіНАНУкраїни. 2010. № 9. С. 70–77.

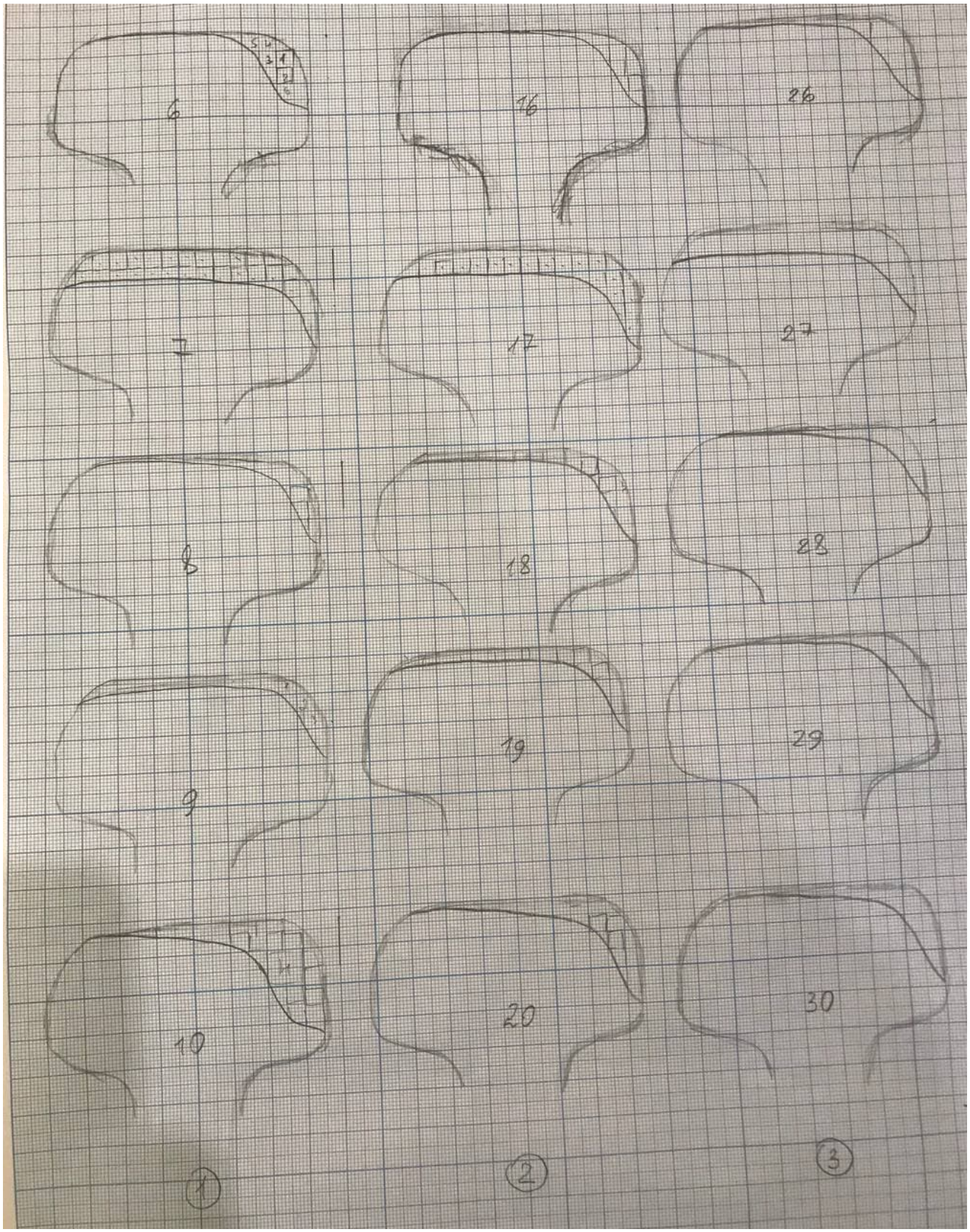
55. Бабаченко О.І., Кононенко Г.А., Хулін А.М. Моделювання методом кінцевих елементів зміни температури за перетином обода в процесі термічної обробки залізничних коліс зі сталей різного хімічного складу. Металознавство та термічна обробка металів. 2018. № 1. 2018. С. 10–17.

56. Бабаченко О.І., Дьоміна К.Г., Книш А.В. та ін. Вплив режиму охолодження та хімічного складу на формування дендритної структури злитка та безперервнолитих заготовок. Металознавство та обробка металів. 2015. № 2. С. 16–24.

57. Бабаченко О.І., Кононенко Г.А., Філоненко Н.Ю., Хулін А.М. Розробка математичної моделі розрахунку теплового поля за перетином залізничної рейки при термічній обробці. Сборник научных трудов «Строительство, материаловедение, машиностроение». 2018. № 104. С. 31–35

ДОДАТОК А


1
11
21
2
12
22
3
13
23
4
14
24
5
15
25
1
2
3


6
16
26
7
17
27
8
18
28
9
19
29
10
20
30
1
2
3