

УДК 669.14.018.294:669.017 DOI 10.52150/2522-9117-2021-35-310-322

О. І. Бабаченко, д.т.н., с.н.с., ORCID 0000-0003-4710-0343**Г. А. Кононенко**, д.т.н., с.д., ORCID 0000-0001-7446-4105**Р.В. Подольський**, м.н.с., аспірант, ORCID 0000-0002-0288-0641**О. А. Шпак**, м.н.с, ORCID 0000-0001-7446-4X05**О. А. Сафронова**, м.н.с., ORCID 0000-0002-4032-4275*Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАН України***В. В. Марцинішин**, студент ORCID 0000-0001-7446-41X5*Український державний університет науки та технологій*

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ СТРУКТУРИ ЗАЛІЗНИЧНОГО КОЛЕСА З ЕКСПЛУАТАЦІЙНИМИ ДЕФЕКТАМИ

Анотація. Метою роботи є дослідження макроструктури і мікроструктури, механічних властивостей, хімічного складу залізничної продукції та встановлення ймовірної причини виходу з експлуатації. У випадках передчасного виходу з експлуатації металопродукції відповідального призначення можуть проводитись експертні дослідження. Призначенням експертних досліджень є встановлення показників якості металопродукції та їх відповідності до вимог нормативно-технічної документації, виявлення характеру, природи та причин утворення дефектів, руйнування металопродукції і відмов виробів. В роботі застосовували методи неруйнівного контролю, металографічний аналіз, визначення механічних властивостей, хімічний аналіз. Матеріалом слугувало залізничне колесо виготовлене відповідно до EN 13262:2004+ A2: 2011 в умовах ПАТ «ІНТЕРПАЙП НТЗ», що було знято з експлуатації через утворення дефектів на поверхні кочення. На поверхні обточеної частини колеса № 140 виявлені дефекти у вигляді залишкових тріщин у кількості 4 штук від 6 до 28 мм. Вміст хімічних елементів та механічні властивості відповідають вимогам стандарту EN 13262:2004 + A2:2011 для сталі марки ER 8. Аналіз макроструктури досліджуваних елементів (ободу і диску) колеса показав відсутність дефектів металургійного походження: флокенів, розшарувань, загорнених корок та корок, що потонули, неметалевих включень, залишків усадних раковин та інших порушень цілісності металу. Макроструктура темплетів елементів досліджуваного колеса має щільну і однорідну будову. Мікроструктура у зразках ободу колеса № 140 поблизу дефектів на поверхні кочення характеризується наявністю тріщин, ділянок «білого шару». Аналіз траєкторії розвитку тріщин, явно виражена текстурованість (деформація) структури металу в осередку руйнування в напрямку дії тангенціальних напружень свідчать про втомну природу утворення тріщин на поверхні кочення.

Ключові слова: залізничне колесо, механічні властивості, мікроструктура, неметалеві включення, неруйнівний контроль.

Посилання для цитування: *Бабаченко О. І., Кононенко Г. А., Подольський Р. В., Шпак О. А., Сафронова О. А., Марцінішин В. В.* Дослідження особливостей структури залізничного колеса з експлуатаційними дефектами. *Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії*. 2021. Вип. 35. С. 310-322. (In Ukrainian). DOI 10.52150/2522-9117-2021-35-310-322

Стан питання. На території України порядок та строки проведення експертних досліджень усіх видів металопродукції з чорних металів та сплавів у процесі постачання, на стадії перероблення у споживача, у готових виробках, зокрема в процесі експлуатації та після неї регламентуються ДСТУ 2538-94 «Металопродукція. Експертне дослідження арбітражних проб. Загальні вимоги» [1]. Призначенням експертних досліджень є встановлення показників якості металопродукції та їх відповідності до вимог нормативно-технічної документації, виявлення характеру, природи та причин утворення дефектів, руйнування металопродукції і відмов виробів.

Експертні дослідження виконують на зразках (пробах), відібраних від забракованої або зруйнованої металопродукції відповідно до листа-замовлення зацікавлених підприємств та організацій (замовників), а також за поданням арбітражних та інших правоохоронних органів. Вони виконуються галузевими науково-дослідними інститутами, головними у виробництві або експлуатації цього виду металопродукції, або, за погодженням сторін, іншими компетентними організаціями.

У зв'язку з отриманою ПАТ «ІНТЕРПАЙП НТЗ» рекламацією від компанії «МЕХІМРЕХ» (Румунія) через утворення дефектів на поверхні кочення залізничних коліс, виготовлених відповідно до вимог стандарту EN 13262: 2004 + A2: 2011 року «Железнодорожный транспорт. Колёсные пары и тележки. Колёса. Требования к продукции» та поставлених згідно «Технической спецификации № 97 – 18 – 2017 на поставку механически обработанных колёс. Изменение 3», для визначення показників якості залізничного колеса № 140 плавки № 185984, оцінки їх відповідності вимогам нормативно-технічної документації та встановлення ймовірної причини утворення дефектів в Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАН України були передані фрагменти елементів зазначеного колеса для проведення детальних досліджень макро- і мікроструктури, механічних властивостей, хімічного складу сталі та геометричних параметрів колеса.

Мета роботи: дослідження макроструктури і мікроструктури, механічних властивостей, хімічного складу залізничної продукції та встановлення ймовірної причини виходу з експлуатації.

Матеріали та методики: методи неруйнівного контролю, металографічний аналіз, визначення механічних властивостей, хімічний аналіз.

В роботі виконано комплексний аналіз характеристик макро-, мікроструктури і механічних властивостей зразків проточеного залізничного колеса \varnothing 1250 мм з дефектами на поверхні кочення. Залізничне колесо № 140 (плавка № 185984) було виготовлено відповідно до вимог стандарту EN 13262: 2004 + A2: 2011 року «Железнодорожный транспорт. Колёсные пары и тележки. Колёса. Требования к продукции» в умовах ПАТ «ІНТЕРПАЙП НТЗ». Матеріалом для детальних досліджень мікроструктури служили зразки, вирізані з темплетів ободів досліджуваних коліс за місцем утворення дефектів на поверхні кочення і вдалині від них. Схема вирізки зразків показана на рис. 1. Забір геометричних параметрів досліджуваного фрагменту колеса № 140 виконували штангенциркулем ШЦ-ІІ-250-0,1 № В916985.

Згідно протоколу комісійного огляду колеса в присутності представників ПАТ «Інтерпайп НТЗ», за інформацією компанії «МЕХІМПРЕХ», на колесі був виявлений дефект на крузі кочення у вигляді глибокої вищербини на повзуні глибиною 7 мм і площею біля 200 мм². Колесо було обточене на глибину 15 мм на товщину ободу. Після проточування на колесі залишились залишкові поперечні тріщини довжиною від 6 до 28 мм в кількості 10 шт.

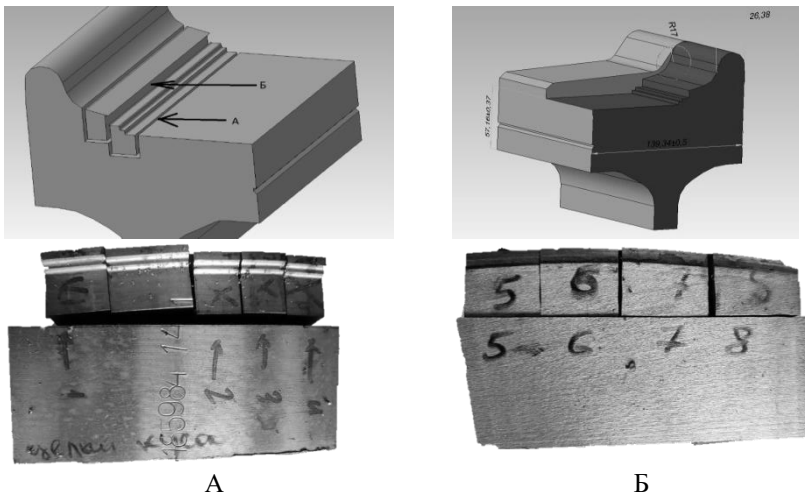


Рисунок 1 – Схема вирізки зразків з темплетів ободу досліджуваного колеса № 140 для металографічних досліджень природи дефектів.

Проведено ультразвуковий контроль у двох напрямках: з зовнішньої і внутрішньої поверхні обода (рис. 2). Сигналів бракувального рівня не виявлено. На поверхні колеса № 140 виявлена зона сітки утомних тріщин (рис. 2 а, в) шириною 40 - 45 мм на відстані 100 мм від зовнішньої поверхні обода колеса в перехідній зоні з ободу до гребня колеса). На поверхні обточеної частини колеса № 140 виявлені дефекти у вигляді залишкових тріщин у кількості 4 штук від 6 до 28 мм. Хімічний склад досліджуваного колеса наведено в таблиці 1. Вміст хімічних елементів в усіх колесах досліджуваної плавки № 185984 відповідає вимогам стандарту EN 13262:2004 + A2:2011 для сталі марки ER 8. Результати механічних випробувань зразків обода і диску наведені в таблицях 2-4.

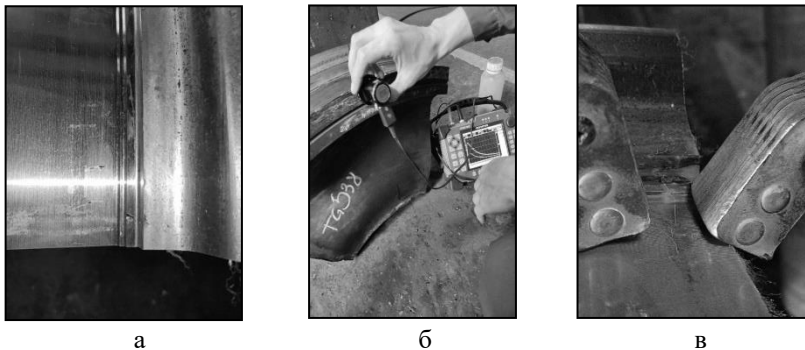


Рисунок 2 – Дефекти на поверхні кочення колеса № 140 після обточування: а – візуально – оптичний контроль, б – ультразвуковий контроль, в – магнітопорошковий контроль.

Таблиця 1 – Хімічний склад колеса №140.

№ плавки	№ колеса	Вміст хімічних елементів, % мас.										
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Ni	Mo	V	Σ Cr+ Mo + Ni
185984	140	0,54	0,308	0,74	0,01	0,003	0,20	0,14	0,11	0,01	$\leq 0,02$	0,32
Вимоги EN 13262:2004+A2:2011:												
максимальний вміст хімічних елементів, % мас.												
ER 8		0,56	0,40	0,80	0,020	0,020	0,30	0,30	0,08	0,30	0,06	0,50

Випробування на ударний згин проведені при температурі + 20°C на зразках з U-подібним надрізом. Результати визначення роботи удару представлені в таблиці 3.

Результати визначення твердості показані в таблиці 4. На темплеті

ободу колеса виконані вимірювання твердості по перерізу відповідно до стандарту EN 13262:2004 + A2: 2011 на глибині 35 мм від номінального чистового діаметру та згідно з EN ISO 6506 – 1.

Таблиця 2 – Результати випробувань зразків колеса №140 на статичний розтяг.

№ колеса	Елементи колеса	Властивості при розтяганні ISO 6892 – 1		
		Границя текучості R_{eH} , МПа	Тимчасовий опір R_m , МПа	Відносне подовження A_5 , %
140	Обід	570,5	861,9	18,6
	Диск	–	736,6 (125,3)	20,8
Вимоги EN 13262: 2011	Обід	≥ 540	860 – 980	≥ 13
	Диск	–	$\geq 120^*$	≥ 16

Таблиця 3 – Результати визначення роботи удару зразків колеса №140.

№ колеса	Робота удару, Дж	
	KU (KCU) ⁺²⁰	KU _{ср.} (KCU) ⁺²⁰
140	24,2	25,1
	25,1	
	26,1	
Вимоги EN 13262: 2011	Мінімальні значення	Середнє значення не менше
	12	17

Таблиця 4 – Результати вимірювання твердості.

№ колеса	Глибина, мм	Значення твердості в ободі, НВ		
140	35	248	248	255
	т. А	–	235	–
Вимоги EN 13262: 2011	35	245		
	т. А	Нижче не менше ніж на 10 НВ в порівнянні з фактичними значеннями твердості на глибині 35 мм від чистового розміру		

Результати механічних випробувань металу колеса №140 показали повну відповідність вимогам стандарту EN 13262: 2004 + A2: 2011.

Значення роботи удару зразків обода досліджуваного колеса повністю відповідають вимогам EN 13262:2004 + A2: 2011 як за мінімальним, так і за середнім значенням (табл. 3). Значення твердості в кожній точці на глибині 35 мм задовольняють вимогам EN 13262:2004 + A2: 2011. Твердість у

точці «А» в досліджуваному темплеті обода колеса нижче фактичних значень твердості більш ніж на 10 НВ в порівнянні з фактичними значеннями твердості.

Аналіз макроструктури досліджуваних елементів (ободу і диску) колеса показав відсутність дефектів металургійного походження: флокенів, розшарувань, загорнених корок та корок, що потонули, неметалевих включень, залишків усадних раковин та інших порушень цілісності металу. Макроструктура темплетів елементів досліджуваного колеса має щільну і однорідну будову. Порушення суцільності будови ободу досліджуваного колеса не спостерігається.

Зразки для металографічного аналізу вирізали з ободу досліджуваного колеса згідно EN 13262:2004 + A2: 2011. Аналіз вмісту неметалевих включень у зразках ободу колеса Ø 1250 мм зі сталі ER 8 виконано відповідно до вимог ISO 4967:1998, Метод «А». Фотографії найбільш забруднених неметалевими включеннями полів зору на шліфах зразків ободів показані на рис.3. Результати оцінки металографічної чистоти показані в таблиці 5. Максимальний розмір сульфідних включень і силікатів не перевищує 1-го бала.

Таблиця 5 – Результати оцінки забрудненості неметалевими включеннями.

№ плавки	№ колеса	Серія неметалевих включень	Вміст неметалевих включень, бал (index) по ISO 4967: 1998				
			A	B	C	D	B + C + D
185984	140	Тонка	0,5	0,0	0,5	1,0	1,5
		Товста	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0
Вимоги EN 13262 : 2011		Тонка серія max	1,5	1,5	1,5	1,5	3,0
		Товста серія max	2,0	2,0	2,0	2,0	4,0

Примітка. Позначення неметалевих включень: А – сульфіді, В – алюмінати, С – силікати, D – глобулярні оксиди.

Після оцінки забрудненості неметалевими включеннями ці ж зразки ободу досліджуваного колеса були використані для аналізу мікроструктури на відстані ~ 10 мм від поверхні кочення, і додатково середній номер зерна був визначений на відстані ~ 35 - 40 мм від поверхні кочення.

Контроль мікроструктури коліс - визначення середнього розміру дійсного зерна в мікроструктурі ободів здійснювали відповідно до вимог ISO 643. Величина зерна повинна бути не крупніше 6-го бала.

Мікроструктура всіх зразків ободу досліджуваного колеса складається з тонкодиференційованого перліту та надлишкового фериту, що виділився, переважно, по границях «колишніх» аустенітних зерен (рис. 3). Визначено,

що в мікроструктурі зразків ободу досліджуваного колеса середній розмір дійсного зерна не перевищує 7,5 номера за ISO 643 (табл. 6). У мікроструктурі зразка обода колеса № 140 спостерігається незначна різнозернистість (кілька поодиноких великих зерен). Однак її наявність істотного впливу на середній розмір дійсного зерна не вчинила.

За вмістом неметалевих включень в металі ободу колеса №140 повністю відповідає вимогам стандарту EN 13262: 2004 + A2: 2011.

Таблиця 6 – Результати контролю мікроструктури ободу колеса.

№ плавки	№ колеса	Відстань від поверхні кочення, мм	Середній розмір дійсного зерна, мкм	Номер дійсного зерна (ISO 643)
185984	140	10-15	20,35	7,95

На підставі даного дослідження було побудовано карту дефектів відповідно до схеми вирізки фрагментів для мікроструктурного дослідження (рис. 4).

Втомні процеси пов'язані з виникненням поблизу поверхні кочення колеса зони пластичної деформації і ділянок «білого шару», який відрізняється крихкістю, а також наявністю поблизу поверхні кочення частинок неметалевих включень та ділянок корозійного пошкодження сталі, що утворилися в процесі експлуатації [2, 3]. Ці структурні зміни викликають появу дефектів втомного походження (тріщин, часток зносу), які призводять до руйнування обода (причому дуже небезпечним є підріз гребеня), а також до зміни профілю колеса в результаті зсуву шарів металу уздовж поверхні кочення. Таким чином, механізм зносу поверхні кочення представляє сукупність механічних, теплофізичних і хімічних явищ і пов'язаний з утворенням частинок зносу і мікротріщин в місцях інтенсивної пластичної деформації та в ділянках «білого шару», поблизу частинок неметалевих включень і продуктів корозії.

Металографічний аналіз показав, що тріщини на поверхні кочення після проточки в ободі досліджуваного фрагменту мають однакову природу утворення, а мікроструктура в прилеглих до них об'ємах металу має загальні характеристики. Їх походження пов'язане з механізмом втомного руйнування.

Контактні напруження призводять до утворення сітки втомних тріщин, від яких згодом починають розростатися більші тріщини. Це розростання в значній мірі залежить від таких експлуатаційних параметрів, як швидкість руху, сила тяги, ступінь використання сил зчеплення і ковзання. Зародження тріщини відбувається на деякій глибині обода від поверхні кочення в області з несприятливою системою напружень, наприклад, в

місці скупчення концентраторів напружень. Далі розвинення тріщин відбувається в напрямку до поверхні кочення з викиданням бічних відгалужень від магістральної тріщини.

Зразок ободу колеса № 140

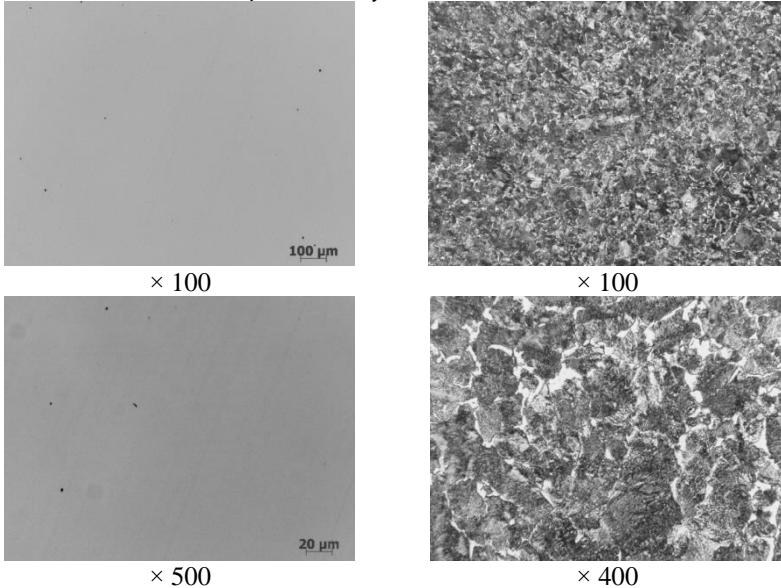


Рисунок 3 – Неметалеві включення та мікроструктура у зразках ободу колеса № 140 (плавка № 185984).

У фрагменті № 140 – 1...4 встановлений вже результат утвореної втомної тріщини після експлуатації та її залишковий фрагмент після механічної обробки, що з'являються перед нами на стадії активного розвинення втомного руйнування колеса через магістральні тріщини, протяжність яких в даному зразку складає кілька сантиметрів. Мікроструктура по обидва боки тріщини не деформувалася, тобто процес втомного руйнування в даному колесі був припинений на стадії розвинення мікротріщин до макротріщин критичного розміру.

У зразках № 140 – 5...8 дефекти мікроструктури - це втомні тріщини на стадії їх розвинення від мікро- до макрорівня і злиття декількох тріщин в одну магістральну. Помітно, що мікроструктура шліфів над тріщинами і поблизу тріщин зазнавала деформацію і термічний вплив (зерна перліту і, особливо, надлишкового фериту мають витягнуту форму; окремі частинки

мають округлу форму). Крім того, при невеликих збільшеннях мікроскопа можна спостерігати течію металу – наявність зони інтенсивної пластичної деформації. Це вказує на дію високих експлуатаційних навантажень.

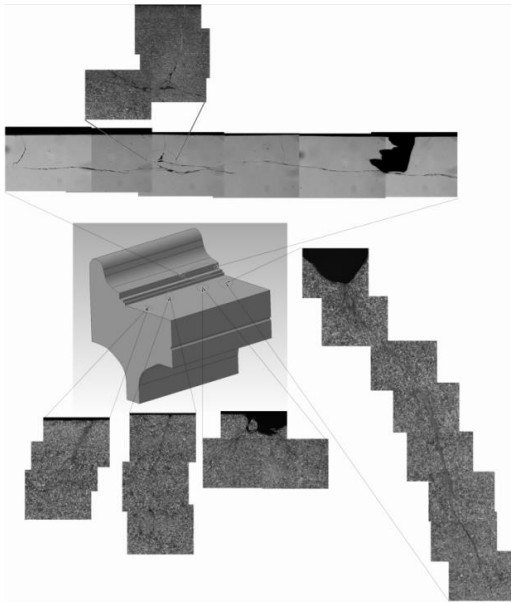


Рисунок 4 – Карта дефектів дослідного фрагменту колеса № 140 (плавка № 185984), x100.

Фрагмент колеса № 140, крім тріщин, має значне розшарування. В аналізованому перерізі фрагменту колеса цей дефект має максимальний ступінь розвинення, практично вся ширина поверхні кочення. Як відомо, подібні дефекти - мікротріщини і розшарування вздовж всієї поверхні колеса - небезпечні формуванням і відшаруванням частинок зносу, а також крихким руйнуванням в зоні викружки, що на практиці викликає масові подрізи гребенів коліс [2].

Саме на границях зон з різним ступенем деформації, а також, як було зазначено вище, в ділянках інтенсивної і турбулентної деформації виникають мікротріщини, відшарування і частинки зносу. Частинки зносу, що виникли внаслідок розвитку інтенсивної пластичної деформації між поверхнею кочення та біля зони гребеню, представляють собою лусочки або пластини різної товщини. Вони характерні для екстремальних умов зносу [3], і їх поява пов'язана з пластичною деформацією, що протікає поблизу поверхні кочення колеса. Під час тертя на деякій глибині з'являються протяжні мікротріщини, що ростуть до критичного розміру в

результаті пластичної течії сталі. При цьому в зоні між тріщинами і поверхнею кочення локалізується пластична течія сталі і утворюються частинки у вигляді лусочок, які відшаровуються.

Головна роль в цьому процесі належить актам пластичної деформації, що призводять до накопичення дислокацій і появи мікротріщин, паралельних поверхні кочення колеса. Такі мікротріщини певний час не викликають утворення частинок зносу, вони можуть рости і в цей час утворюються нові мікротріщини. Утворення лусочок зносу відбувається шляхом в'язкого відшарування металу при злитті цих мікротріщин і супроводжується пластичною течією сталі поблизу поверхні кочення колеса.

Наступною причиною утворення частинок зносу на поверхні кочення колеса після проточки та зони, що не мала механічну обробку № 140 є так званий «білий шар», який був виявлений в мікроструктурі зразків № 140 – 8, 140 – 5, 140 – 1 та 140 – 2. Його товщина становить, в середньому, 15,0, 12,0, 19,0 і 17,0 мкм на шліфах зразків № 140 – 8, 140 – 5, 140 – 1 і 140 – 2 відповідно. "Білий шар" має підвищену твердість і, отже, крихкість. У зразках № 140 – 8, 140 – 5, 140 – 1 і 140 – 1 визначити рівень мікротвердості "білого шару" виявилось методично неможливим через його малу товщину ~ 20,0 мкм. Під крихким "білим шаром" сталь пластично деформується, і на границі цих структурних складових виникають сили відштовхування, які діють на дислокації, що рухаються [3], що призводить до формування поблизу границі розділу цих структурних зон області з підвищеною щільністю дислокацій, що забезпечує деформаційне наклепання.

Слід зазначити, що, незважаючи на наявність дефектів (мікротріщин, розшарувань, "білого шару" і відшаровувань), деформаційної і температурної дії на структуру досліджених зразків поблизу поверхні кочення, основна мікроструктура зразків ободів коліс № 140 плавки №185984 (на відстані ~ 20 мм від номінального розміру) залишилася без змін. Вона складається з тонкодиференційованого, сорбітоподібного перліту з виділеннями надлишкового фериту.

Судячи з результатів металографічного аналізу, утворення дефектів обумовлене поєднанням таких несприятливих чинників, як вичерпання міцнісних властивостей матеріалу поверхневого шару, дія на колеса в процесі експлуатації значних статичних, циклічних і динамічних навантажень, а також теплового дії при гальмуванні.

Таким чином, проведені в роботі комплексні дослідження макро-, мікроструктури і механічних властивостей зразків ободів коліс з дефектами показали повну відповідність усіх характеристик вимогам EN 13262:2004 + A2: 2011, що говорить про дотримання технологічних параметрів при їх виробництві і вказує на втомну природу дефектів і експлуатаційне походження дефектів на поверхні кочення фрагменту

колеса № 140 (плавка № 185984).

Висновки

1. Результати додаткових досліджень зразків ободу досліджуваного колеса безпосередньо в зоні дефектів на поверхні кочення:

1.1. Металографічний аналіз зразків фрагменту ободу досліджуваного колеса показав, що основна мікроструктура зразків, вирізаних поблизу дефектів на поверхні кочення, складається з тонкодіфференційованого (сорбітоподібного) перліту і надлишкового фериту. Це доводить дотримання технологічних параметрів виробництва залізничних коліс заводом-виробником.

1.2. Мікроструктура у зразках ободу колеса № 140 поблизу дефектів на поверхні кочення характеризується наявністю тріщин, ділянок «білого шару». Аналіз траєкторії розвитку тріщин, явно виражена текстурованість (деформація) структури металу в осередку руйнування в напрямку дії тангенціальних напружень свідчать про втомну природу утворення тріщин на поверхні кочення. Дефекти в зразках № 140 – 5-8 - це втомні тріщини на стадії їх розвитку від мікро- до макрорівня і злиття декількох мікротріщин в одну магістральну. У зразках № 140 – 1-4 втомні магістральні тріщини відрізняються викиданням бічних відгалужень, що побічно підтверджує дію високих експлуатаційних навантажень на колесо № 140. У зразку № 140 - 4 даний дефект має найбільший ступінь розвитку.

1.3. Мікроструктура зразків № 140-1, 140-2, 140-5 і 140 - 8 характеризується наявністю ділянок «білого шару», мікротріщин на границі «білий шар» - основна структура сталі та мікропластичної деформації в шарі, що знаходиться під мартенситом. Це свідчить про те, що дефекти на поверхні кочення утворилися в процесі експлуатації колеса № 140 (плавка № 185984).

2. На підставі аналізу результатів випробувань і контролю фрагменту залізничного колеса № 140 (плавка № 185984) на відповідність вимогам НТД і додаткових досліджень зразків ободу колеса в зоні дефектів можна зробити висновок про повну відповідність металу даного колеса вимогам EN 13262:2004 + A2: 2011 та технічної специфікації ТС 97 – 18 – 2017, изм. 3, а також про те, що виявлені на їх поверхнях кочення дефекти є дефектами експлуатаційного і втомного походження - втомними тріщинами, розшаруваннями.

Перелік посилань

1. Металопродукція. Експертне дослідження арбітражних проб. Загальні вимоги: ДСТУ 2538-94. - [Чинний від 1995-07-01]. - К. : Держстандарт України, 1994. - 12 с. - (Державний стандарт України).

2. Остапчук В. Н. Особенности износа поверхности катания колёс / В. Н. Остапчук, И. И. Федченко // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – 2014. – Випуск 145. – С. 134 – 138.
3. Марченко Е. А. О природе износа поверхностей металлов при трении / Е. А. Марченко. – М.: Наука, 1979. – 118 с.

Reference

1. Metaloprodukcija. Ekspertne doslidzhennya arbitrazhny`x prob. Zagal`ni vy`mogy`: DSTU 2538-94. - [Chy`nny`j vid 1995-07-01]. - K. : Derzhstandart Ukrayiny`, 1994. - 12 s. - (Derzhavny`j standart Ukrayiny`).
2. Ostapchuk V. N. Osobennosty` y`znosa poverxnosty` katany`ya kolës / V. N. Ostapchuk, Y`. Y`. Fedchenko // *Zbirny`k naukovy`x prac` UkrDAZT*. – 2014. – Vy`pusk 145. – S. 134 – 138.
3. Marchenko E. A. O pry`rode y`znosa poverxnostej metallov pry` treny`y` / E. A. Marchenko. – M.: Nauka, 1979. – 118 s.

O. I. Babachenko, Dr. Sci., Senior Researcher, ORCID 0000-0003-4710-0343

G. A. Kononenko, Dr. Sci., Senior Researcher, ORCID 0000-0001-7446-4105

R. V. Podolskyi, Junior Researcher, ORCID 0000-0002-0288-0641

E. A. Shpak, Junior Researcher, ORCID 0000-0001-7446-4X05

O. A. Safronova, Junior Researcher., ORCID 0000-0002-4032-4275

Iron and Steel Institute of Z. I. Nekrasov National Academy of Sciences of Ukraine

V. V. Martsinishin, Student, ORCID 0000-0001-7446-41X5

Ukrainian State University of Science and Technology

RESEARCH OF FEATURES OF STRUCTURE OF A RAILWAY WHEEL WITH OPERATIONAL DEFECTS

Summary. Purpose: to study the macrostructure and microstructure, mechanical properties, chemical composition of railway products and to establish the probable cause of decommissioning. In cases of premature decommissioning of metal testing of responsible purpose, expert studies may be conducted. The purpose of expert research is to establish quality indicators of metal products and their compliance with the requirements of regulatory and technical documentation, to identify the nature, nature and causes of defects, destruction of metal products and product failures. Methods of non-destructive testing, metallographic analysis, determination of mechanical properties, chemical analysis were used. The material was a railway wheel manufactured in accordance with EN 13262: 2004+ A2: 2011 in the conditions of PJSC "INTERPIPE NTZ", which was decommissioned due to the formation of defects on the rolling surface. Defects in the form of residual cracks in the amount of 4 pieces from 6 to 28 mm were detected on the surface of the turned part of the wheel № 140. The

«Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії». – 2021. – Випуск 35

«Fundamental'nye i prikladnye problemy černoj metallurgii». – 2021. – Vypusk 35

«Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy». – 2021. – Collection 35

content of chemical elements and mechanical properties meet the requirements of standard EN 13262: 2004 + A2: 2011 for steel grade ER 8. Analysis of the macrostructure of the investigated elements (rim and disc) of the wheel showed no defects of metallurgical origin: flocs, bundles, wrapped corks and sunken, non-metallic inclusions, residues of shrinkage shells and other violations of the integrity of the metal. The macrostructure of the templates of the elements of the studied wheel has a dense and homogeneous structure. The microstructure in the wheel rim samples № 140 near the defects on the rolling surface is characterized by the presence of cracks, areas of the "white layer". Analysis of the trajectory of crack development, pronounced texture (deformation) of the metal structure in the center of fracture in the direction of tangential stresses indicate the fatigue nature of the formation of cracks on the rolling surface.

Key words: railway wheel, mechanical properties, microstructure, non-metallic inclusions, non-destructive testing.

For citation: Babachenko O. I., Kononenko G. A., Podolskyi R. V., Shpak O. A., Safronova O. A, Martsinishin V. V. Doslidzhennya osoblyvostey struktury zaliznychnoho kolesa z ekspluatatsiynomy defektamy [Research of features of structure of a railway wheel with operational defects]. *Fundamental'nye i prikladnye problemy chornoj metallurgii* [Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy], 2021, 35, 310-322. (In Ukrainian). DOI 10.52150/2522-9117-2021-35-310-322

*Стаття надійшла до редакції збірника 16.11.21 року,
пройшла внутрішнє і зовнішнє рецензування
(Протокол засідання редакційної колегії
збірника № 4 від 22 грудня 2021 року)*