

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИЧИН ВИНИКНЕННЯ ВИЩЕРБИН МЕТАЛУ НА ПОВЕРХНІ КОЧЕННЯ ЗАЛІЗНИЧНИХ КОЛІС

У статті наведено результати досліджень стосовно виникнення дефектів – вищербин металу по поверхні кочення залізничних коліс.

В статті приведені результати досліджень относительно возникновения дефектов – выкрашивания металла по поверхности качения железнодорожных колес.

In the article the research results related to an origin of defects – crumbling out of metal on the tread contact surface of railway wheels – are presented.

В місцях контакту з рейкою колесо піддається значним статичним і динамічним навантаженням. В результаті цього в зонах дотику коліс з рейками виникають великі контактні напруження. В процесі гальмування між колесами і колодками створюються великі сили тертя, які сприяють утворенню цілого ряду дефектів [1–3]. Удари коліс на стиках рейок можуть викликати появу тріщин в ободі.

Наведені фактори експлуатаційного характеру, разом з недосконаlostями металу за вимогами нормативно-технічної документації на виробі, можуть приводити до передчасного вилучення з експлуатації залізничних коліс.

На основі аналізу випадків передчасного вилучення коліс з експлуатації визначено, що переважна кількість дефектів пов'язана з металом ободу колеса.

На підставі цього метою роботи є аналіз причин передчасного вилучення залізничних коліс з експлуатації.

Матеріалом для дослідження служили відібрані зразки металу з чотирьох залізничних коліс з найбільш виразним руйнуванням – вищербинами металу на поверхні кочення (рис. 1) (№1 – 86 2 42685 20 3592200; №2 – 84 2 05280 18 181732; №3 – 01 2 32305 20 037692; №4 – 02 2 21189 20 045642).

Макроструктуру вивчали за допомогою методик, наведених у [4]. Мікроструктурні дослідження проводили з використанням світлового мікроскопа «Еріquant». Розмір структурних складових визначали використовуючи методики кількісної металографії [5]. Результати дослідження хімічного складу металу пошкоджених коліс наведені в табл. 1. Результати визначення механічних властивостей наведені в табл. 2.

Таблиця 1

Результати дослідження хімічного складу металу пошкоджених коліс

№ плавки, маркування	Вміст елементів, %									
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Al	Ti
				не більше 0,035						
1	0,61	0,78	0,30	0,027	0,027	0,14	0,09	0,15	0,005	–
2	0,55	0,72	0,31	0,018	0,02	0,1	0,06	0,08	0,006	–
3	0,57	0,68	0,33	0,009	0,01	0,07	0,06	0,09	0,002	–
4	0,57	0,66	0,32	0,012	0,014	0,09	0,04	0,06	0,023	–
ГОСТ 10791	0,50	0,50	0,22	0,035	0,040	не більше 0,25 % кожного	–	–	–	–
							
	0,65	0,90	0,45							

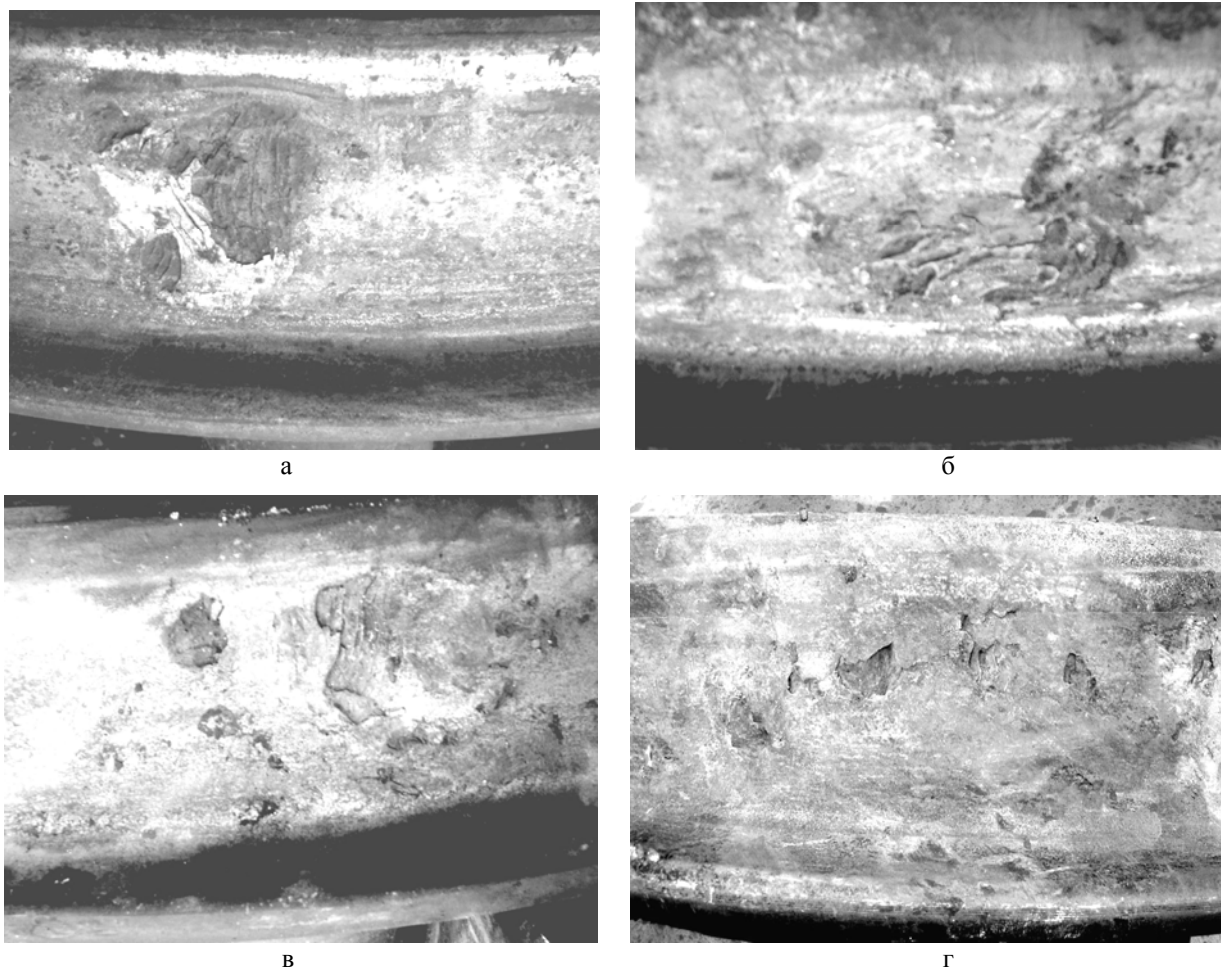


Рис. 1. Вигляд вищербин металу на поверхні кочення досліджуваних коліс
(а – № 1; б – № 2; в – № 3; г – № 4)

Таблиця 2

Результати дослідження механічних властивостей пошкоджених коліс

№ плавки, маркування	Межа міцності σ_B , Н/мм ²	Відносне подовження δ , %	Відносне звуження ψ , %	Твердість <i>НВ</i>	Ударна в'язкість при руйнуванні при $t = 20$ °С, МДж/м ²
1	980	12,0	32,0	290	0,34
2	925	9,0	24,0	290	0,28
3	960	15,5	39,0	266	0,32
4	975	14,5	31,0	262	0,31

Наведені в табл. 1 і 2 експериментальні дані свідчать, що досліджувані колеса в першому наближенні відповідають вимогам нормативно-технічної документації [6].

При проведенні зовнішнього огляду вищербин встановлено, що їх глибина становила значення від 2 до 5 мм. Так, для колеса № 4 (рис. 1г) вищербини малих розмірів сконцентровані на 200 мм уздовж поверхні кочення, а для коліс № 1 і № 2 мають більший розмір,

який досягає до 100 мм в перетині, та сконцентровані в одному місці. Для колеса № 3 характер розташування дефектів в порівнянні з № 2 і № 4 займає проміжне положення.

Як показали макроструктурні дослідження у зразках коліс № 1, 3, 4, флокени, тріщини, розшарування металу відсутні. На темплеті з колеса № 2 виявили, що метал на радіальній поверхні (після травлення в гарячому розчині кислоти) має дуже значні тріщини, які розташовані

паралельно поверхні кочення (рис. 2). При цьому зростання тріщин зорієнтовано від місць вищербин металу в об'єми, де не спостерігали виникнення дефектів.



Рис. 2. Вигляд темплету колеса № 2 на радіальному перетині

Мікроструктурні дослідження для колеса № 1 не виявили відхилень щодо вимог ГОСТ 10791-89. Для колеса № 4 визначена наявність неметалевих включень поблизу місць вищербин металу, – це підтверджують тріщини з виходом на поверхню кочення колеса, які повністю заповнені окислами металу. Оцінка кількості та розміру неметалевих включень для колеса № 2 показала, що забруднення металу досягає рівнів, які суттєво перебільшують вимоги ГОСТ (у декілька разів) (рис. 3). На підставі цього можна вважати залежність зародження тріщин від неметалевих включень.

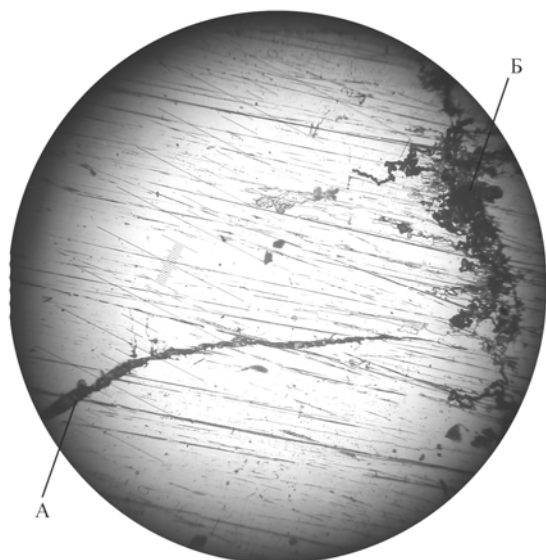


Рис. 3 Мікроструктура залізничного колеса № 2 поблизу тріщин під поверхню кочення (А – тріщина, Б – частки неметалевих включень)

Дослідження колеса № 3 показали в окремих місцях формування сітки структурно-вільного фериту, який розташований по границях перлітних колоній. Крім цього, як свідчить аналіз розміру перлітних колоній, перлітна складова структури має 5 бал, та в місцях поблизу руйнування можна спостерігати наявність зерен структурно-вільного фериту з розміром до 40 мкм в перетині (рис. 4), що не відповідає вимогам ГОСТ.

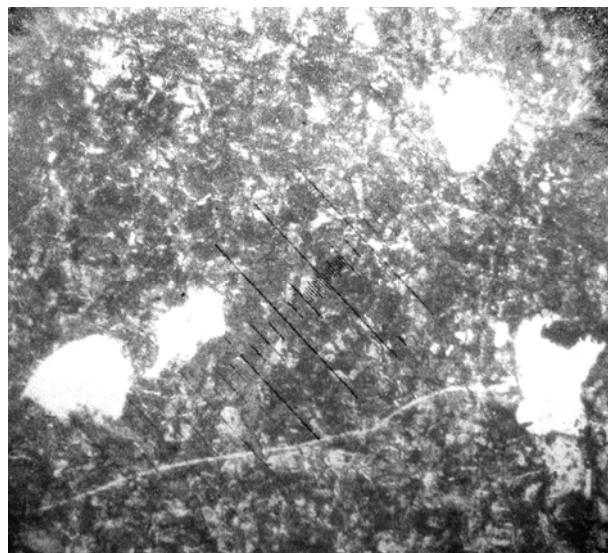


Рис. 3. Мікроструктура залізничного колеса № 3 поблизу поверхні руйнування металу

В порівнянні з іншими колесами, дослідження внутрішньої будови колеса № 1 не виявило ознак, які можна пов'язати з порушеннями технології виробництва залізничних коліс. Формування смуг структурно-вільного фериту, які перехрещуються, що експериментально спостерігаються безпосередньо під поверхню кочення, можна вважати відповідальними за появу в цих місцях (поблизу з вищербинами металу) сітки тріщин, перпендикулярно орієнтованих до напрямку кочення. Зовнішній вигляд тріщин вказує на термічний характер їх походження [7]. В процесі кочення колеса, за рахунок циклічного навантаження та пластичної деформації металу, розвиток релаксаційних процесів в приповерхневих шарах призводить до зниження рівня остаточних напружень стискання [8]. На підставі цього вказані об'єми металу мають аномально знижений опір зростанню тріщин. В процесі гальмування рухомого складу підвищення температури в поверхневому шарі металу може сягати рівня до 750...800 °С. В цьому випадку структурні перетворення, разом з високим градієнтом внутрішніх напружень, будуть сприяти зростанню тріщин. Враховуючи відсутність відхилень по

неметалевим включенням (ГОСТ 10719), інші впливи сприяють виникненню менших вищербин, що експериментально підтверджено (глибина до 2...2,5 мм). Указана тріщина, коли не досягала критичного розміру, при якому відбувається її прискорене зростання, при наступному пластичному деформуванні за рахунок складової зсувом може закатуватись. Подальше зношення металу по поверхні кочення може привести до послідуячого розкриття тріщини і її зростання. Таким чином, якщо для етапу прискореного зростання тріщини не буде складено додаткових умов, то при черговому обточуванні колеса цей дефектний шар металу з нестабільним опором зростанню тріщин буде знятий. В цьому випадку можна очікувати збільшення тріщиностійкості металу, особливо на поверхні кочення.

Для колеса № 2 разом з температурним впливом, який визначено по мікроструктурі металу, достатньо велика кількість неметалевих включень, які розташовані в мікротріщинах, можуть розглядатись як напрямки подальшого розповсюдження зростаючої тріщини. Циклічна зміна температурного впливу, з достатньо високим градієнтом температур в указаному шарі металу (1...1,5 мм), супроводжується зміною етапів зміцнення (від наклепу металу при коченні колеса по рейках) та знеміцнення при різкому розігріві при гальмуванні. Найбільший рівень внутрішніх напружень в металі буде спостерігатись поблизу міжфазної поверхні «матриця – неметалева включення». На підставі цього можна вважати, що основною причиною руйнування колеса № 2 є перебільшення кількості неметалевих включень стосовно вимог ГОСТ.

Мікроструктурні дослідження металу колеса № 3 показали наявність сітки структурно-вільного фериту, який виділився по великокутових границях аустенітного зерна. Обумовлено це тим, що структура металу в досліджуваних місцях має відхилення від вимог ГОСТ щодо бальності перлітної складової. Наявність зерен структурно-вільного фериту може розглядатись як явище структурної неоднорідності, яке тільки сприяє процесам руйнування. Враховуючи, що твердість фериту приблизно в 2...2,5 рази нижча за твердість перлітної складової, а чим більше розмір зерна перліту та нижче його дисперсність, тріщиностійкість металу зменшується, зародження та розповсюдження тріщин в цих областях відбувається за відносно зниженого рівня навантажень, ніж у сусідніх областях, які не мають відхилень щодо

вимог ГОСТ по структурі. Таким чином, формування смуг в металі зі зниженим опором процесам зростання тріщин приводить до прискорення виникнення дефектів на поверхні кочення залізничних коліс.

Дослідження внутрішньої будови залізничного колеса № 4 показали формування тріщин, що за своїм характером відрізняються від тих, які спостерігали на колесах № 2 і № 3, хоча мають і спільні ознаки. Так, наявність неметалевих включень поблизу місць вищербин металу, в яких, можна вважати, незначне відхилення від вимог ГОСТ щодо неметалевих включень указує на існування об'ємів металу з локально зниженим опором зростанню тріщини. Окрім цього, тріщини великої довжини являли собою безперервну смугу окислів, з явними ознаками перепалу металу. Одне з пояснень щодо формування указаних тріщин може бути пов'язане з дуже великим зростанням температури, при якій може відбуватися, по-перше, перетворення сульфідної евтектики в рідину. На основі чого, при навантаженні тонкого шару металу колеса (від контакту з рейкою) може статися локальний зсув одного об'єму металу від другого по смугі рідини. По-друге, при таких великих температурах (до 900...1000 °С) неодмінно відбувається окислення берегів тріщини [9]. На підставі цього, найбільш вірогідною причиною виникнення вищербин металу є дуже швидке зростання температури до рівня перепалу металу, при якому виникають гарячі тріщини.

Висновок

Дослідження внутрішньої будови металу коліс показало, що практично для всіх зруйнованих коліс в об'ємах металу безпосередньо під поверхнею кочення розташована область з чітко орієнтованою смуговою структурою. Для різних коліс товщина шару металу з указаною структурою коливається від 0,2 до 0,4 мм. При цьому необхідно відзначити: якщо для колеса № 1 ця зона має максимальний розмір і більш чіткий вираз, то для колеса № 2 вона практично відсутня і знайдена лише в одному місці, з сумнівними ознаками. Наведені результати, разом з наявністю неметалевих включень та їх розташуванням, свідчать, що причини виникнення руйнування металу в своїй більшості відрізняються для різних коліс.

Для колеса № 1 – формування осередків руйнування обумовлено перегрівом металу колеса в процесі гальмування рухомого складу.

Для колеса № 2 – невиконання ГОСТ 10791 по кількості та розмірах неметалевих включень призвели до руйнування.

Для колеса № 3 – незначне відхилення від ГОСТ щодо бальності перлітної складової разом з накопиченням дефектів металу в результаті термічної утомленості обумовило руйнування металу по поверхні кочення колеса.

Для колеса № 4 – руйнування на поверхні кочення від сумарного впливу накопичення дефектів поблизу неметалевих включень, перегріву колеса в процесі гальмування.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Класифікація несправностей вагонних колісних пар та їх елементів [Текст]. – К.: Державна адміністрація залізн. трансп. України, 2006. – 79 с.
2. Вакуленко, И. А. Факторы, влияющие на надёжность и долговечность железнодорожных колёс [Текст] / И. А. Вакуленко, Г. В. Рейдемейстер, О. Н. Перков // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2005. – Вип. 9. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2005. – С. 129-132.
3. Вакуленко, И. А. Зависимость усталостной прочности от структурного состояния стали для железнодорожных колёс [Текст] / И. А. Вакуле-

нко, И. А. Грищенко, О. Н. Перков. – В кн.: Современные проблемы подготовки производства, заготовительного производства, обработки, сборки и ремонта в промышленности и на транспорте. – К., 2007. – С. 242-244.

4. Панченко, Е. В. Лаборатория металлографии [Текст] / Е. В. Панченко, Ю. А. Скаков, Б. И. Кример. – М.: Металлургия, 1965. – 439 с.
5. Салтыков, С. А. Стереометрическая металлография [Текст] / С. А. Салтыков. – М.: Металлургиздат, 1958. – 446 с.
6. ГОСТ 10791 Колеса цельнокатанные. Технические условия [Текст].
7. Структурные изменения в металле железнодорожных колёс при формировании термических трещин [Текст] / О. Н. Перков и др. // Залізн. трансп. України. – 2006. – № 1. – С. 44-45.
8. Вакуленко, И. А. Структура и свойства углеродистой стали при знакопеременном деформировании [Текст] / И. А. Вакуленко. – Д.: Gaudeamus, 2003. – 94 с.
9. Вакуленко, И. О. Чинники, які впливають на розвиток втомленості металу в процесі експлуатації залізничних коліс [Текст] / И. О. Вакуленко, О. Н. Перков, М. А. Грищенко // Залізн. трансп. України. – 2007. – № 5. – С. 70-71.

Надійшла до редколегії 26.08.2008.