

Бабаченко О.І., Кононенко Г.А.,

Подольський Р.В., Сафронова О.А., Сафронов О.Л.

КОРЕЛЯЦІЙНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ ВТОМНОГО РУЙНУВАННЯ МЕТАЛУ ЗАЛІЗНИЧНИХ КОЛІС У СТАНІ ПОСТАВКИ З РІЗНИМИ РІВНЯМИ МІЦНОСТІ

Анотація. Кореляційний аналіз дозволяє встановити наявність лінійного зв'язку між зміною однієї з характеристик системи зі зміною іншої характеристики цієї ж системи. Особливо важливі кореляційні дослідження для аналізу даних, коли вибірка обмежена. Для металопродукції залізничного призначення можливість прогнозування характеристик росту втомних тріщин, передбачення втомного руйнування є важливою, оскільки це пов'язано з питаннями безпеки. Проведення тривалих випробувань за умов багатоциклічного навантаження є скрадним та дороговартісним, їх проведення не завжди можливо реалізувати в умовах виробництва. Разом з тим, завжди відомі для партії коліс їх хімічний склад та службові механічні властивості. Мета роботи – встановити вплив основних хімічних компонентів вуглецевої сталі та механічних характеристик, які визначаються при випробуваннях на розтяг, твердості та ударної в'язкості на показники розвитку тріщини за умов циклічного навантаження на основі кореляційного аналізу. За результатами аналізу коефіцієнтів парної лінійної кореляції між вмістом основних хімічних елементів в сталі та показниками росту втомної тріщини встановлено вельми високий негативний зв'язок K_{th} (максимальне значення коефіцієнту інтенсивності напружень, за якого тріщина не розвивається протягом заданої кількості циклів) та K_{fc} (коефіцієнт інтенсивності напружень, при якому настає долом зразка, це значення досягається при максимальному утиску пластичної деформації та руйнуванні нормальним відривом) зі зміною вмісту вуглецю, а для n (тангенс кута нахилу прямої на лінійній, лінійній ділянці КДВР, що характеризує темп наростання швидкості зростання тріщини) – високий негативний зв'язок зі зміною вмісту марганцю, K^ (коефіцієнт інтенсивності напружень при швидкості зростання тріщини 10-7 м/цикл) – зі зміною вмісту ванадію, але разом з тим встановлено вельми високий позитивний зв'язок K^* та вмісту кремнію та сірки, з n – вмісту фосфору. Встановлено значення коефіцієнта Пірсона на рівні 0,99 для таких пар характеристик: K_{th} та відносне подовження, K_{th} та ударна в'язкість, K_{fc} та відносне звуження, K^* та твердість, K^* та границя міцності) Критерій n є найменш чутливим до змін інших механічних властивостей, показано, що лише відносне подовження та ударна в'язкість мають високий зв'язок з цією характеристикою. Необхідні подальші дослідження для встановлення зв'язку зі зміною домішкових елементів та встановлення*

© Бабаченко О.І., Кононенко Г.А.,

Подольський Р.В., Сафронова О.А., Сафронов О.Л., 2025

функціональних закономірностей впливу характеристик на показники росту втомної тріщини.

Ключові слова: кореляційний аналіз, втомне руйнування, ріст втомної тріщини, хімічний склад, механічні властивості, залізничне колесо

Вступ. Вироби на практиці часто підлягають циклічним навантаженням, повторне чередування напружень невеликої величини може призвести до руйнування внаслідок розвитку втомної тріщини. Найбільш поширеним показником, що визначається в результаті втомних випробувань є границя витривалості, однак вона є загальною та не дозволяє оцінити різні етапи розвитку процесів руйнування, яке, як відомо, складається з кількох етапів – зародження, сталий ріст втомної тріщини та долом. Для кожної зі стадій розвитку тріщини реалізуються різні механізми руйнування та є впливовими різні чинники. Знання закономірностей, які визначають кінетику розвитку втомних тріщин, дозволяють прогнозувати термін роботи виробу без відмов, забезпечувати його надійність. Для залізничних коліс це означає збільшення інтервалів між періодичними оглядами залізничних коліс, підвищення безпеки залізничних перевезень.

Явище розвитку втомної тріщини під час контакту колеса з рейкою стало одним із найважливіших питань у залізничній галузі [1-2], оскільки цей процес на останніх етапах росту тріщини не повільний і неконтрольований, викликає раптовий розрив рухомого елемента. Отже, це вимагає особливої уваги до терміну служби рухомих елементів. Визначення характеристик зародження та росту втомної тріщини є тривалим та за затратним видом випробувань, вони потребують спеціалізованого обладнання, яке дозволяє реалізовувати циклічне навантаження, виготовлення зразків потребує прецизійного обладнання, багатогодинне випробування вимагає тривалої роботи виконавців високої кваліфікації та специфічного контролю за розвитком тріщини.

Різні розрахункові методи все частіше використовуються для прогнозування втомного руйнування, і кілька дослідників вдосконалили моделі для прогнозування коефіцієнтів інтенсивності напружень [3-5].

Кочення колеса по рейці супроводжується процесами зношування їх матеріалів і накопиченням пошкоджень від контактної втоми. Для забезпечення надійної безвідмовної роботи необхідне прогнозування зародження та росту втомної тріщини за циклічного навантаження.

Кореляція (від лат. *cogellio* - “співвідношення”) дозволяє реально встановити факт взаємозв’язку певних значень однієї змінної з певними значеннями іншої, коли зміна однієї з них супроводжується зміною другої. При визначенні кореляції можна будувати діаграму розсіювання результатів виміру двох змінних, така діаграма також може називатись кореляційним полем. Вона являє собою певну «хмаринку», за її формою судять про тісноту кореляції між зміною значень змінних: чим тісніший зв’язок, тим вужчою є форма «хмаринки» (рис. 1). Статистичною мірою кореляційного зв’язку є в першу чергу середній добуток відхилень кожної змінної - вибіркового коефіцієнта коваріації змінних. Але частіше як статистичну міру зв’язку між даними використовують

коефіцієнт кореляції (коефіцієнт Пірсона), який являє собою відношення отриманої ко-варіації до максимально можливої.

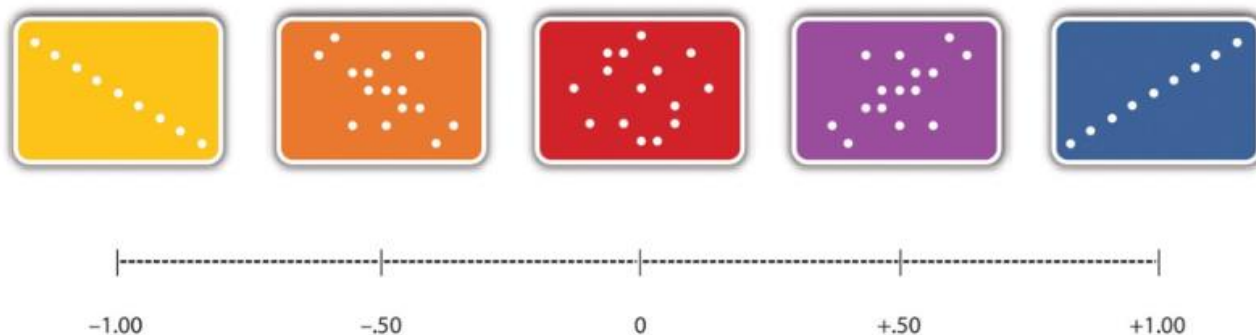


Рисунок 1 – Графічне зображення діапазону значень коефіцієнта Пірсона, від -1.00 (найсильніший можливий негативний зв'язок), через 0 (без зв'язку), до $+1.00$ (найсильніший можливий позитивний зв'язок)

Значення коефіцієнту кореляції може бути позитивним, що свідчить про прямий зв'язок, та негативним, що свідчить про зворотній зв'язок між критеріями. Абсолютне значення коефіцієнту кореляції може бути від 0 до 1 , при цьому його розмір від $0,1$ до $0,3$ свідчить про слабкий зв'язок, від $0,3$ до $0,5$ – помірний зв'язок, від $0,5$ до $0,7$ – помітний зв'язок, від $0,7$ до $0,9$ – високий зв'язок, а за значення $0,9 - 1$ – вельми високий. Дуже важливим моментом для того, щоб стверджувати про наявність зв'язку є надійність експериментальних даних, щоб аналізовані результати стосувались реакції однієї і тієї ж системи, у послідовному часі, або на послідовних етапах її зміни, або синхронно за різними показниками.

Мета роботи. Мета роботи – встановити вплив основних хімічних компонентів вуглецевої сталі та механічних характеристик, які визначаються при випробуваннях на розтяг, твердості та ударної в'язкості на показники розвитку тріщини за умов циклічного навантаження на основі кореляційного аналізу.

Методика проведення досліджень. Основні характеристики розвитку втомної тріщини відображаються на кінетичній діаграмі втомного руйнування (КДВР). Схематичне зображення типової діаграми наведено на рис.1. Серед них: K_{th} - максимальне значення коефіцієнту інтенсивності напружень, за якого тріщина не розвивається протягом заданої кількості циклів (перша ділянка КДВР); n - тангенс кута нахилу прямої на лінійній ділянці КДВР, характеризує темп наростання швидкості зростання тріщини; K^* - коефіцієнт інтенсивності напружень при швидкості зростання тріщини 10^{-7} м/цикл (друга ділянка КДВР за сталого росту тріщини); K_{fc} - коефіцієнт інтенсивності напружень, при якому настає долом зразка, це значення досягається при максимальному утиску пластичної деформації та руйнуванні нормальним відривом (третя ділянка КДВР).

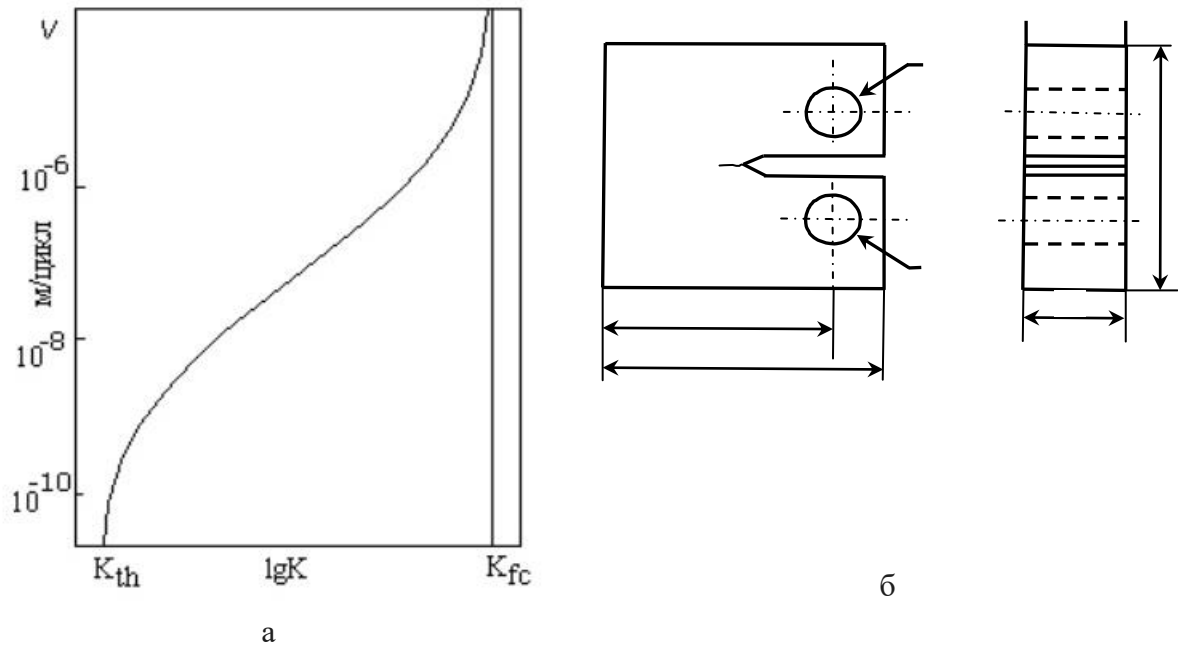


Рисунок 2 – Загальний вигляд кінетичної діаграми втомного руйнування (а), схема зразку для побудови діаграм втомного руйнування

Оскільки для кореляційного аналізу вибірка має бути однорідною та релевантною, тому в роботі всі характеристики визначали на металі від одного залізничного колеса для кожної марки сталі в стані постачання.

Для металопродукції залізничного призначення застосовують найчастіше ферито-перлітні сталі через їхню високу міцність, яка поєднується з відмінною втомною поведінкою. Матеріалом для досліджень був метал з ободу залізничних коліс у стані постачання марок 1, 2 і Т відповідно до ДСТУ ГОСТ 10791:2016. В таблиці 1 наведено вміст вуглецю в досліджуваному металі, вміст інших елементів був дуже близьким та не мав суттєвого впливу на досліджувані характеристики.

Таблиця 1

Хімічний склад досліджуваних сталей

Марка сталі	Вміст хімічних елементів, мас. %.					
	C	Mn	Si	V	S	P
1	0,49	0,72	0,34	-	0,012	0,011
2	0,58	0,64	0,34	-	0,012	0,010
T	0,63	0,72	0,32	0,094	0,010	0,010

Механічні властивості, визначення яких передбачено вимогами нормативної документації на даний вид металопродукції, наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Механічні властивості коліс різних рівнів міцності

Марка сталі	Границя міцності, Н/мм ²	Відносне видовження, %.	Відносне звуження, %	Ударна в'язкість, Дж/см ²	Твердість, НВ
1	902	17,4	38,6	48,6	278
2	1010	11,5	29	33	285
T	1250	10,5	21	31	321

Для вимірювання довжини тріщини втоми застосовувався оптичний метод і метод вимірювання податливості зразка за допомогою тензометричного датчика. Випробування проводилися на гідропульсуючій випробувальній машині типу ЕДЦ-20 із частотою 14 Гц. Похибка визначення зусилля 1%. Параметри кінетичних діаграм втомного руйнування залізничних коліс у стані постачання наведені в табл. 3.

Таблиця 3

Параметри кінетичних діаграм втомного руйнування залізничних коліс у стані постачання

Марка сталі	K_{th} , Н/мм ^{3/2}	K^* , Н/мм ^{3/2}	n	K_{fc} , Н/мм ^{3/2}
1	504	960	3,02	5064
2	221	942	3,2	3162
T	209	870	3,1	2055

Результати досліджень. Кореляційні дослідження дозволяють встановити зв'язок між парами змінних. За наявності високого або надійного кореляційного зв'язку можна побудувати так звану лінію передбачення. Кореляційне дослідження на відміну від експерименту дає можливість виконати прогноз на обмежених даних, виконати аналіз отриманих результатів, розкриває можливості для нових пояснень або гіпотез щодо характеру і природи впливу у разі встановлення значущого зв'язку між змінними Пірсона r , але є хорошою мірою тільки для лінійних відносин, в яких точки найкраще наближені прямою лінією.

Був виконаний кореляційний аналіз, який дозволив зробити опис зв'язку між хімічним складом та різними механічними характеристиками за умов статичного, динамічного та циклічного навантаження до руйнування металу залізничних коліс, які мали однакову геометрію, однакову технологічну схему гарячої пластичної деформації та термічного оброблення в умовах одного підприємства (табл.4).

Коефіцієнти парної кореляції між показниками хімічного складу та механічних властивостей залізничних коліс в стані постачання

№ з/п	Показник	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	C, % мас.	1	-0,16	-0,77	0,77	-0,77	-0,93	-0,95	-0,88	0,58	-0,99	0,93	-0,97	-0,99	-0,97	0,86
2	Mn, % мас.	-0,16	1	-0,5	0,5	-0,5	0,5	0,47	-0,33	-0,90	0,15	0,21	0,38	0,05	0,41	0,36
3	Si, % мас.	-0,77	-0,5	1	-1	1	0,5	0,53	0,98	0,06	0,78	-0,95	0,61	0,84	0,59	-0,99
4	V, % мас.	0,77	0,5	-1	1	-1	-0,5	-0,53	-0,98	-0,06	-0,78	0,95	-0,61	-0,84	-0,59	0,98
5	S, % мас.	-0,77	-0,5	1	-1	1	0,5	0,53	0,98	0,06	0,78	-0,95	0,61	0,84	0,59	-0,99
6	P, % мас.	-0,93	0,5	0,5	-0,5	0,5	1	0,99	0,65	-0,83	0,93	-0,74	0,99	0,89	0,99	-0,63
7	Kth, Н/мм ^{3/2}	-0,95	0,47	0,53	-0,53	0,53	0,99	1	0,68	-0,81	0,94	-0,76	0,99	0,91	0,99	-0,65
8	K*, Н/мм ^{3/2}	-0,88	-0,33	0,98	-0,98	0,98	0,65	0,68	1	-0,13	0,88	-0,99	0,75	0,93	0,73	-0,99
9	n	0,58	-0,90	0,06	-0,06	0,06	-0,83	-0,81	-0,13	1	-0,57	0,24	-0,75	-0,49	-0,77	0,09
10	Kfc, Н/мм ^{3/2}	-0,99	0,15	0,78	-0,78	0,78	0,93	0,94	0,88	-0,57	1	-0,93	0,97	0,99	0,96	-0,87
11	Границя міцності, Н/мм ²	0,93	0,21	-0,95	0,95	-0,95	-0,74	-0,76	-0,99	0,24	-0,93	1	-0,82	-0,96	-0,80	0,99
12	Відносне подовження, %	-0,97	0,38	0,61	-0,61	0,61	0,99	0,99	0,75	-0,75	0,97	-0,82	1	0,94	0,99	-0,72
13	Відносне звуження, %	-0,99	0,05	0,84	-0,84	0,84	0,89	0,91	0,93	-0,49	0,99	-0,96	0,94	1	0,93	-0,91
14	Ударна в'язкість, Дж/см ²	-0,97	0,41	0,59	-0,59	0,59	0,99	0,99	0,73	-0,77	0,96	-0,80	0,99	0,93	1	-0,70
15	Твердість, HB	0,86	0,36	-0,99	0,98	-0,99	-0,63	-0,65	-0,99	0,09	-0,87	0,99	-0,72	-0,91	-0,70	1

За результатами аналізу коефіцієнтів парної лінійної кореляції між вмістом основних хімічних елементів в сталі та показниками росту втомної тріщини, встановлено вельми високий негативний зв'язок Kth та Kfc зі зміною вмісту вуглецю, з параметром n – зміни вмісту марганцю, з параметром K* - вмісту ванадію, але разом з тим встановлено вельми високий позитивний зв'язок зміни параметру K* зі зміною вмісту кремнію та сірки, зі зміною параметру n – вмісту фосфору. Це пов'язано з тим, що насичення фаз вуглецем та магнієм може призводити до зменшення їх пластичності, ванадій є основою для утворення твердих карбідів, які також можуть сприяти прискоренню розвитку втомної тріщини. Підвищення вмісту кремнію, як α -стабілізатора, може сприяти збільшенню кількості фериту, який є пластичною фазою. Позитивний вміст сірки та фосфору може бути обґрунтованим тим, що між самим вмістом цих домішкових елементів та вмістом вуглецю є зворотній зв'язок, тобто кількість сірки та фосфору зменшується за підвищення вмісту вуглецю. Тому позитивний вплив сірки на K* може бути викликаний зменшенням негативного впливу вуглецю, або впливом інших параметрів, які не входили до аналізу, а не бути обґрунтованим безпосереднім впливом сірки на структуру та властивості фаз. Але, можливо, роль цих домішкових елементів в процесах руй-

нування не повністю ще вивчена і потрібне більш детальне дослідження їх впливу на механізми зародження та росту втомних тріщин. Також слід врахувати, що для досліджуваних сталей в абсолютних значеннях вміст цих домішкових елементів змінювався незначно, тому необхідне подальше дослідження за зміни вмісту цих компонентів в більш широкі інтервали.

Таким чином, на етапі зародження тріщини, який характеризується показником K_{th} , встановлено вельми високу негативну кореляцію зі зміною вмісту вуглецю та позитивну зі зміною вмісту фосфору. На етапі сталого росту втомної тріщини, другому етапі, що характеризується показниками n та K^* , встановлено вельми високий та високий негативний зв'язок зі зміною вмісту вуглецю, марганцю, ванадію та фосфору, та позитивний - кремнію та сірки. На етапі лавиноподібного росту тріщини, третьому етапі, встановлено вельми високий та високий негативний зв'язок з вуглецем та ванадієм; позитивний вельми високий та високий зв'язок зі зміною вмісту кремнію, сірки та фосфору.

Також був виконаний кореляційний аналіз зв'язку між показниками механічних властивостей, які визначаються за умов статичного розтягу, динамічного вигину та показниками, які визначаються за циклічного навантаження. Оскільки визначення властивостей за розтягу, визначення твердості, ударної в'язкості є дуже часто використовуваним та не вимагає тривалого проведення випробувань, можливість прогнозу характеристик втомного руйнування на основі їх значень є перспективним напрямком для прогнозування надійної експлуатації виробів.

Встановлено, що зміни границі міцності та твердості мають високий та вельми високий негативний кореляційний зв'язок з усіма показниками КДВР, окрім критерія n , з яким зв'язок відсутній. Необхідно зазначити, що для таких пар характеристик як твердість та K^* , границя міцності та K^* коефіцієнт Пірсона становить 0,99, що свідчить про високу надійність лінійного зв'язку між цими характеристиками і може бути встановлена функціональна залежність. Характеристики пластичності та ударної в'язкості мають високий та вельми високий позитивний зв'язок з показниками зародження та росту втомної тріщини, окрім критерія n . Для таких пар характеристик як K_{th} та відносне подовження, K_{th} та ударна в'язкість, K_{fc} та відносне звуження коефіцієнт Пірсона становить 0,99, що свідчить про високу надійність лінійного зв'язку між цими характеристиками і може бути встановлена функціональна залежність. Це може стати завданням для подальших досліджень, а розширення бази даних для аналізу може дозволити встановити закономірності зв'язку між службовими характеристиками та показниками, що характеризують втомне руйнування.

Висновки:

1. В результаті кореляційного аналізу значень критерія парної лінійної кореляції Пірсона, встановлено зв'язок з вмістом хімічних елементів в сталі та характеристиками росту тріщини за втомного руйнування. Показано, що на більшість показників чинить негативний високий вплив вміст вуглецю та ванадію. Найменш чутливим до змін хімічного складу виявився критерій n , показано, що лише марганець та фосфор мають

вельми високий негативний зв'язок з ним. Зміна вмісту кремнію має загалом позитивний вплив на показники росту втомною тріщини, встановлено високий та вельми високий зв'язок з K_{fc} та K_{th} відповідно. Роль домішкових елементів сірки і фосфору потребує подальших досліджень для уточнення та пояснення їх впливу.

2. Аналіз значень коефіцієнтів парної лінійної кореляції Пірсона дозволив встановити зв'язок між характеристиками статичної міцності, пластичності, твердості та ударної в'язкості. Для кількох пар характеристик встановлено значення коефіцієнта Пірсона на рівні 0,99 (K_{th} та відносне подовження, K_{th} та ударна в'язкість, K_{fc} та відносне звуження, K^* та твердість, K^* та границя міцності). Критерій n є найменш чутливим до змін інших механічних властивостей, показано, що лише відносне подовження та ударна в'язкість мають високий зв'язок з цією характеристикою.

ЛІТЕРАТУРА

1. Branco R., Costa J.D., Borrego L.P., Berto F., Razavi N., Macek W. Comparison of different one-parameter damage laws and local stress-strain approaches in multiaxial fatigue life assessment of notched components. *International Journal of Fatigue*. 2021. Vol. 151. P. 106405. <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2021.106405>
2. Fang X.-Y., Huang W., Yang X.-F., Wang J.-G. Effects of temperature on fatigue cracks initiation and propagation for a high-speed railway wheel rim steel. *Engineering Failure Analysis*. 2020. Vol. 109. P. 104376. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2020.104376>
3. Ma L., Guo J., Liu Q.Y., Wang W.J. Fatigue crack growth and damage characteristics of high-speed rail at low ambient temperature. *Engineering Failure Analysis*. 2017. Vol. 82. P. 802-815. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2017.07.026>
4. Nejad R.M., Berto F. Fatigue fracture and fatigue life assessment of railway wheel using non-linear model for fatigue crack growth. *International Journal of Fatigue*. 2021. Vol. 153. P. 106516. <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2021.106516>
5. Sakalo V., Sakalo A., Rodikov A., Tomashevskiy S. Computer modeling of processes of wear and accumulation of rolling contact fatigue damage in railway wheels using combined criterion. *Wear*. 2019. Vol. 432–433. P. 102900. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2019.05.015>

REFERENCES

1. Branco, R., Costa, J.D., Borrego, L.P., Berto, F., Razavi, N., & Macek, W. (2021) Comparison of different one-parameter damage laws and local stress-strain approaches in multiaxial fatigue life assessment of notched components. *International Journal of Fatigue*, 151, 106405. <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2021.106405>
2. Fang, X.-Y., Huang, W., Yang, X.-F., & Wang, J.-G. (2020). Effects of temperature on fatigue cracks initiation and propagation for a high-speed railway wheel rim steel. *Engineering Failure Analysis*. 2020. Vol. 109. P. 104376. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2020.104376>
3. Ma, L., Guo, J., Liu, Q.Y., & Wang, W.J. (2017). Fatigue crack growth and damage characteristics of high-speed rail at low ambient temperature. *Engineering Failure Analysis*, 82, 802-815. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2017.07.026>

4. Nejad, R.M., Berto, F (2021). Fatigue fracture and fatigue life assessment of railway wheel using non-linear model for fatigue crack growth. *International Journal of Fatigue*, 153, 106516. <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2021.106516>
5. Sakalo, V., Sakalo, A., Rodikov, A., Tomashevskiy, S. (2021). Computer modeling of processes of wear and accumulation of rolling contact fatigue damage in railway wheels using combined criterion. *Wear*, 432–433, 102900. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2019.05.015>

Received 13.05.2025.

Accepted 16.05.2025.

Correlational studies of the kinetics of fatigue destruction of railway wheel metal in the delivery condition with different strength levels

Correlation analysis allows you to establish the presence of a linear relationship between a change in one of the characteristics of a system and a change in another characteristic of the same system. Correlation studies are especially important for data analysis when the sample is limited. For railway metal products, the ability to predict fatigue crack growth characteristics and fatigue failure prediction is important because it is related to safety issues. Conducting long-term tests under multi-cyclic loading conditions is laborious and expensive, and their implementation is not always possible in production conditions. At the same time, the chemical composition and service mechanical properties of a batch of wheels are always known. The purpose of the work is to establish the influence of the main chemical components of carbon steel and mechanical characteristics determined during tensile, hardness, and impact tests on crack growth rates under cyclic loading conditions based on correlation analysis. According to the results of the analysis of the coefficients of the pairwise linear correlation between the content of the main chemical elements in the steel and the fatigue crack growth indicators, a very high negative relationship K_{th} (the maximum value of the stress intensity coefficient, at which the crack does not develop during a given number of cycles) and K_{fc} (the stress intensity factor at which the specimen collapses, this value is achieved at maximum compression of plastic deformation and fracture by normal separation) with a change in carbon content, and for n (tangent of the slope of the straight line on the linear, linear section of the kinetic diagram of fatigue fracture, which characterizes the rate of increase in the crack growth rate) – a high negative correlation with the change in the manganese content, K^* (stress intensity coefficient at a crack growth rate of 10^{-7} m/cycle) – with the change in the vanadium content, but at the same time, a very high positive relationship was established between K^* and the content of silicon and sulfur, with n – the content of phosphorus. The value of the Pearson coefficient was established at the level of 0.99 for such pairs of characteristics: K_{th} and elongation, K_{th} and impact strength, K_{fc} and shrinkage, K^* and hardness, K^* and ultimate strength) Criterion n is the least sensitive to changes in other mechanical properties, it is shown that only elongation and impact strength have a high correlation with this characteristic. Further research is needed to establish the relationship with the change in impurity elements and to establish functional patterns of the influence of characteristics on fatigue crack growth rates.

Keywords: correlation analysis, fatigue fracture, fatigue crack growth, chemical composition, mechanical properties, railway wheel

Бабаченко Олександр Іванович - член-кореспондент, докт. техн.наук, директор Інституту чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України.

Подольський Ростислав Вячеславович – докт. філософ., науковий співробітник Інституту чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України.

Кононенко Ганна Андріївна - докт. техн. наук, ст. досл., вчений секретар Інституту чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України.

Сафронова Олена Анатоліївна – молодший науковий співробітник Інституту чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України.

Сафронів Олександр Леонідович - науковий співробітник Інституту чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України.

Babachenko Oleksandr - corresponding member, Dr. Technical Sciences, Director of the Institute of Iron and Steel of Z.I. Nekrasov NAS of Ukraine.

Podolskyi Rostyslav – PhD, researcher of the Institute of Iron and Steel of Z.I. Nekrasov NAS of Ukraine.

Kononenko Ganna - Doct. technical science, sen.researcher, scientific secretary of the Institute of Iron and Steel of Z.I. Nekrasov NAS of Ukraine.

Safronova Olena – junior researcher of the Institute of Iron and Steel of Z.I. Nekrasov NAS of Ukraine.

Safronov Oleksandr - researcher of the Institute of Iron and Steel of Z.I. Nekrasov NAS of Ukraine.