

Л. С. НОВОГРУДСЬКИЙ, М. Я. ОПРАВХАТА (Інститут проблем міцності ім. Г. С. Писаренка НАН України), Л. В. ЗАЙЦЕВА (Державний науково-дослідний центр залізничного транспорту України)

## ПРО ВПЛИВ ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ НА МЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕЙКОВОЇ СТАЛІ

У статті наведені результати досліджень механічних характеристик рейкової сталі після її тривалої експлуатації. Наведені значення механічних характеристик сталі в поперечному та поздовжньому напрямку відносно прокату. Показано, що дія електричного струму викликає зміну механічних характеристик рейкової сталі.

В статье представлены результаты исследований механических характеристик рельсовой стали после длительной эксплуатации. Приведены значения механических характеристик стали в поперечном и продольном направлении относительно проката. Показано, что действие электрического тока вызывает изменение механических характеристик рельсовой стали.

In the paper the results of studies of mechanical properties of rail steel after its long-term operation are presented. The values of steel mechanical properties in transverse and longitudinal direction relative to rolling are given. It is demonstrated that the electric current modifies the mechanical properties of rail steel.

### Вступ

Коректна оцінка несучої здатності конструкції неможлива без врахування сумарного впливу всіх факторів, що діють на неї в процесі експлуатації. До окремої категорії високонавантажених систем, що працюють при складному поєднанні різноманітних динамічних процесів і діючих факторів, можна віднести електрифікований рейковий транспорт. На сучасному етапі розвитку транспортних систем перед ними ставиться безліч вимог по забезпеченню міцності, довговічності, надійності, високих економічних показників та, насамперед, безпечності в роботі при здійсненні пасажирських та вантажних перевезень. Збільшення обсягів перевезень залізничним транспортом відбувається за рахунок подовження рухомого складу та зменшення часу попутного слідування між поїздами. Такі заходи приводять до підвищення рівня силового навантаження, яке сприймає рейкове полотно, та густини тягового струму, що протікає через контактну зону колесо-рейка і діє на рейковий матеріал, який циклічно деформується (рис. 1) [1, 2].

Термін контакту, тобто тривалість дії електричного струму на певний об'єм матеріалу рейки, визначається швидкістю руху транспорту, його навантаженістю, спрацьованістю головки рейки й колеса. Загалом, можна вважати, що в зоні контакту «колесо-рейка» діє імпульс електричного струму, тривалість якого визначається означеними вище факторами.

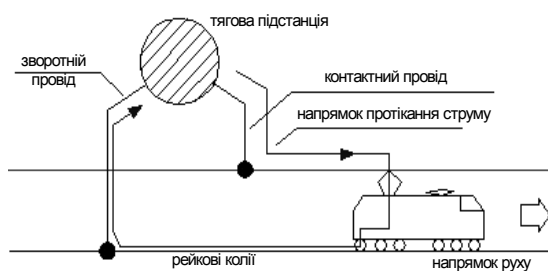


Рис. 1. Схема живлення тяговим струмом електровоза

При досягненні певного силового навантаження електричний струм значної густини здатний викликати пластифікацію металевих матеріалів при напруженнях менших, ніж їх границя плинності. Явище зниження опору деформуванню металів, їх пластифікація та інше, при дії імпульсів електричного струму, що не викликає макронагріву матеріалу, отримало назву «електропластичного ефекту», а сама деформація, яка виникає внаслідок цього ефекту – «електропластичної» [3–6]. За попередніми оцінками [7], параметри механічної навантаженості і густини тягових струмів достатні для протікання в рейках електропластичної деформації.

При експлуатації у результаті роботи верхніх шарів головки рейки в умовах об'ємного напруженого стану і циклічного навантаження відбувається нагартування поверхні кочення, що приводить до зменшення пластичності цих шарів в залежності від рівня напруження.

Подальше використання таких рейок може призвести до викришування і розшарування частини металу на робочій ділянці головки та зародження тріщин в зоні розмежування, що ростуть як до поверхні кочення, так і від неї [8, 9].

Здатність матеріалів опиратися появі та росту тріщин під дією експлуатаційних навантажень визначають за характеристиками тріщиностійкості. При дії електричного струму в верхів'ї тріщини відбувається його концентрація, що може сприяти як розвитку тріщини, так і її гальмуванню. Так, при дослідженні сталі 03X20H16AG6 при низьких температурах встановлено, що дія імпульсного електричного струму призводить до того, що пластичні деформації у верхів'ї тріщини досягають граничного значення при напруженнях менших, ніж без дії струму. Тобто розвиток тріщини відбувається при менших напруженнях, про що свідчить і зменшення значень характеристик тріщиностійкості сталі при дії ІЕС ~ на 15 % [10].

За останні роки були проведені всебічні дослідження впливу електричного струму на механічні властивості металевих матеріалів різних класів у широкому діапазоні температур в різноманітних умовах навантаження [11, 12]. Внаслідок таких досліджень було зокрема встановлено, що характер та ступінь впливу електричного струму на механічні характеристики та характеристики руйнування суттєво залежать від класу матеріалів, що піддаються його дії. На сьогодні відсутня інформація про закономірності розвитку пластичної деформації рейкових сталей при дії електричного струму. Первинні результати вивчення впливу імпульсів електричного струму на характеристики статичної міцності сталей і наведені в цій публікації.

### Методика і зразки для дослідження

Випробування проводили на установці УТН-10, яка призначена для експериментального дослідження впливу електричного струму на механічні властивості матеріалів [13]. В процесі активного навантаження через зразок, що деформується, пропускали імпульси електричного струму (ІЕС) густиною  $254 \text{ А/мм}^2$  і тривалістю  $10^{-2}$  с при наперед визначеному рівні навантаження. Першим імпульсом електричного струму діяли на рівні 0,3 від  $P_{0,2}$  (навантаження, що відповідає  $\sigma_{0,2}$ ). Подальша дія ІЕС здійснювалась з кроком 0,1 від  $P_{0,2}$  до моменту руйнування зразка і на кожному рівні пропускався один імпульс електричного струму.

П'ятикратні циліндричні зразки діаметром робочої частини  $d = 4 \text{ мм}$  (рис. 2) виготовляли із рейки Р65 виробництва «Азовсталь», що була знята з Шепетівської ділянки Південно-Західної залізниці в 2003 р. з напрацюванням в 875 т-км брутто. Вирізку зразків у відповідності із ГОСТ 18267-82 «Рельсы железнодорожные типов Р50, Р65 и Р75 широкой колеи, термообработанные путем объемной закалки в масле. Технические условия» [14] виконували в по-вздовжньому та поперечному напрямку до напрямку прокату.

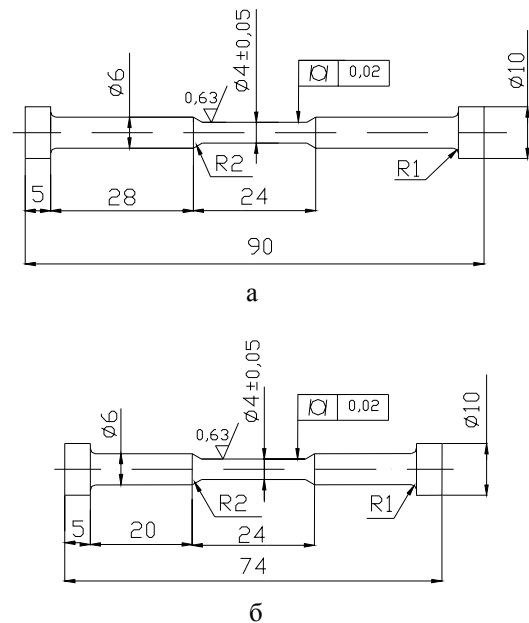


Рис. 2. Циліндричні зразки для випробувань, вирізані в повздовжньому а) та в поперечному б) напрямку до напрямку прокату

### Результати досліджень

За результатами проведених досліджень визначено характеристики статичної міцності і пластичності рейкової сталі у двох напрямках по відношенню до повздовжньої осі рейки у вихідному стані та при дії імпульсів електричного струму. Значення характеристик наведено у табл. 1.

Якщо вважати, що до початку використання механічні характеристики рейки задовольняють вимогам ГОСТ 18267-82, то можна стверджувати, що тривала експлуатація не призвела до зниження їх значень нижче встановленого рівня та зміни характеру анізотропії характеристик пластичності. За значеннями границь міцності та умовної границі плинності характер анізотропії змінився: міцність у поперечному напрямі стала більшою, ніж у повздовжньому,

що вказує на більш суттєве напрацювання рейки у поперечному напрямку, ніж у повздовжньому.

Дія ІЕС на зразки, що вирізані у повздовжньому напрямку, призводить до зниження значень границі міцності і умовної границі плинності сталі на 16,7 % і 27,8 %, відповідно, і практично не змінює значення відносного видовження і звуження після розриву (рис. 3). При дії імпульсів електричного струму на зразки, що виготовлені поперек напрямку прокату рейки, спостерігається дещо інша картина.

Таблиця 1

**Механічні характеристики рейкової сталі**

Напрямок вирізки	Дослідні значення				За ГОСТ 18267-82, не менше			
	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %
Повздовжній	$\frac{1161}{967}$	$\frac{706}{510}$	$\frac{13,5}{15,0}$	$\frac{35,0}{34,0}$	1176	794	6,0	25,0
Поперечний	$\frac{1189}{1206}$	$\frac{762}{809}$	$\frac{5,5}{8,0}$	$\frac{10,0}{17,5}$	1098	755	2,5	6,0

Примітка. В знаменнику – при дії ІЕС.

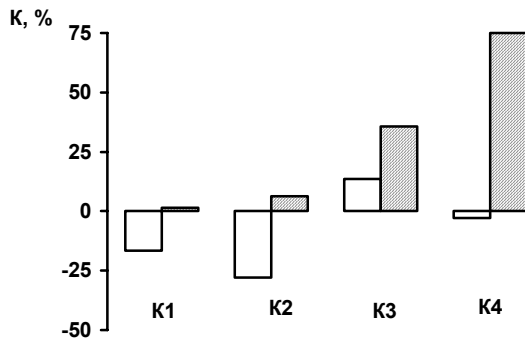


Рис. 3. Відносна зміна значень механічних характеристик рейкової сталі при дії ІЕС:

$$K1 - \frac{\sigma_{B \text{ струм}} - \sigma_B}{\sigma_B}; K2 - \frac{\sigma_{0,2 \text{ струм}} - \sigma_{0,2}}{\sigma_{0,2}};$$

$$K3 - \frac{\delta_{\text{струм}} - \delta}{\delta}; K4 - \frac{\psi_{\text{струм}} - \psi}{\psi}.$$

Заштриховано – значення для зразків поперечного напрямку вирізки

По-перше, дія ІЕС несуттєво впливає на міцність сталі, значно змінюючи її пластичність, див. рис. 3. По-друге, в цьому випадку не ототожнюється і характер впливу імпульсів електричного струму – значення характеристик міцності і характеристик пластичності зростають порівняно із аналогічними без дії ІЕС.

Оскільки рейки були встановлені на повороті дистанції, тобто працювали в умовах значної нерівнозначності напруженого стану, то вихідна анізотропія механічних властивостей після

експлуатації зазнала змін. Пряма анізотропія\* для усіх видів характеристик у вихідному стані змінюється на зворотну для характеристик міцності, залишаючись прямою для характеристик пластичності, табл. 2.

Таблиця 2

**Коефіцієнти анізотропії механічних характеристик**

	$A\sigma_B$ , %	$A\sigma_{0,2}$ , %	$A\delta$ , %	$A\psi$ , %
За ГОСТ 18267-82	7,1	5,2	140,0	316,1
Після експлуатації	-2,4	-8,0	140,0	250,2
При дії ІЕС	-24,7	-58,7	76,0	93,1

Дія імпульсів електричного струму поглиблює різницю в значеннях характеристик міцності і зближує значення характеристик пластичності за напрямками, див. табл. 2. Особливу увагу слід звернути на зниження рівня умовної границі плинності сталі у повздовжньому напрямку при дії ІЕС. Підвищена «чутливість» сталі до дії імпульсів електричного струму може стимулювати локальну пластичну деформацію рейок вздовж їх осі при напруженнях менших, ніж границя плинності рейкової сталі. Тим більш, що за даними досліджень [16], рі-

\* Пряма анізотропія – значення характеристик у повздовжньому напрямку більші, ніж у поперечному, зворотна – навпаки; ступінь анізотропії оцінюють коефіцієнтом анізотропії А, який дорівнює відношенню різниці між найбільшим і найменшим значенням характеристики до найменшого її значення [15].

вень робочих напружень в головці рейки при певних умовах досягає границі плинності.

### Висновки

Аналіз рівня експлуатаційних навантажень рейкових колій та характеру дії на них електричного струму дає підстави стверджувати про наявність умов, достатніх для протікання електропластичної деформації.

Експериментальні дослідження дозволили встановити суттєвий вплив імпульсів електричного струму на механічні властивості рейкової сталі після її довготривалої експлуатації, рівень і характер якого залежать від напрямку вирізки зразків.

Отримані первинні результати вказують на необхідність подальших досліджень впливу ІЕС на механічну поведінку матеріалів для високонавантажених струмопровідних елементів рейкових колій.

### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Котельников, А. Оптимизация параметров цепей обратного тока тягового электроснабжения в условиях интенсификации движения и повышения весовых норм поездов [Текст] / А. Котельников, А. Наумов, Е. Закиев // Вестник ВНИИЖТ. – 2006. – № 1. – С. 4-9.
2. Захаров, С. М. Обобщение мирового опыта тяжеловесного движения в области колес, рельсов и их взаимодействия [Текст] // Железные дороги мира. – 2002. – № 8. – С. 7-10.
3. Кирьянчев, Н. Е. Электропластическая деформация металлов (обзор) [Текст] / Н. Е. Кирьянчев, О. А. Троицкий, С. А. Клевцур // Проблемы прочности. – 1983. – № 5. – С. 101-105.
4. Стрижало, В. А. Прочность материалов криогенной техники при электромагнитных воздействиях [Текст] / В. А. Стрижало, Л. С. Новогрудский, Е. В. Воробьев. – К.: Наук. думка, 1990. – 160 с.
5. Новогрудский, Л. С. Соппротивление деформированию металлов при действии импульсов электрического тока в условиях криогенных температур [Текст] // Вестник НТУУ «Киевский политехнический институт». Серия «Машиностроение». – 2002. – № 43. – С. 17-18.
6. Копанев, А. А. К вопросу о природе электропластического эффекта в металлах [Текст] / А. А. Копанев // Проблемы прочности. – 1991. – № 1. – С. 47-50.

7. Новогрудский, Л. С. Особенности механического stanu рейок з урахуванням дії силового поля і електричного струму [Текст] / Л. С. Новогрудський, М. Я. Оправхата, Л. В. Зайцева // Вісник Східноукраїнського нац. ун-ту ім. В. Даля. – № 8 [114], ч. 2. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2007. – С. 165-168.
8. Ахмедзянов, М. Х. О механизме развития контактно-усталостных повреждений в рельсах [Текст] / М. Х. Ахмедзянов // Вестник ВНИИЖТ. – 2003. – № 2. – С. 51-53.
9. Нормативно-техническая документация / МПС РФ [Текст]. – М.: Транспорт, 1993. – 56 с.
10. Новогрудский, Л. С. Влияние импульсов электрического тока на особенности развития разрушения стали 03Х20Н16АГ6 при температуре 4,2 К [Текст] / Л. С. Новогрудский, А. А. Копанев // Проблемы прочности, 1991. – № 1. – С. 45-47.
11. О влиянии электромагнитных воздействий на особенности деформирования и разрушения конструкционных сплавов в интервале температур от 293 до 4,2 К [Текст] / О. Я. Значковский и др. // V Всесоюзн. съезд по теор. и прикл. механике (Алма-Ата, 27 мая – 3 июня 1981 г.): Аннот. докл. – Алма-Ата: Наука КазССР, 1981. – С. 166-167.
12. Физические основы и технологии обработки современных материалов. Теория, технология, структура и свойства. – В 2 т. [Текст] / под ред. О. А. Троицкого. – М.: Ин-т компьютерных исследований, 2004.
13. Новиков, Н. В. Установка для исследования влияния электрического тока на механические характеристики металлов в интервале температур 4,2 – 300 К [Текст] / Н. В. Новиков, Л. С. Новогрудский // Завод. лаб., 1979. – 45, № 4. – С. 374-375.
14. ГОСТ 18267-82: Рельсы железнодорожные типов Р50, Р65 и Р75 широкой колеи, термообработанные путем объемной закалки в масле. Технические условия [Текст]. – Введ. 01.01.2005 г.
15. Микляев, П. Г. Анизотропия механических свойств металлов [Текст] / П. Г. Микляев, Я. Б. Фридман. – М.: Металлургия, 1986. – 224 с.
16. Пашолок, И. Л. О возможном повышении износостойкости железнодорожных колес [Текст] / И. Л. Пашолок, В. Б. Харитонов // Вестник ВНИИЖТ. – 1997. – № 1. – С. 32-36.

Надійшла до редколегії 17.07.2008.