

О.А. КУЗІН, Т.М. МЕЩЕРЯКОВА, кандидати техн. наук (Львівський факультет ДНУЗТ), М.О. КУЗІН, інж. (Львівська залізниця)

## Вплив мікроструктури матеріалу костилів на їх руйнування

**Ключові слова:** залізнична колія, костилі, руйнування, міцність, твердість, пластичність, працездатність, мікроструктура, розмір зерна, ферит, перліт, відмаништеттова структура, експлуатаційний ресурс.

Старіння металовиробів верхньої будови колії вимагає постійної уваги щодо підтримання їх працездатності. Важливими деталями, які забезпечують жорсткість колії на дерев'яних шпалах, є костилі. Їх передчасний вихід з ладу пов'язаний із невизначеністю впливу мікроструктури, яка формується в процесі виготовлення цих деталей, на працездатність та експлуатаційну надійність.

Зниження витрат на технічне утримання колії, підвищення безпеки руху вимагають подальших досліджень впливу структури деталей верхньої будови колії на їх залишковий ресурс.

Авторами проведені дослідження костилів розміром 165x16x16 мм, які зруйнувались під час експлуатації в кривих ділянках колії з радіусами 230...350 м (рис. 1), а також нові костилі.

Дослідженнями встановлено, що руйнування костилів відбувалося на ділянках з найвищим рівнем навантажень [1]. Костилі руйнувались на віддалі 50...70 мм від поверхні головки (рис. 2). Фрактографічними дослідженнями встановлено, що поверхні зламів складались із ділянок квазівідриву з мінімальними слідами пластичної деформації. Це свідчить про те, що руйнування відбувалося в умовах дії напруженого стану, наближеного до всебічного розтягу. На окремих ділянках поверхні зламів зруйнованих костилів виявляються дрібні блискучі фасетки з мінімальними слідами пластичної деформації, що характерне для крихкого руйнування.

Металографічні дослідження, визначення твердості й механічних характеристик проводилися на зраз-

ках, вирізаних з нових і зруйнованих костилів у процесі експлуатації. Хімічний склад проб стружки сталі досліджуваних костилів визначався аналітичним методом згідно з ГОСТ 22536.1...22536.6-87. Відбір проб для визначення хімічного складу здійсню-

вався згідно з ГОСТ 7565-73 «Стали і сплави. Методи отбора проб». Результати аналізу костилів, виготовлених зі сталей Ст4кп і Ст4пс, наведені у табл. 1.

Середні значення твердості, отримані за методом Брінеля (кулька діаметром 5 мм, навантаження 750 кгс), наведені в табл. 2.

Визначення механічних властивостей при випробуваннях на розтягнення проводили на машині УМ-5 на зразках типу III (ГОСТ 1497-88) діаметром 6 мм. Результати випробування представлено в табл. 3.

Зразки № 1 і № 3 за властивістю міцності відповідають сталі Ст4пс, а зразок № 2 — сталі Ст4кп. В той же час, за характеристиками пластичності зразок № 3 не відповідає вимогам [2], ГОСТ 380-88 і ГОСТ 380-94. Матеріал костилів (зразок № 2), який

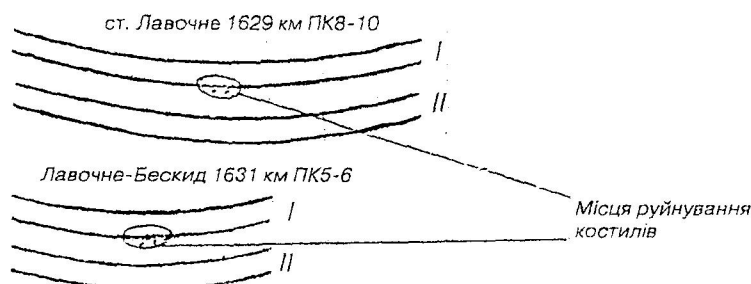


Рис. 1. Місця руйнування костилів на перевальній ділянці колії.

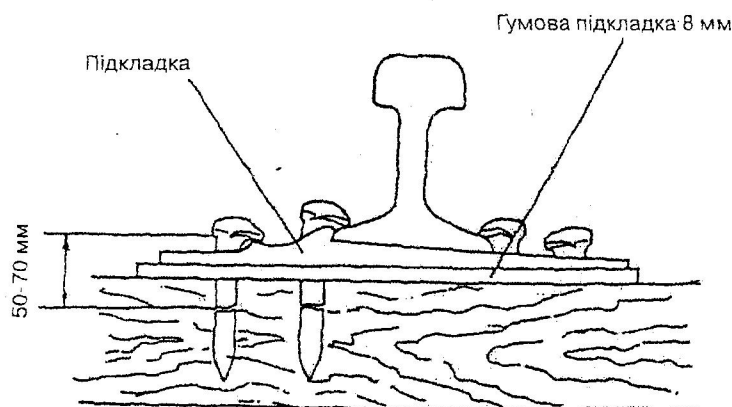


Рис. 2. Схема дислокації тріщин у зруйнованих костиліях.

Таблиця 1

Результати визначення хімічного складу костилів колії

№ проб	Характеристика костилів	Вміст елементів, %					Марка сталі	ГОСТ
		C	Si	Mn	S	P		
1	Зруйнований	0,20	0,05	0,41	0,045	0,04	Ст4кп	380-84
2	Новий	0,20	0,16	0,55	0,046	0,04	Ст4пс	380-84

Твердість досліджених костилів

№ зразка	Характеристика зразка	НВ
1	Вирізаний вздовж зруйнованого костиля	149
2	Вирізаний поперек зруйнованого костиля при експлуатації	163
3	Вирізаний вздовж зруйнованого костиля при експлуатації	126
4	Вирізаний поперек зруйнованого костиля при експлуатації	126
5	Вирізаний вздовж нового костиля	143
6	Вирізаний поперек нового костиля	131

Таблиця 2

Механічні властивості костилів колії

№ зразка	Характеристика костиля	$\sigma_s$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\delta$ , %	$\Psi$ , %	Характер руйнування
1	Новий	490	27	62	в'язкий злам
2	Зруйнований	400	28	66	в'язкий злам
3	Зруйнований	600	14	51	в'язкий злам із деякою кількістю фасеток сколу

Таблиця 3

Кількість фериту і перліту в структурі досліджених костилів

№ зразка	Характеристики костиля і шліфу	Ферит, %	Перліт, %
1	Новий костиль:		
	шліф поздовжній	61	39
2	Зруйнований костиль:		
	шліф поздовжній	57	43
3	Зруйнований костиль:		
	шліф поздовжній	58	42
	шліф поперечний	38	62
	шліф поперечний	48	52

Таблиця 4

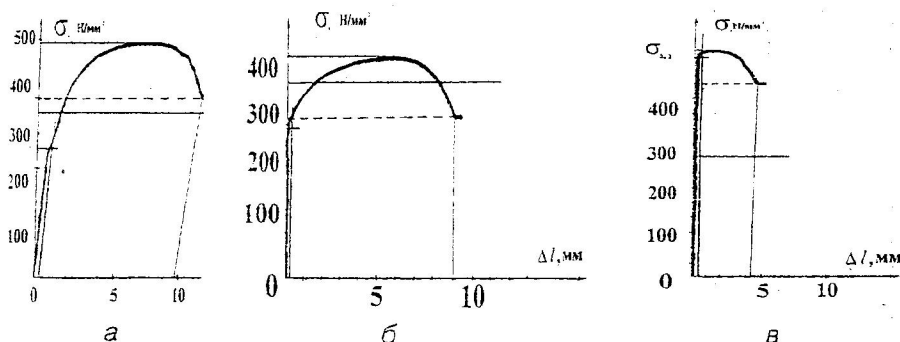


Рис. 3. Криві розтягнення зразків: а — № 1; б — № 2; в — № 3.

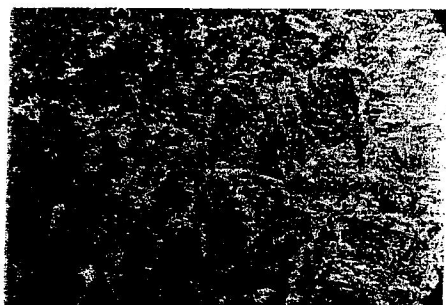


Рис. 4. Мікроструктура матеріалу нового костиля (поздовжній шліф).

не був в експлуатації (рис. 3, а), характеризується достатньою міцністю, пластичністю і роботою, яка витрачається на його деформацію до руйнування.

Матеріал зразка № 2 одного з костилів, що зруйнувалися в експлуатації, має низьку міцність (рис. 3, б). Матеріал зразка № 3 відповідає вимогам ГОСТ 380–88 (рис. 3, в), але для зразків № 2 і № 3 характерним є низький запас пластичності, тобто різниця між границею міцності і границею текучості є суттєво нижчою, ніж в матеріалі нового костиля. Це свідчить про вичерпання пластичності в умовах експлуатації. Особливо низький рівень відносного видовження і звуження в зразку № 3 свідчить про повне вичерпання запасу пластичності його матеріалу (табл. 3). Вивчення зламів зразків показало, що руйнування, в основному, було в'язким. На поверхні зламу зразка № 1

ямка видовжена і однорідна, що свідчить про відсутність дефектів структури, які сприяють процесам зародження і поширення тріщин. у зразку № 2 і особливо в зразку № 3 ямки неоднорідні, що свідчить про неоднорідність структур їх матеріалів [3].

Аналіз мікроструктури проводили за допомогою металографічного мікроскопу MMP-2P із збільшенням від 100 до 1000, а травлення шліфів — 4 % розчину  $\text{HNO}_3$  в етиловому спирті.

На нетравлених шліфах оцінювали забрудненість сталі неметалеви-ми включеннями. Спостерігалися окремі включення темного кольору, групи включень, а також світлі прозорі слабодиформовані включення. Неметалеві включення в нових і зруйнованих костилях мають приблизно однакові розміри. В цілому бал оксидів, сульфідів та дрібних силікатів для нових зруйнованих костилів складає 4–5, згідно зі стандартною шкалою ГОСТ 1778–80. В деяких шліфах, що виготовлені з костилів, зруйнованих під час експлуатації, зустрічаються гострокутні включення, які можна віднести до нітридів.

Мікроструктура шліфів після травлення представлена на рис. 4–9 (при 124-кратному збільшенні). В нових костилях виявляється ферито-перлітна структура з елементами перегріву, причому ділянки фериту утворюють суцільні смужки по границях перлітних колоній (рис. 4). Розмір ділянок перліту, навколо яких знаходяться феритні смужки, складають 70...80 мкм. Наявність такої структури свідчить про те, що гаряче об'ємне штампування проводилось при підвищених температурах без наступної перекристалізації, необхідної для подрібнення структури.

Аналіз мікроструктури костилів зруйнованих в експлуатації показав, що в них виявляється ферито-перлітна структура (рис. 5), в якій вміст перліту є більшим, ніж у нових костилях (табл. 4), але в деяких з них вміст перліту відповідає його кількості в нових костилях (рис. 6, табл. 4). В тих костилях, у яких вміст перліту є меншим, розмір зерен фериту і характер розташування перлітних ділянок по границях зерен фериту вказують на дещо завищену температуру гарячого об'ємного штампування. В костилях, зруйнованих під час експлуатації, що містили більшу кількість перліту, чітко виявляється відманш-

теттова структура. Розмір ділянок перліту, навколо яких розташовані феритні смужки, складає 120...150 мкм. Наявність такої структури свідчить про значний перегрів деталей при штампуванні і наступне повільне охолодження після штампування (рис. 5, 6).

Аналіз механічних властивостей показав, що при зменшенні кількості перліту зменшується міцність матеріалу (табл. 3, зразок № 2). У разі збільшення кількості перліту міцність зростає при збереженні достатньої пластичності, а при наявності відманштеттової структури зростає міцність, але пластичність є настільки низькою, що не відповідає вимогам стандартів, до матеріалів костилів (ГОСТ 380-88, ГОСТ 380-94).

Дослідження поширень тріщин у костилях, зруйнованих в експлуатації, вказує на негативний вплив відманштеттової структури на ці процеси. Тріщини в костилях з такою структурою утворюються на феритних стиках зерен, які потім поширюються через перлітні ділянки. Поширення тріщин відбувається на границях розділу ферит-перлітних ділянок (рис. 7).

Для підтвердження негативного впливу відманштеттової структури на опір руйнування було проведено моделювання руйнування. Встановлено, що при натисненні на поверхню зразка кулькою діаметром 5 мм із зусиллям 750 кгс, біля границі відбитку утворюється зона пластичної деформації, в якій ділянки фериту розміщуються паралельно границі відбитку. В тих місцях, де відбувається вичерпування пластичних властивостей фериту, утворюються мікротріщини, які розміщуються як паралельно до границі відбитку, так і під кутом до неї (рис. 8). Таким чином, утворення тріщин у зоні пластичної деформації в структурі матеріалу деталей, що експлуатуються, при натисненні на їх поверхню кулькою можна використати для прогнозування залишкового ресурсу костилів залізничної колії.

Слід відмітити, що на поверхні костиля, який не був в експлуатації, навіть при наявності перегріву під час штамповки, утворення тріщин в зоні пластичної деформації навколо відбитку кульки не виявляється (рис. 9).

Проведені комплексні дослідження хімічного складу, мікроструктури і механічних властивостей костилів показали, що сталі, які використовуються для їх виготовлення, за структурою, механічними властивостями

і умовами розкислення не є ідентичними.

Мікроструктурними дослідженнями встановлено, що в костилях кількість перліту знаходиться в межах від 39 до 62 %, що свідчить про суттєву різницю вмісту вуглецю в сталях, з яких вони виготовлені. В нових костилях і костилях, зруйнованих в експлуатації, розмір зерна є завищений і складає 80—120 мкм, що суттєво знижує їх механічні властивості. Наявність відманштеттової структури в костилях, зруйнованих в експлуатації, свідчить про значний перегрів деталей в процесі виготовлення, а наступне повільне охолодження після технологічної обробки вказує на неправильний вибір технологічних режимів. Руйнування костилів в експлуатації відбувається у зоні максимальних згинаючих напружень і пов'язане з вичерпанням пластичності феритних ділянок відманштеттової структури, яке призводить до утворення і поширення тріщин.

Автори пропонують метод моделювання впливу механічного навантаження на зміни в структурі матеріалу, який дає можливість оцінювати залишковий ресурс костилів. Зокрема, для оцінки надійності костилів слід вилучати їх з експлуатації і оцінювати вплив зовнішнього навантаження на структуру. У випадку утворення тріщин в зоні пластичної деформації навколо відбитку кульки можна вважати, що деталь вичерпала свій експлуатаційний ресурс. Відсутність тріщин у зоні пластичної деформації навколо відбитку кульки свідчить про можливість продовження терміну експлуатації деталей.

Підвищення працездатності та експлуатаційної надійності костилів забезпечується усуненням перегріву деталі під час виготовлення, що призводить до утворення відманштеттової структури, подрібненням зерна шляхом повторного нагріву деталей після штампування, а також використанням сталей типу 30X, які пройшли гартування і високий відпуск, для виготовлення костилів, що встановлюються в кривих ділянках малих радіусів.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Каменский В.Б., Горбов Л.Д. Справочник дорожного мастера и бригадира пути. М.: Транспорт, 1985. — 486 с.
2. Марочник сталей и сплавов / В.Г. Сорокин, А.В. Волосникова, С.А. Веткин и др. Под. общ. ред. В.Г. Сорокина. — М.: Машиностроение, 1989. — 640 с.
3. Кузін О.А., Яцюк Р.А. Металознавство та термічна обробка металів. К.: Основа, 2005. — 306 с.

Надійшла до редакції 11.09.06.

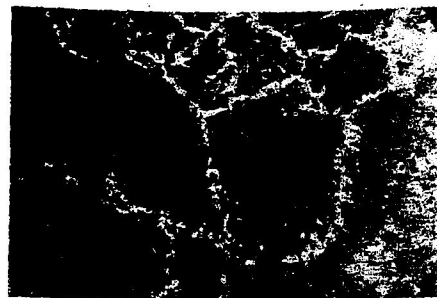


Рис. 5. Мікроструктура матеріалу зруйнованого костиля (поздовжній шліф, зразок № 3, табл. 4).



Рис. 6. Мікроструктура матеріалу зруйнованого костиля (поздовжній шліф, зразок № 2, табл. 4).



Рис. 7. Поширення тріщини в костілі з відманштеттовою структурою.



Рис. 8. Утворення тріщини в зоні пластичної деформації біля відбитку кульки в матеріалі костиля з відманштеттовою структурою.



Рис. 9. Мікроструктура в зоні пластичної деформації біля відбитку кульки в новому костілі.