

АНАЛІЗ БЕЗПЕКИ РУХУ В КУРСІ ОХОРОНИ ПРАЦІ ЗАЛІЗНИЧНИХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДІВ

Кузін Олег Анатолійович
кандидат технічних наук, доцент
Національний університет „Львівська
політехніка”, Мещерякова Тетяна Миколаївна
кандидат технічних наук, доцент
Дніпропетровський національний університет
залізничного транспорту,
Яцюк Ростислав Арсенійович
кандидат технічних наук, доцент
Національний університет „Львівська
політехніка”, Кузін Микола Олегович
кандидат технічних наук, доцент
Дніпропетровський національний університет
залізничного транспорту

Вступ. Безпека руху є основною умовою нормальної експлуатації залізниць, успішного перевезення пасажирів і вантажів. Це забезпечується утриманням в постійній працездатності всіх залізничних споруд і пристроїв, обладнання, механізмів і деталей діючого рухомого складу.

Під час проходження виробничої практики на підприємствах Укрзалізниці студенти знайомляться з виробничими процесами ремонту деталей, які в багатьох випадках проводяться для відновлення їх геометричних розмірів без врахування структурних змін, що суттєво впливають на їх експлуатаційні властивості.

В той же час сучасний стан розвитку залізничного транспорту вимагає використання нових науково – обґрунтованих рекомендацій по можливості безпечної експлуатації окремих деталей, які відпрацювали розрахунковий термін і пройшли відновлюючий ремонт.

Але такий підхід вимагає створення принципово нових методик визначення фактичних властивостей матеріалів встановлення закономірностей, що описують зміну властивостей від умов експлуатації. В зв'язку із цим важливе значення має розробка єдиних підходів до проблеми залишкового ресурсу деталей і зокрема тих, що експлуатуються в області низьких кліматичних температур. Такий підхід вимагає визначення їх ресурсу на основі контролю фактичного стану.

Проблема зниження ресурсу деталей і вузлів рухомого складу, які можуть знаходитись в граничному стані, протермінування їх роботи за границі розрахункових параметрів поставило ряд додаткових задач, рішення яких до цього часу не знайдено.

Постановка задачі. В багатьох випадках аварії рухомого складу супроводжуються виникненням тріщин в зонах підвищеної концентрації напружень, в місцях локальної зміни механічних властивостей виробів – окрихчення. Таким чином, проблема аналізу безпечної експлуатації рухомого складу тісно пов'язана з вирішенням завдання аналізу кінетики тріщиноутворення, причин виникнення в матеріалі деталей різного виду дефектів, зміною структурного стану сталей, їх окрихченням в процесі експлуатації.

В даний час спостерігається певна невідповідність між науковими досягненнями в області механіки, нормованими розрахунками міцності і залишкового ресурсу

обладнання. Механічні властивості сталей, які використовуються в розрахунках розглядаються як константи матеріалу і не враховують змін локальної міцності в умовах неоднорідності хімічного складу сталі і напружено – деформованого стану.

У зв'язку з цим важливе значення має виявлення впливу структурних факторів в матеріалах, які призводять до змін механічних характеристик в локальних зонах. Поява пошкоджень і розвиток тріщин в місцях локальної зміни механічних властивостей в багатьох випадках пов'язані з перерозподілом домішкових атомів із тіла в границі зерен під час експлуатації, або відновлюючих ремонтах виробів. Традиційні підходи до розрахунків на міцність деталей рухомого складу, які використовуються в інженерній практиці, не приймають до уваги особливості механічної поведінки матеріалу в області зернограничних сегрегацій, яка може суттєво відрізнятись від поведінки матеріалу в цілому. Знання локальних механічних властивостей в зоні зародження і розвитку тріщин, де хімічний склад сталі суттєво відрізняється від середнього за рахунок сегрегації домішкових атомів, є принципово важливим для оцінки можливості розвитку макроскопічного пошкодження, яке призводить до втрати несучої здатності і руйнування конструктивного елемента.

В ряді досліджень [1] було показано, що границі зерен можна розглядати як окрему фазу, що характеризується двохвимірною структурою, а в границях зерен можливе утворення двохвимірних хімічних сполук. Параметром, який відрізняє граничні двохвимірні фази від об'ємних трьохвимірних – є поверхневий натяг σ .

Так як при експлуатації матеріалів елементи структури дають свій внесок в розсіяння енергії, то границі представляють собою не фіксовану фазу, а фазу, яка постійно змінюється за рахунок накопичення дефектів та їх перебудови. Це відбувається як фазові переходи другого роду. Бар'єр активації таких переходів долається при навантаженні матеріалу в процесі експлуатації. Кінетика фазових переходів із одного стану в інший визначає властивості границь і всього матеріалу в цілому.

Довготривала експлуатація деталей рухомого складу і особливо технологічні процеси, які використовуються при відновлюючих ремонтах деталей (зварювання, наплавлення) призводять до розгальмування дифузійних процесів. В результаті роль зернограничних сегрегацій в формуванні механічних властивостей матеріалів може стати вирішальною [2, 3].

Проведені розрахунки показують [4], що поблизу точки плавлення, коли розчинність атомів фосфору в залізі є максимальною при вмісті фосфору понад 0,05 масових % інтенсивність збагачення границь цим елементом може вирости у 230 разів. Ще в більшій ступені сегрегаційне окрихчення проявляється при нагріванні сплавів в температурному інтервалі 450 – 550 °C з наступним повільним охолодженням. Тобто в сталях на границях зерен можлива заміна зв'язків Fe – Fe на зв'язки Fe – P – Fe, які є більш слабкими, ковалентними. Це приводить до зниження зчеплення на границях зерен, механічної міцності системи в цілому, і робить необхідним врахування цього явища при проведенні розрахунків на міцність і визначенні залишкового ресурсу деталей рухомого складу.

Метою роботи є показати студентам можливість враховувати вплив нагрівів при температурних режимах, які реалізуються в умовах експлуатації і ремонтів рухомого складу, на формування пошкоджень в сталях, що використовуються на залізничному транспорті.

Результати досліджень та їх обговорення. Литі і деформовані маловуглецеві сталі широко використовуються для виготовлення деталей рухомого складу залізниць, які працюють в умовах дії знакозмінних і динамічних навантажень. Технологічна обробка заготовок супроводжується утворенням дефектів, які суттєво впливають на формування пошкоджень при експлуатації та функціональні властивості виробів.

Моделі механіки, які описують еволюцію механічних і структурних параметрів матеріалів в процесі деформування, мають в своїй основі представлення деформованого тіла як деякого однорідного середовища, що складається з двох взаємодіючих континуумів: матеріального континуума і континуума дефектів. Матеріальний континуум визначається тензором ефективних напружень і деформацій, що виникають від зовнішньої дії і від дії дефектів матеріалу. Континуум дефектів і тензор густини потоку відображають структурний стан матеріалу.

При обробці тиском маловуглецевих сталей суттєво змінюються як ефективні напруження, так і їх структурний стан – зростає густина дефектів кристалічної будови, витягуються зерна, відбувається орієнтування кристалічних осей, виникають залишкові напруження. Це приводить до зміни механічних властивостей. Причому зі збільшенням ступеня деформації границя текучості зростає швидше тимчасового опору, а коли обидві характеристики врівноважуються, стан матеріалу стає граничним, і при спробі продовжити деформацію він руйнується.

Досліджували заготовки товщиною 4 мм сталі типу 17Г1С (0,19 % С; 0,55% Si; 1,4% Mn; 0,40% Cr; 0,035% P; 0,040% S) після холодного прокатування.

Мікроструктурним аналізом встановлена присутність в сталі стрічкової структури, в якій ділянки перліту розміщені між витягнутими феритними зернами.

Дослідження механічних властивостей показали відсутність площини текучості на кривих розтягу плоских зразків при відносному видовженні сталі 4,2...5,7%, що вказує на її низьку пластичність.

Результати вимірювань твердості підтвердили дані випробовувань на розтяг і свідчать, що матеріал при прокатуванні отримав значне зміцнення і в поверхневому шарі вичерпав свою пластичність. Твердість на поверхні зразків складає НВ 229, а на глибині 10^{-4} м зменшується до НВ 187. При замірах твердості на поверхні заготовки виявлено, що біля відбитку проходить руйнування матеріалу.

Для підвищення технологічної пластичності заготовок після прокатування їх нагрівали до температур 400°C, 450°C, 500°C і 550°C з витримкою одна година. Після нагріву проводили їх охолодження у воді.

Результати вимірювань твердості і механічних властивостей подані в табл.1.

Таблиця 1.

Твердість і механічні властивості зразків після дорекристалізаційного відпалу

Номер Зразка	Температура відпалу, °С	Твердість, НВ	Границя міцності σ_B ,	Відносне видовження %	Відносне звуження %
1	400	223	606	8,5	52,7
2	450	212	621	9,6	52,0
3	500	202	612	10,8	54,2
4	550	207	598	11,0	53,9

Аналіз кривих розтягу показав, що після відпуску при температурах 400 °С і 450 °С немає площини текучості, що свідчить про низьку пластичність сталі. Після дорекристалізаційного відпалу при температурах 500 °С і 550 °С на кривих розтягу з'являються площини текучості, що вказує на підвищення пластичності сталі.

Зміна твердості після дорекристалізаційного відпалу свідчить, що процеси, які відбуваються в поверхневому шарі після відпалу проходять на глибині, яка відповідає глибині відбитка. Тобто, процеси зміцнення при прокатуванні і знеміцнення при

дорекристалізаційному відпалі відбуваються здебільшого в поверхневому шарі, що суттєво впливає на такі структурно чутливі характеристики як пластичність (δ , ψ) і менше впливає на характеристики міцності і твердості. Твердість поверхні зразків після дорекристалізаційного відпалу при температурах 500°C і 550°C зменшилася до НВ 207, а відносне видовження зросло до 8,5...11,0 %. Зміна механічних властивостей сталі пов'язана з впливом внутрішньої будови матеріалу на його здатність до утворення пошкодженості в умовах технологічних обробок і випробувань на розтяг.

Для оцінки несучої здатності матеріалу широко використовуються показники в'язкості руйнування, які засновані на вимірах фізичних параметрів тріщини. Оскільки в'язкість руйнування чутлива до структурного стану матеріалу, зокрема до однорідності структури, то для оцінки несучої здатності матеріалу як параметра, що контролює розвиток тріщини, приймають стан пошкодженості матеріалу в області вершини тріщини [5], який досягається до моменту її старту.

Стан пошкодження матеріалу в межах шийки зразка, підданому одноосьовому розтягу, подібний стану пошкодження матеріалу у вершині тріщини, що досягається до моменту її старту. Цей факт було встановлено під час дослідження пористості в області вершини тріщини і на зламі в шийці зразка [5]. Виявлена адекватність станів матеріалу в зоні вершини тріщини й у шийці одновісно розтягнутого зразка спричиняє можливість оцінення несучої здатності пластини без залучення критеріїв в'язкості руйнування [6].

Несуча здатність пружно-пластичного матеріалу під навантаженням визначається поведінкою локальних областей поблизу концентраторів напружень. Будь-яке руйнування пов'язане з пластичною деформацією. Отож параметри твердості можна застосовувати для оцінки тріщиностійкості, оскільки вони також характеризують опір матеріалу місцевій пластичній деформації.

Для вивчення впливу локального порушення суцільності сталі, яке формується в умовах технологічних обробок на пошкодженість при дії зовнішніх навантажень, оцінювали опір сталі місцевій пластичній деформації при розклинюванні матеріалу індентором приладу для вимірювання твердості на зразках до і після розтягу. Згідно з методом LM – твердості параметром, який інтегрально характеризує структурний стан матеріалу під час обробки результатів масових вимірювань, є гомогенність [6, 7]. Великим значенням коефіцієнта гомогенності Вейбула m , який відображає ступінь розсіяння характеристик твердості, відповідає краща організація структури, низький ступінь пошкодженості, меншим значенням навпаки – вищий ступінь пошкодженості.

Для оцінювання розсіяння твердості вимірювали твердість на головках зразків, які випробувалися на розтяг, а також у зонах рівномірного видовження і у місцях утворення шийки. Навантаження при цьому становило 2450 Н, а діаметр кульки $2,5 \cdot 10^{-3}$ м, кількість замірів твердості була не менше 30.

Результати визначення коефіцієнта гомогенності Вейбула (m) дослідженої сталі подані на рис. 1.

Як видно, після прикладання навантаження коефіцієнт m зменшується. У зв'язку з тим, що при випробуваннях на розтяг на шийці утворюються криволінійні поверхні, заміряти твердість в області шийки складно, оскільки в деяких випадках відбувається проковзування кульки.

Аналіз розподілу твердості зразків показав збільшення коефіцієнта m , після відпуску при температурі 450 °C. Відпуск при температурі 500 °C приводить до подальшого зростання коефіцієнта гомогенності m зразків після прокатування (рис. 1). Це вказує на зменшення пошкодженості матеріалу і заліковування дефектів, що утворилися при прокатуванні, в умовах дорекристалізаційного відпалу. Така зміна структури може бути пов'язана з дифузією атомів домішок впровадження в зони локального порушення суцільності матеріалу. Після відпалу при 550 °C коефіцієнт

гомогенності m зменшується, що вказує на утворення в матеріалі областей здатних до формування пошкоджень при дії зовнішнього навантаження. Зменшення коефіцієнта гомогенності m пов'язано із міжкристалітною внутрішньою адсорбцією домішкових атомів, які утворюють тверді розчини заміщення в ґратці α - заліза за цієї температури на внутрішніх поверхнях розділу. Тобто при температурі 500 °С атоми впровадження переміщуються в області утворення мікропор, на внутрішні поверхні розділу, а при температурі 550°С відбувається міжкристалітна внутрішня адсорбція домішок проникнення і заміщення на нерівноважних границях зерен, які мають більшу адсорбційну здатність.

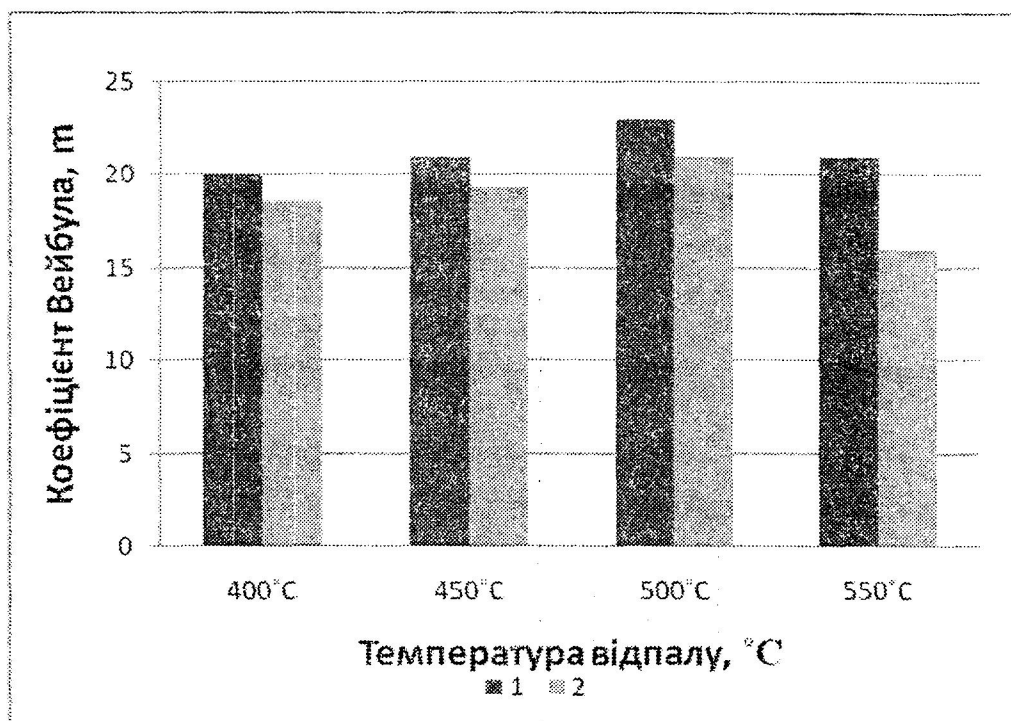


Рис. 1. Вплив технологічної і термічної обробки на коефіцієнт гомогенності Вейбула (m) дослідженої сталі: 1 – головка зразка; 2 – зона рівномірного видовження.

При певних концентраціях домішок співвідношення поверхневих енергій вільних поверхонь і границь зерен змінюється так, що зародження тріщин відбувається на границях. Вирішальну роль в утворенні міжзернових пошкоджень відіграє енергія міжзернового зчеплення γ , яка визначається із співвідношення $\gamma = \gamma_s - \left(\frac{1}{2}\right) \cdot \gamma_B$, де γ_s - істинна поверхнева енергія, γ_B - поверхнева енергія границі зерна.

Вважаючи, що утворення міжзернового пошкодження відбувається крихко, критичний розмір зародкової тріщини, визначений із співвідношення Гріффітса $\sigma_B = \sqrt{\frac{2E\gamma}{\pi c}}$, є меншим $1,4 \cdot 10^{-6}$ м. Отримане значення відповідає експериментально виявленому зернограничному зсуву, що спостерігається в поверхневих шарах заготовок після прокатування.

Розрахунок пошкодженості здійснювався за формулою:

$$\Delta W = 1 - \frac{m_p}{m_r}, \quad (1)$$

де m_p - коефіцієнт гомогенності в ділянці рівномірного видовження; m_r - коефіцієнт гомогенності на головці.

Результати подано в табл. 2 і на рис. 2.

Таблиця 2.

Визначення пошкодженості технологічної і термічних обробок

Зразок	m_T	m_P	ΔW
Після прокатування	25	20,1	0,196
Після відпуску 400°C	20	18,6	0,070
Після відпуску 450°C	21	19,4	0,076
Після відпуску 500°C	23	21	0,087
Після відпуску 550°C	21	16	0,238

Дослідження розсіювання значень твердості в зоні рівномірного видовження зразків після розтягу показали зменшення коефіцієнта m , що вказує на формування додаткової пошкодженості при дії зовнішнього навантаження порівняно із пошкодженістю, яка була в результаті прокатування.

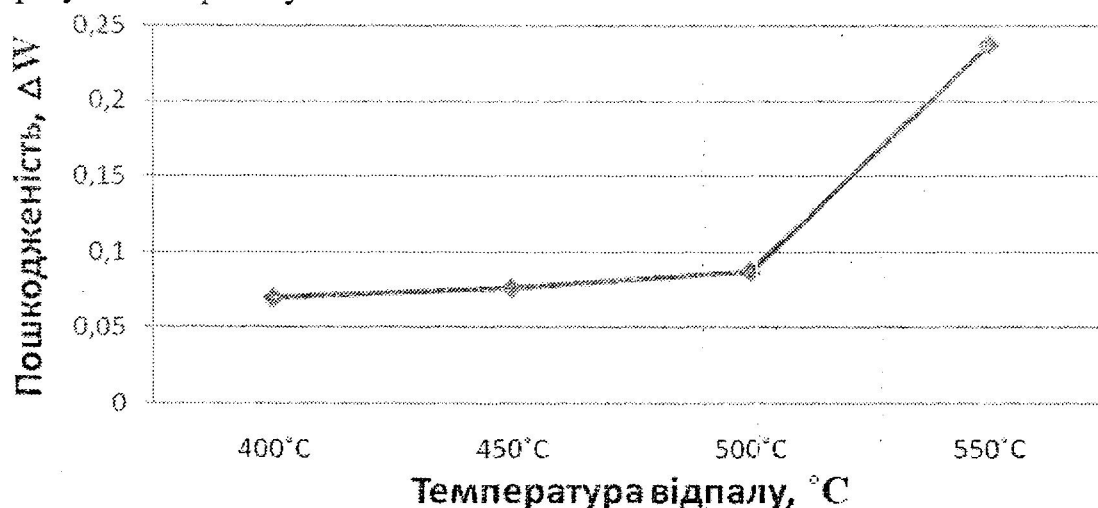


Рис. 2. - Вплив температури дорекристалізаційного відпалу на пошкодженість при розтягу.

Після відпалу при 550 °C пошкодженість при випробовуваннях на розтяг суттєво зростає, що вказує на формування при нагріванні локальних мікрооб'ємів матеріалу здатних до руйнування.

Так, зміна механічних властивостей досліджуваної сталі пов'язана із впливом внутрішньої будови матеріалу на його здатність до утворення пошкоджень в умовах технологічних обробок і зовнішніх навантажень. Після відпалу при 500 °C коефіцієнт гомогенності Вейбула, який характеризує зниження пошкодженості є вищим як у вихідному стані, так і при прикладанні зовнішнього навантаження. Підвищення технологічної пластичності заготовок з маловуглецевої сталі досягається при використанні розробленого режиму термічної обробки: нагрівання до температури 500 °C протягом 60 хв з прискореним охолодженням.

На основі проведених досліджень були запропоновані режими технологічних обробок для підвищення функціональних властивостей деталей, які отримують із холоднокатаних заготовок маловуглецевої сталі.

Висновки. При аналізі безпеки руху в курсі охорони праці слід звертати особливу увагу на структурні зміни в матеріалах деталей і виробів, які відбуваються під час експлуатації і ремонту рухомого складу і мають суттєвий вплив на їх працездатність.

Під дією навантажень, а також в умовах відновлюючих ремонтів в деталях рухомого складу проходить зміна міцності локальних мікрооб'ємів, формується неоднорідність хімічного і напружено – деформованого стану матеріалу.

Зміна механічних властивостей деталей при експлуатації рухомого складу пов'язана із впливом внутрішньої будови матеріалу на його здатність до утворення пошкоджень в умовах технологічних обробок і навантажень.

Контроль фактичного контролю деталей і вузлів рухомого складу залізничного транспорту вимагає нових методик визначення властивостей матеріалів виробів, встановлення закономірностей, що описують їх зміну від умов експлуатації.

Оскільки несуча здатність пружно – пластичного матеріалу під навантаженням визначається поведінкою локальних областей поблизу концентраторів напружень, то характеристики твердості (зокрема метод LM – твердості) можна застосовувати для оцінки фактичного стану матеріалу деталей рухомого складу після їх експлуатації або відновлюючи ремонтів.

Дослідження розсіяння значень твердості маловуглецевої сталі після пластичної деформації показало формування додаткової пошкодженості при дії зовнішнього навантаження і її зменшення після нагрівання до температури 500 °С протягом 60 хв з прискореним охолодженням, що підвищує функціональні властивості виробів при експлуатації.

Література:

1. Куликов Д.В. Физическая природа разрушения/ Куликов Д.В., Мекалова И.В., Закирничная М.М. – Уфа: УГНТУ, 1999. – 239 с.
2. Устиновщиков Ю. И. Природа отпускной хрупкости стали/ Ю.И. Устиновщиков, О.А. Банных. – М: Наука, 1984. – 239 с.
3. Hodros E. D. The influence of P in dilute solid solution the absolute surface and grain boundary energies of iron/ E.D. Hodros. – Proc. Roy. Soc. London A, 1965. – v. 286. – N 1404. – p. 479 – 498.
4. Диаграмма состояний двойных и многокомпонентных систем на основе железа. Справочник. Под ред. Банных О.А., Дрица М.Е. – М.: Металлургия, 1986. – 439 с.
5. Панасюк В. В. Про вплив структури матеріалу на поширення тріщин у процесі розтягу тіла / В. В. Панасюк // ДАН УРСР. Серія А. – 1976. - №9. – с. 811 – 816.
6. Лебедев А. А. Метод оценки вязкости разрушение материала по рассеянию характеристик твёрдости / А. А. Лебедев, Н. Р. Музыка, В. П. Швец // Проблемы прочности. – 2007. – №6. – с. 5 – 12.
7. Пат. 4406 Україна. МКІІ 7 G 01 №3/00. Спосіб оцінки деградації матеріалу / А. О. Лебедев, М. Р. Музыка // Промислова власність. – Опубл. 15.01.2005. – Бюл. №1.

УДК 331.45

ОХОРОНА ПРАЦІ, ЯК ОСНОВНА ВИМОГА БЕЗПЕЧНИХ УМОВ РОБОТИ НА ПІДПРИЄМСТВАХ, УСТАНОВАХ ТА В ОРГАНІЗАЦІЯХ

Люльченко В.Г.

*Викладач кафедри техніко-технологічних дисциплін,
охорони праці та безпеки життєдіяльності УДПУ імені Павла Тичини*

За умов багатоукладної економіки та наявності великої кількості власників, що прагнуть швидкого накопичення за будь-яку ціну первісного капіталу, пріоритетного значення набувають правові засоби забезпечення охорони праці. Саме держава, що