



а



б

*Рисунок 2 – Оброблюваний циліндр з пробкою-«свідетелем» (а), профілограф-профілометр з пробкою на об'єктному столику (б)*

Проведенные эксперименты с применением пробки-«свидетеля» позволили значительно упростить, а в ряде случаев сделать возможной, операцию замера шероховатости поверхностей в труднодоступных местах. Отметим также, что после замеров шероховатости пробки пригодны для многократного использования в качестве «свидетеля» в последующих опытах.

*Скобло Т. С., Клочко О. Ю.,  
Воронов О. С., Брефалов М. В.*

*Державний біотехнологічний університет, м. Харків, Україна*

## **ДОСЛІДЖЕННЯ МІКРОСТРУКТУРИ РЕЙКОВОЇ СТАЛІ ЧЕРЕЗ ЗМІНУ ЇЇ ЕНЕРГЕТИЧНОГО СТАНУ**

Відповідно вимогам нормативних документів [1], структурний склад рейкової сталі строго регламентований: в голівці рейок після їх термічної обробки не допускається наявності бейніту та мартенситу. Багаторічними дослідженнями було встановлено [2], що отримання таких структур в металі істотно залежить від вихідного стану (його хімічного складу, способів виробництва і зміцнення), технології і параметрів зварювання (при експлуатації в дорозі). Істотний внесок у формування локальних зон з бейнітом і мартенситом вносять ліквідація хімічних елементів, а також середовища, типи і спеціальні способи охолодження в процесі гартування.

Здавальні випробування рейок передбачають контроль відсутності структур бейніту та мартенситу за рівнем твердості (в поперечному перерізі головки, яка повинна знаходитися в межах 33-41HRC, а глибина загартованого шару в центральній зоні відповідати  $\geq 11$  мм, на викружках  $\geq 15$  мм), а також за оцінкою мікроструктури і рівня мікротвердості. Попередніми дослідженнями [3] показа-

но, що застосування таких методів контролю не призводить до достовірних результатів, оскільки при термообробці рейок, де основу складають пластинчастий перліт, сорбіт і троостит, виділити не допустимі стандартом фази дуже складно, оскільки вони займають невеликі локальні ділянки і, як правило, розташовуються не в ізольованих зонах, а формуються спільно з основними структурними складовими у вигляді локальних ділянок. Тому металографічні дослідження часто їх не ідентифікують і застосування оцінок по мікротвердості і твердості виявляються не завжди ефективними.

У зв'язку з цим було проведено дослідження мікроструктури при різних способах виробництва рейкової сталі, спрямовані на виявлення наявності і областей розташування структур бейніту та мартенситу за допомогою комплексного аналізу, що включає оптико-математичну оцінку металографічного зображення [4] і зіставлення отриманих результатів з рівнем твердості в аналізованих зонах. Отримані результати виявили неоднорідність розподілу структур в пробах рейок по глибині, дозволивши оцінити ступінь однорідності й протяжність зони загартованої ТВЧ і перехідної.

Необхідно зауважити, що в процесі гартування ТВЧ виникають структурні напруження різного роду, які викликають пластичну деформацію (наклеп) як на міжфазних границях і всередині фаз, так і локальну, в межах одного зерна. При цьому вільна енергія системи підвищується, в основному, за рахунок підвищення внутрішньої енергії. Збільшення неупорядкованості в деформованому металі, призводить до зміни ентропії (збільшення в результаті пластичної деформації і зменшення її - в результаті розвитку дефектів в процесі деформації).

Тому доцільно було проведення додаткових досліджень для оцінювання зон розташування структур з підвищеним вмістом вуглецю (мартенситу і бейніту), виявляючи відмінності також і всередині кожної з фаз, що мають локальну неоднорідність за концентрацією компонентів, аналізуючи зміни дислокаційної структури. Для цього використовували в якості критерію, що описує енергетичний стан системи, функцію потужності дисипації енергії в результаті таких термічних впливів [5]. При цьому, відповідно [6], ступінь неоднорідності даної функції визначали через її дисперсність, що описує конкретну структуру досліджуваного сплаву.

Дослідження проводили і на пробах від рейок, відібраних при відбракуванні на виробництві. Були оцінені металографічні зображення мікроструктур рейкової сталі загартованої ТВЧ з охолодженням дозованої подачі водоповітряної суміші. Були розраховані гістограми розподілу абсолютних значень функції потужності дисипації енергії. Отримані значення були розбиті на інтервали з певним кроком і для кожного оцінено ступінь дисперсності цієї функції. Таким чином, вдалося підвищити поріг чутливості методу оцінки, що дозволило виділити, як перлітні фази різного ступеня дисперсності, так і найбільш насичені вуглецем феритні, імовірно бейнітного типу.

Отримані результати можна розглядати як частотний спектр розсіювання енергії в процесі термічної обробки сталі. При цьому максимальним значенням функції відповідають структури найбільш насичені вуглецем. Виходячи з цього,

був побудований графік частоти розподілу дисперсності потужності дисипації енергії для мікроструктур рейкової сталі (рис. 1).



*Рисунок 1 – Частота розподілу дисперсності потужності дисипації енергії для мікроструктур рейкової сталі, відповідна розподілу різних фаз*

Для кожної дисперсності була розрахована її частка у відсотках, і середнє значення функції потужності дисипації енергії. Для отримання статистично значущого результату оцінку проводили для фотографій мікроструктури 95 зразків рейкової сталі, отриманих після різних способів виробництва.

На графіку представлено по осі  $x$  - потужність дисипації енергії (від 0 до 21000), по осі  $y$  – частота події (число випадків, %). Розраховані значення були проранжировані за функціями потужності. Аналізуючи отриманий результат, слід зазначити коливання і загасання числа випадків у міру зростання потужності дисипації. Де максимум відповідає найбільш рівноважному стану структури, а зміщення вправо свідчить про зовнішній вплив (підведення енергії).

Висновки. Представлені в роботі дослідження дозволяють доповнити і суттєво підвищити точність контролю фазового складу рейкової сталі з виявленням не припустимих стандартом більш твердих, насичених вуглецем фаз, таких як бейніт та мартенсит, навіть у вигляді локальних ділянок в зонах основної перлітної структури.

Також, запропоновану методику оцінки структур можна рекомендувати і для застосування при розробці нових технологічних процесів виготовлення з урахуванням матеріалу і способу виробництва виробів.

## **ЛІТЕРАТУРА**

1. ДСТУ 4344:2004. Національний стандарт України. Рейки звичайні для залізниць широкої колії. Загальні технічні умови. – Київ: Держспоживстандарт України, 2005.

2. Скобло Т. С., Сапожков В. Е., Сидашенко А.И. Производство высоко-нагруженных рельсов с нагрева токами высокой частоты. Технологии производства и упрочнения. Оборудование. Теоретические основы процессов нагрева ТВЧ и охлаждения. Конструкционная прочность. Эксплуатационные

испытания. Повреждаемость рельсов в пути. Неразрушающий контроль качества: монография. – Харьков: ПромАрт, 2018. – 562 с.

3. Разработка методов оценки структуры рельсов, закаленных ТВЧ / Т. С. Скобло, О. Ю. Клочко, Е. Л. Белкин и др. – Сталь. – 2014, №3. – С.74–82.

4. Skoblo T.S., Klochko O.Yu., Belkin E.L. The Use of Computer Analysis of Metallographic Images in the Study of the Structure of High-Chromium Cast Iron. *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov = Industrial Laboratory. Diagnostics of Materials*. 2012; 78(6):35-42.

5. Skoblo, T.S., Klochko, O.Yu., Belkin, E.L., et al. New Approaches in Study of Inhomogeneity of Heterogeneous Structures. *Metallofizika i noveishie tekhnologii = Metallophysics and Advanced Technologies*. 2018; 40(2): 255-280. <https://doi.org/10.15407/mfint.40.02.0255>

6. Skoblo, T.S., Klochko, O.Yu., Belkin, E.L., *et al.*: Development of new approaches to estimation of the structure formation in high-chromium cast iron. *Industrial laboratory. Diagnostics of materials* 83 (5), 2017, 27–38.

*Соломахо В.Л., Соколовский С.С.*

Белорусский национальный технический университет,  
Минск, Беларусь

*Цитович Б.В.*

Белорусский Государственный институт повышения квалификации  
и переподготовки кадров по стандартизации, метрологии  
и управлению качеством, Минск, Беларусь

## **МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ**

Для современного производства машиностроительной и приборостроительной продукции характерны две противоборствующие тенденции:

- расширение номенклатуры и снижение серийности производства изделий;

- унификация однотипных изделий и технологий.

Первая тенденция связана с желанием потребителя получить уникальное изделие, выделяющееся из однотипных и обеспечивающее выполнение ряда дополнительных функций, необходимых именно этому пользователю, а вторая – с разумным подходом изготовителя к унификации производства и имеет очевидное экономическое обоснование.

Разрешение этого противоречия может быть достигнуто за счёт кастомизированного производства продукции, которое отличается от массового и серийного производства частой сменой выпускаемых изделий. При этом однотипные изделия, изготавливаемые на общей платформе, могут выпускаться в