

УДК 629.4.027.4:669.14.018.294

**СТРУКТУРА ВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ
ЗАЛІЗНИЧНИХ КОЛІС І РЕЙОК**

І. О. Вакуленко, О. О. Чайковський

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту

ім. акад. В. Лазаряна

Придніпровська державна академія будівництва та архітектури

В останні роки неухильне зростання інтенсивності експлуатації залізничного транспорту супроводжується підвищенням питомого навантаження на опорні елементи рухомого складу. На підставі цього розробка заходів, спрямованих на підвищення експлуатаційної безпеки рухомого складу, є достатньо актуальною проблемою. Наведена проблема, своєю чергою, складається із низки питань, одним із яких є оцінка оптимального співвідношення між міцностними властивостями залізничного колеса і рейки.

Аналіз експериментальних даних показує, що умови мінімального зносу як залізничних коліс, так і рейок досягаються при приблизно однакових значеннях твердості [1]. З іншого боку, відомо, що однаковий рівень міцнісних властивостей може бути досягнутий при різному структурному стані металу [2; 3].

Так, при охолодженні зі швидкістю, вищою за критичне значення, коли формуються структури за зсувним механізмом, подальшим відпуском можна змінювати рівень твердості в широкому інтервалі [2; 4]. За умови ізотермічного або безперервного охолодження при швидкостях, нижчих за критичне значення, зміна морфології та дисперсності карбідної фази дає також змогу досягти підвищеного рівня міцності сталі (рис. 1).

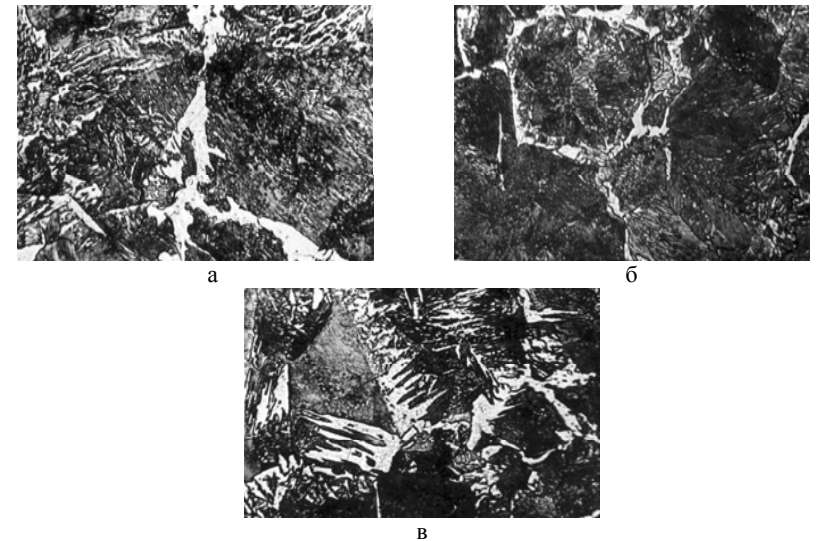


Рис. 1. Структура вуглецевої сталі після прискореного охолодження до температур 625 °C (а), 600 °C (б), 575 °C (в), $\times 800$.

Окрім взаємодії залізничного колеса і рейки по поверхні кочення, експлуатаційна безпека коліс певною мірою залежить від комплексу властивостей металу диска, особливо від величини ударної в'язкості. Зумовлено це виникненням ушкоджень втомного характеру із зародженням тріщин у місця поблизу обода з внутрішнього боку колеса [5]. Рівень ударної в'язкості, особливо холодостійкості металу, значною мірою залежить від структурного стану, який формується в процесі термічного зміцнення колеса.

За нормативно-технічною документацією залізничні колеса і рейки виготовляють із вуглецевих сталей з різним вмістом вуглецю. Так, для коліс використовуються сталі з кількістю вуглецю в межах 0,55...0,65 % [6], тоді як для рейок - з більшим вмістом за вуглецем: 0,7...0,8 %. Окрім відмінностей за вуглецем, після зміцнювальних термічних обробок метал коліс і рейок має різний структурний стан.

Структура сталі з кількістю вуглецю 0,55...0,65 % після гарячої пластичної деформації складається із перлітних колоній та областей структурно вільного фериту, об'ємна частка якого може досягати 20...25 %. Зі збільшенням швидкості охолодження, як, наприклад, за умови термічного зміцнення залізничного колеса, одночасно із диспергуванням перліту спостерігається зменшення кількості структурно вільного фериту за рахунок формування псевдоевтектоїда. Проте, незважаючи на максимальні швидкості охолодження (обмеження геометричними розмірами обода), сітка феритного прошарку по границях аустенітних зерен усе ж залишається (рис. 1).

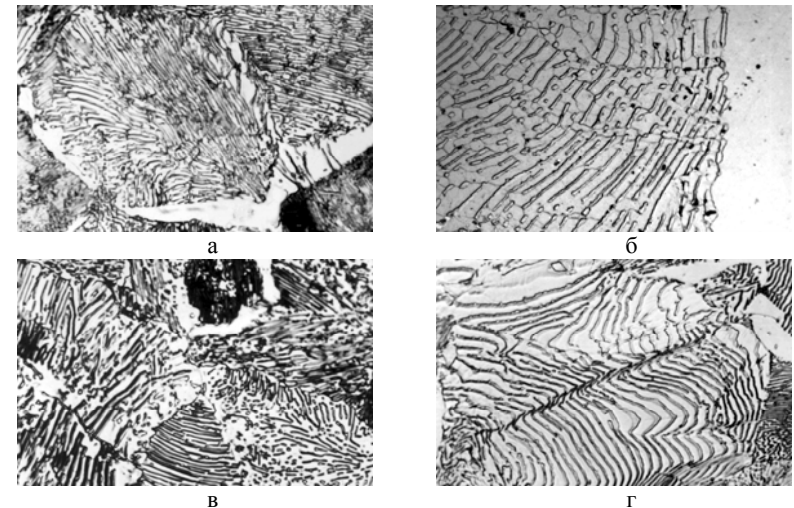


Рис. 2. Структура колісної сталі (0,6 % С) після прискореного охолодження і наступного відпуску при 500 °С (а, б), після холодної пластичної деформації 50 % (в, г).

Збільшення: в, г – $800 \times 1,5$; а – $2000 \times 1,5$; б – $2500 \times 1,5$.

З урахуванням епори навантаження окремих елементів колеса в експлуатації, термічній зміцнювальній обробці піддаються як обід, так і диск, але структурний стан металу в них різний. Так, оптимальною структурою з погляду мінімального зносу та порівняно великих перетинів металу, для обода вважається пластинковий сорбіт з переривчастою сіткою структурно вільного фериту. З іншого боку, з метою підвищення конструктивної міцності та формування остаточних напружень стиску в ободі, диск можуть піддавати примусовому охолодженню. На підставі цього, залежно від інтенсивності подачі охолоджувача, можуть досягатися умови формування бейнітної структури на визначеній глибині від поверхні. Враховуючи, що необхідний рівень комплексу властивостей диска повинен бути адекватним окремому нагріву сталі з бейнітною структурою до 600...650 °С, технологічно було обгрунтовано використання розігріву поверхневих прошарків від тепла внутрішніх об'ємів. За рахунок наведеного впливу формуються глобулярні структури необхідної дисперсності (рис. 2 а, б).

У процесі експлуатації залізничні колеса і рейки піддаються по контактній поверхні високим пластичним деформаціям, при цьому метал має достатньо значний градієнт накопичених дефектів кристалічної будови. З урахуванням розігріву металу по поверхні кочення, в колесах під час гальмування рухомого складу, пропорційно ступеню холодної пластичної деформації та температури нагріву, відбуваються структурні перетворення, які призводять до зміни морфології карбідної складової, її розташування у феритній матриці (рис. 3).

Порівняно з пластинковою формою карбідної фази, яка у вигляді перлітної колонії спроможна витримувати великі пластичні деформації (рис. 4 а), глобулярні частки, навпаки, навіть після ступенів деформації, які призводять до руйнування металу, залишаються практично незмінними. У цьому випадку розвиток процесів деформаційного зміцнення, при навантаженні металу з різним структурним станом, буде визначати умови зародження і зростання осередків руйнування металу виробів під час експлуатації.

Так, у разі розташування глобулів цементиту по великокутових границях зерен фериту (рис. 4 б) спостерігається зростання опору вуглецевої сталі процесам зародження і росту тріщин, особливо для понижених температур. Зумовлене наведене положення співвідношенням між кількостями місць зародження та анігіляції дислокацій при пластичному деформуванні [2].

Міжфазна ферит–цементит границя може виконувати функції як джерела, так і анігіляції дислокацій після елементарного акту пластичної деформації [7]. На підставі цього стає зрозумілим, за рахунок яких чинників експериментально спостерігається підвищення опору зародженню тріщин при збільшенні об'ємної частки глобулярного цементиту [2; 5]. Якщо розмір зерна фериту істотно збільшує міжкарбідну відстань у структурі сталі (рис. 4 в), зростання об'ємної частки глобулів спричиняє збільшення кількості місць зародження дислокацій без зміни кількості місць анігіляції.

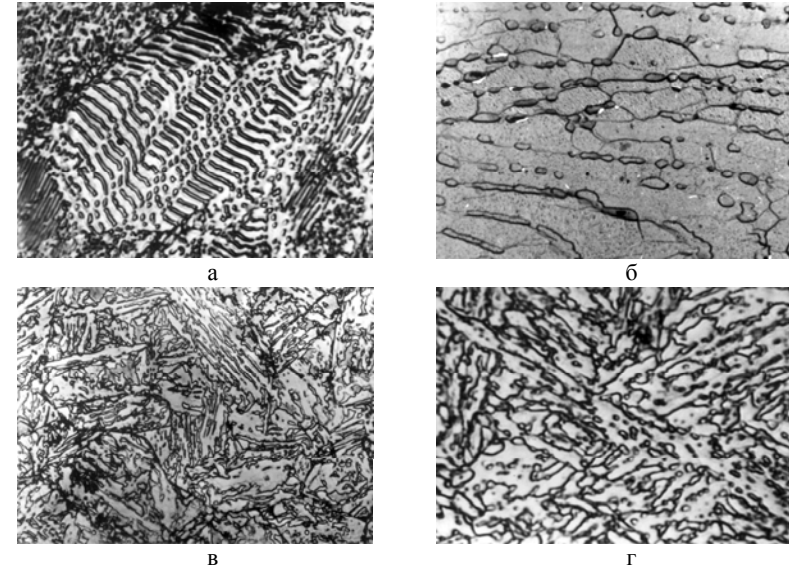


Рис. 3. Структура колісної сталі (0,6 % С) після прискореного охолодження, холодної деформації 20 % нагріву 650 °С (а), деформації 70 %, нагріву 600 °С (б), до температури кінця прискореного охолодження 450 °С (в), 600 °С (г).
Збільшення: а – 2000 × 1,5; б – 2500 × 1,5; в – 800 × 1,5; г – 2000 × 1,5.

У процесі експлуатації виробу, виготовленого з вуглецевої сталі з наведеною структурою, зароджені дислокації, кількість яких пропорційна до суми протяжності великокутових і міжфазових границь, здебільшого не можуть бути виведені із системи після акту деформації. В цьому випадку навколо глобулів цементиту буде нагромаджуватися визначена кількість взаємозаблокованих дислокацій. Наведені об'єми металу будуть дуже швидко перетворюватись на осередки майбутніх місць зародження субмікротріщин [2; 5; 7].

Порівняно зі сталлю для залізничних коліс, у рейковій, навіть у гарячекатаному стані, відсутній структурно вільний ферит. На підставі цього, після більшості термічних зміцнювальних обробок, досягаються умови формування порівняно однорідних структур, без структурно вільних фазових складових. Після прискореного охолодження голівки рейки, з урахуванням формування неодмінного градієнта температур по перетину, метал загалом має структури, утворені за зсувним механізмом з різним ступенем самовідпуску.

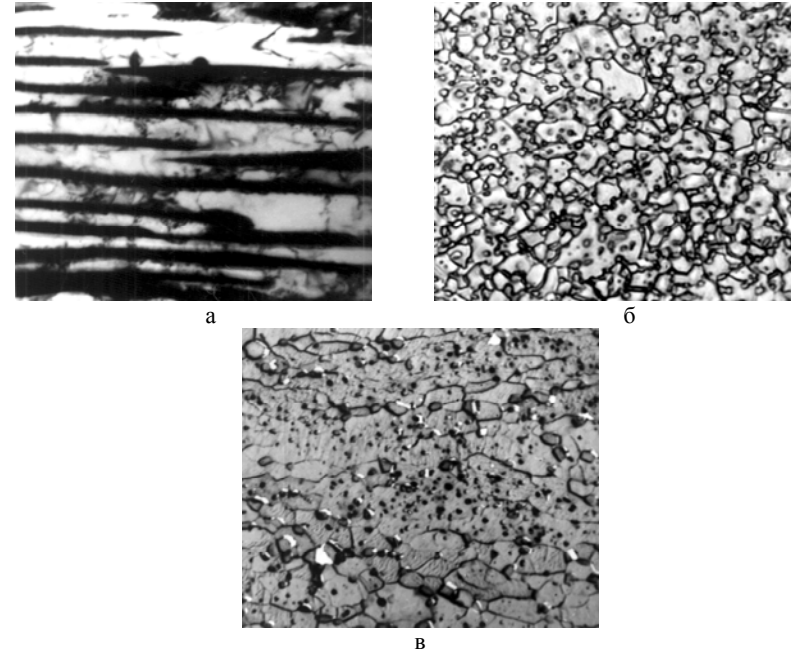


Рис. 4. Структура колісної сталі (0,6 % С) після холодної пластичної деформації 40 % (перлітна колонія) (а); після прискороного охолодження, деформації 60 %, відпалу 650 °С (б), прискороного охолодження, деформації 25 %, відпалу 630 °С (в).
Збільшення: а – 16500 × 1,5; б – 2000 × 1,5; в – 2500 × 1,5.

Відмінність за структурою вуглецевих сталей обов'язково позначається на їх поведінці при циклічному навантаженні. Як свідчать експериментальні дані, при формуванні структур поліпшення величина приросту межі втомлення при одиничному збільшенні межі плинності металу, приблизно на 30 % менша порівняно з аналогічною характеристикою для полідрічної дрібнозеренної структури фериту, з примусовим розташуванням глобулів цементиту на границях зерен.

Література

1. Данченко Н. И., Перков О. Н., Гладкова Т. А. Зависимость усталостной прочности и ударной вязкости колесной стали от ее структурного состояния. – В кн.: Теория и практика термической обработки проката. – М. : Металлургия, 1984, с. 43–45.
2. Вакуленко И. А., Большаков В. И. Морфология структуры и деформационное упрочнение стали. – Маковецкий, 2008. – 196 с.

3. Кузін О. А., Яцюк Р. А. Металознавство та термічна обробка металів. – К. : Основа, 2005. – 323 с.
4. Кузін О. А. Керування властивостями мікролегованих сталей за параметрами внутрішніх поверхонь розділу. – ФХММ, 2000, № 5, с. 101–106.
5. Вакуленко І. О., Анофрієв В. Г., Грищенко М. А., Перков О. М. Дефекти залізничних коліс. – Дніпропетровськ : Маковецький, 2009. – 112 с.
6. ГОСТ 10791- 89. Колеса цельнометаллические. Технические условия.
7. Бабич В. К., Гуль Ю. П., Долженков И. Е. Деформационное упрочнение стали. – М. : Металлургия, 1972, 320 с.