

УДК 669.45+669.046.558

## Вплив модифікування на якість колісної сталі R7

Ю. В. Татарко

А. Ф. Санін, доктор технічних наук, професор

Дніпропетровський національний університет ім. О. Гончара,  
Дніпропетровськ

*Досліджено вплив модифікування у ковші на хімічний склад, мікроструктуру, механічні властивості колісної сталі R7. Встановлено, що завдяки модифікуванню відбувається зменшення розкиду концентрацій легуючих елементів для різних досліджуваних плавки, подрібнення структури, зміна морфології неметалевих включень та, як наслідок, стабілізація комплексу механічних характеристик модифікованої сталі від плавки до плавки та в межах плавки у порівнянні з серійною сталлю.*

Дана робота присвячена дослідженню можливості підвищення стабільності комплексу механічних властивостей коліс зі сталі R7 [1].

Колісна сталь марки R7 містить у своєму складі карбідоутворюючі елементи (вуглець, марганець, хром, титан, ванадій, молібден), шкідливі домішки (сірка, фосфор) і мікролегуєчі компоненти (кремній, нікель, мідь, алюміній). Хімічний склад колісної сталі марки R7 контролюється згідно до вимог до європейського стандарту EN 13262 («Railway applications – Wheelsets and bogies – Wheels – Product requirements») і представлено у табл. 1.

Таблиця 1

Хімічний склад досліджуваних сталей

EN 13262 (верхня межа)	Вміст хімічних елементів, % (по масі)									
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	V
	0,52	0,80	0,40	0,020	0,015	0,30	0,30	0,30	0,08	0,06
Середні значення										
Серійні плавки	0,48	0,69	0,32	0,010	0,008	0,20	0,05	0,06	0,018	0,029
Модифіковані плавки	0,49	0,70	0,34	0,0095	0,005	0,20	0,12	0,073	0,036	0,035

Сталь марки R7 виплавляли у мартенівській печі з подальшою обробкою у печі-ковші і вакууматорі; модифікування здійснювали в ковші при температурі 1620 °С. Хімічний склад серійної й модифікованої сталі визначали на приладах Полівак Е-600 і LECO. Структуру досліджували металографічним методом на мікроскопах НЕОРНОТ-21. Бал зерна оцінювали за вимогами ISO 643, забрудненість сталі неметалевими включеннями – за ISO 4967, дисперсність

перліту згідно ГОСТ 8233-56. Механічні властивості визначали за стандартними методиками згідно вимог EN 13262.

Дослідженнями складу, структури і властивостей масиву промислових плавок сталі та зразків колеса, що зруйнувалося в процесі динамічних випробувань на тріщиностійкість із серійної сталі марки R7, встановлено фактори ризику: недолегованість фериту такими мікроелементами як хром, нікель, мідь, молібден, ванадій, кремній, що знижує його міцність і ударну в'язкість; ослаблення фериту за рахунок переважного розташування в ньому неметалевих включень несприятливої ограненої і подовженої форми (сульфідів, окисульфідів, алюмініатів), що підвищує схильність до утворення й поширення мікротріщин у фериті [2].

З метою стабілізації хімічного складу, механічних властивостей та нівелювання негативного впливу перерахованих вище факторів сталь R7 модифікували модифікатором, до складу якого входили: елементи-розкислювачі, елементи-модифікатори, елементи-десульфуратори, елементи-дефосфатори. Модифікатор, розроблений в ДНУ ім. О. Гончара, має дискретну структуру, високу розчинність у розплаві, інтенсивну взаємодію зі сталлю і містить складові у такому співвідношенні: стружка алюмінієвих сплавів 30 %, стружка титанових сплавів 15 %, сполуки кальцію 10 % і решта відходи залізовуглецевих сплавів [3].

Забезпечити постійність складу сталі різних плавок неможливо в умовах реального металургійного виробництва. Однак зменшити розкид між максимальними й мінімальними концентраціями елементів у різних плавках однієї й тієї ж марки сталі бажано з метою одержання кінцевої продукції (колеса) зі стабільними механічними властивостями в межах вимог нормативно-технічної документації.

Для промислових та модифікованих плавок колісної сталі R7, масою приблизно 100 т, при статистичній обробці масиву даних з хімічного складу був визначений розкид між максимальними й мінімальними значеннями концентрацій елементів. За результатами аналізу статистичної обробки виявлено більшу нестабільність вмісту легуючих елементів від плавки до плавки у серійній сталі в порівнянні з модифікованою (рис. 1). Зменшення величини розкиду вмістів всіх елементів для модифікованої сталі свідчить про стабілізацію хімічного складу від плавки до плавки завдяки модифікуванню.

Поряд зі стабілізацією хімічного складу модифікованої сталі від плавки до плавки, також встановлена стабільність концентрацій в межах плавки за рахунок зміни механізму кристалізації з послідовної на об'ємну [4]. Це підтверджується результатами хімічного складу, а також зниженням значень розкиду між максимальними і мінімальними концентраціями хімічних елементів зразків, які відібрані з різних зливків вагою приблизно 4218 кг в межах однієї плавки (табл. 2).

При порівняльному аналізі мікроструктури обода коліс у серійної сталі виявлена феритоперлітна структура з 6 – 8 балом зерна (рис. 2 а). Мікроструктура обода коліс з модифікованої сталі R7 також феритоперлітна, але величина зерна відповідає 7 – 8 балу (рис. 2 б) і відрізняється однорідністю

## Технічна інформація

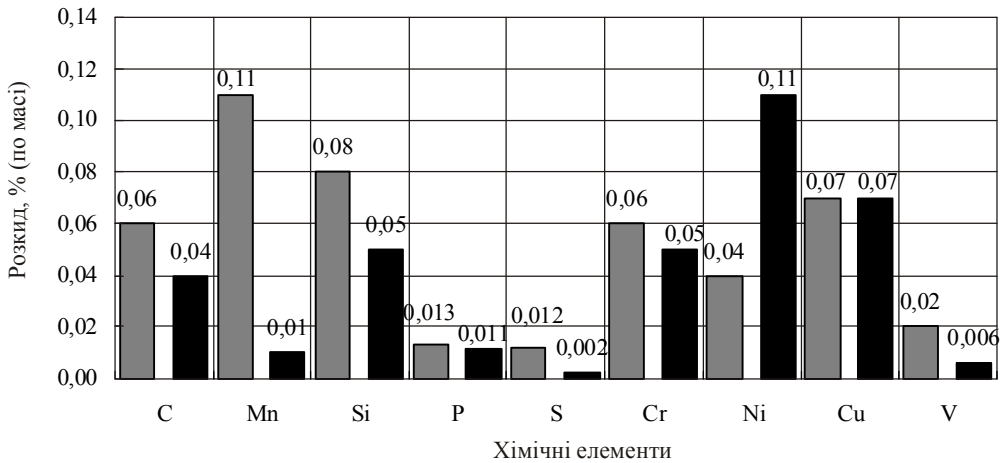


Рис. 1. Розкид між максимальними й мінімальними значеннями концентрацій хімічних елементів у сталі R7 (■ – серійна сталь, ■ – модифікована сталь).

Таблиця 2

Значення розкиду концентрацій хімічних елементів

Сталь R7	Вміст хімічних елементів, % (по масі)									
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	V
Серійна плавка	0,03	0,04	0,03	0,004	0,004	0,02	0,01	0,02	0,005	0,004
Модифікована плавка	0,01	0,03	0,015	0,003	0,002	0,015	0,01	0,02	0,005	0,002

розмірів зерен, підвищенням дисперсності перліту, формуванням переривчастих прошарків надлишкового фериту замість суцільних у порівнянні з немодифікованою сталлю, що може позитивно впливати на підвищення тріщиностійкості коліс.

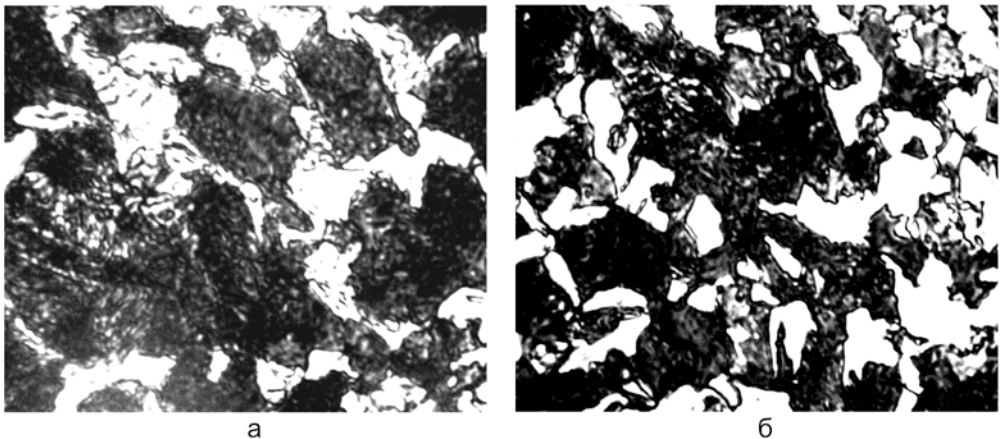


Рис. 2. Мікроструктура обода коліс зі сталі R7. а – немодифікована з різнозернистістю й суцільними виділеннями фериту навколо колоній перліту, б – модифікована сталь з переривчастими виділеннями фериту. x 600.

У феритній складовій структури немодифікованої сталі спостерігаються подовжені гострокутові неметалеві включення, на яких може зароджуватися тріщина, і при формуванні суцільних феритних прошарків тріщина найбільш вірогідно буде поширюватися в основному по фериту, що може призвести у подальшому до руйнування колеса (рис. 3) [5].

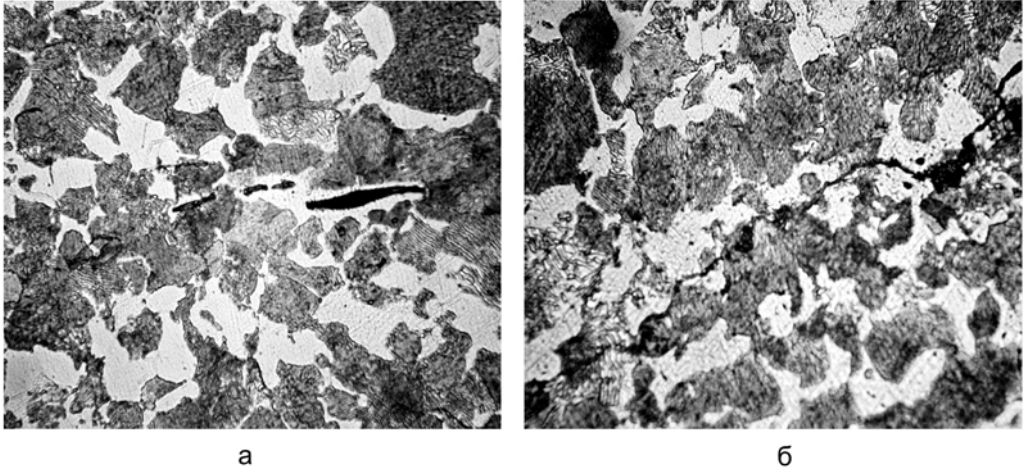


Рис. 3. Мікроструктура немодифікованої сталі R7. а – неметалеві включення у фериті (сульфіди, оксиди, окисульфід), б – зародження й розвиток тріщини у фериті. х 500.

За вимогами ISO 4967 контролюють наявність та кількість таких неметалевих включень як сульфідів, алюмінатів, силікатів та кулеподібних оксидів, розподіляючи їх за бальністю і розміром на «тонку» і «товсту» серії: максимально допустимі значення для всіх видів включень: 2 бали для «тонкої» серії і 1,5 бали для «товстої» серії; за розмірами для сульфідів від 2 мкм до 4 мкм «тонка» серія, від 4 мкм до 12 мкм «товста» серія, для алюмінатів «тонкої» серії діапазон складає 2 – 9 мкм, «товстої» серії – 9 – 15 мкм, для силікатів «тонкої» серії – 2 – 5 мкм, «товстої» серії – 5 – 15 мкм, для кулеподібних оксидів «тонкої» серії – 3 – 8 мкм, «товстої» серії 8 – 13 мкм.

Бали неметалевих включень в серійній і модифікованій сталях відповідали вимогам ISO 4967 і не перевищували максимально допустимих значень. Проте в результаті модифікування в дослідних плавках досягли зменшення загальної кількості неметалевих включень, їх розмірів та зміни форми у порівнянні з серійною сталлю. Для модифікованої сталі середній бал сульфідів і кулеподібних оксидів зменшився у «тонкій» серії – з 1,5 до 1 балу, у «товстій» серії – з 1 до 0,5 балу. Середній бал силікатів не перевищує 0,5 балу, алюмінатів 0 балу.

Суттєвою відмінністю структури модифікованої сталі є те, що сформувалися дрібні глобулярні неметалеві включення, а не гострокутові, як у немодифікованій сталі, що дозволить зменшити негативний вплив неметалевих включень, як концентраторів напружень, на механічні властивості.

Завдяки стабілізації хімічного складу, подрібненню структури, зменшенню кількості неметалевих включень і їх глобуляризації та підвищенню

однорідності структури механічні властивості модифікованої сталі R7 відповідали вимогам стандарту EN 13262 і відрізнялися помітною стабільністю (рис. 4) [4].

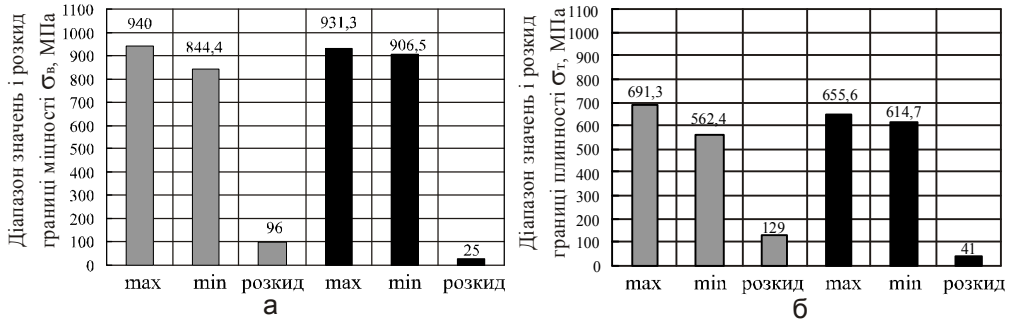


Рис. 4. Максимальні, мінімальні значення та розкид границі міцності (а) та плинності (б) сталі R7 обода коліс (■ – серійна сталь, ■ – модифікована сталь).

З представлених даних видно, що для модифікованої сталі різних плавок характерно звуження інтервалу коливання значень границі міцності та плинності у порівнянні з серійною сталлю. Відповідна тенденція зменшення величини розкиду спостерігається також для відносного подовження від 8,6 % до 1,4 % та ударної в'язкості при кімнатній температурі від 132 кДж/м<sup>2</sup> до 64 кДж/м<sup>2</sup>.

Разом зі зниженням розкиду механічних характеристик обода коліс від плавки до плавки у модифікованій сталі спостерігається стабілізація границі міцності, плинності, відносного подовження та ударної в'язкості в межах плавки (табл. 3) відповідно до стабілізації хімічного складу.

Таблиця 3

Розкид механічних властивостей в межах плавки

Сталь R7	Розкид механічних властивостей обода коліс			
	$\sigma_b$ , МПа	$\sigma_t$ , МПа	$\delta$ , %	КСУ, кДж/м <sup>2</sup>
Серійна плавка	60	51	6	60
Модифікована плавка	56	46	3	50

Таким чином, застосування модифікатора, який містить стружку алюмінієвих сплавів, стружку титанових сплавів, сполуки кальцію і відходи залізобуглецевих сплавів дозволяє досягти у модифікованій сталі R7 в порівнянні з серійною стабілізацію хімічного складу від плавки до плавки, а також в межах плавки. Встановлено формування однорідної структури та її подрібнення, підвищення дисперсності перліту. Зміна морфології неметалевих включень з гострокутової на кулеподібну та зменшення їх розмірів, що сприяє стабілізації комплексу механічних властивостей від плавки до плавки і в межах плавки, що підтверджується зниженням розкиду границі міцності, плинності, відносного подовження, ударної в'язкості з модифікованої сталі R7.

## Література

1. Нанджерони С. Производство колес для железнодорожного состава. // Железные дороги мира. – 2008. – № 11. – С. 75 – 78.
2. Шаповалова О.М. Влияние химического состава и размеров зерен на прочность и ударную вязкость колесной стали R7. // Тез. докладов 69 Междунар. научн.-практич. конф. «Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта». – Днепропетровск: ДИИТ, 2009. – С. 273.
3. Патент № 91633 Україна МПК С22С 35/00 Розкислювач-модифікатор для обробки сталей та сплавів / О.М. Шаповалова, В.П. Шаповалов, А.В. Шаповалов, О.О. Шаповалов, М.А. Кушнір, Ю.В. Татарко. – а200900952; заяв. 09.02.2009, опубл. 10.08.2010. – Бюл. № 15.
4. Шаповалова О.М., Шаповалов А.В., Татарко Ю.В. Стабилизация химического состава стали R7 путем модифицирования. // Строительство, материаловедение, машиностроение. – Днепропетровск: ПГАСА, 2010. – Вып. 55. – С. 3 – 10.
5. Шаповалова О.М., Польский Г.Н., Горб Е.В. Структура и свойства модифицированной колесной стали R7. // Тез. докладов 69 Междунар. научн.-практич. конф. «Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта». – Днепропетровск: ДИИТ, 2009. – С. 274.

Одержано 19.06.12

**Ю. В. Татарко, А. Ф. Санин**

### **Влияние модифицирования на качество колесной стали R7**

#### **Резюме**

Исследовано влияние модифицирования в ковше на химический состав, микроструктуру, механические свойства колесной стали R7. Установлено, что благодаря модифицированную происходит уменьшение разброса концентраций легирующих элементов для разных исследованных плавок, измельчение структуры, изменение морфологии неметаллических включений и, как следствие, стабилизация комплекса механических характеристик модифицированной стали от плавки к плавке и в пределах плавки в сравнении с серийной сталью.

**Yu. V. Tatarko, A. F. Sanin**

### **An influence of inoculation on a quality of wheel steel R7**

#### **Summary**

An impact of inoculation in a ladle to the composition, microstructure, mechanical properties of wheel steel R7 was researched. Following results were achieved and proved due to inoculation: a decrease in a rang of alloy additives concentration; structure size reduction; changes in nonmetallic morphology, and stabilization of a complex of mechanical characteristics of wheel steel investigated in comparison to traditional steel.