

УДК:669.295.04

**СТАБИЛИЗАЦИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА КОЛЕСНОЙ
СТАЛИ R7 ПУТЕМ МОДИФИЦИРОВАНИЯ****д.т.н., проф. О.М. Шаповалова, к.т.н., доц. А.В. Шаповалов,
Ю.В. Татарко, М.А. Кушнир***Днепропетровский Национальный Университет имени Олеся Гончара,*

Колесная сталь R7 является многокомпонентной, по Европейскому стандарту EN 13262 предусмотрено определение в ней 10 элементов, по заводской технологии серийную сталь контролируют по 13 элементам. Согласно технологической карте содержание для 6 элементов установлена норма « \leq » без указания нижней допустимой концентрации. Так, количество никеля должно быть $Ni \leq 0,25 \%$, $Cu \leq 0,25 \%$, $Mo \leq 0,08 \%$, $P \leq 0,018 \%$, $S \leq 0,013 \%$, то есть допускается содержание от 0,00 % до 0,25 % Ni. В широких значениях концентрационных интервалов заложен фактор нестабильности межплавочных и внутривлажочных химических составов, следовательно, соответствующий разброс параметров механических свойств. Среднее значение суммы легирующих элементов ($\Sigma ЛЭ$) для 232 серийных плавов R7 (по 100 т) составляло $\Sigma ЛЭ = 1,873 \%$ мас., по верхнему пределу технологической карты (ТК) – 2,52 % мас., по нижнему – 1,12 % мас. Таким образом, разница реального среднего содержания всех легирующих элементов серийной стали R7 по сравнению с максимальной суммой легирующих элементов $\Sigma ЛЭ_{max} = 2,56 \%$ по EN 13262 составляет 27 % отн., по сравнению с $TK_{max} = 26 \%$ отн., по сравнению с $TK_{min} = 67 \%$ отн. Хотя в металлургическом производстве из-за многофакторного воздействия условий плавки невозможно иметь очень узкие концентрационные интервалы каждого из элементов, но нельзя соглашаться и со столь широкими интервалами содержания элементов в железнодорожных колесах ответственного назначения. Необходимы поиски альтернативных решений по стабилизации химического состава и механических свойств многокомпонентных колесных сталей, поскольку, например, разница σ_b обода по EN 13262 составляет 30 % отн. в сравнении со значениями предела прочности реальной серийной стали R7.

Одним из возможных путей стабилизации химического состава, а следовательно, и механических свойств сталей с широкими концентрационными интервалами, является модифицирование расплава специальными модификаторами. Специальные модификаторы авторской разработки отличаются от известных многокомпонентным составом (5-8 компонентов), 100 %-ой растворимостью в стальном расплаве, дискретностью структуры, высокоэффективным взаимодействием с расплавом, имеют определенный вес для прохождения в металл через шлак, постоянные геометрические размеры (рис. 1). Составы специальных модификаторов разработаны с учетом термодинамических, технологических, физических и физико-химических свойств компонентов. Поэтому они обладают многофункциональным действием: раскисляют, модифицируют, десульфуруют, дефосфорируют, микролегируют обрабатываемую сталь. Разработаны технологии модифицирования с учетом температурно-временных условий плавки и видов плавильных агрегатов.



Рис. 1. Внешний вид модификаторов РМШ

С целью получения сравнительных данных был обработан статистическим методом большой массив данных химического состава серийных немодифицированных (501 плавка) и модифицированных плавков для информации о степени нестабильности как по размаху (max-min) межплавочного состава элементов, так и по коэффициентам вариации (рис. 2, рис. 3). Наибольшей нестабильностью в серийном металле обладали элементы:

[H] → S → P → Al → Cu → Ni → V → Mo
 300 % 275 % 260 % 150 % 150 % 100 % 89 % 43 %

В модифицированной стали размах (max-min) оказался значительно меньшим Ni (73 %) → Cu (58 %) → P (56 %) → S (33 %) благодаря обработке расплава специальными модификаторами. Особенно существенно стабилизировано содержание водорода в 23 раза, алюминия в 9 раза, серы в 8 раза, фосфора в 4,6 раза, меди в 2,6 раза. Установлена стабильность содержания элементов в разных колесах модифицированной стали, прокатанных из головной, средней и донной частей слитка.

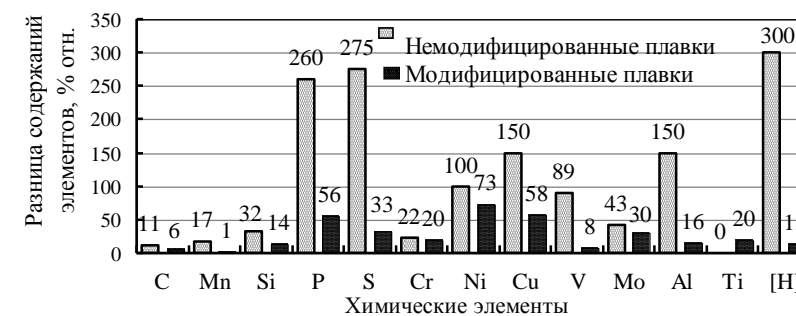


Рис. 2. Разница содержаний химических элементов в немодифицированных серийных плавках по сравнению с модифицированными стали R7

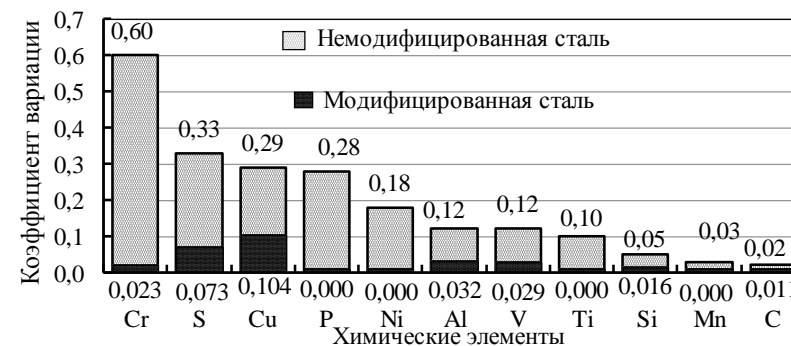


Рис. 3. Коэффициенты вариации модифицированной плавки № 22811 стали R7 в сравнении с немодифицированными 232 плавками серийной стали

На рис. 4 и рис. 5 представлены гистограммы поэлементного химического состава колес из стали R7, обработанной специальными модификаторами. Как видно, колебания содержания компонентов находятся либо в пределах ошибки измерений (C, Si, Al, Cr), либо обусловлены неконтролируемым поступлением элемента в расплав (Cu), либо недостаточными температурами расплавов при введении ферросплавов в жидкую сталь (Mo, V), либо повышенной склонностью к зональной ликвации (S). Часть элементов (Mn, P, Ti, Ni) не имели разницы содержаний в разных колесах (0 %). Это означает, что они полностью растворены в феррите (Ni, P) или цементите перлита (Mn, Ti), образуя соединения $(Fe,Mn)_3C$ $(Fe,Ti)_3C$. Поскольку содержания фосфора в результате модифицирования уменьшилось до уровня ниже его растворимости в феррите < 0,02 % мас., разница содержаний фосфора в разных колесах тоже равна 0 % [1]. Следовательно, модифицирование расплавов стали R7 специальными модификаторами стабилизировало химический состав элементов промышленных плавов.

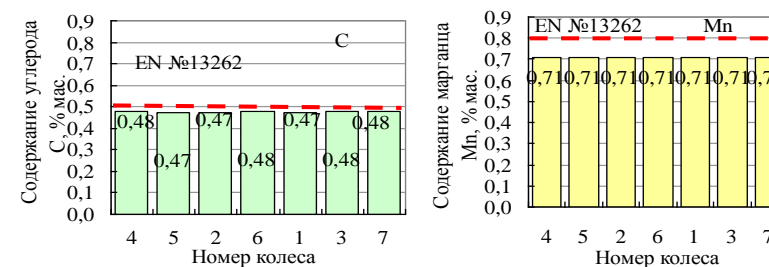


Рис. 4. Химический состав колес из модифицированной стали марки R7

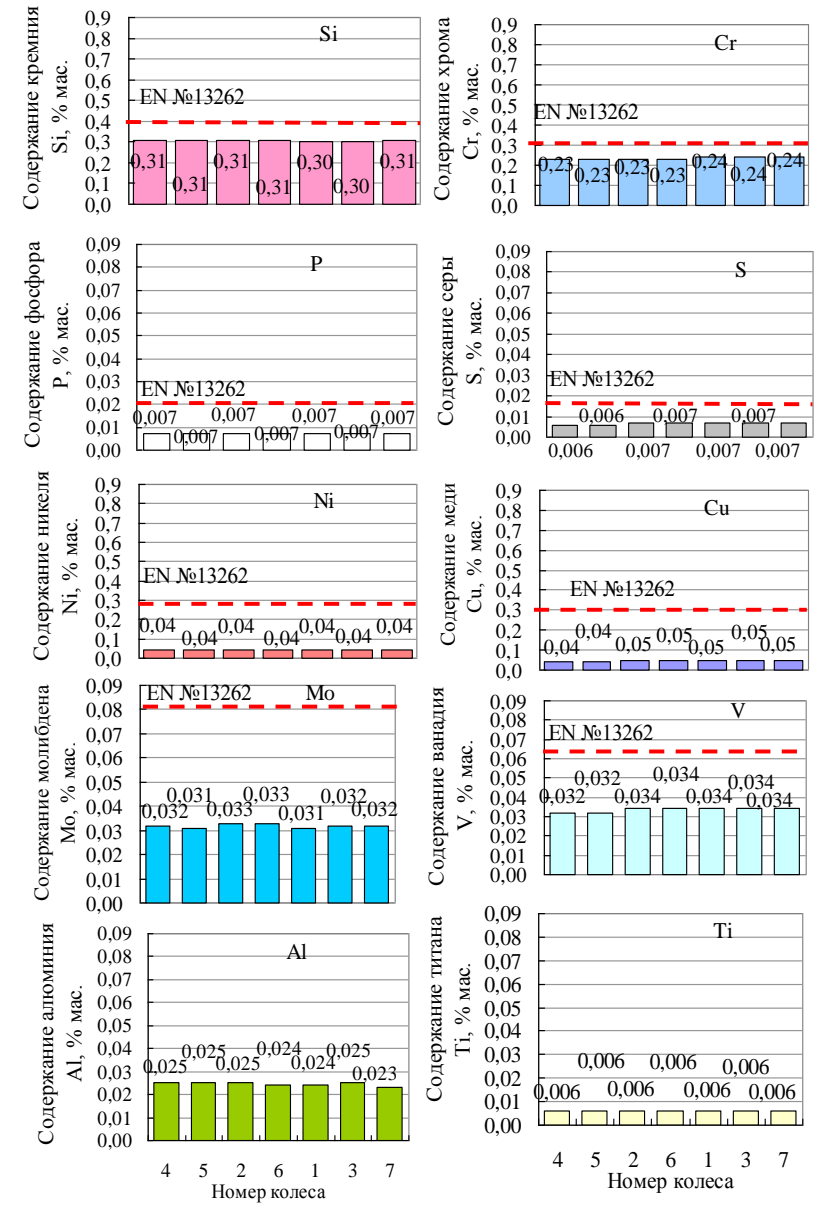


Рис. 5. Химический состав колес из модифицированной стали марки R7

Соответственно, механические свойства колес модифицированных сталей оказались более стабильными в сравнении с серийными немодифицированными. На рис. 6 дана разница (max-min) параметров прочности ободов колес ($\Delta\sigma_b$, $\Delta\sigma_t$, ΔHVB) немодифицированных и модифицированных плавок за 2006 г. – 2009 г. На рис. 7 представлена разница параметров пластичности и ударной вязкости обода за тот же период, на рис. 8 – разница показателей прочности и пластичности для диска колес.

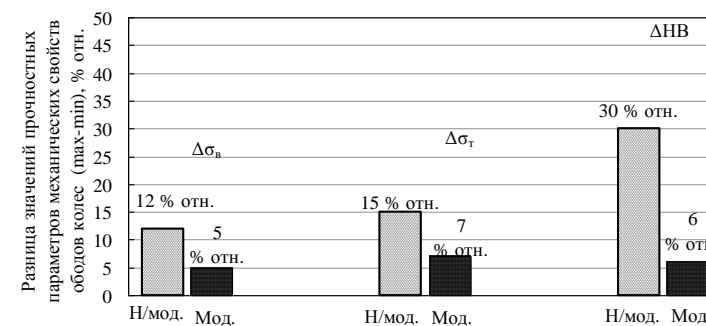


Рис. 6. Разница значений параметров прочности обода колес из немодифицированной и модифицированной стали R7 за 2006-2009 г.г.

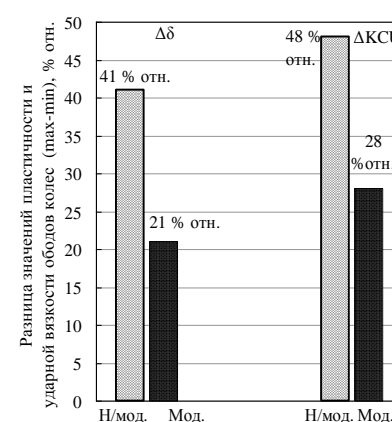


Рис. 7. Разница значений параметров пластичности обода колес из немодифицированной и модифицированной стали R7 за 2006-2009 г.г.

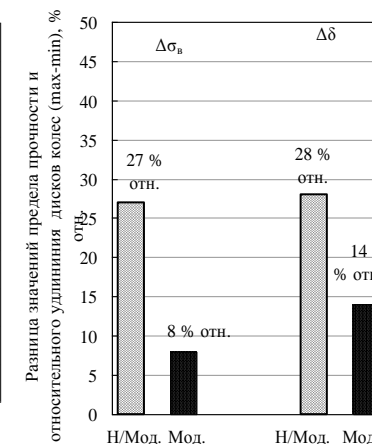


Рис. 8. Разница значений предела прочности и относительного удлинения дисков колес из немодифицированной и модифицированной стали R7 за 2006-2009 г.г.

Из анализа данных следует, что колеса немодифицированных плавков обладают значительным разбросом механических свойств в отличие от колес модифицированных плавков. Полученные результаты коррелируют с разбросом химического состава элементов и примесей в колесах немодифицированных плавков. Показателями стабилизации механических свойств являются результаты определения предела прочности, предела текучести, твердости, относительного удлинения и ударной вязкости колес, промышленных плавков, модифицированных специальными модификаторами (рис. 9-11).

Как видно, в разных колесах они имеют близкие значения, и в то же время превышают требования Европейского стандарта. Следует отметить, что благодаря модифицированию одновременно возросли как показатели прочности, так и показатели пластичности и ударной вязкости. Сравнение разницы (max-min) каждого из параметров механических свойств подтверждает факт их стабилизации: во всех случаях эта разница (max-min) была значительно (более, чем в 2 раза) меньше для колес стали R7, модифицированной специальными модификаторами.

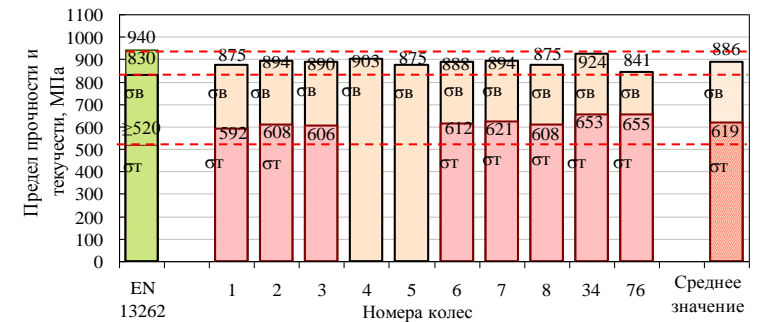


Рис. 9. Гистограмма значений предела прочности и предела текучести обода колес из модифицированной стали R7 плавка № 228811 по EN 13262

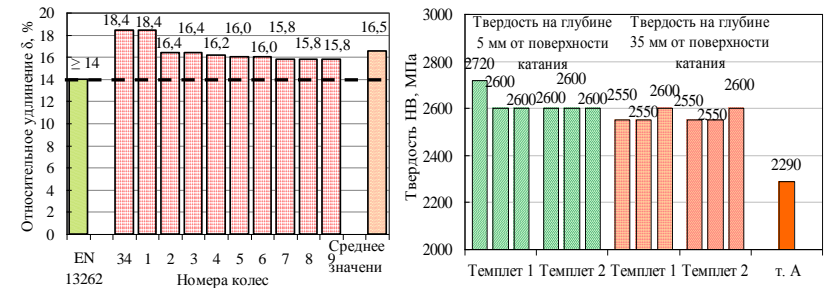


Рис. 10. Гистограмма значений относительного удлинения для обода колес модифицированной стали R7 плавка № 22811 в сравнении с EN 13262

Рис. 11. Твердость по Бринеллю на расстоянии от поверхности катания на 5 мм, 35 мм, в т. А в разных темплетах колеса № 4 плавки № 22811 модифицированной стали R7

Поскольку для колесной стали R7 основными параметрами механических свойств являются предел прочности обода и ударная вязкость, на рис. 11 и рис. 12 представлены в графической и аналитической форме зависимости изменения этих параметров от основного упрочнителя, углерода, для модифицированных специальными модификаторами и немодифицированных колес.

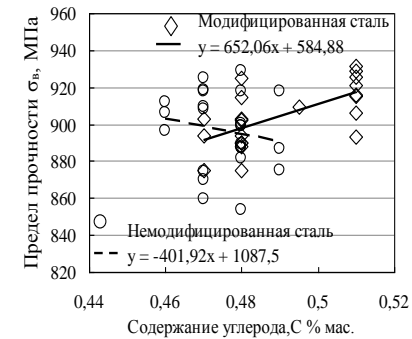


Рис. 12. Зависимость предела прочности от содержания углерода в немодифицированном и модифицированном металле

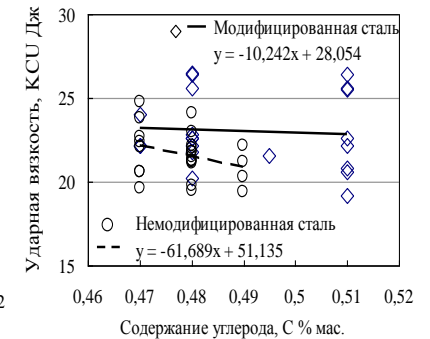


Рис. 13. Зависимость ударной вязкости от содержания углерода в немодифицированном и модифицированном металле

Из анализа представленных данных следует:

- с увеличением содержания углерода от 0,47 до 0,51 % мас. предел прочности обода в модифицированной стали R7 закономерно возрастал: $y = 0,652x + 584,88$, где «y» - предел прочности, «x» - содержание углерода. Причинами роста являлось – зернограницное упрочнение, обусловленное измельчением зерна (рис. 14), и повышением дисперсности структуры под влиянием углерода, увеличением количества перлита на 5 % при соответствующем уменьшении количества феррита и уменьшении разнородности;
- снижение предела прочности в немодифицированном серийном металле с повышением содержания углерода вызвано заметной разнородностью стали;
- ударная вязкость колес из модифицированной стали практически мало зависела от содержания углерода. Это связано с тем, что углерод относительно равномерно распределяется в значительно большем (в 2 раза) количестве зерен. Как видно из рис. 13, повышение содержания углерода в серийной немодифицированной стали уменьшало ударную вязкость.

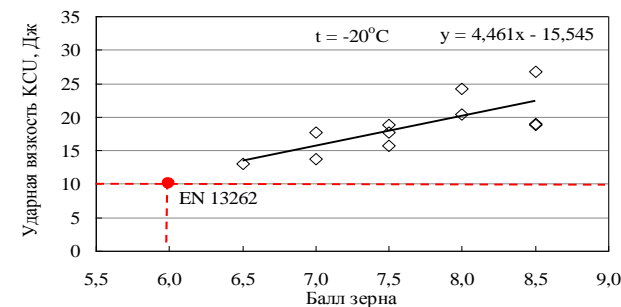


Рис. 14. Повышение ударной вязкости при -20°C образцов модифицированных плавок в зависимости от балла зерна в сравнении с EN 13262

Механизм стабилизации химического состава и механических свойств обусловлен изменением процесса кристаллизации слитка, которая при модифицировании специальными модификаторами развивается на множестве субмикроскопических центров кристаллизации. Они частично вносятся самим модификатором, частично образуются в расплаве при взаимодействии компонентов модификатора и расплава. Так, возможно образование центров кристаллизации на базе Al_2O_3 , TiN , TiC , VC и других. Эти соединения играют роль центров кристаллизации, являясь модификаторами второго рода и оказывая инокулирующий эффект на сталь при кристаллизации ее в изложнице. Поскольку модификатор состоит из 7-8 компонентов, среди них есть и такие, которые взаимодействуют с расплавом, как модификаторы первого рода, то есть, обволакивая растущие кристаллы в стальном расплаве, тормозят их рост.

Выводы

1. Специальные модификаторы многокомпонентного состава и многофункционального действия стабилизируют поэлементно химический состав промышленной колесной стали марки R7.
2. Под действием модификаторов повышается уровень механических свойств промышленной стали R7 и стабилизируются их параметры.
3. Модифицирование, вызывая измельчение зерна в 2 раза, повышает ударную вязкость колес из стали R7 тем в большей степени, чем выше балл зерна.
4. Увеличение содержания углерода в модифицированной стали повышает предел прочности в меньшей степени, чем в немодифицированной, а также снижает ударную вязкость в меньшей степени, чем в колесах серийного металла.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Металловедение: А.П. Гуляев – М.: «Металлургия», 1978 г., 645 с