

УДК 669.141.24-048.77

Ю. В. ТАТАРКО^{1*}, М. А. КУШНІР¹, І. А. МАРКОВА¹, Т. І. ІВЧЕНКО¹

^{1*}Каф. «Технології виробництва», Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара, пр. Гагаріна, 72, 49050, Дніпропетровськ, Україна, тел. + 38 (050) 480 81 90, ел. пошта julia.tatarko@gmail.com

ВИКОРИСТАННЯ КОМПЛЕКСНИХ МОДИФІКАТОРІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ СТАЛІ R7

Мета. Стабілізація хімічного складу та властивостей, зниження концентрацій шкідливих домішок, кількості неметалевих включень, подрібнення зерна колісної сталі R7 шляхом обробки багатокомпонентними модифікаторами. **Методика.** Досліджували хімічний склад та механічні властивості за UIC 812-3 і євростандартом EN 13262 серійних плавок сталі R7 та оброблених багатокомпонентним розкислювачем-модифікатором. Обробку даних проводили за допомогою регресивно-кореляційного аналізу. **Результати.** Установлено вплив операцій позапічної обробки на вміст шкідливих домішок. Найбільш ефективно знижувало концентрацію сірки введення комплексних модифікаторів. Показано, що в модифікованих плавках розкид як основних легуючих елементів, так і домішок зменшився, підвищилась однорідність та дисперсність структури, завдяки чому стабілізувались механічні властивості коліс. **Наукова новизна.** Вперше встановлено вплив кожного з етапів позапічної обробки сталі R7 на концентрацію шкідливих домішок, мікротвердість, структуру загартованих ківшових проб. Одержані залежності механічних характеристик від концентрацій шкідливих домішок. **Практична значимість.** Шляхом обробки багатокомпонентними розкислювачами-модифікаторами досягнуто стабілізацію хімічного складу, зниження концентрації сірки, кількості неметалевих включень, подрібнення зерна та підвищення однорідності структури, що сприяло стабілізації та підвищенню рівня механічних властивостей. Показано ефективність використання багатокомпонентних розкислювачів-модифікаторів для зростання якості сталі R7 та надійності коліс з неї.

Ключові слова: колісна сталь; позапічна обробка; багатокомпонентні розкислювачі-модифікатори; хімічний склад; механічні властивості; стабілізація

Вступ

Поліпшення якості колісних сталей є однією з важливіших проблем сучасного виробництва [6]. Перспективним шляхом її вирішення є позапічна обробка розплавів модифікаторами [3, 11, 12] для подрібнення зеренної та внутрішньозеренної структури, підвищення її однорідності, зниження концентрації шкідливих домішок, кількості неметалевих включень.

Колісні сталі є багатокомпонентними системами з широким інтервалом концентрацій легуючих елементів та домішок, що може призводити до нестабільності механічних властивостей і не прогнозованого зниження експлуатаційних характеристик. Питання стабілізації складу і властивостей розплавів залишається актуальним, незважаючи на використання технологій вакуумування сплавів у рідкому стані, впровадження безперервного лиття, обробки рідини металів алюмінієвою катанкою, порошковими проволочками тощо.

Мета

Пропоновані дослідження мали за мету стабілізацію хімічного складу та властивостей, зниження концентрацій шкідливих домішок, кількості неметалевих включень, подрібнення зерен колісної сталі R7 шляхом обробки багатокомпонентними модифікаторами.

Методика

Матеріалом для досліджень були ківшові проби після позапічної обробки сталі R7 та зразки, які вирізані з готових коліс з неї.

Проведено аналіз хімічного складу, механічних властивостей та структур, які були визначені за UIC 812-3 і євростандартом EN 13262, серійної та обробленої багатокомпонентним розкислювачем-модифікатором [7, 8] колісної сталі марки R7. Обробку даних проводили за допомогою регресивно-кореляційного аналізу. Досліджували вміст шкідливих домішок, мікротвердість та структуру загартованих зразків ківшових проб після кожного з етапів позапічної обробки.

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

Результати

Для оцінки впливу концентрацій шкідливих домішок у результаті регресійно-кореляційного аналізу масивів даних серійної сталі визначені коефіцієнти кореляції механічних властивостей з вмістом сірки та фосфору (таблиця 1). На рис. 1 показано графічні та аналітичні залежності характеристик міцності і роботи удару від концентрації сірки в колесах зі сталі R7.

Таблиця 1

Коефіцієнти кореляції механічних властивостей та концентрацій шкідливих домішок

Механічні властивості	Коефіцієнти кореляції	
	S	P
Границя міцності ободу	-0,27	-0,09
Границя текучості ободу	-0,20	-0,23
Відносне подовження ободу	-0,09	-0,18
Робота удару при 20 °С ободу	-0,38	-0,26
Робота удару при мінус 20 °С	-0,21	-
Границя міцності диску	-0,38	0,03
Відносне подовження диску	0,03	-0,14

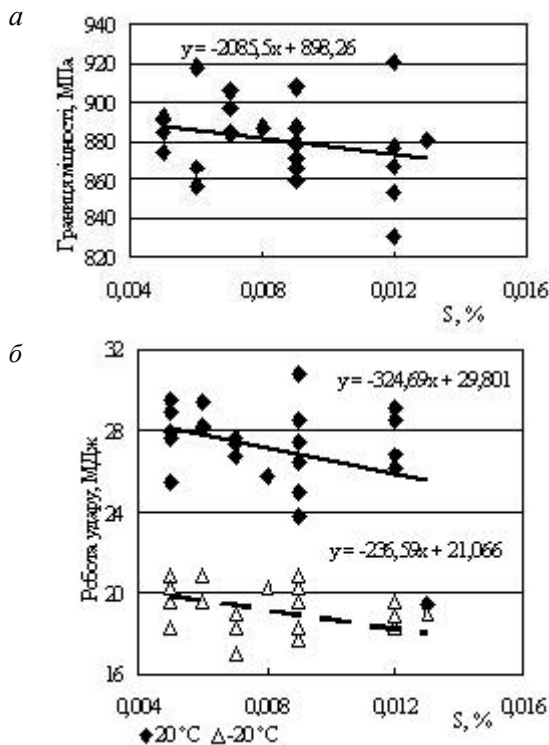


Рис. 1. Залежність механічних властивостей обода від концентрації сірки: а – границя міцності, б – робота удару при позитивних та негативних температурах

Як виходить з наведених даних, границя міцності обода і диска, твердість, робота удару при позитивних та негативних температурах обода зменшувались при зростанні вмісту сірки, значення відносного подовження майже не залежали від її концентрації. Підвищення вмісту фосфору викликало зниження характеристик пластичності ободу і диску, роботи удару ободу, майже не впливаючи на міцність. Таким чином, слід очікувати, що зниження концентрацій шкідливих домішок буде сприяти підвищенню границі міцності та роботи удару при позитивних та негативних температурах.

Досліджено зміну вмісту сірки і фосфору в процесі позапічної обробки колісної сталі R7 серійної та обробленої комплексними модифікаторами (таблиця 2). Склад багатокомпонентних модифікаторів розроблено з урахуванням термодинамічних, технологічних, фізичних, фізико-хімічних властивостей компонентів. Вони відрізняються дискретністю структури, мають певну вагу для проходження в метал через шлак. Це забезпечує їх високоефективну взаємодію з розплавом у всьому об'ємі, що збігається з дослідженнями, викладеними С. В. Корнєвим та ін. [9].

Таблиця 2

Зміна концентрацій сірки та фосфору на різних етапах позапічної обробки

№ етапу	Етап	Вміст сірки, %		Вміст фосфору, %	
		серійн.	модиф.	серійн.	модиф.
1	Після мартену	0,020	0,034	0,010	0,008
2	Після введення шлакоутворюючих, феросплавів, нікелю	0,018	0,028	0,010	0,005
3	Перша стадія розкислення (Al проволока, SiCa) РМШ*	0,016	0,017	0,012	0,005
4	Вакумування, доведення хімічного складу	0,010	0,006	0,012	0,005
5	Друге розкислення (Al проволока, SiCa) РМШ*	0,010	0,004	0,012	0,005

* – тільки для модифікованих плавов

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

З наведених даних видно, що жодна з операцій позапічної обробки майже не мала впливу на вміст фосфору. Незначне зниження його концентрації відбувалося після введення кальцієвмісних технологічних добавок, незначне зростання після введення технологічних добавок, які могли містити фосфор.

У серійних плавках концентрація сірки зменшувалась на кожному етапі позапічної обробки, що особливо помітно під час вакуумування, загалом від 0,020 % до 0,010 %, див. табл. 2, що збігається з даними [10]. Найбільш ефективно знижувало концентрацію сірки введення комплексних модифікаторів. Як видно з табл. 2, її вміст зменшувався з 0,034 % після мартену до 0,004 % після завершення позапічної обробки.

Паралельно з хімічним складом на різних етапах позапічної обробки модифікованої сталі вимірювали мікротвердість металу ківшевої проби після гартування (рис. 2).

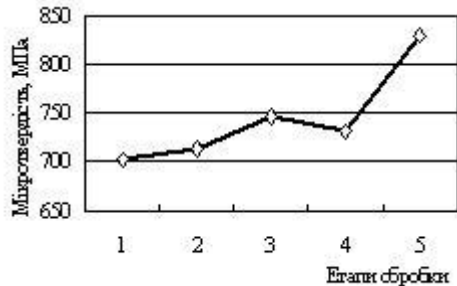


Рис. 2. Зміна мікротвердості зразків у процесі позапічної обробки

Виявилося, що після введення комплексних модифікаторів мікротвердість металу зростала. Металографічне дослідження загартованих зразків показало формування більш однорідної та дисперсної структури після третього та п'ятого етапів. Таким чином, обробка багатокомпонентними розкислювачами-модифікаторами не тільки сприяла видаленню шкідливих домішок, а й впливала на формування структури. Це давало підставу очікувати підвищення границі міцності, твердості та ударної в'язкості [1, 13, 14].

Проведено порівняльні дослідження хімічного складу, структури, механічних властивостей коліс, виготовлених з серійного та модифікованого металу.

Дані з розкиду концентрацій компонентів сталі R7 між плавками та в межах однієї плавки наведено в табл. 3.

Таблиця 3

Розкид вмісту хімічних елементів у сталі R7

Елементи	Розкид концентрацій елементів, % за масою			
	між плавками		в межах плавки	
	серійна	модифік.	серійна	модиф.
C	0,06	0,04	0,03	0,01
Mn	0,11	0,01	0,04	0,03
Si	0,08	0,05	0,03	0,015
P	0,013	0,011	0,004	0,003
S	0,012	0,002	0,004	0,002
Cr	0,06	0,05	0,02	0,015
Ni	0,04	0,11	0,01	0,01
Mo	0,008	0,016	0,005	0,005
V	0,020	0,006	0,004	0,002

З таблиці виходить, що в модифікованих плавках розкид як основних легуючих елементів, так і домішок, як між плавками, так і в межах однієї плавки, мав менші значення. Слід відзначити, що в результаті обробки комплексними модифікаторами суттєво знизилась концентрація сірки. Це обумовило зменшення кількості неметалевих включень, у тому числі сульфідів, як тонких, так і товстих (рис. 3).

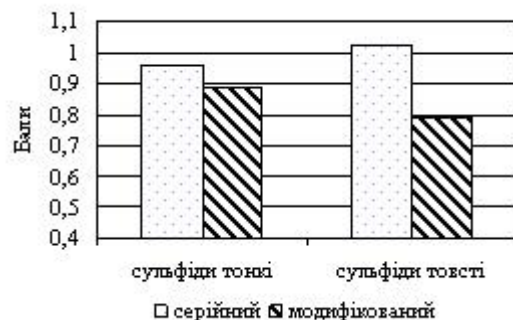


Рис. 3. Зменшення кількості сульфідів під впливом модифікування в плавках сталі R7

Змінились також розміри, форма та розташування неметалевих включень, сформувалися дрібні глобулярні неметалеві включення, а не гострокутові більших розмірів, як у серійній сталі [5]. Це дозволить зменшити негативний вплив неметалевих включень як концентраторів напружень на механічні властивості [4].

У результаті металографічних досліджень встановлено підвищення однорідності та подрібнення зеренної структури під дією комплексних модифікаторів. На рис. 4 представлено гістограму розподілу розмірів зерен у серійних та модифікованих плавках.

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

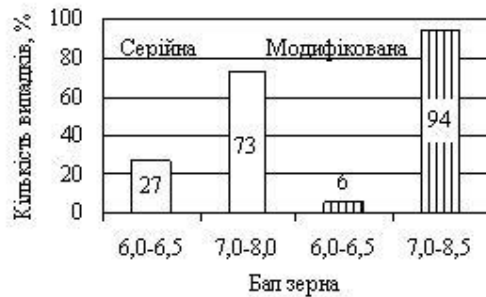


Рис. 4. Розподіл розмірів зерен у серійних та модифікованих плавках сталі R7

Як видно з рис., 27 % серійних плавки мали розмір зерна 6,0...6,5 бали, 73 % – 7,0...8,0 бали, в модифікованих же плавках більш дрібне зерно (7,0...8,5 бали) мали 94 % плавки і тільки 6 % – 6,0...6,5 бали, тобто зеренна структура модифікованого металу була більш однорідною та дрібною. Це обумовлено розвитком кристалізації на багатьох субмікроскопічних центрах. Вони частково вносяться самим модифікатором, частково утворюються в розплаві при взаємодії компонентів модифікатора і розплаву.

Формування однорідної структури з дрібним зерном мало сприяє стабілізації властивостей металу [2], підвищенню міцності та ударної в'язкості. Так середні значення границі міцності в серійних плавках склали 881 МПа, а в модифікованих – 899 МПа, відповідні значення роботи удару були 23,8 та 26,9 Дж.

Розкид механічних властивостей коліс, виготовлених з однієї та різних плавки серійної сталі R7 і обробленої багатокомпонентними модифікаторами, наведено в таблиці 4.

Таблиця 4

Розкид механічних властивостей у сталі R7

Сталь R7	Розкид механічних властивостей обода коліс			
	σ_b , МПа	σ_T , МПа	δ , %	KU, Дж
У межах однієї плавки				
Серійна	60	51	6	5,9
Модифікована	56	46	3	1,2
Між плавками				
Серійна	96	129	8,6	11,4
Модифікована	25	41	1,4	5,8

З таблиці виходить, що всі характеристики механічних властивостей мали більш стабільні значення у випадку обробки багатокомпонентними модифікаторами.

Формування однорідної структури обумовило підвищення виходу придатної продукції (колес) з одного зливку.

Наукова новизна та практична значимість

Вперше встановлено вплив кожного з етапів позаливної обробки на концентрацію шкідливих домішок, мікротвердість, структуру загартованих ківшових проб сталі R7.

Доведено, що використання розроблених комплексних модифікаторів сприяло розвитку об'ємної кристалізації.

Визначено залежність механічних характеристик від зміни концентрацій сірки і фосфору в межах, припустимих технічною документацією.

Практична значимість отриманих результатів полягає в підвищенні якості колісної сталі R7 за рахунок стабілізації хімічного складу та механічних властивостей, зменшення концентрації шкідливих домішок та кількості неметалевих включень шляхом використання розроблених за участю авторів багатокомпонентних розкислювачів-модифікаторів. Це дало можливість виготовляти з одного зливку на 5...10 колес більше, ніж за традиційною технологією.

Висновки

Доведено ефективність використання багатокомпонентних розкислювачів-модифікаторів для підвищення якості сталі R7 за рахунок реалізації об'ємного механізму кристалізації. Це сприяло рівномірному розподілу компонентів та формуванню однорідної структури у всьому об'ємі зливку, що обумовило стабілізацію хімічного складу та механічних властивостей в межах кожної плавки та між плавками.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Вакуленко, Л. И. Повреждаемость при эксплуатации катаных железнодорожных колес повышенной прочности / Л. И. Вакуленко, В. Г. Анофриев // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2012. – Вип. 40. – С. 231–234.
2. Вплив структурного стану вуглецевої сталі на процес утворення аустеніту при нагріві в двофазну ($\alpha+\gamma$)-область / І. О. Вакуленко, Б. І. Кіндрацький, С. О. Яковлев, І. С. Крамар, О. І. Шапгала // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім.

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

- акад. В. Лазаряна. – Д., 2011. – Вип. 36. – С. 218–221.
3. Голубцов, В. А. Теория и практика введения добавок в сталь вне печи / В. А. Голубцов. – Челябинск, 2006. – 422 с.
 4. Губенко, С. И. Особенности развития пластической деформации вблизи неметаллических включений / С. И. Губенко // Строительство, материаловедение, машиностроение. – 2013. – Вып. 67. – С. 46–50.
 5. Исследование состава и идентификация неметаллических включений, выявляемых при контроле железнодорожных колес // А. И. Бабаченко, П. Л. Литвиненко, А. А. Кононенко, А. В. Рослик // Металлургия и горнорудная промышленность. – 2011. – № 5. – С. 45–48.
 6. Напрямки підвищення надійності використання залізничних коліс / І. О. Вакуленко, О. М. Перков, Б. О. Перков, А. Е. Камишний // Проблеми та перспективи розвитку залізн. трансп. : тези доповідей 67 міжн. наук.-практ. конф. / Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д. : ДНУЗТ, 2007. – С. 244–245.
 7. Пат. 91633 Україна, МПК7 C22C 35/00 C21C 7/04. Розкислювач-модифікатор для обробки розплавів сталей та сплавів / Шаповалова О. М., Шаповалов В. П., Шаповалов О. В., Кушнір М. А., Татарко Ю. В. (Україна); заявник та патентовласник Дніпропетр. нац. ун-т імені Олеса Гончара. – № а 2009 00952; заявл. 09.02.2009; опубл. 10.08.2010, Бюл. № 15. – 6 с.
 8. Сировинні композити для обробки сталей та безрозплавна технологія їх виготовлення / О. В. Шаповалов, О. П. Бабенко, Т. І. Івченко, І. А. Маркова // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2012. – № 6. – С. 48–50.
 9. Технологические особенности модифицирующей обработки стали / С. В. Корнеев, В. А. Розум, И. А. Трусова, С. П. Заруцкий // Литье и металлургия. – 2011. – № 4. – С. 115–121.
 10. Шаповалова, О. М. Влияние формы слитка и вакуумирования на содержание серы в колесной стали КП-2 / О. М. Шаповалова, А. В. Дейнега // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2009. – Вип. 28. – С. 175–179.
 11. Шуб, Л. Г. О целесообразности модифицирования стального литья / Л. Г. Шуб, А. Ю. Ахмадеев // Металлургия машиностроения. – 2006. – № 5. – С. 38–41.
 12. Chaob, Z. Transformation Conditions – Microstructures – Mechanical Properties Relationship in 0,60 % C Hypoeutectoid Steel / Z. Chaobi, L. Yazheng, Z. Leyu // Steel Res. Int. – 2011. – Vol. 82, № 10. – P. 1207–1212.
 13. Lin, K. Effects of modification on microstructure and ultrahigh carbon (1,9 % C) steel / K. Lin, X. Dun, J. Lai // Mater Science and Engineering A. – 2011. – Vol. 528, № 28. – P. 8263–8268.
 14. Mirsada, O. Alloys with modified characteristics // O. Mirsada, R. Milenko, B. Omer / Materials in technologies. – 2011. – Vol. 45, № 5. – P. 483–485.

Ю. В. ТАТАРКО^{1*}, М. А. КУШНИР¹, І. А. МАРКОВА¹, Т. І. ІВЧЕНКО¹

^{1*} Каф. «Технологии производства», Днепропетровский национальный университет имени Олеса Гончара, пр. Гагарина, 72, 49050, Днепропетровск, Украина, тел. + 38 (050) 480 81 90, эл. почта julia.tatarko@gmail.com

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ МОДИФИКАТОРОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА СТАЛИ R7

Цель. Стабилизация химического состава и свойств, снижение концентраций вредных примесей, количества неметаллических включений, измельчение зерна колесной стали R7 путем обработки многокомпонентными модификаторами. **Методика.** Исследован химический состав и механические свойства согласно UIC 812-3 и евростандарту EN 13262 серийных плавок стали R7, обработанных многокомпонентным раскислителем-модификатором. Обработка данных проведена с помощью регрессионно-корреляционного анализа. **Результаты.** Установлено влияние операций внепечной обработки на содержание вредных примесей. Наиболее эффективно снижает концентрацию серы введение комплексных модификаторов. Показано, что в модифицированных плавках разброс как основных легирующих элементов, так и примесей уменьшился, повысилась однородность и дисперсность структуры, благодаря чему стабилизировались механические свойства колес. **Научная новизна.** Впервые установлено влияние каждого из этапов внепечной обработки стали R7 на концентрацию вредных примесей, микротвердость, структуру закаленных ковшевых проб. Получены зависимости механических характеристик от концентраций вредных примесей. **Практическая значимость.** Путем обработки многокомпонентными раскислителями-модификаторами достигнута стабилизация химического состава, снижение концентрации серы, количества неметаллических включений, измельчение зерна

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

и повышение однородности структуры, что способствовало стабилизации расплава и повышению уровня механических свойств. Показана эффективность использования многокомпонентных раскислителей-модификаторов для улучшения качества стали R7 и надежности колес из нее.

Ключевые слова: колесная сталь; внепечная обработка; многокомпонентные раскислители-модификаторы; химический состав; механические свойства; стабилизация

J. TATARKO^{1*}, M. KUSHNIR¹, I. MARKOVA¹, T. IVCHENKO¹

^{1*} Dep. «Technologies of production», Dnipropetrovsk National University named after Oles Gonchar, Gagarin Av., 72, 49050, Dnipropetrovsk, Ukraine, tel. + 38 (050) 480 81 90, e-mail julia.tatarko@gmail.com

USE OF COMPLEX MODIFIERS FOR IMPROVEMENT OF STEEL R7 QUALITY

Purpose. Stabilizing of chemical composition and properties, decrease of detrimental impurities concentrations, amount of nonmetallics, grinding down of grain of the R7 wheeled steel by treatment of multicomponent modifiers. **Methodology.** Probed chemical composition and mechanical properties in accordance with UIC 812-3 and EN 13262 serial melting steel R7 and treated a multicomponent deoxidizers-modifiers are researched. Processing of data is conducted by a regressive-cross-correlation analysis. **Findings.** Influence of operations of out-of-furnace treatment is set on detrimental impurities concentration. Using of complex modifiers has reduced the concentration of sulfur most effectively. It is shown that in the modified melting variation of both basic alloying elements and admixtures has decreased, homogeneity and dispersion of structure have increased, what mechanical properties of wheels were stabilized due to. **Originality.** Influence was first set each of the stages of out-of-furnace treatment steel R7 on the detrimental impurities concentration, micro hardness, structure of hard-tempered tests. Dependences of mechanical characteristics were got of the detrimental impurities concentrations. **Practical value.** By treatment of multicomponent deoxidizers-modifiers, stabilization of chemical composition, sulfur concentration reducing, nonmetallic inclusions amount, grain refining and improving the homogeneity of the structure are achieved, this led to stabilizing and increase of mechanical properties level. It is shown the efficiency of multicomponent deoxidizers-modifiers usage in order to improve quality of steel R7 and reliability of wheels made of it.

Keywords: wheeled steel; out-of-furnace treatment; multicomponent deoxidizers-modifiers; chemical composition; mechanical properties; stabilization

REFERENCES

1. Vakulenko L.I. Povrezhdayemost pri ekspluatatsii katanykh zhelezodorozhnykh koles povyshennoy prochnosti [Damage probability during exploitation of rolled railway wheels of extra-strong] *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2012, issue 40, pp. 231-234.
2. Vakulenko I.O., Kindratskiy B.I., Yakovlev S.O., Kramar I.Ye., Shaptala O.I. Vplyv strukturnoho stanu vuhletsevoi stali na protses utvorennia austenitu pry nahrivi v dvofaznu ($\alpha+\gamma$)-oblast [Influence of the structural state of carbon steel on the process of formation of austenite at heating in dysphasic ($\alpha+\gamma$) - range]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2011, issue 36, pp. 218–221.
3. Golubtsov V.A. *Teoriya i praktika vvedeniya dobavok v stal vne pechi* [Theory and practice of introduction of additions in steel out of stove]. Chelyabinsk Publ., 2006. 422 p.
4. Gubenko S.I. *Osobennosti razvitiya plasticheskoy deformatsii vblizi nemetallicheskih vklyucheniy* [Features of development of flowage nearby nonmetallics]. *Stroitelstvo, materialovedeniye, mashinostroyeniye – Construction, Metal Science, Mechanical Engineering*, 2013, issue 67, pp.46-50.
5. Babachenko A.I., Litvinenko P.L., Kononenko A.A., Roslik A.V. Issledovaniye sostava i identifikatsiya nemetallicheskih vklyucheniy, vvyavlyayemykh pri kontrole zhelezodorozhnykh koles [Researches of composition and authentication of nonmetallics, exposed at railway wheels control]. *Metallurgiya i gornorudnaya promyshlennost – Metallurgy and Mining Industry*, 2011, no. 5, pp.45-48.

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

6. Vakulenko I.O., Perkov O.M., Perkov B.O., Kamishnyi A.Ye. *Napriamky pidvyshchennia nadiinosti vykorystannia zaliznychnykh kolis* [Directions of increase the reliability of the railway wheels use]. Tezy dopovidei 67 mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Problemy ta perspektyvy rozvytku zaliznichnoho transportu» [Proc. of the 67th Int. Scientific and Practical Conf. «Problems and prospects of the railway transport development»]. Dnipropetrovsk, 2007, pp.244-245.
7. Shapovalova O.M., Shapovalov V.P., Shapovalov O.V., Kushnir M.A., Tatarko Yu.V. *Rozkysliuvach-modyfikator dlia obrobky rozplaviv stalei ta splaviv* [Deoxidizer-modifier for treatment of steels and alloys fusions]. Patent UA, no. a 2009 00952, 2009.
8. Shapovalov O.V., Babenko O.P., Ivchenko T.I., Markova I.A. *Syrovynni kompozyty dlia obrobky stalei ta bezrozplavna tekhnolohiia yikh vyhotovlennia* [Raw material composites for treatment of steels and non-melting technology of their manufacture]. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost – Metallurgy and Mining Industry*, 2012, no. 6, pp. 48-50.
9. Korneyev S.V., Rozum V.A., Trusova I.A., Zarutskiy S.P. *Tekhnologicheskiye osobennosti modifitsiruyushchey obrabotki stali* [The technological features of modifying treatment of steel]. *Litye i metalurgiya – Casting and Metallurgy*, 2011, no. 4, pp. 115-121.
10. Shapovalova O.M., Deynega A.V. *Vliyanie formy slitka i vakuumirovaniya na sodержaniye sery v kolesnoy stali KP-2* [Influence of the ingot form and vacuuming on the sulfur content in wheel steel KP-2]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2009, issue 28, pp. 175-179.
11. Shub L.G., Akhmadeyev A.Yu. *O tselesoobraznosti modifitsirovaniya stalnogo litya* [About expedience of modifying treatment of the steel casting]. *Metallurgiya mashinostroyeniya – Metallurgy of Mechanical Engineering*, 2006, no. 5, pp. 38-41.
12. Chaobi Z., Yazheng L., Leyu Z. *Transformation Conditions –Microstructures – Mechanical Properties Relationship in 0,60 % C Hypoeutectoid Steel*. *Steel Pesearch International*, 2011, vol. 82, no. 10, pp. 1207-1212.
13. Lin K., Dun X., Lai J. *Effects of modification on microstructure and ultrahigh carbon (1,9 % C) steel*. *Mater Science and Engineering A*, 2001, vol. 528, no. 28, pp. 8263-8268.
14. Mirsada O., Milenko R., Omer B. *Alloys with modified characteristics*. *Materials in Technologies*, 2011, vol. 45, no. 5, pp. 483-485.

Стаття рекомендована до публікації "д.т.н., проф. І. О. Вакуленко (Україна); "д.т.н., проф. М. О. Матвеевою (Україна)

Надійшла до редколегії 02.04.2013

Прийнята до друку 14.06.2013