

УДК 669.141.24-048.77

С. О. ПОЛІШКО^{1*}, М. А. КУШНІР¹, Ю. В. ТАТАРКО¹, А. Ф. САНІН¹¹*Каф. «Технології виробництва», Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара, пр. Гагаріна, 72, 49050, Дніпропетровськ, Україна, тел. + 38 (093) 581 41 88, ел. пошта polishko_serгей@mail.ru**ВПЛИВ МОДИФІКУВАННЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ МАЛОВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ СТ1КП ТА КОЛІСНОЇ КП-Т**

Мета. Встановлення впливу модифікування на стабілізацію хімічного складу, покращення морфології і розташування неметалевих включень та підвищення стабільності і рівня механічних властивостей сталей Ст1кп та КП-Т. **Методика.** Для досягнення поставленої в роботі мети використовували сучасні методи досліджень: хімічний і спектральний; електронікроскопічний; металографічний; визначення механічних властивостей. Хімічний склад сталей визначали за ДСТУ 2651-2006 і ТУ У 35.2-23365425-600:2006. **Результати.** Встановлено вплив багатофункціональних модифікаторів на хімічний склад, формування неметалевих включень та механічні властивості в маловуглецевій сталі Ст1кп і колісній КП-Т. Доведено, що багатофункціональні модифікатори зменшують кількість неметалевих включень та покращують їх морфологію, сприяють стабілізації хімічного складу і підвищенню рівня механічних властивостей сталей, що досліджувались. **Наукова новизна.** Вперше доведено можливість стабілізації хімічного складу та механічних властивостей, зміни морфології неметалевих включень завдяки об'ємній кристалізації під час модифікації. **Практична значимість.** Використання модифікаторів різних за складом на підприємствах ВАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» і ВАТ «ІНТЕРПАЙП НТЗ» при виплавці сталей Ст1кп і КП-Т дозволило підвищити механічні характеристики, особливо ударну в'язкість готових коліс із сталі марки КП-Т в середньому на 14 %. Розроблено два нових модифікатора багатофункціональної дії для обробки маловуглецевої і колісної сталей, новизну яких підтверджено патентами України № 85254 та № 93684.

Ключові слова: арматурна та колісна сталі; неметалеві включення; багатофункціональні модифікатори; механічні властивості; хімічний склад

Вступ

При виготовленні коліс для залізничного транспорту і арматури для будівних споруд широко застосовують вуглецеві сталі. Всі зростаючі вимоги до якості залізничних коліс з високовуглецевої сталі та арматури з напівспокоїної і киплячої маловуглецевої сталі на світовому ринку та жорстка конкуренція викликають необхідність пошуків альтернативних рішень підвищення їх якості, окрім загальновідомих – легування і термічної обробки [1, 5, 6, 13]. Тому задача обробки розплавів багатофункціональними розкислювачами-модифікаторами з метою стабілізації хімічного складу, підвищення рівня механічних властивостей і зменшення кількості неметалевих включень, зміни їх розташування та морфології є, безумовно, актуальною [3, 9, 14].

Мета

Стабілізація хімічного складу, покращення морфології і розташування неметалевих вклю-

чень та підвищення стабільності і рівня механічних властивостей сталей Ст1кп та КП-Т шляхом модифікування.

Методика

Матеріалами досліджень були маловуглецева сталь Ст1кп, яку виплавлено на ВАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» у в 160-ти тонних конвертерах, а також колісна КП-Т, яку виплавляли в основній 250-ти тонній печі мартенівського цеху ВАТ «ІНТЕРПАЙП НТЗ». Дослідницько-промислові сталі Ст1кп і КП-Т обробляли багатофункціональними модифікаторами, склад яких захищено патентами України [7, 8]. Додавали модифікатори в розплав сталі Ст1кп під струмінь під час зливу металу з конвертера в ківш, а в КП-Т – на установці вакуумної обробки сталі (УВОС).

Для досягнення поставленої в роботі мети використовувались сучасні методи досліджень: хімічний і спектральний; електронікроскопічний; металографічний; визначення механічних властивостей. Хімічний склад сталей визначали за ТУ У

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

35.2-23365425-600:2006 і ДСТУ 2651-2006.

Масова частка хімічних елементів, %:

– арматурної сталі Ст1кп за ДСТУ 2654-2005 (ГОСТ 380-2005): С – 0,06...0,12; Mn – 0,25...0,50; Si – 0,05; P – 0,04; S – 0,05; Cr – 0,3; Cu – 0,3; Ni – 0,3; N – 0,01; H ≤ 2 ppm;

– колісної сталі КП-Т згідно з вимогами ТУ У 35.2-23365425-600 : 2006: С – 0,61...0,69; Mn – 0,70...0,90; Si – 0,4; P – 0,025; S – 0,02; Cr – 0,4; Cu – 0,3; Ni – 0,25; V – 0,08...0,15; Al – 0,013...0,03; H ≤ 2 ppm.

Результати

Результати порівняльних досліджень серійних та модифікованих сталей маловуглецевої Ст1кп та колісної КП-Т довели [4, 10], що в немодифікованих сталях спостерігається більш значний розкид вмісту легуючих елементів і шкідливих домішок (рис. 1) порівняно зі сталями тих же марок, які оброблено багатofункціональними модифікаторами.

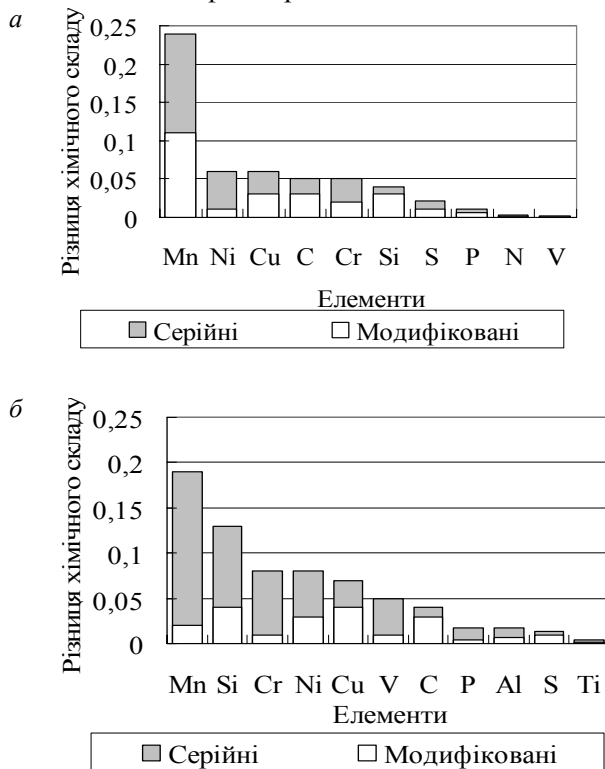


Рис. 1. Зменшення різниці міжплавочного вмісту елементів концентрації кожного компоненту в серійних та модифікованих сталях *а* – Ст1кп, *б* – КП-Т

У модифікованому металі кількість неметалевих включень у 2 рази менша, ніж у серійній сталі, а їхні розміри значно менші (від 2 до 7

мкм) і включення мають глобулярну форму. У сталі Ст1кп вміст сульфідів зменшився до 0,9 бала (замість 1,5), силікатів до 2,3 балів (замість 4,7), оксидів рядкових – 0 балів (замість 0,4), а в КП-Т: сульфідів до 1,19 бала (замість 1,43), силікатів до 0,78 балів (замість 1,3), оксидів – 0,44 балів (замість 0,5).

Було виявлено більш повне засвоєння розплавами алюмінію у модифікованому металі, особливо у Ст1кп, що сприяло зниженню концентрації окрихчучих оксидів заліза FeO.

Дослідження неметалевих включень у сталях, що досліджувались, довели, що середні бали неметалевих включень у серійних сталях більші за модифіковані як в арматурній сталі Ст1кп, так і в колісній сталі КП-Т (табл. 1). На поверхні шліфа проволочки утворювались джерела атмосферної корозії (~1 рік) на основі сульфиду, що сприяють руйнуванню металу (рис. 2, 3).

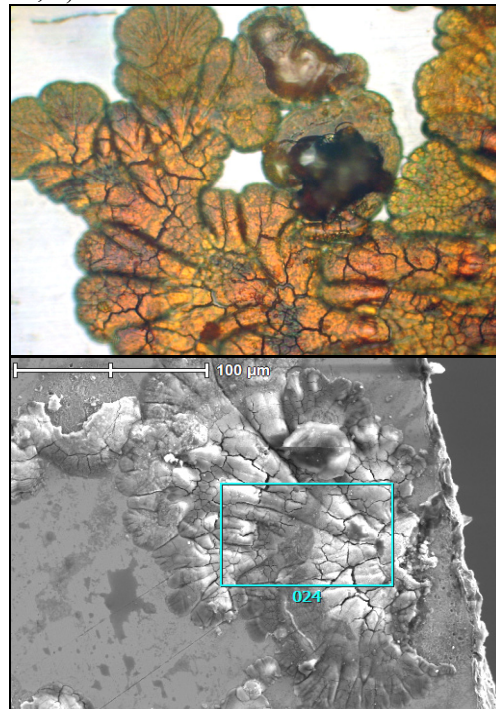


Рис. 2. Продукти корозії сталі Ст1кп (*а*), х600

№ точки	O	S	Fe	Разом, %
024	14,76	0,82	84,42	100

Рис. 3. Зона ураження з високою концентрацією заліза, х3000

Жовто-рудий окрас свідчить про наявність тут продуктів атмосферної корозії у вигляді оксидів заліза, їх існування підтверджено нами

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

експериментально за допомогою растрового електронного мікроскопа JEOL JSN-6360LA, який обладнано системою JED-2300. Як видно, в зоні корозійного ураження знаходяться продукти корозії з високою концентрацією заліза: 84,42 % Fe, 14,7 % O, 0,82 % S (рис. 2).

Аналогічні дослідження було проведено і для сталі КП-Т, результати яких зображено на рис. 4, 5.

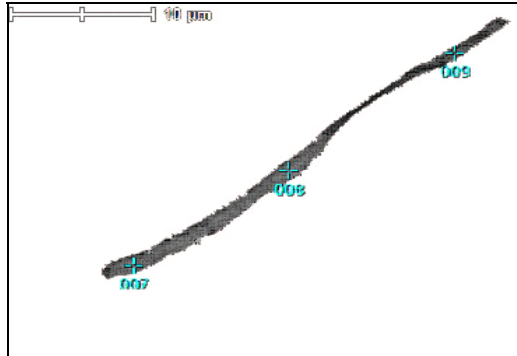


Рис. 4. Неметалеві включення в серійній сталі КП-Т, х3000

№ точки	S	Mn	Fe	Всього, %
007	29,84	61,79	8,38	100
008	28,67	57,41	13,93	100
009	26,26	57,72	16,03	100

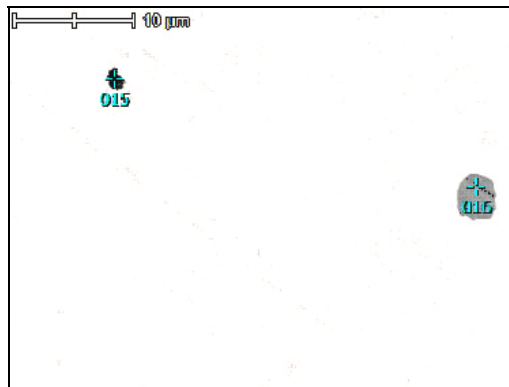


Рис. 5. Неметалеві включення в сталі КП-Т, яку оброблено багатofункціональними модифікаторами, х3000

№ точки	O	Si	S	Ca	Mn	Fe	Всього, %
015	0	0	31,2	6,3	62,5	0	100
016	0	0	33,6	2,8	63,7	0	100

Вищенаведені дані підтверджують, що в модифікованій сталі неметалеві включення навіть при великих збільшеннях мають глобулярну форму. Склад неметалевих включень комплексний – це оксиди заліза і кремнію разом з

сульфідами марганцю і заліза, силікати, оксиди марганцю і заліза разом з цементитом [4].

Таблиця 1

Середні бали неметалевих включень промислових немодифікованих і модифікованих плавок маловуглецевої сталі Ст1кп і колісної КП-Т

Неметалеві включення	ГОСТ 1778-70, бал	Статистичні показники	Немодифіковані, бал	Модифіковані, бал
Сталь Ст1кп				
Сульфіди	2,0	max	2,0	1,5
		min	1,5	0,5
		середнє	1,5	0,9
Крихкі силікати	2,0	max	2,5	2,5
		min	0	1,0
		середнє	1,8	1,6
Пластичні силікати	1,5	max	2,0	1,0
		min	0	0
		середнє	1,6	0,4
Недеформовані силікати	2,5	max	2,0	1,0
		min	0	0
		середнє	1,3	0,3
Оксиди рядкові	1,0	max	2,0	0
		min	0	0
		середнє	0,4	0
Сталь КП-Т				
Неметалеві включення	ТУ, бал	Статистичні показники	Немодифіковані, бал	Модифіковані, бал
Сульфіди	2,0	max	3,5	2,0
		min	0,5	0,5
		середнє	1,43	1,19
Крихкі силікати	2,0	max	3,0	1,5
		min	0,5	0,5
		середнє	1,08	1,03
Пластичні силікати	1,5	max	2,0	1,5
		min	0,5	0,5
		середнє	1,03	0,78
Недеформовані силікати	2,5	max	4,0	2,5
		min	0,5	0,5
		середнє	1,45	1,37
Оксиди рядкові	1,0	max	1,0	0,5
		min	0,5	0,5
		середнє	0,5	0,44

Неметалеві включення в серійних сталях Ст1кп та КП-Т витягнуті уздовж напрямку де-

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

формування і їх сумарна довжина в полі зору достатньо велика від 7 до 57 мкм (рис. 6, а та рис. 7, а). У модифікованих сталях (рис 6, б та рис. 7, б) навпаки – неметалеві включення навіть у місцях скупчень мали глобулярну форму настільки дрібну, що для переміщення дислокацій вони не є істотними перешкодами і не можуть бути концентраторами напружень через свою округлу форму.

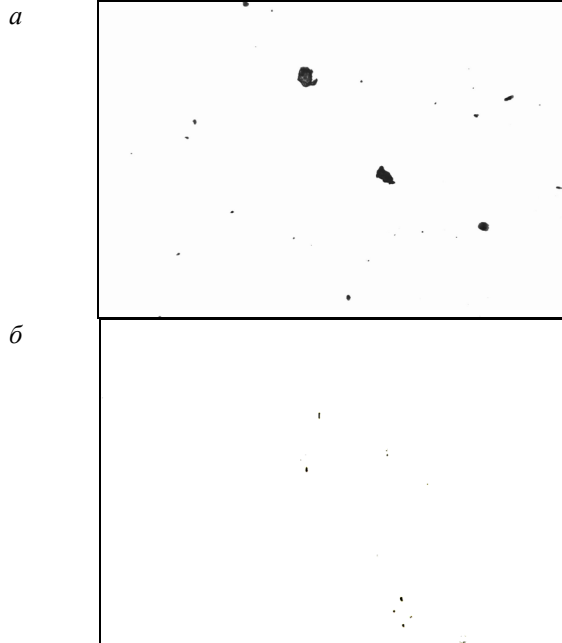


Рис. 6. Неметалеві включення сталі Ст1кп, х 150
а – серійній, б – модифікованій

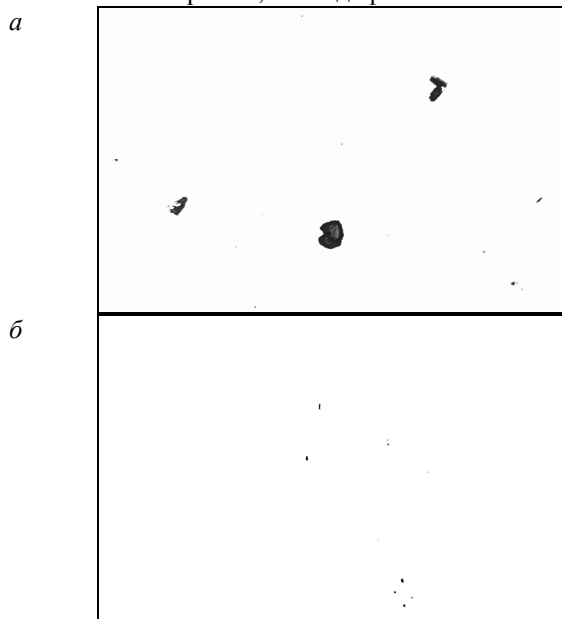


Рис. 7. Неметалеві включення сталі КП-Т, х 150
а – серійній, б – модифікованій

Механічні властивості досліджених сталей наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Механічні властивості сталей Ст1кп та КП-Т

Назва	$\sigma_{в,}$ МПа	$\delta, \%$	$\psi, \%$	НВ ₃₀ , МПа	КСУ, Дж м/см ²	
					диск	обод
Ст1кп (ДСТУ 2770-94)						
Вимоги	≤420	-	-	-	-	-
Середні значення серійних плавков	372,3	42,5	74,0	885	-	-
Різниця (max – min) серійних плавков	35	25	8	4	-	-
Середні значення модиф. плавков	380,8	46,2	78,0	981	-	-
Різниця (max – min) модифікованих плавков	25	20	6	2	-	-
КП-Т (ТУ У 35.2-23365425-600 : 2006)						
Вимоги	1020-1180	≥9	≥16	3200-3600	≥18	≥20
Середні значення серійних плавков	1132	11,1	22,9	3254	23	20
Різниця (max – min) серійних плавков	120	6,7	20	450	17	17
Середні значення модифікованих плавков	1153	11,2	26,2	3273	27	24
Різниця (max – min) модифікованих плавков	60	2,8	7	220	13	15

За даними, які наведено в табл. 2, випливає, що значення механічних властивостей модифікованих сталей вищі, ніж їх значення в серійному металі. Це гарантує більш високу надійність залізобетону та коліс при використанні в будівництві і транспортних засобів завдяки підвищенню рівня механічних властивостей [2, 11]. Обробка колісної сталі КП-Т та маловуглецевої Ст1кп багатофункціональними моди-

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

фікаторами стабілізувала хімічний склад досліджених сталей та водночас сприяла підвищенню і стабілізації рівня характеристик міцності та пластичності (рис. 1 та табл. 2).

Наукова новизна та практична значимість

Вперше доведено можливість стабілізації хімічного складу та механічних властивостей, зміни морфології неметалевих включень завдяки об'ємній кристалізації при модифікуванні. Використання модифікаторів різних за складом на підприємствах ВАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» і ВАТ «ІНТЕРПАЙП НТЗ» при виплавці сталей Ст1кп і КП-Т дозволило підвищити механічні характеристики, особливо ударну в'язкість готових коліс із сталі марки КП-Т в середньому на 14 %. Розроблено два нових модифікатори багатофункціональної дії для обробки маловуглецевої і колісної сталей, новизну яких підтверджено патентами України № 85254 та № 93684.

Висновки

1. Встановлено, що дія багатофункціональних модифікаторів забезпечила:

- зниження кількості неметалевих включень;
- стабілізування хімічного складу та підвищення стабільності і рівня механічних властивостей сталей Ст1кп і КП-Т.

2. Стабілізація хімічного складу і механічних властивостей відіграє першорядну роль для якості сталевий арматури відповідального призначення через зниження ризику обривності і розвитку корозійних пошкоджень металу, а також транспортного металу.

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. Влияние элементов на параметры механических свойств серийной и модифицированной стали Ст1кп / С. А. Полишко, И. А. Маркова, Т. И. Ивченко, Т. В. Носова // Металлургия и горнорудная промышленность. – 2012. – № 4. – С. 73–75.

3. Голубцов, В. А. Теория и практика введения добавок в сталь вне печи / В. А. Голубцов. – Челябинск : Компания НПП, 2006. – 422 с.
4. 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. – Вып. 5. – С. 45–48.
5. Мурадян, Л. А. Исследование действующих условий эксплуатации и анализ причин сокращения ресурса работы железнодорожных колес / Л. А. Мурадян // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2010. – Вип. 34. – С. 206–210.
6. Мямлин, С. В. Влияние условий эксплуатации на внутреннее строение металла железнодорожных колес / С. В. Мямлин, Л. И. Вакуленко // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2012. – Вип. 42. – С. 164–166.
7. Пат 93684 Україна МПК (2011.01) C22C 35/00 C21C 7/04. Розкислювач-модифікатор для обробки розплавів сталей і сплавів / Шаповалова О. М., Шаповалов В. П., Шаповалов О. В., Полішко С. О. (Україна); заявник та патентовласник Дніпропетр. нац. ун-т ім. Олесея Гончара. – № а 200801124; заявл. 30.01.2008; опубл. 10.03.2011, Бюл. № 5. – 12 с.
8. Пат 85254 Україна МПК (2006) C22C 35/00 C22C 38/06 C21C 7/04 C21C 7/06. Композиційний розкислювач для обробки сталей / Шаповалова О. М., Шаповалов В. П., Шаповалова О. М., Полішко С. О. (Україна); заявник та патентовласник Дніпропетр. нац. ун-т ім. Олесея Гончара. – № а 2007 00858; заявл. 26.01.2007; опубл. 12.01.2009, Бюл. № 1. – 12 с.
9. Рябчиков, И. В. Модификаторы и технологии внепечной обработки железоуглеродистых сплавов / И. В. Рябчиков. – М.: Экомет, 2008. – 400 с.
10. Стабилизация химического состава и механических свойств в сталях 1кп и R7 под влиянием модифицирования / О. М. Шаповалова, А. Е. Камышный, А. В. Шаповалов, С. А. Полишко, М. А. Кушнир, Е. Н. Майстренко, Ю. А. Финдлинг // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. трудов. – Вып. 48. – Ч. 3. – Д., 2009. – С. 232–236.
11. Alloys with modified characteristics / O. Mirsado, R. Milenko, B. Omer, M. Salejman // Materials in Technologies. – 2011. – № 5. – P. 485–489.
12. Effects of modification on microstructure and ultrahigh carbon (1.9wt% C) steel / K. P. Lin, X. H. Dun, J. P. Hai, H. S. Hin // Mater Science and

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

Engineering A. – 2011. – Vol. 528, № 28. – P. 8263–8268.

H. Lunngen, C.-D. Wuppermann // Stahl und Eisen. – 2008. – № 2. – P. 50–53.

13. Fandrich, R. Secondary metallurgy – state of the art and research trends in Germany / R. Fandrich,

С. А. ПОЛИШКО^{1*}, М. А. КУШНИР¹, Ю. В. ТАТАРКО¹, А. Ф. САНИН¹

^{1*}Каф. «Технологии производства», Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара, пр. Гагарина, 72, 49050, Днепропетровск, Украина, тел. + 38 (093) 581 41 88, эл. почта polishko_servey@mail.ru

ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРОВАНИЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ МАЛОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ СТ1кп И КОЛЕСНОЙ КП-Т

Цель. Установление влияния модифицирования на стабилизацию химического состава, улучшение морфологии и расположения неметаллических включений и повышения стабильности и уровня механических свойств сталей Ст1кп и КП-Т. **Методика.** Для выполнения поставленной в работе цели использовали современные методы исследований: химический и спектральный; электронномикроскопический; металлографический; определение механических свойств. Химический состав сталей определяли по ДСТУ 2651-2006 и ТУ В 35.2-23365425-600:2006. **Результаты.** Установлено влияние многофункциональных модификаторов на химический состав, формирование неметаллических включений и механические свойства в малоуглеродистой стали Ст1кп и колесной КП-Т. Доказано, что многофункциональные модификаторы уменьшают количество неметаллических включений и улучшают их морфологию, способствуют стабилизации химического состава и повышению уровня механических свойств исследуемых сталей. **Научная новизна.** Впервые доказана возможность стабилизации химического состава и механических свойств, изменения морфологии неметаллических включений благодаря объемной кристаллизации при модифицировании. **Практическая значимость.** Использование модификаторов разных составов на предприятиях ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог» и ОАО «ИНТЕРПАЙП НТЗ» при выплавке сталей Ст1кп и КП-Т позволило повысить механические характеристики, особенно ударную вязкость готовых колес из стали марки КП-Т в среднем на 14 %. Разработано два новых модификатора многофункционального действия для обработки малоуглеродистой и колесной сталей, новизна которых подтверждена патентами Украины № 85254 и № 93684.

Ключевые слова: арматурная и колесная стали; неметаллические включения; многофункциональные модификаторы; механические свойства; химический состав

S. POLISHKO^{1*}, M. KUSHNIR¹, J. TATARKO¹, A. SANIN¹

^{1*}Dep. «Technologies of production», Dnepropetrovsk National University named after Oles Gonchar, Gagarin Av., 72, 49050, Dnepropetrovsk, Ukraine, tel. + 38 (093) 581 41 88, e-mail polishko_servey@mail.ru

INFLUENCE OF MODIFICATION ON DESCRIPTIONS OF LOW-CARBON STEEL OF ST1KP AND WHEELED KP-T

Purpose. Establishment of influence of modification on chemical composition stabilizing, improvements of morphology and location of nonmetallics and increase of stability and level of mechanical properties of steels St1kp and КП-Т. **Methodology.** For the performance of the given goal the modern methods of researches are used: chemical and spectral; electron microscopy; metallography; determination of mechanical properties. Chemical composition of steels was determined on DSTU 2651-2006 and specifications U 35.2-23365425-600:2006. **Findings.** Influence of multifunction modifiers were set on chemical composition, forming of nonmetallics and mechanical properties in low-carbon steel of St1kp and wheeled КП-Т. It is proved that multifunction modifiers diminish the amount of nonmetallics and improve their morphology, facilitate chemical composition stabilization and increase of mechanical properties level of probed steels. **Originality.** Possibility of chemical composition stabilization and mechanical properties, changes morphology of nonmetallics due to volume crystallization at modification were first proved. **Practical value.** Use of modifiers of different compositions at the enterprises of JSCo «ArselorMittal Krivoi Rog» and JSCo «INTERPAYP NTZ» at smelting of steels St1kp and КП-Т allowed to promote mechanical descriptions, especially shock viscosity of the prepared wheels from steel КП-Т at the average on 14 %. Two new modifiers

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

of multifunction action for treatment low-carbon and wheeled steels were developed, the novelty of which was confirmed by the patents of Ukraine № 85254 and № 93684.

Keywords: armature and wheeled steels; nonmetallics; multifunctional modifiers; mechanical properties; chemical composition

REFERENCES

1. Vakulenko L.I., Anofriyev V.G. Povrezhdayemost pri ekspluatatsii katanykh zhelezodorozhnykh koles povyshennoy prochnosti [Defectiveness during exploitation of rolled railway extra-strong wheels]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universitetu 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. Polishko S.A., Markova I.A., Ivchenko T.I., Nosova T.V. Vliyaniye elementov na parametry mekhanicheskikh svoystv seriynoy i modifitsirovannoy stali St1kp [Influence of elements on the parameters of mechanical properties of serial and modified steel St1kp]. *Metallurgiya i gornorudnaya promyshlennost – Metals and Mining Industry*, 2012, no. 4, pp 73-75.
3. Golubtsov V.A. *Teoriya i praktika vvedeniya dobavok v stal vne pechi* [Theory and practice of introduction of additions in steel out of a stove]. Chelyabinsk, Kompaniya NPP Publ., 2006. 422 p.
4. Babachenko A.I., Litvinenko P.L., Kononenko A.A., Roslik A.V. Issledovaniye sostava i identifikatsiya nemetalicheskikh vlyucheni, vyavlyayemykh pri kontrole zhelezodorozhnykh koles [Research of composition and authentication of nonmetallics, exposed at control of railway wheels]. *Metallurgiya i gornorudnaya promyshlennost – Metals and Mining Industry*, 2011, no. 5, pp 45-48.
5. Muradyan L.A. Issledovaniye deystvuyushchikh usloviy ekspluatatsii i analiz prichin sokrashcheniya resursa raboty zhelezodorozhnykh koles [Research of effective operating conditions and analysis of resource reduction reasons of railway wheels work]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universitetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2010, issue 34, pp. 206-210.
6. Myamlin S.V. Vliyaniye usloviy ekspluatatsii na vnutrenneye stroyeniye metalla zhelezodorozhnykh koles [Effect of operating conditions on the internal metal structure of the railroad wheels]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universitetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2012, issue 42, pp. 164-166.
7. Shapovalova O.M., Shapovalov V.P., Shapovalov O.V., Polishko S.O. *Rozkysliuvach-modifikator dlia obrobky rozplaviv staley i splaviv* [Deoxidizer-modifier for treatment of steels and alloys fusions]. Patent UA, no. a 20080112493684, 2011.
8. Shapovalova O.M., Shapovalov V.P., Shapovalov O.V., Polishko S.O. *Kompozytsiyni rozkysliuvach dlia obrobky staley* [A composition deoxidizer for treatment of steels]. Patent UA, no. a 2007 00858, 2009.
9. Ryabchikov I.V. *Modifikatory i tekhnologii vnepechnoy obrabotki zhelezouglerodistykh splavov*. [Modifiers and technologies of ladle treatment of iron-carbon alloys]. Moscow, Ekomet Publ., 2008. 400 p.
10. Shapovalova O.M., Kamyshnyy A.Ye., Shapovalov A.V., Polishko S.A., Kushnir M.A., Maystrenko Ye.N., Findling Yu.A. Stabilizatsiya khimicheskogo sostava i mekhanicheskikh svoystv v stalyakh 1kp i R7 pod vliyaniem modifitsirovaniya [Stabilizing of chemical composition and mechanical properties in steels 1kp and R7 under influence of modification]. *Stroitelstvo, materialovedeniye, mashinostroyeniye* [Building, Material Science, Mechanical Engineering], 2009, issue 48, part 3, pp. 232-236.
12. Mirsado O., Milenko R., Omer B., Salejman M. Alloys with modified characteristics. *Materials in Technologies*, 2011, no. 5, pp. 485-489.
13. Lin K.P., Dun X.H., Hai J.P., Hin H.S. Effects of modification on microstructure and ultrahigh carbon (1.9wt%C) steel. *Mater Science and Engineering A*, 2011, vol. 528, no. 28, pp. 8263-8268
14. Fandrich R., Lunngen H., Wuppermann C.-D. Secondary metallurgy – state of the art and research trends in Germany. *Stahl und Eisen*, 2008, no. 2, pp. 50-53.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. І. О. Вакуленко (Україна); д.т.н., проф. Н. Є. Калініно (Україна)

Надійшла до редколегії 03.04.2013

Прийнята до друку 18.06.2013