

Цирук Віктор Григорович, кандидат технічних наук, кафедра приладобудування, Національний технічний університет України «Київський політехнічний університет», Україна.

Дяченко Вадим Петрович, кафедра приладобудування, Національний технічний університет України «Київський політехнічний університет», Україна, **e-mail: barv@barv.org.ua**.

Ткачук Андрій Геннадійович, асистент, кафедра автоматизованого управління технологічними процесами та комп'ютерних технологій, Житомирський державний технологічний університет, Україна, **e-mail: andrew_tkachuk@i.ua**.

Безвесильная Елена Николаевна, заслуженный деятель науки и техники Украины, доктор технических наук, профессор, кафедра приборостроения, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Украина.

Цирук Виктор Григорьевич, кандидат технических наук, кафедра приборостроения, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Украина.

Дяченко Вадим Петрович, кафедра приборостроения, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Украина.

Ткачук Андрей Геннадьевич, асистент, кафедра автоматизированного управления технологическими процессами и компьютерных технологий, Житомирский государственный технологический университет, Украина.

Bezvesilna Olena, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine, **e-mail: bezvesilna@mail.ru**.

Tsyruk Victor, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine.

Diachenko Vadym, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine, **e-mail: barv@barv.org.ua**.

Tkachuk Andrii, Zhytomyr State Technological University, Ukraine, **e-mail: andrew_tkachuk@i.ua**

УДК 669.046.558

Полишко С. А.

ВЛИЯНИЕ МЕЖПЛАВОВОЙ РАЗНИЦЫ СОДЕРЖАНИЯ КОМПОНЕНТОВ В КОЛЕСНОЙ СТАЛИ МАРКИ КП-Т НА ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ

Исследовано влияние многофункциональных модификаторов на стабилизацию химического состава, глобуляризацию неметаллических включений и снижение их количества, а также повышение трещиностойкости и уровня механических свойств колесной высокопрочной износостойкой стали КП-Т. Построены сравнительные гистограммы уменьшения разницы между максимальными и минимальными баллами неметаллических включений в серийной и модифицированной стали марки КП-Т.

Ключевые слова: многофункциональные модификаторы, стабилизация, химический состав, механические свойства, глобуляризация, неметаллические включения, трещиностойкость.

1. Введение

Все современные конструкционные стали являются многокомпонентными системами с значительным разбросом химического состава как между плавками, так и в пределах одной плавки [1]. Это происходит из-за использования большого количества лигатур, раскислителей, модификаторов, рафинизаторов и неконтролируемых по химическому составу ломов, что в конечном счете влечет за собой большой разброс механических свойств транспортного металла, а также снижает трещиностойкость колес и качество готовой продукции в целом. Поэтому, для того, чтоб повысить свойства металла, в условиях ОАО «ИНТЕРПАЙП НТЗ» успешно были применены модификаторы многофункционального действия [2] с добавлением к применяемым лигатурам FeSi, FeMn, SiMn, SiCa, CaO, CaF₂ [3]. Их использование позволило повысить характеристики прочности и пластичности на 7 и 25 % соответственно. Этим и обосновывается актуальность данных исследований.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

На сегодняшний день очень важным является вопрос о повышении качества колес для железнодорожных

вагонов, где применяют высокоуглеродистые износостойкие стали [1, 3–5]. В настоящее время используются серийные колеса, изготовленные из стали по ГОСТ 10791-2004 и ТУ «ОАО ИНТЕРПАЙП НТЗ» У 35.2-23365425-600:2006 из стали КП-Т, которые характеризуются нестабильным химическим составом, имеют повышенное количество неметаллических включений, особенно остроугольной и ограненной формы. Последние являются концентраторами напряжений, что обуславливает снижение прочности, трещиностойкости, недолгий срок службы и недостаточную стабильность свойств в процессе эксплуатации.

В работах [6–8] показано, что повышение свойств и улучшение структуры колесных сталей возможно при использовании раскисления, модифицирования, микролегирования и рафинирования в жидком состоянии и термообработкой в твердом состоянии. Эти стали имеют высокое содержание углерода (0,5–0,7 % С), являются сложнoleгированными, и обрабатываются такими ферросплавами, лигатурами и присадками, как FeSi, FeMn, SiMn, FeV, FeMo, SiCa, Al, CaO, CaF₂ для снижения содержания вредных примесей серы и фосфора, выведения кислорода, водорода и микролегирования. Ферросплавы, раскислители и модификаторы добавляют в расплав в указанной последовательности. Введение каждого из них снижает температуру металла в ковше, захлаживая

его, что часто приводит к недорастворенности тугоплавких ферросплавов и образованию микрокватов. Поэтому, наиболее прогрессивным способом повышения качества углеродистых сталей является обработка их в жидком состоянии, как доказано в работах [2, 4, 5].

Сегодня во многих странах мира работа по созданию и внедрению модификаторов широко проводится для обработки, как черных, так и цветных металлов [8–10]. В последние годы авторами [2, 4, 5] созданы новые концептуальные принципы получения углеродистых сталей путем их обработки в жидком состоянии технологическими многокомпонентными раскислителями — модификаторами — лигатурами с широкой сферой действия, которые имеют алюмотермический эффект и полную растворимость в стальном расплаве [2, 4, 5]. Это способствует повышению и стабилизации свойств готовой продукции, однородности структуры и повышению трещиностойкости транспортного металла.

Целью данной работы было установление влияния многофункциональных модификаторов на уменьшение межплавочного и внутриплавочного разброса химических элементов, повышение стабильности и уровня механических свойств колесной стали марки КП-Т.

3. Результаты исследований влияния многофункциональных модификаторов на улучшение морфологии неметаллических включений и повышения уровня и стабильности механических свойств

Согласно исследованным данным по 550 плавкам серийной стали КП-Т разница между max и min межплавочным содержанием элементов являлась весьма большой (табл. 1).

Определение коэффициентов вариации (показателей стабильности) подтвердило эти данные: установлена высокая нестабильность по содержанию P, S, Ni, Cu в то время как для основных упрочнителей стали КП-Т она была низкой.

Использование многофункциональных модификаторов позволило значительно снизить разницу между max и min содержанием элементов в стали КП-Т и понизить коэффициент вариации (чем он ниже, тем стабильнее система) (табл. 2).

Стабилизация химического состава под действием модифицирования обусловлена тремя причинами:

- 1) кристаллизацией аустенита при затвердевании на готовых поверхностях — субмикроскопических частицах модификатора;
- 2) оптимизацией химического состава по результатам исследований и обработки большого массива статистических данных для промышленных модифицированных плавок;
- 3) определенной последовательности введения легирующих элементов, раскислителей и модификаторов.

Как видно из нижеприведенной гистограммы (рис. 1), то снижение неметаллических включений при обработке стали многофункциональными модификаторами происходит ~ в 2 раза. Особенно это важно для сульфидов и силикатов, которые являются причинами резкого снижения трещиностойкости и прочности стали.

Структуру и морфологию неметаллических включений исследовали на растровом электронном микроскопе JEOL JSN-6360LA, оснащенный системой JED-2300. Эти результаты которых изображены на рис. 2.

Приведенные в табл. 3, 4 данные подтверждают, что в модифицированной стали неметаллические включения даже при больших увеличениях имеют глобулярную форму и не являются концентраторами напряжений.

Химический состав немодифицированной стали марки КП-Т

Таблица 1

Нормативная документация	Массовая доля элементов, %										
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Ti	Al	V
ВТК-144 ТУ В 35.2-23365425-600:2006	0,65 0,68	0,70 0,90	0,25 0,40	≤ 0,025	≤ 0,02	0,15 0,30	0,10 0,25	≤ 0,30	—	0,013 0,030	0,080 0,150
Средние значения по 550 плавок	0,66	0,77	0,33	0,012	0,008	0,20	0,13	0,06	0,009	0,021	0,094
Минимальные значения	0,64	0,70	0,26	0,005	0,002	0,16	0,10	0,03	0,005	0,013	0,080
Максимальные значения	0,68	0,89	0,39	0,023	0,015	0,24	0,22	0,10	0,009	0,030	0,130
Разница между max и min	0,04	0,19	0,13	0,018	0,013	0,08	0,12	0,07	0,004	0,017	0,050
Коэффициент вариации	0,020	0,036	0,063	0,358	0,382	0,057	0,119	0,482	0,119	0,077	0,134

Химический состав модифицированной стали КП-Т (7 плавок)

Таблица 2

Нормативная документация	Массовая доля элементов, %										
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Ti	Al	V
ВТК-144 ТУ У 35.2-23365425-600:2006	0,65 0,68	0,70 0,90	0,25 0,40	≤ 0,025	≤ 0,02	0,15 0,30	0,10 0,25	≤ 0,30	—	0,013 0,030	0,080 0,150
Средние значения	0,66	0,76	0,32	0,010	0,007	0,21	0,13	0,06	0,006	0,024	0,084
Минимальные значения	0,65	0,75	0,30	0,008	0,006	0,20	0,12	0,04	0,005	0,021	0,079
Максимальные значения	0,68	0,77	0,34	0,012	0,010	0,21	0,15	0,08	0,006	0,028	0,090
Разница между max и min	0,01	0,01	0,02	0,001	0,003	0,01	0,01	0,02	0,001	0,001	0,001
Коэффициент вариации	0,017	0,012	0,043	0,138	0,375	0,024	0,097	0,300	0,076	0,047	0,082

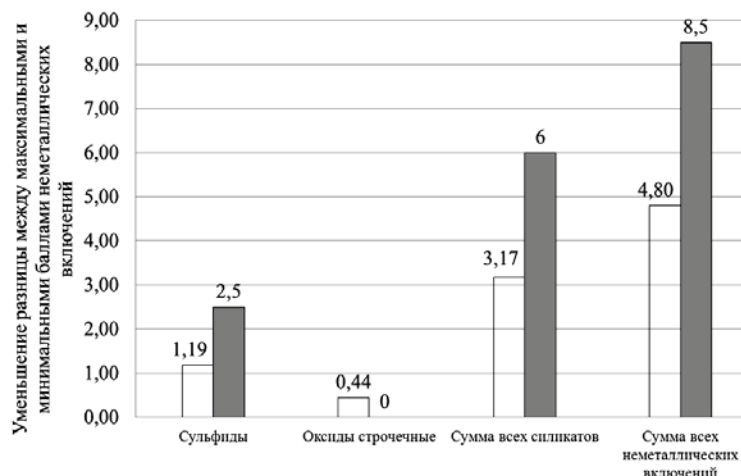


Рис. 1. Гистограмма разницы между максимальными и минимальными баллами сульфидов, силикатов и общей суммы неметаллических включений в серийных и модифицированных плавках высокопрочной износостойкой стали КП-Т:
□ — модифицированные; ■ — серийные

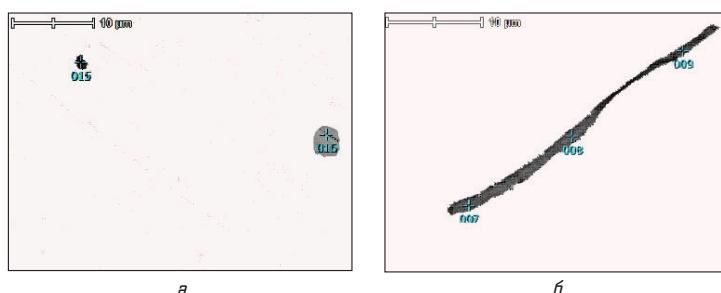


Рис. 2. Неметаллические включения в серийной (а) и модифицированной (б) стали КП-Т, $\times 3000$

Таблица 3

Состав неметаллических включений модифицированной стали КП-Т

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

Таблица 4

Состав неметаллических включений серийной стали КП-Т

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

В соответствии со значительной разницей между max и min межплавочным содержанием элементов в серийных плавках стали КП-Т по данным 550 плавки выявлен также большой разброс в параметрах механических свойств (табл. 5).

Из данных, приведенных в табл. 5, выходит следующее: значения механических свойств модифицированных сталей более высоки, чем их значение в серийном металле. Это гарантирует более высокую надежность готовых колес из стали КП-Т при использовании в транспортных средствах благодаря повышению уровня механических свойств согласно [11]. Обработка колесной стали КП-Т многофункциональными модификаторами стабилизировала химический состав исследованных сталей и в то же время способствовала повышению и стабилизации уровня характеристик прочности и пластичности (табл. 5).

4. Выводы

1. Трещиностойкость в зависимости от обсуждаемых факторов может быть повышена при: модифицировании многофункциональными модификаторами, оптимизации состава колесных сталей, ужесточении технологических режимов по всей цепочке производства, вплоть от выплавки до деформации и термической обработки.

2. Использование модификаторов на предприятии ОАО «ИНТЕРПАЙП НТЗ» при выплавке стали КП-Т позволило повысить механические характеристики, особенно ударную вязкость готовых колес из стали марки КП-Т в среднем на 14 %. Разработан новый модификатор многофункционального действия для обработки колесной стали КП-Т, новизна которого подтверждена патентом Украины № 93684 [2].

Литература

1. Теоретичні основи створення неплавлених модифікаторів широкого спектру дії для обробки рідкометалевих розплавів [Текст] : отчет по НИР (заключ.) // кер. О. М. Шаповалова, вик. Т. І. Івченко, О. П. Бабенко, А. В. Дейнега, Л. Я. Кульчицька, М. А. Кушнір, І. А. Маркова, С. О. Полішко, Ю. В. Татарко, В. П. Шаповалов, О. В. Шаповалов. — № ДР 0109U000160, № 6-218-09. — Дніпропетровськ, 2010. — 152 с

Таблица 5

Механические свойства

Название	σ_b , Мпа	δ , %	ψ , %	НВ ₃₀ , Мпа	КСЦ, Дж м /см ²	
					диск	обод
КП-Т (ТУ В 35.2-23365425-600:2006)						
Требования	1020–1180	59	516	3200–3600	518	520
Средние значения серийных плавков	1132	11,1	22,9	3254	23	20
Разница (max — min) серийных плавков	120	6,7	20	450	17	17
Средние значения модифицированных плавков	1153	11,2	26,2	3273	27	24
Разница (max — min) модифицированных плавков	60	2,8	7	220	13	15

2. Пат 93684 Україна МПК (2011.01) C22C 35/00 C21C 7/04. Розкислювач-модифікатор для обробки розплавів сталей і сплавів [Електронний ресурс] / Шаповалова О. М., Шаповалов В. П., Шаповалов О. В., Полішко С. О. (Україна); заявник та патентотримувач Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара. — № а200801124, заявл. 30.01.2008 р., опубл. 10.03.2011 р. — Бюл. № 5. — Режим доступу: \www/URL: <http://uapatents.com/4-93684-rozkislyuvach-modifikator-dlya-obrobki-rozplaviv-stalej-i-splaviv.html>.
3. Голубцов, В. А. Теория и практика введения добавок в сталь вне печи [Текст] / В. А. Голубцов. — Челябинск, 2006. — 422 с.
4. Полишко, С. А. Влияние элементов на параметры механических свойств серийной и модифицированной стали Ст1кп [Текст] / С. А. Полишко, И. А. Маркова, Т. И. Ивченко, Т. В. Носова // Металлургия и горнорудная промышленность. — 2012. — № 4. — С. 73–75.
5. Шаповалова, О. М. Стабилизация химического состава и механических свойств в сталях 1кп и R7 под влиянием модифицирования [Текст] / О. М. Шаповалова, А. Е. Камышний, А. В. Шаповалов, С. А. Полишко, М. А. Купчир, Е. Н. Майстренко, Ю. А. Финдлинг // Строительство, материаловедение, машиностроение. — 2009. — Вып. 48, Ч. 3. — С. 232–236.
6. Мурадян, Л. А. Исследование действующих условий эксплуатации и анализ причин сокращения ресурса работы железнодорожных колес [Текст] / Л. А. Мурадян // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. — 2010. — Вип. 34. — С. 206–210.
7. Рябчиков, И. В. Модификаторы и технологии выпечной обработки железоуглеродистых сплавов [Текст] / И. В. Рябчиков. — М.: Экомет, 2008. — 400 с.
8. Mirsado Oruç. Alloys with modified characteristics [Text] / Oruç Mirsado, Rimac Milenko, Beganović Omer, Muhamedagić Salejman // Mater in Technol. — 2011. — V. 45, № 5. — P. 483–487.
9. Liua, K. P. Effects of modification on microstructure and properties of ultrahigh carbon (1.9 wt. % C) steel [Text] / K. P. Liua, X. L. Duna, J. P. Laia, H. S. Liu // Materials Science and Engineering: A. — 2011. — Vol. 528, Is. 28. — P. 8263–8268. — Available at: \www/URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.msea.2011.07.038>.
10. Fandrich, R. Secondary metallurgy — state of the art and research trends in Germany [Text] / R. Fandrich, H. Lunngen, C.-D. Wuppermann // Stahl und Eisen. — 2008. — № 2. — P. 50–53.
11. ТУ У 35.2-23365425-600:2006. Колеса цельнокатаные диаметром 957 мм повышенной прочности и износостойкости [Текст]. — Введен 2009-01-01. — Д.: ОАО «ИТЕРПАЙП НТЗ», 2009. — 6 с.

ВЛИВ МІЖПЛАВНОЇ РІЗНИЦІ СКЛАДУ КОМПОНЕНТІВ У КОЛІСНІЙ СТАЛІ МАРКИ КП-Т НА ТРИЦНОСТІЙКІСТЬ

Досліджено вплив багатofункціональних модифікаторів на стабілізацію хімічного складу, глобуляризацію неметалевих включень і зниження їх кількості, а також підвищення трициностійкості та рівня механічних властивостей колісної високоміцної зносостійкої сталі КП-Т. Побудовано порівняльні гістограми зменшення різниці між максимальними і мінімальними балами неметалевих включень в серійній і модифікованій сталі марки КП-Т.

Ключові слова: багатofункціональні модифікатори, стабілізація, хімічний склад, механічні властивості, глобуляризація, неметалеві включення, трициностійкість.

Полишко Сергей Алексеевич, кандидат технических наук, доцент, кафедра технологии производства, Днепропетровский национальный университет радиоэлектроники, Украина, e-mail: polishko_serгей@mail.ru.

Полишко Сергей Олександрович, кандидат технических наук, доцент, кафедра технологии производства, Днепропетровский национальный университет радиоэлектроники, Украина.

Polishko Sergey, Dnipropetrovsk National University of Radio Electronics, Ukraine, e-mail: polishko_serгей@mail.ru

УДК 621.184.54

**Серко М. В.,
Мариненко В. І.,
Рогачов В. А.,
Хайрнасов С. М.**

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОБМІННИКА НА ОСНОВІ ТЕПЛОВИХ ТРУБ

Наведені результати експериментального дослідження теплообмінника на основі теплових труб для котлів малої потужності. Проаналізовані отримані результати на відповідність даним інших авторів. Також проведено порівняльний аналіз дослідного та рекуперативного теплообмінників. Показано, що при однаковій тепловій потужності порівнюваних утилізаційних теплообмінників, теплообмінник на теплових трубах має в 4...5 разів меншу площу теплопередаючої поверхні по відношенню до звичайного рекуперативного теплообмінника.

Ключові слова: теплові труби, утилізаційний теплообмінник, рекуперативний теплообмінник, експериментальні дані, теплопередаюча поверхня.

1. Вступ

Коефіцієнт корисної дії (ККД) сучасних газових котлів малої потужності тримається на рівні 90 %. ККД, найчастіше, визначається сумою різноманітних втрат, найбільша з яких пов'язана з теплою відхідних газів.

Прагнення максимально підвищити ККД і тим самим зберегти витрати палива приводить до необхідності

доведення до можливого мінімуму втрати теплоти з відхідними газами. Для цього потрібно зменшувати обсяг відведених газів, що досягається за рахунок зниження надлишків повітря та його присмоків у газовому тракці, і температури відхідних газів.

Для котлів малої потужності при номінальному режимі температура відхідних газів знаходиться у межах 110–160 °С. Ця температура визначається, як правило,