

УДК 669.046.558

Канд. техн. наук С. А. Полишко, д-р техн. наук А. Ф. Санін, канд. техн. наук Т. В. Носова

Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара, г. Днепропетровск

## ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ВЛИЯНИЯ ФОСФОРА И ЭЛЕМЕНТОВ-МОДИФИКАТОРОВ НА ПРОЧНОСТНЫЕ И ПЛАСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛИ 07ЮТ

*Рассмотрено влияние многофункциональных модификаторов на стабилизацию химического состава и повышение уровня механических свойств низколегированной конструкционной стали 07ЮТ. С целью установления условий взаимодействия компонентов многофункциональных модификаторов с расплавом исследованы коэффициенты вариации для установления стабилизации системы. Доказано повышение свойств в модифицированном металле при комплексном влиянии фосфора и элементов модификаторов (Ti, Al) на механические свойства стали 07ЮТ.*

**Ключевые слова:** многофункциональные модификаторы, низколегированная сталь, модифицирование, химический состав, механические свойства.

В современной металлургии представляет интерес уменьшения влияния вредных примесей на механические свойства низколегированных сталей, применяемых в качестве арматуры для железобетонных конструкций [1, 2]. Для достижения этой цели в работе [3] успешно были применены модификаторы многофункционального действия [4] взамен алюминия чушкового и ферротитана, изготавливаемых согласно ГОСТ 295-98 и ГОСТ 4761-91. Но на данный момент недостаточно хорошо исследовано комплексное влияние вредных компонентов (серы и фосфора) и элементов-модификаторов (алюминия и титана) на механические свойства сталей. В связи с этим в данной статье рассмотрено комплексное влияние фосфора с титаном и алюминии-

ем на предел прочности конвертерной стали 07ЮТ, выплавленной в условиях ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог».

Химический состав и механические свойства исследуемой стали представлены в табл. 1 и 2 соответственно.

После внепечной обработки стали 07ЮТ многофункциональными модификаторами [3] в металл вводятся микролегирующие элементы-модификаторы, такие как титан и алюминий, которые существенно влияют на свойства готовой продукции. Влияние этих элементов на стабилизацию химического состава и, как следствие, повышение стабильности и уровня механических свойств стали, до конца не исследовано и представляет большой научный и практический интерес.

**Таблица 1** – Химический состав стали 07ЮТ

Сталь 07ЮТ		Массовая доля элементов, %						
		C	Mn	Si	S	P	Ti	Al
по ВТУ 14-15-215-89		0,09	0,1–0,3	0,04	0,055	0,045	0,015–0,08	0,01–0,05
Средние значения	Серийные	0,08	0,27	0,04	0,035	0,014	0,080	0,076
	Модиф.	0,08	0,24	0,02	0,024	0,009	0,026	0,063
Min	Серийные	0,05	0,20	0,03	0,020	0,010	0,060	0,070
	Модиф.	0,05	0,17	0,01	0,011	0,005	0,030	0,040
Max	Серийные	0,10	0,30	0,04	0,055	0,025	0,090	0,100
	Модиф.	0,09	0,30	0,04	0,034	0,020	0,050	0,080

**Таблица 2** – Механические свойства стали 07ЮТ

Сталь 07ЮТ		Предел прочности $\sigma_b$ , МПа	Относительное сужение, %
по ВТУ 14-15-215-89		380–400	76–78
Средние значения	Серийные	379,2	72,9
	Модиф.	394,5	73,7
Min	Серийные	356,0	62,0
	Модиф.	385,0	69,0
Max	Серийные	408,0	77,0
	Модиф.	415,0	79,0

Для статистической обработки и аналитических зависимостей был использован массив данных химического состава и механических свойств 44 промышленных серийных и модифицированных плавок стали 07ЮТ. Наиболее надежным способом оценки нестабильности содержания каждого элемента химического состава является вычисление коэффициентов вариации. На рис. 1 представлена гистограмма сравнительных значений коэффициентов вариации по каждому элементу химического состава плавок Ст1кп, обработанных в ковше по стандартной технологии (контрольные плавки) и обработанных перспективными многофункциональными модификаторами.

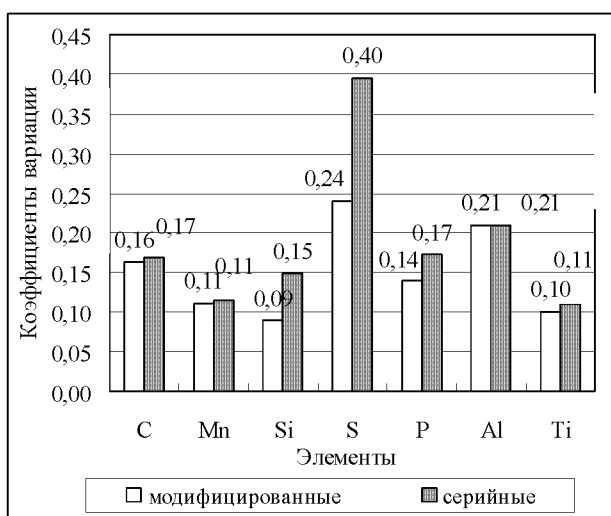


Рис. 1. Уменьшение коэффициентов вариации по каждому элементу химического состава 07ЮТ после обработки многофункциональными модификаторами в сравнении с данными для серийного металла

Как видно из рис. 1, в результате обработки 07ЮТ многофункциональными модификаторами произошла заметная стабилизация содержания элементов: чем меньше коэффициент вариации, тем стабильнее система. Это объясняется тем, что в стальной расплав вводятся центры кристаллизации при обработке раскислителями-модификаторами, которые обладают высокой температурой плавления и способствуют формированию более мелкого зерна при затвердевании слитка [5].

Анализ исследований графических зависимостей (рис. 1, 2) показал следующее. В модифицированном металле впервые было выявлено существенное повышение механических свойств под совместным влиянием элементов-модификаторов и фосфора (рис. 2, 3).

Также из рис. 2 следует, что в модифицированном металле элементы-модификаторы совместно с фосфором оказывают более сильное упрочняющее действие, чем в серийном металле. Также в модифицированной стали при минимальных значениях фосфора (0,006 % P) с ростом титана предел прочности  $\sigma_b$  увеличивается, монотонно – так при 0,005 % Ti  $\sigma_b$  составляет 360 МПа, а при 0,080 % Ti – 450 МПа. При максимальных же концентрациях фосфора (0,025 % P) с повышением титана предел прочности монотонно падает при 0,020 % Ti  $\sigma_b$  принимает максимальное значение, составляющее 455 МПа, а при 0,080 % Ti предел прочности равен 359 МПа. В тоже время при максимальных минимальных значениях титана (0,020 % Ti) под влиянием фосфора значительно возрастает  $\sigma_b$  стали 07ЮТ с 360 МПа – что соответствует минимальной прочности – до 350 МПа. Это связано с действием компонентов многофункционального модификатора [3]. Но при максимальном количестве титана (0,080 % Ti) влияние фосфора на предел прочности неоднозначно: с возрастанием фосфора от 0,005 % P до 0,013 % P предел прочности падает от 500 МПа до 300 МПа, но с дальнейшим увеличением концентраций фосфора прочность повышается до 340 МПа.

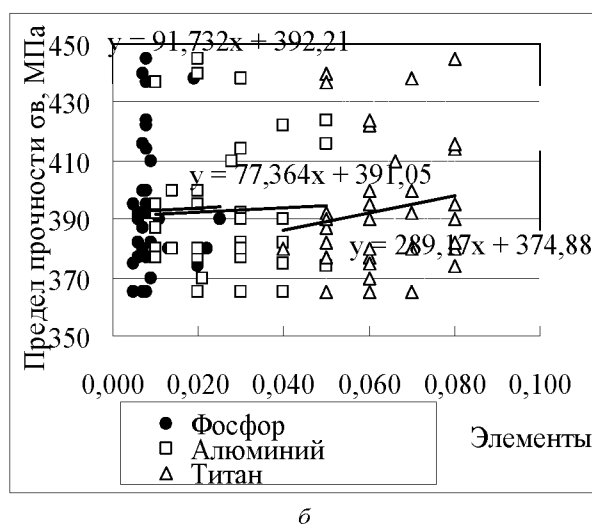
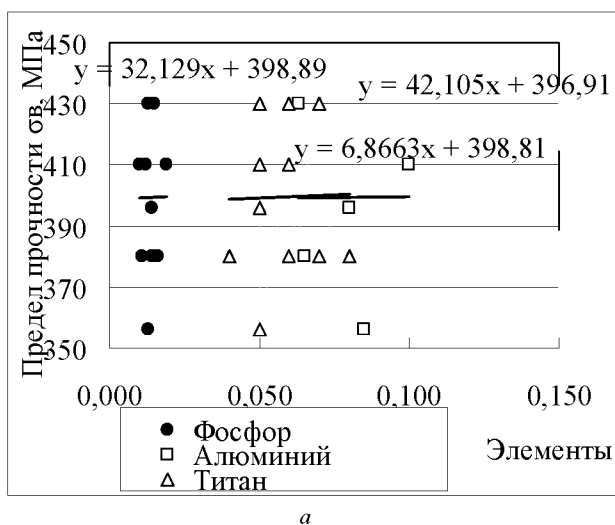
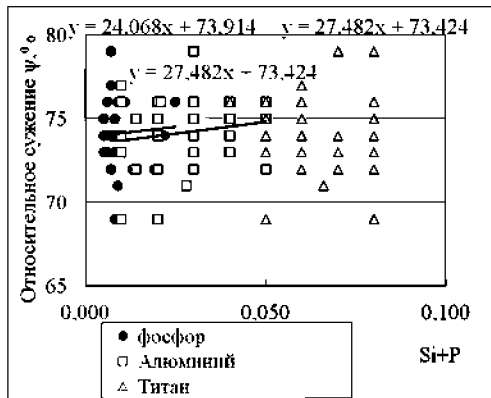
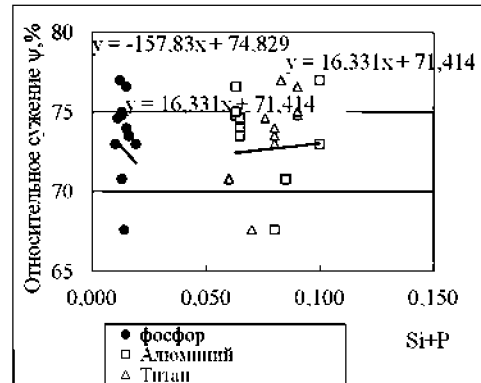


Рис. 2. Совместное влияние фосфора, алюминия и титана на предел прочности в серийных (а) и модифицированных (б) плавках стали марки 07ЮТ

Аналізуючи рис. 3, можна зробити висновок, що в серійній сталі 07ЮТ під впливом фосфору спільно з титаном і алюмінієм відбувається зниження пластичності, в отличие від модифікованого металу. Під дією багатифункціональних модифікаторів відбувається підвищення відносного звуження (пластичності).



а



б

Рис. 3. Спільне вплив фосфору, алюмінію та титану на відносне звуження в серійних (а) і модифікованих (б) сплавах сталі марки 07ЮТ

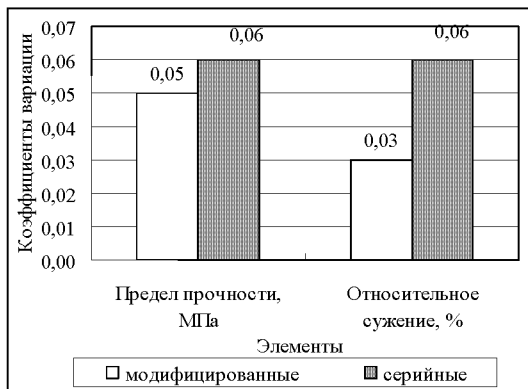


Рис. 4. Зменшення коефіцієнтів варіації по механічним властивостям сталі 07ЮТ після обробки багатифункціональними модифікаторами в порівнянні з даними для серійного металу

#### Список литературы

1. Троцан А. И. Влияние содержания циркония на карбонитридообразование в микролегированной низкоуглеродистой стали / А. И. Троцан, В. В. Каверинский, И. Л. Бродецкий / Строительство, материаловедение,

машиностроение : сб. научн. трудов. – Вып. 67. – Д., 2012. – С. 73–75.

2. Голубцов В. А. Теория и практика введения добавок в сталь вне печи / В. А. Голубцов. – Челябинск, 2006. – 422 с.
3. Теоретичні основи створення несплавлених модифікаторів широкого спектру дії для обробки рідкометалевих розплавів : отчет по НИР (заключ.) / кер. Шаповалова О. М., вик. Івченко Т. І., Бабенко О. П., Дейнега А. В., Кульчицька Л. Я., Кушнір М. А., Маркова І. А., Полішко С. О., Татарко Ю. В., Шаповалов В. П., Шаповалов О. В. – Дніпропетровськ, 2010. – 152 с. – № ДР 0109U000160, № 6-218-09.
4. Пат. 85254 Україна МПК<sup>7</sup> С22С 35/00 С22С 38/06 С21С 7/04, С21С 7/06. Композиційний розкислювач для обробки сталей. / Шаповалова О. М., Шаповалов В. П., Шаповалов О. В., Полішко С. О.; заявник та патентотримувач Дніпропетровський національний університет. – № а200700858; заявл. 26.01.2007; опубл. 12.01.2009, Бюл № 1.
5. Полишко С. О. Влияние элементов на параметры механических свойств серийной и модифицированной стали Ст1кп / С. О. Полишко // Новые материалы и технологии в металлургии и машиностроении. – 2012. – № 2. – С. 32–37.

Одержано 16.10.2013

#### Полішко С.О., Санін А.Ф., Носова Т.В. Дослідження комплексного впливу фосфору та елементів-модифікаторів на міцності та пластичні властивості сталі 07ЮТ

Розглянуто вплив багатифункціональних модифікаторів на стабілізацію хімічного складу і підвищення рівня механічних властивостей низьколегованої конструкційної сталі 07ЮТ. З метою встановлення умов взаємодії компонентів багатифункціональних модифікаторів з розплавом досліджені коефіцієнти варіації для встановлення стабілізації системи. Доведено підвищення властивостей у модифікованому металі при комплексному впливі фосфору і елементів модифікаторів (Ti, Al) на механічні властивості сталі 07ЮТ.

**Ключові слова:** багатofункціональні модифікатори, низьколегована сталь, модифікування, хімічний склад, механічні властивості.

**Polishko S., Sanin A., Nosova T. Research of complex influence of phosphorus and elements-modifiers on durability and plastic properties 07UT**

*The influence of multi-functional modifiers on stabilization of chemical composition and mechanical properties improvement of low-alloyed structural steel 07IOT was studied. In order to establish the conditions of interaction between the components of multifunctional modifiers melt the coefficients of variation for the establishment of system stability were investigated. Increasing the properties of the modified metal under complex influence of phosphorus and modifier elements (Ti, Al) on the mechanical properties of steel 07IOT is proved.*

**Key words:** multifunction modifiers, the low-alloyed steel, modification, chemical composition, mechanical properties.