

**ПОВЫШЕНИЕ ОДНОРОДНОСТИ И ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ  
СТРУКТУРЫ СТРОИТЕЛЬНЫХ СТАЛЕЙ ОБРАБОТКОЙ  
МНОГОКОМПОНЕНТНЫМИ МОДИФИКАТОРАМИ**

**С. А. Полишко, к. т. н., доц. , Т. И. Ивченко, к. т. н., в. н. с.,  
И. А. Маркова к. т. н., в. н. с., Е. П. Бабенко, к. т. н., в. н. с.,  
М. А. Кушнир, с.н.с.**

*Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара*

Одной из наиболее важных и труднорешаемых проблем металлургии является получение однородной структуры металла, которая способствует повышению конструктивной прочности, надежности и долговечности изделий.

Авторами исследовано влияние внепечной обработки многокомпонентными модификаторами на химический состав, структуру, механические свойства сталей широко используемых в строительстве: марки Ст1кп конвертерного производства и марки 09Г2С мартеновского производства.

Катанка из стали марки Ст1кп применяется для упрочнения железобетонных конструкций как массового так и специального назначения для которых очень важным является вопрос длительной стойкости материалов, а также устойчивость к импульсному нагружению. Это невозможно обеспечить без формирования однородной, мелкозернистой структуры. Поэтому возникла необходимость обработки стали Ст1кп многофункциональными модификаторами [1, 2]. Внешний вид их представлен на рисунке 1.



**Рис. 1.** Внешний вид многофункциональных модификаторов

Сталь Ст1кп выплавляли в 160-тонных конверторах, 09Г2С – в 300-тонных мартеновских печах. При получении опытной стали Ст1кп использована та же шихта и технология, что и для серийной стали, но при внепечной обработке дополнительно вводили многокомпонентный раскислитель-модификатор системы Fe-Al-C-Mg-Mn-Si. [2, 3]. Сталь 09Г2С разливали в два

## Строительство, материаловедение, машиностроение

ковша, расплав в одном из них обрабатывали по традиционной технологии, а во втором – многокомпонентным раскислителем – модификатором сократив расход ферротитана и чушкового алюминия ~ на 30 %.

Химический состав и коэффициенты вариации серийных и модифицированных плавков исследованных сталей приведены в таблице 1.

*Таблица 1*

*Усредненный химический состав серийных и модифицированных плавков стали марок Ст1кп и 09Г2С*

Параметр	Массовая доля химических элементов, %									
	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	N	Al
Ст1кп серийная										
Среднее значение	0,08	0,39	0,05	0,022	0,015	0,03	0,02	0,03	0,007	0
Коэффициент вариации	0,15	0,10	0,26	0,27	0,33	0,31	0,55	0,42	0,16	0
Ст1кп модифицированная										
Среднее значение	0,08	0,40	0,03	0,019	0,008	0,03	0,02	0,03	0,006	0,005
Коэффициент вариации	0,11	0,06	0,23	0,15	0,19	0,18	0,20	0,28	0,12	0,13
09Г2С серийная										
Среднее значение	0,11	1,57	0,26	0,033	0,028	-	-	-	-	-
Коэффициент вариации	0,09	0,08	0,16	0,58	0,29	-	-	-	-	-
09Г2С модифицированная										
Среднее значение	0,10	1,60	0,26	0,028	0,021	-	-	-	-	0,009
Коэффициент вариации	0,01	0,03	0,13	0,05	0,20	-	-	-	-	0,09

Анализ химического состава промышленных плавков стали марок Ст1кп и 09Г2С показали следующее.

1. Химический состав всех плавков соответствовал требованиям технической документации.

2. В серийном металле имеет место большой межплавочный разброс содержания легирующих элементов и примесей.

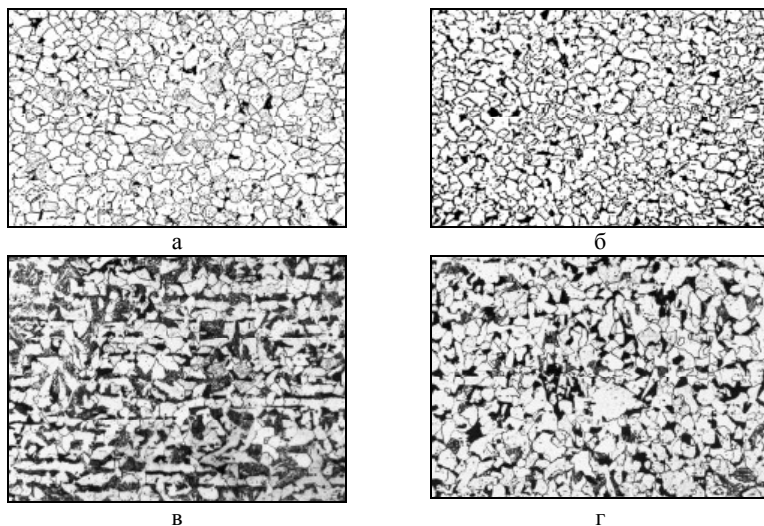
3. Для обеих марок стали коэффициенты вариации концентрации каждого из компонентов были меньше в случае модифицирования, что свидетельствовало о стабилизации химического состава.

4. В результате модифицирования снижено содержание вредных примесей серы и фосфора.

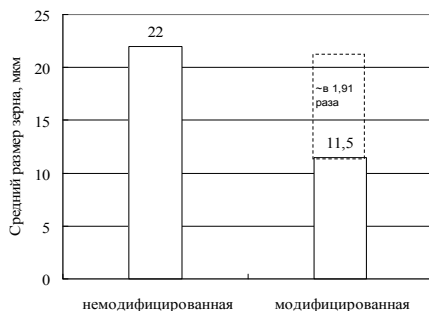
Последнее закономерно привело и к снижению количества сульфидов, например, в стали 09Г2С от 3,0-4,0 баллов до 1,5-3,0 баллов.

Металлографическим анализом согласно методикам [4, 5] установлено, что серийный металл Ст1кп имел выраженную разноразмерную структуру (рис. 2а), что пагубно сказывалось на качестве готовой стали, и, следовательно, на длительной стойкости материалов железобетонных конструкций. Микроструктура листов из серийной стали 09Г2С характеризовалась существенной полосчатостью (рис. 2в), что приводило к анизотропии свойств.

В результате модифицирования удалось повысить однородность структуры стали обеих исследованных марок (рис. 2), вызвать измельчение зерна, более существенное в стали Ст1кп до 2 раз (рис.3), устранить полосчатость в стали 09Г2С (рис. 2г). Количество феррита в структуре модифицированной стали Ст1кп было несколько меньше, а перлита – больше, чем в немодифицированной стали Ст1кп, что способствовало повышению прочности. Это согласуется со значениями углеродного эквивалента исследованных плавок.



**Рис. 2.** Микроструктура стали марок Ст1кп (а, б) и 09Г2С (в, г) серийных плавок (а, в) и модифицированных (б, г), x150



**Рис. 3.** Уменьшение среднего размера зерен в стали Ст1кп под действием модифицирования

Определена зависимость предела прочности серийной и модифицированной стали Ст1кп от значений углеродного эквивалента (рис.4) в графической и аналитической форме. Из полученных данных следует, что увеличение значений углеродного эквивалента на одинаковую величину вызовет более существенное приращение предела прочности в модифицированной стали, т.е. действие легирующих элементов более эффективно.

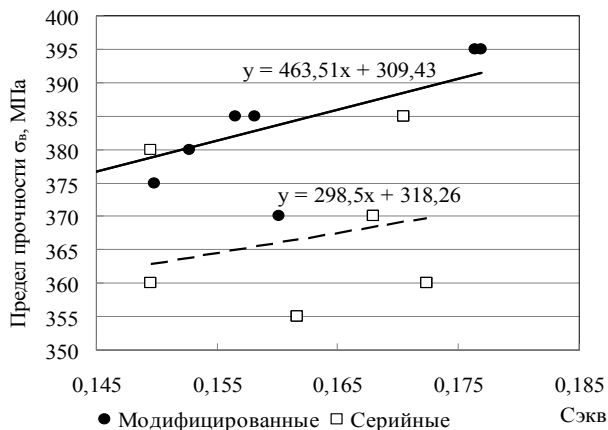


Рис. 4. Влияние углеродного эквивалента на предел прочности в серийной и модифицированной стали Ст1кп.

Фазовый состав стали обеих марок, периоды решеток феррита, размеры блоков определяли рентгенографически на установке ДРОН-3. Результаты исследований представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Параметры тонкой структуры серийной и модифицированной стали марок Ст1кп и 09Г2С по данным рентгеноструктурного анализа

Образец стали марки Ст1кп	Период кристаллической решетки α-феррита, нм	Размеры блоков, нм	Микроискажения кристаллической решетки, М	Плотность дислокаций D, см <sup>-2</sup>
		L		
Ст1кп серийная	0,28790	157	4,72·10 <sup>-4</sup>	3,89·10 <sup>10</sup>
Ст1кп модифицированная	0,28687	106	4,76·10 <sup>-4</sup>	4,5·10 <sup>10</sup>
09Г2С серийная	0,28665	500	-	-
09Г2С модифицированная	0,28674	103,5	-	-

Из анализа таблицы 2 следует.

1. Структура стали обеих марок представлена  $\alpha$ -ферритом и цементитом, причем, интенсивность рентгеновских интерференционных линий была разной в модифицированной и немодифицированной стали Ст1кп.

2. Периоды кристаллической решетки феррита серийной и модифицированной стали 09Г2С были близкими, что свидетельствовало о примерно одинаковой степени его легированности.

3. Выявлено уменьшение размеров блоков под действием комплексного модификатора в стали обеих марок, более значительное в стали 09Г2С.

Стабилизация химического состава, снижение концентрации вредных примесей, повышение степени однородности структуры, уменьшение размеров зерен и блоков, количества неметаллических включений должно было способствовать повышению уровня и стабильности механических свойств.

Результаты определения характеристик прочности и пластичности серийных и модифицированных плавок исследованных сталей приведены в таблицах 3, 4.

*Таблица 3*

*Механические свойства серийной и модифицированной стали Ст1кп*

Статистические параметры	Механические свойства (литой металл)		Механические свойства (изделия)			
	$\sigma_b$ , МПа	$\psi$ , %	$\sigma_b$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %
<b>Серийная сталь</b>						
max	395	76	395	295	51	78
min	357	70	360	270	43	74
среднее значение	380,2	74,0	378,3	283,0	44,5	76,0
<b>Модифицированная сталь</b>						
max	399	77	395	290	48	78
min	365	73	370	275	45	75
среднее значение	382,0	74,6	380,8	284,2	46,2	76,0

*Таблица 4*

*Механические свойства серийной и модифицированной стали 09Г2С*

Сталь	Предел прочности $\sigma_b$		Относительное удлинение, $\delta$	
	Среднее значение, МПа	Коэффициент вариации	Среднее значение, %	Коэффициент вариации
серийная	523	0,035	22	0,17
модифицированная	536	0,018	28	0,10

Таким образом, в результате исследования химического состава, структуры и механических свойств строительных сталей разной степени легированности, разных способов производства (конвертерного и мартеновского), показано, что обработкой расплавов многокомпонентными модификаторами с единой идеей воздействия на их структуру, можно стабилизировать химический состав, повысить степень однородности структуры, уменьшить размеры зерен и блоков, повысить механические свойства.

### Список использованных источников

1. Шаповалова, О.М. 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, Днепропетровск: 2009.- С. 232-236
2. Пат. 85254 Україна МПК<sup>7</sup> C22C 35/00 C22C 38/06 C21C 7/04, C21C 7/06. Композиційний розкислювач для обробки сталей. / Шаповалова О.М., Шаповалов В.П., Шаповалов О.В., Полішко С.О.; заявник та патентоутримувач Дніпропетровський національний університет. – № а200700858; заявл. 26.01.2007; опубл 12.01.2009. //Бюл № 1.
3. Полишко С.А. Влияние многофункциональных раскислителей-модификаторов на стабилизацию химического состава и повышение уровня механических свойств сталей Ст1кп и КП-Т./ С.А. Полишко. – Нові матеріали і технології у металургії та машинобудуванні.//Сб научн.трудов.вып.2, - 3.–. 2012, с. 32-37
4. Методы исследования материалов / [Л.И. Тушинский, А.В. Плохое, А.О. Фрев, В.И. Синдеев]. - М.: Мир, 2004. - 384 с.
5. Салтыков В.А. Стереометрическая металлография./В.А.Салтыков. – М.: Металлургия, 1976 г.-376 с.