

УДК:669.295.04

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГРУПП ЭЛЕМЕНТОВ СТАЛИ Ст1кп  
НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ПОД ВЛИЯНИЕМ  
МОДИФИЦИРОВАНИЯ**

**С. А. Полишко, к. т. н., доц.**

*Днепропетровский национальный университет им. Олеся Гончара*

Последние исследования [1; 2] дают основание утверждать, что составы сталей существенно изменились из-за широкого использования ломов и шихты с неконтролируемыми примесями, такими как свинец, висмут, кадмий, олово, цинк, сурьма, мышьяк и др., которые загрязняют металл, непредсказуемо изменяя его свойства. При выпечной обработке малоуглеродистой стали Ст1кп многофункциональными модификаторами [3] (рис. 1) в металл вводятся еще и микролегирующие элементы, которые также влияют на свойства готовой продукции. В работе [4] описано индивидуальное влияние каждого из элементов на механические свойства углеродистых сталей методом парной корреляции, но групповое влияние химического состава на механические свойства стали Ст1кп систематически ранее не рассматривалось. Поэтому исследование влияния групп элементов на структуру и механические свойства в многокомпонентных системах с использованием метода регрессионно-корреляционного анализа является актуальным.

В данной статье изложены результаты определения группового влияния различных компонентов на механические свойства стали Ст1кп методом регрессионно-корреляционного анализа. Химический состав и механические свойства этой стали согласно ДСТУ 2651-2006 и ДСТУ 2770-94 приведены в таблицах 1 и 2 соответственно.

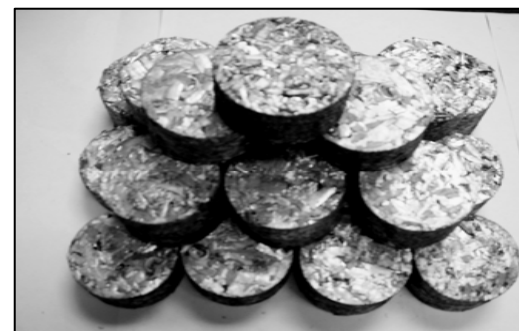


Рис. 1. Внешний вид многофункциональных модификаторов

Таблица 1

Химический состав малоуглеродистой стали Ст1кп  
по ДСТУ 2651-2006

Марка стали	Массовая доля химических элементов, %									
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	S	P	As	N
Ст1кп	0,06–0,12	0,25–0,50	≤ 0,05	≤ 0,3	≤ 0,3	≤ 0,3	≤ 0,05	≤ 0,04	≤ 0,08	≤ 0,01

Таблица 2

Механические свойства малоуглеродистых сталей  
по ДСТУ 2770-94

Марка стали	Предел прочности $\sigma_b$ , МПа	Относительное сужение $\psi$ , %
Ст1кп	$\leq 420$	$\geq 68$

Группы выбирались согласно данным, приведенным в таблице 3.

Таблица 3

Параметры выбора групп элементов для установления их влияния  
на механические свойства

N, п/п	Группы элементов	Параметры
1	Ti + Al	Сумма элементов-раскислителей-модификаторов
2	Ti + Al + B	
3	C + Mn + Si	Сумма основных легирующих элементов
4	Mo + V	Сумма микролегирующих элементов
5	Cr + Ni + Cu	Сумма сопутствующих элементов
6	S + P + As	Сумма вредных примесей
7	C + Mn + Si + Ti + Al + B	Сумма основных легирующих элементов и элементов-раскислителей-модификаторов
8	C + Mn + Si + Ti + Al + B + S + P + As	Сумма основных легирующих элементов, суммы вредных примесей и суммы элементов-раскислителей-модификаторов

Была проведена статистическая обработка массива данных химического состава и механических свойств 17 плавок стали Ст1кп, модифицированной многофункциональными модификаторами [3], и 34 серийных контрольных плавок той же стали, обработанной алюминием чушковым и ферротитаном.

На рисунке 2 представлены гистограммы коэффициентов групповой корреляции между пределом прочности  $\sigma_b$  (МПа) и изменений содержаний групп элементов химического состава малоуглеродистой стали Ст1кп.

Как видно из вышеприведенного рисунка, влияние групп элементов на предел прочности модифицированного и серийного металла различно. Согласно данным [5], все коэффициенты корреляции оказались значимыми, за исключением групп элементов-раскислителей-модификаторов в серийном металле. Это связано с тем, что если усваиваемость алюминия чушкового и ферротитана составляет всего 20–30 %, то влияние элементов раскислителей-модификаторов в серийной стали на предел прочности будет незначительным.

Исходя из выполненных расчетов, коэффициенты корреляции в модифицированной стали между группой элементов и пределом прочности оказались более сильными, чем в серийной. Наиболее сильная корреляционная связь

оказалась в модифицированной стали между  $\sigma_b$  и суммой элементов-раскислителей-модификаторов.  $K_{\sigma_b}^{Ti+Al+B} = 0,46$ , в то время как в серийной стали это влияние очень мало:  $K_{\sigma_b}^{Ti+Al+B} = 0,06$ .

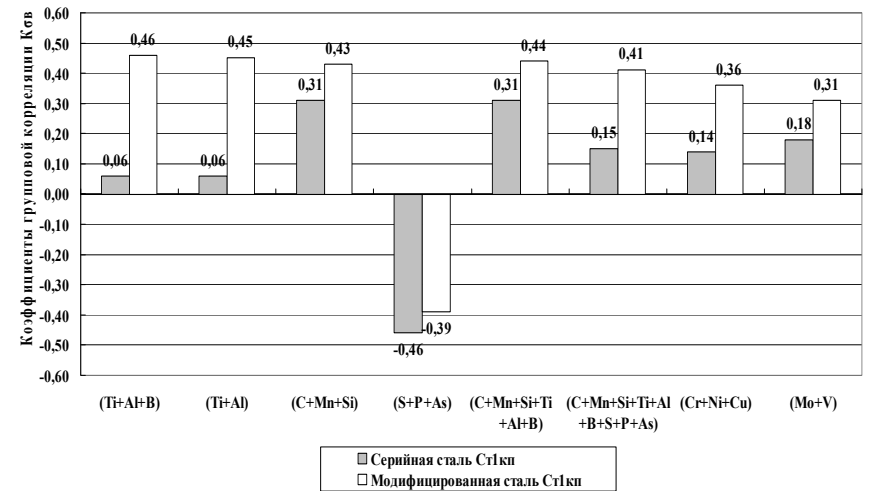


Рис. 2. Гистограмма корреляционных связей химического состава и предела прочности серийных и модифицированных плавок стали Ст1кп, обработанной алюминием чушковым и многофункциональным модификатором соответственно

Это объясняется тем, что алюминий и титан, входящие в состав многофункционального модификатора – измельчители зерна, чем и объясняется более однородная мелкозернистая структура модифицированного металла (рис. 3). Кроме того, следует отметить, что алюминий в модифицированной стали также частично расходуется на раскисление, а титан и магний нивелируют негативное влияние серы. К тому же кальций, также входящий в состав модификатора, снижает содержание фосфора, снижая влияние вредных примесей (табл. 4), чем и объясняются коэффициенты корреляции в модифицированном металле  $K_{\sigma_b}^{S+P+As} = -0,39$  и  $K_{\sigma_b}^{C+Mn+Si+Ti+Al+B+S+P+As} = 0,41$  против тех же коэффициентов в серийном  $K_{\sigma_b}^{S+P+As} = -0,46$  и  $K_{\sigma_b}^{C+Mn+Si+Ti+Al+B+S+P+As} = 0,15$  соответственно.

Кальций является также основным элементом-глобуляризатором, поэтому неметаллические включения в малоуглеродистой модифицированной стали Ст1кп имеют глобулярную форму в отличие от серийной стали (рис. 4).

Влияние основных легирующих и сопутствующих элементов в модифицированной стали на предел прочности также оказалось выше, чем в серийной, за счет большей чистоты металла  $K_{\sigma_b}^{C+Mn+Si} = 0,43$  и  $K_{\sigma_b}^{C+Mn+Si} = 0,31$ ;  $K_{\sigma_b}^{Cr+Ni+Cu} = 0,36$  и  $K_{\sigma_b}^{Cr+Ni+Cu} = 0,14$ .

И, наконец, исследуя влияние микролегирующих элементов, таких как ванадий и молибден, также можно увидеть, что их влияние выше в модифи-

цированной стали Ст1кп, чем в серийной  $K_{\text{св}}^{\text{Mo+V}} = 0,31$  и  $K_{\text{св}}^{\text{Mo+V}} = 0,18$ . Более сильное влияние этих компонентов объясняется наличием их в составе многофункционального модификатора, в то время как в серийную сталь они попадают из ломов случайно, являясь неконтролируемыми примесями.

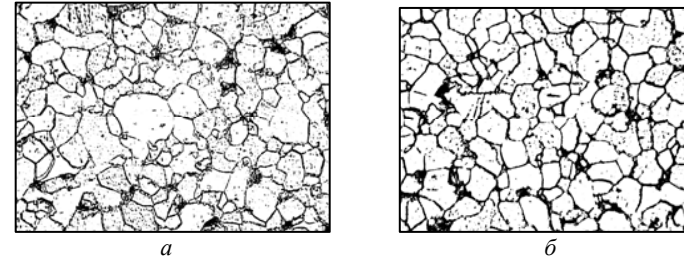


Рис. 3. Структура малоуглеродистой серийной (а) и модифицированной (б) стали Ст1кп, х 600

Таблица 4  
Среднестатистические данные серийных и модифицированных промышленных плавок малоуглеродистой стали Ст1кп

Параметр	Массовая доля химических элементов, %										
	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	N	V	Al
Серийная сталь Ст1кп											
Среднее значение	0,081	0,39	0,05	0,022	0,015	0,03	0,02	0,03	0,007	0,005	0
Коэффициент вариации	0,15	0,10	0,26	0,265	0,33	0,31	0,55	0,42	0,161	0,001	0
Разница меж-плавочного содержания элементов, % отн.	100	96	400	146,7	200	250	600	300	60	66,7	0
Модифицированная сталь Ст1кп											
Среднее значение	0,085	0,40	0,03	0,019	0,008	0,03	0,02	0,03	0,006	0,005	0,005
Коэффициент вариации	0,11	0,06	0,23	0,158	0,19	0,18	0,20	0,28	0,12	0,001	0
Разница меж-плавочного содержания элементов, % отн.	30	26	60	42	50	50	33	60	29	40	29

Вышеприведенные исследования подтверждают также графические и аналитические зависимости, приведенные на рисунке 4 и в таблице 5.

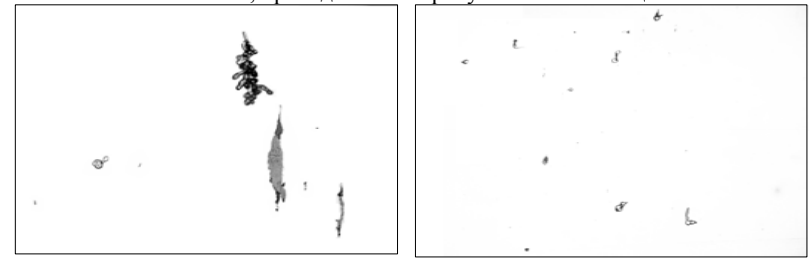


Рис. 4. Неметаллические включения в серийной (а) и модифицированной (б) стали марки Ст1кп

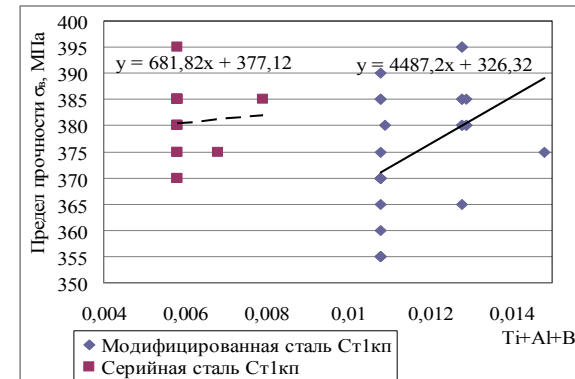


Рис. 4. Аналитические зависимости предела прочности от группы элементов-раскислителей-модификаторов в стали Ст1кп

Таблица 5

Аналитические зависимости предела прочности от группы различных элементов в стали Ст1кп

Группа элементов	Плавки	Аналитическая зависимость
		Предел прочности $\sigma_b$ , МПа
C+Mn+Si+Ti+Al+B+S+P+As	серийные	$y = 43,684x + 356,46$
	<b>модиф.</b>	<b><math>y = 125,86x + 305,79</math></b>
Cr + Ni + Cu	серийные	$y = 74,841x + 373,98$
	<b>модиф.</b>	<b><math>y = 415,46x + 339,02</math></b>
Mo + V	серийные	$y = 2321,4x + 350,18$
	<b>модиф.</b>	$y = 4881x + 310,11$
S + P + As	серийные	$y = -149,98x + 385,76$

	модиф.	$y = 0,2335x + 372,95$
--	--------	------------------------

Как видно из рисунка 4 и таблицы 5, в модифицированной стали групповое влияние элементов-модификаторов на предел прочности сильнее, чем в серийной. Это объясняется большей концентрацией этих компонентов в модифицированном металле, что следует также из рисунка 4.

Необходимо также отметить, что действие многофункциональных модификаторов не только помогает улучшить морфологию неметаллических включений, улучшить структуру малоуглеродистой стали Ст1кп, но и одновременно стабилизировать химический состав, а также повысить уровень и стабильность механических свойств, что является крайне важным показателем при определении качества готовой продукции. На рисунках 5 и 6 представлены результаты этих исследований.

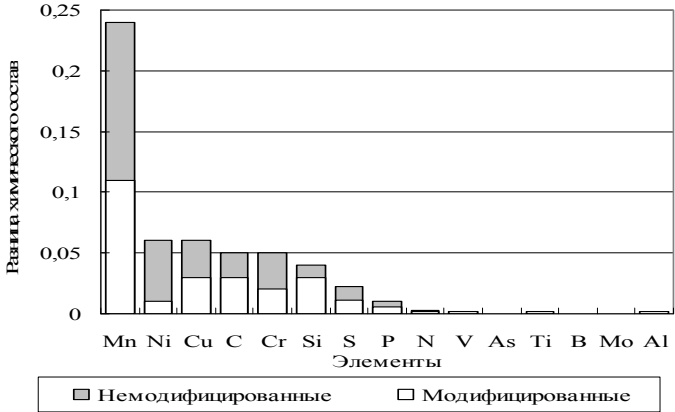
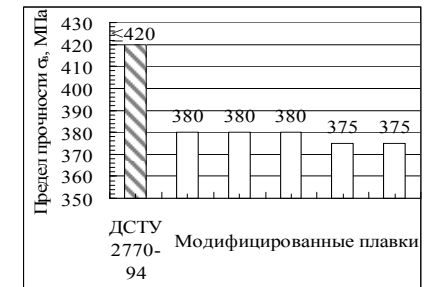


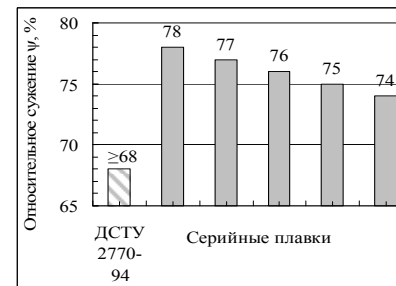
Рис. 5. Уменьшение разницы концентрации каждого компонента в стали Ст1кп в модифицированных и немодифицированных плавках



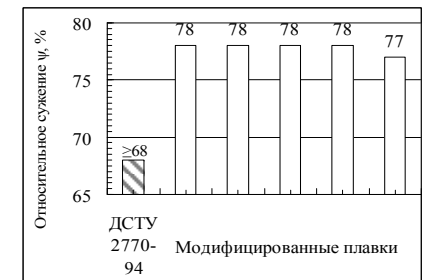
*a*



*б*



*в*



*г*

Рис. 6. Изменение предела прочности (*a, б*) и пластичности (*в, г*) в малоуглеродистой стали Ст1кп под влиянием модифицирования

Из рисунка 6 следует, что в модифицированной стали повышаются характеристики пластичности без существенного понижения прочности.

Таким образом, показано, что модифицирование способствует повышению влияния групп элементов на предел прочности без снижения пластичности как основных легирующих элементов, так и всех остальных групп, приведенных в таблице 3. В результате проведенных исследований установлено, что модифицирование многофункциональными модификаторами повышало стабильность химического состава с одновременной стабилизацией и повышением уровня механических свойств, улучшало структуру металла и морфологию неметаллических включений стали Ст1кп.

#### Литература

1. Шаповалова О. М. Регрессионно-корреляционный анализ при решении технологических задач по повышению качества Fe-C сплавов / О. М. Шаповалова, Ю. В. Татарко, А. В. Дейнега, С. А. Полишко // Сб. тез. Междунар. науч.-метод. конф. «Проблемы математического моделирования.

Материаловедение и технология металлов». – Днепродзержинск, 2006. – С. 180–181.

2. 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 : Зб. наук. праць. – Вип. 2. – 2012. – С. 32–37.

3. 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.

4. Полишко С. А. 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. – Вып. 4. – Дн-вск, 2012. – С. 73–75.

5. Цветков В. Н. Математическая теория эксперимента / В. Н. Цветков // Дн-вск : ДГУ, 1979. – 115 с.