

УДК 669.45+669.046.558

Канд. техн. наук С. А. Полишко

Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара, г. Днепропетровск

## ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАЛОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ Ст1кп ПРИ ПОМОЩИ МОДИФИЦИРОВАНИЯ И ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

*Исследовано влияние многофункциональных модификаторов при выборе оптимальной термической обработки на стабилизацию химического состава и повышение уровня механических свойств малоуглеродистой конструкционной стали Ст1кп. Построена термокинетическая диаграмма модифицированной стали Ст1кп, использование которой позволяет назначать режимы термической обработки, управлять структурой и механическими свойствами. Рекомендованы оптимальные скорости охлаждения и температуры закалки катанки из модифицированной стали Ст1кп:  $V_{охл} = 3,60$  К/с,  $t_{закалки} = 670$  °С;  $V_{охл} = 3,60$  К/с,  $t_{закалки} = 570$  °С.*

**Ключевые слова:** малоуглеродистая арматурная сталь, модифицирование, стабилизация, химический состав, механические свойства, термическая обработка.

К сталям, используемым в ответственных конструкциях машиностроения, предъявляют требования не только по прочности, но и по пластичности, как структурно-чувствительному параметру. Задирры на поверхности катанки, как правило, являются источниками коррозионного разрушения и снижения ресурса нормальной эксплуатации железобетона. Поэтому, для обеспечения требуемой структуры и механических свойств серийной горячекатаной проволоки из стали марки Ст1кп, выплавленной в 160-ти тонных конвертерах, после окончания ее деформации подвергают «дождеванию» по идее и разработке академика К. Ф. Стародубова [1]. Использование такой технологии позволяет в современных промышленных условиях повысить прочность Ст1кп на 40–80%.

Однако, такой серийный металл, обладая рядом недостатков (загрязненность неметаллическими включениями, сульфидами удлиненной формы, разнотернистостью, нестабильностью химического состава и др., табл. 1, 2 и рис. 1), для ответственного

назначения нуждался в улучшении.

Поэтому в условиях кислородно-конвертерного цеха ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог» успешно были применены модификаторы многофункционального действия [2] взамен алюминия, цинка и ферротитана, изготавливаемых согласно ГОСТ 295-98 и ГОСТ 4761-91. Также, одним из возможных путей, кроме модифицирования специальными раскислителями-модификаторами, является разработка оптимальной термической обработки с прокатного нагрева.

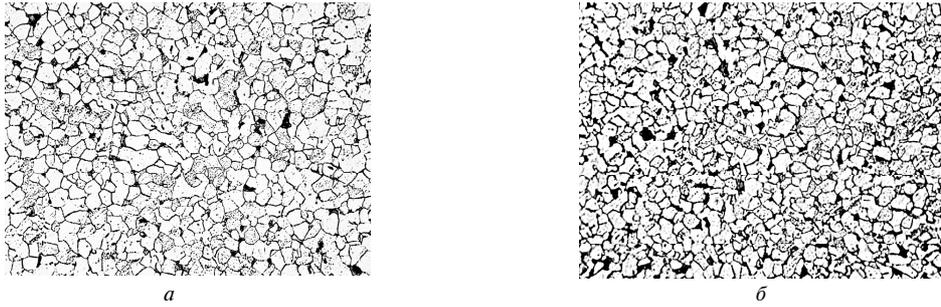
Для определения режимов термической обработки были построены термокинетические диаграммы состояния стали Ст1кп модифицированных и серийных плавок, которые позволяют, в зависимости от требований, регулировать все технические температурно-временные параметры процесса обработки (рис. 2, 3). Они отличаются тем, что диаграмма для немодифицированной стали смещена влево и вниз по отношению к диаграмме распада модифицированного металла.

**Таблица 1** – Химический состав стали Ст1кп

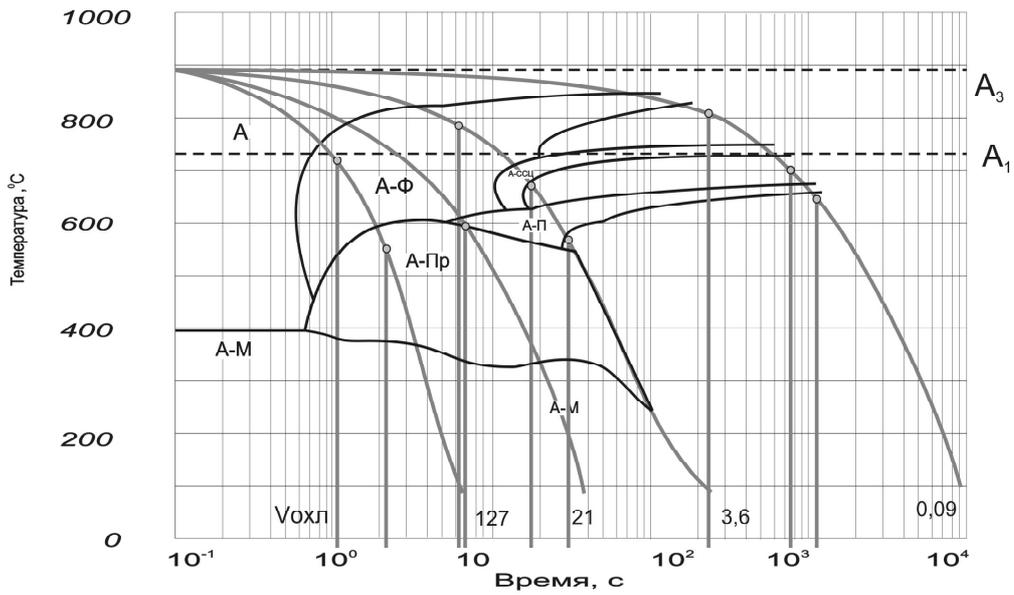
Марка стали	Разница массовых долей химических элементов, %								
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	S	P	As
Ст1кп ДСТУ 2651-2005	0,06	0,25	0,05	0,3	0,3	0,3	0,05	0,04	0,08
Серийная	0,03	0,12	0,03	0,04	0,06	0,06	0,020	0,007	0
Модифицированная	0,03	0,11	0,02	0,01	0,01	0,03	0,011	0,002	0

**Таблица 2** – Разница механических свойств малоуглеродистой стали

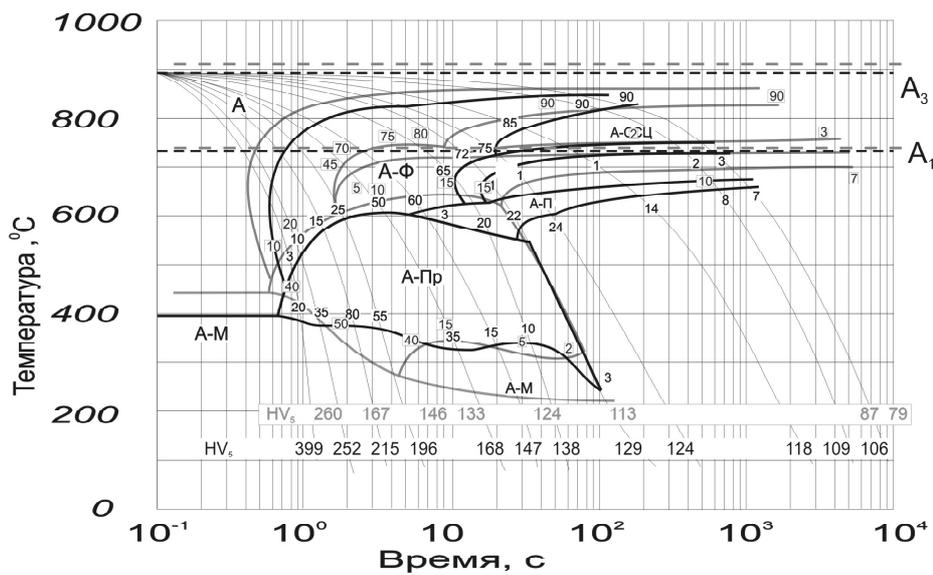
Марка стали	Предел прочности $\sigma_s$ , МПа	Относительное сужение $\psi$ , %
Ст1кп по ДСТУ 2770-94	420	$\geq 68$
Серийная	35	5
Модифицированная	25	3



**Рис. 1.** Структура малоуглеродистой стали Ст1кп,  $\times 150$ :  
*a* – серийная немодифицированная сталь; *б* – модифицированная сталь



**Рис. 2.** Термокинетическая диаграмма распада аустенита модифицированной стали Ст1кп



**Рис. 3.** Термокинетическая диаграмма распада аустенита модифицированной и серийной стали Ст1кп

Использование термокинетических диаграмм дает возможность изменить параметры процесса с обеспечением в материале требуемого типа структуры – феррита и перлита. Для определения оптимальных режимов термической обработки – скорости охлаждения и температуры закалки – исследована структура стали Ст1кп, полученной в разных условиях (рис. 2, 3).

На установке для построения термокинетических диаграмм распада аустенита с участием автора построена диаграмма для модифицированной и немодифицированной стали. В связи с широким интервалом времени охлаждения образцов от  $10^{-1}$  до  $10^4$  с, шкала абсцисс дана в логарифмическом варианте.

Установка включала печь для нагрева образцов, потенциометр ПДТ 4, самописец, а также компьютер, с помощью которого структуры выводили на микроскоп для фотографирования. Охлаждающими средами являлись воздух, вода, подсолонная (10% NaCl) вода. После охлаждения и фотографирования определяли твердость образцов. На рис. 2, 3. представлена термокинетическая диаграмма распада аустенита в модифицированных образцах. Образцы нагревали до критической точки  $A_3$  и охлаждали с разными скоростями, запрессовывали в порядке увеличения скоростей охлаждения (рис. 2), изготавливали шлифы и фотографировали.

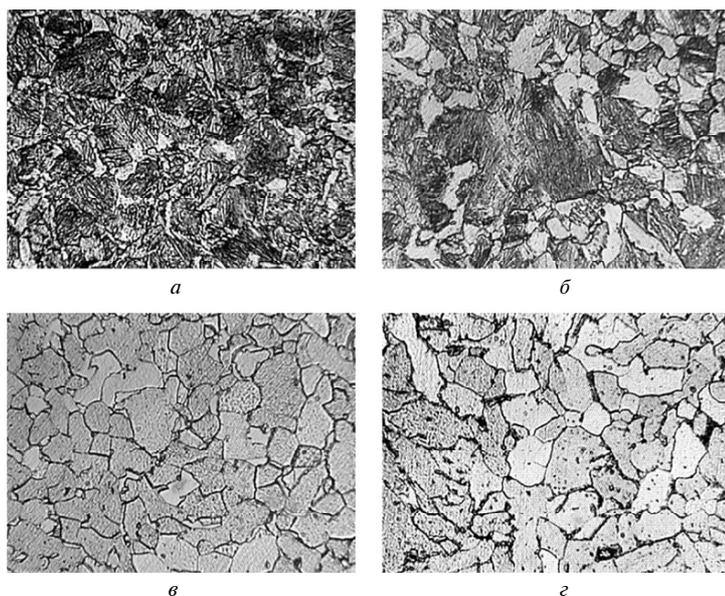
Затем на шлифах измеряли твердость и наносили на кривые охлаждения (рис. 3). Микроструктура с показаниями твердости представлена на рис. 4.

На основании анализа термокинетических диаграмм состояния, микроструктуры твердости был определен температурно-временной режим охлаждения катанки из модифицированной стали: скорость охлаждения должна находиться в пределах от 1,6 до 3,6 град/с, а температура термообработки с прокатного нагрева  $< 670$  °С.

Из вышеприведенных данных следует, что аустенит в модифицированной стали более устойчивый благодаря большей степени легированности, и большей стабильности химического состава. Рекомендованная микроструктура (Ф+П) для модифицированной стали Ст1кп соответствует (рис. 4, в з).

Благодаря модифицированию многофункциональными модификаторами и правильному выбору режима термической обработки произошло повышение уровня механических свойств в стали Ст1кп (рис.5).

Таким образом, построение термокинетической диаграммы модифицированной стали Ст1кп позволяет назначать режимы термической обработки, управлять структурой и иметь стабильные механические свойства. В данной работе рекомендованы оптимальные скорости охлаждения и температуры закалки катанки из модифицированной стали Ст1кп:  $V_{охл} = 3,60$  К/с,  $t_{закалки} = 670$  °С;  $V_{охл} = 3,60$  К/с,  $t_{закалки} = 570$  °С. Показано, что модифицирование многофункциональными модификаторами в сочетании с правильно выбранными режимами термической обработки позволяет повысить уровень и стабильность механических свойств в малоуглеродистой горячекатаной стали Ст1кп.



**Рис. 4.** Микроструктура образцов стали Ст1кп (модифицирование)  $\times 500$ , скорости охлаждения, температуры закалки:  
 а –  $V_{охл} = 3,60$ С/с  $t_{закалки} = 7950$ С; б –  $V_{охл} = 3,60$ С/с  $t_{закалки} = 7000$  °С;  
 в –  $V_{охл} = 3,60$ С/с  $t_{закалки} = 6700$ С; г –  $V_{охл} = 3,60$ С/с  $t_{закалки} = 5700$  °С

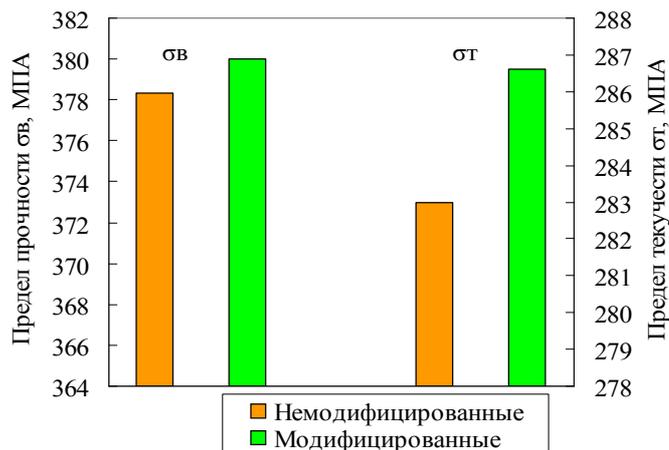


Рис. 5. Средние значения характеристик прочности ( $\sigma_b$  и  $\sigma_t$ ), согласно механическим свойствам стали Ст1кп, обработанной многофункциональными модификаторами и алюминием утяжеленным

**Список литературы**

1. Стародубов, К. Ф. Разработка технологии термической обработки сталей с прокатного нагрева / К. Ф. Стародубов, В. М. Иващенко, Ю. З. Березовский // Черная металлургия, Черметинформация, сер. 12. – М.: 1966. – Вып. 8. – 12 с.
2. Патент на винахід № UA 85254. Композиційний розкислювач для обробки сталей. МОНУ. / Шаповалова О. М., Шаповалов В. П., Шаповалов А. В., Полішко С. О. Державний департамент інтелектуальної власності, ДНУ, а 2007 008 58 ; заявл. 26.01.2007 р. ; опубл. 12.01.2009 р., Бюл №1.

Поступила в редакцию 29.01.2014

**Полішко С.О. Підвищення рівня механічних властивостей маловуглецевої сталі Ст1кп за допомогою модифікування і вибору оптимального режиму термічної обробки**

*Досліджено вплив багатофункціональних модифікаторів при виборі оптимальної термічної обробки на стабілізацію хімічного складу і підвищення рівня механічних властивостей маловуглецевої конструкційної сталі Ст1кп. Побудована термокінетическа діаграма модифікованої сталі Ст1кп, використання якої дозволяє призначати режими термічної обробки, управляти структурою і механічними властивостями. Рекомендовані оптимальні швидкості охолодження і температури гарту катанки з модифікованої сталі Ст1кп:  $V_{охол} = 3,60$  К/с,  $t_{гартування} = 670$  °С;  $V_{охол} = 3,60$  К/с,  $t_{гартування} = 570$  °С.*

**Ключові слова:** маловуглецева арматурна сталь, модифікування, стабілізація, хімічний склад, механічні властивості, термічна обробка.

**Polishko S. Increase of level of mechanical properties of low-carbon steel St1kp through modification and choice optimum mode of heat treatment**

*Influence of multifunction modifiers is investigational at the choice of optimum heat treatment on stabilizing of chemical composition and increase of level of mechanical properties of low-carbon construction steel of St1kp. The thermokinetic diagram of the modified steel of St1kp, the use of which allows to appoint the modes of heat treatment, manage a structure and mechanical properties, was built. Optimum speeds of cooling and temperature of tempering of steel were recommended from the modified steel of St1kp:  $V_{coolings} = 3,60$  K/s,  $t_z = 670$  °C;  $V_{coolings} = 3,60$  K/s,  $t_{zakalki} = 570$  °C.*

**Key words:** low-carbon armature steel, modification, stabilizing, chemical composition, mechanical properties, heat treatment.