

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 σ_s , МПа	Относительное сужение ψ , %
Ст1кп по ДСТУ 2770-94	420	≥ 68
Серийная	35	5
Модифицированная	25	3

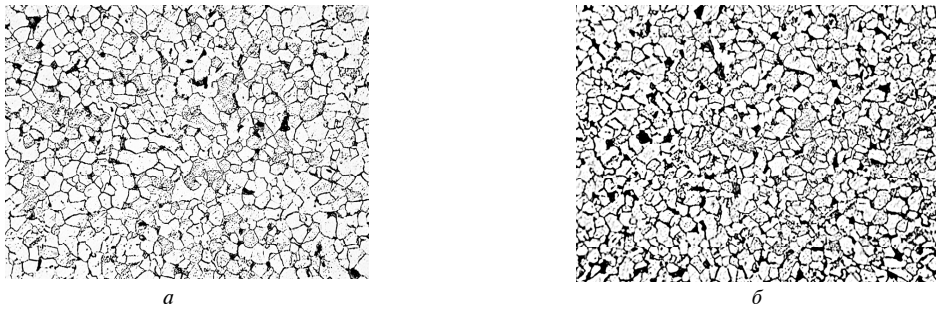


Рис. 1. Структура малоуглеродистой стали Ст1кп, $\times 150$:
a – серийная немодифицированная сталь; *б* – модифицированная сталь

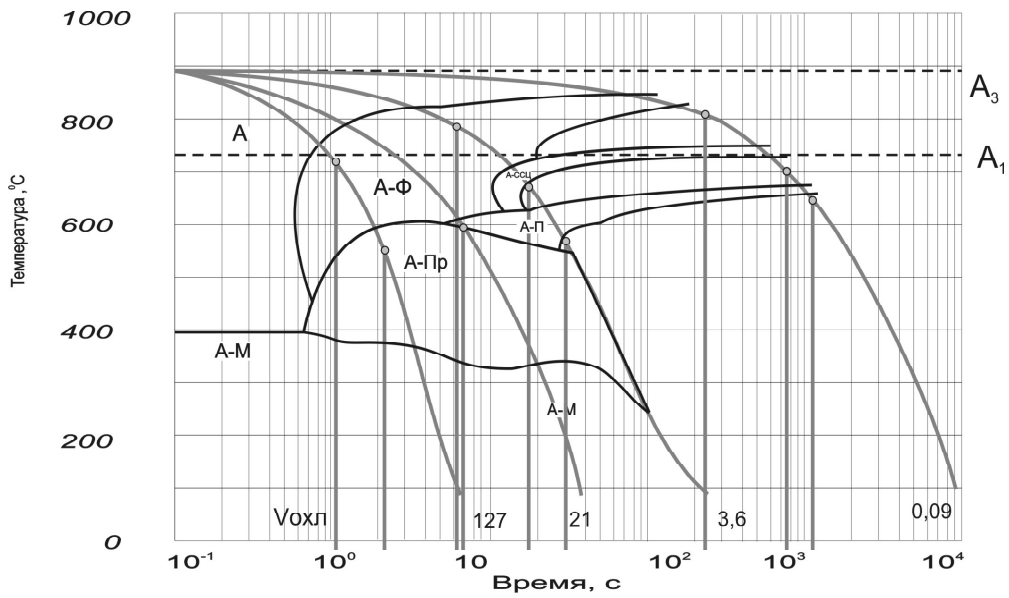


Рис. 2. Термокинетическая диаграмма распада аустенита модифицированной стали Ст1кп

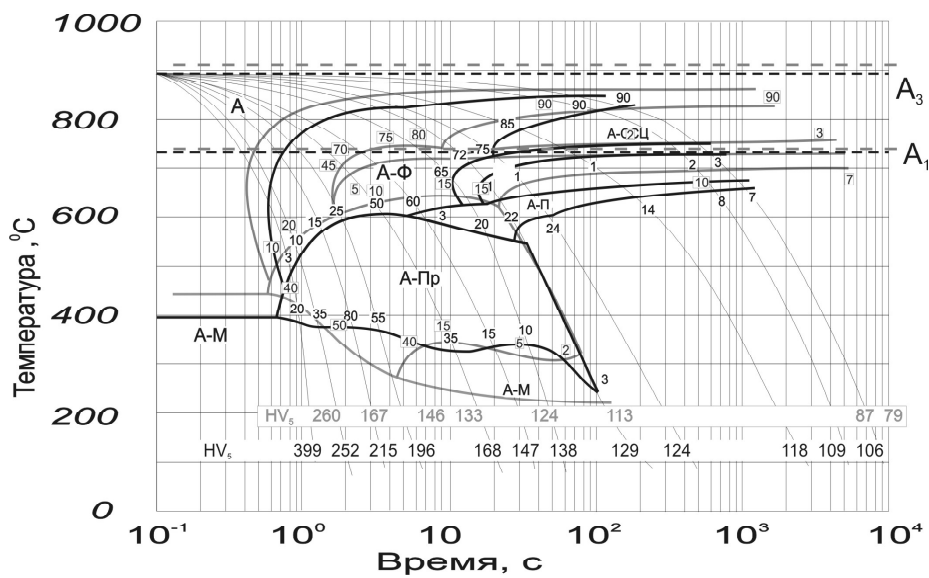


Рис. 3. Термокинетическая диаграмма распада аустенита модифицированной и серийной стали Ст1кп

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.

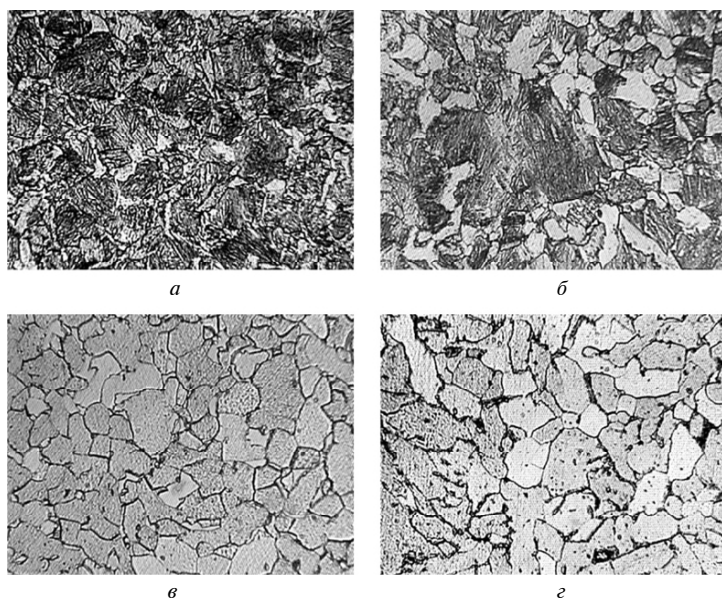


Рис. 4. Микроструктура образцов стали Ст1кп (модифицирование) $\times 500$, скорости охлаждения, температуры закалки:
 а – $V_{охл} = 3,60$ С/с $t_{закалки} = 7950$ С; б – $V_{охл} = 3,60$ С/с $t_{закалки} = 7000$ °С;
 в – $V_{охл} = 3,60$ С/с $t_{закалки} = 6700$ С; г – $V_{охл} = 3,60$ С/с $t_{закалки}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

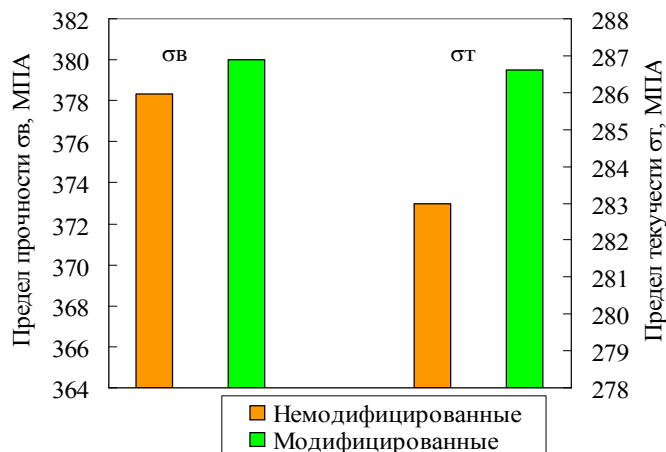


Рис. 5. Средние значения характеристик прочности (σ_v и σ_t), согласно механическим свойствам стали Ст1кп, обработанной многофункциональными модификаторами и алюминием утяжеленным

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: $V_{охол} = 3,60 \text{ K/s}$, $t_{гартування} = 670 \text{ }^\circ\text{C}$; $V_{охол} = 3,60 \text{ K/s}$, $t_{гартування} = 570 \text{ }^\circ\text{C}$.

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: $V_{coolings} = 3,60 \text{ K/s}$, $t_z = 670 \text{ }^\circ\text{C}$; $V_{coolings} = 3,60 \text{ K/s}$, $t_{zakalki} = 570 \text{ }^\circ\text{C}$.

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