

УДК: 669.1.015:658.62.018.011.2.004.12

**А.И.Бабаченко, О.Н.Перков, О.Г.Сидоренко, В.М.Кузьмичев,
С.И.Семькин**

ПЕРСПЕКТИВНЫЙ МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ МЕТАЛЛОПРОДУКЦИИ

Институт чёрной металлургии им. З.И.Некрасова НАН Украины

Разработана методика определения устойчивости аустенита к фазовым превращениям по величине электропроводности стали в жидком состоянии. Применение настоящей методики позволяет оперативно корректировать режимы термического упрочнения арматурного проката на основе данных об электросопротивлении жидкой стали, что исключает появление «провалов» механических свойств по прочностным характеристикам.

Ключевые слова: термически упрочненный прокат, электропроводность стали в жидком состоянии, управление качеством

Введение. При производстве термически упрочненного арматурного проката существует вероятность получения готовой продукции с отклонениями механических свойств от задаваемых нормативной документацией даже при соответствии химического состава стали марочному. В большинстве случаев это наблюдается, когда содержание отдельных химических элементов находится вблизи нижней границы диапазона, дозволённого для данной марки стали. Настоящее является следствием чувствительности прочностных свойств стали к всё ещё мало исследованному взаимно усиливающему или ослабляющему действию присутствующих в стали химических элементов или их комплексов, в том числе и не контролируемых химическим анализом примесных элементов. Поэтому известный способ прогнозирования механических свойств готового проката по содержанию в ней химических элементов однозначного результата не обеспечивает.

Постановка задачи. Для предупреждения возможности получения из стали, химический состав которой соответствует марочному, термически упрочненного проката, прочностные свойства которого находятся ниже требуемых в соответствии с заданным классом прочности, в настоящее время применяют режимы упрочнения, обеспечивающие заведомо повышенные прочностные свойства. Однако с повышением прочностных свойств снижаются пластические, возрастает разброс свойств готового проката. И то и другое ухудшает качество продукции. В связи с этим была поставлена задача по выявлению такого объективного единого показателя, который был бы в состоянии учитывать влияние на формирование комплекса механических свойств проката интегрального химического состава стали, то есть одновременно всех присутствующих в стали химических элементов. И параметры, которого не только сигнализировали

бы о необходимости корректировки режима термического упрочнения, но помогали бы определять достаточную степень вмешательства.

Экспериментальные исследования свидетельствуют о существовании четкой зависимости механических свойств термически обработанного металлопроката от устойчивости аустенита к фазовым превращениям. Поэтому в настоящей работе в качестве показателя интегрального химического состава стали была выбрана стойкость аустенита к фазовым превращениям. В настоящее время время стойкости аустенита к фазовым превращениям определяют через степень прокаливаемости образцов, изготавливаемых из стали с отличающимся химическим составом [1]; путём анализа термокинетических диаграмм распада переохлажденного аустенита [2]; по изменениям прочностных свойств проката, термически упрочнённого по единому режиму [3] и т.п. Однако, все известные методики оценки устойчивости аустенита к фазовым превращениям предусматривают проведение целого ряда операций с образцами, находящимися в твердом состоянии, их реализация требует много времени и достаточно трудоемка с одной стороны, а с другой – надёжность результатов, получаемых с помощью этих методик, очень низка. Поэтому перечисленные методики не могут быть использованы для оперативного реагирования на отклонения устойчивости аустенита от заданных значений, а это исключает возможность их применения в промышленных технологиях, например, для корректировки параметров термической обработки проката.

Для реализации возможности оперативного управления качеством металла, прежде всего, необходимо было подобрать параметр, который бы своевременно сигнализировал об отклонении значения устойчивости аустенита к фазовым превращениям от базового уровня, а, следовательно, и об отклонении свойств металла от заданных. На базе экспериментов было установлено, что в качестве технического параметра, характеризующего устойчивость аустенита к фазовым превращениям, может быть принята электропроводность расплава стали в конце ее выплавки.

Схема технологического процесса в таком случае выглядит следующим образом: для изготовления термически упрочненного проката выплавляют сталь, измеряют технический параметр, характеризующий устойчивость аустенита к фазовым превращениям, и, на основании величины и знака отклонения этого параметра от базовой величины, осуществляют корректировку режима охлаждения при термической обработке готового металлопроката.

Методика проведения экспериментов.

С исследовательской целью выплавляли несколько плавок низкоуглеродистой стали для изготовления строительной арматуры. В конце выплавки каждой плавки известным путем измеряли электропроводность расплава.

После охлаждения слитки металла подали в прокатный цех.

После прокатки на непрерывно–заготовочном стане и на мелкосортном стане 250 получили стержневой арматурный прокат диаметром 12 мм и в процессе прокатки термически упрочнили по единому для всех плавков режиму, в качестве которого использован принятый на предприятии режим для термического упрочнения арматуры из стали марки ст3пс на класс А 400. При этом на образцах, взятых от каждой опытной плавки, определяли временное сопротивление металла готового проката. Результаты эксперимента приведены в таблице.

Таблица – Результаты эксперимента

Последовательный номер плавки	Содержание основных химических элементов, %			Электропроводность, q м/мком мм ²	Временное сопротивление $\sigma_{в}$, Н/мм ²
	C	Mn	Si		
1	0,18	0,67	0,06	805	530
2	0,19	0,72	0,08	789	565
3	0,18	0,66	0,06	792	540
4	0,16	0,74	0,08	808	510
5	0,20	0,11	0,08	778	585
6	0,21	0,80	0,09	776	600
7	0,18	0,66	0,06	816	485
8	0,19	0,71	0,09	786	570
9	0,18	0,65	0,07	814	495
10	0,20	0,70	0,06	783	580

Анализ результатов исследований.

Приведенные в таблице данные свидетельствуют о том, что при относительно небольших колебаниях химического состава отдельных плавков, колебания электропроводности расплава стали и предела прочности готового проката довольно существенны. (См. Рис)

Экспериментальные данные о корреляционной связи между пределом прочности готового проката и электропроводностью расплава опытных плавков стали статистически обработали и получили уравнение парной регрессии типа:

$$\sigma_{вф} = \sigma_{во} - R_1 (q_о - q_ф) \quad (1)$$

где $\sigma_{вф}$ – фактическое значение временного сопротивления арматурного проката;

$\sigma_{во}$ – значение временного сопротивления проката при электропроводности стали, принятой за базовую;

$q_ф$ – фактическое значение электропроводности стали для данной плавки;

$q_о$ – базовое значение электропроводности расплава стали;

R_1 – коэффициент пропорциональности между временным сопротивлением и электропроводностью стали.

В качестве базового значения электропроводности расплава стали q_0 и временного сопротивления $\sigma_{во}$ термически упрочненного проката из этой стали могут быть приняты значения этих характеристик, которые были получены при исследовании одной из приведенных в таблице плавки стали (например, плавка 1).

Коэффициент R_1 определяли как коэффициент пропорциональности между временным сопротивлением металла проката $\sigma_{во}$ и базовой электропроводностью расплава стали q_0 :

$$R_1 = \frac{\sigma_{во}}{q_0} \quad (2)$$

В условиях промышленного производства постоянно получать сталь, электропроводность которой в жидком состоянии во всех случаях равна q_0 , невозможно. Поэтому, если под прокатку и термическое упрочнение поступит сталь с электропроводностью $q_{ф}$, которая отличается от q_0 , то очевидно, что после термического упрочнения полученного из нее проката по единому режиму значение его временного сопротивления будет равняться $\sigma_{вф}$, которое отличается от $\sigma_{во}$. Разница составит:

$$\Delta\sigma_{в} = \sigma_{вф} - \sigma_{во} \quad (3)$$

Измеряя фактическую электропроводность расплава стали и определяя величину ее отклонения Δq от базового значения электропроводности, равную:

$$\Delta q = q_{ф} - q_0, \quad (4)$$

приобретаем возможность определить величину отклонения $\Delta\sigma_{в}$, которую получит готовый прокат из стали при отклонении его электропроводности от базового значения на величину Δq следующего уравнения:

$$\Delta\sigma_{в} = R_1 \Delta q \quad (5)$$

Для получения качественной стали из металла, электропроводность расплава которого $q_{ф}$ отличается от q_0 , нужно откорректировать режим термической обработки данной плавки стали в соответствии с отклонением $\Delta\sigma_{в}$ прогнозируемого уровня прочности $\sigma_{вф}$ от $\sigma_{во}$, который принят за базовый.

В условиях современного высокоинтенсивного производства, когда все производственные процессы скоординированы во времени, режим термической обработки (скорость охлаждения металла) целесообразно корректировать путем регулирования давления охлаждающей воды, подаваемой в первую в трассе упрочнения секцию.

Соответствующее уравнению (1) изменение фактического значения временного сопротивления арматурного проката в зависимости от электропроводности жидкой стали опытных плавки, из которой изготовили термически упрочненный прокат класса А400, на рисунке отражает прямая 1. Настоящая прямая позволяет определить теоретическое значение электропроводности жидкой стали, при котором арматурный прокат, упрочненный по тому же единому режиму, что и опытные плавки,

приобретёт временное сопротивление, равное нижнему пределу этого показателя (500 Н/мм^2), установленного ОСТУ для проката класса А400. В данном случае таким значением электропроводности жидкой стали будет 810 м/мком мм^2 .

Однако, тот же рисунок свидетельствует и о том, что в силу погрешностей, возникающих при определении электропроводности жидкой стали и временного сопротивления готового проката, изготовленного из этой стали, фигуративные точки, нанесённые на координатную плоскость $\sigma_{\text{в}} = f(q)$, соответствующие названным параметрам, большей частью не совпадают с линией 1. Поэтому, с целью исключения влияния названных погрешностей на точность определения значения электропроводности жидкой стали, которая гарантированно обеспечивает приобретение прокатом класса прочности А400 по ДСТУ 3760 нижнего значения временного сопротивления для этого класса прочности, и через наиболее удалённую от линии 1 фигуративную точку фактических значений q и $\sigma_{\text{в}}$, провели линию 2, параллельную линии 1. Благодаря этому, установленное с помощью линии 2 значение электропроводности, которое гарантированно обеспечивает прокату достижение нижнего предела прочности для класса А400, оказалось равным 808 м/мком мм^2 .

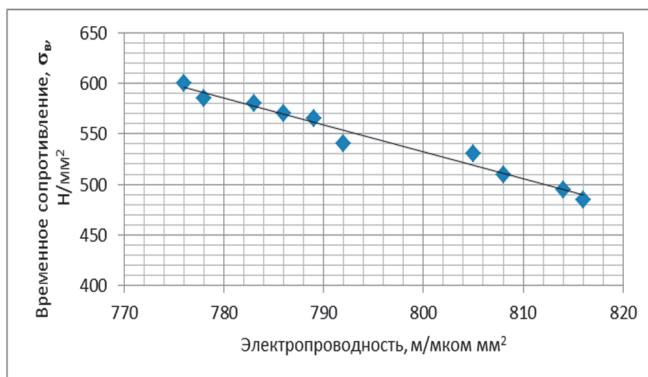


Рисунок — Зависимость временного сопротивления готового проката от электропроводности жидкой стали

В случае, когда при химическом составе стали, соответствующем марке ст3пс, значение электропроводности, текущей плавки стали оказалось большим, чем 808 м/мком мм^2 , и, следовательно, без корректировки режима термической обработки временное сопротивление готового проката будет меньшим, чем 500 Н/мм^2 , то режим упрочнения проката, изготовленного из этой стали, необходимо скорректировать так, чтобы временное сопротивление термически упрочнённого проката превышало 500 Н/мм^2 .

Выводы.

Разработана методика определения устойчивости аустенита к фазовым превращениям по величине электропроводности стали в жидком состоянии. Применение настоящей методики позволяет оперативно корректировать режимы термического упрочнения арматурного проката и исключает за счёт этого появление «провалов» механических свойств по прочностным характеристикам, возможных даже при соответствии химического состава стали марочному.

По материалам исследований получен патент Украины на изобретение.

1. Патент РФ № 2011198, МПК G01N 33/20 от 15.04.1994.
2. Заявка РФ № 2007123893А, МПК G01N 33/20 от 27.12.2008.
3. Садовский В.Д., Попов А.А. Диаграммы кинетики превращений переохлажденного аустенита. – М.: Металлургия, 1987. – 282 с.

*Статья поступила в редакцию сборника 11.04.2017
и прошла внутреннее и внешнее рецензирование*

О.І.Бабаченко, О.М.Перков, О.Г.Сидоренко, В.М.Кузьмічев, С.І.Семикін
Перспективний метод управління якістю металопродукції

Розроблено методику визначення стійкості аустеніту до фазових перетворень за величиною електропровідності сталі у рідкому стані. Застосування цієї методики дозволяє оперативно коригувати режими термічного зміцнення арматурного прокату на основі даних електроопору рідкої сталі, що виключає появу «провалів» механічних властивостей за міцністю.

Ключові слова: термічно зміцнений прокат, електропровідність сталі в рідкому стані, управління якістю.

A.I.Babachenko, O.N.Perkov, O.G.Sidorenko, V.M.Kuzmichev, S.I.Semykin
A promising method of metal products quality management

A technique for determining the stability of austenite to the phase transformations is developed with respect to the electric conductivity of steel in the liquid state. The application of this technique allows the operating correction on the conditions of heat hardening of reinforcing bars on the basis of liquid steel electric resistivity. The technique permits eliminating strength «failures» of product mechanical properties.

Keywords: thermally strengthened rolling, electrical conductivity of steel in liquid state, quality management