

## МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАЛОУГЛЕРОДИСТОЙ НИЗКОЛЕГИРОВАННОЙ ТРУБНОЙ СТАЛИ

Рыжков М. А.<sup>1</sup>, Данилов С. В.<sup>1</sup>, Урцев Н. В.<sup>2</sup>, Лобанов М. Л.<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>) Уральский федеральный университет имени первого Президента России  
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

<sup>2</sup>) Исследовательско-технологический центр «Аусферр», г. Магнитогорск, Россия

<sup>3</sup>) Институт физики металлов имени М. Н. Михеева УрО РАН,  
Екатеринбург, Россия  
E-mail: s.v.danilov@bk.ru

## THE METHOD FOR DETERMINING THE THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF HSLA PIPELINE STEEL

Ryzhkov M. A.<sup>1</sup>, Danilov S. V.<sup>1</sup>, Urtsev N. V.<sup>2</sup>, Lobanov M. L.<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>) Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

<sup>2</sup>) Ausferr Research and Technology Center, Magnitogorsk, Russia

<sup>3</sup>) Institute of Metal Physics, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,  
Ekaterinburg, Russia

The method for determining the thermophysical properties of HSLA pipeline steel with different structural states was developed.

Технология контролируемой прокатки с ускоренным управляемым охлаждением (ТМСР) позволяет производить толстый лист, в том числе для изготовления магистральных нефте- и газопроводов, с уникальным сочетанием прочности, вязкости, хладостойкости и свариваемости [1]. При ТМСР осуществляются деформации полуфабриката, а также его нагревы и охлаждения, при которых реализуются фазовые и структурные превращения. Управление процессом ТМСР для получения в изделии заданных структуры и механических свойств требуют достаточно точной цифровой информации о теплоемкостях основных фаз и величинах тепловых эффектов превращений. Данная работа посвящена разработке методики измерения теплофизических свойств в малоуглеродистой низколегированной стали, характеризующейся различными структурными состояниями.

Исследование проводилась на образцах стали типа 06Г2МБ. Образцы, вырезались из центральной области листов, после промышленной ТМСР. Для образцов при нагреве и охлаждении проводилась калориметрическое и дилатометрическое исследования, а также металлографический анализ исходного и конечного состояний.

Оборудование и условия эксперимента соответствовали рекомендациям стандарта ASTM E1269-11 [2] для калориметрического и стандарта ASTM A1033-18 [3] для дилатометрического исследований. Температурный интервал исследований 20...1200 °С. Металлографический анализ исходной микроструктуры с направления поперечного направлению прокатки (ПН), а также микроструктуры

после реализованных циклов нагрев-охлаждение (также с ПН) осуществлялся в светлом поле с помощью оптического микроскопа Nikon Epihot 200.

Разработанная методика измерения теплофизических свойств стали, характеризующейся различными структурными состояниями, состоит в определении теплоемкости методом соотношений при нагреве исследуемых образцов со скоростью 20 °С/мин. Для уточнения получаемых при калориметрии данных применялся дилатометрический анализ, который проводился в идентичных условиях нагрева. Обработка результатов калориметрического анализа проводилась по данным, полученным в результате повторного нагрева образцов. Повторный нагрев микроструктуры позволил уменьшить влияние значительного количества тепловых эффектов структурных превращений на кривых теплоемкости, затрудняющих анализ тепловых эффектов фазовых превращений.

При определении величины тепловых эффектов фазовых превращений по кривым теплоемкости большое значение имеет вид и форма базовой линии. Для её построения теплоемкости  $\alpha$ - и  $\gamma$ - фаз были описаны линейными уравнениями и экстраполированы. В интервале температур  $A_{c1} \dots A_{c3}$  изменение базовой линии теплоемкости рассчитывалась по правилу аддитивности – общая теплоемкость складывалась из теплоемкости фазовых составляющих, отнесенной к их доле. Для определения доли образовавшихся фаз использовались дилатометрические данные. В результате были рассчитаны тепловые эффекты фазовых превращений при нагреве исследуемой стали. Они составили: 33,9 Дж/г для магнитного превращения, 16,0 Дж/г для  $\alpha \rightarrow \gamma$ -превращения.

*Работа выполнена при финансовой поддержке стипендии Президента Российской Федерации (проект СП-3775.2021.1).*

1. Структура и свойства сталей для магистральных трубопроводов / И. Ю. Пышминцев, М. А. Смирнов – Екатеринбург: ЦМЦ УПИ, 2019. – 242 с.
2. ASTM E1269-11. Standard Test Method for Determining Specific Heat Capacity by Differential Scanning Calorimetry. ASTM International, 2018. 6 p.
3. ASTM A1033-18. Standard Practice for Quantitative Measurement and Reporting of Hypoeutectoid Carbon and Low-Alloy Steel Phase Transformations. ASTM International, 2018. 14 p.