

УДК 669.15: 536.5

**Р.А. Вагин, Е.Н. Орлова, Д.О. Панов**

**R.A. Vagin, E.N. Orlova, D.O. Panov**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет  
Perm National Research Polytechnic University

**КОРРЕКТИРУЮЩИЕ ИЗМЕРЕНИЯ  
ПРИ ДИЛАТОМЕТРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ  
ПРОЦЕССОВ ИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ АУСТЕНИЗАЦИИ  
СТАЛИ 10Х3Г3МФС**

**CORRECTIVE MEASURED AT DILATOMETRIC  
MEASUREMENTS DURING ISOTHERMAL AUSTENITIZING  
STEEL 10H3G3MFS**

Приведена методика, с помощью которой возможно проводить корректировку данных, полученных в ходе дилатометрических исследований. Данная методика позволяет учесть изменение линейных размеров держателей образцов при проведении дилатометрического анализа с использованием закалочного дилатометра Linseis L78 RITA. В данной работе представлены результаты исследования изотермической аустенитизации стали 10Х3Г3МФС в межкритическом интервале при температуре 750 °С в течение 9 часов.

**Ключевые слова:** низкоуглеродистая сталь, критическая точка, фазовое превращение, межкритический интервал, изотермическая аустенитизация.

The technique by which it is possible to carry out adjustments to the data obtained in the course of dilatometric study. This method allows to take into account the change in the linear dimensions of the sample holders during dilatometric analysis using the quenching dilatometer Linseis L78 RITA. This paper presents the results of a study of isothermal austenitizing steel 10H3G3MFS in the intercritical temperature range of 750 °C for 9 hours.

**Keywords:** low carbon steel, the critical point, the phase transformation, the intercritical interval, isothermal austenitization.

Термическая обработка заключается в нагреве и охлаждении металлов, сплавов с целью изменения их свойств и структуры. В зависимости от назначения применяют различные виды термической обработки: отжиг, нормализацию, закалку и отпуск. Каждый вид термической обработки состоит из сле-

дующих операций: нагрева до определенной температуры, выдержки для стабилизации фазовых превращений [1, 2], охлаждения с заданной скоростью. В результате изменяется структура стали, которая и определяет ее механические свойства. Основными параметрами термической обработки являются температура, время выдержки, скорости нагрева и охлаждения. Для определения этих параметров необходимо изучить критические точки начала и конца  $\alpha$ - $\gamma$ -превращения, его кинетику [3], чтобы составить технологию термической обработки. Эти исследования возможно провести с помощью дилатометрического анализа, который заключается в определении изменений длины образцов при нагреве и охлаждении или при изотермической выдержке. Измерение длины позволяет определить кинетику превращений, поскольку их степень во времени пропорциональна изменению длины.

Как и любой метод исследования, дилатометрический метод имеет погрешности. Основной вклад в отклонение от истинных значений вносит тепловой эффект изменения линейных размеров материала держателей, в которые помещается образец.

Таким образом, целью данной работы является исследование возможности корректировки дилатометрических измерений изотермической аустенизации при температуре 750 °С.

**Материал и методика исследования.** В качестве материала исследования была выбрана сталь 10Х3Г3МФС [4, 5], химический состав которой представлен в таблице. Прутковые заготовки  $d = 19$  мм из стали получены путем горячейковки при температурах 1200–950 °С и последующем охлаждении на воздухе. Далее изготавливали образцы цилиндрической формы диаметром 3 мм и длиной 10 мм для последующего дилатометрического анализа.

Химический состав исследуемых сталей, % (масс.)

Содержание элементов											
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Ti	Cu	Fe
0,10	2,51	1,25	0,019	0,008	2,75	0,16	0,40	0,12	0,004	0,19	92,59

Дилатометрические исследования проводили на закалочном дилатометре Linseis L78 RITA, используя образцы цилиндрической формы длиной 10 мм и диаметром 3 мм. Температура при проведении исследования фиксировалась с помощью термопары  $k$ -типа (Ni – NiCr), которая приваривалась к боковой поверхности исследуемых образцов. Нагрев проводился в инертной среде гелия, что исключало образование окалины. В качестве охлаждающей среды использовался гелий, который подавался на образцы под различным давлением. Обработку данных эксперимента проводили с помощью пакета программ WIN-DIL, Fityk и Linseis Data Evaluation, поставляемых вместе с прибором.

Дилатометрические исследования стали 10Х3Г3МФС проводились в режиме: нагрев со скоростью 1,5 °С/с до 750 °С, выдержка 9 часов и охлаждение со скоростью 50 °С/с до комнатной температуры. После дилатометрических измерений по выбранному температурному профилю на образцах стали проводили корректирующие дилатометрические измерения на никелевом образце-этalone по тому же температурному профилю. Коэффициент линейного термического расширения (КЛТР) никеля известен и внесен в программу прибора. Таким образом, измерения на никеле позволяют выявить количественное влияние расширения керамических держателей во время продолжительных выдержек на КЛТР испытываемых образцов.

**Результаты эксперимента и их обсуждение.** Критические точки определяли по дилатограмме (рис. 1), построенной при непрерывном нагреве на 1000 °С. Критическую точку  $A_{c1}$  можно определить с помощью теплового эффекта. При нагреве фазовое  $\alpha$ - $\gamma$ -превращение сопровождается поглощением тепла. При этом прибор показывает разницу между заданной температурой и температурой образца (красной линией). В данном случае точка, в которой уже проявляется разность температур, и будет началом  $\alpha$ - $\gamma$ -превращения. Критическую точку  $A_{c3}$  определяли методом отрыва касательной от дилатограммы, проведенной к участку кривой, где превращение уже закончилось.

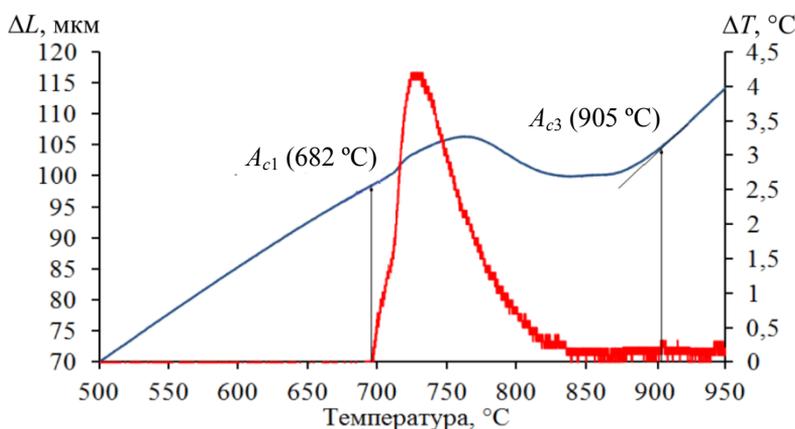


Рис. 1. Дилатограмма непрерывного нагрева стали 10Х3Г3МФС до 1000 °С

Скорректированные и нескорректированные дилатограммы нагрева до 750 °С и 9-часовой выдержке при этой температуре представлены на рис. 2.

Относительный вклад термического расширения держателей в объемный эффект превращения при дилатометрических исследованиях ( $\varepsilon$ ) находили по формуле (1):

$$\varepsilon = \frac{x - x'}{x'} \cdot 100 \%, \quad (1)$$

где  $x$  – объемный эффект, который проявляется при  $\alpha$ - $\gamma$ -превращении без учета корректировки, рассчитанный по формуле (2):

$$x = l_1^{\text{исх}} - l_2^{\text{исх}}, \quad (2)$$

где  $l_1^{\text{исх}}$  и  $l_2^{\text{исх}}$  – нескорректированные значения изменения длины стали при начале и стабилизации  $\alpha$ - $\gamma$ -превращения.

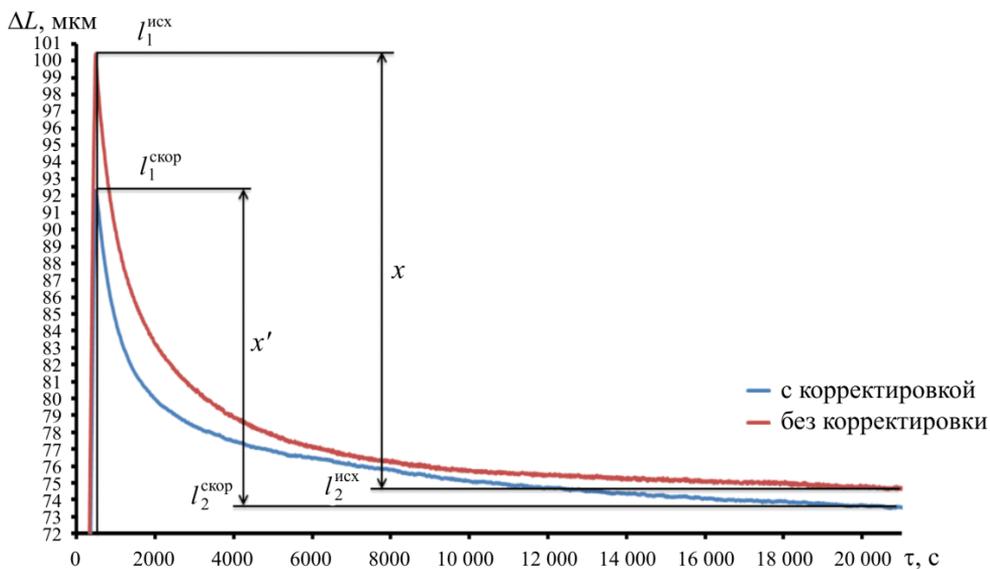


Рис. 2. Скорректированная и нескорректированная дилатогаммы нагрева до 750 °С и 9-часовой выдержке при этой температуре

Исходя из рис. 2  $l_1^{\text{исх}} = 100,5$  мкм,  $l_2^{\text{исх}} = 74,5$  мкм, следовательно,  $x = 26$  мкм.

Объемный эффект  $x'$ , который проявляется при  $\alpha$ - $\gamma$ -превращении с учетом корректировки, рассчитанный по формуле (3):

$$x' = l_1^{\text{кор}} - l_2^{\text{кор}}, \quad (3)$$

где  $l_1^{\text{кор}}$  и  $l_2^{\text{кор}}$  – скорректированные значения изменения длины стали при начале и стабилизации  $\alpha$ - $\gamma$ -превращения.

Исходя из рис. 2  $l_1^{\text{кор}} = 92,5$  мкм,  $l_2^{\text{кор}} = 73,5$  мкм, следовательно,  $x' = 19$  мкм.

Определив значения  $x$  и  $x'$ , можно рассчитать по формуле (1) относительный вклад ( $\varepsilon$ ) термического расширения держателей в объемный эффект превращения при дилатометрических исследованиях, который составляет 37 %.

Таким образом, с помощью предложенной выше методики возможно учесть термическое расширение держателей образцов при дилатометрических измерениях. При корректировке данных, полученных при анализе дилатограммы, которая была получена при нагреве стали 10Х3Г3МФС до 750 °С и 9-часовой выдержке обнаружено, что термическое расширение держателей в объемный эффект превращения ( $\epsilon$ ) составляет около 37 %.

### Список литературы

1. Попов А.А. Фазовые превращения в металлических сплавах. – М.: Металлургиздат, 1963. – 311 с.
2. Липчин Н.Н., Белых Ю.А., Коковьякина С.А. Фазовые и структурные превращения при нагреве металлов и сплавов // *Металловедение и термическая обработка металлов*. – 1976. – № 6. – С. 60–64.
3. Дьяченко С.С. Образование аустенита в железоуглеродистых сплавах. – М.: Металлургия, 1982. – 128 с.
4. Превращения, структура и свойства системно-легированных низкоуглеродистых безникелевых сталей / Ю.Н. Симонов, М.Ю. Симонов, Д.П. Подузов, А.В. Смирнов, И.А. Галимова // *Металловедение и термическая обработка металлов*. – 2012. – № 11. – С. 4–11.
5. Низкоуглеродистая легированная сталь: пат. 2477333 РФ. С 22 С 38/38 / Ю.Н. Симонов, Д.О. Панов, М.Ю. Симонов, А.В. Касаткин, Д.П. Подузов. Бюл. 2013. № 7.

Получено 04.06.2015

**Вагин Роман Андреевич** – магистрант, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, механико-технологический факультет, гр. МТО-13м, e-mail: vagin\_roman@mail.ru.

**Орлова Евгения Николаевна** – ассистентка, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, механико-технологический факультет, e-mail: 77zhenya77@mail.ru.

**Панов Дмитрий Олегович** – старший преподаватель, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, механико-технологический факультет, e-mail: dimmak-panov@mail.ru.