

Научные тезисы

УДК 669.1

## ДИЛАТОМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ Cr–Ni–Mo СТАЛЕЙ В ПРОЦЕССЕ ИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

**Мария Ивановна Пономарева<sup>1</sup>, Михаил Васильевич  
Майсурадзе<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Пневмостроймашина, Екатеринбург, Россия

<sup>2</sup> Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

<sup>1</sup> *ami504@mail.ru*

**Аннотация.** В проведенной работе dilatометрическим методом были исследованы Cr–Ni–Mo сталь исходного состава, а также стали с добавлением алюминия и кремния. Определены структура сталей в ходе изотермической обработки, а также влияние на структуру алюминия и кремния.

**Ключевые слова:** изотермическая обработка, остаточный аустенит, изменение фазового состава

Scientific thesises

## DILATOMETRIC RESEARCH OF Cr–Ni–Mo STEELS DURING ISOTHERMAL TREATMENT

**Maria I. Ponomareva<sup>1</sup>, Michail V. Maisuradze<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Pneumatic construction machine, Yekaterinburg, Russia

<sup>2</sup> Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia

<sup>1</sup> *ami504@mail.ru*

**Abstract.** In this work, Cr–Ni–Mo steel of the initial composition and alloyed with aluminum and silicon were investigated by the dilatometric method. The structure of steels during isothermal treatment, as well as the effect on the structure of aluminum and silicon, have been determined.

**Keywords:** isothermal processing, retained austenite, change in phase composition

В последнее время появилось много работ, в которых рассматривается повышенное содержание остаточного аустенита, полученное путем изотермической закалки в бейнитной области. Так как повышенное содержание остаточного аустенита позволяет увеличить пластичность (особенно показатели равномерного удлинения) и одновременно повысить прочностные характеристики стали за счет значительного деформационного упрочнения аустенита и возможности образования в нем мартенсита деформации (так называемый TRIP-эффект), этот эффект находит все большее применение для изготовления деталей в машиностроении [1–3].

Значительное количество остаточного аустенита образуется в сталях, содержащих Si и Al, при этом в бейните содержится очень малое количество углерода (т. н. безкарбидный бейнит), а в непревращенном аустените наблюдается высокое содержание углерода, что приводит к снижению мартенситной точки и появлению остаточного аустенита [4; 5].

В настоящей работе исследована возможность получения большего количества остаточного аустенита за счет легирования Al и Si в промышленных сталях для особо крупных поковок ответственного назначения: энергомашиностроения, судостроения и т. д.

Нагрев стали, так же, как и все изотермические выдержки, проводился в защитной среде в dilatометре Linseis L78 “R. I. T. A.”.

Образцы сталей 35ХНМФА, 35ХНМФЮА, 35ХНМФСА, 35ХНМФЮСА нагревали до температуры аустенитизации: 870 °С; 900 °С; 915 °С; 985 °С соответственно, выдерживали при этой температуре 20 мин, далее проводили изотермическую выдержку в течение 1 ч и охлаждали с постоянной скоростью 10 °С/сек до комнатной температуры. На основе полученных данных было проведено построение термокинетических диаграмм.

Методом dilatометрического анализа для исследуемых сталей были определены температуры фазовых переходов. Установлено, что кремний и алюминий повышают температуру начала и конца аустенитного превращения. При совместном легировании кремнием и алюминием межкритический интервал расширяется до 125 °С. Отдельно друг от друга эти элементы в исследованных сталях сужают межкритический интервал до 60–65 °С.

В ходе проведенных исследований было установлено изменение температуры начала мартенситного превращения. По величине точки  $M_s$  остаточного аустенита можно также судить о содержании в нем углерода (см. данные в табл).

Таблица

**Изменение температуры начала мартенситного превращения и концентрации углерода**

Марка стали	$M_{s\_эксп}$ , °C	%C <sub>эксп</sub>	$M_{s\_ост.аустенита}$ , °C	%C <sub>ост. аустенита</sub>	Разница, %C
35ХНМФА	315	0,37	270	0,77	0,4
35ХНМФЮА	345	0,36	360	0,5	0,14
35ХНМФСА	340	0,36	245	0,87	0,51
35ХНМФЮСА	380	0,36	340	0,56	0,2

На основе полученных данных была рассчитана доля бейнитного превращения и построены графики зависимости объема превращения от времени (рис.).

Коэффициенты рассчитаны при помощи магнитометрического метода. Для стали с кремнием  $C = 0,0271$ , и для стали с алюминием  $C = 0,0235$ .

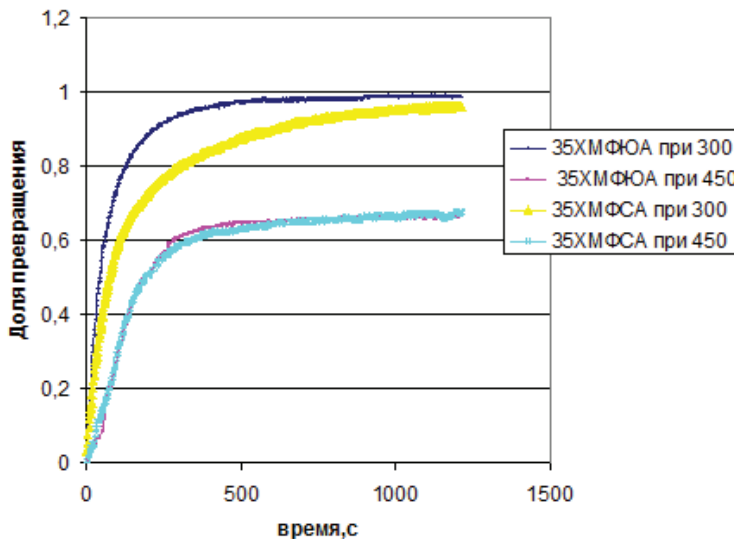


Рис. Кинетика превращения в сталях при различных температурах изотермической выдержки

Представленный график показывает незавершенность бейнитного превращения. Как в сталях, легированных алюминием, так и в сталях, легированных кремнием, изотермическое превращение при 450 °С характеризуется максимальной долей остаточного аустенита — около 30 %. При изотермическом превращении при 300 °С стали показали максимальный процент бейнитного превращения, стремящийся к 100 %.

Проведенные исследования показывают, что:

- 1) с повышением температуры изотермической выдержки увеличивается содержание остаточного аустенита;
- 2) легирование алюминием и кремнием исследованных сталей увеличивает скорость превращения, повышает точку начала мартенситного превращения, увеличивает количество остаточного аустенита;
- 3) характерной чертой превращения является незавершенность превращения в изотермических условиях.

#### Список источников

1. Long X. Y., Kang J. Carbide-free bainite in medium carbon steel // *Materials and Design*. 2014. V. 64. P. 237–245.
2. Zhang M., Qian J., Gu H. The structure stability of carbide-free bainite wheel steel // *Journal of Materials Engineering and Performance*. 2007. V. 16, Issue 5. P. 635–639.
3. Структура и свойства конструкционных сталей после термомеханической обработки в бейнитной области температур / В. М. Счастливец [и др.] // *Деформация и разрушение материалов*. 2011. С. 1–9.
4. Симонов Ю. Н., Симонов М. Ю., Панов Д. О. Получение нижнего бескарбидного бейнита в результате изотермической обработки сталей типа ХЗГЗМФС и ХНЗМФС // *МиТОМ* 2016. № 2. С. 4–18.
5. Theoretical design and advanced microstructure in super high strength steels / Caballero F. G. [et al.] // *Materials and Design*. 2009. V. 30, Issue 6. P. 2077–2083.

#### References

1. Long X. Y., Kang J. Carbide-free bainite in medium carbon steel // *Materials and Design*. 2014. V. 64. P. 237–245.
2. Zhang M., Qian J., Gu H. The structure stability of carbide-free bainite wheel steel // *Journal of Materials Engineering and Performance*. 2007. V. 16, Issue 5. P. 635–639.

3. Structure and properties of construction steels after thermomechanical treatment in the bainite temperature range / V. M. Shchastvtsev [et al.] // Deformation and destruction of materials. 2011. P. 1–9.
4. Simonov Yu., Simonov M. Yu., Panov D. O. Nobtaining of lower carbide-free bainite as a result of isothermal treatment of steels of the type Cr3Mn3MoVSi and CrNi3MoVSi // MiTOM 2016. No 2. P. 4–18.
5. Theoretical design and advanced microstructure in super high strength steels / Caballero F. G. [et al.] // Materials and Design. 2009. V. 30, Issue 6. P. 2077–2083.