

# **ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ**

## **INTERNATIONAL WORKSHOP**

**«Multiscale Biomechanics and Tribology  
of Inorganic and Organic Systems»**

## **МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**

**«Перспективные материалы с иерархической структурой  
для новых технологий и надежных конструкций»**

**VIII ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ  
КОНФЕРЕНЦИЯ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ,  
ПОСВЯЩЕННАЯ 50-ЛЕТИЮ ОСНОВАНИЯ  
ИНСТИТУТА ХИМИИ НЕФТИ**

**«Добыча, подготовка, транспорт нефти и газа»**

Томск  
Издательский Дом ТГУ  
2019

DOI: 10.17223/9785946218412/233

**ВЛИЯНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ СТАРЕНИЯ НА МИКРОСТРУКТУРУ, ФАЗОВЫЙ СОСТАВ И МИКРОТВЕРДОСТЬ ВЫСОКОАЗОТИСТОЙ АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ**

Тумбусова И.А., Майер Г.Г., Панченко М.Ю., Москвина В.А., Мельников Е.В., Астафуров С.В., Михно А.С., Гальченко Н.К., Астафурова Е.Г.

*ФГБУН Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Россия, galinazg@yandex.ru*

С использованием методов сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии, рентгеноструктурного и рентгенофазового анализа изучали влияние продолжительности старения при температуре 700 °С на микроструктуру, фазовый состав и микротвердость высокоазотистой стали Fe-23Cr-17Mn-0,1C-0,6N (мас. %). Старение исходно закаленных от 1200°С образцов проводили в среде инертного газа в течение 0,5-50 ч.

В исходном состоянии после закалки исследуемая сталь имела структуру азотистого аустенита ( $\gamma_{N1}$ -фаза) с параметром решетки  $a=3,629 \text{ \AA}$ , а также содержала 18%  $\delta$ -феррита с параметром решетки 2,88  $\text{\AA}$ . Методом рентгеноструктурного анализа обнаружено, что старение при температуре 700 °С, 0,5 ч вызывает исчезновение рентгеновской линии, соответствующей  $\delta$ -ферриту и размытие линий аустенита в сторону меньших углов дифракции. При этом на рентгенограммах наблюдали появление рентгеновских линий с межплоскостными расстояниями, соответствующими  $\sigma$ -фазе и нитридам хрома  $\text{Cr}_2\text{N}$ . После старения при температуре 700 °С с выдержкой более получаса на рентгенограммах идентифицируются отражения от исходной аустенитной фазы ( $\gamma_{N1}$ ), аустенита, обедненного атомами внедрения ( $\gamma_{N2}$ ), нитридов хрома  $\text{Cr}_2\text{N}$  и  $\sigma$ -фазы. С увеличением продолжительности старения при температуре 700°С увеличивается интенсивность линий, соответствующих  $\sigma$ -фазе и нитридам хрома  $\text{Cr}_2\text{N}$ , значения параметра решетки аустенита  $\gamma_{N1}$  изменяются слабо, но имеют тенденцию к уменьшению. Этот эффект обусловлен обеднением твердого раствора аустенита по азоту и углероду, в результате выделения частиц  $\text{Cr}_2\text{N}$ .

Электронно-микроскопические исследования микроструктуры стали показали, что после старения 0,5 часа зерна  $\delta$ -феррита претерпевают распад с образованием мелкозернистой  $\sigma$ -фазы и аустенита, а на границах аустенитных зерен реализуется реакция прерывистого распада с образованием ячеек нитрида хрома. Старение при температуре 700°С способствуют быстрому увеличению доли превращенного объема материала, что при малой продолжительности выдержки (0,5-2 часа) в большой степени связано с распадом высокотемпературного феррита. После завершения распада  $\delta$ -феррита скорость превращения уменьшается, и она определяется преимущественно прерывистым распадом аустенита и образованием нитридов хрома. С увеличением продолжительности старения, нитриды хрома растут в теле аустенитных зерен в виде пластин. Полного распада аустенита не происходит даже после 50-ти часов выдержки.

Последовательность фазовых и структурных превращений при старении определяет изменение микротвердости исследуемой стали. В исходном состоянии микротвердость стали составляла  $3,09 \pm 0,08 \text{ ГПа}$ . После старения микротвердость в зернах, претерпевших фазовый распад ( $\gamma_{N1}\text{-Fe} + \sigma\text{-фаза} + \text{Cr}_2\text{N} + \gamma_{N2}\text{-Fe} + \delta\text{-феррит}$ ), существенно выше, чем в однофазных зернах азотистого аустенита ( $\gamma_{N1}\text{-Fe}$ ). Старение в течение 1 часа сопровождается сильным увеличением микротвердости в зернах, претерпевших распад, в результате формирования интерметаллидной  $\sigma$ -фазы и дисперсионного твердения. Дальнейшее небольшое уменьшение микротвердости, при старении более 2 часов связано с процессами огрубления и коагуляции дисперсных фаз. После старения наблюдали небольшое увеличение микротвердости в аустенитных зернах, не претерпевших распад. Вероятно, это обусловлено эффектами предвыделений и непрерывного (гомогенного) выделения нитридов хрома в них.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 17-19-01197).