

**ФАЗОВЫЙ СОСТАВ, МИКРОСТРУКТУРА И МИКРОТВЕРДОСТЬ ВЫСОКОАЗОТИСТОЙ
АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ X23AG17, СОСТАРЕННОЙ ПРИ ТЕМПЕРАТУРАХ 600°C и 700°C**

И.А. Тумбусова, А.С. Михно

Научные руководители: доцент, д.ф.-м.н. Е.Г. Астафурова, к.ф.-м.н Г.Г. Майер

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050,

Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук,

Россия, г. Томск, пр. Академический, 2/4, 634055

E-mail: tumbusovairina@outlook.com

**PHASE COMPOSITION, MICROSTRUCTURE AND MICROHARDNESS OF HIGH-NITROGEN
AUSTENITIC STEEL AFTER AGE HARDENING AT THE TEMPERATURES OF 600°C AND 700°C**

I.A. Tumbusova, A.S. Mihno

Scientific Supervisors: Assistant. Prof., Dr. E.G. Astafurova, Dr. G.G. Maier

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050,

Institute of strength physics and materials science, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,

Russia, Tomsk, Akademichesky ave., 2/4, 634055

E-mail: tumbusovairina@outlook.com

***Abstract.** We studied the effect of age-hardening at temperatures of 600°C and 700°C (0,5, 1, 2, 5, 10, 50 h) on the phase composition, microstructure and microhardness of high nitrogen austenitic steel Fe-23Cr-17Mn-0,1C-0,6N. Age-hardening at the temperatures of 600°C and 700°C is accompanied by the formation of microstructures consisting of two types of grains: grains in which phase decomposition occurred with the release of Cr₂(N,C) and σ-phase particles, as well as austenitic grains, not undergone phase decomposition. At temperature of 700°C, the process of phase decomposition realizes more intensive when compared to age-hardening at 600°C. Grains, which have undergone phase decomposition, have higher microhardness values in comparison with undecomposed grains.*

Введение. Аустенитные стали являются наиболее распространенными материалами, используемыми в различных отраслях промышленности. Они обладают важным комплексом физико-механических служебных характеристик, но при этом имеют низкий уровень предела текучести и твердости, что ограничивает их применение в качестве конструкционных материалов, работающих в условия больших нагрузок. Получение аустенитных сталей с повышенным содержанием азота имеет ряд преимуществ. Во-первых, легирование азотом, за счет твердорастворного упрочнения, позволяет значительно повышать предел текучести стали. Во-вторых, азот стабилизирует аустенитную структуру и позволяет создавать альтернативу дорогостоящей никелевой стали. Наряду с этим существуют деформационные и термические методы, позволяющие дополнительно улучшить прочностные характеристики высокоазотистых сталей. Среди них можно выделить термическое старение. Разнообразие структуры и свойств высокоазотистых сталей в зависимости от их состава, механизма

выделения частиц, типа упрочняющей фазы, количества и характера ее распределения предоставляет широкий спектр возможностей при решении проблем упрочнения высокоазотистых сталей [1-2].

Целью настоящей работы было исследование изменений фазового состава, микроструктуры и микротвердости высокоазотистой аустенитной стали в зависимости от продолжительности старения при температурах 600°C и 700°C.

Экспериментальная часть. Исходную структуру стали X23AG17 (Fe-23Cr-17Mn-0,3C-0,8N, мас. %) получали закалкой в воду после выдержки в течение 30 мин при температуре 1200°C. Старение образцов проводили при температурах 600 и 700°C в течение 0,5, 1, 2, 5, 10, 50ч. в среде гелия с последующей закалкой в воду комнатной температуры. Рентгенофазовый анализ проводили на дифрактометре Дрон-3 с использованием Cu K_α излучения в интервале углов $2\theta = 35\text{--}100^\circ$. Структуру протравленных образцов изучали при помощи металлографического оптического микроскопа Альтами МЕТ 1С. Микротвердость стали X23AG17 в исходном состоянии и после старения измеряли с использованием прибора Duramin 5 с нагрузкой 200 г и $t=10$ с.

Результаты. Рентгеноструктурный анализ показал, что исходная структура стали X23AG17 состоит из зерен азотистого аустенита с параметром решетки $a=3,629 \text{ \AA}$ и δ -феррита с параметром решетки $a=2,88 \text{ \AA}$ (рис. 1). Установлено, что в процессе старения δ -феррит претерпевает распад с образованием σ -фазы и аустенита $\gamma_{\text{N}_2}\text{-Fe}$ (рис. 1а, б). При температуре 700°C распад δ -феррита происходил уже после 0,5 ч. старения (рис.1 б). При более низкой температуре 600°C только после 5 часов выдержки наблюдали появление рентгеновских линий от σ -фазы, свидетельствующее о распаде δ -феррита (рис.1 а). Изменение фазового состава стали при старении после 600°C, 5ч и 700°C, 0,5 ч. происходит по следующей схеме: $\gamma_{\text{N}_1}\text{-Fe} + \delta\text{-феррит (исходное состояние)} \rightarrow \gamma_{\text{N}_1}\text{-Fe} + \sigma\text{-фаза} + \gamma_{\text{N}_2}\text{-Fe} + \text{Cr}_2(\text{N,C}) + \delta\text{-феррит (после старения)}$.

На рисунке 2 представлены металлографические изображения структуры стали X23AG17 после старения. Светлые зерна соответствуют аустенитной фазе ($\gamma_{\text{N}_1}\text{-Fe}$), а темные зерна, обладающие повышенной травимостью – остаточному δ -ферриту, σ -фазе и аустениту ($\gamma_{\text{N}_2}\text{-Fe}$). Объемная доля δ -феррита после закалки составляла 25%. При температуре старение 600°C распад протекает вяло: объемная доля зерен, претерпевших фазовый распад, увеличилась с 25% (0,5 ч.) до 31% (10 ч.). С увеличением температуры старения до 700°C скорость распада увеличивается: наблюдали увеличение объемной доли зерен, претерпевающих распад с образованием σ -фазы, аустенита ($\gamma_{\text{N}_2}\text{-Fe}$) и частиц $\text{Cr}_2(\text{N,C})$, от 33% после выдержки в течение 0,5 ч. до 54% после старения в течение 50 ч. (рис 2 в)

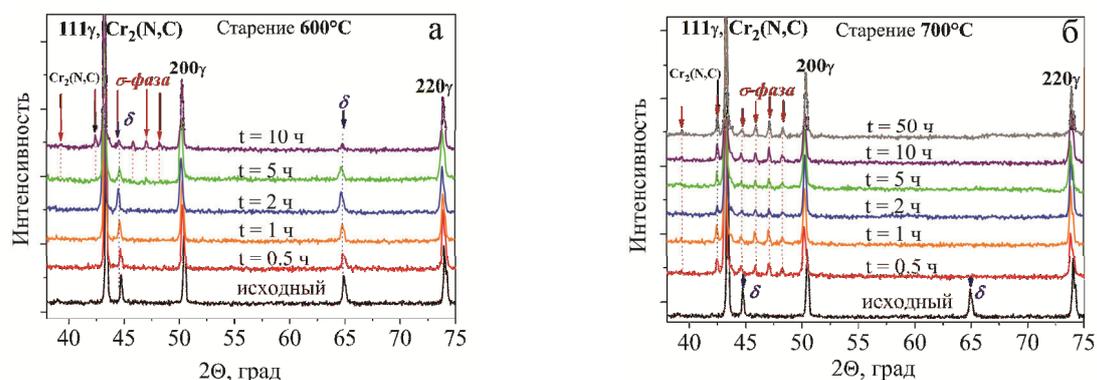


Рис. 1. Рентгенограммы стали X23AG17 после старения при температурах 600°C (а) и 700°C (б)

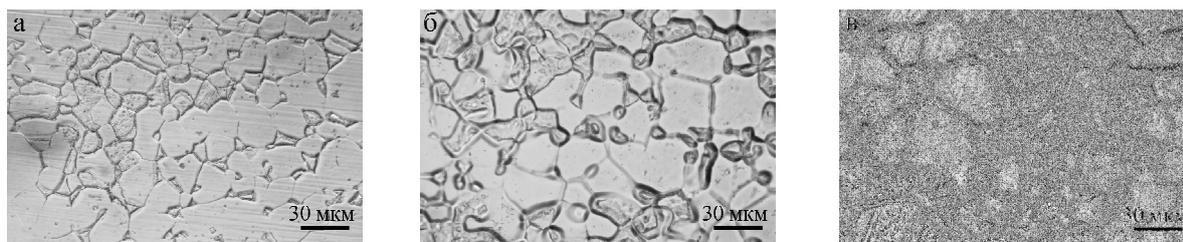


Рис.2. Изображения протравленных поверхностей образцов, полученные методом световой микроскопии для образцов стали X23AG17 после старения: а) 600°C, 5ч.; б) 700°C, 0,5ч; в) 700°C, 50ч

На рисунке 3 изображен график зависимости микротвердости от продолжительности старения при температурах 600°C и 700°C. В исходном состоянии микротвердость стали составляла $3,09 \pm 0,08$ ГПа. После старения по режимам 600°C, 5 ч. и 700°C, 0,5 ч., когда в стали происходят заметные фазовые преобразования, микротвердость зерен, в которых произошел распад, и зерен, не претерпевших распад, различна. При этом в зернах, претерпевших фазовый распад после старения при температурах 600°C, 10 ч. и 700°C, 0,5 ч., наблюдали резкое возрастание значений микротвердости в результате выделения интерметаллидной σ -фазы и дисперсионного твердения. После старения при температуре 700°C, в течение времени 2 – 50 часов уменьшение микротвердости вызвано процессами огрубления и коагуляции дисперсных фаз.

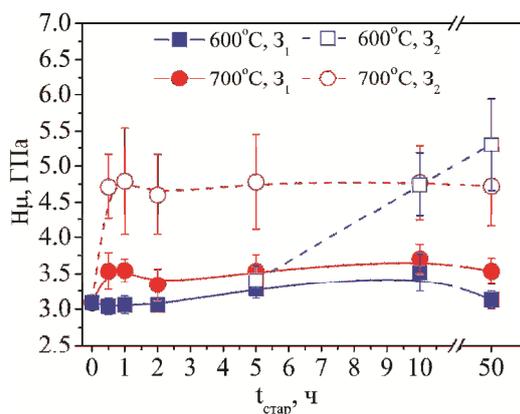


Рис. 3. Значения микротвердости в зависимости от температуры и продолжительности старения образцов стали X23AG17: 3_1 – зерна аустенита, не претерпевшие распад; 3_2 – зерна, претерпевшие распад

Закключение. Обнаружено, что старение стали X23AG17 при температурах 600°C и 700°C сопровождается изменением фазового состава стали и формированием гетерофазной структуры, микротвердость которой зависит от фазового состава зерен. Увеличение температуры приводит к более интенсивным процессам выделения фаз при старении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Банных О. А., Блинов В.М., Костина М.В., Блинов Е.В., Мурадян С.О. О возможности применения в российском арматуростроении аустенитных азотистых сталей // Материалы в машиностроении – 2014.– С. 67-75.
2. Гальченко Н.К. Получение, структура и свойства высокоазотистых хромомарганцевых сталей аустенитного класса: канд. тех. наук. – Томск, 1997. – 130 с.