

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ СТАРЕНИЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВЫСОКОАЗОТИСТОЙ FE-CR-MN СТАЛИ

И.А. ТУМБУСОВА^{1,2}, Г.Г. МАЙЕР², М.Ю. ПАНЧЕНКО², Е.Г. АСТАФУРОВА²

¹Томский политехнический университет

²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

E-mail: tumbusova031098@mail.ru

Легирование железо-хром-марганцевых сталей более 0,3 мас. % азота сталей позволило создать новый класс высокопрочных материалов, способных конкурировать по эксплуатационным свойствам с традиционными хромоникелевыми аустенитными сталями, но обладающих повышенными прочностными свойствами. Комплекс механических свойств высокоазотистых аустенитных сталей (ВАС) определяется не только системой легирования, но и режимами термической и термомеханической обработки. Одним из эффективных способов повышения прочностных характеристик ВАС, наряду с холодной пластической деформацией, фазовым наклепом, обусловленным прямым и обратным фазовым превращением ($\gamma \rightarrow \alpha \rightarrow \gamma$), и измельчением зерна является старение. Основной сложностью данного метода является выбор оптимального режима термической обработки для повышения механических свойств стали без потери пластических характеристик.

В работе исследовали влияния продолжительности и температуры старения на фазовый состав и механические свойства высокоазотистой аустенитной стали Fe-23Cr-17Mn-0,18Ni-0,04V-0,1C-0,6N, мас. % (X23AG17). Старение стальных образцов проводили при температурах 600 °С, 700 °С и 800 °С с выдержкой от 10 мин до 50 часов в среде гелия с последующей закалкой в воду комнатной температуры.

Из результатов рентгеноструктурного анализа образцов следует, что исходная структура стали после закалки состоит из зерен азотистого аустенита $\gamma_{\text{Ni-Fe}}$ с параметром решетки $a=3,629 \text{ \AA}$ и δ -феррита с параметром решетки $a=2,88 \text{ \AA}$, рисунок 1 а-в. Старение при температуре 600 °С с выдержкой 0,5 – 2 часа приводит к небольшому изменению интенсивности линии δ -феррита, уширению и смещению рентгеновской линии $\gamma_{\text{Ni-Fe}}$ в сторону меньших углов дифракции. Увеличение продолжительности старения при этой температуре приводит к заметному изменению фазового состава стали. Помимо уменьшения интенсивности рентгеновской линии δ -феррита, смещения и уширения линии (111) $\gamma_{\text{Ni-Fe}}$ в сторону меньших углов, на рентгенограмме идентифицируются отражения от нитридов хрома Cr_2N и интерметаллидной σ -фазы, рисунок 1а. Установлено, что в процессе старения δ -феррит распадается с образованием интерметаллидной σ -фазы и высокоазотистого аустенита $\gamma'_{\text{Ni-Fe}}$ (после 50 часов старения на рентгенограмме видны линии, соответствующие σ -фазе). Появление в фазовом составе стали высокоазотистого аустенита $\gamma'_{\text{Ni-Fe}}$ с содержанием азота отличным от основной $\gamma_{\text{Ni-Fe}}$ -фазы, сопровождается смещением сильной линии (111) $\gamma_{\text{Ni-Fe}}$ в сторону меньших углов дифракции. Параметры решеток аустенита $\gamma_{\text{Ni-Fe}}$ и $\gamma'_{\text{Ni-Fe}}$ близки между собой, но $\gamma'_{\text{Ni-Fe}}$ -фаза содержит большую концентрацию азота, что и вызывает смещение линий аустенита в сторону меньших углов 2θ . Анализ уширения рентгеновской (111) линии $\gamma_{\text{Ni-Fe}}$ после старения в течение 0,5 – 5 ч также свидетельствует о появлении обедненного азотом аустенита $\gamma_{\text{N}_2\text{-Fe}}$ и выделения нитридов хрома Cr_2N в аустенитных зернах. С увеличением продолжительности старения до 50 часов на рентгенограммах появляются линии, соответствующие частицам Cr_2N , что говорит об увеличении объемного содержания нитридов в составе стали с увеличением продолжительности старения. С повышением температуры старения до 700 °С и 800 °С распад δ -феррита, появление частиц Cr_2N и $\gamma_{\text{N}_2\text{-Fe}}$ происходит уже после 30 и 10 минут старения, соответственно, рисунок 1 б, в.

Изменение фазового состава коррелирует с изменением механических свойств стали. Старение до 5 часов при температуре 600 °С не сопровождается изменениями прочностных и пластических характеристик стали, рисунок 2. Дальнейшее увеличение

продолжительности старения приводит к монотонному возрастанию предела текучести стали $\sigma_{0,2}$ и снижению удлинения δ в результате выделения частиц Cr_2N и интерметаллидной σ -фазы. После 50 часов выдержки при температуре 600 °С прочность стали возросла от $\sigma_{0,2} = 615 \pm 31$ МПа до $\sigma_{0,2} = 718 \pm 36$ МПа, в то время как удлинение образцов значительно снизилось с $\delta = 40 \pm 6$ % до $\delta = 17 \pm 2$ %. Увеличение температуры старения до 700 °С, которое сопровождается более интенсивным и быстрым распадом δ -феррита и зерен азотистого аустенита $\gamma_{\text{N1}}\text{-Fe}$, приводит к более резкому изменению прочностных свойств и удлинения по сравнению с меньшей температурой старения. Резкое увеличение прочности стали (736 ± 36 МПа) и такое же резкое уменьшение ее пластичности ($\delta = 14 \pm 2$ %) происходит уже после выдержки в течение 30 минут при температуре 700 °С. С увеличением продолжительности старения стали при этой температуре 700 °С до 50 часов прочность образцов $\sigma_{0,2}$ достигает значения 752 ± 37 МПа, наряду с этим их пластичность падает до значения $\delta = 2$ %. Изменение прочностных и пластических характеристик образцов во время старения при температуре 800 °С происходит так же, как при температуре 700 °С, рисунок 2.

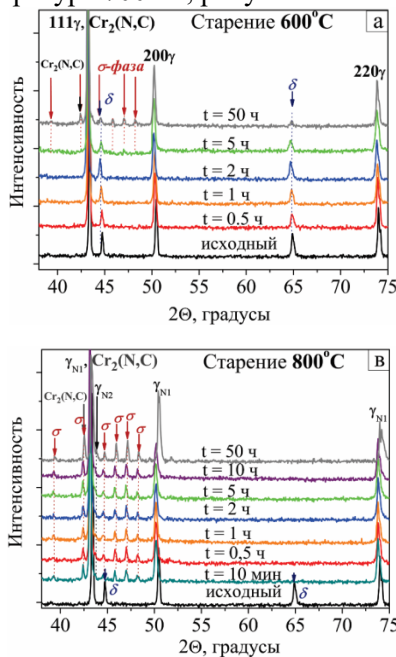


Рисунок 1 – Рентгенограммы стали X23AG17 до и после старения при температурах 600 °С (а), 700 °С (б), 800 °С (в)

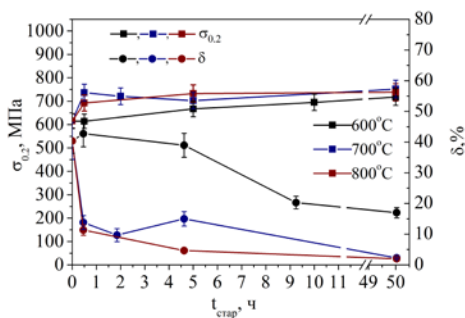


Рисунок 2 – Значения условного предела текучести $\sigma_{0,2}$ и относительного удлинения δ в зависимости от температуры и продолжительности старения образцов стали X23AG17

Таким образом, в результате старения стали марки X23AG17 (Fe-23Cr-17Mn-0,18Ni-0,04V-0,1C-0,6N) при температурах 600 °С, 700 °С и 800 °С происходит изменение фазового состава стали: протекает фазовый распад аустенита $\gamma_{\text{N1}}\text{-Fe}$ и δ -феррита с выделением Cr_2N и σ -фазы. Независимо от температуры старения с увеличением продолжительности выдержки растет прочность стали и уменьшается ее пластичность.

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