

**СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В ВЫСОКОАЗОТИСТОЙ CR-MN-N СТАЛИ ПРИ
СТАРЕНИИ**

И.А. Тумбусова¹, А.С. Михно¹

Научные руководители: доцент, д.ф.-м.н. Е.Г. Астафурова², к.ф.-м.н. Г.Г. Майер²

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

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

²Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения РАН,

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

E-mail: tumbusova031098@mail.ru

**STRUCTURAL AND PHASE TRANSFORMATIONS IN A HIGH-NITROGEN CR-MN-N STEEL
DURING AGING**

I.A. Tumbusova¹, A.S. Mikhno¹

Scientific Supervisors: Dr. Sc. E.G. Astafurova², Ph.D. G.G. Maier²

¹Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050,

²Institute of Strength Physics and Materials Science, Russia, Tomsk, Akademichesky ave., 2/4, 634055

E-mail: tumbusova031098@mail.ru

Abstract. *In the present work, the structure and phase composition of a high nitrogen austenitic steel were studied in dependence on the aging temperature from 600°C to 800°C. Age-hardening in the regimes 600°C, 5 h., 700°C, 0,5 h., u 800°C, 10 min. is accompanied with a decomposition of a δ -ferrite into a σ -phase and an austenite, and simulteneous discontinuous decomposition of austenite with the formation of Cr_2N -cells along grain boundaries and cells of austenite depleted by interstitials. The decomposition of δ -ferrite and austenitic grains occurs faster with increase in age-hardening temperature. Along with discontinuous decomposition of austenitic grains, there is a homogeneous (continuous) nucleation of Cr_2N nitrides in those austenitic grains, which have not underwent discontinuous decomposition at the initial stages of aging.*

Введение. Высокоазотистые стали (ВАС) типа Fe-Cr-Mn-N используются в разных областях промышленности и в медицине, благодаря своим высоким механическим свойствам и устойчивости к коррозии. Принято считать, что высокоазотистые стали содержат в своем химическом составе более 0,3 % азота. Аустенитную структуру у таких сталей получают путем легирования хромом и марганцем, которые увеличивают растворимость азота в кристаллической решетке железа. Система легирования Cr-Mn-N позволяет полностью заменить дорогостоящий и дефицитный никель в коррозионностойких сталях, что является одним из преимуществ данных сталей. В настоящее время существует несколько основных способов обработки высокоазотистых сталей, повышающих их прочностные свойства, одним из которых является старение. В зависимости от состава ВАС и режима старения эти материалы обладают большим многообразием структурно-фазовых состояний и свойств, поэтому достижение оптимальных свойств данных сталей требует детального исследования их микроструктуры в зависимости от режима термической и термомеханической обработки [1, 2].

Целью работы является исследование структуры и фазового состава высокоазотистой аустенитной стали Fe-23Cr-17Mn-0,3C-0,8N в зависимости от режима старения.

Экспериментальная часть. Исходную структуру получали путем нагрева стальных образцов Fe-23Cr-17Mn-0,3C-0,8N, мас. % до температуры 1200°C с последующей закалкой в воду после 30 минутной выдержки. После закалки проводили старение образцов при температурах 600°C, 700°C и 800°C с продолжительностью от 10 минут до 50 ч в среде гелия с последующей закалкой в воду комнатной температуры. Рентгенофазовый анализ проводили на дифрактометре Дрон-3 с использованием $\text{Cu K}\alpha$ излучения в интервале углов $2\theta = 35\text{--}100^\circ$. Электронно-микроскопические исследования проводили с использованием просвечивающего электронного микроскопа Technai G2 FEI при ускоряющем напряжении 200 кВ. Фольги для электронно-микроскопических исследований утоняли струйной полировкой в приборе TinnuPol-5.

Результаты. На рисунке 1 представлены рентгенограммы стали до и после старения при температурах 600°C, 700°C и 800°C с выдержкой 10 мин. – 50 ч. Исходная структура закаленной стали состояла из азотистого аустенита и небольшого количества (18%) высокотемпературного δ -феррита. Старение при температуре 600°C до 5 часов не приводит к изменению фазового состава стали. После 5-ти часовой выдержки на рентгенограмме идентифицируются отражения от исходной аустенитной фазы $\gamma_{\text{N1}}\text{-Fe}$, аустенитной фазы, обедненной по атомам азота и углерода $\gamma_{\text{N2}}\text{-Fe}$, нитридов хрома $\text{Cr}_2(\text{N,C})$, интерметаллидной σ -фазы и высокоазотистого аустенита $\gamma'_{\text{N1}}\text{-Fe}$ (рис. 1а). Одновременно с этим, наблюдали уменьшение интенсивности рентгеновской линии, соответствующей δ -ферриту. Обнаружено, что появление в фазовом составе интерметаллидной σ -фазы и высокоазотистого аустенита $\gamma'_{\text{N1}}\text{-Fe}$ связано с распадом δ -феррита при старении. С увеличением времени выдержки до 50-ти часов при температуре 600°C δ -феррит полностью не распадается.

С увеличением температуры старения фазовые превращения происходят быстрее. Так, распад зерен δ -феррита и азотистого аустенита $\gamma_{\text{N1}}\text{-Fe}$ реализуется при температурах 700°C и 800°C, после 30-ти минутной и 10-ти минутной выдержки, соответственно (рис. 1б, в). Независимо от продолжительности старения при обеих температурах, в структуре стали присутствовала небольшая доля ферритной фазы, но ее объемное содержание составляло менее 5 %. Наличие ферритной фазы после старения может быть связано как с распадом аустенита и образованием феррита в обедненных по азоту областях аустенитной структуры, так и с присутствием остаточного δ -феррита, не претерпевшего фазовый распад при старении.

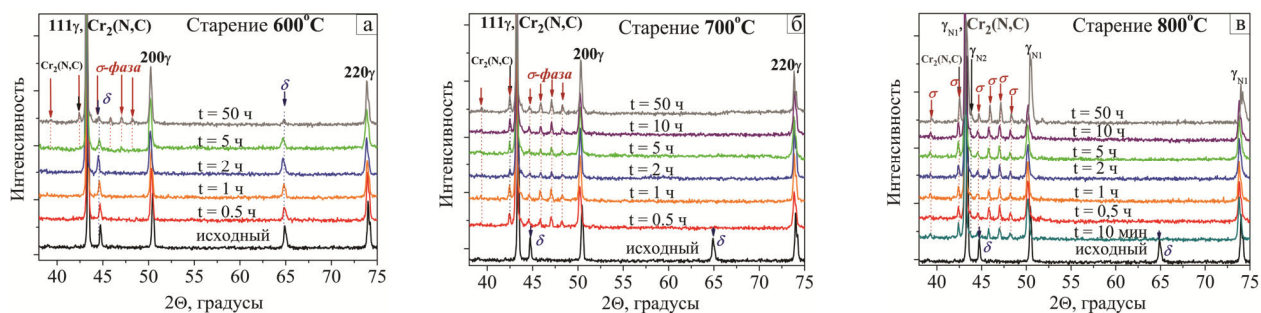


Рис. 1. Рентгенограммы стали Fe-23Cr-17Mn-0,1C-0,6N до и после старения при температурах 600°C (а), 700°C (б), 800°C (в)

На изображениях, полученных с помощью ПЭМ, видно, что мелкозернистая интерметаллидная σ -фаза и высокоазотистый аустенит ($\gamma'_{\text{N1-Fe}}$) сформировались в бывших зернах δ -феррита (рис. 2 а). Также

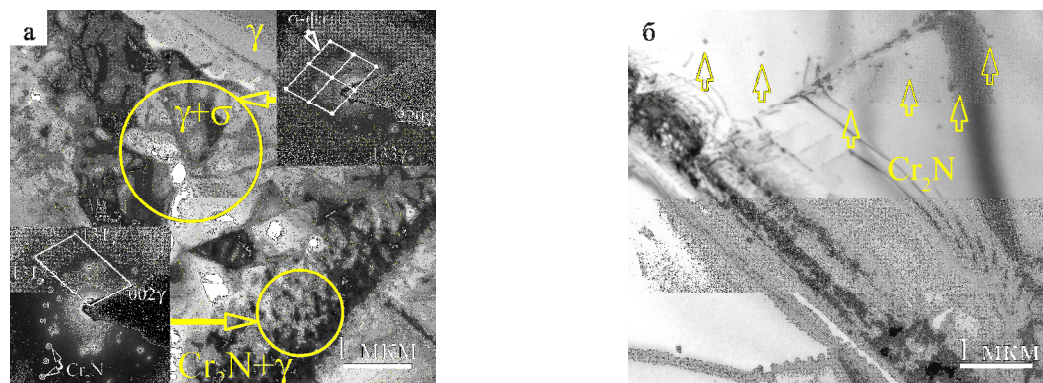


Рис. 2. Светлопольные электронно-микроскопические изображения микроструктуры стали Fe-23Cr-17Mn-0,1C-0,6N: а – 700°C, 1ч б – 700°C, 10ч

на ПЭМ изображениях наблюдали образование ячеек распада на границах аустенитных зерен, появившиеся в результате выделения Cr_2N по прерывистому механизму. Фронт прерывистого распада зарождается на границе аустенитного зерна и постепенно распространяется по зерну до тех пор, пока оно не станет заполнено пластинами нитрида хрома. Кроме этого, в аустенитных зернах, не претерпевших фазовый распад, после 10 часов старения при температурах 700°C и 800°C, наблюдали выделение наноразмерных частиц Cr_2N по непрерывному механизму (рис. 2 б).

Заключение. Старение стали Fe-23Cr-17Mn-0,1C-0,6N при температурах 600°C, 5 ч., 700°C, 0,5 ч., и 800°C, 10 мин приводит к изменению ее фазового состава: происходит распад высокотемпературного δ -феррита, в результате чего образуются интерметаллидная σ -фаза и аустенит $\gamma'_{\text{N1-Fe}}$. Одновременно с этим процессом происходит формирование ячеек прерывистого распада по границам аустенитных зерен $\gamma_{\text{N1-Fe}}$ – частиц на основе нитрида хрома Cr_2N и аустенита $\gamma_{\text{N2-Fe}}$, обедненного по атомам внедрения. С увеличением температуры старения скорость распада δ -феррита и аустенита возрастала, но даже после 50-ти часовой выдержки при температурах 600°C, 700°C и 800°C полного распада не наблюдали.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Qin F., Li Y., He W., Zhao X., Chen H. Aging precipitation behavior and its influence on mechanical properties of Mn18Cr18N austenitic stainless steel // Metals and Material International. – 2017. – Vol. 23, No. 6. – 1087-1096 P.
2. Банных О.А., Банных И.О. Металловедческие особенности и перспективы применения высокоазотистых аустенитных сталей // ИМЕТ РАН. – 2018. – С. 240-253.