ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

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

**X МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«Химия нефти и газа»**

Томск

Издательский Дом ТГУ

2018

DOI: 10.17223/9785946217408/256

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АУСТЕНИТНЫХ ХРОМОМАНГАНЦЕВЫХ СТАЛЕЙ С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ ПРИМЕСЕЙ ВНЕДРЕНИЯ

Астафурова Е.Г.¹, Астафуров С.В.¹, Майер Г.Г.¹, Мельников Е.В.¹,
Москвина В.А.¹, Фортуна А.С.^{1,2}, Гальченко Н.К.¹

¹ФГБУН Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Россия

²НИ Томский политехнический университет, Томск, Россия

Современные аустенитные хромоникелевые стали широко используются в различных отраслях промышленности в связи с их высокой коррозионной стойкостью и хорошей пластичностью. Низкое содержание примесей внедрения повышает свариваемость таких сталей, но также обуславливает их главный недостаток – низкий предел текучести [1,2]. Твердорастворное упрочнение атомами углерода и азота является эффективным способом повышения прочностных характеристик сталей без существенной потери пластичности [1, 3-6]. Основная проблема нержавеющей высокоазотистых сталей заключается в том, что азот обладает высокой растворимостью в аустените и приводит к его существенному упрочнению, но введение большого его количества в материал стали без применения специальных технологий составляет достаточно большую методическую проблему [4]. В отличие от специализированных технологий производства, увеличение растворимости азота в расплаве можно добиться, например, при замене никеля марганцем и легировании ванадием, поскольку они увеличивают растворимость азота. Во избежание недостатков, характерных при производстве высокоазотистых сталей, было предложено насыщать хромоманганцевую сталь азотом при нормальном атмосферном давлении и добавлять углерод для большего повышения прочности [6]. Таким образом, была предложена новая концепция в разработке сталей – использование совместного азот-углерод твердорастворного упрочнения в аустенитных сталях, которая в настоящее время получает активное развитие [6].

Настоящая работа посвящена исследованию структуры, механических характеристик и деформационного упрочнения аустенитных сталей с высокой концентрацией атомов внедрения, углерода и азота, Fe-20Cr-22Mn-1.6V-0.4C-0.8N (C+N=1.2 мас. %) и Fe-19Cr-25Mn-1.5V-0.7C-1.2N (C+N=1.9 мас. %) (C/N=0,5-0,6).

В качестве материалов для исследования были выбраны аустенитные стали следующего химического состава: Fe-20Cr-22Mn-1.6V-0.4C-0.8N и Fe-19Cr-25Mn-1.5V-0.7C-1.2N. Стальные заготовки были подвергнуты горячей прокатке и закалке от температуры 1200°C (выдержка 1 час). Фазовый состав и структуру закаленных образцов изучали методом рентгеноструктурного анализа (РСА) и рентгенофазового анализа (РФА) с использованием дифрактометра ДРОН7. Механические испытания образцов проводили методом одноосного статического растяжения до разрыва при комнатной температуре с относительной начальной скоростью деформации $5 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$ на испытательной машине LFM-125 (Walter+Bai AG, Швейцария). Магнитофазовый анализ (МФА) проводили с помощью многофункционального вихретокового прибора МВП-2М.

По данным РСА, после закалки стали обладали аустенитной структурой с высоким параметром кристаллической решетки аустенита: $a=3,6444 \text{ \AA}$ в стали Fe-20Cr-22Mn-1.6V-0.4C-0.8N и $a=3,6484 \text{ \AA}$ в стали Fe-19Cr-25Mn-1.5V-0.7C-1.2N. Такие значения параметра решетки свидетельствуют о высокой концентрации атомов внедрения в твердом растворе аустенита (более 1 мас.%). Большой параметр решетки для стали Fe-19Cr-25Mn-1.5V-0.7C-1.2N свидетельствует о больших эффектах твердорастворного упрочнения в ней после закалки по сравнению со сталью Fe-20Cr-22Mn-1.6V-0.4C-0.8N. Помимо аустенитной фазы, в стали Fe-19Cr-25Mn-1.5V-0.7C-1.2N наблюдаются слабые отражения с параметрами кристаллической решетки, близкими к фазам MeX ($a=4,24 \text{ \AA}$, Me=V, Cr; X=C, N) и Cr₂N ($a=b=4,24 \text{ \AA}$, $c=4,47 \text{ \AA}$). Интенсивность таких рентгеновских линий мала, на уровне фона. То есть, объемное содержание карбонитридных фаз в стали Fe-19Cr-25Mn-1.5V-0.7C-1.2N составляет порядка

Секция 4. Научные основы разработки материалов с многоуровневой иерархической структурой, в том числе для экстремальных условий эксплуатации

5%. В стали Fe-20Cr-22Mn-1.6V-0.4C-0.8N содержание карбонитридов составляет менее 5%, т.к. они не идентифицируются методом РФА – рентгенограммы содержат только отражения от высоколегированного аустенита. РФА и МФА показали, что феррит в структуре обеих сталей не образуется в результате закалки.

Анализ кривых течения обеих сталей показал, что они обладают высокими значениями предела текучести (рис. 1, а и б), в два-три раза превышающими свойства стандартных аустенитных хромоникелевых сталей с низкой концентрацией атомов внедрения [1,2]. Деформация развивается в одну стадию с высоким деформационным упрочнением (рис. 1, б). Коэффициент деформационного упрочнения слабо зависит от состава стали, а величины предела текучести и прочности выше для стали Fe-19Cr-25Mn-1.5V-0.7C-1.2N с большей концентрацией атомов внедрения в твердом растворе и большей объемной долей карбонитридных частиц. Общее удлинение и величина однородной деформации, напротив, выше в стали Fe-20Cr-22Mn-1.6V-0.4C-0.8N (рис. 1). МФА свидетельствует о том, что в процессе пластического течения обе стали сохраняют аустенитную структуру и деформационное $\gamma \rightarrow \alpha'$ фазовое превращение в них не реализуется.

Рис. 1. Инженерные кривые течения (а) и зависимости коэффициента деформационного упрочнения (б) для сталей Fe-20Cr-22Mn-1.6V-0.4C-0.8N (1) и Fe-19Cr-25Mn-1.5V-0.7C-1.2N (2).

Несмотря на более высокие прочностные свойства в стали Fe-19Cr-25Mn-1.5V-0.7C-1.2N с большей концентрацией атомов внедрения, величина продукта прочности и пластичности ($\sigma_b \times \text{удлинение} = 41760 \text{ МПа} \times \%$) в ней в два раза ниже, чем в стали с меньшей концентрацией углерода и азота ($84640 \text{ МПа} \times \%$) за счет потери пластических свойств при формировании пересыщенного твердого раствора азота и углерода в аустените и дисперсионного твердения.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 18-48-700042 p_a).

Литература

1. В.В. Сагарадзе и А.И. Уваров. Упрочнение и свойства аустенитных сталей, ИФМ УРОРАН, 2013г.
2. H.K.D.H. Bhadeshia and R.W.K. Honeycombe. Steels: microstructure and properties, Elsevier, 2006. P.259-286.
3. О.А. Банных, В.М. Блинов, Дисперсионно-твердеющие немагнитные ванадий содержащие стали, М.:Наука, 1980;
4. И.В. Горынин и др. Коррозионностойкие высокопрочные азотистые стали// Вопросы материалведения, 2009, №3, с.7-16
5. V. Gavriljuk, H. Berns, High nitrogen steels. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1999, 378p.;
6. H. Berns, V. Gavriljuk, S. Riedner, High interstitial stainless austenitic steels. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013