

УДК 669.187.2

СВОЙСТВА СТАЛЕЙ ТИПА X13, ЛЕГИРОВАННЫХ АЗОТОМ

Г. М. Григоренко, Ю. М. Помарин, В. В. Лакомский,
В. Ю. Орловский, И. И. Алексеенко

Рассмотрены результаты сравнения структуры и физико-механических свойств стандартных сталей типа X13, легированных азотом. Показано, что легирование азотом способствует повышению значений механических свойств сталей.

Results of comparison of structure and physical-chemical properties of standard steels of X13 type and those alloyed with nitrogen are considered. It is shown that the alloying with nitrogen promotes the increase in mechanical properties of steels.

Ключевые слова: азот; структура; твердость; механические свойства

В последнее время производство и использование высокоазотистых сталей является одним из приоритетных направлений развития специальной электротехнологии в мире, что обусловлено уникальными свойствами этих материалов. Внимание научных работников и технологов уделялось в большей мере аустенитным сталям, чем сталям феррито-аустенитного и феррито-мартенситного класса.

Между тем использование азота как легирующей добавки для сталей этих классов является очень перспективным [1–7]. Так, добавление его в небольших количествах приводит к повышению границы текучести при сохранении значений твердости, повышает уровень коррозионной стойкости, уменьшает карбидную неоднородность, способствует сфероидизации карбидов и др. [4, 5].

Добавление азота в стали с содержанием хрома 10... 12 % позволяет повысить жаростойкость и, таким образом, использовать эти стали для изготовления роторов турбин, работающих при температурах до 650 °С, а также для впускных клапанов двигателей большой мощности [1, 2].

Одним из перспективных направлений повышения эксплуатационных характеристик этого класса материалов является частичная или полная замена углерода азотом, способствующего уменьшению карбидной неоднородности, гомогенизации и улучшению структуры металла.

Цель настоящего исследования заключалась в выяснении влияния азота на структуру и механические свойства сталей типа X13. Для этого на опытной установке [8] выплавлены модельные сплавы X13 и 20X13, легированные азотом из газовой фазы (табл. 1). Такие сплавы выбраны для того, чтобы сравнить их свойства со свойствами стандартной стали 20X13.

Следует отметить, что распределение азота по сечению и высоте слитков было равномерным.

Полученные слитки осажены под прессом в размер 400 мм и прокатаны на экспериментальном одноклетьевом стане на толщину 15 мм.

Неметаллические включения определяли на «Системе исследования изображений OMNIMET 80-1000» по ГОСТ 1778–91. Принцип метода заключается в подсчете площади неметаллических включений, находящихся на единице площади шлифа с разделением их при этом по размерным группам. Точность метода зависит от чистоты полировки шлифа (нетравленные).

Таблица 1. Результаты химического и спектрального анализов слитков

Марка стали	Массовая доля легирующих элементов, %		
	C	Cr	N
X13A	0	12,37	0,244
20X13A	0,14	12,78	0,240



Результаты анализа на содержание неметаллических включений в выплавленных сталях представлены на рис 1.

Наибольшее количество неметаллических включений содержит сталь 20X13A — 1,024 об. %, в стали X13A и 20X13 входят соответственно по 0,205 и 0,218 об. %, что в пределах нормы. Причем содержание неметаллических включений размером 0,5... 1,5 мкм в сталях наибольшее. Очевидно, что эти очень малые частички не должны сильно влиять на механические свойства сталей, поскольку имеют округлую (сферическую) форму и не могут быть концентраторами напряжений.

Температурный режим термической обработки выбрали с учетом требований ГОСТ 5949–75 и ГОСТ 7350–77 для сталей этого класса. Закалку производили в масло при значениях температуры 1050... 1100 °С, отпуск высокий (500 °С) и низкий (200... 300 °С).

Закалку и отпуск выполняли вместе с образцами-свидетелями, вырезанными из такого же материала, что и образцы для механических испытаний размерами 15×12×15 мм.

Образцы для механических испытаний отправили на шлифовку, а образцы-свидетели зажали в металлические струбцины и передали для дальнейших металлографических исследований.

На рис. 2, а показана микроструктура, пронизанная мартенситными иглами. В стали X13A углерод отсутствует. В литературе такие зерна названы псевдомартенситом. Также обнаружены хаотично

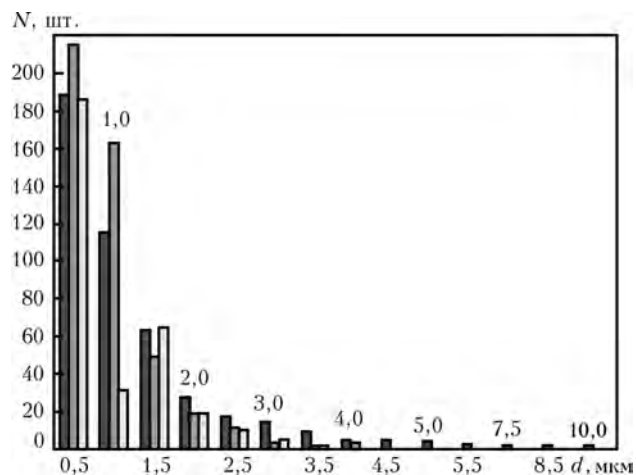


Рис. 1. Распределение неметаллических включений по объему слитка в сталях X13A, 20X13A и 20X13; N, d — соответственно количество и размер неметаллических включений

разбросанные включения округлой и неправильной формы Cr_2N .

На рис. 2, б представлена микроструктура стали 20X13A, являющаяся мартенситной. В этой стали по границам зерен видны выделения включений округлой формы $Cr_{23}C_6$. Иногда встречаются темные включения неправильной формы, возможно, Cr_2N . Структура стали 20X13 (рис. 2, в) тоже является мартенситной, зерна в которой разориентированы. По полосам прокатки на границах зерен видны выделения включений округлой формы $Cr_{23}C_6$.

Микроструктура стали X13A после закалки (рис. 3, а) — пластинчатый и игольчатый мартен-

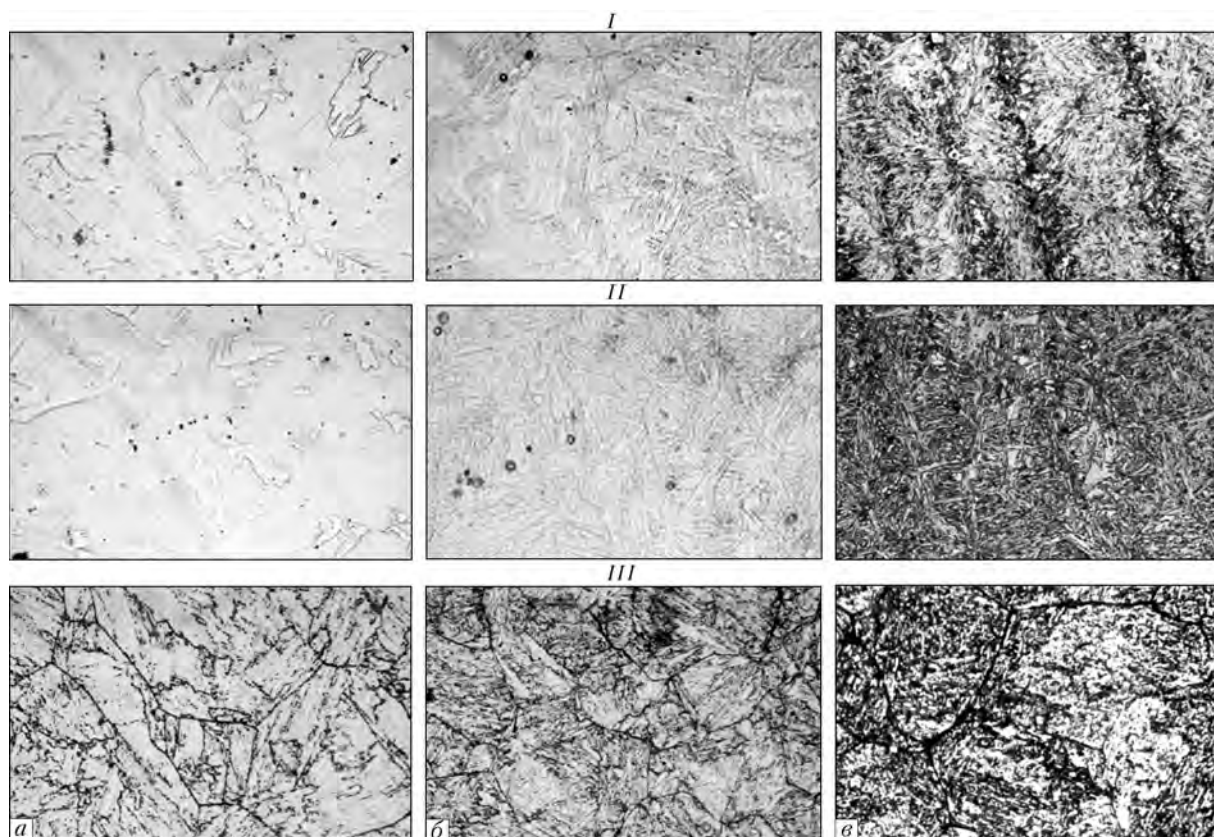


Рис. 2. Структура (×500) сталей X13A (а), 20X13A (б), 20X13 (в) после закалки при 1100 °С и отпуска при 200 (I), 300 (II) и 500 °С (III)

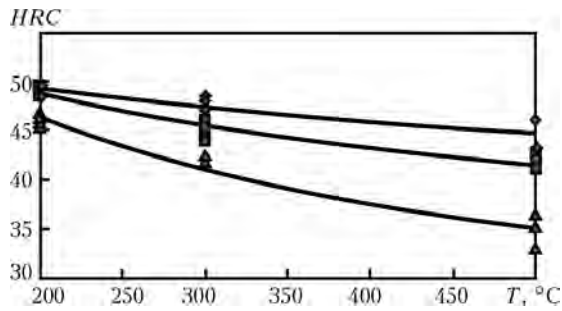


Рис. 3. Твердость сталей X13A (◆), 20X13A (■) и 20X13 (▲) после разных значений температуры отпуска

сит с довольно массивными иглами. Местами фиксируются выделения включений неправильной формы Cr_2N .

В микроструктуре, показанной на рис. 2, б, II, видны зерна, пронизанные иглами мартенсита. Местами зафиксированы выделения включений неправильной формы Cr_2N . Равномерно разбросаны округлые включения $Cr_{23}C_6$. На рис. 2, в, II приведена микроструктура стали 20X13, представляющая собой высокодисперсный мартенсит. Также обнаружены включения $Cr_{23}C_6$, разбросанные равномерно по всему образцу.

Микроструктура, представленная на рис. 2, а, III представляет собой пластинчатый бейнит. Прос-

Таблица 2. Механические свойства сплавов X13A, 20X13A и 20X13 после различных режимов температурной обработки

Марка стали	№ слитка	T_o , °C	σ_t , МПа	σ_b , МПа	δ , %
X13A	1	500	1139,3	1298,6	13,2
	2	500	1185,7	1351,3	12,7
	1	300	–	284,8	–
	2	300	–	385,5	–
	1	200	–	1250,3	–
	2	200	–	1060,1	–
20X13A	1	500	–	953,8	–
	2	500	–	717,2	–
	1	300	–	529,9	–
	2	300	–	920,0	–
	1	200	–	907,5	–
	2	200	–	1186,7	–
20X13	1	500	–	1364,1	–
	2	500	–	1523,5	–
	1	300	1480,6	1829,3	17,3
	2	300	1520,0	1816,2	26,7
	1	200	–	253,3	–
	2	200	–	239,9	–

Примечание. Температура закалки T_z во всех экспериментах составляла 1100 °C; T_o – температура отпуска.

Таблица 3. Сравнение механических свойств промышленной стали 40X13 и стали X13A

Марка стали	Режим термической обработки, °C	σ_b , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	HRC
40X13	$T_z = 1050$ $T_o = 500$	1165	960	34,0
X13A	$T_z = 1100, T_o = 500$	1352	1160	44,5

транство между бейнитом усеяно включениями Cr_2N .

Микроструктура стали 20X13A после отпуска 500 °C (рис. 2, б, III) представляет собой большие зерна, пронизанные мелкодисперсным бейнитом и иглами отпущенного мартенсита. Пространство между бейнитом и мартенситом заполнено включениями типа $Cr_{23}C_6$ и небольшим количеством включений Cr_2N .

Микроструктура стали 20X13 (рис. 2, в, III) является разнотермической. Внутри зерен находится высокодисперсный бейнит. Также между бейнитом обнаружены включения $Cr_{23}C_6$.

Как видно из рис. 3, самая высокая твердость у всех исследуемых сталей обнаружена при температуре отпуска 200 °C. При температурах отпуска 300, 500 °C твердость всех сталей понижается. Сплав X13A имеет наивысшую твердость, сталь 20X13A – ниже, а 20X13 – наиболее низкую.

При снижении температуры отпуска микроструктура становится более дисперсной, а это в свою очередь способствует повышению твердости, прочности и т. д. При отпуске 500 °C образуется структура, похожая на бейнит, твердость которого ниже мартенситной.

Анализируя результаты, можно предположить, что псевдомартенсит азотированных сталей имеет более высокую твердость, чем обычный мартенсит, вероятно, потому, что азот проявляет тенденцию к упорядочению структуры, в то время как углерод – к кластерообразованию.

Анализируя результаты, можно сделать вывод, что легирование азотом значительно повышает прочность сталей (табл. 2). Для сравнения механических свойств выбрали стандартную сталь 40X13. Результаты сравнений показаны в табл. 3.

Из данных, приведенных в табл. 3, видно, что стали проходили одинаковую термическую обработку (режимы) и их механические характеристики подобны. Но все эти данные можно воспринимать лишь как предварительные, для получения более точных и надежных необходимо проводить дополнительные исследования.

Выводы

1. Показано, что микроструктура азотированных сталей похожа на микроструктуру углеродных сталей того же класса, но в азотированных сталях вместо мартенсита появляется псевдомартенсит или азотистый мартенсит, который по значениям микрот-



вердости находится на уровне углеродного или классического. В то же время матрица сталей с повышенным содержанием азота значительно мягче и эластичнее, в отличие от таковой классического состава.

2. Определено, что значения твердости закаленных образцов и механических свойств сталей X13A и 20X13A находятся на уровне механических свойств стали 40X13 и составляют примерно 50 HRC. Это свидетельствует о том, что легирование 0,2 % азота заменяет легирование 0,4 % углерода. Наивысшие значения механических свойств обнаружены в сталях, отпущенных при 500 °С, причем их уровень выше, в сравнении со сталью 40X13.

3. По результатам проведенной работы можно рекомендовать использовать азотированные стали с пониженным содержанием углерода вместо стали 40X13, поскольку они имеют механические свойства на уровне или несколько выше, чем у традиционной стали.

1. *Gavriljuk V. G., Berns H.* High Nitrogen Steels. — Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 1999. — 378 p.
2. *Stein G., Diehl V.* High nitrogen alloyed steels on the move — fields of applications // Intern. conf. «High Nit-

- rogen steels, HNS — 2004» (Ostend, Belgium, September 19–22, 2004). — Ostend, 2004. — P. 46–52.
3. *Nitrogen alloyed 9...12% chromium steels with a martensitic-austenitic microstructure / U. E. Klotz, C. Solenthaler, P. J. Uggowitzer et al. // Materials Science Forum. — 1999. — Vol. 318–320. — P. 437–442.*
 4. *Бабаскин Ю. З., Шипицын С. Я., Афтандиянц Э. Г.* Экономное легирование стали. — Киев: Наук. думка, 1978. — 188 с.
 5. *Конструкционные и специальные литейные стали с карбонитридным упрочнением / Ю. З. Бабаскин, С. Я. Шипицын, И. Ф. Кирчу и др. // Литейн. произ-во. — 2003. — № 1. — С. 36–48.*
 6. *Костина М. В., Банных О. А., Блинов В. М.* Хромистые коррозионно-стойкие стали, легированные азотом, — новый класс конструкционных сталей // Технология металлов. — 2000. — № 10. — С. 2–12.
 7. *Легированные азотом хромистые коррозионно-стойкие стали нового поколения / М. В. Костина, О. А. Банных, В. М. Блинов, А. А. Дымов // Материаловедение. — 2001. — № 2. — С. 35–44.*
 8. *Индукционная печь для выплавки различных азотсодержащих сталей и сплавов под давлением до 13 МПа / Ю. М. Помарин, С. Я. Шипицын, Г. М. Григоренко и др. // Пробл. спец. электрометаллургии. — 1996. — № 2. — С. 46–50.*

Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, Киев

Поступила 28.09.2010

ВНИМАНИЮ СПЕЦИАЛИСТОВ!

В ИЭС им. Е. О. Патона издан рекламно-информационный буклет «Электронно-лучевая сварка». В нем обобщены сведения о 50-летнем опыте создания в ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины оборудования для электронно-лучевой сварки (ЭЛС).

ЭЛС имеет прочные позиции в ряде отраслей.

В космическом машиностроении введено в эксплуатацию 116 установок для сварки узлов из нержавеющей сталей, сплавов на никелевой основе, титановых, алюминиевых и медных сплавов.

В авиастроении России, США, Индии нашли применение крупногабаритные установки КЛ-115 и КЛ-118.

В судостроении России, Украины эффективно используются установки УЛ-214 для сварки крупных морских конструкций.

В приборостроении нашли применение 10 установок СВ-112/103.

За последние 10 лет введено в промышленную эксплуатацию и изготавливаются в данное время 56 комплектов оборудования для ЭЛС, включая установки с объемом вакуумных камер до 100 м³.



Буклет можно заказать в редакции журнала
«Современная электрометаллургия»