

ВЫСОКОХРОМИСТЫЕ КОРРОЗИОННОСТОЙКИЕ ФЕРРИТНЫЕ СТАЛИ С ПОВЫШЕННЫМИ ПРОЧНОСТНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Никулин С.А., Хаткевич В.М., Рогачев С.О.

*Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»,
г. Москва, Россия
csaap@mail.ru*

Предложен способ равномерного упрочнения тонкостенных изделий (толщиной до 1,5 мм) из коррозионностойких сталей ферритного класса с целью их использования в различных коррозионных средах в условиях длительной эксплуатации при повышенных температурах и механических напряжениях.

В данной работе упрочнение тонколистовых образцов сталей 08X17T и 15X25T и сплава Fe-20Cr-5V проводили методом высокотемпературного «внутреннего» азотирования при температурах выше 1000 °С в кварцевой ампуле в среде чистого азота. Массовая доля азота в образцах после азотирования при выдержке от 1 до 4 ч варьировалась от 0,50 до 0,70 % для стали 08X17T; от 0,90 до 1,80 % для стали 15X25T и от 1,10 до 2,40 % для сплава Fe-20Cr-5V; при массовой доле азота в исходном состоянии – менее 0,02 %. Сквозное азотирование образцов толщиной 0,5 мм при одинаковой температуре обеспечивается в течение 1 ч для стали 08X17T; 4 ч для стали 15X25T и 2 ч для сплава Fe-20Cr-5V.

Металлографический анализ структуры проводили методами оптической и сканирующей микроскопии. Электронно-микроскопические исследования структуры проводили на тонких фольгах с помощью электронного микроскопа JEM 200CX (JEOL) при ускоряющем напряжении 160 кВт (при увеличениях до $\times 50000$). Исследование состава фаз в образцах проводили с использованием рентгеновского дифрактометра RIGAKU Ultima IV. Для обработки и анализа дифракционных спектров использовалось программное обеспечение PDXL. Измерения микротвердости проводили по методу Виккерса (нагрузка 100 г, время выдержки 10 с) с помощью микротвердомера MICROMET 5101 с цифровой камерой Mitron MTV-62W1P. Испытания на растяжение плоских образцов проводили на универсальной испытательной машине Zwick/Roell со скоростью растяжения 5 мм/мин.

Показано, что при «внутреннем» азотировании в стали 08X17T формируется структура мартенсита с выделениями частиц типа Cr_2N , а в стали 15X25T образуется слоистая структура, при этом отдельные слои состоят из смеси α -фазы, γ -фазы и частиц типа Cr_2N с различным соотношением. Отжиг сталей после азотирования приводит к формированию структуры азотистого феррита с равномерно распределенными частицами типа Cr_2N различной морфологии и размеров (в зависимости от времени азотирования и режима отжига, рис. 1 а). После азотирования и охлаждения на воздухе в сплаве Fe-20Cr-5V присутствуют четыре фазы: феррит, азотистый мартенсит, аустенит и нитриды ванадия типа VN. Отжиг при температуре 700 °С после азотирования приводит к распаду мартенсита и аустенита, азот из твердого раствора связывается в дисперсные частицы нитридов хрома (рис. 1 б).

Сквозное азотирование и отжиг при температуре 700 °С в течение 1,5...5,0 ч обеспечивает равномерное упрочнение материала по всей толщине образцов, при этом предел прочности стали 08X17T при температуре испытания 20 °С повышается с 470 МПа в исходном рекристаллизованном состоянии до 990 МПа, стали 15X25T – с 520 до 980 МПа, а сплава Fe-20Cr-5V с 480 до 750 МПа. При этом относительное удлинение после азотирования составило 17; 9 и 7 % для сталей 08X17T, 15X25T и сплава Fe-20Cr-5V, соответственно. Дополнительный кратковременный отжиг стали 15X25T при температуре азотирования (10 мин) после азотирования позволяет повысить относительное удлинение до 25 % при незначительном снижении предела прочности и текучести.

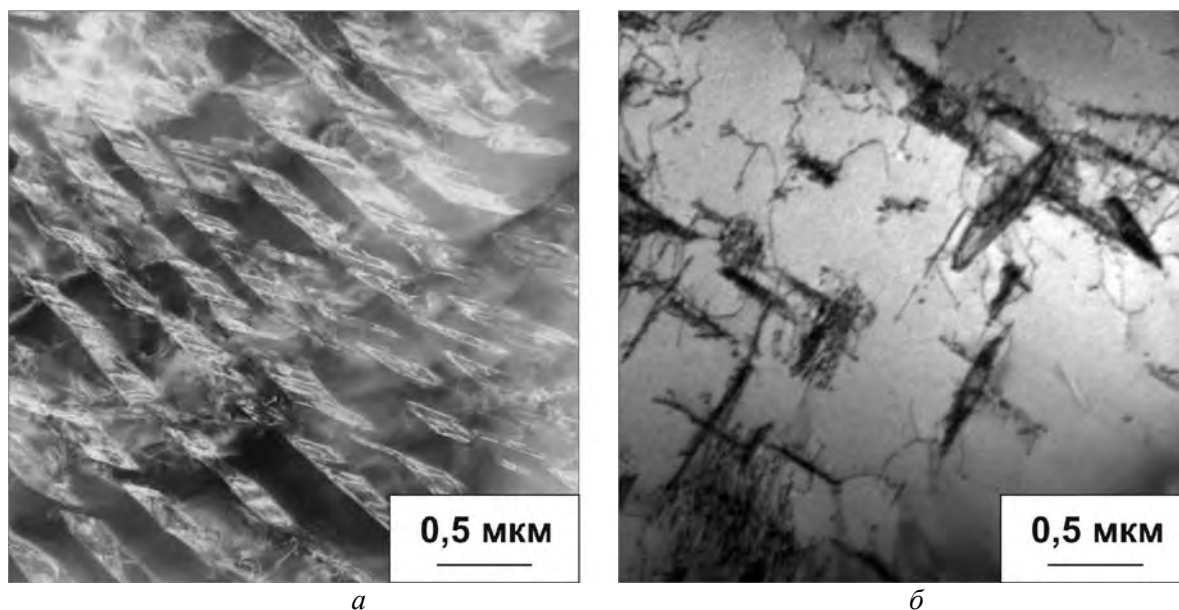


Рис. 1. Микроструктура стали 08X17Т (а) и сплава Fe–20Cr–5V (б) после высокотемпературного азотирования и отжига при температуре 700 °С

При температуре испытания 700 °С предел прочности стали 08X17Т после азотирования повышается с 89 до 220 МПа, а стали 15Х25Т – с 78 до 209 МПа при относительном удлинении обеих сталей 51-56 % и полностью вязком изломе.

Внутреннее азотирование также повышает сопротивление стали усталостному разрушению. Для стали 08X17Т предел выносливости σ_R увеличивается с 360 до 540 МПа [7].

Список литературы

1. Петрова Л.Г. Упрочнение аустенитных сталей и сплавов за счет формирования твердого раствора при азотировании // Упрочняющие технологии и покрытия.–2007.–№ 4. –С. 9-17
2. Lee H.W., Kong J.H., Lee D.J., On H.Y., Sung J.H. A study on high temperature gas nitriding and tempering heat treatment in 17Cr–1Ni–0.5C // Materials & Design.–2009.–V. 30.–N 5.–P. 1691-1696
3. L.G. Petrova. Internal nitriding of high-temperature steels and alloys // Metal Science and Heat Treatment.–2001.–V. 43.–N. 1-2.–P. 11-17.
4. Лахтин Ю.М. Высокотемпературное азотирование // Металловедение и термическая обработка металлов.–1991.– №. 2.–С. 25-29.
5. L.G. Petrova. High-temperature nitriding of refractory alloys // Metal Science and Heat Treatment.–2004.–V. 46.–N. 1-2.–P. 18-24.
6. Masahiro Nagae, Yoshito Takemoto, Tetsuo Yoshio, Jun Takada, Yutaka Hiraoka. Preparation of structurally controlled dilute molybdenum–titanium alloys through a novel multi-step internal nitriding technique and their mechanical properties // Materials Science and Engineering: A.–2005.–V. 406.–N 1-2.–P. 50–56
7. С.О. Рогачев, С.А. Никулин, В.Ф. Терентьев, В.М. Хаткевич, Д.В. Просвирнин, Р.О. Савичева. Влияние внутреннего азотирования на усталостную прочность ферритной коррозионно-стойкой стали // Деформация и разрушение материалов // Деформация и разрушение материалов.–2014.–№ 8.–С. 30-34