

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bleiberg M. Venice Conf. 1963, № 3, p. 319.
2. Berman R. J. Nucl. Materials, 1960, № 2, p. 129.
3. Конобеевский С. Т. Действие облучения на материалы. М., Атомиздат, 1967.
4. Ластман Б. Радиационные явления в двуокиси урана. М., Атомиздат, 1964.
5. Кекельберг Р., Крук А., Френе А. В сб.: Катализ. Новые физические методы исследования. М., «Мир», 1964, с. 161.
6. Грэг С., Синг К. Адсорбция, удельная поверхность, пористость. М., «Мир», 1971.
7. Ерофеев Б. В. Переходные металлы и их свойства. М., «Знание», 1966.
8. Lippens V. In.: Proc. Phys. and Chem. Asp. of Adsorb. and Catalysts. London-New-York, Acad. Press, 1970.

Антифрикционные свойства некоторых облученных сталей в среде натрия

КРАСНОЩЕГОВ М. М., ЛЫСЯК С. Д., МАРКОВСКИЙ Е. А.

УДК 621.891:669.14:621.039

Цель настоящей работы заключалась в определении антифрикционных характеристик ряда облученных материалов в условиях одновременного воздействия нагрузки, натриевой среды и повышенных температур. Исследованы сталь Х18Н9, эта же сталь после поверхностного упрочнения (хромирование и азотирование при 1150°С), стали Р18 и ЭИ-347Ш после стандартной термообработки (закалка и отпуск), а также сплавы ЦН-2 и ЦН-12.

Образцы облучали в вакуумно-гелиевых каналах ядерного реактора типа ВВР-М интегральной дозой быстрых нейтронов $2,7 \cdot 10^{20}$ нейтр/см² и тепловых нейтронов $9 \cdot 10^{20}$ нейтр/см² в течение 998,5 ч при температуре 650°С. Исследованы три группы образцов — исходные, термостатированные и облученные. Термостатирование проводили в аргоне при 650°С в течение 998,5 ч. Горячую твердость определяли на переоборудованном приборе Виккерса в интервале 20—600°С в потоке аргона. Испытания на трение и износ в жидком натрии и в смеси аргона и паров натрия проводили в герметичной камере при температуре 350°С, удельном давлении 25 кг/см² и скорости скольжения 5 м/мин; путь трения составлял 1,2 км в каждой среде.

В результате облучения и термостатирования горячая твердость хромированно-азотированного слоя стали Х18Н9 и сплава ЦН-12 растет, причем облученные материалы имеют относительно более высокую твер-

дость. Эти данные подтверждаются результатами измерения микротвердости в сечении образца, свидетельствующими об упрочнении этих материалов.

Термостатирование сталей Р18 и ЭИ-347Ш (рис. 1) приводит к резкому падению горячей твердости; облучение вызывает еще большее ее снижение, что указывает на значительные изменения микроструктуры. Металлографическим анализом установлено, что мартенсит термостатированных образцов, распадаясь при нагреве, превращается в сорбит отпуска (рис. 2). Облучение способствует более интенсивной коагуляции феррито-цементитной смеси и дальнейшему разупрочнению закаленных сталей. Эти данные подтверждают наблюдавшийся ранее эффект разупрочнения закаленных сталей под облучением [1].

Результаты испытаний образцов на машине трения (рис. 3) указывают на значительное влияние среды: коэффициенты трения и износ меньше в жидком натрии, чем в аргоне с парами натрия. В ряде опытов в жидком натрии наблюдалось некоторое увеличение суммарной толщины образцов, что вызвано, по-видимому, образованием на их поверхности новых хемосорбированных соединений в начале испытания.

Натрий как высокотемпературная смазка характеризуется адсорбционным, диффузионным и коррозионным действием [2]. Антифрикционные свойства материалов в натрии зависят также от интенсивности химических реакций на границе раздела. Термодинамический расчет показывает, что взаимодействие окислов хрома с натрием и окиси натрия с хромом и окисью хрома приводит к образованию соединения Na_2CrO_3 . Этот хемосорбированный двойной окисел стабилен вплоть до 600°С и является высокотемпературной твердой смазкой, снижающей коэффициент трения. Видимо, при трении в жидком натрии протекают одновременно два процесса: износ материала и образование пленки окисла, причем в начале испытания превалирует второй процесс.

Изменение износостойкости при облучении прямо связано с изменением твердости (см. рис. 3). Так, при испытании образцов ХА в парах натрия износостойкость и твердость увеличиваются после термостатирования и особенно облучения. Прямая зависимость между износостойкостью и твердостью обнаруживается и для образцов ХА-С и ЦН-12. Но, если отсутствуют необратимые структурные превращения, износостойкость материалов при облучении изменяется мало. Резкое снижение износостойкости облученных сталей Р18 и ЭИ-347Ш связано с распадом мартенсита в условиях повышенной диффузионной подвижности атомов при терморadiационной обработке. В данных температурных условиях облуче-

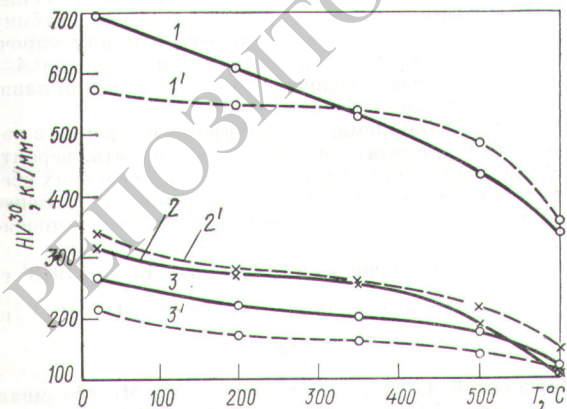
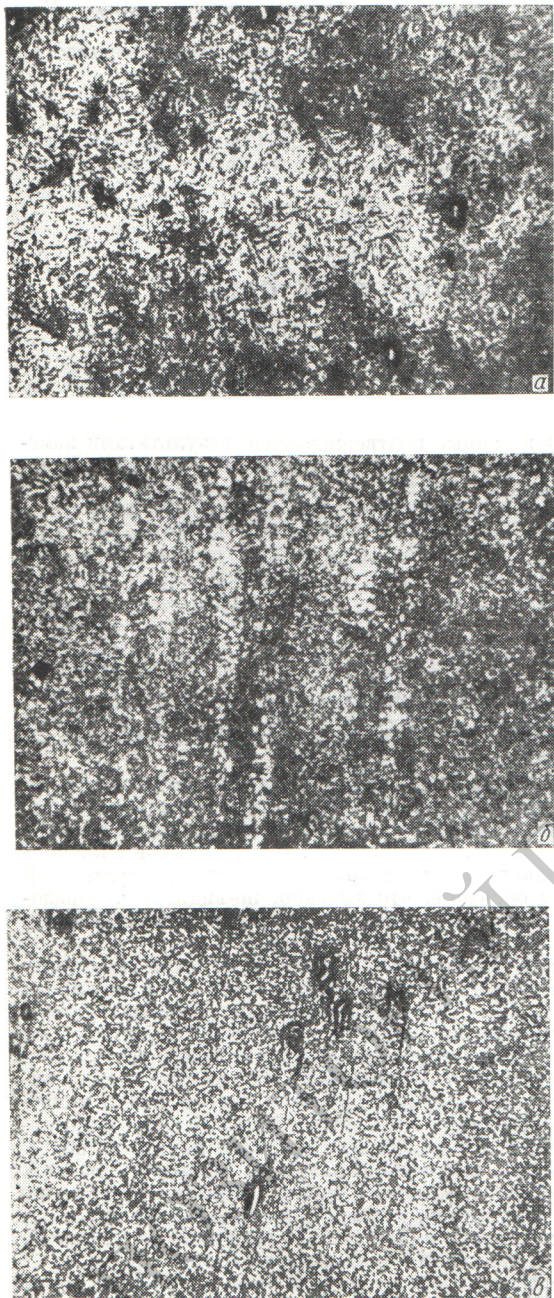


Рис. 1. Горячая твердость сталей ЭИ-347Ш (1, 2, 3) и Р18 (1', 2', 3'):

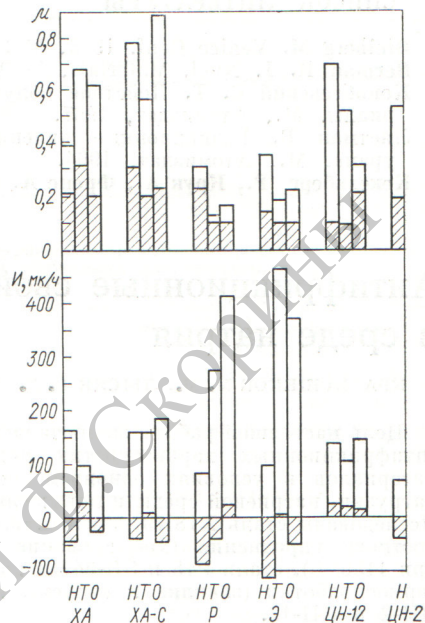
1 и 1' — исходная; 2 и 2' — термостатированная; 3 и 3' — облученная.



Р и с. 2. Микроструктура стали ЭИ-347Ш ($\times 450$): а — исходная; б — термостатированная; в — облученная.

ния разупрочнение этих метастабильных структур перекрывает возможное незначительное радиационное упрочнение.

В то же время стали Р18 и ЭИ-347Ш с сорбитной и перлитной матрицей, упрочненной карбидами, имеют низкий и стабильный коэффициент трения и сохраняют качественную поверхность. Очевидно, эти стали могут



Р и с. 3. Результаты испытаний на трение и износ в среде паров натрия и аргона (\square) и в жидком натрии (штриховка) одноименных пар материалов (кроме ХА-С).

Н — необлученная пара; Т — термостатированная пара; О — облученная пара; ХА, ХА-С и Р — образцы хромированной и азотированной стали Х18Н9, сталей Х18Н9 и Р18 соответственно; Э — образцы стали ЭИ-347Ш; ЦН-2 и ЦН-12 — сплавы.

успешно применяться в жидком натрии, тогда как в парах натрия длительное воздействие облучения и высоких температур вызывает разупрочнение и большой износ, а также коррозию металла.

Хромирование с последующим азотированием несколько улучшило антифрикционные свойства стали Х18Н9. Однако высокий коэффициент трения (до 0,8—0,9) и существенные повреждения поверхности (пластическая деформация, течение металла), в особенности в комбинированных образцах ХА-С, указывают на необходимость усовершенствования этого метода упрочнения. При трении металл деформируется на глубину 0,10—0,15 мм. Необходимо увеличить толщину упрочненного хромированного и азотированного слоя до 0,4—0,5 мм, чтобы снизить вероятность возникновения лавинообразного процесса схватывания.

Относительно приемлемый коэффициент трения в парах натрия с аргоном при 350° С должен быть, вероятно, < 0,5. Отсутствие схватывания в этих условиях обеспечивается, в частности, повышенной (не менее 300 кг/мм²) твердостью материала при рабочей температуре.

Поступило в Редакцию 14/IX 1973 г.

В окончательной редакции 30/IV 1974 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Марковский Е. А., Краснощеков М. М. «Атомная энергия», 1965, т. 18, вып. 1, с. 72.
2. Краснощеков М. М. и др. В сб.: Литые износостойкие материалы. Киев, «Наукова думка», 1972, с. 121.