

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАХВАТА ДЕЙТЕРИЯ В НЕРЖАВЕЮЩИХ СТАЛЯХ 06X18H10 И 08X18H10T

С.А. Карпов, И.Е. Копанец, И.М. Неклюдов, В.В. Ружицкий, Г.Д. Толстолицкая
Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт»,
г. Харьков, Украина

Приведены результаты исследования термоактивированного выхода и профилей распределения ионно-имплантированного дейтерия в нержавеющей стали 06X18H10 и 08X18H10T в зависимости от дозы облучения.

ВВЕДЕНИЕ

Исследование закономерностей накопления и высвобождения водорода из конструкционных сталей актуально в связи с задачей восстановления физико-химических свойств материалов, насыщенных водородом в условиях воздействия радиационных излучений в ядерных или термоядерных реакторах. Значительное влияние на обратный выход газа из объема металлов оказывают процессы, происходящие на границе раздела твердое тело – газ. Одним из таких процессов является рекомбинация атомов с образованием молекулы $H_2(D_2)$. Она определяется физико-химическими механизмами, крайне чувствительными к состоянию поверхности раздела, наличию на ней неметаллических примесей на уровне даже долей монослоев [1].

В настоящем сообщении приведены экспериментальные данные по термоактивированному выделению ионно-имплантированного дейтерия из нержавеющей стали 06X18H10 и 08X18H10T. Исследована зависимость основных температурных интервалов выхода газа из сталей от дозы облучения.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Изучение накопления, захвата и обратного выхода дейтерия из нержавеющей стали выполнено методом термоактивированной десорбции (ТД) [2].

Для исследований использовали образцы размерами $27 \times 7 \times 0,1$ мм из сталей 06X18H10 и 08X18H10T, предварительно прошедшие аустенизирующий отжиг при температуре 1340 К в вакууме в течение одного часа. Все образцы полировались в электролите следующего состава: 54% H_3PO_4 , 11% H_2SO_4 , 21% H_2O , 14% CrO_3 . Образцы всех партий облучали ионами D_2^+ с энергией 12 кэВ до доз в интервале $(2 \dots 20) \cdot 10^{20} \text{ м}^{-2}$ при температуре 300 К, контролируемой хромель-алюмелевой термопарой. Отжиг образцов в интервале температур 300...1500 К вели со скоростью $4 \text{ К} \cdot \text{с}^{-1}$. Давление остаточных газов в экспериментальной камере составляло $\sim 1 \cdot 10^{-5}$ Па.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Известно, что хромоникелевые стали типа 18-10 без присадок находят крайне ограниченное применение в связи с их склонностью к межкристаллитному разрушению. Наибольшее применение в отече-

ственной практике получили стали типа 18-10 с присадками титана или ниобия, которые имеют немного лучшие характеристики жаропрочности, чем сталь типа 18-10. В то же время на свойства сталей типа 18-10 с титаном, в особенности на их коррозионную стойкость, влияет такая примесь внедрения, как углерод. Углерод образует с титаном стабильные карбиды переменной растворимости, зависящей от температуры. Сравнение растворимости карбидов в твердом растворе хромоникелевой стали типа 18-10 с 0,5% титана и без титана показывает, что в присутствии Ti переход карбидов в твердый раствор происходит при более высоких температурах.

С целью определения влияния титана и примеси внедрения – углерода на процессы накопления и удержания изотопов водорода в сталях были проведены исследования распределения концентрации по глубине и термоактивированного выделения дейтерия. Методами термодесорбционной спектрометрии и ядерных реакций получены количественные данные по накоплению ионно-имплантированного дейтерия в двух типах сталей аустенитного класса – X18H10T и X18H10.

На рис. 1а и 1б приведены спектры термодесорбции дейтерия из сталей 08X18H10T и 06X18H10, облученных ионами D^+ с энергией 6 кэВ до дозы $2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$. Комплекс подготовительных работ и режимы проведения экспериментов для двух вышеуказанных сталей были одними и теми же. Как видно из рис. 1а и 1б, спектры не имеют больших расхождений. Температуры максимумов пиков газовой выделения и температурные интервалы удержания дейтерия совпадают.

На рис. 2а и 2б показаны профили распределения дейтерия в сталях X18H10T и X18H10 после облучения при $T_{\text{комн}}$ ионами D^+ с энергией 5 кэВ до дозы $1 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ и постимплантационных отжигов при 90, 200 и 300°C.

Как видно из рис. 2, концентрация удержанного при $T_{\text{комн}}$ дейтерия немного больше для стали 06X18H10. Полуширина распределения для обеих сталей практически одинакова. Наблюдается небольшая асимметричность в форме профиля стали X18H10T: концентрация дейтерия на глубине 200 нм приблизительно в два раза больше для стали X18H10T по сравнению с X18H10. Отжиг при 90°

С приводит к снижению концентрации приблизительно в 5 раз для обоих типов сталей.

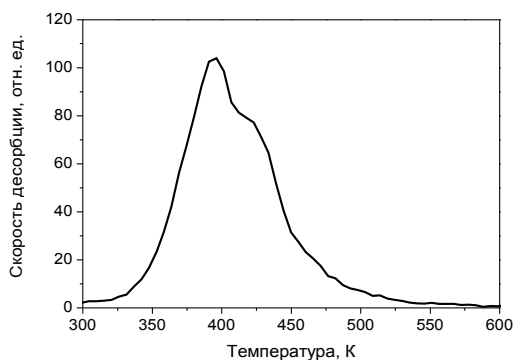


Рис. 1а. Спектр термодесорбции дейтерия из стали 08X18H10T, облученной ионами D^+ с энергией 6 кэВ до дозы $2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$

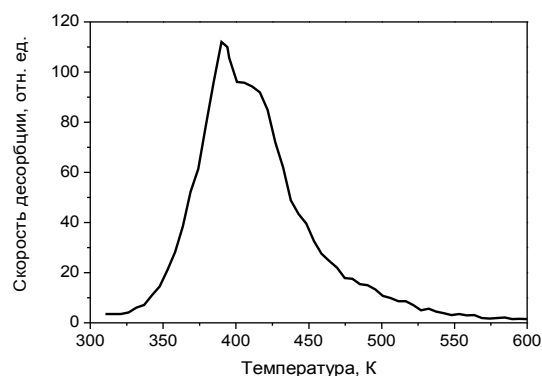


Рис. 1б. Спектр термодесорбции дейтерия из стали 06X18H10, облученной ионами D^+ с энергией 6 кэВ до дозы $2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$

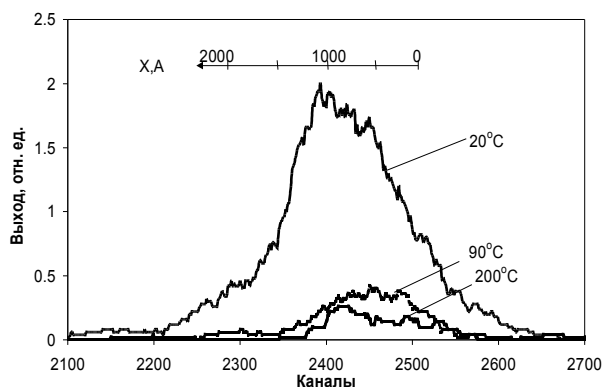


Рис. 2а. Профили распределения дейтерия в стали X18H10T после облучения при $T_{\text{комн}}$ и постимплантационных отжигов 90 и 200°C

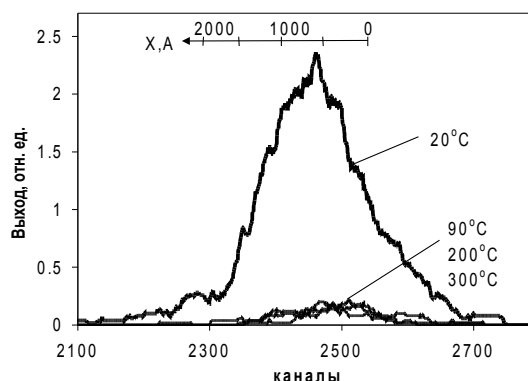


Рис. 2б. Профили распределения дейтерия в стали X18H10 после облучения при $T_{\text{комн}}$ и постимплантационных отжигов 90...300°C

Неизменность амплитуды профилей после отжигов до 300°C может свидетельствовать о снижении скорости процессов поверхностной рекомбинации для стали X18H10T. Эта тенденция наблюдается для больших доз, даже при комнатной температуре облучения.

Экспериментальные результаты исследований захвата ионно-имплантированного дейтерия в сталях X18H10T и X18H10 в зависимости от дозы облучения изображены на рис. 3. Образцы облучены ионами D^+ с энергией 6 кэВ при $T_{\text{комн}}$ в интервале доз $1 \cdot 10^{15} \dots 1 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-2}$.

Кривая захвата, как видно из рисунка, имеет короткий линейный участок. Около 100% дейтерия при комнатной температуре удерживается лишь до доз $\sim 3 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$. С увеличением дозы облучения эф-

фективность захвата существенным образом снижается, и при значениях флюенса, превышающих $3 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$, кривая достигает насыщения. Уровень насыщения для стали X18H10 на 30% больше.

Можно было ожидать, что наличие титана и образования дисперсных выделений карбидов титана и хрома (TiC), (Cr_{23}C_6) в случае стали X18H10T или только хрома (Cr_{23}C_6) в случае стали X18H10, будет влиять на характер накопления и выделения водорода. Хром с углеродом образует несколько типов карбидов, которые имеют разные температуры плавления. На диаграмме состояния системы хром-углерод видно, что образуются три типа карбидов: кубический Cr_{23}C_6 , тригональный Cr_7C_3 и орторомбический Cr_3C_2 .

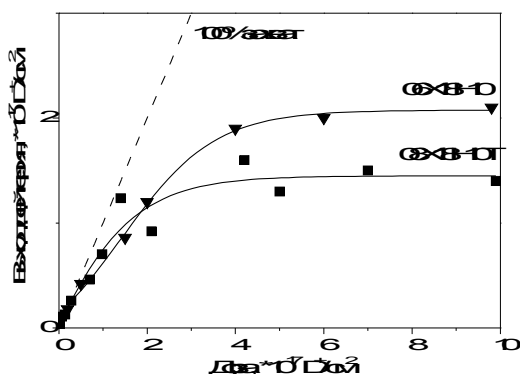


Рис. 3. Кривые удержания дейтерия в зависимости от дозы облучения ионами D^+ с энергией 6 кэВ ($T=T_{ком}$)

Наличие сложных карбидов в железохромистых сплавах вносит ряд особенностей, связанных с непосредственным их влиянием на свойства сплавов [3-6]. Следует отметить, что в сталях типа 18-10 с титаном первичные карбонитриды титана, количество которых зависит от содержащегося в сталях углерода и азота, при высокой температуре имеют тенденцию к растворению. Но даже при 1300°C часть карбонитридов остается нерастворенной. В беститановой стали карбиды хрома переходят в твердый раствор уже при температуре аустенизации 1050°C.

Совокупность полученных экспериментальных данных позволяет сделать вывод об отсутствии заметного влияния присадок титана на характер и механизмы захвата водорода в аустенитных нержавеющей сталях при их концентрациях, которые не пре-

вышают типичных для состава исследуемых сталей. Свидетельством этого есть качественно идентичные спектры термодесорбции и профили распределения дейтерия в этих сталях в диапазоне доз $1 \cdot 10^{15} \dots 1 \cdot 10^{17}$ см⁻². Небольшое отличие (~30%) кривых удержания дейтерия для сталей 08X18Ni10T и 06X18Ni10 (см. рис. 3), вероятно, обусловлено поверхностными процессами.

Работа выполнена в рамках Программы проведения фундаментальных исследований по атомной науке и технике ННЦ ХФТИ.

ЛИТЕРАТУРА

- 1.R.A. Langley. Hydrogen trapping, diffusion and recombination in austenitic stainless steels // *J. Nucl. Mater.* 1984, v. 128/129, p. 622–628.
- 2.P.A. Redhead. Thermal desorption of gases // *Vacuum.* 1962, v. 12, p. 203–212.
3. *Окисление металлов* / Под ред. Ж. Бенара. Т. 1. М.: «Металлургия», 1968, 500 с.
- 4.A.I. Livshits, M.E. Notkin and A.A. Samartsev. Physico-chemical origin of superpermeability – large-scale effects of surface chemistry on “hot” hydrogen permeation and absorption in metals // *J. Nucl. Mater.* 1990, v. 170, p. 79–94.
- 5.K. Yamaguchi, S. Tanaka, M. Yamawaki. The modeling of hydrogen transport in metals and its application to evaluation of hydrogen permeation and inventories // *J. Nucl. Mater.* 1991, v. 179, p. 325–328.
- 6.А.Д. Амаев, А.М. Крюков, И.М. Неклюдов и др. *Радиационная повреждаемость и работоспособность конструкционных материалов* / Под ред. А.М. Паршина и П.А. Платонова. СПб.: «Политехника», 1997, 312 с.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАХВАТУ ДЕЙТЕРІЯ В НЕРЖАВІЮЧИХ СТАЛЯХ 06X18Ni10 І 08X18Ni10T

С.О. Карпов, І.Е. Копанець, І.М. Неклюдов, В.В. Ружицький, Г.Д. Толстолуцька

Наведені результати дослідження термоактивованого виходу та профелів розподілу іонно-імплантованого дейтерію з нержавіючих сталей 06X18Ni10 і 08X18Ni10T в залежності від дози опромінення.

INVESTIGATIONS OF DEUTERIUM TRAPPING IN 06Kh18Ni10 AND 08Kh18Ni10Ti STAINLESS STEELS

S.A. Karpov, I.E. Kopanets, I.M. Neklyudov, V.V. Ruzhytskiy, G.D. Tolstolutska

Results of research of thermoactivated release of ion-implanted deuterium from stainless steels 06Kh18Ni10 and 08Kh18Ni10Ti are given depending on a irradiation doze.