

## 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.

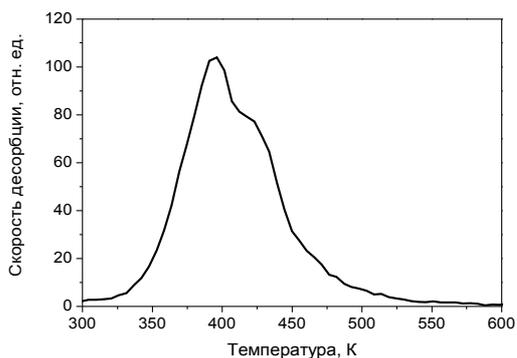


Рис. 1а. Спектр термодесорбции дейтерия из стали 08X18H10T, облученной ионами  $D^+$  с энергией 6 кэВ до дозы  $2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$

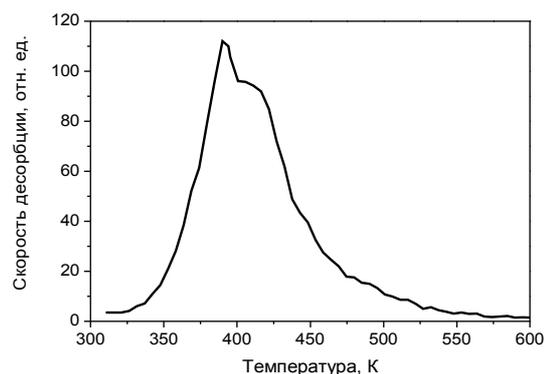


Рис. 1б. Спектр термодесорбции дейтерия из стали 06X18H10, облученной ионами  $D^+$  с энергией 6 кэВ до дозы  $2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$

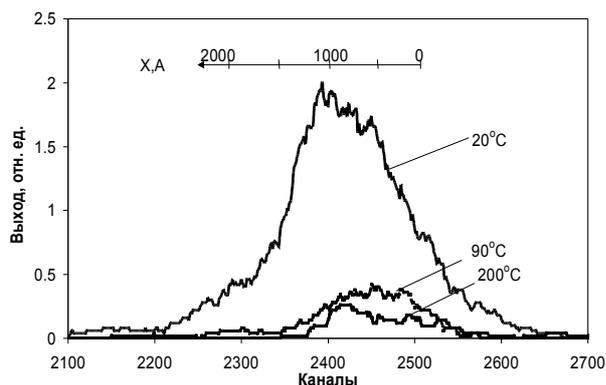


Рис. 2а. Профили распределения дейтерия в стали X18H10T после облучения при  $T_{\text{комн}}$  и постимплантационных отжигов 90 и 200°C

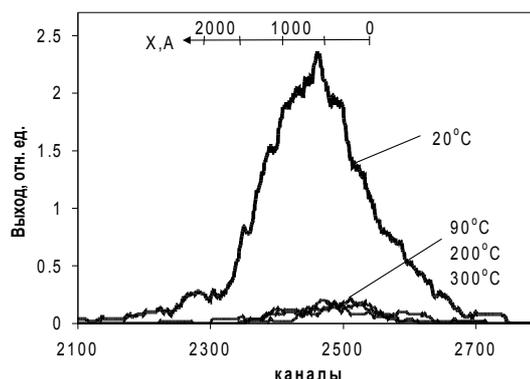


Рис. 2б. Профили распределения дейтерия в стали X18H10 после облучения при  $T_{\text{комн}}$  и постимплантационных отжигов 90...300°C

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 ( $\text{TiC}$ ), ( $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$ ) в случае стали X18H10T или только хрома ( $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$ ) 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  $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$ , тригональный  $\text{Cr}_7\text{C}_3$  и орторомбический  $\text{Cr}_3\text{C}_2$ .

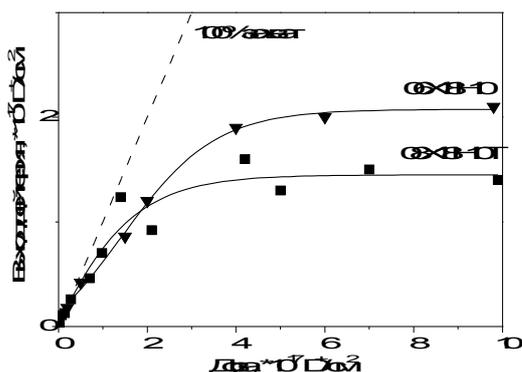


Рис. 3. Кривые удержания дейтерия в зависимости от дозы облучения ионами  $D^+$  с энергией 6 кэВ ( $T=T_{комн}$ )

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<sup>2</sup>. Небольшое отличие (~30%) кривых удержания дейтерия для сталей 08X18H10T и 06X18H10 (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 06X18H10 І 08X18H10T

*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 06X18H10 і 08X18H10T 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. Tolstolutskaia*

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