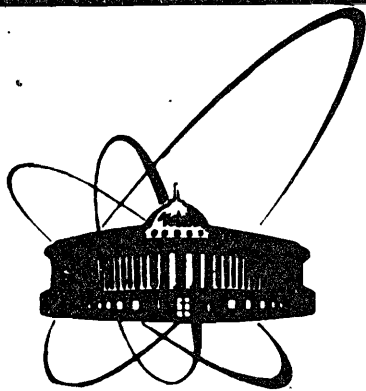


87-525



ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

Б955

P13-87-525

В.М.Быстрицкий, В.Б.Грановский,<sup>1</sup>  
В.П.Джелепов, А.П.Захаров,<sup>2</sup> А.И.Канаев,<sup>2</sup>  
В.А.Куц,<sup>1</sup> Ю.П.Мельник,<sup>1</sup> В.А.Столупин,  
В.М.Шарапов<sup>2</sup>

ИССЛЕДОВАНИЕ  
ПРОНИКНОВЕНИЯ ИЗОТОПОВ  
ВОДОРОДА ЧЕРЕЗ НЕРЖАВЕЮЩИЕ СТАЛИ  
X18H10T И X13M2БФР

Направлено в журнал "Атомная энергия"

<sup>1</sup> Институт геохимии и физики минералов АН УССР,  
Киев

<sup>2</sup> Институт физической химии АН СССР, Москва

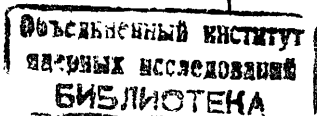
1987

В настоящее время сильно возрос интерес к изучению физических и химических процессов, происходящих в среде водорода (или его изотопов) при высоких температурах и давлениях /1/. Поэтому все более актуальной становится проблема конструирования и создания аппаратов высокого давления, способных в течение длительного времени поддерживать стационарное давление водорода при высоких температурах 300-1100 К. В связи с этим является целесообразным изучить возможность применения для этих целей нержавеющей стали аустенитного (X18H10T) и феррито-мартенситного (X13M25BP) классов. Стали мартенситного и феррито-мартенситного классов рассматриваются как перспективный конструкционный материал для первой стенки термоядерных реакторов /2/. Эти стали имеют очень высокое сопротивление распуханию при больших повреждающих дозах, а также благоприятное сочетание физических свойств в интервале рабочих температур. Получение информации о проникновении, диффузии и растворимости водорода и его изотопов в перечисленных сталях позволит дать ответ на возможность использования их в качестве материала для изготовления корпусов сосудов, работающих с ограниченным количеством газообразного водорода при высоких давлениях и температурах.

Целью настоящей работы являлось измерение проникновения водорода (дейтерия) через нержавеющие стали X18H10T и X13M25BP в зависимости от давления газа и температуры.

#### Постановка эксперимента

Эксперимент проводился на установке, подробное описание которой отражено в работе /3/. На рис. I приведен чертеж измерительной



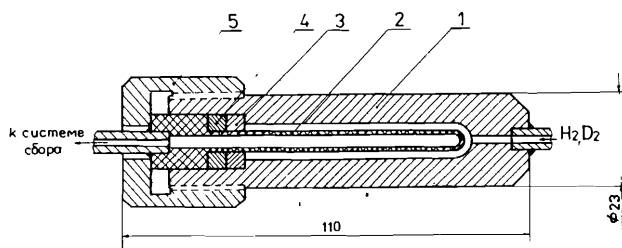


Рис.1 Измерительная ячейка. 1 - корпус, 2 - образец, 3 - упорное кольцо, 4 - медная прокладка, 5 - накидная гайка.

ячейки. Образцы 2 для исследований были изготовлены из прутковой нетермообработанной нержавеющей стали марки X18H10T и стали X13M2BФP, прошедшей термообработку ( $\phi_{\text{вн}} = 3,3$  мм,  $\phi_{\text{н}} = 6,6$  мм,  $l = 53$  мм). Водород (дейтерий), продиффундировавший через стенки образца из данного материала, поступал в систему сбора газа. Количество продиффундировавшего газа определялось на основании знания объема системы сбора газа и измерения давления в нем.

Условия проведения опытов приведены в таблице I.

Таблица I.

Материал	Газ	T, K	P, ат
X18H10T	H <sub>2</sub>	400+1050	500
X18H10T	D <sub>2</sub>	400+1050	500
X18H10T	H <sub>2</sub>	1050	1+500
X18H10T	D <sub>2</sub>	1050	1+500
X13M2BФP	H <sub>2</sub>	300+1050	100
X13M2BФP	H <sub>2</sub>	300+1050	300
X13M2BФP	H <sub>2</sub>	1050	1+300

Как видно, эксперименты проводились в широком диапазоне давлений и температур.

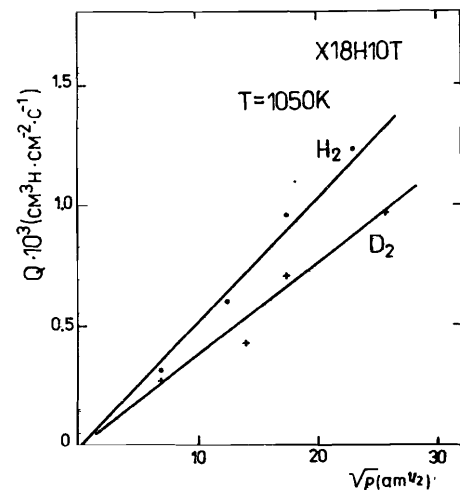


Рис.2 Зависимость потока водорода (дейтерия) через сталь X18H10T от давления при температуре T = 1050 K.

На рис.2 приведены зависимости потоков водорода и дейтерия через стенки образца из нержавеющей стали X18H10T от давления газа при температуре 1050 K. Данные зависимости хорошо аппроксимируются линейной функцией от  $\sqrt{P}$ , причем отношение потоков водорода и дейтерия в пределах экспериментальных ошибок согласуется с теоретической оценкой ( $\sim \sqrt{\frac{\mu_{\text{D}}}{\mu_{\text{H}}}}$ ) и составляет  $\sim 1,34$ . Аналогичная зависимость потока водорода через стенки образца из стали X13M2BФP приведена на рис.3. Как видно, данная зависимость не имеет отклонения от линейного характера.

На рис.4 даны зависимости потоков водорода и дейтерия при давлении 500 ат через стенку образца из стали X18H10T от температуры. Зависимости от температуры носят экспоненциальный характер. Следует отметить, что во всем температурном диапазоне отношение потоков водорода и дейтерия сохраняется и составляет  $\sim 1,34$ . На рис.5 изображены зависимости потока водорода при давлениях 100 ат и 300 ат через сталь X13M2BФP от температуры. Как видно, данная зависимость описывается экспоненциальной функцией от температуры.

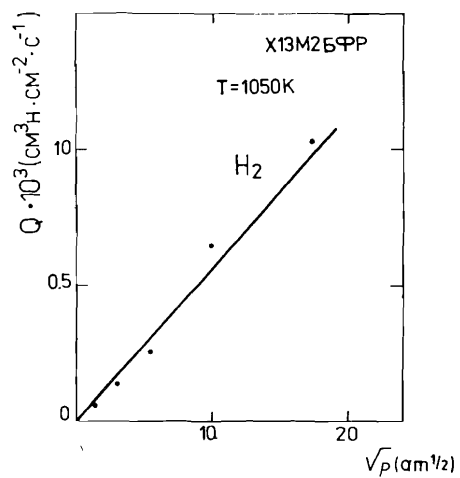


Рис.3 Зависимость потока водорода через сталь X13M2BФP от давления при температуре T = 1050 K.

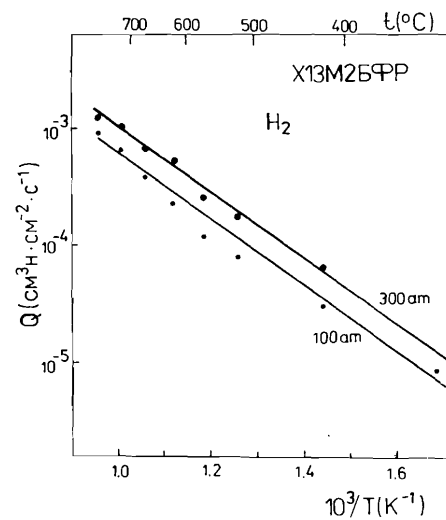


Рис.5 Зависимости потока водорода через сталь X13M2BФP от температуры при давлениях 100 ат и 300 ат.

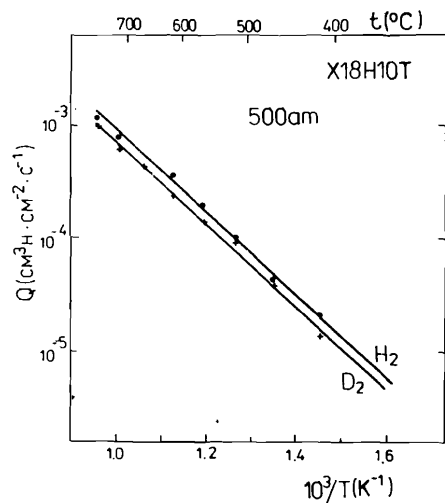


Рис.4 Зависимость потока водорода (дейтерия) через сталь X18H10T от температуры при давлении P = 500 ат.

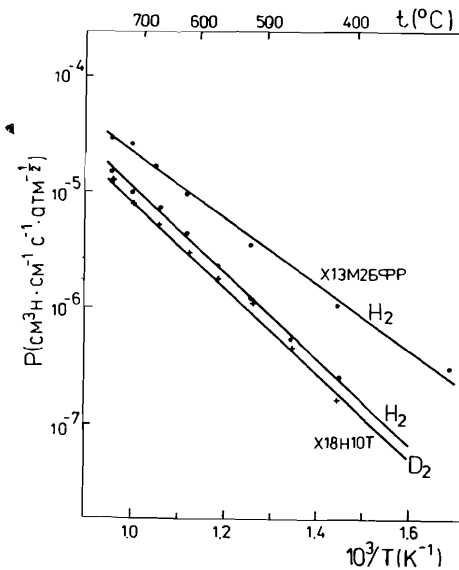


Рис.6 Зависимости проницаемости сталей X18H10T и X13M2BФP по отношению к водороду и дейтерию от температуры.

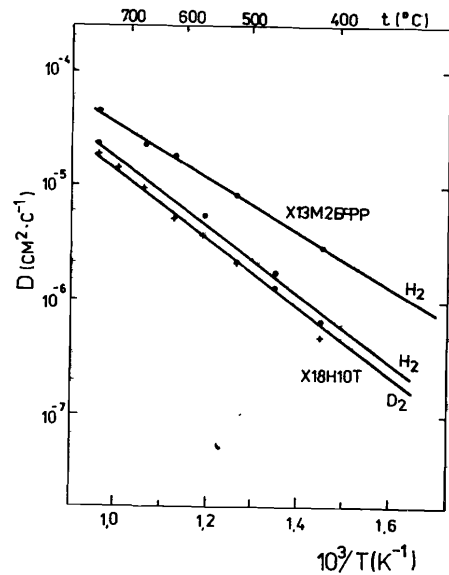


Рис.7 Зависимость коэффициента диффузии  $D$  водорода (дейтерия) через сталь X18H10T и X13M2BФP от температуры.

На рис.6 приведены зависимости проникновения водорода (дейтерия) через образцы из стали X18H10T и X13M2BФP от температуры. На рис.7 изображена зависимость коэффициента диффузии водорода (дейтерия) от температуры. Напомним, что коэффициент диффузии водорода (дейтерия) определялся нами по времени запаздывания установления стационарного потока через стенки образца /4,5/. Растворимость водорода (дейтерия) в сталях X18H10T и X13M2BФP определялась по формуле  $S = \frac{P}{D}$ .

Величины, характеризующие процесс проникновения изотопов водорода через указанные материалы, можно определить на основании следующих зависимостей /4/:

$$P = P_0 e^{-\frac{E_P}{RT}}; \quad D = D_0 e^{-\frac{E_D}{RT}}; \quad S = S_0 e^{-\frac{E_S}{RT}},$$

где  $P_0$ ,  $D_0$ ,  $S_0$  - константы;  $E_P$ ,  $E_D$ ,  $E_S$  - энергии активации процессов проникновения, диффузии и растворимости соответственно.

Таблица 2.

Материал	Газ	$P_0 \cdot 10^2$ $\frac{\text{см}^3_{\text{H}} \cdot \text{см}^{-1}}{\text{с} \cdot \text{атм}^{-1/2}}$	$D_0 \cdot 10^3$ $\frac{\text{см}^2 \cdot \text{с}^{-1}}{\text{с}^{-1}}$	$S_0$ $\frac{\text{см}^3_{\text{H}} \cdot \text{см}^{-3}}{\text{атм}^{-1/2}}$	$E_P$ ккал/ г-атом	$E_D$ ккал/ г-атом	$E_S$ ккал/ г-атом
X18H10T	H <sub>2</sub>	5,0	15,5	3,2	16,8	13,6	3,2
X18H10T	D <sub>2</sub>	4,1	12,9	3,2	16,9	13,7	3,2
X13M2BФP	H <sub>2</sub>	1,0	3,9	2,6	12,6	9,9	2,7

Из сравнения результатов, полученных для сталей X18H10T и X13M2BФP, видно, что:

а) проникновение водорода  $P$  через нержавеющую сталь X18H10T при температуре 1050 K в  $\sim 2$  раза, а при  $T = 600$  K в  $\sim 6$  раз меньше соответствующей величины для стали X13M2BФP;

б) коэффициент диффузии  $D$  водорода через сталь X13M2BФP при  $T = 1050$  K превышает соответствующую величину для стали X18H10T в  $\sim 2$  раза, а при  $T = 600$  K - в  $\sim 5$  раз;

в) значения растворимости водорода  $S$  для указанных материалов в исследуемом диапазоне температур не сильно различаются между собой.

Учитывая то, что предел текучести для сталей X18H10T и X13M2BФP не превышает 120 МПа, использование данных материалов для изготовления сосудов высокого давления, работающих при больших температурах, становится практически возможным только в выбранном нами диапазоне давлений.

Однако следует отметить, что в указанном диапазоне давлений и температур применение стали X13M2BФP становится более приемлемым, так как, ввиду достаточно высокой диффузии водорода через нее, она по сравнению с нержавеющей сталью меньше подвержена водородному охрупчиванию.

Авторы выражают благодарность В.В.Романеву за полезные обсуждения результатов работы, Ш.Г.Шамсутдинову, Б.М.Кулагину, И.С.Соковнину и А.Н.Чибисову за помощь при проведении измерений.

#### Литература

1. Jones S.E., Caffrey A.J., Walter J.B., Anderson A.N., Watts K.D., Anderson J.L., Bradbury J.N., Gram P.A.M., Leon M., Paciotti M.A. Atomkernenergie/Kerntechnik, 1983, 43, 179.
2. Орлов В.В., Альтовский И.В. Препринт ИАЭ-3380/8, Москва, 1981.
3. Быстрицкий В.М., Возняк Я., Грановский В.Б., Желёпов В.П., Захаров А.П., Зинов В.Г., Канаев А.И., Лончки Э., Мельник Ю.П., Столупин В.А., Шарпов В.М. ОИЯИ, P13-86-161, Дубна, 1986.
4. Баррер Р. Диффузия в твердых телах. ИЛ, М., 1948.
5. Jaeger J.F. Trans. Far. Soc., 1946, 42, 615.

Рукопись поступила в издательский отдел  
6 июля 1987 года.

Быстрицкий В.М. и др.

P13-87-525

Исследование проникновения изотопов водорода  
через нержавеющие стали X18H10T и X13M2BFР

Приводится сравнение измеренных параметров процесса проникновения водорода и дейтерия через аустенитные /X18H10T/ и феррито-мартенситные /X13M2BFР/ стали в условиях высокого насыщения при давлении газа до 500 ат в диапазоне температур 300÷1050 К. Найденные параметры подчиняются закону Сиверта и описываются уравнениями Аррениуса и Вант-Гоффа.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1987

#### Перевод авторов

Bystritsky V.M. et al.

P13-87-525

Investigation of Hydrogen Isotope Penetration  
Through Stainless Steels X18H10T and X13M2BFР

Compared are the parameters of hydrogen and deuterium penetration through austenite (X18H10T) and ferrite-martensite (X13M2BFР) steels measured at high saturation and at the gas pressure to 5000 at in the temperature range 300÷1050 K. The obtained parameters obey Sieverts law and are described by the Arrhenius and Van't Hoff equations.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1987