

СРАВНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВОДОРОДОПРОНИЦАЕМОСТИ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ 08X18H10T В ОБЛАСТИ УПРУГОЙ И ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИЙ

А. В. Вертей, И. Л. Малков, А. А. Юхимчук

РФЯЦ – Всероссийский научно-исследовательский институт
экспериментальной физики, г. Саров, Россия

В докладе представлены результаты определения параметров водородопроницаемости (ВП) нержавеющей стали 08X18H10T, полученные при различных напряженно-деформированных состояниях, при температуре 300 °С. При сравнении полученных результатов, зависимость коэффициента проницаемости и растворимости в упругой и пластической областях является линейной. График зависимости диффузии от квадратного корня из давления также носит линейный характер.

Теоретическая и экспериментальная часть

Целью данного исследования является изучение поведения параметров ВП материала (сталь 08X18H10T) при различных напряженно деформированных состояниях.

Методика определения кинетических параметров ВП конструкционных материалов (КМ) основана на анализе изменения теплопроводности газаносителя (Ar) омывающего выходную поверхность исследуемого образца, вследствие растворения в газе-носителе продиффундировавшего через образец водорода. Устройство установки [1] позволяет получать параметры ВП для трех образцов за один эксперимент.

При проведении исследований измерялись и определялись следующие параметры водородопроницаемости:

1. коэффициент ВП P_H ;
2. коэффициент диффузии D_H ;
3. растворимость S_H .

Исследования ВП проводились при давлениях водорода от 6 до 72 МПа и температуре 300 °С в интегральном режиме измерений. Данные условия исследований (давления и температура) были выбраны, исходя из основных характеристик материала и геометрии образца (рис. 1).

Основные параметры ВП рассчитывались по формулам приведенным в [1].

Набор пиков, образует S – образную кривую, которая соответствует потоку водорода через образец (рис. 2).

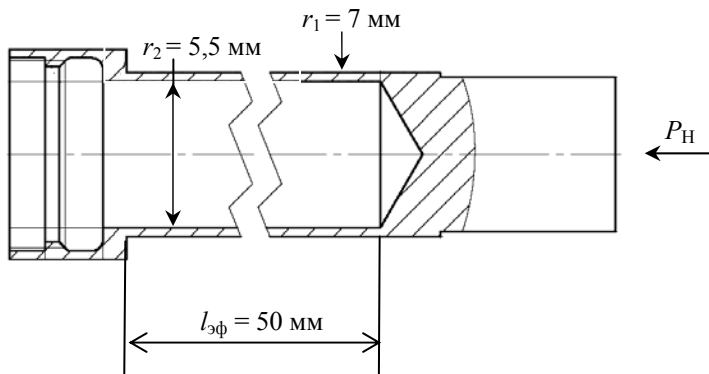


Рис. 1. Основные геометрические параметры образца

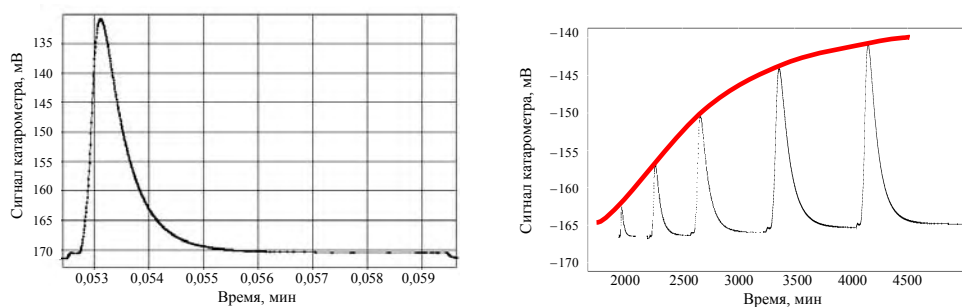


Рис. 2. Набор пиков образующих зависимость потока водорода через образец от времени

Каждая площадь полученного пика соответствует точке на графике (рис. 3) потока водорода от времени, по которому рассчитывается коэффициент диффузии [1]. На рис. 3 представлена зависимость потока водорода от времени.

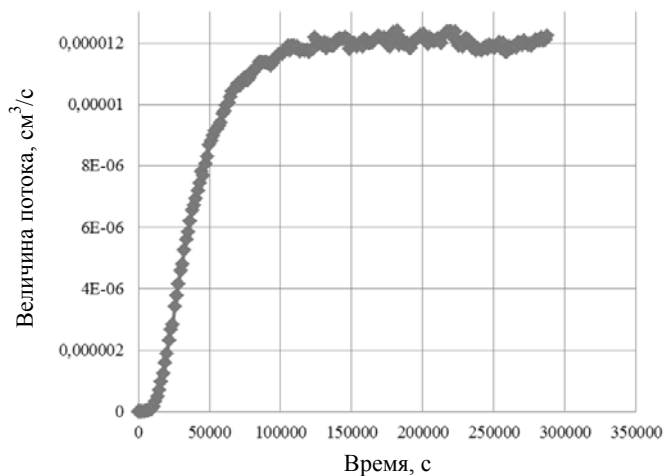


Рис. 3. Зависимость потока от времени

Напряженное состояние в стенке трубчатого образца, нагруженного наружным давлением P , определялось по формулам [2]

$$\sigma_r = -\frac{Pr_1^2}{r_1^2 - r_2^2} \left(1 - \frac{r_2^2}{r^2} \right), \quad \sigma_\theta = -\frac{Pr_1^2}{r_1^2 - r_2^2} \left(1 + \frac{r_2^2}{r^2} \right), \quad \sigma_z = -\frac{Pr_1^2}{r_1^2 - r_2^2}.$$

где σ_r , σ_θ , σ_z – радиальное, кольцевое и осевое напряжения.

Анализ напряженного состояния показывает, что стенка трубчатого образца находится в условиях всестороннего сжатия (рис. 4).

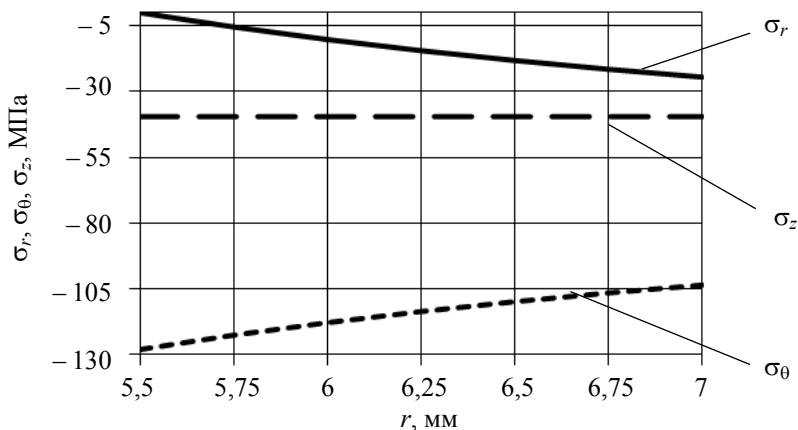


Рис. 4. Распределение напряжений по стенке образца при давлении $P = 24,5$ МПа

Предельное состояние в стенке образца, то есть начало текучести материала, оценивалось по третьей теории прочности (условие Треска-Сен-Венана):

$$\sigma_{\text{ЭКВ}}^{\text{III}} = \sigma_r - \sigma_\theta = \frac{2Pr_1^2 r_2^2}{(r_1^2 - r_2^2)r^2}.$$

Максимальные эквивалентные напряжения $\sigma_{\text{ЭКВ}}^{\text{III}}$ реализуются на внутренней поверхности образца при $r = r_2$. Для стали 08X18H10T условный предел текучести при температуре 300 °С равен $\sigma_{0,2} \approx 160$ МПа [3] и предельное состояние в стенке образца $\sigma_{\text{ЭКВ}}^{\text{III}} = \sigma_{0,2}$ достигается при наружном давлении $P_{\text{пр}} \approx 30,6$ МПа (рис. 5). Напряженное состояние в стенке образца при $P = 24,5$ МПа (упругое состояние) и при давлениях $P = 36,1$; 47,6; 55,5 МПа, вызывающих появление пластических деформаций, показано на рис. 6. При давлении $P = 36,1$ МПа область пластических деформаций составляет $\approx 0,3$ от толщины стенки образца (темно-серая область, рис. 6, в), при больших давлениях пластические деформации распространяются на всю толщину стенки образца (рис. 6, г). Таким образом, переход материала в стенке образца из упругого состояния в упругопластическое наступает в интервале давлений 24,5...36,1 МПа. На всю толщину стенки образца пластическая область распространяется в интервале давлений 36,1...47,6 МПа.

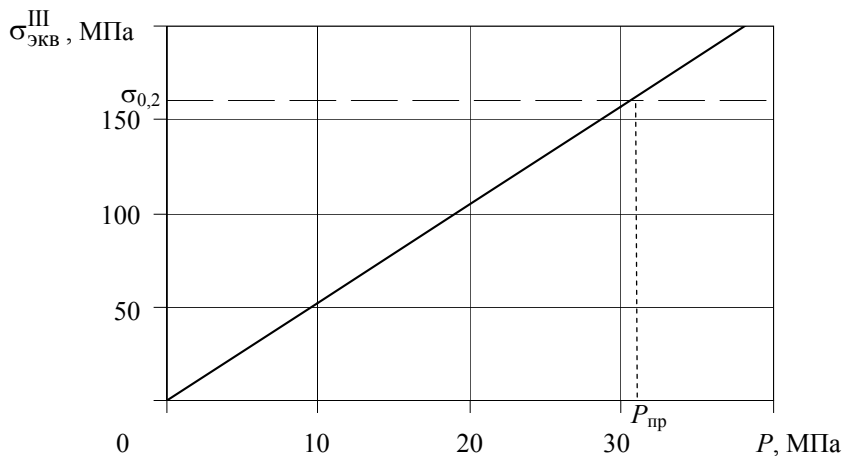


Рис. 5. Зависимость $\sigma_{\text{ЭКВ}}^{\text{III}}$ на внутренней поверхности образца от давления P

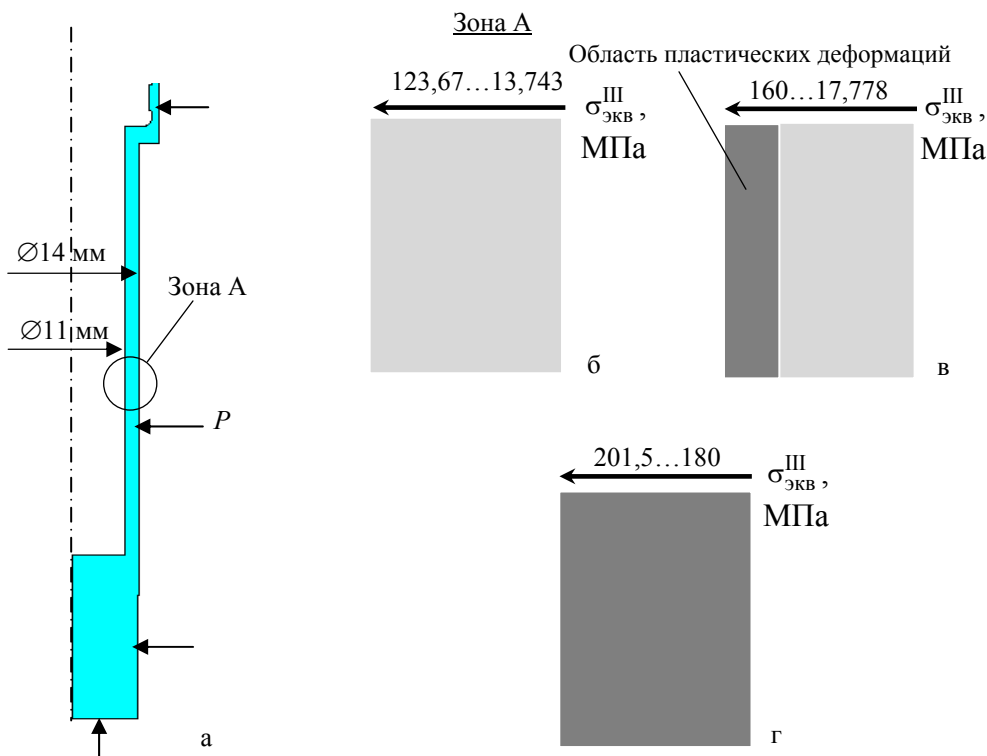
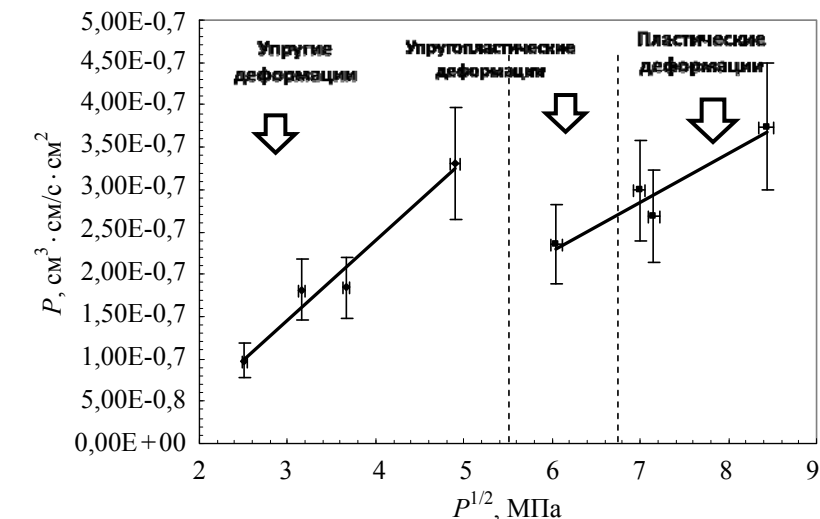


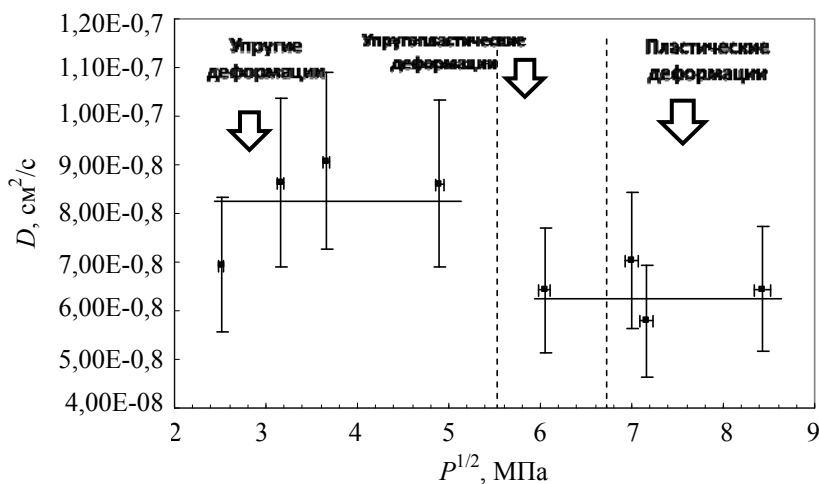
Рис. 6. Напряженное состояние в стенке образца при нагружении наружным давлением P : а – расчетная область; б – $P = 24,5$ МПа; в – $P = 36,1$ МПа; г – $P = 47,6$ МПа

Результаты и их обсуждение

Результаты проведенных исследований ВП приведены на рис. 7. Как видно, зависимость коэффициентов проницаемости и растворимости от квадратного корня из давления в упругой и пластической областях является линейной (рис. 7, а, в), т. е. отклонений от закона Сивертса не наблюдается. Диффузия в упругой и пластической областях, так же является линейной в пределах погрешности (рис. 7, б). При повышении давления водорода выше давления, вызывающего появления зоны пластических деформаций, т. е. ≈ 30 МПа, наблюдается скачкообразное уменьшение проницаемости и диффузии.



а)



б)

Рис. 7. Основные зависимости параметров ВП от квадратного корня из давления (см. также с. 155)

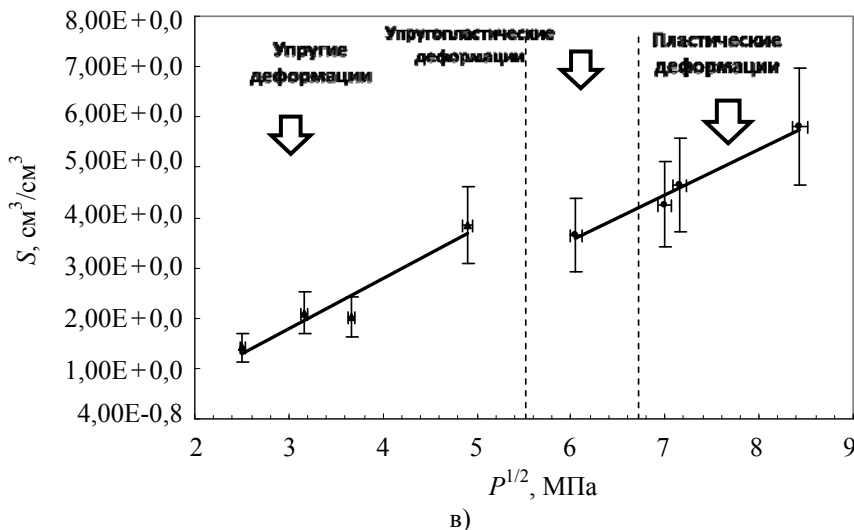


Рис. 7. Окончание

Заключение

Зависимость основных параметров ВП (проницаемость и растворимость) стали 08X18H10T от квадратного корня из давления является линейной в области упругих и пластических деформаций. Необходимо получить дополнительные точки для подтверждения линейности данной зависимости. Диффузия в упругой и пластической областях носит линейный характер. Однако с учетом того, что диффузия не зависит от величины давления скачкообразное уменьшение коэффициента диффузии необходимо провести дополнительные исследования для объяснения данного поведения.

При переходе от упругих к пластическим деформациям наблюдается изменение (падение) коэффициентов проницаемости, растворимости, диффузии водорода.

Список литературы

1. Вертей А. В., Фильчагин С. В., Юхимчук А. А. Установка для изучения водородопроницаемости конструкционных материалов // IHISM'08 Четвертая международная школа молодых ученых и специалистов. Тезисы докладов. Нижний Новгород. 2008. С. 194–196.
2. Писаренко Г. С., Яковлев А. П., Матвеев В. В. Справочник по сопротивлению материалов. Киев: Наукова Думка, 1975
3. Масленков С. Б., Масленкова Е. А., Стали и сплавы для высоких температур // Справочник. Кн. 1. М.: Металлургия, 1991
4. Арчаков Ю. И. Водородная коррозия стали. М.: Металлургия, 1985.

COMPARISON OF PARAMETRES PERMEABILITY OF HYDROGEN STAINLESS STEEL 08X18H10T IN THE FIELD OF ELASTIC AND PLASTIC DEFORMATIONS

A. V. Vertej, I. L. Malkov, A. A. Juhimchuk

RFNC-All-Russian Research Institute of Experimental Physics, Sarov

In the report results of definition of hydrogen permeability parametres for stainless steel 08X18H10T are presented for various levels of a tension. By results, dependence of basic kinetic permeability parametres of hydrogen (permeability and solubility) from a square root from pressure is linear in the field of elastic and plastic deformations.