

Механические характеристики
образцов стали 16ГНМ после электролитического
наводороживания

Таблица 1

Состояние поверхности образцов	Механические характеристики		
	предел прочности $\sigma_{пч}$, кг/мм ²	относительное удлинение δ , %	относительное сужение ψ , %
Без окисной пленки	62	21	49
С окисной пленкой (при обработке конденсатом)	51	5	6
С окисной пленкой (при обработке раствором трилона Б)	54	12	23

Из табл. 1 следует, что для стали 16ГНМ наводороживание слабо сказывается на величине предела прочности, однако существенно влияет на пластические свойства стали. Окисная пленка, получившаяся в результате воздействия чистого конденсата, не защищает сталь от наводороживания, что приводит к практически полной потере пластичности. Окисная пленка, появившаяся в результате трилонной обработки, в определенной мере защищает сталь от наводороживания, о чем свидетельствует существенно меньшая потеря пластичности. Это может быть объяснено различием в структуре окисных пленок, образованных в чистом конденсате и в растворе трилона Б [1]. В самом деле, и в том, и в другом случае проникновение водорода происходит лишь между кристаллами магнетита. В обычной окисной пленке кристаллы магнетита правильной формы и больших размеров не могут создать плотной упаковки. В имеющиеся между ними «щели» проникает водород, создавая повышенные локальные концентрации, которые и определяют пластические свойства всего материала. Более плотная упаковка меньших кристаллов магнетита неправильной формы, полученных после трилонной обработки, резко уменьшает размеры щелей между кристаллами и снижает локальные концентрации водорода. В результате пластические свойства материала ухудшаются в гораздо меньшей степени.

Аналогичное влияние трилонной обработки видно и из табл. 2 для сталей 22К и корпусной.

Механические характеристики
образцов сталей 22К и корпусной после
электролитического наводороживания

Таблица 2

Сталь	Состояние поверхности образцов	Механические характеристики		
		предел прочности $\sigma_{пч}$, кг/мм ²	относительное удлинение δ , %	относительное сужение ψ , %
Корпусная	Без окисной пленки	75	8	25
	С окисной пленкой (при обработке раствором трилона Б)	66	7	15
22К	Без окисной пленки	51	22	38
	С окисной пленкой (при обработке раствором трилона Б)	49	16	23

Таким образом, из вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. В результате периодической обработки комплексами улучшаются механические характеристики наводороживаемых сталей.

2. Трилонная обработка целесообразна не только для повышения общей коррозионной стойкости перлитных сталей, но и для предотвращения интенсивного наводороживания сталей.

Поступило в Редакцию 9/II 1970 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Г. Коночкин и др. «Атомная энергия», 27, 96 (1969).

Диффузионный индикатор водорода в натрии непрерывного действия

В. И. СУББОТИН, Ф. А. КОЗЛОВ, Э. К. КУЗНЕЦОВ, Н. Н. ИВАНОВСКИЙ, В. В. МАТЮХИН

УДК 621.039.534

При создании непрерывно действующего индикатора водорода в натрии был использован принцип диффузии водорода из натрия через никелевую стенку [1] в поток аргона, который транспортирует водород к вторичному прибору. Аргон имеет избыточное давление, и попадание воздуха в него невозможно. Другие неметаллические примеси натрия (O_2 , N_2 , C и др.) проникают через никель значительно хуже водорода, и поэтому выход их из натрия в поток аргона практически исключен.

Из уравнения материального баланса по водороду в стационарном режиме получаем

$$wf \frac{dP}{P_{Ar}} = \frac{u dF (\sqrt{P_1} - \sqrt{P})}{\delta}, \quad (1)$$

где w — скорость потока аргона, см/ч; f — площадь поперечного сечения полости аргона, см²; u — коэффициент водородопроницаемости никеля, н·см³/см·ч·атм^{1/2}.

δ — толщина стенки, см; P_1 — давление диссоциации водорода над натрием, определяемое по данным работы [2], атм; P — парциальное давление водорода в потоке аргона, атм; P_{Ar} — давление аргона, атм; F — поверхность диффузии, см².

Когда датчик выполнен из никелевой трубки с наружным диаметром d_1 , внутренним диаметром d_2 и длиной l , одна поверхность которой омывается натрием, другая — аргоном, протекающим по кольцевому зазору h , уравнение (1) преобразуется к виду

$$\frac{dy}{d\mu} = 1 - \sqrt{y}, \quad (2)$$

где

$$\mu = \frac{ulP_{Ar}d_1}{\delta wh \sqrt{P_1} d_2}; \quad y = \frac{P}{P_1}.$$

Интегрируя уравнение (2) с учетом, что при $\mu=0$ $y=0$, получаем

$$\mu = 2 [\sqrt{y} + \ln(1 - \sqrt{y})]. \quad (3)$$

Из решения этого уравнения следует, что парциальное давление водорода в потоке аргона становится близким к давлению диссоциации водорода над натрием при $\mu = 5,4$. Дальнейшее увеличение длины диффузионной трубки не приводит к заметному росту парциального давления водорода в аргоне.

В общем случае концентрация водорода в аргоне на выходе из никелевого датчика определяется из соотношения

$$C_{H_2} = \frac{P_1 y}{P_{Ar}} \cdot 100 \text{ об. \%}. \quad (4)$$

Отсюда видно, что для повышения чувствительности индикатора водорода в натрии необходимо увеличивать температуру натрия, длину никелевой трубки вплоть до $\mu = 5,4$ и уменьшать толщину трубки и расход аргона. Эти выводы были учтены при разработке датчика.

Схема индикатора водорода в натрии представлена на рис. 1. Проточный никелевый датчик представляет собой вваренный в натриевый контур сосуд, внутрь которого вмонтированы никелевые трубки. Наружная поверхность трубок омывается потоком натрия, а внутренняя — потоком аргона.

Основные конструктивные и рабочие параметры датчика: суммарная длина никелевых трубок 250 см; толщина никелевой трубки 0,1 см; наружный диаметр трубки 1,6 см; ширина кольцевого зазора — $5 \cdot 10^{-2}$ см; суммарная поверхность диффузии — 1180 см²; температура натрия 450°С; расход аргона 3,7 н.л/ч; давление аргона 1,2 атм; время прохождения аргона через датчик 1 мин.

В ряде опытов показания детектора теплопроводности контролировались хроматографом. Они подтвердили избирательность индикатора к водороду; в исследуемом газе в пределах чувствительности хроматографа не было обнаружено иных примесей, кроме водорода.

Испытание прибора проводилось на циркуляционном натриевом контуре, включающем в себя центробежный насос, нагреватель, холодную ловушку и другие узлы. Введение в контур воды и водорода производилось дозирующим устройством, установленным на проточной дыхательной емкости контура. Перед подачей примесей в контур холодная ловушка отключалась. Вес натрия в контуре составлял 150 кг без учета веса натрия в холодной ловушке.

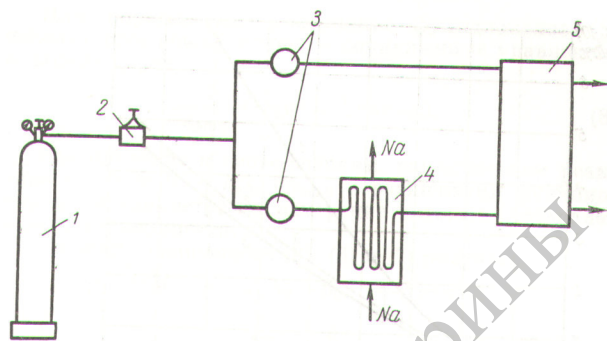


Рис. 1. Газовая схема индикатора водорода в натрии:

1 — баллон с аргоном; 2 — редуктор давления воздуха ИДВ-1; 3 — регуляторы расхода газа марки РРГ-1А; 4 — проточный никелевый датчик; 5 — детектор теплопроводности газа марки КАН-7.

Образцы записей на диаграммной ленте, характеризующие работу прибора, приведены на рис. 2. Из рисунка следует, что прибор уверенно реагирует на подачу 2 г воды, а время срабатывания составляет 3 мин. Этим прибором был зафиксирован выброс продуктов взаимодействия натрия с водой в контур при неправильном пуске холодной ловушки (см. рис. 2, б). Этот выброс объясняется перегревом холодной ловушки перед пуском. Когда при пуске отсутствуют нарушения

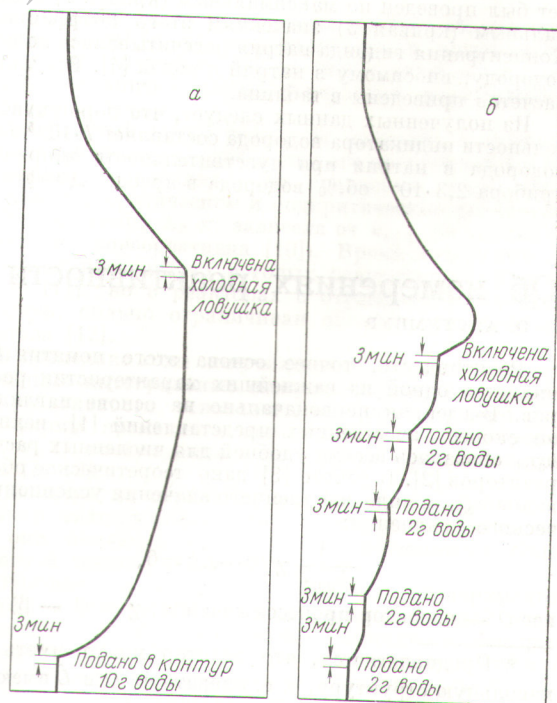


Рис. 2. Показания индикатора водорода в натрии:

а — загрязнение 150 кг натрия 10 г воды; б — загрязнение 150 кг натрия водой порциями по 2 г.

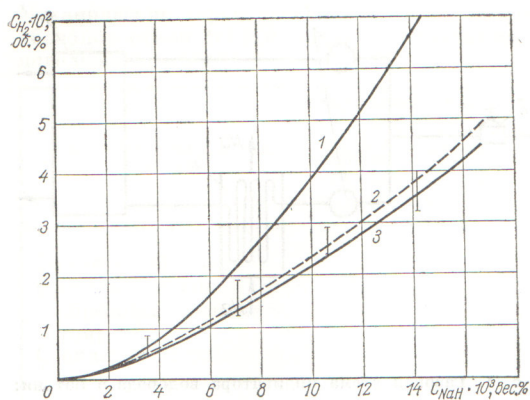


Рис. 3. Тарировка индикатора водорода:

1 — расчет по максимальному значению u ; 2 — эксперимент; 3 — расчет по минимальному значению u .

режима ловушки по температуре и расходу, загрязнение теплоносителя за счет выноса примесей из ловушки не происходит. После очистки натрия холодной ловушкой показания индикатора снижаются до первоначального уровня.

На рис. 3 приведено сравнение расчета показаний водородного индикатора с данными по тарировке. Поскольку в работе [3] приведены различные данные по коэффициенту водородопроницаемости никеля, расчет был проведен по максимальным (кривая 1) и минимальным (кривая 3) значениям этого коэффициента. Концентрация гидрида натрия рассчитывалась по всему водороду, вносимому в натрий с водой [4]. Результаты расчетов приведены в таблице.

Из полученных данных следует, что порог чувствительности индикатора водорода составляет $7 \cdot 10^{-5}$ вес. % водорода в натрии при чувствительности вторичного прибора $2,3 \cdot 10^{-2}$ об. % водорода в аргоне. Диффузион-

Результаты расчетов характеристик натрия при подаче различных количеств воды

Характеристика	Подача воды G_{H_2O} , г			
	2	4	6	8
$C_{NaH} \cdot 10^3$, вес. %	3,61	7,1	10,7	14,2
$P_1 \cdot 10^4$, ама	0,79	3,1	7,2	12,7
μ'	2,16	1,08	0,72	0,54
y'	0,74	0,51	0,4	0,33
$C_{H_2} \cdot 10^2$, об. %	0,49	1,32	2,40	3,44
μ''	6,26	3,14	2,08	1,56
y''	0,97	0,845	0,725	0,625
$C_{H_2} \cdot 10^2$, об. %	0,63	2,19	4,35	6,6
$C_{H_2}^{экс.} \cdot 10^2$	0,74	1,6	2,6	3,6

Примечание. Для величин с одним штрихом $u = 5 \cdot 10^{-3}$, с двумя штрихами $u = 1,45 \cdot 10^{-2}$.

ный датчик индикатора проработал на циркуляционном контуре с натрием 4000 ч без нарушения герметичности.

Поступило в Редакцию 3/II 1969 г.
В окончательной редакции 18/XII 1969 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. И. Субботин и др. «Атомная энергия», 20, 482 (1966).
2. D. Mc Clure, G. Halsey. J. Phys. Chem., 69, 3542 (1965).
3. С. Дешман. Научные основы вакуумной техники. М., «Мир», 1964.
4. Н. Н. Ивановский, Ф. А. Козлов. «Атомная энергия», 17, 406 (1964).

Об измерениях реактивности импульсными методами

Э. А. СТУМБУР

УДК 621.039.516

Реактивность, точнее основа этого понятия $k_{эфф}$, является одной из важнейших характеристик реакторов. Введенная первоначально на основе наглядных, но скорее качественных представлений [1], величина $k_{эфф}$ оказалась весьма удобной для численных расчетов реакторов [2]. В работе [3] дано теоретическое обоснование $k_{эфф}$ в виде собственного значения условнокритического уравнения:

$$\frac{1}{k_{эфф}} \chi \hat{Q} \psi - \hat{L} \psi = 0, \quad (1)$$

где $\hat{Q}$ — оператор процесса деления; $\chi \equiv (1 - \beta) \chi_p +$

* Предполагается, что реактор может иметь произвольную структуру, т. е. операторы $\hat{Q}$ и $\hat{L}$ имеют вид

$$\hat{Q} \psi \equiv \int v \Sigma_f(r, v') \psi(r', v') dv';$$

$$\hat{L} \psi \equiv \Omega \nabla \psi - \int \Sigma_s(r, v' \rightarrow v) dv' + \Sigma_t(r, v) \psi.$$

$+ \sum_{i=1}^m \beta_i \chi_i$ — спектр нейтронов деления; $\hat{L}$ — оператор рассеяния, утечки и поглощения*.

В настоящей работе рассматривается наибольшее собственное значение $k_{эфф}$, для которого решение $\psi(r, v)$ всюду неотрицательно.

Практическое осуществление $\psi(r, v)$ может быть достигнуто лишь для критического реактора, т. е. при $k_{эфф} = 1$. Во всех прочих случаях экспериментатор, имея дело с некритическим реактором, регистрирует поток нейтронов иного пространственно-энергетического распределения, чем $\psi(r, v)$. В основном это распределения, описываемые одним из двух уравнений:

$$\chi \hat{Q} \psi - \hat{L} \psi + S = 0; \quad (2)$$

$$\hat{\chi}_t \hat{Q} \psi - \hat{L} \psi + P_t = \frac{1}{v} \cdot \frac{\partial \psi}{\partial t}. \quad (3)$$