

ИНДУЦИРОВАННЫЕ ВОДОРОДОМ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ Pd – ПЛАСТИНЫ ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ 170°C

Е.Н. Любименко

Руководитель – профессор, д.т.н. Гольцов В.А.

Донецкий национальный технический университет, г.Донецк

e-mail: goltsov@physic.dgtu.donetsk.ua

Для решения многих научных и прикладных задач водородной энергетики и водородных технологий большой интерес представляют явления, в которых важную роль играют водородные концентрационные (ВК-) напряжения [1]. Одним из таких явлений является формоизменение металлических пластин.

Экспериментальное исследование водородоупругого формоизменения при 170°C проводили на палладиевой пластине (68×5.5×0.27 мм) при ее одностороннем насыщении водородом, где вторая сторона была предварительно электролитическим способом покрыта медью.

В первой серии экспериментов исследовали влияние давления водорода на формоизменение палладиевой пластины при ее одностороннем и быстром насыщении водородом и при последующей дегазации при 170°C. Эксперименты этой серии проводили по схеме, описанной в работе [2]. Характерные кривые временной зависимости стрелы прогиба образца в процессе бароупругого нагружения до давления водорода 3 и 9×10⁴ Па при 170°C и при последующей дегазации представлены на рис.1.

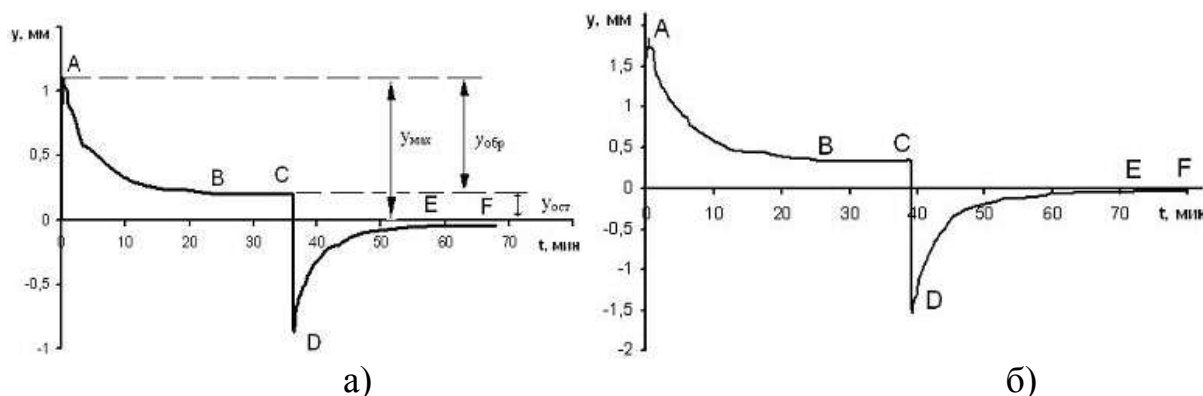


Рис.1. Временные зависимости стрелы при 170°C для давлений водорода: а – 3×10⁴ Па; б -9×10⁴ Па.

Как видно из рисунка 1а, после быстрого (за $t \sim 3$ с) повышения давления водорода в камере до 3×10⁴ Па стрела прогиба образца сначала в течение $t_{\max} = 22$ с интенсивно увеличивается от нуля до максимального значения $y_{\max} = 1,1$ мм (рис.1 а, точка А). По мере дальнейшего насыщения образца водородом стрела прогиба постепенно уменьшается (участок АВ) до 0.20 мм и время достижения стационарного состояния при этом составляет ($t_{\text{стац}}$) = 24 мин. Далее стрела прогиба стабилизируется и не изменяется в течение последующей выдержки ($t_{\text{доп}}$), равной 12 мин. Итак, как наглядно видно из рис. 3.1 а, образец практически возвращается в исходное состояние (участок ВС). Однако при

этом имеет место некоторое остаточное формоизменение ($y_{ост}$), равное 0.20 мм, т.е. 18 % от y_{max} .

При резкой дегазации камеры и образца за $t \sim 3$ с происходит полный сброс давления водорода ($P_{H_2} = 3 \times 10^4$ Па). Максимальное формоизменения $y_{max} = -0.87$ мм, достигается за $t_{max} = 30$ с (участок CD, рис.1 а). В процессе дальнейшей дегазации пластинка постепенно выпрямляется (участок DE) и в течение 23.16 минут приходит в стационарное состояние (участок EF), практически совпадающее с первоначальным положением образца (конечная стрела прогиба ($y_{откл}$) равна -0.04 мм, т.е. 4.6 % от y_{max}). В ходе дополнительной выдержки $t_{доп} = 9$ мин образец остался в этом положении.

При увеличении скачка давления водорода до 9×10^4 Па (рис.1 б) $y_{max} = 1.86$ мм за $t_{max} = 30$ с, то есть на 59% больше, чем при $P_{H_2} = 3 \times 10^4$ Па. В течение 27 мин изгиб уменьшается до $y_{ост} = 0.33$ мм (рис.1 б) и в ходе дополнительной выдержки в течении 11 мин находится в одном положении. При дегазации образца за 29 с $y_{max} = -1.51$ мм и за 39 мин от начала дегазации пластина приходит практически в исходное состояние ($y_{откл} = -0.04$ мм).

Итак, как видно из рис.1 а, б эксперименты при скачке давления 3×10^4 Па и 9×10^4 Па подтвердили практически полную обратимость (± 0.04 мм) формоизменения палладиевой пластины после полного цикла воздействия водородом: насыщение – дегазация и выявили зависимость поведения максимального формоизменения (y_{max}), его обратимой ($y_{обр}$) и остаточной ($y_{ост}$) составляющих от величин скачка давления водорода (P_{H_2}).

Подобные закономерности изменения максимальных и остаточных формоизменений наблюдались и для интервала $T = 100 - 150^\circ\text{C}$ [3]. Максимальное формоизменение определяется максимальным градиентом концентрации водорода, величина которого и время его достижения зависят как от величины давления водорода, так и от скорости подачи водорода.

Это подтверждают результаты экспериментов следующей серии, когда подачу водорода в камеру осуществляли с разной скоростью (v_{cp}) (табл. 1 и 2). Здесь P_1 и P_2 – исходное и конечное содержание водорода при каждом напуске и дегазации, ΔP_{H_2} – соответствующее изменение давления, n_1, n_2 , Δn – рассчитанные относительные концентрации водорода, соответствующие давлениям P_1 , P_2 и ΔP_{H_2} . Как видно из данных (табл. 1 и 2), скорость напуска водорода в камеру оказывает существенное влияние на величину максимального формоизменения и время его достижения.

В третьей серии экспериментов исследовали влияние исходного содержания водорода на формоизменение палладиевой пластины (табл. 1, 2). Эксперименты данной серии проводили по аналогичной методике, но напуск водорода осуществляли несколько раз, после выхода образца в стационарное состояние. Установлено, что характер изменения во времени формоизменения при дополнительном насыщении пластинки, исходно уже содержащей водород, практически не изменяется: максимальное формоизменение также наблюдаются в первые моменты насыщения или дегазации; за полный цикл водородного воздействия формоизменение практически полностью обратимое.

Как видно из данных (табл.1 и 2) практически совпадают вклады остаточного формоизменения в общее формоизменение.

Таблица 1.

Результаты по изучению обратимого изгиба Pd-пластинки, при скачках давления $5,5 \times 10^4$ и $9,5 \times 10^4$ Па

№		P_1 МПа	n_1 H/Pd	ΔP_{H_2} МПа	P_2 МПа	Δt с	$v_{ср.}$ МПа/с $\cdot 10^{-2}$	Δn H/Pd	n_2 H/Pd	y_{max} мм	Δt max, с	y_{min} мм	Δt_{min} мин	Δt доп, мм	y_{min} / y_{max} %
насыщение															
1	Pd	0	0	0,05 5	0,0 55	277	0,019 8	0,02	0,02	0,85	217	0,011	60	13	13
2	Pd H_x	0,05 5	0,02	0,09 5	0,1 5	106	0,090	0,025 8	0,04 58	1,28	106	0,12	44	53	9
Дегазация															
1	Pd H_x	0,15	0,04 58	0,15	0	45	0,33	0,045 8	0	-2,58	30	+0,05	27	13	2

Таблица 2.

Результаты по изучению индуцированного водородом обратимого изгиба пластинки палладия, при скачках давления 5×10^4 и 9×10^4 Па

№	спл ав	P_{H_2} МПа	n_1 H/Pd	ΔP_{H_2} МПа	P_{H_2} МПа	Δt с	$v_{ср.}$ МПа/с $\cdot 10^{-2}$	Δn H/Pd	n_2 H/Pd	y_{max} мм	Δt max, с	y_{min} мм	Δt_{min} мин	Δt доп, мм	y_{min} / y_{max} %
насыщение															
1	Pd	0	0	0,05	0,5	216 0	0,002 3	0,019 53	0,01 953	0,4	283	0,11	79	25	27,5
2	Pd H_x	0,05	0,01 95	0,09	0,14	5	1,8	0,023 65	0,04 318	1,63	30	0,11	37	50	6,7
Дегазация															
1	Pd H_x	0,14	0,04 32	0,14	0	30	0,46	0,043 1	0	2,52	48	0,06	53	10	2,4

Полученные результаты при 170°C позволяют выделить тенденции поведения формоизменения при изменении параметров водородного воздействия. Установление закономерностей влияния каждого из этих факторов на индуцированное водородом формоизменение палладиевой пластины – задача дальнейших исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Progress in Hydrogen treatment of materials // Edited by V.A. Goltsov. - Donetsk - Coral Gables: «Kassiopeya Ltd.», 2001. - 543 p.
2. Любименко Е.Н. Экспериментальное изучение водородоупругой деформации палладиевой пластинки // Сб. Тр. IX Межд. н.-т. Уральской школы сем. металловед. – молодых ученых. – Екатеринбург (Россия). – 2008. – С.92-94.
3. Гольцов В.А., Глухова Ж.Л., Упругое изменение формы палладиевой пластины под воздействием водорода // ФММ.–2000.–Т. 90, №4. – С68-73.