

## Формозмінення пружно напруженої паладієвої пластини при її двосторонньому насиченні воднем

М. В. Гольцова, кандидат технічних наук  
Р. В. Котельва

Донецький національний технічний університет, Донецьк

*Експериментально вивчено формозмінення (вигин) паладієвої пластини під впливом зовнішнього механічного напруження з наступними водневими впливами шляхом насичення пластини воднем та її дегазациї. При багаторазовому повторенні циклів водневої обробки (насичення воднем ↔ дегазация) залишковий вигин пластини з ростом числа циклів “накопичується”, і повний вигин пластини від сумарного зовнішнього і водневого впливів зазнає сильне і перманентне збільшення. Експериментально встановлено явище керованого водневофазового наклепу (ВФН-II роду) паладію шляхом його насичення воднем у межах утворення лише твердих розчинів водню  $\alpha\text{-PdH}_x$  з наступною дегазациєю сплаву  $\alpha\text{-PdH}_x$  до утворення безводневого зміцненого паладію. Обговорено фізичні принципи індукваного воднем залишкового додаткового вигину пружно напруженої пластини.*

Проблема жолоблення металів при нерівномірному впливі температурних полів і, відповідно, при виникненні температурних напружень у металі добре відома і враховується в технологіях термічної обробки металів. Явище індукваного воднем формозмінення металу має велике наукове і практичне значення у зв'язку з перспективами входження до життя термоядерної і водневої енергетики.

У роботах [1 – 3] було систематично вивчено явище формозмінення попередньо ненапруженої паладієвої пластини (60,0 x 5,5 x 0,27 мм) при її односторонньому насиченні воднем в ізотермічних умовах. Було встановлено, що механізм індукваного воднем вигину пластини принципово відмінний від вигину при її чисто механічному напруженні. Фундаментальна особливість механізму формозмінення металу, індукваного воднем, полягає в тому, що воно (формозмінення) завжди реалізується через утворення і розвиток у виробі тимчасового градієнтного матеріалу метал-водень. А саме, індукований воднем вигин пластини реалізується через утворення і ріст (від вхідної поверхні пластини) автолокалізованого шару градієнтного сплаву  $\alpha\text{-PdH}_n$ . У зв'язку з цим основні закономірності вигину пластини визначаються рівноважною розчинністю та “ідеальним” коефіцієнтом дифузії водню у паладії.

Добре відомо, що розширення кристалічних ґрат збільшує розчинність і прискорює дифузію водню в металі. Навпаки, стиск кристалічних ґрат викликає протилежні зміни розчинності і дифузії водню

в металі. У зв'язку з цим у даній роботі було поставлено задачу: експериментально вивчити формозмінення паладієвої пластини, попередньо підданої зовнішньому пружному вигину.

Для вивчення формозмінення паладієвої пластини під впливом водню на кафедрі фізики ДонНТУ було створено експериментальну воднево-вакуумну установку (ВВУ), що дозволяє проводити в широкому інтервалі параметрів спостереження і вимір зворотних і незворотних формозмін зразків. Установка дозволяє проводити баропружне напруження зразків воднем, спостерігати і вимірювати стрілу прогину консольно закріпленого зразка в ході експерименту.

Для дослідження формозмінення пластини використовували паладій, що містить наступні домішки (% по масі): Pt – 0,009, Rh – 0,002, Fe – 0,009, Si – 0,001.

З нього прокатили фольгу товщиною 0,2 мм і вирізали зразки у вигляді пластин розміром 65,0 x 5,0 x 0,2 мм. Зразки відпалювали у вакуумі (1,32 Па) при температурі 1000 °С протягом 3 годин і охолоджували з піччю до 20 °С.

Експерименти проводили за наступною схемою. Зразок одним кінцем жорстко закріплювали горизонтально в робочій камері ВВУ. Інший вільний кінець пластини навантажували, підвішуючи вантаж до 0,326 г, що викликало деякий початковий пружний вигин зразка.

Після монтажу зразка в камері для стабілізації його пружно напруженого стану проводили декілька термоциклів, нагріваючи і охолоджуючи зразок у вакуумі (2,5 Па) від кімнатної температури до температури, при якій проводили серію експериментів, у даному випадку при температурі 170 °С. Звичайно після 3 – 5 таких термоциклів зразок не реагував на подальші зміни температури. Далі порядок експерименту полягав у наступному. Стабілізований зразок нагрівали до заданої температури (що лежить вище температури гідридного перетворення), яку потім у процесі експерименту підтримували постійною. Витримували зразок у вакуумі при цій температурі протягом 30 хв і вимірювали стрілу прогину пластини. Потім здійснювали напуск у робочу камеру дифузійно-очищеного водню до заданого тиску і проводили двостороннє насичення пластини воднем за наступною схемою: наповнення камери воднем до заданого тиску – 10 хв, насичення воднем при даному тиску – 30 хв, відкачка водню з камери до вакууму – 10 хв, дегазація у вакуумі – 30 хв.

Зміщення вільного кінця пластини під впливом водню спостерігали через вікно робочої камери, вимірюючи величину зсуву  $y_1$  катетометром з точністю  $\pm 0,01$  мм. Витримка при заданому тиску водню тривала 30 хв, поки зразок не приходив у стаціонарний стан. Далі камеру дегазували, і водень евакуювався зі зразка до досягнення нового стаціонарного стану паладієвої пластини вже у вакуумі, це досягалося протягом 30 – 40 хв. Далі за даними вимірів будували тимчасові залежності зміни стріли прогину ( $\Delta y = y_0 - y_1$ ) вільного кінця пластини при її насиченні воднем, ізобаричній витримці і при наступній дегазації.

## Фазові перетворення

Відповідно до поставленої задачі паладієву пластину було необхідно попередньо навантажити механічно в межах пружних властивостей паладію шляхом підвищування вантажу на її вільний кінець. Оцінку можливої величини такого вантажу було проведено за методикою, описаною в [1]. Досліджували механічні вигини паладієвої пластини при її консольному напруженні підвищуванням на вільний кінець вантажів масою 0,5; 0,7; 1,0; 1,5 г. Після зняття цих вантажів пластини завжди цілком розпрямлялася. Цей результат узгоджується з результатами роботи [1], у якій показано, що вигин пластини залишається зворотним аж до величини підвішеного вантажу, рівної 3,0 г.

Відповідно до цих результатів подальші експерименти здійснювали в умовах, коли на вільний кінець пластини, змонтованої в установці ВВУ для вивчення формозмінення, підвищували вантаж, рівний 0,326 г. Цей вантаж викликав при кімнатній температурі у повітрі початковий пружний, зворотний вигин пластини зі стрілою прогину 1,16 мм. Далі робочу камеру ВВУ відкачували до вакууму, нагрівали пластину до 170 °С і здійснювали п'ять термоциклів (170 ↔ 20 °С). У результаті стріла прогину механічно навантаженої пластини збільшилася на 0,38 мм і стала складати  $y_0 = 1,54$  мм. При додатковій витримці у вакуумі протягом 30 хв величина механічного вигину пластини не змінилася,  $y_0 = 1,54$  мм у подальших експериментах було прийнято за нульову точку відліку.

Далі вивчали формозмінення пружно напруженої паладієвої пластини при її двосторонньому насиченні воднем ( $P_{H_2} = 0,02$  МПа) в ізотермічних умовах при 170 °С. Напуск водню здійснювали із середньою швидкістю 0,002 МПа/хв. Результати цього експерименту узагальнені на рис. 1, із якого слідує, що в прийнятих умовах двостороннє насичення

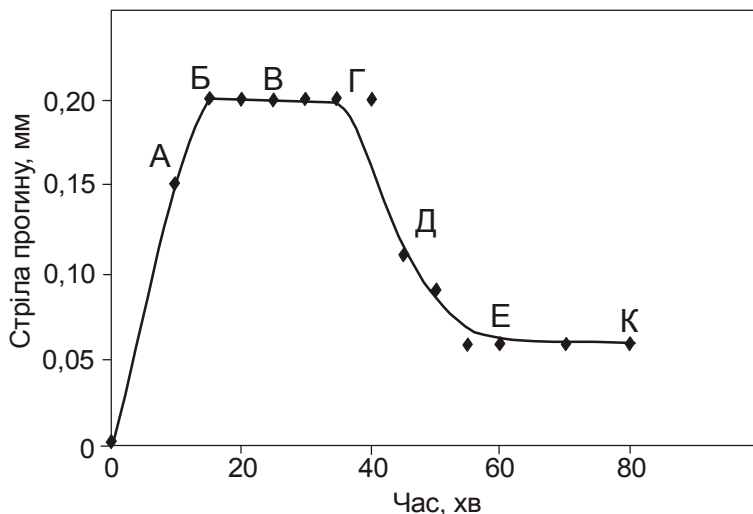


Рис. 1. Часова залежність стріли прогину попередньо пружно напруженої пластини при її двосторонньому насиченні воднем при  $P_{H_2} = 0,02$  МПа і подальшій дегазації ( $T = 170$  °С): ОА – ділянка додаткового вигину пластини при напуску водню; АБ – вигин пластини при  $P_{H_2} = \text{const}$ ; БВГ – ділянка насичення пластини при  $\Delta y = \text{const}$ ; ГДЕ – початок розпрямлення пластини при дегазації водню; ЕК – стаціонарний стан пластини.

## Фазові перетворення

воднем попередньо пружно напруженої паладієвої пластини приводить її до додаткового досить великого вигину так, що стріла прогину пластини в цілому збільшується на  $\Delta y = 0,20$  мм і досягає сумарної величини, рівної 1,74 мм.

Наступна дегазація пластини не спричиняє повного усунення додаткового вигину. При цьому має місце незворотний індукований воднем залишковий вигин пластини  $\Delta y_n = 0,06$  мм, що складає  $\sim 30\%$  від максимального додаткового вигину пластини. Відповідно, повний вигин пружно напруженої пластини після описаного водневого впливу складає 1,60 мм.

Становило інтерес порівняти результати вищеописаного експерименту (рис. 1) з формозміненням вільної, попередньо механічно ненавантаженої паладієвої пластини, що насичується воднем односторонньо. З цією метою далі вивчали індуковане воднем формозмінення паладієвої пластини за методикою, описаною в [1]. Вільна паладієва пластинка із мідним покриттям на одній стороні піддавалася односторонньому насиченню воднем при  $170^\circ\text{C}$  і тиску водню  $P_{\text{H}_2} = 0,03$  МПа. Результати експерименту узагальнено на рис. 2. Порівняння результатів експериментальних досліджень, описаних вище (рис. 1, 2), приводить до нижче сформульованих узагальнень.

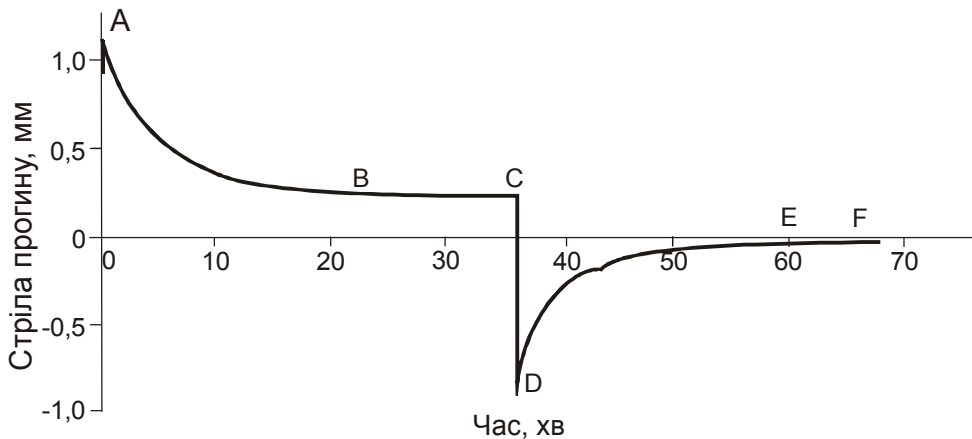


Рис. 2. Часова залежність стріли прогину вільної пластини при її односторонньому насиченні воднем при  $P_{\text{H}_2} = 0,03$  МПа і подальшій дегазації ( $T = 170^\circ\text{C}$ ): OA – інтенсивне збільшення до  $y_{\text{max}} = 1,10$  мм; AB – поступове зменшення стріли прогину при подальшому насиченні зразка; BC – стабілізація стріли прогину при подальшій витримці у водню; CDEF – зміна стріли прогину при різкій дегазації пластини.

Індуковане воднем формозмінення металу:

- у всіх можливих випадках обумовлено в головному виникненням, перерозподілом і релаксацією в металевому виробі некомпенсованих внутрішніх водневих концентраційних напружень;

- зовнішньо, макроскопічно виявляється найрізноманітнішим образом у залежності від особливостей його взаємодії з воднем, у залежності від форми і розмірів металевого виробу, рівня і характеру його пружно напруженого і фазово-структурного стану і т.д.

Далі проведемо порівняльний аналіз формозмінення пружно напруженої паладієвої пластини, що насичується воднем із двох сторін (рис. 1), з формозміненням вільної пластини, яка насичена воднем односторонньо (рис. 2), спираючись на феноменологічну модель формозмінення вільної пластини [1 – 3].

Так як у першому випадку (рис. 1) паладієва пластина насичується воднем із двох сторін, то на початковому етапі в пластині утворюються три різнорідних шари: шар 1 ( $\text{PdH}_{n_1}$ ), що росте від первинно розтягнутої поверхні; шар 2 ( $\text{PdH}_{n_2}$ , де  $n_2 < n_1$ ), що росте від первинно стиснутої поверхні і проміжний складно напружений шар 3, не насичений спочатку воднем.

Напруження розтягнення, що збільшують параметри ґрат, приводять до росту рівноважної розчинності ( $n_0$ ) і коефіцієнтів дифузії ( $D$ ) водню. Стискаючі напруження приводять до протилежних ефектів і викликають зменшення  $n_0$  і  $D$ . Відповідно, шар 1 градієнтного сплаву ( $\alpha\text{-PdH}_{n_1}$ ) у порівнянні із шаром 2 ( $\alpha\text{-PdH}_{n_2}$ ) буде мати трохи більшу довжину і більшу товщину. Ця різниця характеристик шарів 1 і 2 приводить до того, що шар 1 домінує, викликає формування великих воднево-конструкційних (ВК)-напружень, що обумовлює додатковий індукований воднем вигин пластини саме в ту ж сторону, що і первинне зовнішнє напруження пластини.

Розвинуті модельні уявлення добре узгоджуються з отриманими експериментальними результатами (рис. 1, 2). Наприклад, індукований воднем максимальний додатковий вигин пружно напруженої пластини (рис. 1) виявився істотно меншим, ніж максимальний вигин вільної пластини (рис. 2). Очевидно, що це обумовлено насамперед тим, що пружно напружена пластина піддавалася двосторонньому водневому впливу, і в ній утворювався не тільки шар 1 ( $\alpha\text{-PdH}_{n_1}$ ), але і шар 2 ( $\alpha\text{-PdH}_{n_2}$ ). Саме цей шар 2 формує “компенсаційну”, протилежно спрямовану систему ВК-напружень, що зменшує той очікуваний максимальний вигин пластини, що міг би бути викликаний “роботою” саме шару 1 ( $\alpha\text{-PdH}_{n_1}$ ), як це має місце при однобічному насиченні пластини воднем (рис. 2).

Існують інші принципові відмінності у поведінці вільної і пружно напруженої пластини при насиченні воднем. Так, повне насичення вільної пластини (рис. 2) характеризується спочатку винятково швидким досягненням максимального вигину, а потім при триваючому насиченні воднем вільна пластина розпрямляється (можна вважати практично цілком). Інакше поводить ся пружно напружена пластина: після досягнення максимального вигину подальше насичення воднем (рис. 1, ділянка БВГ) не обумовлює її розпрямлення – пластина дуже довго (25 хв) зберігає свій максимальний вигин.

Інший принциповий момент. Вільна насичена воднем пластина при її дегазації зазнає вигин у протилежну сторону, а потім у міру триваючої дегазації цілком розпрямляється до її первинного стану, тобто до насичення воднем (рис. 2). Нічого подібного ми не спостерігаємо при дегазації насиченої воднем пружно напруженої пластини. Як видно з рис. 1, дегазація пружно напруженої насиченої воднем пластини викликає лише деяке

## Фазові перетворення

зменшення раніше досягнутого нею максимального вигину. При цьому не тільки не спостерігається вигин у протилежну сторону, але (що важливо!) пластина, яка зазнає процес дегазації, не повертається до свого первинного стану, що мав місце до початку насичення її воднем. Іншими словами, насичення воднем і наступна (часткова чи повна) дегазація пластини переводить її в новий стан, що характеризується додатковою, індукованою воднем зігнутістю досить великою за величиною (0,06 мм).

Очевидно, що ці принципові “тонкі” особливості поведінки пружно напруженої паладієвої пластини при її двосторонньому насиченні воднем не можуть бути повною мірою осмислені в рамках сформульованих вище модельних представлень. Це – справа майбутнього.

У зв'язку з цим представлялося доцільним експериментально вивчити формозмінення паладієвої пластини при її зовнішньому механічному навантаженні і наступному водневому двосторонньому насиченні шляхом багаторазового повторення циклів “насичення воднем ↔ дегазація”. Результати виконаних експериментів узагальнено на рис. 3. Паладієву пластину після проведення описаної вище попередньої підготовки монтували в робочу камеру установки ВВУ. На вільний кінець пластини підвішували вантаж вагою 0,326 г. Відповідно пластина перетерплювала первинний пружний вигин зі стрілою прогину  $\Delta u = 1,51$  мм (рис. 3). Пружно напружену пластину нагрівали у вакуумі до 170 °С (витримка 30 хв), і подальші експерименти проводили в ізотермічних умовах при цій температурі.

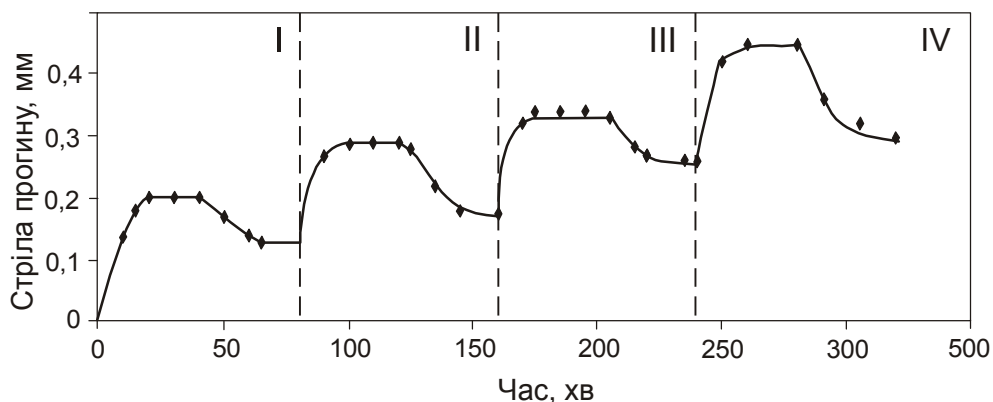


Рис. 3. Часова залежність стріли прогину пластини при її двосторонньому насиченні воднем при  $P_{H_2} = 0,05$  МПа і подальшій дегазації ( $T = 170$  °С) для чотирьох циклів “насичення ↔ дегазація”.

Усього було проведено за однією і тією ж схемою чотири цикли насичення пластини воднем при  $P_{H_2} = 0,05$  МПа і наступної її дегазації при беззупинній відкачці робочої камери. В усіх чотирьох циклах водневої обробки (рис. 3, цикли I-IV) пластина мала якісно однотипні зміни форми. При повільному підйомі тиску водню протягом 10 хв до  $P_{H_2} = 0,05$  МПа і при наступній тривалій витримці при цьому тиску (30 хв) первинний вигин пластини збільшувався на  $\Delta u \approx 0,16$  мм. При наступній дегазації пластина розпрямлялася не цілком (не до відповідного первинного стану). Цей її

## Фазові перетворення

новий стан був стабільним і не змінювався далі протягом тривалої додаткової витримки.

Іншими словами, після кожного чергового циклу водневої обробки первинний вигин пружно напруженої пластини збільшувався. У цілому після чотирьох циклів водневої обробки стріла прогину дегазованої пружно напруженої пластини збільшувалася в цілому на 20 % і складала тепер 1,81 мм. Цей експериментальний факт становить безсумнівний інтерес і з наукової, і з практичної точок зору.

Одна з можливих причин залишкового формозмінення паладієвої пластини по завершенні водневого впливу зв'язується [1 – 3] з можливістю розвитку при водневому впливі мікро- чи макропластичної внутрішньої деформації металу з генеруванням дефектів кристалічної будови. Слабке місце цієї гіпотези полягає в наступному: дотепер не відомо, чи може водневий вплив без розвитку гідридних перетворень викликати в сплавах  $\alpha$ -PdH<sub>x</sub> розвиток внутрішньої пластичної деформації. У зв'язку з цим далі було поставлено задачу експериментально відповісти на запитання – чи можливо в принципі досягти розвитку внутрішньої пластичної деформації в паладії при його циклічній обробці: насичення паладію воднем (з утворенням твердих розчинів  $\alpha$ -PdH<sub>x</sub>) і наступна дегазація. Іншими словами, чи можливо такою водневою обробкою викликати розвиток явища водневофазового наклепу другого роду (ВФН-II роду [4]) у твердих розчинах водню  $\alpha$ -PdH<sub>x</sub>.

Дослідження проводили на дрових зразках паладію  $\varnothing$  0,5 мм і довжиною 165 мм. Результати дослідження механічних властивостей деформованого паладію в стані постачання представлено в таблиці. У цій же таблиці приведено механічні властивості паладію, відпаленого при 750 °С протягом 1 год. Далі, використовуючи установку ВВУ-4, здійснювали експерименти по встановленню можливості ВФН-II роду і його впливу на механічні властивості паладію. Установка ВВУ-4 дозволяє здійснювати обробку у вакуумі ( $\sim 1,0$  Па) і у водні ( $\leq 4,0$  МПа) при температурах від кімнатної до 1100 °С і одночасно вимірювати питомий електроопір зразка-свідка для контролю насичення воднем зразків.

Механічні властивості паладію

Механічні властивості паладію	У стані постачання	Відпалений паладій	Число циклів водневої обробки		
			3	10	20
<i>l</i>	2	3	4	5	6
$\sigma_B$ , МПа	297	188	212	204	193
$\sigma_{0,2}$ , МПа	224	38	68	43	52
$\delta$ , %	1,1	33	15	18	12

Отже, після монтажу зразків в установку її відкачували до вакууму. Потім зразки нагрівали до температури 200 °С, і в робочу камеру подавали

водень до  $P_{H_2} = 0,3$  МПа, тривалість напуску водню склала  $\sim 1$  с. Ці умови експерименту були обрані, виходячи з того, що вони відповідають  $\alpha$ -області на фазовій діаграмі Pd-H, і бароциклювання в цих умовах забезпечує насичення паладію воднем без здійснення фазового гідридного  $\alpha \rightarrow \beta$ -перетворення. Тривалість насичення зразків воднем у цих умовах ( $200$  °С,  $P_{H_2} = 0,3$  МПа) складала 2 хв. Далі зразки дегазували при безупинній відкачці водню з робочої камери. Таку водневу обробку для першої, другої і третьої партії зразків було проведено, відповідно, у кількості 3, 10 і 20 циклів.

Після водневої обробки зразки витягали з ВВУ і випробували на розривній машині РМУ-0,05-1 із зусиллям 500 Н зі швидкістю розтягання 10 мм/хв. Результати іспитів узагальнено в таблиці. Як видно з таблиці, у стані постачання нагартований паладій є сильно зміцненим:  $\sigma_b = 297$  МПа,  $\sigma_{0,2} = 224$  МПа, а відносне подовження складає лише  $\delta = 1,1$  %. У результаті відпалу властивості міцності  $\sigma_b$  і  $\sigma_{0,2}$  закономірно і дуже знизилися, а відносне подовження дуже виросло (таблиця).

Із аналізу даних таблиці наочно видно, що циклічна воднева обробка приводить до істотного зміцнення металу (порівняйте стовпчики 4 – 6 і стовпчик 3). В умовах даного дослідження границя міцності  $\sigma_b$  зросла на  $\sim 13$  %, умовна границя текучості  $\sigma_{0,2}$  зросла на  $\sim 79$  %, а відносне подовження  $\delta$ , відповідно, зменшилося в  $\sim 2 - 3$  рази.

Цей науковий результат є фундаментальним. Вперше експериментально встановлено, що насичення паладію воднем у межах утворення лише твердого розчину водню  $\alpha$ -PdH<sub>x</sub> (утворення гідридної фази не мало місця) і наступна дегазація сплаву  $\alpha$ -PdH<sub>x</sub> з одержанням дегазованого паладію викликають сильне зміцнення первинно відпаленого паладію. Це означає, що при такому водневому впливі в паладії має місце ВФН-II роду. У ньому розвивається внутрішня пластична деформація, подрібнюється тонка структура і продукуються дефекти кристалічної будови (дислокації, вакансії, тощо) [4].

Виконані нами й описані вище експерименти показали, що при такому водневому впливі в паладії можуть розвиватися процеси мікро- і/чи макроскопічної деформації зі здрібнюванням структури і продукуванням дефектів кристалічної будови. Таким чином, ця причина спостереженого нами індукованого воднем залишкового формозмінення пружно напруженої пластини є фізично цілком обґрунтованою.

**Висновки** Експериментально вивчено формозмінення (вигин) паладієвої пластини під впливом зовнішнього механічного навантаження і при наступних водневих впливах шляхом насичення пластини воднем і її дегазації.

Первинно механічно вигнута пружно напружена паладієва пластинка при її двосторонньому насиченні воднем перетерплює додатковий вигин, що при наступній дегазації пластини лише частково зменшується (зворотна частина додаткового вигину) з досягненням досить великого залишкового стаціонарного вигину, додаткового до первинного вигину пластини.



При багаторазовому повторенні циклів водневої обробки (насичення воднем ↔ дегазація) залишковий вигин пластини з ростом числа циклів накопичується, і повний вигин пластини від сумарного зовнішнього і водневого впливів перетерплює сильне і перманентне збільшення, так що, наприклад, після чотирьох циклів стріла прогину пластини в цілому збільшується на 20 %.

Експериментально встановлено явище керованого водневофазового наклепу (ВФН-II роду) паладію шляхом його насичення воднем у межах утворення лише твердих розчинів водню  $\alpha$ -PdH<sub>x</sub> з наступною дегазацією до утворення безводневого зміцненого паладію. Досягнуте при ВФН-II роду сильне зміцнення паладію свідчить про здібнювання структури і продукування дефектів кристалічної будови в паладії й, у тому числі, при водневих впливах, використаних нами при вивченні формозмінення пружно напруженої паладієвої пластини під впливом водню.

### Література

1. Гольцова М.В., Любименко Е.Н. Особенности формирования градиентного сплава палладий-водород и формоизменение палладиевой пластины в процессе одностороннего насыщения водородом // Физика металлов и металловедение. – 2011. – 112, 4. – С. 393 – 403.
2. Гольцова М.В., Любименко Е.Н. Влияние температуры на формоизменение палладиевой пластины при её одностороннем насыщении водородом // Физика металлов и металловедение. – 2012. – 113, 2. – С. 150 – 158.
3. Гольцова М.В., Любименко Е.Н. Формоизменение палладиевой пластины при её одностороннем насыщении водородом: влияние скорости роста давления газообразного водорода // Физика металлов и металловедение. – 2012. – 113, 11. – С. 1073 – 1079.
4. Гольцов В.А. Явления, обусловленные водородом и индуцированными им фазовыми превращениями // Взаимодействие водорода с металлами. - М.: Наука, 1987. - С. 264 – 292.

Одержано 22.04.14

М. В. Гольцова, Р. В. Котельва

### Формоизменение упруго напряженной палладиевой пластины при ее двустороннем насыщении водородом

#### Резюме

Експериментально изучено формоизменение (изгиб) палладиевой пластины под воздействием внешнего механического нагружения с последующими водородными воздействиями путем насыщения пластины водородом и ее дегазации. При многократном повторении циклов водородной обработки (насыщение водородом ↔ дегазация) остаточный изгиб пластины с ростом числа циклов “накапливается”, и полный изгиб пластины от суммарного внешнего и водородных воздействий претерпевает сильное и перманентное увеличение. Экспериментально установлено явление управляемого

## Фазові перетворення

водородофазового наклепа (ВФН-II рода) палладія путем его насыщения водородом в пределах образования лишь твердых растворов водорода  $\alpha$ -PdH<sub>x</sub> с последующей дегазацией сплава  $\alpha$ -PdH<sub>x</sub> до образования обезводороженного упрочненного палладия. Обсуждены физические принципы индуцированного водородом остаточного дополнительного изгиба упругонапряженной пластины.

M. V. Goltsova, R. V. Kotelva

### Form-changing of elastically stressed palladium plate at its two-side saturation with hydrogen

#### Summary

There is experimentally studied palladium plate form-changing (bending) under external mechanic loading with following hydrogen influence by the plate hydrogen saturation and degassing. At multiple repetitions of hydrogen treatment cycles (saturation with hydrogen ↔ degassing) the residual bending of plate is accumulating and full plate bending is undergone strong and permanent increasing from total external and internal hydrogen influences. It is experimentally discovered an effect of controlled hydrogen phase strain hardening of palladium (2-nd type HPN). 2-nd type HPN is developing when palladium saturates with hydrogen in conditions of just solid solutions  $\alpha$ -PdH<sub>x</sub> formation with following  $\alpha$ -PdH<sub>x</sub> degassing up to formation of the dehydrogenated strengthened palladium. There are discussed physical principles of induced by hydrogen a residual additional bending of palladium plate.

### **Шановні колеги!**

**Триває передплата на науково-технічний журнал  
«Металознавство та обробка металів» на 2015 р.**

Для регулярного одержання журналу потрібно перерахувати вартість заказаних номерів на розрахунковий рахунок Фізико-технологічного інституту металів та сплавів НАН України.  
Вартість одного номера журналу – 30 грн., передплата на рік – 120 грн.

Ціна архівних номерів 1995 – 2013 рр. – 10 грн.

### **Розрахунковий рахунок для передплатників, спонсорів і рекламодавців:**

банк ГУДКСУ в м. Києві, р/р 31257201112215, код банку 820019.

Отримувач – ФТІМС НАН України, ЗКПО 05417153,

з посиланням на журнал "МММ".

Копію документа передплати та відомості про передплатника  
**просимо надсилати до редакції,**  
вказавши номер і дату платіжного документа.