

Ю.К Івашина., О.В. Немченко

Вплив сегрегацій водню на дислокаціях на амплітудну залежність внутрішнього тертя в системі Та-Н

*Херсонський державний університет
вул. 40 років Жовтня, 27, м. Херсон, 73000, тел.: 32-67-68, E-mail: baloow@ksu.ks.ua*

Досліджено амплітудну залежність внутрішнього тертя (АЗВТ) у твердих розчинах водню в танталі в діапазоні концентрацій 0÷5,5 ат. % Н. Виявлений складний, залежний від вмісту водню, характер зміни внутрішнього тертя (ВТ) в області амплітуд відносної деформації від 10^{-5} до 10^{-4} .

На основі аналізу АЗВТ виділено 4 складових ВТ. Дві з них, амплітудно-незалежний фон й мікропластична асимптота, не залежать від концентрації водню. Дві інші з ростом вмісту водню змінюються в протилежних напрямках, формуючи складну АЗВТ системи Та-Н у цілому.

Запропоновано можливі механізми формування концентраційно залежних складових ВТ на основі в'язкого гальмування дислокації водневою атмосферою й стопоріння зародками гідридної фази.

Ключові слова: внутрішнє тертя; амплітудна залежність; гідриди; Тантал; Водень; дислокації; сегрегації Водню.

Стаття постуила до редакції 10.01.2007; прийнята до друку 15.12.2007.

Система тантал - водень цікава для дослідження, як зручна модель, що поєднує в собі типовий метал з ОЦК решіткою і легкорухомою домішкою втілення, що слабо спотворює матрицю-розчинник, але активно взаємодіє з комплексом дефектів, що утворюють "реальну структуру" металу.

Різноманітні особливості впливу навіть малих кількостей розчиненого водню на властивості металу-розчинника, вочевидь, неможливо пояснити без урахування взаємодії атомів домішки з іншими дефектами кристалічної структури. Амплітудна залежність внутрішнього тертя (АЗВТ) - один з найбільш чутливих методів вивчення такої взаємодії.

Дослідження концентраційних залежностей критичної амплітуди відриву дислокацій та особливостей гістерезису АЗВТ змушує припустити, що в танталі, а тим більше в присутності водню, може діяти кілька різних механізмів гальмування дислокацій[1]. У літературних джерелах [2,3] розглядалася можливість утворення досить складної й навіть немонотонної АЗВТ внаслідок дії двох або більше механізмів гальмування дислокації в умовах циклічної деформації. На жаль, ці статті носять суто теоретичний характер і не розкривають конкретних механізмів, які могли б бути застосовані до системи Та-Н.

Для більше детального дослідження можливого набору таких гальмуючих факторів у танталі з воднем було поставлене завдання розділити експериментально отримані графіки АЗВТ на окремі

складові, які можна було б ототожнити з конкретними механізмами гальмування дислокацій.

Авторами була досліджена АЗВТ танталових зразків зі вмістом водню від 1 до 5,5 ат. %. Методики підготовки зразків і виміри АЗВТ аналогічні описаними в [1]. Отримані АЗВТ для чистого танталу і зразків з різним вмістом водню показані на рис.1.

Загальний характер отриманих АЗВТ узгоджується з літературними даними. Спостерігається явно виражена амплітудно-незалежна область при малих амплітудах відносної деформації $\varepsilon < 10^{-5}$. В області високих амплітуд усі графіки виходять на загальну асимптоту, легко пояснювану початком мікропластичної деформації, яка викликає появу нових дислокацій. Це підтверджується й появою гістерезису АЗВТ і результатами металографічних досліджень.

В області середніх амплітуд АЗВТ зразків з різним вмістом водню виявляється значно складнішою. АЗВТ чистого танталу, вимірювана авторами неодноразово і на багатьох зразках, демонструє явно виражений додатковий підйом при $\varepsilon \approx 2 \cdot 10^{-5}$, після чого знову починається амплітудно-незалежна область. Аналогічне поведіння АЗВТ ніобію і його сплавів відзначалося в [4]. Такий підйом, згідно[3], свідчить про дію на дислокації додаткових стопорів, які перестають працювати при досягненні даної критичної амплітуди $\varepsilon_{кр}$. В умовно "чистому" танталі такими стопорами можуть бути атоми азоту, кисню і, можливо, вуглецю, що

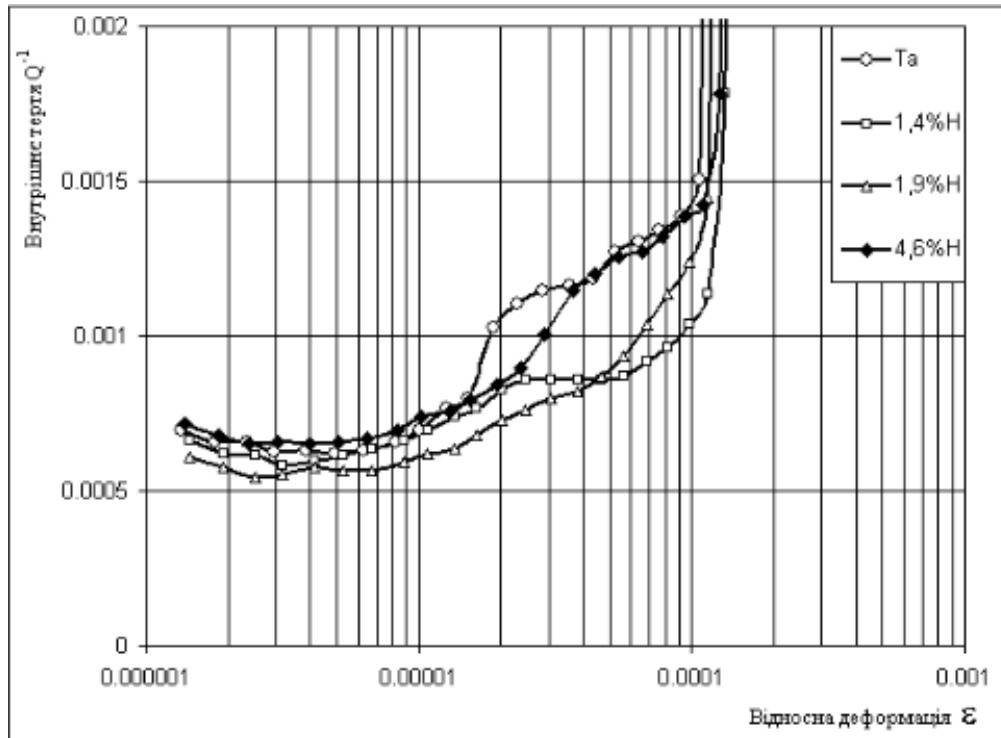


Рис. 1. Амплітудна залежність внутрішнього тертя в танталі при різних концентраціях водню.

спочатково були в металі або потрапили туди при випалюванні. Хоча проведені авторами контрольні вимірювання температурної залежності ВТ і не виявили піків Сноєка, що відповідають цим домішкам, присутність їхніх слідів цілком імовірна. Звільнившись від цих стопорів, дислокація здійснює коливання, залишаючись закріпленою у вузлах дислокаційної сітки, аж до амплітуд мікропластичної деформації. Таким чином, АЗВТ чистого танталу, що демонструє дві критичні амплітуди, цілком відповідає загальноприйнятим уявленням.

У присутності водню картина АЗВТ значно ускладнюється. При збільшенні вмісту водню, на АЗВТ відбувається одночасно як зниження, так і підвищення рівня ВТ у різних областях амплітуд деформації. Ефект спостерігається в діапазоні від першої критичної амплітуди, відзначеної для чистого танталу, до загальної для всіх зразків "мікропластичної" асимптоти. Автори раніше відзначали[1] аномальне поведіння АЗВТ, що виражається у вигляді максимуму концентраційної залежності $\epsilon_{кр}$, у танталі із вмістом водню $C_H \approx 1,3$ ат. %. У цій же роботі було запропоновано якісне пояснення аномалії на основі існування в системі Та-Н двох типів стопорів: "в'язких" і "крихких".

Подальші дослідження підтвердили існування аномалії і дозволили уточнити її деталі. Аналіз АЗВТ системи Та-Н в області малих концентрацій водню показав, що вона є сумою принаймні чотирьох складових.

Перша з них, це амплітудно-незалежний фон ВТ, в області відносних деформацій $10^{-6} \div 10^{-5}$, що практично не залежить від C_H , оскільки пік Сноєка для водню при частотах 40-50Гц лежить при

температурах значно нижче кімнатної, за нашим даними, близько 220К.

Друга складова, що виражається у вигляді різкого росту ВТ при $\epsilon > 10^{-4}$, обумовлена мікропластичною деформацією і викликаним нею розмноженням дислокацій. Цей ефект спостерігався багатьма авторами на різних матеріалах, наприклад[5].

Для подальшого аналізу АЗВТ ці дві складові були вирахувані з кожного графіка. Результати такої обробки для зразків зі вмістом водню, близьким до концентраційної аномалії $\epsilon_{кр}$, відзначеної при 1,4ат. % Н показаний на рис.2.

Представлені на рис.2 звільнені від фону графіки АЗВТ дозволяють виділити ще дві, відповідно 3 і 4 складові, протилежним чином залежні від вмісту водню.

Третя складова ВТ проявляється у вигляді зміни рівня горизонтальної ділянки, "плато" АЗВТ, що відповідає 2-й амплітудно-незалежній області вище 1-ї критичної амплітуди. При підвищенні вмісту водню рівень "плато" знижується й стає практично непомітним при $C_H > 2\%$, зливаючись із амплітудно-незалежним фоном вихідного танталу. Це означає, що дія механізму відкріплення дислокацій від стопорів, який працював у чистому танталі, блокується воднем, причому ступінь блокування, у першому наближенні, пропорційний C_H .

Цей ефект може бути обумовлений тим, що вже при малих C_H на дислокаціях відбувається утворення водневих атмосфер Коттрелла. Висока рухливість атомів водню дозволяє водневій атмосфері переміщуватися слідом за рухомою дислокацією при малих амплітудах коливань створюючи в'язке гальмування, нелінійно залежне від швидкості

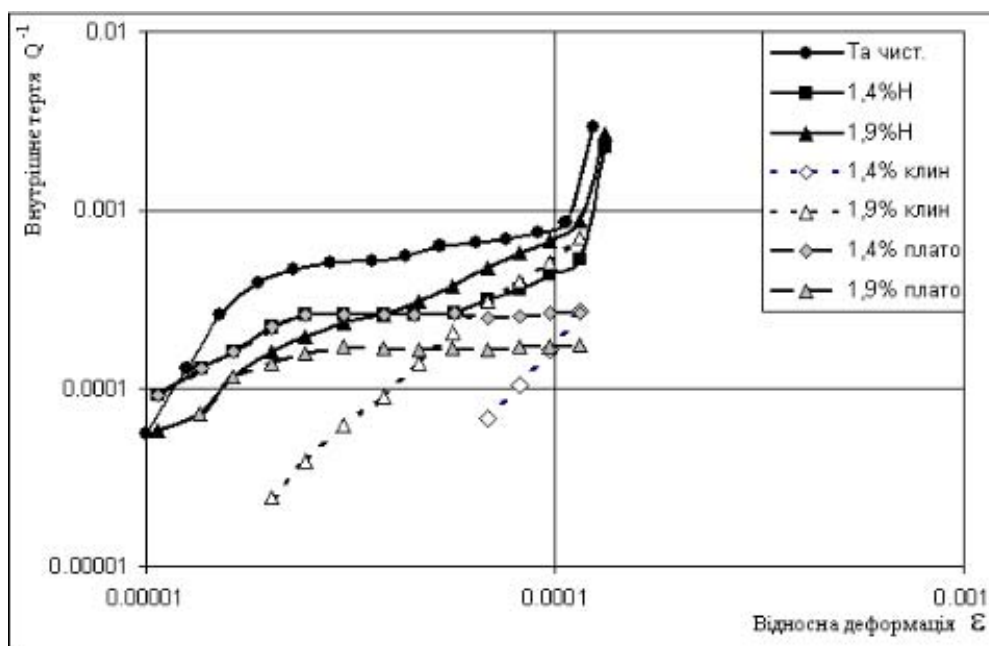


Рис. 2. Поділ АЗВТ у системі Та-Н на окремі складові.

переміщення дислокаційного сегмента.

Збільшення амплітуди коливань, і відповідно, швидкості руху дислокаційної петлі приводить до того, що воднева атмосфера вже не встигає рухатися разом з дислокацією і блокує переміщення останньої. Внутрішнє тертя перестає зростати, формуючи на АЗВТ майже горизонтальну ділянку. При підвищенні вмісту водню збільшується густина атмосфери і відповідно посилюється гальмуюча дія "в'язкого стопора", що й приводить до зменшення рівня внутрішнього тертя у 2-й амплітудно-незалежній області.

Четверта складова ВТ теж починає працювати при наявності водню й проявляється у монотонному зростанні АЗВТ, у міру наближення до мікропластичного асимптоти, формуючи на графіках своєрідний "клин". Причому, збільшення вмісту водню приводить і до підвищення висоти "клина", тобто внеску даного механізму в АЗВТ, і до зміщення його початку в область менших амплітуд деформації. У той же час кут нахилу клина залишається практично постійним (у логарифмічному масштабі), що свідчить про ступеневий характер залежності цього фактора від амплітуди деформації.

Такий ефект може бути пов'язаний з тим, що локальне зосередження водню у спотворених поблизу дислокацій областях кристалічної решітки приводить до утворення зародків гідридної фази вже при кімнатній температурі й при невисокому загальному вмісті водню в зразку[6]. Зародки гідридної фази не когерентні до основної решітки металу і не можуть переміщуватися слідом за рухомою дислокацією навіть при малих швидкостях.

З іншого боку, утворення некогерентних включень викликає у решітці металу локальні механічні напруження. Зовнішнє змінне напруження, викликане загальною деформацією зразку внаслідок коливань, накладається на попередньо напружену решітку. У разі співпадіння напрямків локального та

загального напружень можуть створитися умови, які спонукають утворення додаткових вільних дислокацій при амплітудах значно менших ніж ті, що викликають мікропластичну асимптоту. Нові дислокації, не загальмовані воднем та іншими домішками, здатні ефективно розсіювати енергію коливань, що і приводить до підвищення внутрішнього тертя при збільшенні амплітуди деформації.

Збільшення вмісту водню приводить до збільшення розмірів і кількості некогерентних включень у решітку металу. Підвищення локальних напружень поблизу порівняно великих зародків, які втрачають когерентність відносно решітки металу, створює передумови для утворення нових дислокацій при менших загальних деформаціях зразку, що відповідає зміщенню клина у область менших амплітуд. Відносно слабкі, але більш численні, зони локальних напружень навколо малих зародків включаються у процес генерації дислокацій при подальшому збільшенні амплітуди деформації, чим підвищують рівень "клина" при великих амплітудах.

Згідно[2], найлегше відриваються від стопорів найдовші дислокаційні сегменти. З ростом амплітуди коливань, і відповідно, відносної деформації, додатково активуються дислокаційні петлі все меншого розміру. Це також обумовлює подальше зростання внутрішнього тертя, тобто його "клинноподібну" залежність від ϵ .

Найбільше помітно спільна дія 3-ї й 4-ї складових ВТ для вже згадуваної концентрації водню 1,3-1,4 ат. %. Помітно знижене "плато" і ще недостатньо розвинений "клин" створюють враження про відсутність 1-ї критичної амплітуди або її співпадіння з мікропластичною асимптотою при цій концентрації водню.

При більших C_H , наприклад 1,9 ат. % "плато" практично повністю маскується "клином", а при подальшому підвищенні вміста водню зовсім

зникає.

Отримані результати підтверджують, що при відносно малих середніх вмістах водню в металі, які відповідають області твердого розчину, відбувається

локальне зосередження водневих атомів на дислокаціях, і поява некогерентних зародків гідридної фази, які в свою чергу, становляться джерелами генерації нових дислокацій.

- [1] А.В. Немченко, Ю.К. Івашина, М.Д. Смолин Концентрационная аномалия амплитудозависимого внутреннего трения в системе тантал – водород.// *Электронное строение и свойства тугоплавких соединений и металлов*. ИПМ АН УССР, Киев, сс. 34 – 38 (1991).
- [2] С.П. Никаноров, Б.К. Карадашев *Упругость и дислокационная неупругость кристаллов*. Наука, М. 253 с. (1985)
- [3] В.С. Постников *Внутреннее трение в металлах*. Металлургия, М. 351 с. (1974).
- [4] Т.В. Голуб, О.Н. Кашевская, Г.И. Прокопенко. Влияние высокочастотной ударной обработки на упругие и неупругие свойства молибдена и ниобия. // *Металлофизика, новейшие технологии*. **23** (6), сс. 811-819 (2001).
- [5] С.Н. Голяндин, С.Б. Кустов, К.В. Сапожников и др. Влияние температуры и деформации на амплитудно-зависимое внутреннее трение высокочистого алюминия.// *ФТТ*, **40**(10), сс. 1839 – 1844 (1998).
- [6] Ю.С. Нечаев. Характеристики гидридоподобных сегрегаций водорода на дислокациях в палладии.// *УФН*, **171**(11), сс. 1251–1261 (2001).

Y.K. Ivashina, O.V. Nemchenko

Hydrogen Segregation's Influence on Amplitude Dependent Internal Friction in Ta-H System

Kherson State University 40 Let Oktyabrya, 27, Kherson, 73000

The amplitude dependent internal friction in solid solutions of hydrogen in tantalum in a range of concentration 0÷5,5 at. % H is investigated. It is found out the complex dependence of internal friction from the hydrogen contents in a range of relative deformation amplitudes 10^{-5} to 10^{-4} .

Four components of the internal friction are selected. Two of them, the amplitude - independent background and the microplastic asymptote do not depend on concentration of hydrogen. Two other components are changed in opposite directions, with the growth of the hydrogen contents and forming the complex amplitude dependence of the whole system.

Possible mechanisms of concentration dependent components of internal friction are offered on the basis of viscous braking dislocation by hydrogen atmosphere and dislocation latching by grains of hydride phase.