ВЛИЯНИЕ УПОРЯДОЧЕНИЯ АТОМОВ ВНЕДРЕНИЯ И АНТИФАЗНЫХ ДОМЕНОВ НА ВНУТРЕННЕЕ ТРЕНИЕ В КАРБОГИДРИДЕ ТИТАНА $TiC_{0.50}H_{0.21}$

И.ХИДИРОВ, Д.И.СОТВОЛДИЕВ, С.З.ЗАЙНОБИДИНОВ

650 °С температурада киришма атомлари тартибланган $TiC_{0.50}H_{0.21}$ қотишмасидаги ички ишқаланишга нисбатан атомлари тартибсиз жойлашган котишмада (1000 °С да) ички ишқаланиш 3,5 марта, киришма атомлар ва антифазавий доменлар тартибланган қотишмада эса (450-550 °С да) 2,3 марта ката бўлиши аниқланди. Ички ишқаланишнинг антифазавий доменлар ва тартибланган атомлар жойлашишига бундай мураккаб боғланиши кристалл структурада ва антифазаваий доменлар чегарасида ультратовуш энергиясининг ютилиш характери билан тушунтирилади.

It was found that internal friction is 3,5 times greater in disordered alloy $TiC_{0.50}H_{0..21}$ (at 1000 ^{0}C), and at ordering of interstitial atoms and antiphase domains (at 450-550 °C) is 2.3 times greater than at ordering of interstitial atoms at 650 °C only. This kind of complicated dependence of the internal frictions from ordering implantation atoms and antiphase domains can be explained by character of ultrasound energy absorption in crystal structure and on the bound of ordering antiphase domains.

Упорядочение атомов и антифазных доменов (АФД) оказывает существенное влияние на макроскопические свойства металлических сплавов [1]. Однако влияние этих характеристик на свойства сплавов внедрения изучено крайне слабо. По-видимому, это связано с трудностями контроля степени упорядоченности в сплавах внедрения широко распространенным методом рентгенографии. В этом плане метод нейтронной дифракции обладает рядом преимуществ и позволяет контролировать состояние упорядоченности сплавов внедрения [2]. Например, согласно [3, 4], в гранецентрированном кубическом (гцк) неупорядоченном карбогидриде титана $TiC_{0,50}H_{0,21}$ (пространственная группа Fm3m), полученном путем закалки от температур 1200–1000 °С в вакуумированной и запаянной кварцевой ампуле, наблюдается ряд фазовых превращений в зависимости от температуры дальнейших отжигов. При температурах 900–800 °С в сплаве образуется гцк, частична упорядоченная фаза (пр. гр. Fd3m) с относительно большими неупорядоченными АФД размером ~20 нм. При температуре 650 °С в сплаве образуется гцк упорядоченная фаза (пр. гр. Fd3m) с неупорядоченными АФД, а при температурах 550–450 °С – гцк упорядоченная фаза (пр. гр. Fd3m) с упорядоченными малыми АФД размером меньше ~ 6 нм. Возникает естественный вопрос: как отразятся эти фазовые изменения в свойствах сплава? Цель данной работы – изучение влияния упорядочения атомов и АФД на внутреннее трение в карбогидриде титана $TiC_{0.50}H_{0.21}$, в котором более подробно изучены процессы упорядочения.

Методика эксперимента

Образец карбогидрида титана $TiC_{0.50}H_{0.21}$ приготовили по методике, описанной в [3]. Синтез и все термообработки проводили в вакуумированной и запаянной кварцевой ампуле для предотвращения выхода водорода из образца. Синтез проводили путем ступенчатого отжига в интервале температур 500–1100 ^{0}C. В качестве исходных материалов брали сажу марки «о. ч.», порошок титана марки ПТМ, содержащий, согласно данным химического анализа, 0,35 мас. % H_2. Состав конечного продукта определили методами химического и нейтроноструктурного анализов. Фазовый состав и однородность по составу контролировались рентгенографическим методом на ДРОН–3М (CuK_α-излучение, λ=1,5418 Å). Образец для измерения в форме диска получили путем прессования порошка сплава $TiC_{0.50}H_{0.21}$ под давлением $3\cdot10^6$ Па и дальнейшего спекания. Спекание образца проводили в вакуумированной и запаянной кварцевой ампуле в печи типа СНОЛ при температурах 1100–1000 ^{0}C в течение 24 ч. Затем образец закалили в воде для получения неупорядоченного состояния.

Измерения Q^{-1} проводили на дисковом образце карбогидрида титана диаметром d = 18 мм и толщиной h = 6 мм. Образец имел плотность $\rho \approx$ 4390 кг/м^3. Перед измерением поверхность образца шлифовалась. Внутреннее трение Q^{-1} измеряли

методом ультразвукового резонанса [5] на изгибных колебаниях в килогерцевом диапазоне частот, где отсутствует амплитудная зависимость поглощения. Такие частоты обеспечивают неискаженную передачу ультразвуковых сигналов в молибденовых звукопроводах малого диаметра (4 мм) и малое затухание ультразвука в них. Отношение ширины отдельного резонансного пика (Δf) на уровне $1/\sqrt{2}$ =0,707 от резонансного значения амплитуды колебаний к резонансной частоте ($f_{рез.}$), соответствующей максимальной амплитуде, характеризует внутреннее трение согласно формуле $Q^{-1} = \Delta f/f_{рез.}$ [5]. Ультразвуковые колебания в образцах возбуждали излучающим пьезопреобразователем титаната – цирконата свинца ТЦС-19, питаемым от генератора электрических импульсов звуковых частот. Измерение Q^{-1} проводили на воздухе при комнатной температуре после соответствующих термообработок образца. Внутреннее трение в образце определяли по резонансной частоте $f_{рез.}$= 151,23±0,02 кГц, при которой наблюдался наисильнейший резонансный максимум. Погрешность определения Q^{-1} не превышает 5 %.

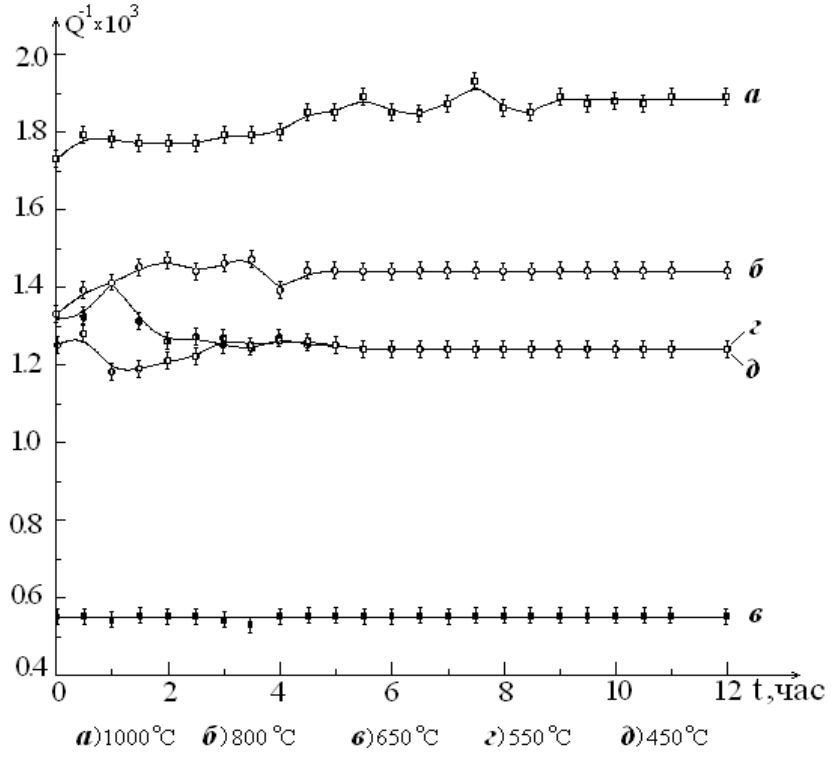


Рис. 1.
Временная зависимость внутреннего трения в карбогидриде титана $TiC_{0,50}H_{0,21}$ после закалки от различных температур

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Структурные состояния образца, соответствующие температурам 800 °С, 650 °С, 550 °С и 450 °С получили путем отжига по 24 ч и закалки неупорядоченного карбогидрида титана. Для получения неупорядоченного состояния образца перед каждым отжигом его отжигали при температуре 1000 °С в течение 7 ч и закалили в воде. Для получения температурную зависимость Q^{-1} сначала проверили его временную зависимость при комнатной температуре, возникающую из-за релаксации внутренних напряжений после закалки от различных температур (рис. 1). Такая зависимость Q^{-1} объясняется взаимодействием нестабильных закалочных дефектов и дислокаций [6]. Температурную зависимость Q^{-1} определили только после установления равновесного состояния системы, о чем свидетельствовало прекращение самопроизвольной временной зависимости Q^{-1} при измеряемой комнатной температуре после соответствующих термообработок. Как видно из рис. 1, после термообработки при температурах 1000 °С, 800 °С, 550 °С и 450 °С в сплаве при комнатной температуре наблюдается временная зависимость Q^{-1}, а в упорядоченном состоянии, соответствующем температуре 650 °С – практически отсутствует. Последнее обстоятельство объясняется наименьшим значением Q^{-1} и, соответственно, не большой флуктуацией в сплаве с упорядоченными атомами внедрения и неупорядоченными АФД большого размера. При таком состоянии сплава существенно меньше поглощение ультразвуковой энергии в результате упорядочения дефектов-вакансий (из-за заполнения вакансиями части междоузлий) и меньшей общей площади антифазных границ (АФГ). Установившееся внутреннее трение в сплаве, соответствующее различным температурам отжига представлено на рис. 2. Как видно из рис. 2, внутреннее трение в неупорядоченном сплаве $TiC_{0.50}H_{0..21}$ (при 1000 ^{0}С) в 3,5 раза, а при упорядочении атомов внедрения и антифазных доменов (при 450-550 ^{0}С) в 2,3 раза больше, чем при упорядочении только атомов внедрения при температуре 650 ^{0}С. Установленная зависимость Q^{-1} офазвых состояний сплава объясняется следующим образом. В неупорядоченном нестехиометрическом сплаве $TiC_{0,50}H_{0,21}$ углеродные вакансии статистически распределены по всем октаэдрическим меж-

доузлиям, а водородные вакансии – по всем октаэдрическим и тетраэдрическим междоузлиям кристаллической решетки [3]. Следовательно, происходит поглощение энергии ультразвука на всех междоузлиях кристалла и это обусловливает большое значение внутреннего трения Q^{-1}. В упорядоченном сплаве при температуре 650 °С вакансии занимают часть междоузлий, и соответственно уменьшается число центров диссипации ультразвуковой энергии. При этом неупорядоченные АФД не являются столь существенными препятствиями для распространения ультразвука из-за большого размера и меньшей общей площади АФГ. При 800 °С из-за низкой степени дальнего порядка [3] эффект уменьшения Q^{-1} не большой по сравнению с неупорядоченным состоянием, соответствующим температуре 1000 °С. При упорядочении антифазных доменов при температуре 550-450 °С в кристалле образуются многочисленные малые АФД с огромным числом АФГ между ними. При этом общая площадь АФГ растет, что приводит опять к увеличению поглощения ультразвука на АФГ.

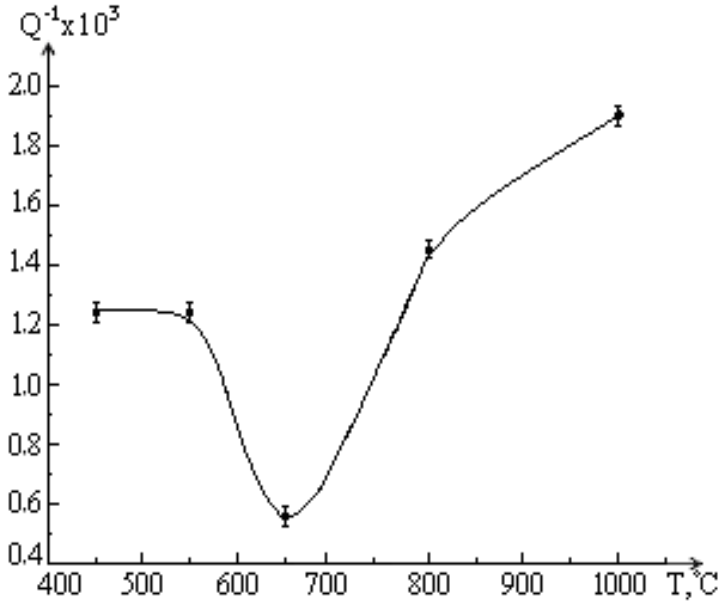


Рис. 2. Установившееся внутреннее трение в карбогидриде титана $TiC_{0,50}H_{0,21}$,соответствующее различным температурам отжига

Выводы

Изучено влияние упорядочения атомов внедрения (С, Н) и АФД на внутреннее трение Q^{-1} в карбогидриде титана $TiC_{0.50}H_{0..21}$. Обнаружена временная зависимость Q^{-1} в карбогидриде титана при комнатной температуре после закалки от температур 1000 °С, 800 °С, 550 °С , 450 °С в течение нескольких часов (3-8 ч.). Такая зависимость Q^{-1} в упорядоченном сплаве практически не проявляется из-за его небольшого значения, обусловленного заполнением дефектами-вакансиями только части междоузлий решетки. Установлено, что внутреннее трение в сплаве $TiC_{0.50}H_{0..21}$ в неупорядоченном состоянии в 3,5 раза, а при упорядочении атомов внедрения и АФД в 2,3 раза больше, чем при упорядочении только атомов внедрения. Такая сложная зависимость внутреннего трения от степени дальнего порядка атомов внедрения и АФД объясняется характером поглощения энергии ультразвука в кристаллической структуре и на границах упорядоченных АФД. Данный результат демонстрирует о возможности изменения структурночувствительных свойств сплава в широком диапазоне путем изменения степени упорядоченности атомов или АФД.

Работа выполнена в рамках проекта ФИ АН РУз № ФА-Ф2-Ф065.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Вакс В. Г. Упорядочивающиеся сплавы: структуры, фазовые переходы, прочность. // Соросовский образовательный журнал. -1997.- № 3. -С.115-123.

2. Нозик Ю., Озеров К. П., Хенниг К. Нейтроны и твердое тело. // Структурная нейтронография. Т. 1.- М.: Атомиздат,.1979.- 344 с.

3. Хидиров И., Султанова С. Х., Мирзаев Б. Б. И др. Фазовые превращения и упорядочение антифазных доменов в кубических карбогидридах титана на нижней границе области гомогенности // Международный журнал Альтернативной энергетики и экологии.- 2004.- № 11.- С. 8-14

4. Хидиров, С.Х. Султанова, Б. Б. Мирзаев и др. Длиннопериодная структура в карбогидридах титана // Ж.урнал неорганической химии.- 2005.- Т.50.- №8.- С.1254-1258.

5. Баранов В. М. Акустические измерения в ядерной энергетике.- М.: Энергоатомиздат, 1990.

6. Троицкий О. А. Радиация и прочность твердых тел. –Т.: Узбекистан, 1973.- 116 с.

ЎзФА Ядро физикаси институти,
Андижон давлат университети
2010 йил 15 февралда қабул қилинган