

Відгук

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Гончарової Ірини Вадимівни

“ Визначення методом індентування фізико-механічних властивостей матеріалів з різною кристалографічною структурою ”,

висунутої на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла.

Останнім часом для визначення механічних властивостей матеріалів широко використовуються різні методи індентування. Це обумовлено, в першу чергу, використанням нових матеріалів (аморфні і нанокристалічні плівки, об'ємне металеве скло, високоміцна конструкційна кераміка, надвисокоміцні конструкційні сплави, інтерметаліди, тощо), які характеризуються високим рівнем міцності і незначною пластичністю. При використанні стандартних випробувань на одновісний розтяг для визначення механічних властивостей таких матеріалів виникають значні труднощі, які обумовлені, у більшості випадків, їх крихкістю. У зв'язку з чим актуальною проблемою сьогодення є розробка уявлень щодо фізичної природи характеристик, які отримуються шляхом індентування та встановлення зв'язку цих характеристик з мікроструктурою матеріалу. В першу чергу це стосується можливості отримання кількісної інформації щодо пластичності матеріалу за результатами таких випробувань. Все це обумовлює актуальність дисертаційної роботи Гончарової І.В. Ця робота виконувалась в рамках чотирьох бюджетних тем Інституту проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України та міжнародного проекту УНТЦ №1997

Дисертаційна робота складається із вступу, шести розділів, висновків та списку використаних джерел з 148 найменувань.

У **першому** розділі обґрунтована актуальність теми, сформульована мета і основні задачі досліджень, вказана наукова новизна, практична та теоретична цінність отриманих результатів. Крім того, в цьому розділі подано огляд сучасних досягнень у використанні індентування з метою отримання інформації щодо механічних властивостей матеріалів. Коротко викладені основні існуючі уявлення про фізичну природу температурної залежності величини границі текучості та твердості металів. Розглянута проблема визначення величини пластичності матеріалів за результатами індентування. За результатами огляду сформульовані задачі досліджень.

У **другому** розділі обґрунтовано вибір матеріалів та викладена методика досліджень. Слід відмітити, що методики, які були використані в роботі, дозволили побудувати криві деформаційного зміцнення сплавів та отримати експериментальні значення твердості в широкому інтервалі низьких ($-196^{\circ}\text{C} \dots +20^{\circ}\text{C}$) та високих (до 900°C) температур. Для проведення мікроструктурних досліджень використовувалась оптична, просвічуюча та скануюча мікроскопія. В цілому, методичне забезпечення було достатнім для досягнення поставленої в роботі мети та забезпечення достовірності отриманих результатів.

У **третьому** розділі запропонована методика визначення показника пластичності δ_n матеріалів із врахуванням пружної деформації індентора. Наведені результати експериментального визначення твердості та величини δ_n на широкому класі матеріалів. Показано, що запропоновану методику слід використовувати для визначення пластичності надтвердих матеріалів, тугоплавких сплавів, ковалентних кристалів. Для інших матеріалів придатними є залежності, які не враховують пружну деформацію індентора. В роботі встановлені співвідношення між модулями пружності і твердістю, які дозволяють оцінити коректність використання першого чи другого наближення.

В цьому розділі розглядається також фізична природа та закономірності впливу температури на характеристику пластичності δ_n . Ідея підходу полягає в тому, що нехтується температурна залежність модуля пружності та коефіцієнта Пуассона. За таких умов величина пластичності δ_n однозначно зв'язана з твердістю. Стосовно останньої вважається, що вона пропорційна умовній границі текучості σ_s . В рамках такого підходу температурна залежність пластичності δ_n контролюється тими ж механізмами, що і температурна залежність σ_s . При цьому лише слід враховувати обернену залежність δ_n від σ_y , тобто зростання σ_s обумовлює зменшення δ_n .

Основний результат цього розділу полягає в розробленій методиці експериментального визначення характеристики пластичності δ_n для матеріалів з високим рівнем твердості, отриманні експериментальних даних щодо величини δ_n для матеріалів з різним типом міжатомного зв'язку і різною кристалічною структурою, а також аморфних металевих сплавів та квазікристалічних матеріалів. Слід також відмітити запропоновану методику прогнозування величини δ_n для $T=0\text{ K}$, яка дозволила для різних матеріалів оцінити рівень δ_n при $T=0\text{ K}$.

У **четвертому** розділі розглядається питання побудови кривих «напруження-повна деформація» за результатами випробувань на твердість. Ідея підходу полягає в використанні залежності величини середньої повної деформації під тригранним

індентором від величини кута при його вершині. При цьому постулювалось, що твердість однозначно зв'язана з рівнем напруження плинності матеріалу. Для сталей 45, У8 та титанового сплаву ВТ6 проводились стандартні випробування на одновісний розтяг та стиск, що дозволило співставити деформаційні криві, які отримані за результатами індентування та прямим методом. Для досліджених матеріалів в інтервалі деформацій до 40% встановлений задовільний збіг даних випробувань на одновісний стиск з результатами індентування, які були перераховані за співвідношенням Тейбора.

Отримані результати значно розширюють можливості використання індентування як ефективного методу неруйнівного контролю та атестації матеріалів, зокрема тих, які продукуються у вигляді плівок, чи мають суттєво неоднорідну структуру.

Слід також відмінити результати досліджень механізмів пластичної деформації сплавів системи Сг-Мп, які схильні до двійникування, а в умовах одновісного розтягу руйнуються крихко. Використання запропонованої методики дозволило побудувати деформаційну криву для цього крихкого матеріалу, а також показати роль двійникування в процесі деформації сплавів Сг-Мп.

У **п'ятому** розділі досліджувався вплив пористості на температурну залежність твердості карбідокремнієвої кераміки. Основним здобутком цих досліджень можна вважати розроблену методику ідентифікації механізмів, які контролюють рівень твердості матеріалу. Показано, що такими механізмами можуть бути: пластична деформація за дислокаційним механізмом, двійникування, фазовий перехід під тиском або розтріскування матеріалу.

Результати досліджень, які наведені у **шостому** розділі, мають прикладне спрямування і стосуються використання індентування з метою отримання інформації щодо зміни механічних властивостей металу у локальній області мішені в околі каналу проникнення ударника. За результатами цих досліджень побудовані карти розподілу мікротвердості HV, залишкової деформації ϵ_p та характеристики пластичності δ_n в околі каналу проникання ударника в мішені із алюмінієвого сплаву АМr5. Крім того, було показано, що спираючись на ці результати, можна дати нижню оцінку величини роботи, яка була витрачена на пробивання мішені.

Зауваження:

1. Не зовсім зрозуміло, який зв'язок між розривною машиною Р1246 і машинами для механічних випробувань типу INSTRON, про який говориться в другому розділі роботи (ст. 75).

2. Безпосередньо з тексту дисертаційної роботи не зрозуміло, які фізичні припущення використовувались при отриманні однієї із ключових, у даній роботі, залежностей (3.6), що не дозволяє оцінити її теоретичну обґрунтованість.
3. У третьому розділі при встановленні зв'язку між показником пластичності δ_n та умовною границею текучості σ_s , допущена помилка, яка полягає у твердженні, що величина умовної границі текучості визначається при фіксованій величині *повної* деформації (ст. 97). Як відомо, критерієм визначення умовної границі є фіксоване значення *пластичної* деформації. Класичним прикладом цього є стандартна характеристика $\sigma_{0,2}$. При цьому, необхідною умовою визначення показника пластичності δ_n є підтримання постійного значення саме *повної* деформації (пружної плюс пластичної). Це порушує однозначність зв'язку між δ_n та σ_s , існування якого постулюється в даному підході. Проте з практичної точки зору похибка, яка зумовлена цією помилкою, не є критичною, особливо коли мова йде лише про порівняння різних матеріалів за величиною δ_n .

Зауваження до оформлення роботи:

В цілому робота гарно оформлена, проте зустрічаються деякі описки, наприклад, на ст..100. В підписах до рис.3,3 не розшифровано всі позначення; на рис. 6,5 позначення на осі ординат і в підписі до рисунка не співпадають.

Вказані зауваження не ставлять під сумнів основні результати роботи, їх новизну, наукову та практичну цінність.

Дисертаційна робота Гончарової І. В. виконана на високому науковому рівні. В ній сформульовані фізичні уявлення щодо основних мікромеханізмів пластичної деформації, які реалізуються при індентуванні матеріалів у широкому інтервалі температур, та встановлені закономірності впливу на ці механізми та характеристики, які визначаються при індентування, структури матеріалу.

Прикладне значення роботи полягає в тому, що отримані результати мають принципове значення для розвитку методів неруйнівного контролю матеріалу елементів конструкцій, та атестації крихких високоміцних матеріалів, особливо коли вони продукуються у вигляді плівок. Це стосується також можливості отримання інформації щодо механічних властивостей різного типу покриттів.

Дисертаційна робота оформлена у відповідності до вимог до кандидатських дисертацій, її основні результати опубліковані у 18 статтях, з них 9 статей у фахових виданнях. Результати досліджень пройшли апробацію на 7 представницьких наукових конференціях і подано в працях та тезах цих конференцій. Аналіз зазначених публікацій дозволяє стверджувати, що вони досить повно відображують зміст дисертаційної роботи. Основні результати дисертаційної роботи викладені в авторефераті.

Вважаю, що за актуальністю тематики досліджень, об'ємом, новизною та достовірністю отриманих результатів, за науковим та практичним значенням, робота відповідає вимогам до кандидатських дисертацій, а їх автор Гончарова Ірина Вадимівна заслуговує присудження наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07 фізика твердого тіла.

Завідувач відділу фізики міцності та руйнування

Інституту металофізики

ім. Г.В. Курдюмова НАН України,

доктор фізико-математичних наук, професор

С.О. Котречко

Підпис С.О. Котречко засвідчую:

Учений секретар Інституту металофізики

ім. Г.В. Курдюмова НАН України

кандидат фізико-математичних наук



Є. В. Кочелаб