

PACS: 61.72.-y

М.О. Цисар, Р.С. Шмигера

ВПЛИВ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ШАРУ НА ШОРСТКІСТЬ ПОВЕРХНІ

Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України
вул. Автозаводська, 2, м. Київ, 04074, Україна

Проведено дослідження впливу виникаючого функціонального шару на монокристалі вольфраму на фізико-механічні властивості його поверхні на наномасштабному рівні. Показано, що функціональний шар, що виникає за п'ять днів, має більш гладку поверхню та більш високі фізико-механічні властивості, ніж сам монокристал вольфраму.

Нами було проведено серію випробувань на поверхні монокристалу вольфраму. Ціль випробувань – підтвердити факт згладжування поверхні монокристалу та підвищення фізико-механічних властивостей за рахунок виникнення функціонального шару. Зразок був попередньо оброблений, з його поверхні видалено функціональний шар методом хімічного травлення (в водному розчині NaOH). Випробування проводились на сканівному тунельному мікроскопі з алмазним вістряем, що розроблялось в Інституті надтвердих матеріалів, та нанотвердомері Nano Indenter II (MTS Systems, США). Серія експериментів представляла собою багатократне сканування однієї і тої самої поверхні.

З літератури відомо, що для більшості випадків функціональний шар на поверхні зразка виникає через 24 години на відкритому повітрі [1,2], після цього він продовжує наростати, проте цей процес уповільнюється. Нами було обрано витримку в 5 діб, таким чином ми могли із впевненістю стверджувати, що функціональний шар існує.

Опис експериментальних результатів

Звернемо увагу на те, що на трьохвимірних зображеннях поверхні монокристалу вольфраму без функціонального шару (рис. 1,а) ми бачимо відносно пологий рельєф з характерними сплесками. Їх можна охарактеризувати як машинну похибку або домішки на поверхні. У випадку, коли на поверхні зразка є функціональний шар, структура стає блочною або навіть повністю плоскою (рис. 1,б). Однак шорсткість в даному випадку нижче, навіть судячи з зображень.

Експериментально було показано зниження шорсткості для поверхні з функціональним шаром порівняно з поверхнею, на котрій він відсутній (рис. 2).

В якості оціночних параметрів шорсткості були обрані R_t , R_z та R_a у зв'язку з тим, що вони безпосередньо характеризують висоти профілю (концентратори напружень) по максимальній висоті, по десяти точках і по всіх точках поверхні.

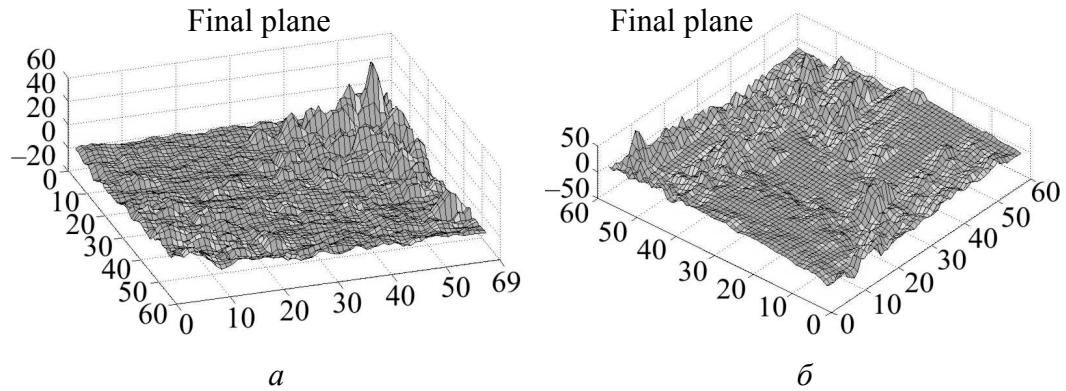


Рис. 1. Трьохвимірне СТМ-зображення поверхні вольфраму: *a* – без функціонального шару, розмір кадру 60×60 нм; *б* – з функціональним шаром, блочна структура, розмір кадру 60×60 нм

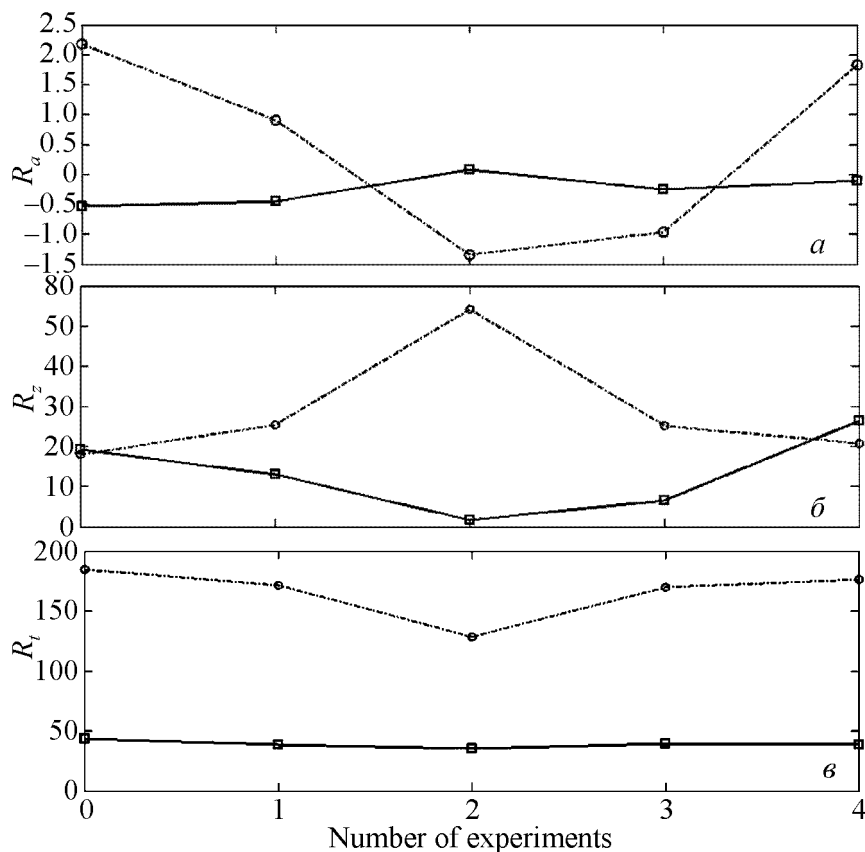


Рис. 2. Графіки середньої арифметичної шорсткості (*a*), середньої шорсткості по десяти точках (*б*) та розмаху висот (*в*): --○-- – поверхня монокристалу вольфраму без функціонального шару, —□— – поверхня вольфраму з функціональним шаром

Всі графіки було побудовано на базі п'яти точок відповідно до циклів випробувань. Кожна точка відповідає середньому значенню шорсткості для циклу. Так, на графіку рис. 2 показано зміну R_a , R_z , R_t ; для цих величин спостерігається двократне зменшення значення у випадку поверхні без функціонального шару.

Максимальні напруження зсуву в зоні відбитку після проходження пружної зони сягають 9.6 GPa. Наявність функціонального шару підвищує границю текучості, згідно з діаграмою навантаження вона збільшується до 23 GPa. Основною причиною зростання границі текучості є зменшення ефективності локальних концентраторів напружень [3] (зменшення шорсткості поверхні) в зоні контакту внаслідок формування функціонального шару.

Висновки

На основі експериментальних даних ми можемо зробити висновки, що гіпотеза про вирівнювання поверхні завдяки виникненню на ній функціонального шару (5–10 nm) підтверджується. Встановлене різке зростання величини критичного навантаження в зразку з функціональним шаром в порівнянні з тим самим зразком після хімічного травлення.

1. В.К. Неволін, Физические основы туннельно-зондовой микроскопии. Учебник для ВТУзов, Москва (2000).
2. Б.А. Гурович, Тезисы докладов конференции СИН-нано (2008).
3. Ю.В. Мильман, Б.А. Галанов, С.И. Чугунова, Характеристика пластичности, получаемая при измерении твердости, Наукова думка, Киев (1992).

M.O. Tsisar, R.S. Shmygera

INFLUENCE OF FUNCTIONAL LAYER ON SURFACE ROUGHNESS

Influence of tungsten monocrystal functional layer on surface physical and mechanical properties at a nanoscale level has been studied. It was shown that functional layer that grows in five days has more smooth surface and higher physical and mechanical properties than the tungsten monocrystal itself.

Fig. 1. Three-dimensional STM image of tungsten surface: *a* – without a functional layer, size 60 × 60 nm; *b* – with a functional layer, sectional structure, size 60 × 60 nm

Fig. 2. Average roughness diagram (*a*), ten point height roughness (*b*) and peak to peak value (*c*): --○-- – surface of tungsten monocrystal without a functional layer, —□— – surface of tungsten with a functional layer