

УДК 681.789

Бондаренко М.О., канд. техн. наук, доцент
Мельник І.В., провідний спеціаліст НДІ
Хандюк М.В., ст. викладач
Бондаренко Ю.Ю., канд. техн. наук, доцент

Черкаський державний технологічний університет, maxxium23@gmail.com

ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ПРЕЦИЗІЙНИХ ДЕТАЛЕЙ МІКРОПРИСТРОЇВ

Питання підвищення зносостійкості прецизійних деталей мікропристроїв (мікродозаторів, насосів, гіроскопів, тощо), що на сьогодні знаходять широке застосування в різноманітних галузях науки, техніки та виробництва, призводять до розвитку сучасних технологій та прикладної бази їх реалізації. Це викликано необхідністю застосування цих деталей у приладах, які використовуються в екстремальних умовах (високих або низьких температур, тисків, підвищеної вологості та пилуватості, тощо), що, в свою чергу, приводить до зниження терміну надійної експлуатації та їх передчасного руйнування.

Перспективною технологією підвищення зносостійкості таких виробів шляхом нанесення багат шарового оксидного покриття є комбінована технологія термічного осадження у вакуумі нанорозмірних оксидних покриттів з подальшою поверхневою низькоенергетичною електронно-променевою обробкою. Перспективним в цьому напрямку, на думку авторів, є нанесення трьох шарового нанорозмірного покриття Al_2O_3 , SiO_2 , TiO_2 , що має високу твердість, зносостійкість, гідрофобність, і, разом з тим, не зменшує техніко-експлуатаційних властивостей самих деталей.

Метою роботи є підвищення зносостійкості прецизійних деталей мікропристроїв шляхом залучення комбінованої термовакuumної технології нанесення багат шарового нанорозмірного покриття і подальше вивчення техніко-експлуатаційних властивостей цих покриттів.

Методика експерименту. Покриття Al_2O_3 , SiO_2 та TiO_2 товщиною 8-20 нм наносилося на плоскопаралельні пластини круглої форми (діаметром 20 мм та товщиною 1 мм) із кремнію Кр0 шляхом їх резистивного осадження у вакуумі з подальшою поверхневою електронно-променевою обробкою в одному технологічному циклі.

Нанесення покриття та електронна модифікація проводилися на спеціальній лабораторній установці (навчально-науковий Центр «Мікронанотехнології та обладнання», м.Черкаси), що містить резистивний випарник та електронну гармату Пірса.

Пластина з кремнію (основа), що попередньо нагрівалася до температури 840 К, за допомогою обертового механізму переміщення розташовувалася у вакуумній камері над блоком випарника, де на протязі 5...8 сек проводилося осадження порошків оксидів на поверхню основи за таких режимів: струм розігріву випарника $I = 185...305$ А; напруга на випарнику $U = 20...26$ В; відстань від випарника до поверхні основи $h = 120$ мм; час нанесення покриття 3...8 с. Осадження оксидів проводилося в наступній послідовності: $SiO_2 \rightarrow Al_2O_3 \rightarrow TiO_2$.

Після завершення процесу нанесення покриття, основа без зупинки переміщалася над електронною гарматою. При цьому на поверхню діяв низькоенергетичний електронний потік стрічкової форми (ширина 3,0 мм, довжина 60,0 мм). Електронна обробка проводилася за таких режимів: питома потужність $P_{пит} = 3,5 \cdot 10^3$ Вт/м²; струм електронного потоку $I_f = 36$ мА, час електронної дії $t = 1,2 \cdot 10^{-6}$ с; обробка однопрохідна. Така електронно-променева обробка дозволяє вплавлувати поверхневі оксидні шари в матеріал основи, тим самим збільшуючи їх адгезійну міцність.

Мікрогеометрія поверхні нанесених покриттів досліджувалася методом атомно-силової мікроскопії на приладі «NT-206» (виробник: ТДВ «Микротестмашины», Білорусь) з кремнієвими зондами «Ultrasharp CSC38».

Обговорення результатів експерименту. В результаті проведених досліджень встановлено, що трьохшарове оксидне покриття (загальною товщиною 40 нм) отримане шляхом термовакуумного випаровування неоднорідні, мають високу поруватість та містять мікродфекти поверхні (тріщини, точки тощо).

При цьому, середньостатистична мікронерівність поверхні таких покриттів складає 6,7...14,3 нм. Міцність адгезії таких покриттів до основи встановлювалася методом липкої стрічки і складала 1...2 клас для кожного покриття. Після обробки поверхонь електронним потоком стрічкової форми відбувається оплавлення покриття, що дещо зменшує залишкові мікронерівності з 3,6 нм до 11,1 нм та частково вплавляє його в поверхневий шар основи, чим збільшується адгезійна міцність до 4...5 класу, рис.1.

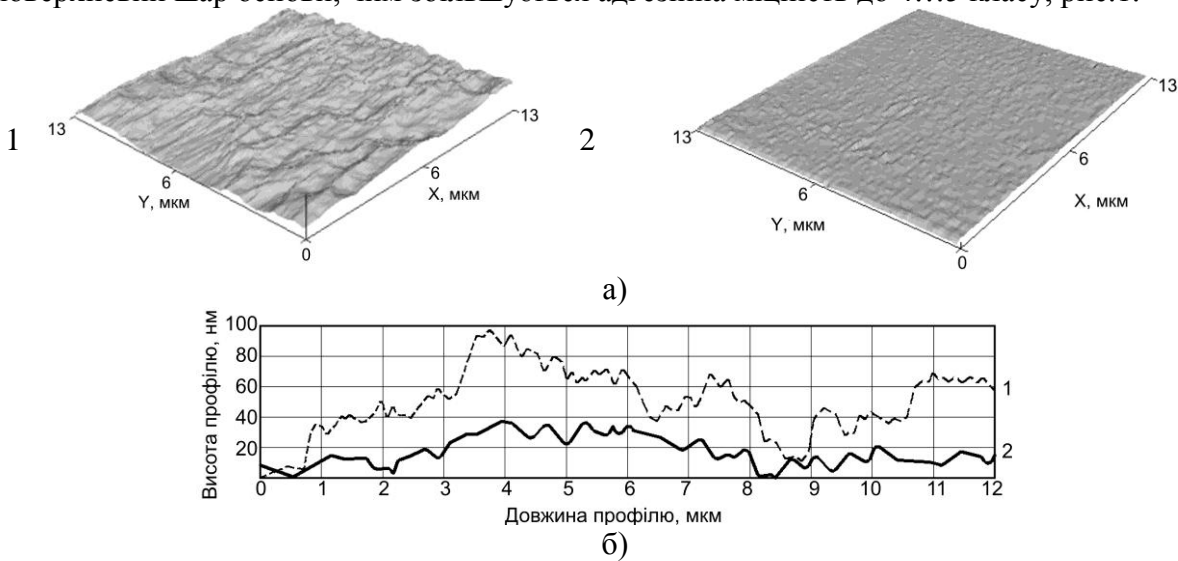


Рис.1 – Мікрорельєф (а) ділянки поверхні покриття ($\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$) на ділянці 13×13 мкм кремнії Кр0 та профіль по цій ділянці поверхні (б) до (1) та після (2) модифікування електронним потоком

В той же час, методом склерометрії з використанням атомно-силового мікроскопу були отримані дані по зносостійкості таких покриттів, що становили 18,3...24,2 у.о. для не модифікованих електронним потоком покриттів, 28,6...31,9 у.о. для покриттів, що були модифіковані електронним потоком. В той же час, зносостійкість вихідного матеріалу (кремній Кр0) становила 25,7 у.о. (так, за 100 у.о. приймалася зносостійкість алмазу).

Таким чином, в ході проведених експериментів зроблено наступні висновки.

Методом атомно-силової мікроскопії встановлено, що після обробки поверхонь кремнію Кр0 з нанесеним багатшаровим оксидним покриттям низькоенергетичним електронним потоком стрічкової форми відбувається зменшення мікронерівностей 1,8-3,4 рази. Разом з тим встановлено, що поверхня покриття після електронної обробки має більш однорідну структуру та позбавлена мікродфектів в порівнянні з покриттям без електронної обробки.

Методом склерометрії із залученням атомно-силового мікроскопу встановлено, що зносостійкість трьохшарового оксидного покриття після електронно-променевої модифікації збільшується у 1,3...1,5 разів в порівнянні з покриттям не модифікованим електронним потоком та у 1,1...1,25 разів в порівнянні з вихідним матеріалом (кремній Кр0), що доводить перспективність комбінованої технології нанесення багатшарових оксидних покриттів нанометричних розмірів у вакуумі для підвищення зносостійкості прецизійних деталей мікропристроїв.