



UDK: 57.022.023.577.11.12

Vladimir ARUSTAMOV,
Ion plazmasi va lazer texnologiyalari instituti katta ilmiy xodimi, f.m.f.n
E-mail: v.arustamov@iplt.uz
Boburjon KAXRAMONOV,
Ion plazmasi va lazer texnologiyalari instituti katta ilmiy xodimi, PhD
Ilyos KHUDAYQULOV,
Ion plazmasi va lazer texnologiyalari instituti katta ilmiy xodimi, PhD

F.-m.f.d., k.i.x Sh.Hojiyev taqrizi asosida

MAGNETRON CHANGLATISH VA VAKUUM YOYI USULLARI BILAN OLINGAN QOPLAMALARNING MORFOLOGIK VA STRUKTURAVIY XUSUSIYATLARI

Annotatsiya

Mahsulot yuzalariga ishqalanish va korroziyaga chidamlilik xususiyatlarini berish zamonaviy sanoatning asosiy vazifalaridan biridir. Ushbu ishda magnetron changlatish va vakuum yoyi texnologiyasi bilan qoplangan titan nitrid (TiN) qoplamalarining xususiyatlarini har tomonlama tahlil qilish va qiyosiy taqqoslash amalga oshirildi. Ularning strukturaviy xususiyatlarining o'xshashligiga qaramay, qoplamalarni sirt bir xilligida sezilarli darajada farq qilishi aniqlandi.

Kalit so'zlari: Titan nitrid, magnetronli changlatish, vakuum yoyi usuli, sirt bir xilligi, korroziyaga chidamlilik, sirt morfologiyasi, qoplama qalinligi, rentgen nurlari difraktsiyasi (XRD), g'adir budirlik tahlili, nano o'lchamdagi qoplamalar, elektr o'tkazuvchanligi, gaz plazmasi, gaz, qoplama texnologiyalari, inertlik tozalash usullari, korroziyaga chidamli qoplamalar.

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И СТРУКТУРНЫЕ СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДАМИ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ И ВАКУУМНО-ДУГОВОГО ОСАЖДЕНИЯ

Аннотация

Придание поверхностям изделий износостойкости и коррозионной стойкости является одной из приоритетных задач современной промышленности. В настоящем исследовании проведен комплексный анализ и сравнительное сопоставление свойств нитрида титана (TiN)-покрытий, осажденных методами магнетронного распыления и вакуумной дуговой технологии. Установлено, что, несмотря на аналогичность их структурных характеристик, покрытия значительно различаются по однородности поверхности.

Ключевые слова: Нитрид титана, магнетронное распыление, метод вакуумной дуги, однородность поверхности, коррозионная стойкость, морфология поверхности, толщина покрытия, рентгеновская дифракция (XRD), анализ шероховатости, наноразмерные покрытия, электрическая проводимость, газовая плазма, технологии нанесения покрытий, инертный газ, монокристаллы, методы очистки, коррозионностойкие покрытия.

MORPHOLOGICAL AND STRUCTURAL PROPERTIES OF COATINGS OBTAINED BY MAGNETRON SPUTTERING AND VACUUM ARC METHODS

Annotation

Imparting wear-resistant and corrosion-resistant properties to the surfaces of products is one of the main tasks of the modern economy. In this work, the properties of titanium nitride coatings applied by magnetron sputtering and vacuum arc methods were studied and compared. The coatings obtained by these two methods are structurally similar; however, their surface uniformity differ significantly.

Key words: Titanium nitride, magnetron sputtering, vacuum arc method, surface uniformity, corrosion resistance, surface morphology, coating thickness, XRD (X-ray Diffraction Analysis), roughness analysis, nanosurface coatings, electrical conductivity, gas plasma, coating technologies, inert gas, single crystals, cleaning methods, corrosion-resistant coatings.

Kirish. Mashina qismlari va mexanizmlarining ishchi yuzalarini mustahkamlash uchun ishlatiladigan karbidlar va nanokarbon zarralari bilan qattiq qoplamalar asosida yuqori iste'mol xossalriga ega bo'lgan mahsulotlarni yaratish hozirgi kundagi iqtisodiy muammolardan biri bo'lib, bu birinchi navbatda mahsulotlarning xizmat qilish muddatini oshiradi [1]. Monokristallarni etishtirish texnologiyasida va boshqa metallurgiya jarayonlarida bunday qoplamalarni olishda qo'shimcha tozalashsiz texnik toza inert gaz ishlatiladi.

Mavzuga oid adabiyotlar tahlili. Fe-Co-Ni-Cu-Al-Ti tizimining magnit qotishmalarining monokristall chidamli qoplamalarda titan bilan o'tga chidamli shakllarda qoplama qoplashda qotishmaning uglerod va azot bilan qo'shimcha to'yinganligi sodir bo'lmaydi. Vakuum-elektr razryad usullari bilan qo'llaniladigan qoplamalarni quyidagi asosiy belgilarga ko'ra tasniflash mumkin:

1. Maqsad bo'yicha: ishqalanishga bardoshli [2, 3], yuqori haroratga chidamli [4], korroziyaga qarshi [5], dekorativ [6] va boshqa qoplamalar.

2. Fizikaviy va kimyoviy xossalari bo'yicha: metall [7], metall bo'lmagan [8], yuqori haroratga chidamli [9], kimyoviy jihatdan chidamli [10], nur qaytaruvchi [11] va boshqalar.

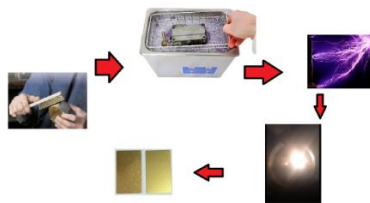
3. Yuzada hosil bo'ladigan qoplamalarning fazaviy xususiyatiga ko'ra: silitsid [12], borid [13], karbid [14] va boshqa [15] qoplamalar.

Ti-Nb tizimiga mansub yupqa metall qoplamalarni ikki magnetron manbadan foydalangan holda metall namunalarni qoplash orqali hosil qilishga e'tibor qaratiladi. Ushbu manbalar qoplamaning qoplash tezligida farq qiladi va namuna aylantirilishi orqali element nisbatlari keng diapazonda bo'lgan, qalinligi bir xil bo'lgan qoplamalar olish imkonini beradi. Asosiy materialni qoplash jarayonida Nb qo'shimchasi α -Ti ning yuqori haroratli fazasini barqarorlashtiruvchi ta'sir ko'rsatadi - niobiy atomlarining qoplama o'sishi paytida Ti kubiksimon markazlashgan kristall panjarasiga integratsiyalanadi. Metall qoplamalarning yuza morfologiyasi qoplama qoplangandan so'ng hosil bo'lgan oksidli tuzilmalarning qalinligida ham sezilarli darajada farq qiladi va dastlabki metall plyonkalaridagi Ti ning atom nisbatiga bog'liq [16]. Eng yaxshi natija Ti (26 at.%), Si (8,5 at.%), N (65 at.%) tarkibiga ega bo'lgan, qattiqligi 29 GPa ni tashkil etuvchi qoplama tomonidan namoyon etildi. Bu qoplama aylanuvchi taglikning sovuq yuzasiga, uning potentsiali erkin holda ushlab turilgan sharoitda cho'ktirilgan. Ishda [17] vakuum yoyi usuli bilan qoplangan qoplamaga Ni, Co, Cu va Ti nanozarralari modifikatsiyasi tadqiq etilgan.

Tadqiqot metodologiyasi. Shuningdek, TiN ning elektron o'tkazuvchanligi titaniumning yarim to'lg'angan d-bandiga bog'liq [18], optik xususiyatlar esa erkin Ti-d elektroni va N-p $\rightarrow$ Ti-d o'tkazuvchilararo o'tishlar ta'sirida hosil bo'ladi [19, 20, 21]. Avvalgi tadqiqotlarda magnetron changlatish va vakuum yoy razryadi usullari yordamida olingan namunalarning xususiyatlari va morfologiyasini birgalikda kompleks o'rganish amalga oshirilmagan. Ushbu ishda esa ushbu ikki usul bilan olingan namunalarning rentgen diffraksiya (XRD) tahlili va yuzaning notekisligi darajasi o'rganildi.

Bundan tashqari, ishlar titan nitridining ayrim xususiyatlarini, masalan, uning optik xususiyatlari [18], elektr o'tkazuvchanligi [22] va boshqalarni o'rganilgan. TiN ning elektr o'tkazuvchanligi titanning yarim bo'sh D-bandiga bog'liq [18], optik xususiyatlar esa erkin o'tkazuvchi elektronlar Ti-d va tarmoqli o'tishlari N-p $\rightarrow$ Ti-d [19 - 21] tufayli hosil bo'ladi. Ko'rib chiqilayotgan ishlarda magnetronli changlatish va vakuum yoyi usullari bilan olingan namunalarning xususiyatlari va morfologiyasi bir vaqtning o'zida har tomonlama o'rganish amalga oshirilmagan. Ushbu ishda esa ushbu ikki usul bilan olingan namunalarning rentgen diffraksiya (XRD) tahlili va yuzaning notekislik darajasi o'rganildi.

Qoplamalarni qo'llash asosiga qalinligi 3 mm bo'lgan shisha olinadi. Namuna avvalo kimyoviy usul va ultratovushli vannada tozalandi (1-rasm).



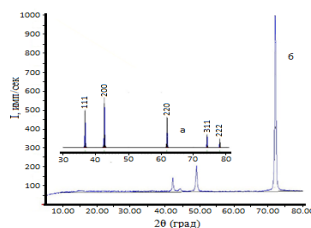
1-rasm. Namunani tayyorlash jarayoni va qatlam o'sishi

Ushbu ishda shisha yuzasi dastlabki kimyoviy va ultratovushli tozalashdan so'ng, qoplamalar magnetron changlatish va vakuum-yoy usullari yordamida qoplandi va ularning taqqoslama tahlili amalga oshirildi. Dastlab namunalar yuzasiga magnetron changlatish usuli yordamida titan nitrid (TiN) qoplami qoplandi. Magnetron changlatish manbaida magnit maydon kuchi 0,8 – 1,0 mTl ni tashkil etdi. Ishchi gaz sifatida argon ishlatildi va 10^{-1} – 10^{-2} Pa oralig'idagi qoldiq bosimda evakuatsiya qilingan ish hajmiga uzatildi. Magnetron changlatish qurilmasidagi kuchlanish 300–400 V oralig'ida bo'ldi. Namunaning ishchi yuzasiga qoplama qoplash jarayoni 20–30 daqiqa davom etdi.

Vakuum-yoy razryadi plazmasidan qoplama qoplash jarayonida namunalarni tozalash va changlatish $5 \cdot 10^{-4}$ Pa bosim ostidagi vakuum muhitida amalga oshirildi. Yoy razryadi toki 150–350 A oralig'ida o'zgarib turgan, yoy oralig'ida kuchlanish esa 30–40 V ni tashkil etgan. Qoplama qo'llashning boshlang'ich bosqichida namunalar yuzasining harorati 473,15–523,15 K diapazonida bo'lgan. Bu harorat namuna yuzasining 350 A tokdagi ion bombardimon qilish orqali hosil qilingan. Qayta ishlangan namunalar yuzasiga qoplama qoplash jarayoni $0,035 \cdot 10^{-6}$ m/s tezlikda olib borilgan va yotqizilgan qoplama qalinligi 1,5–2 mkm ni tashkil etgan.

Olingan qoplamalarning rentgen fazaviy tahlili Shimadzu (Yaponiya) firmasining XRD-6100 qurilmasida CuK α nurlanishi ($\lambda=1,540600$ Å) yordamida amalga oshirildi. Tahlil 2 θ burchak diapazonida 10^0 dan 80^0 cha, 0,05 daraja qadam bilan va detektorning doimiy aylanish tezligi 4 daraja/minut bo'lgan holatda olib borildi. Yuzaning notekislik darajasi esa Agilent 5500 skanerlovchi zondli mikroskop yordamida baholandi.

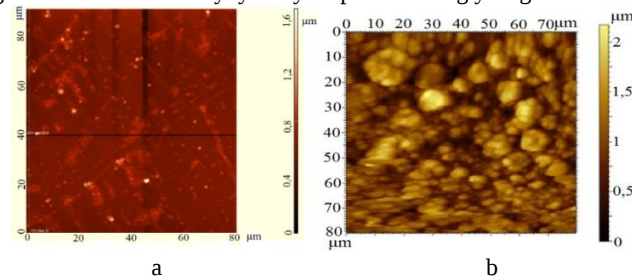
Tahlil va natijalar. 2-rasmda magnetron changlatish manbaida olingan titan nitrid (TiN) qoplamasining diffraktogrammasi keltirilgan.



2-rasm. Magnetron changlatish manbaida olingan titan nitrid (TiN) qoplamasining diffraktogrammasi.

2-rasmda keltirilgan diffraktogrammada TiN ga tegishli uchta asosiy cho'qqi (pik) ko'rinadi, shuningdek, uchta belgilangan burchak qiymatida past intensivlikdagi cho'qqilar ham qayd etilgan: $2\theta = 12,48^0$ TiN (110) tekisliklaridan aks ettirilgan nurlar; $2\theta = 49^0$ TiN (111) tekisliklaridan aks ettirish; va $2\theta = 73,12^0$ TiN (220) tekisliklaridan aks ettirishga mos keladi.

Bundan tashqari, 3a-rasmda metall yuzasiga qoplangan titan nitrid qoplamasining 80×80 mkm o'lchamdagi morfologiyasi ko'rsatilgan. Rasmda ko'rinib turibdiki, yotqizilgan titan nitrid qoplamaning sirt notekisligi 1,6 mkm ni tashkil qiladi. Ushbu tasvirda nitridning o'sib borayotgan yirik agregatlari va ular o'zaro qo'shilib ketgan holatlari kuzatildi. Bu sirtning qo'shilishi va yirik titan nitrid agregatlarining shakllanishi vakuum yoy razryadi plazmasining yuzaga ta'siri natijasida yuz beradi.



3-rasm. Ikki xil usulda olingan namunalarining AKM (Atom-kuch mikroskopiya) tasvirlari: a) vakuum yoy usuli; b) magnetron usuli

Ushbu ikki xil usulda olingan namunalar yuzasining tasvirlaridan ko'rinib turibdiki, magnetron changlatish usuli bilan olingan namuna yuzasi bir xil (homogen) tuzilishga ega. 4b-rasmda esa vakuum yoy razryadi usuli bilan olingan namunada nisbatan notekis sirt va murakkab relyefli qatlam shakllanganligi kuzatiladi.

Xulosa va takliflar. Ushbu ishda vakuum yoy razryadi va magnetron usullari bilan qoplangan titan nitrid qoplamalari tahlil qilindi. Olingan qoplamalar qalinligi 1,6-2 mkm ni tashkil qiladi. Magnetron usuli bilan olingan qoplamalar nisbatan bir xil qatlamga ega bo'lsa, vakuum yoy usuli bilan olingan qoplamalarda sirt notekisligi yuqoriroq. Vakuum yoy razryadi plazmasidan qoplama qoplash tezligining yuqoriligi sababli, qoplangan atomlarning sirt bilan o'zaro ta'siri sezilarli darajada kuchayadi, natijada agregatlashish va qoplamaning relyefi ortadi. Aksincha, magnetron usuli bilan qoplangan qoplamalar homogen bo'lib, bir xil yuzaga ega.

ADABIYOTLAR

1. Mikhailov B. I. Arc spot scanning of tube electrodes in gas-vortex plasmatorches //Thermophysics and Aeromechanics. – 2008. – T. 15. – №. 2. – PP. 307-320. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1134/S0869864308020145.pdf>
2. PalDey S., Deevi S. C. Single layer and multilayer wear resistant coatings of (Ti, Al) N: a review //Materials Science and Engineering: A. – 2003. – T. 342. – №. 1-2. – PP. 58-79. [https://doi.org/10.1016/S0921-5093\(02\)00259-9](https://doi.org/10.1016/S0921-5093(02)00259-9)
3. Voevodin A. A., Zabinski J. S. Supertough wear-resistant coatings with 'chameleon' surface adaptation //Thin Solid Films. – 2000. – T. 370. – №. 1-2. – PP. 223-231. [https://doi.org/10.1016/S0040-6090\(00\)00917-2](https://doi.org/10.1016/S0040-6090(00)00917-2)
4. Gnedenkov S. V. et al. Production of hard and heat-resistant coatings on aluminium using a plasma micro-discharge //Surface and Coatings Technology. – 2000. – T. 123. – №. 1. – PP. 24-28. [https://doi.org/10.1016/S0257-8972\(99\)00421-1](https://doi.org/10.1016/S0257-8972(99)00421-1)
5. Cui G. et al. A comprehensive review on smart anti-corrosive coatings //Progress in Organic Coatings. – 2020. – T. 148. – PP. 105821. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2020.105821>
6. Budke E. et al. Decorative hard coatings with improved corrosion resistance //Surface and Coatings Technology. – 1999. – T. 112. – №. 1-3. – PP. 108-113. [https://doi.org/10.1016/S0257-8972\(98\)00791-9](https://doi.org/10.1016/S0257-8972(98)00791-9)
7. Hill M. T. et al. Lasing in metallic-coated nanocavities //Nature Photonics. – 2007. – T. 1. – №. 10. – PP. 589-594. <https://doi.org/10.1038/nphoton.2007.171>
8. Remcho V. T., Tan Z. J. Peer Reviewed: MIPs as Chromatographic Stationary Phases for Molecular Recognition //Analytical chemistry. – 1999. – T. 71. – №. 7. – PP. 248A-255A. <https://doi.org/10.1021/ac990292q>
9. Nwaogu U. C. et al. New sol-gel refractory coatings on chemically-bonded sand cores for foundry applications to improve casting surface quality //Surface and Coatings Technology. – 2011. – T. 205. – №. 16. – PP. 4035-4044. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2011.02.042>
10. Mullangi D. et al. Super-hydrophobic covalent organic frameworks for chemical resistant coatings and hydrophobic paper and textile composites //Journal of Materials Chemistry A. – 2017. – T. 5. – №. 18. – PP. 8376-8384. <https://doi.org/10.1039/C7TA01302G>
11. Prasad K. et al. Highly reflective coatings //Int J Appl Eng Res. – 2018. – T. 13. – №. 22. – PP. 15773-15782. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1169-x>
12. Knittel S. et al. Development of silicide coatings to ensure the protection of Nb and silicide composites against high temperature oxidation //Surface and Coatings Technology. – 2013. – T. 235. – PP. 401-406. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2013.07.053>
13. Medvedovski E. Formation of Corrosion-Resistant Thermal Diffusion Boride Coatings //Advanced Engineering Materials. – 2016. – T. 18. – №. 1. – PP. 11-33. <https://doi.org/10.1002/adem.201500102>
14. Mahade S. et al. Exploiting suspension plasma spraying to deposit wear-resistant carbide coatings //Materials. – 2019. – T. 12. – №. 15. – PP. 2344. <https://doi.org/10.3390/ma12152344>
15. Gu Y. et al. Technical characteristics and wear-resistant mechanism of nano coatings: a review //Coatings. – 2020. – T. 10. – №. 3. – p. 233. <https://doi.org/10.3390/coatings10030233>
16. Musil J., Jankovcova H., Cibulka V. Formation of Ti_{1-x}Si_x and Ti_{1-x}Si_xN films by magnetron co-sputtering //Czechoslovak journal of physics. – 1999. – T. 49. – №. 3. – PP. 359-372. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1023/A:1022853101763.pdf>
17. Jiao J., Seraphin S. Carbon encapsulated nanoparticles of ni, co, cu, and ti //Journal of Applied Physics. – 1998. – T. 83. – №. 5. – PP. 2442-2448. <https://doi.org/10.1063/1.367004>

18. Patsalas P., Kalfagiannis N., Kassavetis S. Optical properties and plasmonic performance of titanium nitride //Materials. – 2015. – T. 8. – №. 6. – С. 3128-3154. <https://doi.org/10.3390/ma8063128>
19. Yu C., Jiang S., Lu R. High order harmonic generation in solids: a review on recent numerical methods //Advances in Physics: X. – 2019. – T. 4. – №. 1. – PP. 1562982. <https://doi.org/10.1080/23746149.2018.1562982>
20. Diroll B. T. et al. Broadband ultrafast dynamics of refractory metals: TiN and ZrN //Advanced Optical Materials. – 2020. – T. 8. – №. 19. – PP. 2000652. [10.1109/RAPID54473.2023.10264707](https://doi.org/10.1109/RAPID54473.2023.10264707)
21. Novaković M. et al. Low optical losses in plasmonic TiN thin films implanted with silver and gold //Optical Materials. – 2022. – T. 123. – PP. 111936. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2021.111936>
22. Bolotskaia A. et al. Coatings prepared by electro-spark alloying with SHS electrode materials based on Ti-B-Fe-AlN //Coatings. – 2023. – T. 13. – №. 7. – p. 1264. <https://doi.org/10.3390/coatings13071264>