



## МАТРИЦАЛИ НАНОСТРУКТУРАЛАРНИНГ УСТУН ЎЛЧАМЛАРИ ҚОПЛАМАЛАРНИНГ ТРИБОМЕХАНИК ХУСУСИЯТЛАРИГА ТАЪСИРИНИ ЎРГАНИШ

*Ш.Ў Худойкулов<sup>1</sup>, Н.Дж Тураходжаев<sup>1</sup>, Г.Г.Горох,<sup>2</sup> Ф.Ў.Худайкулов<sup>1</sup>*

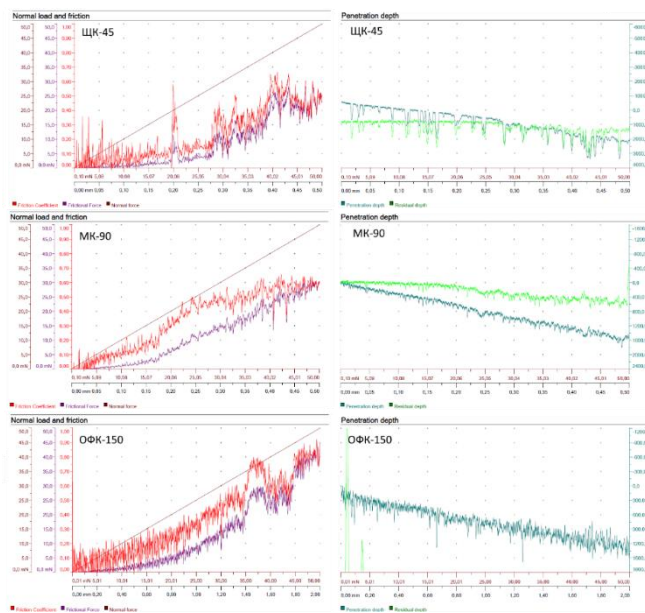
<sup>1</sup>Ислом Каримов номидаги Тошкент давлат техника университети,

<sup>2</sup>Беларус давлат информатика ва радиоэлектроника университети,

Минск, Беларус Республикаси

Экспериментал тажриба намуналари тайёрланган алюминий заготовкालари 1,5 микрон ва 0,2 микрон қалинликдаги вакуумли Al/Ta плёнкали тизимлардан иборат эди. ААО матрицалари Al қатламларини 0,4 М оксалат (ШК) сувли эритмаларида, малоник (МК) ва ортофосфор (ОФК) кислоталарининг доимий оқим зичлиги 6 мА/см<sup>2</sup> га тенг бўлган икки босқичли анодлаш усули билан ҳосил қилинган, анодлаш потенциаллари мос равишда 45, 90 ва 150 В ни ташкил этган. Натижада турли хил тешик ўлчамлари ва 1,2 микрон оксиди қалинлиги билан тартибланган нанопороз матрицалар ҳосил бўлди. Анодлашдан сўнг намуналар деионизацияланган сувда ювилади, центрофугада ва термостатда 150 °С да 20 дақиқа давомида қуритилади. Кейин тантал плёнкаси 450В кучланишда реанодизация қилинди. ААО плёнкасининг тўлдирилмаган қисмини олиб ташлаш ортофосфор кислотаси ва хром ангидрид асосида селектив эритмада амалга оширилди.

Тадқиқотнинг трибологик ва механик хусусиятлари стандарт методологияга мувофиқ амалга оширилди. 1-расмда ишқаланиш кучи, ишқаланиш коэффициенти (а) ва консолнинг кириш чуқурлиги (б) ҳар хил турдаги наноструктурали композициялар учун қўлланиладиган юкка боғлиқлиги кўрсатилган. Тажрибада ўрганилган барча қопламалар яхши натижаларга эришилди. Максимал юк 50 мН бўлса, диаметри 2 мкм бўлган олмос игнасининг кириш чуқурлиги биринчи ўтишдан кейин 1,5 мкм плёнканинг 20% дан ва ШК-45 намунаси учун олтинчи ўтишдан кейин 40% дан ошмади. Наноструктураларнинг диаметрлари ошиши билан олтинчи ўтишдан кейин игнанинг кириб бориш чуқурлиги 75% га етди (ОФК-150 намунаси).



а)

б)

**1-расм Ишқаланиш кучининг, ишқаланиш коэффицентининг (а) ва консолнинг кириш чуқурлигининг (б) турли электролитларда ҳосил бўлган АТО наноструктуралари билан ААО матрицаларининг қўлланиладиган юкига боғлиқлиги.**

Ишқаланиш кучининг, ишқаланиш коэффицентининг, консолнинг кириш чуқурлигининг барча намуналар учун қўлланиладиган юкка чизиқли бўлмаган боғлиқлиги кўрсатилган, ишқаланиш коэффиценти 20 мН гача бўлган юкларда заиф ўзгаради. Энг кичик диаметрли наноструктуралар энг кичик ишқаланиш коэффицентига ва максимал юк остида кантилевернинг энг кичик кириш чуқурлигига эга эканлиги аниқланди ва устунларнинг диаметрлари ошиши билан ишқаланиш коэффиценти ва пенетрация чуқурлиги ошади. Наноиндентация диаграммаларини таҳлил қилиш Оливер-Фарр методологияси бўйича илгари бўлгани каби амалга оширилди. Микро қаттиқлик ва эластик модулнинг ўртача қийматлари тўғрисидаги маълумотлар 1-жадвалда келтирилган.

Юқоридаги маълумотлардан кўришиб турибдики, АТО турли хил диаметрлари бўлган матрицаларда ўлчанадиган микро қаттиқлик (Н) қиймати фарқ қилади, аммо АТО наноструктураларининг диаметри ошиши билан Н қиймати камаяди. ОФК-150 намунаси бўлса,  $P_{max} = 50$  мН учун Н қиймати қолган намуналар учун микро қаттиқликдан сезиларли даражада ошади. Бу инденторнинг қоплама/намуна интерфейси орқали кириб бориши билан боғлиқ. Индентор қоплама / намуна интерфейсига яқинлашгунча, инденторнинг намуна ичига кириб бориши натижасида ҳосил бўлган пластик деформация асосан плёнка ичида локализация қилинади. Натижада, ўлчанган қаттиқлик қиймати қоплама материалининг жавобини акс эттиради. Индентор қоплама/намуна интерфейсидан ўтиб кетганда, намунанинг деформацияси бошланади, бу намунанинг қаттиқлигининг



қоплама қаттиқлигига интиладиган қийматларга кўтарилишига олиб келади, бу ОФС-150 намунаси учун кўринади: максимал юк 50 мН бўлганда, индентор 1,2 мкм чуқурликка чўкди, яъни қоплама/намуна интерфейсига етиб борди, бу эса микро қаттиқликнинг ўсишига олиб келди намуна.

1-жадвал Наноиндентация пайтида композит плёнкаларнинг хусусиятлари

№ намуна	Юклама, $P_{max}$	Кириб бориш чуқурлиги, h	Микроқаттиқлик Н, МПа	Эластиклик модули $E_p$ , ГПа
ЩК-45	50 мН	555 нм	5882,3	71,3
	30 мН	475 нм	2605,2	49,6
	10 мН	380 нм	2495,4	46,1
МК-90	50 мН	920 нм	5102,7	72,5
	30 мН	780 нм	2284,2	54,4
	10 мН	445 нм	2141,4	61,3
ОФК-150	50 мН	1235 нм	7128,4	53,1
	30 мН	950 нм	1602,2	39,3
	10 мН	820 нм	631,7	14,9

### Фойдаланилган адабиётлар

1 Tursunbaev, S., Turakhodjaev, N., Turakhujaeva, S., Ozodova, S., Hudoykulov, S., & Turakhujaeva, A. (2022, August). Reduction of gas porosity when alloying A000 grade aluminum with lithium fluoride. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 1076, No. 1, p. 012076). IOP Publishing.

2 McCarley, R. E., & Boatman, J. C. (1963). The Preparation of Tantalum (IV) Bromide, Tantalum (IV) Iodide, Halides. *Inorganic Chemistry*, 2(3), 547-551..

3 Tursunbaev Sarvar Turakhodjaev Nodir Zokirov Ruslan Hudoykulov Shohruh Changes in its Wear Resistance When Alloying Aluminum Alloys with Lithium

4 Ma, Z., Zhong, T., Sun, D., Qian, B., Turakhodjaev, N., Betsofen, S., & Wu, R. (2023). Microstructure and Anisotropy of Mechanical Properties of Al-3Li-1Cu-0.4 Mg-0.1 Er-0.1 Zr Alloys Prepared by Normal Rolling and Cross-Rolling. *Metals*, 13(9), 1564.

5 Nodir, T., Sarvar, T., Kamaldjan, K., Shirinkhon, T., Shavkat, A., & Mukhammadali, A. (2022). The effect of lithium content on the mass of the part when alloyed with lithium aluminum. *International Journal of Mechatronics and Applied Mechanics*, 2022(11), Pp: 52–56. <https://doi.org/10.17683/ijomam/issue11.7>

6 Tursunbaev S, Turakhodjaev N, Turakhujaeva S, Ozodova S, Hudoykulov S & Turakhujaeva A 2022 IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1076(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1076/1/012076>

7 Ma, Z., Zhong, T., Sun, D., Qian, B., Turakhodjaev, N., Betsofen, S., & Wu, R. (2023). Microstructure and Anisotropy of Mechanical Properties of Al-3Li-1Cu-0.4 Mg-0.1 Er-0.1 Zr Alloys Prepared by Normal Rolling and Cross-Rolling. *Metals*, 13(9), 1564.



8 Maksimović, V., Zec, S., Radmilović, V., & Jovanović, M. T. (2003). The effects of microalloying with silicon and germanium on microstructure and hardness of a commercial aluminum alloy. *Journal of the Serbian Chemical Society*, 68(11), Pp: 893-901.

9 Berdiev, A. E., Ganiev, I. N., Gulov, S. S., & Sankov, M. M. (2013). Kinetics of oxidation of the hard alloy AK7M2 doped with germanium. *News of higher educational institutions. Chemistry and Chemical Technology*, 56(3), Pp: 28-30.

10 Gorokh G., Belahurau Ya., Zakhlebaeva A., Taratyn I., Khatko V. / Ring gyroscope sensitive element based on nanoporous alumina // *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*.