

ЎЗБЕКСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ЖОҚАРЫ ҲАМ ОРТА АРНАЎЛЫ БИЛИМ МИНИСТРЛИГИ
БЕРДАҚ АТЫНДАҒЫ ҚАРАКАПАҚ МӘМЛЕКЕТЛИК УНИВЕРСИТЕТИ
УЛЫЎМА ФИЗИКА КАФЕДРАСЫ

Физика-математика факультетиниң 4-курс студенти
Ақмарал Қудайбергенованың питкерий қәнигелик жумысы

**Ti-Al-N тийкарындағы нано- хәм микроқапламалардың триботехникалық,
физико-механикалық хәм термикалық турақлылығы**

Илимий басшысы
Кафедра баслығы

Б.Р.Жоллыбеков
Ж.Акимова

М А З М У Н Ы

Кирисиў

I БАП. ӘДЕБИЯТЛАРҒА ШОЛЫЎ

§ 1.1. Наноразмерли структуралар ҳаққында улыўма мағлыўматлар

§ 1.2. Механикалық қәсийетлери

II БАП. ЭКСПЕРИМЕНТ. АЛЫНҒАН НӘТИЙЖЕЛЕР

ЖУЎМАҚЛАР

ӘДЕБИЯТЛАР

КИРИСИҰ

Тийкары Ti-Al-N болған нанокөмпозит материаллар жоқары қаттылыққа хәм серпимлилик модулине ийе екенлиги белгили. Қапламадағы дәнешелердин размерлери киши болғанда қаттылықтың жоқары мәнислери қәлиплеседи.

[3] жумыста Ni-Cr-D-Si-Fe туратуғын қалың қапламаға Ti-Al-N қапламы конденсация етилгенде физико-механикалық қасийетлери жақсыланады, бирақ қаттылықтың шамасы бары жоғы $22 \pm 1,8$ ГПа ға жетти, бул биринши гезекте нанодәнешелердин үлкен мәнислери (17-22) хәм (34-90) нм менен байланысly. Қалыңлығы 3,5 мкм ден көп болмаған Ni-Cr-D-Si-Fe қаплама үстине магнетронның Ti-Al мишенин парландырыў арқалы отырғызылды.

[4] жумыста полат үлгилердин үстине қалыңлығы 2,5 мкм болған Ti-Al-N қапламы вакуум-дугалы деректин жоқары разряды жәрдемінде отырғызылды. Бул қапламларда жоқары қаттылық алынып, олардың шамасы $35 \pm 2,1$ ГПа ға шекем жетти, қапламаның желинийге шыдамлылығы жоқары болып, ал сүйкелис коэффициентиде әдеўир киши болды (TiN) ға салыстырғанда.

Бул жумыста биз бирнеше технология жәрдемінде отырғызылған Ti-Al-N/Ti-N/Al₂O₃ нанокөмпозит қапласын алыўға тоқтадық, бизин пикиримизше ол жоқары физико-механикалық, коррозиялық қасийетлерге ийе болыўы керек хәм жоқары температураға шыдамлы болыўы керек.

Солай етип бул жумыстың мақсети, полат подложканың үстине отырғызылған көп компоненталы комбинацияланған Ti-Al-N/Ti-N/Al₂O₃ қапламаны алыў хәм оның структурасын хәм физикалық-механикалық қасийетлерин изертлеў.

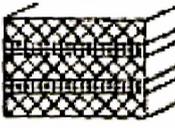
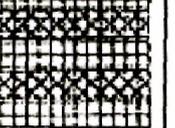
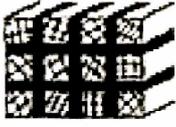
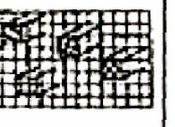
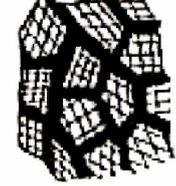
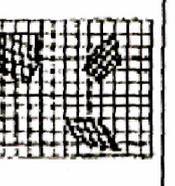
I БАП. ӘДЕБИЯТЛАРҒА ШОЛЫҰ

1.1. Наноразмерли структуралар ҳаққында улыўма мағлыўматлар

Соңғы ўақытлары нанокристалл структураларды изертлеўге қызығыўшылық әдеўир артты, себеби кристаллитлердиң (ямаса қалеген басқа структуралық бирикпелердиң) размерлериниң қандайда шекли шамадан киширейиўи менен бул материаллардың физикалық қәсийетлери кескин өзгеретуғынлығы анықланды. Физикалық материалтаныўдың усы областындағы изертлеўлердиң басланыўына бир тәрәптен микроэлектроника үскенелериниң елде киширейиўи (минитюрзация) болса, басқа тәрәптен 80-ши жыллардың орталарынан баслап усындай материаллардың классификациясы берилген жумыслардың пайда болыўы себеп болды. Глейтердиң (усындай жумыслардың авторы) хызмети тек ғана хәрқыйлы материаллардың үлкен классын (ультрадисперс, композициялық, грануллиген, унтақлар ҳәм т.б.) бир қасийети бойынша – яғный структуралардың размери бойынша наноструктураларды бир классқа бириктириў емес, ал олар ушын характерли болған қәсийетлердиң өзгешеликлерин анықлаўдан ибарат болды [1] соннан ибарат болды. Бул өзгешеликлер, нанокристаллитлердиң размерлери сыяқлы бул материаллардағы хәрқыйлы қәсийетлердиң физикалық себеби болып есапланады. Химиялық составы ҳәм фазалардың бөлистирилиўи бойынша структуралардың төрт типии бар болады (кесте 1.1): бир фазалы, идентик ҳәм идентик емес ажыралыў бетлерине ийе статикалық көп фазалы ҳәм матрицалы көп фазалы.

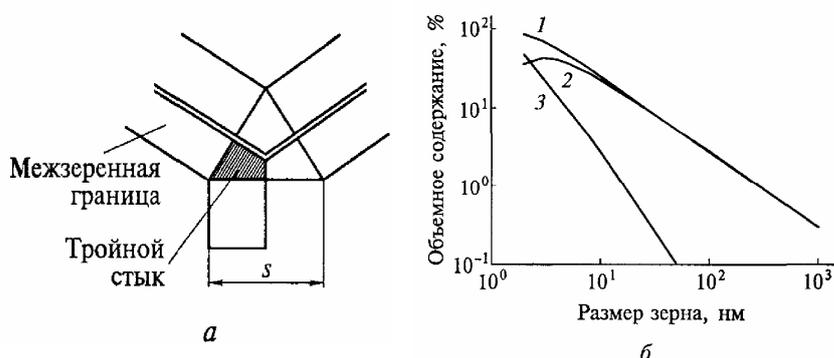
Соның менен бирге формасы бойынша структуралардың үш типин ажыратыўға болады: пластина, бағаналы ҳәм хәрқыйлы көшерли кирмелер (включения). Бул жерде кристаллит шегералардағы сегрегацияланыў мүмкиншилигиде есапқа алынады. Ең көп таралғаны бир – ҳәм көп фазалы матрицалы ҳәм статикалық объектлер, бағаналар ҳәм көп қәтламлы структуралар (көпшилик жағдайда пленкалар ушын).

Кесте 1. Наноматериаллардың классификациясы

Хим. состав Форма	Состав и распределение			
	Однофазный	Многофазный		
		Статистическое		Матричное
		Идентичные границы	Неидентичные границы	
Пластинчатая				
Столбчатая				
Равноосная				

Улыўма жағдайда наноматериал структуралар ушын ажыралыў бетлериниң (дәнешелер аралық шегералар хәм үшмүйешликлер – үш дәнешениң кесилисиў точкасы) көп болыўы менен характерли.

Тетраэдрлик додекадр түриндеги дәнешелерден пайда болған үшлик кесилиспе төмендеги сүүретте көрсетилген.



Сүүрет 1. Үшлик стыка схемасы (а) хәм $s = 1$ нм болғанда дәнеше размериниң (б) ажыралыў бетиниң улыўма үлесине тәсири (1), дәнеше аралық шегера үлесине тәсири (2) хәм шлик стыклар үлесине тәсирлери (3) қорсетилген.

1-сүүрет бойынша ажыралыў бетиниң улыўма үлеси

$$V_{п.р.} = 1 - [(L - s) / L]^3 \sim 3s/L \quad (1.1)$$

Дәнешелер аралық шегера үлесі

$$V_{м.г.} = [3s(L - s)^2] / L^3 \quad (1.2)$$

Хәм сәйкес шлик стыклар үлесі

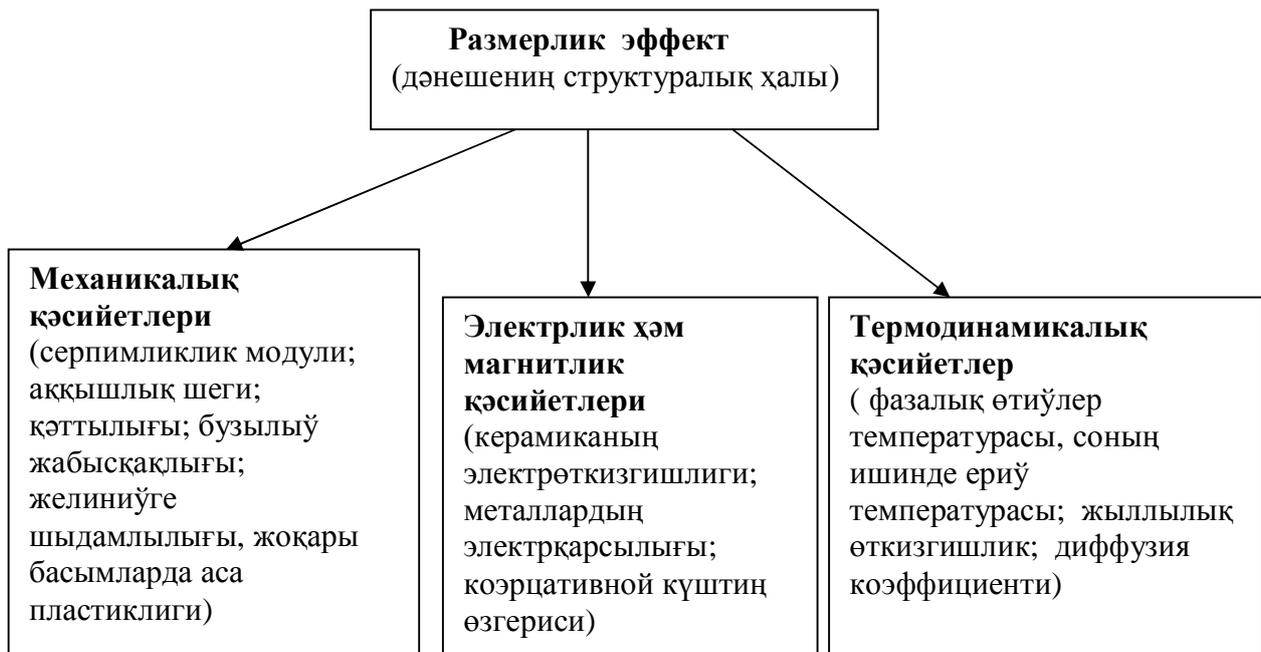
$$V_{т.с.} = V_{п.р.} - V_{м.г.}, \quad (1.3)$$

бул жерде: L – дәнеше размери, s – шегера ени (приграничной зоны)

1.б-сүүретте ажыралыў бетиниң улыўма үлесиниң, соның менен бирге дәнешелер аралық шегералар үлесиниң хәм үшлик стыклар үлесиниң дәнешелер размерине ғәрезлиги көрсетилген. Көринип турғанындай, ажыралыў бетиниң үлкен үлесі дәнеше размери $L < 100$ нм болғанға сәйкес келеди. $L < 10$ нм болғанның өзінде, $V_{п.р.}$ үлесі бирнеше онлаған процент болады. L мәнислериниң бул интервалында үшлик стыклар үлесі тез артады. Ажыралыў бетлериниң үлесі ($V_{п.р.}$) материалдың улыўма көлеми ишинде шама менен $3s/L$ ке тең. Мысалы $s = 1$ нм болғанда $V_{п.р.}$ үлесі $L \approx 6$ нм болғанның өзінде ақ 50% болып қалады.

Термикалық тәсирлер болғанда, соның мене бирге күш майданларында релаксациялық процесслердиң болыўы толық мүмкин екенлиги турған гәп. Булардың барлығы физикалық-химиялық хәм басқа қәсийетлерге тәсир етиўи керек, соның ақыбетинде олар наноматериаллардың эксплуатациялық ресурсларына тәсир етеди хәм мине бул олардың турақлылығын изертлеўдиң әҳмийетлигин келтирип шығарады.

2-сүүретте дәнешениң структуралық халының (размерлик эффект) наноматериалдың қәсийетлерине тәсири келтирилген.



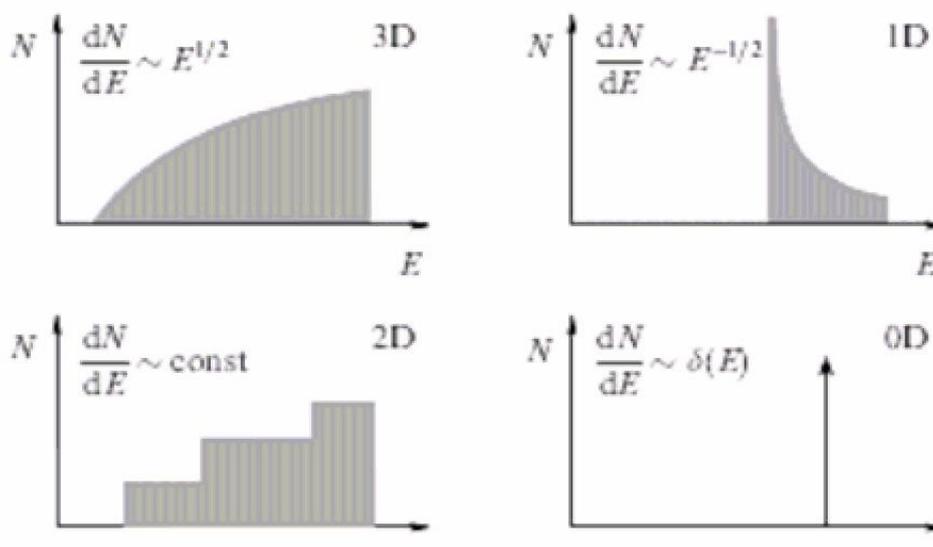
2-сүүрет. Дөнешениң структуралық ҳалының наноматериалдың физикалық-химиялық қасиетлерине тәсири.

Бундай наноструктуралардың қасиетлериниң өзгешеликлери төмендегидей:

- элементлердиң размерлериниң кемейиўи менен бөлиниў бетлериниң роли артады, (беттеги атомлардың үлеси проценттиң оннан бир үлесинен бирнеше онлаған процентлерге шекем артады);
- нанометр диапазонда ажыралыў бетлериниң қасиетлери ири кристалл материалларға қарағанда күшли өзгеше болады (шетлик эффектлер);
- наноструктура элементлериниң размери айырым физикалық кубылыслар размерлери менен сәйкес болады (мысалы, көшиў процессиндеги тасыўшылардың Еркин жүриў жолы узынлығы менен сәйкес болады);
- термодинамикалық қолайлы болған өзлигинен шөлкемлесиў хәм өзлигинен жыйналыў системаның артықмаш еркин энергиясының кемейиўине алып келеди;
- наноструктуралардағы размерлик эффектлер квантлық характерге ийе (ерикн тасыўшылардың локалласыў областы де –Бройль толқын узынлығына λ_B сәйкес болады, 3-сүүрет).

$$\lambda_B = \hbar / \sqrt{2mE}, \quad (1.4)$$

бул жерде: m – электронлардың эффектив массасы; E – тасыўшылар энергиясы; \hbar – Планк турақлысы.



3-сүүрет. Хәркыйлы размердеги структураларда заряд тасыўшылардың хал тығызлықлары $N(E)$.

Макроскопиялық структуралар ушын электронлық халлардың $N(E)$ энергияға квадратлық ғәрезлилиги характерли. Шредингер теңлемесинен келих шыққанындай тасыўшылардың локалланыў областының бир, еки хәм үш бағытлар бойынша λ_B шекем кемейиўи $N(E)$ ғәрезлилик характериниң өзгериси мене болады.

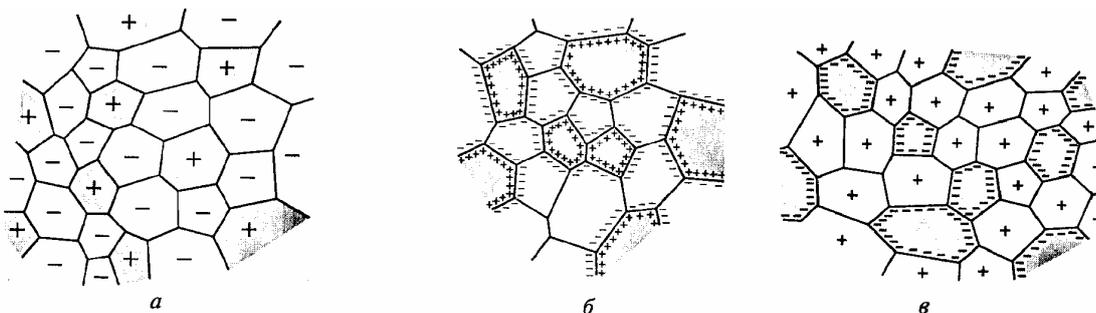
Еки – хәм бир размерли структуралар шегерасында заряд тасыўшылардың еркин қозғалысы сәйкес еки өлшемли ямаса бир өлшемли болады. Квантлық точкаларда электронлардың энергетикалық спектрлери үш өлшем бойынша «квантланады» хәм қадаған етилген халлар зонасы менен бөлинген дискрет қәддилер менен ажыралып турған қәддилер көплигинен турады.

Қосымша наноструктураларда структуралық элементтиң размериниң кемейиўи менен төмендегилер бақланады:

- қадаған етилген зона енинің артыуы;
- теориялық $E \sim 1/R$ есаплауларға сәйкес жутылуы полосасының жоқары энергия областына жылысуы;
- көк ауысуы (люминесценция спектринің қысқа толқын тәрепке жылысуы);
- электрлік қасиетлеринің размерлерге монотон емес ғәрезлиги. Киши размерлерде наноструктуралардың ярымөткізгіш структураларға қарағанда электронлық қасиетлеринің модификациялануы мүмкиншилиги.

Структура менен электронлық дүзилісі хәм қасиетлери арасындағы байланыслардың көп болуы углерод хәм басқа трубкалы структуралар ушын табылған. Нанотрубкалардың әхмийетли характеристикасы – хираллығы, яғный гексагонал графит сетка менен нанотрубканың көлденең көшери арасына салыстырғандағы өзара жайласуының бағыты. Мысалы: бир қатламлы нанотрубкаларда өткізгішликтің хираллыққа ғәрезлиги табылған: зигзаг тәризли трубкалар металлық өткізгішликке ийе, вираль трубкалар – ярымөткізгішлер, соның мене бирге қадаған етилген зонаның ени трубка радиусы мене сәйкес келехи (киши қадаған етилген зонаға ийе ярымөткізгішлер ушын $\Delta E_g \sim R^{-2}$, кең қадаған етилген зонаға ийе ярымөткізгішлер ушын $\Delta E_g \sim R^{-1}$).

4-суўретте хәрқыйлы зарядланған кристаллитлерден туратуғын нанокөмпозитлердің схемалары көрсетілген: а) p- (геўекли ярымөткізгішлер) хәм n-кристаллитлер (электронлық ярымөткізгішлер); б) хәрқыйлы Ферми энергиясына ийе фазалар; в) металлар хәм ярымөткізгішлер. Сырттан электр майданын түсирсек ажыралуы бетинің заряды өзгереді.



4-сүүрет. Хәрқыйлы зарядларға ийе нанокөмпозитлердиң схемасы [15]

1.2. Механикалық қасиеттері

Нанокристаллдық структуралардың қәлиплесіуі массив аналогларға қарағанда қасиетлердің өзгерісін пайда етеді, мысалы дара жағдайда нанокристалл материалдардың механикалық характеристикалары әдеуір артады, солардың ишінде биринши гезекте атап өтилиуі керек нәрсе бул олардың оғада жоқапры қаттылыққа ийе болыуы. Қаттылық ол денеге басқә қаттырақ дене батырылғанда, мысалы алмаз батырылғанда, материалдың пластикалық деформацияға қарсылығын характерлейтуғын болғанлықтан материалдың қаттылығы менен аққышлық шеги (σ_y) араасында пропорционаллық қәтнас бар болады.

Тарийхый жақтанда биринши мәрте материалдың аққышлық шеги ниң размерге ғәрезлилиги биринши мәрте изертленди, нәтийжеде Холл-Петч нызамы деп аталатуғын қәтнас алынды:

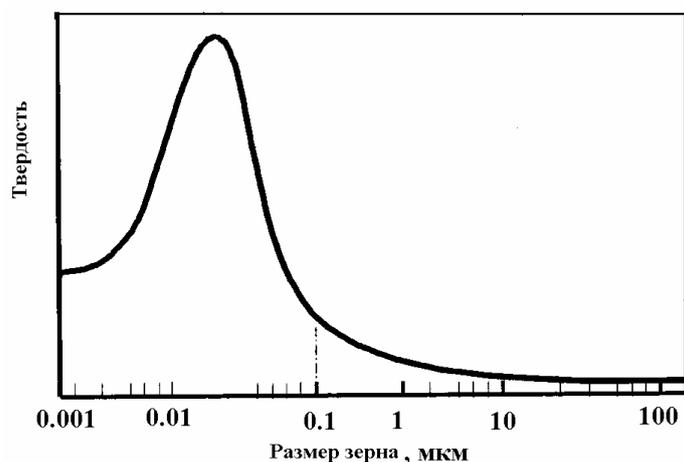
$$\sigma_y = \sigma_0 + k_y D^{-n}, \quad (1.5)$$

бул жерде: σ_0 – дислокацияның қозғалысына тосқынлық жасаушы ишки кернеу, k_y – дислокация қозғалыуына дәнеше шегерасының мөлдірлиги менен байланыслы болған коэффициент, ал n шамасы $1/2$ ден баслап (Холла – Петчтиң классикалық нызамы) $1/4 \dots 1$ интервалындағы мәнислерди қабыл етеді. n дәреже көрсеткіштиң хәрбир мәнисине дислокацияның дәнеше шегерасы менен өзара тәсирлесіуінің характерли механизми сәйкес келеди деп есапланылады. Размери 10^{-6} м артық болған дәнешелер ушын, көрсеткіши $n = 1/2$ болған металлар хәм қуймаларда классикалық нызам жеткиликли жақсы орынланады.

5-сүуретте дәнеше размери критикалық размерге шекем кемейгенде (шама менен 10 нм) қаттылықтың, аққышлық шегерасының өзгеріс схемасы келтирилген.

Дәнеше размериниң дислокациялық декрет ушын критикалық мәниске жетиуі жоқары сезгир электронлық микросокпия мағлыұматлары мене тастыйықланады.

Размери $d < 10$ нм болған кристаллитлерде дислокация болмайды, ал дәнеше шегералық фаза структурасы бойынша аморф структураға жақын болады.



5-сүүрет. Дәнеше размери кемеигенде қаттылықтың, аққышлық шегиниң өзгерис схемасы.

Дәнеше размери 7 нм Ге шекем хәм оннанда төмен размердиң кемеиуи менен қаттылықтың артыуы орнына кери Холл-ПЕТч эффекти пайда болады, яғный дәнешениң размериниң кемеиуи менен қатайуу процессии болады.

Дәнеше размери критикалық мәнистен кемеигенде деформациялау процессинде бул аномаль кубылысты түсиндириу ушын бирнеше механизмлер усынылды. Олар төмендегилер, дәнешелер шегерасы бой лап сырғанау (ротациялық беккемлениу), шлик стык эффекти, наногеуеклердиң хәм киритпелердиң бар болыуы.

2, 3 кестелерде металллардың механикалық қасийетлериниң дәнеше размерлерине ғәрезли өзгерис нәтийжелери келтирилген.

2 кесте

Қәдимги хәм нанокристалл никельдің механикалық қәсийетлери

Қәсийетлер	Қәдимги, 10 мкм	Нано – Ni	
		100 нм	10 нм
Беккемлик, МПА (25 °С)	103	690	>900
Созыў шеكلي беккемлиги, МПА (25 °С)	403	1100	>2000
Викерс бойынша қаттылығы, кг/мм ²	140	300	650

3 кесте

Механикалық қәсийетлердің дәнеше размерине ғәрезлилиги

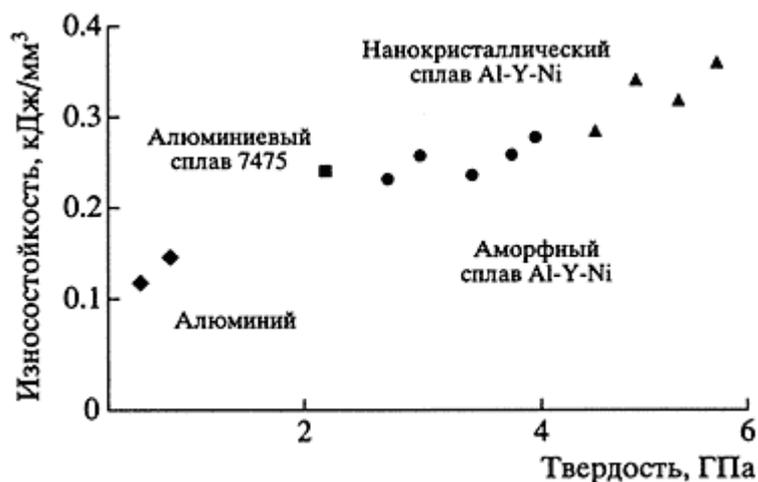
материал	0,2	Т, °С	730	17
	размери, мкм		шеги, МПа	салыстырмалы созылығуы, %
Титан қуйма BT1 -00	50	20	380	29
	0,1		730	18
Титан қуйма BT6	10	20	1050	9
	0,4		1300	7
	10	600	585	46
	0,4		200	200
Титан қуйма BT8	5	20	1050	45
	0,06		1400	53
Никель қуйма RSR Rene 80	100	20	375	30
	0,2		850	33
Қуйма Al-Mg-LiSc-Zr	10	20	450	5
	0,2		600	6
Полат Fe-25%Cr-0,2%Ti0,12C	50	20	485	26

Нанокристалл материаллардың созылыудағы беккемлиги ири дәнешели үлгилерге қарағанда 1.5 – 2 есе жоқары. Бирақ дәнеше размериниң критикалық шамасынан төмен кемейиуи менен қаттылықтын кемейиуиде бақланды, бул дәнеше шегераларының үшлик стыкларының үлеси артыуы менен байланысly болыуы мүмкин. Үлкен дәнешелер ушын размериниң кемейиуи менен беккемлик хәм қаттылықтын кемейиуи дәнеше шегераларының қосымша киритилиуи менен байланысly, олар дислокациялардың қозғалысына тосқынлық болып хызмет етеди. Киши наноразмерли дәнешелерде беккемликтин артыуы бар болған дислокациялардың киши тығызлығы хәм жаңа дислокациялардың пайда болыу қыйыншылығы менен байланысly. 6-сүүретте полат ушын беккемлик хәм пластиклик арасындағы қатнас көрсетилген.



6-сүүрет. Хэркыйлы материаллардың механикалық қәсийетлериниң өзгерисиниң блок-схемасы.

Нанокристалл полат 12Х18Н10Т беккемлик хәм пластиклик бойынша жақсы қатнасқа ийе. Айырым жағдайларда нанокристалл материаллардың төмен пластиклиги дислокацияның пайда болыў, көбейиў хәм қозғалысы қыйыншылығы менен байланыслы болыўы мүмкин, соның менен бирге бул материалларда бослықлар, микротрещина хәм киритпелердиң бар болыўы менен байланыслы болыўы мүмкин. Нанокристалл структураға ийе алюминий қуймаларында ири дәнешели үлгилерине қарағанда желиниске шыдамлылығы әдеўир жоқары (7-сүүрет).



7-сүүрет. Алюминий қуймалардың желиниске шыдамлылығы

Интерметаллидлер сыяқлы морт материалларда дәнеше размерлери критикалық мәнистен киши болғанда пластиклиги артыўын микротрещиналардың пайда болыў хәм таралыўының спецификалық механизмлери менен түсиндириўге болады. Солай етип, материаллардың наноструктуралы болыўы қәсийетлердің жаңа түрлерин алыўға әжайып мүмкиншилик береді: жоқары беккемлик, қаттылық, жоқары пластикликке ийе бола турып желиниўге жоқары шыдамлылыққа ийе болыўы.

Сәйкес размерлик ызыамлылықларды табыў материаллардың жаңа әўладына өтиўге мүмкиншиликлер пайда етеди, олардың қәсийетлерин оларды құраўшы элементлердің размерлерин хәм формасын ретлестириў жәрдемінде өзгертилсе болады. Бул өзгешеликлерди приборлар ислеўде қолланса да болады.

II БАП. ЭКСПЕРИМЕНТ ХӘМ АЛЫНҒАН НӘТИЙЖЕЛЕР

Маркасы 321, қалыңлығы (2,5÷3) мм болған тат баспайтуғын полат үлгиге «Импульс-6» үскенесінде плазмалық-детонациялық технология жәрдеминде қалыңлығы шама менен 50 мкм болған қаплама отырғызылды. Фракция ретінде размерлери 23 тен баслап 56 мкм Ge шекемги α -Al₂O₃ унтағы пайдаланылды. Ени шама менен 20 мм болған қаплама бир өтиўде отырғызылды, газдың жумсалыўы хәм батарея сыйымлығы [3] жумыстағыдай болды. Al₂O₃ қапلامасы емески разрядта тазаланғаннан кейин N/Ag орталығында қалыңлығы (1,8÷2,2) мкм болған TiN қапلامасы отырғызылды, титан катодтың жаныў тоғы 100 А болды.

Қапلامаның структурасын анализлеў ушын төмендеги методлар колланылды: рентген нурларының дифракциясы (РСА), микроанализ (SEM EDS) пенен растрлы электрон микроскопия. Коррозиялық сынаўлар стандарт ячейкада [4-6], ал желиниўге шыдамлылық тестлери цилиндр-тегислик схемасы бойынша өткерилди.

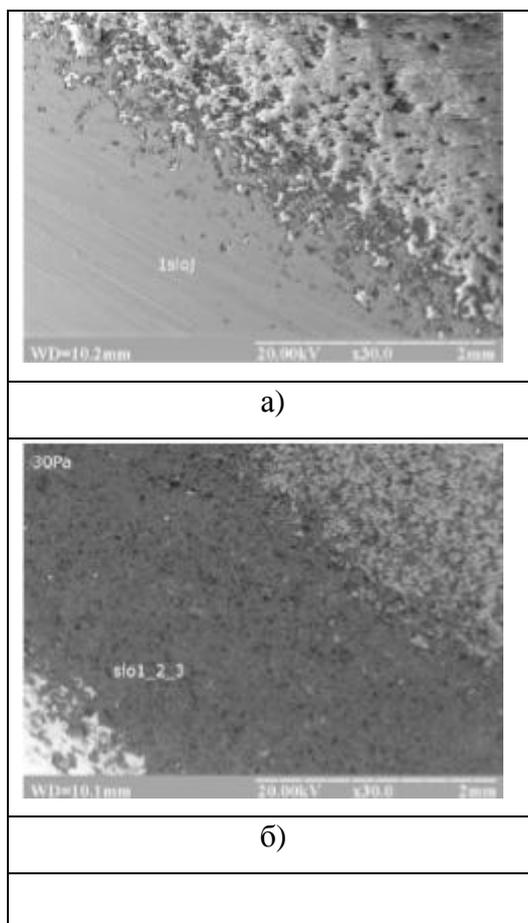
4-кестеде наноқаттылық H хәм серпимлилик модули E ниң мәнислери көпқатламлы структураның хәр бир қатламы ушын келтирилген. Буннан көринип турғанындай ең үлкен қаттылық H=35±1,8 ГПа хәм серпимлилик модули E=327±17 ГПа ға Ti-Al-N қатламы ийе. Дебай-Шерер бойынша анықланған бетлик қатламдағы дәнешелердиң размерлери (10÷12) нм, екинши TiN қатламдағы дәнешелердиң размерлери үлкенлеў (20÷35) нм, ал Al₂O₃ қатламы дәнешелери размерлериниң спектри әдеўир кең, бир микроннан басланып 100 микронға шекем барады, олар 25% курайды.

Кесте 4

Қатлам составы	H, Гпа	E, ГПа	Дәнешелер размерлери, нм	Қатлам қалыңлығы, нм
Ti-Al-N	35±1,8	327±13	10÷12	2,2±2,5
TiN	22±6	240±16	20÷35	1,8±0,2
Al ₂ O ₃	16±20	194±8	10 ⁴ ÷10 ⁵	48±52

Полат				
-------	--	--	--	--

8-сүүретте қапلامаның қыя шлифи сүүрети көрсетилген, 1-ши қатлам (а) хәм 2-3-ши қатламлар (б). Бул шлиф қатламларға микроанализ ислеу ушын хәм наноиндентор менен байланыслы өлшеулерди орынлау ушын исленди.

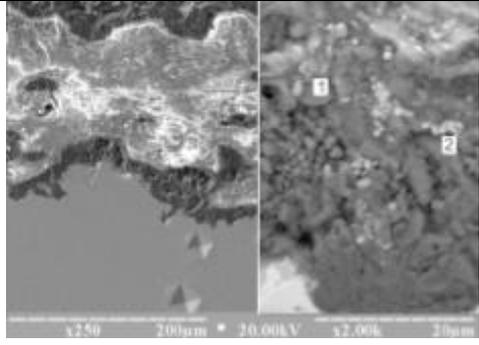
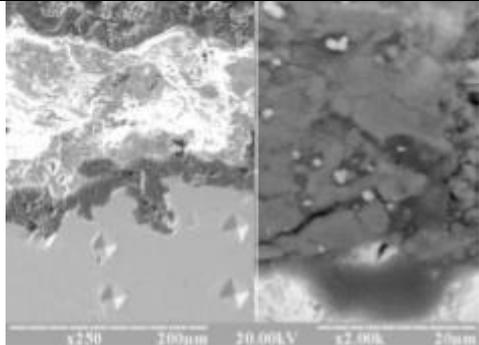


8-сүүрет. Ti-Al-N/Ti-N/Al₂O₃ көп қатламлы нанокомпозит қапلامаның 7 ÷10 градус пенен алынған қыя шлиф участкасының сүүрети: а)- 1-ши қатлам, б) -2 хәм 3 қатламлар.

Енди көп қатламлы нанокомпозит Ti-Al-N/Ti-N/Al₂O₃ қапلامаның дифрактограммаларын қарайық (3-сүүрет). Көринип турғанындай қапламада төмендегидей фазалар бар: Al₂O₃, TiN, AlTi₃N(AlTi)N; подложканың Cr_{0,19}Fe_{0,7}Ni_{0,11} фазалары болыуыда мүмкин. 600 °C та отжиг етилгеннен кейин қапلامаның фазалық составы өзгермеді. Бірақ 900 °C температурада хауда 3 саат отжиг етилгеннен кейин (жоқарғы ийкелик) TiO₂ фазасы қәлиплеседі, ал Al₂O₃ фазасы әдеуір микрокристалланады хәм тек ғана Al₂O₃ дан ибарат болып қалады. Яғнай

900 °С температурада хаўада 3 саат отжиг етиў нәтийжесинде Ti хәм Al толық окисленеди, қапламаның қаттылығыда кескин кемейип $H=(8,8\div 12)$ ГПа болды. Солай етип жоқарғы еки қатлам окисленеди (1-ши қатлам толығы менен хәм 2-ши қатламның бир бөлеги), Al_2O_3 қатламда фазалық өтиў болмайды (α фазадан γ фазаға өтиў 950 °С температурада болатуғын болғанлықтан).

9а,б хәм 10а,б-сүүретлерде қаплама бетиниң 600 °С температурада отжиг етилгеннен кейинги хәм дәслепки сүүретлери, соның менен бирге травление исленген кесе шлиф суўретлери келтирилген. Бул сүүретлерден қаплама структураларында хәм оның элементлик составында айтарлықтай өзгерислер жоқ екенлиги көринеди. Вакуум-дугалы дерек жәрдемінде алынған қатламның (Ti-N) хәм плазмалық-детонациялық технология бойынша алынған Ti-Al-N қатламы менен Al_2O_3 қалың қатламлардың шегералары анық көринип тур. Қаплама бетиниң хәм шлифлердиң бирнеше точкаларынан алынған микроанализлердиң көрсетиўинше элементлик составта сезилерлик өзгерислер көринбейди, тек ғана С, О концентрациялары артады, ал N (азот) концентрациясы кемейеди.

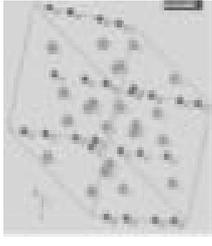
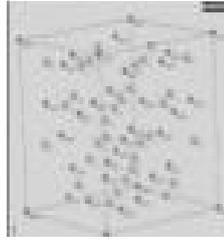
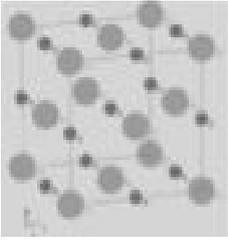
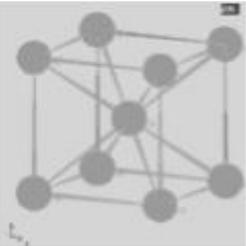
			
а)	б)	а)	б)
<p>9-сүүрет. Көп қатламлы наномикрокомпозит қапламаның кесе шлифи структурасы-а) хәм бетиниң суўрети-б) дәслепки халы (қаплама отырғызылғаннан кейие 3 айдан кейинги).</p>		<p>10-сүүрет. Көп қатламлы наномикрокомпозит қатламаның кесе шлифи структурасы-а)600°С температурада отжиг етилгеннен кейин хәм бул беттиң сүүрети – б).</p>	

Солай етип, үшқатламлы нанокөмпозит қаптаманы хаўада 600 °С температурада отжиг еткеннен кейинде оның элемент составы хэм структурасы өзгермейди.

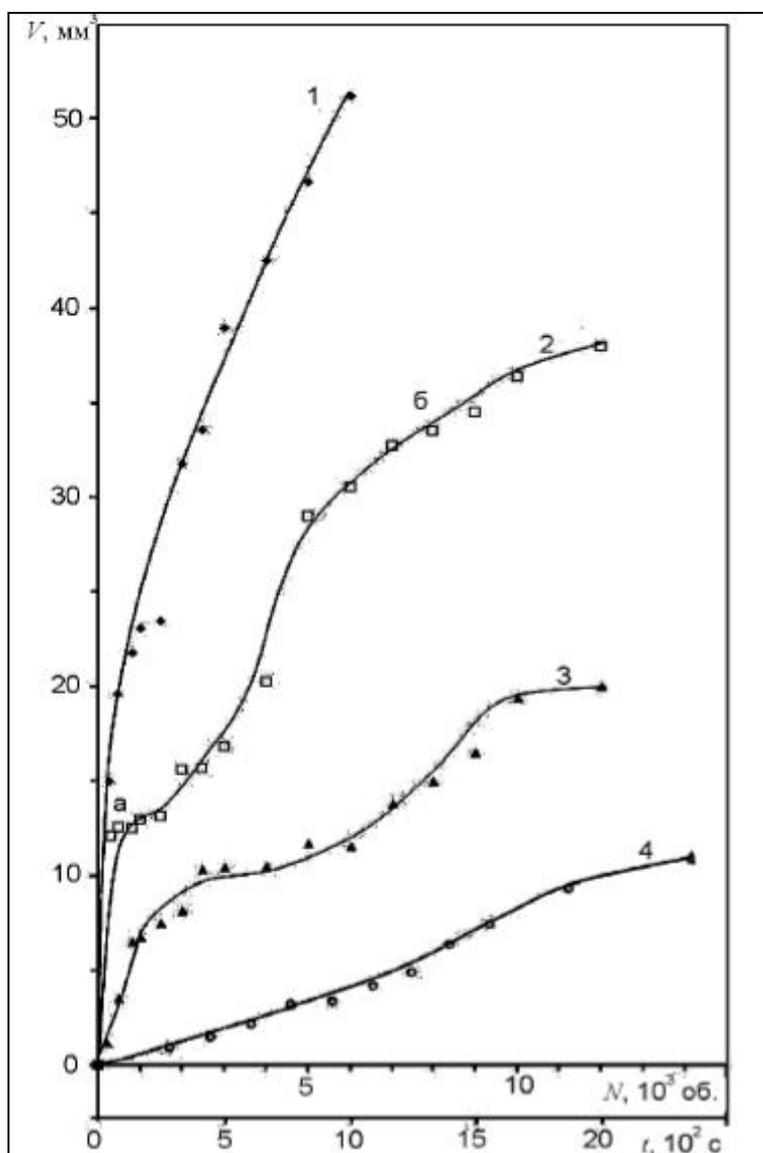
Қаптаманың отырғызылғаннан кейинги (отжигке шекемги) оны кураўшы фазаларының решетка параметрлери 5-кестеде келтирилген.

Бетлик қаптаманың желиниўи бойынша тегислик-цилиндр схемасы бойынша сынаўлардың нәтийжелери 11-сүүретте келтирилген. Бул нәтийжелерден көринип турғанындай цилиндр менен бет арасындағы сүйкелистен кейин ең үлкен желиниўи подложка бетинде байқалады (1 иймеклик). Плазмалық-детонация методы жәрдеминде отырғызылған Al₂O₃ қатламы желиниўи кемейеди (2 иймеклик). Желиниўидиң Al₂O₃ қатламы желиниўине қарағанда кемейиўи TiN қатламында байқалады. Ең кем желиниўи көпқатламлы нанокөмпозит Ti-Al-N/Ti-N/Al₂O₃ қаптамада байқалады. Қаптаманың жоқарғы қатламы (ямаса басқаша айтқанда Ti-Al-N/Ti-N «сэндвичи») ең кем желиниўиди бередиди.

Кесте 5

Фаза	α -Al ₂ O ₃	γ -Al ₂ O ₃	TiN	Cr
Решетка типиди	$R\bar{3}c[211]$	$Fd\bar{3}m[255]$	$Fm\bar{3}m[211]$	$Im\bar{3}m[211]$
Федоров группасы номериди	167[262]	227[262]	225[262]	229[262]
Элементар ячейкасының түри				
Ячейкадағы атомлар саны, N	30	53?3 (56)	8	2
α, A^0	4,77	7,90	4,25	2,88
$c, A^0)^3$	12,88	-	-	-
$V, (A^0)^3$	253,43	493,04	76,87	23,86
HKL	104	400	111	110
2 θ , град	35,2	45,9	36,6	44,5

$P(\theta)_{\text{HKL}}$	19,14	10,60	17,78	11,42
F_{HKL}	80,67	196,55	45,69	33,4
P_{HKL}	6	6	8	12
$I_{\text{HKL}}, \text{MM}$	157	64	37	25



11-сүүрет. Цилинд менен бет арасындағы сүйкеліс нәтийжесінде материалдың желиниү ғарезилиги: 1-дәслепки хал; 2- Al_2O_3 қатламы; 3- $\text{Ti-N}/\text{Al}_2\text{O}_3$ қаптамасы; 4-көп қатламлы нанокөмпозит қаплама $\text{Ti-Al-N}/\text{Ti-N}/\text{Al}_2\text{O}_3$.

ЖУЎМАҚЛАР

Солай етип Ti-Al-N/Ti-N/Al₂O₃ тийкарында алынған көп қатламлы нано-микрокомпозит қаплама қаўада 900 °С температураға шекем термикалық турақлы. Соның менен бирге олар цилиндр менен қаплама арасындағы сүйкелесте желиниўге шыдамлы. Бирақ 900 °С температурада отжиг етилгенде Ti-Al-N жоқарғы қатламы толық окисленип кетеди, ал Ti-N еккинши қатлам толық емес окисленеди. Қапламаның қаттылығы дерлик 2 еседен көп кемейеди.

Әдебиетлар

1. Gleiter H. // Acta Materialia. – 2000. – V.48,№1. – P.1 – 29.
2. Gleiter H., Wtissmuller J., Wollersheim O. et.al. // Acta Materialia. –2001. – V 51, №5. – P.737–745.
3. Погребняк А.Д., Дробышевская А.А., Береснев В.М. и др. Нанокompозитные защитные покрытия на основе Ti-Al-N/Ni-Cr-D-Si-Fe, их структура и свойства //ЖТФ.-2010.-Вып.7
4. Береснев В.М., Погребняк А.Д., Турбин П.В., Дуб С.Н., Кирик Г.В. и др. Трибологические и механические свойства нанокompозитных покрытий из Ti-Al-N, осажденных ионно-плазменным методом// Трение и износ.-2010,-Вып.2.
5. Погребняк А.Д., Дробышевская А.А., Даниленок М.М. Береснев В.М. и др. Исследования структуры и физико-химические свойства нанокompозитных комбинированных покрытий на основе Ti-Cr-N/Ni-Cr-D-Si-Fe// Известия высших учебных заведений. Физика.-2010. –Вып.12
6. Азаренков Н.А., Береснев В.М., Погребняк А.Д. Структура и свойства защитных покрытий и модифицированных слоев.-Харьков: ХНУ, 2007.
7. Погребняк А.Д. Шпак А.П., Азаренков Н.А., Береснев В.М. Структура и свойства твердых и сверхтвердых наноструктурных покрытий//Успехи физических наук.- 2009. №179