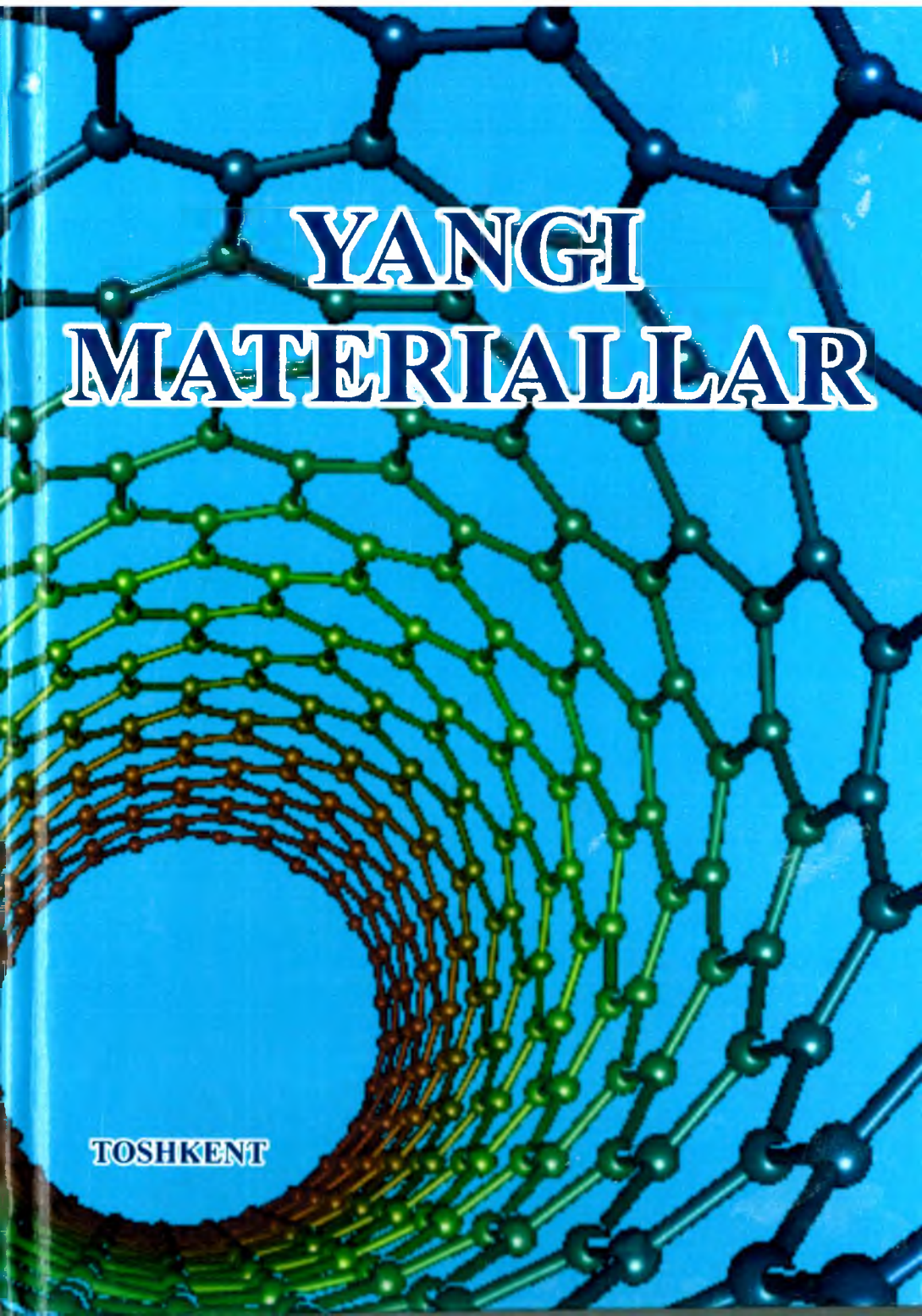




YANGI MATERIALLAR

TOSHKENT

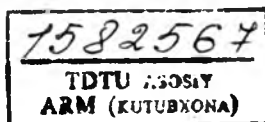
435
620(045)
961

**O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O'RTA
MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI**

**ABU RAYHON BERUNIY NOMIDAGI TOSHKENT
DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI**

YANGI MATERIALLAR

*O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligining
muvofiqlashtiruvchi Kengashi tomonidan o'quv qo'llanma
sifatida tavsiya etilgan*



TOSHKENT – 2015

UO'K: 620.17 (075)

KBK 30.3

Y-61

Y-61

Yangi materiallar. –T.: «Fan va texnologiya», 2015, -144 b.

ISBN 978–9943–983–90–8

«Yangi materiallar» o'quv qo'llanmasi oliy o'quv yurtlarining magistrantlari va materialshunoslik hamda nanotexnologiyalar sohasidagi tadqiqotchilar uchun mo'ljallangan. O'quv qo'llanmada nanotexnologiya to'g'risida umumiy tushunchalar, nano-strukturalarning xususiyatlari, nanomateriallarning xossalari, nanomateriallarning olish texnologiyasi, nanomateriallarni tadqiqot qilishning asosiy usullari, o'ta yengil metallar asosidagi qotishmalar, kompozitsion materiallar keltirilgan. O'quv qo'llanmada keramikaning turlari, maxsus xossali qotishmalar va ularni qo'llash sohasi keng yoritilgan.

Учебное пособие «Новые материалы» предназначено для магистрантов высших учебных заведений и исследователей в области материаловедения и нанотехнологий. В учебном пособии представлены общие понятия о нанотехнологии, рассмотрены особенности наноструктуры, свойства наноматериалов, технология получения наноматериалов, современные методы их исследования, сверхлёгкие металлы и сплавы на их основе, композиционные материалы, сверхчистые и сверхтвёрдые материалы. В учебном пособии подробно освещены различные виды керамики, сплавы с особыми свойствами и область их применения.

The tutorial «New materials» is for masters of the higher education and researchers in the sphere of material science and nanotechnology. General concepts of nontechnology are presented. The peculiarities of nanostructures, the properties of nanomaterial, and technologies of nanomaterial production, modern methods of their investigation, superlight metals and alloys on their basis, composite materials, superpure and superhard materials are examined. In the tutorial different types of ceramics, alloys with special properties and the sphere of their application are illuminated in details.

UO'K: 620.17 (075)

KBK 30.3

Mualliflar:

Q.K. Qodirbekova, R.X. Saydaxmedov, G.A. Yuldasheva, Q.G' Baxadirov.

Taqrizchilar:

F.S. Abdullayev – t.f.d., professor;

I.N. Gagiyeu – Toshkent mexanika zavodining bosh texnologi.

ISBN 978–9943–983–90–8

© Toshkent davlat texnika universiteti, 2015;

© «Fan va texnologiya» nashriyoti, 2015.

KIRISH

Yangi materiallar va ularni olish texnologiyasini yaratish jamiyatni texnik va ijtimoiy rivojlanishining obyektiv zaruriyatidir. XXI asrda yangi o'ta mustahkam, yengil, atrof-muhit ta'siriga chidamli materiallarni yaratish o'ta muhim. «Yangi materiallarni» XXI asr materiallari deb qarash qabul qilingan. Yangi materiallarning o'rni yildan-yilga oshib bormoqda. Amerikalik ekspertlarning fikricha, yaqin 20 yillar ichida (2025 yilgacha) 90% hozirgi mavjud materiallar yangisi bilan almashtiriladi. Bu esa hamma sohalarida texnik revolyutsiyaga olib keladi.

Nashr etilgan ma'lumotlarga asosan, hozirda eng tez rivojlanayotgan fan sohalarini tibbiyot-biologik tadqiqotlar, undan keyin axborot texnologiyalari va uchinchi o'rinni yangi materiallar egallaydi.

Ma'lumotlarga qaraganda dunyo bozoridagi nanotexnologiya mahsulotlari 2012 - 2015 yillarda Amerika Qo'shma Shtatlarining nanotexnologiyalar sohasidagi tadqiqotlarga sarf etgan harajatlari kosmik tadqiqotlar va mudofaaga sarflangan harajatlardan 150 milliard dollardan oshib ketib, yaqin kelajakda 2 mln. ish joyi 15 mlrd. oborotga ega yangi sanoat tarmog'ini yaratadi. Nanotexnologiyalar sohasidagi AQSHning milliy siyosatni koordinatsiyalash Byurosining direktori Kleyton Tig ta'kidlaganidek, hozirgi kunda AQSH har yili davlat mablag'idan nanotexnologiya loyihalarini rivojlantirish uchun 1,5 mlrd. dollar ajratmoqda. AQSHning eksministri Rodni Sleyterni aytishicha, 2015 yilda nanotexnologiyalar bozoridagi oborot 2 trln. dollardan oshadi [1].

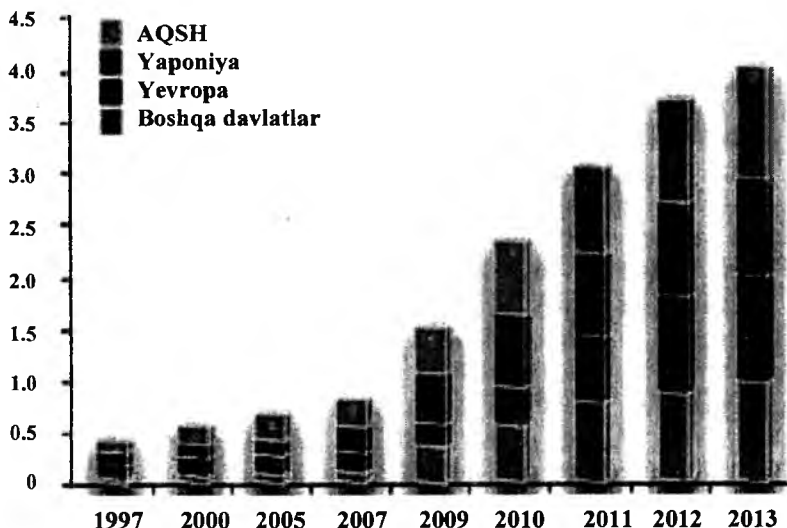
Buyuk Britaniyaning savdo vazirligining bashoratiga qaraganda nanotexnologiyalar sohasidagi natijalarning samaradorligi 2015 yilda 1 trln. \$/yiliga va bu sohada ish yuritayotgan mutahassislar soni 2 mln. kishini tashkil qiladi [2].

Yaponiyada 1999 yildan beri davlat tomonidan oliy darajada baholangan – «Ogato» «Nanotexnologiya bo'yicha ishlarni milliy rejasini» loyiha bajarilib kelmoqda. Bu loyiha davlat va 60 ta shaxsiy firmalar tomonidan moddiy ta'minlanmoqda.

Xitoyda 2001-2005 yillarda bajariladigan tadqiqotlar uchun 300 mln. dollar ajratildi. Yevropada davlatlar va xalqaro tashkilotlar (nanotexnologiyalar sohasidagi NATONing programmasi) 40 laboratoriyada nanotexnologiyalar bo'yicha tadqiqotlar va ishlanmalar bajarilmoqda [3].

«Rosnanotex» DK bosh direktori L.Melamedning aytishicha, Rossiya bu sohadagi izlanishlar uchun 5,5 mlrd. dollar ajratdi [4].

2010 yilda nanotexnologiya mahsulotlarining hajmi 800 mlrd AQSH dollarini tashkil etdi. 10-15 yildan so'ng (2002 yilga nisbatan) nanotexnologiya mahsuloti 2 trln. AQSH dollarini tashkil etadi, shundan 340 mlrd. dollari yangi materiallarga to'g'ri keladi. Bundan kelib chiqqan holda shuni aytish mumkinki, rivojlangan davlatlarda (AQSH, Yaponiya, Rossiya, Yevropa davlatlari) nanotexnologiyaga ajratiladigan mablag'lar hajmi oshib bormoqda (1.1-rasm).



1.1-rasm. Dunyo mamlakatlarida nanotexnologiya sohasidagi sarf-xarajatlar hajmi, billion AQSH\$.

Nanotexnologiya, yangi materiallarni olish bo'yicha dunyoning ko'p ta'lim muassasalarida yo'nalishlar va fanlar mavjud. O'quv qo'llanmada nanostrukturalar xususiyatlarining xarakteristikallari,

nanomateriallarning turli xil kimyoviy, fizik, mexanik va boshqa xossalari, o'lchamlar effekti hodisasi tahlili, nanomateriallarni olishning asosiy usullari, va ularni hozirda va kelajakda qo'llanilish sohalari ko'rsatilgan.

Yangi materiallarni nanotexnologiyalar asosida olinadigan nanomateriallarsiz tasavvur qilish qiyin. Nanomateriallarni an'anaviy usullarda olib bo'lmaydi.

I BOB. NANOTEXNOLOGIYA TO'G'RSIDA UMUMIY TUSHUNCHALAR

1.1. Nanotexnologiya va nanomateriallar haqida ma'lumotlar

«Nanotexnologiya» iborasi birinchi marta yapon olimi K. Taniguchi tomonidan 1974 yilda mo'rt materiallarni ishlash muammosini muhokama qilishda ishlatilgan. Kichik o'lchamli obyektlarning ahamiyati Nobel mukofoti laureati R.Feynman tomonidan 1959 yilda ta'kidlab o'tildi [5]. R.Feynman o'zining «Pastda juda ko'p joy bor: yangi fizika dunyosiga taklif» nomli ma'ruzasida axborotlarni siqish, juda kichik kompyuterlarni yaratish, biologik obyektlarning xususiyatlaridan kelib chiqqan holda molekulalar bosqichida qurilmalar yasashga diqqat e'tiborni qaratishni aytib o'tgan edi.

Ko'p umidlar kimyoviy sintezga qaratilgan bo'lib, fizika qonunlari atom – molekula bosqichida yangi materiallar yaratishga to'sqinlik qilmaydi.

Feynmanning ba'zi bir g'oyalarini E.Dreksler (AQSH, Massachuset texnologik instituti) rivojlantirdi. Uning 1986 yili «Yaratuvchi mashinalar: nanotexnologiya davriga kirish» nomli kitobi bosmadan chiqdi. Muallif biologik modellarga asoslanib molekulyar robototexnik mashina to'g'risida tushuncha kiritdi. «Yuqoridan-pastga» (maydalashga tipik misol) an'anaviy texnologik yondoshishga qarama-qarshi qilib «Pastdan-yuqoriga» (atom va molekulalar darajasida yig'ish) iborasini ilgari surdi.

1990 yilda IBM kompaniyasida skaner tunnel mikroskop yordamida IBM ning abbreviaturasini nikel monokristalining (110) qirrasida 35 ksenon atomi yordamida yig'ildi. Bu bilan atom arxitekturasi imkoniyatlari yaqqol darajada ko'rsatib berildi.

Bir vaqttni o'zida nanomateriallar konsepsiyasi ham rivojlanib bordi. Birinchi marta G. Gleyter (1981 yil) umumiy konsepsiyani metallarga nisbatan tavsiflab berdi; u «nanokristall» materiallar terminini qo'lladi. Keyinchalik «nanostruktura», «nanofaza», «nanokompozitsiya» terminlari ishlatila boshlandi. Bu konsepsiyaga

asosan asosiy rol yuza bo'limlariga (donachalar chegarasiga) ahamiyat qaratildi, chunki bu faktor qattiq jismlarning hossalari jiddiy ravishda o'zgartirishga olib keladi. Bu konsepsiyaga asosan qattiq jism strukturasi va elektron tuzilishi modifikatsiya (o'zgartiriladi) qilinadi, shuningdek kimyoviy elementlar orqali legirlashga ham asosiy o'rin ajratilgan.

Shuningdek, G.Gleyter nanomateriallarni ultradispers zarrachalarni yig'ish orqali hosil qilish bo'yicha taklif berdi. Ultradispers poroshoklar vakuum kamerasida bug'lantirib olinib, keyin bir butun jipslashtiriladi. Bu usulda diametri 10-20 mm va qalinligi 0,1-0,5 mm gacha bo'lgan namunalar olindi.

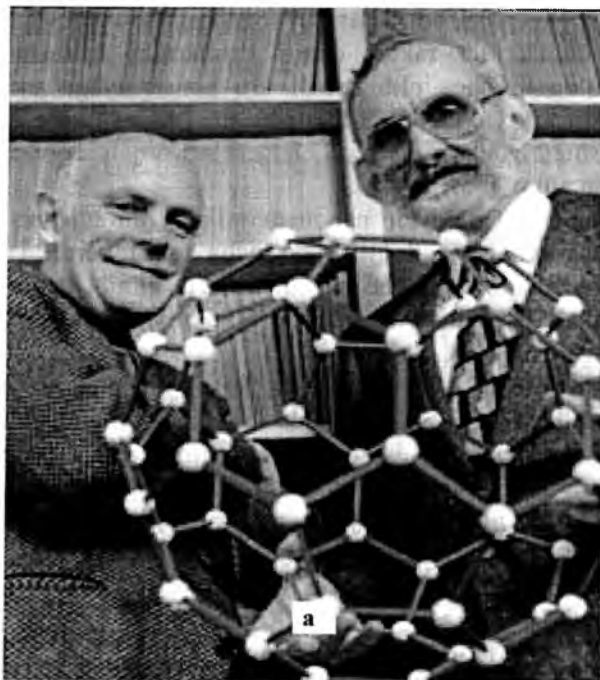
G. Gleyter taklif etgan usul ko'p davlatlarda qo'llanilib, nanomateriallarning xossalari haqida turli xil ma'lumotlar tez yig'ila boshlandi. Rossiyada (u davrda Sovet Ittifoqi) ushbu yo'nalishdagi birinchi ish 1983 yilda nashr etildi. V.N.Lapkov va L.I.Trusov rahbarligi ostida nikelning ultradispers kukuni yuqori bosim ostida jipslashtirildi. Bu nanokristall namunaning qattiqligi oddiy polikristall nikelning qattiqligidan ikki baravar ortiq edi.

1985 yilda Richard Smelli, Robert Kerl va Garold Kroto fullerenlarni kashf etishdi va birinchi bo'lib 1nm o'lchamdagi obyektни o'lchash imkoniga ega bo'lishdi (1.2-rasm). 1986 yilda ular Nobel mukofoti sovrindorlari bo'lishdi.

Fullerenlar – uglerodni allotropik shakllarini berik ko'p qirrali molekulyar birikmasi (1.3, a-rasm.). Fulleren molekulası uglerodning 60 atomidan tashkil topgan. C60 diametri 1 nm ga teng.

Uglerod nanonaychalari-diametric, birdan bir necha o'n nanometrgacha uzunligi bir necha santimetrgacha bo'lgan silindrsimon struktura b o'lib odatda yarim sfera shaklli kallak bilan yakunlanadi (1.3b.)

Shuni ta'kidlab o'tish kerakki, kichik o'lchamli obyektrlarni (kukunlar, kolloidlar, katalizatorlar, seolitlar, pigmentlar, qoplamalar, klasterlar va boshqalar) va kvant o'lchami oraligidagi hodisalarni o'rganish «nanobum» boshlangunga qadar ancha oldin boshlangan edi. ([6,7,8 - 10, 16 – 18 larga qarang]).



1.2-rasm. Richard Smelli, Robert Kerl va Garold Krotolar kashf etgan fullerenlar.



a)



b)

1.3-rasm. Uglerod S60 ning fullereni (a), uglerod nanonaychalari (b).

Shuningdek, arxeologik qazilmalar shundan dalolat beradiki, kolloid sistemalarni tayyorlash retseptini antik dunyo davridayoq bilishgan. Masalan, «Xitoy siyohi» to‘rt ming yil avval Qadimgi

Misrda paydo bo'lgan. Biologik nanoobyektlarning yoshi yerda hayot boshlanishi davridan hisoblanadi.

Nanoobyektlarning ilmiy tadqiqoti XIX asrda boshlanadi. M. Faradey (1856-1857 yy.) yuqori dispersli oltin asosli kolloid eritma va yupqa qoplamani hosil qiladi va uning hossalarini o'rganadi.

M. Faradey tomonidan rangni zarrachalar o'lchamiga bog'liq ravishda o'zgarishi tadqiqoti nanoobyektlar o'lchamlari ta'sirining birinchi misoli deb qarasa bo'ladi. Oxirgi paytlarda nanoobyektlarni o'rganishga keng qiziqish, avvalambor uch jihat bilan bog'liq:

Birinchidan, nanotexnologiya usullari, xarakteristikalarini hozirgi darajadan ancha ustun bo'lgan prinsipial yangi qurilma va materiallar olish imkonini yaratadi. Bu esa ko'p sohalarni, chunonchi texnika, biotexnologiya, meditsina, atrof muhitni himoya qilish, mudofaa va boshqalarni jadal rivojlantirishga olib keladi.

Ikkinchidan, nanotexnologiya fizika, kimyo, materialshunoslik, biologiya, tibbiyot, texnologiya, Yer haqidagi fan, kompyuter texnikasi, iqtisodiyot, jamiyatshunoslik va boshqa soha mutaxassislarini birlashtiruvchi juda keng fanlararo yo'nalish.

Uchinchidan, nanotexnologiya muammolarini hal qilinishi bilan, fundamental va texnologik bilimlarga aniqlik kiritish kerakligi ma'lum bo'ldi va ilmiy-injener jamoa diqqatini ushbu yo'nalishga jalb qilishga olib keldi.

Dunyoning ko'p davlatlarida (AQSH, Yevropa, Yaponiya, Xitoy, Rossiya va boshqalar) nanotexnologiya tadqiqotlarini jadal rivojlantirish bo'yicha ilmiy dasturlar qabul qilingan. Kadrlar tayyorlashga ham katta e'tibor berilmoqda, jumladan ba'zi bir yo'nalishlarda nanotexnologiya asoslari bo'yicha fanlar kiritilgan.

Quyida nanotexnologiyani bir nechta muhim yo'nalishlari keltirildi:

- berilgan xossalari material va moddalarni molekulyar darajada konstruktorlash va kerakli shakl berish. Bu material va moddalarning xossalari o'zlarining hozirgi analoglarining xossalariidan bir necha barobar ustun bo'ladi;

- yuqori unumdorlikga va kam energiya sarf qiladigan nanoprotessorlar yaratish;

- kichik o'lchamli va katta (multiterabit) xotira hajmiga ega bo'lgan eslab qoluvchi qurilmalar yaratish;

- yangi dori prepartlari va ularni organizmga yuborish usullari (o'ta kichik doza va ularni kerakli joyga yetkazish muammosi);
- nanosensornlarni qo'llagan holda atrof muhitni va inson organizmini monitoring qilishning yangi usullari.

Ma'lumotlarga qaraganda dunyo bozoridagi nanotexnologiya mahsulotlari 2002 yilda 300 mlrd AQSH dollarini tashkil etdi. Prognozlarga qaraganda 10-15 yildan keyin (2002 yilga nisbatan) bir yillik nanotexnologiya mahsuloti 1 trln AQSH dollarin, shuning 340 mlrd. dollari yangi materiallarga to'g'ri keladi, qachonki bu materiallarni an'anaviy usul bilan olib bo'lmaydi; 300 mlrd dollar yarim o'tkazgichlar sanoatiga; 180 mlrd. dollar farmatsevtika sohasiga; 100 mlrd. dollar katalizatorlar va neftkimyo sanoatiga; 100 mlrd dollar atrof muhitni himoya qilish va energiya resurslarni saqlash; 70 mlrd dollar transport sohasiga to'g'ri keladi.

1.2. Nanomateriallarning turlari

Nanomateriallar va nanostrukturalarning texnologiyasi, tuzilishi, xossalari va qo'llanilishi bir necha monografiyalarda (qarang, masalan [5-7, 11-13,16,18,21]) ifoda etilgan. Ammo bu monografiyalarda alohida olingan nanomateriallar to'g'risida ma'lumot berilgan, nanostruktura materialshunosligi to'liq ifoda etilmagan. Shuningdek Respublikada nanomateriallar (yangi materiallar) bo'yicha o'quv qo'llanma, darslik chop etilmagan. Shuni hisobga olgan holda mualliflar ushbu yo'nalishdagi bo'shliqni to'ldirish maqsadida shu ishga qo'l urdilar.

Nanomateriallar orasida bir nechta asosiy turlarni ajratish mumkin: konsolidatsiya (birlashtirilgan) nanomateriallar, nanoyarim-o'tkazgichlar, nanopolimerlar, nanobiomateriallar, fullerenlar va tubulyar nanostrukturalar, katalizatorlar, nanog'ovak materiallar va supramolekulyar strukturalar.

Bu bo'linish shartli, chunki, masalan, gibrid metallopolymer yoki biopolymer nanokompozitlar ham mavjud. Shu bilan birga nanomateriallar sinfiga yangi (masalan, nanotrubkasimon materiallarga faqatgina 20 yil) va ancha eski obyektlar (masalan, katalizatorlar va nanog'ovak materiallar) ham kiradi.

Konsolidatsiya (birlashtirilgan) nanomateriallarga kompakt materiallar, metall asosli yupqa parda (plyonka) va qoplamalar (pokritiye), kukun texnologiyasi usullari bilan olinadigan birikma va

qotishmalar, shuningdek intensiv plastik deformatsiya, amorf holdidan nazorat qilish orqali kristallanish va yupqa parda va qoplamalarni turli xil usullar yordamida olinadigan nanomateriallar kiradi.

Bu materiallarning nanodonachalari (nanokristallar) alohida joylashgan yoki bo'sh bog'langan (masalan, himoyalovchi polimer qobig'li nanozarrachalar) ko'rinishda bo'lmasdan, aksincha konsolidatsiya (birikgan) holatda bo'ladi. Donachalar orasidagi yupqa qatlam mustahkamligi birikgan nanomateriallardan ancha yuqori.

Nanoyarim o'tkazgichlar, nanopolimerlar va nanobiomateriallar ayrim holda va qisman birikgan holda bo'lishi mumkin, shuningdek gibril (aralash) materiallar ham hosil qiladi.

1985 yildan boshlab uglerod yangi allotropik shakli – C_{60} va C_{70} identifikatsiya qilingandan so'ng fullerenerlar va tubulyar nanostrukturalar ko'p sonli tadqiqotlarga sabab bo'ldi. C_{60} va C_{70} klasterlari fullerenerlar deb ataldi (Nobel mukofoti laureatlari N.Kroto, R.Kerlu va R.Smollilarning ishlari). 1991 yilda yapon olimi S.Ishima grafitni elektr yoy yordamida bug'lantirilgan mahsulotida uglerod nanotrubkalar borligini aniqladi.

Nanog'ovak materiallardagi g'ovaklarning o'lchami 100 nm dan kichik bo'ladi. Shu qatorda adabiyotlarda: mikrog'ovakli (g'ovak o'lchami 2 nm dan kam), mezog'ovakli (g'ovak o'lchami 2 – 5 nm), va makrog'ovakli (g'ovaklar o'lchami 5 nm dan katta) terminlar ham uchraydi.

Katalizatorlar – ancha oldindan o'rganilib kelayotgan va keng qo'llanilayotgan nanoobyektlarga kiradi. *Supramolekulyar* strukturalar –nokovalent sintez natijasida hosil bo'ladi. Bu struktura Van-der-vaals, vodorod va boshqa bog'lanishlar hisobiga hosil bo'ladi.

Shunday qilib, quyidagicha xulosa qilish mumkin. Yuqorida ko'rib o'tilgan nanomateriallarning olish texnologiyasi turlicha, funksional xususiyatlari ham har xil, ularni faqat zarrachalarni kichik o'lchamigina bir guruhga birlashtiradi. Struktura elementlarining minimal o'lchami $(0,1-1,0)10^{-9}$ nm, ya'ni alohida atom va molekullar o'lchamlariga to'g'ri keladi, maksimal o'lchami 100 nm – shartli olingan.

Gohida nanokristall holatning yuqori chegarasi (elementning maksimal o'lchami) ma'lum bir xarakterli fizik parametr (erkin yugurish uzunligi, dislokatsiya surilishi uchun Frank-Rid sirtmog'i diametri, domen yoki domen devori o'lchami va de Broyl elektron

to'lini uzunligi) bilan bog'liq bo'lishi kerak degan fikrlar ham mavjud. Ammo qattiq jism obyektlarining elektr, magnit, deformatsion va boshqa hossalari aniqlovchi xarakterli fizik parametrlarning o'zgarish diapazoni juda keng, shuning uchun ma'lum bir yuqori chegarani belgilash mumkin emas.

Terminlar bo'yicha quyidagini ta'kidlash zarur, «nano» qo'shimchali terminlar keng qo'llanilmoqda, masalan «nanotexnologiya», «nanoelektronika», «nanoximiya» va boshqalar. Amerika adabiyotlarida «nanotexnologiya» deganda struktura elementi $\sim 1-100$ nm o'lchamga ega bo'lgan maqsadli material, qurilma va tizimlarni yaratish tushuniladi.

Hozirgi kunda [13,20] ishlarda taklif qilingan terminologiya to'liq izoh beradi desak bo'ladi:

nanotexnologiya – o'lchamlari 100 nm kam komponentlardan tashkil topgan prinsipial yangi sifatlarga ega obyektlarni hosil qilish, o'zgartirish ularni katta masshtabdagi to'la-to'kis ishlaydigan tizimlarga o'tqazish usul va yo'llari;

nanomateriallar – geometrik o'lchamlari hech bo'lmasa bir yo'nalishda 100nm dan kichik bo'lgan, sifat jihatdan yangi xossali, funksional va ekspluatatsion xarakteristikalariga ega struktura elementlaridan tashkil topgan materiallar;

nanotizimli texnika – an'anaviy texnologiyalar bo'yicha yaratilgan tubdan farqlanadigan to'liq yoki qisman nanomateriallar va nanotexnologiyalar asosida yaratilgan funksional jihatdan to'liq tizim va qurilmalar.

Shuni qayd etish lozim-ki, hozirgi kunda tobora keng qo'llanilayotgan *nanomateriallar* termini (iborasi) bilan bir qatorda teng huquqlikda «*ultradispers materiallar*», «*ultradispers tizimlar*» terminlari ham ishlatilmoqda.

Kichik o'lchamli obyektlar to'g'risidagi fan (nanoscience) – bu nanometr masshtabdagi modda hossalari va hodisalari haqidagi bilimlar majmuasidir.

Nanozarracha (nanokukun) – bu kichik o'lchamli qattiq modda bo'lib, geometrik o'lchami o'ning biridan 100 nm gacha o'zgarishi mumkin. «Nanozarracha» deganda alohida, xolis xarakterga ega, zarracha tushuniladi. Kukun – bu alohida qattiq zarrachalarning biri-biri bilan o'zaro munosabatda bo'lgan majmuasidir. Bu zarrachalarning o'lchamlari 0,001 dan 10^3 mkm gacha bo'lishi mumkin.

Nanozarrachalarning o'lchami kichiklashishi bilan u klaster holatiga o'tadi. Bu klasterlar 10 tadan bir necha mingta (~2000-10000) atomlardan tashkil topgan bo'ladi. Kristall zarrachalardan farqli o'laroq klasterlarga translyatsion simmetriyani yo'qotish xarakterli (xos). Nanozarrachalarga hozirda yarim o'tkazgichli kvant nuqtalari va polimer dendrimerlar kiradi. O'quv qo'llanmada asosan kompakt (konsolidirovanniy, biriktirilgan) nanomateriallarga ko'proq asosiy diqqat qaratiladi. Hozirda faqat shu obyektlar uchun keng va yetarli ma'lumotlar to'plangan. Qolgan nanomateriallar bo'yicha ma'lumotlar yetarli darajada emas.

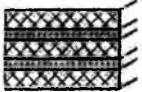
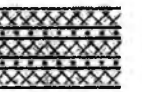
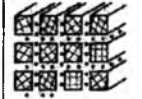
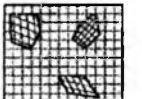
II BOB. NANOSTRUKTURALARNING XUSUSIYATLARI

2.1. Umumiy tasnif

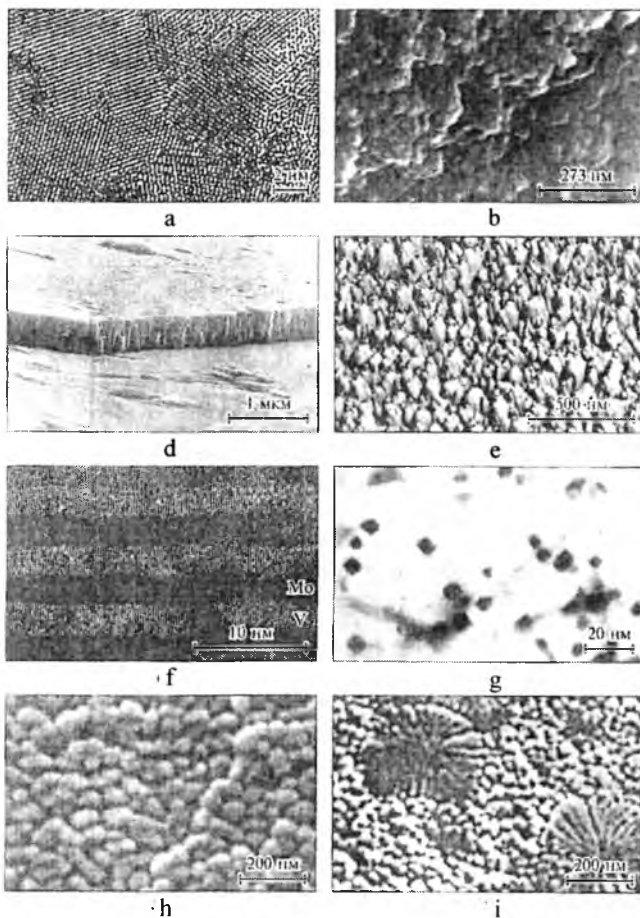
Nanomateriallarning xossalari, shuningdek ekspluatatsion xarakteristikalarini ularning strukturasi (tuzilishi) belgilaydi; bu esa nanostruktura materialshunosligining asosiy muhim masalasidir. Nanomateriallar asosiy tiplarini xarakterlash (tavsiflash) uchun G. Gleyter klassifikatsiyasidan foydalanamiz. (2.1-jadval).

Kompakt nanomateriallarning tarkibi, struktura tashkil etuvchilarining joylashishi va shakli bo'yicha klassifikatsiyasi

2.1-jadval

Shakli	Tarkibi bir fazali	Tarkibi ko'p fazali		
		Statik joylashuvi		Matritsali joylashuv
		Identik chegarali	Noidentik chegarali	
Plastinka-simon				
Ustunsimon				
Teng o'qli				

Kimyoviy tarkibi va fazalarning joylashishi bo'yicha to'rtta strukturani ajratib ko'rsatish mumkin: bir fazali, statik ko'p fazali identik va noidentik yuza bo'limli (поверхности раздела) va ko'p faza matritsali.



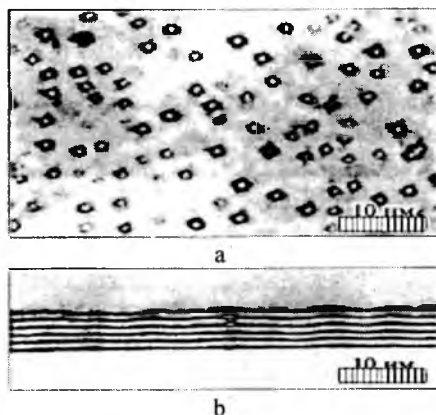
2.1-rasm Nanostrukturalarning mikrorasmlari [1, 2]:

a — kompakt Pd; b — kompakt TiN; d — TiN qoplamasi sinish yuzasi; e — TiN qoplamasini yuzasi; f — ko'p qavatli parda (сверхрешетка) Mo—V; g — suyuq holda toblangan Al —R (10%) qotishma; h, i - suyuq holda toblangan — Fe — Si qotishmani hujayrali va dendrit – hujayrali strukturasi.

Shuningdek, shakli bo'yicha ham struktura uchta tipga bo'linadi: plastinkasimon, ustunsimon va teng o'qli qo'shimchalar (включения) qo'shilgan.

Bu klassifikatsiya kristallararo chegaralaridagi (identik va noidentik yuza bo'limi) segregatsiya imkoniyatlarini hisobga oladi.

Ammo haqiqiy struktura tiplari juda ham keng bo'lishi mumkin: g'ovaklar, trubkasimon strukturalar, polimer tashkil etuvchilar va boshqalar bo'lishi mumkin. Eng keng tarqalgan strukturalarga bir va ko'p fazali matritsa va statik obyektlar, ustunsimon va ko'p qatlamli strukturalar kiradi. Ko'p qatlamli (многослойные) strukturalar ko'p hollarda yupqa pardalar va qoplamalarga xos (2.2-rasm).

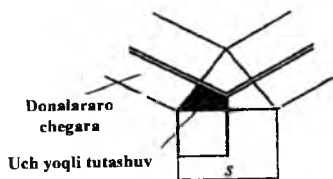


2.2-rasm Yuqori imkoniyatli (високоразрешающий сканирующий электронный микроскоп) elektron mikroskopda GaAs epoksial qatlamlar yuzasida shakillantirilgan (b) InGaAs va (a) kvant nuqtalarining ko'rinishi, (20000-3500000 kattalashtirish imkoni mavjud).

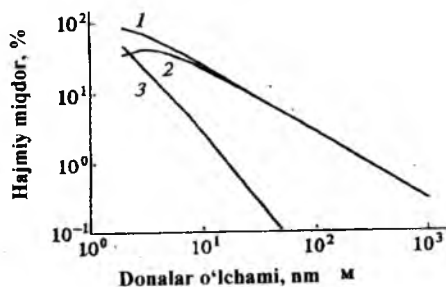
Nanomateriallar strukturasiga yuza bo'limlarini (donachalararo chegara va uchta donachaning bir chizig'da uchrashuvi - uchтали birikish joyi) ko'pligi xarakterlidir (2.3-rasm).

Nanokristall materiallarda chegara qatlamining miqdori donalarning o'lchami 100dan 4-5nm gacha maydalangan sari oshib boradi. Agar donachalar sferik shaklga ega deb, va chegara qatlamining qalinligini 1nm (ko'p metallar uchun 2-3 atom qatlamiga to'g'ri keladi) ekanligini hisobga olib, donacha diametri va yuza qatlam hajmi miqdori uchun quyidagicha munosabat keltirishimiz mumkin:

Donacha diametri (zarrachalar), nm.	100	50	25	20	10	6	4
Yuza qatlamning hajmiy miqdori, %	6	12	24	30	60	100	150



a



b

2.3-rasm Uchtali birikish sxemasi (a) va donacha o'lchamining ta'siri (b) yuza bo'limi (qismi) miqdoriga (1) donachalararo chegara miqdoriga (2) va uchtali birikish (3)ga ta'siri, $S=1\text{nm}$.

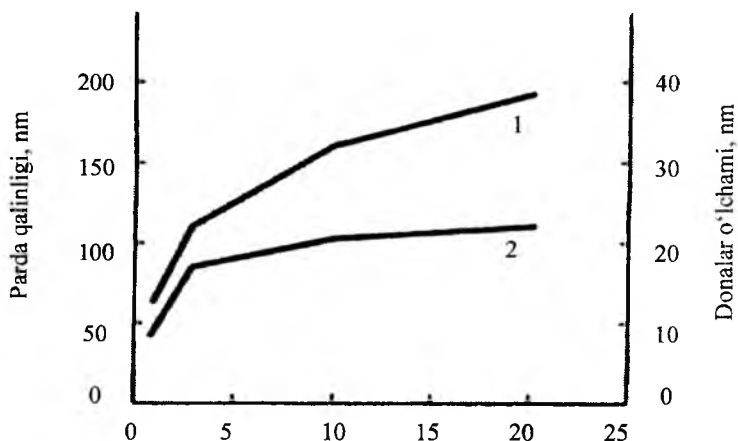
Shunday qilib, agar qattiq jism bir necha nanometr ($<10\text{nm}$) o'lchamli kristallardan iborat bo'lsa, u holda yuza qatlamining miqdori yoki tartibsiz (разупорядоченная структура) strukturasi miqdori juda katta. Yuza qatlami miqdorini zarrachalarning o'lchami kichrayib borishi bilan oshib borishi nanomateriallarning nomuvozan holatini aniqlovchi faktorlardan biridir. Yana shuni ta'kidlab o'tish kerakki, nanomateriallarda fazalararo va chegaraviy yuza energiyasi yirik kristall materiallarnikidan farq qilishi mumkin.

Hozirda nanomateriallar yuza qatlami energiyasi xarakteristikalari bo'yicha tajribaviy ma'lumotlar yo'q.

Yupqa pardalarda (ustunsimon va ko'pqatlamli) na faqat ularning umumiy qalinligini hisobga olmay, balki ustunlarning diametri va

alohida qatlamlarning qalinligini, shuningdek yupqa pardalar ichidagi nanodonacha, ustun va qatlamlarni e'tiborga olish lozim.

2.4-rasm ma'lumotlariga asoslangan holda shuni ta'kidlash kerakki, hamma qoplamalar (100 nm dan qalin bo'lsa ham) nanostruktura tuzilishiga ega. Elektron nur va elektron yoy usulida olingan AlN va TiN qoplamalarida (qoplamaning qalinligi 700 nm) 100 nm o'lchamdagi kristallchalar borligi aniqlangan. 2.2-jadvalda kompakt (консолидированный, (biriktirilgan)) nanomateriallarning asosiy olish usullari keltirilgan.



2.4-rasm. SdS qoplamasini olish vaqtini (продолжительность осаждения) uning qalinligi va donacha o'lchamiga ta'siri ko'rsatilgan:
1-qoplama qalinligi, 2- donachalar o'lchami.

Yuqorida ko'rib o'tilgan usullarning avfzalliklari va kamchiliklari mavjud. Masalan, kukun texnologiyasi har doim ham g'ovaksiz nanomateriallar olish imkonini bermaydi, ammo bu usul turli o'lchamli va tarkibli mahsulotlarni olishda universal hisoblanadi. G'ovaksiz namunalarni olish uchun qo'llaniladigan amorf holatidan nazorat qilish bilan kristallanadigan usul amorflanadigan tarkiblar bilan chegaralangan.

Компакт (консолидированный, (biriktirilgan)) nanomateriallarni asosiy olish usullari

2.2-jadval

Usul	Usul variantlari	Obyektlar
Kukun texnologiyasi	Gazfaza usulida olish va kompaktlash (Gleyter usuli). Oddiy presslash va pishirish. Elektrozaryad usulida pishirish. Issiq bosim ostida ishlash.(issiq presslash, bolg'alash, ekstruziya)	Metallar, qotishmalar, birikmalar.
Intensiv plastik deformatsiya	Yuqori bosim ostida burash yordamida deformatsiya qilish. Tengkanalli burchakli presslash. Ko'p qavatli kompozitlarni bosim ostida ishlash. Fazaviy naklyop.	Metallar va qotishmalar
Amorf holatidan nazorat qilish orqali kristallash	Oddiy bosim ostidagi kristallanish. Yuqori bosim ostidagi kristallanish.	Amorf moddalar
Yupqa pardalar va qoplamalar texnologiyasi	Gazfaza holatidan kimyoviy usulida olish. Gazfaza holatidan fizik usulda olish. Elektrocho'ktirish. Zol-gel texnologiyasi.	Metallar, qotishmalar, birikmalar.

2.2-jadvalda ko'rib o'tilgan usullar bir-biriga qarama-qarshi bo'lmay, balkim bir-birini to'ldiradi, nanomateriallarning xossalari, strukturalari va amaliy qo'llanilishini kengaytiradi. Nanomateriallarni turli usullarda olinishi – bu ularning avfzalliklaridir.

2.2. Kompakt materiallardagi donachalar, qatlamlar, qo'shimchalar va g'ovaklar

Kompakt nanomateriallarning asosiy struktura elementi – donacha va kristallit (bu tushunchalar bundan keyin sinonim sifatida ishlatiladi).

Turli xil kristallografik yo'nalishlar uchun donachaning o'lchami turli xil bo'lishi mumkin, bu esa donachalarning joylashishiga ta'sir etadi. Bu intensiv plastik deformatsiya, shuningdek, qoplamalarni olishda tez-tez kuzatiladi. Qoplama kristallari orientatsiyasini o'zgarishiga harorat va komponentlarning nisbati ham ta'sir qiladi.

Nanomateriallarning shakli va donachalarining o'lchamini rentgenostruktura tahlili va elektron - mikroskop yordamida tadqiqot qilish mumkin (2.5-rasm), 2.3-jadval.

Pd va TiN nanodonachalarning o'lchamini elektron mikroskopiya va rentgen-struktura tahlili usulida olingan natijalari

2.3-jadval

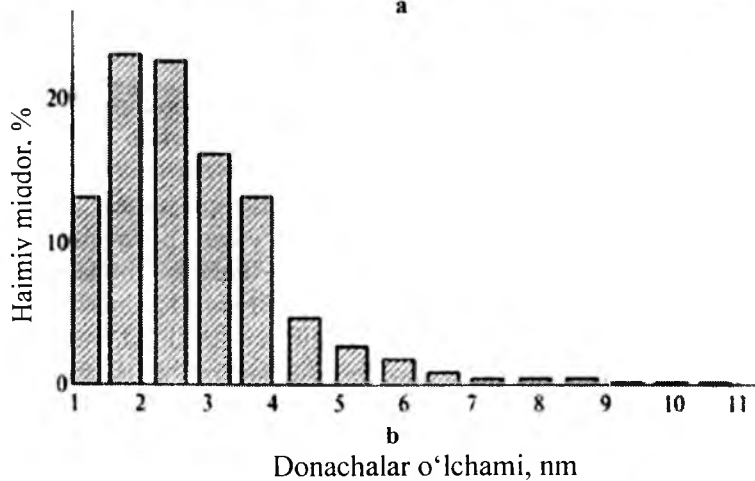
Parametr	Palladiy		Titan nitridi	
	PEM	RSA	PEM	RSA
L_n	9,8±1,0	11,0±3,0	-6,5	-
L_s	19,0±2,0	19,6±1,0	10,3±1,0	11,0±0,1
L_γ	23,2±2,0	26,1±1,0	11,8±1,0	12,4±0,1
L_r	8,4±0,1	9,5±3,0	5,8±0,1	8,0±0,2
Δ_t	1,88±0,02	1,71±0,15	1,71±0,02	1,42±0,02

Bu qoplamalarni atom-kuch mikroskopi va skaner elektron mikroskopi yordamida tadqiqot qilinadi.

Nanomateriallarning strukturasini tashkil etuvchilarining (1000-2000 kristallardan kam bo'lmagan holda) o'lchamlarini elektron-mikroskop usulida o'lchaniladi.



a



2.5-rasm Magnetron usulida olingan Ti(B,N) (a), qoplamasida o'lchamlar bo'yicha donachalarning hajmiy miqdori(b)elektron mikroskopda aniqlangan.

Donachalar, shuningdek zarrachalar, qo'shimchalar va g'ovaklarni o'lchamlarini aniqlashda quyidagi parametrlar hisobga olinadi.

Nanomateriallarni strukturasi o'rganish asosiy usullaridan tashqari ayrim hollarda mess-bauer spektroskopiyasi, kombinatsion spektorlar yoyilishi va boshqa usullardan foydalaniladi.

Obyektlarning o'rtacha diametri ularning soni bo'yicha L_n , o'rtacha chiziqli diametri L_l , yuza bo'yicha o'rtacha diametri (yoki ekvivalent aylananing diametri) L_s va hajmi bo'yicha o'rtacha diametr (yoki ekvivalent sfera diametri) L_v :

$$L_n = \sum_i (L_i n_i) / \sum_i n_i$$

$$L_l = \sum_i (L_i^2 n_i) / \sum_i (L_i n_i),$$

$$L_s = \sum_i (L_i^3 n_i) / \sum_i (L_i^2 n_i),$$

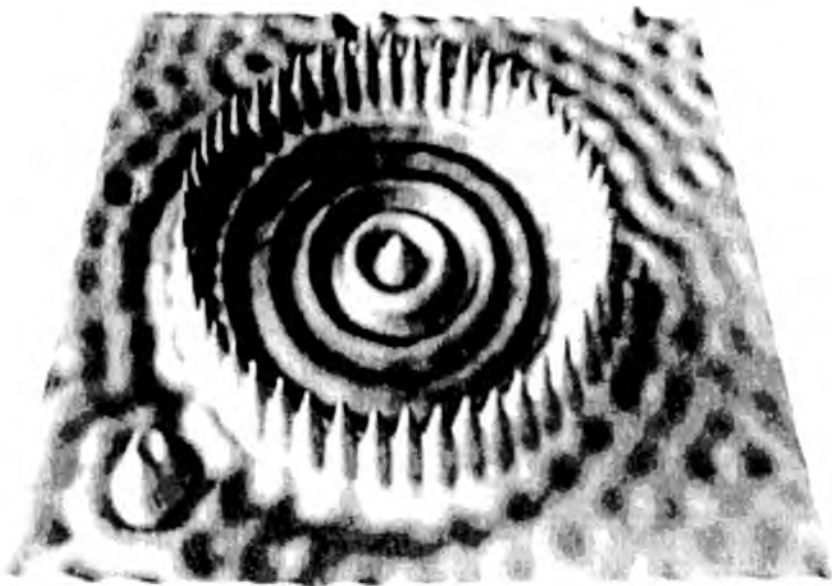
$$L_v = \sum_i (L_i^4 n_i) / \sum_i (L_i^3 n_i),$$

n - donachalar va boshqa obyektarning soni.

Nanomateriallar strukturasi (tuzilishi) asosan PEM (просвечивающая электронная микроскопия) va RSA (рентгеноструктурный анализ) yordamida o'rganildi.

Qoplamalar (yupqa pardalar) yuzasining topografiyasini (yuza tuzilishi) o'rganishda skanerlovchi elektron mikroskop va atom-kuch mikroskopi qo'llaniladi. Planar metall-o'tkazuvchi nanostrukturalarni tayyorlash va tadqiq qilish uchun skanerlovchi tunnel mikroskop qo'llaniladi. Bu mikroskop yordamida, qo'yilgan potentsial hisobiga atomlarni sug'urib olish va bir joydan ikkinchi joyga o'tkazish mumkin, tunnel tokining xarakteristikalaridan foydalangan holda turli element atomlarini identifikatsiya qilish mumkin (2.6-rasm).

Umuman olganda kristallarning (qatlamlar, qo'shimchalar va g'ovaklar) o'lchamlari va ularning joylashuvi haqidagi ma'lumot juda muhim. Ammo, bu ma'lumotlarni olish ko'p faktorlar bilan bog'liq bo'lib, o'ta muhim masaladir. Shuning uchun xatoliklarga yo'l qo'ymaslik uchun bir vaqtda ikkita bir bir-biriga bog'liq bo'lmagan o'lchash usulidan foydalanish maqsadga muvofiq.



2.6-rasm Temirning 48 atomidan tashkil topgan «kvant o‘rami». Radiusi 7,3 nm aylana bo‘yicha temir atomlari ikki o‘lchamli elektron gazi mavjud bo‘lgan mis yuzasiga skanerlovchi tunel mikroskopi yordamida joylashtirilgan

2.3. Nuqsonlar, yuza qatlamlari (bo‘limlari), chegara segregatsiyalari

Qattiq jismlardagi nuqsonlar kabi, nanomateriallarda nulo‘lchamli (нульмерные), bir o‘lchamli (одномерные), ikki o‘lchamli (двухмерные) va uch o‘lchamli (трехмерный) – vakansiya va tugunlararo atomlar, dislokatsiyalar, yuza bo‘limlari, bo‘shliqlar va nanog‘ovaklar mavjud.

Avvaldan ma‘lum, ko‘p kichik o‘lchamli obyektlar (klasterlar, ipsimon kristallar – «usi» va boshqalar) amaliy jihatdan nuqsonsizdir, buni, masalan ularning («usi») yuqori mustahkamlik ko‘rsatgichiga ega ekanligi tasdiqlaydi.

Bu mustahkamlik ko‘rsatgichi nazariy jihatdan aniqlangan ko‘rsatgichlarga yaqin. Ko‘p metallar uchun erish haroratidagi issiqlik nuqsonlarining (вакансия) miqdori 10^{-4} ga teng, ya‘ni bitta

to'ldirilmagan tugun 10000 atomga to'g'ri keladi. Mis uchun, bir atomga to'g'ri keladigan vakansiya miqdori juda ham kichik (10^{-20} , ya'ni bitta vakansiya 1nm^3 ga to'g'ri keladi). Shunday qilib, bir necha mingta atomlardan iborat nanoobyektlar uchun hattoki erish haroratida ham (xona haroratini gapirma ham bo'ladi), nuqtaviy nuqsonlar amaliy jihatdan uchramaydi. Bu nanomateriallarning fizik-mexanik xossalarni o'zgartirishga olib keladi. Ularning qiymatlari nazariy qiymatlariga yaqin bo'ladi.

III BOB. NANOMATERIALLARNING XOSSALARI O'LCHAM EFFEKTI

3.1. Umumiy tasnif

Bu bobda nanomateriallarning fizik, mexanik va kimyoviy xossalari xususiyatlariga tasnif beriladi. Materiallarning xossalari ularning struktura elementlari xarakterli o'lchami orasidagi bog'liqlikni turli fanlar (fizika, kimyo, materialshunoslik, biologiya) azaldan o'rganib keladi. Nanomateriallarda struktura o'lchamlarining ta'sir etish xususiyatlari quyidagicha:

- dona o'lchami kichraygan sari yuza qatlamlarining (bo'limlari) roli ortib boradi;
- nanometr oralig'ida yuza qatlamlari (bo'limlari) xossalari an'anaviy yirik kristall materiallardan farq qilishi mumkin;
- kristallarning o'lchami kichrayib borgan sari ba'zi bir fizik hodisalarning xarakterli o'lchamlariga (masalan, tashuvchilarning erkin yugurish uzunligi) yaqin bo'lishi mumkin;
- nanomateriallardagi o'lcham effekti kvant xarakteriga ega bo'lishi mumkin, qachonki donacha o'lchami de Broyl to'liq uzunligiga yaqin bo'ladi. Qarab chiqilgan xususiyatlar xossa – dona o'lchami bog'liqligini nomonoton o'zgarishga ta'sir qilishi mumkin.

Nanomateriallarning xossalari kristallarning o'lchamlaridan tashqari, tarkib va asosiy komponent va primeslarning joylashuvi, g'ovaksimonlik, nuqsonlar va qoldiq kuchlanish, amorf va nomuvozanat fazalar va boshqalar ta'sir qilishi mumkin. Shuningdek, yuza bo'limlaridagi va nanokristallar hajmidagi o'lcham effektlarini ham farqlash zarur. O'lchamlar effekti tabiatini aniqlash nanostruktura obyektlari materialshunosligining eng muhim muammolaridan biri hisoblanadi.

3.2. Nanomateriallarning mexanik xossalari

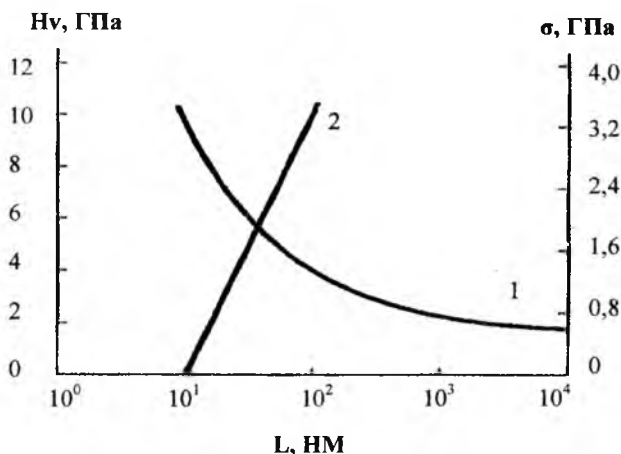
Nanomateriallarning qattiqligi, mustahkamligi, plastik va bikrlik xossalari xona, past va yuqori haroratlarda jadal o'rganilmoqda.

Nanomateriallarda quyidagi qattqlik, mustahkamlik, yeilishga chidamlik kabi fizik-mexanik xossalarni ko'p marotaba oshirish imkoniyati bor, ular esa donachalar o'lchami, g'ovak va nuqsonlar mavjudligiga bog'liq bo'lib mikrodarzlar hosil bo'lishiga sabab bo'ladi.

Strukturada nuqsonlarni mavjudligi darzlarni hosil bo'lishiga olib keladi, bu esa mustahkamlik va plastiklikni kamaytiradi. Shuning uchun nanomateriallarni mexanik xossalari qoldiqli kuchlanish, qo'shimchalar, g'ovaklar va boshqa nuqsonlarni mavjudligiga bog'liq - bular hammasi nanomateriallarning hossalarni o'rganishda hisobga olinishi zarur.

Agar struktura nuqsonsiz bo'lsa donachalar chegaralari dislokatsiya va darzlarni tarqalishiga to'siq bo'ladi, bu esa nanomateriallarni mustahkamlik va qattqligini oshiradi.

Qaysi sohada qo'llanilishidan qat'iy nazar har qanday materiallar ma'lum bir mexanik xarakteristikalariga javob berishi kerak. Quyidagi rasmda temir namunasi donacha o'lchamining uning qattqlik va mustahkamlikga ta'siri keltirilgan (3.1-rasm).



3.1-rasm. Temir namunasi donacha o'lchamining uning qattqlik va mustahkamlikga ta'siri:
1- qattqlik; 2-mustahkamlik.

Qattqlik donachalar o'Ichami kichraygan sari qattqlik oshib boradi, mustahkamlik va plastik hossasi kamayadi. Namunalarni elektron-mikroskop qurilmasi yordamida tadqiq qilinganda g'ovaklar borligi aniqlangan, bu esa tirqishlar hosil bo'lishiga olib keladi va mustahkamlikni kamayishiga sabab bo'ladi.

Cho'zishga sinash uchun namunalarni tayyorlash qiyin bo'lganligi sababli, qattqlikga sinash keng tarqalgan. Nanomateriallar qattqligini o'Ichash uchun ixtiyoriy shakldagi namunalar ishlatiladi.

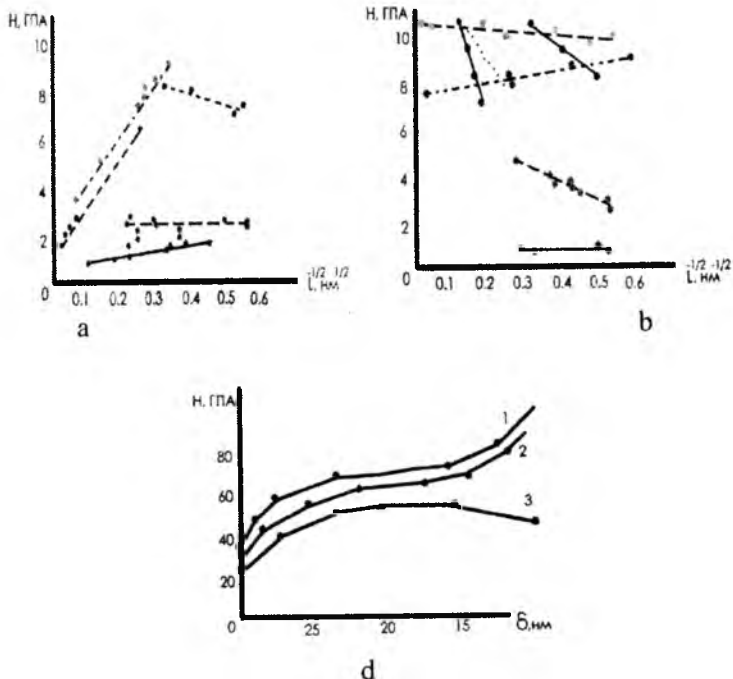
Bu usul, nanostruktura qoplamalari qattqligini o'Ichashda ham keng qo'llaniladi. Buning uchun oxirgi paytlarda maxsus qurilma – nanoindentor ishlatiladi. Nanoindentor yordamida qattqlikni kichik yuklama (taxminan 0,01N va undan ham kam) va o'Ichashni yuklash jarayonida bajarish mumkin.

Qattqlik o'Ichashda qo'yiladigan yuklamalarning intervaliga, qoplama (yupqa parda) qalinligiga, ular yuzasining topografiyasiga, qoldiq kuchlanish va boshqa qattqlikga ta'sir etuvchi faktorlarga e'tibor berish lozim. Qoplama yuzasi topografiyasi (chuqurlik va balandliklar) qattqlik qiymatiga ta'sir qilishi mumkin, qachonki chuqurlik va balandliklarning o'Ichami indentorning botirilish chuqurliklariga yaqin bo'lsa. Metall yirik donali materiallardagi donaning qattqlikga (mustahkamlikga) ta'siri Xoll – Petch formulasi orqali ifodalanadi:

$$H_v(\sigma_t) = H_o(\sigma_o) + kL^{-1/2},$$

bu yerda, H_v – qattqlik; σ_t – oquvchanlik chegarasi; H_o – donachaning qattqligi; σ_o – donacha tanasidagi surilishlarga to'sqinlik qiluvchi ichki kuchlanish; K – proportsionallik koeffitsienti; L – dona o'Ichami yoki qoplama qalinligi.

Bu formula empirik usulda ko'p tajribalar ma'lumotlariga asosan olingan. Xoll-Petch qonuniyati ba'zi bir nanomateriallar uchun ham qo'llanilishi mumkin. Quyida keltirilgan rasmlarda (3.2-rasm) donacha o'Ichami va qatlamlar qalinligi δ ning ko'pqatlamli qoplamalar qattqligiga ta'siri keltirilgan.



3.2-rasm. Ko'p qatlamli qoplamalarda donacha o'lchami (a, b) va alohida qatlamlar qalinligining (d) materiallar qattiqligiga ta'siri: a: 1-Su; 2-Pd; 3-Cu (qoplama), 4-Ni, 5-Fe, 6-Ni-P; b: 1-Cu; 2-Pd; 3-TiAl; 4-Nb₃Sn; 5, 6-Nb₃Al; 7-TiAlNb; 8-Ni-P; v: 1-TiN-NbN; 2-TiN-ZrN; 3-TiN-CrN.

Rasmlardan ko'rinib turibdiki, ko'p xollarda L va δ ni kamayishi bilan H_v ning qiymati oshib boradi, ammo ba'zi bir obyektlar uchun nomonoton, ba'zi hollarda teskari («anti-Xoll-Petch») bog'liqlik kuzatiladi. Bu faktlarga bir qancha tushuntirishlar mavjud, ammo Xoll-Petch formulasini miqdoriy jihatdan tushuntirish hozirda bir muncha qiyin. Ko'p qatlamli TiN-CrN qoplamalari qattiqligini nomonoton o'zgarishi, qalinlikning ma'lum bir qiymatidan boshlab ($\delta \approx 20\text{nm}$) ikki fazali sistema TiN-CrN qoplamalarni olish jarayonidagi issiqlik harorati ta'sirida bir fazali qattiq qotishmaga aylanadi, va yuza (chegaralari) bo'limlari yo'qoladi, natijada qattiqlik qiymati kamayadi.

TiN-NbN va TiN-ZrN ko'pqatlamli qoplamalarda, rentgenostruktura tahliliga asosan ikki fazali struktura va yuza bo'limlari

(chegaralari) ~10nm gacha saqlanadi va qattqlik olmos qattqligi qiymatiga yaqin qiymatlargacha o'sadi. Bu ma'lumotlar dislokatsiya va tirqishlarning tarqalishiga to'sqinlik qiluvchi yuza bo'limlarining (chegaralirining) o'rmini yaqqol ko'rsatib turadi.

Metall nanomateriallarning qattqligini oshishi 500-600%; mo'rt materiallar uchun bu ko'rsatkich bir oz kamroq -200-300%ga teng. Ba'zi bir nanomateriallarning qattqligi quyidagi jadvallarda keltirilgan (3.1, 3.2-jadval).

Kompaktlash usulida olingan nanomateriallarning ba'zi bir mexanik xossalari

3.1-jadval

Tarkibi	Olish usuli	Nisbiy zichlik	Donacha o'lchami, nm	Vickers bo'yicha qattqlik, GPa
Fe	Issiq presslash	0,94	15	8,0
Fe-TiN (63%)	Dinamik presslash	0,92	12	13,5
Ni-TiN (64%)	Dinamik presslash	0,97	10	13,0
Ag-MgO (76%)	Presslash	-	2,50	2,5
Nb ₃ Al	Elektryoyda issiq presslash	0,97	30	18-22
TiAl	Issiq izostatik presslash	0,99	20	6,0
WC-Co (10%)	Suyuq fazali pishirish	1,0	200	24,0
TiN	Yuqori harorat va bosim	0,98-0,99	30-50	29-31
TiN-TiB ₂ (50%)	Yuqori harorat va bosim	0,98-0,99	-	34
Si ₃ N ₄	Yuqori harorat va bosim	0,99	-	38
SiC	Issiq izostatik presslash	0,97	70	27
BN	Urilish to'liqlari yordamida pishirish	0,96	25	43-80
Olmos	Dinamik presslash	0,91	-	63-68

**Qoplamalar olish texnologiyasi usulida olingan
nanomateriallarning ba'zi bir mexanik xossalari**

3.2-jadval

Tarkibi	Olish usuli	Nisbiy zichlik	Qoplamaning umumiy qalinligi, mkm	Ko'p qatlamli qoplamani-qatlami-ni-qalinligi, nm	Donacha o'lchami, nm	Vickers bo'yi-cha qattqlik, GPa
TiN	Magnetron purkash	1,0	1-2	5-30	5-30	35-50
TiB ₂	Magnetron purkash	1,0	1-4	-	2-8	50-70
Ti (B,C,N)	Magnetron purkash	1,0	5-12	-	1-5	60-70
TiN-Si ₃ N ₄ -TiSi ₂	CVD plazma	-	35	-	3	~100
TiN/VN	Magnetron purkash	1,0	2,5	2-2,5	-	54
TiN/NbN	Yoy usulida purkash	1,0	2	10	-	78
TiN/ZrN	Yoy usulida purkash	1,0	2	10	-	70

3.3-jadvalda an'anaviy va elektrcho'ktirish usulida olingan nanokristall nikel lentasi to'g'risidagi ma'umotlar keltirilgan. Nanokristall nikelning oddiy nikel lentasidan avfzalliklari yaqqol ko'zga tashlanib turibdi.

Shu diqqatni tortadiki, agar 100nm o'lchamli donachali lenta uchun nisbiy cho'zilish 15%ni tashkil etsa, 10nm donachali lenta uchun elastiklik amaliy jihatdan yo'q hisobda (nisbiy cho'zilish 1%).

An'anaviy va nanokristall nikel lentasining xona haroratidagi mexanik xossalari («Ontario Hydro Technologies» firmasi)

3.3-jadval

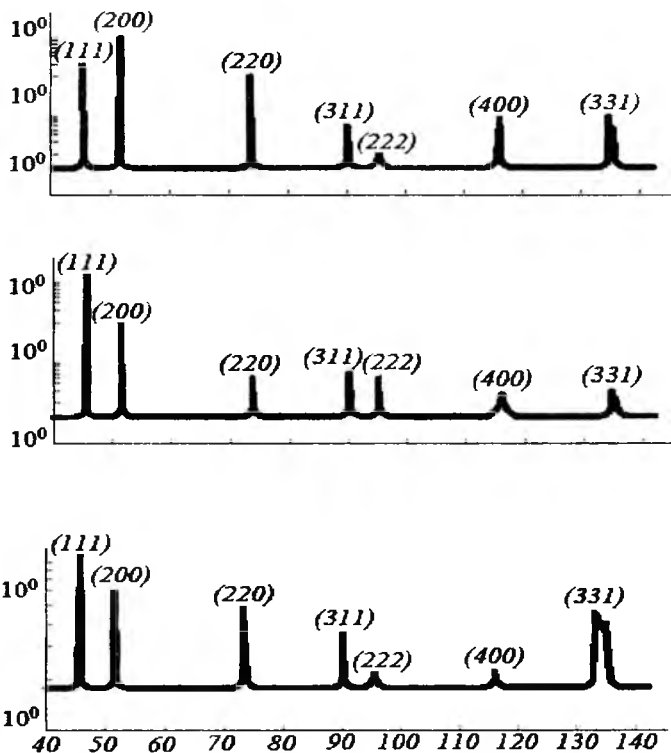
Xarakteristikalari	Yirik kristall namuna	Nanokristall namuna	
		L~100nm	L~10nm
Oquvchanlik chegarasi, MPa	103	690	>900
Mustahkamlik chegarasi, MPa	403	1100	>2000
Nisbiy cho'zilish, %	50	>15	1
Bikrlik moduli (YUng moduli), GPa	207	214	204
Vickers bo'yicha qattqlik, GPa	1,4	3,0	6,5
Charchash mustahkamligi, *MPa	241	275	-
Yeyilishi **, mkm ²	1330	-	7,9
Ishqalanish koeffitsiyenti **	0,9	-	0,5

* havoda 10^8 sikl davomida; ** quruq havoda.

3.3-rasmda teng kanalli burchakli intensiv plastik deformatsiya yordamida olingan mis namunasining kuchlanish-deformatsiya diagrammasi keltirilgan.

Boshlang'ich yirik donali mis ($L \sim 30$ mkm) past mustahkamlik va yuqori elastiklik bilan (1-egri chiziq) xarakterlanadi. Oddiy prokatlash (qalinlik 60% ga kamayadi) sezilarli darajada mustahkamlikni oshiradi, bir vaqtini o'zida elastiklik kamayadi (2-egri chiziq). Tengkanalli burchakli presslashning ikki o'tishi mustahkamlik va elastiklik ko'rsatkichlarini olishiga olib keladi, 16 ta o'tishidan so'ng (dona o'lchami ~ 100 nm) mustahkamlik oshadi, shunisi muhimki elastiklik ham oshadi. Xuddi shunday natija boshqa metallar uchun ham olingan (masalan, titan). Intensiv plastik deformatsiya usulini boshqa usullardan (prokatlash, siqib chiqarish va boshqalar) farqi shundaki, bu usul yordamida yuqori burchakli chegaralarni miqdorini oshirish imkoni mavjud, bu esa mustahkamlikni sezilarli darajada oshirishga olib keladi.

Adabiyotlarda keltirilgan ma'lumotlardan shu ma'lumki, nanomateriallarning Yung moduli yirik kristalli materiallarnikidan



3.3-rasm Mis namunasini sinash natijasida olingan kuchlanish-deformatsiya egri chiziqlari:

- 1-boshlang'ich yirik donachali mis; 2-sovuq prokatlashdan so'ng;
3, 4-tengkanalli burchak presslash yordamida 2-3-egri chiziqli va 16 (4-egri chiziq)
o'tishidan keyin.

farq qilmaydi. Bu xulosa faqat yuza bo'limlarining hissasi juda katta bo'lmagan nanomateriallarga tegishli. Kristallarning o'lchami 10nm dan kichik bo'lganda (xususan $\leq 4-5$ nm), Yung moduli kamayishi kerak.

Nanomateriallar xossalari tadbqiqoti va natijalarining tahlili murakkab texnologik masala. Tajriba uchun namunalarni tayyorlash murakkabligi, ularni soni chegaralanganligi, nazariy bazani (asoslarni) kamchiliklari nanomateriallarni xossalari to'g'risida ishonchli tavsiyalarga imkon bermaydi.

IV BOB. NANOMATERIALLAR TEXNOLOGIYASI ASOSLARI

4.1. Umumiy xarakteristika

Nanomateriallarning strukturasi va xossalari ularni olish davrida shakllanadi. Nanomateriallarni optimal (maqbul) va turg'un ekspluatatsion xossalarini ta'minlashda texnologiyani o'rni so'zsiz katta; bu shuningdek iqtisod nuqtai nazaridan ham ahamiyatli. Hozirda nanomateriallar texnologiyasi bilan ishlab chiqarish va ilmiy tadqiqot tashkilotlari shug'ullanmoqda. Nanotexnologiya muammolari bilan dunyoning ko'p rivojlangan davlatlari shug'ullanmoqda: AQSH, Yaponiya, Germaniya, Buyuk Britaniya, Fransiya, Xitoy, Avstraliya, Isroil, Rossiya va boshqalar.

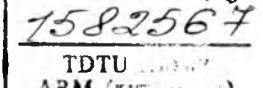
Adabiyotlarda nanomateriallar texnologiyasi umumiy ko'rinishda, reklama tariqasida berilgan. Bu esa texnologiyalarni to'liq yoritishga («nou-xau» bilan bog'liq) imkon bermaydi.

4.2. Kompakt (konsolidatsiya) materiallar texnologiyasi

Kukun texnologiyasi. Kukun texnologiyasining resurs-energiya tejash, yuqori ekologik xususiyatlari ma'lum, bu uni zamonaviy ishlab chiqarishda keng tarqalishiga sabab bo'lmoqda. Kukun deganda, biri-biri bilan o'zaro munosabatda, o'lchami bir necha nanometrdan ming mikrongacha bo'lgan yakka qattiq jismlar yig'indisi (majmuasi) tushuniladi. Nanomateriallarni tayyorlashda xomashyo sifatida o'lchami 100nm dan katta bo'lmagan zarrachalar ishlatiladi.

Kukun texnologiyasining keyingi operatsiyalari – presslash, pishirish, issiq presslash – kerakli shaklga, o'lchamga va kerakli xossali namunani (mahsulotni) olishga qaratilgan. Bu operatsiyalarni M.Yu. Balshin taklifiga asosan konsolidatsiya deb ataladi.

Konsolidatsiya (kompaktlash) bir tomondan nanomateriallarni to'liq jipslashtirish (strukturada makro va mikro g'ovaklarni bo'lmasligi), ikkinchidan nanostukturani (ya'ni tayyor materiallardagi donachaning o'lchami imkon darajasida kichik bo'lishi, juda



bo'lmaganda 100nm dan kichik bo'lishi kerak) saqlab qolinishi kerak. Nanomateriallar olish uchun ishlatiladigan kukunlarni olish texnologiyasi turli-tuman; shartli ravishda ularni kimyoviy va fizik usullarga bo'lish mumkin. Kukunlarning asosiy olish usullari 4.1-jadvalda keltirilgan.

Nanomateriallarni hosil qilishda qo'llaniladigan kukunlarning asosiy olish texnologiyasi

4.1-jadval

Usul	Usul varianti	Materiallar
Fizik usullar		
Bug'lantirish va kondensatsiya	Vakuumdagi yoki inert gaz muhitida	Zn, Cu, Ni, Al, Be, Sn, Pb, Mg, Ag, Cr, MgO, Al_2O_3 , Y_2O_3 , ZrO_2 , SiC.
	Reaktsion gaz muhitida	TiN, AlN, ZrN, NbN, ZrO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 .
Yuqori energiya yordamida parchalash	Maydalash	Fe-Cr, Be, Al_2O_3 , TiC, Si_3N_4 , NiAl, TiAl, AlN.
	Detonatsion usul	BN, SiC, TiC, Fe, olmos
	Elektr portlash	Al, Cd, Al_2O_3 , TiO_2
Kimyoviy usul		
Sintez	Plazmokimyoviy	TiC, TiN, Ti(C,N), VN, AlN, SiC, Si_3N_4 , BN, W.
	Lazer	Si_3N_4 , SiC, Si_3N_4 -SiC.
	Termik	Fe, Cu, Ni, Mo, W, BN, TiC, WC-Co.
	O'z-o'zidan tarqaluvchi yuqori haroratli	SiC, $MoSi_2$, AlN, TaC.
	Mexanokimyo	TiC, TiN, NiAl, TiB_2 , Fe-Cu, W-Cu.
	Elektr kimyo	WC, CeO_2 , ZrO_2 , WB_4 .

Termik parchalash	Qotishmali	Mo ₂ C, BN, TiB ₂ , SiC.
	Kriokimyo	Ag, Pb, Mg, Cd.
	Kondensatsiya prekursorlar	Fe, Ni, Co, SiC, Si ₃ N ₄ , BN, AlN, ZrO ₂ , NbN.
	Gazsimon prekursorlar	TiB ₂ , ZrB ₂ , BN.

Kimyoviy va fizik usullarga bo'lish shartli. Masalan, reaksiya gaz muhitida bug'lantirishda kimyoviy reaksiya katta o'rin tutadi. Bir vaqtini o'zida k o'p kimyoviy usullar fizik hodisaga asoslangan (past haroratli plazma, lazer nurlanish va boshqalar). Kimyoviy usullar universal unumdorligi yuqori, ammo o'lchamlarni, tarkibni va zarracha shaklini boshqarish fizik usulda yengilroq, ultradispers kukunlar olishning ba'zi bir usullari 4.1-jadvalda keltirilgan.

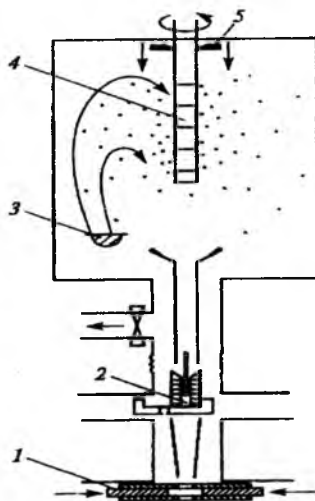
Kondensatsiya usuli

Bu usul ilgaridan ma'lum bo'lib, nazariy jihatdan eng ko'p o'rganilgan.

Metall ultradispers kukunlarni olish qurilmasi 1960 yillarda sobiq SSSR Fanlar akademiyasi kimyo-fizikasi instituti tomonidan yaratilgan. Induksion maydonda osilib turuvchi erigan metall tomchisi o'ta toza argon yordamida purkaladi va kondensatsiyalangan nanozarrachalar maxsus kukun yig'uvchi moslamaga yig'iladi. Bu yig'uvchi moslamani bo'shatish nazorat qilinuvchi oksidlanmaydigan atmosfera muhitida amalga oshiriladi. Kukunni saqlash va zarur texnologik jaryonlar ham argon muhitida amalga oshiriladi.

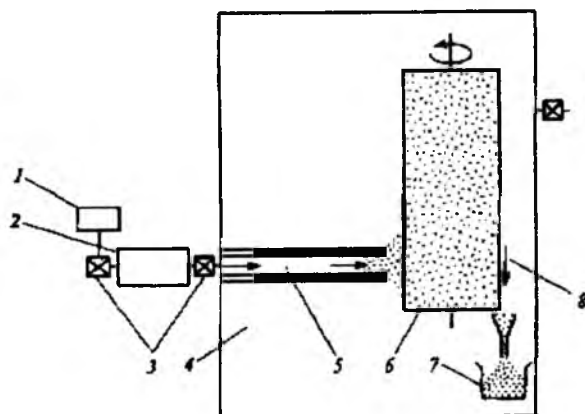
Kondensatsiyalash usuli Gleyter qurilmasida qo'llanilgan (4.1-rasm).

Bu qurilmada ultradispers kukunlarni olish inert gaz muhitida amalga oshiriladi, bir vaqtning o'zida vakuum presslash jarayoni bajariladi. Aylanma harakat qiluvchi va sovutilib turuvchi silindr yuzasida kondensatsiyalangan nanozarrachalar maxsus qirg'ich (кребок) orqali qirib olinadi va dastlabki presslash press-formada 2 yig'iladi (bosim 1 GPa gacha), keyin maxsus press-formada 1 yuqori bosim ostida (3-5 GPa gacha) kompaktlash amalga oshiriladi.



4.1-rasm. Gleyter qurilmasining sxematik tuzilishi:

1-yuqori bosimda kompaktlash uzeli; 2-dastlabki presslash uzeli; 3-bug'latgich;
4-suyuq azot bilan sovutiluvchi aylanma kollektor; 5-qirg'ich (кребок).

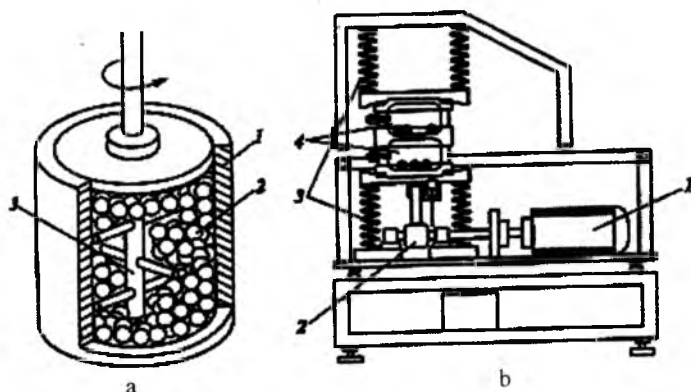


4.2-rasm. Ultradispers oksid kukunlarini olish qurilmasi:

1-gaz-tashuvchini yuborish; 2-prekursor ta'minlovchi; 3-boshqaruvchi klapanlar;
4-ishchi kamera (gaz bosimi -50Pa); 5-isitiladigan trubasimon reaktor;
6-sovutiladigan aylanuvchi silindr; 7-kollektor; 8-qirg'ich (кребок).

Gleyter qurilmasining unumdorligi yuqori emas, bu uning bug‘lantirish tezligi pastligi bilan bog‘liq. 4.2-rasmda oksid, nitrid, karbid va boshqa birikmalarning ultradispers kukunlarini olish uchun mo‘ljallangan qurilma ko‘rsatilgan.

Bu qurilmada bug‘lantirish qurilmasi sifatida isitiladigan trubasimon reaktor ishlatiladi. Bu trubasimon reaktorga prekursor (boshlang‘ich modda) va neytral gaz aralashmasi yuboriladi va geterogen nanozarracha hosil bo‘ladi. Reaktorda hosil bo‘lgan aralashma ishchi kameraga chiqariladi va sovutiladigan aylanuvchi silindrda kondensatsiyalanadi, so‘ng qirg‘ich (skrebok) yordamida qirib olinadi va maxsus kollektorda yig‘iladi (4.3-rasm).



4.3-rasm. Maydalovchi qurilmaning sxemasi:

a – attritor (1-korpus, 2-sharlar; 3-aylanuvchi pirpirak; b – tebranuvchi tegirmon (1 – dvigatel, 2 – tebratuvchi- vibrator, 3- prujinalar, 4- sharlar va maydalangan shixtali barabanlar).

Bu tipdagi qurilmalar ishlab chiqarishda (masalan, «Nanophase Technologies Corporation» va boshqalar) ultradispers kukunlar olishda ishlatiladi. Bu qurilmada Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 , CeO_2 , Cr_2O_3 , ZnO , In_2O_3 , Y_2O_3 va ZrO_2 kukunlari 20g/soat unumdorlik bilan olinishi mumkin. Unumdorlik ultradispers kukunlarning kerakli o‘lchamlari bilan aniqlaniladi.

Kondensatsion usul bir necha nanometr o‘lchamli zarrachalarni olish imkonini beradi, ammo bunday obyektlarning olish jarayonining

vaqti (shunga yarasha narxi) ancha katta. Shuningdek kukun yuzasiga yupqa polimer pardalar ham qoplash mumkin, bu aglomeratsiya va korroziya ta'siridan asraydi.

Yuqori energiyali maydalash. Mexanokimyoviy sintez

Maydalash - bu «yuqoridan-pastga» texnologiyaga mansub tipik misol.

Tegirmonlarda, dezintegratorlarda, attritorlar va boshqa maydaylovchi qurilmalarda maydalash ezish, maydalash, kesilish, yeyilish va boshqa kombinatsiyalar natijasida amalga oshiriladi. 4.4.- rasmda attritorning sxemasi ko'rsatilgan. Maydalanishni jadallashtirish uchun ko'p hollarda jarayon past haroratda olib boriladi. Maydalash samaradorligi sharlarning va maydalanadigan qorishmaning og'irligiga bog'liq, ko'p hollarda bu munosabat 5:1 dan 40:1 oralig'ida olinadi.

Bu usul yordamida juda ham mayda kukunlarni olish imkoni yo'q. Mo'rt materiallarni maydalaganda zarrachalarning o'lchami 100 nm dan kichik bo'lmaydi, zarrachalar 10-20 nm dan kichik bo'lmagan zarrachalardan tashkil topgan bo'ladi. Shuni ham hisobga olish kerakki, maydalash jarayonida sharlarning materiali va kislorod olinadigan mahsulotni ifloslantiradi.

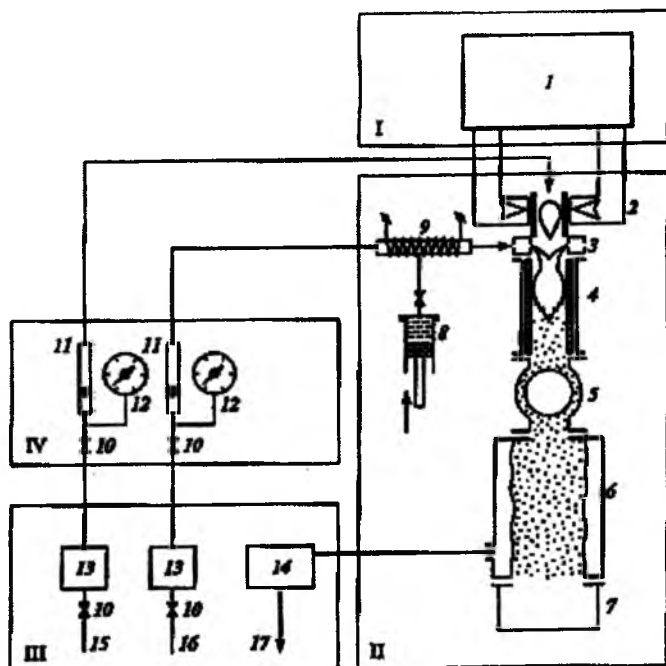
Mexanokimyoviy sintez usuli yordamida ko'pgina qiyin eruvchan birikmalarning ultradispers kukunlari (TiN , TiC , TiB_2 , ZrN , NbC va boshqalar) va $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}(\text{Ni}, \text{Cr})$ tipidagi kompozit tarkiblar olingan.

Yuqori energiyali maydalash va mexanokimyoviy sintez yordamida turli tarkibli ultradispers kukunlarni olish imkoni mavjud, ammo olingan mahsulotning tozaligi har doim ham yuqori bo'lavermaydi, shuningdek, zarrachalarning (kristallar) minimal o'lchami ham chegaralangan.

Plazmakimyoviy sintez

Past haroratli plazmada sintez yuqori haroratda (6000-8000 K gacha) amalga oshiriladi, bu reaksiya kondensatsiya jarayonini katta tezliklarda amalga oshirish va yuqori darajada to'yinishni ta'minlaydi. Jarayonlarni amalga oshirish uchun yoy plazmatronlar, shuningdek, yuqori va juda yuqori chastotali plazma generatorlari qo'llaniladi. Yoy qurilmalari unumdor va qo'llash darajasining imkoni osonroq. Juda

yuqori chastotali plazma qurilmalari maydaroq va tozaroq kukunlar olish imkonini beradi. Bunday qurilmaning sxemasi 4.4-rasmda keltirilgan.



4.4-rasm. Juda yuqori chastotali plazmakimyoviy sintez qurilmasi:
 I-kuch qurilmasi (1-mikroto'laqinli generator); II-asosiy texnologik qurilma (2-plazmatron, 3-reagentlarni kiritish qurilmasi, 4-reaktor, 5-issiqlikni almashtirib beruvchi qurilma, 6-filtr (tozalagich), 7-kukun yig'uvchi konteyner, 8-reagentlar dozatori (dozalagich), 9-bug'latgich); III, IV-yordamchi texnologik qurilma va boshqaruv bloki (10-ventillar, 11-rotametrlar, 12-manometrlar, 13-gaz tozalash tizimi, 14-skrubber, 15-plazma tashkil etuvchi gazni kirgizish, 16-gaz tashuvchini kirgizish, 17-gazlarni chiqarish).

Plazmakimyoviy sintez uchun boshlang'ich mahsulot sifatida metallarning xloridlari, metall kukuni, kremniy va metallorganik birikmalar ishlatiladi. 4.4.-rasmda keltirilgan qurilma nitridlar, oksidlar va boshqa birikmalar plazmakimyoviy kukunlari Yopiq

aksionerlik jamiyati «Nanomateriallar» (Chernogolovka, Moskva viloyati)da ishlab chiqariladi.

Plazmakimyoviy texnologiya qiyin eruvchan metallarning (W, Mo), birikmalarning (TiN, AlN, Al₂O₃, SiC, Si₃N₄, Ti(C,N) va boshqalar) shuningdek kompozit obyektlar Si₃N₄+SiC, TiB₂+TiN va boshqalarni olish imkonini beradi. Plazmakimyoviy sintezning xususiyatlari (jarayonning noizotermikligi, zarrachalarning koagulyatsiya imkoniyati va boshqalar) olinadigan zarrachalar o'lchamlari ko'p hollarda turlicha bo'ladi.

Ultratovush ta'siri sharoitida sintez qilish

Bu usul sonokimyoviy sintez nomi bilan ma'lum. Uning asosida mikroskopik pufakchalarning kavitatsiya effekti yotadi. Ma'lumki, kavitatsiya jarayonida kichik hajmda anomal yuqori bosim (50-100 MN/m²gacha) va yuqori harorat (3000K gacha va undan katta), shuningdek, juda katta qizitish va sovutish tezligiga (10¹⁰k/s gacha) erishiladi. Kavitatsiya sharoitida pufak nanoreaktor vazifasini bajarishi mumkin. Ekstremal sharoitlarni qo'llash natijasida kavitatsiya pufaklari ichida ko'p nanokristall (amorf) metallar, qotishmalar va qiyin eruvchan birikmalar (Fe, Ni va So ning nanozarrachalari va ularning karbonillari, oltin va mis kalloidlari qotishmalari, Zr nanooksidi va boshqalar) hosil bo'ladi.

Simchalarni elektr yordamida portlatish usuli

Ingichka simcha orqali zichligi 10⁴-10⁶ A/mm² ga teng bo'lgan impuls tokini o'tkazsa, metalda portlashli bug'lanish sodir bo'ladi va metall bug'larining turli dispersli zarrachalari kondensatsiyalanadi. Atrof-muhitning holatiga qarab metall zarrachalari (inert muhitda) yoki oksid (nitrid) kukunlar (oksidli yoki azotli muhit) bo'lishi mumkin. Zarrachaning o'lchami va jarayonning unumdorligi konturdagi razryad va simning diametri bilan boshqariladi. Zarrachalar asosan sferik shaklda, ularning o'lchamlari yetarli darajada keng bo'ladi. Al, Cu, Fe, va Ni ning 50-100nm o'lchamdagi nanozarrachalarni olish uchun qurilmaning ish unumdorligi 50-200 g/soat, energiyaning sarfi 25-50 kVt soat/kg ni tashkil etadi.

Nanokukunlarni olishning qaysi usulini tanlash qo'yilgan talablardan, iqtisodiy holatdan kelib chiqqan holda belgilanadi.

Konsolidatsiya usuli

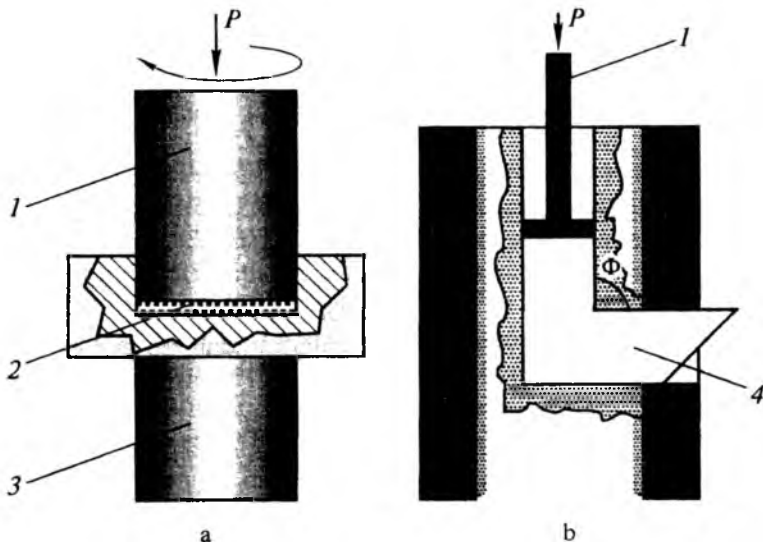
Kukunlar texnologiyasidagi ma'lum usullar: presslash va pishirish, issiq presslashning turli variantlari, issiq estrudatsiya va boshqalar ultadispers kukunlar olishda ham qo'llanilishi mumkin. 4.2-rasmda keltirilgan qurilmada yuqori bosimli (2-5 GPa gacha) presslashni qo'llashga va namunalarning o'lchami (balandligi 1mm gacha) juda katta bo'lmaganda va vakuum sharoitida namunalarning g'ovakligi 10-15% dan kam bo'lmaydi. Ultradispers kukunlar kam jipslanadi. Bunga zarrachalar orasidagi ishqalanish xarakteristikalari ta'sir qiladi. Nanokukunlarni presslash texnologiyasida ultratovush tebranishlarni qo'llash samara beradi. Ultratovush tebranishlarni qo'llash hisobiga kukunlarni jipslashtirish imkoni va nisbiy zichlik oshadi va vtulkasimon va boshqa shakldagi namunalar olish imkoni paydo bo'ladi.

Intensiv (jadal) plastik deformatsiya

Massiv metall namunalarda nanostrukturalarni hosil qilish intensiv plastik deformatsiya yordamida amalga oshirilishi mumkin. Yuqori bosimli kvazigidrostatik burash, teng kanalli burchakli presslash va boshqa usullar qo'llash yordamida katta deformatsiya hosil bo'lishi hisobiga fragmentli va boshqa har xil orientirli struktura hosil bo'ladi.

4.5-rasmda intensiv plastik deformatsiyaning ikkita sxemasi keltirilgan - yuqori bosim ostida burash va teng kanalli burchakli presslash. 4.5-rasm (a)da ko'rsatilgan sxemada disk shaklidagi namuna matritsaga joylashtiriladi va aylanib turuvchi puanson yordamida siqiladi. Fizika va texnikada bu ma'lum Bridjmen sandon (nakovalen) g'oyasining mukammallashtirilgan sxemasidir.

Ushbu usulda donachalarni o'rtacha o'lchami 200-500 nm bo'lgan juda mayda donachali strukturani hosil qilish mumkin (4.6a) [22].



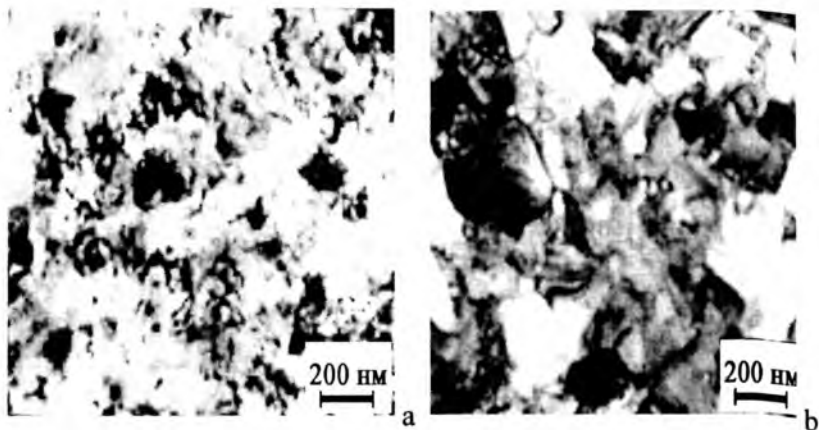
4.5-rasm. Intensiv plastik deformatsiya sxemasi:

a-yuqori bosim ostida burash; b-teng kanalli burchakli presslash, 1- puanson, 2- namuna, 3- support, 4- homashyo [22].

Yuqori bosim ostidagi burashda deformatsiya darajasi aylanishlar soni bilan boshqariladi. Mis namunasini 2, 3 va 4 marta aylantirishda donachalarning oʻrtacha oʻlchami mos ravishda $(162 \pm 19)\text{nm}$, $(149 \pm 12)\text{nm}$ va $(85 \pm 8)\text{nm}$ boʻladi.

Asimmetrik prokatlash

Listlangan metallarni prokatlash hamma prokatlash turlarining eng soddasidir. Listlangan metallni prokatlash davrida ishlov berilayotgan material silindrik vallar orasidan oʻtib, plastik deformatsiyalanish natijasida uning qalinligi belgilangan miqdorgacha qisqaradi. Ishlov berilayotgan material deformatsiyasi prokatlash roliklaridagi burovchi moment hamda ulardagi ishqalanish kuchlari evaziga amalga oshadi, chunki listlangan materialni oʻz qalinligidan kichikroq boʻlgan tirqishdan oʻtishga majbur qiladi.



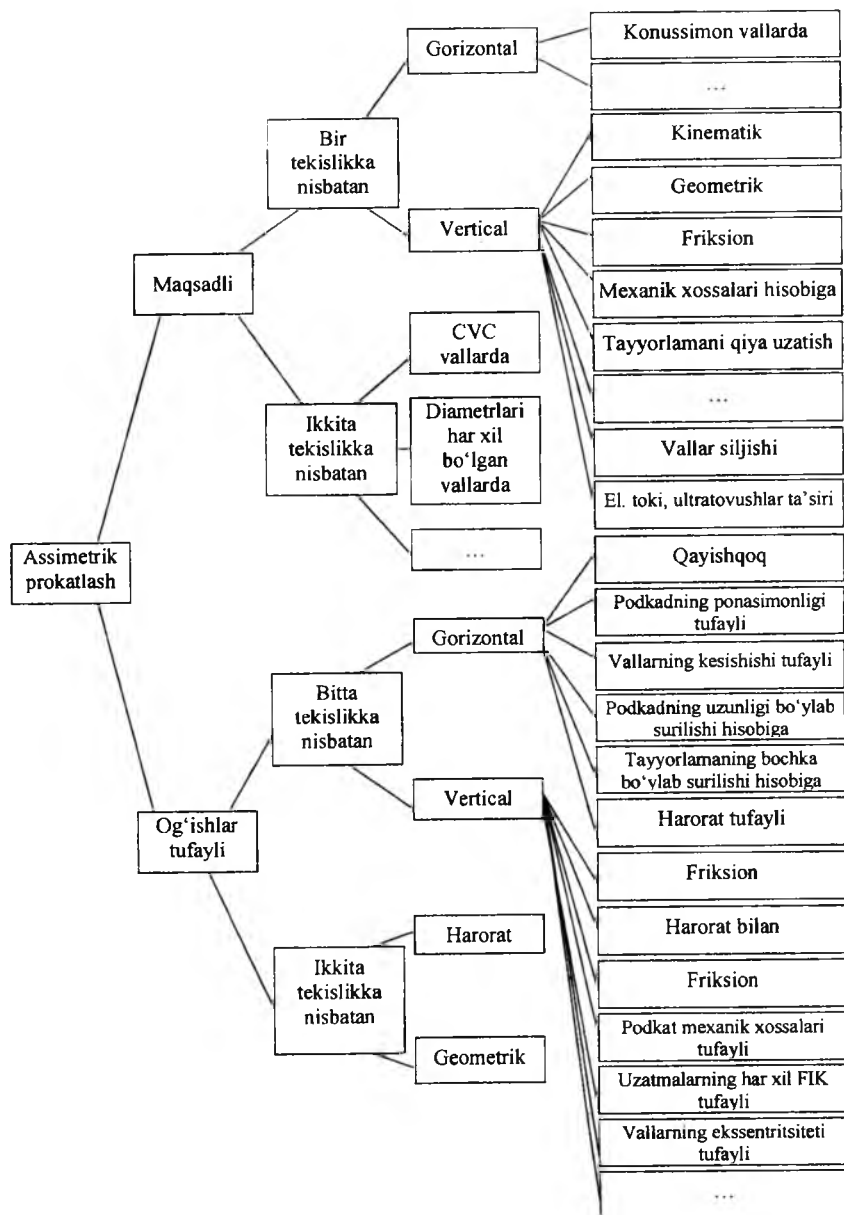
4.6-rasm. Har xil usulda olingan mis nanostrukturalari:

a – yuqori bosim ostida burash, b – tengkanalli burchakli presslash usuli [22].

Ishchi zonadagi haroratga bog‘liq holda prokatlash issiq, iliq va sovuq bo‘lishi mumkin. Agar harorat listlangan metallning qayta kristallanish haroratidan yuqori bo‘lsa, *issiq prokatlash* hisoblanadi. Agarda harorat qayta kristallanish va xona harorati oralig‘ida bo‘lsa, *iliq prokatlash* deb yuritiladi. Mos ravishda, ishchi zona harorati xona haroratidan oshmasa, *sovuq holatda prokatlash* bo‘ladi.

Listlangan materiallarni prokatlashni ikki turga, an’anaviy – simmetrik va asimmetrik prokatlashga ajratishimiz mumkin. Qachonki yuqori hamda quyi valiklarning chiziqli tezligi, radiuslari va sirtlardagi ishqalanish koeffitsiyentlari kabi parametrlari teng bo‘lsa, bu simmetrik prokatlash hisoblanadi. Agar yuqorida sanab o‘tilgan ko‘rsatkichlarning bittasi yoki bir nechitasi bir-biridan farq qilsa, unda simmetriya buzilishi kuzatilib, prokatlash asimmetrik xarakterga ega bo‘ladi.

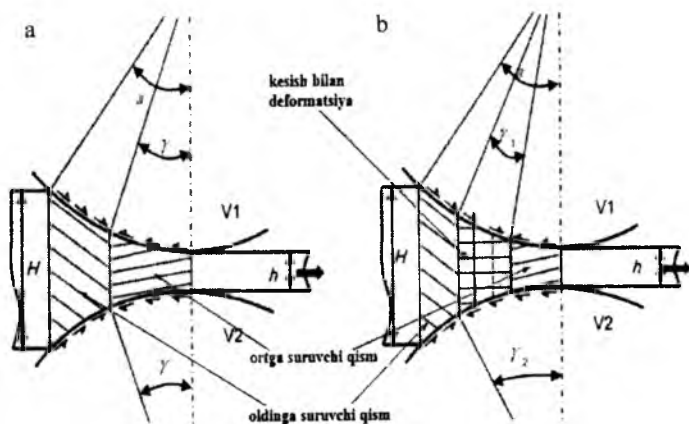
Prokatlashda asimmetriyani bir necha xil yo‘llar bilan amalga oshirish mumkin. Pesin A.M. [23] o‘z ishlarida asimmetrik prokatlash sinflanishini ikki guruhga bo‘lib keltirgan, ya’ni maqsadli va og‘ishlar tufayli hosil bo‘ladigan prokatlash (4.7-rasm.).



4.7-rasm. Asimetrik prokatlashning sinflanishi

Ana'naviy prokatlashdan farqli ravishda, asimmetrik prokatlashda neytral nuqtalar bitta vertikal chiziqda yotmaydi, balki asimmetriya parametrlariga bog'liq holda bir-biridan surilgan bo'ladi (4.8-rasm).

4.9-rasmda yuqorida zikr etilgan ikki turdagi prokatlashda ishchi – deformatsiyalovchi zonalari sxematik ko'rinishda keltirilgan. Ikki rolik orasidan plastik deformatsiyalanib o'tayotgan metall bosim hamda ishqalanish kuchlari natijasida prokatlash turiga qarab deformatsiya traektoriyasi har xil bo'ladi.



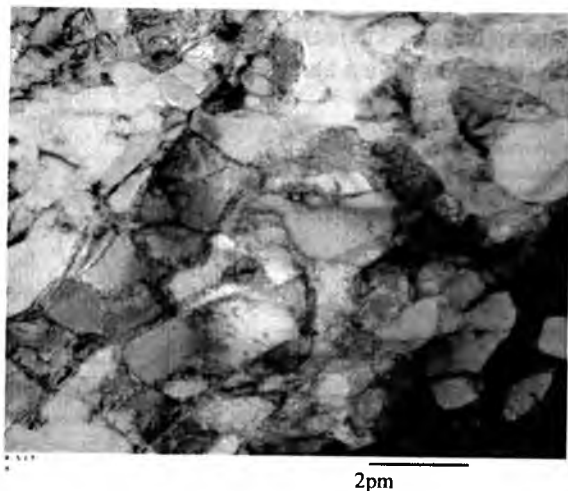
4.8-rasm. Prokatlashda hosil bo'ladigan ishqalanish kuchining taqsimlanishi:
(a) simmetrik prokatlash va (b) asimmetrik prokatlash.

Asimmetrik prokatlash (AP) jarayonida listlangan metall diametrlari har xil bo'lgan yoki har xil burchak tezlikda harakatlantirilgan valiklar orasidan deformatsiyalanib o'tadi. Asimmetrik prokatlash ishlab chiqarishda qo'llash uchun yuqori potentsialga ega, ya'ni u simmetrik prokatlashga nisbatan kamroq prokatlash bosimini hamda burovchi momentni talab etadi. Prokatlashning bu jihatlari juda yupqa listlar yoki folgalar olishda juda qo'l keladi.

AP texnikasi prokatlash davrida kesish kuchi deformatsiyasi mavjudligi bilan simmetrik prokatlashdan ajralib turadi. Prokatlashda qo'shimcha turdagi deformatsiyaning hosil bo'lishi deformatsiya traektoriyasining o'zgarishiga olib keladi, bu esa o'z navbatida umumiy deformatsiyalanish darajasini oshiradi. Ishchi zonada intensiv

deformatsiyaning ortishi ultra kichik, nano o'lchamli zarralarga ega bo'lgan material olish imkonini yaratadi.

APning yana bir afzalliklaridan biri bu prokatlangan listlangan material mikrostrukturasi qalinligi bo'yicha bir xilda bo'lishidir (4.9-rasm).



4.9-rasm AP namuna 208° Cda 1 soat termik ishlanganidan keyin hosil bo'lgan mikrostrukturaning TEM tasviri.

Talab etilgan shartlar asosida asimmetrik prokatlanib, listlangan material qalinligi bo'yicha to'liq kesish bilan deformatsialanganda juda kichik o'lchamdagi zarralarning hosil bo'lishi bilan birga ularning o'z o'qi atrofida burilishi kuzatiladi. Asimmetrik prokatlashda materialdagi kesish deformatsiyaning hajmiga qarab, metallning mexanik va fizik xossalarining yaxshilanishi kuzatiladi.

Asimmetrik prokatlash natijasida listli metallarning fizik-mexanik xossalarining yaxshilanishi tashkil etuvchi zarralarning o'lchamidan hamda talab etilgan nano o'lchamdagi zarralarning miqdoriga bog'liqdir. Kerakli o'lchamdagi zarralarni olish asimmetrik prokatlashning bir qancha parametrlari: har o'timda deformatsiya miqdori, o'timlar soni, ishqalanish koeffitsientlari, tezliklar nisbati va ishlov berilayotgan listlangan metalning boshlang'ich qalinligi kabilarga bog'liq bo'ladi.

Tengkanalli burchakli presslash usuli diametri 60mm va uzunligi 200 mm gacha bo'lgan o'lchamli detallarni olish imkoniyatini beradi (4.10-rasm) [22, 33].



4.10-rasm Nanostrukturali titandan olingan hajmiy xomashyo [22].

Bu usul siljish deformatsiyasiga asoslangan, buning uchun material o'zaro kesishishadigan bir xil ko'ndalang kesimli kanallarda maxsus osnastka orqali siqib chiqariladi. Kanallar orasidagi burchak asosan 90° teng olinadi, bir marta siqib chiqarishda ≈ 1 deformatsiyalash darajasiga erishiladi [22, 33]. Ishlov berilayotgan materialga qarab jarayon harorati xona haroratidek yoki biroz yuqori tanlanadi.

Qiyin deformatsiyalanadigan va plastikligi yaxshi bo'lmagan materiallarni namunasini butunligini saqlash muhim muammodir. Hozirgi kunda intensiv plastik deformatsiyalashni boshqa usullari ham ishlab chiqilmoqda, masalan har tomonlama bolg'alash va maxsus prokatlash.

V BOB. NANOMATERIALLARNI TADQIQOT QILISHNING ASOSIY USULLARI

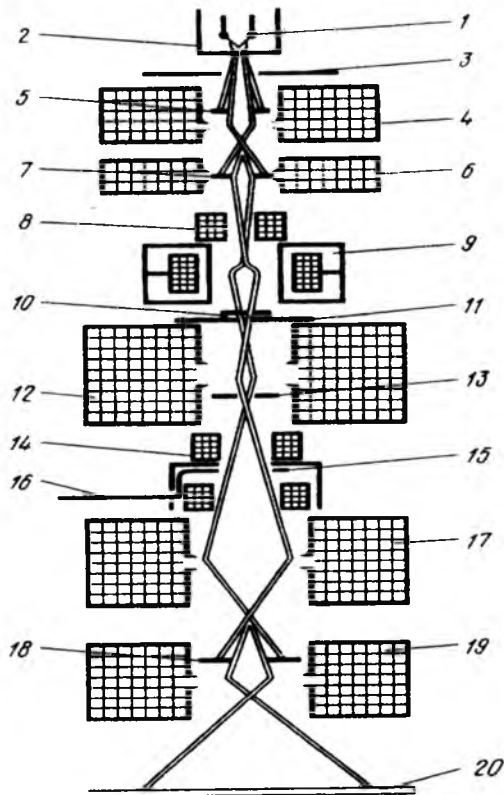
Nanomateriallarni oddiy kristall materiallar uchun qo'llaniladigan usullarda tadqiqot qilish mumkin. Ammo, nanomateriallarni o'ziga xos xususiyatlari bor, ya'ni yuzalar o'lchamlari 100-200nm bo'lgan namunalarni tadqiqot qilish zarur. Nanomateriallarni kimyoviy va struktura tahlili uchun bir qator usullarni qo'llash mumkin, o'zgacha xususiyatlarni e'tiborga olgan holda. Quyida bu usullarni asosiylari keltirilgan.

5.1. Elektron mikroskopiya usuli

Oddiy yorug'lik yordamida ishlaydigan mikroskoplarga qaraganda kichik to'liq uzunligiga ega elektron nuridan foydalanish keng imkoniyatlar yaratadi. Hozirgi kunda bir necha turdagi konstruktiviyali mikroskoplar qo'llanilmoqda: yorutuvchi, rastr skanerlovchi, emission va nurni qaytarish usulida. Nanomateriallarni tadqiqotida yorutuvchi, rastr skanerlovchi mikroskopiya usullari keng qo'llaniladi.

Yorituvchi elektron mikroskopiya

Yorituvchi elektron mikroskopiya bitta tajribani o'zidayoq namunaning har bir uchastkasining mikrodifraksion ko'rinishini yuqori aniqlik bilan olish imkoniyatini beradi. Zamonaviy yorituvchi elektron mikroskoplar mikrodifraksion ko'rinishni 50nm gacha bo'lgan uchastkadan 0,1nm aniqlikda olib beradi. Shuni nazarda tutgan holda «yuqori aniqlikdagi yorituvchi elektron mikroskopiya» termini qo'llana boshlandi [22]. Olingan rasmlar (ko'rinishga) bo'yicha materialni tuzilishi haqida, difraksion ko'rinishga qarab kristall panjara tipi to'g'risida so'z yuritish mumkin. Yorituvchi elektron mikroskopning prinsipial sxemasi 5.1-rasmda keltirilgan. Ushbu mikroskop $10^{-2} - 10^{-3}$ vakuum ta'minlangan vertikal ustun ichiga joylashtirilgan elektromagnit linzalar tizimi va elektron pushkadan iborat [29-33]. Mikroskopni yorituvchi tizimi ikki linzali



5.1-rasm Yorituvchi elektron mikroskopning prinsipial sxemasi [128,129]:
 1-katod, 2-fokuslovchi elektrod, 3-anod, 4- birinchi kondensator, 5- birinchi kondensator diafragmasi, 6- ikkinchi kondensator, 7- ikkinchi kondensator diafragmasi, 8- ikkinchi kondensator stigmatori, 9- yustirovka korrektori, 10- namuna, 11- namunalar uchun stol, 12- obyektiv linza, 13- appertura diafragmasi, 14- obyektiv linzaning stigmatori, 15- sektor diafragmasi, 16- oraliq linza stigmatori, 17- oraliq linza, 18- ko'rish maydoni diafragmasi, 19- proektsiyalovchi linza, 20- nazorat ekrani.

kondensator va elektron pushkadan tashkil topgan. Elektron pushka elektronlarni emitatsiyalovchi katoddan (W va LaB_6 tayyorlanib qizdirilgan sim), fokuslovchi elektrodlardan (ularga katta manfiy potentsial uzatiladi) va teshikli plastinka shaklidagi anoddan iborat. Katod va anod orasida tezlatuvchi kuchlanishga ega kuchli elektr

maydoni hosil qilinadi (zamonaviy mikroskoplarda 500-3500 kV). Tezlik ortishi bilan to'liq uzunligi qisqaradi ($\lambda=h/mv$, $\lambda=h(2meU)^{-1/2}$) va elektronlar massasi o'zgaradi. To'liq uzunligi qisqarishi bilan elektron mikroskopni optik tizimining aniqlik imkoniyati ortadi. Tezlatuvchi kuchlanishni ortishi elektronlarni singuvchanlik qobiliyatini o'sishiga olib keladi. 1000kV va undan ortiq kuchlanishli mikroskoplarda qalinligi 5-10 mkm namunalarni o'rganish mumkin. Anod teshigidan o'tgan elektronlar dastasi kondensator va yustirovka korrektoriga tushadi, bu yerda elektron nurini o'rganilayotgan namunaga oxirgi to'g'rilanishi sodir bo'ladi. Namunadan o'tgach elektronlar sochiladi (har tomonga). Ularni fokuslanishi va ekranda birlamchi ko'rinishlarni olish linzalar tizimi yordamida bajariladi (obyektiv, oraliq va boshqalar). Appertura diafragmasi namunadan o'tgan barcha elektronlardan ko'p sochilgan, yoki sochilmagan, yoki kam sochilgan elektronlarni ajratib olish imkonini beradi.

Birinci holda olingan ko'rinishda katta sochilish qobiliyatiga ega namuna uchastkalari yorug'roq ko'rinadi (qorong'i maydon), ikkinchisida – teskari (yorug' maydon). Zamonaviy mikroskoplarda namuna ko'rinishlarini olish uchun raqamli foto va kinokameralar mavjud. Mikrodiffraktsion tadqiqotlar uchun mikroskop tarkibiga xarakatlanuvchi selektorli diafragma o'rnatiladi, bu holda u appertura diafragmasini o'rini bosadi.

Yorituvchi elektron mikroskopni uch xil turi mavjud: to'g'ri, yarim to'g'ri va bilvosita.

To'g'ri usul obyekt strukturasi to'g'risida to'liq ma'lumot beradi, obyekt sifatida elektronlar uchun shaffof yoki yarimshaffof yupqa metall parda (folga) ishlatiladi. Folgani qalin namunalarni yupqalashtirish yo'li bilan olinadi, oxirgi bosqichlarda elektr kimyoviy sayqallash qo'llaniladi. Ko'p hollarda folgani vakuumda suvda eriydigan asosga (podlojka- NaCl, KCl) fizik usulda qoplama qoplash usulida olinadi. Bu holda alohida-alohida dislokatsiyalarni va ularni to'planganini ko'rish mumkin. Ularni o'lchamlari o'ta kichik bo'lgani sababli nanomaterda olindi deb xulosa qilish mumkin. Ayrim hollarda mikroskoplar maxsus moslama (приставка) bilan ta'minlanadi. Bunday moslama dislokatsion strukturani deformatsiyalash jarayonida o'zgarishini kuzatish imkoniyatini beradi. Bu usulda mikrodiffraktsion tahlil ham o'tqazish mumkin, natijada materialni tarkibiga qarab o'rganish zonasini nuqtaviy diagramasi olinadi. Mikrodiffraktsion tahlil

yordamida kristallarni yo'nalishini va donachalar yo'nalishi buzilishini aniqlash mumkin. O'ta ingichka nurli yorutuvchi elektron mikroskoplar o'rganilayotgan namunadan o'tgan elektronlarni spektr bo'yicha energetik yo'qolishlarini, materialni lokal kimyoviy tahlilini o'tqazish mumkin, jumladan yengil elementlar (bor, uglerod, kislorod, azot) mavjudligiga ham tahlil qilinadi.

Bilvosita usul materialni o'zini emas, balki namuna yuzasidan olinadigan yupqa replikalarni-pardalarni o'rganishdan iborat. Metodik jihatdan bu usul sodda va qulay hisoblanadi, chunki folgani tayyorlash murakkab va davomli jarayon. Replikalar vakuumda namuna yuzasiga uglerod, kvars, titan va boshqa moddalarni qoplab, yoki yuzani oksidlab yengil ko'chadigan parda (plyonka) olish usulida olinadi. Hozirgi kunda namuna yuzasiga polimer va lok pardalar qoplash ham qo'llanilmoqda. Ammo, bilvosita usul to'g'ri usulga nisbatan aniqligi past. Aniqlik replikaning o'zining aniqligi bilan chegaralanadi va bir necha nm ni tashkil etadi. Replikani o'zini tayyorlash jarayonida turli xatoliklar kelib chiqishi mumkin. Shuning uchun bu usul hozirgi kunda kam qo'llaniladi.

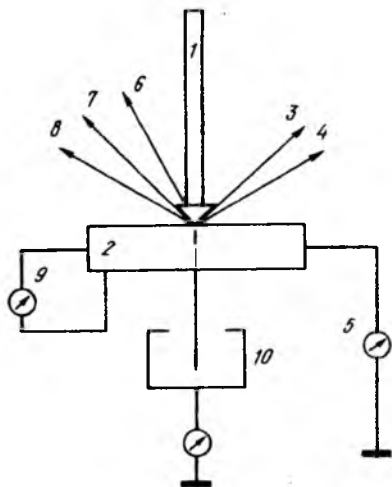
Yarim to'g'ri usul geterofazali qotishmalarni tadqiqotida qo'llaniladi. Bu holda asosiy fazani (matritsa) replikalar-pardalar yordamida (bilvosita usul) o'rganiladi, matritsadan olingan zarrachalar esa to'g'ri usulda tadqiqot qilinadi, jumladan mikrodifraksiya yordamida. Bu usulda replika ko'chirilishidan avval mayda kvadratlarga kesiladi va zarur fazalarni saqlab matritsa materialini eritadigan kimyoviy ishlov beriladi (травление). Kimyoviy ishlov replika-pardani asosdan ajralguncha bajariladi. Bu usul matritsada kichik hajmda bo'lgan mayda dispersli fazalarni o'rganishda qulaydir. Replikada o'zining strukturasi bo'lmaganligi zarrachalarni difraksion ko'rinishini o'rganish imkoniyatini beradi. To'g'ri usulda bunday ko'rinishlarni matritsa ko'rinishidan ajratish o'ta murakkabdirl.

Rastr skanerlovchi elektron mikroskopiya (REM)

Rastr elektron mikroskopda tadqiqot qilinayotgan namunani (obyektni) ko'rinishi uning yuzasini aniq fokuslangan (5-10nm) elektronlar nuri bilan skanerlash natijasida shakllanadi. Bunday nur elektron zond deb ataladi. Zondning diametri 5-1000nm bo'lishi mumkin [28-33]. Elektronlarni tadqiqot qilinayotgan namuna yuzasi

bilan o'zaro ta'siri natijasida bir qator murakkab jarayonlar yuzaga keladi va turli nurlanishlar hosil bo'ladi (5.2-rasm).

Bu nurlanishlar har xil pribor va datchiklar yordamida belgilanadi. Yuza ko'rinishini shakllantirish uchun qaytarilgan va ikkilamchi elektronlardan foydalaniladi. Ular hosil qilgan signallar priborlar bilan belgilangandan so'ng kuchaytiriladi va elektron-nur trubkasidagi ko'rinish tiniqligini o'zgartirish uchun ishlatiladi, uning yoyilishi elektron zond surilishi bilan sinxron ravishda bajariladi. Natijada namuna yuzasidagi har bir nuqtaga mos ravishda elektron-nur trubkasi ekranida ham nuqta qo'yiladi. Nuqta ko'rinishining tiniqligi o'rganilayotgan yuzadagi mos nuqtadan kelayotgan signal intensivligiga proporsionaldir. Qaytarilgan elektronlardan kelayotgan signalni qo'llaganda qalinligi 1-2mkm va elektron nur tushgan zonaning diametridan kattaroq qatlamdan ma'lumot olish mumkin. Yuza ko'rinishi o'ta yuqori aniqlik bilan olinmasada, lekin kuchli qora-oq kontrast (yorug'lik yoki ranglarni keskin o'zgarishi) bilan farqlanadi. Ushbu rejim metallografik shliflarni strukturasi o'rganishda qo'l keladi.



5.2-rasm. Elektron nurini namunaga ta'siri natijasida hosil bo'lgan effektlar [128,129]:

- 1- elektron nur, 2- namuna, 3- qaytgan elektronlar, 4- ikkilamchi elektronlar,
- 5- yutilgan elektronlarning toki, 6 - katodlyumenestsensiya, 7- rentgen nurlanish,
- 8- elektronlar, 9- yo'naltirilgan tok, 10- namunadan o'tgan elektronlar.

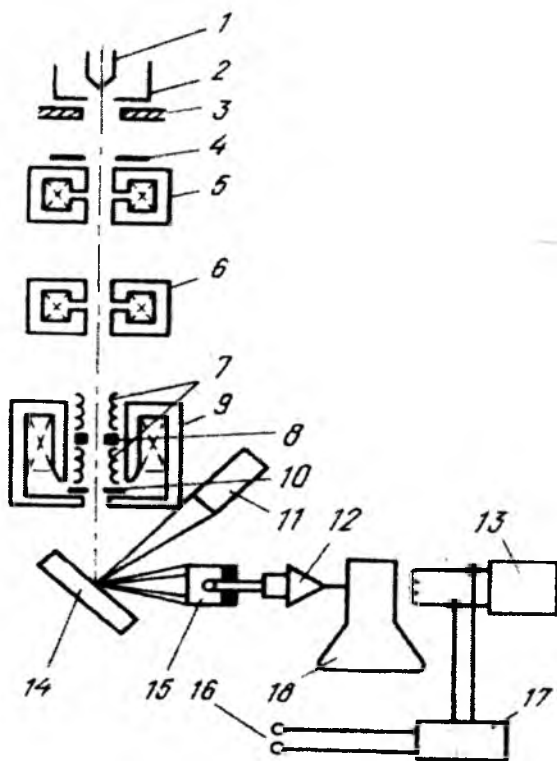
Ikkilamchi elektronlar signalini qo'llaganda eng yuqori aniqlikga erishiladi, chunki 1nm qalinlikdagi qatlamda hosil bo'ladi, ularni hosil bo'lish zonasi elektron nuri tushgan joyni o'lchami bilan chegaralangan. Ko'rinishdagi kontrast qaytarilgan elektronlarni qo'llagandagidan deyarli kam, ammo, stereometrik (fazodagi jism xususiyatlari) xarakterga ega.

Rastr elektron mikroskopiyasining muhim afzalligi yuqori aniqlik darajasini ta'minlovchi imkoniyatini (10 nm gacha, lantan gekso-borididan tayyorlangan maxsus katodlarni qo'llaganda 5 nm gacha) fokusning katta chuqurligi bilan mujassamlaganida (10 nv aniqlikda 1mkm tashkil etadi). Bu esa g'adir-budur namunalar yuzasini yuqori sifatli tadqiqot qilish imkoniyatini beradi. Bir qator priborlarda katod o'rniga avtoemission pushka qo'llaniladi va o'ta ingichka nur yordamida 0,5 nm aniqlikga erishiladi.

REM usulining kamchiligi faqat tok o'tqazuvchan materiallarni tadqiqot qilish imkoniyati. Izolyatorlarni tadqiqot qilish uchun ularni yuzasiga elektr o'tqazuvchi yupqa parda qoplanadi, masalan uglerod. Rastr elektron mikroskopining printsipial sxemasi 5.3-rasmda keltirilgan.

Katoddan chiqayotgan elektronlar diafragmalar tizimi, linzalar va stigmator yordamida elektron nuriga (zond) shakllanadi. Generator bilan ulangan og'diruvchi g'altaklar elektron zondni elektron trubka bilan sinxron ravishda namuna yuzasini skanerlashni ta'minlaydi. Rasmni ravshanligini shakllantirish rentgen nurlanish, ikkilamchi elektronlar va qaytarilgan elektronlar detektorlaridan signallari orqali bajariladi. Kattalashtirishni boshqarish (20-10000 barobar) elektron zondni namuna bo'yicha va nurni ekran bo'yicha yoyilish amplitudasi nisbatini maxsus moslama yordamida ta'minlanadi. Materialni elektronlar bilan nurlantirganda rentgen nurlanish hosil bo'lgani sababli REMda rentgenospektral mikrotahlil usuli keng qo'llaniladi (RSMA). Deyarli barcha REMlarda konstruktiv jihatdan bu usullarni birlashtirish ko'zda tutilgan. Rentgen nurlanish komponentlarining to'liq uzunliklari spektrini va rentgen kvantlari energiyasini qayd qilish imkoniyati mavjud. Bu esa namuna yuzasining kimyoviy tarkibini o'ta sezgir sifat va miqdor jihatdan tahlil qilish imkoniyatini beradi, jumladan, tanlangan nuqtada ham.

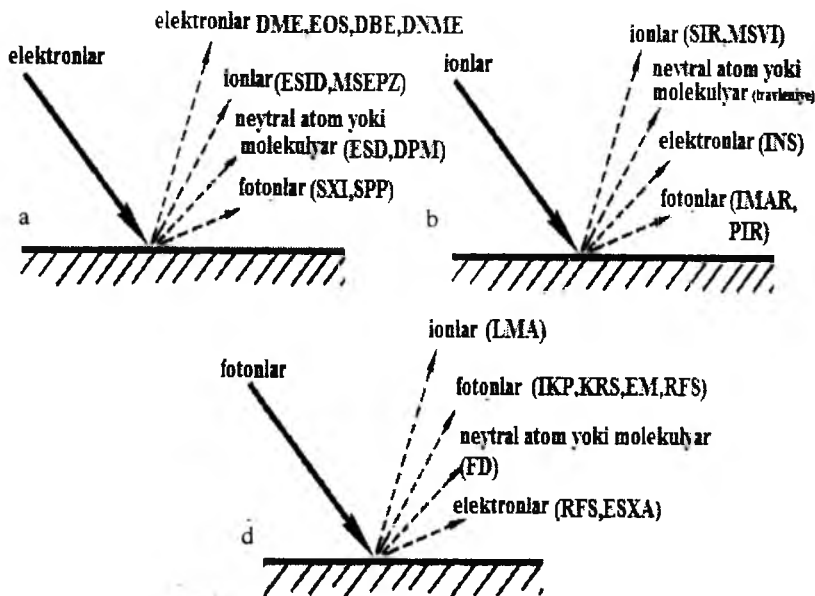
RSMAning aniqlik darajasi 200-500nm ni tashkil qiladi va namunalar yuzasini tahlil uchun tayyorlangan sifatiga bog'liqdir.



5.3-rasm Rastr elektron mikroskopining printsipl sxemasi [28, 29]:
 1-katod, 2- Venelt silindri, 3- anod, 4, 10- chegaralovchi diafragmalar,
 5,6- kondensor linzalar, 7- og'diruvchi g'altaklar, 8- stigmator,
 9- obyektiv linza, 11- rentgen nurlanish detektor, 12- kuchaytirgich (усилитель),
 13- yoyish (skanerlash) generatori, 14- namuna, 15- og'diruvchi g'altaklarga signal
 uzatish, 17- kattalashtirishni boshqarish, 18- elektron-nur trubkasi.

4.3. Spektral tahlil usullari

Odatda spektral usullarga tadqiqot qilinayotgan materiallarni elektron, ion va fotonlar bilan nurlantirganda hosil bo'ladigan qaytarilgan nurlanishlarning energetik spektrlari tahliliga asoslangan usullar kiradi (5.4-rasm).



5.4-rasm Spektral usullarni ishlash prinsipining sxemasi:

a) elektron nurlanishga asoslangan usullar, b) fotonlar bilan nurlantirishga asoslangan usullar, v) ionlar bilan nurlantirishga asoslangan usullar; EOS – elektron Oje-spektroskopiyasi, DME(SED) – sekinlashtirilgan elektronlar, DBE (TED) – tez elektronlar difraktsiyasi, DNME (NQSED) – noelastik qaytarilgan sekin elektronlarni difraktsiyasi, ESID (ERID) – elektron rag‘batlantirilgan ion desorbsiya, MSEPZ (YUEZMS) – yuza elektron zondi mass-spektroskopiyasi, ESD () - elektron rag‘batlantirilgan desorbsiya, DPM (YUMD) – yuza molekularini desorbsiyasi, SXI (XNS) – xarakteristik nurlanishning spektroskopiyasi, SPP (OPS) – ostanoviy potentsiallarni spektroskopiyasi, LMA (LMT) – lazerli mikrozonid tahlil, IKP (IQYU) – infraqizil yutish, KRS (YKY) – yorug‘likni kombinatsiyalangan yoyilishi, EM (KYOE) – ko‘rinadigan yorug‘likni elipsometriyasi, FD – fotodesorbsiya, RFES yoki ESXA - rentgen fotoelektron spektroskopiya, ISR () – ionlarni yoyilish spektrometriyasi, MSVI (IIMS) – ikkilamchi ionlarni mass-spektroskopiyasi, INS – ion-neytrallash spektroskopiyasi, IMAR (RNTQIM) – rentgen nurlarini tahlil qiluvchi ionli mikrozonid, PIR () – protonlar hosil qiluvchi rentgen nurlanishi [29, 30].

Hozirgi kunda o'nlab bunday usullar ma'lum. Ammo ularni hammasi ham nanomateriallarni tadqiqot qilish sohasida keng qo'llanilmaydi. Masalan taniqli rentgen spektral mikrotahlil usuli namunaning tahlil qilayotgan uchastkasini miqdoriy tahlilida faqat diametri 1-2 mkm, rentgen fotoelektron spektroskopiya usuli esa 2-10 mm tekshirish imkoniyatiga ega. Shu sababli quyida ko'riladigan usullar birinchidan – nanomateriallarni o'rganishda qo'l keladi, ikkinchidan – ko'proq ko'rgazmali va keng qo'llaniladi.

Elektron Oje-spektroskopiya

Bu usul ikkilamchi Oje-elektronlarni energetik tahliliga asoslangan. Oje effekti, uni 1925 yilda kashf etgan frantsuz olimi nomi bilan ataladi. Namuna yuzasida atomlarni to'liqlantirish natijasida ikkilamchi elektronlar emissiyasi kuzatiladi. Ularni kichik qismi orbitalararo o'tish natijasida namunadan chiqib ketadi. Bunday elektronlar Oje-elektronlari deb ataladi. Oje-elektronlarni kinetik energiyasi elektron chiqib ketgan ichki qobig'lar energiyasi va yuqoriroq joylashgan energetik darajadagi elektronlar energiyasi ayirmasi bilan aniqlanadi, hosil bo'lgan vakansiyaga Oje-elektroni otilib chiqadigan elektron o'tadi. Oje-elektronlarni energiyasiga qarab ularni chiqargan atomlar xossasiga baho bersa bo'ladi.

Shunday qilib, Oje-elektronlar spektrini energetik tahlili tadqiqot qilinayotgan moddaning yuza qatlamini kimyoviy tarkibi, ayrim hollarda esa atomlarni kimyoviy bog'lanishi to'g'risida ma'lumot beradi. Bu usulda gelyidan og'ir bo'lgan barcha elementlarni aniqlash imkoniyati bor. Elektron Oje-spektroskopiyasini bajaradigan priborlarda elektron nuri energiyasi 0,1-3 keV [129,130] tashkil qiladi va 0,5-3,0 nm chuqurlikdagi qatlam tarkibi o'rganiladi. Signalga asosiy ulushni birinchi ikki-uch atomlar qatlami qo'shadi. Namuna yuzasidagi aniqlik darajasi diametri 50 nm gacha bo'lgan birlamchi elektronlar dastasi bilan aniqlanadi.

Ikkilamchi ionlar mass- spektroskopiyasi

Bu usulda tadqiqot qilanayotgan material yuzasi ionlar dastasi bilan to'zitish so'ngra to'zitish mahsulotlari, ya'ni otilib chiqqan ikkilamchi ionlar tahlil qilinadi. Ikkilamchi ionlar zond zonasidagi 2-

3 yuza atom qatlamlarining kimyoviy tarkibi to'g'risida ma'lumot beradi va mass-spektrometr bilan o'rganiladi. Ushbu usul yuqori sezgirlikga ega bo'lgan holda barcha kimyoviy elementlarni, jumladan vodorod va geliyni aniqlash imkoniyatini beradi. Chuqurlik bo'yicha aniqlik darajasi 1-10 nm, yuza bo'yicha esa ion dastasini shakllantiruvchi moslamaga bog'liq bo'lib 3nm dan 500 nm gacha, maxsus ionlar manbalari qo'llanilganda 40 nm gacha tashkil qiladi [29, 30].

Lazerli mikrozonid tahlili

Ushbu usul impulsli lazer dastasini nurlanishi ta'sirida yuzaning tanlangan nuqtasida materialni mikrohajmi bug'lanib va dastlab uning ionizatsiyasiga asoslangan [30]. Hosil bo'lgan ionlar vakuumda mass-spektrometr bilan tahlil qilinadi. Yorug'lik spektrining ultrabinafsha diapazonidagi nurlanish impulsining davom etish vaqti 30 ns va undan kam bo'ladi. Hosil bo'lgan dog' diametri 100-500 nm ni tashkil qiladi. Dog'dagi kichik energiya zichligi ($10^8 - 10^{11}$ Vt/sm²), bug'langan ionlarni boshlang'ich energiyasini yuqori bo'lmasligi va bu energiyani kam yoyilishi elementlarni materialda oz miqdorda bo'lganida ham usulni yuqori sezgirlik bilan tahlil qilish imkoniyatini ta'minlaydi. Ushbu usul barcha materiallar turlarini, kimyoviy elementlarni manfiy va musbat ionlarni tahlil qilish imkoniyatini beradi. Usulning kamchiligi sifatida uning elementlarni miqdoriy jihatdan tahlil qilishdagi noaniqligidir (asosiy elementlar uchun xatolik 10%, kam bo'lgan elementlar uchun – 30%).

5.3. Skanerlovchi zond usullari

Ushbu usullar guruhi nanomateriallar va nanotexnologiyalar sohasida keng qo'llaniladi. Barcha usullarni asosiy prinsipi – tahlil qilinayotgan material yuzasidan maxsus moslama – zond yordamida informatsiyani o'qish. Ko'p hollarda ishchi jism sifatida uchidagi radiusi 10 nm bo'lgan olmos igna ishlatiladi. Yuqori aniqlikda skanerlovchi mexanizm yordamida zond namuna yuzasi ustida uch koordinata bo'ylab yo'naltiriladi. Odatda zondni yo'nalishida ikkita diapazon bor: nisbatan kichik aniqlik va yuqori tezlik bilan dag'al yo'nalish va deyarli kichik tezlik va yuqori skanerlash aniqligi bilan (0,1-1, 0 nm) aniq yo'nalish. Skanerlashni katta aniqligi balandlik

bo'yicha ta'minlanadi. Zondan kelayotgan signalga kompyuter yordamida ishlov beriladi va uch o'lchamli ko'rinishga o'tqaziladi. Olinadigan signallarga ishlov berish, filtrlash va korreksiya (to'g'rilash) qilish uchun maxsus programmalaridan foydalaniladi.

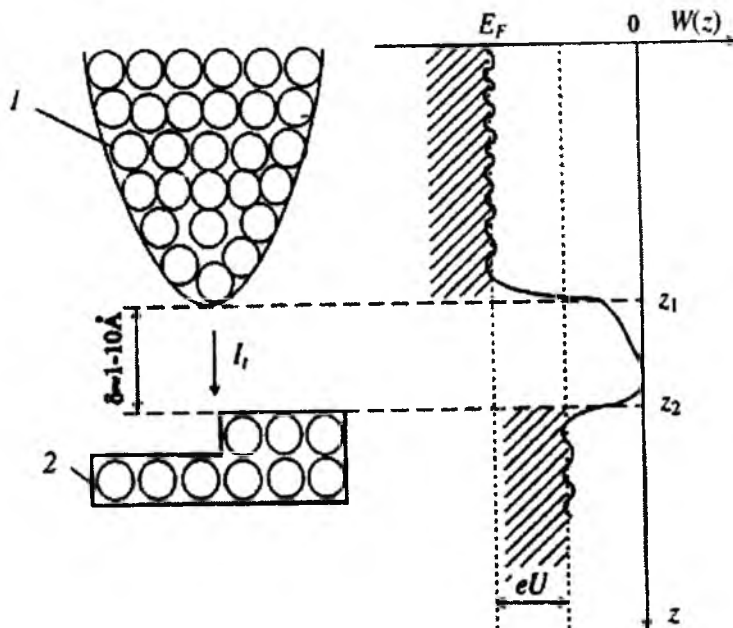
Odatda zondli mikroskoplarni narxi, o'lchamlari elektron mikroskoplarnikiga qaraganda pastroq, imkoniyatlari esa teng desa bo'ladi. Shu bilan birga aytish zarur-ki, bir qator zondli mikroskoplar uchun vakuum zarur emas, tadqiqotlar esa turli materiallar uchun, jumladan izolyatorlar, yarimo'tkazgichlar, biologik obyektlar uchun ham o'tqazish mumkin. Namunalar maxsus ishlov bermasdan tekshirilishi mumkin (zarur uchastkalarni sayqallash yetarli).

Skanerlovchi tunnel mikroskopiyasi (STM)

Zond sifatida bu usulda elektr o'tqazuvchi uchlik qo'llaniladi (5.5-rasm). Zond va namuna orasida 0,1-10 V tarzda elektr kuchlanish sodir bo'ladi. Oraliqda tadqiqot qilinayotgan material atomlarining xossalari va konfiguratsiyasiga bog'liq bo'lgan 1-10 nA miqdordagi tunnel toki hosil bo'ladi. Bu tok priborlar bilan qayd qilinadi. Tok tunnel effekti hisobiga hosil bo'ladi, ya'ni klassik mexanika man etuvchi sohadan kvant o'tishi yuzaga kelganda bu *tunnel usuli* deb ataladi. Bu soha 3-10 Å ga teng bo'lib igna uchi va tadqiqot qilinayotgan namuna yuzasi oralig'ida joylashgan. Tunnellanayotgan elektronlar energiyasi 1 eV tarzda bo'ladi [22]. Zamonaviy priborlarda ma'lum rejim hisobiga tunnel toki miqdorini o'zgarmas ravishda ushlab turiladi. Eng qulay sharoitlarda skanerlovchi tunnel mikroskopiya usuli aniqlik darajasini tekislik bo'yicha (x va y koordinatalari) 1 Å gacha, balandlik bo'yicha (z koordinata) – 0,01 Å gacha [22] bo'lishi mumkin.

Usulni turli modernizatsiyalangan va to'ldirilgan variantlari mavjud. Masalan, skanerlovchi tunnel spektroskopiyasi yuzaning turli nuqtalaridagi voltamper xarakteristikalarini tahlil qilish yoki har xil kuchlanishlarda yuza ko'rinishini olishga asoslangan. Birinchi holda tunnel tokini ikkinchi hosila miqdoriga qarab igna ustida to'xtagan atom turini aniqlash mumkin, ikkinchisida esa – yarimo'tkazgich va o'ta o'tkazgichlar zona strukturasini parametrlarini aniqlash mumkin. Skanerlovchi tunnel mikroskopiya usulini aniqlik darajasini quyidagi shartlar chegaralaydi: tadqiqot qilinayotgan materiallar albatta elektr o'tqazuvchan bo'lishi, yuqori yoki o'ta yuqori vakuum va past harorat

(50-100 K) ta'minlanishi talab etiladi. Shu bilan birga 1nm tarzdgagi aniqlik darajasi uchun bu talablar shart emas.

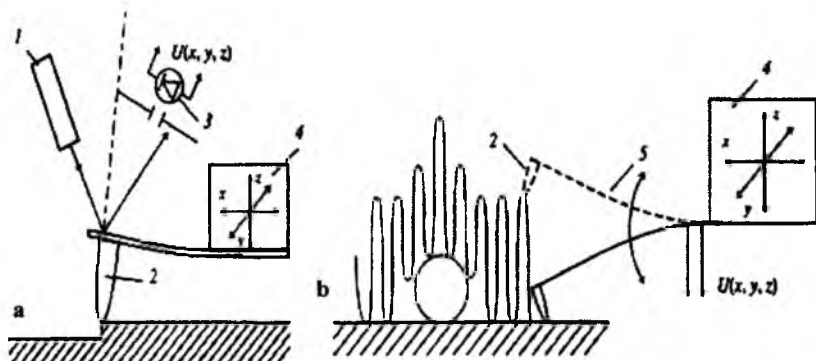


5.5-rasm. Skanerlovchi tunnel mikroskopining ishlash prinsipial sxemasi: 1- zond, 2- namuna, I_t – δ kattaligidagi oraliqdagi tunnel toki, E_F – Fermi darajasi, U – zond va namuna orasiga berilgan kuchlanish, W – energiya, e – elektron zaryadi, Z - balandlik bo'yicha koordinata o'qi [22].

Atom-kuch mikroskopiyasi (AFM)

Ushbu usulda zond (igna) uchini tadqiqot qilinayotgan yuza bilan o'zaro ta'sir kuchi qayd qilinadi. Igna ma'lum birkirlikli va namuna hamda igna uchi orasida hosil bo'ladigan kichik kuch ta'sirida bukiliş imkoniyatiga ega to'sinchada (балочка) joylashgan (5.6-rasm).

Bu kuchlar usulning bir qator variantlarida molekulyar (Van-der-Vaals), elektrstatik yoki magnitli bo'lishi mumkin. Kantilever deformatsiyasi uning orqa tomoniga tushayotgan lazer nurini og'ishi yoki bukilişda kantilever materialida hosil bo'ladigan pezorezestiv effekt yordamida o'lchaniladi [22].



5.6-rasm. Atom-kuch mikroskopiya usulining ikki modasining sxemalari: a) kontakt moda, b) kvazikontakt moda[8]:
1- lazer, 2- igna, 3- kantileverni (zond) og'ishi yoki tebranishini o'lchovchi tizim, 4- ignaga ta'sir etuvchi kuchni qayd etuvchi tizim.

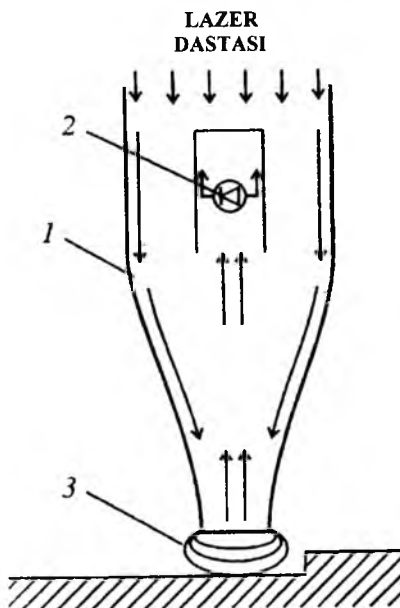
Atom-kuch mikroskopiya usulining ikkita modasi mavjud (kontakt va kvazikontakt). Kontakt modasida igna uchi (olmos, fullerit yoki puxtalovchi qoplamali kremniydan) ishchi rejimda doimiy ravishda tadqiqot qilinaётgan yuza bilan kontaktda bo'ladi. Bajarilishi modani sodda bo'lishiga qaramay ma'lum kamchilikga ega – yoki ko'rilayotgan material shikastlanishi mumkin. Kvazikontakt (nokontakt) rejimda kantileverni o'zining tebranish parametrlari o'lchaniladi (rezonans chastotasi, tebranishni so'nishi, siljish va ta'sir etuvchi kuch orasidagi faza siljishi). Bu holda kantilever ignasi namuna yuzasidan ma'lum oraliqda ($10\text{-}500\text{ \AA}$) bo'lib va nisbatan uzoqdan ta'sir etuvchi Van-der-Vaals kuchlari orqali o'zaro ta'sir ko'rsatadi [22]. Bir qator zamonaviy priborlarda igna ishqalanish kuchi, o'rganilayotgan material uchastkalarini elastiklik xaritasini olish, tirnash usuli bilan nanoqattqlikni aniqlash, yarimo'tkazgichli olmos ignalarni qo'llaganda esa – namuna yuzasi sig'imini, yuzaga yaqin qatlamni o'tqazuvchanligini, sig'imni o'zgarish miqdoriga qarab qo'shimchalar kontsentratsiyasini aniqlash imkoniyati mavjud. Tekislik bo'yicha aniqlik darajasi (x va y koordinatalar) 1 nm , balandligi bo'yicha (z koordinata) – $0,1\text{ nm}$ gacha. Usulni kamchiligi – igna materialini turg'unligi kamligi, ammo aksariyat tadqiqot qilinaётgan materiallar uchun olmos yoki fullerit ignalar qattqligi yetarli hisoblanadi.

Magnit-kuch zondli mikroskopiya (MFM)

Ko'rilayotgan usul avvalgi usulni bir turi hisoblanadi. Bu usulni farqi shundaki, kantilever ignasini uchi magnit materialdan yoki ferromagnit qoplamali qilib ishlanadi, natijada kantilever namunani magnit strukturasini sezadigan bo'ladi. Usulni aniqlik darajasi 10-50nm ni tashkil qiladi [22]. Magnit-kuch zondli mikroskopiyaning elektronika uchun yupqa ferromagnit plyonkalarni (pardalarni) tadqiqot qilish maqsadga muvofiqdir.

Yaqin optik zonani skanerlovchi mikroskopiya (SNOM)

Bu usulda zond sifatida uchi torayib namunaga qaratilgan yorug'likli to'lqin uzatgich (shisha tola) qo'llaniladi (5.7-rasm).



5.7-rasm. Yaqin optik zonani skanerlovchi mikroskopiya usulining printsipl sxemasi:

1- to'lqin uzatgich, 2- foto qabul qiluvchi, 3- to'lqin uzatuvchi ochiq uchining yorug'lik maydoni (diametri yorug'lik nurlanish to'lqini uzunligidan kichik) [22].

Shu bilan birga yorug'lik tolasi uchining minimal diametri yorug'lik nurlanishi to'qlinining uzunligidan kichik bo'lishi kerak. Bu holda yorug'lik to'qlini to'qlin uzatgichdan katta masofaga chiqib ketmay faqat uning uchidan biroz «ko'rinib» turadi [22]. To'qlin uzatgichni ikkinchi boshida band bo'lmagan yon tomonidan qaytgan yorug'likni qabul qiluvchi lazer va sezgir foto qabul qiluvchi element joylashgan. Tadqiqot qilinayotgan yuzaning uch o'lchamli ko'rinishini qurish uchun qaytgan yorug'lik to'qlini fazasi va amplitudasidan tadqiqot qilinayotgan yuza va zond uchidan chiqayotgan signal orasidagi kichik masofani hisobga olingan holda foydalaniladi.

Bu usul 10 nm aniqlik darajasini ta'minlaydi. Nanotexnologiyalar qo'llanilgan bir qator priborlarda hozirgi kunda lazer va foto qabul qiluvchi element atom-kuch mikroskopi ignasining uchida joylashtirilgan, bu esa ikki usul imkoniyatlarini o'z ichiga qamrab oladi [22].

VI BOB. O'TA YENGIL QOTISHMALAR

6.1. Alyuminiy-litiy qotishmalari. Qotishmalarning texnologik xossalari

Al-Li qotishmalari yuqori nisbiy mustahkamlik va nisbiy elastiklik moduliga ega bo'lgani sababli turli konstruktsiya og'irligi va narxini keskin kamaytirish imkonini beradi.

O'ta zaharli bo'lgan berilliydan tashqari litiy qotishmalarning zichligini kamaytirib elastiklik modulini oshiradigan legirlovchi element. Alyuminiy-litiy qotishmalarida litiyni har bir protsenti qotishmani zichligini 3 % ga kamaytiradi va elastiklik modulini 6% ga oshiradi. Alyuminiy qotishmalariga litiyni qo'shilishi natijasida zamonaviy aviatsiya qotishmalarining zichligi kamayadi, litiyni zichligi - 530 kg/m^3 .

Alyuminiy-litiy qotishmasi an'anaviy alyuminiy qotishmasidan 10% yengil va bikrligi 10% ga ortiq.

Al-Li qotishmalari narxi 2,5 barobar an'anaviy alyuminiy qotishmalaridan yuqori. O'zining noyob xossalari hisobiga alyuminiy-litiy qotishmalari yaqin kelajakda uchish apparatlarini yaratishda kompozitsion materiallarni qo'llash miqdoridan oshadi [34].

Alyuminiy-litiy qotishmalari yuqori ekspluatatsion ko'rsatkichlarni ta'minlab yoqilg'ini tejashni ta'minlovchi istiqbolli aviakosmik qotishmalar qatoriga kiradi. Ushbu qotishmalar quyidagi afzalliklarga ega: konstruktsiya og'irligini 15% ga kamaytiradi, an'anaviy alyuminiy qotishmalariga nisbatan bikrlikni 10% ga oshiradi, mavjud uskunalarda ishlab chiqarilishi mumkin, asboblarni almashtirishni va ishchilarni malakasini o'zgartirishni talab qilmaydi.

Birinci Al-Cu-Li qotishmalari 1960-1970 yillarda sobiq SSSRda (БАД 23 qotishmasi) va chet elda (2020 qotishma) yaratildi, tarkibida 1,1% litiy bo'lib yuqori mustahkamlikga ega bo'lgan alyuminiy qotishmalariga nisbatan yuqori nisbiy mustahkamlik va bikrlikka ega edi.

Ammo, bu qotishmalarni alyuminiy-magniy-litii qotishmalari kabi mustahkamlik, qovushqoqlik va plastiklik ko'rsatkichlari past edi.

Hozirgi kunda Al-Li qotishmalari quyish usulida litiyni erigan alyuminiyda eritib olinadi, olingan qotishmalardan quymalar tayyorlanadi. Ammo bu usul litiyni miqdorini 3% gacha chegaralaydi. Bundan ortiq litii miqdorini qotishmada va kam zichlikni kukun metallurgiyasi yordamida ta'minlash mumkin.

Kukun metallurgiyasi mustahkamlik va qovushqoqlikni mayda donachali va legirlovchi elementlar bir tekis taqsimlangan yangi kimyoviy tarkibli qotishmalarni olishni ta'minlaydi.

Ushbu usul alyuminiy-litii qotishmalarda litii miqdorini 5% gacha oshiradi, qotishma zichligini 14% gacha pasaytiradi, yuqori mustahkamlik va korroziyabardoshligini va 250°C da ishlash imkoniyatini ta'minlaydi.

Al-Li binar sistemasining muvozanat diagrammasiga asosan qattiq holatdagi alyuminiyda 600°C da litiyni erishi 6 % gacha, xona haroratida esa 1%ni tashkil etadi. 20–160°C eskirtish natijasida ajralib chiqqan δ -faza Al-Li qotishmasida plastiklikning pasayishiga olib keladi.

Al-Li sistemasidagi qotishmalarga sirkoniyni qo'shilishi donachalar o'lchamini maydalashtiradi va korroziya bardoshligini oshiradi, marganets ham donachalar o'lchamini maydalashtiradi va korroziya bardoshligini oshiradi, lekin sirkoniy darajasida emas. Kremniy qotishmani oquvchanlik chegarasini oshiradi, mo'rtlikga moyilligini pasaytiradi.

01420 markali alyuminiy-litii qotishma (tarkibida 0,1 dan 2 % Li gacha) - alyuminiy qotishmalaridan eng yengili, uning zichligi 2500 kg/m³. Qotishmaning elastiklik moduli - 76000 MPa, an'anaviy D16 alyuminiy qotishmasini elastiklik moduli - 72000 MPa ga teng. D16 qotishmasi o'rniga 01420 alyuminiy-litii qotishmasini keng qo'llanilishi konstruksiya massasini 13% dan 20% gacha kamaytiradi.

01420 qotishma qoniqarli korroziya bardoshlikga ega, payvandlashni turli usullarida payvandlanadi. Payvand birikmaning mustahkamligi asosiy materialni mustahkamligiga nisbatan 84% ni tashkil etadi. Payvandlangandan keyingi qayta termik ishlov berish mustahkamlikni 100% darajasida ta'minlaydi.

01420 qotishma 450°C da toblanadi suvda yoki havoda sovutiladi va 120°C da 12 soat ichida sun'iy eskirtiladi. Toblash suvda sovutib yuqori korroziya bardoshlikni, suvda sovutish – deyarli yuqori plastiklik xarakteristikalarini ta'minlaydi.

6.1-jadvalda tarkibida litiy bo'lgan qotishmalarni kimyoviy tarkibi va ularda erishilgan zichlikni kamayishi va oshgan bikrlilik an'anaviy deformatsiyalanadigan alyuminiy qotishmariga nisbatan keltirilgan.

Og'irlikni kamayishini baholashda, materialning xossalarini yaxshilashida mustahkamlikni, bikrlilikni, charchashga uzoq chidashligini oshishi material zichligini kamayishi asosiy ko'rsatkich hisoblanadi (6.1-rasm). Qotishmalarga optimal ishlov berishni belgilashda Al-Li-Si-Mg qotishmalarining strukturasi o'rganish, elastiklik va yemirilish xarakteristikalarini aniqlash, mustahkamlik va qovush-qoqligidan kelib chiqadi.

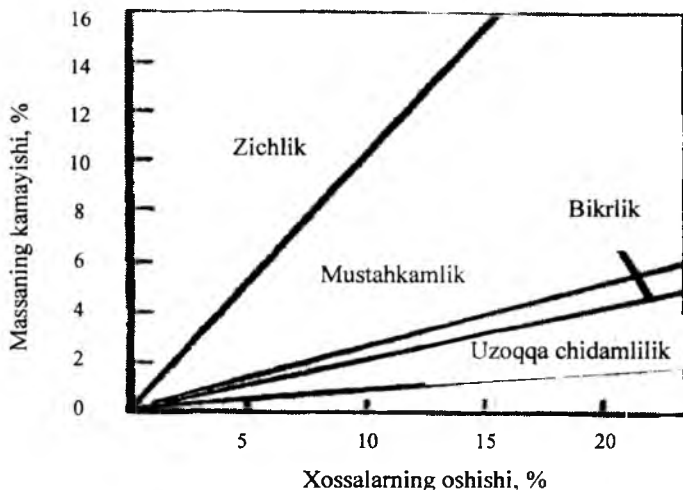
Qotishmalarning kimyoviy tarkibi, erishilgan zichlik va bikrlilik, %

6.1-jadval

Qotishma markasi, davlat	Cu	Li	Mg	Mp	Cd	Zr	γ , %	+E, %
01420	-	2,0	5,0	5,0	-	-	10,5	7
2020 (AQSH)	4,5	1,1	-	0,5	0,2	-	3	8
DTD XXXA (Buyuk Britaniya)	1,2	2,5	0,7	-	-	0,12	9,5	10

Hozirgi kunda alyuminiy-litiy qotishmalarining qovushqoqligini oshirishning asosiy usuli bu donachalarni legirlash, termomexanik ishlov va kukun metallurgiyasini qo'llash bilan maydalashdan iborat.

Alyuminiy-litiy qotishmalari issiq holatda yaxshi deformatsiyalanadi, shuning uchun issiq list prokatlash bosqichlari yuqori mustahkamlikga ega an'anaviy alyuminiy qotishmalariga nisbatan yengil bajariladi. Bu qotishmalar sovuq deformatsiya natijasida tez puxtalanadi, deformatsiyani yuqori darajalarida esa mo'rtlikga moyilik vujudga keladi.



6.1-rasm Materiallar xossalarini samolyot massasining kamayishiga ta'siri

Qotishmalar yaxshi presslanadi, shtamplanadi va qirqib ishlanadi. Yangi qotishmalar olish texnologiyasi an'anaviy qotishmalar olish texnologiyasidan farqlanmaydi.

Alyuminiy va yangi alyuminiy-litiy qotishmalarni solishtirma hossalari 6.2. jadvalda keltirilgan.

Alyuminiy va Al-Li qotishmalarining xossalari

6.2-jadval

Qotishma markasi	ν , kg/m^3	E , GPa	σ_v , MPa	$\sigma_{0,2}$, MPa	δ , %	$\sigma_{0,2} / \nu$	σ_v / ν
Д16	2780	72,66	430	290	10	10,3	15,3
B95	2800	72,0	480	420	7	14,3	17,1
BAД23	2730	77,25	520	380	4	13,9	19,1
01420	2500	76,0	520	260	6	10,4	16,8

Elastiklik modulini alyuminiy-litiy qotishmalarda oshishi qotishmani solishtirma bikrligini oshiradi bu esa o'z navbatida charchash darzlarini tarqalish tezligini sekinlashtiradi.

Alyuminiy-litij qotishmalaridan zamonaviy detallarni asosiy qismi vodoroddan himoyalovchi maxsus uskunalarda quyma metallurgiya usulida tayyorlanadi. Alyuminiy-litij qotishmalarini kukun metallurgiyasi usulida ularning kimyoviy tarkibini keng ko'lamda o'zgartirish, mikrostrukturani yaxshilash imkoniyatini beradi, bu esa o'z navbatida mexanik xossalarni yaxshilaydi va texnologik jarayonni soddalashtiradi.

Shu sababli o'ta yengil qotishmalarni ishlab chiqish ikki yo'nalishda olib boriladi: quyma metallurgiyasi va kukun metallurgiyasi. Ko'p alyuminiy-litij qotishmalariga o'ta plastiklik hodisasi xos, bu esa ularni qo'llash imkoniyatini kengaytiradi.

Ta'kidlab o'tish zarur-ki, 01420 alyuminiy-litij qotishmaning solishtirma mustahkamligi boshqa qotishmalarnikiga qaraganda optimal hisoblanadi [34].

6.2. Berilliy asosidagi qotishmalar. Umumiy ma'lumotlar.

Berilliyning xossalari. Xomashyo olish. Berilliy qotishmalari va ularni qo'llash sohasi

Umumiy ma'lumotlar

Asbobsozlik, aviasozlik, kosmik va atom texnikasida berilliy o'ta dolzarb konstruksion material hisoblanadi.

Berilliyning yuqori elastiklik moduli ($E=310$ GPa) va kichik zichlik birligi uning asosiy afzalliklari hisoblanadi. Zichlik ko'rsatkichi bo'yicha berilliy magniyga yaqin (1840 va 1740 kg/m^3 mos ravishda), ammo berilliyning elastiklik moduli magniynikidan 7 marta yuqori va molibdenning zichligiga yaqin (10200 kg/m^3). Berilliy bikrlilik xossasini yuqori haroratlarda va tebranish sharoitida ham saqlaydi. Uning elastiklik modulining qiymati 500°C gacha deyarli o'zgarmaydi va berilliy yuqori issiqlik sig'imi, issiq – va elektr o'tqazuvchanlikka ega. O'zining yuqori solishtirma mustahkamligi, bikrligi bilan ko'pgina metallardan ajralib turadi va shu bilan birga u yuqori korroziya bardoshlikka, o'lchamlar barqarorligi, yeyilishga turg'unlik, tebranishni kamaytirish (dempfer) ko'rsatkichlariga ega.

Berilliyning chiziqli kengayish koeffitsiyenti po'latning chiziqli kengayish harorat koeffitsiyentiga yaqinligi tufayli ular bilan o'zaro yaxshi birikishi, berilliyning aniq asbob va moslamalarda turli metallar bilan biriktirib qo'llash imkoniyatini beradi.

Berilliyning asosiy kamchiliklari uning plastikligini kichik qiymati va zaharliligi kiradi.

Berilliyning xossalari

Berilliy – D. I. Mendeleev davriy sistemasidagi 4 tartib raqamli kimyoviy element, u polimorf xossaga ega bo'lib metallar guruhiga kiradi. Be_α polimorf ko'rinishi G12 kristall panjaraga ega va 1250°C gacha mavjud, Be_β - esa $1250\text{--}1283^\circ\text{C}$ intervalda mavjud bo'lib, K8 panjaraga ega.

Berilliyning yuqori issiqlik sig'imi va issiq o'tqazuvchanligi berilliyi noyob issiqdan himoyalovchi materialligini ta'minlaydi.

Berilliy kimyoviy aktiv metallar guruhiga kiradi, lekin havoda uning yuzasida zich oksid pardasi hosil bo'ladi, keyinchalik uni yana oksidlanishdan saqlaydi.

Xona haroratida berilliyi korroziya bardoshligi alyuminiynikiga yaqin. 600°C da oksidlanishga past (kichik) moilliligi saqlanadi, lekin harorat 700°C dan oshganda korroziya sezilarli darajada o'sa boshlaydi. Yengil eriydigan toza ishqoriy metallar eritmasida berilliy qoniqarli turg'unlikga ega.

Berilliyning korroziya bardoshligini oshirish uchun himoyalovchi qoplama sifatida xrom qo'llaniladi, u berilliy xrom yuzidagi oraliq mis qatlamiga qoplanadi.

Berilliyning mexanik xossalari

Bir xil og'irlik ko'rsatgichlariga ega bo'lgan alyuminiy qotishmasi, po'latni berilliy, berilliy qotishmasi bilan solishtirganda elastik turg'unlik koeffitsiyenti alyuminiynikidan 3 barobar va po'latnikidan 5 barobar yaxshi. Ishlab chiqarish texnologiyasiga qarab berilliyi mustahkamlik va plastiklik xossalari juda katta intervalda o'zgarishi mumkin:

$$\sigma_{0,2} = 230 - 680 \text{ MPa}, \sigma_v = 300 - 700 \text{ MPa}, \delta = 2 - 16\%$$

G12 panjaraning bazis tekisligi yagona siljish tekisligi hisoblanadi., shuning uchun prokatlash natijasida berilliyning xossalari quyidagicha o'zgaradi: ko'ndalang va bo'ylama o'q bo'yicha mustah-

kamlilik chegarasi va zarbiy qovushqoqlik farqi taxminan 50%; zarbiy qovushqoqlik esa quyidagicha o'zgaradi: bo'ylama o'q bo'yicha $10-30 \text{ kDj/m}^2$, ko'ndalang o'q bo'yicha - $5-7 \text{ kDj/m}^2$ gacha.

Termik ishlov natijasida xossalar anizotropiyasi o'zgarmaydi, chunki tekisliklarni (afzalliroq) orientatsiyasi saqlanib qoladi.

Listlarni o'zaro perpendikulyar yo'nalishda teng darajali deformatsiyalash yetarli izotroplikni ta'minlaydi: $\sigma_v \leq 540 \text{ MPa}$, $\sigma_{0,2} \leq 490 \text{ MPa}$, $\delta \leq 9 \%$.

Atom texnikasi uchun berilliyning muhim avfzalliklaridan biri bu juda kichik kesim yuzalarda issiqlik neytronlarini to'xtatish va kichik zichligi bilan birga berilliyning eng yaxshi neytronlar harakatini sekinlatuvchi va qaytaruvchiga aylantiradi hamda uni issiq ajratib chiqaruvchi elementlarning qobig'i sifatida qo'llash imkoniyatini beradi.

Yarim mahsulotlarni tayyorlash

Zagotovkalar (homashyo) berilliydan asosan kukun metallurgiyasi usuli yordamida olinadi.

Kukunlarni olish usullari va sharoitlari, ularni dispersligi kompaktlash usuli keng ko'lamda berilliyning xossalarini ta'minlab beradi.

Zagotovkalarni shakllantirish kukunlarni sovuqlayin presslash, keyinchalik vakuumda $1180-1220^\circ\text{C}$ da pishirish yoki 7000 MPa bosim ostida grafit press qoliplarda (formalarda) issiqqlayin presslash usuli bilan bajariladi.

Deformatsiyalangan yarim mahsulotlar – chiviq (prutok), trubalar issiq ($800-1050^\circ\text{C}$) yoki iliq ($400-500^\circ\text{C}$) siqib chiqarish usuli bilan tayyorlanadi. Quymalar berilliydan juda kam ishlatiladi.

Yuqori tozalikga ega berilliydan tayyorlangan listlarni cho'zilishdagi mustahkamlik chegarasi oddiy listlarni $80-90 \%$ mustahkamligiga teng, ammo ularning plastikligi ancha yuqori.

Berilliy simlari nikel (asosan) qobig'ida quymadan yoki kukun metaldan siqib chiqarish va keyinchalik cho'zish va kirriyalash usulida olinadi. Kimyoviy yoki elektrolitik sayqal berishdan so'ng berilliy simining yuzasi quyidagi xossalarga ega: $\sigma_v = 1350 \text{ MPa}$; $\sigma_{0,2} = 300 \text{ MPa}$ va $E = 285 \text{ GPa}$.

Berilliyga mexanik ishlov berish alyuminiy va titanga nisbatan 8 barobar qimmat, unga ishlov berishda kimyoviy frezerlash ham qo'llaniladi. Detallarni berilliydan ishlab chiqarishda plazma yorda-

mida qoplama qoplash yaxshi natijalar beradi va yuzaga ishlov berish hamda payvandlashga ehtiyoj qolmaydi.

Berilliy qotishmalari

Berilliyi legirlash ikki maqsadni ko'zlaydi: mo'rtlikni kamaytirish va korroziya bardoshlikni oshirish. Atom o'lchamlari berilliyda kichik bo'lgani sababli legirlovchi elementlar berilliyda erib uning kristall panjarasini keskin o'zgartiradi va mo'rt sinishga moyilligini oshiradi.

Be-Al sistemasi plastiklik va qovushqoqlikni oshirish imkoniyatini beradi. Bu qotishmalar yengilligi, berilliyga nisbatan yuqori plastiklikga egaligi, tarkibida 50-60% Be bo'lib yaxshi yupqa list sifatida presslanish va prokatlanishi konstruksion material sifatida juda katta ahamiyatga ega.

Be-Al qotishmalarini o'ziga xos xususiyati bor, ya'ni berilliy alyuminiyda deyarli erimaydi. Berilliyda 4-5% Al eriydi, shuning uchun tarkibida 2,5% Be bo'lgan evtektika sof alyuminiy va juda oz miqdordagi berilliy zarrachalaridan tashkil topgan bo'ladi.

Shuni ta'kidlab o'tish joizki, qotishma asosi sifatida qattiq eritma emas aksariyat deformatsiyalanadigan qotishmalardagidek, balkim fazalar aralashmasidan: qattiq va mustahkam berilliy fazasi – alyuminiy berilliydagi qattiq eritmasi va plastik – plastiklikni ta'minlab beruvchi mustahkamligi past alyuminiy fazasidan tashkil topadi.

Amaliyotda tarkibida 20 - 40% Al bo'lgan evtektik qotishmalar qo'llaniladi. Yangi texnika uchun tarkibida berilliyi foizi yuqori bo'lgan qotishmalar qo'llaniladi, masalan, qotishma 76% Be+24% Al elastiklik moduli - $E=260$ GPa, shartli oquvchanlik chegarasi - $\sigma_{0,2}=510$ MPa, mustahkamlik chegarasi - $\sigma_v=620$ MPa va nisbiy uzayish - $\delta=3\%$ ko'rsatgichlarga ega.

Shu kabi qotishmalarda elastiklik moduli sof berilliylikiga yaqin, lekin plastikligi yuqori. Plastik alyuminiy fazasi berilliy fazasining zarrachalarini kuchlanishlar kontsentratsiyasini kamaytiradi va darzlarni hosil bo'lib tarqalishiga to'siq bo'ladi.

Qotishma tarkibida berilliyning miqdori ortishi bilan alyuminiy fazasida magniyni erishi kamayadi, shuning uchun berilliy kam bo'lgan hollarda ko'proq magniy qo'shiladi (90% Ve ga 0,5-1% Mg to'g'ri keladi).

Tarkibida 70% V e gacha bo'lgan qotishmalarda mustahkamlanish effekti yuqori bo'ladi.

Uch tarkibli qotishmalar eritish usulida olinadi, ikki tarkiblilari esa kukunlardan olinadi.

Bunday qotishmalardan tayyorlangan quymalar bosim ostida ishlanadi, xomashyo deformatsiyalangan yoki yumshatilgan holda yetqazib beriladi, ular yaxshi payvandlanadi. Cu , Ni , Fe berilliy bilan chegarangan qattiq eritma hosil qilib unini mustahkamligini oshiradi, ammo texnologik plastikligini ancha pasaytiradi.

Issiqbardosh va korroziyabardosh berilliy qotishmalari

Tarkibida 0,25-0,95% Ca bo'lgan berilliy CO_2 va suv bug'lari muhitida yuqori issiqbardoshlik va korroziyabardoshlikga ega qotishmalar qatoriga kiradi. Ularni Zr , Nb , V i Ti bilan qo'shimcha legirlash mustahkamligini oshiradi.

Issiqbardoshlikni yanada oshirish uchun qo'shimcha 0,5% Ni bilan legirlanadi. Kukun metallurgiyasi yordamida olinadigan, tarkibida 4% BeO bo'lgan Be-BeO sistemasidagi qotishmalar eng yuqori issiqbardoshlikga ega. 450-480°C gacha bu qotishmalar zo'riqgan holatda qoniqarli ishlaydi. Qotishmaga 3% miqdorda BeO qo'shish uzoq muddatli mustahkamlik chegarasini oshirish imkoniyatini beradi.

Berillidlarni eng katta kamchiliklaridan biri - bu o'ta past (kichik) plastiklikka egaligidir.

Berillidlardan kichik o'lchamli detallar, hamda prutoklar (chiviq), profillar va trubalar tayyorlanadi. Detailarni quyidagi usullarda olish mumkin: kukunlardan issiq presslab, sovuqlayin presslab va pishirib, eruvchan modellar bo'yicha quyish.

Berilliy va berilliy asosidagi qotishmalarni qo'llash

Berilliidan tayyorlangan listlarni asosiy iste'molchisi – raketa texnikasi. Ulardan obshivka panellari, lonjeronlar, konuslar, va turli murakkab shaklli konstruksiyalar yasaladi.

Berilliy neytronlar harakatini yuqori sekinlatish xususiyati, nurlanishga qarshi turg'unligi va boshqa xossalari bilan atom texnikasida qo'llashda tengi yo'q material hisoblanadi.

2-3 M (Max soni – tovush tezligining uchish apparatining tezligiga nisbati) tezlikda uchadigan samolyotlar konstruksiyasida berilliy ni qo'llash juda katta foyda keltiradi – massasi samolyotni 30-40% kamayadi.

Kichik plastikligi hisobiga berilliy siquvchi kuchlanishlar ta'sirida ishlaydigan detallar uchun tavsiya etiladi. Ko'p hollarda berilliy raketa dvigatellarini detallari uchun ishlatiladi, jumladan yonish kameralari va soplolar uchun, yuqori issiq o'tqazuvchanlik va issiqlik sig'imi hisobiga soplo 3000°C ishchi haroratga chidaydi.

Kosmosda qo'llaniladigan optik uskunalar oynalarida berilliy ni qo'llash juda aktual, bu esa – kichik zichlik, yuqori bikrlilik va mustahkamlik oynalarni massasini kamaytirish, shakl (konfiguratsiya) o'lchamlarini va termik stabillikni, yuqori qaytarish xususiyatini ta'minlaydi.

O'z massasi ta'sirida oyna yuzasining qaytarish xususiyati pasayadi, oynaning qalinlashishiga yo'l qo'ymaslik uchun kichik zichlikka ega yuqori modulli material qo'llash zarur, berilliy esa bu talablarga javob beradi. Berilliydan tayyorlangan oynalarning og'irligi xuddi shu maqsadda yerda qo'llaniladigan oynalardan 5 barobar kichik.

Kosmik kema va sun'iy yo'ldoshlarda berilliydan antenna tizimlari, kosmik apparat ruli, quyosh batareyali yirik gabaritli panellar, issiqdan himoyalovchi ekranlar tayyorlanadi, «Appolon» kosmik kemasida oy kabina otseki tayyorlangan.

Sun'iy yo'ldosh antennalarini, aniq priborlar indikatorlarining ignalari, hamda kompozitsion materiallarni alyuminiy, mis va titan bilan armaturlashda (армирование) berilliy simi ham qo'llanilmoqda. Bunday kompozitsiyalar ballistik yuqori zarbga qarshilikni, katta qovushqoqlik va bosim ostida ishlov berishda yaxshi shakllanuvchanlikka ega.

Yuqori soflikka ega berilliydan tayyorlangan sim ≤ 200 K haroratda elektr o'tqazuvchanligi mis va alyuminiynikiga yaqin va uni turli kriogen o'zgartirgichlarda qo'llash mumkin.

VII BOB. KOMPOZITSION MATERIALLAR

7.1. Umumiy ma'lumotlar va klassifikatsiyasi

Matritsa va to'ldirgichlar

Kompozitsion material deb, kimyoviy jihatdan turli xil bo'lgan komponentlardan tashkil topgan birikmaga aytiladi. Kompozitsion materiallar an'anaviy konstruksion materiallarga xos bo'lmagan xossalari yig'indisiga ega bo'lgani sababli hozirgi zamon konstruksiyalarini mukammallashtirish va printsiplial yangilarini yaratishda qo'llanilmoqda. Kompozitsion materiallar turli usullarda birlashtirilgan ikki yoki undan ko'p o'z individual xususiyatlarini saqlovchi komponentlardan tashkil topgan bo'ladi.

Kompozitsion materiallarga quyidagi xususiyatlar birligi (yig'indisi) xos:

- tarkib, shakl va material komponentlarini joylashishi oldindan ma'lum;
- materiallar turli kimyoviy tarkibli ikki yoki undan ko'p o'zaro chegara bilan ajratilgan komponentlardan tashkil topgan;
- material xossalari undagi hajmi yetarli hajmda bo'lgan har bir komponent bilan belgilanadi;
- material, har bir komponentni boshqa - boshqa olingandagi xossalardan farqli xossalarga ega;
- material makro masshtabda bir tekis va mikro masshtabda notekis;
- material tabiatda uchramaydi, uni inson yaratgan.

Kompozitsion material komponentlari geometrik ko'rsatkichlari bo'yicha turli xil.

Material hajmi bo'yicha uzluksiz bo'lgan komponent *matritsa* deb ataladi. Hajm bo'yicha uzlukli va kompozitsion materialda chegara bilan ajratilgan komponent to'ldirgich yoki puxtalovchi deyiladi.

Matritsa sifatida kompozitsion materiallarda metallar va ularning qotishmalari, organik va noorganik polimerlar, keramika (sopol), uglerodli va boshqa materiallar qo'llanishi mumkin.

Matritsa xossalari kompozitsiyani olish texnologik jarayonini parametrlarini (ko'rsatgichlarini) va uning ekspluatatsion ko'rsatgichlarini belgilaydi: zichlik, solishtirma mustahkamlik, ish harorati, charchashdan sinishga qarshilik va agressiv muhitga turg'unligi.

Kompozitsion materiallar to'ldirgichlar geometriyasi, ularni matritsada joylashishi va komponentning tabiatiga qarab klassifikatsiyalanadi.

To'ldirgichlar geometriyasiga ko'ra kompozitsion materiallar uch guruhga bo'linadi:

- uch yo'nalishdagi o'lchamlari bir xil tartibga ega nul- o'lchamli to'ldirgichlar;

- bir o'lchamli to'ldirgichlar, bir o'lcham ko'rsatgichi boshqa ikkitasidan ancha katta;

- ikki o'lchamli to'ldirgichlar, ikki o'lcham ko'rsatgichlari uchinchisidan ancha katta.

To'ldirgichlarni joylashish sxemasiga ko'ra kompozitsion materiallar uch guruhga bo'linadi:

- to'ldirgichni bir o'qli (chiziqli) matritsada tola, ip, ip sifat kristallar ko'rinishda parallel holda joylashgan;

- to'ldirgichni ikki o'qli (yuza, tekislik) matritsada tola, ip, ip sifat kristallar, folga ko'rinishda parallel tekisliklarda joylashgan;

- to'ldirgichni uch o'qli (hajmiy) joylashishi, matritsada biror bir yo'nalishga aniq ega bo'lmasligi.

Komponentlar tabiati bo'yicha kompozitsion materiallar to'rt guruhga bo'linadi:

- metall yoki qotishmadan iborat komponentli kompozitsion materiallar;

- oksidlar, karbidlar, nitridlar va boshqalardan tashkil topgan noorganik birikmali komponentlardan iborat kompozitsion materiallar;

- nometall elementlardan, uglerod (C), bor (B) va boshqa komponentlardan iborat kompozitsion materiallar;

- organik birikmalardan (epoksid, poliefir, fenol va boshqa smolalar) iborat komponentli kompozitsion materiallar.

Ushbu klassifikatsiyaga ko'p marotaba mustahkamlangan, ikki va undan ko'p qatlamdan iborat kompozitsion materiallar, matritsasi kimyoviy tarkibi bilan farqlanadigan.

Kompozitsion materiallar xossalari nafaqat komponentlarining fizik-kimyoviy xossalari bog'liq, balki ularning o'zaro bog'lanishiga ham bog'liqdir.

Odatda kompozitsion material uchun komponentlarni tanlashda bir biridan o'ta farqli xossalari asoslaniladi. Kompozitsion materiallar zamonaviy konstruksion materiallar bilan solishtirganda yuqoriroq solishtirma birklik (E/ρ) va solishtirma mustahkamlikka egaligi aniqlandi (σ_s/ρ) (7.1-rasm).

Kompozitsion materiallardan tayyorlangan konstruksiyalarni ishlashdagi yuqori ishonchlilik ularning darzlarni tarqalish imkoniyatini o'zgachaligiga bog'liqdir.

Oddiy qotishmalarda darzlar hosil bo'lib tezkorlik bilan konstruksiya ishi jarayonida o'sadi. Kompozitsion materiallarda darzlar hosil bo'lib uning o'sishi matritsa – to'ldirgich chegarasigacha borib sekinlashadi va ma'lum vaqtgacha to'xtaydi.

7.2. Metallokompozitlar

Ushbu tipdagi kompozitsion materiallarda matritsa odatda metall yoki qotishmadan tashkil topgan. Metall asosli kompozitsiyalar turli o'lchamli bir tekis joylashgan dispers zarrachalar bilan puxtalanadi: mikroskopik zarrachalarni diametri $d=0,01-0,1$ mkm; maydalari - $d=1-50$ mkm bo'ladi.

Puxtalovchi zarrachalari bir tekis joylashgan kompozitsion materiallar izotropik xossalari bilan ajralib turadi.

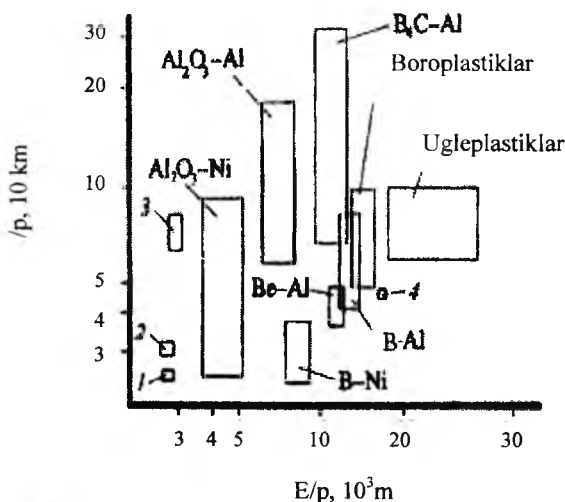
Dispers zarrachalar bilan puxtalanadigan kompozitsiyalar asosan quyidagi bosqichlardan iborat bo'lgan kukun metallurgiya usulida olinadi:

- matritsa va puxtalovchi metalni kukun aralashmasini olish (kukunlarni fraktsiyalarga ajratish, turli tizimli aralashtirgichlarda kukunlarni aralashtirish);

- po'lat matritsalarida kukunni kompakt (ixcham) xomashyo qilib presslash (izostatik presslash) keyinchalik pishirish.

Ishlov berish bosqichlarida (presslash, deformatsiyalash, termik ishlov berish) yarim xomashyoda optimal dislokatsion struktura shakllanadi. Puxtalovchining dispers zarrachalari tolasimon strukturaning hosil bo'lishiga imkoniyat yaratadi va qayta kristallanish

(rekristallanish) jarayonini to'xtatadi. Bunday materiallarda matritsa asosiy yuklamani qabul qiladi, puxtalovchini dispers zarrachalari esa yagona dislokatsiyalar yoki dislokatsiyalar yig'indisining harakatiga qarshilik ko'rsatadi. Kompozitsion materiallarda 5-10 % (haj.) puxtalovchi zarrachalarni tashkil etsa eng yuqori puxtalashga erishiladi.



7.1-rasm. Alyuminiyning solishtirma mustahkamligi va solishtirma elastiklik moduli:

(1), po'lat va titanniki (2), stekloplastikniki (3), berilliy (4) va ayrim kompozitsion materiallarniki.

Kompozitsiyani mustahkamlik darajasiga puxtalovchi zarrachalarning hajmi, disperslik darajasi (maydaligi) va zarrachalar orasidagi masofa ta'sir etadi. Orovon formulasiga binoan zarrachalar orasidagi masofa ortishi bilan qarshilik ortadi:

$$\sigma = G_b/l,$$

bu yerda, G_b – matritsa materialini siljish moduli; b - atomlararo masofa; l – puxtalovchi zarrachalar orasidagi masofa.

Puxtalovchi to'ldirgich sifatida asosan qiyin eriydigan oksidlar, nitridlar, boridlar, karbidlar (Al_2O_3 , ThO_2 , NfO_2 , BN , SiC , Ve_2S va

boshqalar) dispers zarrachalari ishlatiladi. Bu qiyin eriydigan birikmalar yuqori elastikli moduli, kichik zichlik va matritsa materialiga nisbatan inert xossaga ega. Masalan, ThO_2 va Al_2O_3 elastik moduli $380,5 \cdot 10^3$ va $146,12 \cdot 10^3$ MPa, zichligi esa - 1,0 va 3,97 g/sm³ mos holda bo'ladi.

Dispers – puxtalanuvchi kompozitsion materiallarni kukun metallurgiyasi usulidan boshqa usullarda olish mumkin. Masalan, metall yoki qotishma eritmasiga puxtalovchining kukuni qo'shiladi.

Dispers-puxtalanuvchi kompozitsion materiallarni olishda kukun metallurgiyasi usulidan boshqa texnologik usullar ham bor. Masalan, metall eritmasiga puxtalovchi kukunining zararachalari qo'shiladi.

Zarrachalarni erigan metalda namlanishini yaxshilash ultratovush yordamida yoki boshqa usullar bilan bajariladi.

Sanoatda Al_2O_3 zarrachalari bilan puxtalangan alyuminiy asosli kompozitsion materiallar keng qo'llaniladi. Ular kukun metallurgiyasi yordamida alyuminiy upasini (kukunini) presslab keyin esa pishirib tayyorlanadi (CAП). Kukun zarrachalari qalinligi 1mkm tangachalar shaklida bo'ladi, ularning o'lchami eniga va bo'yiga deyarli farqlanmaydi.

Zarrachalar yuzasidagi oksid pardaning qalinligi 0,01-0,1 mkm. Zarrachalar o'lchamini kichrayishi alyuminiy miqdorini va umumiy yuzasini oshiradi (7.1-jadval). Alyuminiy kukunidan olingan turli CAП mexanik xossalari 7.2-jadvalda keltirilgan

CAП afzalliklari, 300°C alyuminiy qotishmalari mustahkamligini yo'qotganda ayniqsa namoyon bo'ladi. Puxtalovchi zararachalarni termodinamik stabiligini saqlagani uchun dispers-puxtalanadigan qotishmalar puxtalanish effektini 0,8T_e gacha saqlaydi.

Alyuminiy kukuni zarrachalarining xarakteristikasi

7.1-jadval

Kukun markasi	Zarracha o'lchami, mkm	Al_2O_3 , % miqdori
CAП-1	30—50	6—8
CAП-2	10—15	9—12

20°C da CAПlarning mexanik xossalari

7.2-jadval

Qotishma markasi	Al ₂ O ₃ , % miqdori	σ_s , MPa	$\sigma_{0,2}$, MPa	δ , %	E, GPa
CAП-1	6—8	300	200	7—9	67
CAП-2	9—12	320	230	4	71
CAП-3	13—17	400	340	3	76
Д20*	—	420	300	11	69

*Д20 —(535 ± 5) °C da toblanib va 124s. ichida 180°C eskirtirgan holatda.

Xona haroratida CAПning mexanik xossalari yuqori mustahkamlikka ega alyuminiy qotishmalarinikidan past (masalan Д20).

Kislorod alyuminiyda erimaydi va alyuminiy matritsasi orqali Al₂O₃ zarrachalari o'zaro diffuzion ta'sir etolmaydi. Puxtalovchi zarrachalar barqaror o'lcham va o'zaro joylashishga ega. Deformatsiyalanadigan qotishmalarning Д19, Д20 1-5 MPa mustahkamlikka ega, CAП-1 esa $\sigma_s = 80$ MPa, CAП-2 $\sigma_s = 90$ MPa, CAП-3 $\sigma_s = 120$ MPa ga teng. CAПlarning fizik xossalari – elektr o'tkazuvchanlik, issiq o'tkazuvchanlik, termik kengayish koeffitsiyenti - Al₂O₃ miqdoriga chiziqli bog'lanishda va uning oshishi bilan ushbu ko'rsatgichlar kamayadi. Ammo shuni ta'kidlash zarur SAPning elektr o'tkazuvchanligi va issiq o'tkazuvchanligi standart alyuminiy qotishmalaridan (Д19, Д20) 3 barobar ortiq va texnik alyuminiy ko'rsatgichlarining 70-75% ni tashkil etadi.

CAП qotishmalari issiq holda qoniqarli deformatsiyalanadi, CAП-1 esa -sovuq holda. CAПlar yaxshi qirqib ishlov beriladi, qoniqarli himoyalovchi gaz muhitida va elektr kontakt usulida payvandlanadi.

CAПlardan list profil, truba folga ko'rinishda mahsulot olinadi.

Bu qotishmalardan tayyorlangan detallar 300-500°C da ishlashi mumkin, asosan bu - kompressor, ventilator va turbina lopatkalari, porshen shtoklari. CAП dan ishlab chiqilgan listlardan yuqori haroratda agressiv muhitda ishlaydigan detallar tayyorlanadi, masalan, dvigatel gondolasini obshivkasi.

Nikelli matritsali kompozitsion materiallarda zaxarli toriy dioksidi (ThO_2) yoki gafniy dioksidi (NfO_2) qo'llaniladi. Shunga monand bu qotishmalar BДY-1 va BДY-2 belgilanadi. BДY-3 qotishmasida matritsa nikel-xrom qattiq eritmasidan (20% xrom) iborat, puxtalovchi esa gafniy dioksidi. Gafniy va toriy oksidlari siqilishda yuqori mikroqattqlik va mustahkamlikni va matritsada maksimal barqarorlikni ta'minlaydi.

Qotishmadagi dispers puxtalovchi faza gafniy va toriy oksidlari-ning hajmi 2-3% ni tashkil etadi. Gafniy dioksidining qattiqligi NfO_2 90-70 MPa teng va ThO_2 dan juda kam farqlanadi.

Dispers puxtalanadigan qotishmalarni issiq bardoshligi oksid zarrachalarning miqdori va o'lchamiga bog'liq bo'lgan holda optimal rejimda bosim ostida va termik ishlov berish natijasida shakllantirilgan matritsa donalarining va subdonachalarning shakli va tuzilishiga ham bog'liq.

BДY-1, BДY-2 va BДY-3 kompozitsion materiallar mo''tadil haroratlarda mustahkamligi bo'yicha issiqbardosh nikel qotishmalarinikidan pastroq.

Xona haroratida BДY-1 va BДY-2 qotishmalarni uzilishga vaqtincha qarshiligi 540-570 va 450-500 MPa, BДY-3 – 800-850 MPa ga teng.

BДY-3 qotishmasining yuqori mustahkamligi boshqalarnikiga nisbatan uning matritsasini xrom bilan legirlanganligi. Yuqori haroratlarda dispers puxtalanuvchi qotishmalar issiqbardoshligi deformatsiyalanadigan eskiruvchi nikel qotishmalarinikidan yuqori.

BДY-2 va BДY-3 qotishmalarning BДY-1 ga qaraganda past issiqbardoshligi toriy oksidi zarrachalarining o'lchamlari gafniy oksidi zarrachalaridan kichikligiga bog'liq. Qotishmalardagi ThO_2 va NfO_2 zarrachalarining miqdori 2% ortmaydi.

Dispers puxtalanadigan qotishmalar BДY-1, BДY-2 va BДY-3 1100-1200°C da qo'llash maqsadga muvofiq (7.3-jadval).

BДY-1 va BДY-2 kompozitsion materiallar plastikligi yaxshi va ular keng harorat oralig'ida turli usullar bilan deformatsiyalanadi (bolg'alash, shtamplash, cho'kish, cho'zish va h.k.).

BДY tipidagi qotishmalardan tayyorlangan detallarni eritib yubormaslik uchun yuqori haroratli kavsharlash yoki diffuzion payvandlash mumkin. Erish zonasida puxtalovchi fazani aglomerat-

siyasi (yiriklashuv) sodir bo'ladigan natijada qotishma issiq bardoshligini yo'qotadi.

БДУ-2, БДУ-3 qotishmalaridan listlar, trubalar, sim, prutok, folga ishlab chiqiladi. Ular asosan aviatsiya dvigatelsozlikda qo'llaniladi. БДУ-2 va БДУ-3 kompozitsiyalaridan soplo kurakchalari, alanga stabilizatorlari, yonish kameralari, hamda yuqori haroratda agressiv muhitda ishlaydigan truboprovodlar va maxsus idishlar ishlab chiqiladi.

VDU-1, VDU-2 va eskiruvchi nikel qotishmalarning davomli mustahkamlik ko'rsatgichlari

7.3-jadval

Qotishma markasi	Yarim mahsulot	σ_{1000} , MPa, °C da			
		900	1000	1100	1200
БДУ-1	Prutok	140	120	100	65
БДУ-2	Prutok	95	80	65	40
БДУ-3	List	105	85	65	40
ЖС-6К	Prutok	170	70	20	-
ЭП-868	List	30	15	-	-

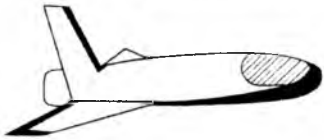
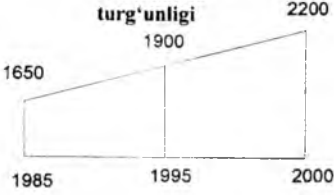
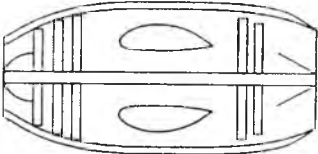
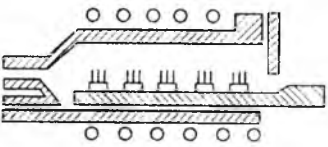
7.3. Uglerod-uglerodli kompozitlar

Nometall asosli kompozitsion materiallarda asosan matritsa sifatida shisha, uglerod, bor va boshqa turdagi tolalar bilan puxtalash qo'llaniladi.

Uglerod-uglerodli kompozitlarda (UUKM) yuqori termotur-g'unlikka ega uglerodli matritsa qo'llaniladi, puxtalovchi sinch (karkas), grafitga nisbatan kompozit mustahkamligini bir necha barobar oshiradigan, uglerod tolalaridan iborat.

Shuni e'tirof etish zarur-ki, kompozitsion materiallardagi uglerod tolalari na faqat mustahkamlikni oshiradi, balkim darzlarni tarqalishiga qarshilik ko'rsatadigan mexanizm rolini ham bajaradi.

Uglerod-uglerodli kompozitlar turli raketa-kosmik konstruksiya elementlarida qo'llaniladi (7.2-rasm).

Gipertovushli UA 	Oksidlanish turg'unligi 
Turboreaktiv dvigatellar 	$\sigma_e = 40 \text{ kZ} / \text{mm}^2$ $T_p > 1200^\circ \text{C}$
Termik jihozlar Uch fazali isitgich Sterjenli isitgich Yassi isitgich 	$\rho \leq 50 \cdot 10^{-6} \text{ OM} \cdot \text{M}$ $\sigma_n \geq 400 \text{ kZ} / \text{cm}^2$
Electron sanoati uchun reombarlar 	$T_p = 1200^\circ \text{C}$ muhit N_2O, NSI, O_2

7.2-rasm. Uglerod-uglerodli kompozitlarning qo'llanilishi

Uglerod-uglerodli kompozitlarning qo'llanish tarixi 25 yillarni tashkil etadi. O'tgan davr ichida raketa-kosmik texnika konstruksiyalarini erdagi himoyalash uchun keng spektrdagi materiallar ishlab chiqilgan.

Yuqori termoturg'unlikga va yuqori mexanik xossalarga (puxtalash strukturasiga qarab materialni cho'zilishdagi mustahkamligi 100 MPadan 1000 MPagacha o'zgaradi) ega zamonaviy uglerod-uglerodli kompozitlar texnikaning yangi turli yo'nalishlarida ularni qo'llash imkoniyatini beradi.

Uglerod-uglerodli kompozitlar na faqat raketa-kosmik konstruksiyalarining elementlarida, balki elektrtexnika sanoatidagi yuqori haroratli pechlarni detallari (issiqlik izolyatorlari, tigellar, mahkamlovchi detallar, elektr isituvchi elementlar) qo'llaniladi (7.3-rasm). Ulardan issiq presslash uchun qoliqlar, kimyoviy mashinasozlik truboprovodlarining agregatlari, aviatsiya, avtomobil texnikasi va tezyurar temir yo'l transportining tormoz moslamalari tayyorlanadi. Bu materiallar tibbiyotda endoprotezlar sifatida ham qo'llaniladi.

Uglerod-uglerodli kompozitlarning xossalari bir qator faktorlarga bog'liq: texnologik jarayon parametrlariga, matritsa va to'ldirgichlarning elastik va mustahkamlik xossalari, matritsa-tola sistemasining chegara xarakteristikalariga ham. Kompozit xossalari optimallashtirishda yuqoridagi faktorlarni inobatga olish zarur.

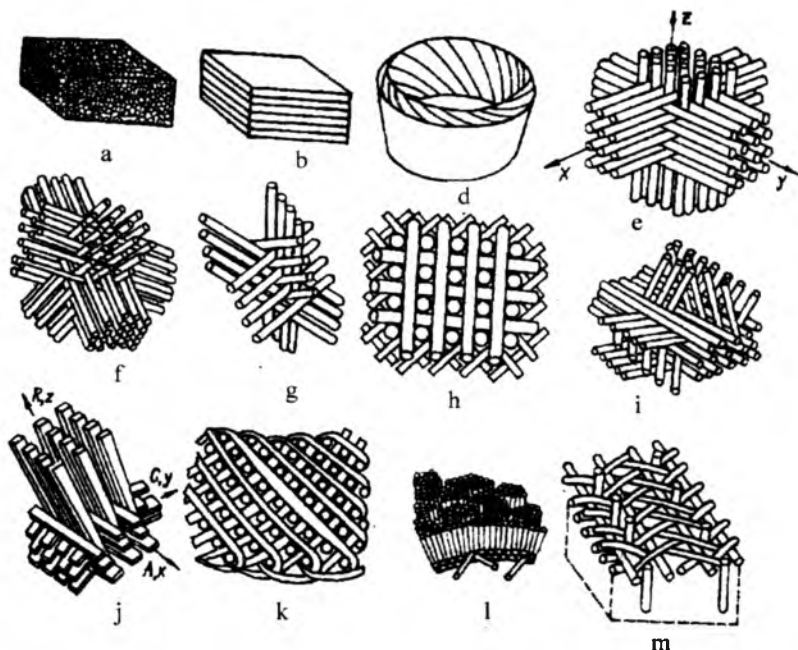
Uglerod-uglerodli konstruksiyalarni ishlab chiqish jarayonining asosi – sinchlarni ishlab chiqish texnologik jarayoni va ularni matritsa materiali bilan to'yintirish. Uglerod-uglerodli kompozitlarni va boshqa tolali materiallarning xossalari puxtalovchilarini joylashishiga (orientatsiyasiga) bog'liqligi turli vazifali detallarni ishlab chiqishda puxtalovchining optimal tipi va joylashish sxemasi asosiy faktor hisoblanadi.

Puxtalovchi (армирующие) elementlarni ma'lum va perspektiv (istiqbolli) turlari asosan geometrik prinsip (nuqtayi nazar) bo'yicha klassifikatsiyalanadi.

Mumkin bo'lgan puxtalash sxemalaridan uch sinf ajratib ko'rsatiladi (7.4-rasm): tolalar betartib joylashgan; ikki yo'nalishda tolalar va matolar orientirlangan (yo'naltirilgan); uch va undan ko'p yo'nalishda tolalar orientirlangan (yo'naltirilgan), ya'ni tolalarni fazoviy joylashishi.



7.3-rasm. Uglерod-uglerodli materiallarni xalq xo'jaligida qo'llanilishi



7.4-rasm. UUKM strukturasi:

a - betartib; b - qatlamli; v - rozetkali; g - 3D ortogonal; d - 4D; e - 4D-L; j - 5D-L; z - 5D; i - aksial-radial-aylanma; k - aksial-spiralsimon; l - radial-spiralsimon; m - aksial-radial-spiralsimon.

Sinchning optimal strukturasi tanlash, matritsaning deformativ xossalari va matritsa-tola chegarasidagi adgeziyani, hamda yangi tipdagi to'ldirgichlarni qo'llash uglerod-uglerodli materiallarni mustahkamligini oshirishni boshqarish imkoniyatini beradi. 7.4- jadvalda ayrim uglerod-uglerodli materiallarni grafitga nisbatan ko'rsatgichlari keltirilgan.

Materialni oksidlanishga turg'unligini oshirish masalasi juda muhimdir. Bu masalani echish yo'llaridan biri qiyin eriydigan metallarning karbid va nitridlari asosidagi qoplamalar paketini ishlab chiqarish.

Ayrim uglerod-uglerodli materiallarni ko'rsatgichlari

7.4-jadval

№ t/r	UUKM	Zichlik δ, g/sm³	Ishqalanish- dagi mus- tahkamlik σ_i, kgs/sm²	Siqilish- dagi mus- tah- kamlik σ_s, kgs/sm²	Elastiklik moduli E • 10⁻³, kgs/sm²	Issiqlik o'tqazuv- chanlik λ, Vt/(m•K)	Chiziqli mustahkam- lik ko'ff-ti. $\alpha \cdot 10^4$	Struktura
1	Yuqori modulli tola aso sida	1,75	750	2000	300	6-8	2-3	to'qilgan
2	Past modulli tola asosida	1,50	800	1850	230	5	6	mato sifat
3	Yuqori modulli tola asosida	1,7	910	990	310	3,8	2,6	mato sifat
4	Yuqori modulli tola asosida	1,8	1000	2000	420	10	4	to'qilgan

Bunday qoplamalar UUKMlarga 2000°C dan ortiq haroratda ishlash imkoniyatini beradi.

Karbidlar, nitridlar va oksidlar asosida termoturg'un tolalar yangi sinfini yaratish juda katta ahamiyatga ega. Bu tipdagi to'ldirgichlarni sanoatda o'zlashtirish karbid-uglerod, karbid-keramik va karbid-karbidlar asosida termoturg'un kompozitsiyalarni yaratish va o'zlashtirish imkoniyatini beradi. UUKMlarni xalq xo'jaligida keng joriy etish uchun ularni tannarxini kamaytirish zarur.

Keramik matritsali kompozitlar. Uglerod-uglerodli issiqbardosh materiallar bilan bir qatorda keramik matritsali kompozitlar istiqbolli hisoblanadi. To'ldirgichlar sifatida bu kompozitsiyalarda metall, uglerod va keramik tolalar qo'llaniladi. To'ldirgichlarni yuqori mustahkamligi kompozitni zarur mexanik xossalarini va matritsani quyidagi xossalarini ta'minlaydi va yuqori haroratda qizdirilib ishlaydigan detallar tayyorlash imkoniyatini beradi: yuqori erish harorati, yuqori elastiklik moduli, kimyoviy inertligi va oksidlovchi muhitda ishlash imkoniyati. Kompozitni keramik matritsasini metall tolalari (volfram, molibden, po'lat va h.k.) bilan puxtalash uning mustahkamligini sezilarli oshiradi, lekin ishchi harorat darajasini pasaytiradi. Uglerod tolalari bilan puxtalash bu kamchilikni bartaraf etish imkoniyatini beradi. Uglerod tolalari bilan puxtalangan shisha matritsali keramik kompozitlar (borosilikat, alyumosilikat, kremnezyom shishasi) hozirgi kunda keng qo'llanilmoqda. 0,6 koeffitsiyent darajasida puxtalangan borosilikatli kompozitning bukilishga mustahkamligi 1025 MPa, elastiklik moduli-199GPa, deformatsiyanish chegarasi 0, 5% ni tashkil etadi. Harorat ortishi bilan (870 K gacha) mustahkamlik deyarli o'zgarmaydi. Kremnezyom shishasini qo'llash ishchi haroratni 1273-1373 K gacha oshirish imkoniyatini beradi.

7.4. Polimer asosli kompozitsion materiallar

Polimer matritsali kompozitsion materiallar bir qator afzalliklari bilan ajralib turadi, bular: solishtirma mustahkamlik va elastiklik xarakteristikalari, agressiv muhitlarda turg'unligi, yaxshi friksion, antifriksion va shu bilan birga yuqori issiqdan himoyalash hamda amortizatsion xossalar.

Afzalliklari bilan birga polimerli kompozitlar ayrim kamchiliklarga ham ega: siqilish va siljishda mustahkamlik va bikrlilikni

pasayishi, haroratni 100-200°C gacha oshishi, mustahkamlikni pasayishiga olib keladi, eskirishda va iqlim omillari ta'sirida fizik-kimyoviy xarakteristikalarini (ko'rsatgichlarni) o'zgartiradi.

Hozirgi kunda plastiklar ulardan detallarni tayyorlash osonligi, arzonligi va texnologik jihatdan yengilliligi sababli keng qo'llanilmoqda.

Polimer matritsali kompozitsion materiallarda ta'sir etuvchi kuch matritsadan puxtalovchi elementga molekullarni o'zaro ta'siri orqali uzatiladi va adgezion (yopishish) xarakterga ega.

Matritsa va tolalar orasidagi mustahkam bog'lanishni puxtalovchi tolalarni bog'lovchi eritmasi bilan to'liq namlanishi hisobiga ta'minlash mumkin. Bu holda tolalarning sirtiy taranglik energiyasi suyuq matritsaning sirtiy tarangligidan katta bo'lishi shart. Polimerlar orasida suyuq epoksid smolasi $5 \cdot 10^{-5}$ Dj/m² sirtiy taranglik energiyasiga ega bo'lib uglerod (C) va bor (B) tolalarini (2,7-5,8) 10^{-5} Dj/m² va $2 \cdot 10^{-5}$ Dj/m² monand) boshqa polimerlarga qaraganda yaxshiroq namlaydi

Amalda tolalarning sirtiy taranglik energiyasi masalan, xurushlash (травление), oksidlash, viskerizatsiya usullari yordamida oshiriladi.

Polimer matritsali kompozitsion materiallardan detal tayyorlash va materialni o'zini olish jarayonini bir vaqtda bajarishga harakat qilinadi. Bu holda ko'p mehnat sarflanishiga qaramasdan kompozitsiyani barcha afzalliklari qo'l keladi va detalning tannarxi pasayadi (kamayadi).

7.5. jadvalda bir tomonlama yo'naltirilgan plastik va an'anaviy metall materiallarni fizik-mexanik xossalari keltirilgan.

Bir tomonlama yo'naltirilgan plastik va an'anaviy metall materiallarni fizik-mexanik xossalari

7.5-jadval

Parametr	Shisha plastik	Ugle-plastik	Organo-plastik	Boro-plastik	Po'lat	Alyu-miniy
Zichlik δ , g/sm ³	2,1	1,5	1,38	1,9	7,8	2,7
Mustahkamlik chegarasi, GPa: tola bo'ylab,	1,75	1,1	1,8	1,6	3,8	0,29

siqilishda, surilishda	0,65 0,048	0,45 0,027	0,28 0,042	2,4 0,102		
Tola bo'ylab cho'zilishdagi nisbiy mustah- kamlik, σ_r/δ , g/sm^3	83	73	130	80	50	11
Elastiklik moduli, GPa: tola bo'ylab	57	180	72	210	200	70
Solishtirma bikrlik, $F/\gamma \cdot 10^{-6} m$	2,7	12	5,3	10,5	2,5	0,28
Siljish moduli, GPa	5,2	5,0	2,0	6,2	-	-

BMK tipidagi *boroplastiklar* epoksid va poliamid bog'lovchilar asosidagi polimer materiallar deb tushiniladi. To'ldirgichlar sifatida bu kompozitlarda bor yoki kompleks bor-shisha tolalari qo'llaniladi. Boroplastiklarni mexanik xossalari tolalar miqdoriga bog'liq (7.6-jadval).

Boroplastiklar uchish apparatlarining turli detallari, konstruksiya elementlarini bog'lovchi qismlari gazturbina dvigatellarini rotorlari va boshqa detallarni tayyorlashda qo'llaniladi.

Organototaliklilar (organitlar) polimer tolalar va polimer matritsadan tashkil topgan kompozitsion materiallardir. Tolalar diametri 0,02-0,05mm ni tashkil qiladi.

Organototaliklilarning xususiyati shunda-ki, yuqori mustahkamlikga erishish uchun tolalarni joylashda juda aniq usul tanlash lozim, aks holda tolalarni joylashtirishning aniqligi buzilish natijasida tolalar mustahkamligi ishlov berishdan avvalgiga nisbatan 2-5 barobar kamayadi.

Mustahkamlikni kamayishining sababi tolalarning kimyoviy aktivligi va yuqori deformatsiyalanishida. Shuning uchun organototaliklilarni tayyorlash texnologiyasi shisha va ugleplastiklarnikidan o'zgacha.

Ugle - bor va organoplastiarning mexanik xossalari

7.6-jadval

Material	Bog'lovchi	To'ldirgich	ρ , g/sm ³	σ^{20}_{ν}	σ^{20}_{-1}	E^{20}	$\sigma^{20}_{\nu/\rho}$	$(E^{20}/\rho)10^3$	KS
				MPa			Shartli birlik	kDi/m ²	
Ugleplastiklar: KMU-1U KMU-2L	Epoksid	VMN-4	1,46	1020	500	$1,45 \cdot 10^5$	70	10,0	44
	Poliamid	LU-2	1,26	380	-	$8 \cdot 10^4$	30	6,4	35
Boroplastiklar: KMB-1 organototali	Epoksid	Bor	2,0	1200	350	$1,89 \cdot 10^5$	60	14,0	45
	Epoksid	SVM	1,35	600- 2500	240	$(3-9) \cdot 10^4$	44-185	22,2- 66,6	150

Organitlarning afzalligi matritsa va tolaning ko'ndalang yo'nalishdagi siljish mustahkamligi bilan solishtirganda matritsa va tola o'rtasidagi bog'lanishning yuqori adgezion mustahkamligida.

Matritsa va tola chegarari bo'yicha organitlarda darzlar yo'q, chunki matritsa va tola o'rtasida kimyoviy bog'lanish hosil bo'ladi. Ular yuqori monolitlikga, shisha plastiklarga nisbatan kam nuqsonlarga ega.

Organitlarni asosiy to'ldirgichlari bu yuqori mustahkamlikga ega modifikatsiyalangan sintetik organik tola- SVM.

Asosiy kamchiligi organitlarni – yuqori darajada namlikni yutishi, bu esa suvni ta'sirini sintetik tolalarni butun hajmi bo'icha yoyilishiga olib keladi.

Organitlarda tola sifatida quyidagi tolalar qo'llanilishi mumkin: poliefirli-lavsan; poliamid-fenilon, sulfon-T, oksalon, terlon, SVM; poliakrinitril-nitron; poliamidli-arimid. Organitlarning mexanik xossalari tola tipiga bog'liq.

Zamonaviy kompozitsion materiallar ichida organotolaliklar cho'zilishda eng yuqori solishtirma mustahkamlikga ega. Ular samolyot va vertolyotlarning yordamchi va asosiy konstruksiya elementlarida qo'llaniladi. Organitlar nafaqat detallar massasini 20-40%ga kamaytirib qolmay ularni ekspluatatsion ishonchligini, yashovchanligini (живучест) va resursini oshiradi.

Polimer matritsali kompozitsion materiallarning xossalari

Shishali plastik materiallarda (stekloplastiklarda) to'ldirgich sifatida shisha tolalar qo'llaniladi:

- uzliksiz ip, jgut (chilvir), polosa, hamda turli xil to'qilgan matolar;

- diskret (uzlik) – kesma yoki shtapel.

Bir tomonga yo'naltirilgan shisha tolalarida (стекловолокнити) puxtalovchi uzluksiz tolalar bir yo'nalishda - yuklama ta'sir etuvchi tomonga joylashgan. Bunday tolalar anizotropik xossaga ega.

Bunday kompozitsiyalar tolalar bo'ylab eng yuqori mustahkamlik va bikrlikka ega. Ushbu kamchilikni yo'naltirib puxtalangan shishali plastiklarda tolalarni turli yo'nalishda joylashtirib bartaraf etish mumkin.

Shisha tolali anizotrop materialda (SHTAMM) tolalar bir biriga nisbatan 90° burchak ostida joylashtiriladi, agar tolalar ko'ndalang va bo'ylama bir biriga 1:1 nisbatda joylashtirilsa SHTAMM quyidagi xossa ko'rsatgichlarga ega bo'ladi: $\sigma_b = 460-500$ MPa va elastiklik moduli $E \geq 35000$ MPa. Tolalar 10:1 nisbatda joylashtirilgan holatda mustahkamlik chegarasi 850-950 MPa gacha oshadi, elastiklik moduli esa - 58000 MPa

BM-1 yuqori mustahkamlikga ega tola bilan bir tomonga yo'naltirilgan kompozit puxtalangan bo'lsa: $\sigma_b = 2100$ MPa, $E \geq 70000$ MPa.

Kompozitlarning mustahkamligi to'ldirgichni uning tarkibidagi hajmi oshishiga bog'liq va additiv qonun bo'yicha ortib boradi. To'ldirgichni optimal miqdori kompozitda 65-67 % ni tashkil etadi, undan ortishida bog'lovchi ichida g'ovaklar hosil bo'ladi, bu esa tolalarni notekis yuklanishiga olib keladi.

Tolalar diametrini kichraytirib va matritsaga Al_2O_3 monokristallarini qo'shish hisobiga kompozit mustahkamligini 2000-2400MPa gacha oshirish mumkin.

Shisha iplardan (tolalardan) puxtalovchi sifatida qo'llanadigan matolar tayyorlanadi. Shisha matolar iplarni to'qilishi bo'yicha polotno, sarja, satin va kord (pishiq kimyoviy ip turi) to'qilishdagi matolarga ajraladi.

Polotno to'qilishdagi matolar yuzasida bo'ylama va ko'ndalang yo'nalishda iplarni joylashishi mato bikrligini oshiradi.

Satin matolarda iplar siyrak to'qilgan, shisha tolalarini mo'rtligi va o'zaro ishqalanib bosim ostida sinishini nazarda tutsak, satin to'qilishdagi puxtalovchili shisha plastiklar (steklo tekstolitlar) mustahkamligi yuqoriroq va konstruksiyalarda yaxshiroq ishlaydi.

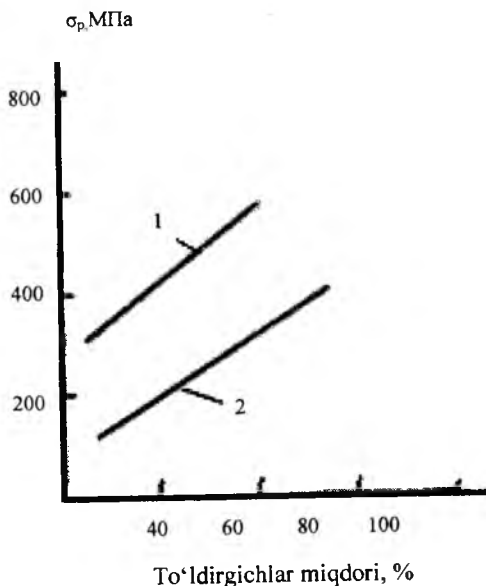
Kord matolari asosida iplar kuchaytirilgan bo'lib ko'ndalang iplar ingichka va siyrak bo'ladi. Mahsulot ishlab chiqarishda asosiy iplar yuklama ta'sir etish yo'nalishi bo'ylab joylashtiriladi va ular asosiy cho'zuvchi yuklamani qabul qiladi. Kord matolar bilan puxtalangan kompozitlar (stekloplastiklar) katta anizotropik xossalarga ega.

Fenolformaldegid bog'lovchi asosidagi KAST tipidagi steklo-tekstolitlar deyarli kichik zarbiy qovushqoqlikga ega. Bog'lovchi sifatida epoksid smolasidan tashkil topgan yuqori issiq bardoshlikka ega CT911-1A shisha plastik (stekloplastik) eng yuqori zarbiy qovushqoqlikga ega.

Yo'naltirilmagan shisha tolali kompozitlar (стекловолокнитлар) tekislikda tartibsiz joylashgan diskret, kalta tolalardan tashkil topgan.

Yo'naltirilgan shisha tolali kompozitlarga nisbatan yo'naltirilmaganlari izotrop xossaga ega, lekin ularning mustahkamligi va bikrligi pastroq (7.4-rasm).

Shisha plastiklarning zichligi $1500-2000 \text{ kg/m}^3$ ga teng, natijada ularni solishtirma mustahkamlik ko'rsatkichlarini po'latlarning mustahkamligi bilan taqqoslash mumkin.

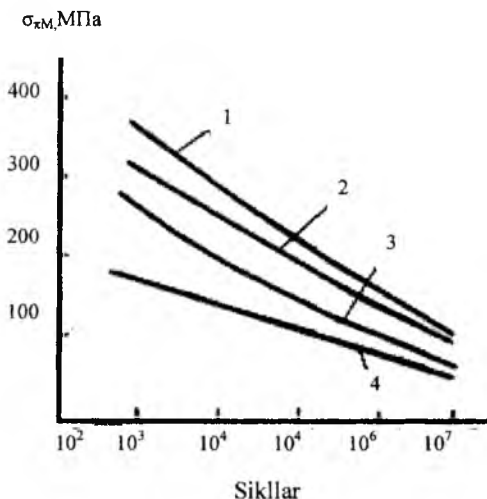


7.4-rasm. To'ldirgich miqdoriga qarab yo'naltirilgan (1) va yo'naltirilmagan (2) shisha plastiklarning mustahkamligi.

Shisha plastiklar uzoq vaqt $200-300^{\circ}\text{C}$ da ishlash imkoniyatiga ega. Ular bir necha ming gradus harorat ta'siriga ma'lum soniyalar ichida chidaydi, bu shisha plastiklarni yuqori haroratdagi imkoniyatlariga bog'liq. O'ta yuqori haroratlarda plastiklar yuzasi kuyib bog'lovchini parchalaydigan (destruksiya) gaz birikmalarini o'zidan ajratib chiqaradi. Ajralib chiqayotgan moddalar issiqlikni yutadi va shisha plastik yuzasiga ta'sir etadigan issiqlik oqimini kamaytiradi. Shisha plastikning yuza zonalarini erib yuza qatlamlarida issiqbardosh

koksni hosil qilishi materialni ichiga ta'sir etuvchi issiqlik oqimini kamaytirib parchalanish jarayonini sekinlashtiradi.

Shisha plastikalarning davomli mustahkamligi ularni tarkibi, namligi, atrof muhitni harorati va ta'sir etuvchi kuchlanishlar darajasiga bog'liq. Epoksid va fenolformaldegid smolalari asosidagi shisha plastiklar juda yaxshi xossalarga ega. Ayrim steklotekstolitlar bukishda $1,5 \cdot 10^7$ siklga chidashi mumkin. Turli matritsali steklotekstolitlarni toliqishga dinamik qarshiligi 7.5-rasmda keltirilgan.



7.5-rasm. Fenolformaldegid (1), epoksid (2), poliefir (3), kremniyorganik (4) matritsali shisha plastikalarni toliqishga dinamik qarshiligi.

Shisha plastikalarning dempfer (so'ndiruvchi) xossalari metallarnikidan yuqori bo'lib ular vibratsiya (tebranish) sharoitida yaxshi ishlaydi. Qo'llanish sohasi bo'yicha shisha plastiklar quyidagilarga bo'linadi: konstruksion, elektrtexnik va radiotexnik.

Konstruksion material sifatida bir tomonga yo'naltirilgan va yo'naltirilmagan shisha plastiklar qo'llaniladi.

Bir tomonga yo'naltirilgan shisha tolalıklar ekspluatatsiya sharoitida yuklamalar detalni bo'yi (uzunligi) bo'yicha ta'sir etadigan trubə va turli xil profillar ishlab chiqish uchun qo'llaniladi.

Konstruktsiyalarni katta yuklanish ostida ishlaydigan joylariga qo'shimcha puxtalash uchun bir tomonga yo'naltirilgan shisha plastiklardan ustqo'ymalar (накладка) yopishtiriladi. Bu esa konstruksion materiallarni tejash va loyihalashda metall konstruktsiyalar uchun qo'llaniladigan usullarni ishlatish imkonini beradi.

Yo'naltirilmagan shisha tolali kompozitlar avtomobil, kema korpuslari, mebel, kuchli elektr jihozlari detallari ishlab chiqish, maishiy va temir beton konstruktsiyalarni qoplash uchun ishlatiladi.

Chapparasta (перекрыстный) armaturalangan (puxtalangan) materiallar qobig'li detallar, samolyot qanoti seksiyalari, fyuzelyaj va dum qanoti uchun qo'llaniladi. Bu materiallardan plitalar, trubalar, raketa va qattiq yoqilg'ili dvigatellarning korpuslari, yuqori bosim ostida ishlaydigan idishlar, vertolyot parraklari, radiolokatsion obtekatellar, yoqilg'i baklari, press-formalar, transformator izolyatorlari, kimyoviy mashinasozlik idishlarini futerovkasi, turli texnika sohalarining mahsulotlari ishlab chiqiladi.

7.5. Funktsional keramika. Metallokeramika

Funksional keramika

Maxsus detallar va qurilmalar yaratish uchun xossalari yaqqol ifodalanuvchi materiallar *funksional material* deyiladi. Bu maxsus fizik xossalarga: elektrik, magnit, issiqlik, optik, p'yezoelektrik va boshqa xossalarga ega materiallar bo'lishi mumkin.

Funksional materiallarga energiya akkumulyatorlari, vodorod to'plagichlar, katalizatorlar, sensor materiallar tegishli.

Funksional keramik materiallar masalan rezistorlar – NbC, SiC; filtrlar (g'ovakli mahsulotlar) – ZrO_2 , ZrC, SiC, Al_2O_3 , TiB_2 , Si_3N_4 , termoelementlar - ZrB_2 , TiC, elektrodlar - SiC, LaB_6 , Y_2O_3 va h.k. sifatida qo'llaniladi [].

Segneto - va p'yezoelektrik keramika radioelektronika, gidroakustika va maishiy texnikada keng qo'llaniladigan, turli texnologik usullarda tayyorlanadigan, o'zining har qanday fizik ta'sirni sezadigan maxsus keramik materiallar ichida alohida sinf bo'lib ajralib turadi.

P'yezokeramikani ishlab chiqarish uchun sun'iy ravishda sintez qilingan kimyoviy birikmalar - segnetoelektriklar xomashyo sifatida qo'llaniladi.

Hozirgi kunda segnetoelektriklar keramikaning keng tarqalgan turlari – alohida birikmalar asosidagi (bariy titanati) bir fazali keramik materiallar, ikki tarkibli yoki uch tarkibli qattiq eritmalar (qo'rg'oshin sirkonat–titanati).

Qattiq eritmalar asosidagi keramikalarga oz miqdorda modifikatorlarni qo'shish strukturani deyarli o'zgartirmaydi, lekin elektrofizik xossalari ancha o'zgaradi, bu o'z navbatida har xil tarkibli amaliyotda turli vazifa bajaruvchi material yaratish imkoniyatini beradi.

Elektrofizik xossali kislorod tarkibli birikmalar (qattiq eritmalar) – p'yezokeramika olishda tarkibi, strukturasi va tayyorlash sharoiti orasida o'zaro bog'lanish mavjud.

Keramik materiallarda tayyorlashning o'ziga xos xususiyatlari bo'lgani sababli turli ichki va tashqi nuqsonlar mavjud : g'ovaklar, qo'shimchalar, mikrodarzlar.

G'ovaklar keramikaning yemirilishiga ta'sir etuvchi faktorlardan biri hisoblanadi, bu ularni soni, shakli, o'lchami va joylashishiga bog'liq.

Odatda g'ovaklar donachalarni chegarasida, ayniqsa bir nechta donalar birikkan joyda yig'iladi. Yuqori zichlikga ega bo'lgan (> 90%) materiallarda ham aksariyat donachalarni chegarasida mikro-g'ovaklar mavjud.

G'ovaklar kuchlanish kontsentratorlari bo'lib donachalar zaif bo'lgan joylar - chegarasida darzlarni yo'nalishini o'zgartirishi mumkin. Undan tashqari donalar ichidagi mikrog'ovaklar ham yemirilishning sababi bo'lishi mumkin. Yemirilish sababi bo'ladigan g'ovaklar o'lchami 20–200 ni mkm tashkil etadi.

Nisbiy g'ovaklikni 0 do 0,05 miqdorida o'sishi dielektrik o'tkazuvchanlikni chiziqli, biroz qiyalik bilan kamayishi aniqlangan.

Yuqori dielektrik o'tqazuvchanlikli keramika olishda nisbiy g'ovaklikni kamaytirish katta ahamiyatga ega.

Nazariy zichlikga 99 % ega bo'lgan yirik donali (dona o'lchamlari 1,2 - 60 mkm) keramikaning dielektrik o'tqazuvchanligi deyarli yuqori ko'rsatgichlarga ega. Shuni ta'kidlab o'tish zarurki, o'rtacha dona o'lchamlari 1 mkm bo'lgan keramikaning zichligi ~82% gacha kamaysa dielektrik o'tqazuvchanlik ahamiyatli darajada kichiklashadi.

Hozirgi kunda p'yezokeramikani qo'llanilishini yoki ishlab chiqalirilishi elektrofizik xossalarini kimyoviy tarkibini o'zgartirish hisobiga batamom tugadi. Izlanishlar quruq nanokukunlarni kompaktlash (zichlash) bir tekis taqsimlanish hisobiga murakkab shaklli detallarni olishda qo'llash usuli yaratildi. Bu usulda pishirib (qizdirib biriktirish) olinadigan detallarda qo'shimcha g'ovaklikni, ichki kuchlanishlarni va makronuqsonlarni (darzlar, qatlamlarga ajrash) hosil bo'lishiga sabab bo'ladigan plastifikatorlar qo'shilmaydi.

Shaffof optik keramika funksional keramika sinfiga kiradi. Shaffof keramik materiallar deyarli g'ovaksiz strukturaga ega. Shu sababli bu materiallar o'xshash keramik materiallarga xos xususiyatlarini saqlagan holda yorug'likni o'tkazadi.

Oddiy keramik materiallarga qaraganda shaffof keramikalar yuqori zichlikga ega bo'lgani, tarkibida shisha fazasini yo'qligi ularni agressiv muhit ta'siriga chidamliroq va mexanik ishlov berganda yuqori yuza tozaligini ta'minlaydi.

Tarkibi o'xshash bo'lgan keramik materiallarga nisbatan shaffof keramikalar yuqori zichligi, yorug'lik o'tkazuvchanligi, yuqori yuza tozaligiga ega mahsulotlarni olish imkoniyati ularni yanada kengroq qo'llanishiga olib keldi.

Keng qo'llaniladigan shaffof keramikalar qatoriga alyuminiy oksidi asosidagi keramika oid desa bo'ladi. Bu keramika nur tarqatuvchi yuqori bosimli natriy lampalarini qobig' – trubkalarini ishlab chiqish uchun qo'llaniladi.

Bu lampalar galogen, simobli va cho'g'lanish lampalariga nisbatan yuqori yorug'ligi bilan farqlangani sababli iqtisodiy jihatdan arzonroq. Ittriy va magniy oksidi, sirkoniy ikki oksidi, alyumomagnezial shpineli, berilliy oksidi, titan ikki oksidi va boshqa tarkibdagi materiallar xomashyoni qimmatligi, texnologik jarayonni murakkabligi va maxsus asbob-uskunalar talab qilganligi sababli keng qo'llanilmaydi.

Shaffof keramik materiallarni paydo bo'lishi texnikani yangi yo'nalishlari, agressiv muhitda, yuqori haroratlarda va bosimlarda, tunda ko'rish imkoniyatiga ega maxsus asbob-uskunalar yaratilishiga bog'liq. Ushbu maqsadda shisha ishlatish asboblarni ishlash imkoniyatlarini ancha chegaralar edi.

«Shaffof» (tiniq) terminini aniq tarifi yo'q. Yaponiya tadqiqotchilari qalinligi 1mm bo'lgan noorganik kukunlardan qizdirib

biriktirish usulida olingan, sayqallanmagan va u orqali qog'ozdagi tekstni o'qish imkoniyatini beruvchi materialni shaffof termini bilan yuritadilar, bu esa 40%dan ortiq yorug'lik o'tkazuvchanligiga teng.

Bir qator tadqiqotchilar shaffof shisha o'rniga yorug'lik o'tqazuvchi terminini yuritadilar. Yorug'lik nurlarini o'tkazuvchi keramika yorug'lik texnikasi, optika, maxsus asbobsozlikda, radioelektronikada, yuqori haroratda ishlaydigan texnikada tobora keng qo'llanilmoqda.

Keramikani shaffofligiga ta'sir etuvchi asosiy faktorlar: kristallarni ko'p fazaliligi (geterogennost), strukturani xarakteri, kristallarni o'zaro joylashishi, o'lchami, shishasimon va gaz fazasining mavjudligi.

Optik o'qlar bo'yicha sinish koeffitsiyenti nolga teng bo'lgandagi, ya'ni nizotropiyasi yo'q kristall struktura eng yaxshi hisoblanadi.

Bu – o'qlar bo'yicha sinish koeffitsiyentlari o'zaro teng bo'lgan kub singoniya. Kristallarni yo'naltiriganligi (kub singoniya bo'lmagan holda) keramikani yorug'lik o'tkazishini oshiradi, tartibsiz joylashishi esa shaffoflikni pasaytiradi, chunki yorug'lik yo'naltirilgan holda o'tish o'rniga tarqalib ketadi.

Kristallarni o'lchami yorug'likni tarqalishiga katta ta'sir ko'rsatadi. Yorug'likni maksimal tarqalishi tushayotgan nur uzunligi kristall o'lchamiga teng bo'lgan holda sodir bo'ladi. Shuning uchun spektrni to'liq uzunliklari 0,4 - 0,8 mkm bo'lgan ko'zga ko'rinadigan zonasida yorug'lik o'tkazadigan keramik materiallarda kristall o'lchamlari 0,4 - 0,8 mkm bo'lishi mumkin emas. Kristall fazani sinish koeffitsiyenti keramik materialni sinish koeffitsiyentidan farqli bo'lganda tarkibida shishasimon fazaning mavjudligi shaffoflikni pasaytiradi.

Yorug'likni o'tqazishga ayniqsa gaz fazasini (g'ovaklar) mavjudligi salbiy ta'sir ko'rsatadi, gaz fazasida nurni sinishi kristall fazasidan keskin farqlanadi. Masalan, alyuminiy oksidi (Al_2O_3) uchun u 1,76, havo uchun – 1,0 ga teng.

Polikristall alyuminiy oksididan tashkil topgan keramikaning yorug'likni o'tkazishi g'ovaklikga, namuna qalinligiga, keramikadagi qo'shimchalar turi va miqdoriga, kristallar diametriga va tushayotgan yorug'lik to'liqini uzunligiga bog'liqdir.

Shu bilan birga monofazali keramikani shaffofligiga ta'sir etuvchi muhim faktor – uning sinish ko'rsatgichi. Keramik materialni sinish

ko'rsatkichi qancha yuqori bo'lsa shuncha tushayotgan yorug'lik to'liqini uzunligi kichrayganda shaffof materialning mutloq tekis yuzasidan nur qaytariladi.

Shaffof keramik materiallarni qo'llanish sohasi nafaqat ularni yorug'likni o'tkazish qobiliyati, balki shu materiallarga xos turli ishchi xossalar majmuasi: olovbardoshlik, agressiv muhitlarda turg'unligi, termomexanik va elektr xossalari, g'ovaklikni mavjudligi yoki yo'qligi va h.k. bog'liqdir. Lekin aksariyat hollarda shaffof keramik materiallarni qo'llanishida yuqorida keltirilgan muhim xossalarni hisobga olish bilan birga uning shaffofligi asosiy rol o'ynaydi.

Shaffof keramika yorug'lik texnikasi (natriy lampalarini tayyorlash), asbobsoz optikasida (linzalar, detektorlar, filtrlar, lazerlar va h.k.). Bu maqsadlarda «Lukaloks», «Ittraloks», berilliy keramikasi qo'llaniladi.

VIII BOB. MAXSUS XOSSALI QOTISHMALAR

8.1. O'ta toza materiallar. Amorfi holatdagi monokristall qotishmalar

Materiallarning haqiqiy xossalari faqat o'ta sof holda olingandagina namoyon bo'ladi (aniqlanadi).

Har bir metallni o'zining eng zararli aralashmalari (qo'shimchalari) bor, masalan: molibdenda – kislorod, xromda – azot, volframda – uglerod, titanda – vodorod, alyuminiyda – temir, nikelda – qo'rg'oshin va vismut, temirda – fosfor va oltingugurt, magniyda – nikel va h.k. Metallarni bu qo'shimchalardan tozalash xossalarini yaxshilash imkoniyatini beradi. Masalan molibden tarkibida 0,02 % kislorod bo'lganida 300°C da mo'rtlashadi, tarkibida 0,0001 % kislorod bo'lganda esa o'ta past harorat -196°C da mo'rtlashadi.

Zararli qo'shimchalar nafaqat metallarda, balki qotishmalarda mavjud. Hozirgi kunda qotishmalarni konstruksion mustahkamligi va ishonchliligini oshirishni jadal rivojlanayotgan yo'nalishlaridan biri toza (t) va o'ta toza (o't.) qotishmalarni ishlab chiqarishdir. Yuqori soflikga ega qotishmalarni olish uchun yangi usullar yaratildi. Bu usullarga zonali va garnisaj eritish, vakuum, yoyli va elektron-nurli pechlarni qo'llash kiradi. Kelajakda, kosmik fazoni o'zlashtirish toza va o'ta toza materiallarni tigelsiz va konteynersiz chuqur vakuumda olishni va shu bilan birga turli gaz qo'shimchalaridan tozalash imkoniyatini beradi.

Monokristall materiallar

Monokristall holatdagi metallar yuqori soflik darajasi va minimal struktura nuqsonlari mavjudligi bilan farqlanib turadi. Bunday holat metall va qotishmalarni monokristall ko'rinishda olganda donalar chegarasining nazorat qilib bo'lmaydigan struktura o'zgarishlariga ta'sirini imkon qadar kamaytiradi.

Monokristallar katta nazariy va amaliy ahamiyatga ega. Nazariy – metallarni tabiatga bog'liq bo'lgan fizik-kimyoviy xossalarini aniqroq

baholash, amaliy – struktura jihatdan mukammal va yuqori soflikga ega konstruksion materiallarni yangi sinfini olishdan iborat.

Monokristallar texnik toza polikristall metallarda mavjud bo'lmagan noyob xossalarga ega. Masalan, mukammal strukturali ipsimon temir monokristallarining mustahkamlik va oquvchanlik chegaralari polikristall temirnikidan 2-3 barobar yuqori. Molibden va volfram monokristallari to'g'ri haroratigacha plastiklikga ega, o'ta o'tkazuvchan bo'lib, seziy, kaliy va boshqa ishqoriy metallar plazmasida barqarordir.

Monokristallarni sun'iy ravishda – turli eritmalardan, metallar eritmasidan, bug' fazasidan va bitta kristallanish markazini o'sishiga sharoit yaratgan holda qattiq fazada o'stiriladi.

Ma'lum bo'lib tarqalgan usullardan – eritmadan monokristallni cho'zib olish (Bridjmena va Choxralskiy usullari). Olinadigan monokristallarni diametr o'lchami (ipsimon kristallar) bir necha mikrondan o'nlab millimetrgacha. Choxralskiy usuli yordamida sanoatda katta o'lchamli ipsimon monokristallar o'stirish mumkin (diametri 40-80mm, uzunligi 200-300mm).

Aviatsiya asbobsozligida turli tarkibli yarim o'tqazgich monokristallaridan triodlar, kondensatorlar, tranzistorlar ishlab chiqarish uchun qo'llaniladi.

Yirik monokristallarni olish uchun plazma usuli, Verneyl usuli (tomizg'i – заплава yuzasiga kukunlarni suyultirib qoplash) qo'llaniladi.

Mikroelektronika, hisoblash texnikasi, aviatsiya asbobsozligi detallari yuzasiga zarur xossalarni shakllantirishda katta ahamiyatga ega bo'lgan ma'lum shaklli yupqa, yo'naltirilgan qatlamli monokristallarni gaz fazasidan o'stiriladi.

Monokristallarni xossalariга sofliги va strukturani mukammalligi (benuqsonliги) ta'sir etadi, bu esa o'z navbatida yana soflikga bog'liqdir. Oz bo'lsa ham qo'shimchalarni paydo bo'lishi ko'pgina kristallografik nuqsonlarni hosil bo'lishiga olib keladi. Odatda monokristallarni mukammalligi mikro va makro darajada o'rganiladi.

Makronuqsonlarga chegaralarini ikkilanishi, bloklarni katta burchak ostida yo'nalishini buzilishlari kiradi. Mikronuqsonlarga – dislokatsiyalar va turli nuqtaviy nuqsonlar (ваканциялар,– atomi) kiradi.

Qotishmalar monokristallarini o'stirish yaxshi o'zlashtirilmagan, chunki qotishmalar legirlovchi elementlarni qo'shishda joriy qilingan aralashma (примеслар) bilan ifloslanadi. Shuning uchun ham monokristall qotishmalarda yo'nalishlarni buzilishi va dislokatsiyalar zichligi ko'proq. Monokristall qotishmalarni mukammalligini ishlab chiqarishda kimyoviy jihatdan sof legirlovchi elementlarni qo'shish hisobiga oshirish qiyin masala, chunki legirlovchi qo'shimchalarni ham o'ta sof holda olish zarur.

Qiyin eriydigan metallar (W, Mo, Ta, Nb, Re va h.k.) va ularni bir fazali qotishmalari keng qo'llaniladi. Monokristallarni ishlov berishga qulayligi, jumladan polikristall holatda mo'rt volfram va molibdendan murakkab shaklli detallar ishlab chiqarish imkoniyatini beradi. Qiyin eriydigan metallar monokristallarining issiq bardoshligi va noyob xossalar kompleksi ularni aviakosmik texnikasining elektron asbobsozligi detallarida keng qo'llanishini ta'minladi.

Gazoturbinali dvigatellar lopatkalarini monokristall materiallardan tayyorlash konstruktorlarni juda dolzarb masala. Jumladan, monokristall nikel qotishmasidan reaktiv dvigatellari lopatkarining siljinuvchanlikga va zarbiy yuklamalarga qarshiligi an'anaviy quyma lopatkalarinikiga nisbatan ikki barobar ortishi tajribalarda tasdiqlandi.

Monokristall lopatkalarni keng qo'llash murakkab legirlangan monokristall qotishmalarni texnologik qiyinchiliklar va murakkab shaklli detallarga ishlov berish muammolari bilan chegaralanadi.

Butun dunyoda monokristall materiallarni rivojlanishiga katta ahamiyat beriladi. Birinchidan – zamonaviy texnika konstruksion va maxsus materiallarga tobora yuqori va qat'iy talablar qo'yimoqda, bu talablarni faqat monokristall materiallar ta'minlashi mumkin.

Ikkinchidan - monokristall materiallar sohasidagi tadqiqotlar natijalariga qattiq jism fizikasi sohasining fundamental tadqiqotlarining yutuqlariga asoslangan, bu esa radioelektronika, asbobsozlik, energetika va boshqa yo'nalishlarning rivojlanishi bilan chambarchas bog'liq.

Amorf holatdagi metall qotishmalar

Amorf holatdagi metall qotishmalar ilmiy va texnik jihatdan katta qiziqish uyg'otadi (amorf qotishmalar yoki amorf metall shishalar). Amorf struktura eritmadan yoki gaz muhitidan kristallanish markazlari va ularni o'sishini to'xtatganda o'ta tez sovish tezligi

natijasida hosil bo'ladiki ($\sim 10^7 - 10^8$ K/s). Barcha sof metallar, qotishmalar va yarimo'tkazgichlarni qattiq amorf holatda olish mumkin.

Amorf holatga o'tish murakkab jarayon bo'lib ko'pgina faktorlar majmuasi ta'siriga bog'liqligi aniqlangan va ikki guruhga bo'linadi: tashqi (sovish tezligi) va ichki (eritma qovushqoqligi, kristallanishning harorat intervalining - oraliqdagi holati va miqdori, kristallanish markazlarining hosil bo'lish tezligini bu intervalda va boshqalarni haroratga bog'liqligi).

Hulosa qilib aytsa bo'ladiki, amorflanishning ichki faktorlari atomlar tuzilishiga va atomlararo ta'sir xarakteriga bog'liqdir.

Qattiq amorf holatni fiksatsiya qilishni ta'minlovchi eritmani boshlang'ich o'ta sovutish natijasida qotishmada katta morfologik o'zgarishlar ro'y beradi.

Strukturadagi o'zgarishlar qotishma xossalarini keskin yaxshilanishiga olib keladi, bu esa yangi texnologiyalar asosida zarur xossali materiallarni yaratishda yangi imkoniyatlar beradi.

Masalan, metalli shishalar mustahkamligi yuqori qattqlik, yaxshi plastiklik, korroziyabardoshlik va yeyilishga chidamlilikni mujassam qilgan holda, zamonaviy eng mustahkam po'latlarga teng bo'ladi.

Amorf qotishmalar siklik sinalganda ularni uzoq vaqt ishlash bir xil mustahkamlikga ega po'latlarnikiga nisbatan uch barobar ortiqqligi aniqlandi.

Elektr va magnit xossalari tadqiqot qilinganda amorf metallar kristall metallarga nisbatan 2-3 barobar ortiq solishtirma elektr qarshilikka ega ekanligi aniqlangan.

Amorf metallar yuqori mexanik, magnit, korroziyabardosh va boshqa xossalarni o'zida jamlagani, ularni olish texnologiyasi deyarli soddaligi an'anaviy kristall materialni almashtirishni iqtisodiy jihatdan to'g'ri deb topildi.

Monokristall qotishmalar

Ftorid usulida olingan amorf kremnezyom nanostrukturasi

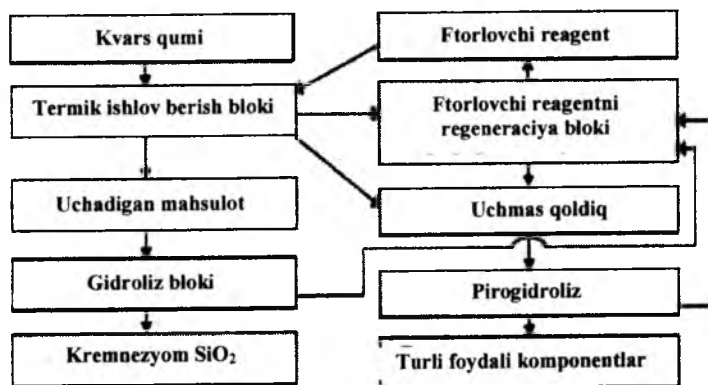
Kremnezyom – turli maqsadlarda qo'llaniladigan noyob material: rezina, elastomer, plastmassa ishlab chiqarishda to'ldirgich, o'simliklarni himoyalovchi vosita va katalizator, neft mahsulotlarini regeneratsiyalashda sorbent va filtrlovchi kukunlar, rangli metallurgiya jarayonlarida yuqori sifatli flyus, kanazit – ekologik jihatdan toza

(sof) shisha, shisha idishlar va billur ishlab chiqarishda, oziq-ovqat sanoatida mahsulotlarni o'rash uchun tayyorlanadigan qog'oz va kartonlarda to'ldirgich, yog'-moy, pivo, sharbatlarni filtrllovchi kukunlar, lok-bo'yoqlarga rang beruvchi qo'shimchalar sifatida; mashinasozlikda – keramik dvigatellarni, kosmik kemalar detallarini, elektron va elektrotexnik sanoatda kristall kremniyni ishlab chiqishda va boshqa sohalarida qo'llaniladi.

Rossiyada o'tkazilgan tadqiqotlar natijasida kvars qumlarini ftorammoniy reagentlari bilan ftorlash natijasida boradigan fizik-kimyoviy jarayonlar to'g'risida ma'lumotlar olindi.

Ekologik jihatdan gazsiz texnologiya bo'yicha amorf kremnez-yom olish imkoniyati aniqlandi (8.1-rasm).

Har bir obyekttni o'rnini bilish uchun uning strukturasi to'g'risida ma'lumotga ega bo'lish zarurdir. Bir bosqichdan ikkinchi bosqichga o'tish namuna element tarkibi va morfologiyasida sezilarli o'zgarish-larga olib keladi.



8.1-rasm. Kvars qumlaridan kremnez-yom va boshqa foydali komponentlarni ajratib olish uchun kompleks qayta ishlash (ishlov berish) texnologik sxemasi

Boshlang'ich va olingan kremniy dioksidi kattalashtirish diapazoni 12-257000 va elementlarni Na dan U gacha qayd etuvchi integrallashtiruvchi energodispersli RONTEC spektrometr bilan katta

chuqurlikdagi tiniqligi LEO – 1420 analitik rastr elektron-zond mikroskopida batafsil tadqiqot qilindi.

Morfologik xususiyatlarni tadqiqoti shuni ko'rsatadiki, boshlang'ich kvarts qumi zarrachalarining o'lchami 800nm dan 2,7mm gacha o'zgaradi.

Boshlang'ich kvarts qumi zarrachalari aksariyatining yuzasi tabiiy agressiv muhitlarni va mexanik shikastlanishi natijasida deformatsiyalangan strukturaga ega.

Juda katta kattalashtirishda mikrostrukturaning kichik konglomeratlarining tadqiqoti ular o'z navbatida o'lchamlari 20nm bo'lgan birlamchi zarrachalardan - yanada kichik sfera shaklidagi tashkil etuvchilardanligi aniqlandi.

Energodispersion spektrlarning tahlili ko'rsatadiki, kristall qumini ftorid usulida tozalash jarayonida va rentgen amorf kremnezyom olinishi amorf holatdagi kremnezyomda primesli (qo'shimcha) elementlar mavjud emasligi to'g'risida xulosa qilish imkoniyatini beradi.

Ftorid metallurgiyasi usulida o'zgaras termodinamik xossali va bir tekis o'lchamli zarrachali o'ta sof amorf kremnezyom – kimyoviy soflik darajasi 99, 99,8% SiO_2 olish mumkin. Olingan amorf kremnezyom zarrachalarining o'lchamlari 20 nm.

Rentgenoamorf kremnezyom zarrachalari o'lchamlari 100 nm dan 500 nm gacha bo'lgan mayda (kichik) konglomeratlardan g'ovak strukturali konglomeratlar hosil qiladi (8.2-rasm).

O'ta qattiq material deb mikroqattiqligi tabiiy korund (Al_2O_3) nikidan yuqori bo'lgan materialga aytiladi (Vickers bo'yicha qattiqligi 20 GPa dan ortiq). Qattiqligi metallarnikidan yuqori (ya'ni 5-20GPa) materiallarni o'ta yuqori qattiq material deb qabul qilish mumkin.

Tabiiy materiallardan faqat olmos o'ta qattiq qatoriga kiradi.

2000 yilda Ukrainada to'g'ridan – to'g'ri o'zgarish orqali BN-grafit sifat qattiq eritmadan 25 GPa bosim va 2100K haroratda KANB deb belgilangan yangi o'ta qattiq faza borning kub karbonitridi (BC_2N) olindi. KANB qattiqligi va elastiklik moduli olmos borning kub nitridlarining orasida, bu esa uni olmosdan keyin qattiqligi bo'yicha ikkinchi material qilib qo'llashda keng imkoniyatlar yaratadi.



2um Zona Mag = 250 KX EHT • 2000kV Detector • SEI

8.2-rasm. Ftorid usulida olingan amorf kremnezyom zarrachalarining morfologik xarakteri va o'lchamlari

8.2. O'ta qattiq asbobsoz materiallar. Bor nitridi. Olmos

***O'ta qattiq sintetik polikristall asbobsoz materiallar
Olmos va borning kub nitridi asosida asbobsoz materiallarni olish
xususiyatlari***

Asbobsozlik sanoati olmos va borning kub nitridi (KNB) asosida sintetik o'ta qattiq materiallar ishlab chiqaradi.

Tabiiy olmos – Yerdagi eng qattiq material bo'lib ko'p yillardan beri kesuvchi asbob sifatida ishlatiladi.

Asbobsozlarni nuqtayi nazaridan monokristall tabiiy olmosni boshqa polikristall tuzilishga ega asbobsoz materiallardan prinsipial farqi deyarli ideal o'tkir va to'g'ri chiziqli kesuvchi yuzani olish imkoniyati. Shu sababli XX asrning oxirida elektronika, presinziyon mashinasozlik va priborsozlikni rivojlanishi tabiiy olmosdan tayyorlangan keskichlarni qo'llanilishi jadallashdi. O'ta qattiq materiallarga bo'lgan talab 1953-1957 yillarda Shvetsiyada (ASEA firmasi) va AQSHda («Djeneral elektrik») va 1959 yilda, sobiq SSSRda (Yuqori

bosimlar fizikasi instituti) katalitik (каталитического) sintez usulida grafit (S) va bor nitridi (BN) gekogonal fazalaridan katta statik bosim ostida olmosni va bor nitridi kub fazalarining mayda zarrachalari olingan.

Olmos sintezi nazariyasi birinchi bor O.I Lyapunskiy (1939y.) tomonidan keltirilgan, olmosni qayta grafitga o'tish tajribalari asosida grafitni olmosga o'tish shartlarini shakllantirdi va yuqori bosimlarda grafit-olmos muvozanatining egri chizig'ini hisobladi. Yuqori bosimlarda ($> 4,0$ GPa) va (> 1400 K) haroratda uglerodni metall (Ni, Fe, Co va h.k.) erituvchilar muhitida grafitdan olmosning sintezi bajariladi. Bor kub nitridi (KNB) tabiatda o'xshashi yo'q o'ta qattiq material.

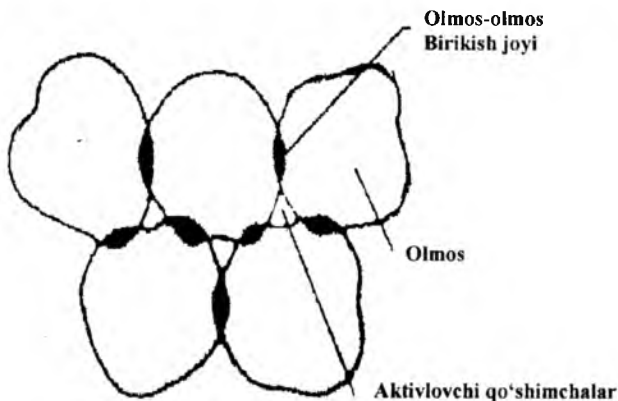
Birinchi marta bor kub nitridi 1956 yilda («Djeneral elektrik» firmasida) yuqori bosimlarda ($> 4,0$ GPa) va (> 1473 K) haroratda ishqor va ishqoriy yer metallar (qalay, qo'rg'oshin, surma va boshqalar) muhitida geksoqonal bor kub nitrididan sintez qilingan. «Djeneral elektrik» firmasi ishlab chiqaradigan bor kub nitridi Borazon deb ataladi.

Sun'iy yo'l bilan olingan olmos va bor kub nitridi monokristallari juda kichik o'lchamga ega shuning uchun ularni asbobsoz material sifatida ishlatish uchun polikristallarga birlashtiriladi.

Olmos va bor kub nitridi asosidagi kompozitsion materiallar 1960-70 yillarda paydo bo'ldi. Bu materiallarni o'ziga xos xususiyati olmos yoki KNB donachalarini birikkan joyida qattiq-bikr karkasni (qovurg'alarni) mavjudligi.

Olmos va KNB kukuni pishirish 5-9 GPa bosim va 1500-2000K haroratda jarayonni aktivlashtiruvchi qo'shimchalar, olmos kukuni uchun – kobalt yoki kremniy, KNB kukuni uchun - alyuminiy ishtirokida bajariladi (8.3-rasm).

Karkasni tashkil etuvchi donalar bu noyob fizik-mexanik va issiqlik teplofizik xossalarga ega olmos monokristallari. Qanchalik polikristalda bu xossalarni namoyon bo'lishi ularning o'zaro bog'lanishiga bog'liq.



8.3-rasm. Olmosli polikristall kompozitsion material strukturasi

Polikristallar strukturasi shakllantirish jarayonini boshqarish qo'llanish sohasiga qarab zarur xossalar – qattiqlikni issiqlik o'tqazuvchanligi, mustahkamligi, elektr qarshiligi kombinatsiyasini olish imkoniyatini beradi. Polikristall o'ta qattiq materiallar (PSTM) o'zining fizik-mexanik xossalari bilan monokristallarga yaqin, ayrim hollarda ularnikidan yuqori.

Masalan, aksariyat olmos polikristallar izotropik xossasiga ega (turli yo'nalishda xossalari bir xil) va yuqori yeyilishga chidamligi, yorilishga bardoshligi bilan monokristallardan farqlanadi.

PSTM larni klassifikatsiyasi ularni olish usuli va strukturasi o'ziga xos xususiyatlariga asoslangan. PSTM larni olish asosiy usullari 8.1-jadvalda keltirilgan, ushbu materiallarni fizik-mexanik xossalari 8.2., 8.3-jadvallarda berilgan.

Erituvchi muhitida grafitni olmosga o'tishi natijasida ASPK-karbonado va ASB-ballas markali sun'iy olmoslar olinadi, ularni strukturasi aynan shunday nomli tabiiy olmoslarnikidek. Grafitsifat bor kub nitridini erituvchi muhitida o'tishi natijasida Kompozit 01 (Elbor - R) va Kompozit 02 (Belbol), vyursit bor nitridini o'tishi natijasida Kompozit 10 (Geksanit - R) hosil bo'ladi. Olmos kukunlarini pishirish (qizdirib biriktirish) bilan AKTM, SKM, SVBN

va karbonit markalar olinadi, KBN kukunini qizdirib biriktirish bilan kiborit va niborit olinadi.

PSTMlarni olish usullari

8.1-jadval

Guruh	Olish usuli	Misol
1	Erituvchi muhitida grafitni olmosga o'tish	ASPK (IFVD, Rossiya), ASB (IFVD, Rossiya)
	Grafit sifat bor kub nitridini erituvchi muhitida KNB ga o'tish	Kompozit 01 (NPO «Ilich», Rossiya), Kompozit 02 (IFTTiP, Belarus)
	vyursit bor nitridini kub nitridiga o'tish	Kompozit 10 (IPM, Ukraina)
2	Olmos kukunlarini aktivlashtiruvchi qo'shimchalar bilan qizdirib biriktirish. KBN kukunlarini aktivlashtiruvchi qo'shimchalar bilan qizdirib biriktirish.	AKTM (ISM, Ukraina), SKM, SVBN, karbonit. Kiborit (ISM, Ukraina), niborit
3	Olmos ishchi qatlamli qattiq qo'tishmali asosda ikki qatlamli plastinalarni qizdirib biriktirish.	ATP (ISM, Ukraina)
	KNB ishchi qatlamli qattiq qo'tishmali asosda ikki qatlamli plastinalarni qizdirib biriktirish.	KTP (ISM, Ukraina)

PKA asosidagi materiallarning fizik-mexanik xossalari

8.2-jadval

Material markasi	PKA xossalari								
	Knappu bo'yicha qat-tiqlik, GPa	Zichlik, g/sm ³	Mustahkam-lik, GPa		YUning moduli, GPa	Darzga bardoshlik ko'effitsiyenti K _{1s} , MPa·m ¹⁰	Issiq o'tkazuvcchanlik, Vt/(m·K)	Havodagi issiq bardoshligi, K	Chiziqli kengayish ko'effitsiyenti α, 1/K·10 ⁻⁴
			siqilishda	buralishda					
ASB	50-90	3,5-3,9	0,4-0,6	0,78	800-850		290-300	873-993	0,9-1,2
ASPK	80-100	3,5-4,0	0,4-0,8	0,5-1,0	900		-	1073-1173	0,9-1,2
SKM	60-70	-	0,6-0,8	-	850		150-250	973-1073	
ATP	50	3,74-3,77	0,3-0,4	0,80 - 0,85		10-13	-	950-1000	
AKTM	52	3,46	0,49	-	970	8	260	1473	
SVBN	70-100	3,30-3,45	8,0-10,0	-			-	1073-1223	
Karbo-nit	40-45	3,2-3,4	4,5-6,0	-			-	1473	
Almet	94-96 HRA	-	5,0-10,0	-	500 - 600		-	973	
SV	65-100	-	5,0-10,0	-	850		-	1573-1673	

Polikristall sintetik olmosni (PKA) asosiy xossalari va qo'llanish sohasi

Tabiiy olmos monokristallari kritik yuklamalar ta'sirida mayda fragmentlarga (zarrachalarga) bo'linib ketali. PKAlar tabiiy olmosga nisbatan qattiqligi kam bo'lsa ham polikristall strukturaga ega bo'lgani sababli zarbiy yuklamalarga yaxshiroq qarshilik ko'rsatadi va cho'zish, hamda ko'ndalang siljishda mustahkamligi yuqori. Shu bilan birga polikristall olmoslarni zarbiy qovushqoqligi donachalari o'lchamiga bog'liq va ularni o'lchami o'sishi bilan pasayadi.

8.3-jadval

KNB PKA asosidagi materiallarni fizik-mexanik xossalari

KNB markasi	KNB xossalari									
	Knappu bo'yicha qattiqlik, GPa	Zichlik, g/cm ³	Mustahkamlik, GPa			Yung moduli, GPa	Darzga bardoshlik ko'effitsiyenti K _{IS} , MPa·m ¹⁰	Issiq o'tkazuvchanlik, Vt/(m·K)	Havodagi issiq bardoshligi, K	Chiziqli kengayish ko'effitsiyenti α, 1/K·10 ⁻⁴
			siqilishda	cho'zilishda	buralishda					
Kompozit 01	32-38	3,31-3,45	2,25-3,15	0,43-0,49	0,70-0,98	3,7-4,2	680-720	60-80	1343-1473	5,20
Kompozit 02	38	3,42-3,50	4,00-6,50	-	0,68-0,70	10,8	720	85	1273-1423	0,2-5
Kompozit 10	30-38	3,34-3,50	2,00-4,00	0,26-0,39	1,20-1,50	7,1	650-780	30-60	1273-1373	0,1-0,3
Kiborit	32-36	3,20-3,34	2,60-3,20	0,32-0,37	0,55-0,65	13,5	850-910	100	1573	3-14
KTP	25-33	-	-	-	-	14,5-16,1	-	80	-	-

Asbobsoz PKAlarni monokristall olmoslarga nisbatan kesuvchi asboblarning ishchi qatlamidagi kristallarni ixtiyoriy joylashishida, bu

esa turli yo'nalishlarda qattiqlikni va yeyilishga turg'unlikni bir tekisligini ta'minlaydi.

Ko'p hollarda tajriba shuni ko'rsatadi-ki, sintetik olmosli keskichlarni yeyilishga chidamligi tabiiy olmoslarnikidan yuqori, chunki ularni strukturasi har xildir. Tabiiy olmoslarda hosil bo'lgan darzlar o'sib deyarli katta o'lchamli bo'lishi mumkin. Sintetik polikristall olmoslarda paydo bo'lgan darzlarni o'sishi kristallar chegarasida to'xtaydi, bu esa ularni 1,5-2,5 barobar yuqori yeyilishga turg'unligini ta'minlaydi.

Polikristall olmoslar yuqori issiqbardoshligi bilan farqlanadi, AKTM va SV materiallar 1473K va undan yuqori haroratlarda ham o'z kesuvchi va mustahkamlik xossalarini yo'qotmaydi shuning uchun ularni qattiq qotishmali plastinkalarga kavsharlash mumkin.

PKAlar va metallararo ishqalanish koeffitsiyenti tabiiy olmoslarga qaraganda yuqoriroq, sababi – polikristall yuzasida kristallararo zarrachalarni chiqib ketishi va metall fazaning zarrachalari mavjudligi (sintezdan so'ng) natijasida g'ovaklar hosil bo'lishidir. Ammo PKAlarni aksariyat metallararo ishqalanish koeffitsiyenti 0,2 dan oshmaydi, bu esa tashqi kontakti ko'rsatkichidir.

Bu olmosni ko'pgina metallar bilan kontakt jarayonlarini xususiyatidir. Ammo, olmos nikel va tarkibida temir bo'lgan materiallar bilan kimyoviy turdoshligi bor, shuning uchun bunday materiallarga ishlov berish jarayonida olmosli asbob kontakt yuzasiga material yopishishi yuz beradi.

Olmos tashkil topgan uglerod qizdirganda materiallar bilan aktiv o'zaro ta'sir etadi, bu esa olmosli asbobni keskin yeyilishiga olib keladi va uni qo'llash sohasini toraytiradi.

Tajribalar ko'rsatadiki, olmosli asboblarni rangli metallar, ularni qotishmalari va turli polimerli kompozitsion materiallarga toza va sayqal berish operatsiyalarida qo'llash yuqori samaradorlik beradi. 8.4-jadvalda turli materiallarga olmosli asboblarda ishlov berish rejimlari keltirilgan.

PKAdan yasalgan kesuvchi plastinkalar polimerli kompozitsion materiallarga ishlov berishda keng qo'llaniladi. Mexanik ravishda mahkamlangan PKA plastinkalarni qattiq qotishmali asboblarni qo'llashga qaraganda turg'unlikni 15-20 barobar oshiradi.

Yog'och qipig'li plitalar, tarkibida ko'p yelim bo'lgan o'rtacha zichlikli plitalar, melamin smolasi asosli qoplamalar, qog'oz qatlamli dekorativ plastik, hamda abraziv ta'siri bo'lgan boshqa qiyin ishlov beriladigan materiallar uchun PKAlarni qo'llash samaralidir.

Olmosli keskichlar uchun tavsiya etilgan kesish rejimlari

8.4-jadval

Ishlov beriladigan material	V, m/s	S, mm/ob	t, mm
Quyma alyuminiy qotishmalari	10,0-11,5	0,010-0,04	0,01-0,20
Alyuminiy-magniy qotishmalari	6,6-8,3	0,010-0,05	shunday
Issiqbardosh alyuminiy qotishmalari	4,1-6,6	0,020-0,04	0,05-0,10
Duralyumin	8,3-11,5	0,021-0,04	0,03-0,15
Mis	6,0-8,3	0,010-0,04	0,01-0,40
Qalayli bronza	4,1-6,6	0,040-0,07	0,08-0,20
Alyuminiy- temirli bronza	11,5	0,020-0,04	0,03-0,06
Qo'rg'oshinli bronza	10,0-11,5	0,025-0,05	0,02-0,05
Latun	8,3	0,020-0,06	0,03-0,06
Babbitt	6,6-8,3	0,010-0,05	0,05-0,20
Monel	2,5-5,0	0,010-0,02	0,03-0,05
Titan qotishmalari	1,6-5,0	0,020-0,05	0,03-0,06
Plastmassalar	1,6-3,3	To je	0,05-0,15
Steklotekstolit	10,0-11,5		0,03-0,05
Rezina	5,0-6,6	0,010-0,04	0,02-0,06

Oddiy asboblardan bunday materiallarga ishlov berish samarali emas. Hozirgi kunda yog'ochlarga va plastmassalarga ishlov berish sanoatida kesuvchi asboblardan polikristall olmoslardan bilan jihozlangan, bunday asboblarni turg'unligi qattiq qotishmali asboblarnikidan 200-300 barobar yuqoridir.

Olmosli asboblarni geometrik parametrlari tabiiy olmos kristallarining xossalari bilan aniqlanadi. Olmos kristallari yuqori mo'rtlikka ega bo'lgani uchun asbobni kesuvchi yuzalari ham yuqori mustahkamlikka ega bo'lishi kerak. Kesuvchi yuzasini puxtalash uchun olmos asbobni o'tkirlash burchagi - β imkon qadar maksimal bo'lishi kerak.

Olmosli asboblarni oldingi burchagi - γ 0 - 15°, orqa burchagi - α 2- 6°, cho'qqi radiusi - r_b 0,2 - 1,0 mm ishlov berilayotgan materialga qarab tanlanadi.

Ishlov berilayotgan yuzaning R_a 0,1 g'adir-budurligini ta'minlash uchun kesuvchi yuzada singan joyi bo'lishi kerak emas, asbobni oldi va orqa yuzalarining g'adir-budurligi R_a 0,01-0,015 bo'lishi kerak. Kesuvchi yuzaning silliqqlanish (округление) radiusi 0,1 mkm dan kam bo'lishi kerak.

PSTMLi asboblarni tebranish va zarbiy yuklamalarga sezgirligi bunday asboblarning qo'llaniladigan dastgohlarga (stanok) aniqlik, birlilik va tebranishga turg'unlik kabi talablar yuqori bo'ladi.

Bor nitridi BN zich modifikatsiyalari asosidagi PSTMLarni asosiy xossalarning tasnifi va qo'llanish sohasi

Bor nitridi zich modifikatsiyalari asosidagi PSTM qattiqligi bo'yicha olmosdan ozgina farqlanadi, ammo yuqori issiqbardoshlik (1573Kgacha), yuqori haroratlarni davriy ta'siriga turg'unligi va eng muhimi, asosan ishlov beriladigan materiallarni (po'lat, cho'yan va boshqa materiallar) tashkil etuvchisi temir bilan kam o'zaro ta'siri katta ahamiyatga egadir.

BN asboblarni ishlov berishdagi samaradorligini oshirishda asosiy rezerv – kesish tezligi (8.5-jadval), qattiq qotishmali asboblarning kesish tezligi 5 va undan ko'p martta oshadi.

Materiallarni turli asboblarda kesish tezligi

8.5-jadval

Ishlov beriladigan material	Kesish tezligi, m/s asbob materiali uchun	
	PSTM	Qattiq qotishma
Po'lat HB 150-250	1,66-3,33	2,10-5,00
HRC, 45-55	1,33-2,66	0,6-1,15
HRC, 60-70	1,00-2,00	0,15-0,50
Kul rang cho'yan HB 120-240	6,66-16,66	1,66-3,33
Yuqori mustahkam cho'yan HB 160-330	5,00-13,33	0,83-1,66
Oqartirilgan va toblangan cho'yan HRC, 40-60	0,83-2,50	0,15-0,31

Jadvaldan ko'rinadiki, BN asosidagi asboblarning yuqori mustahkam cho'yanlar, po'latlar va qotishmalarga ishlov berishda eng yuqori samaradorlikni ta'minlaydi.

BN asosidagi PSTMli asboblarning unumdorligini oshirish yo'llaridan biri moylash-sovutish texnologik moddalarni qo'llashdir. BN asosidagi asboblarning uchun 1,5-1,7m/s kesish tezligigacha suyuq moddalarni purkab ishlatish yaxshi natija beradi.

BN polikristallari bilan jihozlangan asboblarni suyultirib qoplangan detallarga ishlov berish unumdorlikni oshirish yo'llaridan yana biridir.

STMDan tayyorlangan kesuvchi asboblarni qo'llash istiqbollari

Yaqin yillarda STMDan tayyorlangan asboblarni jahon bozori keskin yuksalishini kutadi. Birinchi navbatda bu texnikaning turli sohalarida qiyin ishlov beriladigan materiallarga qo'llashda namoyon bo'ladi, ayniqsa avtomatlashtirilgan ishlab chiqarishda, tez moslashuvchi mexanik ishlov texnologiyalarini almashishda.

CHPUli (sonli programma bilan boshqariladigan) dastgohlarda optimal kesish rejimlarida PSTMlarni qo'llash qattiq qotishmali asboblarga nisbatan ishlov berish unumdorligini 1,5-3 barobar oshiradi, ishlov berilgan yuzani sifatini yaxshilaydi va so'nggi abraziv ishlov berishda ehtiyoj qolmaydi.

8.3. Yuqori haroratli qotishmalar. Nikel va uning asosidagi qotishmalar

Olovbardosh po'latlar. Yuklanmagan yoki kam yuklangan holatda $> 550^{\circ}\text{C}$ haroratda ishlaydigan po'latlar olovbardosh po'latlar deyiladi. Ularni olovbardoshligi karbid hosil qiluvchi elementlar – xrom, vanadiy, molibden, niobiy bilan kompleks legirlash hisobiga erishiladi. Bu elementlar α - temir kristall panjarasida atomlararo bog'lanishni mustahkamlaydi va yuqori termik barqarorlikka ega bo'lgan dispers karbid fazalarini hosil qilib po'latlarni $600-700^{\circ}\text{C}$ da plastik deformatsiyaga qarshiligini oshiradi. Olovbardosh po'latlar aviatsiya dvigatellarini yuklangan detallarini, xususan $500-600^{\circ}\text{C}$ da tashqi muhitni korroziya – errozion ta'sirida, yuqori mexanik yuklamalar sharoitida ishlaydigan kompressorlar uchun keng qo'llaniladi.

Shuning uchun tayyorlanadigan po'latlar yetarli darajada olovbardoshlik, plastiklik va qovushqoqlik, korroziya bardoshlik va yaxshi ishlanuvchanlikka ega bo'lishi kerak. Kompressor vallari, disklar, lopatkalar, boltlar, shpilkalarni tayyorlash uchun 13X11H2B2MΦA, 14X12H2M2BΦAB, 14X16H2M2K5ΦAB olovbardosh po'latlar qo'llaniladi.

550° C yuqori haroratlarda gaz korroziyasiga qarshi bardosh beradigan po'latlar kuyishga turg'un deyiladi. Bu xossasini oshirish uchun kislorodga turdosh bo'lib po'lat yuzasida asos bilan yaxshi bog'langan zich Cr₂O₃, Al₂O₃, SiO₃ kabi oksid parda hosil qiluvchi xrom, kremniy va alyuminiy bilan legirlanadi. Hosil bo'lgan oksid pardalari orqali diffuziya (ayniqsa kislorodni) qiyin bo'lgani sababli yuzaning oksidlanish jarayoni deyarli to'xtaydi.

Aviatsiya dvigatellarida asosiy va forsaj yonish kameralarini tayyorlashda XH60BT (БЖ98), XH50BMTIOB (ЕП648), XH68BMTIOK (ЕП693), XH56BMTIO (ЕП199) olovbardosh va yaxshi ishlov beriladigan po'latlar qo'llaniladi (8.6-jadval).

Cr va Si *silxromlar*; Cr va Al – *xromallar*; Cr-Al-Si bilan legirlangan po'latlar – *silxromallar* deb ataladi.

Alyuminiy va kremniyni yuqori miqdori po'latlarni mo'rtligini oshiradi, shuning uchun ular oz miqdorda qo'shiladi. 40X9S2 va 10X13CIO po'latlarni olovbardoshligi 850°C haroratgacha bo'lib ulardan ichki yonish dvigatellarining klapanlari, pechkali isitkichlarni detallari tayyorlanadi.

08X17T ferritli po'latni olovbardoshligi 900°C gacha bo'lib issiqlik almashtirish qurilmalarida qo'llaniladi.

Qotishmalarning kimyoviy tarkibi, %

8.6-jadval

Qotishma markasi	Ni	Cr	W	Ti	Al	Mo	Nb	Co	γ - faza miqdori, %
XH60BT	asosi	25	14,5	0,5	0,5	-	-	-	0
XH50BMT YUB	asosi	23,5	4,8	0,8	0,8	2,8	0,8	-	10
XH68BMT YUK	asosi	18,5	6	1,3	2,0	4,0	-	6,5	12

12X18H9T va 36X18H25C2 austenitli po‘latlarni olovbardoshligi 800 va 1100°C mos ravishda teng va ular yuqori haroratlarda yetarli darajada mustahkamlikka ega.

36X18H25C2 po‘lat kremniy qo‘shilgani tufayli oltingugurt muhitida yuqori olovbardoshlikka ega, undan gaz turbina qurilmalarining soplo va issiqqa chidamli trubalari tayyorlanadi.

Issiqbardosh po‘latlar. Issiqbardosh po‘latlar ma‘lum vaqt davomida yuklama ta‘sirida ishlashga qodir va $> 550^{\circ}\text{C}$ dan ortiq haroratlarda yetarli darajada olovbardoshlikka egadir.

Legirlash po‘latlarni issiqbardoshligini sezilarli oshiradi: birinchidan – atomlararo bog‘lanish energiyasi oshadi, demak qattiq eritmalaridagi diffuzion jarayonlar sekinlashadi; ikkinchidan – legirlash va termik ishlov berish (toblash va eskirtish) natijasida qattiq eritma va undagi asos bilan kogerent karbid va intermetallid fazasidan tashkil topgan maxsus struktura hosil bo‘ladi.

Martensit sinfining po‘latlari (15X12BHMΦ, 15X11MΦ) 600°C gacha qo‘llaniladi. Volfram va vanadiy molibden bilan birgalikda oksidlantirmaydigan gaz muhitida ishlaydigan po‘latlarni issiqbardoshligini ko‘p oshiradi. Bu po‘latlar gaz turbinalarini va bug‘-kuch qurilmalari detallarini ishlab chiqarishda qo‘llaniladi. Austenitli po‘latlarni issiqbardoshligi martensitliklarnikidan yuqori – ularni ishchi harorati 700- 750°C ga yetadi. Ular yaxshi payvandlanadi va plastikligi yuqori. Puxtalanish usuliga qarab austenitli po‘latlar uch guruhga bo‘linadi:

eskirtish bilan puxtalanmaydigan qattiq eritmalar;

karbidlar bilan puxtalanadigan;

intermetallidlar bilan puxtalanadigan.

Birinchi guruh po‘latlari - 09X14H16B, 09X14H18B2BP toblangan holda yuqori bosim ostida 600-700°C da ishlaydigan kuch qurilmalarining truboprovodlarini tayyorlash uchun ishlatiladi. Karbidlar, intermetallidlar bilan puxtalanadigan olovbardosh austenitli po‘latlar 1050-1200°C da moyda, suvda yoki havoda toblanadi va so‘ngra eskirtiladi 600-850°C da.

Intermetallidlar bilan puxtalanadigan po‘latlar - 10X11H20T3P, 10X11H23T3MP tarkibida oz miqdorda uglerod bo‘lib qo‘shimcha titan, alyuminiy, molibden va bor bilan legirlangan. Titan va alyuminiy puxtalovchi γ - fazani (Ni_3Ti yoki Ni_3TiAl) hosil qiladi, bor

austenit donalarining chegarasini puxtalaydi, molibden esa qattiq eritmani legirlab atomlar aro energiyani oshiradi. Bu po'latlar turbina lopatkalari va diskleri, yonish kamerali, hamda 700°C gacha ishlaydigan payvandlangan konstruksiyalar ishlab chiqish uchun qo'llaniladi.

Temir-nikel asosidagi olovbardosh qotishmalar, masalan, XH35BTIO qo'shimcha xrom, titan, volfram, alyuminiy va bor bilan legirlanadi. Ular austenitli po'latlar kabi toblash va eskirtish bilan puxtalanadi. XH35BTIO qotishma soplo apparatining halqalari, turbina lopatkalari va diskleri va boshqa 750°C gacha ishlaydigan detallar tayyorlanadi.

Gaz turbinalarining lopatkalarini ishlab chiqarish uchun deformatsiyalanadigan 1000°C gacha ishlaydigan EP109, EP220, ЖС6КР va ЖС6К, ЖС6У, ЖС6Ф, ВЖЛ12У qotishmalar qo'llaniladi (8.7-jadval).

Yuqori haroratli dvigatellarini turbina lopatkalarini 1550-2200°C ishchi haroratda ishini ta'minlash uchun Si₃N₄, SiC, oksidlangan evtektikalar asosidagi keramik materiallar istiqbolli hisoblanadi.

Olovbardosh qotishmalarning kimyoviy tarkibi, %

8.7-jadval

Po'lat markasi	Ni	C	Cr	Co	Mo	W	Al	Ti
XH56BMKIO	asosi	0,15	9,5	12	7,2	6,8	5,3	-
ЖС6КР	asosi	0,15	11	7	5,4	4	4,7	3
ЖС6У	asosi	0,16	9	10	2	10,5	5,5	2,5
ВЖЛ12У	asosi	0,18	10	14	3,1	1,5	6,2	4,5
ЖС6ФHK	asosi	0,15	6	10	1,3	12	5,5	1,2
Po'lat markasi	Nb	Hf	V	Zr	B	Y	Σγ, %	ρ, g/cm ³
XH56BMKIO	-	-	-	-	0,02	-	47	
ЖС6КР	-	-	-	-	0,02	-	48	
ЖС6У	1,0	-	-	0,04	0,02	0,01	56	8,4
ВЖЛ12У	0,8	-	0,8	0,02	0,02	-	65	7,93
ЖС6ФHK	1,5	1,3	1,0	0,1	0,02	0,01	65	8,65

Nikel va uning asosidagi qotishmalar. Nikelning xossalari

Nikelga bo'lgan ehtiyojni o'sishi yuqori haroratlarda ishlaydigan detallarni sonini ortib borishi, nikel qotishmalari esa 700 - 1100°C intervalida yaxshi xossalarga ega. Sof nikelni (99,99 %) solishtirma og'irligi 8907 kg/m³ teng, kremniy, uglerod, kislorod kabi qo'shimchalar mavjudligi solishtirma og'irlikni kamaytiradi. Tarkibida 98,5-99, 5 9% nikel bo'lgan bir qator texnik markalarda solishtirma og'irlik 8700 - 8840 kg/m³ me'yorida bo'ladi.

Kimyoviy xossalari. Nikel kimyoviy jihatdan aktiv emas, lekin temirga nisbatan kamroq oksidlanadi. Xona haroratida nikel yuzasi yupqa himoyalovchi oksid pardasi bilan qoplanadi va ayrim tuzlar eritmasi hamda namlikga qarshi tura oladi. Ishqorlar muhitida nikel yuqori korroziya bardoshligiga ega. Sulfat va xlorid kislotalari nikelni asta sekin eritadi, azot kislotasida esa nikelni turg'unligi past.

Qizdirganda nikelni oksidlanishga qarshi turg'unligi juda yuqoridir. Oksid pardasini qalinligi bilan aniqlanadigan sezilarli oksidlanish >800°C da boshlanadi. Nikelni qizdirgandagi oksidlanish tezligiga turli qo'shimchalar ta'sir etadi, ayrimlari Mn va S esa ekspluatatsiya sharoitida tezkor yemirilish sodir qiladigan past haroratda eriydigan evtektik aralashmalar hosil qilib nikelni oksidlanishga qarshi turg'unligini pasaytiradi, Si va Al esa korroziya bardoshligini oshiradi.

Mexanik xossalari. Sof nikelning mustahkamligi katta emas va mustahkamlik chegarasi 450 MPa dan oshmaydi, shu bilan birga uning plastikligi xona haroratida ~30% ga teng. Sovuqlayin plastik deformatsiyalash natijasida nikel sezilarli darajada puxtalanadi, ammo deformatsiyalangan metall 500°C gacha qizdirilganda puxtaligi kamayadi.

Nikelni elastiklik moduli 360°C (Kyuri harorati sohasi) da unda o'tib boradigan magnit o'zgarishlar natijasida harorat oshishi bilan murakkab bog'lanish bo'yicha o'zgaradi. Avvaliga, elastiklik moduli harorat 200°C gacha oshganda pasayadi, keyinchalik Kyuri nuqtasigacha oshadi, so'ng nikelda to'lmagan M- qobig'i mavjudligi sababli harorat oshishi bilan sekin asta bir tekis pasaya boshlaydi.

Nikelni legirlovchi elementlar bilan o'zaro ta'siri

Sof nikel yuqori haroratlarda, ayniqsa katta kuchlanishlar ta'sirida ishlash talablariga javob bermaydi, shuning uchun turli elementlar bilan legirlangan uning asosidagi qotishmalar qo'llaniladi. Bunday qotishmalar zarur xossalar kompleksiga ega bo'lishi kerak, bu xossalar ichida yetakchi o'rin yuqori olovbardoshligidir.

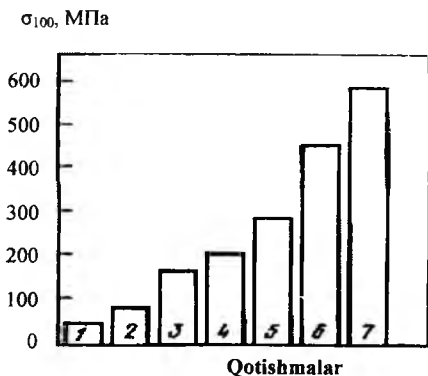
Olovbardosh materiallarga yetarli darajadagi issiqbardoshlik talabi qo'yiladi. Metallarni oksidlanishga qarshiligi himoyalovchi qatlam bo'lgan metall yuzasidagi oksid pardasining xossalariga, agar u metall bilan zich bog'langan bo'lsa, gaz o'tqazuvchi va yuqori erish haroratiga ega bo'lsa bog'liqdir. Himoyalovchi oksid pardasini asosan xrom, alyuminiy va kremniy hosil qiladilar. Legirlovchi element sifatida xrom alohida o'ringa ega, chunki uning hosil qilgan oksidlari alyuminiy va kremniy nikiga nisbatan zichligi bo'yicha nikel oksidiga yaqindir. Gaz turbina detallarini ishlatishda zarur bo'lgan issiqbardoshlikni ta'minlash uchun nikel asosidagi qotishmalarga 15-20% xrom qo'shish kifoyadir. Ko'p komponentli legirlashni nikel asosidagi qotishmalarning olovbardoshligiga ta'siri 8.4-rasmda keltirilgan. Nikelga 20% xrom qo'shilishi qotishmani olovbardoshligiga deyarli ta'sir etmaydi, lekin qattiq eritmaning legirlangani hisobiga issiqbardoshligini ozgina oshiradi. Xrom nikelda yaxshi erib kristall panjarada bog'lanish energiyasini kuchaytiradi va issiqbardoshligini oshiradi.

Nixromga titan va alyuminiyni qo'shganda qotishmani olovbardoshligi o'ta mayda nikelni titan va alyuminiy bilan hosil qilgan intermetallid aralashmalari ta'sirida keskin oshadi. Ni-Sg-Tl-Al qotishmasiga molibden va volfram qo'shilsa diffuzion jarayonlarning sekinlashishi hisobiga uzoq vaqt davom etadigan mustahkamligini oshiradi. Murakkab legirlangan (ko'p komponentli) qotishmalarni olovbardoshligini oz miqdorda bor qo'shib donalar chegarasini puxtalashi hisobiga yanada oshirish mumkin.

Nikel asosidagi olovbardosh qotishmalarda turli jinsli sistema toblash va keyin eskirtish yoki ma'lum tezlikda sovutishdan iborat termik ishlov natijasida erishiladi. Eskirish yoki dispersion qattiqlanish harorat o'zgarishi bilan komponentlarni asosiy qattiq eritmada erishi chegaralanishi xos bo'lgan qotishmalarda uchraydi. Masalan,

titan va alyuminiyni 80%Ni va 20%Cr asosidagi qattiq eritmada chegaralangan ravishda erishi.

Aksariyat nikel qotishmalar tarkibida 10-20% Cr, 8% gacha titan va alyuminiy, molibden, volfram, tantal, kobalt, niobiy , kichik miqdorda boʻr, sirkoniy, gafniy va uglerod bor.



8.4-rasm. Koʻp komponentli legirlashni nikel asosidagi qotishmalarning olovbardoshligiga taʼsiri: Ni (1), Ni-Cr (2), Ni-Cr-Ti-Al (3), Ni-Cr-Ti-Al-B (4), Ni-Cr-Ti-Al-B-Mo-W (5), Ni-Cr-Ti-Al-B-Mo-W-Co (6), Ni-Cr-Ti-Al-B-Mo-W-Co-Nb-Hf (6)

Barcha elementlarni strukturaga taʼsiri boʻyicha uch guruhga boʻlish mumkin: qattiq eritmaga taʼsir etuvchilar, puxtalovchi fazalar (uʼ-fazalar) hosil boʻlishiga va donalar chegarasiga taʼsir etuvchilar.

Birinchi guruhga kobalt, temir, volfram, molibden kiradi. Alyuminiy, titan, niobiy va tantal uʼ-fazalar miqdori va xossalriga taʼsir etadi. Magniy, boʻr, sirkoniy va uglerod donalar chegarasida joylashadigan uchinchi guruhni tashkil qiladilar.

Shunday qilib nikel qotishmalari strukturasi asosiy tashkil etuvchilari quyidagilardan iborat:

matritsa (u-faza) - kobalt, xrom, volfram va molibdenni nikeldagi qattiq eritmasi;

uʼ-faza – puxtalovchi faza legirlovchi elementlar miqdoriga qarab keng tarzda tarkibini oʻzgartiradigan kimyoviy birikma Ni_3Al ;

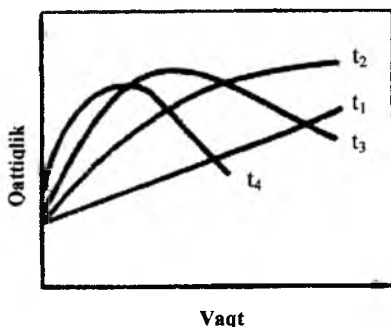
karbidlar, 0,05- 0,2 % uglerod boʻlsa birlamchi karbidlar MeS hosil qiladi.

Yuqori haroratlarda uzoq vaqt ishlatiladigan eskiruvchi xromnikelli qotishmalarni termik ishlov berish shartlari detallarni ishlash sharoitini hisobga olgan holda tanlanishi zarurdir. Detailarni ishlash harorati past bo'lgan holdagina puxtalik pasaymaydi (8.5-rasm).

Dispersion qattiqlashuvchi qotishmalarga termik ishlov berish tajribadan kelib chiqqan holda ikki operatsiyadan iboratdir: yuqori haroratlarda (1000 - 1300°C) ushlab turish va keyin eskirtish, aksariyat olovbardosh qotishmalar uchun 650- 900°C da.

Qotishma tarkibi va ishchi haroratda hosil bo'ladigan puxtalovchi fazani hisobga olgan holda eskirtish shartlari (harorat, vaqt) tanlanadi.

Ayrim qotishmalar uchun ikki marta toblash yoki ikki marta eskirtish o'tkaziladi, bu esa donalar chegarasi bo'yicha sirg'alishni kamaytiradi (ikki marta toblashda) yoki kuchlanishlar kontsentratsiyasiga sezgirlikini kamaytiradi (ikki marta eskirtishda).



8.5-rasm. Dispersion qattiqlanish qonuniyati

***Olovbardosh nikel qotishmalarining xossalari va qo'llanilishi.
Deformatsiyalanadigan qotishmalar
Gaz turbinalarining ishchi lopatkalari uchun qo'llaniladigan
qotishmalar***

Gaz turbinalarining ishchi lopatkalari birinchi marta olovbardoshligini ta'minlovchi 7 - 8 % puxtalovchi u'-fazasi bo'lgan XH77TiO qotishmadan ishlab chiqilgan. Toblash va eskirtish hisobiga qotishma xossalari yaxshilandi. XH77TiO qotishmani bor qo'shish

hisobiga takomillashtirildi va XH77TiOP qotishmani 700 va 800°C da uzoq vaqtli mustahkamligi 25% oshirildi. Qotishmani olovbardoshligi bo'ʻr donalar chegarasida joylashgani hisobiga yemirishni sekinlashtirib erishildi.

Titan va alyuminiy bilan birga qiyin eriydigan elementlar volfram, molibden va oz miqdorda bo'ʻr bilan legirlangan XH70BMTiO qotishma XH77TiOP ga qaraganda yuqoriroq olovbardoshlik xossalariga egadir. Bu qotishmani olovbardoshligini oshiradigan puxtalovchi fazaning miqdori ~ 20 % ni tashkil qiladi. Qotishmani olovbardoshligini oshirishga karbidlar va bo'ʻr fazasini hosil bo'lishi ham yordam beradi. u'-fazasi 25% gacha yetqazilgan va MeC, Me₆C, va Me₂₃C₆ tipidagi karbidlar hamda M₃B₂ fazasi borligi hisobiga XH70BMΦTiO qotishma yuqoriroq olovbardoshlikga egadir. Bu qotishmalar uzoq vaqt 800°C haroratgacha o'ta qizdirilganda esa 850°C 20000 soatgacha ishlashi mumkin.

XH55BMTΦKiO va XH51BMTiOKΦP qotishmalar mustahkamlik va plastiklikka ega bo'lishi bilan birga yaxshi olovbardoshlikka ham ega va 900 - 950°C da qo'llaniladi. Ushbu qotishmalarni yuqori olovbardoshligini puxtalovchi elementlar (alyuminiy va titan) ko'p miqdordaliligi va kobalt qo'shimchasi borligi bilan ta'minlanadi.

Eskirtishni optimal rejimlari puxtalovchi u'- fazaning miqdorini 38-40% ga yetkazadi, shu bilan birga qotishmada karbidlar va Me₃V₂ tipidagi borid mavjuddir.

Gaz turbinalarining disklari uchun qotishmalar. Gaz turbinalarining disklari katta va murakkab kuchlanishlar sharoitida ishlaydi, diskning markazi va halqasidagi harorat tafovuti termik kuchlanishlarni yanada zo'raytiradi.

Disklar uchun qo'llaniladigan nikel qotishmalar lopatkalar uchun ishlatiladigan materiallardek bir xil elementlar bilan legirlanadi, ammo boshqa nisbatda. Bu qotishmalar xossalari kenu harorat diapazonida, ya'ni 750°C gacha qo'llash imkoniyatini beradi.

So'nggi vaqtlarda disklarni tayyorlashda yangi kukun metallurgiyasiga asoslangan texnologik jarayon qo'llanilmoqda, ayrim holdlarda granula (dona) metallurgiyasi deb ataladi. Bu usulda mahsulot olishni ikki turi bor. Birinchi usulda sof nikel va boshqa elementlar kukuni aralashmasidan elektrod yasaladi va vakuum-yoy yoki vakuum-induksion qayta eritiladi. Buning natijasida qotishmaning yuqori plastikligi va komponentlarni bir tekis taqsimlanishini ta'minlaydi.

Ikkinchi usulda granulalar bevosita qotishmaning o'zidan olinadi va so'ngra olingan granulardan detallar yasaladi.

Olovbardosh qotishmalardan granulalar suyuq metallni gaz oqimi bilan purkash yoki elektrod aylanganida suyuq metall tomchilarini purkash usuli bilan olinadi.

Kukunlardan detallarni tayyorlash an'anaviy kukun metallurgiyasi usulida, ya'ni avval presslab keyin qizdirib biriktirish bilan yoki qizdirib biriktirilgan homashyoni issiq deformatsiyalash usulida olinadi.

Izostatik issiq presslash eng mukammal sanoat usuli hisoblanadi, bunda metall qolipdagi kukunni kameraga joylab bir vaqtini o'zida bosim (inert gaz yordamida) va yuqori harorat ta'sir ettiriladi.

Bosim va yuqori harorat ta'sirida ayrim granulalar qizdirilish natijasida birika boshlaydi va g'ovaksiz material hosil bo'ladi. Har tomonlama bosim ta'sir etishi alohida-alohida zarrachalarni deyarli yuqori bo'lmagan harorat biriktirish imkoniyatini beradi. Bu esa o'z navbatida material xossalari yaxshi ta'sir ko'rsatadi, chunki past haroratda donalar deyarli o'smaydi va hosil bo'lgan mayda struktura yuqori plastiklik va mustahkamlikka egadir. 8.8-jadvalda an'anaviy va kukun metallurgiyasi usulida disk qotishmasini xossalari keltirilgan.

8.8-jadval

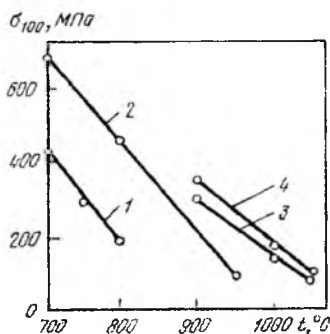
Turli usulda olingan olovbardosh qotishmaning xossalari				
Tayyorlash texnologiyasi	σ_v , MPa	δ , %	KSU , MDj/m ^a	σ^{750}_{100} , MPa
Oddiy pishirilgan elektrodarni qayta eritish	1160	16	0,4	420
Qotishmadan granula olish	1270	25	0,6	440
	1360	26	0,8	420

Quyma qotishmalar. Quyma qotishmalar gaz turbinalarining ishchi lopatkalari, soplolari hamda turli vazifali butun quyiladigan rotorlar uchun keng qo'llaniladi. Deformatsiyalanadigan qotishmalarga nisbatan bularga bosim ostida ishlov berilmaydi bu esa o'z

navbatida legirlash uchun keng imkoniyat yaratadi va olovbardoshlikni oshirib plastiklikni kamaytiradi.

Intensiv legirlash hisobiga puxtalovchi u'-fazaning miqdori 55% gacha yetishi mumkin va quyma qotishmalarni olovbardoshligi deformatsiyalanadiganlarga nisbatan 50 - 100°C yuqoridir.

Quyma qotishmalarning olovbardoshligi deformatsiyalanadiganlarga nisbatan yuqoridir (8.6-rasm)



8.6-rasm. XH77TIOP (1), ЭИ929 (2), ЖС6У (3) va ЖС6Ф (4) deformatsiyalanadigan (1,2) va quyma (3,4) nikel qotishmalarining davomli mustahkamligi

Quyma qotishmalar uglerod va karbid hosil qiluvchi elementlar (xrom, volfram, titan, niobiy, gafniy) bilan legirlanganda hosil bo'lgan karbidlar bilan qo'shimcha puxtalanadi.

Donalar chegarasini mustahkamlovchi bor va seriy ham quyma qotishmalar tarkibida mavjud. Quyma nikel qotishmalariga kobaltni qo'shish uning olovbardoshligi va plastikligiga yaxshi ta'sir ko'rsatadi.

Quyma qotishmalar ichida eng tarqalganlari ЖС6К, ЖС6У, ЖС6Ф va ВЖИ12У, ular tarkibi bilan farqlanadi. Eng yuqori olovbardoshlik 1100°C gacha qo'llanishi mumkin bo'lgan ЖС6Ф qotishmaga xosdir.

Asosiy olovbardosh quyma nikel qotishmalarining davomli mustahkamligini solishtirma xarakteristikalari 8.9. jadvalda keltirilgan.

Issiqbardosh nikel qotishmalari

Qayta qizdirilib soviydigan yonish kameralari uchun qo'llaniladigan issiqbardosh qotishmalarga qo'shimcha talablar qo'yiladi.

Haroratni davriy o'zgarishlari katta termik kuchlanishlar natijasida deformatsiya va darzlar ko'rinishdagi yemirilish o'choqlarini hosil bo'lishiga olib keladi. Hosil bo'ladigan termik kuchlanishlar miqdori detalni turli uchastkalaridagi harorat o'zgarishiga (tafovutiga) va materialni chiziqli kengayish koeffitsiyentiga proporsional ravishda bog'liq.

Olovbardosh quyma nikel qotishmalarining davomli mustahkamligi

8.9-jadval

Qotishma mar-kasi	$\nu, \text{kg/m}^3$	$\sigma_{100}, \text{MPa, pri } t, ^\circ\text{C}$				Qotishma mar-kasi	$\nu, \text{kg/m}^3$	$\sigma_{100}, \text{MPa, pri } t, ^\circ\text{C}$			
		800	900	1000	1050			800	900	1000	1050
ЖС6К	8250	520	320	155	80	ЖС6Ф	8600	580	360	180	120
ЖС6У	8400	530	330	165	110	ВЖЛ12У	7930	520	320	150	90

Termik kuchlanishlarni kamaytirish maqsadida katta issiq o'tqazuvchanlikli va kichik chiziqli kengaish koeffitsiyentli materiallarni tanlash maqsadga muvofiqdir.

Nikel asosidagi qotishmalardan XH78T, XH75МБТЮ, XH60BT, hamda dispers puxtalangan ВДУ - 1 va ВДУ - 2 keng qo'llaniladi.

Kalit soʻzlar

Materialshunoslik, nanomateriallar, konsolidatsiya, gibrid metallopolymer, biopolymer, nanokompozitlar, kompakt materiallar, nanodonachalar, nanoyarim oʻtkazgichlar, klasterlar, fullerenlar, nanogʻovak materiallar, gʻovaklar, katalizatorlar, nanokristall, chegara, nanotizimli texnika, ultradispers materiallar, ultradispers tizimlar, tunnel mikroskopi, skanerlovchi mikroskop, tarkib, qoplama, elektron mikroskopiya usuli, spektral tahlil usullari, skanerlovchi zond usullari, vacuum qurilmalari, intensiv (jadal) plastik deformatsiya, konsolidatsiya usuli, simchalarni elektr yordamida portlatish usuli, ultratovush taʼsiri sharoitida sintez qilish, plazmakimyoviy sintez, yuqori energiyali maydalash. mexanokimyoviy sintez, kondensatsiya usuli, kukun texnologiyasi, asimmetrik prokatlash, tengkanalli burchakli presslash usuli, yorituvchi elektron mikroskopiya, rastr skanerlovchi elektron mikroskopiya, elektron oʻje-spektroskopiya, ikkilamchi ionlar mass- spektroskopiya, lazerli mikrozon tahlili, atom-kuch mikroskopiya, magnit-kuch zondli mikroskopiya, yaqin optik zonani skanerlovchi mikroskopiya, БАД 23 qotishmasi, alyuminiy-litii qotishmalari, berilliy asosidagi qotishmalar, kompozitsion materiallar, matritsa va toʻldirgichlar, uglerod-uglerodli kompozitlar, funksional keramika. metallokeramika, oʻta sof materiallar. amorf holatdagi monokristall qotishmalar, oʻta qattiq asbobsoz materiallar. bor nitridi. olmos, yuqori haroratda ishlatiladigan qotishmalar. nikel va uning asosidagi qotishmalar.

Nazorat savollari

1. Materialshunoslikni rivojlanish bosqichlari.
2. Materialshunoslikni rivojlanishining istiqbolli yo'nalishlari
3. Qachon nanotexnologiya termini yaratildi?
4. Nanotexnologiyani xususiyatlari qanday?
5. Nanotexnologiyani rivojlanishining istiqbolli yo'nalishlari?
6. Qanday nanomateriallar mavjud?
7. Kompakt materiallarni xususiyatlari qanday?
8. Nanoyarim o'tkazgichlarning xususiyatlari qanday?
9. Nanog'ovakli materiallarni xususiyatlari qanday?
10. Kompakt materiallarni sinflashning xususiyatlari?
11. Strukturalarning turlari?
12. Kompakt materiallarni olish usullari?
13. Kompakt nanomateriallar strukturalarining asosiy elementini nima tashkil etadi?
14. Nanomateriallarning strukturalarini tadqiqot qilishning asosiy usullari?
15. Donachalarning katta va kichik burchakli chegaralari degani nima?
16. Nanomateriallardagi darzlarning roli?
17. Nuqsonlar turlari?
18. Ajralishni chiziqli chegaralari?
19. Gaz fazali sintez usulining mazmuni nimada?
20. Nanokristall zarrachalar hosil bo'lishining asosiy qonuniyatlari nimada?
21. Chegaralangan nanokristall zarrachalarning xossalari qanday aniqlanadi?
22. Plazmakimyoviy usulning mazmuni nimada?
23. Plazmakimyoviy usulning texnologik xususiyatlari qanday?
24. Molekulyar klaster bu nima?
25. Fuleren bu nima?
26. Fulerenlarning xossalari va xususiyatlari?
27. Nostexio'metriyani qoplamalar xossalriga ta'siri?
28. Qoplamalarda qoldiq kuchlanishlar hosil bo'lishi?
29. Qoplamalarda qoldiq kuchlanishlarni aniqlash?
30. Qoplamalarning qalinligini aniqlash?
31. Berilliyning xossalari va xususiyatlari?

32. Olovbardosh berilliy qotishmalari?
33. Berilliy qotishmalarining qo'llash sohasi?
34. Berilliydan yarimmahsulot olishning xususiyatlari?
35. Qanday qotishmalar o'ta yengil hisoblanadi?
36. Qanday qotishmalar alyuminiy-litii guruhiga kiradi?
37. Sanoatda qanday alyuminiy-litii qotishmalari qo'llaniladi?
38. Alyuminiy-litii qotishmalarining tarkibi, xossalari, qo'llanish sohasi?
39. Kompozitsion material degani nima?
40. Kompozitsion materiallar tarkibining xususiyatlari?
41. Kompozitsion materiallar xossalaring farqlanuvchi xususiyatlari?
42. Kompozitsion materiallarning klassifikatsiyasi?
43. Kukun to'ldirgichlarning xususiyatlari?
44. Disperslikning materiallar xossalriga ta'siri?
45. Alyuminiy asosli kompozitsion materiallar, qo'llanish sohasi?
46. Nikel asosli kompozitsion materiallar, qo'llanish sohasi?
47. Qanday materiallar polimer asos sifatida qo'llaniladi?
48. Shishatekstolitlarning xususiyatlari?
49. To'ldirgichlarni materiallarning xossalriga ta'siri qanday?
50. Polimer asosli kompozitsion materiallarning qo'llanish sohasi?
51. Shaklning mexanik xotira effekti degani nima?
52. Shaklning mexanik xotira effektini shakllashda beriladigan ishlov?
53. O'z- o'zidan shakl tiklash mexanizmi qanday?
54. Monokristallarning xususiyatlari qanday?
55. Monokristallarni olish usullari?
56. Qanday monokristall qotishmalar mavjud?
57. Nanostrukturalli kremnezyom olishning ftorid usuli?
58. O'ta qattiq materiallarning xususiyatlari?
59. Olmos va kub bo'r nitridi asosida olinadigan asbobsoz materiallarning xususiyatlari?
60. PKAdan tayyo'rlanadigan kesuvchi asboblarni qo'llanishning istiqbollari?
61. Funksional keramika qanday xossalarga ega?
62. Keramikaning shaffofligiga qanday faktorlar ta'sir etadi?
63. Funksional keramikaning qo'llanish sohasi?

- 64. Olovbardosh po'latlarning xususiyatlari qanday?
- 65. Olovbardosh po'latlarning asosiy legirlovchi elementlari, ularni xossalarga ta'siri qanday?
- 66. Silxrom, xromalya, silxromalya degani nima?
- 67. Issiqbardosh po'latlarning xususiyatlari qanday?
- 68. Austenitli po'latlarning martensitlilaridan farqi nimada?
- 69. Nikel asosli qotishmalar, xossalari, qo'llanish sohasi?

1. <http://rusnano.com/Rubric.aspx.RubricId>
2. <http://apicentr.ru/wordpress>.
3. http://www.Nanometer.ru/2007/05/31/nanotehnologicheskaya_iniciativa_bessmertie_ossia.html.
4. <http://www.vz.ru/.../189654.htm>.
5. Андриевский Р.А., Рагуля А.В. Наноструктурные материалы. Уч. пособие. –М.: Издательский центр «Академия», 2005, 192 с.
6. Фейнман Р.Ф. Внизу полным-полно места: приглашение в новый мир физики. // Российский химический журнал, 2002, Т.XLVI, №5, 4-6 с.
7. Андриевский Р.А. Наноструктурные материалы – состояние разработок и применение. // Перспективные материалы, 2001, №6, 5–11 с.
8. Головин Ю.И. Введение в нанотехнологию. – М.: Изд-во «Машиностроение –1», 2003, 112 с.
9. Gleiter H. Nanostructured materials: basic concepts and microstructure.// Acta mater. 2000. V.48. P.1-29.
10. Алымов М.И. Механические свойства нанокристаллических материалов. – М.: МИФИ, 2004, 32 с.
11. Алымов М.И., Зеленский В.А. Методы получения и физико-механические свойства объемных нанокристаллических материалов. - М.: МИФИ, 2005, 52 с.
12. Новые материалы. Под ред. Ю.С. Карабасова – М.: МИСИС, 2002 – 736 с.
13. Гусев А.И., Реммель А.А. Нанокристаллические материалы.- М.: Физматлит, 2000, 224с.
14. Помогайло А.Д., Розенберг А.С., Уфлянд И.Е. Наночастицы металлов в полимерах. –М.: Химия, 2000, 672с.

15. Валиев Р.З., Александров И.В. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией. –М.: Логик, 2000, 272с.
16. Roco M. C. J. Nanoparticle Res., 2001, v. 3, №5–6, 2001, p. 353–360.
17. NSTC, National Nanotechnology Initiative and Its Implementation Plan, Washington, D.C., 2000.
18. Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology. Eds.M. C. Roco, W. S.Bainbridge Dordrecht: Kluver Acad. Publ., 2001.
19. NSTC, National Nanotechnology Initiative and Its Implementation Plan, Washington, D.C., 2002.
20. Алферов Ж.И. История и будущее полупроводниковых наноструктур// Физика и техника полупроводников, 1998, Т.32, №1, 3-18 с.
21. Песин А.М. Диссертационная работа доктора технических наук. Моделирование и развитие процессов асимметрического деформирования для повышения эффективности листовой прокатки. –Магнетогорск, 2013.
22. Optical and electronic properties of fullerenes and fullerene-based materials. - ed. by Shinar J., Vally Vardeny Z., Kafafi Z., New York: "Marcel Dekker", 2000, 392 p.
23. Gaevski M.E., Kognovitskii S.O., Konnikov S.G., Nashchekin A.V. et al., Two-dimensional photonic crystal fabrication using fullerene films. // Nanotechnology, 2000, №11, p. 270-273.
24. Shmidt N.M., Besyul'kin A.N., Kolmakov A.G., et al. EBIC Characterization of III-Nitride Structures Using Multifractal Parametrization. // Phys. Stat. Sol. (C), 2002. №1. P.457-460.
25. Ivanov S.V., Gladyshev A.G., Kamanin A.V., Kolmakov A.G., et al. Surface control of cooperative phenomena in nanostructured materials with quantum dots.// Phys.stat.sol.(c), 2005. V.2. №6. P.1912-1916.

26. Геллер Ю.А., Рахштадта А.Г. Материаловедение. Учеб пособие. – М.: Металлургия, 1989, 456 с.
27. Валиев Р.З., Александров И.В. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией. – М.: Логос, 2000, 272 с.
28. Андриевский Р.А., Рагуля А.В. Наноструктурные материалы. Уч. пособие. –М.: Издательский центр «Академия», 2005, 117с.
29. Iwama S., Mihama K. Nanometer-sized beta-Mn and amorphous Sb particles formed by the flowing gas evaporation technique // Nanostruct. Mater., 1995. V.6. №1-4. P.305-308.
30. Champion Y., Bigot J. Preparation and characterization of nanocrystalline copper powders // Scr. Met., 1996. V.35. №4. P.517-522.
31. Bykov Y., Gusev S., Ereemeev A. et al. Sintering of nanophase oxide ceramics by using millimetr-wave radiation // Nanostr. Mat., 1995. V.6. №5-8. P.855-858.
32. Ковалев А. И., Вайнштейн Д. Л., Карпман М. Г., Сайдахмедов Р.Х. Experimental verification of P-T-C diagrams for Ti—C and Zr—C PVD coatings and determination of free carbon state by AES, XPS, HREELS methods// 10th European Conference on Applications of Surface and Interface Analysis, 2004, 1174-1177 с.
33. Волков П.В. Метод локальной экспресс-оценки механических свойств поверхностных слоев машиностроительных материалов: Дисс... канд. техн. наук. –М.: МЭИ-ТУ, 2000, 166 с.
34. Troeger LP, Starke Jr. EA. Microstructural and mechanical characterization of a superplastic 6XXX aluminum alloy. Materials Science and Engineering. 2000;A277:102–13.
35. Hinrichsen J. The material down-selection process for A3XX, Key Note Address at the 19th European Conference on Materials for Aerospace Applications: Confederation of European

Aerospace Societies (CEAS) Munchen, Germany, 6–8 December 2000.

36. Starke Jr. EA. Aerospace materials for future technologies. Journal of the Japan Institute of Light Metals 2001; 51:77–85.

37. Lu.tjering G, Williams JC. Titanium. Berlin: Springer-Verlag, 2003.

38. Saleeb, A. F., Arnold, S. M., Castelli, M. G., Wilt, T. E., and Graf, W. ~2001!. “A general hereditary multimechanism-based deformation model with application to the viscoelastoplastic response of titanium alloys.” *Int. J. Plast.*, 17, 1305–1350.

39. Каблов Е.Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 7-17

40. Каблов Е.Н., Ломберг Б.С., Оспенникова О.Г. Создание современных жаропрочных материалов и технологий их производства для авиационного двигателестроения //Крылья Родины. 2012, №3-4, 34 с.

41. Ломберг Б.С., Бакрадзе М.М., Чабина Е.Б., Филонова Е.В. Взаимосвязь структуры и свойств высокожаропрочных никелевых сплавов для дисков газотурбинных двигателей //Авиационные материалы и технологии, 2011, №2, 25-30 с.

42. Каблов Е.Н., Петрушин Н.В., Елютин Е.С. Монокристаллические жаропрочные сплавы для газотурбинных двигателей //Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Машиностроение», 2011, №SP2, 38-52 с.

43. Каблов Е.Н., Герасимов В.В., Висик Е.М., Демонис И.М. Роль направленной кристаллизации в ресурсосберегающей технологии производства деталей ГТД //Труды ВИАМ, 2013, №3, Ст. 01 (viam-works.ru).

44. Каблов Е.Н., Оспенникова О.Г., Вершков А.В. Редкие металлы и редкоземельные элементы - материалы современных и

будущих высоких технологий //Труды ВИАМ, 2013, №2, Ст. 01 (viam-works.ru).

45. Базылева О.А., Аргинбаева Э.Г., Туренко Е.Ю. Жаропрочные литейные интерметаллидные сплавы //Авиационные материалы и технологии, 2012, №S, 57-60 с.

46. Kablov E.N., Muboyadzhyan S.A. Heat-resistant coatings for the high-pressure turbine blades of promising gtes //Russian metallurgy (Metally). 2012. №1. P. 1-7.

47. Мубояджян С.А., Александров Д.А., Горлов Д.С. Нанослойные упрочняющие покрытия для защиты стальных и титановых лопаток компрессора ГТД //Авиационные материалы и технологии, 2011, №3, 3-8 с.

48. Матвеев П.В., Будиновский С.А., Мубояджян С.А., Косьмин А.А. Защитные жаростойкие покрытия для сплавов на основе интерметаллидов никеля //Авиационные материалы и технологии, 2013, №2, 12-15 с.

49. Каблов Е.Н. Азиакосмическое материаловедение //Все материалы. Энциклопедический справочник, 2008, № 3, 2-14 с.

50. Гутников С.И., Лазорак Б.И., Селезнёв А.Н. Стекланные волокна: Учеб. пособ. –М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2010, 53 с.

51. Бородулин А.С. Свойства и особенности структур стекланных волокон, используемых при изготовлении стеклопластиков //Материаловедение, 2012, №7, 34-37 с.

52. Баженов С.Л., Берлин А.А., Кульков А.А., Ошмян В.Г. Полимерные композиционные материалы. –Долгопрудный: «Интеллект», 2010, 352 с.

53. Мухаметов Р.Р., Ахмадиева К.Р., Чурсова Л.В., Коган Д.И. Новые полимерные связующие для перспективных методов изготовления конструкционных волокнистых ПКМ //Авиационные материалы и технологии, 2011, №2, 38-42 с.

54. Соколов И.И., Раскутин А.Е. Углепластики и стеклопластики нового поколения //Труды ВИАМ, 2013, №4 (viam-works.ru)

55. Bernardo E., Scarinci G., Hreglich S. Mechanical properties of metal-particulate lead-silicate glass matrix composites obtained by means of powder technology //J. of the European Ceramic Society. 2003, №23, P. 1819-1827.

56. Baron B., Chartier T., Rouxel T., Verdier P., Laurent Y. SiC particle reinforced oxynitride glass: Processing and mechanical properties //J. of the European Ceramic Society, 1997, №17, P. 773-780.

57. Jia Z., Zhang J., Jia C., Nie J., Chu K. Preparation and characterization of mechanical properties of carbon nanotube/45S5Bioglass composites for biologic applications //Materials Science and Engineering A, 2011, №528, P. 1553-1557.

58. Chatzistavrou X., Kantiranis N., Kontonasaki E., Chrissafis K., Papadopoulou L., Koidis P., Boccaccini A.R., Paraskevopoulos K.M. Thermal analysis and in vitro bioactivity of bioactive glass-alumina composites //Materials characterization, 2011, №62, P. 118-129.

59. Roether J.A., Boccaccini A.R. Dispersion-reinforced glass and glass-ceramic matrix composites /In: Handbook of ceramic composites. –Boston: Kluwer Academic Publishers, 2005, P. 485-511.

60. Boccaccini A.R. Continuous fibre reinforced glass and glass-ceramic matrix composites /In: Handbook of ceramic composites. – Boston: Kluwer Academic Publishers. 2005. P. 461-485.

61. Коган Д.И. Технология изготовления полимерных композиционных материалов способом пропитки пленочным связующими: Автореф. дисс. к.т.н. –М.: ВИАМ, 2011, 26 с.

Kirish.....	
I BOB. Nanotexnologiya to‘g‘risida umumiy tushunchalar	
1.1. Nanotexnologiya va nanomateriallar to‘g‘risida tushunchalar.	6
1.2. Nanomateriallarning turlari.....	10
II BOB. Nanostrukturalarning xususiyatlari	
2.1. Umumiy tasnif.....	14
2.2. Kompakt materiallardagi donachalar, qatlamlar, qo‘shimchalar va g‘ovaklar.....	20
2.3. Nuqsonlar, yuza qatlamlari (bo‘limlari), chegara segregatsiyalari	23
III BOB. Nanomateriallarning xossalari. O‘lcham effekti	
3.1. Umumiy tasnif.....	25
3.2. Nanomateriallarning mexanik xossalari.....	25
IV BOB. Nanomateriallarning texnologiyasi asoslari	
4.1. Umumiy xarakteristika.....	33
4.2. Kompakt materiallar texnologiyasi.....	33
V BOB. Nanomateriallarni tadqiqot qilishning asosiy usullari	
5.1. Elektron mikroskopiya usuli.....	48
5.2. Spektral tahlil usullari.....	54
5.3. Skanerlovchi zond usullari.....	57
VI BOB. O‘ta yengil qotishmalar	
6.1. Alyuminiy-litii qotishmalari. Qotishmalarning texnologik xossalari.....	63
6.2. Berilliy asosidagi qotishmalar. Umumiy ma’lumotlar. Berilliyning xossalari. Xomashyo olish. Berilliy qotishmalari va ularni qo‘llash sohasi.....	67
VII BOB. Kompozitsion materiallar	
7.1. Umumiy ma’lumotlar va klassifikatsiyasi.	73
7.2. Metallokompozitlar.....	75
7.3. Uglerod-uglerodli kompozitlar.....	80

7.4. Polimer asosli kompozitsion materiallar.....	86
7.5. Funksional keramika. Metallokeramika.....	94

VIII BOB. Maxsus xossalari qotishmalar

8.1. O'ta sof materiallar. Amorf holatdagi monokristall qotishmalar	99
8.2. O'ta qattiq asbobsoz materiallar. Bor nitridi. Olmos.....	105
8.3. Yuqori haroratli qotishmalar. Nikel va uning asosidagi qotishmalar.....	114

Kalit so'zlar	126
Nazorat savollari	127
Foydalanilgan adabiyotlar	130

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	
I Глава. Общие понятия о нанотехнологии	
1.1. Понятия о нанотехнологии и наноматериалах.....	6
1.2. Виды наноматериалов.....	10
II Глава. Особенности наноструктуры	
1.2. Общая характеристика.....	14
1.3. Зёрна, слои, примеси и поры в компактных (консолидированных) материалах.....	20
1.4. Дефекты, поверхностные слои, сегрегации границы ...	23
III Глава. Свойства наноматериалов. Эффект размерности	
1.5. Общая характеристика.....	25
1.6. Механические свойства наноматериалов.....	25
IV Глава. Технология получения наноматериалов	
4.1. Общая характеристика.....	33
4.2. Технология компактных материалов.....	33
V Основные методы исследования наноматериалов	
5.1. Метод электронной микроскопии.....	48
5.2. Методы спектрального анализа.....	54
5.3. Методы зондового сканирования.....	57
VI Глава. Сверхлёгкие сплавы	
6.1. Алюминий-литиевые сплавы. Технологические свойства сплавов.....	63
6.2. Сплавы на основе бериллия. Общие сведения. Свойства бериллия. Получение полуфабрикатов. Бериллиевые сплавы и область их применения.....	67
VII Глава. Композиционные материалы	
7.1. Общие сведения и классификация композиционных материалов. Матрицы и наполнители.....	73
7.2. Состав и свойства металлокомпозитов.....	75
7.3. Углерод-углеродные композиты.....	80

7.4. Композиционные материалы на полимерной основе	86
7.5. Функциональная керамика. Металлокерамика.....	94

VIII Глава. Сплавы со специальными свойствами

8.1. Сверхчистые материалы. Монокристаллические сплавы в аморфном состоянии.....	99
8.2. Сверхтвердые инструментальные материалы. Нитрид бора. Алмаз.....	105
8.3. Высокотемпературные сплавы. Никель и сплавы на его основе.....	114
Ключевые слова	126
Контрольные вопросы	127
Литература	130

Introduction.....	
Chapter I. General concepts of nanotechnology	
1.1. Concepts about nanotechnology and nanomaterial.....	6
1.2. The types of nanomaterial.....	10
Chapter II. Nanostructure peculiarities	
2.1. General reference.....	14
2.2. Grains, layers, dashes and interstices of consolidate materials.....	20
2.3. Malfunctions, surface layers, segregations of frames.....	23
Chapter III. Properties of nanomaterial. Dimension effect	
3.1. General reference.....	25
3.2. Mechanical properties of nanomaterial.....	25
Chapter IV. The technology of nanomaterial production	
4.1. General reference.....	33
4.2. The technology of consolidate materials.....	33
Chapter V. Main methods of nanomaterial research	
5.1. Methods of electron microscopy investigation.....	48
5.2. Methods of spectral analysis.....	54
5.3. Methods of probe scanning.....	57
Chapter VI. Superlight alloys	
6.1. Aluminum-lithium alloys. Technological properties of alloys.....	63
6.2. On the basis of beryllium alloys. General reference Properties of beryllium producing half-finished material. Beryllium alloys and the sphere of application.....	67
Chapter VII. Composite materials	
7.1. General information and composite materials classification. Matrix and fillers.....	73
7.2. Composition and properties of composite metals.....	75
7.3. Carbon composites.....	80

7.4. Composite materials on basis of polymer.....	86
7.5. Functional ceramics. Ceramic-metal.....	94

Chapter VIII. Alloys with special properties

8.1. Superpure materials. Single-crystal alloys in amorphous condition.....	99
8.2. Super hard tool materials. Boron nitride. Diamond.....	105
8.3. High temperature alloys. Nickel and alloys on the basis of nickel	114
Key words	126
Control questions	127
References	130

This image shows a single sheet of white paper with horizontal blue or grey ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are approximately 20 lines visible. The paper appears to be a standard notebook page or a sheet of stationery. There is no handwriting or other markings on the page.

YANGI MATERIALLAR

Toshkent – «Fan va texnologiya» – 2015

Muharrir:
Tex. muharrir:
Musavvir:
Musahhih:
Kompyuterda
sahifalovchi:

F.Ismoilova
M.Holmuhamedov
D.Azizov
N.Hasanova
Sh.Mirqosimova

**E-mail: tipografiyacent@mail.ru Тел: 245-57-63, 245-61-61.
Nashr.lits. AI №149, 14.08.09. Bosishga ruxsat etildi 20.08.2015.
Bichimi 60x84 $\frac{1}{16}$ «Timez Uz» garniturasini.
Ofset bosma usulida bosildi. Shartli bosma tabog'i 8,75.
Nashriyot bosma tabog'i 9,0. Tiraji 100. Buyurtma №116.**

**«Fan va texnologiyalar Markazining
bosmaxonasi» da chop etildi.
100066, Toshkent sh., Olmazor ko'chasi, 171-uy.**