

# Materialshunoslik

## 1 - Bob

### **Metallarning ichki tuzilishi. Metallar strukturasi. Kristallanish jarayonining mexanizmi va kinetikasi.**

Ma'ruzachi: ass. A.R.Baymirzaev

Mashinasozlik sanoatining rivojlanishi arzon, puhta, ishlatish qulay bo'lgan yangidan- yangi materiallarni izlab topish materiallarning hossalari yahshi bilgan holda ularni zaruriy yo'nalishda o'rganish talab qilinadi. Bu vazifani hal etish uchun "Materialshunoslik" fanini puhta o'rganishni ta'minlash zarur.

Materialning tarkibi, tuzilishi hamda hossalari o'rtasidagi amaliy bog'lanishlarni o'rganadigan fan materialshunoslik deb ataladi. Materialning tarkibi deganda shu materialning qanday elementlardan tuzilganligi tushuniladi.

Materialshunoslik fanining keyingi taraqqiyoti kimyo, fizika, mehanika kabiranlarning materiallarning ichki tuzilishini o'rganishda erishgan yutuqlaridadir. Keyingi yillarda materialshunoslik fanining muvaffaqiyati strukturani yaxshilash buyumlarning konstruksiyalarini yasashda materiallarni qaytaishlashning samarali usullarini foydalanish ham tokomillashib bormokda.

Materialshunoslik fanining asosiy vazirasi:

- materialning ichki tuzilishi va hossalari hamda ular orasidagi bog'lanishning nazariy asoslarini;
- materiallarning ichki tuzilishi, hossalari o'rganuvchi va aniqlovchi barcha asbob uskunalarni;
- mashinasozlik materiallari va ularning qotishmalarini qayta ishlash texnologik usullarini;
- konstruksion materiallarning xossalari, tuzilishlari bilan ularni ishlash usuli orasidagi bog'liqlik to'grisida bilim berish;

Nazariy va amaliy bilimlarga asoslanib, mashinasozlik detallari uchun materiallar tanlash usullari o'rgatishdan iboratdir.

Masalan, M.V.Lomonosov metallargahos hususiyatlarni va ulardan kutilgan hossali qotishmalarni olish yo'llarini ko'rsatgan bo'lsa, P.P.Anosov metallar hossalari struktura-siga bog'liqligini, legirovchi elementlarning qotishmalar hossalari ta'sirini, shuningdek kam uglerodli po'latlardan tayyorlangan detallarning ish muddatini uzaytirish uchun sirt yuza qatlamini ko'p uglerodli gaz muhitida uglerodga to'yintirishini, D.I.Mendeleev elementlarning davriy qonuniyati. Ular hossalari ichki tuzilishiga uzviy bog'liqligini, D.K.Chernov esa po'latlarning kritik nuqtalar vaziyati ularning tarkibidagi uglerod miqdoriga

bog'liqligini ko'rsatdi. Yuqorida qayd etilgan olimlardan tashqari bu ranning ayrim sohalari rivojlanishida M.K Kurakov (1878-1920y.y), M.S.Kurnakov (1860-1953 y.y), A.A.Bochvar (1870-1947y.y), E.O.Poton (1870-1953y.y.) va boo'shqalar ulkan hissa qo'shdilar.

Ingliz olimlaridan U.R.Austen (1843-1902y.y), G.Sorbi (1826-1908y.y), rransuz olimi R.Osmam (1849-1912y.y), nemis olimi A.Martens (1850-1914y.y) va boshqalarning hissalar katta.

Keyingi yillarda reaktiv, atom texnikasi va boshqa sohalarning yaratilishi va rivojlanishi natijasida agressiv muhitda, yuqori bosim va temperaturalarda ishlovchi, deyarli yuqori darajali puhta, korroziya bardoshlikka va plastiklikka ega bo'lgan metall qotishmalarga ehtiyoj ortib bordi. Bu esa yangi-yangi ilmiy markazlar laboratoriyalar tuzishga olib keldi.

Fanning rivojlanishida olimlarni hissalar kattadir. Rus olimi D.I.Mendeleyev 1869-yilda kimyoviy elementlarni davriy sistemasini yaratdi. U elementlarni davriy qonuniga quyidagicha ta'rif beradi.

“Oddiy jismlarning, shuningdek elementlar birikmalarining shakli hossalari elementar birikmalarni shakli va hossalari elementar atom og'irligining qiymatiga davriy ravishda bog'liq bo'ladi.”

M.B.Lomonosov metallarga hos xususiyatlarni va ulardan kutilgan hossalarni qotishmalarni olish yo'llarini aniqlagan

D.K.Chernov esa po'latlarni kiritik nuqtalar vaziyati ularning tarkibidagi uglerod miqdoriga bog'liqligini ko'rsatdi.

Sanoatning rivojlanishi mashinasozlikning yutuqlari ko'p jihatdan mustahkam, turg'un, yengil (ayniqsa, aviasozlikda) metall va nometall materiallarni yaratish va uni qo'llash bilan bog'liq.

Materialga qo'yilgan talablar uning ishlash sharoitiga bog'liq: mexanik yuklanishiga, haroratiga, tashqi muhitning ta'siriga va hokazo.

Masalan, traktorning ishqalanuvchi detallari abraziv ishqalanib yeyilishga chidamli bo'lishi lozim (ayniqsa, O'rta Osiyo sharoitida); paxta terish mashinasi shpindellari ham abraziv, ham kimyoviy yeyilishga chidamli materialdan yasalishi kerak; samolyot sinchlar (lonjeron, stringer va hokazo) statik mustahkam, katta birkirlikka ega materialdan yasaladi; aviadvigatel materialiga olovbardoshlik-issiqbardoshlik (650-850°C) talablari qo'yiladi; tovushdan tez uchadigan samolyotlarni ustki qavat (obshivka) 350-550°C da ishlaydigan yengil materiallardan yasaladi.

Shuni aytish kerakki, hozirgi zamon mashinalarida kompozitsion materiallar (shular jumlasida “nanomaterial”lar ham) borgan sari keng qo'llanilmoqda. Bularning hajmi 5-10% dan 70-80% gacha yetmoqda. Kompozitsion materiallar ajoyib maxsus xususiyatlarga ega. Yuqori puxtalik; ishqalanib yeyilishga

chidamlilik; issiqlik va elektr tokini kam o'tkazishligi; kerak bo'lsa, o'ta o'tgazgich material olsa ham bo'ladi; kimyoviy turg'unlik, yorug'likni yaxshi o'tkazuvchanligi.

Umuman olganda, mashina detallari uchun u yoki bu materiallarni qo'llash konkret ish sharoitiga va albatta, iqtisodiy raqobat bardosh bo'lgan holda. Mashinalar (mexanizmlar) detallari har xil sharoitda ishlaydilar: aytaylik, dinamik kuchlanishlarga, har xil haroratda (past va yuqori); turli muhitlarda (ishqoriy, kislotaliy, neytral, aktiv gaz) va h.k. Mana shular ishlatilagan materiallarga talab qo'yadi. Bularning hammasi foydalanish texnologik iqtisodiy talablardan kelib chiqadi.

Foydalanish (ishlatish) talablarini materialni konstruksion mustahkamligini ta'minlaydi.

Materialni konstruksion mustahkamligi deb, uning kompleks xarakteristikasiga aytiladi: Bular mustahkamlik, ishonchlilik, uzoq muddatligi («долговечность») mezonlarining yig'indisidir. Foydalanish sharoitiga qarab materiallarning mustahkamlik mezoni tanlanadi.

Mashinasozlikda (ayniqsa, samolyotsozlikda) ishlatiladigan materiallar uchun materialning massa bo'yicha samaradorligi muhim ahamiyatga ega. Samaradorlik solishtirma (nisbiy) xarakteristikalar bilan baholanadi.

Solishtirma mustahkamlik:  $\sigma_c = \sigma / \rho g$ , bu yerda  $\sigma$ -material mustahkamligi,  $\sigma$ -kg/mm<sup>2</sup>,  $\rho$ -zichlik g/sm<sup>3</sup>,  $g=9,8$  erkin tushish tezlanishi.

Solishtirma bikirlik:  $\gamma_c = E / \rho \cdot g$ , bu yerda E-elasticlik moduli.

Texnologik talablar (materialning texnologikligi) detallarni va konstruksiyalarni tayyorlashda eng kam mehnat hajmini ta'minlashga qaratilgan, albatta zaruriy xossalarni ta'minlagan holda.

Zamonaviy mashinasozlik mahsulotlarini ishlab chiqarishda metallar va nometallardan keng qo'llanilib kelinmoqda. Temperatura pasaygan sari elektr o'tkazuvchailigi ortadigan, elektron o'tkazuvchanlika ega bo'lgan, bolg'alanuvchan, issiq o'tkazuvchan va yaltirok moddalar metallar deb ataladi.

Metallar D. I. Mendeleev elementlar davriy jadvalini chap qismida joylashgan. Metallar asosan qora va ranglilarga bolinib.

Mavjud konstruksion materiallar zaxirasini hosil qilish uchun ularni tejab ishlatish tizimining (strukturasi) xossalarga ta'sirini oshirish bilan birgalikda yangi xom ashyo turlarini izlab topish hamda ularning asosida konstruksion materiallarni ishlab chiqarish talabi qo'yilmoqda (plastmassalar, rezinalar, sellyuloza asosidagi materiallar, sopol va kompozitsion materiallar). Hozirda metall, polimer va sopol asosidagi kompozitsion materiallar texnikadagi muhim muammolarni echishga yordam berish bilan bir qatorda zamonaviy texnikaning rivojlanishini ham ta'minlaydi. Materiallarga bo'lgan ehtiyojni qondirish uchun yog'och, charm, jun,

ipak, oyna, kauchuk kabi materiallarning o'rnini bosa oladigan sun'iy materiallar ishlab chiqarilmoqda. Ular uchun neft mahsulotlari va gazni qayta ishlash natijasida olinadigan qo'shimcha mahsulotlar xom ashyo sifatida qo'llaniladi.

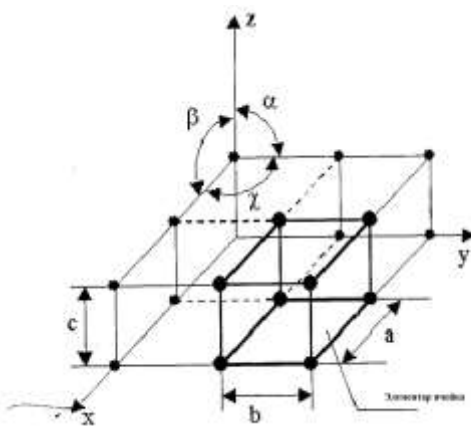
Nometall materiallarning afzalliklari ularning kimyoviy, fizik va mexanik xossalari talab darajasi mahsulotni murakkab shakllarda tayyorlanishida kam xarajatliligi va yuqori texnologikligi bilan uyg'unlikdadir. Metallarga nisbatan nometall materiallardan mahsulotlar tayyorlanishida mehnat sig'imi 5-6 marta kam va ular 4-5 marta arzondir. SHuning uchun nometall materiallarni mashinasozlikda, avtomobilsozlikda, aviatsiyada, oziq ovqat va boshqalarda ahamiyati o'sib bormoqda.

Keyingi yillarda reaktiv, atom texnikasi va boshqa sohalarning yaratilishi va rivojlanishi natijasida agressiv muhitda, yuqori bosim va temperaturalarda ishlovchi, deyarli yuqori darajali puhta, korroziya bardoshlikka va plastiklikkaega bo'lgan metall qotishmalarga ehtiyoj orta bordi. Bu esa yangi-yangi ilmiy markazlar laboratoriyalar tuzishga olib keldi.

## Metallarning ichki tuzilishi.

1. Materialdagi bir hil atomlarning kimyoviy jihatdan farqi bo'lmaganligi uchun ko'p sondagi atomlar potensial energiya eng kam holatni egallaydi, ya'ni tugunlarida atomlar yotgan kristall panjarani hosil qiladi. Real materiallarning hossalri kristall panjaraning turlariga bog'liq bo'ladi.

Kristall jism deb zarrachalarning jismdagi fazoviy joylanishning ma'lum bir geometrik tartibiga aytiladi. Odatda bunday joylashish aniq simmetriyaga ega bo'lish bilan bir qatorda uch qirrali jismni eslatadi. Kristallar uchta o'lchamda joylashgan atomlar tartibi bo'lib muvozanat sharoitida to'g'ri simmetriyaga ega bo'lgan ko'p qirrali jismdir. Kristal jismda zarrachalarning (atom, ion yoki molequla) uch o'lchami bo'yicha doimiy takrorlanishi (qaytarilishi) natijasida kristall panjara (yoki kristall to'r) hosil bo'ladi. Kristall panjarada zarrachalarning o'zaro tortishish va itarilish muvozaniti saqlanadi, bunda ichki potensial energiya ana shu muvozanatni saqlash uchun kerak bo'lgan eng kam qiymatga ega bo'ladi. Zarrachalarning kristall jismdagi bunday joylashish tartibi yuzlab, minglab kristall panjaralar sifatida qaytarilishi mumkin. Elementar kristall panjaralarining qirralari,  $a, b, c$  bilan belgilanadi va bu ko'rsatkichlar kristall davrini belgilaydi yoki qaytarilish vektori deb ham ataladi. Elementar katakchani harakteri yana koordinasion son, atomlar joylashishining zichlik koeffisienti degan tushinchalga ham bog'liq. Kristall jismlarda Kristal panjaraning turli atomlarining o'zaro joylashishiga qarab har hil bo'ladi.



Rasm 1 Kristallik panjara sxemasi.

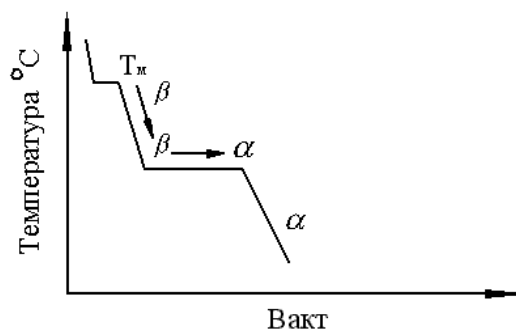
2. Ba'zi metallar Fe (temir), Ni (nikel), Zn (ruh), Ti (titan), Ca (kaltsiy) va boshqalar bosim o'zgarishi bilan bir kristal strukturadan (panjaradan) ikkinchi struktura (panjaraga) o'tadi. Bu jarayon **polimarfizm** (allotropiya) hodisasi deb, metallarni har xil sharoitda har xil strukturaga egaligi dilan belgilanadi.

Allotropiya ba'zi kimyoviy elementlar o'zgarish bosimda temperaturasi o'zgarganda hossalari turli bo'lishini anglatadi. Allotropik o'zgarish vaqtida issiqlik ajralib chiqadi yoki yutiladi. Bir metallni har xil alpotrolik formalarini grek alfaviti bilan belgilanadi ( $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ ). Temirni qizdirish hosil bo'luvchi modirikasiyalar ( $Fe_{\delta}, Fe_{\alpha}, Fe_{\beta}, Fe_{\gamma}$ ) o'ziga hos kristal panjaralarga, atomlar aro oraliqlarga va boshqa ko'rsatkichlarga egaligi sababli hossalri ham turlicha.

1-jadval

Element	Polimorf ko'rinishi	Harorat oralih'i, °C	Kristall tuzilishi
Fe	$\alpha$	0-911 va 1392-1539	K8
	$\beta$	911-1392	K12
Co	$\alpha$	0-450	$\Gamma$ 12
	$\beta$	451-1480	K12
Si	$\alpha$	0-18	K6
	$\beta$	18-232	T8
Ti	$\alpha$	0-882	$\Gamma$ 12
	$\beta$	883-1660	K8
Mn	$\alpha$	0-700	K6
	$\beta$	701-1079	K6
	$\gamma$	1078-1143	T12
	$\delta$	1144-1244	K8

Bir qator hollarda temperatura va bosimning o'zgarishi bilan ayni bir metallning kristallik panjarasi ham o'zgaradi, ya'ni u qayta kristallanadi.



Rasm 2. Harorat o'zgarishi bilan kristallik panjaraning o'zgarishi

Temirning kristall panjarasi hajmi markazlashgan kub bo'lishi ham, yoqlari markazlashgan kub bo'lishi ham mumkin. (Rasm2)

Qayta kristallanish vaqtida o'zgarmas temperaturada issiqlik yutadi, bu qizdirilganda. Sovitilganda esa, nazariy jihatdan olganda, qizdirilgandagi kabi o'zgarmas temperaturada issiqlik ajralib chiqadi.

**Temirning kristallanishi.** Toza temir  $t_{erish} = 1539^{\circ}C$ .

Qotayotgan temirda har bir kritik nuqtada allotropik o'zgarish bo'ladi.

Temir  $1539^{\circ}C$  dan pastda kristallana boshlaydi, natijada hosil bo'lgan kristall panjara turi markazlashgan kub katakcha (K8) shaklida bo'ladi. Demak,  $1392^{\circ}C$  dan  $1539^{\circ}C$  gacha K8 shaklida  $\delta$  — modifikatsiya) bo'ladi. Sovish harorati  $1392^{\circ}C$  ga etganda kristall katakchani shakli uzgaradi (K8dan K12ga), ya'ni polimorf o'zgarish ro'y beradi. Harorat  $911^{\circ}C$  gacha pasayganda yana polimorf o'zgarish ro'y beradi (K12 dan K8ga). YOqlari markazlashgan (K12) kub katakcha yana markazlashgan kub katakchaga (K8) o'tadi. YOklari markazlashgan kub katakcha temirning  $\gamma$  — modifikatsiyasi deyiladi,  $911^{\circ}C$  dan kichik haroratda hosil bo'lgan markazlashgan kub katakcha esa  $\alpha$  — modifikatsiya deb ataladi. Demak, qizdirilganda ham xuddi shu jarayon kaytariladi ( $\alpha \rightarrow \gamma \rightarrow \delta$ ),  $\alpha$  hamda  $\delta$  modifikatsiyalarning kub katakchalari shakli bir xil bo'lganligi uchun  $\delta$  — modifikatsiyani yuqori haroratli  $\alpha$  — modifikatsiya deb ham ataladi.

**768<sup>0</sup>C da** yuz beradigan izotermik jarayon temirdagi polimorf o'zgarishlarga alokddor emas. Harorat  $768^{\circ}C$  bo'lganda, temir atomining atrofidagi  $\alpha$  — qobiqda elektronlar jufti hosil bo'ladi, lekin kristall panjara turi o'zgarmaydi (K8). Elektron qobig'idagi bunday o'zgarish temirning magnit xossalari o'zgarishiga olib keladi. SHuning uchun ham temir **768<sup>0</sup>C dan pastda ferromagnit** va **768<sup>0</sup>C dan yuqori haroratda esa paramagnit xossasiga ega**, (faqat temir emas, balki boshqa elementlar ham yuqori haroratda o'zining magnit xossalarini o'zgartiradi (nikel, kobalt va h.k.). Elementlarning magnit xossalarini yo'kotish xususiyatlari izotermik jarayon bo'lib, bu izotermik haroratlar P. Kyuri nuqtasi deb ham ataladi. Metallardagi magnit xossalarining o'zgarishi ferromagnit xossalariga ega bo'lgan element atomlarining tashqi qobigidagi elektronlar tuzilishining o'zgarishini

bildiradi. Demak, yuqori haroratda yo'qotilgan magnit xossalari metall sovutilganda yana asta-sekin tiklanadi, magnit o'zgarish izotermik haroratdan pastda metall yana ferromagnit xossaga ega bo'lib ko'ladi. Polimorf o'zgarish magnit o'zgarishi bilan bir xil emas va ular bir-birlariga bog'lik, ham emas. Masalan, temir uchun  $\alpha$ —modifikatsiyaga o'tish  $911^{\circ}\text{C}$ da, magnit o'zgarishlari esa  $768^{\circ}\text{C}$ da sodir bo'ladi, kobalt elementini  $\alpha$  va  $\beta$  modifikatsiyaga o'tishi esa  $450^{\circ}\text{C}$ da, magnit o'zgarishi esa  $1000^{\circ}\text{C}$  dan yukorida sodir bo'ladi. Metallardagi polimorf o'zgarishlar faqat o'zgarmas harorat oraligigagina bog'lik, bo'lmasdan, balki yuqori bosim ta'sirida ham allotropik shakl o'zgarishi sodir bo'lishi mumkin. Masalan, bosim ostidagi polimorf o'zgarishlarni texnikada qo'llanilishiga yorqin misol qilib sun'iy olmos olish jarayonini ko'rsatish mumkin. Uglrod yuqori atmosfera bosimi ostida ( $10^4$  M Pa) va yuqori harorat ta'sirida olmos modifikatsiyasiga o'tadi. Sun'iy olmos esa texnikaning turli jabhalarida juda keng qo'llaniladi.

Bosim o'zgarishi bilan alpotrolik o'zgarish bo'lishi mumkin. Bunga uglrod misol bo'ladi: past haroratda grafit hosil bo'ladi; yuqori haroratda – olmos.

Polimorfizm hodisasini ishlatib termik ishlash yordamida qotishmalarni puxtalash (mustahkamlash) va yumshatish mumkin.

Kristall panjarada eng yaqin masofada turgan atomlar soniga shu kristall panjaraning kordinasion soni deb ataladi va u «K» harfi bilan belgilanadi. Masalan:

- oddiy kub katakning kordinasion soni K6,
- markazlashgan kub katakchaniqi K8,
- yoqlari markazlashgan kub katakniki esa K12,
- atomlari zich joylashgan geksogonal katakniki G12
- oddiy tetraganal katakniki T6 deb belgilanadi.

Kristall panjara turlari 14 bo'lsa ham ko'pchilik metallar uchun 4 ta turdagi elementar katakcha, ya'ni oddiy, markazlashgan hamda yoqlari markazlashgan kub katakchalar va geksogonal katakcha turlari ko'p uchraydi.

3. Ideal hamda real jismlar degan tushuncha mavjuddir. Biz ideal kristal panjara haqida fikr yuritdik. Hakikatda esa kristall panjara tugunlarining ba'zilarida atom bo'lmasdan, tugun bo'sh qolishi mumkin yoki kristall panjara atomlari orasiga ortiqcha atom joylashishi ham mumkin. Bunday hol kristall panjaraning nuqsoni deyiladi. Atomlarning hajmda joylashishi esa panjaraning nuqsonli tuzilishi deb ataladi. Real kristall panjaralar anashunday nuqsonli tuzilishga ega.

4. Kristall panjaraning nuqsonli tuzilishi jismning hossalari belgilaydi. Nuqson o'lchamlarga ega bo'lib:

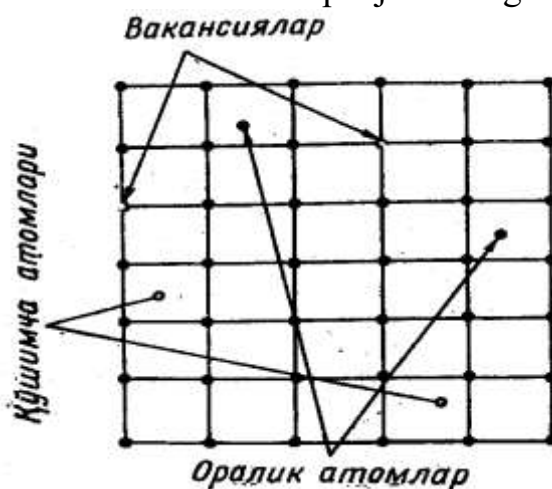
- nuqtali,
- chiziqli

- *sirtki*

nuqsonlarga bo'linadi. Bunday nuqsonlar kristall panjaradaeng ko'p uchraydi. Kristall panjara tugunlaridi atom o'rni bo'sh (vakansiya) yoki atomlar orasiga o'zga atomning siqilib kirib qolishi (singdirilgan atom). Vakansiya istalgan kristall panjarada uchrasa, singdirilgan atom esa zichligi kamrok bo'lgan kristall panjarada uchraydi.

5. Metallarning kristallari tuzilishidagi nuqsonlar, odatda, uch guruxga bo'linadi.

- **Nuqtaviy nuqsonlar.** Ulchamlari uch yunalishning hammasida ham kichik bo'lgan nuqsonlar **nuqtaviy nuqsonlar** deyiladi. Bunday nuqsonlar jumlasiga vakansiyalar, ya'ni kristall panjafaning bo'sh joylari, oraliq atomlar-tugunlar oralig'iga siljigan atomlar metall kristall panjarasi tugunlaridagi atomlar o'rnini



olishi ham, panjara tugunlari oralig'iga kirib borishi ham mumkin.

Rasm 3. Kristall panjaraning nuqtaviy nuqsonlari

Uchala holda ham asosiy metallning kristall panjarasi o'zining muntazam geometrik tuzilishini o'zgartiradi, ya'ni panjarada nuqsonlar hosil bo'ladi.

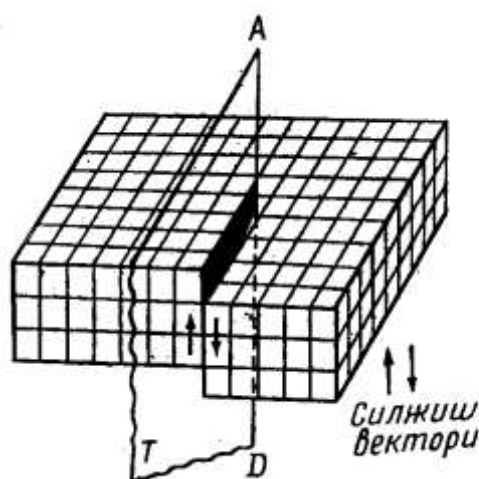
Vakansiyalar yoki oraliq atomlar temperatura ko'tarilib, kristall tebranish amplitudasi kuchayishi natijasida hosil bo'ladi.

2. **Chiziqli nuqsonlar.** O'lchamlari faqat ikki yonalishdagina kichik bo'ladigan nuqsonlar **chiziqli nuqsonlar** deyiladi. Chiziqli nuqsonlarning eng muhim turi dislokatsiyalardir; vakansiyalarning va boshqa nuqtaviy nuqsonlarning zanjirlari ham chiziqli nuqsonlar jumlasiga kiradi.

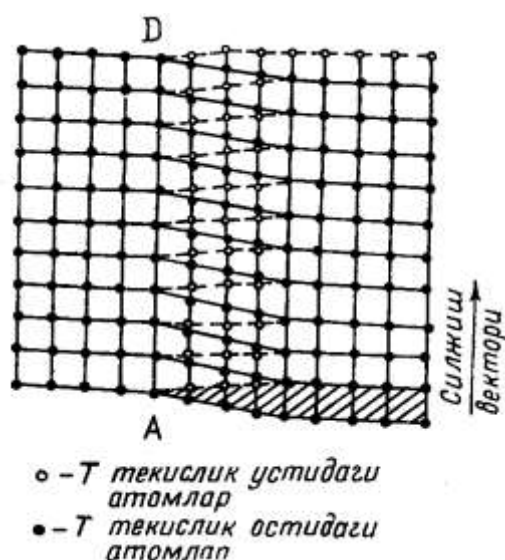
3. **Sirt (tekislik) nuqsonlar.** O'lchamlari faqat bir yo'nalishdagina kichik bo'lgan nuqsonlar **sirt nuqsonlar** deyiladi. Sirt nuqsonlar jumlasiga bloklar orasidagi va donalar orasidagi chegaralar yoki qo'sh chegaralar, qattiq fazalar orasidagi chegara sirtlar va boshqalar kiradi. Bunday hollarda nomukammal soha sirt bo'ladi.



Bunday qilinganda atomlarning gorizonta tekisliklari bir qadar egiladi va ulardan har birining



**Rasm.** Burama dislokatsiya hosil bo'lish sxemasi



**Rasm.** Burama dislokatsiyali kristallarning tuzilish sxemasi cheti shu tekislikka engyakin tekislikning cheti bilan tutashadi. Natijada, kristallning shakli vint bo'yicha buralgan bitta sirpanish tekisligidan hosil bo'lgandek ko'rinadi.

Hosil bo'lgan bu dislokatsiya burama dislokatsiyadir. Burama dislokatsiyali kristallning tuzilish sxemasi rasmda tasvirlangan. AD chiziq **burama dislokatsiya o'qi** deyiladi. Bu o'q siljish vektoriga paralleldir.

**Dislokatsiyalarning surilishi.** Dislokatsiyalar ikki yo'l bilan surilishi mumkin; bulardan biri sirpanish yo'li bilan surilish bo'lsa, ikkinchisi diffuziya yo'li bilan surilishdir.

**Dislokatsiyalarning diffuziya yo'li bilan surilishi.** Siljish vektoriga perpendikulyar bo'lgan dislokatsiyalargina diffuziya yo'li bilan suriladi. Dislokatsiyalarning bunday surilishi uchun kristall panjarada atomlarning va nuqtaviy nuqsonlarning anchagina siljishi kerak. Dislokatsiyaning diffuziya yo'li bilan surilish protsessi ekstra tekislikning o'sishi yoki qisqarishi hisobiga bo'radi. Masalan, atomlar panjara tugunlaridan ekstra tekislik chetiga (dislokatsiyaga) diffuziyalansa, shu atomlar urnida vakansiyalar hosil bo'ladi, buning natijasida esa ekstra tekislik o'sadiva, aksincha, ekstra tekislik chetiga vakansiyalar diffuziyalansa, ya'ni uyerdan atomlar ketsa, ekstra tekisli kqisqaradi. Bu ikkala holda ham dislokatsiya suriladi. Oralik atomlarning (nuqtaviy nuqsonlarning) dislokatsiyaga diffuzilanishi natijasida ham dislokatsiya suriladi, bunda nuqtaviy nuqsonlar yo'qoladi.

## **Metallar strukturasi. Kristallanish jarayonining mexanizmi va kinetikasi.**

Mashinasozlikda toza metallar ishlatilmaydi hisob. Chunki, ularni olish texnologiyasi ancha murakkab, qimmat va ulardan foydalanish davrida ish berish xossalari yetarli emas.

Shuning uchun asosan ularning qotishmalari ishlatiladi.

Metallik qotishma-bu makro bir xil tizim, qaysiki, metallardan, hamda metall va nometallardan tashkil topgan; metallik xossalarga ega.

**Tizim**- qattiq, suyuq yoki gaz holatdagi jismlarning yig'indisi. Tizim oddiy va murakkab bo'lishi mumkin. Oddiy tizim 2,3 tashkil etuvchilardan – Komponentlardan iborat. Murakkab tizim komponentlari ko'p bo'ladi.

**Komponent**- bu tizimning mustaqil tashkil etuvchisi.

Qotishmaning xossalari fazalarning holati va nisbati bilan aniqlanadi. Fazalar komponentlarining o'zaro ta'siri natijasida hosil bo'ladi.

**Faza** – tizimning fizik va kimyoviy bir xil qismi. Fazalar qattiq, suyuq va gazsimon bo'lishi mumkin.

**Variantlik (s)**- bu erkinlik darajasi soni, yani, ichki va tashqi (harorat, bosim to'plami, kontsentratsiyasi) faktorlar soni. Bularni fazalar miqdorini o'zgartirmasdan o'zgartirish mumkin.

Agar variantlik  $S=1$  bo'lsa (monovariantli tizim), fazalar sonini o'zgartirmasdan ma'lum chegarada faktorlardan birini o'zgartirish mumkin.

Agar variantlik  $S=0$  bo'lsa (nonvariant tizim), tizimdagi fazalar sonini o'zgartirmasdan tashqi faktorlarni o'zgartirish mumkin emas.

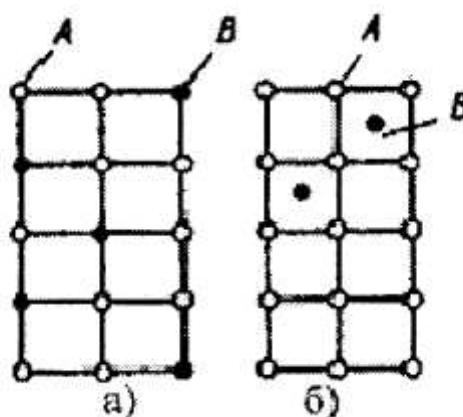
Fazalar quyidagilar: komponentlar, kimyoviy birikmalar, qattiq va suyuq eritmalar hamda parlar (bug'lar).

**Qattiq eritma** – bu faza 2 va undan ortiq komponentlardan tuziladi.

Komponentlardan biri baza (matritsa) bo'lib o'z kristallik panjarasini saqlaydi va erutuvchi hisoblanadi. Qolgan komponentlar erutuvchi kristallik panjarasiga joylashadilar. Bu komponentlarni eruvchi deb ataladi. Qattiq eritma 2 xil bo'ladi: siqilib kirgan qattiq eritma va o'rin almashuv eritma.

**O'rin almashuvli qattiq eritma.** Bunda erituvchi komponent kristallik panjarasidagi qisman atomlari o'rnini eruvchi komponent atomlari egallaydi.(rasm )

**Siqilib kirgan qattiq eritmada** eruvchi komponent atomlari erituvchi komponent kristallik panjarasidagi uzellar orasiga joylashgan bo'ladi (rasm ).



Rasm O‘rin almashuvchi (a), siqilib kirgan (b) qattiq eritmalar kristallik panjaralari.

### Mexanikaviy aralashma

Ma‘lum komponentlarning kristallari bir-birlari bilan mexanikaviy aralashadi.

**Mexanikaviy aralashma** toza metallar kristallaridan tashkil topgan bo‘lishi mumkin. Suyuq eritma fazalar aralashmasi **evtektika** deyiladi. Qattiq eritma fazalar aralashmasi **evtektoid** deyiladi. Qotishmalar xossalari elementar zarralarning fazada joylashishiga, kimyoviy tarkibiga, kristallarning o‘lcham va formalariga bog‘liq.

Metall va qotishmalarning qurilish-tuzilish «mayda-chuydalarini» **struktura** tushunchasi ifodalaydi. Nozik, mikro va makrostrukturalar mavjud. Bular struktura tashkil etuvchillarini o‘lchamlariga bog‘liq. Material strukturasi quyidagi usullar bilan tekshiriladi-o‘rganiladi: elektronografik, rentgenospektral, rentgenografik, mikraskopik, makraskopik va h.k.

Makraskopik o‘rganishda metall va qotishmalarni qurilishi qurollanmagan ko‘z bilan yoki ozgina kattalashtirib «lupa» vositasida o‘rganiladi.

O‘rganilayotgan yuzadan oldindan tayyorlanadi: jilvirlanadi va maxsus reaktivda xurushlanadi («trovlenie»).

Har xil usullarda (quyma, bog‘langan, shtamplangan, jo‘valangan) olingan zagatovkalarini nuqsonlari va ularni yo‘q qilish usullari aniqlanadi.

Makro o‘rganishda quyidagilar o‘rganiladi: sinma («izlom») ko‘rinishi (plastik, mo‘rt), quyma metall zarrachalarining kattaligi formasi va joylashishi; metallarning buzuvchi nuqsonlarni (kirishish bo‘shlig‘i, gaz g‘ovaklari, darzlar, rakovinalar) metallning kimyoviy bir xil emasligi (kristallanish, termik ishlash, kimyoviy termik ishlash davrida); deformatsiyalangan metallning tolalari.

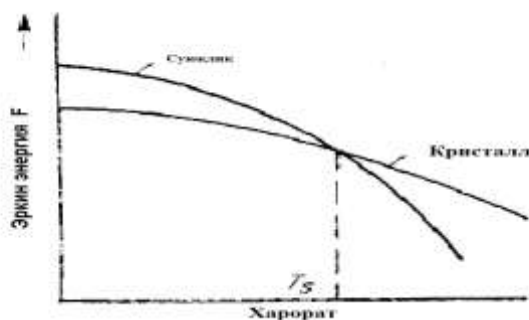
Qattiq jismlarni atom-kristallik qurilishlarini o‘rganish uchun **rengenografik** usul qo‘llaniladi. Bu usul bilan kimyoviy tarkib bilan struktura va jism xossalari orasidagi bog‘liqlikni, mikrokuchlanishlarni, nuqsonlar yig‘ilishlarini, dislokatsiyalar zichligini aniqlash mumkin. **Mikrostrukturali** analiz usuli – bu yuzani nurli mikraskop yordamida o‘rganishdir. Yuza 50-2000 marta kattalashtiriladi. 0,2 mkm o‘lchamida bo‘lgan struktura elementlarini ko‘rsatiladi.

Mikrostruktura usuli yorug‘likni yuzaga borib urilib qaytishiga asoslangani uchun namunalarda mikroschliflar yuzalari sayqallangan («palirovka» qilingan) yaltiroq bo‘lishi kerak. Mikro-darzlar va metall emas qo‘shimchalar kuzatiladi.

Yuza reaktivlar bilan xurushlanadi-ishlanadi, qotishma tarkibiga qarab. har xil fazalar har xil xurushlanadi va har xil ranglanadi. Zarrachalarni formalarini, o‘lchamlarini va yo‘nalishini – tutgan o‘rnini; ma’lum fazalarni hamda struktura tashkil etuvchilarni namoyon qilish mumkin.

### **Birlamchi kristallanish jarayoni mexanizmi va qonuniyati**

Jismlar to‘rtta agregat holatda bo‘lishi mumkin: qattiq, suyuq, gaz, plazma. Jism bir holatdan ikkinchi holatga o‘tishi mumkin, agar ikkinchi holat sharoitida yangi holat ko‘proq turg‘un (barqaror) bo‘lsa. Tashqi sharoit o‘zgarishi bilan erkin energiya murakkab qonuniyat bo‘yiga o‘zgaradi; suyuq va kristallik holat uchun har xil. Suyuq va qattiq holat erkin energiyalarning harorat ta‘sirida o‘zgarishi **rasm** da ko‘rsatilgan.



**Rasm** Erkin energiyaning haroratga qarab o‘zgarishi.

Termodinamikaning ikkinchi qonuniga binoan har qanday faza o‘zgarishi vaqtida sistemaning erkin energiyasi kamayadi, ya’ni sistema erkin energiyasi katta bo‘lgan beqaror holatdan erkin energiyasi kichik bo‘lgan barqaror holatga o‘tishga intiladi.

Erkin energiya  $F$  harfi bilan belgilanadi:  $F = U - T \cdot S$

bu yerda:  $U$  – sistemaning ichki energiyasi

$T$  – absolyut harorat

$S$  – entropiya.

Yuqoridagi grafikda suyuq va qattiq fazalar erkin energiyasining haroratga qarab o‘zgarish grafigi erkin energiya – harorat koordinatalarida ko‘rsatilgan. Bu diagrammada 1 - egri chiziq suyuq faza erkin energiyasini o‘zgarishini, 2 – chiziq esa qattiq faza erkin energiyasini o‘zgarishini ko‘rsatadi.  $T_s$  haroratda suyuq va qattiq faza erkin energiyalari barobar ( $F$  suyuq faza =  $F$  qattiq faza) bo‘ladi. Shuning uchun  **$T_s$  muvozanat** yoki **nazariy kristallanish harorati** deyiladi.

$T_s$  dan yuqori haroratda suyuq fazaning erkin energiyasi ( $F_s$ ,  $F$ ) kichik, ya’ni  $F_s$ ,  $F < F_{k.f}$ ; qattiq fazaning erkin energiyasi  $F_{k.f}$  esa katta.  $T_s$  dan past haroratda aksincha:  $F_s$ ,  $F > F_{k.f}$ . Binobarin,  $T_s$  dan yuqori haroratda modda suyuq holatda  $T_s$  dan past haroratda qattiq holatda bo‘lishi kerak.

Suyuq fazaning qattiq fazaga o‘tish jarayoni kristallanish markazlari hosil bo‘lishi va bu markazlarning o‘sishi yo‘li bilan boradi. Kristallanish markazlari soni qanchalik ko‘p va kristallarning o‘sish tezligi qanchalik katta bo‘lsa, suyuq faza qattiq fazaga shunchalik tez aylanadi.

Metall bir agregat holatdan boshqa bir agregat holatga o'tganda issiqlik ajralib chiqadi yoki yutiladi. Demak, bunday tizimni issiqlik hodisasi ro'y beradigan tizim deyish mumkin.

Suyuq modda (jism) sovitilganda  $T_s$  haroratida kristallanish jarayoni sodir bo'lmaaydi, chunki bunda  $F_s \cdot f = F_k \cdot f$ . Suyuq fazani kristallana boshlashi uchun tizimning erkin energiyasi kamayishi kerak. Teskarisi: qattiq fazaning (kristallning) suyuqlikka aylanishi uchun esa sistemaning erkin energiyasi ortishi kerak.

Suyuq fazaning  $T_s$  dan past haroratdagi sovishi **o'ta sovish** deb ataladi. Qattiq fazaning  $T_s$  haroratdan yuqori haroratgacha qizishi esa, **o'ta qizish** deyiladi.

Nazariy kristallanish (suyuqlanish) harorati bilan amaliy kristallanish (suyuqlanish) harorati orasidagi ayirma **o'ta sovish darajasi** deyiladi va  $\Delta T$  harfi bilan belgilanadi:

$$\Delta T = T_{\text{naz.kr}} - T_{\text{amal kr}} ;$$

$T_{\text{kaz.kr}}$  – nazariy kristallanish harorati.

$T_{\text{amal kr}}$  – amaliy kristallanish harorati.

O'ta sovish darajasi kattaligi metallning tabiatiga, uning tozalik darajasiga (qancha toza bo'lsa, shuncha o'ta sovish katta bo'ladi), sovitish tezligiga (sovitish tezligi ortirishi bilan o'ta o'ta sovish darajasi ham ortadi) bog'liq.

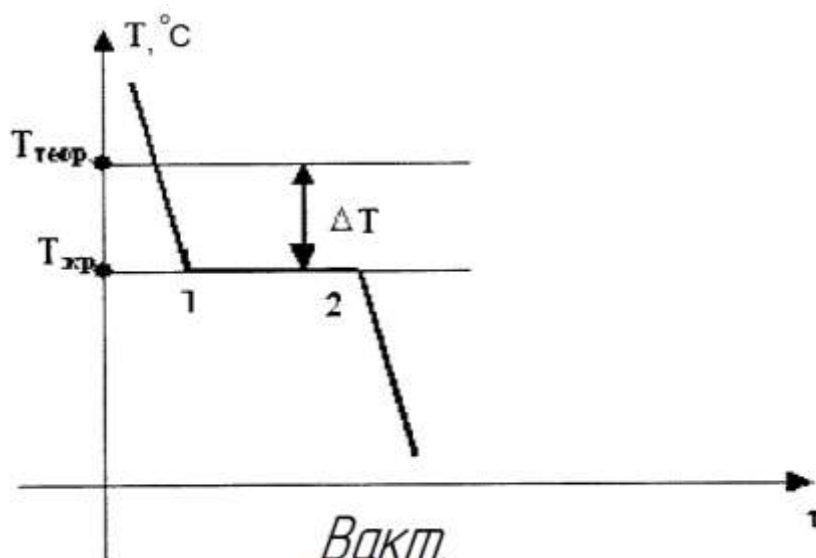
Masalan, surmaning nazariy kristallanish (suyuqlanish) harorati  $63^{\circ}\text{C}$  ga teng. O'ta sovish darajasi  $\Delta T = 41^{\circ}\text{C}$  ga yetishi mumkin. U holda amaliy kristallanish harorati  $63 - 41 = 590^{\circ}\text{C}$  ga teng.

Ko'pchilik metallar uchun kristallanish vaqtida o'ta sovish darajasi juda kichik.

**Kristallanish** - bu suyuq fazaga kristallik panjara yerlarini (uchastkalarini) hosil bo'lish jarayoni va hosil bo'lgan markazlardan kristallarning o'sishidir. Kristallanish tizim ko'proq termodinamik turg'un holatiga o'tish sharoitida o'tadi (eng kam energiya bilan).

Metallni suyuq holatdan kristallik holatga o'tish jarayonini vaqt- harorat koordinatalarida quyidagicha ko'rsatish mumkin.

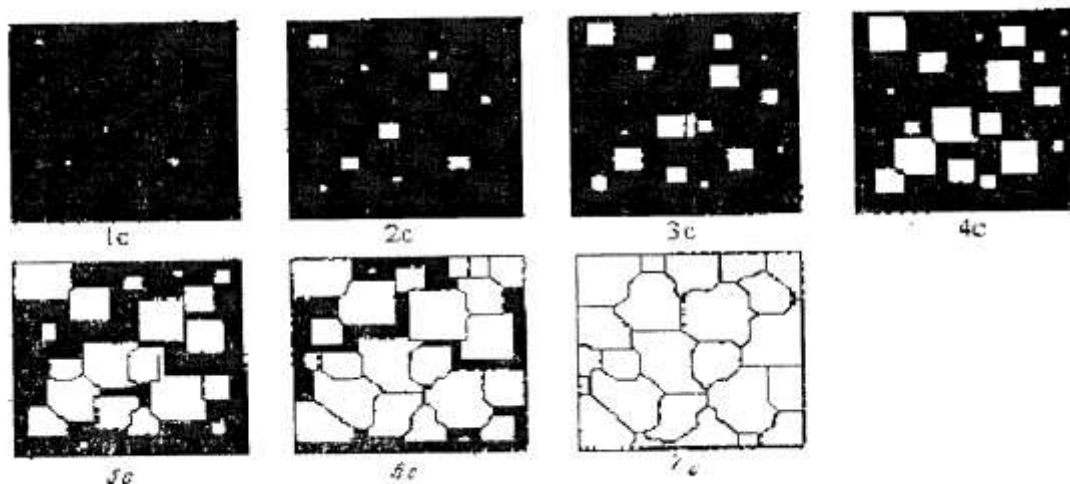
Nuqta 1 gacha metall suyuq holda soviydi, sovish jarayoni haroratni tekis pasayishi bilan kuzatiladi. 1-2 uchastkada kristallanish jarayoni boradi, issiqlik ajralib chiqadi. Bu issiqlikni **kristallanishni yashirin issiqligi** deb ataladi. Bu tashqi muhitga tarqaladi. Shuning uchun harorat o'zgarmay doimiy (1-2) turadi. Kristallanish to'la tugaganidan so'ng (nuqta 2), metall endi qattiq holatda soviydi.



**Rasm** Toza metalni sovitsish egri chizig'i.  $T_{\text{naz}}$  – nazariy kristallanish harorati.  $T_{\text{amal}}$  – amaliy kristallanish harorati.

Ma'lum haroratgacha sovitilganda suyuq metalda kristalliklar (mayda zarrachalar) hosil bo'la boshlaydi – bular **kristallanish markazlaridir** yoki tug'malaridir («zarodiyishi»). Bularni o'sishi uchun metallni erkin energiyasi kamayishi kerak; aks holda tug'malar erib ketadi.

Kristallanish jarayoni ikki bosqichdan iborat: 1 – kristallanish markazlarini hosil bo'lishi; 2 – kristallarni o'sishi (yuqorida hosil bo'lgan markazlar – tug'malar atrofida). Shuni aytish kerakki bu davrda yangi markazlar – tug'malar paydo bo'la boshlaydi. Kristallanish mexanizmi modeli quyidagi rasmda ko'rsatilgan.



**Rasm** Kristallanish jarayoni modeli.

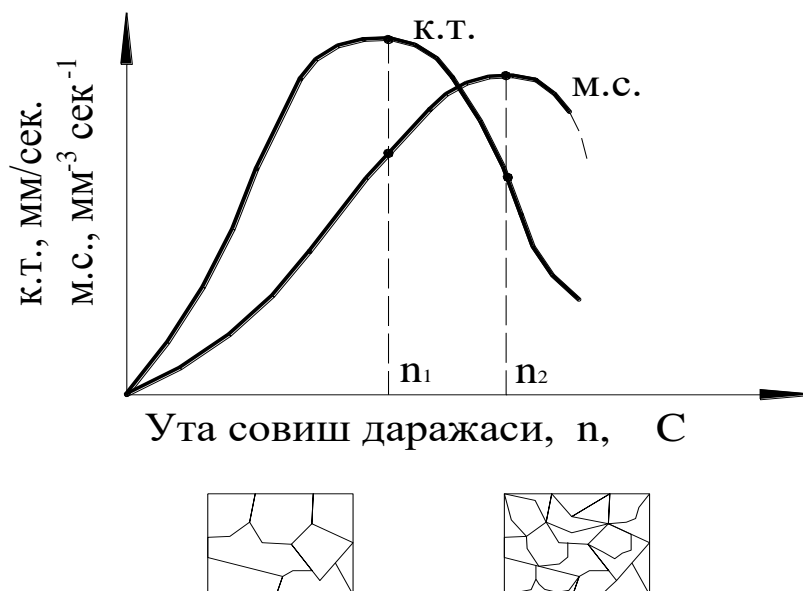
Hosil bo'lgan kristallanish markazlari yoqlaridan kristallar o'sa boshlaydi.

Shuni aytish kerakki kristallanish markazlari hosil bo'lishida suyuq metaldagi begona zarrachalar ham katta rol o'ynaydi. Kristallanish markazlari begona zarralardan ham hosil bo'ladi.

Dastlabki paytlarda kristallar o'z geometrik shakllarini saqlagan holda bemalol o'sadi. O'sayotgan kristallar bir-birlari bilan uchrashgan joyda o'sishdan

to'xtaydi va to'siqlar yo'q tomonga qarab o'sa boshlaydi. Geometrik shakl bo'ziladi. Bunday kristall donalar **kristallitlar** yoki **poliedrlar** deyiladi.

Quyida kristallanish o'sish tezligi va markazlar sonlarining o'ta sovish darajasiga bog'liqligi ko'rsatilgan.



**Rasm** Markazlar soni va o'sish tezligini o'ta sovish tezligiga bog'liqligi sxemasi.

**O'ta sovish** darajasi ( $n$ ) ortishi bilan,  $n$ -ning ( $M.S.$ ) qiymati maksimumga yetadi.

$n$  kichik bo'lganda  $K.T.$  va  $M.S.$  larning ortishiga sabab shuki, muvozanat temperaturasi ( $T$ )gi yuqori bo'lib, suyuq va qattiq fazolar erkin energiyalari farqi katta bo'ladi. Natijada, kristallanish tezlashadi.

$n$  ortishi bilan zarrachalar harakatlanuvchanligi pasayadi va  $M.S.$  va  $K.T.$  pasayadi.

Agar  $M.S.$  kup,  $K.T.$  kichik past bo'lsa ( $n$ ) hosil bo'ladi. Aksincha,  $M.S.$  kam,  $K.T.$  yuqori bo'lsa ( $n$ ) kristallar hosil bo'ladi.

" $n$ " juda kichik bo'lsa, muntazam geometrik shakldagi, kristallar hosil bo'ladi. " $n$ " bir kadar kattaroq bo'lsa, kristallar dendrit shaklini oladi. (kristallar, asosan fazoviy kristall panjaraning asosiy o'qlariga mos yo'nalishda o'sadi) " $n$ " ancha katta bo'lsa, sferoid shaklidagi kristallar hosil bo'ladi.

O'ta sovish darajasi ( $\Delta T$ ) ortishi bilan, uning qiymati  $t_1$  va  $t_2$  ga yetganda, kristallanish tezligining ( $k.m$ ) va markazlar sonining ( $m.s$ ) qiymatlari maksimalga yetadi.  $\Delta T$  kichik bo'lganda  $k.m$  va  $m.s$  larning ortishiga sabab shuki, muvozanat harorati ( $T_m$ ) yaqinida suyuqlikning harakatlanganligi yuqori bo'lib, suyuq va qattiq fazolar erkin energiyalari farqi katta bo'ladi. Natijada kristallanish tezlashadi.  $\Delta T$  ortishi bilan zarrachalar harakatlangani pasayadi va  $m.s$  va  $k.t$  lar pasayadi.

Agar m.s ko'p, k.t kichik bo'lsa, **mayda** kristallar hosil bo'ladi. Aksincha, m.s kam, k.m yuqori bo'lsa **yirik** kristallar hosil bo'ladi.

$\Delta T$  juda kichik bo'lsa, muntazam geometrik shakldagi kristallar hosil bo'ladi.  $\Delta T$  bir qadar kattaroq bo'lsa, kristallar **dendrit** shaklini oladi, ya'ni kristallar asosan fazaviy kristall panjaraning asosiy o'qlariga mos yo'nalishda o'sadi.  $\Delta T$  ancha katta bo'lsa, **sferoid** shaklidagi kristallar hosil bo'ladi.

Kristallanish jarayonini boshqarish mumkin. Shu yo'l bilan mayda zarrachali strukturani olish mumkin. Buning uchun suyuq metallarga qo'shimcha tashqi **moddalar** – **modifiqatorlar** qo'shiladi. Jarayon **modifikatsiyalash** – **takomillashtirish** deb ataladi.

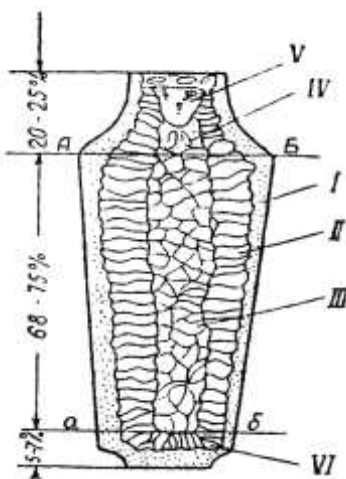
Modifiqatorlar ta'sir etish mexanizmiga qarab ikki xil bo'ladi.

1. Modda suyuq metalda erimaydi: qo'shimcha kristallanish markazi sifatida xizmat qiladi. (karbidlar, oksidlar)

2. Yuza aktiv moddalar; bular metallda eriydigan o'sayotgan kristallar ustiga o'tirib olib, uni o'sishiga to'sqinlak qiladi.

### Metall quymaning tuzilishi

Ishlab chiqarishda suyuq metall maxsus qoliplarga – izlojnitsalarga quyilib quymalar olinadi. Albatta, qolipning harorati suyuq metalnikidan ancha past. Suyuq metallning kristallanish sharoiti qolip ko'ndalang kesimi bo'yicha har xil bo'ladi. Quymaning makrostrukturasi xam, mikrostrukturasi xam, kimyoviy tarkibi xam, mexanik xossalari ham quymaning turish zonalarida har xil bo'ladi.



Rasm Po'lat quymaning tuzilish sxemasi.

Quyma strukturasi 3 zonadan iborat.

I - zona mayda donali zona, tartibsiz joylashgan mayda dendrit – kristallardan iborat. Suyuq metallning qolip devorlari tegib turgan joylarida sovish tezligi va o'ta sovish darajasi boshqa joylariga nisbatan ancha katta. Shuning uchun bu zonada **mayda dendrit** zarralari hosil bo'ladi. Hajm tomondan I - zona katta emas.

II - zona, **uzunroq kristallar** zonasi mavjud yo'nalishda - mayda donali zona (qobiq) tomon joylashgan kristallardan iborat. Bu zonada sovish tezligi pasayadi: 1

- zona issiqlik chiqishiga qarshilik ko'rsatadi. O'ta sovish darajasi pasayadi, demak, kristallar issiq chiqib ketish yo'nalishi bo'yicha uzunroq kristallar o'sa boshlaydi.

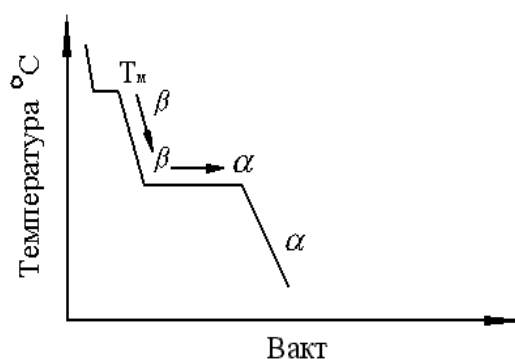
III - zona, teng o'qli kristallar zonasi **tartibsiz yo'nalgan yirik kristallardan** iborat. Issiqlik chiqib ketadigan yo'nalish yo'q, sovish tezligi eng past.

Quymaning eng zich zonasi ikkinchi zona, uning mexanik xossalari eng yuqori, ammo quyma bosim bilan ishlanganda uzunroq kristallarning tutashgan joylari plastik deformatsiyaga eng kam qarshilik ko'rsatadi va metall ana shu joylaridan yoriladi.

Qattiq holatdagi metallar kristall panjaralarining o'zgarishi **ikkilamchi kristallanish** yoki **qayta kristallanish** deb ataladi. Yuqoridagi o'zgarishlarga allotropiya hodisasi kiradi. Allotropiya temir, kalay, titan, marganets, kobalt va boshqa metallar orasida tarqalgan.

Barqaror – real mavjud bo'la oladigan panjara erkin energiya zapasi eng kam panjaradir. Masalan, qattiq holatda litiy, kaliy, tseziy, volfram va boshqalarning kristall panjarasi hajmi markazlashgan kub; beriliy, tsirkoniy va boshqa ba'zi metallariniki esa geksogonal panjaralaridir.

Bir qator hollarda temperatura va bosimning o'zgarishi bilan ayni bir metallning kristallik panjarasi ham o'zgaradi, ya'ni u qayta kristallanadi.



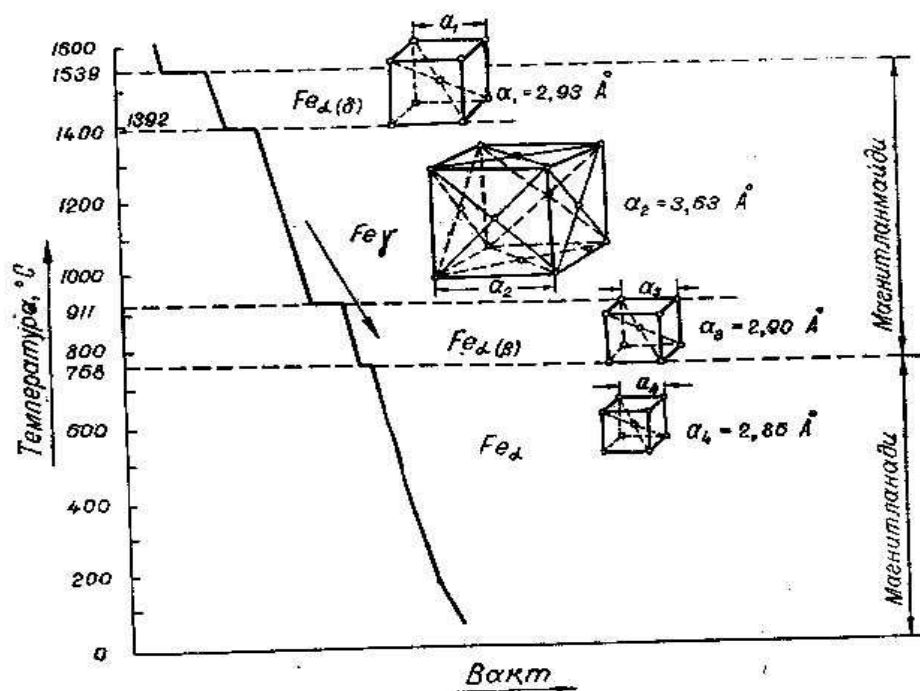
**Rasm** Harorat o'zgarishi bilan kristallik panjaraning o'zgarishi

Temirning kristall panjarasi hajmi markazlashgan kub bo'lishi ham, yoqlari markazlashgan kub bo'lishi ham mumkin. (**Rasm** )

Qayta kristallanish vaqtida o'zgarmas temperaturada issiqlik yutadi, bu qizdirilganda. Sovitilganda esa, nazariy jihatdan olganda, qizdirilgandagi kabi o'zgarmas temperaturada issiqlik ajralib chiqadi.

### **Temirning kristallanishi**

Toza temir  $t_{\text{erish}} = 1539^{\circ}\text{C}$ . Qotayotgan temirda har bir kritik nuqtada allotropik o'zgarish bo'ladi.



**Rasm** Haroratga qarab temirning kristallanishi

### Qotishmalarda hosil bo'ladigan likvatsiyalar

Quyunda qotish jarayonida suyuq faza tarkibining o'zgarishi natijasida qattiq qotishmada har xil tartibli joylar (zonalar) hosil bo'ladi. Bu hodisaga **likvatsiya** deyiladi.

Masalan, Pb-Sb tizimida dastlab ajralib chiqqan qo'rg'oshin kristallari bilan shu kristallar orasida joylashgan evtektik aralashma bir-biridan farq qiladi. Likvatsiyaning bu turi **kristallitlararo likvatsiya** deyiladi. Kristallitlararo likvatsiyani mikraskop ostida ko'rish mumkin.

Bunday likvatsiya evtektikagacha bo'lgan yoki evtektikadan keyingi qotishmalarning normal tuzilishini tashkil etadi. Agar evtektika qotishmaning hamma joyida ortiqcha faza bilan bir tekis joylashib kelsa, bunday qotishmaning tuzilishida nuqson bo'lmaydi.

Bunday qotishmalar hamma vaqt ham benuqson bo'lavermaydi. Ba'zan suyuq qotishmadan chiqadigan kristallar va qolgan suyuq faza suyuqlikning qota borishi davomida bir-biridan ajraladi, solishtirma og'irliklariga qarab bir-biri ustiga joylashib qoladi. Bunday qotishmalarda bo'ladigan likvatsiya **solishtirma og'irlik bo'yiga likvatsiya** yoki **qavatli likvatsiya** deb nomlanadi.

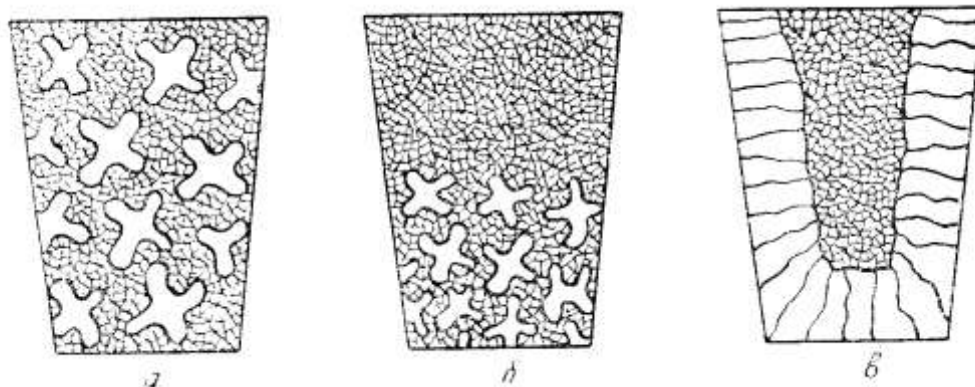
Solishtirma og'irlik bo'yiga likvatsiya hosil bo'lishiga quyidagilar sabab bo'ladi.

1. Ajralib chiqadigan qattiq fazaning solishtirma og'irligi bilan qolgan suyuq fazaning solishtirma og'irligi orasidagi farq sharoit tug'dirishi.

2. Qotish davrida sekin sovitish.

Suyuqlikda cho'ka oladigan yoki qalqib chiqadigan qattiq ajramalarning o'z-o'zidan vujudga kelishi ham bunday likvatsiya hosil bo'lishi uchun zarur sharoit tug'diradi.

Qolipga quyilgan suyuq qotishma qotayotganda, dastavval, quyma qobig'idan ichkari tomonga (bu qobiq quymaning qobiq devorlariga tegib, tez sovishidan hosil bo'lgan juda mayda donachalardan iboratdir) uzunchoq kristallar o'sib chiqadi, bu kristallar qalqib chiqa olmay yoki cho'ka olmay, transkristallanish sirtqi devori hosil qiladi. Bunday holda likvatsiyalanuvchi suyuqlik quyma ichiga to'planadi. Buning natijasida hosil bo'lgan likvatsiya **zonalar likvatsiyasi** deb ataladi.



**Rasm Likvatsiyalar turlari sxemalari.**

a – kristallitlararo likvatsiya, b – solishtirma og'irlik bo'yicha likvatsiya, v – zonal likvatsiya.

Likvatsiyaning yana **kristall ichra likvatsiya** yoki **dendrit likvatsiyasi** deb ataluvchi turi ham bor.

Kristallarning shakliga o'ta sovush darajasi ta'sir qiladi. O'ta sovush darajasi juda kichkina bo'lsa, muntazam geometrik shakldagi kristallar hosil bo'ladi. O'ta sovush darajasi bir qadar katta bo'lsa, kristallar **dendrit** shaklini oladi, ya'ni kristallar, asosan fazaviy kristall panjaraning asosiy o'qlariga mos yo'nalishida o'sadi.

O'ta sovush darajasi ancha katta bo'lsa, **sferoid** shaklidagi kristallar hosil bo'ladi.

Metall quymalarda kristallar, umuman aytganda dendrid shaklida bo'ladi. Buni birinchi bo'lib D.K.Chernov chizib bergan.

Qotishma sekin sovitilganda diffuziya jarayoni kristallar tarkibini barobarlashtirishga ulguradi, tez sovitilganda esa diffuziya jarayoni tugallanmay qoladi, ya'ni ayrim kristallarning tarkibi barobarlashmaydi. Dendritlarning markaziy qismida qiyin suyuqlanuvchi «Komponent (a'zo) chetlaridapreferiya»sida esa oson suyuqlanuvchan komponent ko'p bo'ladi. Dendritlarning har xil joylarida uchraydigan bunday kimyoviy turli jinslilik **kristall ichra likvatsiya**, boshqacha aytganda **dendrit likvatsiyasi** deb ataladi.

### **Adabiyotlar ro'yxati**

1. Umarov E.O. Materialshunoslik. Darslik.
2. Norxudjaev F.R. Materialshunoslik. Darslik.
3. Umarov E.O. "Materialshunoslik" o'quv fanidan laboratoriya va amaliyot ishlari o'quv qo'llanmasi.