

UMIDA ZIYAMUXAMEDOVA



MATERIALSHUNOSLIK

DARSLIK





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

U.A. ZIYAMUXAMEDOVA

MATERIALSHUNOSLIK

*O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi tomonidan
5310/00 – Energetika (issiqlik energetikasi) yo'nalishida ta'lim olayotgan
talabalar uchun darslik sifatida tavsiya etilgan*

TOSHKENT – 2020

UO'K 620.22(075.8)

KBK 30.3ya73

Z 67

Ziyamuxamedova, Umida.

**Materialshunoslik [Matn] : o'quv qo'llanma / Umida Ziyamuxamedova. -
Toshkent : Shafoat Nur Fayz, 2020. - 276 b.**

Darslik 5310100 – Energetika (issiqlik energetikasi) yo'nalishi namunaviy dastur asosida yozilgan bo'lib, unda metall, nometall, polimer materiallar struktura va xossalari, xususan elektrotexnik materiallardagi fizik hodisalar haqida ma'lumotlar berilgan. An'anaviy konstrukcion material bilan bir qatorda magnit materiallarga; dielektriklar, yarimo'tkazgich, o'tkazgichlar, keramik materiallar, ayniqsa polimer materiallarga ham to'la xarakteristika berilib, ularning turlari, ishlatilish joylari ko'rsatilgan. Darslik yakunida mahalliy materiallardan detallar olish texnologiyasini asosiy turlari yoritilgan.

Ushbu darslik 5310100 – “Energetika (issiqlik energetikasi)” yo'nalishida ta'lim olayotgan bakalavrlar uchun mo'ljallangan, oliy ta'lim muassasalari o'qituvchilari uchun tavsiya etiladi.

* * *

В учебнике на современном уровне широко изложены основы строения и свойств металлических, неметаллических, полимерных материалов. Даны основы физических свойств электротехнических материалов: электрические, оптические, тепловые, магнитные. Наряду с традиционными конструкционными материалами приведены характеристики магнитных материалов, диэлектриков, полупроводников, проводников; приведены их классификации, маркировки и применение. В конце описаны основные виды технологии и обработки материалов.

Taqrizchilar:

A.I. Abidov – Kumo Milliy Texnologiya Instituti (Janubiy Koreya), PhD, falsafa fanlari doktori;

Sh.A. Karimov – Toshkent Davlat texnika universiteti «Materialshunoslik» kafedrası dotsenti, t.f.n.

ISBN 978-9943-6740-4-2

© U.A.Ziyamuxamedova

© «Shafoat Nur Fayz» nashriyoti, 2020.

24804/2

KIRISH

O'zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo'yicha "Harakatlar strategiyasi"da belgilangan beshta ustuvor yo'nalishning har biri bo'yicha belgilangan vazifalarning ta'lim sohasida muvaffiqiyatli bajarilishi yangicha yondashuvlarni, dunyoning rivojlangan mamlakatlarning ishlab chiqarish sohaslaridagi zamonaviy texnologiyalarni, fan va ta'lim sohasidagi yangiliklarni qo'llashni taqozo etadi.

Mazkur darslik "Materialshunoslik" fanini o'qitilishdagi yetakchi chet el oliy o'quv yurtlarining tajribalari asosida va xususan ingliz tilida chop etilgan W.Kallister, Jr Devid Djlarning "Material science and engineering" kitobi strukturasi va mazmuniga yetarlicha hamohang tuzilgan.

Materiallar odatda uchta asosiy guruhga bo'linadi. Bular metallar, keramika va polimerlar. Bunday bo'linish moddaning atomlar tarkibi va kimyoviy tuzilishiga asoslanadi. Ko'pgina materiallarni u yoki bu guruhga kiritish mumkin. Bundan tashqari, keltirilgan ikki yoki uchta guruhga taalluqli materiallar tarkibida kompozitlar mavjudligini ham aytib o'tish lozim.

Materiallarning yana bir turi zamonaviy maxsus materiallar (advanced) bo'lib, ular yuqori texnologiyali (high-tech) sohalarda qo'llash uchun yaratiladi bularga yarimo'tkazgichlar, biologik materiallar, nanotexnologiyalarda ishlatiluvchi "aqlli" (smart) material va moddalar kiradi.

Elektr asbob-uskunalarini ishlab chiqarishda injenerlik masalalarini hal qilishda materiallar asosiy zveno hisoblanadi va bu materiallar elektrotexnik materiallar (ETM) deb ataladi.

Kuch qo'yilgan konstruksiyalarni va yordamchi detal va qismlarni yasash uchun ishlatiladigan materiallarga konstruksion materiallar (KM) deyiladi. Hozirgi zamon elektr asbob-uskunalari juda ko'p har xil ETM va KMlarda yasalgan murakkab qurilmalardir. Bu materiallar elektrik, mexanik, texnologik va ma'lum talab qilingan kimyoviy xossalarga ega bo'lishi kerak. Bu xossalarni materiallarning kimyoviy

tarkibiga va tuzilishiga, tashqi kuchlar ta'siriga, haroratiga, tashqi va energetik maydonlar ta'siri intensivligiga (elektr maydoni kuchlanishi va chastotasi, harorati va h.k) bog'liq. ETM va KMLarning asosiy xossalarini bilmasdan turib, bularni elektr yoki magnit maydoniga joylashtirilganda ularda sodir bo'ladigan fizikaviy va kimyoviy hodisalarni hamda materiallarni kimyoviy tarkibi va tuzilishi bilan bog'liqligini bilmasdan, elektrotexnik asbob-uskunalarni loyihalash va ishlab chiqarish mumkin emas.

Shuning uchun materialshunoslik fanining asosiy vazifasi quyidagilardan iborat:

1) Materiallarga elektr maydoni, magnit maydoni, issiqlik maydoni va mexanik kuchlar ta'sir qilganda ulardagi o'tayotgan asosiy fizikaviy jarayonlarni o'rganish.

2) Materiallarni elektrik, mexanik va boshqa xossalarini ularning kimyoviy tarkibiga va tuzilishiga bog'liqligini o'rganish.

3) Elektr asbob-uskunalarni ishlab chiqarishda eng ko'p qo'llanilayotgan materiallarni yoritish va ular bilan tanishish.

Elektr asbob-uskunalari uchun materiallarni faqat elektrofizik xossalari emas, balki fizik-mexanik, kimyoviy xossalari (mustahkamlik, qattiqlik, issiqbardoshligi, sovuqqa chidamlilik va h.k.) ham hisobga olinadi.

Materiallarni tanlashda ularni iqtisodiy tomonlari (tannarxi) ham hisobga olinishi lozim. Qo'yilgan talablarga javob beradigan yangi materiallarni mahalliy xomashyo va energiya resurslaridan foydalanib, yangi texnologiyani yaratish maqsadga muvofiq.

Oxirgi vaqtlarda mutaxassislar tomonidan bajarilgan ishlarining uchdan bir qismi oldindan belgilangan xossalari materiallarni yaratishga bag'ishlangan. Shuning uchun yangi materiallarni yaratish yuqori darajada o'sib bormoqda. Zamonaviy konstruktor (umuman injener-texnik xodim) bu yangi materiallar xossalarini imkoniyatlarni va istiqbollarni yaxshi bilishi lozim.

Energetika sohasida ishlatiladigan nometall materiallarga organik va noorganik materiallar kiradi. Plastmassalar asosidagi kompozitsion materiallar; kauchuklar, rezinalar; kleyar; germetiklar; lako-bo'yoq qoplamalar; grafit; shisha; keramika; yog'och va hokazolar kelib chi-

qishiga ko'ra organik va noorganik tabiiy, sun'iy va sintetik nometall materiallar. Tabiiy organik materiallar: kauchuk, yog'och, paxta, yung, hayvon terisi va hokazolar. Tabiiy noorganik materiallar: grafit, mramor, bo'r, grafit, asbest, kaolin va ba'zi tog' jinslari. Sun'iy organik materiallar tabiiy neft polimer mahsulotlaridan olinadi: viskozli tola, selluloza efirlari. Sun'iy noorganik materiallar qazilma mineral materiallarni qayta ishlab olinadi: sement, beton, shisha, keramika, pigment. Sintetik organik materiallar oddiy past molekular birikmalarni «polimerizatsiyalash», «polikondensatsiyalash» usuli bilan yoki murakkab organik birikmalarni «destruksiyalash» yo'li bilan, neftni qayta ishlash, qazilma ko'mirni, torfni qayta ishlash, shu bilan birga metallik, mineral, tabiiy va sun'iy organik va noorganik materiallarni kombinatsiyalarini ishlab chiqish bilan olinadi. Sun'iy va sintetik materiallarning afzalligi shundan iboratki, lozim bo'lgan xossani loyihalash mumkin va kerak xossali mahsulot va tayyor detal olish mumkin. Shuning uchun ulardan hozirgi kunda energetika sohasida keng qo'llanilmoqda.

Yana ta'kidlash lozimki, nometall materiallarni texnologikligi ancha yuqori va ularni ishlatish samaradorligi diqqatga sazovor. Masalan, plastmassalarni ishlatishdagi iqtisodiy ko'rsatkichlari quyidagilar: konstruksiya og'irligining kamayishi, ishlatish haroratlari-ning kamayishi; moyillashga hojat yo'qligi; mashinalarni ishlatish ishonchligi yuqori; ishlash muddatining uzayishi va hokazo.

Materiallarning har bir sinfi haqidagi ma'lumotlar, materiallarning xususiyatlari, fazoviy va strukturaviy holatiga bog'liq holda beriladi. Materiallarda, avvaldan talab etilgan xususiyatlarni hosil qilish uchun ularga ishlov berish va ularni mustahkamlash prinsiplari bayon etildi. Shuningdek, kompozit materiallar nazariyasining asoslari berildi, materiallarni tanlash va iqtisodiy dalillash masalalari o'rganib chiqildi. Darslikka materiallarga, ayniqsa, nometall materiallarga oid ma'lumotnomalar kiritildi. Bular, shu vaqtgacha, ko'plab tarmoqlarning nashrlarida tarqoq holda mavjud edi. Shu jihatdan mazkur darslik muhandislik mutaxassisliklari bo'yicha bilim olayotgan talabalarga, mashina va uskunalarni hisoblashda, loyihalashda, materiallarga ishlov berish texnologik rejimlarini tanlashda katta qulayliklar beradi.

1 BOB. METALLARNING ICHKI TUZILISHI

Bizga ma'lumki modda – tinch holatda massaga ega bo'lgan materiya turi xil hisoblanib texnik va texnologik jarayonlarda “moddiy asos” degan tushuncha o'rniga “material” tushunchasi qabul qilingan.

Materiallar – mehnat predmetlari majmuasi bo'lib, odam mehnat jarayonida ularni o'zgartirib, mehnat mahsulotlariga aylantiradi (iste'mol buyumlari – predmetlari va ishlab chiqarish vositalari). Materiallar – mahsulot ishlab chiqarish uchun dastlabki modda bo'lishi ham, ishlab chiqarish jarayonlarini bajarish uchun yordamchi modda ham bo'lishi mumkin. Sarflangan mehnat miqdori va materiallarning vazifasiga ko'ra, ishlab chiqarish jarayonida materiallar quyidagi turlarga bo'linadi. Xomashyo yoki xom materiallar – bular, ilgari mehnat ta'sirida bo'lgan va yana qayta ishlanishi lozim bo'lgan mehnat predmetlaridir. Masalan, metallurgiya zavodida – temir rudasi, tekstil fabrikasida – paxta va sh.k. Xomashyo hayvonotga va o'simliklarga oid bo'lishi, minerali yo boshqa bir tarzda olingan bo'lishi mumkin. Birlamchi xomashyo – odam mehnatiga birinchi bor uchrab turgan predmet, ikkilamchi xomashyo – ishlab chiqarish chiqindilari, jismonan yoki ma'nan eskirgan iste'mol predmetlari bo'lib, bular qayta ishlanishi kerak. Yarim mahsulot – materiallarni qayta ishlash mahsuloti bo'lib, bular iste'molga yaroqli buyum holiga kelishdan oldin bir yoki bir necha marta qayta ishlanishi lozim. Bitta ishlab chiqarishning tayyor mahsuloti boshqa ishlab chiqarishlar uchun yarim mahsulot bo'lib xizmat qiladi.

1.1. Metallarning atom-kristall tuzilishi

Atom – bir vaqtlar kimyoviy elementning eng kichik zarrasi deb hisoblanardi; elementning xususiyatlari unda takrorlanadi. Har qanday element mayda zarralardan tashkil topgan, ular dunyo tuzilishining birlamchi “g'ishtcha”si vazifasini bajaradi, fanlarda chuqur o'rganiladi.

Hozirgi vaqtda bunday zarralar soni yuzlab o'lchanadi. Protonlar va neytronlar musbat zaryadlangan atom yadrosini tashkil qiladi,

elektronlar esa, yadro atrofida aylanadi. Elektron odamzod eng avvalo kashf etgan elementar zarra bo'lib, tinch holatdagi massasi $m_e = 9.1 \cdot 10^{-28}$ g, eng kichik elektr zaryadi (elektr kvanti) $e = 1.6 \cdot 10^{-19}$ Kl ni tashuvchi hisoblanadi.

Yadro va uning atrofidagi elektronlar o'zaro elektrostatik va elektromagnit ta'sirida bo'lib, turg'un (barqaror) fazoviy sistema hosil qiladi. Alohida (izolatsiyalangan) atomning zaryadi yo'q. Atomlarning elektronidan uzoqlashishi yoki unga qo'shilishi natijasida musbat yoki manfiy zaryadlangan ion hosil bo'ladi.

Atomning energiyasi ma'lum (diskret, uzluksiz bo'lmagan) qiymatlarga ega bo'ladi, ular "energiya pog'onasi" deb ataladi. Har bir qiymat atomning barqaror bir holatiga mos bo'lib, kvant o'tishlari yo'li bilan sakrab o'zgaradi. Kvant o'tishlar atom zarralarga (atomlar, ionlar) elektromagnit nurlanishlarning ta'siri natijasida sodir bo'ladi. Elektromagnit maydonning kvantlari – fotonlar, maydonning berilgan chastotasida mumkin bo'lgan eng kichkina energiya va impulsni tashiydi. Atom zarrasi fotonni yutib, qo'zg'algan holatga o'tadi va o'zidan foton chiqarib kam energiyali holat (quyiroq energiya pog'onasi)ga o'tishi mumkin. Atomning minimal energiyasiga mos pog'ona – asosiy hisoblanib, qolganlari qo'zg'alish pog'onasi deb ataladi. Energiya pog'onalarining majmui – atomning energetik spektri, deb ataladi. Erkin yoki bo'sh bog'langan atomlarning optik spektrlari alohida spektral chiziqlardan iborat bo'lib, ma'lum to'lqin uzunligi bilan tavsiflanadi va oddiy atomlar spektrlari bo'yicha guruhlariga birikadi. Ular moddaning atom tarkibi haqida ma'lumotlar beradi.

Turli kimyoviy elementlarning atomlari elektron shakli, ya'ni elektronlarning energiya pog'onalari bo'ylab taqsimlanishi bilan farq qiladi. Elektronning atomdagi holati to'rtta kvant soni bilan tavsiflanadi: asosiy son -n, u elektronning yadrodan o'rtacha uzoqligini ($n=1,2,3,\dots$) bildiradi; orbital son - ℓ , u elektron orbitasining yadroning kulon maydonidagi shaklini ($\ell = 0,1,2,\dots,n-1$) bildiradi; ikkita, magnit soni - m_ℓ va m_s . Atomdagi elektron energiyasi, asosan, n va ℓ sonlariga bog'liq; "n" kattalashganda energiya keskin oshadi; l kattalashganda – sustroq oshadi; m_ℓ va m_s ga bog'liqligi – yanada sustroq.

Kvant mexanikasining "Pauli prinsipi" deb atalgan qonuniga ko'ra, bitta atomdagi istalgan ikkita elektron turli kvant holatida bo'lishi kerak, ya'ni to'rtta kvant sonidan bittasi boshqacha bo'ladi. Bosh soni n bir xil bo'lgan elektronlar majmui elektron qatlamni hosil qiladi, bu qatlam ko'pi bilan $2n^2$ elektronlar bilan to'lgan bo'ladi, qatlamning qobig'i esa ℓ ning qiymatlari bilan tavsiflanadi. Qatlamlar va qobiqlar n va ℓ ning qiymatlariga qarab, timsollar bilan ifodalandi:

qatlamlar: $K L M N O P Q \dots$ qobiqlar: $s p d f \dots$

n : 1 2 3 4 5 6 7 ... ℓ : 0 1 2 3 ...

Davriy sistemadagi elementlarning atomlarida $\ell > 3$ bo'lgan qobiq yo'q. Yadroga eng yaqin qatlam $-K$, keyin L qatlam keladi va shu tarzda davom etadi. Elektron yadro bilan qanchalik sust bog'langan bo'lsa, uning tegishli qobiqdagi energiya pog'onasi shunchalik yuqori.

Murakkab atomlar normal va qo'zg'algan elektron shakli (konfiguratsiya) bilan tavsiflanadi. Birinchisida atomdagi elektronlar orasidagi bog'lanish mustahkam, ikkinchisida $-$ bir yoki bir nechta elektron bo'shroq bog'langan, ya'ni qo'zg'atilgan energiya pog'onasida turadi. Atomning kimyoviy va fizik xususiyatlaridan aksari, tashqi elektron qobiqlarining strukturasi bilan bog'liq. Ulardagi elektronlar bir-biri bilan nisbatan sust bog'langan. Ichki qobiqlardagi elektronlar ancha mustahkam bog'langan; atomlar va tez harakatlanadigan zarralar yoki katta energiyali fotonlarning o'zaro ta'sirini o'rganib, ichki qobiqlarning tuzilishi haqida ma'lumotlar olish mumkin.

Atomlar bir-biriga yaqinlashganda elektrostatik o'zaro ta'sir sodir bo'lib, elektron qobiqlar bir-birining ichiga kirib ketishi mumkin. Bunda elektronlar yadroga nisbatan surilib ketib, atomlar qutblanadi, ya'ni elektr maydonida ichki qutbli momentga ega bo'ladi. Atomlarning eng yuqori darajadagi qutblanishi tashqi elektr maydonlarida va elektromagnit nurlanish ta'siri ostida kuzatiladi. Atomning ketma-ket ionlashuvida (ya'ni tashqi elektrondan boshlab ketma-ket uzilib chiqqanda) xususiyatlari ham shunga mos holda o'zgaradi: qutblanish kamayadi, energiya pog'onalari orasidagi farq kattalashadi.

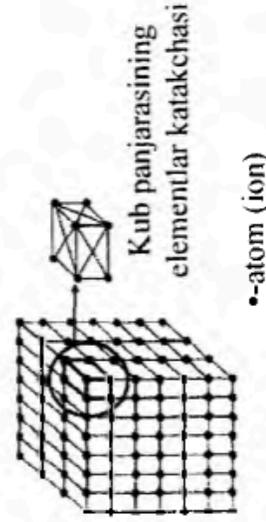
Metallarning **kristall. panjaralarida** musbat ionlar muayyan tartibda joylashganligini men ko'rmadim.

Metallar, boshqa har qanday modda kabi, sharoitga qarab, to'rt xil agregat holatda: qattiq, suyuq, gaz va plazma hollarda bo'la oladi. Sof metall bir agregat holatdan ikkinchi agregat holatga ma'lum temperaturadagina o'tadi va bunda metallning xossalari o'zgaradi.

Qattiq holatda metall zarachalari muayyan tartibda joylashgan bo'ladi, bu zarachalarning bir-birini tortish kuchi bilan bir-birini itarish kuchi o'zaro muvozanatda turadi, natijada qattiq jism o'z shaklini saqlaydi.

Gaz holatdagi metall zarachalari tartibsiz harakatlanadi, bir-birini itaradi, natijada metall gazi imkoni boricha katta hajmni olishga intiladi.

Suyuq holatdagi metall zarachalarining ozroq qismigina be-tartib joylashgan bo'lib, bu joylashuv issiqlik ta'sirida goh buzilib, goh tiklanib turadi. Demak, suyuq holatdagi metall qattiq holatdagi metall bilan gaz holatidagi metall orasida oraliq holatini egallaydi. Metallning, umuman moddaning, agregat holati orasidagi farq ana shu. Atomlarning markazidan o'tkazilgan faraziy chiziqlar panjara hosil qiladi. Bir-biriga parallel joylashgan bir qancha kristallografik tekislik fazoviy kristall panjara hosil qiladi, kristall panjaraning tuzilishida esa atomlar (ionlar) turadi. Moddaning atom-kristall tuzilishi to'g'risida tasavvur hosil qilish uchun panjaraning bitta elementar katakchasini ko'rsatish kifoya (1.1 - rasm).



1.1-rasm. Fazoviy kristall panjara va uning tugunlarida atomlarning (ionlarning) joylashuvi.

1.2. Qattiq jismlardagi bog'lanishlarning turlari

Qattiq jismlardagi bog'lanishlar to'rtta asosiy turga bo'linadi. Bular ion (geteropolyar), atom (gomeopolyar yoki kovalent), molekulyar bog'lanishlar va metall bog'lanishlardir. Ana shu bog'lanishlarni batafsil ko'rib chiqaylik.

Ion (geteropolyar) bog'lanishlar. Bunday bog'lanishli qattiq jismlar kristall panjaralarning tugunlarida ionlar turadi (1.2 - rasimga qarang). Ion bog'lanish elektromanfiylik jihatidan bir-biridan kattata farq qilgan ikki element orasida vujudga keladi. Binobarin, ion bog'lanish birinchi guruh metallari, ya'ni ishqoriy metallar bilan yettinchi guruh elementlari (galogenlar) orasida vujudga keladi.

Ion bog'lanish vujudga kelishini natriy xlor (NaCl) misolida ko'rib chiqaylik (1.3 - rasm). Xlor atomi natriy atomiga qaraganda anchagina elektromanfiy bo'lganligidan o'zining sirtqi qavatidagi bir elektronini xlor atomiga beradi, natijada natriy atomi musbat zaryadli natriy ion (Na^+) ga (kationga), xlor atomi esa bir elektron biriktirib olib, manfiy zaryadli xlor ion (Cl^-) ga (anionga) aylanadi. Qarama-qarshi zaryadli bu ionlar kulon kuchi vositasida o'zaro tortilib, birikma (NaCl) hosil qiladi. Birikma (molekula) tarkibidagi har qaysi ion o'z atrofida elektr maydoni vujudga keltiradi. Demak, ion bog'lanishli molekullarda bir necha (kamida ikkita) elektr maydoni bo'ladi. Ion bog'lanishning geteropolyar bog'lanish deb ham atalishiga sabab ana shu.

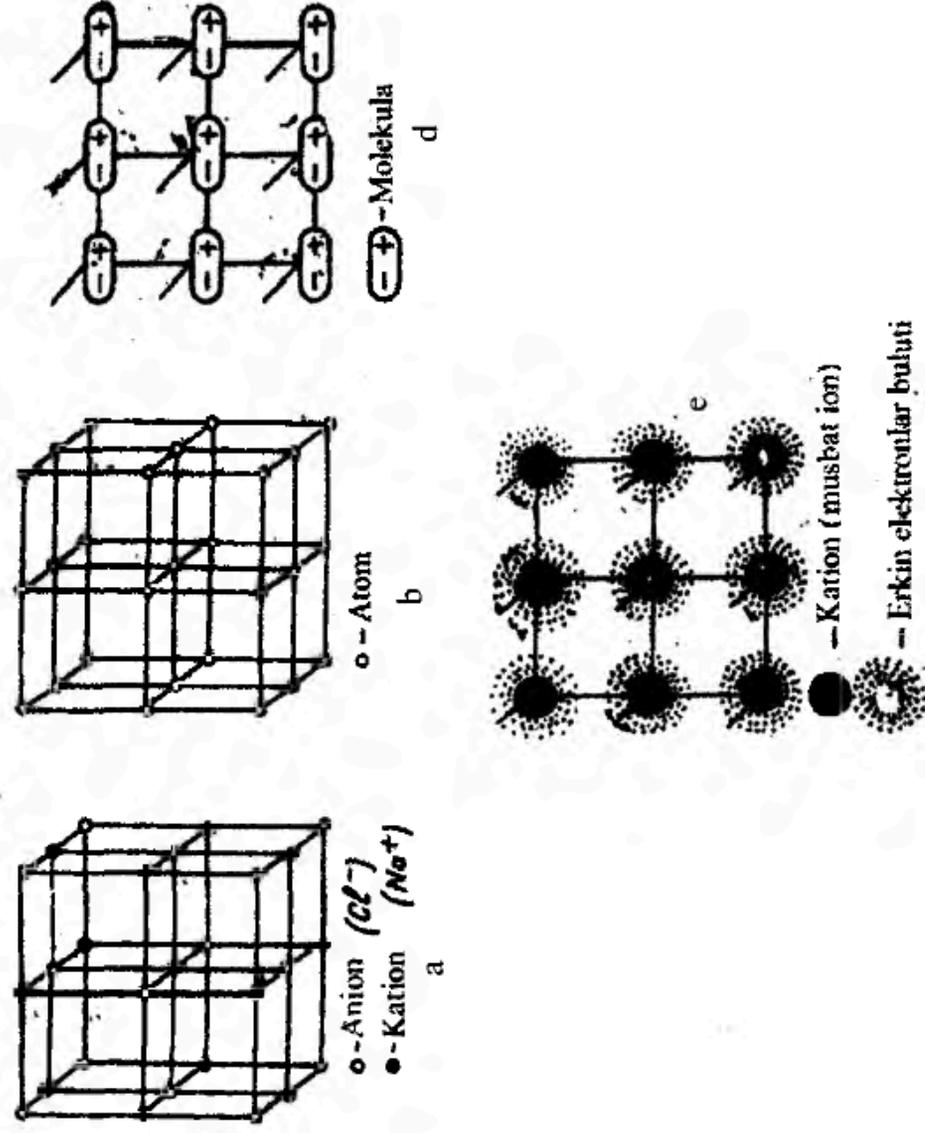
Ion bog'lanishli birikmalarda ta'sir etuvchi kulon kuchlar zarrachalarning (ionlarning) bir-biriga puxtarok tortilishiga sabab bo'ladi, shuning uchun bunday birikmalarning suyuqlanish temperaturasi va qattiqligi yuqoriroq bo'ladi.

Atom (gomeopolyar, kovalent) bog'lanishlar. Atom bog'lanishli qattiq jismlar kristall panjaralarining tugunlarida o'zaro kovalent bog'langan atomlar turadi (1.2 b-rasimga qarang). Kovalent bog'langan atomlar bir-birini juda kuchli tortib turganligi uchun bunday birikmalarning suyuqlanish temperaturasi va mustahkamligi nihoyatda yuqori bo'ladi.

Elektromanfiyligi bir-biriga teng bo'lgan elementlarga kovalent bog'lanadi. Kovalent bog'lanish nazariyasiga ko'ra, bunday

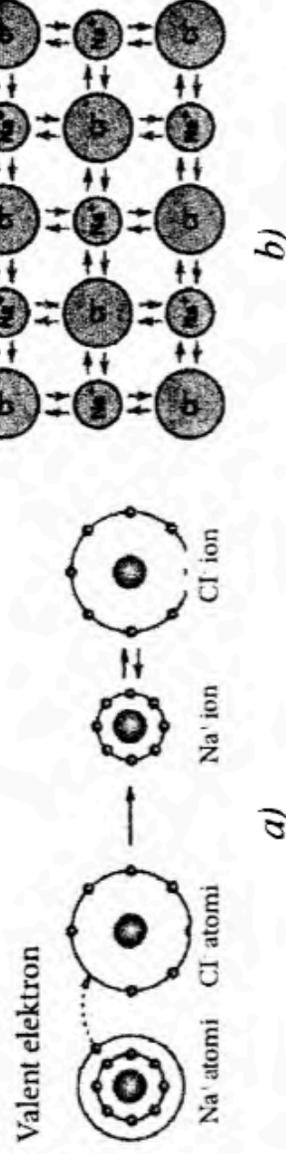
bog'lanish hosil bo'lishida elektron bir atomdan ikkinchi atomga o'tmaydi (chunki bu atomlarning elektromanfiyligi bir xil), balki o'zaro ta'sir qiluvchi ikkala atomga tegishli bo'lib qoladi.

Atom bog'lanishli qattiq moddalarga misol qilib, olmosni ko'rsatish mumkin. Olmosda uglerodning har bir atomi uglerodning boshqa to'rtta atomi bilan bog'langan, bu to'rtala bog'lanish bir xil bo'lganligidan olmos kristalini bitta gigant molekula deb qarash mumkin.



1.2-rasm. Qattiq jismlardagi asosiy bog'lanishlar:

- a - ion bog'lanish;
- b - atom bog'lanish;
- d - molekular bog'lanish;
- e - metall bog'lanish.



1.3 - rasm. Ion bog‘lanish jarayoni: a – natriy va xlor atom-larining bir-biri bilan ion bog‘lanishi; b – NaCl birikmasi ion bog‘lanishining sxematik tasviri¹.

Molekular bog‘lanish. Bunday bog‘lanishli qattiq moddalar kristall panjaralarining tugunlarida molekular turadi. Bu molekular bir-biriga molekulararo kuchlar vositasida tortilib turadi. Molekulararo kuchlar molekularni bir-biriga nisbatan kuchsiz tortib turganligidan molekular bog‘lanishli qattiq moddalarning suyuqlanish temperaturasi va qattiqligi past bo‘ladi.

Metall bog‘lanishlar. Bunday bog‘lanishli qattiq jismlar (metallar) kristall panjaralarining tugunlarida musbat zaryadli ionlar turadi, ionlarni esa erkin elektronlar, ya‘ni elektronlar buluti qurshab olgan bo‘ladi. Elektronlar buluti ayrim ion yoki atomlarning qobiqlari bilan bog‘langan bo‘lmay, balki kristallning butun hammasiga oiddir. Demak, metall bog‘lanishlar musbat zaryadli ionlar bilan erkin elektronlarning o‘zaro tortishuvidan iboratdir.

Texnik materiallarning strukturasi hamma vaqt ham, zarralar kristall panjarada muntazam joylashgan, degan ideal tasavvurlarga to‘g‘ri kelavermaydi. Kristall panjaralarda nuqsonlar ham uchrab turadi. Bu nuqsonlar – kristall tuzilishning nomukammalligidan, zarralarning kristall panjara tugunlarida davriy tarzda qat‘iy joylashishning buzilishidan iborat. Nuqsonlar, kristallanish jarayonida, elektr va

¹ Callister, William D., Materials science and engineering: an introduction, 7th ed.p.cm/ - Printed in the United States of America/ John Wiley & Sons, Inc.- 2014. 33-bet

magnit maydonlari, issiqlik va mexanik ta'sirlar natijasida, kristallarga yot jinslar kirib qolganda hosil bo'ladi. Radiatsiyali nuqsonlar kristall materiallarning zarralar oqimi va qattiq elektromagnit nurlanish sababli yuzaga keladi. Nuqsonlar nuqtali, chiziqli, sirtqi va hajmiy turlarga bo'linadi.

Nuqtali nuqsonlar kristalldagi qo'shni atomlar orasidagi masofalar bilan qiyoslagulik masofalarda kristall panjaraning shaklini buzadi. Eng oddiy nuqtali nuqson – vakansiya bo'lib, bunda kristall panjaraning qaysidir uzelida atom yoki ion bo'lmaydi. Vakansiyalar panjara bilan termodinamik muvozanatda bo'ladi, atomlarning issiqlik harakati natijasida yuzaga keladi va yo'qoladi. Haroratning har bir qiymati uchun vakansiyalarning ma'lum muvozanat konsentratsiyasi to'g'ri keladi. Metallarning kristallaridagi vakansiyalar miqdori erkin harorati yaqinida atomlar sonining 1–2% ga teng. Vakansiyalar harakati kristalldagi atomlar diffuziyasining bosh sababi hisoblanadi. Kristallardagi begona jinsli nuqsonlar begona atomlar yoki ionlar tufayli hosil bo'ladi. Bu atom yoki ionlar asosiy zarralar o'rnini egallashi yoki ular orasiga suqilib kirishi mumkin. Nuqtali nuqsonlarga shuningdek, tugunlararo zarralar ham kiradi. Bu zarralar xususiy atomlar yoki panjaraning tugunidan chiqib ketgan kristall ionlaridan iborat. Vakansiyalar, tugunlararo ionlar, begona atomlar va ionlar kristall rangini o'zgartirishi mumkin. Bunda ular yorug'lik spektrning shunday chegarasida yutadiki, bu sohada dastlabki kristall yutmaydi. Bunday nuqsonlar bo'yash markazlari deyiladi.

Ionli kristalllarda nuqtali nuqsonlar juft-juft hosil bo'ladi. Bitta ishorali ionlarning yo'qolishi natijasida hosil bo'lgan vakansiyalar kristallda teskari ishorali zaryadlar hosil bo'lishiga olib keladi. Ionlar kristalldan chiqib ketmay, tugunlar orasiga qarab siljisa, kristallning neytralligi saqlanib qoladi. Natijada "vakansiya–tugunlararo zarra" degan juftlik hosil bo'ladi. Bu hodisa rossiyalik nazariyotchi fizik V.I.Frenkel nomi bilan "Frenkel nuqsoni" deb yuritiladi. Kristall boshqa bir holatda ham, ya'ni ionlarning valentligi bir xil bo'lganda anion va kation vakansiyalar teng miqdorda hosil bo'lsa ham neytral bo'lib qolaveradi. Bu hodisa nemis fizigi V.Shotki nomi bilan "Shotki nuqsoni" deyiladi.