



UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET
DEPARTMAN ZA MATEMATIKU I
INFORMATIKU



Dislokacije

Mentor: prof. dr Svetlana Lukić

Student: Tamara Đurić

Broj indeksa: 937/99
email: oriontt@stcable.rs

Novi Sad, 2010.

Sadržaj

| | |
|--|----|
| Uvod..... | 2 |
| Dislokacije..... | 3 |
| Ivična dislokacija..... | 5 |
| Kretanje ivičnih dislokacija..... | 6 |
| Zavojne dislokacije..... | 8 |
| Burgersov vektor..... | 9 |
| Peierlsova sila..... | 10 |
| Smer kretanja dislokacija..... | 11 |
| Posmatranje, gustina i značaj dislokacija..... | 12 |
| Literatura..... | 13 |

Uvod

„U svetu je malo šta idealno, pa ni kristali nisu idealni...“

U svim realnim kristalima postoji veliki broj grešaka ili nesavršenosti u rasporedu atoma. Greške kristalne rešetke imaju uticaja na mnoga fizička i mehanička svojstva materijala, kao što su: električna provodljivost, brzina difuzije atoma u leguri, korozija metala, obrada metala deformisanjem u hladnom stanju. Uticaji grešaka kristalne rešetke ne moraju uvek biti nepovoljni.

Nesavršenosti kristalne rešetke mogu se razvrstati po njihovoj geometriji i obliku na:

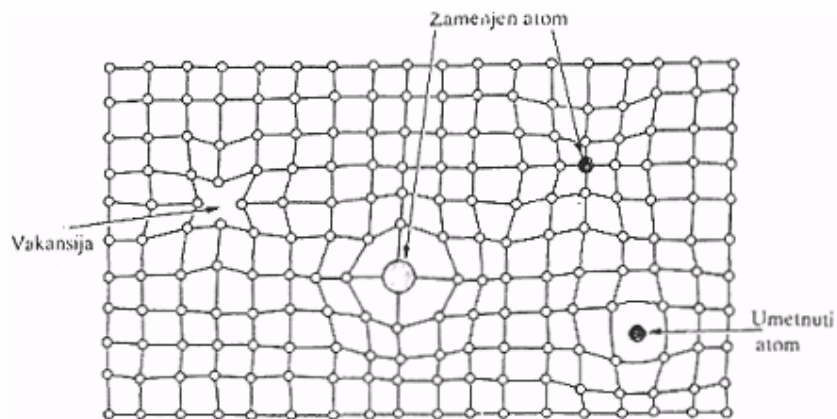
- tačkaste;
- linijske (**dislokacije**);
- površinke.

Dislokacije

Dislokacije su vid linijske nesavršenosti koje mogu da nastanu:

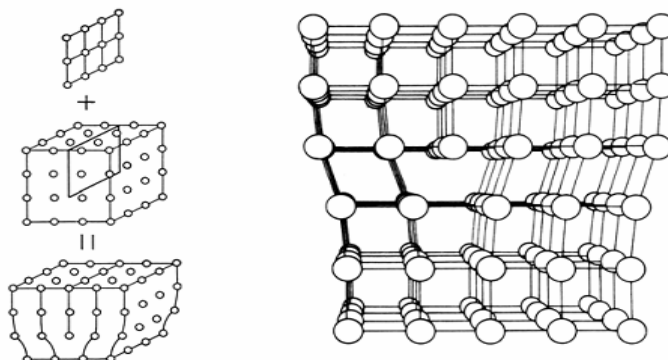
- deformacijom kristala pod uticajem spoljašnje sile
- termičkom obradom
- pri neoptimalnim uslovima rasta kristala
- kondenzacijom vakansija

Linijski defekti (**dislokacije**) se u kristalu mogu obrazovati na više načina, mada najčešće nastaju usled klizanja pojedinih oblasti kristala tokom njegovog rasta, ili pri plastičnoj deformaciji. Predstavljaju nagomilavanje niza tačkastih nesavršenosti.



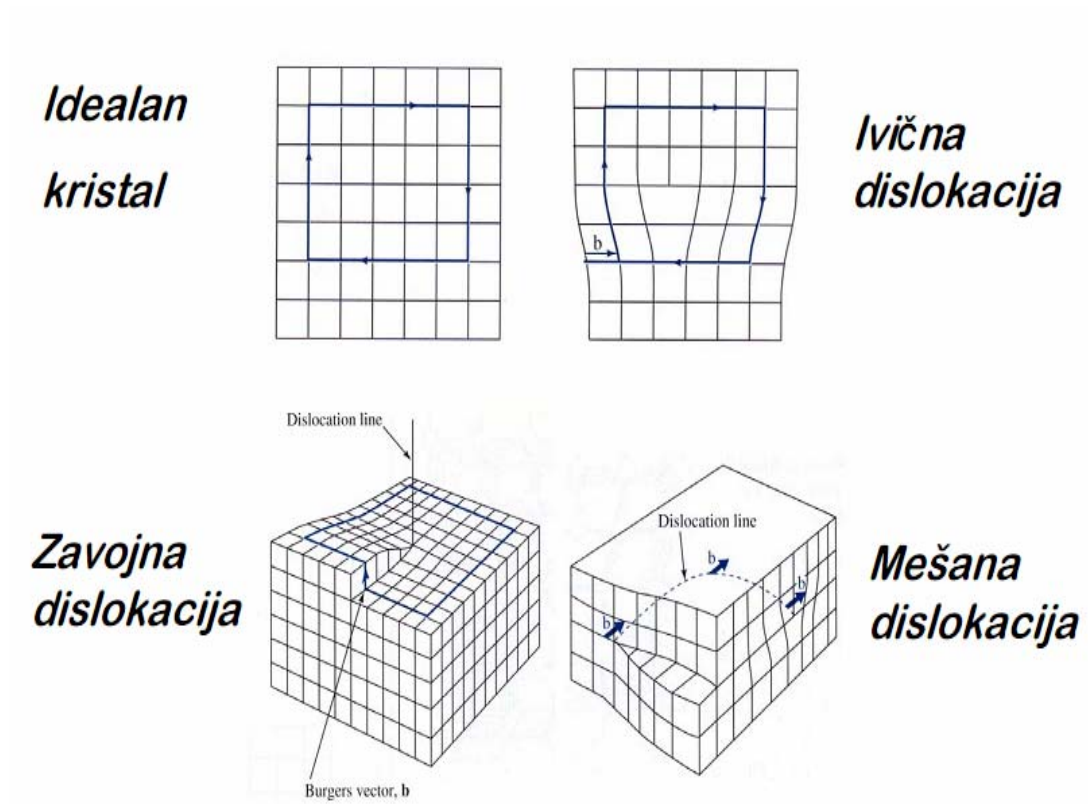
Slika 1 Iskrivljenost kristalne rešetke na mestima tačkastih grešaka

Kakav je to defekt dislokacija? Zamislamo da smo jednim hipotetičkim super tankim žiletom uspeli zarezati monokristal, malo rastvorili i onda umetnuli jednu poluravan (sl 2) i linija donjeg dela te umetnute poluravni zove se dislokacija, a okolina prvih atoma oko dislokacije srž dislokacije.



Slika 2

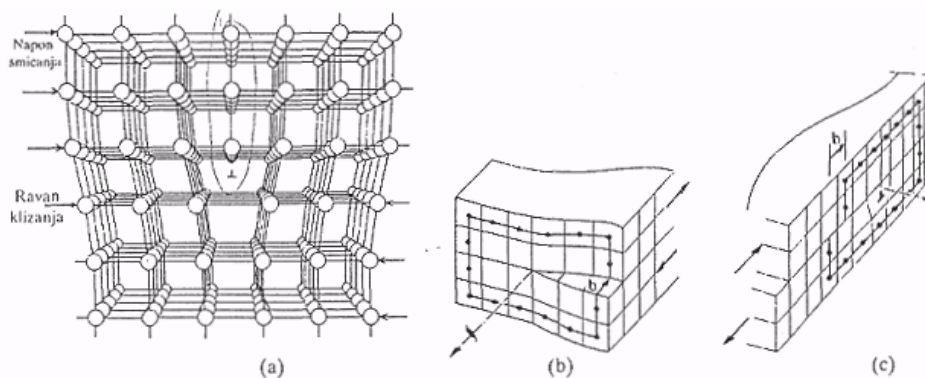
U kristalima se javljaju dva osnovna tipa dislokacija i to **ivične** i **zvojne**.



Slika 3

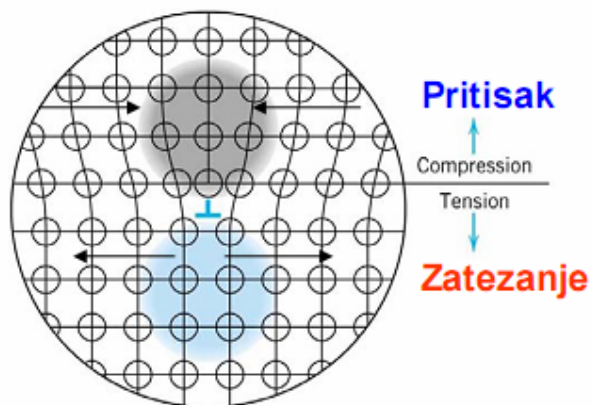
Ivična dislokacija

Ivična dislokacija pojavljuje se kao jedna suvišna poluravan atoma, nazvana ekstra - ravan. Ova ekstra - ravan se završava na ravni klizanja, a sama dislokacija je ivica te ravni kako je to pokazano na slici 4a. Ivična dislokacija obeležava se simbolima (\top) i/ili (\perp) , gde vertikalna linija predstavlja pravac ekstra-ravni, a horizontalna linija pravac ravni klizanja. (\top) - nazivamo negativnom, (\perp)



Slika 4 (a) Ivična dislokacija; (b) Burgersov vektor zavojne dislokacije; (c) Burgersov vektor ivične dislokacije

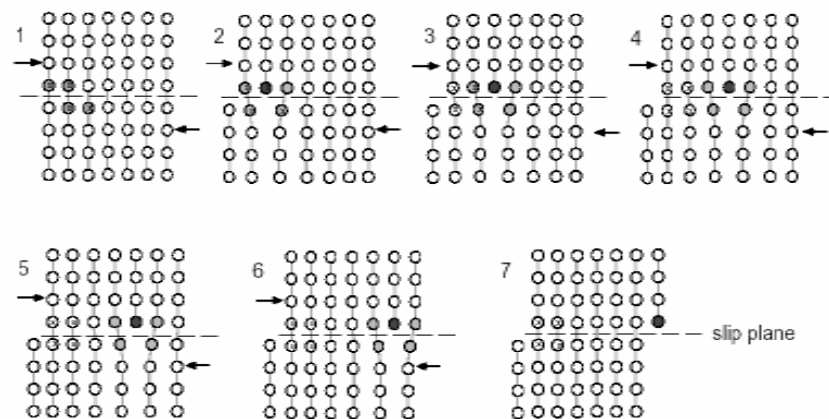
Za ocenu promene rastojanja atoma-iskrivljenosti rešetke izazvanih ivičnom dislokacijom koristi se vektor klizanja (b), ili Burgersov vektor. Burgersov vektor ivične dislokacije može se odrediti tako što se nizom vektora formira zatvorena kontura u savršenoj rešetki koja zaokružuje ivičnu dislokaciju. Vektor potreban da zatvori konturu oko dislokacije je Burgersov vektor. On pokazuje veličinu i pravac klizanja, a normalan je na dislokacionu liniju, (sl.4c). (O Burgersovom vektoru više reči na devetoj strani.) Ivična dislokacija (\perp) praćena je promenom naponskog stanja u oblasti oko ekstra - ravni. Iznad ravni klizanja pojavljuje se oblast sa pritiskim naponima, dok se ispod ravni klizanja pojavljuju naponi istezanja (sl. 5)



Slika 5 Polje napona u okolini ivične dislokacije

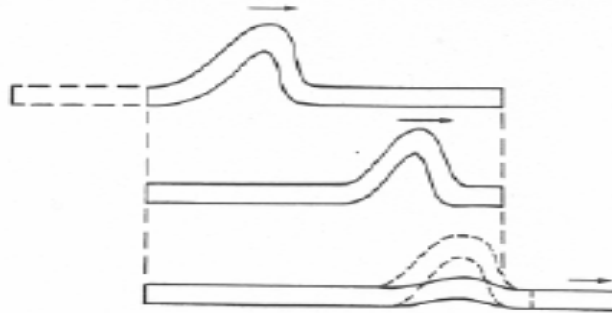
Kretanje ivičnih dislokacija

Ako na kristal deluje smicajno naprežanje dislokacije se kreću tako da se pomera red atoma za redom te je jedan deo kristala pomeren u odnosu na drugi. Kada je dislokacija prošla kroz kristal, deo kristala u blizini klizne ravni se pomakao jedan atomski razmak u odnosu na deo ispod klizne ravni. Drugim rečima, kretanje dislokacija uzrokovalo je promenu oblika kristala koji ostaje trajno deformisan – plastična deformacija. Kretanje dislokacija se najlakše događa na najgušće zaposednutim ravnima kristala.



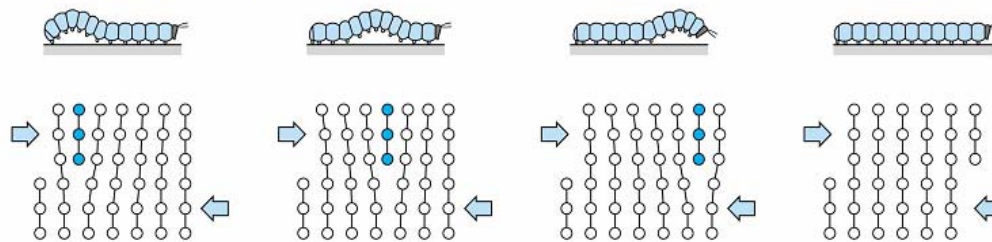
Slika 6 Plastična deformacija udružena sa klizanjem, koje uzrokuju kretanje dislokacija, što je posledica delovanja spoljašnjeg smicajnog naprežanja na kristal

Kretanje jedne ivične dislokacije kroz kristal je analogno prelaženju jednog nabora ili „brazde“ preko nekog tepiha: nabor se lakše kreće nego što bi se mogao kretati ceo tepih, ali se zato prelaženjem nabora preko tepiha dobija isti pomeraj kao da je ceo tepih, za toliko, povučen preko poda. Ako se atomi sa jedne strane ravni klizanja kreću u odnosu na one sa druge strane, onda će atomi u ravni klizanja biti podvrgnuti odbojnim silama – od nekih suseda – i privlačnim silama – od ostalih, sa druge strane ravni klizanja. U prvoj aproksimaciji se ove dve sile poništavaju.



Slika 7 Upoređivanje kretanja ivične dislokacije sa pomeranjem tepiha

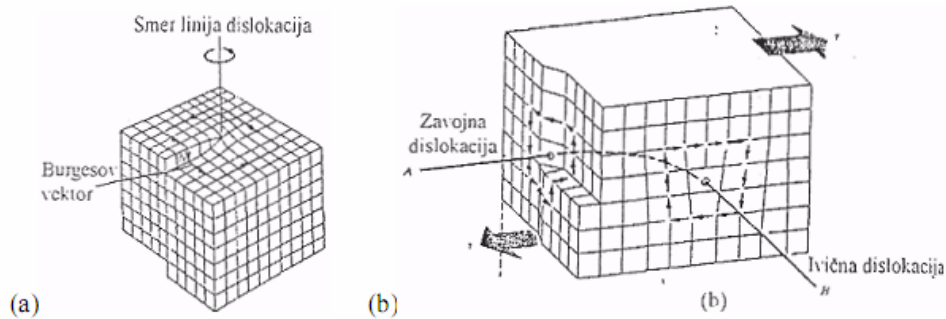
Analogija gusenice



Proračuni pokazuju da je spoljašnji mehanički napon, potreban za kretanje jedne dislokacije, sasvim mali – verovatno ispod 10^5 dyn/cm^2 , pod uslovom da sile veza u kristalu nisu jako usmerene. Na taj način, prisustvo dislokacija može učiniti kristal veoma plastičnim. Prolaženje dislokacija kroz kristal je ekvivalentno klizajućem pomeranju jednog dela kristala.

Zavojne (helikoidne) dislokacije

Drugi jednostavan tip dislokacija je zavojna (helikoidna) dislokacija. Zavojna dislokacija označava granicu između dela kristala koji je pomeren klizanjem i dela kristala koji nije pomeren. Ova granica je paralelna pravcu klizanja, umesto da leži normalno na nju kao kod ivične dislokacije. Zavojna dislokacija se može slikovito predstaviti, ako se zamisli da je kristal delimično presečen i da su delovi kristala sa obe strane proreza pomereni za jedno međuatomsko rastojanje, paralelno ivici proreza, ali u suprotnim smerovima. Helikoidne dislokacije transformišu uzastopne ravni atoma u helikoidnu površ; ovo i objašnjava poreklo naziva ove dislokacije.



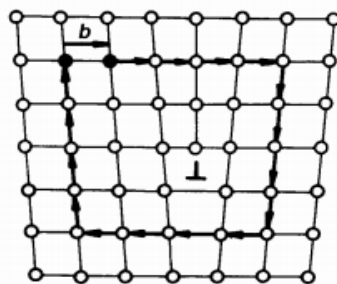
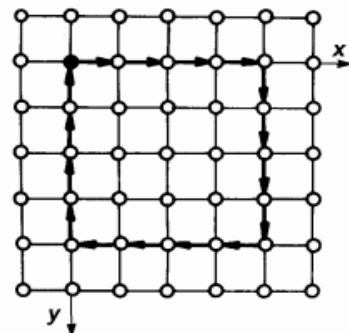
Slika 8 (a) Zavojna dislokacija, (b) složena dislokacija

Burgersov vektor

Ostale forme dislokacija mogu biti konstruisane od segmenata ivičnih i helikoidnih dislokacija. Za opis dimenzija i smera najvećih pomaka u kristalnoj rešetki, a koje uzrokuju dislokacije, služimo se tzv **Burgersovim vektorom b** . Burgersov vektor ivične dislokacije može se odrediti tako što se nizom vektora formira zatvorena kontura u savršenoj rešetki koja zaokružuje ivičnu dislokaciju. Vektor potreban da zatvori konturu oko dislokacije je Burgersov vektor. On pokazuje veličinu i pravac klizanja. Burgersov vektor za kristale koji sadrže zavojnu dislokaciju određuje se analogno ivičnom.

Razmotrimo unutar kristala proizvoljnu zatvorenu krivu, koja ne mora biti ravna, ili neku otvorenu krivu, čija se oba kraja završavaju na površi kristala:

- Preseći ćemo kristal po nekoj jednostrukoj površi koja naleže na ovu krivu.
- Pomerićemo materijal sa jedne strane ove površi za vektor b , u odnosu na materijal koji je sa druge strane; ovde se b naziva **Burgersovim vektorom**
- U oblasti gde b nije paralelno površi sečenja, ovo relativno pomeranje će dovesti ili do pojave zazora ili do prekrivanja ovih dveju polovina. U ovim slučajevima ćemo zamisliti ili da dodajemo materijal, da bi popunili zazor, ili da oduzimamo materijal, da bi sprečili prekrivanje;
- Spojićemo ponovo oba dela materijal. Ostavićemo deformacioni pomeraj kao što je bio u trenutku ponovnog spajanja, ali nakon što pustimo da ova sredina dođe ponovo u unutrašnju ravnotežu. Rezultujuća raspodela deformacija je u isto vreme i kontura dislokacije, okarakterisane i graničnom krivom i Burgersovim vektorom. Burgersov vektor mora biti jednak jednom od diskretnih vektora rešetke, u cilju da se pri procesu ponovnog spajanja sačuva kristalna struktura materijala.



Burgersova kontura

Burgersov vektor **ivične** dislokacije je **normalan** na dislokacionu liniju i leži u ravni klizanja (sl. 9)
Burgersov vektor **zavojne** dislokacije je **paralelan** sa dislokacionom (sl.10)



Slika 10

Slika 9

Peierlsova sila

Ako se dislokacija i njezin Burgersov vektor nalaze u pogodnoj ravni, što znači da je u ravni niskih Millerovih indeksa kao (100), (110) ili (111), dislokacija se može micati-gibati i vući sa sobom deformaciju smicanja uzduž ravnine klizanja. No očito je da mora postojati nekakav otpor klizanju dislokacija jer bi se inače pod delovanjem sile dislokacije gibale sve brže i brže. Teorijska granica je ustvari brzina zvuka u kristalu, jer se elastični talasi ne mogu u kristalu gibati brže. Posmatranja i eksperimenti međutim pokazuju da se dislokacije gibaju manjim, a ponekad i vrlo malim brzinama.

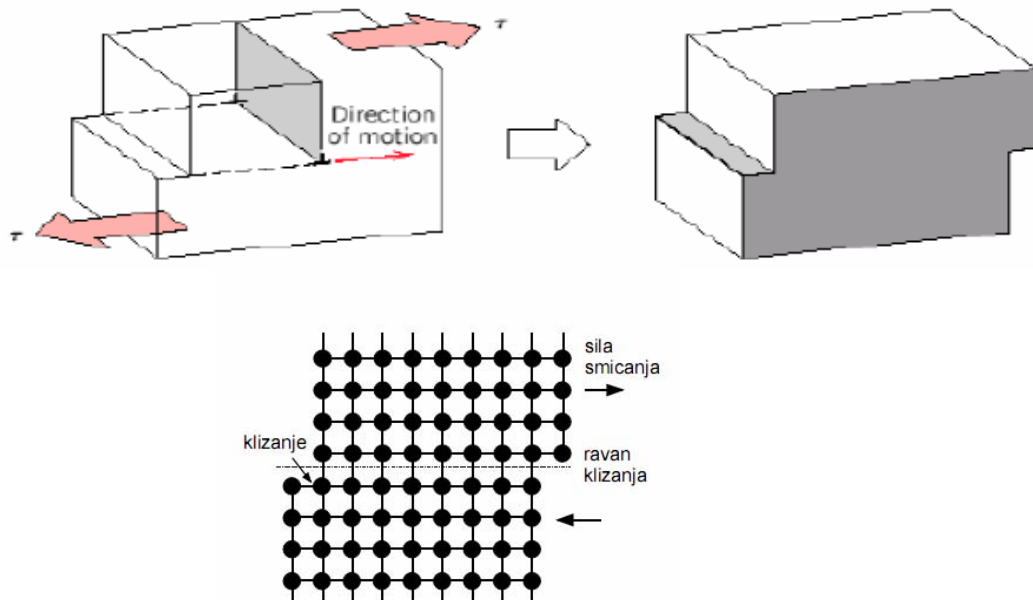
Čak u "savršenoj" rešetki bez drugih defekata osim jedne dislokacije, u kristalnoj rešetki se pojavljuje neka vrsta sila trenja koja uzrokuje da se dislokacije gibaju konstantnom brzinom, koja je naravno ovisna o primenjenom naprezanju i kristalnoj strukturi. To trenje je u stvari interakcija između rešetke i dislokacije i zove se Peierlsova sila. Fizički razlog te sile trenja dolazi usled toga što se atomske veze između atoma oko dislokacije moraju prekinuti i ponovo uspostaviti da bi se dislokacija mogla pomaknuti. Energijski to ustvari znači da dislokacija leži u lokalnom energijskom minimumu iz kojeg se mora podići preko "energijskog brežuljka" da bi se pomakla. Energija potrebna da se dislokacija popne preko "brežuljka" pojavljuje se u obliku topline (to se primjećuje, na primer, prilikom plastične deformacije metala, koji se tom prilikom deformacije zagrevaju).

Peierlsova sila je velika u kristalima gdje su veze jako usmerene kao u kovalentnim kristalima, pa je takve materijale praktično nemoguće plastično deformirati (npr. Si i Ge).

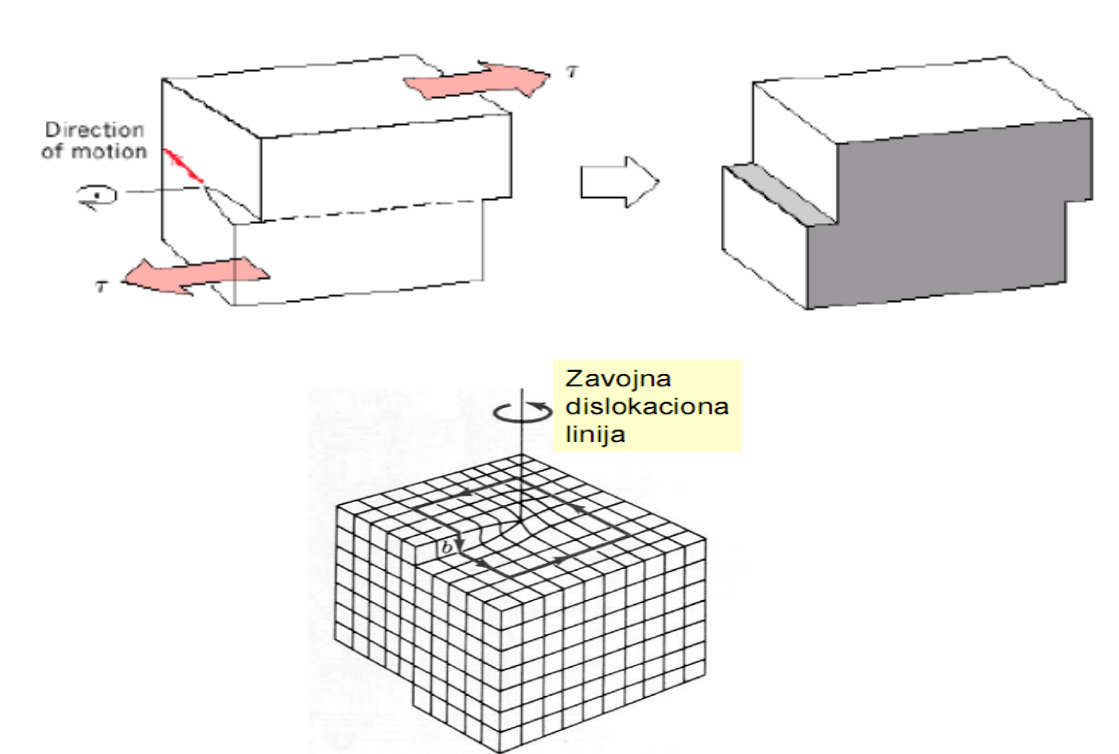
U metalima gdje se atomi drže na okupu preko interakcije s kvazi slobodnim elektronima, međuatomske veze nisu usmerene, lako se kidaju, usled čega se dislokacije u istim metalima vrlo lako gibaju i oni su vrlo plastični, što znamo iz iskustva.

Interakcija/međudelovanje dislokacija s drugim defektima, kao tačkasti defekti, atomi primesa/nečistoće, druge dislokacije te granice zrna i međufazne granice, uzrokuje da se ti defekti ponašaju kao prepreke za gibanje dislokacija i one se dolaskom do njih zaustavljaju; mora se upotrijebiti dodatna naprezanja da se dislokacije opet pokrenu.

Smer kretanja dislokacija



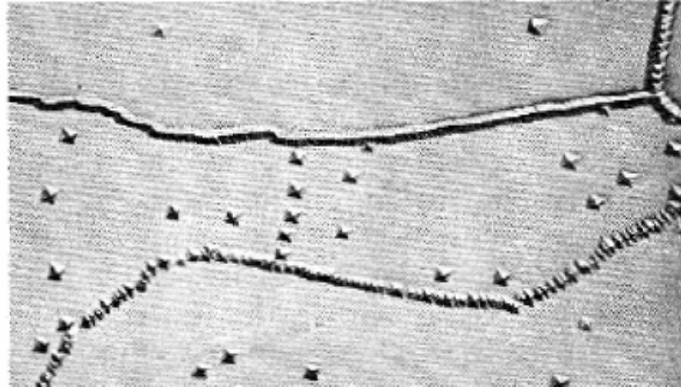
Slika 11 Ivične dislokacijske linije se kreću paralelno s obzirom na smer delovanja spoljašnje sile



Slika 12 Zavojne dislokacijske linije kreću se normalno s obzirom na smer delovanja spoljašnje sile

Posmatranje, gustina i značaj dislokacija

Dislokacije se mogu posmatrati pomoću metalografskog mikroskopa. Površina uzorka se prethodno pripremi hemijskim nagrizanjem koje će otopiti okolinu dislokacija. Nastaće „vrhovi“ koje je lako uočiti.



Slika 13 Mikroskopski izgled dislokacija

Pošto su dislokacije veoma važne za mehanička svojstva materijala, ova tehnika je pogodna za određivanje gustine dislokacija:

$$\rho = \frac{\text{Broj dislokacija}}{\text{Jedinica površine}} \quad [1/m^2]$$

Gustina dislokacija je broj dislokacionih linija koje presecaju jediničnu površinu unutar kristala. Ova gustina se prostire od 10^2 do 10^3 dislokacija/ cm^2 – u najsavršenijim kristalima germanijuma i silicijuma, pa do 10^{11} ili 10^{12} dislokacija/ cm^2 – u jako deformisanim metalnim kristalima. Gustina dislokacija kod jako deformisanih kristala može biti procenjena na osnovu povećanja unutrašnje energije koje je posledica plastičnog deformisanja.

O međudelovanju dislokacija spomenimo samo ukratko da interakcija među dislokacijama smanjuje elastičnu energiju jer to smanjuje Gibbsovu slobodnu energiju. Odmah se vidi da će se dislokacije suprotnog predznaka privlačiti jer se mogu poništiti (nestaje elastična energija), odnosno istog predznaka će se odbijati jer bi približavanje još više povećalo unutarnje naprezanje, dakle elastičnu energiju.

U izvesnim slučajevima, prisutne dislokacije mogu biti upravljajući činioci kod **rasta kristala**. Kada kristali rastu u uslovima niske presićenosti, reda 1 procenat, zapaženo je da je brzina rasta mnogo puta veća od teorijski izračunate za jedan idealni kristal. Stvarnu brzinu rasta je objasnio Frank, na osnovu uticaja dislokacija na rast.

Dislokacije su vrlo važne za **mehanička svojstva materijala**. Za njihovo proučavanje (1934. god) zaslužni su Taylor, Orowan i Polyani koji su započeli sa istraživanjem i razumevanjem mehaničkih svojstava materijala. Ona se i do danas intezivno istražuju. Postojanje dislokacija u kristalima omogućava mehanizam pomoću kojeg dolazi do promene oblika ili mehaničke deformacije. Kristalni materijali koji nemaju dislokacije su krhki i praktično neupotrebljivi kao konstrukcijski materijali, naročito u mašinstvu. Takođe, postojanje dislokacija u kristalima osigurava duktilnost (sposobnost deformisanja), jer je teorijska čvrstoća kristalnih krutina drastično smanjena zbog njihove prisutnosti. Sva mehanička svojstva kristalnih krutih materijala zavise od ponašanja dislokacija.

Literatura:

- Vitomir Đorđević-Mašinski materijali-Univerzitet u Beogradu, Mašinski Fakultet Beograd 1999.
- Dr Loreta Pomenić: Materijali
- Dr Dragan Adamović: Mašinski materijali-predavanje
- Dr Svetlana Lukić: Eksperimentalna fizika kondenzovane materije