

# Грешке у кристалној решетки

**“У свету је мало шта идеално, па ни кристали нису идеални...”**

Грешке кристалне решетке имају утицаја на многа физичка и механичка својства материјала, као што су:

- ✓ електрична проводљивост,
- ✓ брзина дифузије атома у легури,
- ✓ корозија метала,
- ✓ обрада метала деформисањем у хладном стању.

# ГРЕШКЕ У КРИСТАЛИМА

Грешке у кристалима се деле према **геометрији, односно димензијама у простору** на:

## **ТАЧКАСТЕ (БЕЗДИМЕНЗИОНАЛНЕ ГРЕШКЕ):**

празнине атома  
супституцијски атоми  
интерстицијски атоми

## **Линијске (једнодимензионалне):**

**ивичне дислокације**  
**завојне дислокације**

## **Површинске (раванске, дводимензионалне):**

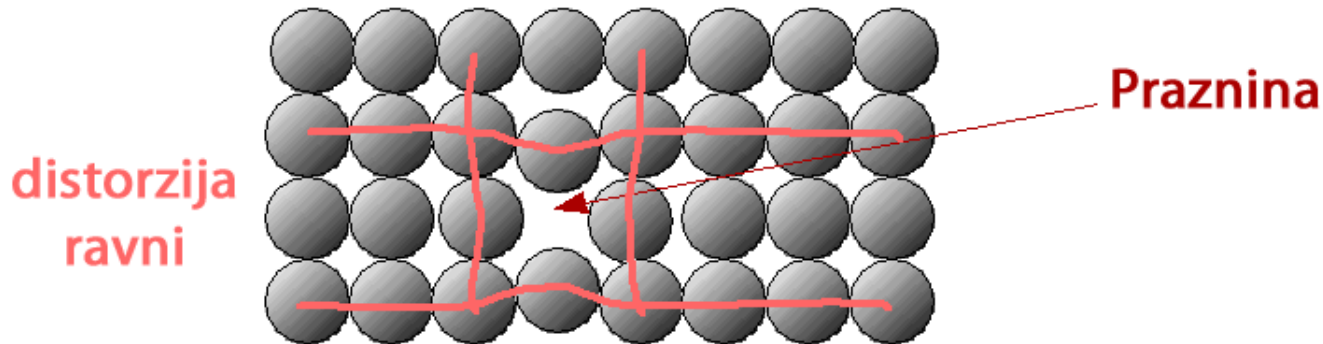
**границе зрна**  
**границе субзрна**

**Запреминске (тродимензионалне): шупљине, укључци, секундарне фазе, прслине) (више технолошке него кристалне грешке)**

# ТАЧКАСТЕ ГРЕШКЕ

Тачкасте грешке су реда величине атома.

Најједноставнија тачкаста грешка је **ПРАЗНИНА**, место атома, (чвор решетке) са кога недостаје атом.



Слика 1 Тачкасте грешке у кристалној решетки-празнине

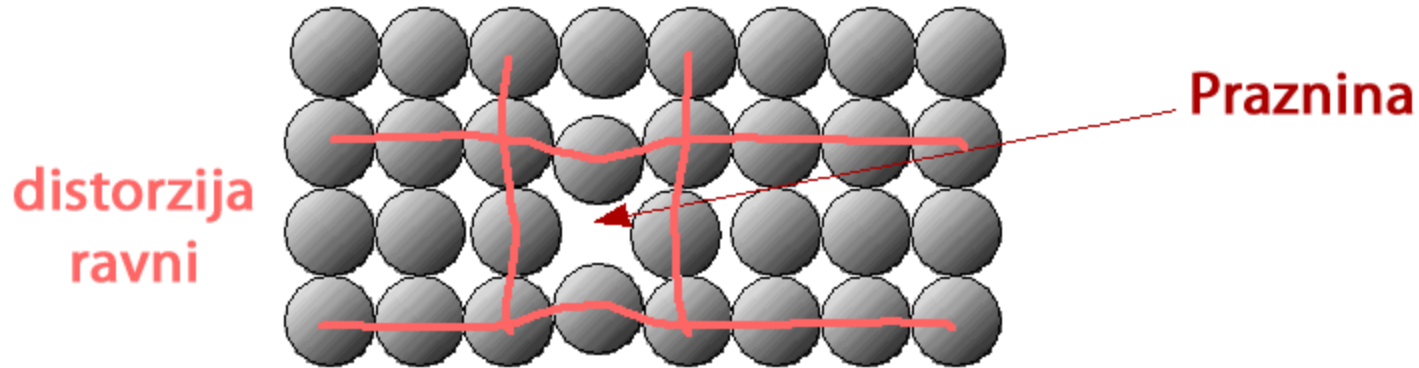
# Тачкасте грешке

**Празнине** могу настати на више начина:

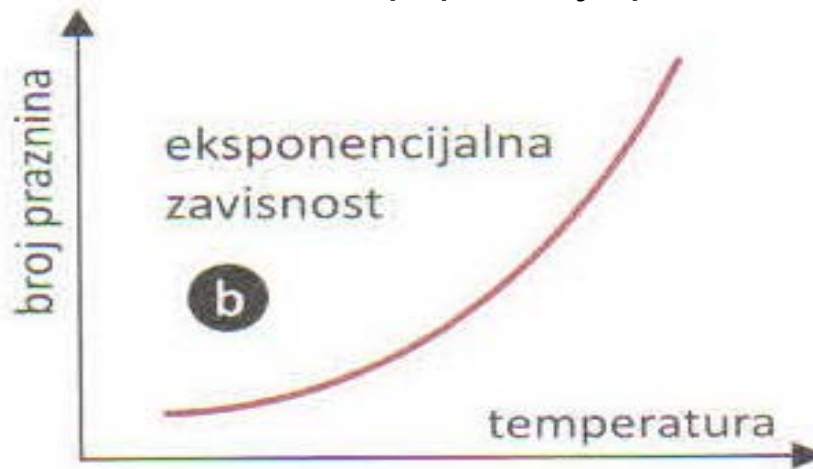
- ✓ у току очвршћавања као резултат локалних поремећаја
- ✓ у току раста кристала
- ✓ као резултат премештања атома из регуларног положаја
- ✓ услед осциловања атома, при чему за собом остављају празно место.

Празнине су равнотежне грешке у металима и њихова енергија образовања је око 1 eV.

# Празнине



а) Празнина и еластична деформација решетке око ње



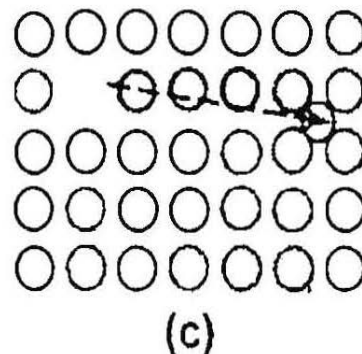
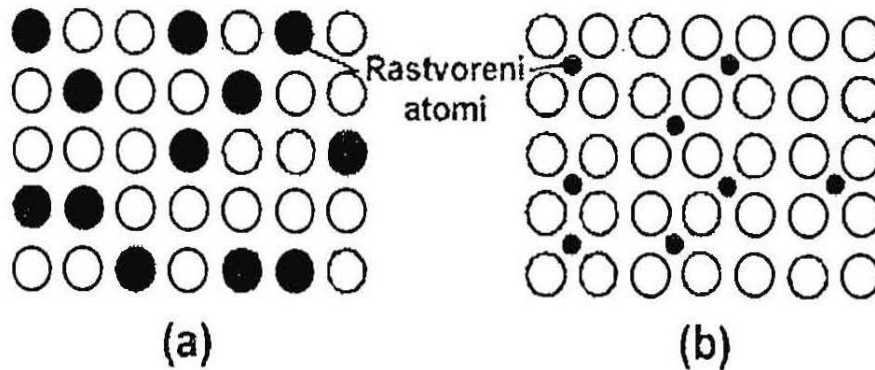
б) Зависност броја празнина од температуре

Слика 2 Празнина и еластична деформација решетке око ње; (б) зависност броја празнина од температуре

# ТАЧКАСТЕ ГРЕШКЕ

Постоје:

- а) хемијске тачкасте грешке (настају при образовању чврстих раствора)
- б) физичке тачкасте грешке

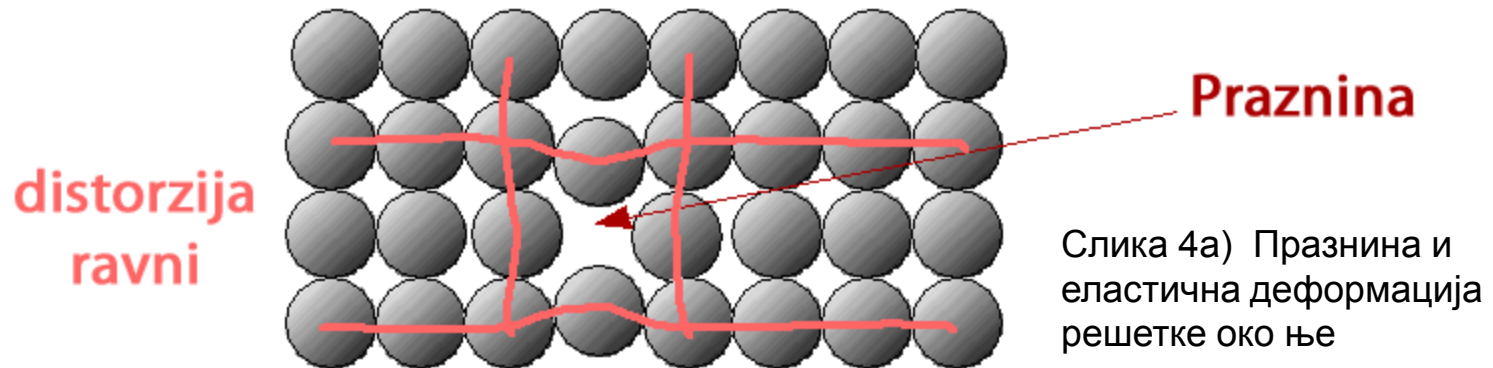


- а) супституцијски растворени атоми
- б) интерстицијски растворени атоми
- ц) Френкелов пар-празнина и интерстицијал

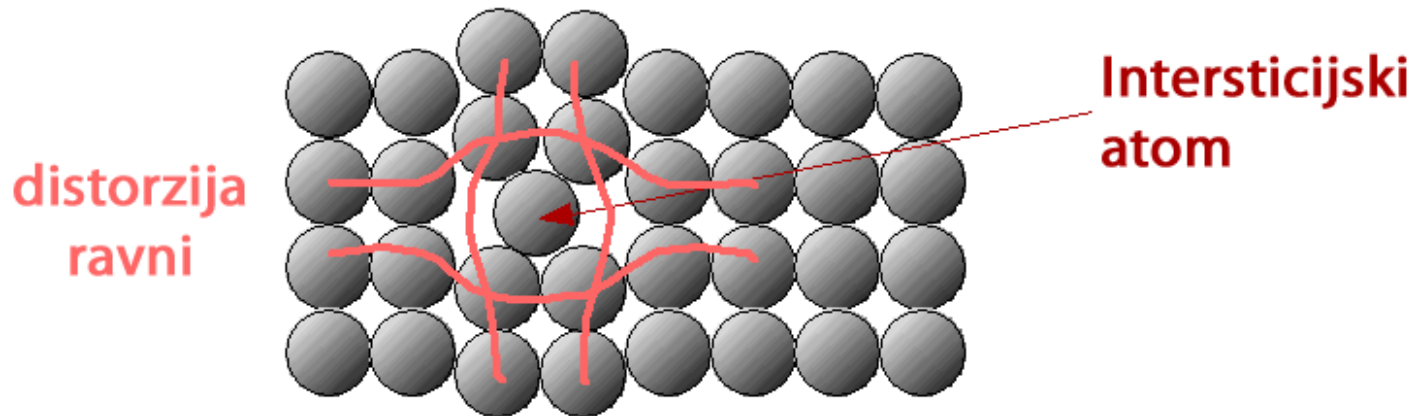
Сл. 3 Грешке у кристалној решетки

# ТАЧКАСТЕ ГРЕШКЕ

- **Празнине:** -непопуњена чворна места у кристалној решетки, односно недостатак атома на месту где сте очекује.



- **Уметнути(интерстицијски) атом:**  
-“екстра” атом се позиционира међу друге атоме.

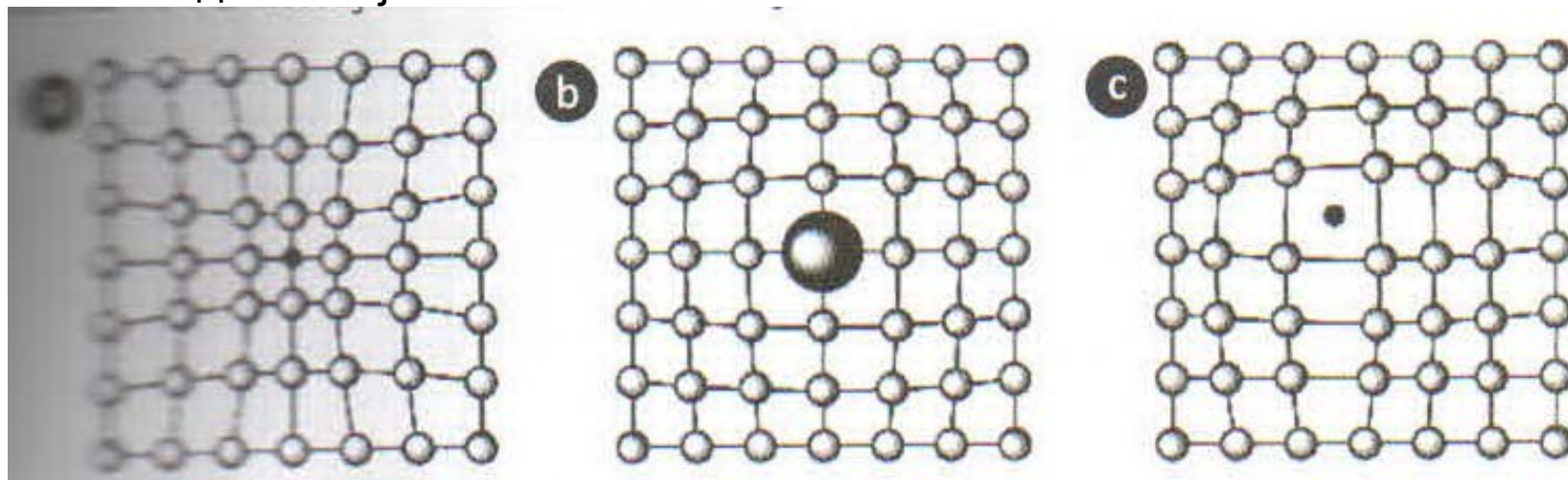


Слика 4б) Интерстицијски атом и еластична деформација решетке око ње

# Супституцијски атом

Супституцијски атом настаје када се један од атома основног елемента А замени атомом елемента Б.

Услов да би дошло до супституције, пречници атома А и Б морају бити сличних димензија.

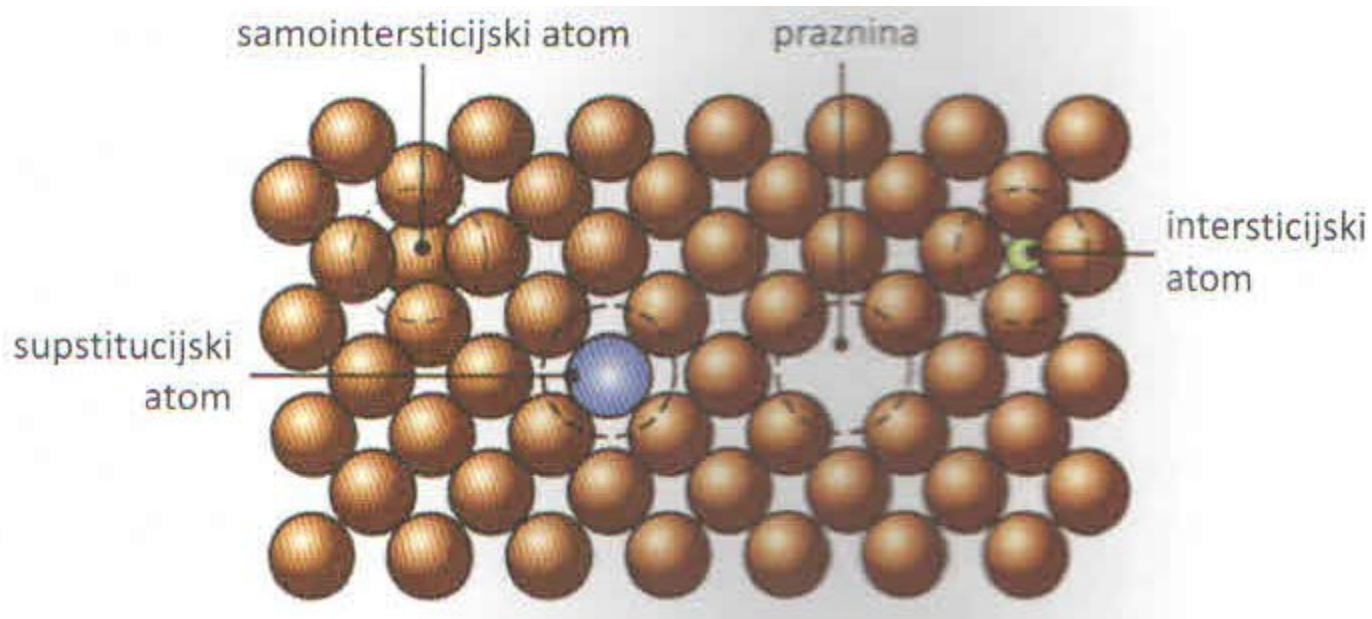


Слика 5 Примери тачкастих грешака у кристалној решетки: а) мањи супституцијски атом б) већи супституцијски атом ц) интерстицијски атом



# Интерстицијски атом

Интерстицијски атом је вишак атом у кристалној решетки који заузима простор између атома који их окружују.



Слика 6 Тачкасте грешке у кристалној решетки

# Равнотежна концентрација тачкасте грешке

Broj grešaka (defekata)

$N_D$

$N$

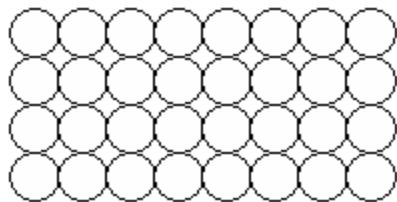
$$= \exp\left(\frac{-Q_D}{kT}\right)$$

Energija aktivacije

Broj potencijalnih  
lokacija grešaka

Bolcmanova konstanta

Temperatura



$(1.38 \times 10^{-23} \text{ J/atom K})$

$(8.62 \times 10^{-5} \text{ eV/atom K})$

Svaki čvor kristalne  
rešetke je  
potencijalna praznina

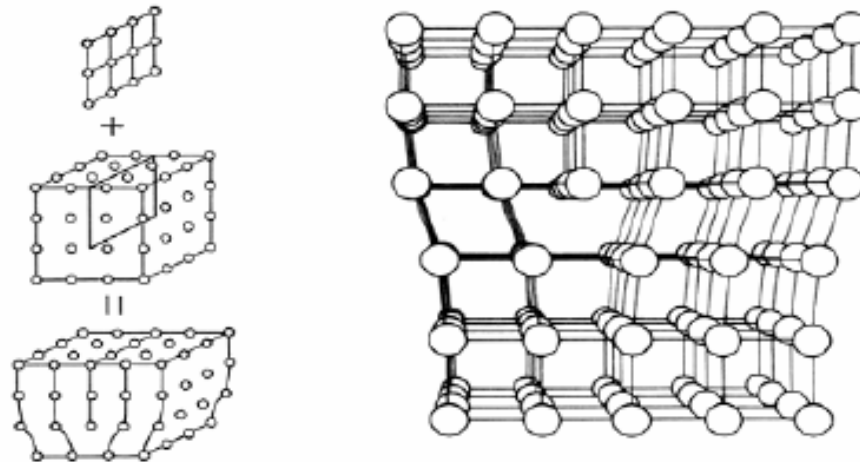
# Дислокације

- **Дефиниција** : Линијски дефекти( дислокације) се у кристалу могу образовати на више начина. Најчешће настају услед клизања појединих области кристала током њиховог раста или пластичној деформацији.
- Дислокације су вид линијске несавршености које могу да настану;
- Термичком обрадом; деформацијом кристала под утицајем спољне силе
- При неоптималним условима раста кристала
- Кондензацијом вакансија (празнина)

# Дислокације

Какав је то дефект дислокација?

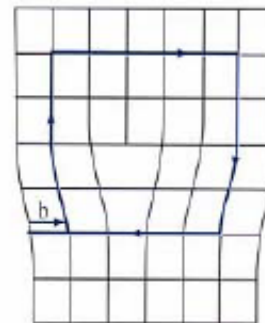
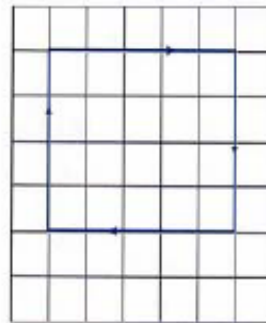
Замислимо да смо једним хипотетичким супер танким жилетом успели зарезати монокристал, мало растворили и онда уметнули једну полураван и линија доњег дела те уметнуте полуравни зове се дислокација, а околина првих атома око дислокације срж дислокације.



Слика 7 Ивична дислокација и положај у кристалној решетки

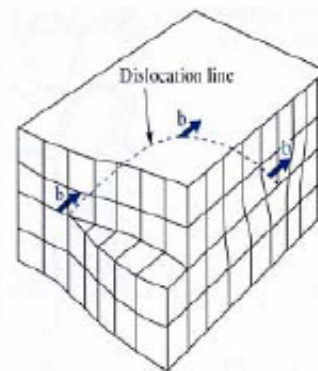
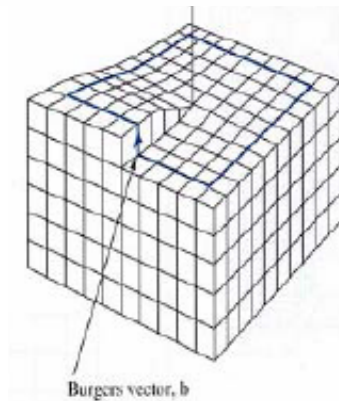
# Дислокације

Идеалан кристал



Ивична дислокација

Завојна дислокација



Мешана дислокација

Слика 8 Ивична и завојна дислокација

# Линијске грешке

Дислокације могу да настану на два начина:

✓ Приликом очвршћавања (кристализације метала), када је присутно  $10^8 \div 10^{12}$  дислокација/cm<sup>2</sup>

✓ У процесу пластичне деформације, када је присутно  $10^{12} \div 10^{14}$  дислокација/cm<sup>2</sup>

тада се активирају извори дислокација који емитују нове покретне дислокације  
Извори постају неактивни када деформација нестане.


Дислокације су значајне грешке које олакшавају процес пластичне деформације.  
Дислокација се креће кроз кристал у правцу дејства силе.

Постојање дислокација у кристалима даје објашњење неслагања између  
стварне и теоријске чврстоће метала.

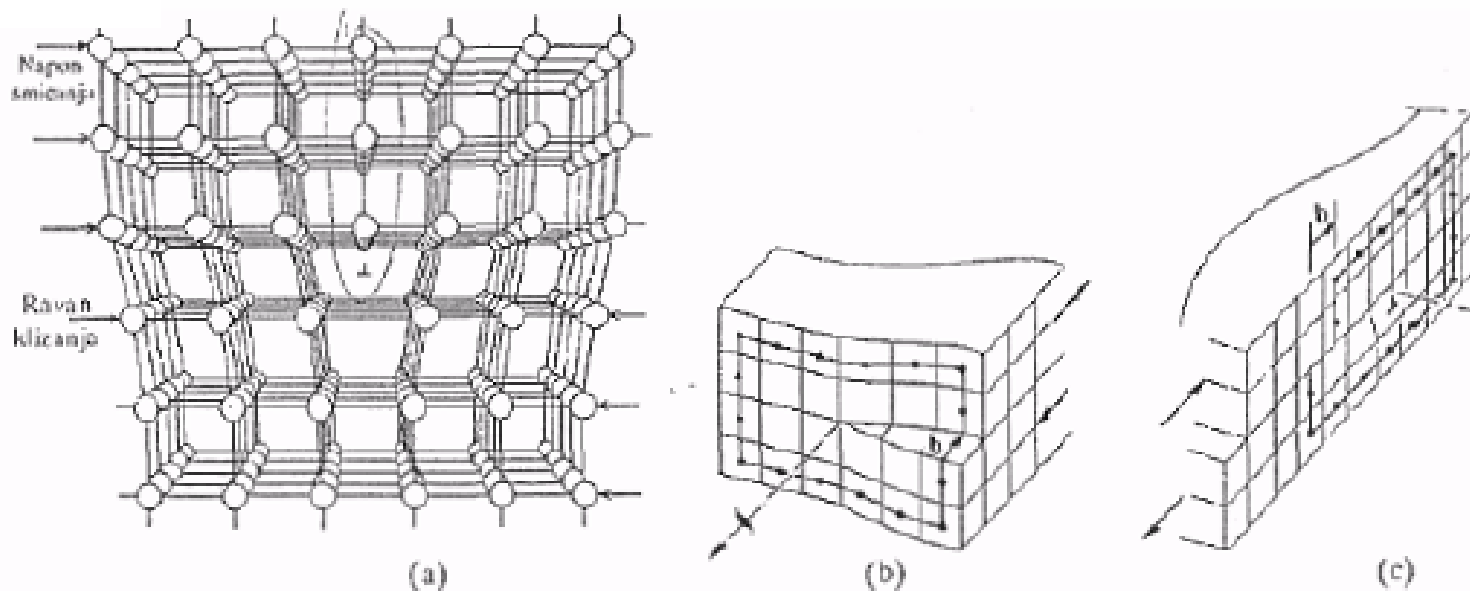
**У идеалној решетки нема дислокација, нити клизања, па је *тангенцијални напон који треба да раскине све везе између атома једнак теоријској чврстоћи.***

Међутим, **код реалних кристала** раван клизања садржи дислокацију која захтева мањи тангенцијални напон који доводи до клизања.

# Ивична дислокација

 — Негативна дислокација

 — Позитивна дислокација



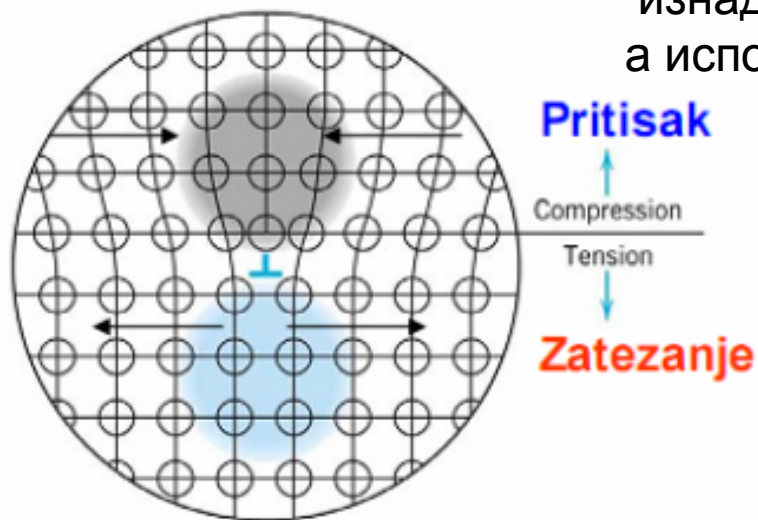
Слика 9 (а) ивична дислокација, (б) Бургесов вектор завојне дислокације (ц) Бургесов вектор ивичне дислокације

**Ивична дислокација појављује се као једна сувишна полураван атома, названа екстра раван.**

# Ивична дислокација

За оцену промене растојања атома-искривљености решетке изазваних ивичном дислокацијом користи се вектор клизања –Бургесов вектор. Вектор потребан да затвори контуру око ивичне дислокације назива се Бургесов вектор. Он показује величину и правац клизања, а нормалан је на дислокациону линију.

Дислокација изазива **напонско стање** у кристалној решетки, тако што је део изнад равни клизања у притисном стању, а испод ње у затезном стању.



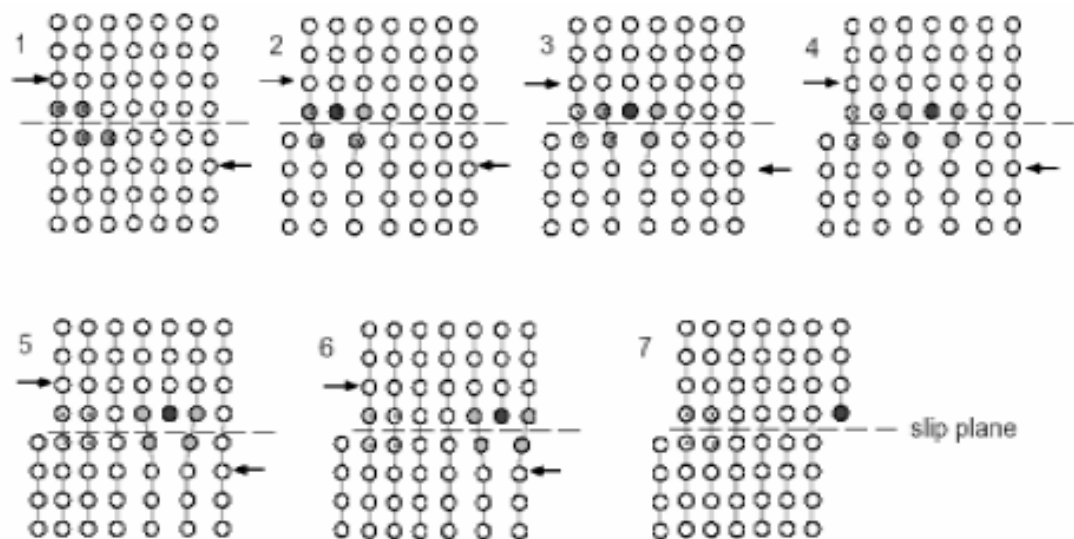
Слика 10 Поље напона у околини ивичне дислокације

Изнад равни клизања појављује се област са притисним напонима, док се испод равни клизања појављују напони истезања.



# Кретање дислокација

Кретање дислокација се најлакше догађа на најгушће запоседнутим равнима кристала. Када је дислокација прошла кроз кристал, део кристала у близини клизне равни се помакао један атомски размак у односу на део испод клизне равни.

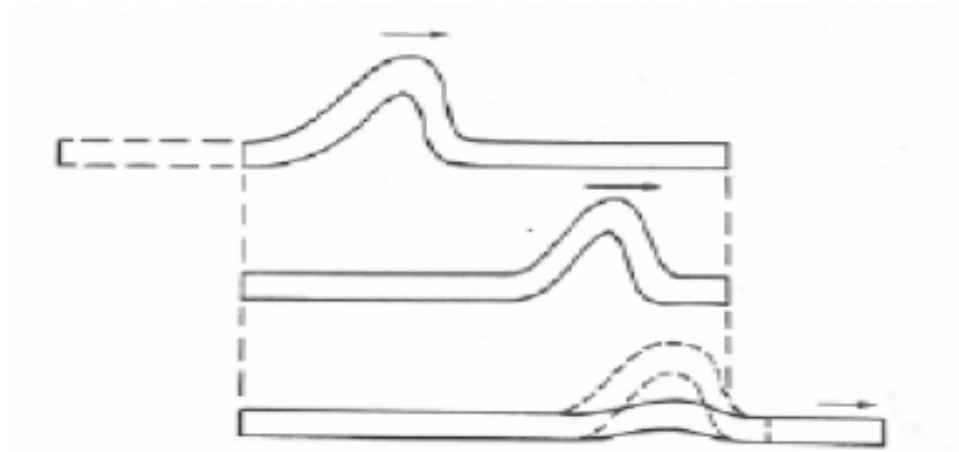


Кретање дислокација узорковало је промену облика кристала који остаје трајно деформисан-пластична деформација.

Слика 11 Пластична деформација удружена са клизањем, које узоркују кретање дислокација, што је последица деловања спољашњег смицајног напрезања на кристал

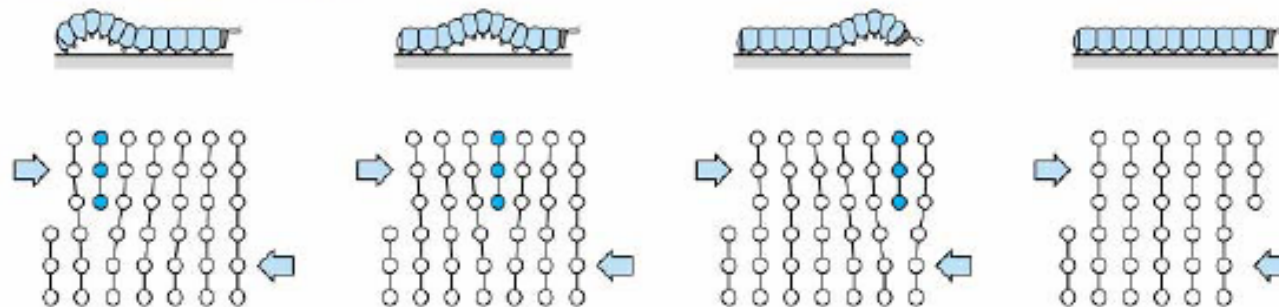
Ако на кристал делује **смицајно напрезање** дислокације се крећу тако да се помера ред атома за редом те је један део кристала померен у односу на други.

# Примери кретања ивичне дислокације

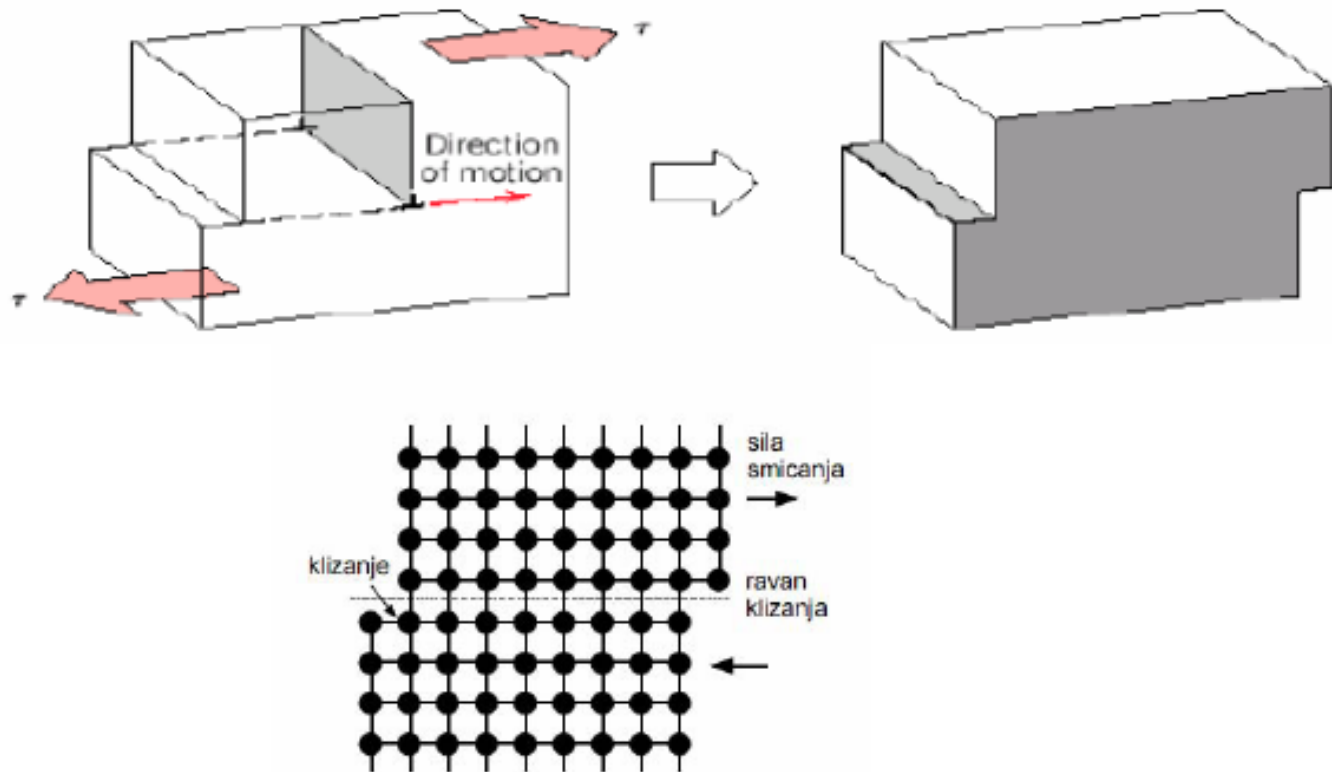


Слика 12 Упоредивање кретања ивичне дислокације са померањем тепиха

## Аналогија гусенице



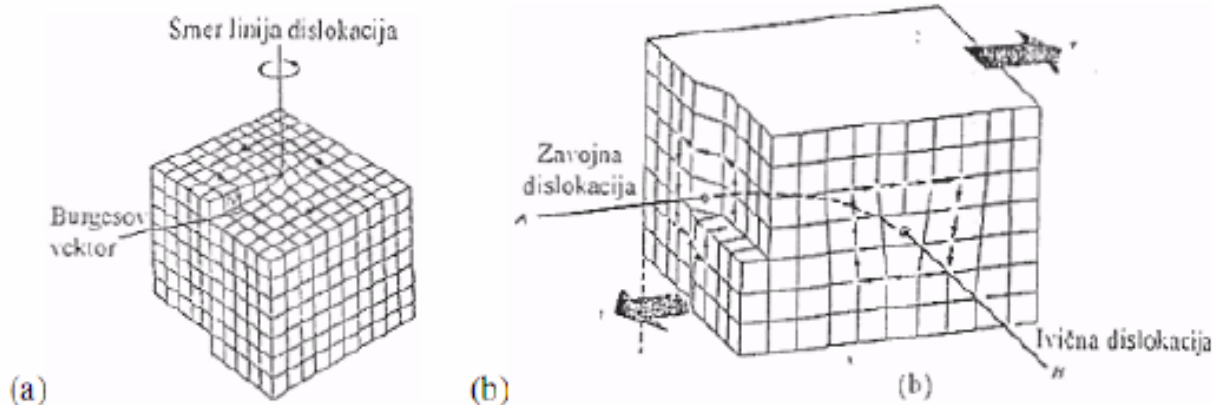
# Смер кретања дислокација



Слика 13 Ивичне дислокацијске линије се крећу паралелно с обзиром на смер деловања спољашне силе

# Завојна дислокација

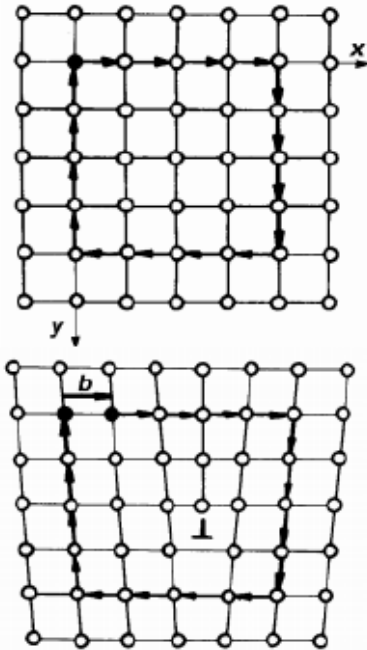
- **Завојна дислокација** означава границу између дела кристала који је померен клизањем и дела кристала који није померен.
- Ова граница је **паралелна правцу клизања**, уместо да лежи нормално на њу као код ивичне дислокације.
- Ако се замисли да је кристал делимично просечен и да су делови кристала са обе стране прореza померени за једно међуатомско растојање, паралелно ивици прореza али у супротним смеровима.



Слика 14 (а) Завојна дислокација (б) сложена дислокација

# Бургесов вектор

РАСТОЈАЊЕ ЗА КОЈЕ СЕ ПОМЕРЕ АТОМИ ОКО **ДИСЛОКАЦИЈЕ** НАЗИВА СЕ ВЕКТОР КЛИЗАЊА ИЛИ БУРГЕСОВ ВЕКТОР.



*Burgersova kontura*

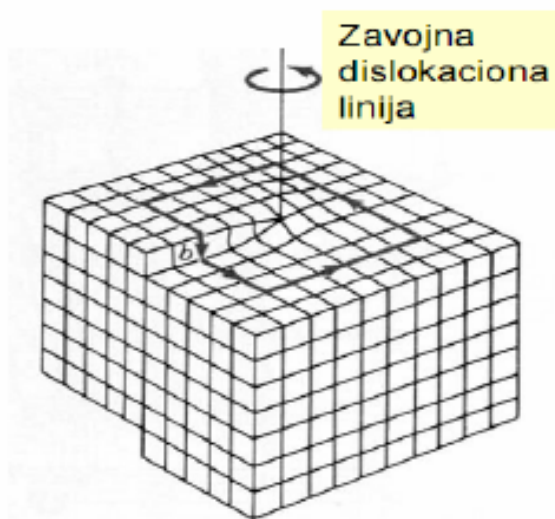
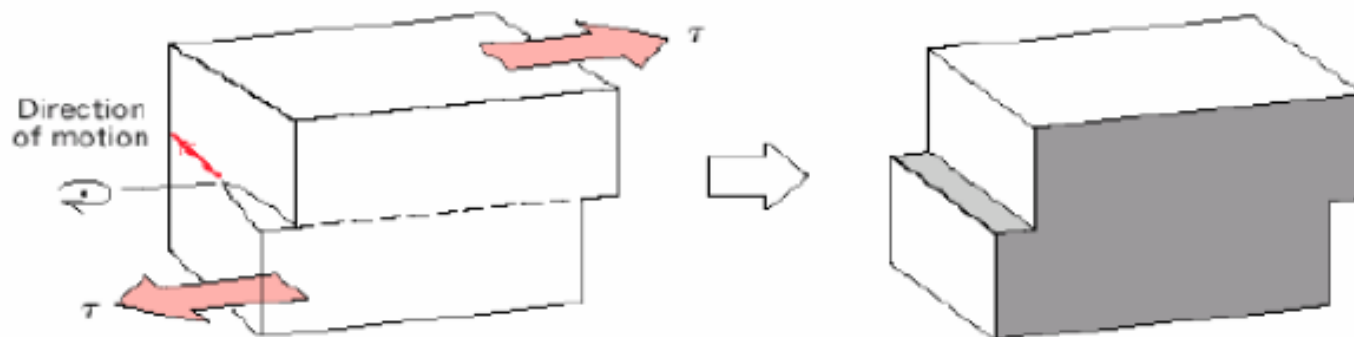
Слика 15(а)



Слика 15б) Бургесов вектор завојне дислокације је паралелан са дислокационом линијом

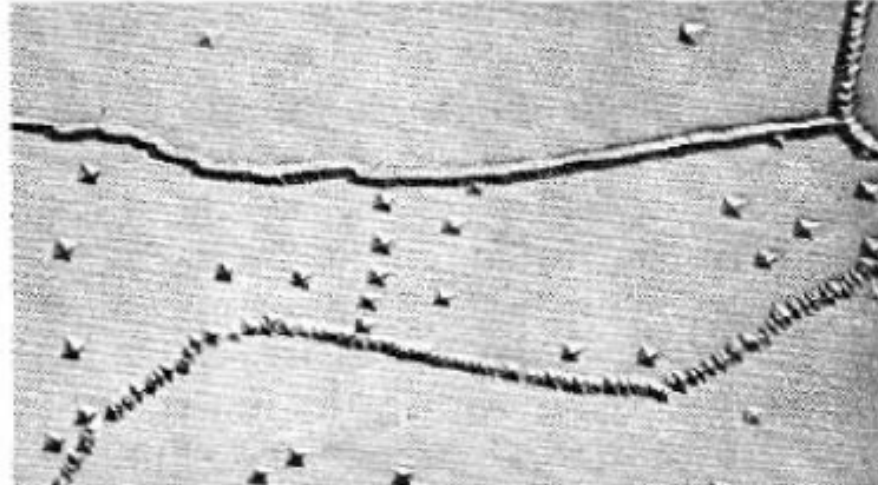
Слика 15а) Бургесов вектор ивичне дислокације је нормалан на дислокациону линију и лежи у равни клизања

# Завојне дислокационе линије



Слика 16 Завојне дислокационе линије крећу се нормално с обзиром на смер деловања спољашње силе

# Посматрање, густина и значај дислокација



Слика 17 Микроскопски изглед дислокација

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

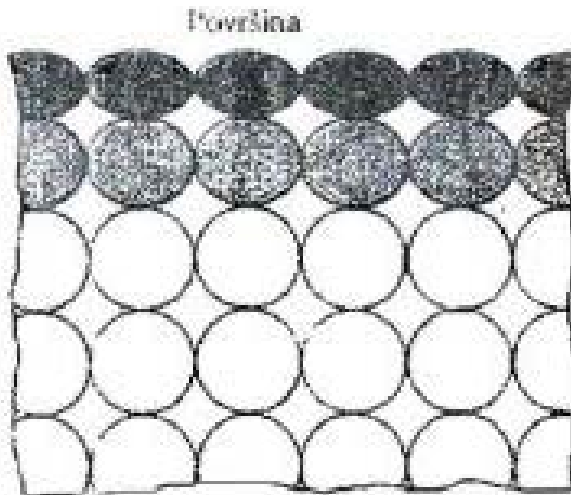
# ПОВРШИНСКЕ ГРЕШКЕ

- Граница металног зрна код поликристалног материјала раздваја два посебна метална зрна са различитом орјентисаношћу.
- Границе металног зрна су један узани појас између два метална зрна, ширине од 3 до 5 међуатомских растојања, са неправилним распоредом атома.
- Густина паковања атома на границама зрна је мања него унутар кристала. Атоми на граничним површинама поседују већу енергију.
- Код техничких чистих метала на границама металних зрна издвајају се примесе нечистоће што још више нарушава правилност распореда атома.
- Мања густина паковања атома, на границама зрна, дозвољава много бржу дифузију атома, а разорјентисаност између суседних зрна отежава кретање дислокација у области металног зрна.

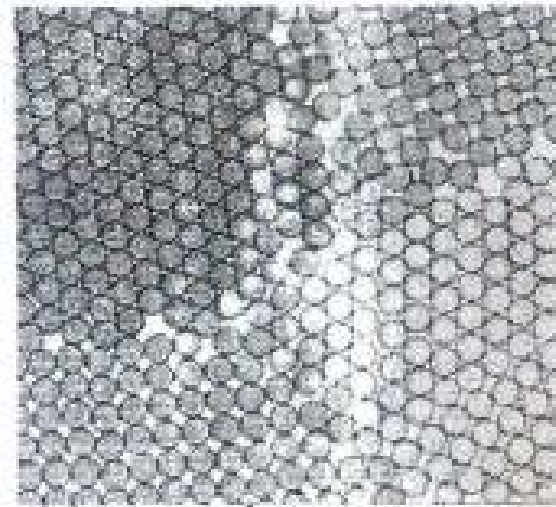


# Површинске грешке

Површинске грешке су дводимензионалне и настају као последица промена у слагању атомских равни дуж границе металног зрна.



(a)



(b)

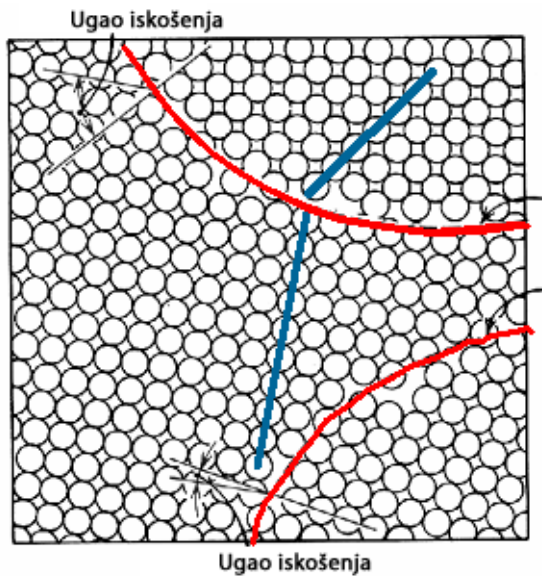
Слика18(а) Шематски приказ атома на граничној површини  
б) границе металног зрна

# Површинске грешке

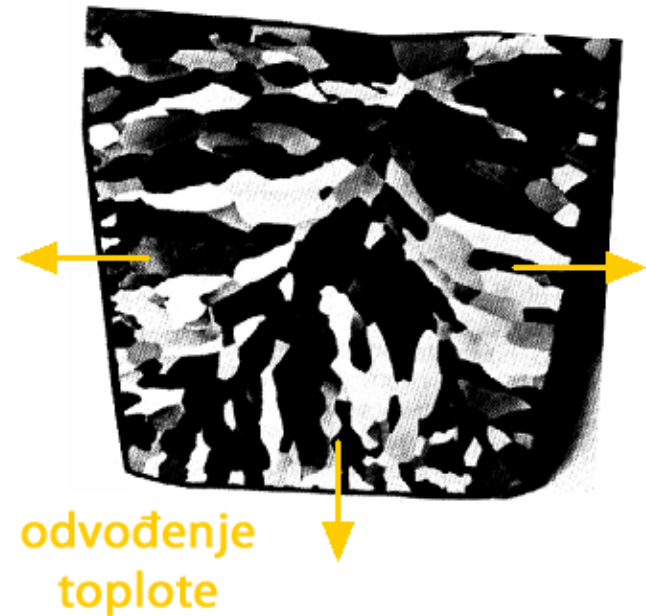
**Границе зрна:** су границе између кристала

Настају процесом очвршћавања,  
на пример имају променљиву орјентацију кристала  
по својој дужини.

спречавају кретање дислокација.

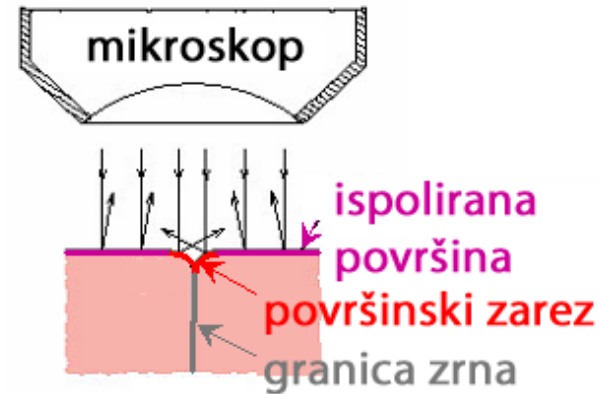


granice  
zrna



# Светлосна микроскопија

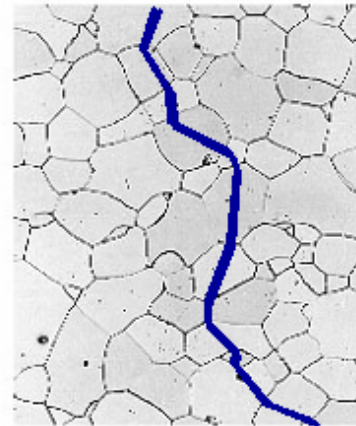
- Границе зрна су несавршености, врло осетљиве на нагризање, могу изгледати као тамне линије, мењају правце у поликристалу.



Број класе величине зрна (нпр. ASTM)

$$N = 2^{n-1}$$

broj zrna/in<sup>2</sup>  
pri uvećanju  
100x



# Запреминске грешке

- У запреминске грешке спадају:
  - Шупљине
  - Укључци (неметалне фазе: оксиди, сулфиди или силикати)
  - Секундарне фазе
  - прслине
- Оне неповољно утичу на механичка и електрична својства метала као што су:
  - Напон течења,
  - Чврстоћа лома,
  - Електрична проводљивост

# Запреминске грешке

Физичке особине које нису осетљиве на ове грешке су:

- Температура топљења,
- Специфична топлота,
- Коефицијент термичког ширења

# Закључак

- Тачкасте , линијске и површинске грешке се јављају у чврстим телима.
- Број и тип грешке се може мењати и контролисати (нпр., Т-ром се контролише концентрација празнина).
- Грешке утичу на особине материјала (нпр., границе зрна утичу на клизање у кристалу).
- Грешке могу бити пожељне или неприхватљиве (нпр. дислокације могу бити добре или лоше, зависно од тога да ли је пластична деформација пожељна или не.)