

# PLASTICKÁ DEFORMÁCIA ZA STUDENA

Plastická deformácia za studena sa uskutočňuje pod teplotou **rekryštalizácie**. Pre ocele je to teplota asi  $0,4 T_{\text{tav}}$ . Plastická deformácia uskutočňovaná pohybom dislokácií a zapríčiňuje *nevratné zmeny tvaru*, pričom sprievodným javom je **spevnenie**. Rastom východiskovej teploty pôsobí aj **odpevnenie**, ktoré je so spevnením pri teplote rekryštalizácie v približnej rovnováhe.

## PLASTICKÁ DEFORMÁCIA MONOKRYŠTÁLU

### MECHANIZMY PLASTICKEJ DEFORMÁCIE MONOKRYŠTÁLOV

Vzájomné premiestňovanie hmoty v procesoch plastickej deformácie vzniká:

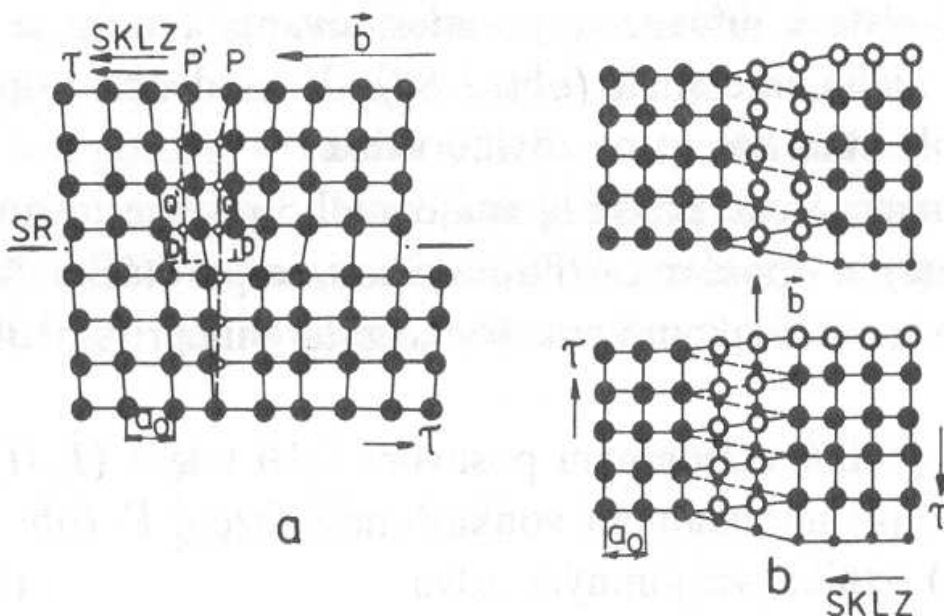
**1. bezdifúzne (sklzom alebo dvojčatením)**

**2. difúziou**

**1.** Vzájomné premiestňovanie hmoty **sklzom** na úrovni atómov vzniká *prednostne v miestach s najmenšou spotrebou energie*. Sú to miesta so sklzovými rovinami a smermi, ktoré sú **najhustejšie obsadené atómami**. Premiestňovanie hmoty v reálnych monokryštáloch **vznikne predovšetkým v miestach, kde pôsobia šmykové napätia** v poradí od najväčšieho k najmenšiemu. Šmykové napätia spôsobujú *odpútanie a pohyb dislokácií a vznik nových dislokácií, teda nositeľmi plastickej deformácie sú pohyblivé dislokácie*.

**Translačný sklz** vzniká pohybom hranovej aj skrutkovej dislokácie (**obr. 1 a,b**). *Pohyb hranovej dislokácie* prebieha vysunutím atómov z rovnovážnych polôh, čím sa zvýši potenciálna energia. Nepatrným pohybom atómov sa vytvorí v mieste posunutej dislokácie  $D_1$  nová nadbytočná polrovina  $P'Q'$ . Z obr. vidieť, že rovina  $P'Q'$  nevznikla posunutím roviny  $PQ$ , ale vytvorila ju susedná skupina atómov. V prípade, že šmykové napätie od vonkajšej sily pôsobí ďalej, potom sa opísaný dej opakuje a dislokácia sa bude posúvať (**obr. 1a**).

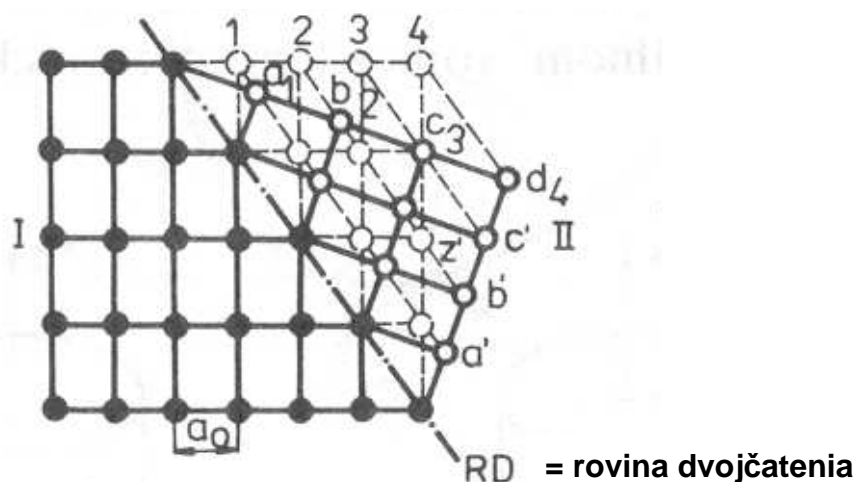
*Pohyb skrutkovej dislokácie* znázorňuje **obr. 1b**. Rovina sklzu v tomto prípade leží v rovine obrázku. Atómy znázornené bielymi krúžkami ležia pred rovinou, atómy vyznačené čiernymi bodmi sú pod ňou.



Obr. 1 Premiestňovanie atómov

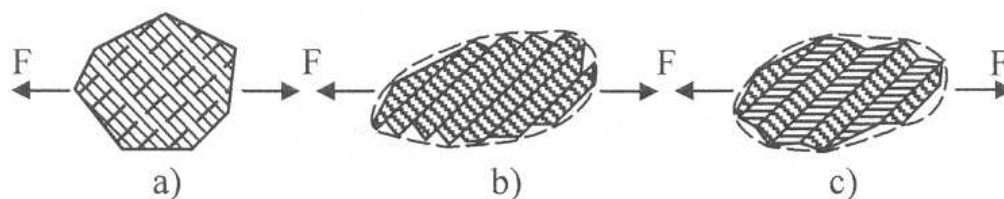
a - sklzom hranovej dislokácie, b - sklzom skrutkovej dislokácie

**Dvojčatenie** vzniká zmenou tvaru kryštálu prostredníctvom **mechanických** (mechanické dvojča) alebo **tepelných** (tepelné dvojča) **lokálne skoncentrovaných účinkov na kov**, t.j. pri určitých podmienkach (napr. pri nízkej teplote, veľkej rýchlosti deformácie) sa kov môže trvalo deformovať dvojčatením. Pri dvojčatení sa veľkou rýchlosťou pootočia rady atómov o určitý uhol vzhľadom na smer posunu. Vzniká zdvojenie kryštálu, pričom nová mriežka v zdvojenej časti kryštálu má v porovnaní s pôvodnou mriežkou **zrkadlovo súmernú orientáciu k určitej rovine**, ktorú nazývame **rovina dvojčatenia**. Na rozdiel od sklzového mechanizmu (pohyb úplných dislokácií) pri dvojčatení sa presunú atómy len o časť medziatómovej vzdialenosti. Zmena tvaru monokryštálu teda vzniká náhlym premiestnením na vzdialenosť menšiu ako „a“ určitej časti kryštálovej mriežky a odlišnou orientáciou druhej časti po posuve (obr. 2). Na realizáciu posuvu sú potrebné v mieste dvojčatenia dislokácie. Preto dvojčatenie (pred alebo po) sprevádza aj nenáhle premiestňovanie sklzom (kombinovaná plastická deformácie). **K dvojčateniu majú najväčší sklon kovy veľkou plasticitou (s priestorovo centrovanou a plošne centrovanou kryštálovou mriežkou).**



Obr. 2 Premiestňovanie atómov pri dvojčatení

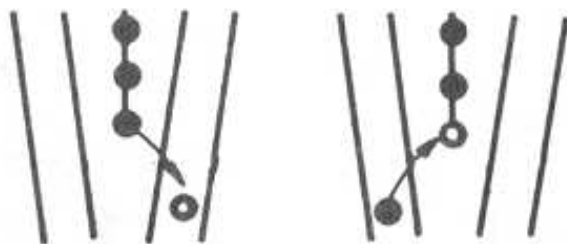
Porovnanie deformácie monokryštálu sklzom a dvojčatením je na obr. 3



Obr. 3 Schéma deformácie monokryštálu:

a - zrno pred deformáciou, b - zrno po deformácii sklzom, c – zrno po deformácii dvojčatením

2. Mikrofyzikálna podstata **difúzneho premiestňovania** hmoty je **v prítomnosti a pohybe vakancií alebo interstícií** (obr. 4). V obidvoch prípadoch nastáva pohyb dislokácie šplhaním kolmo na rovinu sklzu.

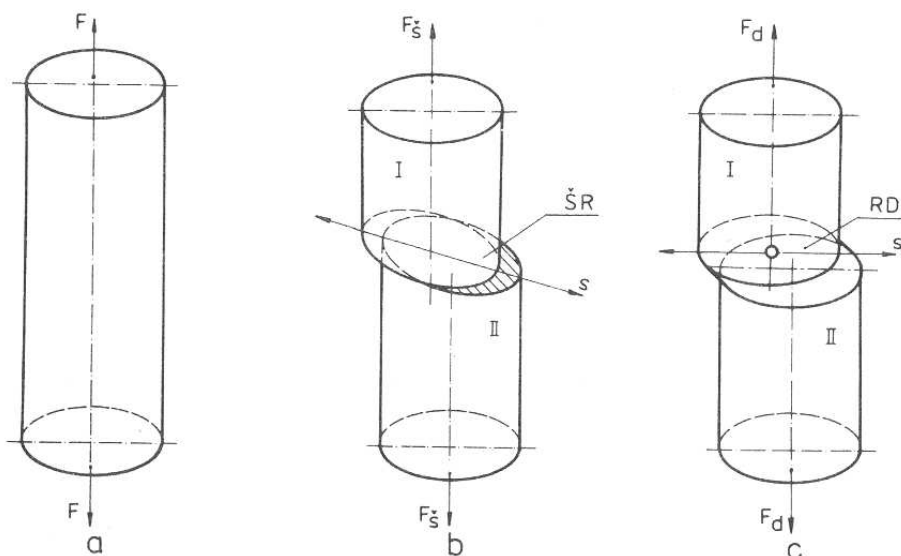


Obr. 4 Premiestňovanie atómov difúziou - vznikom a zánikom interstície

Makroskopicko-mechanická podstata vzájomného premiestňovania hmoty reálneho telesa je v posuve častí **transláciou**, resp. rotáciou (šmykom) alebo **zdvojením** (zlomom) pod účinkom vonkajšieho zaťaženia pri zanedbaní mikroprocesov v kove.

**Translačný šmyk** vzniká vzájomným posuvom častí telesa (I, II) v šmykových rovinách prednostne pri minimálnom vonkajšom zaťažení  $F_s$  (obr. 5b).

**Zdvojenie** (zlom) vzniká vzájomným zdvojením častí telesa (I, II) v rovine dvojčatenia prednostne pri maximálnom vonkajšom dynamickom zaťažení  $F_d$  (obr. 5c).



Obr. 5 Premiestňovanie hmoty šmykom a zdvojením

a - zaťaženie, b - šmyk, c - zdvojenie, ŠR - rovina šmyku, RD - rovina dvojčatenia

## PLASTICKÁ DEFORMÁCIA POLYKRYŠTÁLU

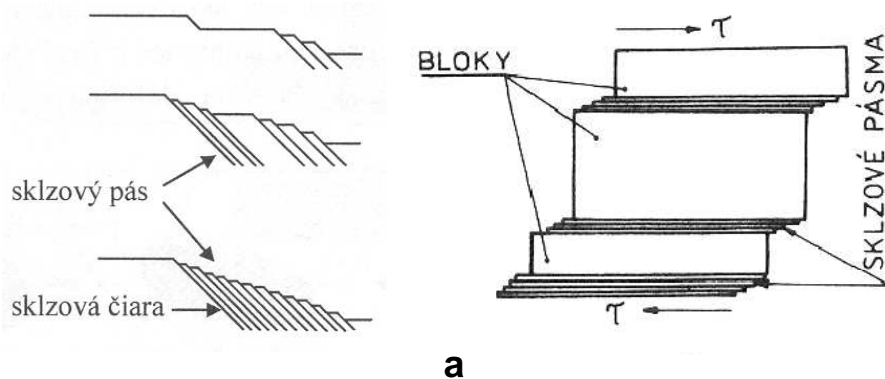
Polykryštalické kovy sú zložené z veľkého počtu kryštálových zŕn s rôznou orientáciou priestorovej mriežky. Plastická deformácia polykryštálu sa potom skladá z **plastickej deformácie jednotlivých kryštálov (zŕn)**.

## Postupnosť plastickej deformácie

Plastická deformácia polykryštálu s postupným prechodom od zrna k zrnú sa realizuje *sklzom* a *dvojčatením* v tých zrnách, ktoré majú súhlasné mechanické a kryštalografické orientačné faktory.

**Sklz v polykryštalických materiáloch** môže byť:

- **translačný jednoduchý sklz**- ktorého nositeľom sú dislokácie, stupňovite pretína povrch zrna (dislokácie vystúpia na povrch). Rovnobežné sklzy v ekvivalentných sklzových rovinách vytvárajú na povrchu zrna (aj polykryštálu) *sklzové zväzky* (asi 100 ekvivalentných atómových rovín) a *sklzové pásma* (viac ako 100 rovín)- **obr. 6**. Medzi sklzovými stupňami a pásmami vznikajú bloky s pôvodnou priestorovou mriežkou bez plastickej deformácie (**obr. 6a**). Všetky tieto stopy na povrchu kovu voláme **sklzové čiary**, ktorých dotyčnice sú rovnobežné so smerom hlavných napätí.
- **zložitý sklz**- vzniká rozvojom plastickej deformácie ohýbaním a natáčaním sklzových rovín.



Obr. 6 Sklz:

a - jednoduchý (schéma tvorby sklzových pásov)

**Dvojčatenie v polykryštalických materiáloch** vytvára v mieste zdvojenia *novú priestorovú mriežku* (zrkadlový obraz pôvodnej mriežky), čo sa prejaví na povrchu zrna dvojnásobnou stopou.

## DRUHY SPEVENIA OCELÍ:

- **Substitučné spevnenie**- substitučnými atómami
- **Intersticiálne spevnenie** prídavkom intersticiálnych prvkov – **C, N, B, H, O**; substitučné a intersticiálne spevnenie sa súhrnne označuje ako **spevnenie legovaním**
- **Spevnenie hranicami zrna**- je najvýznamnejším faktorom, pretože *zjemňovaním zrna rastie nielen medza sklzu, ale aj vrubová húževnatosť*, pri súčasnom poklese prechodovej teploty. Zjemňovanie zrna u ocelí sa dosahuje *normalizačným žíhaním*, pri ktorom sa využíva blokujúceho vplyvu karbidov V, Ti, Nb a nitridov Al vhodnej veľkosti do ~50 nm (ich vylúčením na hraniciach sa bráni **rastu (zhrubnutiu) zrna**) alebo *riadením veľkosti úberu a valcovacích*

teplôt, aby sa zabránilo hrubnutiu austenitických zŕn (**riadené valcovanie**). Riadeným valcovaním sa dosahuje až o 150 MPa vyššia medza sklzu ako pri normalizačnom žíhaní.

- **Precipitačné spevnenie**- u ocelí sa dosahuje vylúčením karbidov, karbonitridov alebo nitridov Nb, Ti v tuhom roztoku (v objeme zrna), pri riadenom ochladzovaní z valcovacej teploty alebo teploty normalizačného žíhania. Používa sa však len pre ocele s dostatočne jemným zrnom (inak môže dôjsť ku skrehnutiu).
- **Deformačné spevnenie**- riadiacim mechanizmom plastickej deformácie monokryštálu za studena je väčšinou sklzový proces, ktorého nositeľom sú pohyblivé dislokácie. V reálnych kryštáloch však existujú *prekážky*, ktoré *ovplyvňujú, brzdia pohyb dislokácií*, čím sa zhoršujú podmienky pre realizáciu dislokačných mechanizmov. Dislokácie tak citlivo reagujú na prekážky. Pokračovanie, rast plastickej deformácie vyžaduje *d'alšie zvyšovanie vonkajšieho zaťaženia*, kov kladie väčší odpor a nastáva **deformačné spevnenie**, v dôsledku čoho sa **zvyšuje pevnosť a tvrdosť materiálu**, ale súčasne **sa vyčerpávajú plastické schopnosti materiálu**. Všetko, čo brzdí pohyb alebo zapríčiní zastavenie dislokácií, prejaví sa prírastkom elasticity na úkor plasticity.

**Prekážkami v pohybe dislokácií sú:**

- iné dislokácie (inak orientované)
- hranice zŕn
- cudzie atómy prísad
- malé častice cudzej nedeformovanej fázy umiestnené v sklzovej rovine - hovoríme o *disperznom spevnení*.
- precipitáty