

# NANOMATERIÁL

# Použitie nanomateriálov v histórii

4. storočie n.l.

v sklárstve – pridávanie práškov rôznych materiálov (Au, Ag, Cd, Zn...) pre zmenu farby skla

**Lykurgove poháre – s použitím častíc zlata a striebra (nanokryštály s rozmerom cca 70 nm) – pri dopade svetla z vonku sú poháre zelenej farby, pri zdroji svetla vo vnútri pohára majú poháre červenú farbu.**



**13.-16. storočie n.l.**

**lesklá glazovaná keramika s použitím povlakov striebra o hrúbke 200-500 nm**

**15.-16. storočie n.l. – glazúry renesančnej keramiky obsahujú častice striebra o rozmeroch 5 - 100 nm**

**1857 – Faraday oznámil získanie koloidného zlata redukciou vodného roztoku tetrachlórzlatitanu**

**1931 – vyvinutý elektrónový mikroskop umožňujúci zobrazit' objekty menšie ako 1 nm**

**1974 – Norio Tamaguci navrhol používať termín nanotechnológie pri obrábaní s toleranciou menšou ako 1 nm**

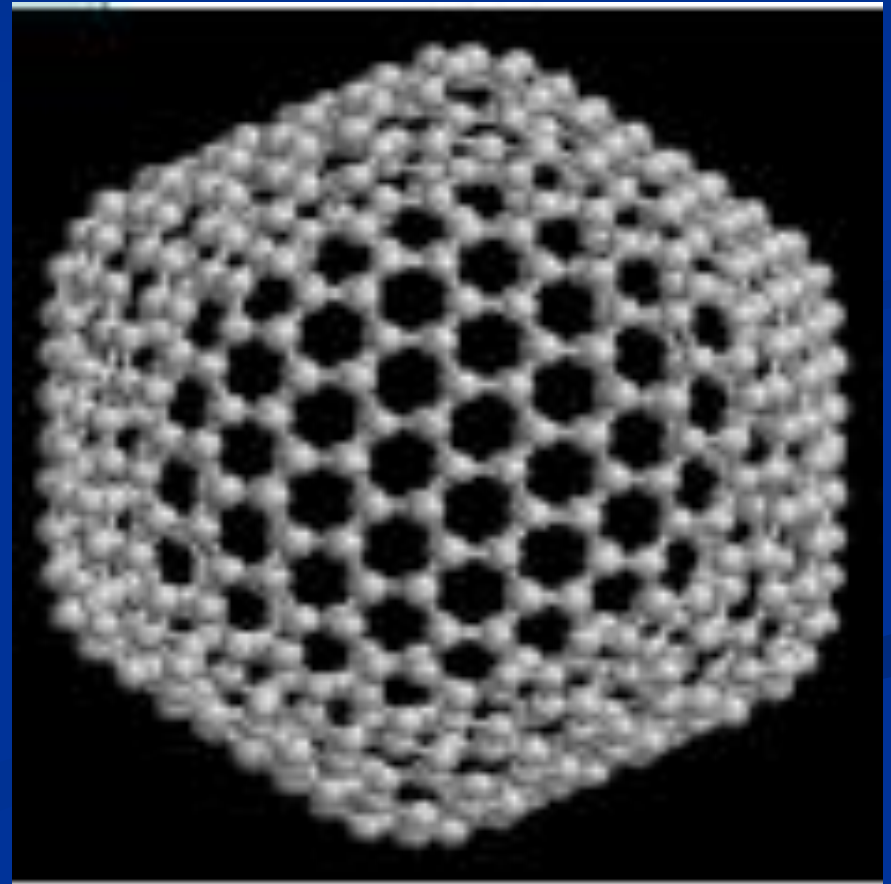
**1981 – prvý článok o nanotechnológii vo vedeckom časopise**

**1981 – vývoj skenujúceho tunelového mikroskopu umožňujúceho zobrazenie jednotlivých atómov**

**1983 – vytvorenie prvého umelého chromozómu**

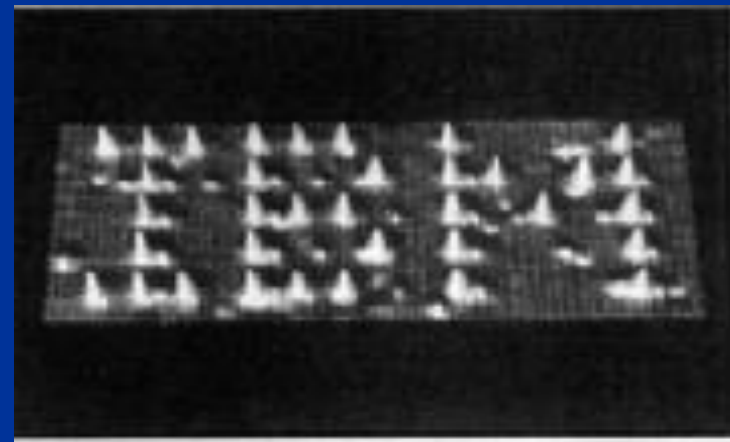
**1985 – objav fullerenu**

**1986 – po prvýkrát zaznamenané kvantové skoky  
v atónoch**



**1988 – vypracovaná metóda identifikácie podľa DNA z jediného vlasu**

**1990 – pomocou tunelového skenovacieho mikroskopu boli 35 xenónovými atómami napísané na niklovú doštičku písmená IBM**



**1991 – založenie Institute for Molecular Manufacturing, objavenie nanotrubic**

**1993 – prvé nanodrôty**

**1995 – založenie spoločnosti Nanocor zaoberajúcej sa vývojom nanokompozitných materiálov**

**2000 – rozlúštenie ľudského genómu – prvý motorček na báze DNA**



# Nanotechnológie v prírode

lotosový efekt

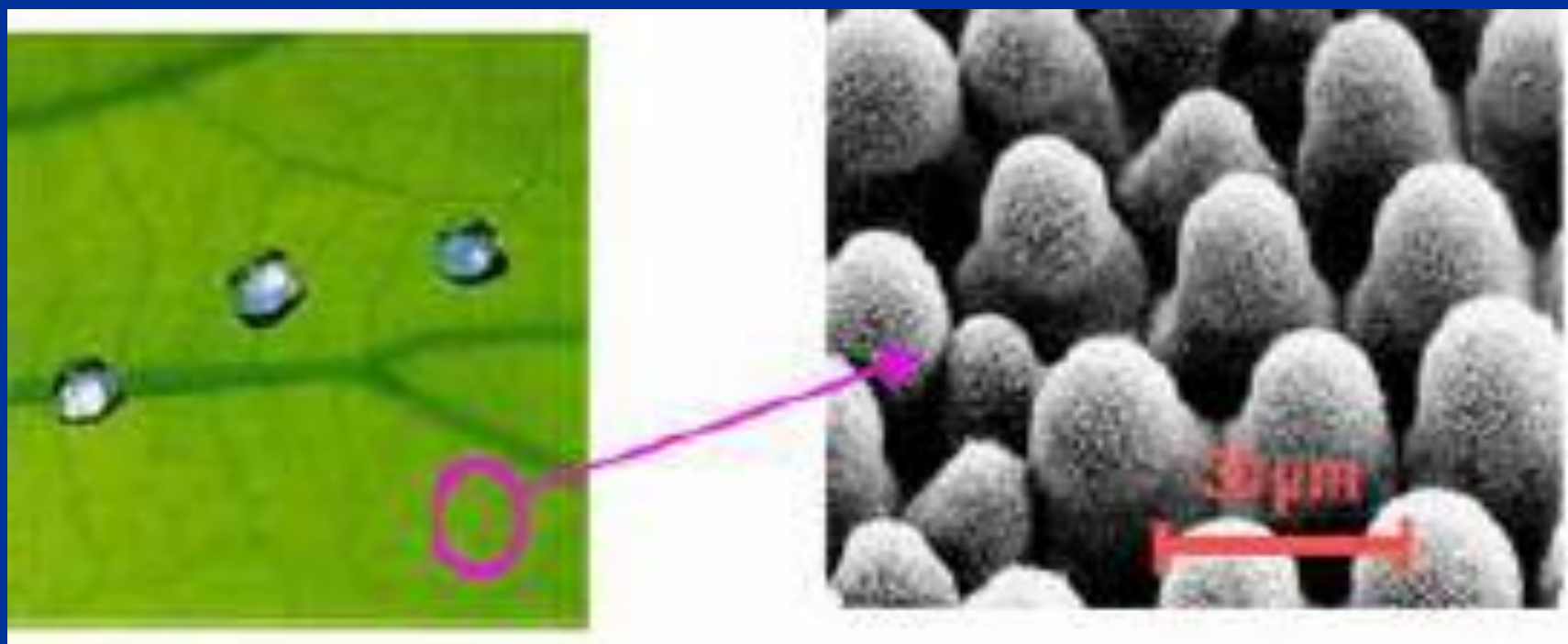
neusadzujú sa kvapalné nečistoty

odplavenie nečistôt



**Kvapky vody nenamáčajú povrch**

**Kotúľanie po povrchu výstupkov, nedochádza ku  
kontaktu s povrchom listu**



# Dáždnik NanoNuno

Dáždnik ostáva stále  
čistý a suchý



Realizované vo Švajčiarsku

# Nanotechnológia v prírode

## Gekon obrovský

Spodnú hranu prstov má husto posiatu keratínovými chĺpkami – sétami. Sú dlhé asi 30-130  $\mu\text{m}$  a majú asi 10 x menší priemer ako ľudský vlas. Na štvorcovom milimetri je takýchto sét okolo 5000, na každej labke asi pol milióna. Každá séta je rozdelená na 400-1000 útvarov zv. spatulae



## Gekon obrovský a jeho labka



# Rozdelenie nanoobjektov

**0D - nanočastice, kvantové bodky**

**1D - nanodrôty, nanotuby**

**2D - tenké filmy**

**3D - zložitejšie komplexné štruktúry, čipy**

# 0D - nanočastice Nanostriebro

Antimikrobiálne vlastnosti striebra sú známe už niekoľko storočí

Denaturácia disulfidových väzieb v bunčných membránach baktérií

Obdoba peroxidu vodíka

Lekárske prístroje, textil, klávesnice pre počítače, automobilový priemysel, športové potreby, kozmetika, náterové látky...

Potravinársky priemysel, zásobníky potravín, nádoby na potraviny, chladničky, mrazničky

# 1D – nanotuby, nanovlákná

10 krát pevnejšie ako oceľ

10 krát ľahšie ako oceľ

Vodiče, polovodiče

Základ pre ultra-hustý záznamový systém

Veľký pomer medzi priemerom a dĺžkou

Material	Yangův modulus (TPa)	Napětí v tahu (GPa)	Prodloužení při protržení(%)
SWNT	~1 (od1 do 5)	13–53 <sup>E</sup>	16
MWNT	0.8–0.9 <sup>E</sup>	150	
Nerez ocel	~0.2	~0.65–3	15–50
Kevlar	~0.15	~3.5	~2



# 2D – tenké filmy

Superparamagnetické nanočastice – vysoká HC, nedôjde k náhodnému prepisu v magnetickom poli

Technika prípravy čipu za pomoci svetla

Hustota tranzistorov – viac ako pol milióna na hrote ceruzky

Zmena magnetického stavu v bode dotyku  
Stopa vytvorená tepelnou aktiváciou filmu

# 3D - čipy

Rast uhlíkových nanotrubic na leštenom kremíku

Usporiadané 3D-štruktúry

Dobrá vodivosť

Zanedbateľné tepelné straty

Pevnosť – mechanicky zaťažiteľné spoje

# NANOMATERIÁLY

**Materiály s ultra jemným zrnom**

**- priemerná veľkosť zrna resp. disperzných častíc menších ako  $1\ \mu\text{m}$  a viac ako desiatky nm.**

**Odlišné mechanické vlastnosti sú následkom najmä:**

- zvýšenej citlivosti k rýchlosti deformácie**
- obmedzením pohyblivosti a interakcie dislokácie len na oblasť subzrna.**

# Nanovrstvy:

hrúbka vrstvy menšia ako 100 nm

Technológia výroby dostatočne objemovo masívnych vzoriek materiálu je založená na tzv. extrémnej plastickej deformácii (severe plastic deformation), ktorá vedie na ultrajemné zrno. Ak je východiskovým produktom materiál získaný práškovou metalurgiou, možno doceliť aj objemového nanomateriálu.

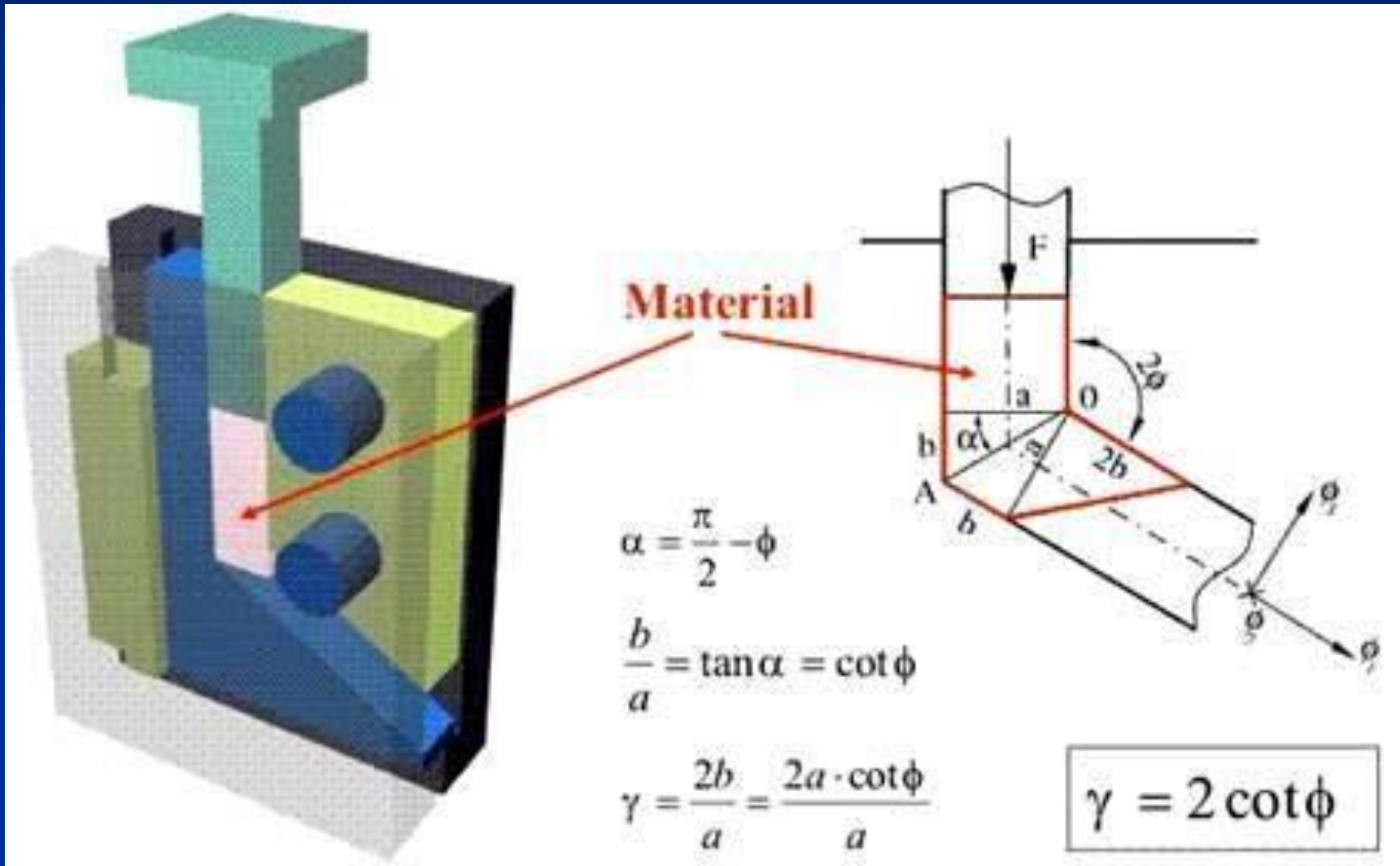
**Extrémna plastická deformácia sa realizuje technológiami:**

**ECAP (equal channel Angular pressing)**

**HPT (high-pressure torsion)**

**ARB (accumulative roll bonding)**

# Princíp metody ECAP



**Materiál je deformovaný ideálnym šmykom bez trenia. Prierez vzorky zostáva prakticky rovnaký a je teda možné vykonávať mnoho po sebe nasledujúcich operácií na získanie vysokého stupňa plastickej deformácie.**

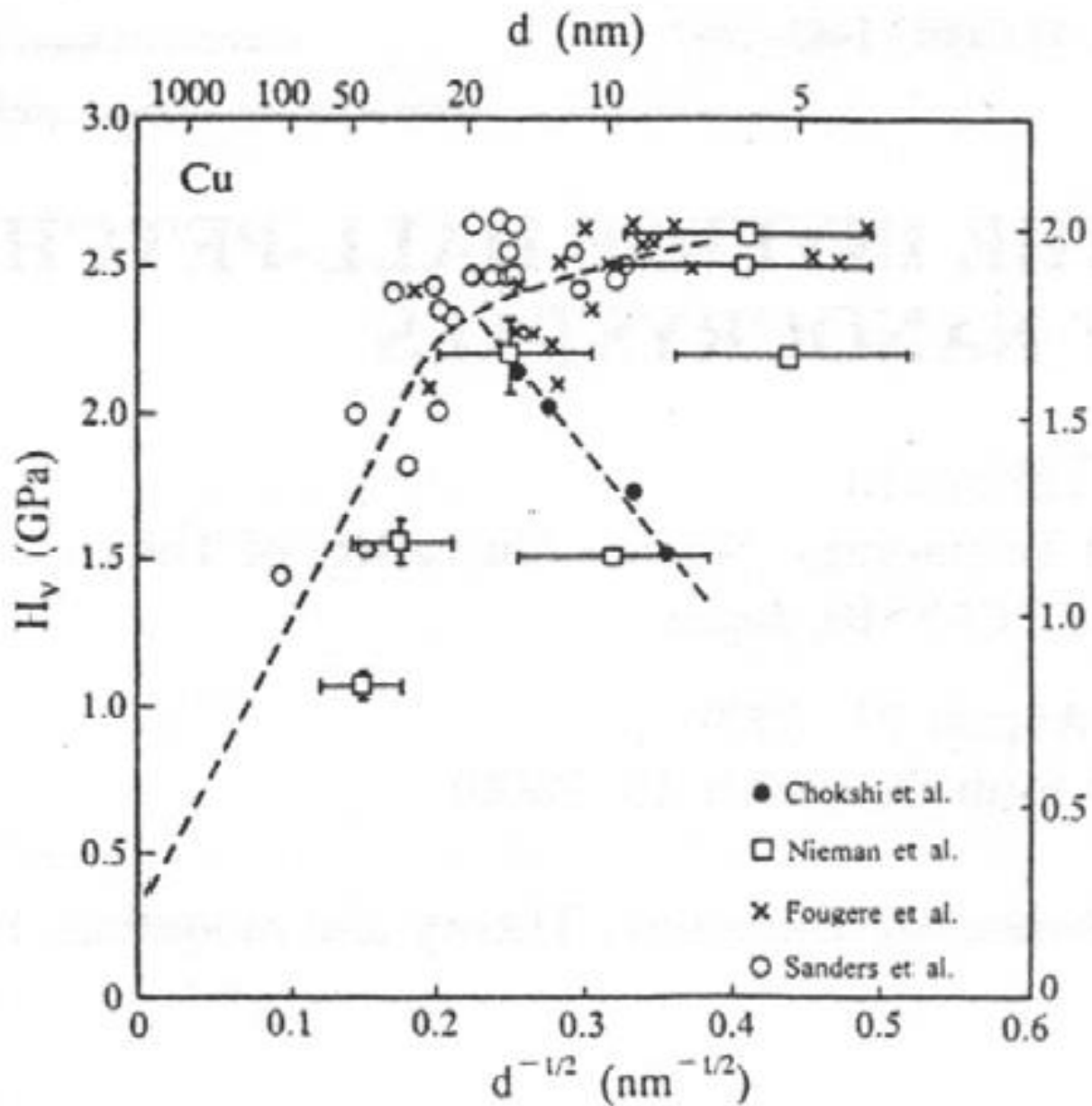
**Vzorka môže byť deformovaná po rôznych deformačných dráhach otáčaním okolo osi kanála ( $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$ ) medzi jednotlivými operáciami pretlačovania.**

# Pevnosť a plasticita

V dôsledku znižovania strednej veľkosti zrna a Hallov-Petchovej závislosti sa zvyšuje medza sklzu i pevnosť. Existuje však limita v oblasti rádovo desiatok nm, za ktorej môže dochádzať i k poklesu pevnosti a tvrdosti.

To možno vysvetliť zmenou deformačného mikromechanizmu v oblasti nanozrn.





# System mikrozn :

Kritické sklzové napätie (medza sklzu YM  $\sigma$ ) je dané generáciou vnútrokryštálových dislokácií strednej dĺžky  $L$  ( $\tau_c \propto Gb / L$ )

# System ultrajemných zrn.

Vel'kost' sub zrn sa zmenšila pod kritickú hodnotu, pri ktorej je porovnateľná so strednou dĺžkou dislokáciou  $\langle L_c \rangle$ .

Stredná voľná dráha  $\langle l_c \rangle \approx \langle L_c \rangle$  a plastická deformácia je teda obmedzená na emisie z hranice zrna a nasledujúce rýchle zachytenie (pohltenie) jedinej dislokácie, alebo maximálne niekoľkých dislokácií v jednotlivých zrnách. Nemôže teda dochádzať k ďalšiemu spevňovaniu.

# System nanozrn:

Dislokácie sa vo vnútri zrn nevyskytujú v dôsledku vysokého vnútorného napätia od hraničných dislokácií.

Neexistuje priestor pre spevnenie.

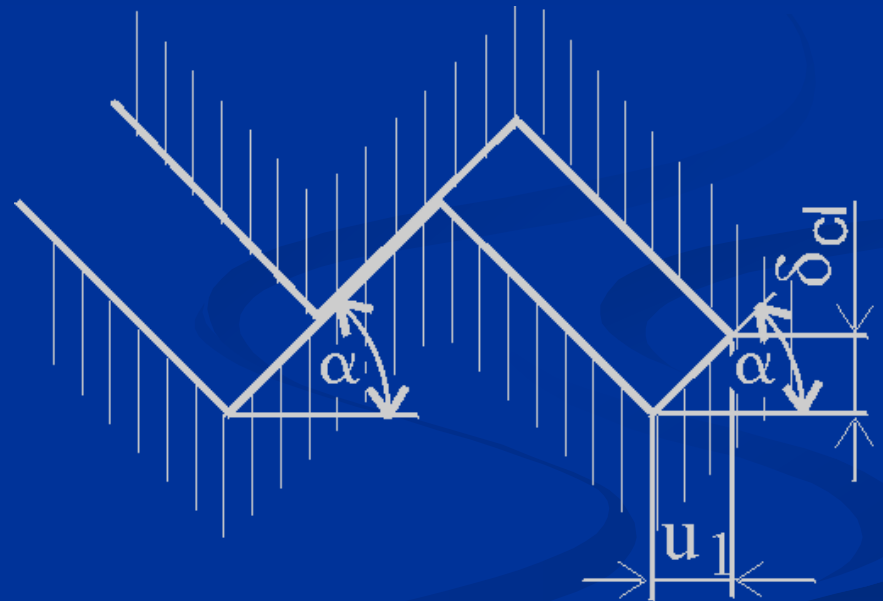
Vysoký objemový podiel hraníc zrn zvýrazňuje úlohu hraničných dislokácií a difúzií už v oblasti izbových teplôt. Medza sklzu  $\gamma_n$   $\sigma$  v systéme nano zrn je teda daná kritickým sklzovým napätím hraničných dislokácií.

# Únavové vlastnosti:

Pretože medza sklzu aj pevnosť nanomateriálov je vyššia než u mikrozrnných materiálov, je vyššia aj medza únavy. Určitým problémom zostáva pozorovaná nestabilita nanoštruktúr a rekryštalizačné tendencie najmä v oblasti nízkej únavy.

Jednou z mála únavových charakteristík, ktoré sú u nanomateriálov horšie ako u mikromateriálov, je rýchlosť šírenia dlhých trhlín v prahovej oblasti. To platí najmä pre veľmi nízke prahové hodnoty  $\Delta K_{th}$ . Vysvetlenie spočíva v absencii drsno indukovaného zatvárania trhliny vplyvom vzájomného šmykového posunutia lomových plôch za čelom únavovej trhliny.

**Tento posun má zásadnú príčinu:  
asymetria zvyškovej plastickej zóny za čelom trhliny  
ireverzibilita dislokačného sklzu v plastickej zóne  
pred čelom trhliny.**



**Najmä prahové hodnoty  $\Delta K_{th}$  u nanomateriálov sú výrazne nižšie ako u bežných inžinierskych materiálov.**