

ESF II projekt Západočeské univerzity v Plzni

reg. č. CZ.02.2.69/0.0/0.0/18_056/0013239



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Povrchy a jejich úpravy

- Přednášky: Doc. Ing. Olga Bláhová, Ph.D.
- Skripta: Ing. Václav Kraus, CSc.

Obsah předmětu:

- Povrch a jeho vlastnosti (struktura povrchu, vlastnosti)
- Porušování povrchu (koroze, opotřebení, porušování povlaků)
- Způsoby ochrany výrobků (úprava prostředí, volba materiálu, konstrukční řešení, elektrochemické a dočasné ochrany)
- Předběžné úpravy povrchu (mechanické, chemické)
- Organické povlaky (nátěry, plasty, technologie nanášení)
- Anorganické povlaky (konverzní vrstvy, žárové stříkání, smaltování)
- Kovové povlaky a vrstvy (žárové, ponorem, postřikem, difúzní, fázovou transformací, chemické a elektrochemické, fyzikální a fyzikálně chemické)
- Hodnocení povrchových úprav (cvičení)



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

POUŽITÁ LITERATURA

V. Kraus: POVRCHY A JEJICH ÚPRAVY, skripta, ZČU
Plzeň 2000

<http://tzs.kmm.zcu.cz/pou.htm>

V. Sedláček: PORCHY A POVLAKY KOVŮ,
skripta, ČVUT Praha 1992

V. Číhal: Korozivzdorné oceli a slitiny, Academia Praha, 1997

L. Bumbálek, B. Bumbálek: POKROKOVÉ TRENDY
V HODNOCENÍ TEXTURY POVRCHU, FSI VUT Brno
http://gps.fme.vutbr.cz/STAH_INFO/44_Bumbalek_VUTBR.pdf

<http://cs.wikipedia.org>



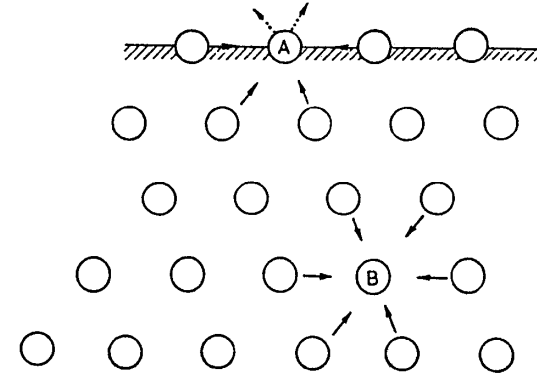
EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání


MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Povrch

Povrch:

- obálka makroskopického objektu tvořící hranici mezi základním materiálem a okolím
- určuje vzhled objektu
- tvoří rozhraní mezi dvěma fázemi:
 - objekt: pevná fáze
 - prostředí: plyn nebo kapalina



Velké objekty:

- malý poměr plochy povrchu S k jeho objemu V
- fyzikální a chemické vlastnosti určeny především vlastnostmi základního materiálu

Malé objekty:

- velký poměr S/V
- vlastnosti výrazně ovlivněny povrchovými vrstvami → unikátní vlastnosti nanomateriálů

Funkční vlastnosti povrchu jsou závislé:

- na vnější vrstvě tvořící rozhraní:

Oblast	Rozměr	Funkční ovlivnění
HORNÍ NANOVRSTVA	0,1 nm	A dsorbce, chemická reaktivita
TENKÝ FILM OXIDACE	0,1 ÷ 100nm	Odrazivost, tření, koroze, tepelná vodivost
VNĚJŠÍ POVRCH. VRSTVA	0,1 ÷ 10 μm	Deformace struktury
CELKOVÁ VRSTVA	> 100 μm	A dheze, nátěry

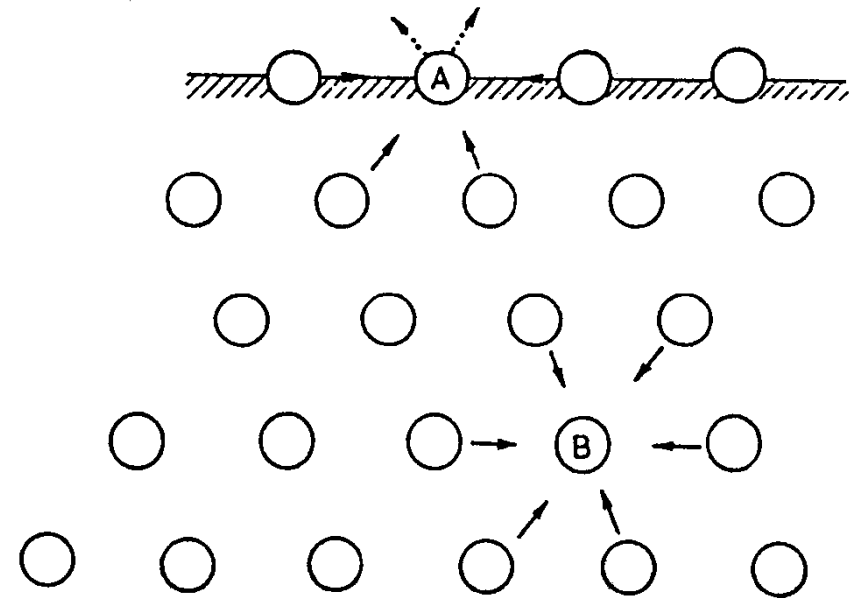
Povrch

- Rozhraní dvou prostředí

- Skoková změna symetrie sil

- A: atom na povrchu

- B: atom uvnitř homogenního materiálu



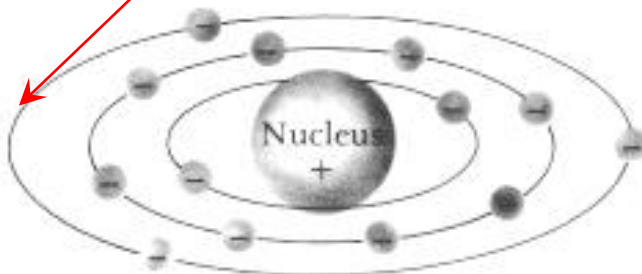
- Stavba atomu:

- Jádru: $p^+ + n$

- Obal: e^-

- Sféry, poslední: valenční (max. 8 e^-)

rozhoduje o vazbách mezi atomy



Periodická tabulka prvků

Halogeny Vzácné plyny

Prvky elektronegativní

Polokovy

Kovy T

Kovy B

Nekovy

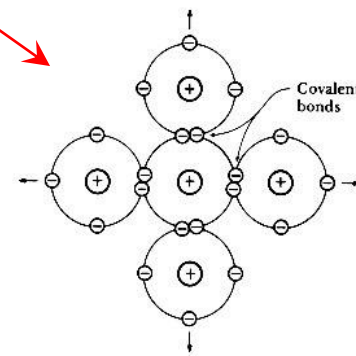
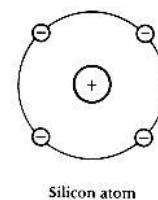
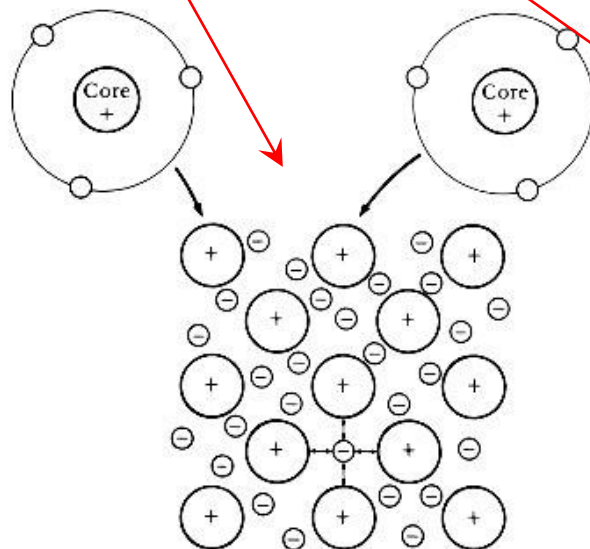
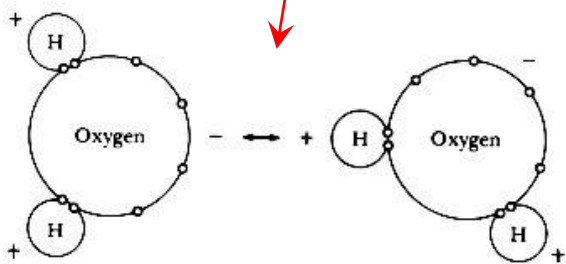
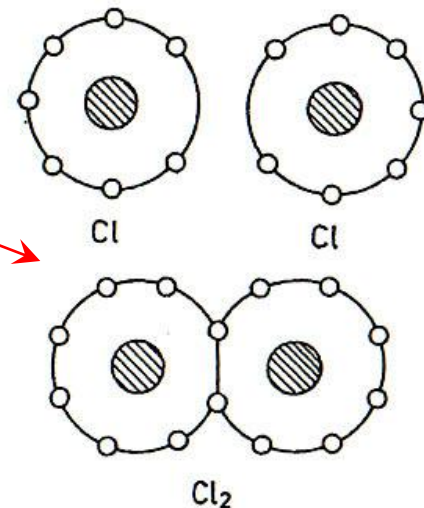
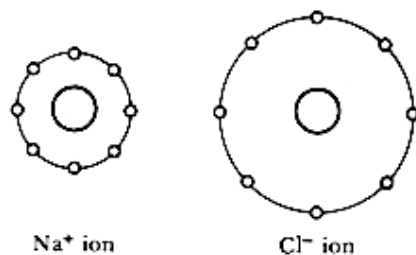
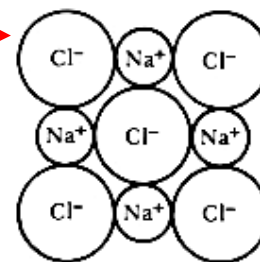
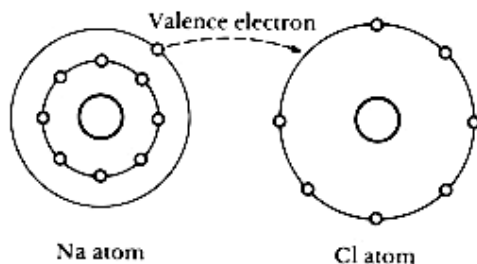
Prvky elektropozitivní

Group**		Prvky elektronegativní																	
Period	1 IA 1A	2 IIA 2A											13 IIIA 3A	14 IVA 4A	15 VA 5A	16 VIA 6A	17 VIIA 7A	18 VIIIA 8A	
1	1 <u>H</u> 1.008																		2 <u>He</u> 4.003
2	3 <u>Li</u> 6.941	4 <u>Be</u> 9.012											5 <u>B</u> 10.81	6 <u>C</u> 12.01	7 <u>N</u> 14.01	8 <u>O</u> 16.00	9 <u>F</u> 19.00	10 <u>Ne</u> 20.18	
3	11 <u>Na</u> 22.99	12 <u>Mg</u> 24.31	3 IIIB 3B	4 IVB 4B	5 VB 5B	6 VIB 6B	7 VIIB 7B	8 ----- -----	9 ----- -----	10 VIII ----- -----	11 IB 1B	12 IIB 2B	13 <u>Al</u> 26.98	14 <u>Si</u> 28.09	15 <u>P</u> 30.97	16 <u>S</u> 32.07	17 <u>Cl</u> 35.45	18 <u>Ar</u> 39.95	
4	19 <u>K</u> 39.10	20 <u>Ca</u> 40.08	21 <u>Sc</u> 44.96	22 <u>Ti</u> 47.88	23 <u>V</u> 50.94	24 <u>Cr</u> 52.00	25 <u>Mn</u> 54.94	26 <u>Fe</u> 55.85	27 <u>Co</u> 58.47	28 <u>Ni</u> 58.69	29 <u>Cu</u> 63.55	30 <u>Zn</u> 65.39	31 <u>Ga</u> 69.72	32 <u>Ge</u> 72.59	33 <u>As</u> 74.92	34 <u>Se</u> 78.96	35 <u>Br</u> 79.90	36 <u>Kr</u> 83.80	
5	37 <u>Rb</u> 85.47	38 <u>Sr</u> 87.62	39 <u>Y</u> 88.91	40 <u>Zr</u> 91.22	41 <u>Nb</u> 92.91	42 <u>Mo</u> 95.94	43 <u>Tc</u> (98)	44 <u>Ru</u> 101.1	45 <u>Rh</u> 102.9	46 <u>Pd</u> 106.4	47 <u>Ag</u> 107.9	48 <u>Cd</u> 112.4	49 <u>In</u> 114.8	50 <u>Sn</u> 118.7	51 <u>Sb</u> 121.8	52 <u>Te</u> 127.6	53 <u>I</u> 126.9	54 <u>Xe</u> 131.3	
6	55 <u>Cs</u> 132.9	56 <u>Ba</u> 137.3	57 <u>La*</u> 138.9	72 <u>Hf</u> 178.5	73 <u>Ta</u> 180.9	74 <u>W</u> 183.9	75 <u>Re</u> 186.2	76 <u>Os</u> 190.2	77 <u>Ir</u> 190.2	78 <u>Pt</u> 195.1	79 <u>Au</u> 197.0	80 <u>Hg</u> 200.5	81 <u>Tl</u> 204.4	82 <u>Pb</u> 207.2	83 <u>Bi</u> 209.0	84 <u>Po</u> (210)	85 <u>At</u> (210)	86 <u>Rn</u> (222)	
7	87 <u>Fr</u> (223)	88 <u>Ra</u> (226)	89 <u>Ac~</u> (227)	104 <u>Rf</u> (257)	105 <u>Db</u> (260)	106 <u>Sg</u> (263)	107 <u>Bh</u> (262)	108 <u>Hs</u> (265)	109 <u>Mt</u> (266)	110 --- 0	111 --- 0	112 --- 0		114 --- 0		116 --- 0		118 --- 0	

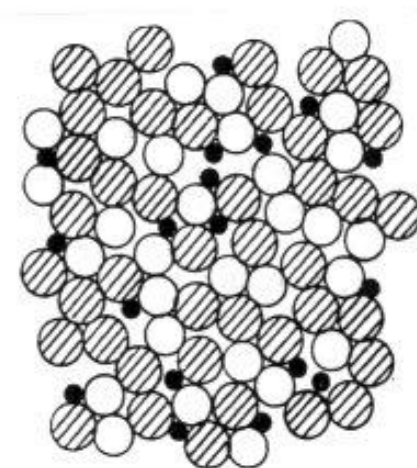
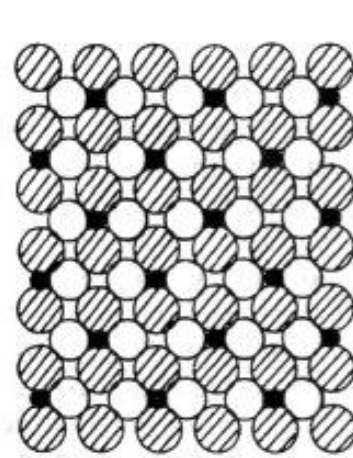
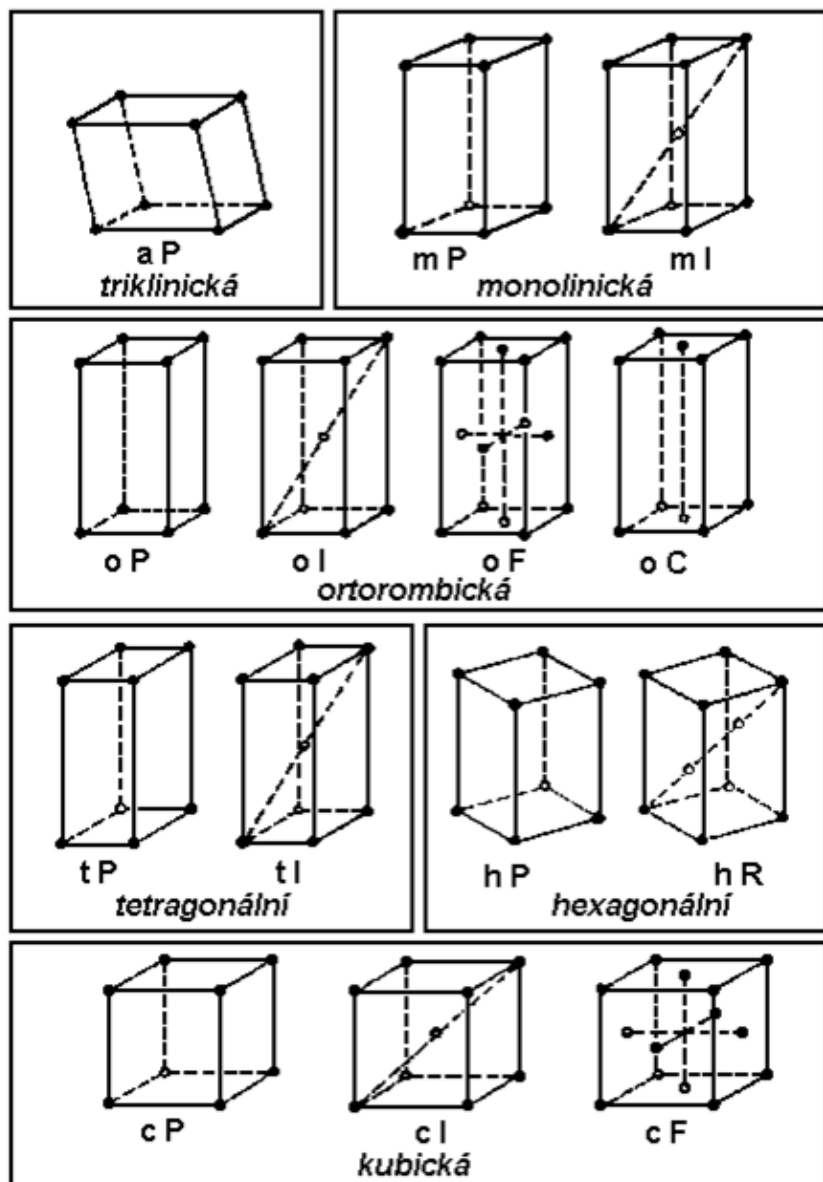
Vazby mezi atomy

Vazba

- iontová
- kovalentní
- kovová – př. Al (elektronový mrak)
- van der Walsova (slabá fyzikální)



Krystalové soustavy a základní mřížky



Krystalická struktura
(uspořádaná)

Amorfní struktura
(neuspořádaná)

- Rychlé ochlazení taveniny
- Dlouhé polymerní řetězce

14 elementární buněk v 7 krystalových soustavách

Bodové poruchy krystalických mřížek

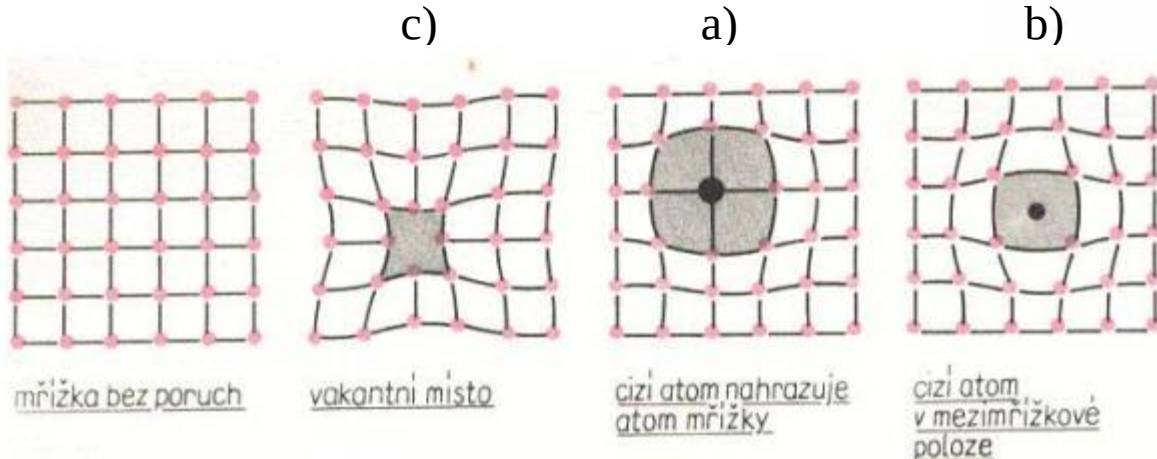
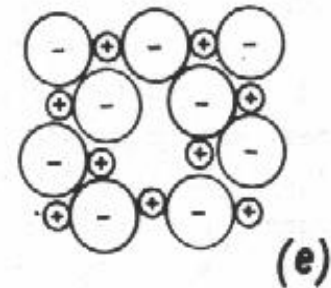
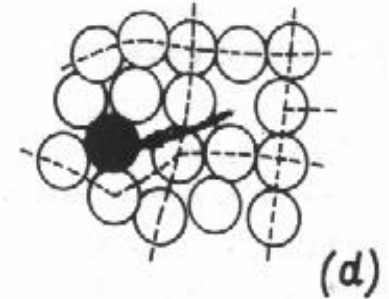
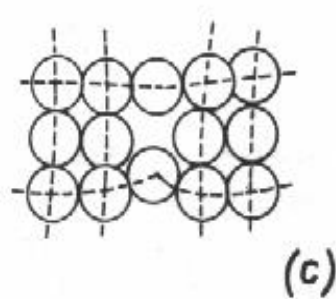
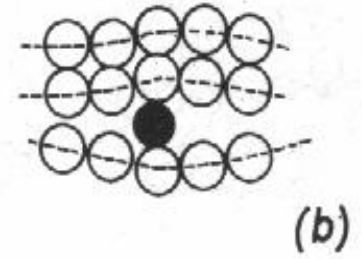
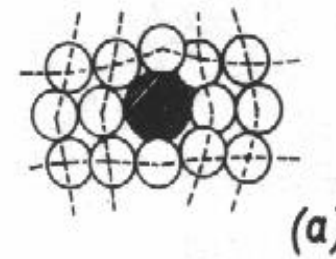
(a) *Substituční atom*

(b) *Intersticiální atom*

(c) *Vakance* - chybějící atom

(d) *Frenkelova porucha* - kombinace intersticiální poruchy a vakanční poruchy: přemístění atomu z řádné polohy v mřížce do polohy intersticiální

(e) *Schottkyho porucha* - v iontových krystalech: kationtová vakance je vyvážena aniontovou vakancí, obě poruchy tvoří společný pár

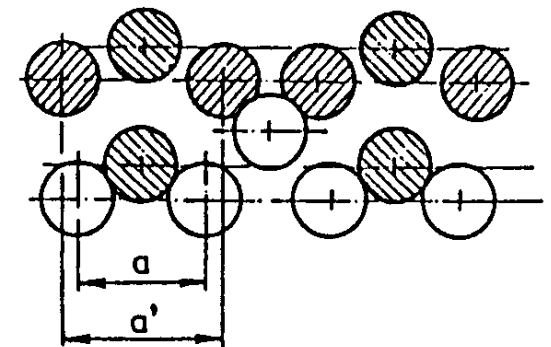
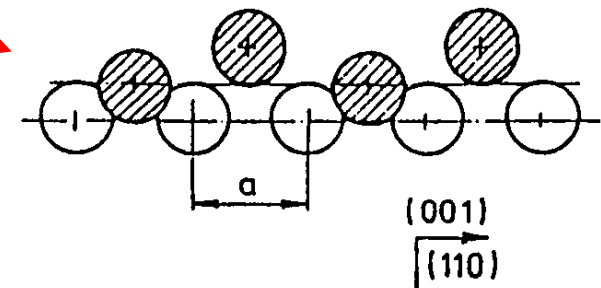
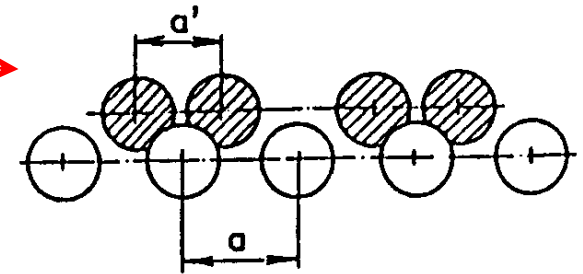


Struktura povrchu

Geometrická struktura:

Důsledky skokové změny symetrie sil:

- **Relaxace:**
různá mezirovinná vzdálenost
- **Rekonstrukce:**
různé uspořádání atomů
- **Nerovnosti**
- **Neúplné nasycení povrchových vazeb**
→ silové pole
→ adsorpce molekul plynu



Povrchová energie:

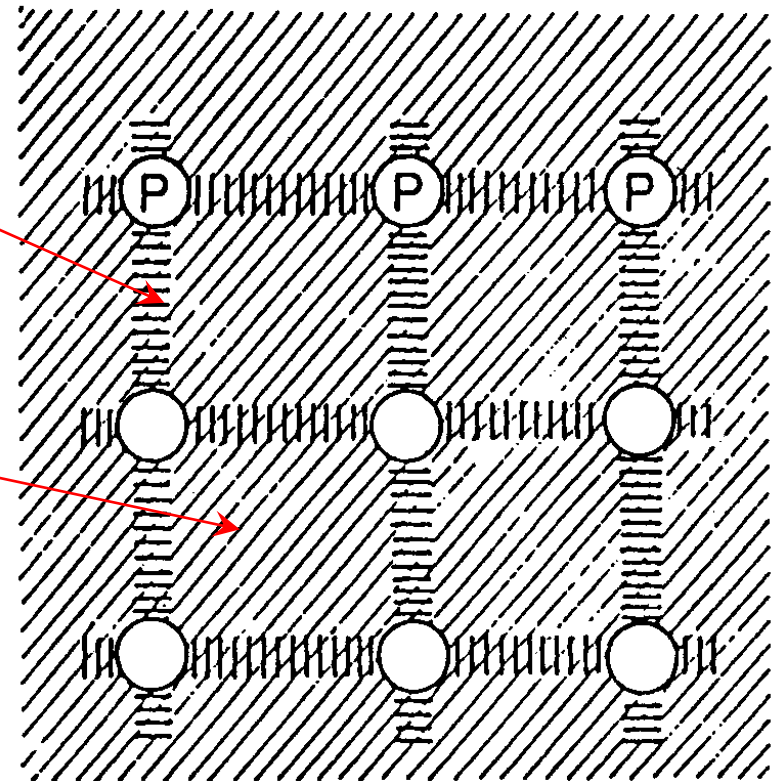
- energie potřebná k vytvoření nového povrchu o jednotkové ploše
- minimální pro stabilní plochy
- rozhoduje o struktuře a tvaru makroskopických ploch na povrchu

Struktura povrchu

Elektronová struktura:

- Prostorové rozložení hustoty elektronů
- Energetické spektrum elektronů
- Rozhoduje o chemické reaktivitě povrchu

- **Lokalizované elektrony**
zvýšená hustota elektronů
→ chem. reaktivita povrchu
- **Delokalizované elektrony**
→ zachycování částic plynu
(adsorpce)



Povrchové interakce

Počet atomů na povrchu: 1 cm² kovu: 10¹⁵ atomů

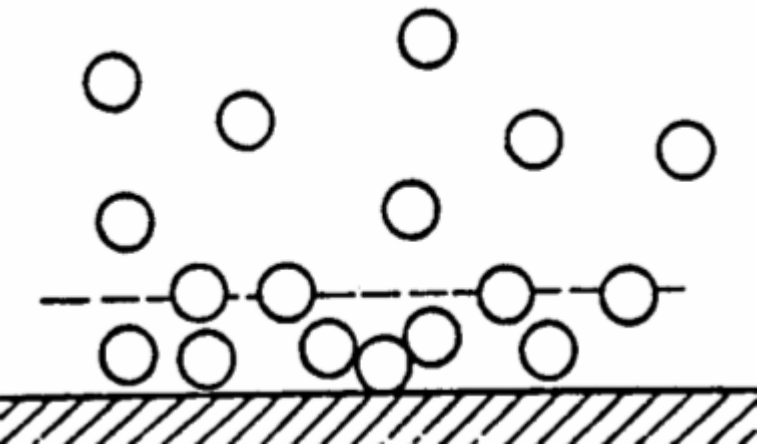
Kinetická teorie plynů:

- počet nárazů molekul na povrch: $Z \sim 3 \cdot 10^{18} \cdot p$ [1/s.cm²] p - tlak [Pa]
- doba t k úplnému pokrytí, pokud by každý náraz byl účinný (každá molekula se zachytí a vytvoří vazbu → adsorpční vrstva):
 $t = 10^{15} / Z \sim 10^{-4} / p$
- **koeficient pravděpodobnosti ulpění:**
 $S = (dn/dt) / (Z \cdot A)$

dn/dt	rychlost adsorpce – počet částic za určitý čas
Z	počet nárazů molekul na povrch
A	velikost povrchu

závisí na teplotě, materiálu a míře pokrytí povrchu adsorbátem: $0,001 < S < 1$
- doba t k úplnému pokrytí **v atmosféře** $p \sim 0,1 \text{ MPa} = 1000 \text{ hPa} = 10^5 \text{ Pa} = 1 \text{ bar}$:
 $t = 10^{-9} \text{ s}$
- doba t k úplnému pokrytí **v ultravysokém vakuu** $p = 10^{-6} \text{ Pa}$:
 $t = 10^3 \text{ s} \sim 17 \text{ min}$

Interakce plynů s povrchy

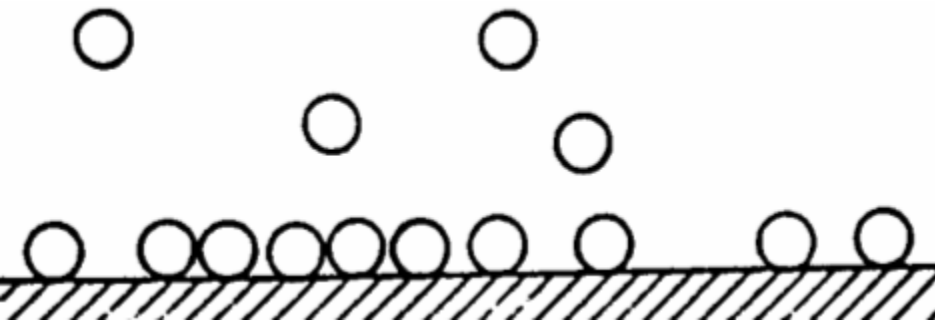


a) fyzikální adsorpce:

van der Waalsovy vazby
→ vytvoření více vrstev

b) chemisorpce:

vazba sdílením nebo přenosem e^-
→ vytvoření jedné vrstvy

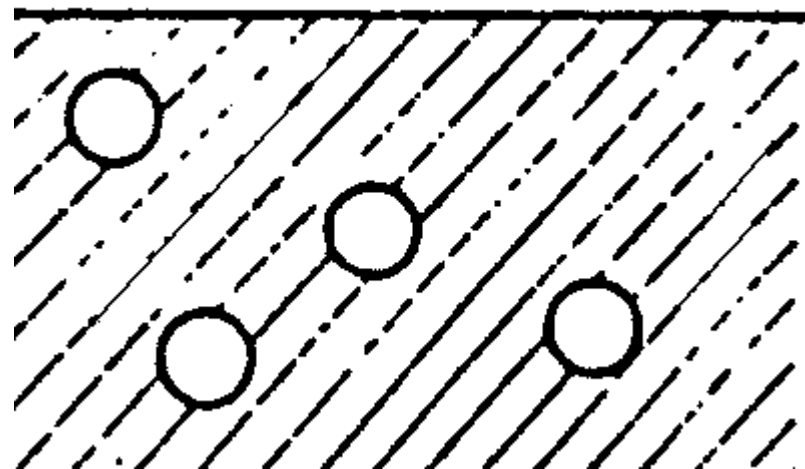


c) inkorporace:

pronikání částic do
povrchové vrstvy

d) absorpce:

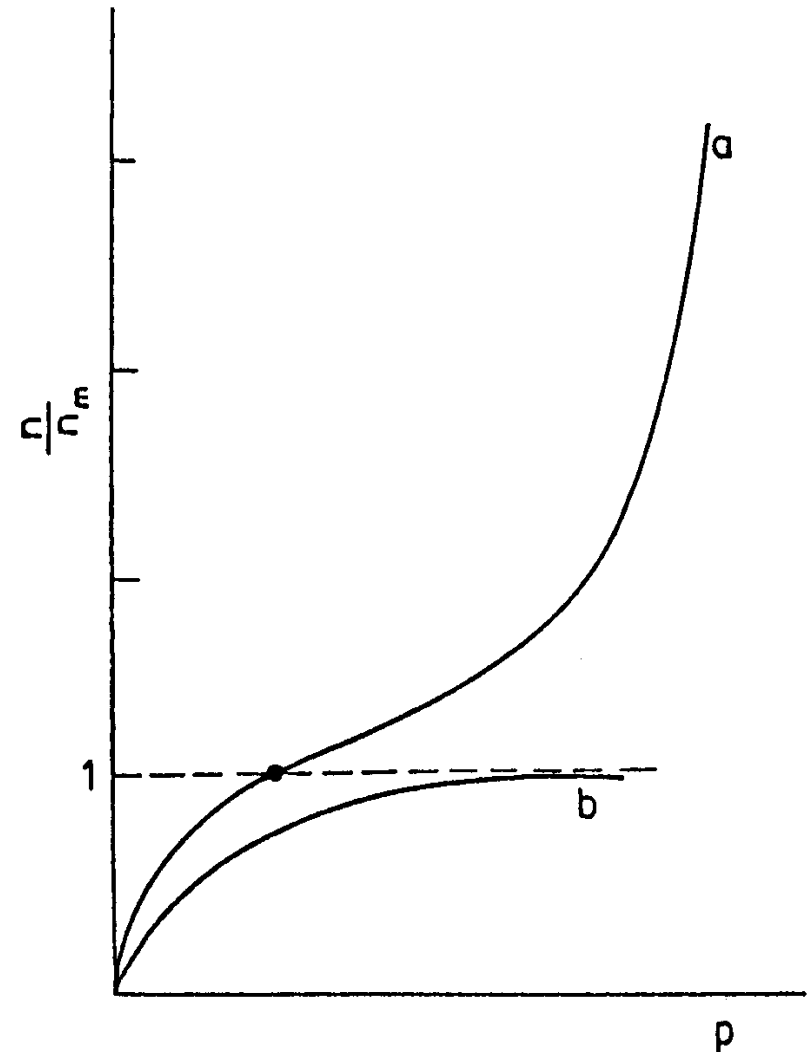
pronikání částic do větších
hloubek



Adsorbované množství

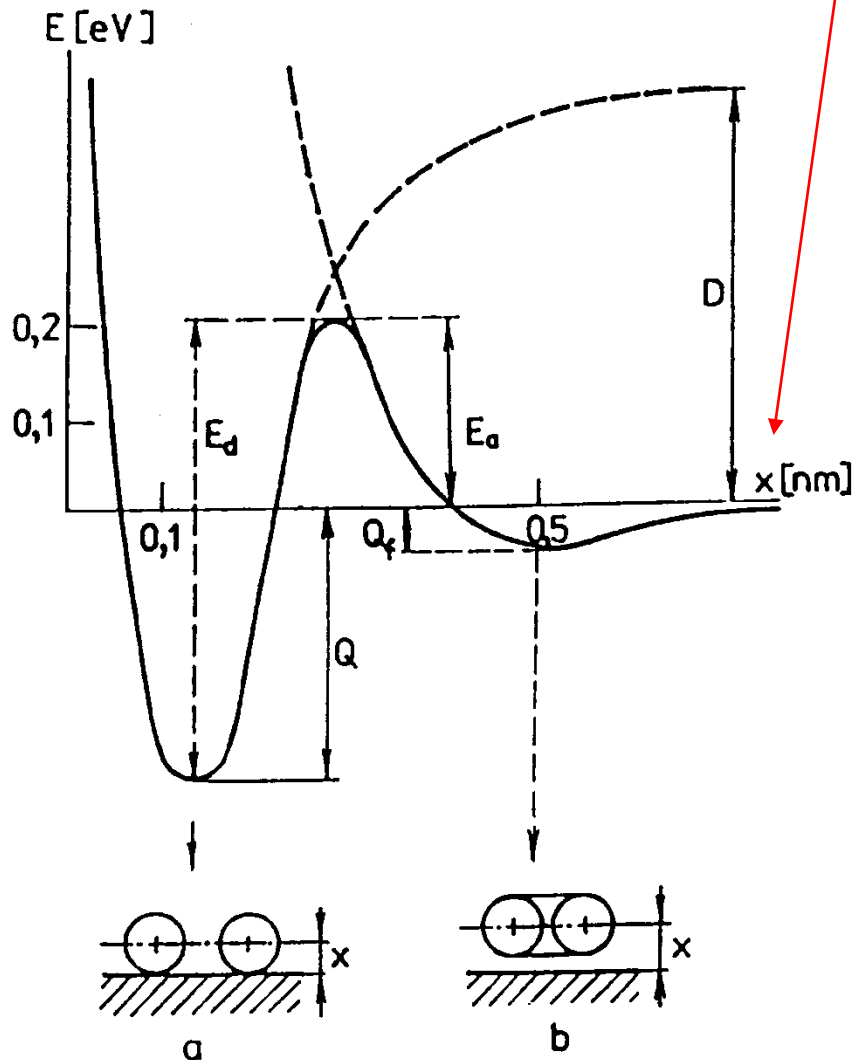
Adsorpční isotermy:

- n** - počet adsorbovaných molekul
- n_m** - počet adsorpčních míst na povrchu
- p** - tlak
- a** - BET isoterma (Brunauer, Emmett, Teller) fyzikální (polymolekulární) adsorbce
- b** - Langmuirova isoterma chemická (monomolekulární) adsorbce



Vliv teploty

Vzájemné působení molekuly a povrchu
v závislosti na vzdálenosti od povrchu x pro
jednorozměrný model a dvouatomovou molekulu



E - potenciální energie

x - vzdálenost od povrchu

E_a - aktivační energie chemisorpce

E_d - aktivační energie desorpce

Q - adsorpční teplo chemisorpce

Q_f - adsorpční teplo fyzikální adsorpce

D - disociační energie molekuly

a - chemisorbované atomy

b - fyzikálně adsorbované molekuly

a) chemisorpce:

aktivovaná adsorpce - molekula musí
překonat aktivační energii:

$T \uparrow \rightarrow E \uparrow \rightarrow$ adsorbované množství $\uparrow$

b) fyzikální adsorpce:

aktivační energie = 0:

$T \uparrow \rightarrow$ kinetická energie $\uparrow \rightarrow$ desorpce

$\rightarrow$ střední doba života v adsorb. stavu $\downarrow$

$\rightarrow$ adsorbované množství $\downarrow$

Transport částic

- plyn → povrch: adsorpce
- povrch → objem, objem → povrch: objemová difúze
- povrch → povrch: povrchová difúze (rychlejší) → ostrůvky

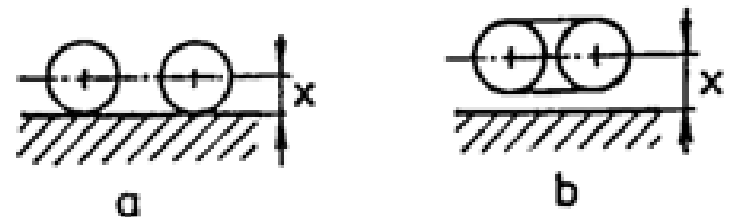
Střední doba života částic v adsorbovaném stavu:

a) stabilní chemisorbovaná vrstva:

$$t = 10^3 - 10^{60} \text{ s } (\sim 17 \text{ min} - 3 \cdot 10^{52} \text{ roků})$$

b) dynamický stav - fyzikální adsorpce

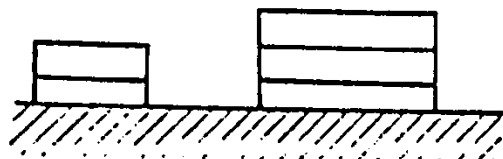
$$t = 10^{-13} - 10^{-10} \text{ s}$$



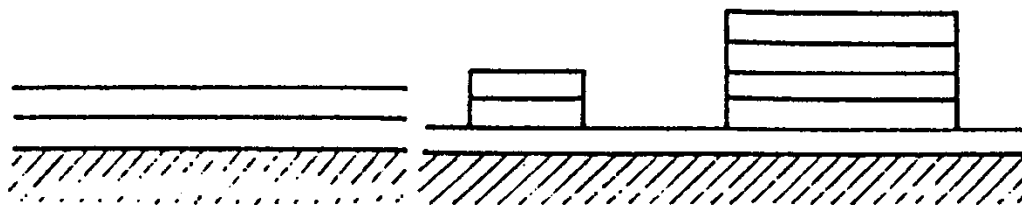
Růst vrstev

Mechanismy růstu vrstev:

- a) Volmerův - Weberův
- b) Frankův - van der Merův
- c) Stranskiho - Krastanova



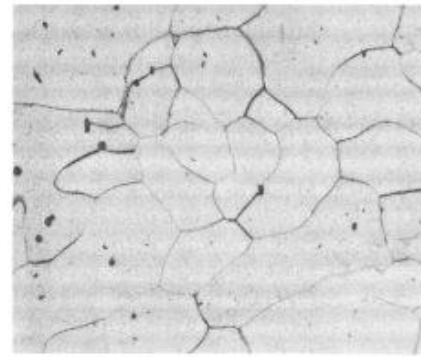
a)



b)

c)

Skutečné povrchy - slitiny



(c)

Jednofázová slitina
feritická ocel



(d)

Vícefázová slitina
perlitická ocel

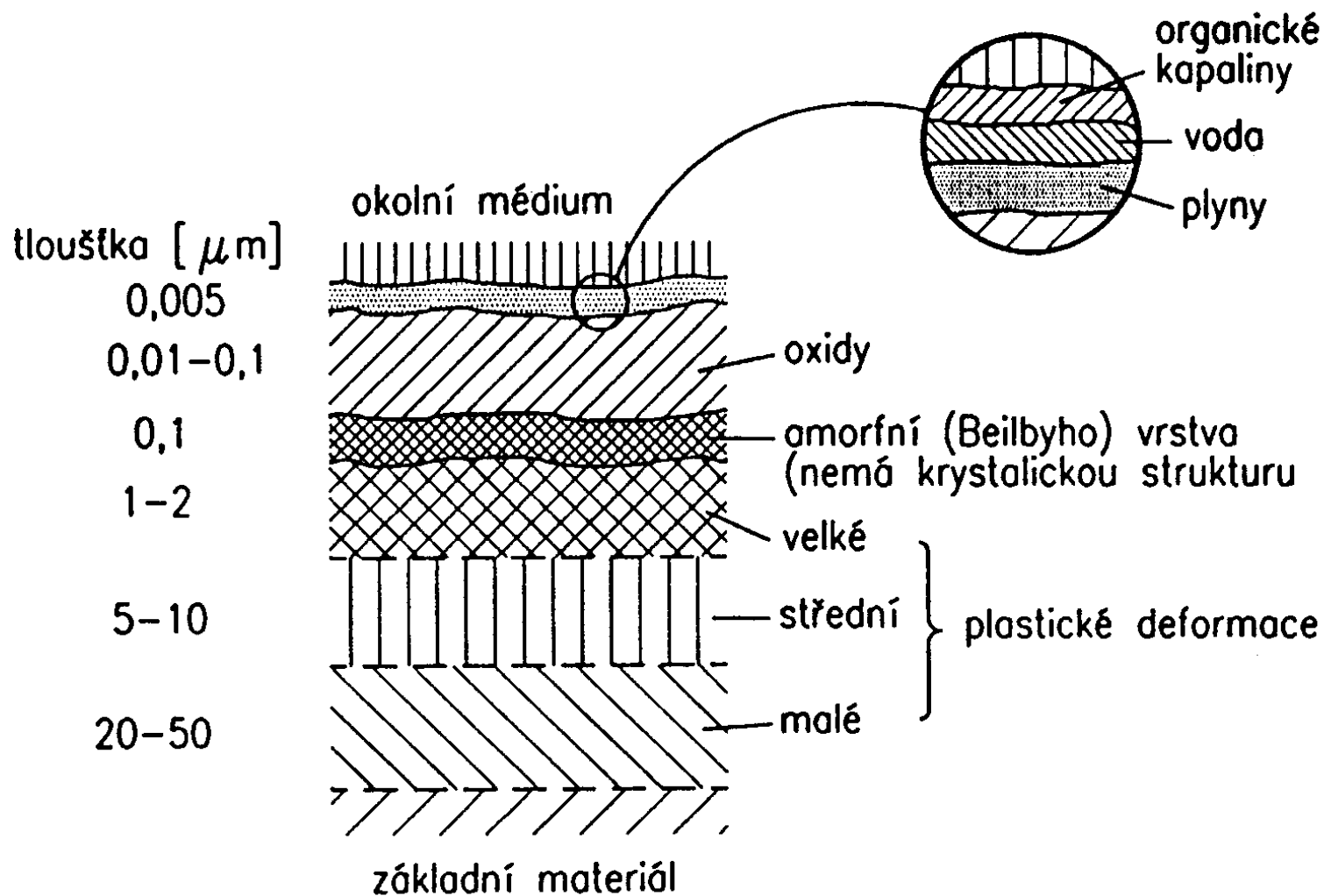
Chemická heterogenita

- povrchová segregace
(nerovnoměrné složení)
různá reaktivita složek

Strukturní heterogenita

- množství a druh
strukturních poruch
- orientace zrn a jejich
hranice

Schéma povrchu po obrábění



Fyzikální vlastnosti

- **Emise** - uvolnění e^-
 - tepelná (ohřev)
 - sekundární (dopad e^-)
 - fotoelektrická (absorpce elektromag. záření: světlo, rtg. záření ...)
 - vliv adsorpčních vrstev - mohou snížit **výstupní práci**
(energie potřebná pro uvolnění e^-)
- **Interakce s elektromagnetickým vlněním**
 - odraz - **poměrná odrazivost ρ :**
 - pohlcení - **poměrná pohltivost α :**
 - průchod - **propustnost** - nevýznamná

$\rho/\alpha \sim$ materiál, λ (vlnová délka), R_a (drsnost povrchu
střední aritmetická hodnota)

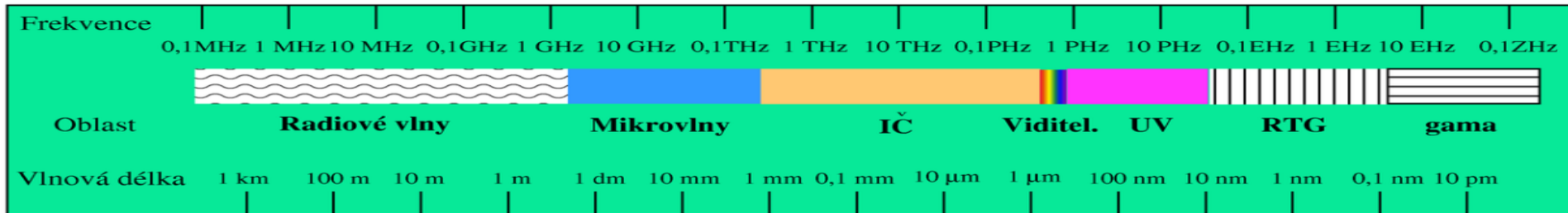
dokonalý odraz - opticky hladký kovový povrch:

$R_a < \lambda/10$ **světlo: $\lambda \approx 400 - 800$ nm**

$\rightarrow R_a < 40 - 80$ nm

Fyzikální vlastnosti

$$f = 1/T$$



Spektrum slunečního záření:

$$\lambda = v/f$$

Ultrafialové záření: $\lambda < 380 \text{ nm}$

ozónová vrstva pohltí: $\lambda < 290 \text{ nm}$ - zcela
 $\lambda = 290 - 320 \text{ nm}$ - zčásti

• Viditelné záření: $\lambda = 380 - 780 \text{ nm}$

• Infračervené záření: $\lambda > 780 \text{ nm}$

částečně pohlceno vodou a CO_2

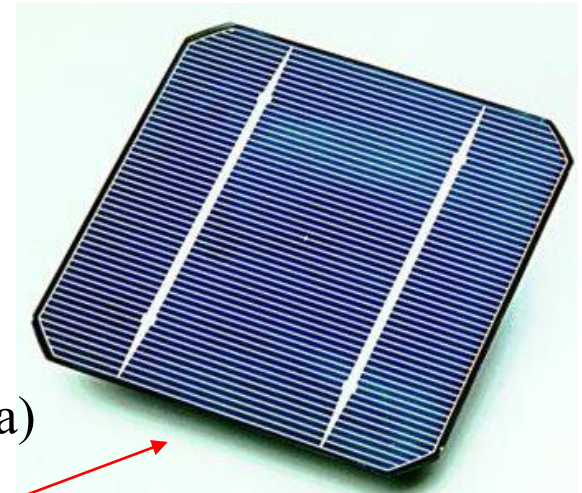
Solární články - fotoelektrický efekt (světlo $\rightarrow$ elektrina)

Vlastnosti:

- Tepelná vodivost
- Korozivzdornost
- Vysoká **pohltivost** α pro $\lambda = 200 - 300 \text{ nm}$
- Nízká **emisivita** ϵ pro $\lambda > 300 \text{ nm}$

Emisivita - schopnost předmětu vysílat elektromagnetické záření

- **Selektivita** α/ϵ



solární článek z monokrystalického křemíku

Metrické předpony

Název	Symbol	Násobek	Násobek
yotta	Y	1 000 000 000 000 000 000 000 000	10^{24}
zetta	Z	1 000 000 000 000 000 000 000 000	10^{21}
exa	E	1 000 000 000 000 000 000 000	10^{18}
peta	P	1 000 000 000 000 000 000	10^{15}
tera	T	1 000 000 000 000 000	10^{12}
giga	G	1 000 000 000	10^9
mega	M	1 000 000	10^6
kilo	k	1 000	10^3
hecto	h	100	10^2
deka	da	10	10^1
-	-	1	10^0
deci	d	0,1	10^{-1}
centi	c	0,01	10^{-2}
milli	m	0,001	10^{-3}
micro	μ	0,000 001	10^{-6}
nano	n	0,000 000 001	10^{-9}
pico	p	0,000 000 000 001	10^{-12}
femto	F	0,000 000 000 000 001	10^{-15}
atto	A	0,000 000 000 000 000 001	10^{-18}
zepto	z	0,000 000 000 000 000 000 001	10^{-21}
yokto	y	0,000 000 000 000 000 000 000 001	10^{-24}

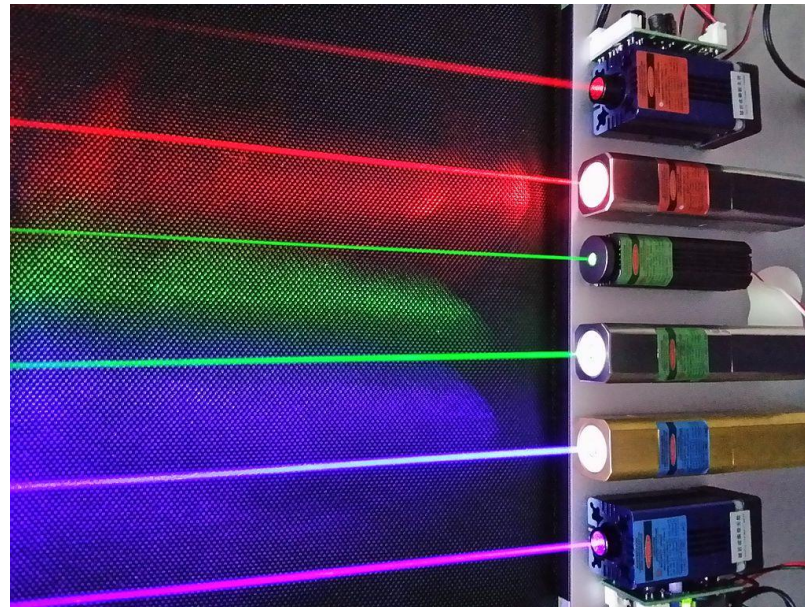
Fyzikální vlastnosti

Laser:

Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

= zesilování světla pomocí stimulované emise záření

- optický zdroj elektromagnetického záření
- světlo - úzký svazek
 - koherentní: stejná frekvence, stejný směr kmitání, stejná fáze
 - monochromatické, stejná λ
- hustota absorbované energie: až 10^4 Jm^{-2}
- rychlost ohřevu: až 10^{12} Ks^{-1}
- malý součinitel odrazivosti
- **Zpracování povrchu:**
 - desorpce (čištění – odstranění adsorbovaných atomů)
 - reakce (tepelné zpracování)
 - tuhá fáze nebo natavení (amorfizace)



Červené (660 a 635 nm), zelené (532 a 520 nm) a modrofialové (445 a 405 nm) lasery

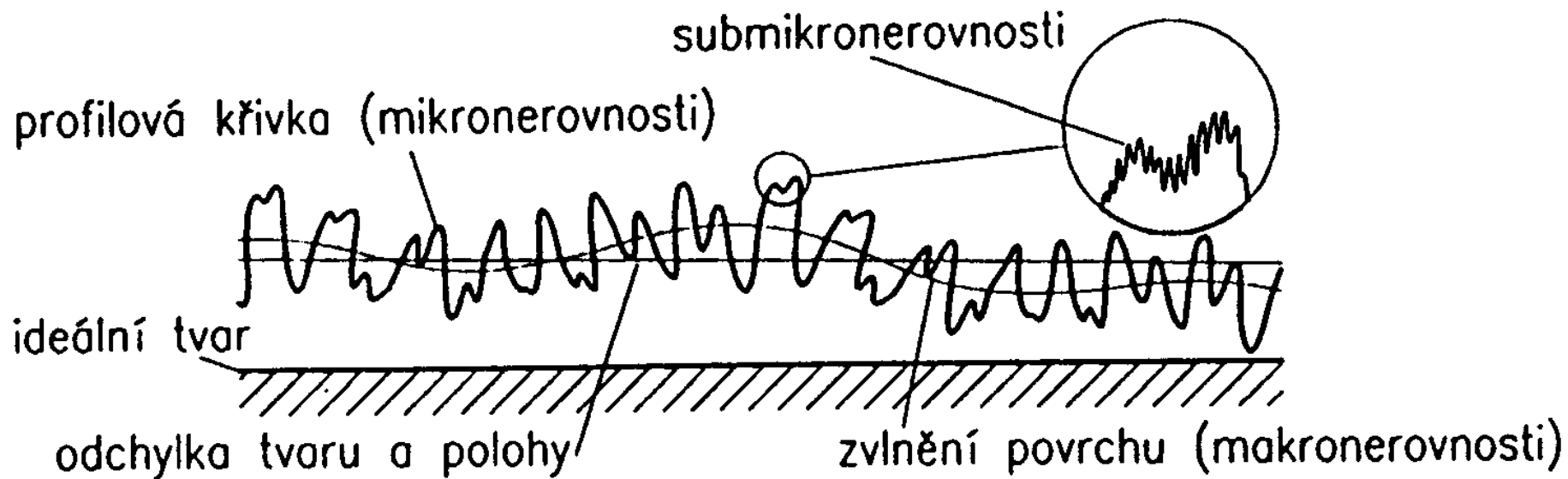
Fyzikální vlastnosti

- **Elektronový stav** → elektrické vlastnosti
povrch:
změny vazebních sil a potenciálů, mřížkové poruchy,
adsorbované vrstvy, změny složení...

Př.:

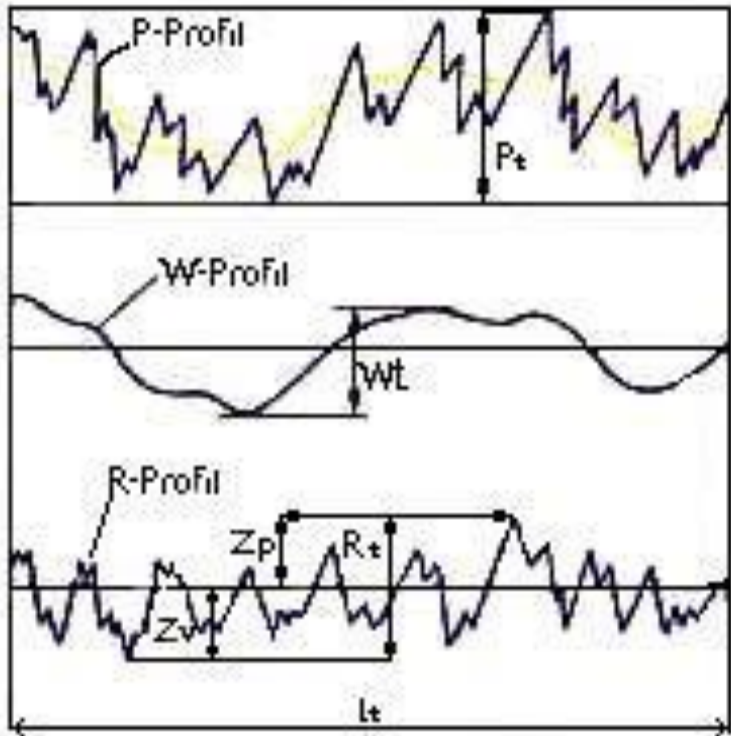
- **Kontakty v elektrotechnice:**
velké zatížení - adheze - svaření
oxidy: $\uparrow$ odpor, ale omezují svaření
- **Elektrické výboje:**
 $I \uparrow \rightarrow$ doutnavý, anomální doutnavý, obloukový
 $\rightarrow T \uparrow \rightarrow$ odpařování materiálů
Obloukové odpařování katody: vytváření povlaků

Geometrické vlastnosti

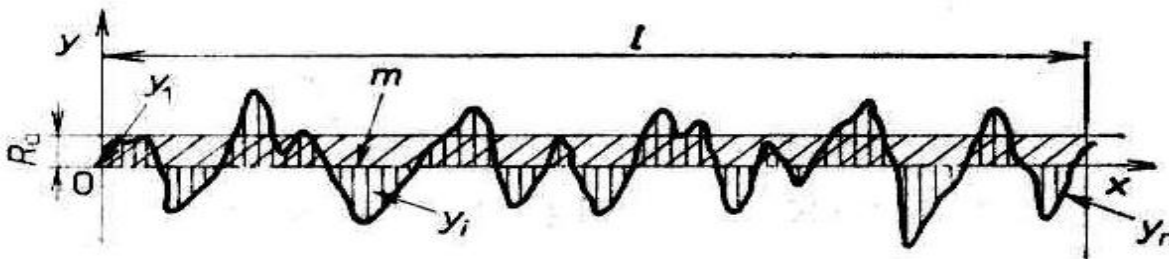


- **Drsnost povrchu** - optika, tření, opotřebení ...
odchyly od rovinnosti - výroba součástí, příprava povrchu (leštění), vnější síly (plastická deformace), prostředí ...

Drsnost povrchu

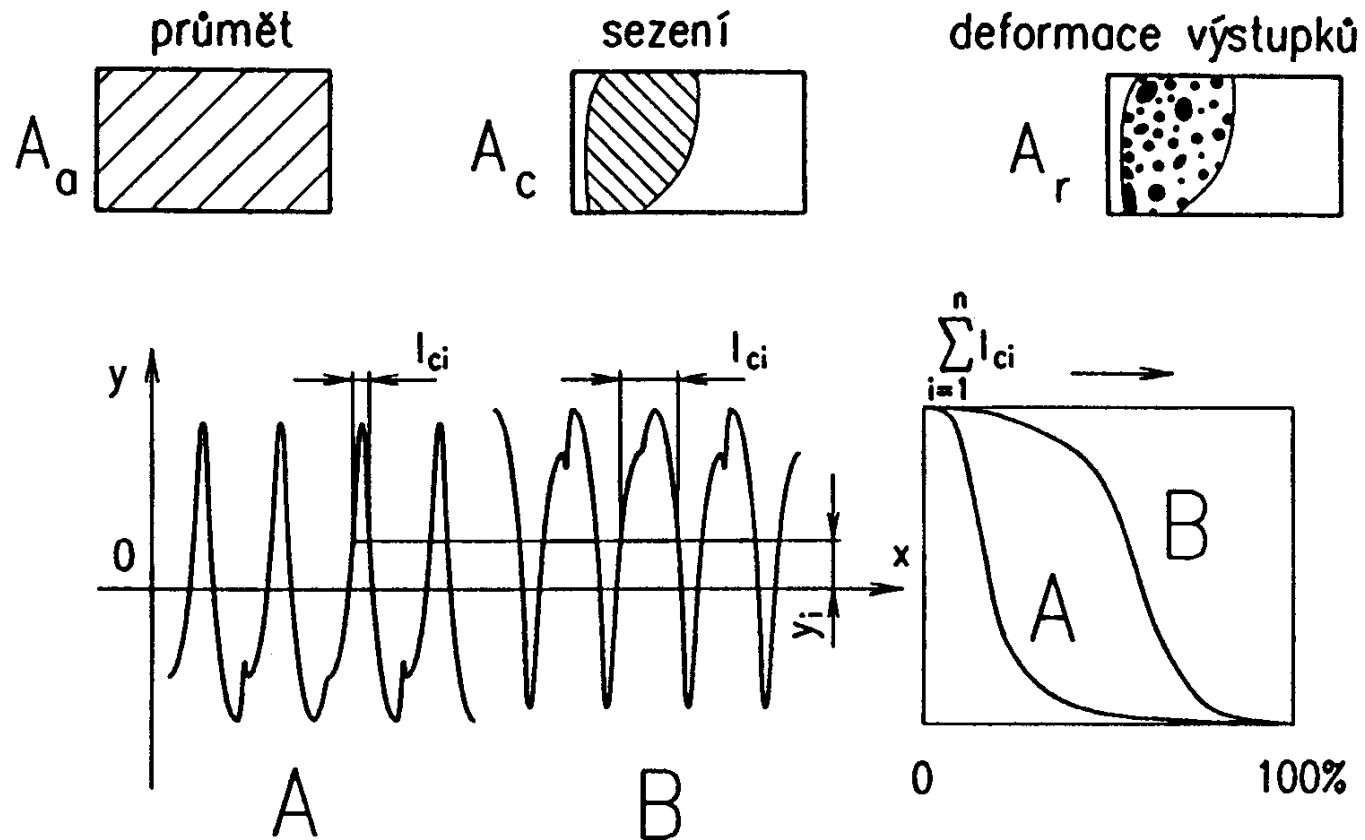


- **P - profil**
nefiltrovaný primární profil
- **W - profil**
profil vlnitosti
- **R - profil**
profil drsnosti
- **Pt** hloubka profilu
- **Wt** hloubka vln
- **Rt** největší hloubka drsnosti
- **Ra** střední aritmetická hodnota drsnosti



$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx$$

Nosnost povrchu



- Kontakt těles - deformace výstupků - stanovení tuhosti - nosná šířka v určité výšce
- **Abbotova křivka profilu:** závislost nosné šířky profilu na výšce vzhledem k základní čáře
- nominální kontaktní plocha A_a - daná vnějšími rozměry
- obrysová kontaktní plocha A_c - část nominální plochy přicházející do styku vlivem makronerovnosti (vlnitosti)
- skutečná reálná kontaktní plocha A_r ~ nosná šířka profilu v určité výšce - součet stykových plošek jednotlivých výstupků

Mechanické vlastnosti

- **Pevnost ...**

pro objemové materiály

- **Tvrdost**

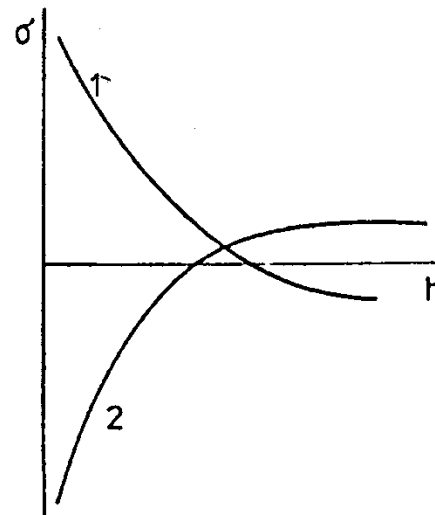
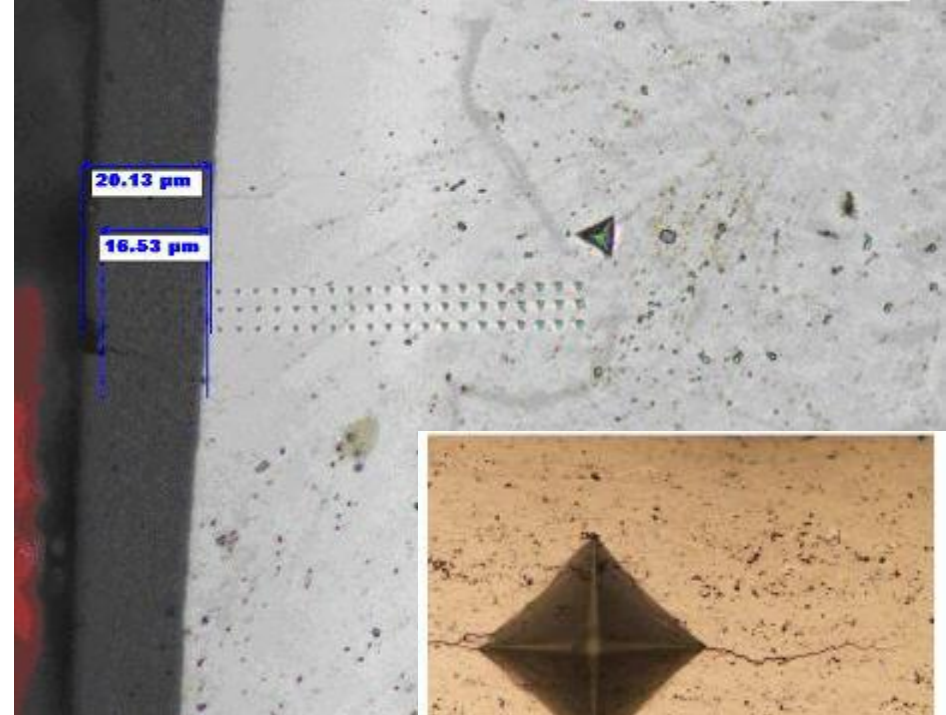
pro povrchy:

odolnost proti pronikání cizího tělesa

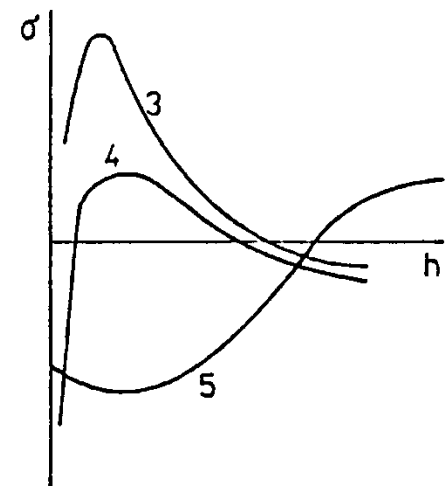
vlivy: množství a druh poruch, zpevnění, fázové transformace, vnitřní pnutí

a) tepelné a mechanické účinky

b) kombinace více vlivů



a)



b)

Mohsova stupnice tvrdosti

vrypová zkouška s minerály (19. století)

Tvrdost	Minerál	Chemický vzorec	
1	<u>Mastek</u>	$\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	■ Nehet: 1,5-2 ■ Mince 3,4-4
2	<u>Sůl kamenná</u>	NaCl	■ Kapesní nůž cca 5 ■ Materiál tvrdší než sklo > 5 ■ Smalty 5 - 7 ■ <u>Lonsdaleit</u> > 10
3	<u>Kalcit</u> (vápenec)	CaCO_3	materiál tvrdší než diamant (uhlík se šesterečnou krystalovou strukturou): v meteoritu z Finska i uměl vyroben
4	<u>Fluorit</u> (kazivec)	CaF_2	
5	<u>Apatit</u>	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH}^-, \text{Cl}^-, \text{F}^-)$	
6	<u>Ortoklas</u> (živec)	KAlSi_3O_8	
7	<u>Křemen</u>	SiO_2	
8	<u>Topaz</u>	$\text{Al}_2\text{SiO}_4(\text{F}^-, \text{OH}^-)_2$	
9	<u>Korund</u>	Al_2O_3	
10	<u>Diamant</u>	C	

Odrůdy korundu:

- safír - modrý
- rubín - červený
- leukosafír - bezbarvý, průhledný
- smirek - šedočerný až černý (brusný materiál)



Tvrdost – metody měření

- **Zkoušky vrypové**

- pohyb indentoru rovnoběžně s povrchem
- zatěžování plynule se zvyšující silou → vryp
- pro křehké materiály, zvláště minerály
- pro kovy jen ve zvláštních případech

- **Mohsova stupnice tvrdosti minerálů** – vytváření vrypů minerály navzájem

- **Vrypová zkouška podle Martense**

- hladká plocha zkoušeného materiálu
- indentor: diamantový kužel s vrcholovým úhlem 90°
- indentor pojíždí zatížený vzrůstající silou
- vytvoří ve zkoušeném materiálu vryp

číslo tvrdosti:

- zatížení, které vytvoří vryp široký 0,01mm

míra tvrdosti:

- šířka vrypu, provedeného vždy stejným zatížením
- zkouška málo používá, není normalizovaná

Mechanické vlastnosti povrchů

Pevnost ↔ tvrdost

Tvrdost

- odolnost materiálu proti místnímu porušení cizím tělesem
- vyjadřuje odpor proti pružným a plastickým deformacím
- pro funkční povlaky základní kontrolovaná vlastnost
- souvisí se strukturou, pevností...
- ovlivňuje: odolnost proti deformaci a opotřebení, životnost povlaku...

Vnikací těleso - indentor

přesný geometrický tvar - neměl by měnit vlastnosti a tvar

- nesmí podléhat plastickým deformacím →
co největší tvrdost a mez pružnosti
- co nejmenší pružné deformace →
vysoký modul pružnosti
- materiály pro indentory:
 - kalené oceli: do tvrdosti asi 450 HV
 - slinuté karbidy: do tvrdosti max. 630 HV
 - diamant pro tvrdosti nad 630 HV

Tvrdost není fyzikální veličina

-závisí na celé řadě vlivů → naměřená hodnota je srovnávací číslo, nemá jednotky napětí

Tvrdost – metody měření

•Zkoušky rázové

- dynamické vnikání indentoru:
- kolmým rázem (nárazové, odrazové) - jen ve zvláštních případech

•Zkoušky vnikací - zatlačování indentoru v kolmém směru

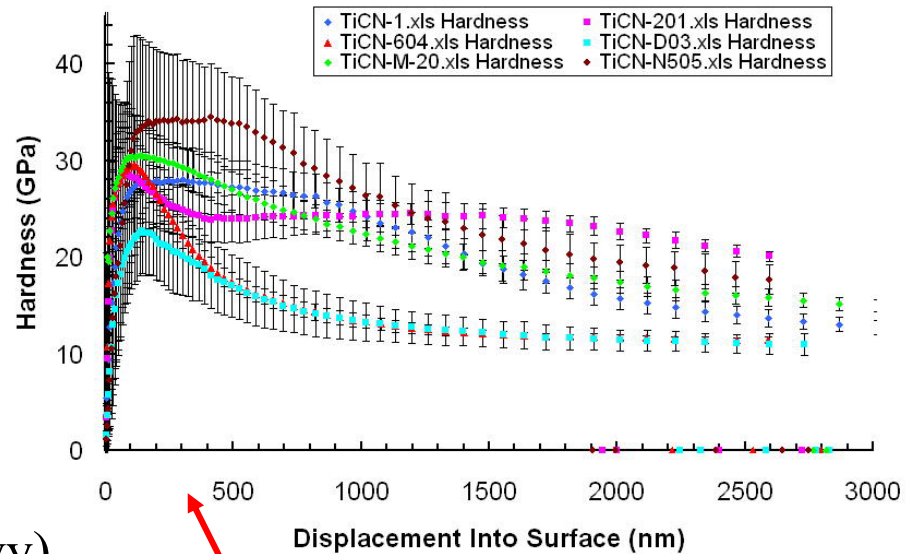
- nejčastější
- nejpřesnější
- jednoduše proveditelné
- dobře reprodukovatelné
- metody:
 - (makro)tvrdost: Brinel, Rockwel, Vickers
 - mikrotvrdost: Vickers, Knoop
 - **nanotvrdost**: Vickers, Berkovič
 - střední kontaktní tlak (dle normy) – **má jednotky tlaku**

Tvrdost povlaků a vrstev

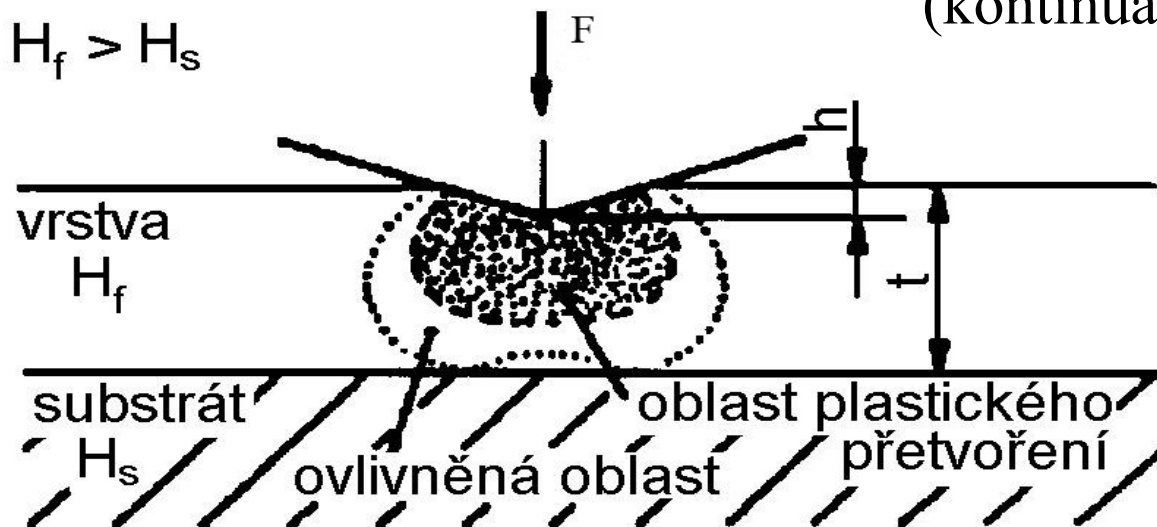
- bez vlivu substrátu

$$h/t < 1/10$$

(empirický vztah pro tvrdé tenké vrstvy)



Výsledky měření získané pomocí
NanoIndentoru XP s modulem CSM
(kontinuální měření tuhosti)



Opakovací otázky:

- Z čeho se skládají atomy?
- Jaké jsou vazby mezi atomy?
- Jak zní Ohmův zákon a co vyjadřuje?
- Jaké je základní rozdělení materiálů a čím se liší?
- Jak jsou atomy v materiálech uspořádány?
- Jaké jsou poruchy od ideální krystalové struktury?
- Jaké jsou interakce plynů s povrchy?
- Jaká je vlnová délka viditelného světla?
- Jak se hodnotí drsnost povrchu?
- Jaká je základní mechanická vlastnost materiálů a jak se měří?
- Co je to tvrdost a jak se hodnotí?



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

ESF II projekt Západočeské univerzity v Plzni

reg. č. CZ.02.2.69/0.0/0.0/18_056/0013239



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY