

Fakulta materiálov, metalurgie a recyklácie
Ústav recyklačných technológií

Raфинácia a príprava zliatin

Osnova prednášok:

1. Základné princípy rozdelenia kovových materiálov.
Rozdelenie a značenie technických zliatin železa.
2. Vplyv prvkov na zliatiny železa.
3. Kryštalizácia kovov a ich zliatin.
Objemové zmeny pri kryštalizácii, chemická heterogenita pri kryštalizácii zliatin.
Rozdeľovacie koeficienty pri kryštalizácii.
Rovnovážne fázové diagramy dvojzložkových zliatin.
4. Rafinácia taveniny
5. Meď a jej zliatiny.
6. Hliník a jeho zliatiny. Zliatiny hliníka pre tvárnenie, zliatiny hliníka pre odlievanie.
7. Titán a jeho zliatiny.
Zliatiny s efektom tvarovej pamäti.
8. Zliatiny zinku, zliatiny horčíka.
9. Nikel a jeho zliatiny
10. Úvod do svetelnej a elektrónovej mikroskopie.

Prednáška 1.

**Základné princípy rozdelenia kovových materiálov.
Rozdelenie a značenie technických zliatin železa.**

KOVY: železo a neželezné kovy.

Zliatiny železa majú veľmi výhodnú kombináciu pevnostných vlastností a ceny –
- najvýznamnejším konštrukčným materiálom.

95% - zliatiny železa

5 % - zliatiny neželezných kovov

V roku 2008 sa vyrobilo vo svete **1,4 miliardy kovov**
(z toho **1.34 oceľ**), čo je 2x viac ako na konci
sedemdesiatych rokov a 7x viac ako v roku 1950.

Od roku 1950 bolo **kumulatívne vyrobených 40 miliárd ton kovov**.
Toto číslo zahŕňa výrobu Al, As, Cd, Cr, Cu, Au, Pb, Hg, Ni a ocele.

Spotreba kovov je stále značne skoncentrovaná do
malého počtu krajín.

V USA spotreba kovov na jedného obyvateľa – 380 kg,
čo je 9x viac ako v Číne a 15x viac ako v Indii.

Čisté kovy - nevhodné mechanické a technologické vlastnosti,
- ich používanie v technologickej praxi značne obmedzené.

Preto sa kovy vo vhodnom pomere miešajú s ďalšími
kovovými (legúrami) a nekovovými prvkami – **prísadami**.

Pri výrobe a tavení sú spracované zliatiny znečisťované cudzími látkami –
primiešaninami, ktoré môžu byť v zliatine
rozpustené alebo tvoria chemické zlúčeniny.

Nežiadúce a škodlivo pôsobiace primiešaniny sú označované ako **nečistoty**.

Základné princípy rozdelenia zliatin

Zliatiny sa najčastejšie delia podľa základného kovu:

Železo – zliatiny železa (známych je približne 12 000 zliatin železa s legujúcimi prvkami C, Mn, Si, Cr, Mo, V, Nb, Ti, Zr, Al atď a nečistotami O, S, P atď.)

Hliník – zliatiny hliníka (známych je približne 2 000 zliatin hliníka s legujúcimi prvkami Cu, Mg, Si, Zn, Mn, Ni, Sn, Fe, Pb atď. a nečistotami O, H)

Med' – zliatiny medi (známych je približne 5 000 zliatin medi s legujúcimi prvkami Zn, Sn, Al, Mn, Ni, Fe, Pb, Zr atď a nečistotami O, H)

Zinok – zliatiny zinku

Horčík – zliatiny horčíka

Nikel – zliatiny niklu

Titan – zliatiny titánu

Podľa hustoty na:

Ľahké kovy (Mg, Al, Ti, **Li** a iné) s hustotou pod 5 g.cm^{-3}

Ťažké kovy (Fe, Cu, Ta, Ni, Pb, Zn, Bi, **Os, Ir** a iné) s hustotou nad 5 g.cm^{-3} .

Podľa teploty tavenia na:

Kovy s nízkou teplotou tavenia (pod 1000°C – Al, Mg, Zn, Pb, Sn, **Hg**, Ga)

Kovy so strednou teplotou tavenia (v rozmedzí $1000\text{-}2000^\circ\text{C}$ – Cu, Fe, Ti)

Kovy s vysokou teplotou tavenia (nad 2000°C – **W**, Mo, Ta)

Podľa spôsobu výroby:

Tvárnenie – tvárnené zliatiny

Liatie – zliatiny na odliatky

Spekanie – spekané kovy, spekané zliatiny

ROZDELENIE TECHNICKÝCH ZLIATIN ŽELEZA

Ocele (90%) a liatiny (10%).

Steel and cast iron.

OCELE

podľa spôsobu spracovania

tvárnené ocele

ocеле na odliatky (<2%)

podľa použitia

konštrukčné

nástrojové

podľa záruk chemického zloženia

ocеле zvyčajnej akosti (nezaručené chemické zloženie vôbec, alebo zaručený iba max. obsah vybraných prvkov)

ušľachtilé ocele (zaručené chemické zloženie, t.j. minimálny aj maximálny obsah prvkov)

podľa chemického zloženia

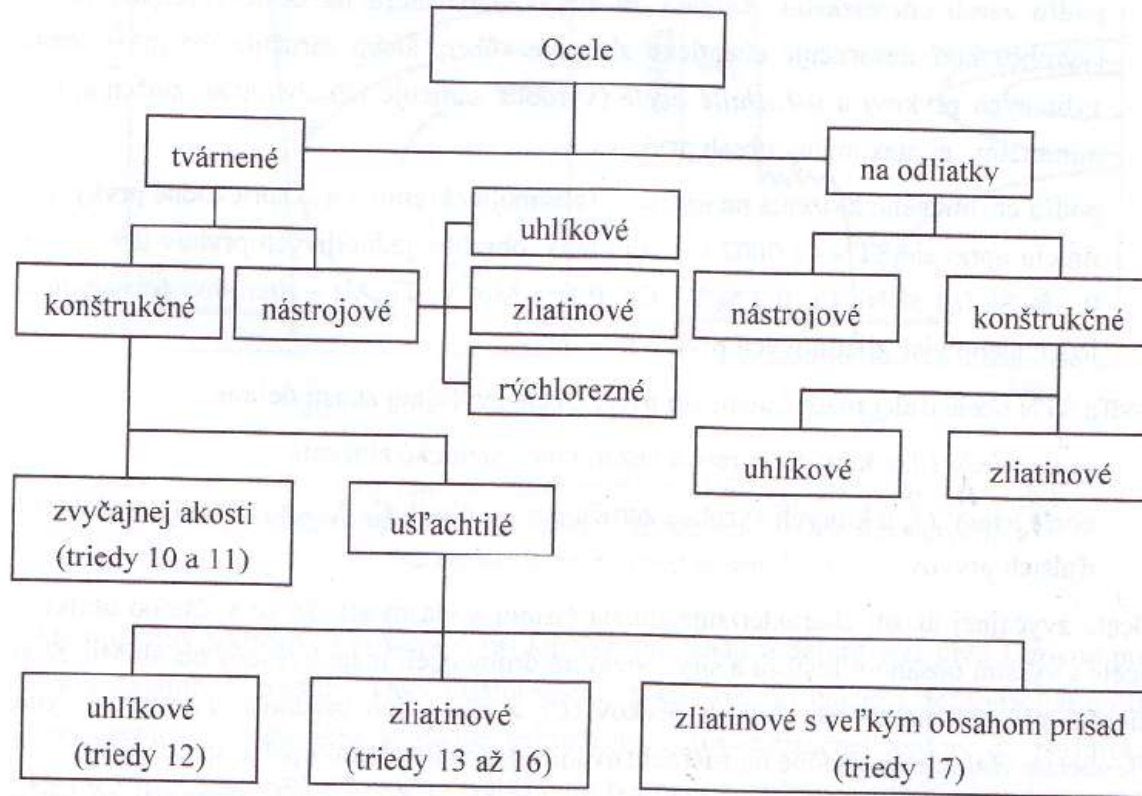
uhlíkové (obsahujú okrem Fe a C sprievodné prvky, definíciu upravuje STN 42 0002 určením max. obsahov jednotlivých prvkov

0,9 % Mn, 0,5 % Si, 0,3 % Ni, Cr, 0,2% W, Co, 0,1 % Mo, V, Ti, Al)

zliatinové (obsahujú aj jeden alebo viac zliatinových prvkov)

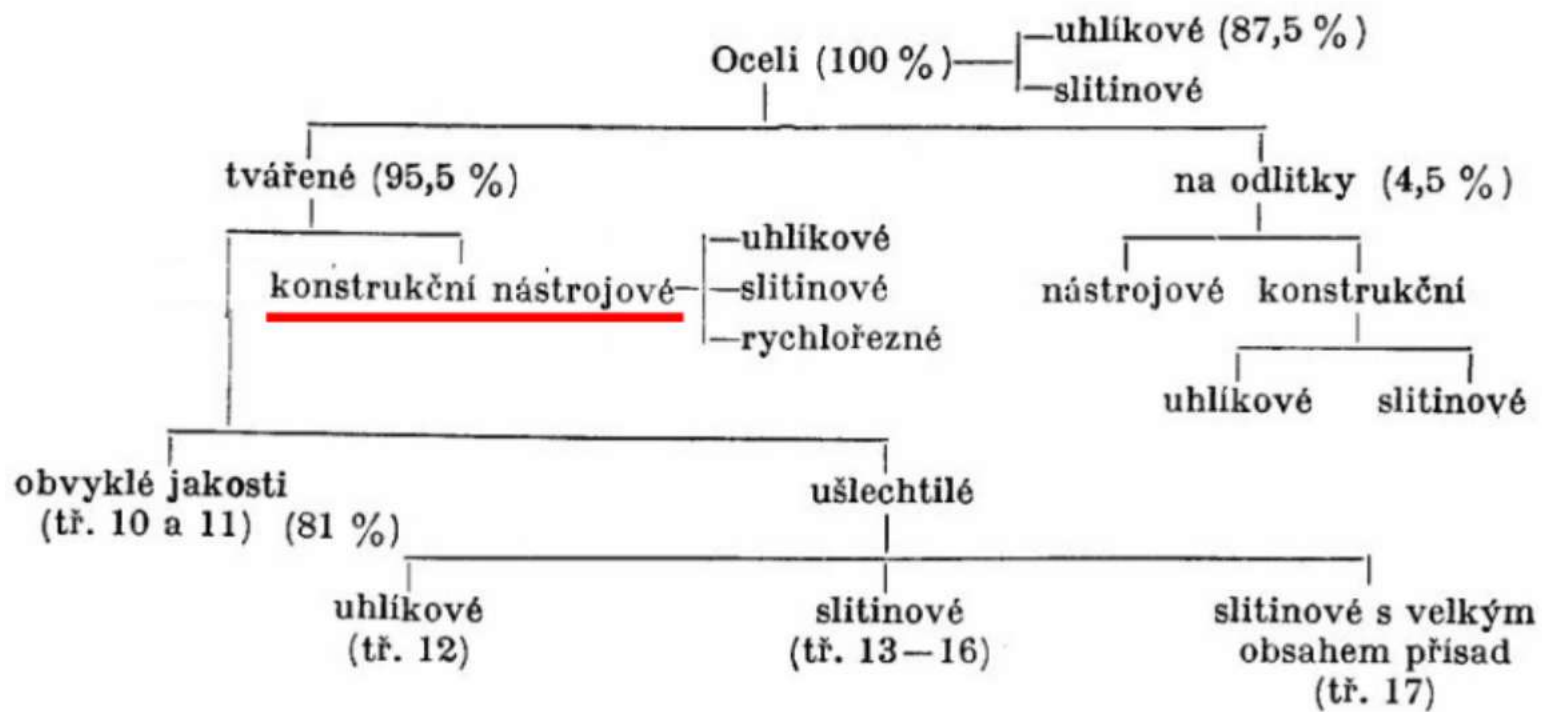
STN 42 0002

Rozdelenie ocelí podľa STN



Konštrukčné: trieda 10 až 17

Nástrojové: trieda 19



Charakteristiky oceli třídy 10 až 19

Třída oceli	Druh oceli podle			Blíže údaje (rozsah záruk chemického složení, charakteristická přísada)
	jakosti	použití	chem. složení	
10 XXX	obvyklé jakosti	konstrukční	uhlíkové	Bez záruky složení. (Ve zvláštních případech se zaručuje max. obsah některých prvků v tavbovém vzorku a hutním výrobku)
11 XXX				Zaručuje se max. obsah C, P, S, resp. P S v tavbovém vzorku a hutním výrobku. (Ve zvláštních případech i obsah dalších prvků.)
12 XXX	ušlechtilé		slitiny	Oceli uhlíkové
13 XXX				Mn, Si
14 XXX				Cr (Mn, Si)
15 XXX				Mo, W, V (Cr)
16 XXX				Ni (Cr, W, Mo, V)
17 XXX	Vysoce legované oceli: korozivzdorné, žárovezdorné, žárovevné, speciální			
19 XXX	nástrojové	slitino-uhlíkové	oceli uhlíkové	
			oceli slitinové a slitinové rychlořezné	

zaručuje se chemické složení tavbového vzorku a hutních výrobků udáním rozmezí prvků nebo max. či min. obsahu

C menej ako 2%

Fe

Teplota tavenia = 1536°C
Hustota = 7850kg/m³

Rozdelenie a označovanie ocelí

STN 42 0002

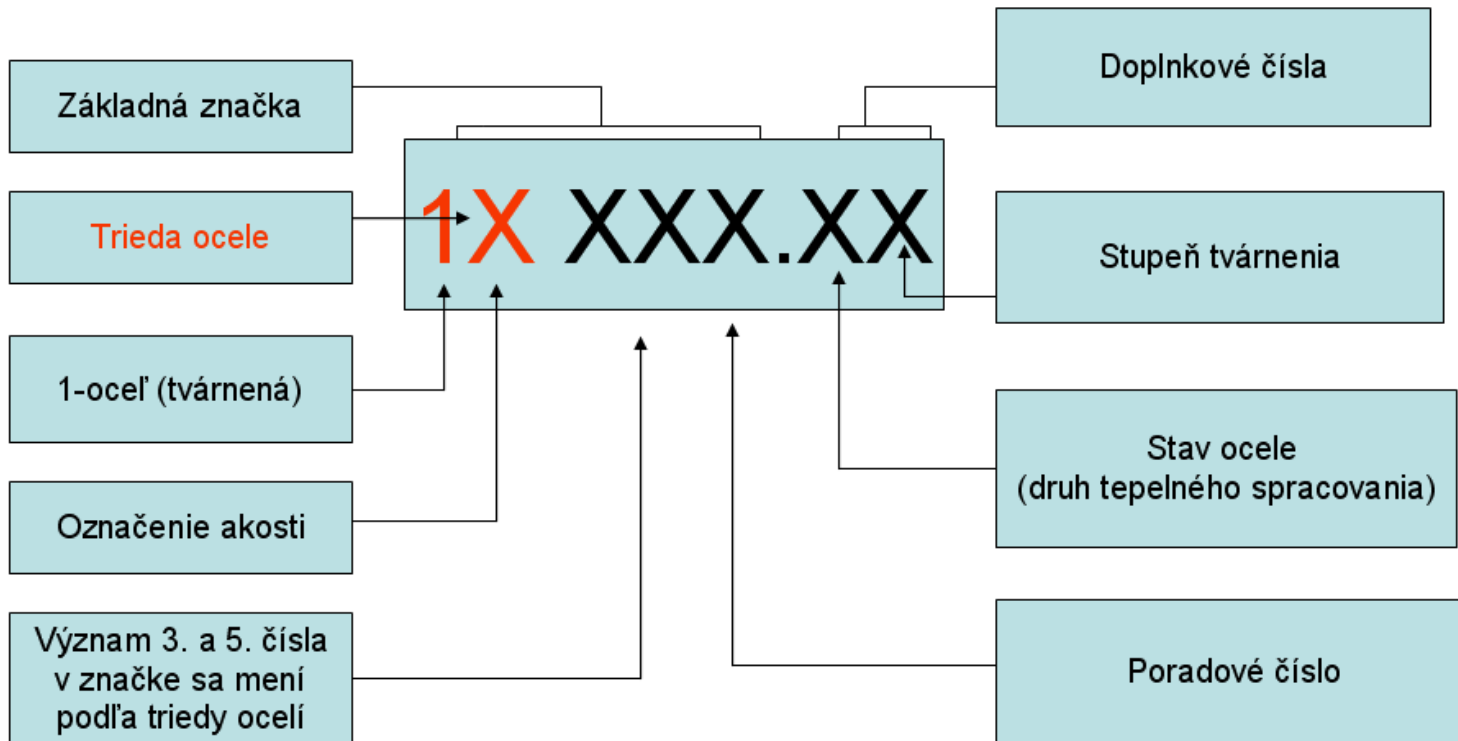
každá oceľ má svoj materiálový list

Ocele konštrukčné

Ocele nástrojové

Uhlíkové ocele

Zliatinové ocele



Význam tretej až piatej číslice pri triedach 10 a 11

väčšina ocelí

1 x x x x

$R_{m \min}$ v 10 MPa

Poradové
číslo

automatové ocele

1 1 1 x x

Priemerný obsah C v 0,1%

Význam prvej doplnkovej číslice

0 tepelne nespracovaný

1 normalizačne žihany

2 žihany

3 žihany na mätko

4 kalený, prípadne nízko popustený

5 normalizačne žihany a popustený

6 zušľachtený na dolnú pevnosť danej ocele

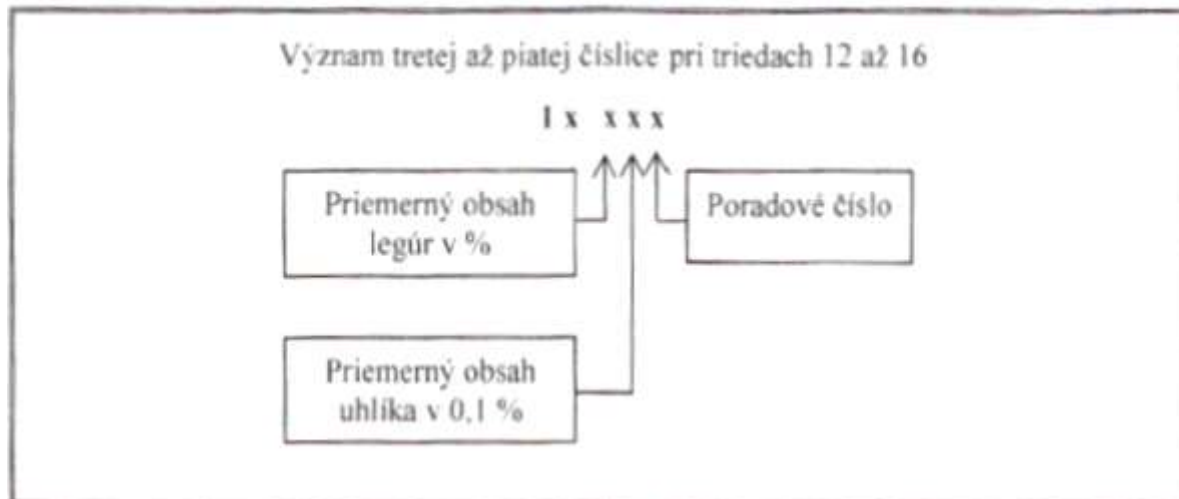
7 zušľachtený na strednú pevnosť danej ocele

8 zušľachtený na hornú pevnosť danej ocele

9 zvláštny stav tepelného spracovania

Triedy 10, 11

Triedy 12 až 16

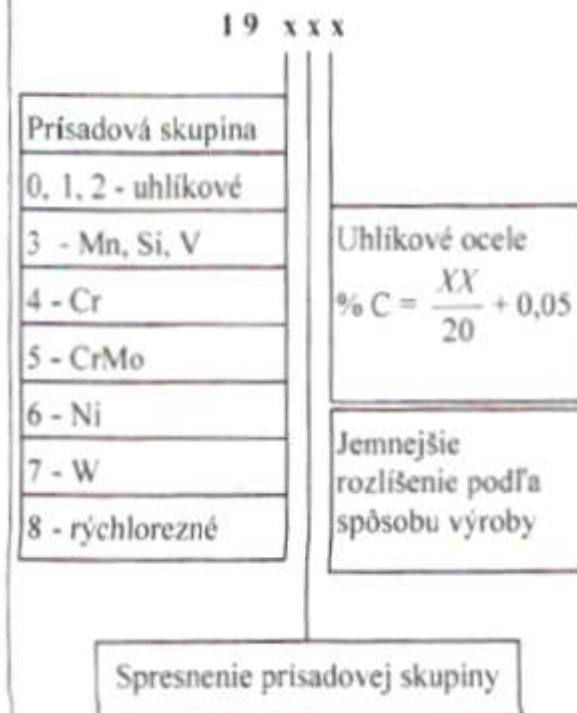


Trieda 17

Význam tretej až piatej číslice pri triede 17



Význam tretej až piatej číslice pri triede 19

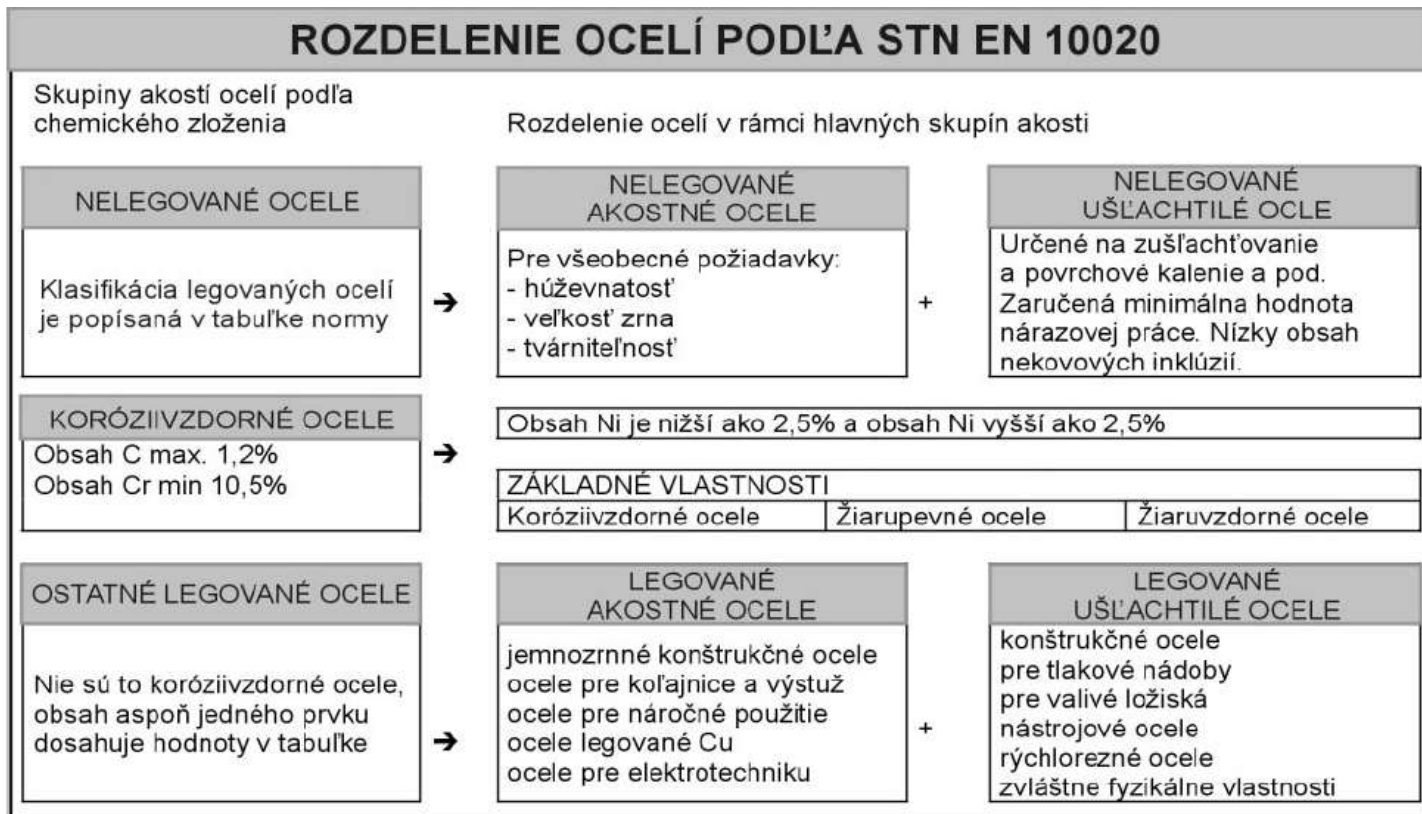


Trieda 19

Rozdelenie podľa STN EN 10020

Táto európska norma definuje termín „ocel“ a delí ocele:

- nelegované, korozivzdorné a ostatné legované ocele



Definícia podľa STN EN 10020: ocel' je materiál, ktorého hmotnostný podiel železa je väčší než ktoréhokoľvek iného prvku, **obsah uhlíka je všeobecne menší ako 2%** a obsahuje ďalšie prvky. Obmedzený počet chrómových ocelí môže obsahovať viac než 2% uhlíku, ale zvyčajne medzná hranica medzi oceľou a liatinou sú 2%.

Podľa **chemického zloženia** rozdeľuje EN-STN 10020

ocele nelegované (do 1,65 % Mn, 0,5% Si, 0,4 % Cu, Pb, 0,3 % Cr, Ni, 0,1% Al, Bi, Co, Se, Te, V, W, 0,8 % Mo, 0,06 % Nb, 0,05 % iné prvky, 0,008 % B) a **ocele legované**.

System označovania ocelí

STN EN 10027-1: System skráteného označovania.

STN ECISS IC 10 (prídavné symboly).

Skupina 1 – ocele označené *podľa použitia a mechanických vlastností*

Skupina 2 – ocele označené *podľa chemického zloženia*.

Tieto sa delia na **4 podskupiny**.

STN EN 10027-2: System číselného označovania.

Tento je menej praktický a menej zaužívaný.

Podľa EN 10027 - 1 sa značky ocelí rozdeľujú do dvoch hlavných skupín:

- skupina 1 - ocele označené podľa použitia a mechanických vlastností
- skupina 2 - ocele značené podľa chemického zloženia. Tieto sa delia na štyri podskupiny.

Skupina 1

- S - ocele pre konštrukcie pre všeobecné použitie
- P - ocele pre tlakové použitie
- L - ocele pre potrubia
- E - ocele pre strojné súčasti (následné číslo udáva minimálnu medzu klzu v N/mm^2)
- B - ocele pre výstuž do betónu
- Y - ocele pre pnutú výstuž do betónu
- R - ocele pre koľajnice
- H - ploché výrobky valcované za studena
- D - ploché výrobky z mäkkých ocelí pre tvámenie za studena
- T - tenké plechy a pásy
- M - plechy a pásy pre elektrotechniku

Skrátené značenie podľa ČSN EN 10027-1

S xxx

S – základný písmenkový symbol (viď tabuľka)

xxx – číslo

Písmena a čísla vyjadrujú základné charakteristické znaky oceli.

Ak ide o ocele na odliatky, pridá sa pred označením písmeno G.

Základný symbol podľa použitia mechanických alebo fyzikálnych vlastností tvorí:

písmeno označujúce použitie ocele:

S – na oceľové konštrukcie,

P – na tlakové nádoby,

L – na potrubia,

E – na strojové súčiastky,

B – na výstuž do betónu,

Y – na predpätú výstuž do betónu,

R – na koľajnice,

H – plechy a pásy valcované za studena z ocelí s vyššou pevnosťou,

T – tenké pocínované oceľové plechy pre baliacu techniku

D – ploché výrobky z mäkkých ocelí pre tvárnenie za studena,

M – ocele pre elektrotechniku

a číselný znak, udávajúci min. hodnotu vybranej vlastnosti

(napr. pri oceliach S, P, L, E, B, H – min. hodnotu **medze klzu** v MPa,

pri oceliach Y, R – min. hodnotu **medze pevnosti** v ťahu v MPa ap.)

Príklady: **E360** – oceľ na strojové súčiastky s min. hodnotou medze klzu 360 MPa

STN EN 10027-1: Systém skráteného označovania.
Skupina 2 – ocele označené *podľa chemického zloženia*.

Tieto sa delia na 4 podskupiny.

Podľa uvedeného spôsobu značenia sa rozdeľujú ocele na **nelegované** a **legované**.

Nelegované ocele:

1. ocele s obsahom Mn < 1%,
2. ocele s obsahom Mn ≥ 1 %

Legované ocele:

3. legované ocele okrem rýchlorezných
4. rýchlorezné ocele

1. Nelegované ocele (okrem automatových) so obsahom Mn < 1%.

Písmeno **C** (uhlíková oceľ), stonásobok obsahu uhlíka, prídavný symbol.

Príklad: **C35E** – uhlíková oceľ so stredným obsahom uhlíka 0,35% a predpísaným max. obsahom síry.

**2. Nelegované ocele so stredným obsahom Mn ≥ 1%,
nelegované automatové ocele a
legované ocele (okrem rýchlorezných) so strednými obsahmi jednotlivých
legujúcich prvkov do 5%,**

stonásobok strednej hodnoty obsahu uhlíka, chemické značky prísadových prvkov,
násobky stredných obsahov prísadových prvkov, oddelené spojovníkom
(obsahy Cr, Co, Mn, Ni, Si, W sa násobia koeficientom 4,
Al, Be, Cu, Mo, Nb, Pb, Ta, Ti, V, Zr koeficientom 10,
Ce, N, P, S koeficientom 100 a
B koeficientom 1000), prípadne prídavné symboly.

Príklad: **20MnCr4-2** – oceľ obsahuje 0,2% C, 1 % Mn a 0,5% Cr
100 Cr6 – oceľ obsahuje 1% C a 1,5 % Cr.

3. Legované ocele (okrem rýchlorezných) s obsahom najmenej jedného legujúceho prvku $\geq 5\%$,

Písmeno X, stonásobok strednej hodnoty obsahu uhlíka, chemické značky prísadových prvkov, stredné obsahy prísadových prvkov, zaokrúhlené na najbližšie vyššie číslo, oddelené spojovníkom.

Príklad: **X5CrNi18-10** – oceľ obsahuje 0,05 % C, 18%Cr a 10% Ni.

4. Rýchlorezné ocele,

Písmena HS, obsahy prísadových prvkov v poradí W, Mo, V, Co, oddelené spojovníkom.

Príklad: **HS2-9-1-8** – rýchlorezná oceľ s 2% W, 9% Mo, 1% V a 8 % Co

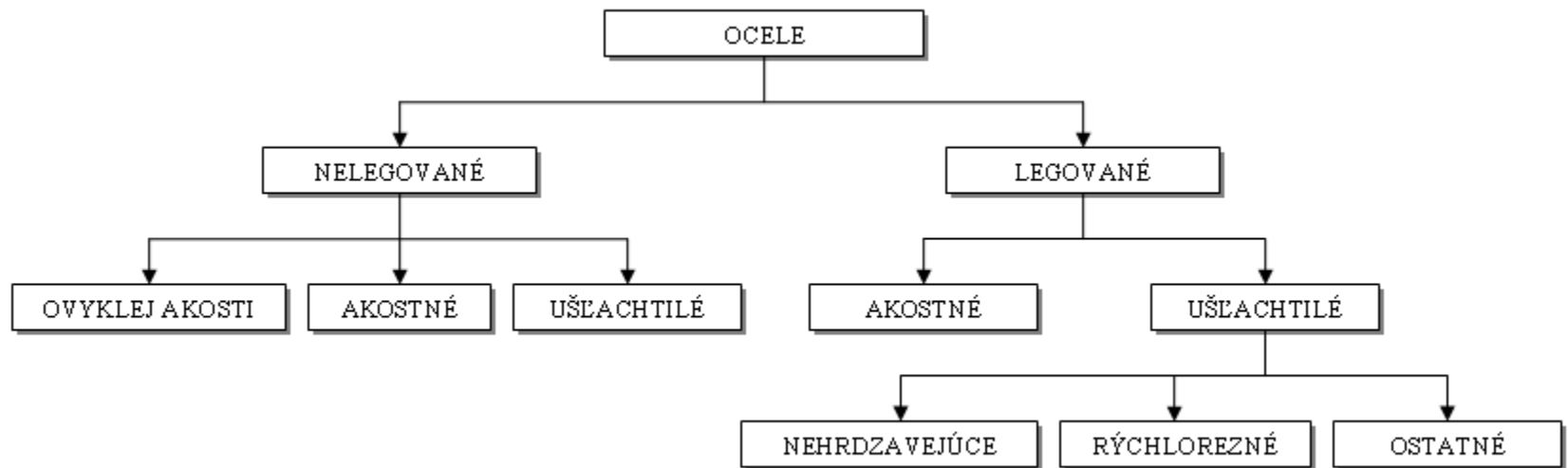
Tabuľka ekvivalentov

EN Europa	DIN Nemecko	NF Francúzsko	UNI Taliano	UNE Španielsko	GOST Rusko	STN Slovensko
11SMn28	9SMn28	S250	CF9SMn28	F.2111		11109
SPT 360	St.37.0				10	11353
S235JRH, S235JRG1	USt.37-2	E24-2	Fe360B	Fe360B	S255	11373
S235JRG2	RSt.37-2	E24-2	Fe360B	Fe360B	S245	11375
S235J0	St.37-3	E24-3	Fe360C	Fe360D1	S245	11378
S275JR , SPT410	St.44-2	E28-2	Fe430B	Fe430B	20	11443
S275J2G3 , S275J2H	St.44-3	E28-4	Fe430D	Fe430D1		11448
E295	St.50-2	A50-2	Fe490	Fe490-2	S285	11500
S355J2H , S355J2G3	St.52-3	E36-4	Fe510D	Fe510D1	S345	11503
S355J0 , S355J0H	St.52-3,St52-0	E36-3	Fe510C	Fe510C	35	11523
E355	St60-2	A60-2	Fe590	Fe590-2	S345	11600
C15	C15	C18RR	C15	C15k		12020
C35 , C35E	C35	C35	C35	C35	35	12040
C45E	C45	C45RR	C45	C45	45	12050
C60E	C60E	C60	C60	C60	60G	12061
16MnCr5	16MnCr5	16MC5	16MnCr5		18ChG	14220
42CrMo4	42CrMo4	42CrMo4	42CrMo4	42CrMo4		15142
34CrNiMo6	34CrNiMo6	35NCD6	35CrNiMo6	34CrNiMo6	38Ch2N2MA	16343

Orientačný prevod ocelí podľa normy STN do EN normy možno nájsť na:

<http://pomocnik.optimat.sk/Home/pomocnik-pri-specifikacii-materialov-do-dopytu-a-ponuky/kovov-materily-z-oceli/orientacny-prevod-csn-a-stn-norier-oceli-do-en-norier>

Číselné označenie podľa STN EN 10027-2



Číselné označení podľa STN EN 10027-2

1 ab cd(xy)

1 = ocel'

ab – číslo skupiny oceli

cd(xy) – poradové číslo

Obvyklých akostí: 00(90)

Akostné: 01-07 (91-97)

Ušľachtilé: 10-18

Oceli nelegované		
Oceli obvyklých jakostí	Oceli jakostní	Oceli ušlechtilé
00 90 oceli obvyklých jakostí S185 (10 000, 10 004) S235 (11 373, 11 375) E295 (11 500) E335 (11 600) E360 (11 700)	01 91 konstrukční oceli pro všeobecné použití s $R_m < 500\text{MPa}$ S235 (11 378), S275J2 (11 448) 02 92 ostatní konstrukční oceli neurčené tepelné zpracování s $R_m < 400\text{MPa}$ 03 93 oceli s průměrným $\%C < 0,12$ nebo $R_m < 400\text{MPa}$ P235GH (11 368) 04 94 oceli s průměrným $\%C \geq 0,12 < 0,25$ nebo $R_m \geq 400\text{MPa} < 500\text{MPa}$ S275N, P265GH (11 418), P295GH (13 030) 05 95 oceli s průměrným $\%C \geq 0,25 < 0,55$ nebo $R_m \geq 500\text{MPa} < 700\text{MPa}$ S355 (11 523), S355J2(11 503), S355N (NL) 06 96 oceli s průměrným $\%C \geq 0,55$ nebo $R_m \geq 700\text{MPa}$ 07 97 oceli s vyšším obsahem P nebo S	10 oceli se zvláštními fyzikálními vlastnostmi 11 konstrukční oceli na strojní součásti s $\%C < 0,50$ 12 050 12 oceli na strojní součásti s $\%C > 0,50$ 12 060 13 konstrukční oceli, oceli na strojní součásti, tlakové nádoby a oceli se zvláštními požadavky 14 15 oceli nástrojové 16 oceli nástrojové 17 oceli nástrojové ČSN 19 083 18 oceli nástrojové 19

Legované:

Akostné 08, 09 (98,99)

Ušlechtilé: 20-89

Oceli legované							
Oceli jakostní	Oceli ušlechtilé						
	nástrojové oceli	různé oceli	chemicky odolné oceli	konstrukční oceli, oceli na strojní součásti a na tlakové nádoby			
	20 Cr	30	40 nerezavějící oceli s méně než 2,5% Ni bez Mo, Nb, Ti	50 Mn, Si, Cu 13 141	60 Cr-Ni s obsahem Cr od 2,0 do 3,0%	70	80 Cr-Si-Mn Cr-Si-Mn-Mo Cr-Si-Mo-V Cr-Si-Mn-Mo-V
	21 Cr-Si Cr-Mn Cr-Mn-Si	31	41 nerezavějící oceli s méně než 2,5% Ni s Mo, bez Nb a Ti	51 Mn-Si Mn-Cr 13 240	61	71 Cr-Si Cr-Mn Cr-Mn-B Cr-Si-Mn	81 Cr-Si-V Cr-Mn-V Cr-Si-Mn-V
	22 Cr-V Cr-V-Si Cr-V-Mn Cr-V-Mn-Si	32 rychlotažné oceli s Co	42	52 Mn-Cu Mn-V Si-V Mn-Si-V	62 Ni-Si Ni-Mn Ni-Cu	72 Cr-Mo S méně než 0,35% Mo Cr-Mo-B	82 Cr-Mo-W Cr-Mo-V-W
	23 Cr-Mo Cr-Mo-V Mo-V	33 rychlotažné oceli bez Co	43 nerezavějící oceli s $\geq 2,5\%$ Ni bez Mo, Nb, Ti (15 260)	53 Mn-Ti Si-Ti 13 240	63 Ni-Mo Ni-Mo-Mn Ni-Mo-Cu Ni-Mo-V Ni-Mn-V	73 Cr-Mo s $\geq 0,35\%$ Mo (15 121) (15 313)	83
	24 W Cr-W	34	44 nerezavějící oceli s $\geq 2,5\%$ Ni s Mo, bez Nb a Ti	54 Mo, Nb, Ti, V, W (15 020)	64	74	84 Cr-Si-Ti Cr-Mn-Ti Cr-Si-Mn-Ti
	25 W-V Cr-W-V	35 oceli na valiva ložiska	45 nerezavějící oceli se zvláštními přísadami	55 B Mn-B s $< 1,65$ Mn	65 Cr-Ni-Mo s $< 4\%$ Mo + $< 2,0$ Ni	75 Cr-V s $< 2,0\%$ Cr	85 oceli k nitrátování
	26 W kromě tříd 24, 25 a 27	36 materiály se zvláštními magnetickými vlastnostmi bez Co	46 chemicky odolné a tepelně stílné Ni	56 Ni	66 Cr-Ni-Mo s $< 0,4\%$ Mo + $\geq 2,0 - 3,5\%$ Ni	76 Cr-V s $< 2,0\%$ Cr	86
	27 s Ni	37 materiály se zvláštními magnetickými vlastnostmi s Co	47 žiruvzdorné oceli s $< 2,5\%$ Ni	57 Cr-Ni s $< 1,0\%$ Cr	67 Cr-Ni-Mo s $< 0,4\%$ Mo + $\geq 3,5 - 5\%$ Ni nebo $\geq 0 - 4\%$ Mo	77 Cr-Mo-V	87 oceli určené pro tepelné zpracování u oděratel
08 oceli se	98 28	38	48	58	68	78	88

Konštrukčné ocele obvyklej akosti (podľa STN)

OCELE OBVYKLÝCH AKOSTÍ (STN EN 10020)

Konštrukčné ocele obvyklej akosti sú určené pre hromadnú spotrebu (približne 80% celkového objemu ocelí).

Spoločný znak:

pomerne malá čistota, len orientačné chemické zloženie a v menšej miere **definované mechanické a technologické vlastnosti**.

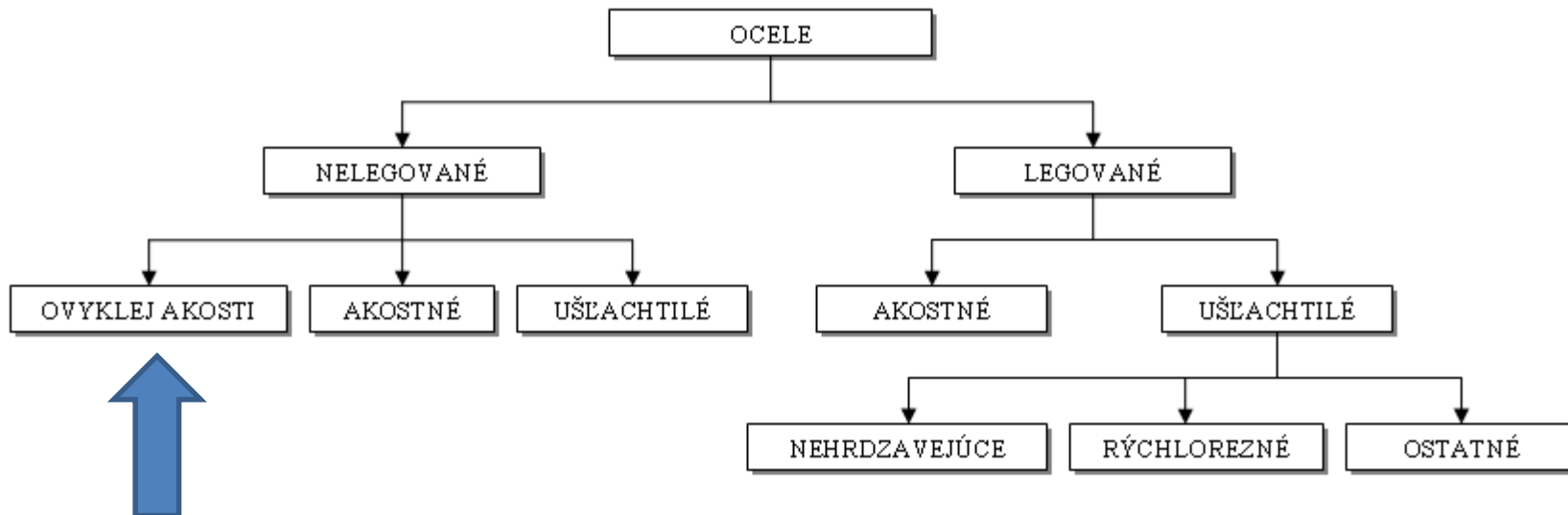
Podľa STN 42 0002 sú zaradené do triedy 10 a 11 a podľa STN EN 10020 sú to ocele obvyklých akostí (**zahrňujú ocele triedy 10 a časť ocelí triedy 11**).

Ocele triedy 10 sú najlacnejšími materiálmi na výrobu málo namáhaných súčiastok nepodstatného významu pre väčší celok.

Nemajú zaručené chemické zloženie, sú spracovávané tvárnením za tepla.

Väčší technický význam majú ocele triedy 11.

STN EN 10020



Ocele triedy 10 a
časť 11 (podľa STN)



Konstrukčné ocele zvyčajných (obvyklých) akostí

(podľa STN 42 0002) zaradené do triedy 10 a 11 sú to ocele **uhlíkové, nelegované**.

Ocele triedy 10 nemajú zaručené chemické zloženie, sú spracovávané tvárnením za tepla a dodávajú sa ako valcované **profily, plechy a drôty**.

Ocele triedy 11 - predpísaná čistota vymedzeným obsahom S a P.

Ich vlastnosti sú dané obsahom C, ktorý neprevyšuje 0,7 % - čím je obsah vyšší, tým úmerne rastie pevnosť a tvrdosť ocele, klesá však jej húževnatosť, ťažnosť a tvárnosť.

Ocele s **dobrou zvariteľnosťou** majú **obsah uhlíka menší ako 0,2 %**.

Pre **hlboké ťahanie** musí mať oceľ **obsah uhlíka menší ako 0,1 %**.

Ocele triedy 10

Používajú sa na rôzne **stavebné a strojné konštrukcie**.

Majú obsah uhlíka typicky **do 0,2%**.

Najlacnejšie ocele: 10 001, 10 002, 10 003 pre najmenej náročné stavebné a zámočnicke práce.

Najpoužívanejšie ocele: 10 340 až 10 523. Majú pevnosť v ťahu **340-520 MPa**.

Z oceli **10 340** (0,1% C) sa vyrábajú svorníky, šruby, klince, nity.



Príklady použitia

10 335 Výstuže do betónových konštrukcií



Betonárska oceľ, roxor, oceľ 10 505 R

Koľajnice: **10 650** (zvýšený obsah C a Mn, **medza pevnosti 500-800 MPa**)
Výhybky:: **10 750, 10 800**



Ocele triedy 11:

Chemické zloženie:

0,07-0,75%C, 0,15-0,55%Si, 0,40-1,60%Mn, **<0,05%P a <0,05%S**

Mechanické vlastnosti

R_e 195 - 637 MPa, R_m **373 - 980 MPa**, A5 = 6 - 31 %.

Príklady použitia

11 300 (1.0314 - podľa EN 10027-2)

Nity, reťaze, klince, oceľ na mierne alebo hlboké ťahanie

11 500 (1.0050 - podľa EN 10027 2)

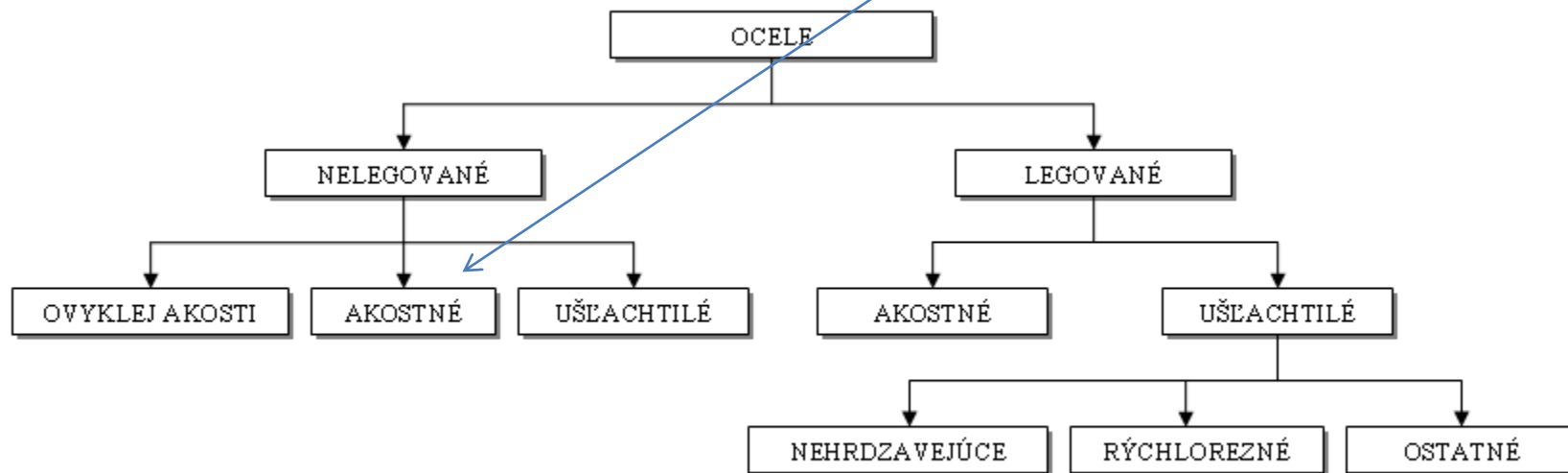
Svorníky, čapy, skrutky, matice, kľukové hriadele,
menej namáhané ozubené kolesá

Hlavné skupiny oceli triedy 11 sú:

- **Ocele na zvarované konštrukcie** (obsah 0,2, max. 0,25% C)
- **Ocele s vyšším obsahom uhlíka**
- **Hlbokot'ážné ocele** (samostatná skupinu ocelí pre plechy a pásy)
- **Automatové ocele** (zvýšený obsah S, alebo Pb – pre lámavosť triesky)

Podľa STN EN ocele triedy 11, **ktoré možno zošľachtovať**, resp. sú na nich kladené určité požiadavky, sú zaradené do skupiny **nelegovaných akostných ocelí**.

Do tejto skupiny patria aj **automatové a nízkoalegované (mikroalegované) ocele**



UŠLACHTILÉ OCELE

Podľa STN sú ušľachtilé ocele triedy 12 až 17.

Ocele triedy 12 sú uhlíkové,

ocel triedy 13 až 16 sú zliatinové

ocel triedy 17 sú zliatinové s veľkým obsahom prísad.

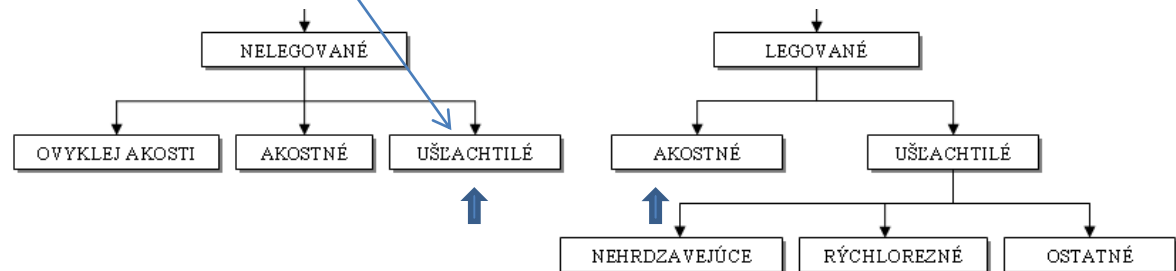
- v porovnaní s oceľami zvyčajných akostí majú rovnomernejšie vlastnosti,
- vyššiu čistotu
- zaručené chemické zloženie.

Je to dôsledok dokonalejšieho spôsobu výroby, výberu surovín a kontroly.

Výrobky vyrobené z týchto ocelí **sa musia tepelne spracovať**, aby sme dosiahli vlastnosti, ktoré sú optimálne a preto výsledná štruktúra a s ňou súvisiace mechanické a iné vlastnosti závisia od druhu tepelného spracovania.

Podľa STN EN do tejto skupiny patria

ocel **nelegované ušľachtilé** a **legované akostné** (obsah legujúceho prvku do 5%)



UŠŤAČHTILÉ UHLÍKOVÉ (NELEGOVANÉ) OCELE

Ocele triedy 12

- ušľachtilé ocele uhlíkové
- zaručené chemické zloženie a menší obsah nečistôt (P+S).
- na výrobu menej namáhaných súčiasok a takmer vždy po TS

Obsah jednotlivých legúr býva v rozmedzí:

0,04 až 0,99%C, 0,2 až 1,0% Mn, 0,1 až 0,4%Si,
max **0,04%P**, max. **0,04%S**, max. 0,3%Cu.

Podľa množstva C ich rozdeľujeme do 3 skupín:

Ocele na cementovanie: do 0,2%C

Používajú sa na výrobu súčiasok s tvrdým a oteruvzdorným povrchom a húževnatým jadrom. Uplatňujú sa pri výrobe tvarovo jednoduchých a menej namáhaných súčiasok (vačkové hriadele).

Ocele na zušľachtovanie: 0,3 až 0,7% C

Zušľachtovaním (kalením a popustením) sa získa pri týchto oceliach najlepšia kombinácia pevnosti a húževnatosti. Používajú sa na výrobu ozubených kolies, ojníc, kľukových hriadeľov (12 040, 12 050, 12 060)

Ocele pružinové: 0,8 až 0,9%C

Zušľachtujú sa na vysokú pevnosť a používajú sa na výrobu ventilov do motorov, drôtov do lán a na skrutkové, tlačné a ťažné pružiny (12 090).

UŠŤAČTILÉ ZLIATINOVÉ OCELE

STN (trieda 13 až 16)

- akostné konštrukčné materiály,
- **cena je podstatne vyššia** ako u ocelí nelegovaných.

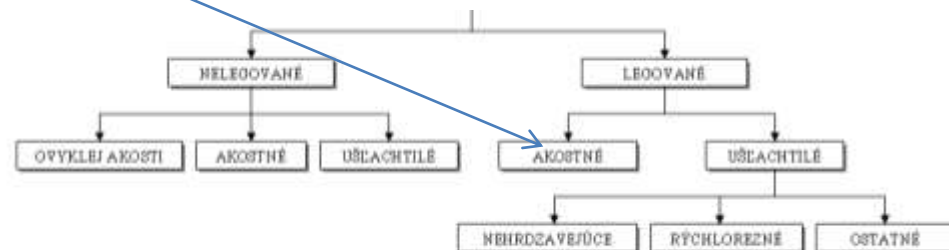
Preto ak volíme pre výrobu súčiastky tieto ocele,
je **treba úplne využiť ich vlastnosti dokonalým TS.**

K ich voľbe sa prikróčí len vtedy, ak požadované vlastnosti **nemôžeme dosiahnuť**
uhlíkovými a nízko legovanými oceľami.

Podľa STN EU sem patria legované akostné ocele.

Tieto ocele možno **z hľadiska TS rozdeliť** do niekoľkých skupín.

- **k cementovaniu** (najčastejšie ocele triedy 14, ale aj 16)
- **zušľachtovaniu** (oceli triedy 13, 14, 15, 16)
- **nitridovaniu** (predovšetkým ocele triedy 14 a 15)



Ocele triedy 13 (mangánové, alebo mangán-kremíkové)

Obsah 0,12 až 0,8% C, max. 2,4% Mn, max 2% Si

stredne namáhané súčiastky, hriadele, čapy, nápravy, stredne veľké výkovky.

Ocele triedy 14 (chrómové)

0,2 až 4,3% Cr

na výrobu *gulových ložísk*, na veľmi namáhané súčiastky

Ocele triedy 15 (Cr-V a Cr-Mo)

0,5-3,2% Cr

Veľmi kvalitný konštrukčný materiál, sú žiarupevné, ale málo žiaruvzdorné

Vysokotlakové kotle, súčiastky parných turbín

Ocele triedy 16 (niklové)

0,4 až 5,2% Ni

Vysoké pevnostné vlastnosti

Rotory elektrických generátorov

OCELE tr. 13

Ocele legované **Mn** alebo **Si**, alebo obidvoma.

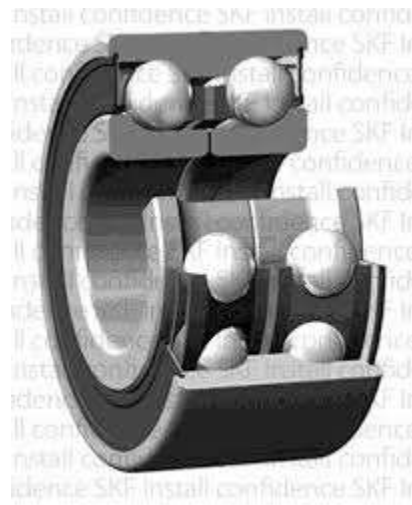
Používajú sa tam, kde svojimi vlastnosťami nevyhovuje ušľachtilá uhlíková oceľ a kde by oceľ chrómová alebo chrómniklová zbytočne nákladná.

Ocele tr. 13 možno zušľachtovať, nie sú vhodné k cementovaniu.

Sú známe ako **pružinové ocele**, určené na výrobu veľmi namáhaných pružín s vysokou pružnosťou a dostatočnou húževnatosťou a veľkou medzou únavy.



Ocele tr. 14



Ocele tr. 15



Súčiastky namáhané za tepla,
Sú žiarupevné.

UŠŤAČHTILÉ VYSOKOLEGOVANÉ OCELE

- **vysoký obsah prísad (nad 10%)**

- sú určené pre zvlášť sťažené podmienky a z hľadiska aplikácií sa aj rozdeľujú na:

**antikorózne a žiaruvzdorné,
žiarupevné,
ocele pre záporné teploty
ocele so zvláštnymi fyzikálnymi vlastnosťami.**

Podľa STN je 17 xxx.xx.

3. číslica je prísadová skupina 0 = Cr, 1 = Cr + prísady, 2 = Cr-Ni, 3 = Cr-Ni + prísady, 4 = Mn-Cr, Mn-Cr-Ni, 5 = Ni, 6=Mn,

4. číslica vyjadruje rozmedzie obsahu prvkov.

Podľa STN EN je

Písmeno X, 100 násobok hodnoty obsahu C, chemické značky prísadových prvkov, stredné obsahy prísadových prvkov, zaokrúhlené na najbližšie vyššie číslo, oddelené spojovníkom.

(**Napr.** X12CrNi18-9 je oceľ Cr-Ni o strednom obsahu C 0,12%C, Cr 18% a Ni 9%.

Ocele antikoročné odolávajú korózii v oxidačných prostrediach obsahujú min 12% Cr a môžu byť v kombinácii s vyšším obsahom Ni, Mn a iné.

Ocele, ktoré **odolávajú korózii pri teplotách nad 600°C** označujeme ako **žiaruvzdorné**.

Antikoročné a žiaruvzdorné ocele:

Chrómové ocele – podľa chemického zloženia môžu byť kaliteľné (možno ich austenitizovať a zakaliť) a nekaliteľné – feritické (v rovnovážnom diagrame nie je austenitická oblasť). Obsah Cr: 13% (kaliteľné), 17%, 25%.

Chrómniklové ocele – Ni opačne ako Cr v zliatinách rozširuje oblasť gama. Antikoročné ocele tohto typu majú prevažne austenitickú štruktúru (tradičné zloženie 0,1%C, 18% Cr, 8%Ni – oceľ 18/8)

Chrómmangánové ocele – keďže Mn má podobný účinok na zliatiny železa ako Ni a je dostupnejší, nahrádzujú sa nimi u menej exponovaných súčiastok chrómniklové ocele.

Žiarupevné ocele

musia pri vysokých T znášať dlhodobé mechanické namáhanie.

Priaznivo sa prejavujú prísady, ktoré *spevňujú tuhý roztok a vytvárajú stabilné disperzné častice*, ktoré brzdia pohyb dislokácií a samozrejme zvyšujú teplotu tavenia zliatiny.

Podľa pracovnej teploty môžeme používať rôzne ocele:

- a) **uhlíkové**, napr. 11 478, 12 021, ktoré používame na stavbu nenáročných zariadení (nízkotlakové kotle a pod.) **do teplôt 400°C**.
- b) **zliatinové ušľachtilé (legované)**, trieda 15 - **do teplôt 570°C**, (pre trúbky prehrievačov pre parovody, turbínové rotory, svorníky)
- c) **chrómové žiarupevné ocele**, trieda 17, **do teplôt 600°C** na energetické zariadenia.
- d) **Chrómniklové – austenitické** žiarupevné ocele triedy 17 **do teplôt 700°C**
(Používajú sa na časti energetických zariadení ako sú rotory, rúrky prehrievačov)
- e) **Chróm-mangánové austenitické** žiarupevné ocele triedy 17 do teplôt až 630°C

NÁSTROJOVÉ OCELE

- vysoká tvrdosť a pevnosť,
 - dostatočná húževnatosť,
 - stálosť vlastností za tepla,
 - odolnosť proti opotrebeniu a pod.
-
- vhodným chemickým zložením a TS.

Podľa STN – trieda 19

STN rozdeľuje nástrojové ocele na

- nástrojové uhlíkové
- nástrojové zliatinové
- **nástrojové rýchlorezné**

Podľa STN EU majú **osobitnú značku len rýchlorezné ocele**

HS a nasleduje percentuálny obsah legujúcich prvkov v poradí W, Mo, V, Co

Príklad: HS2-9-1-8.

Podľa spôsobu použitia:

na ocele pre rezné nástroje,
na strihanie,
nástroje pre tvárnenie,
nástroje pre drvenie a mletie,
na ručné nástroje a náradie,
oceľ na formy a
oceľ na meradlá.



Uhlíkové nástrojové ocele

0,3 až 1,5%C, prevažná časť **0,7 až 1,5%C** a sprievodné prvky Mn, Si, pričom obsah P a S je max. 0,04%.

pre menej namáhané rezné nástroje (nože, frézy, vrtáky, závitníky) a na ručné nástroje a náradie.

Zliatinové nástrojové ocele

celkové množstvo prísad 3 až 5%.

na nástroje pre tvárnenie za tepla, ale aj na rezné nástroje.

Rýchlorezné nástrojové ocele

majú obvykle **0,7-1,3%C** a hlavné prísady prvkov **W, Cr, V** v množstve **15 až 22%** (klasické 10 až 18% W, 4% Cr, 1-4% V).

Najvýkonnejšie typy rýchlorezných oceli majú ešte prísadový prvok Co do 10%.

Vyznačujú sa mimoriadnou stálosťou za tepla a vysokou pevnosťou.

Používajú sa do pracovných teplôt **až 650°C**.

Vyrábajú sa z nich všetky druhy nástrojov a nástroje pre zvláštne použitie.

vrtáky, závitníky, frézy, preťahovacie trny a podobne.

Ceny ocelí za 1 kg (r. 2005)

ČSN 11373 – 16,- Kč

ČSN 12050 – 20,- Kč

ČSN 14220 – 20,- Kč

ČSN 15241 – 32,- Kč

ČSN 16341 – 34,- Kč

ČSN 19573 – 107,- Kč

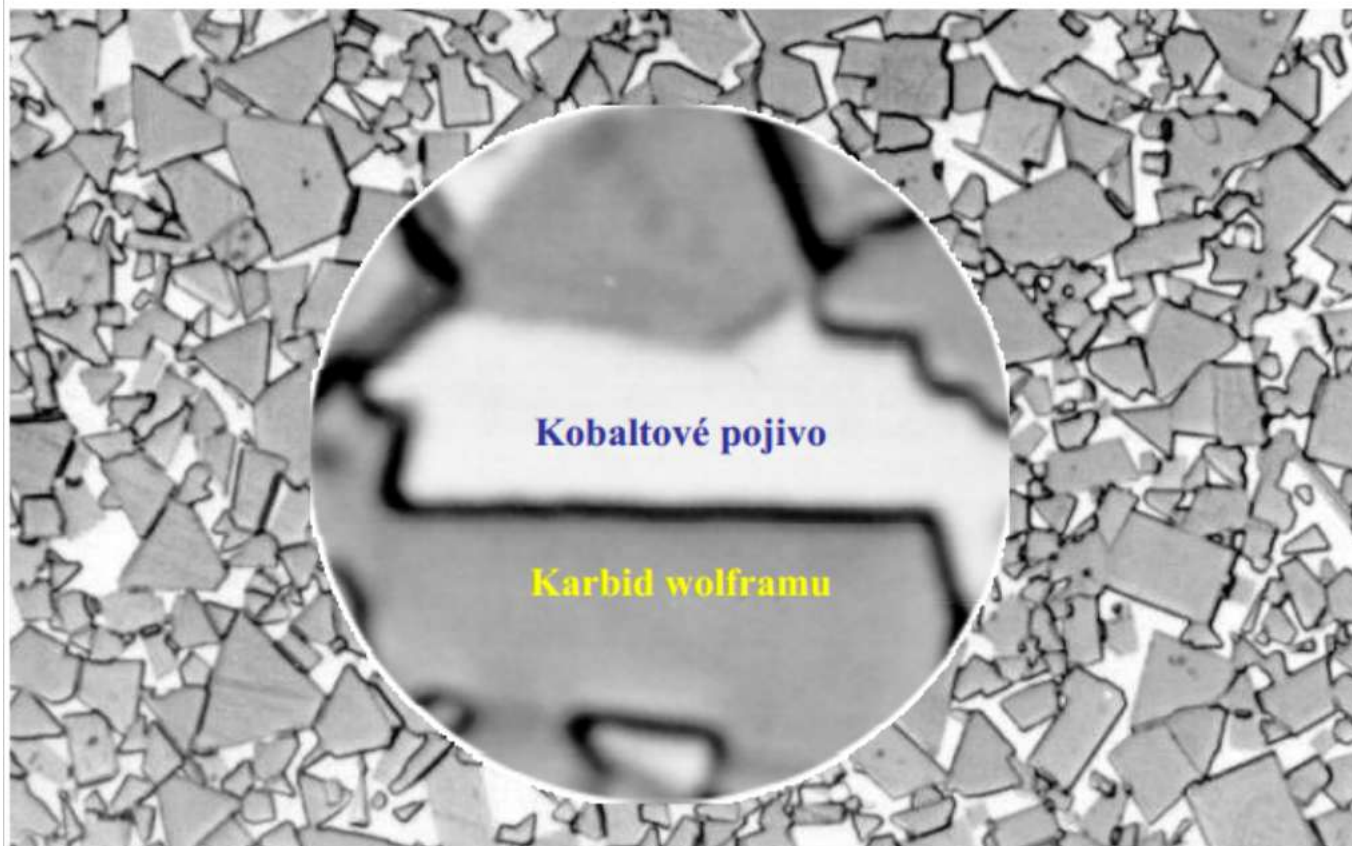
ČSN 19830 – 270,- Kč

ČSN 19857 – 350,- Kč

ČSN 19861 – 370,- Kč

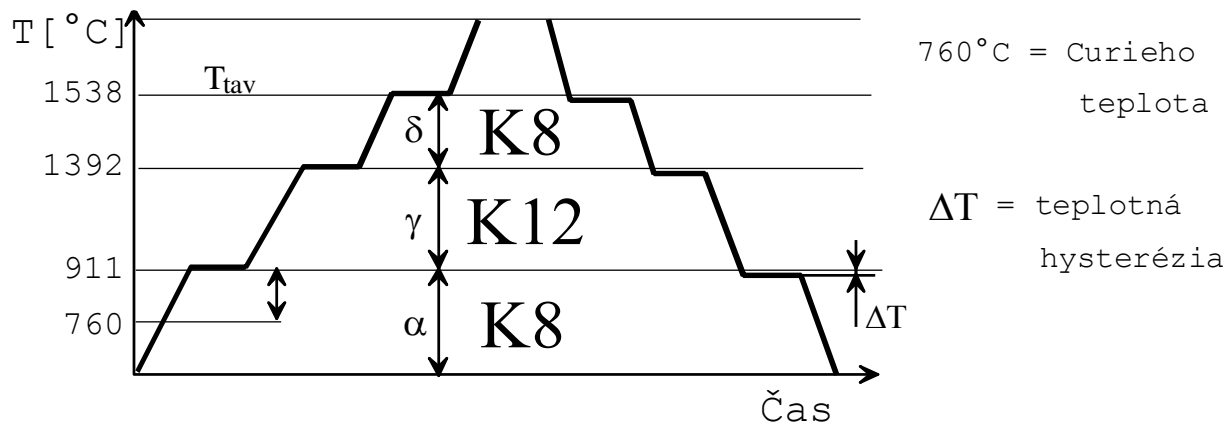
ČSN 19 861 – 800,- Kč (práškovou metalurgií vyrobená ocel Vanadis)

Princip slinutého karbidu – karbid wolframu a pojivo – WC+Co



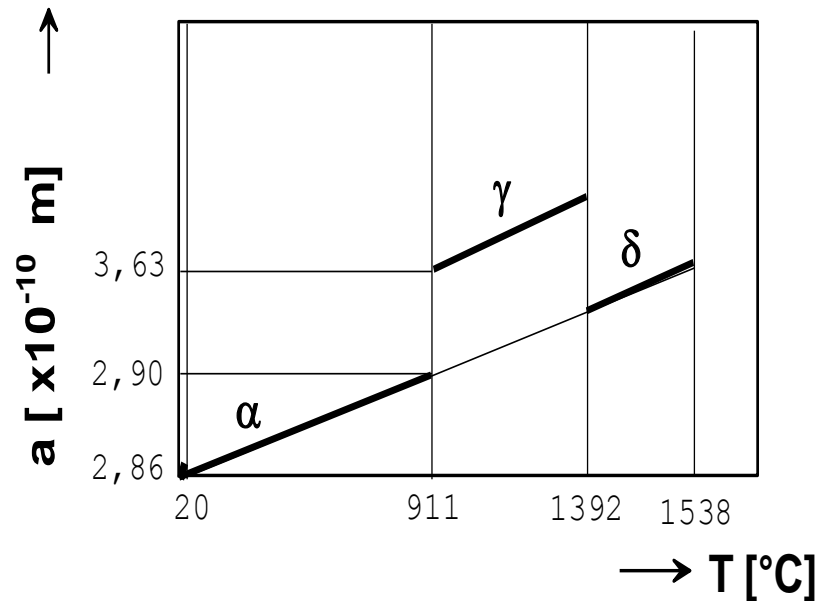
Prednáška 2.

Vplyv prvkov na vlastnosti zliatin železa.



Čisté Fe je polymorfný kov, ktorý kryštalizuje v kubickej sústave a v závislosti od teploty má 2 alotropické modifikácie.

<http://www.youtube.com/watch?v=SIFcXfoF5i0>



Teplotná závislosť mriežkového parametra

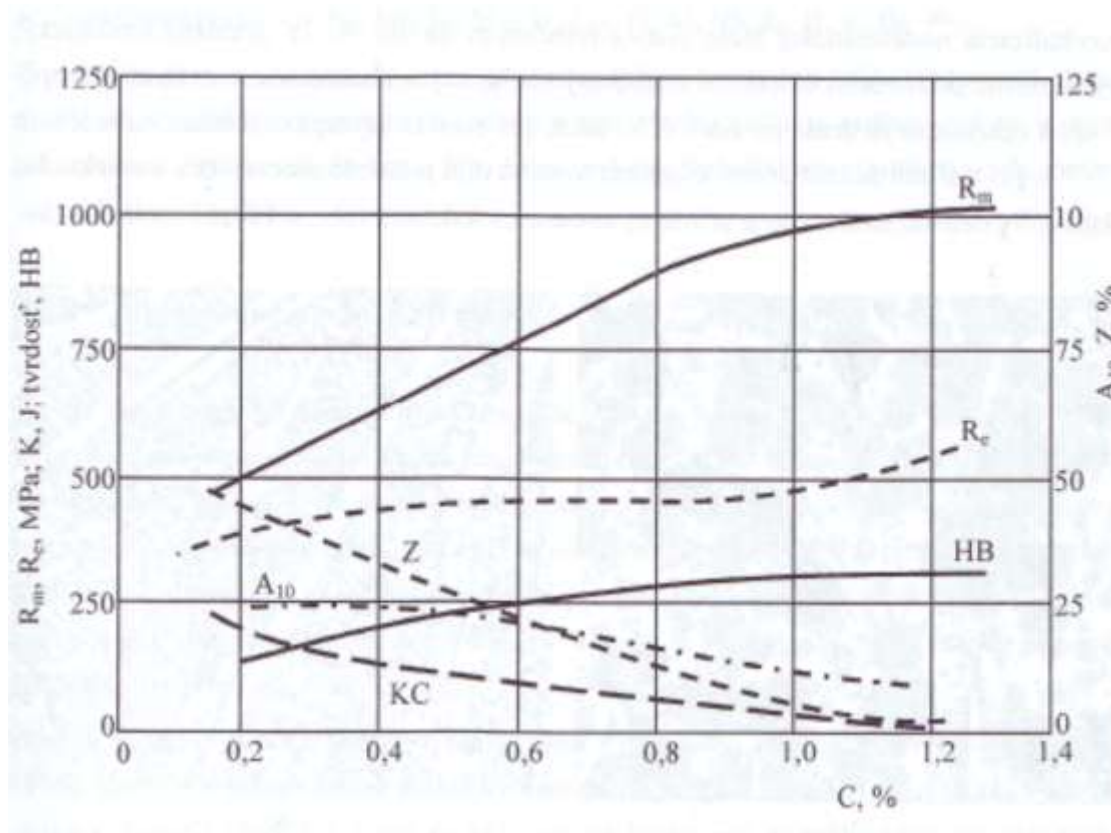
Vo všetkých technických zliatinách Fe je prítomný C, ktorý podstatne ovplyvňuje ich štruktúru a vlastnosti.

Ocele s nízkym obsahom uhlíka: $< 0,25\%$

Ocele so stredným obsahom uhlíka: $0,25-0,55\%$

Ocele s vysokým obsahom uhlíka: $> 0,55\%$

Nástrojové ocele: $>0,8\%$



Závislosť mechanických vlastností uhlíkových ocelí od obsahu uhlíka

V zliatinách železa sa môže **uhlík** nachádzať:

- a) v **intersticiálnom tuhom roztoku** - rozpustnosť v $Fe\gamma$ je väčšia ako v $Fe\alpha$
- b) ako **intermediárna fáza** - karbid železa Fe_3C (cementit) - metastabilná sústava
- c) ako **grafit** - stabilná sústava

Uhlík **nad hranicami rozpustnosti** existuje v dvoch formách (cementit alebo grafit), ktoré majú značne odlišné vlastnosti.

Rozoznávame dve sústavy **železo s uhlíkom**:

- sústavu **stabilnú** (železo-**grafit**)
- sústavu **metastabilná** (železo-**cementit**)

Podmienky vzniku stabilnej či metastabilnej rovnováhy závisia od:

- 1. od obsahu uhlíka:** zvyšovanie obsahu C podporuje vylučovanie grafitu, tento vplyv sa však prejaví až pri vysokých obsahoch C (približne nad 2%), pri **nízkych obsahoch C** nastane **vždy metastabilná** rovnováha a pri vysokých obsahoch C prichádzajú do úvahy obidve typy
- 2. od rýchlosti ochladzovania:** pri vysokých obsahoch C vznikne stabilná rovnováha po pomalom ochladzovaní a naopak, **rýchle ochladzovanie podporuje vylučovanie cementitu**
- 3. od obsahu ďalších prvkov:** zvyšujúci sa obsah tzv. grafitotvorných prvkov (predovšetkým Si, P a niektorých ďalších prvkov) podporuje vylučovanie grafitu, niektoré ďalšie sprievodné prvky (Mn, S a i.) tvorbu cementitu.

Ocele patria medzi zliatiny Fe s C a vždy pri nich **vzniká metastabilná rovnováha.**

UHLÍK:

so zvyšujúcim obsahom C v oceliach stúpa množstvo cementitu.

V podeutektoidných oceliach (do 0,76%C) **pribúda len perlitický cementit**, lebo ferit sa postupne nahrádza perlitom.

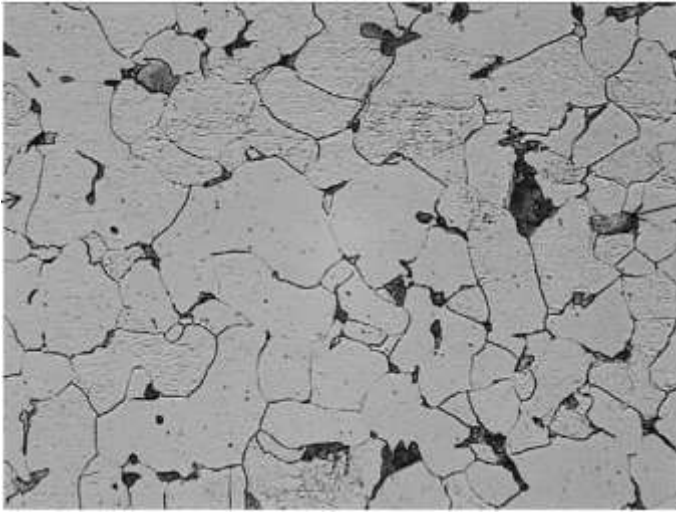
V nadeutektoidných oceliach so stúpajúcou koncentráciou uhlíka **pribúda sekundárny cementit**.

S obsahom uhlíka sa menia aj technologické vlastnosti ocelí.

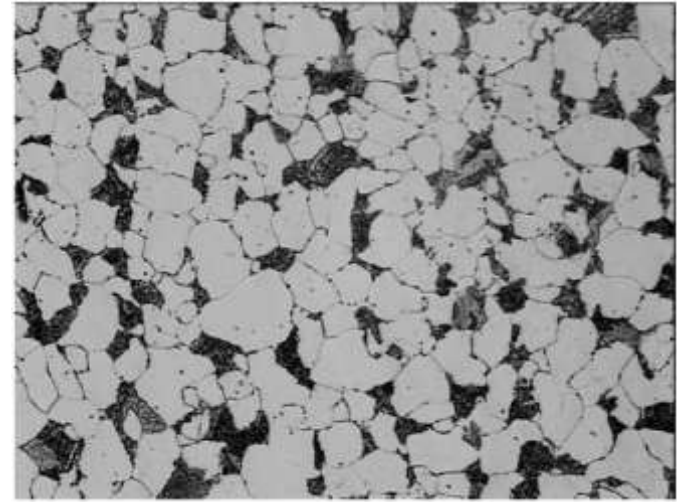
Mäkké nízkouhlíkové ocele sú dobre **tvárne za studena**.

Najlepšie **zvariteľné** sú nízkouhlíkové ocele do 0,22%C.

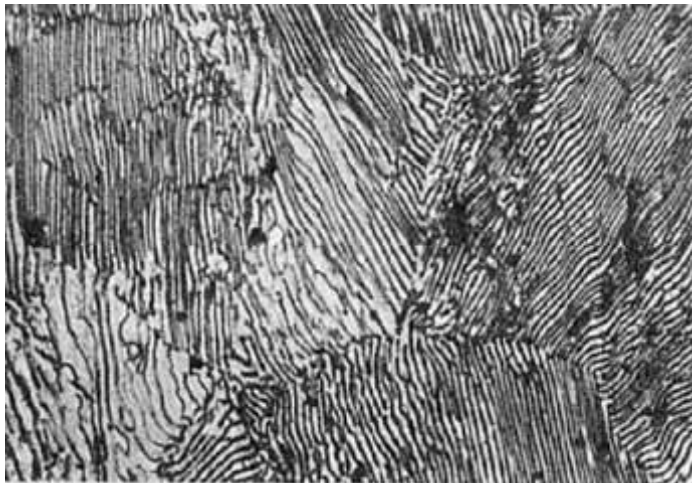
Kaliteľné sú také ocele ktoré majú obsah uhlíka väčší ako 0,3%.



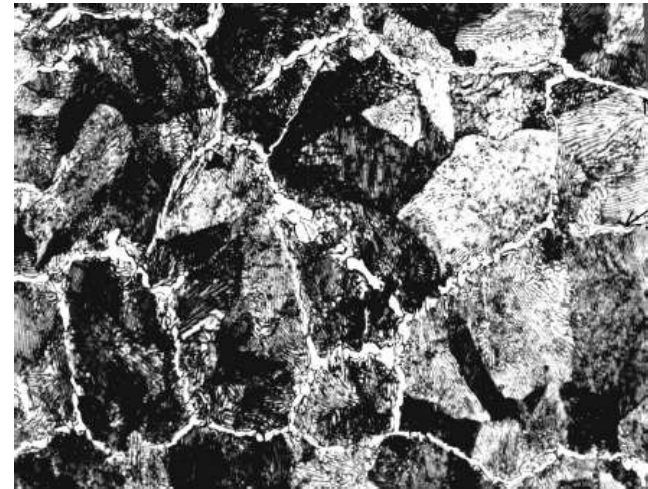
Oceľ s 0,06%C



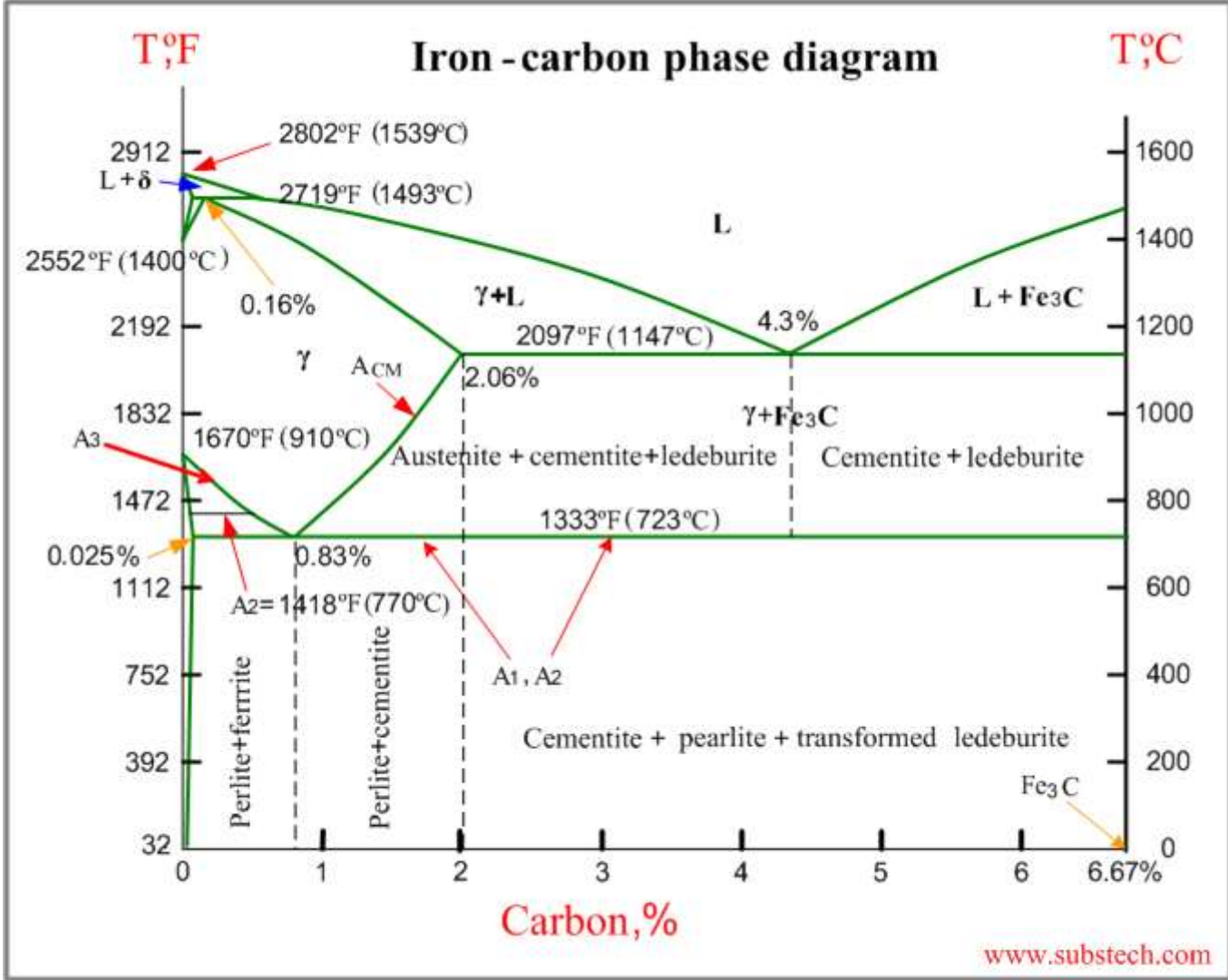
Oceľ s 0,2%C



Perlitická oceľ, lamelárny perlit



Oceľ s 1,2% C
Perlit + sekundárny cementit



Najčastejšie prvky vyskytujúce sa v oceliach

- **Doprovodné:** - škodlivé - S, O, P, N, H
- prospešné - Mn, Si, Al, (Cu)
- **Prísadové:** Cr, Ni, Mn, Si, Mo, W, V, Co, Ti, Al, Cu, Nb, Ta, Zr, B, Pb, N, Be tzv. legúry

Aby bol prvok považovaný za prírodný, musí byť prítomný v určitej minimálnej koncentrácii.

mangánu	0,9 %	molybdénu	0,1 %
kremíku	0,5 %	vanádu	0,1 %
chrómu	0,3 %	wolfrámu	0,1 %
niklu	0,2 %	titanu	0,1 %
kobaltu	0,2 %	hliníku	0,1 %

Prečo legujeme?

- **Cieľom je zlepšiť mechanické, fyzikálne alebo chemické vlastnosti.**
 - prekaliteľnosť, vyššiu pevnosť pri dobrej húževnatosti,
 - žiarupevnosť, žiaruvzdornosť, korozivzdornosť, - vysokú tvrdosť, odolnosť proti opotrebeniu,
 - húževnatosť za veľmi nízkych teplôt atď...

Vplyv jednotlivých legujúcich prvkov na vlastnosti ocelí

Legúry zoradené podľa početnosti výskytu

Cr, Ni, Mn, Si, Mo, W, V, Co, Ti, Al, Cu, Nb, Ta, Zr, B, Pb, N, Be

Kaliteľnosť

schopnosť ocele **dosiahnuť kalením zvýšenú tvrdosť**. Dosiahnutá tvrdosť závisí od obsahu C.

- pri nízkom obsahu C nemožno dosiahnuť vysokú tvrdosť
- ocele s obsahom C do 0,2% sú **nekaliteľné**
- ocele s obsahom C vyšším ako 0,35% sú **dobře kaliteľné**
- **legované ocele sú kaliteľné aj pri nižšom obsahu C**
- nadeutektoidné ocele - tvrdosť s rastúcim obsahom C nestúpa, zvyšuje sa iba reznosť
- karbidotvorné prvky môžu tvrdosť aj mierne zvýšiť

Prekaliteľnosť

schopnosť ocele **dosiahnuť pri kalení určitú tvrdosť do určitej hĺbky** pod ochladzovaný povrch

- na praktické hodnotenie prekaliteľnosti je hĺbka
- závisí od obsahu zliatinových prvkov
- legované ocele sa volia tam, kde treba prekaliť väčšie prierezy, ako dovoľuje uhlíková oceľ
- na prekaliteľnosť vplýva: veľkosť austenitického zrna (jemnejšie zrno = väčšia kritická rýchlosť ochladzovania)

Síra

Dostáva sa do ocele jednak z rúd, jednak z paliva.

Síra sa rozpúšťa **v tekutom Fe** v akejkoľvek koncentrácii.

Avšak rozpustnosť síry v **tuhom Fe je obmedzená**

na **0,002% v α -Fe pri izbovej teplote** a

0,013% v γ -Fe pri 1000°C.

Keď tekutá oceľ sa ochladzuje a tuhne, rozpustnosť síry klesá a vylučuje sa z roztoku ako **eutektikum Fe-FeS**.

Eutektická teplota je relatívne nízka, približne 988°C.

Eutektikum **segreguje na hraniciach austenitických zrn ako tenká obálka**, oslabuje väzbu medzi zrnami a pri ohreve na teploty tvárnenia za tepla – **spôsobuje krehkosť pri tvárnení za tepla** a vznik medzikryštalických trhlín.

Krehkosť ocele pri operáciách tvárnenia za tepla v dôsledku prítomnosti nízkotavitelných FeS segregovaných na hraniciach sa nazýva

„krehkosť za červeného žiaru“.

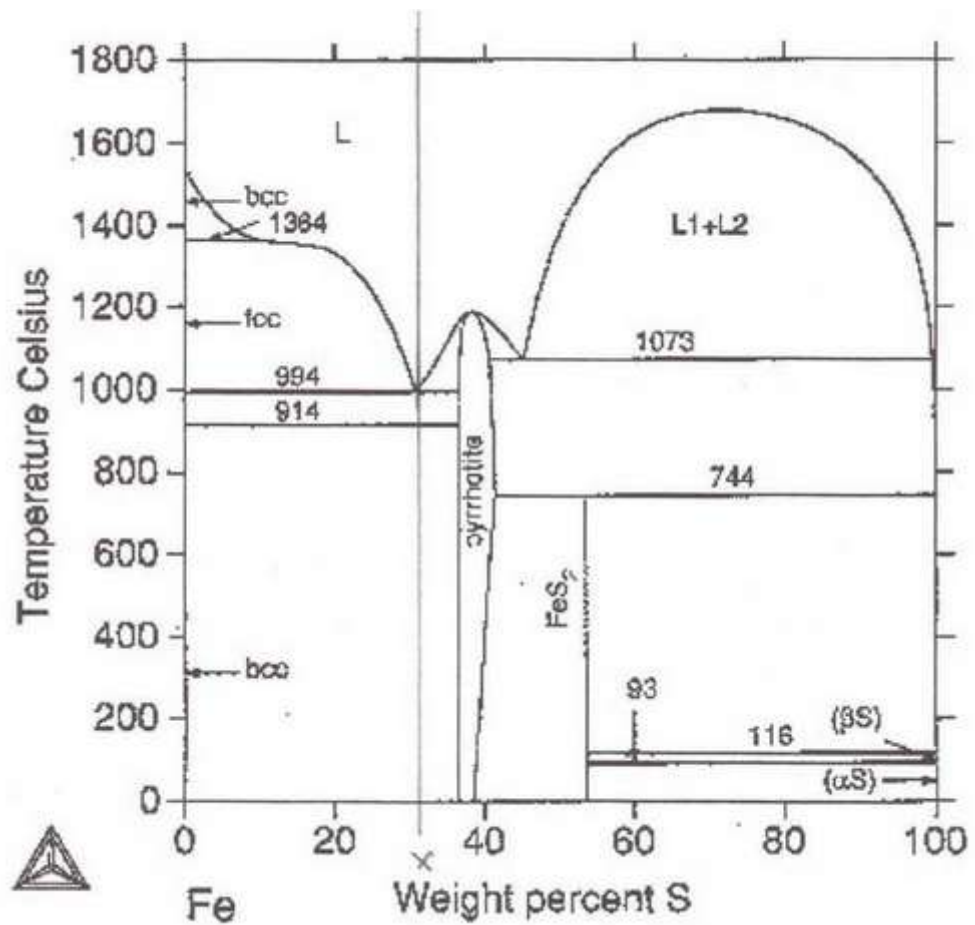
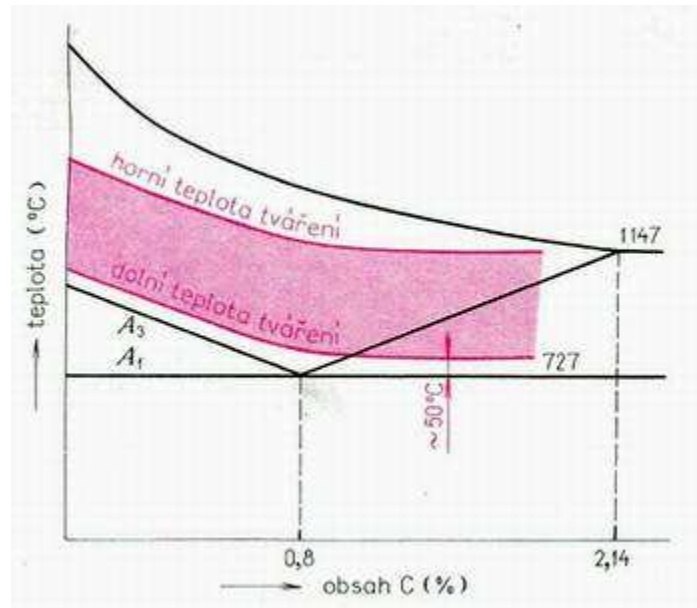


Figure 1—Phase Diagram, Fe-S Binary System



Tvárnenie za studena: pri teplote **pod T rekryštalizácie**
(prakticky menšia ako $0,1 T$ tavenia kovu)

Tvárenie za tepla: pri teplote **nad $70\% T$ tavenia kovu**

S cieľom zabrániť tvorbu nízko-taviteľného FeS, pridáva sa do ocele Mn v obsahu min 0,2%. Mn má väčšiu afinitu k síre ako železo, preto sa síra prednostne viaže na MnS a čiastočne prechádza do trosky. Nepriaznivý vplyv S sa zníži.



Síra zhoršuje zvariteľnosť ocelí a korozivzdornosť.

Priaznivo pôsobí na obrobiteľnosť.

Ocele so zlepšenou obrobiteľnosťou obsahujú až **niekoľko desiatín % síry**.

Obsah síry **v bežne vyrábaných oceliach** je obvykle **nižší ako 0,020%**.

Odstránenie síry v kyslíkovom konvertore **nie je efektívne** z dôvodu, že sa v kyslíkovom agregáte v priebehu skujňovania surového železa nachádza oxidačná atmosféra.

Približne 10 % – 20 % síry v kove zreaguje priamo s kyslíkom za tvorby plynného **SO₂**.

Zvyšok síry je v KK odstránený cez rozhranie kov-troska.

Z tohto dôvodu je nevyhnutné **odstrániť síru ešte pred skujňovaním**, teda odsíriť surové železo, alebo **odsíriť už vyrobenú oceľ (ale len upokojenú)**.

Kyslík

Do ocele sa dostáva pri skujňovaní, pri ktorom určitý obsah kyslíka v tavenine je predpokladom správneho priebehu procesu.

Vplyv kyslíka v hotovej oceli je jednoznačne škodlivý, pretože značne zhoršuje húževnatosť.

Preto **pri odlievaní sa oceľ vždy dezoxiduje** na zníženie obsahu kyslíka na minimum.

V konvertorovej oceliarni sa dezoxidácia robí pridávaním Al blokov do prúdu ocele prakticky počas celého odpichu (odpich tavby do liacej panvy).

Množstvo kyslíka pred dezoxidáciou 700-1200 ppm
po dezoxidácii ocele 5 až 20 ppm
v hlbokodezoxidovanej oceli pod 5 ppm

Dezoxidácia v panvovej peci:

(**odpich** - predbežná dezoxidácia FeAl)

nastrelenie Al drôtu

Podľa obsahu kyslíka v oceli pri odlievaní: **upokojené** a **neupokojené**.

V neupokojených oceliach je dostatok kyslíka pre reakciu s uhlíkom.

Výsledkom reakcie sú bubliny CO v ingotoch.

V upokojených oceliach je koncentrácia kyslíka nižšia než je potrebná pre vznik bublín CO.

Fosfor

Fosfor sa do ocele dostáva z použitých surovín.

Jeho vplyv závisí od obsahu uhlíka.

Vplyv na krehkosť je významný už od 0,05% P.

Ocele s obsahom P 0,12% sú krehké pri izbovej teplote.

Vo väčšine ocelí je obsah fosforu menší ako 0,030%.

Poznámka:

Obsah P v LF nevieme znižovať.

Dusík

Dusík sa do ocele dostáva pri výrobe. Jeho množstvo závisí od výrobného postupu a zloženia ocele.

Rozpúšťa sa v tavenine ocele a aj v jednotlivých modifikáciách železa v tuhom stave, s ktorým tvorí **intersticiálne tuhé roztoky**.

(najväčšia rozpustnosť v nelegovaných oceliach pri 1600°C je 0,04%)

Rozpustnosť dusíka v $Fe\alpha$ sa so znižujúcou teplotou rýchle znižuje.

Nadbytočný **dusík sa pri dostatočne pomalom ochladzovaní vylučuje ako Fe_4N** .

Pri rýchlejšom ochladzovaní vzniká presýtený nestabilný tuhý roztok. Pri väčšom presýtení dusíkom sa tento presýtený tuhý roztok rozpadá a vylučujú sa jemne disperzné nitridy.

Nitridy sa vylučujú prednostne po hraniciach zŕn a v sklzových rovinách. V dôsledku uvedeného dochádza k značnému **poklesu deformačných vlastností**, poklesu rázovej húževnatosti, k zvýšeniu náchylnosti ku krehkému porušeniu, ale na druhej strane k **zvýšeniu pevnostných vlastností**.

Tab.4.4.1. Rozpustnost dusíku v čistém Fe v závislosti na teplotě a modifikaci Fe

Modifikace železa	Teplota [°C]	Teplota [K]	log [%N]	Rozpustnost N [%]	Rozpustnost N [ppm]
tavenina	1650	1923	-1,349	0,045	448
	1600	1873	-1,354	0,044	442
	1539	1812	-1,361	0,044	436
železo δ	1539	1812	-1,914	0,012	122
	1500	1773	-1,930	0,012	117
	1450	1723	-1,952	0,011	112
	1400	1673	-1,975	0,011	106
železo γ	1400	1673	-1,681	0,021	208
	1200	1473	-1,647	0,023	225
	1000	1273	-1,602	0,025	250
	910	1183	-1,577	0,026	265
železo α	910	1183	-2,344	0,005	45
	800	973	-2,481	0,003	33
	700	773	-2,633	0,002	23
	600	873	-2,819	0,002	15

Vodík

Dostáva sa do ocele z pecnej atmosféry a vlhkosti vsádzky.
Pri tuhnutí výrazne klesá rozpustnosť vodíka, ktorý uniká formou bublín.
(najväčšia rozpustnosť vodíka v kvapalnom Fe pri 1600°C je 0,0024%)

Pri ďalšom chladnutí pri spolupôsobení napätí pri zmrašťovaní sa tvoria trhlinky, v ktorých sa zhromažďuje molekulárny vodík, neschopný difúzie. Rastúci tlak vodíka trhlinky ďalej rozširuje.

V štruktúre potom pozorujeme **charakteristické trhliny**, ktoré nazývame **vločky**.

Vplyv vodíka možno znížiť dvoma spôsobmi a to **liatim a tavením vo vákuu** alebo **proti-vločkovým žíhaním**.

Obidva procesy sú ekonomicky náročné a ich optimálna voľba závisí od sériovosti výroby.

Tab.4.4. 1. Rozpusťnost vodíku v čistém Fe v závislosti na teplotě a modifikaci Fe

Modifikace železa	Teplota [°C]	Teplota [K]	log [%H]	Rozpusťnost H [%]	Rozpusťnost H [ppm]
tavenina	1650	1923	-2,584	0,00261	26,08
	1600	1873	-2,608	0,00247	24,67
	1539	1812	-2,639	0,00230	22,95
železo δ	1539	1812	-3,115	0,00077	7,68
	1500	1773	-3,132	0,00074	7,37
	1450	1723	-3,156	0,00070	6,98
	1400	1673	-3,181	0,00066	6,59
železo γ	1400	1673	-3,019	0,00096	9,57
	1200	1473	-3,134	0,00073	7,34
	1000	1273	-3,286	0,00052	5,18
	910	1183	-3,371	0,00043	4,26
železo α	910	1183	-3,541	0,00029	2,88
	700	973	-3,806	0,00016	1,56
	500	773	-4,192	0,00006	0,64

Prospešné sprievodné prvky majú kompenzovať vplyv nečistôt:

Mangán je základnou dezoxidačnou a odsírovacou prísadou.

Jeho obsah sa v uhlíkových oceliach pohybuje od 0,025 do 0,9%.

Mn viaže prednostne síru na sulfid mangánnatý (MnS) a prechádza do trosky.

Aj keď MnS ostane v oceli, jeho nepriaznivý vplyv je podstatne menší ako FeS. Mn má väčšiu afinitu ku kyslíku ako Fe a vzniká MnO.

Samotný Mn sa rozpúšťa v tuhom roztoku α a mierne zvyšuje jeho pevnosť a húževnatosť.

Kremík sa používa ako dezoxidačná prísada,

oxidy alebo kremičitany z väčšej časti prechádzajú do trosky.

Kremík sa rozpúšťa v Fe α aj Fe γ .

Zvyšuje pevnosť tuhého roztoku α , ale zhoršuje tvárnosť za studena a má nepriaznivý vplyv na zvariteľnosť.

Hliník je **veľmi účinná** dezoxidačná prísada.

Kyslík, ktorý ostane v oceli je viazaný na Al₂O₃.

Al tvorí pomerne stály AlN rozpustný až nad 1000°C, viaže N a zabraňuje starnutiu.

Oxidy a nitridy Al ak sú v zliatine jemne rozptýlené - zjemňujú zrno.

Med'

sa dostáva do zliatin Fe z niekoľkých rúd alebo **pretavovaním odpadu**.

Nepatrne zvyšuje pevnosť a odolnosť proti poveternostným vplyvom.
Vyššie hodnoty Cu spôsobujú praskanie oceli pri spracovaní nad 1000°C.

LEGUJÚCE PRVKY

od niekoľkých stotín do desiatok percenta.

-vzájomne pôsobia so železom, uhlíkom a výrazne **vplývajú na teploty premien** a **body určujúce charakteristické koncentrácie uhlíka**.

Vzťah prísadových prvkov k železu je určený predovšetkým ***pomerom priemeru atómu železa a prísady***.

Substitučné tuhé roztoky s Fe tvoria prvky: Ni, Co, Mn, Cr, W, Mo, Ti, Al, Nb, Zr, V, Be.

Intersticiálne tuhé roztoky so železom tvoria prvky B, N, O, H, C a ich rozpustnosť v Fe je malá.

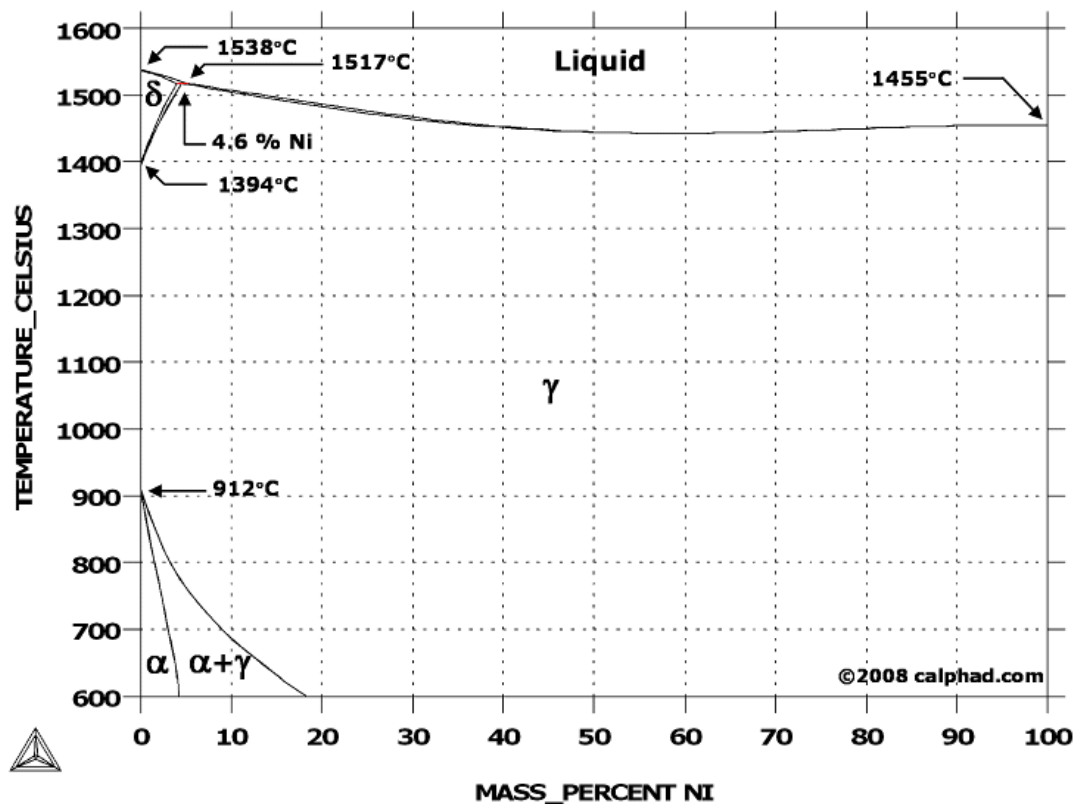
Vzťah prísadových prvkov k uhlíku.

Podľa chovania sa prísadových prvkov k uhlíku rozoznávame prvky:

Karbidotvorné, ktoré tvoria s uhlíkom karbidy. Sú to: **Cr, W, V, Ti, Zr, Mn, Mo, Nb, Ta**.

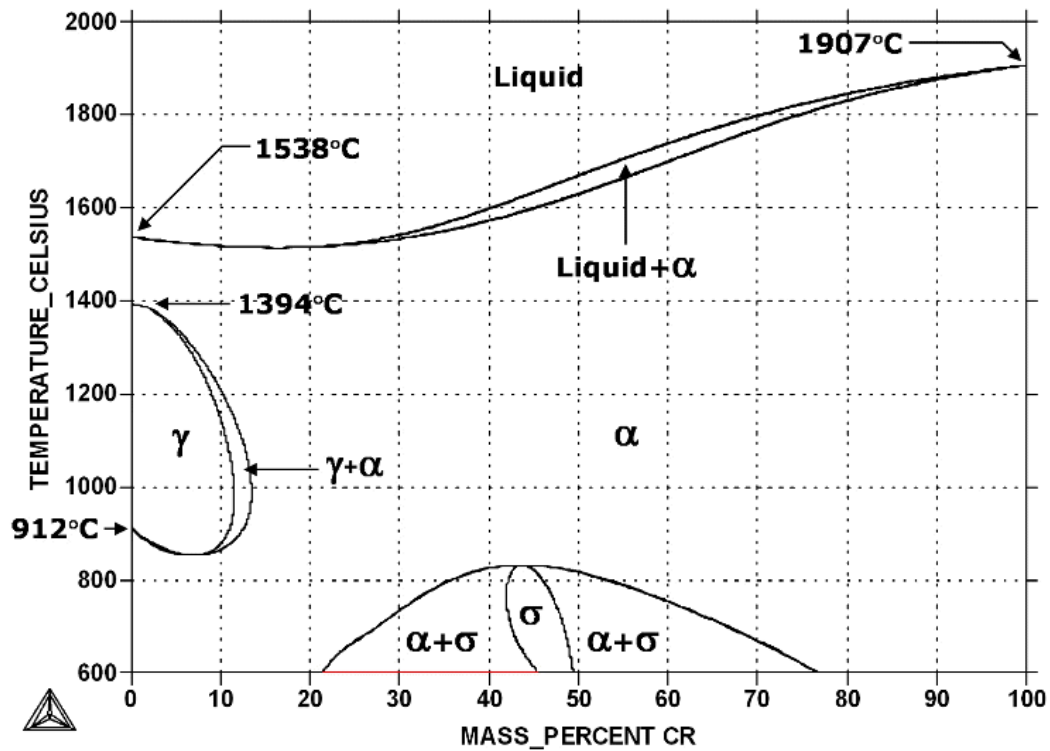
Nekarbidotvorné prvky, netvoria karbidy s uhlíkom. Sú to: **Ni, Si, Co**.

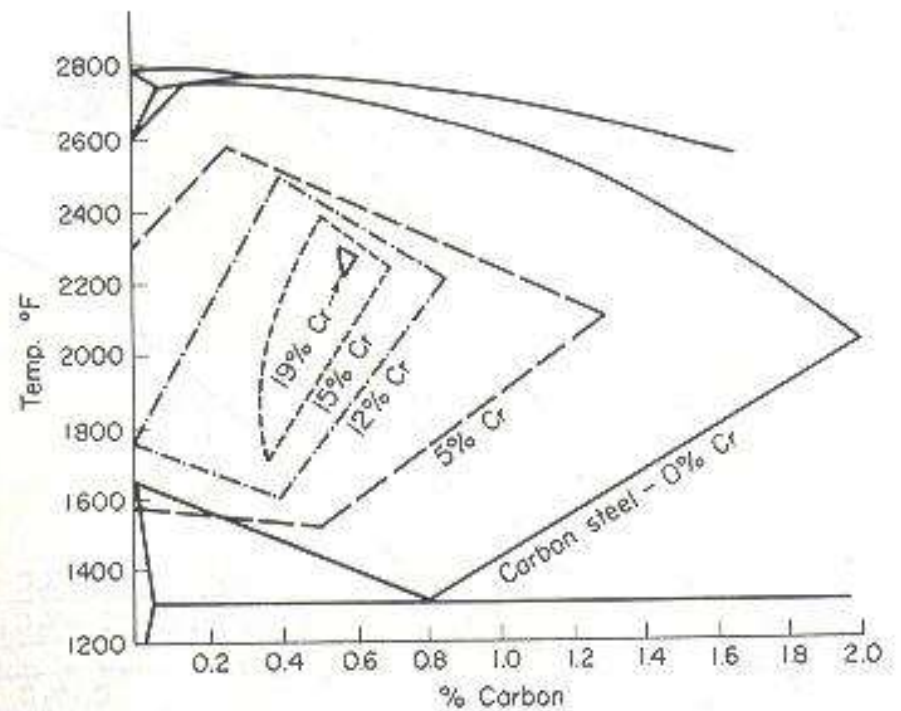
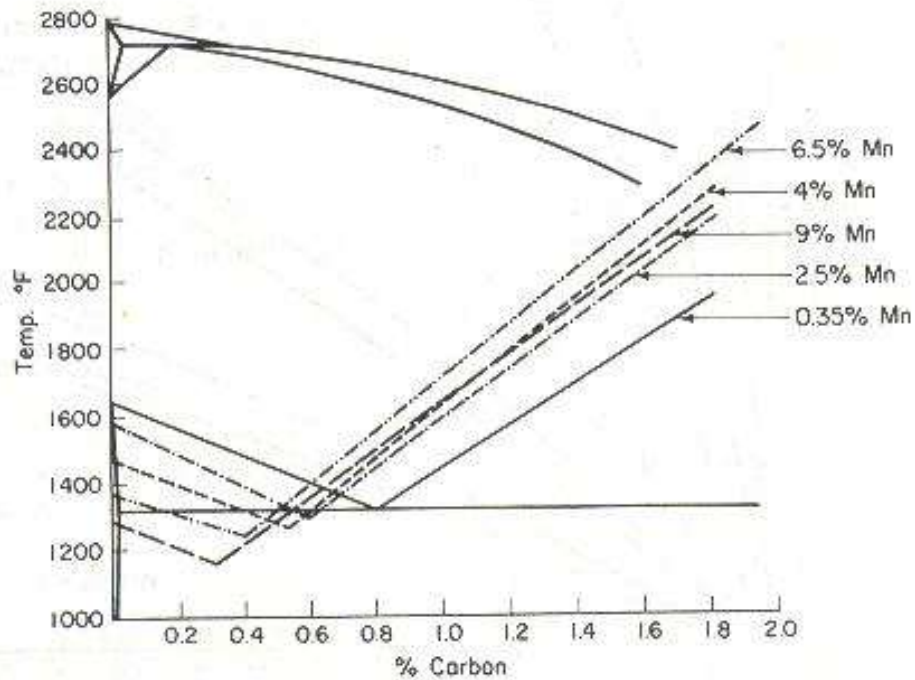
Niektoré prvky rozširujú oblasť fáze γ a ozančujeme ich ako **austenitotvorné** (Ni, Mn, Co, Cu, C, N). Typickým predstaviteľom je **Ni**.



Iné prvky rozširujú oblasť fáze α a označujeme ich ako **feritotvorné**.

Cr, Mo, W, Si, Ti, Al, Be, Nb





Všetky prísadové prvky znižujú eutektoidnú koncentráciu a maximálnu rozpustnosť uhlíka v tuhom roztoku γ

Hlavné ciele voľby prísadových prvkov.

1. znížiť kritickú rýchlosť rozpadu austenitu za účelom **zvýšenia prekaliteľnosti** (Cr, Ni, Mn, Mo, V, Si).
1. **zvýšiť tvrdosť a stálosť častíc**. Používajú sa prvky, ktoré vytvárajú stále karbidy (W, Cr, V, Mo)
2. **zvýšiť pevnosť a tvrdosť tuhého roztoku α** (Si, Mn, Ni, V, W, Cr)
3. **zmenšiť sklon k rastu zrna počas** spracovania za vysokých teplôt (Al, V, Ti, Nb)
4. **zmeniť mechanické a fyzikálne vlastnosti** (zvýšiť pevnosť pri zachovaní húževnatosti (Ni), zvýšiť odolnosť proti opotrebeniu (Mn), upraviť elektrické a magnetické vlastnosti (Al, Cr, Co, Si) a pod.
5. **zvýšiť žiarupevnosť** (Cr, Mo, V), zvýšiť **žiaruvzdornosť** (Cr, Si, Al).
7. **zvýšiť odolnosť proti korózii** v agresívnych prostrediach (Cr, Ni, Mo, Cu, Si) a potlačiť vylučovanie karbidov v antikoročných oceliach (Ti, Nb).
8. **potlačiť sklon k popúšťacej krehkosti** (Mo).

Element	Influence on Ferrite	Influence on Hardenability	Tendency to form hard Carbides	Major Function
Manganese Mn	Powerful solution strengthener	Moderate increase	Middle	<ol style="list-style-type: none"> 1. Takes care of <i>Sulphur (S)</i>. 2. <i>Cheap</i> increase of hardenability.
Silicon Si	Hardens, but <i>reduces ductility</i>	Moderate increase	-	<ol style="list-style-type: none"> 1. Deoxidation of <i>liquid steel</i>. 2. Improves oxidation resistance. 3. Strengthens low alloy steel. 4. Increases <i>electrical resistivity</i> (important)
Chromium Cr	Strengthens a little Provides corrosion resistance	Moderate increase	Strong	<ol style="list-style-type: none"> 1. Corrosion resistance. 2. Hardenability. 3. <i>Abrasion resistance</i> (needs high C, too). 4. Strength + oxidation resistance at <i>high T</i>.
Titanium Ti	Age hardening possible	Very strong increase	Extremely strong	<ol style="list-style-type: none"> 1. Forms hard carbides. 2. Prevents <i>local depletion</i> of C carbon in steel. Cr-carbide formation
Vanadium V	Moderate solid solution hardening	Very strong increase	Very strong	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Restricts grain coarsening</i> of austenite. 2. Increases hardenability. 3. Delays softening during tempering.
Nickel Ni	Strengthens	Mild improvement stabilizes austenite	-	<ol style="list-style-type: none"> 1. Improves strength and toughness at <i>subzero</i>. 2. Together with Cr provides austenitic steel.
Molybdenum Mo	Age hardening possible	Strong increase	Very strong	<ol style="list-style-type: none"> 1. Increase hardenability. 2. Prevent <i>embrittlement</i> of certain Ni/Cr steels. 3. Keeps strength at higher T. 4. Restricts austenite <i>grain growth</i>. 5. Improves <i>corrosion resistance of stainless steel</i>. 6. Provides carbides with high <i>abrasion resistance</i>.
Cobalt Co	Strengthens in solid solution	<i>Decreases</i> slightly	Like Fe	<ol style="list-style-type: none"> 1. Contributes hardness at <i>moderately high T</i>.

Prednáška 3.

Kryštalizácia kovov a zliatin.

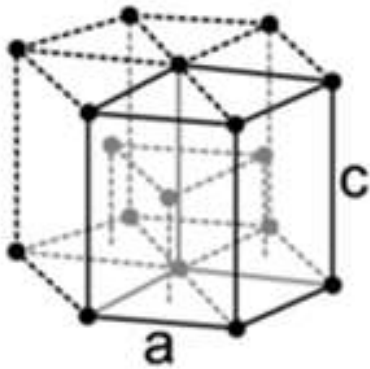
Objemové zmeny pri kryštalizácii, chemická heterogenita pri kryštalizácii zliatin.

Rozdeľovacie koeficienty pri kryštalizácii.

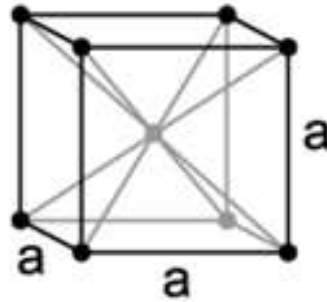
Rovnovážne fázové diagramy dvojzložkových zliatin.

Kovy mají v tuhém stavě kryštalickou štruktúru

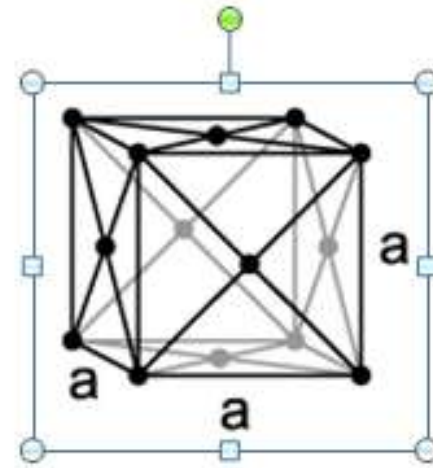
- Kryštál je anizotropné homogénne teleso
- Tuhé teleso bez tejto štruktúry je amorfné, napr. sklo.



Hexagonal elementary cell
(Magnesium)



Body centered cubic
elementary cell
(α -Fe)



Face centered cubic
elementary cell
(γ -Fe)

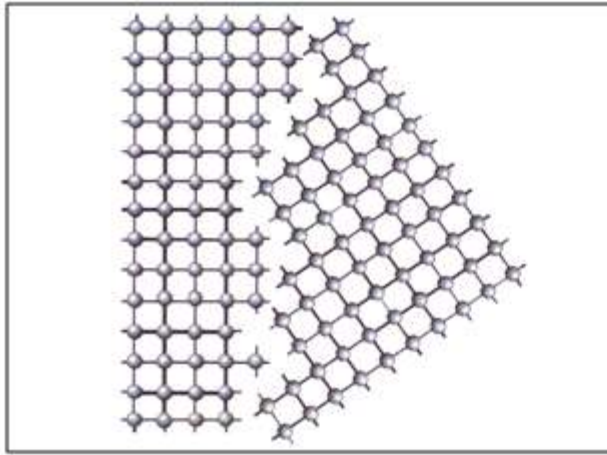
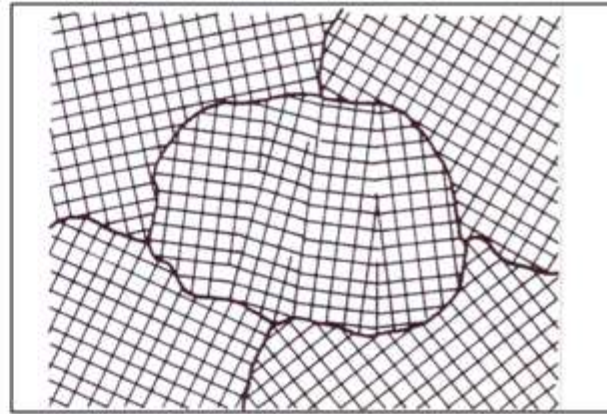
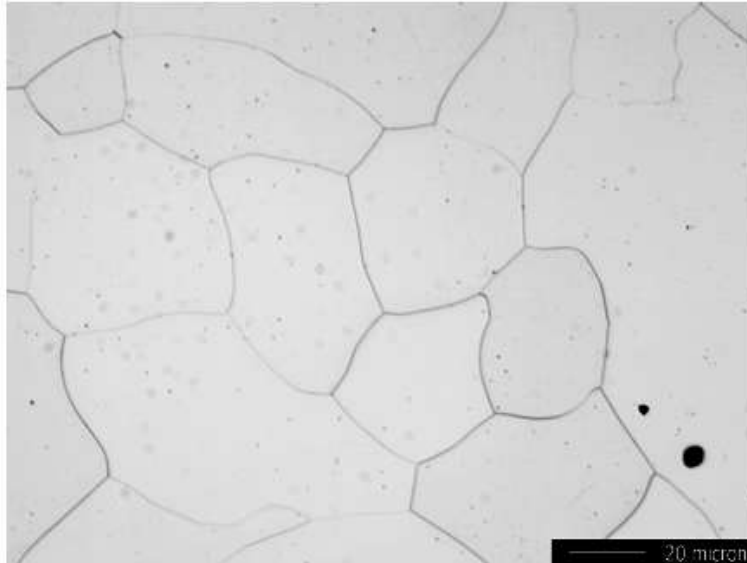


Schéma hranice zrn



Polykryštalická štruktúra



Crystals with an
orientation difference
> 10° \Rightarrow grain boundary

Zliatiny kovov sú viaczložkové sústavy.

Zložka (komponent) je prvok alebo zlúčenina definovateľná chemickým vzorcom.

Zložky vytvárajú za rôznych podmienok **fázy**.

Fáza je časť zliatiny, ktorá má homogénne chemické a fyzikálne vlastnosti a je **od ostatných častí oddelená ostrým rozhraním**.

Fáza môže byť tvorená 1 alebo viacerými komponentmi a naopak 1 komponent sa môže vyskytovať vo forme viacerých fáz.

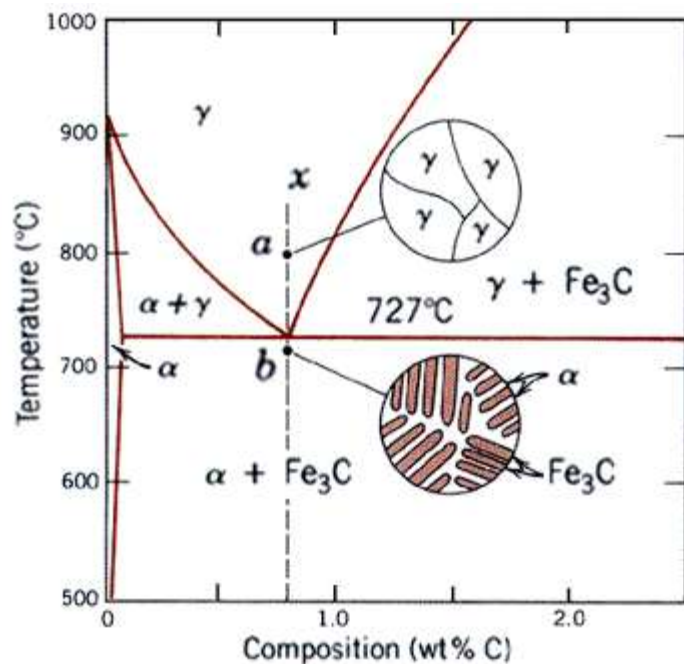
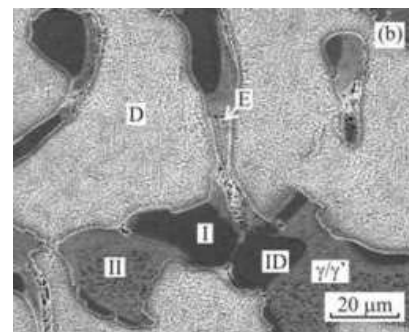
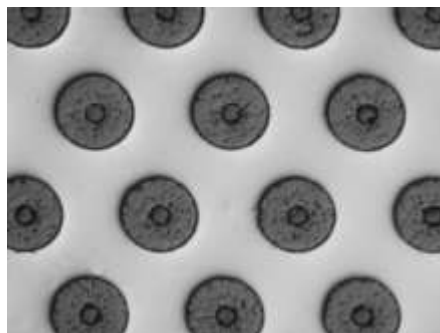
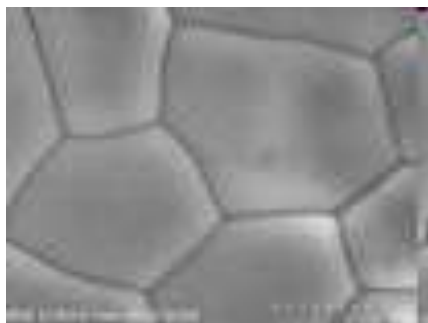
Fázy v tuhom stave sa môžu vyskytovať v niekoľkých formách:

- čistá zložka
- tuhý roztok
- zlúčenina

Z hľadiska štruktúry môžu byť **homogénne (jednofázové)** alebo **heterogénne (viacfázové)**.

Zloženie zliatiny a jej vlastnosti sú určené parametrami

- prítomnými fázami
- chemickým zložením prítomných fáz
- množstvom prítomných fáz (tvar, veľkosť, rozloženie,...)



Perlit (eutektoid) - zmes fáz (feritu a cementitu).

Nie je teda fáza ale fázová zmes.

Priaznivé podmienky pre vznik **substitučného tuhého roztoku**, ak zložky spĺňajú nasledovné podmienky:

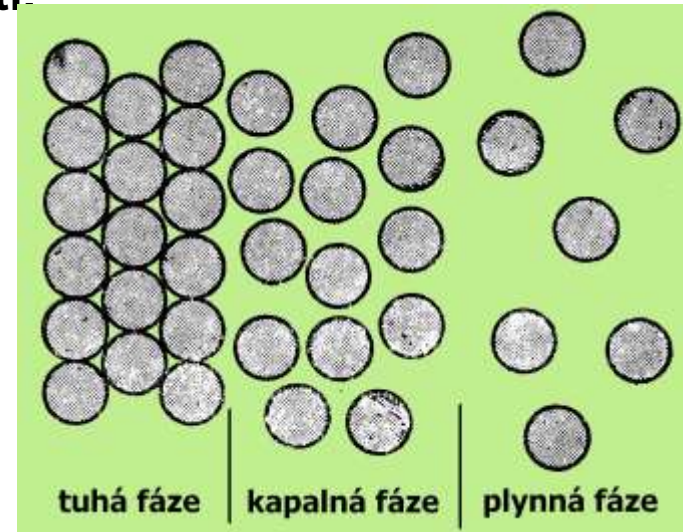
- kryštalizujú v rovnakej kryštálovej mriežke,
- ich atómové polomery sú málo odlišné (max. 15%)
- medzi obidvoma zložkami je určitá chemická afinita, nie však natoľko veľká, aby vznikla intermetalická zlúčenina.

Intermetalické zlúčeniny (intermetalické fázy) – majú vlastný typ kryštalickej stavby (odlišný od zložiek).

Vznikajú pri určitom pomere zložiek, ktorý možno vyjadriť stechiometrickým vzorcom A_mB_n .

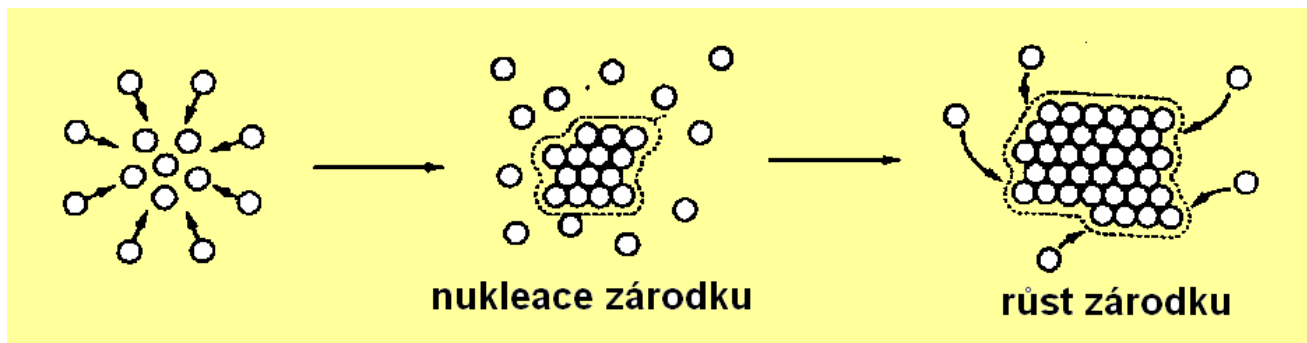
Kryštalizácia je proces prechodu kovov a zliatin z (l) do (s) stavu, má podstatný vplyv na výslednú štruktúru odliateho materiálu, a teda i na jeho vlastnosti.

- (g) stav - neexistuje žiadna symetria
- (l) stav - symetria atómov na krátke vzdialenosti
- (s) stav - **symetria atómov na dlhé vzdialenosti**

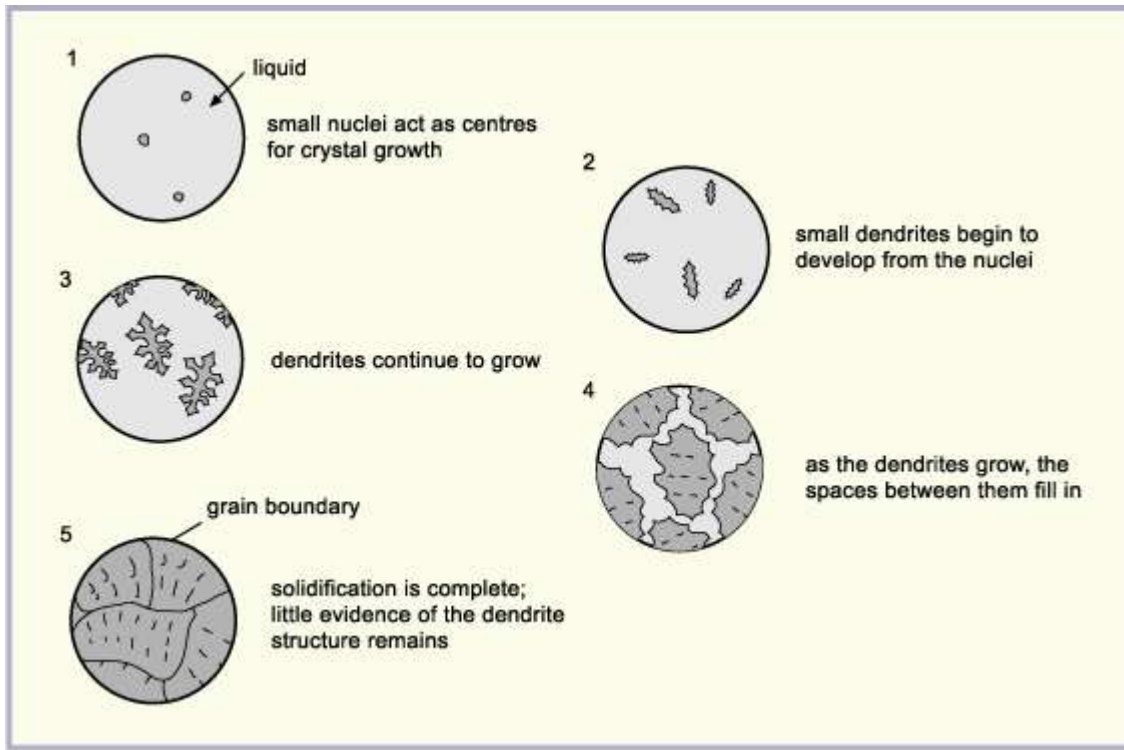
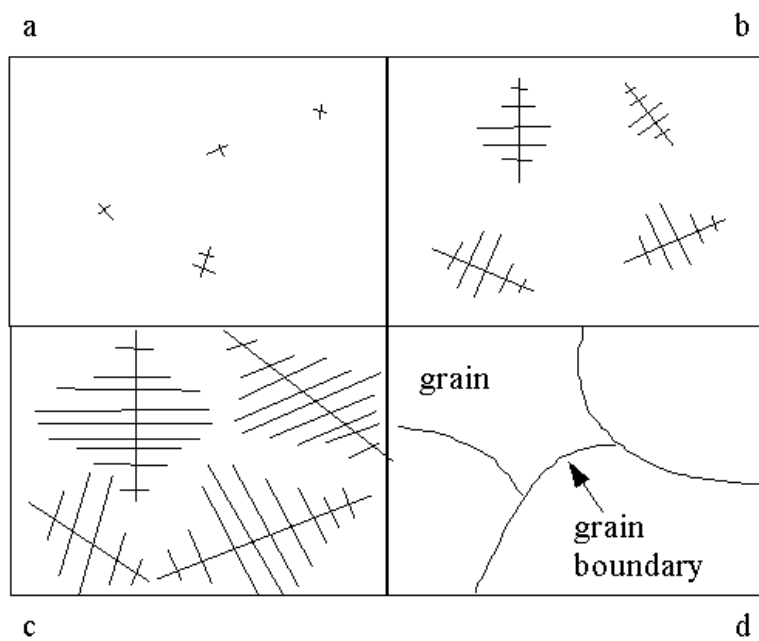


Kryštalizácia:

- 1. nukleácia (tvorba kryštalizačných zárodkov (fluktuácia teploty a energie)**
- 2. rast kryštálov (v určitých smeroch prednostne - vznik dendritov)**



Zárodky tuhej fázy sú tvorené shlukmi atómov, ktoré majú vzájomnú polohu odpovedajúcu ich budúcemu kryštalickému usporiadaniu



Rýchlosť nukleácie zárodkov

Rýchlosť nukleácie

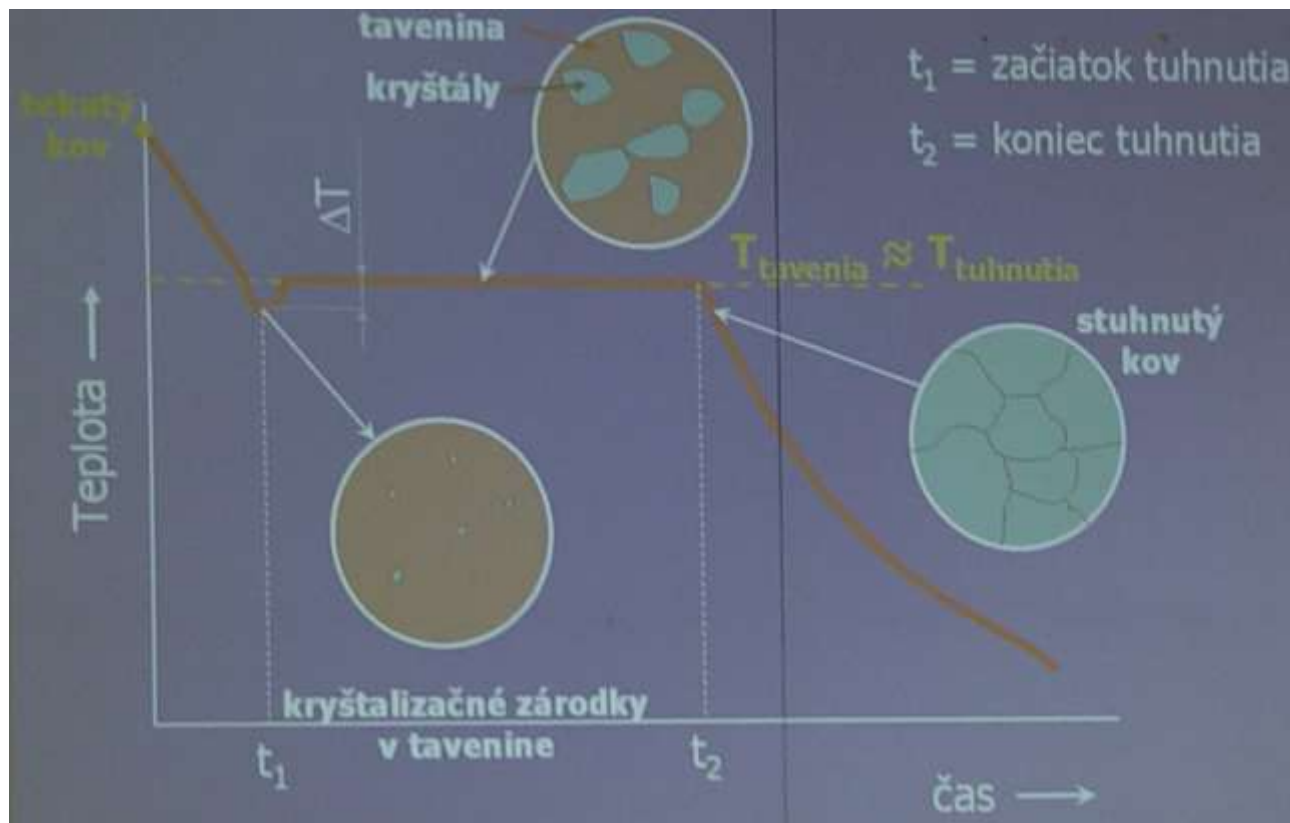
je daná počtom zárodkov, ktoré dosahujú nadkritickú veľkosť za jednotku času v jednotke objemu tuhúceho kovu

- rýchlosť nukleácie bude mať v závislosti od teploty podchladenia **maximum**
- pri prekročení maxima, tj. **pri extrémnom podchladení**, bude existovať vysoká nukleačná schopnosť kvapaliny, avšak minimálna možnosť prísunu atómov k zárodokom.

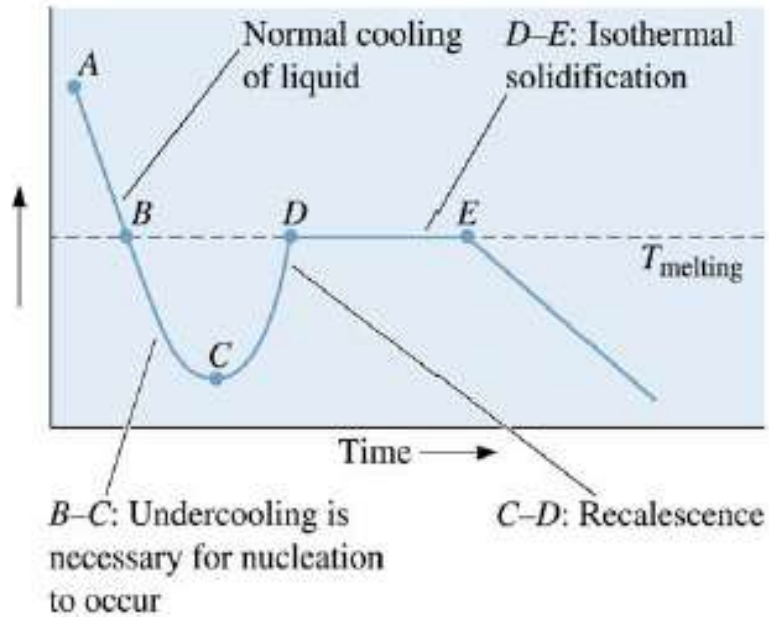
Výsledkom budú **amorfné štruktúry**, tj. podchladené kvapaliny.

Rast zárodkov sa uskutočňuje **difúziou atómov** z taveniny k jeho zárodku.

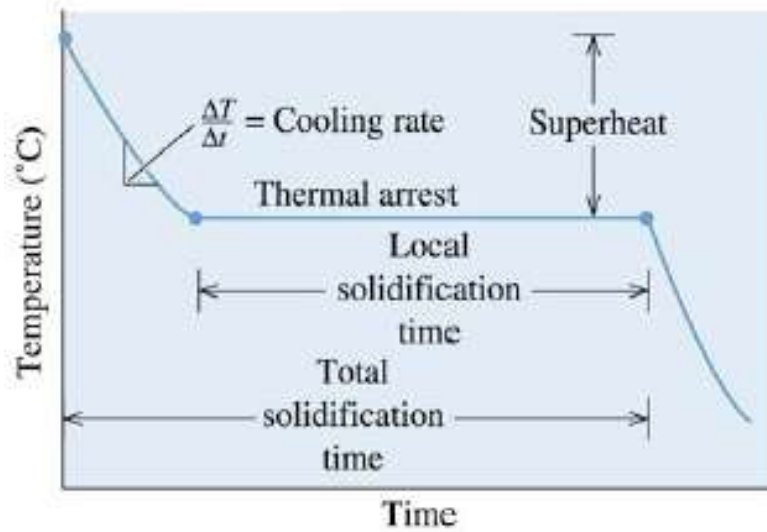
Reálna krivka tuhnutia technicky čistého kovu:



Podchladená tavenina sa po vzniku kryštalizačných zárodkov samovoľne ohreje na rovnovážnu teplotu tuhnutia v dôsledku uvoľňovania skupenského tepla tuhnutia



(a)



Podľa spôsobu vzniku zárodku:

homogénna kryštalizácia – vlastné kryštalizačné zárodky (bez pomoci cudzích zárodkov), (asi pri 0,8 T_{tav}),

heterogénna kryštalizácia – kryštalizácia na aktívnych časticiach vmestky, oxidy, očkovačlá).

Vo veľmi čistom materiáli s minimom cudzorodých častíc –
prídavok očkovačiel pred liatím

za účelom dosiahnutia **jemnozrnnej liatej** štruktúry.

Ovplyvňovanie kryštalizácie:

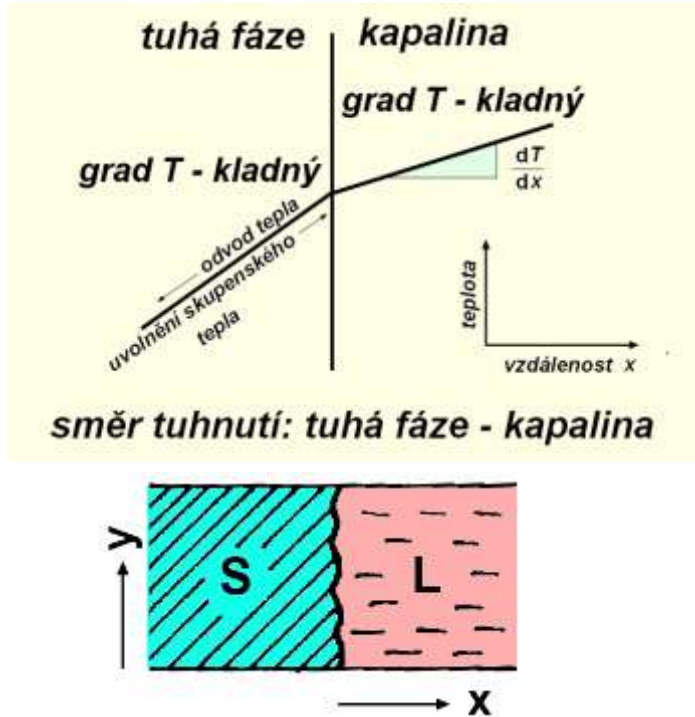
Kryštalizácia pri zvýšenom tlaku (liatie pod tlakom, odstredivé liatie).

Metal	Freezing temp.		Heat of fusion, J/cm ³	Surface energy, J/cm ²	Maximum undercooling, observed, $\Delta T(^{\circ}\text{C})$
	$^{\circ}\text{C}$	K			
Pb	327	600	280	33.3×10^{-7}	80
Al	660	933	1066	93×10^{-7}	130
Ag	962	1235	1097	126×10^{-7}	227
Cu	1083	1356	1826	177×10^{-7}	236
Ni	1453	1726	2660	255×10^{-7}	319
Fe	1535	1808	2098	204×10^{-7}	295
Pt	1772	2045	2160	240×10^{-7}	332

Source: B. Chalmers, "Solidification of Metals," Wiley, 1964.

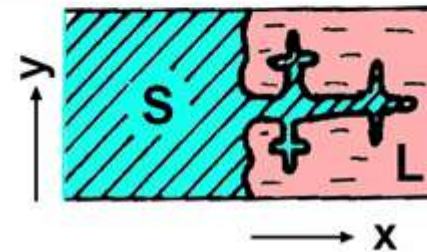
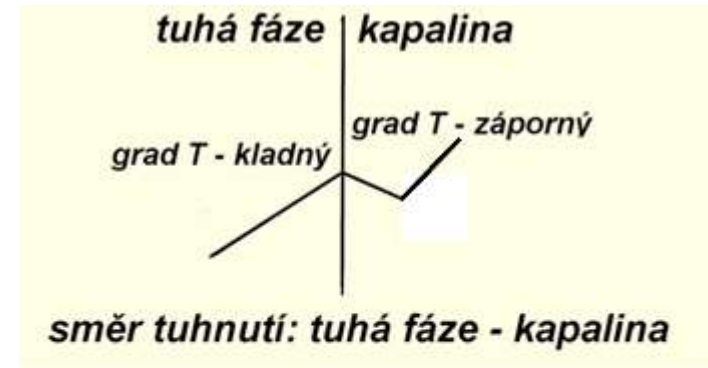
Mechanizmus rastu zárodkov

Štruktúra tuhého kovu závisí od podchladenia, avšak je tiež ovplyvnená teplotným gradientom v tavenine pred frontou tuhnutia



Pri **kladnom teplotnom gradiente** je fronta tuhnutia rovnomerná a postupuje dopredu, tj. do kvapaliny ako celok.

Kladný teplotný gradient je **charakteristický pre tuhnutie čistých kovov** - fázové rozhranie tuhá fáza - kapalina je rovinné.



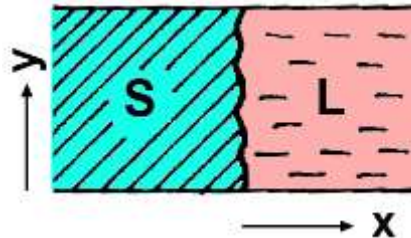
Záporný teplotný gradient

je charakteristický pre **koncentračné podchladenie vyskytujúce sa v zliatinách**.

Vplyvom prímiesí má fázové rozhranie tuhá fáza - kvapalina **dendritickú povahu**.

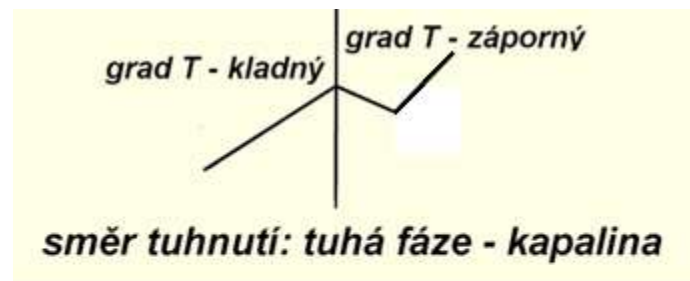
Ak teplota roztaveného kovu v smere frontu tuhnutia do stredu taveniny stúpa – hovoríme o tuhnutí podľa pozitívneho teplotného gradientu.

Kryštály vznikajúce pri týchto podmienkach narastajú **bez prednostnej orientácie** v niektorom smere.



Ak teplota roztaveného kovu od frontu tuhnutia do stredu taveniny klesá, hovoríme o tuhnutí podľa negatívneho teplotného gradientu.

Po heterogénnej nukeácii pri vyšších rýchlostiach ochladzovania prebieha dendritická kryštalizácia.

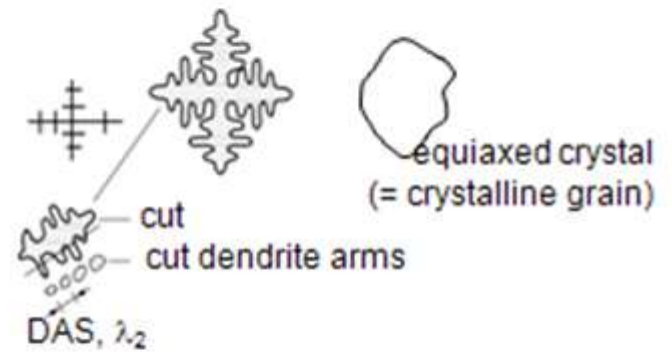
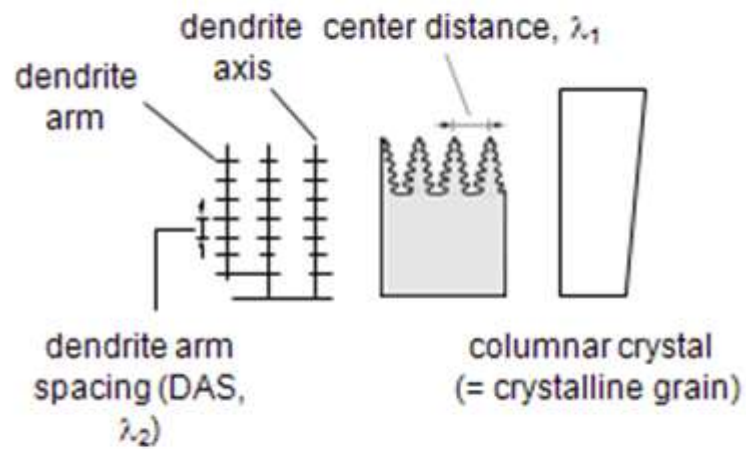


Dendrity

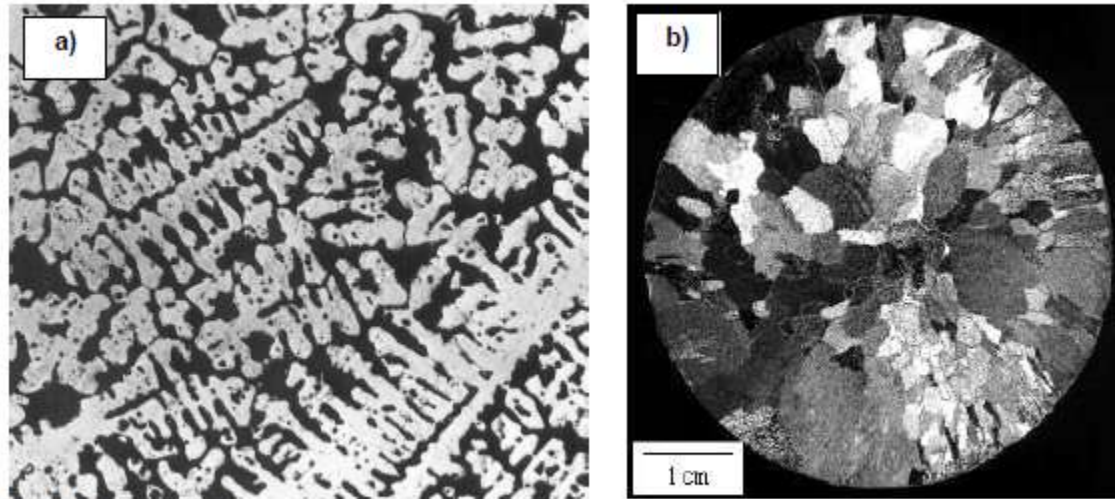
tuhnutie

usmernené tuhnutie

neusmernené tuhnutie

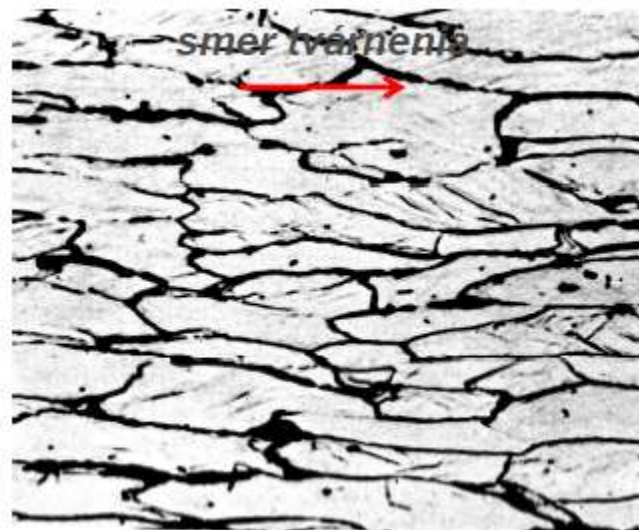


MIKROŠTRUKTÚRA Z HLADISKA TECHNOLOGICKÉHO



SPRACOVANIA

Obr. 16 Liata štruktúra: a) dendritická (zliatina Cu- Pb); b) polyedrická (čistý hliník)



Obr. 17 Tvámená štruktúra- textúra nízkouhlíkovej feritickej ocele

Pri väčších rýchlostiach ochladzovania – dendritická kryštalizácia.

(najčistejší je kov v primárnej osi dendritov a nečistoty sa koncentrujú v najneskôr tuhúcich medzidentritických priestoroch).

Pri relatívne pomalom ochladzovaní – vzniká polyedrická štruktúra.

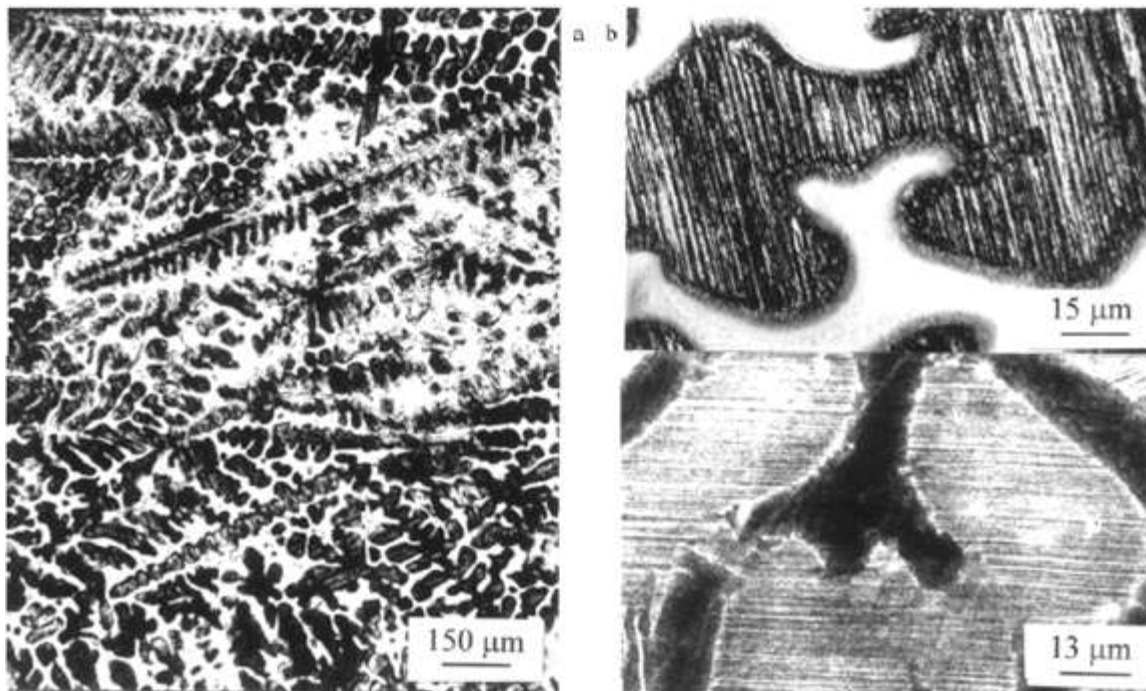


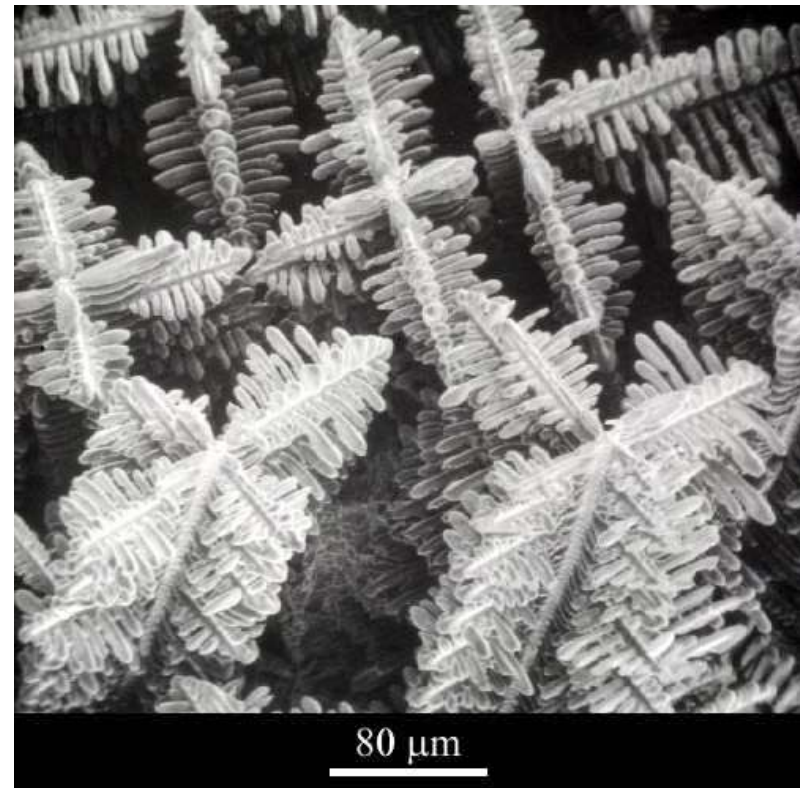
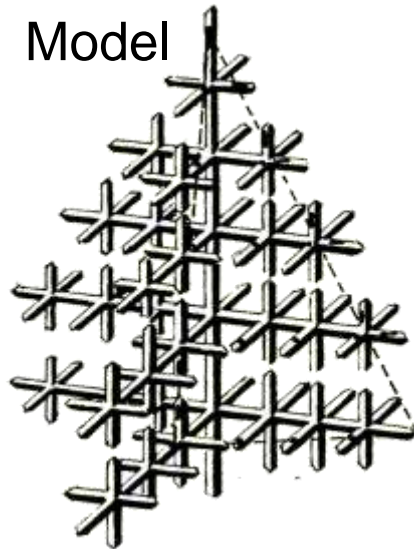
Figure 1. Optical microstructures of the as-cast Ti50Al alloy (a) and (b) and SEM under atomic number contrast (c).

Pri kryštalizácii technických kovov a ich zliatin

veľkosť dendritov, stupeň ich rozvetvenia závisí od:
rýchlosti ochladzovania taveniny a
obsahu rozpustných prímiesí.



Model



Čistý kov



Zliatina



PÁSMOVÁ SEGREGÁCIA

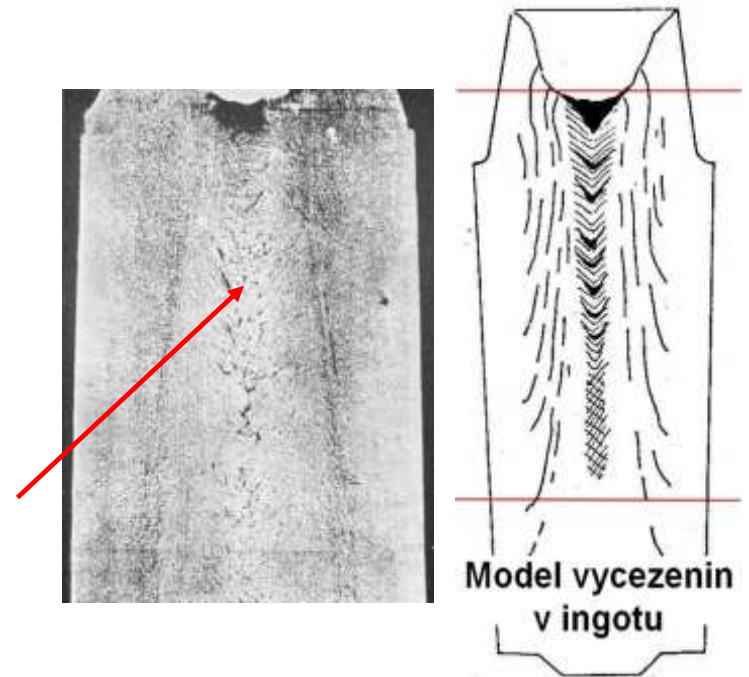
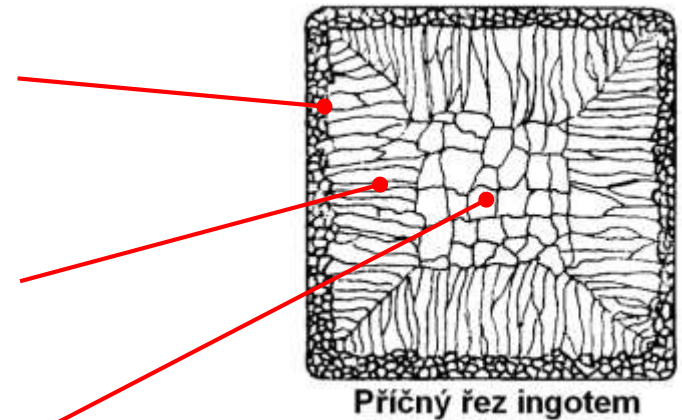
➤ pri tuhnutí ingotu v kokile vzniká na povrchu ingotu tenká vrstva **veľmi drobných, náhodne orientovaných, polyedrických kryštálov**

➤ v ďalšej etape tuhnutia vzniká pri zápornom teplotnom gradiente v tavenine pásmo **stĺpcovitých dendritických kryštálov**

➤ v záverečnej etape tuhnutia sa v strednej časti ingotu vytvoria rovnoosé neorientované kryštály, ktoré sú menšie v päte než v hlave ingotu

➤ ich vznik je vysvetlovaný heterogénnou nukleáciou spôsobenou prúdiacou taveninou, k čomu v päte ingotu pristupuje zrychlené ochlazovanie.

➤ hlavnými chybami doprevádzajúcimi odmiešavanie sú **vycedeniny**, spravidla lokalizované v hornej osovej časti ingotu



Kryštalizácia zliatin sa od kryštalizácie čistých kovov príliš nelíši.

Zásadný rozdiel:

kryštalizácia **neprebíha pri jednej teplote**, ale v rozmedzí teplôt.

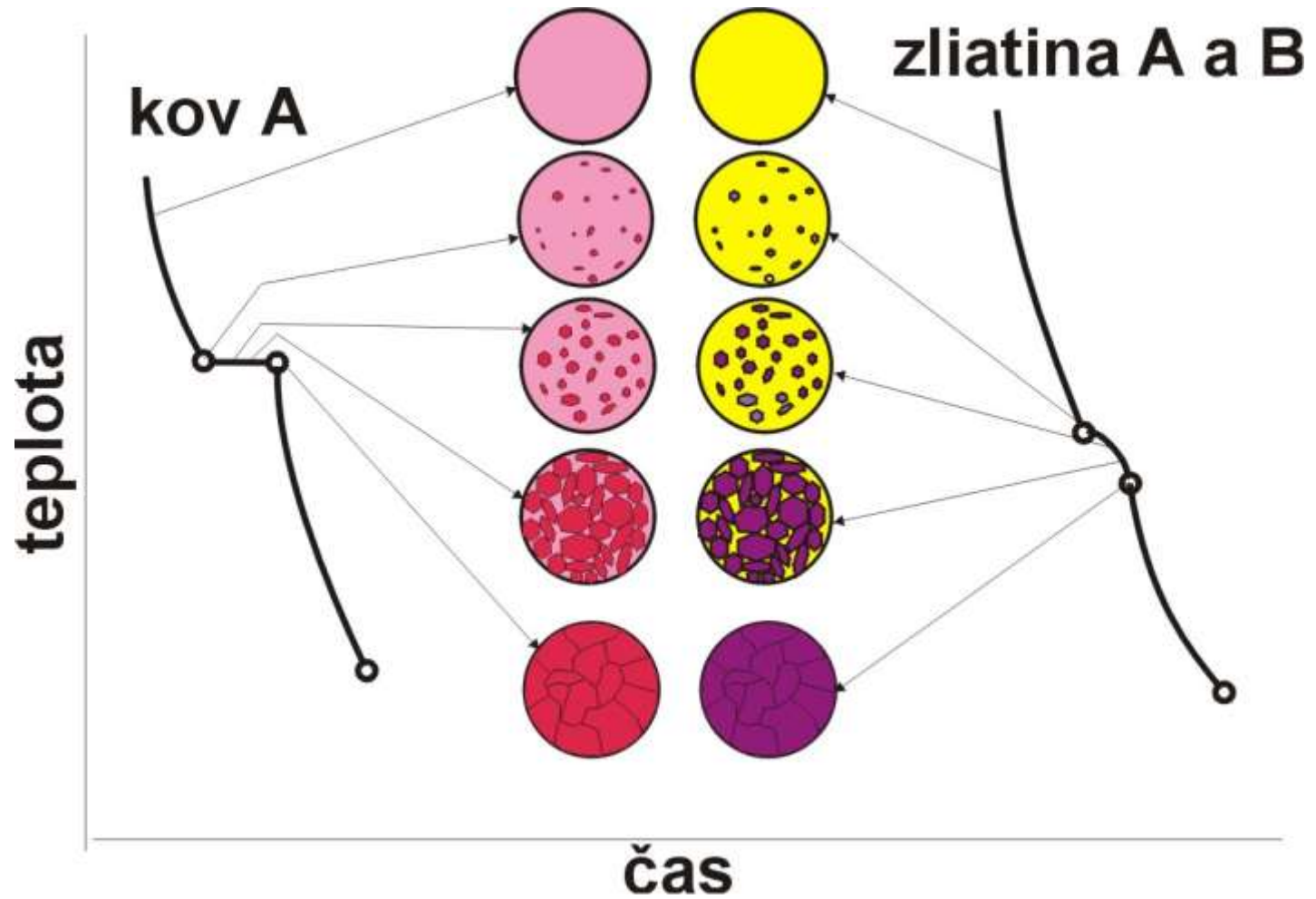
Väčšina technických kovových materiálov má polykryštalickú štruktúru.

Polykryštalická štruktúra:

Primárna – vzniká kryštalizáciou taveniny

Sekundárna – vytvára sa **premenou primárnej štruktúry v priebehu ochladzovania** na inú štruktúru.

Tuhnutie čistého kovu a zliatiny



Objemové zmeny pri kryštalizácii

Koeficient objemovej rozt'ažnosti – prírastok objemu pri zvyšovaní teploty.

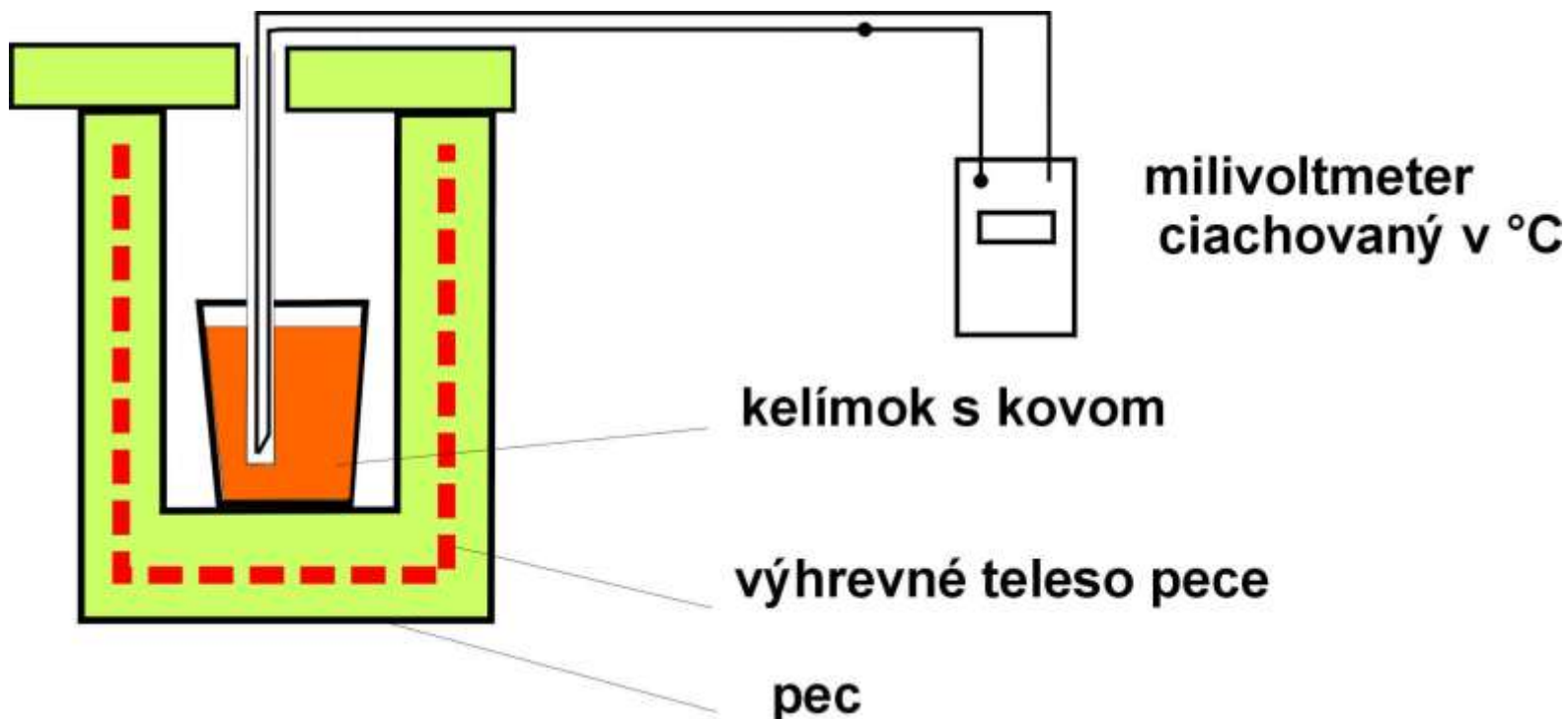
S rastúcou teplotou sa plynulo zväčšuje objem a klesá hustota.

Úbytok objemu pri poklese teploty – zmrašťovanie.

Ga, Bi, Pb, Ge, Si : opačná zmena objemu a hustoty – zmeňovanie objemu kovu pri tavení.

Termická analýza

Termická analýza je metodika, ktorá sa využíva pre stanovovanie **kriviek** ochladzovania alebo **ohrevu** v súradniciach teplota –čas. Polohy zlomov na priebehoch kriviek, ako aj tepelné zadržie pri premenách sú východiskovými bodmi, z ktorých sa konštruuje rovnovážny diagram.



Krivka ochladzovania je diagram zmeny teploty systému v závislosti na čase . Vynáša sa teda v súradniciach tepota-čas ako výsledok termickej analýzy.

Rovnovážny rozdeľovací koeficient

Je definovaný ako pomer:

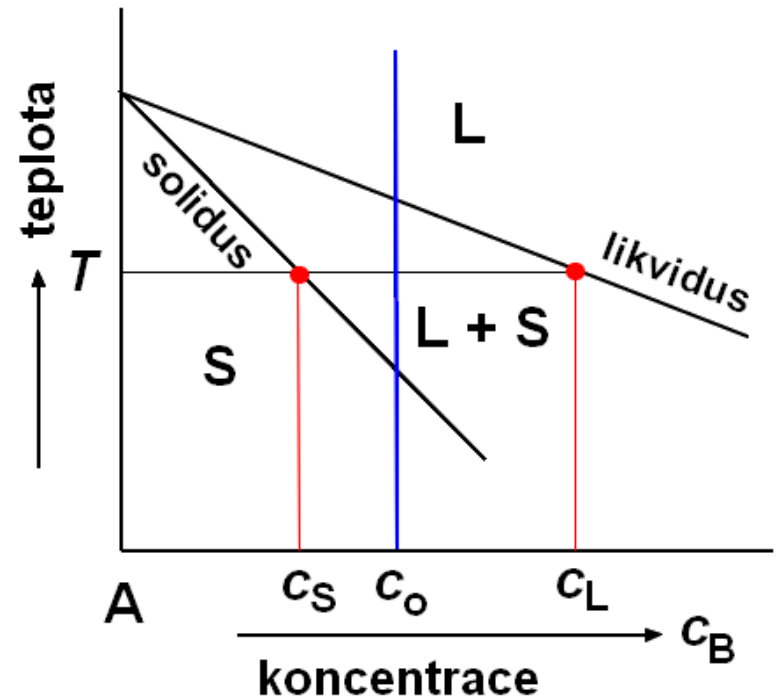
koncentrácie prísady v tuhej fáze ku koncentrácii prísady v kvapalnej fáze

Pre teplotu T je rozdeľovací koeficient

$$k_0 = \frac{C_S}{C_L}$$

Prvky pre ktorých rovnovážny rozdeľovací koeficient platí $k_0 < 0,2$ možno považovať za **extrémne silne segregujúci**

Prvky pre ktorých rovnovážny rozdeľovací koeficient platí $k_0 < 0,5$ možno považovať za **silne segregujúci**

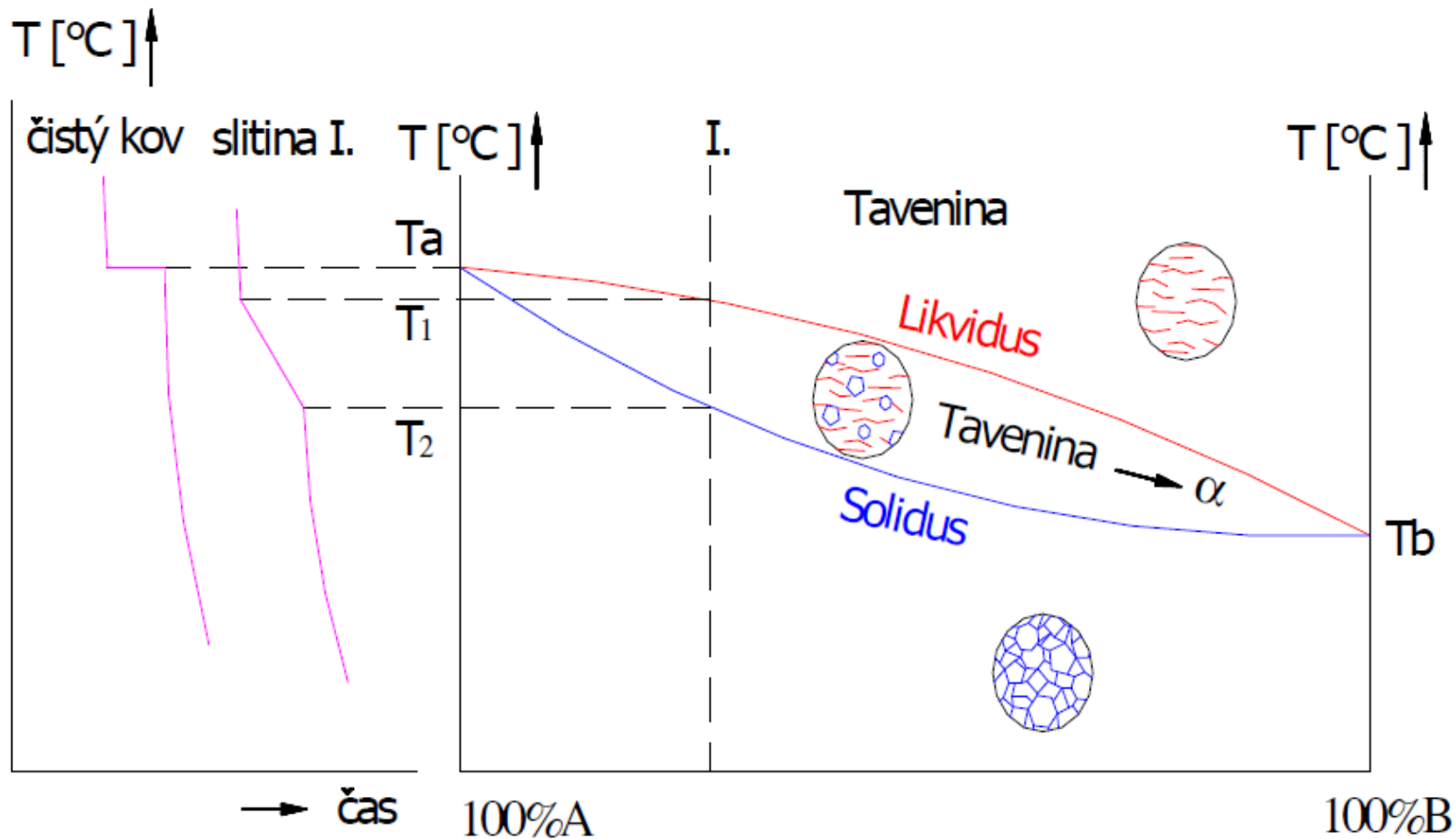


A - základný kov B - prísada
S - tuhá fáza; L - tavenina

c_S - koncentrácia prísady v tuhej fáze
 c_0 - koncentrácia prísady v zliatine
 c_L - koncentracia prísady v tavenine

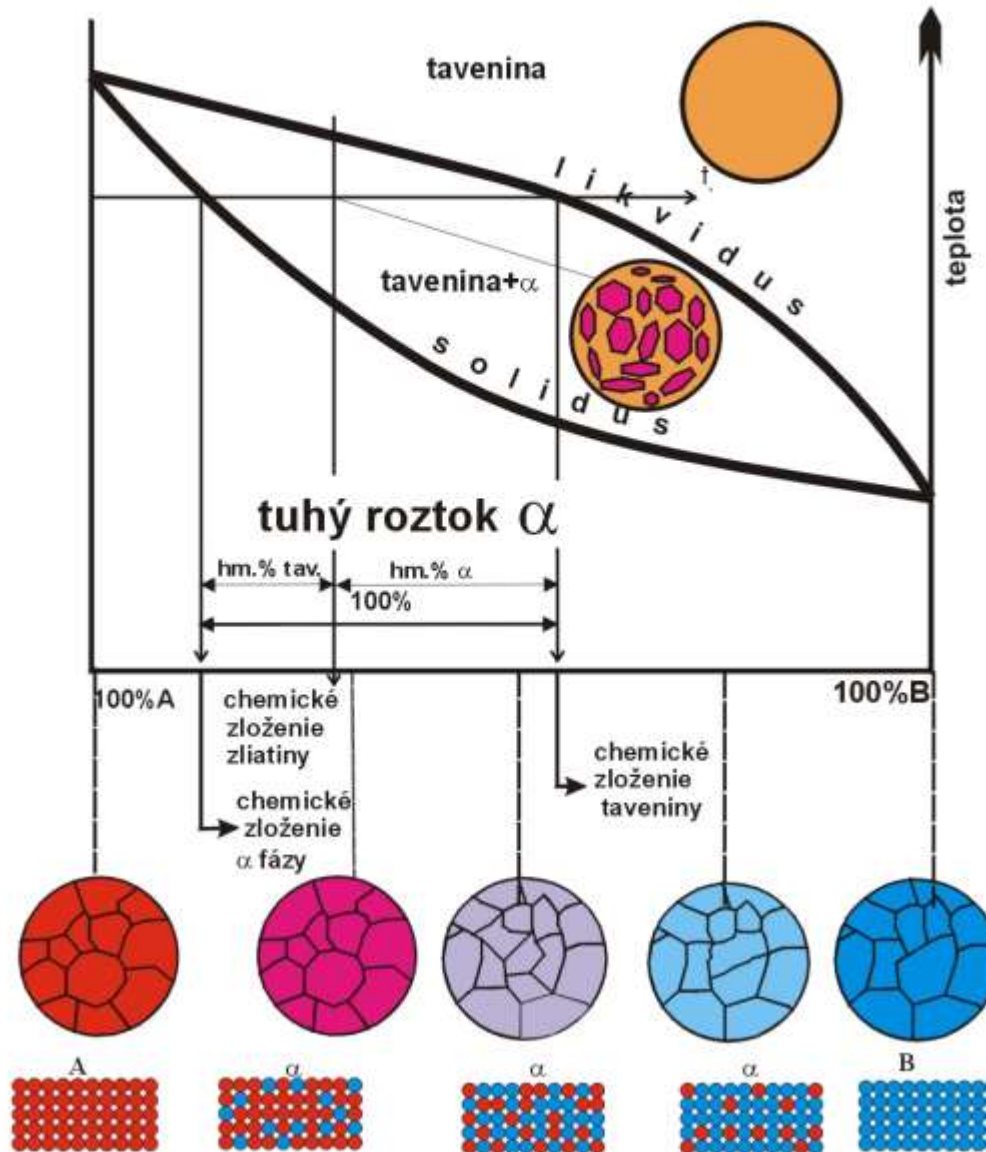
1. Typ binárneho roztoku

Neobmedzená rozpustnosť v kvapalnom a tuhom stave



- Pouze čisté složky A a B mají na křivkách tuhnutí prodlevu, v případě tuhnutí slitin probíhá krystalizace v intervalu teplot

Dve zložky A a B vzájomne dokonale rozpustné v tekutom aj tuhom stave

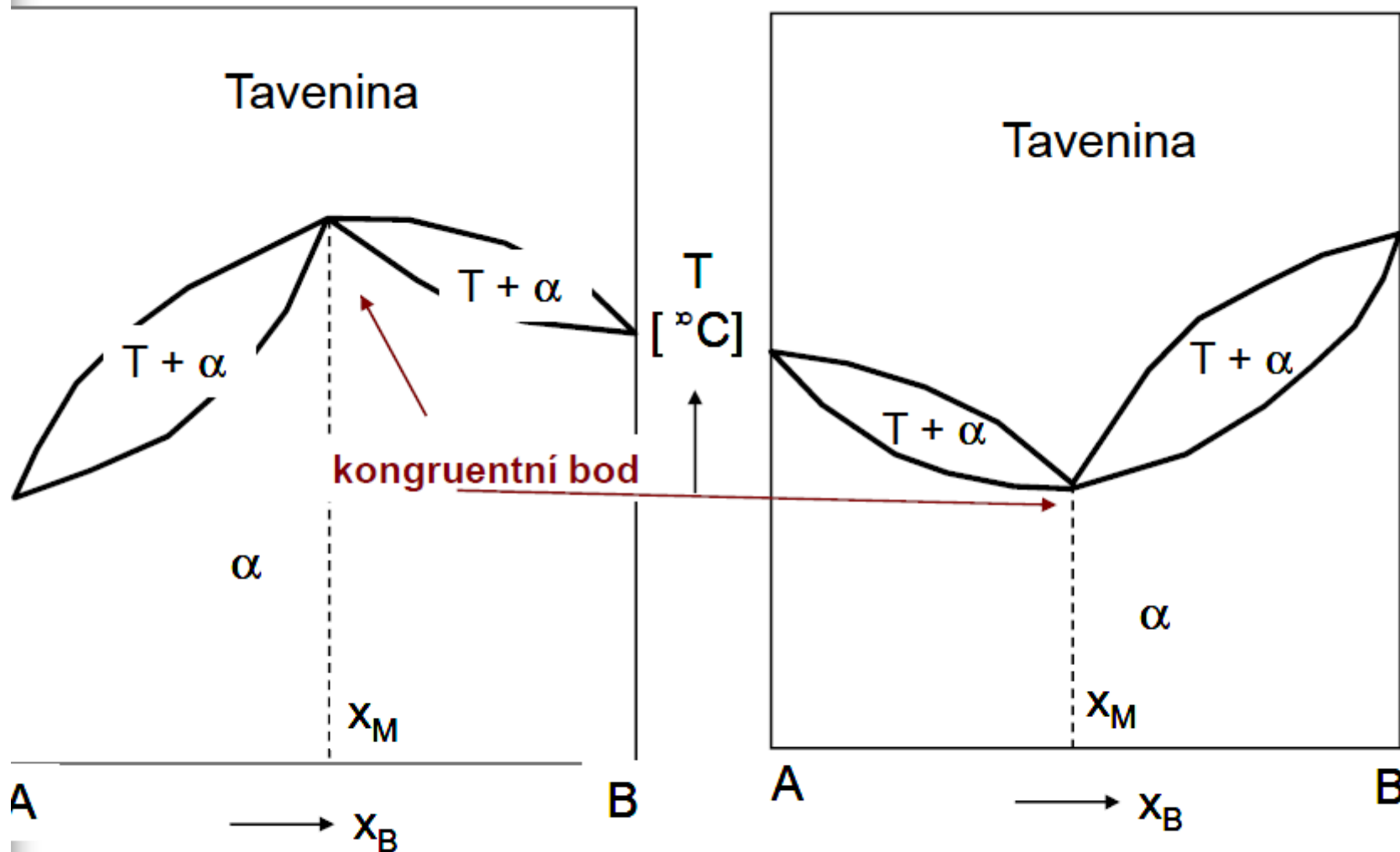


2. a 3. typ binárneho diagramu

S dokonalou rozpustnosťou zložiek v kvapalnom a tuhom stave

S maximem na křivkách likvidu a solidu

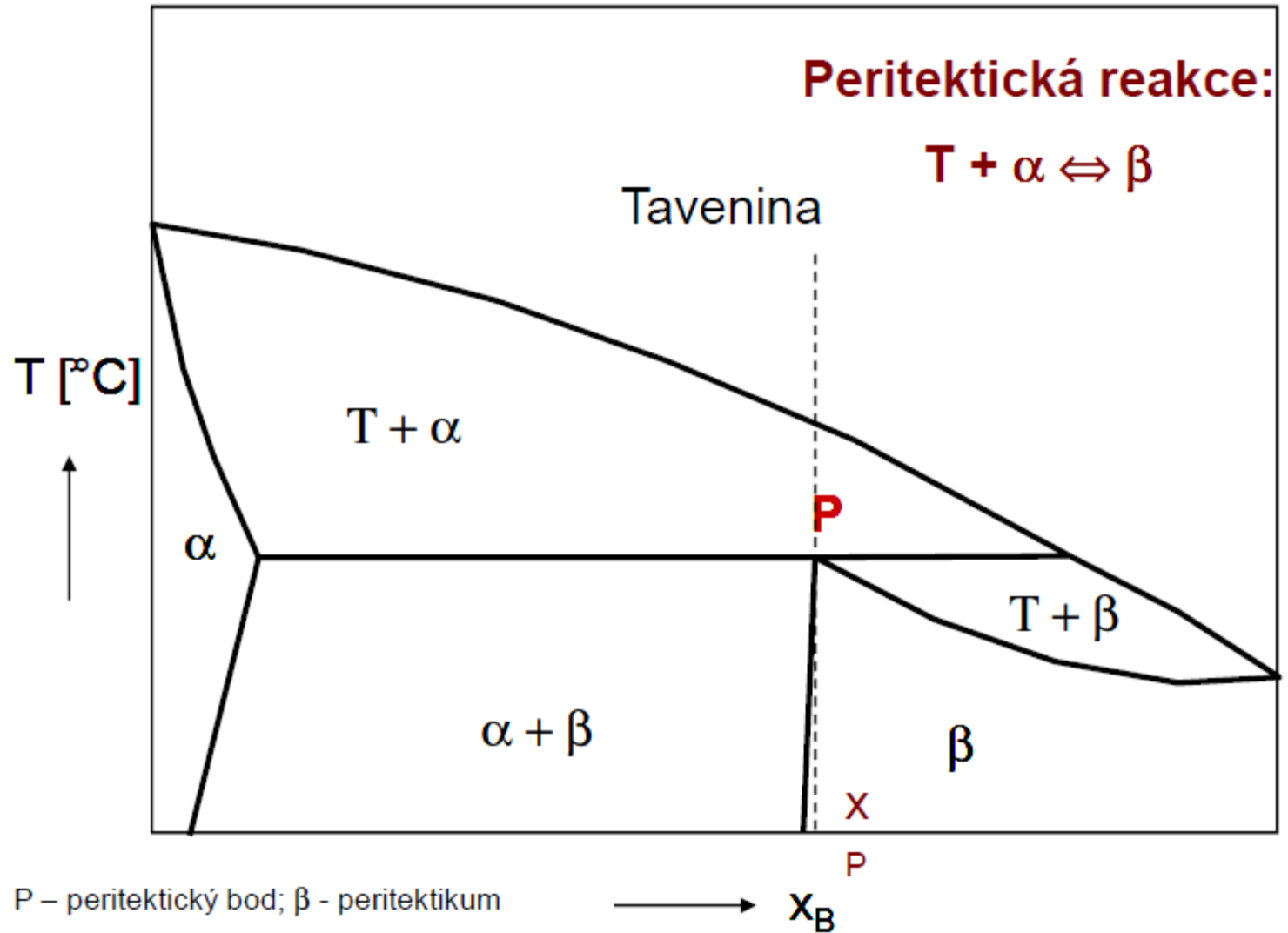
S minimem na křivkách likvidu a solidu



- krystalizace slitin o koncentraci x_M probíhá, na rozdíl od všech od ostatních slitin soustavy, při konstantní teplotě podobně jako u čistých složek. Složení taveniny a krystalů se při krystalizaci nemění \Rightarrow **kongruentní krystalizace**

4. Typ binárneho diagramu

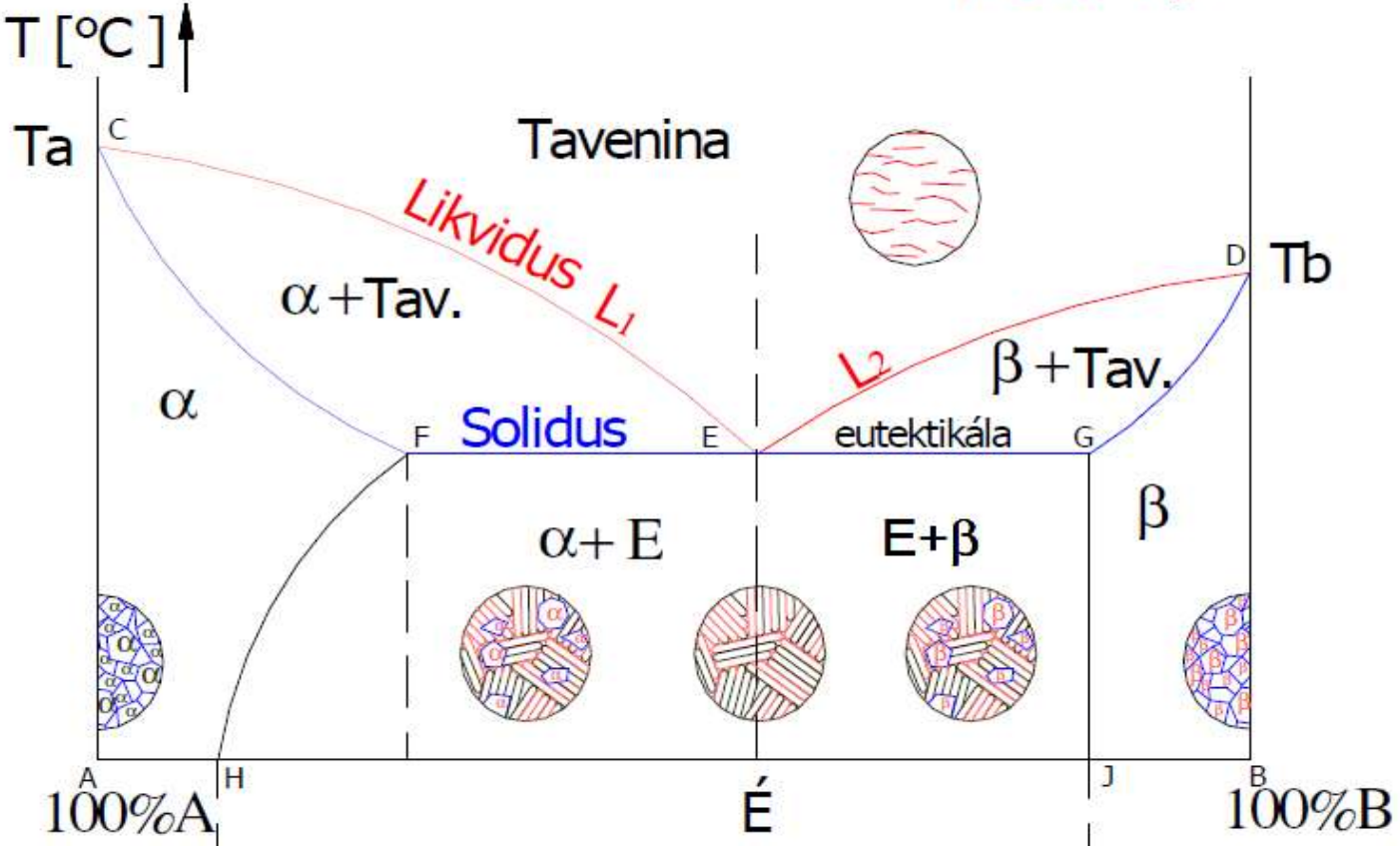
S obmedzenou rozpustnosťou v tuhom stave a peritektickou premenou



5. Typ binárneho diagramu

S obmedzenou rozpustnosťou zložiek v tuhom stave a eutektickou premenou

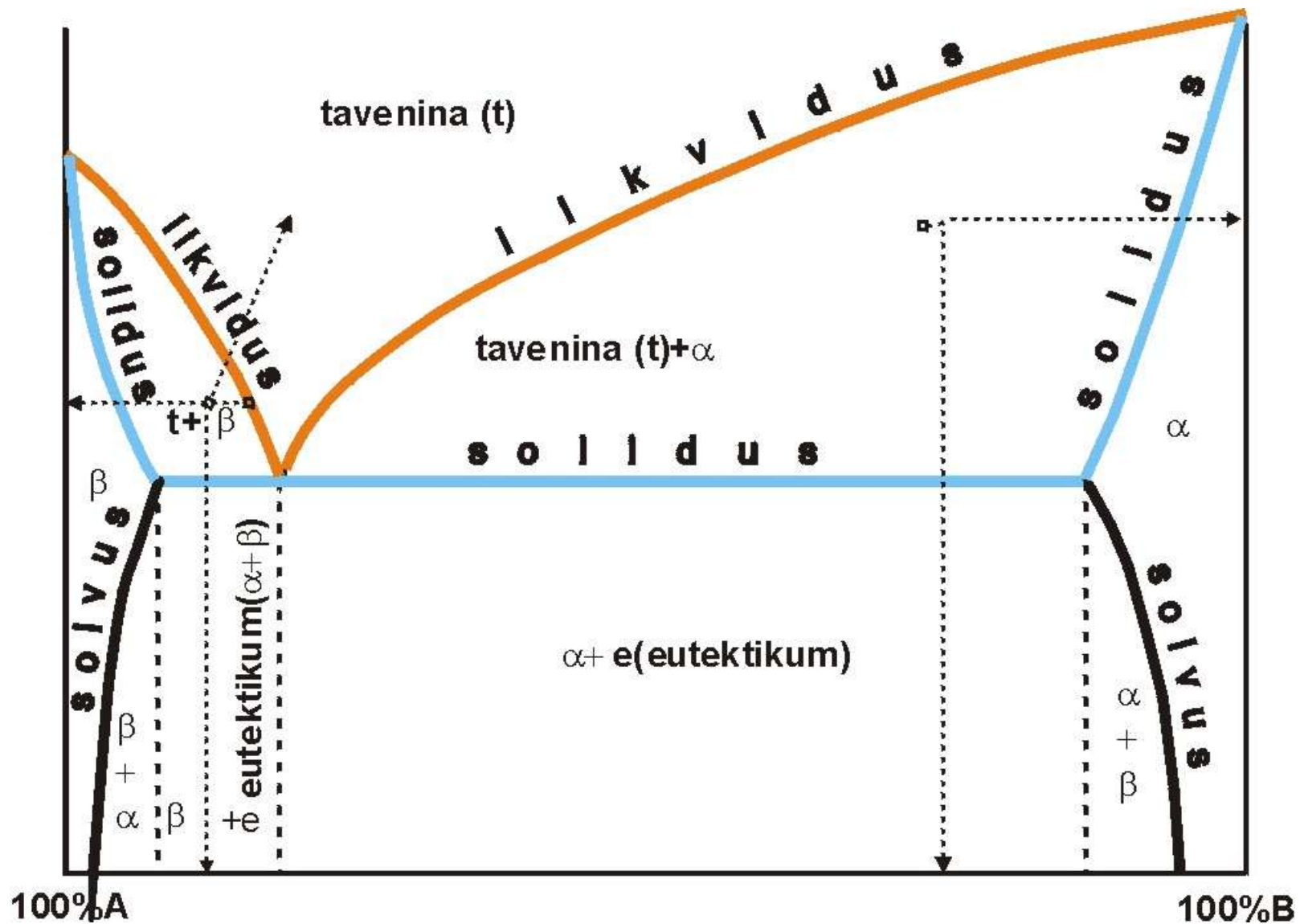
Eutektická reakce:
 $T \leftrightarrow \alpha + \beta$



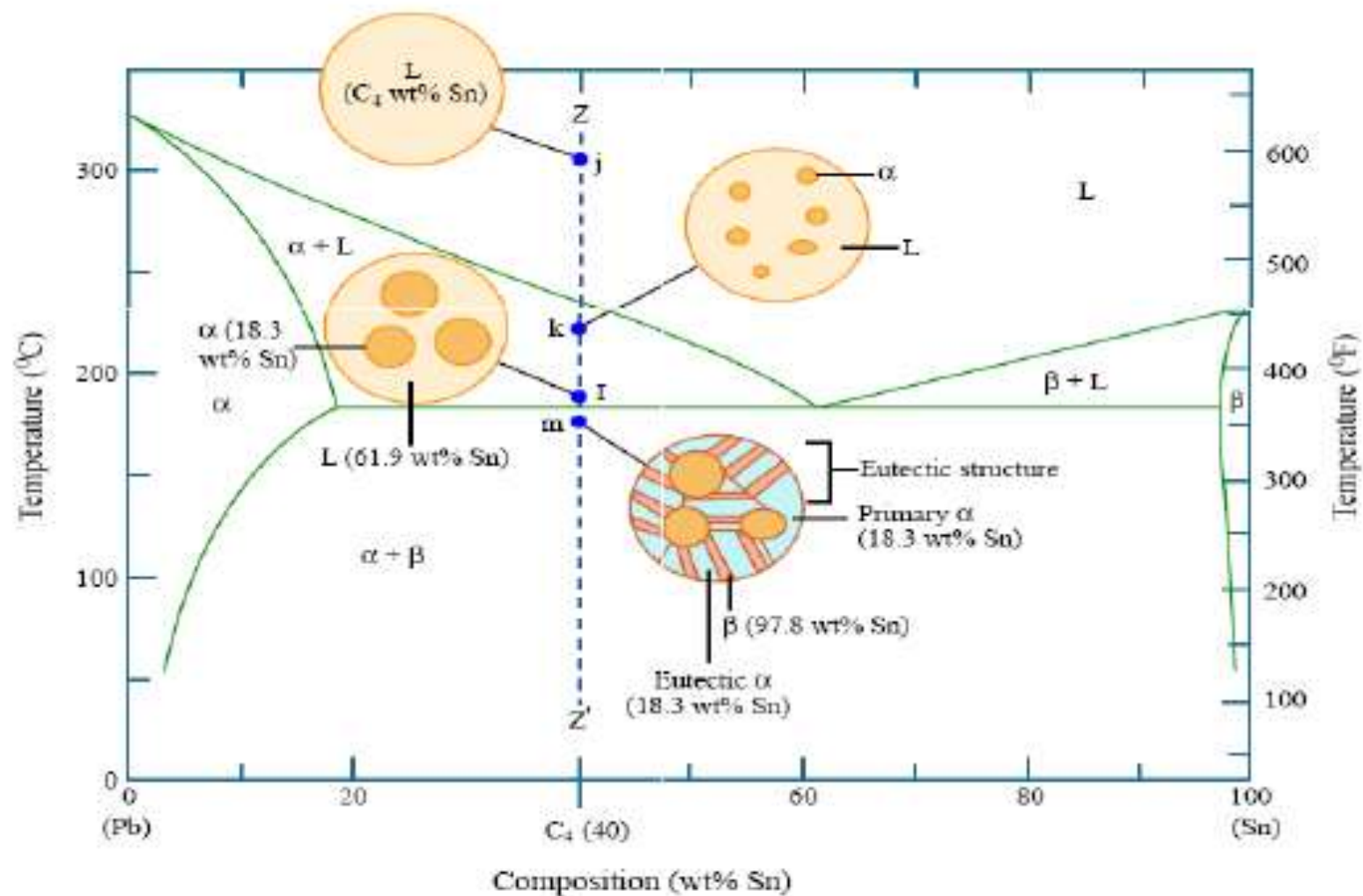
T_{tav} čistých zložiek sú prísadou druhej zložky znižované.

Krivky likvidu preto od T_{tav} čistých zložiek klesajú a pretnú sa v bode E-eutektický bod.

Dve zložky sú dokonale rozpustné v tekutom stave
 a vzájomne **obmedzene rozpustné** v tuhom stave
 pričom spolu tvoria eutektikum

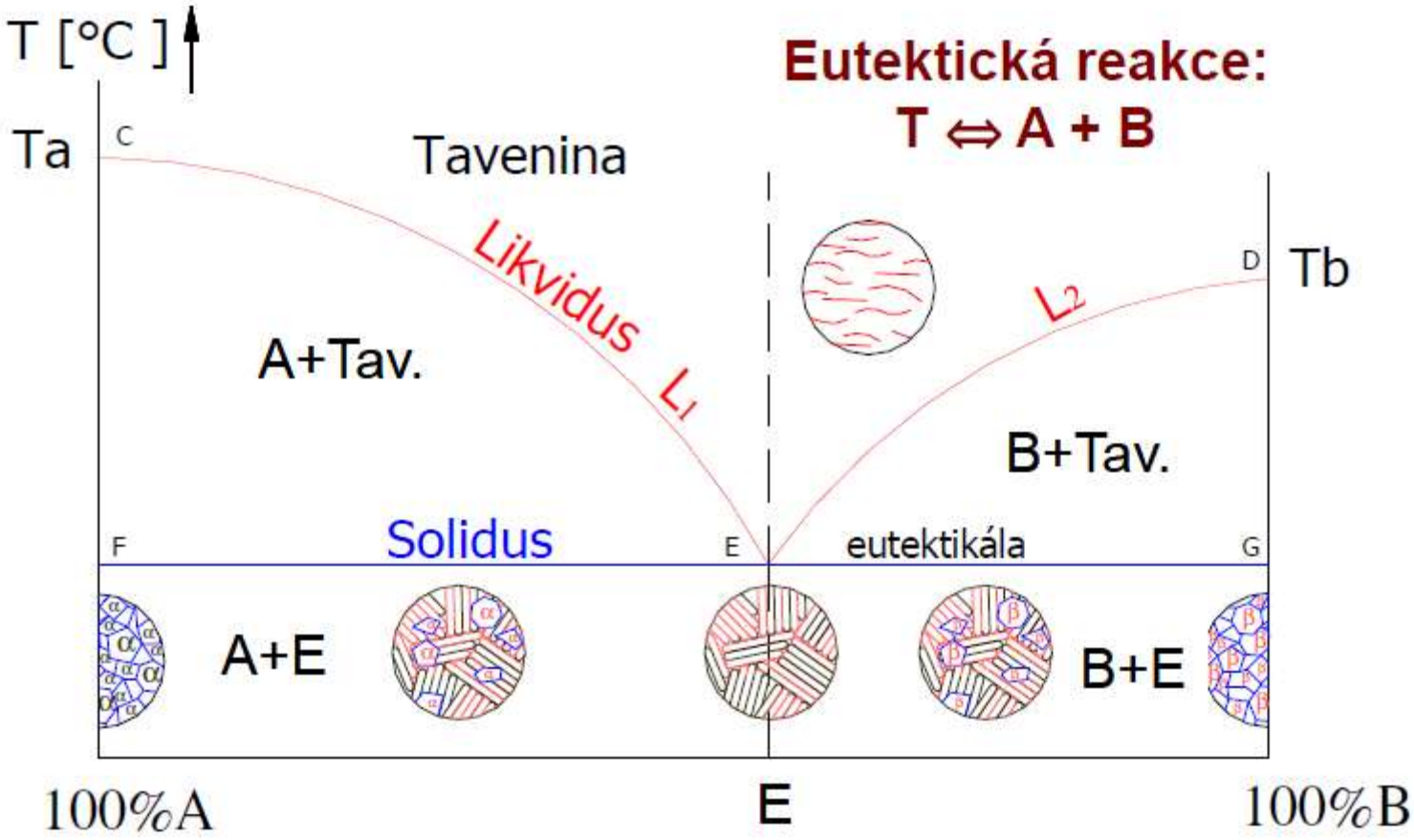


Schematické znázornění binárního diagramu V. typu v systému Pb-Sn

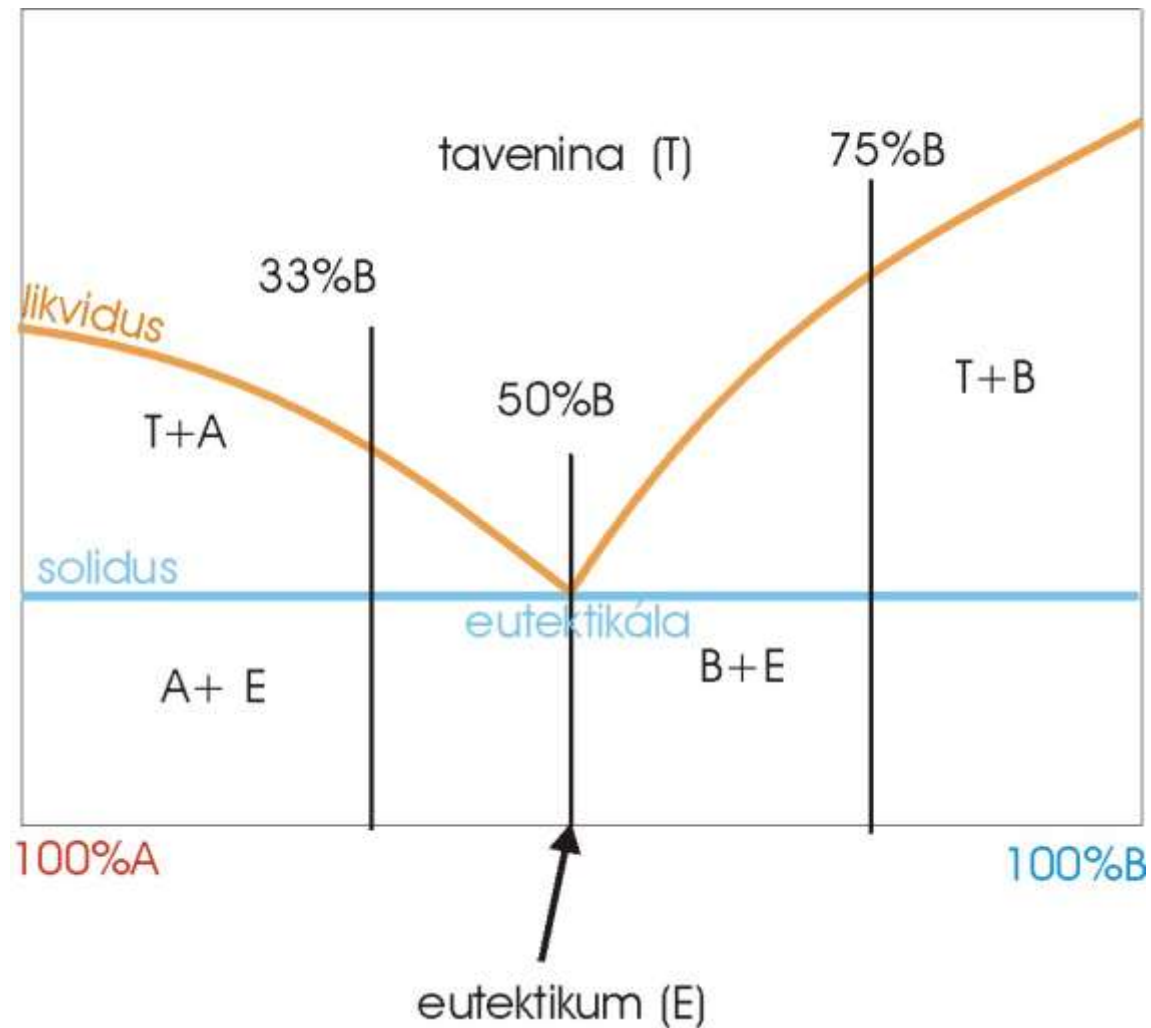


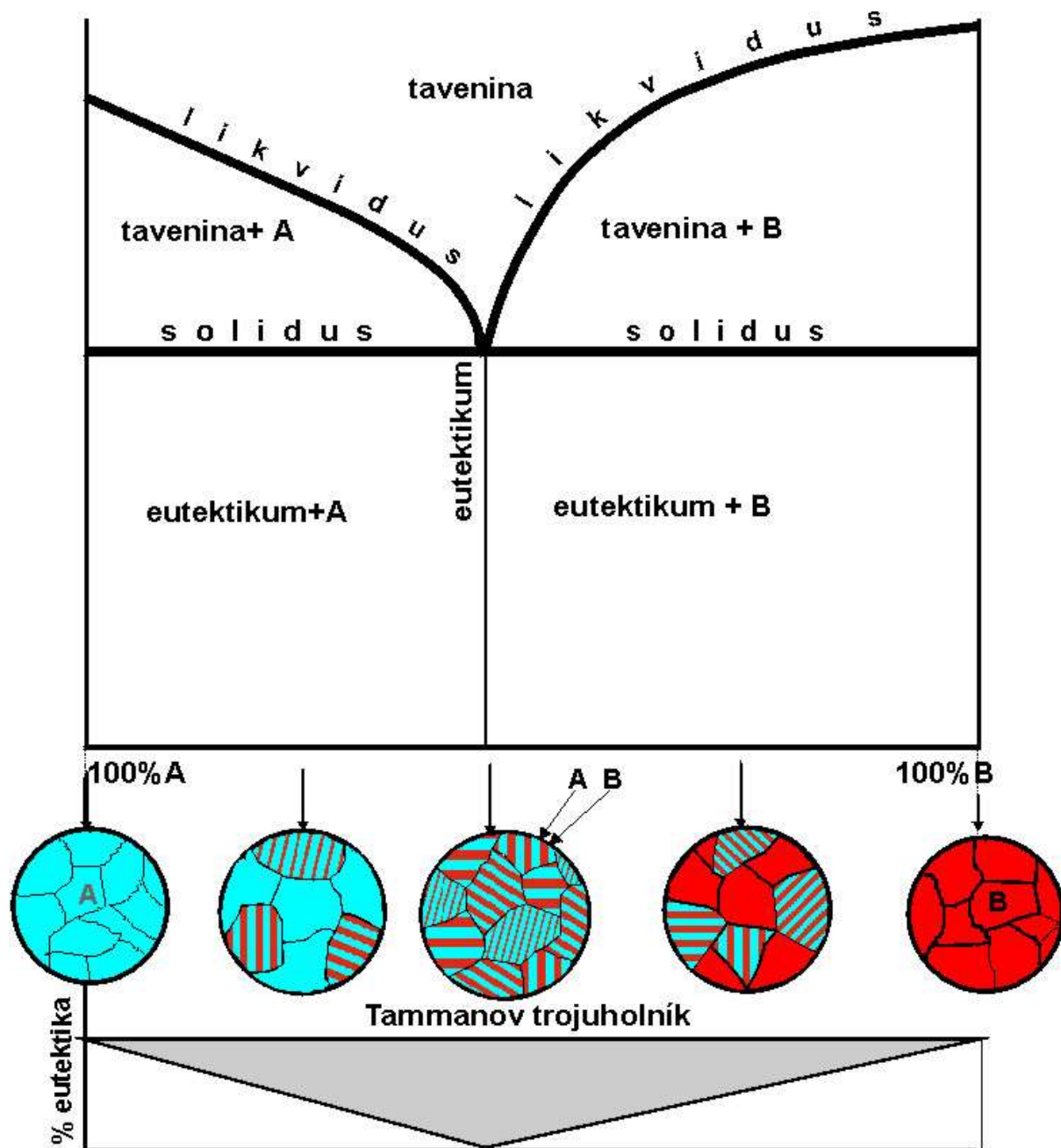
5a.typ binárneho roztoku

S úplnou nerozpustnosťou zložiek v tuhom stave a eutektickou premenou

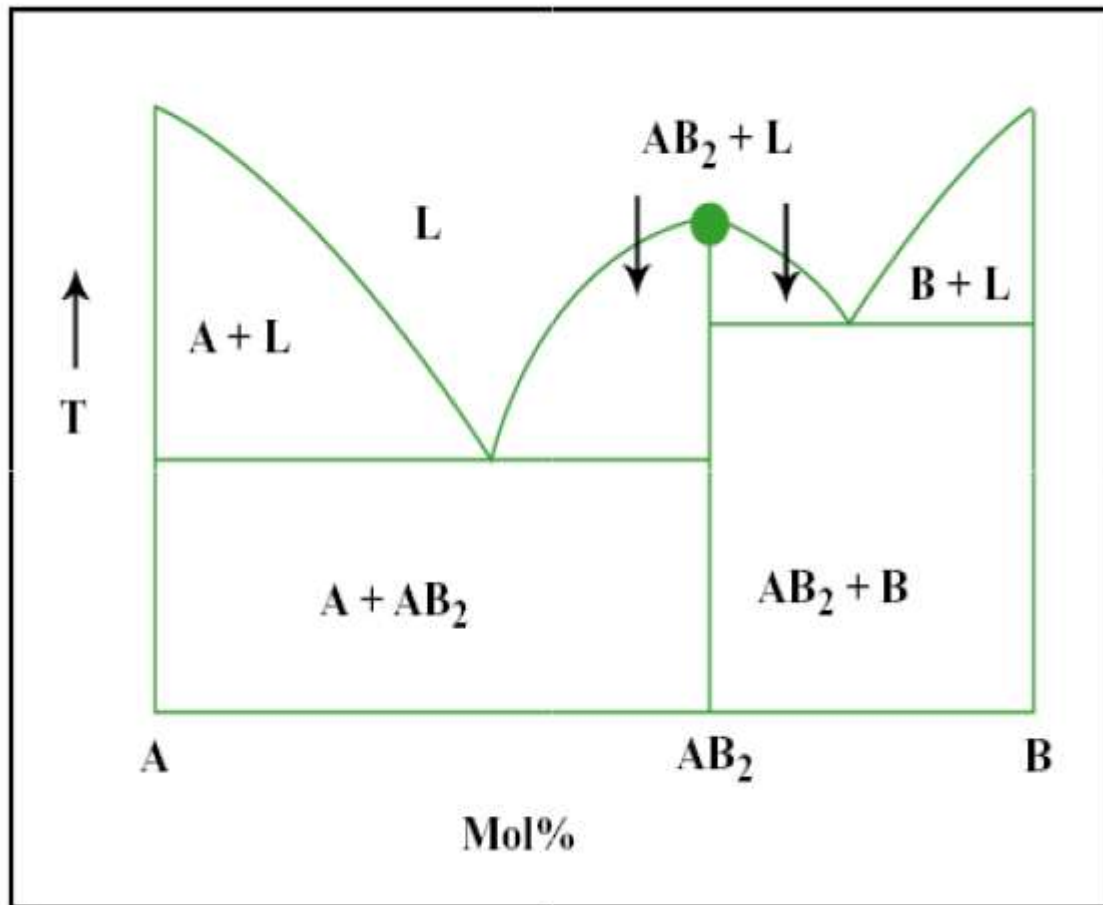


Dve zložky sú dokonale rozpustné v tekutom stave, v tuhom stave sú vzájomne nerozpustné a tvoria spolu eutektikum





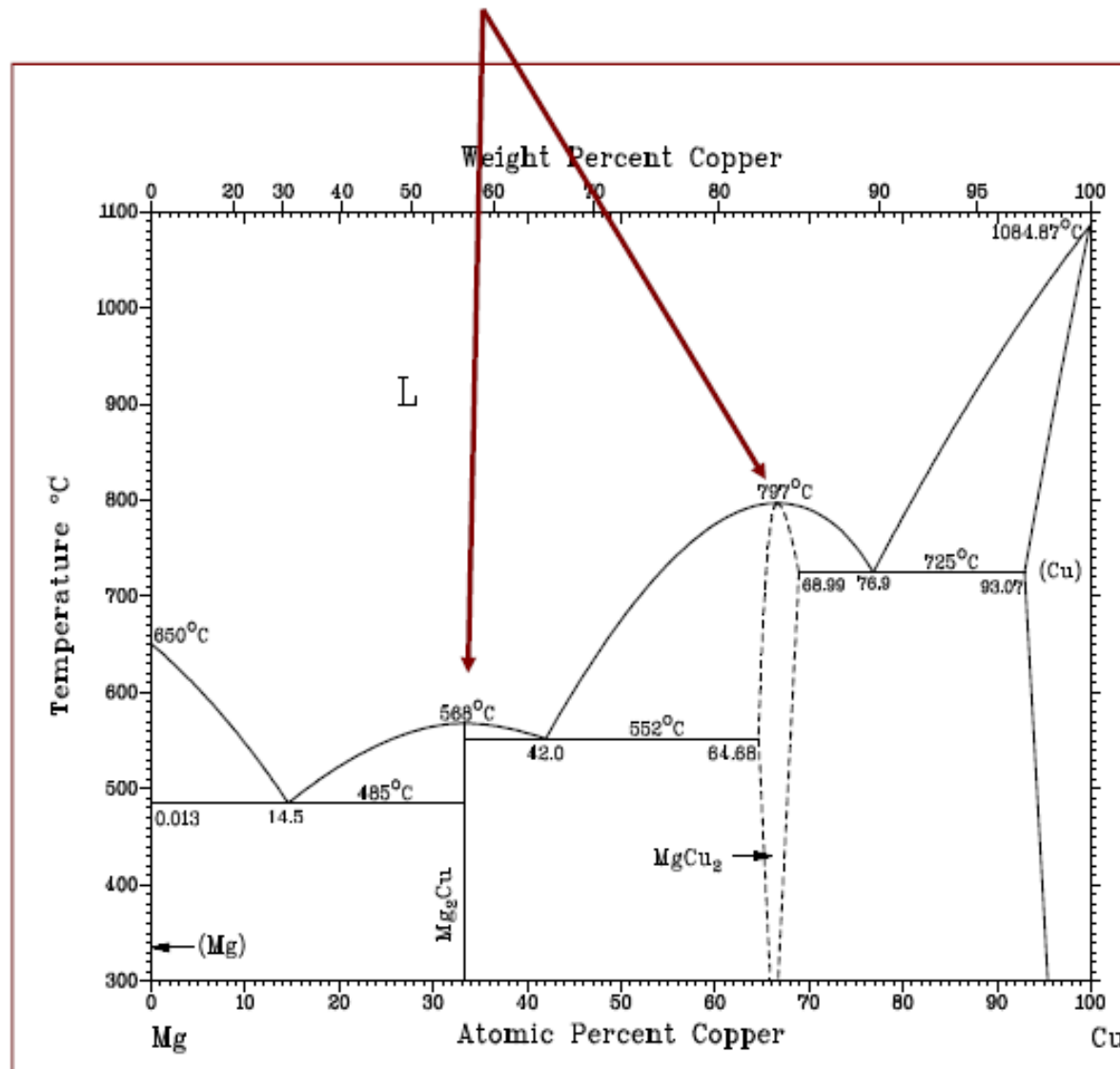
Vznik intermediálnej fázy pri kongruentnej premene



Spojenie 2 diagramov s eutektickou premenou – limitný prípad – inetermediálny fáza vzniká pri 1 koncentrácii prvku B

Vznik intermediární fáze Mg_2Cu a $MgCu_2$
při kongruentní přeměně
- reálný diagram Mg-Cu

Intermediární fáze



Prekryštalizácia

Niektoré čisté zložky vykazujú tzv polymorfizmus - majú viac alotropických modifikácií.

Zliatiny v ktorých je aspoň jedna takáto zložka vykazujú potom prekryštalizáciu, čo je premena už existujúcej kryštálovej štruktúry tuhej fázy na inú kryštálovú štruktúru.

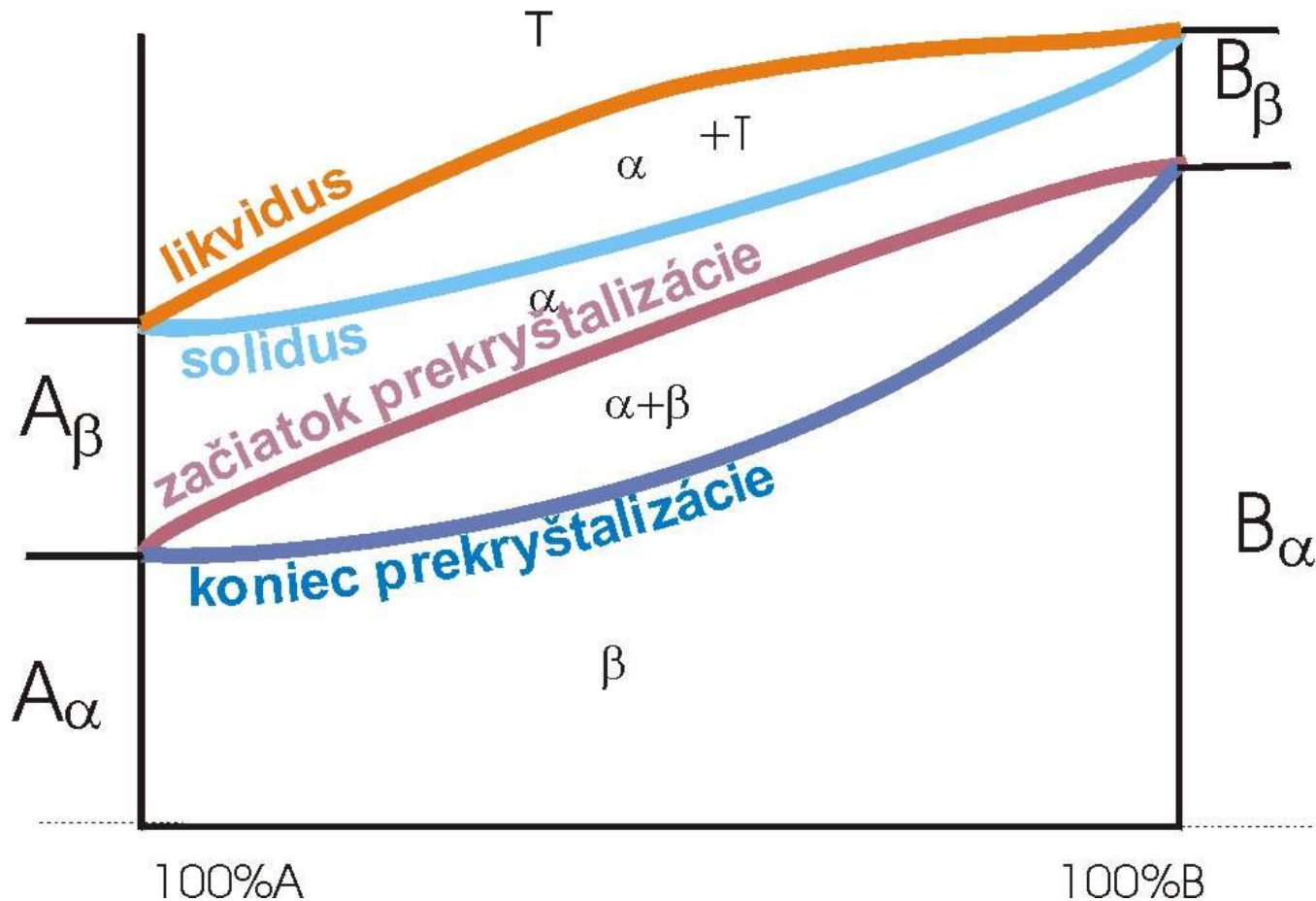
Tento jav sa tiež niekedy nazýva sekundárna kryštalizácia.

V binárnych rovnovážnych diagramoch sa toto prejavuje pribudnutím ďalších fázových polí po vertikálnej osi.

Príkladmi kovov, ktoré majú alotropické modifikácie sú Fe, Co, Sn, Ti a ďalšie kovy.

Dve zložky dokonale rozpustné v tekutom stave majú 2 alotropické modifikácie.

Vysokoteplotné modifikácie sú vzájomne dokonale rozpustné v tuhom stave a nízkoteplotné tiež.

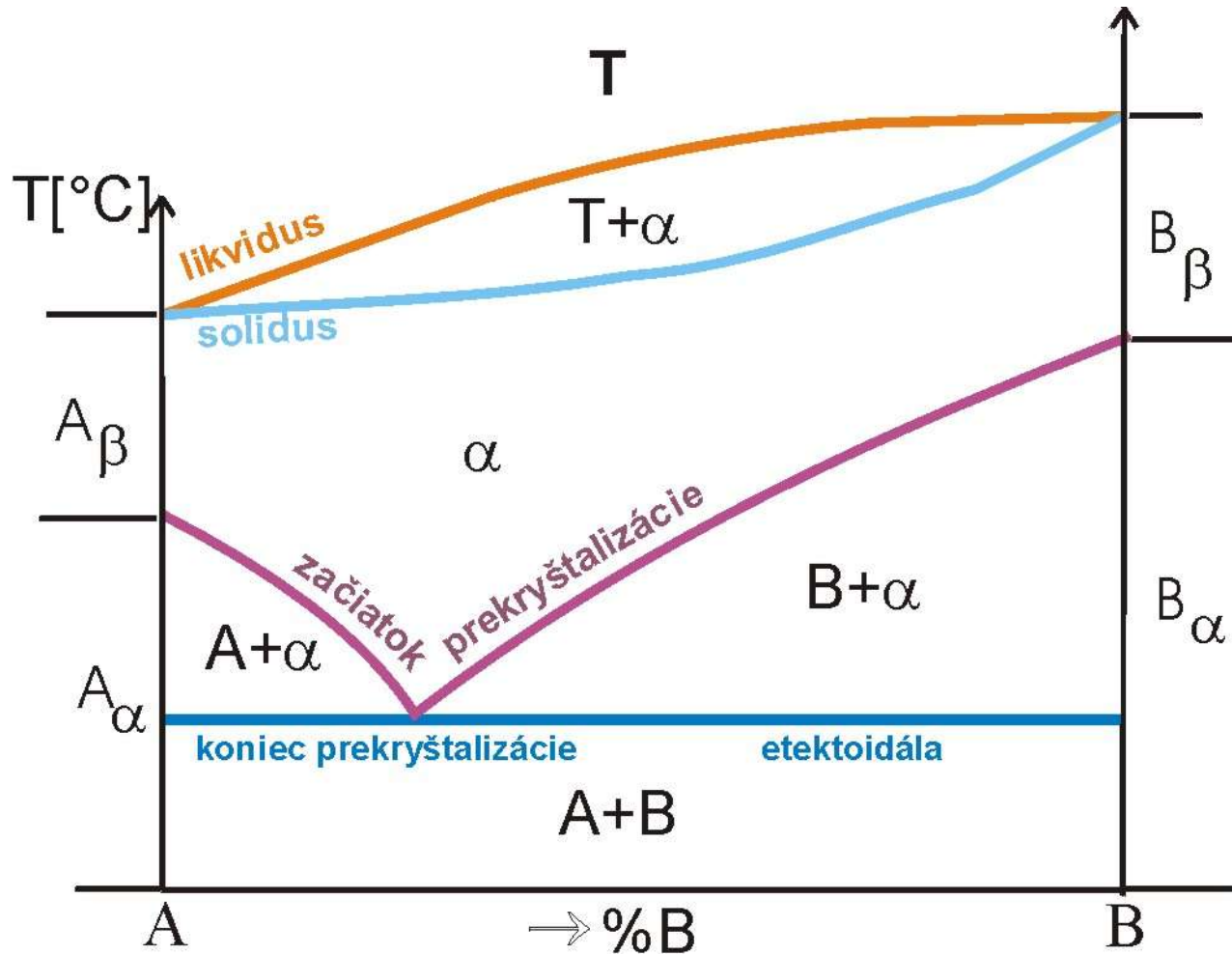


Dve zložky A a B sú dokonale rozpustné v tekutom stave.

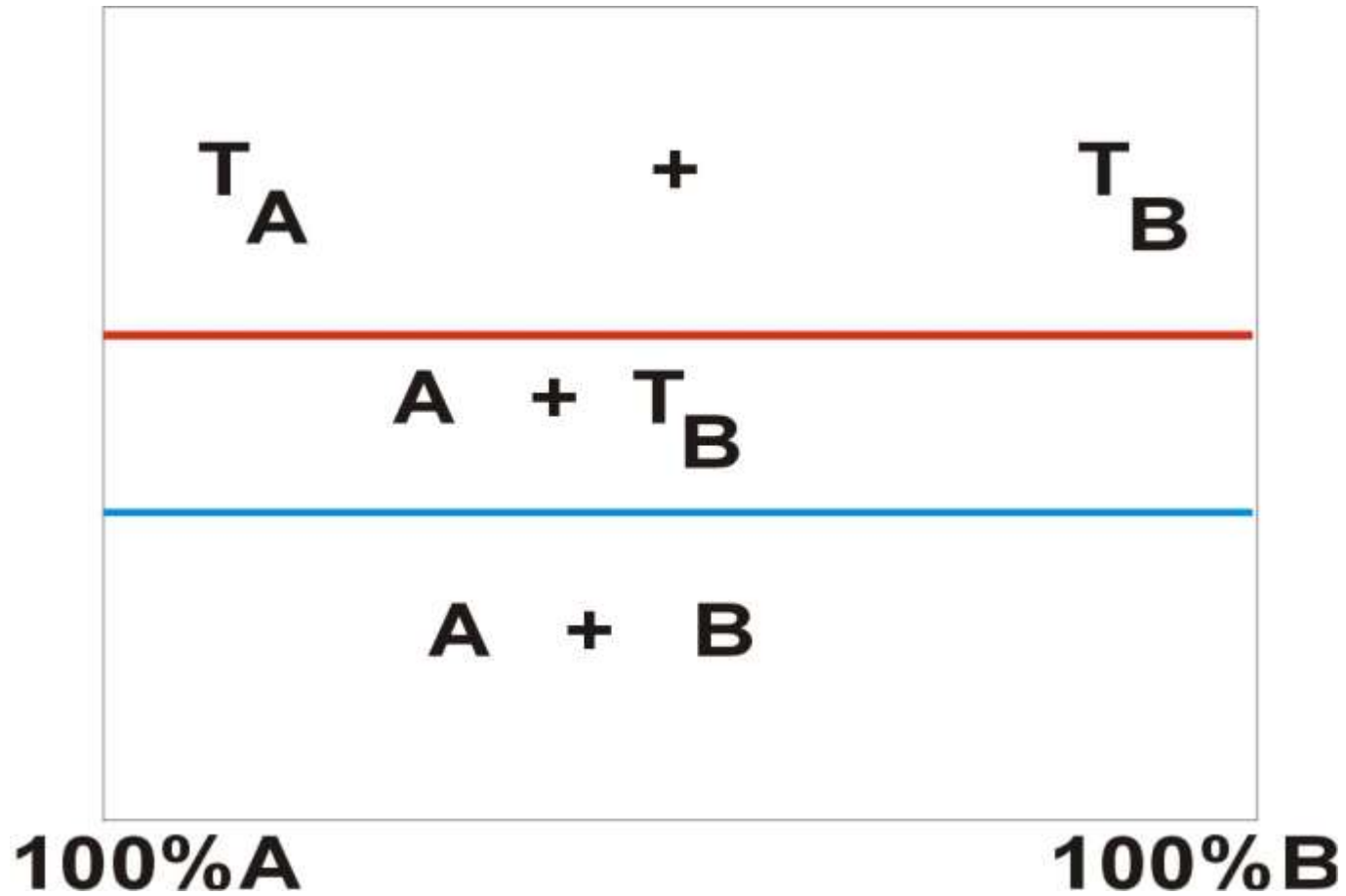
V tuhom stave majú 2 modifikácie.

Vysokoteplotné modifikácie sú dokonale rozpustné,

nízokoteplotné sa vzájomne vôbec nerozpúšťajú a majú medzi sebou eutektoidnú premenu

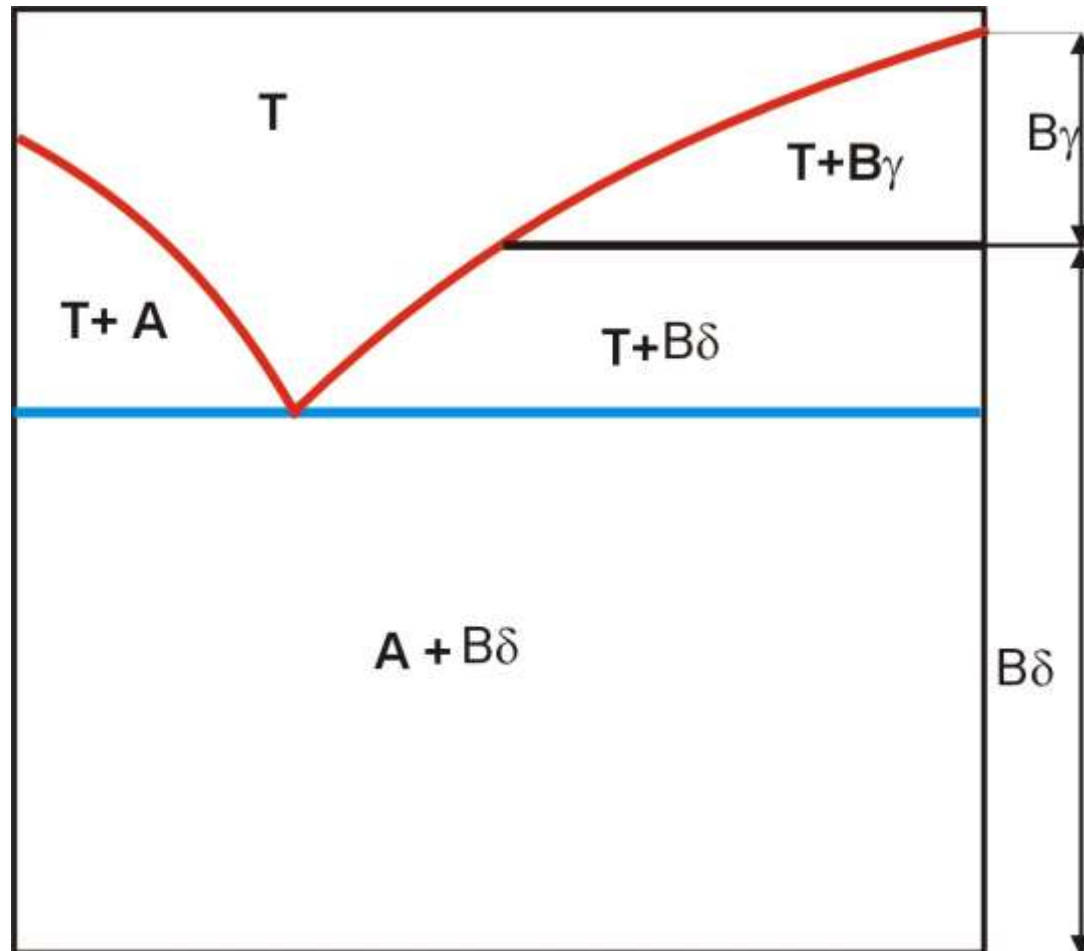


Dve zložky A a B sú vzájomne nerozpustné v tekutom aj tuhom stave



Dve zložky A a B sú dokonale rozpustné v tekutom stave, **v tuhom stave sú nerozpustné** a vytvárajú eutektikum .

V tuhom stave má zložka A 1 modifikáciu a zložka B 2 modifikácie. Teplota premeny modifikácie je nad eutektickou teplotou



Prednáška 4

Rafinácia taveniny

Pri vzájomnom pôsobení taveniny s okolitým prostredím dochádza k znečisteniu taveniny.

K znečisteniu môže dôjsť aj pri zabezpečení ochranných opatrení. Ide napríklad o zvyšky krycích a rafinačných solí, častice očkovačla a pod..

Stupeň znečistenia taveniny sa zvyšuje so zvýšením množstva menej kvalitných vstupných surovín (znečistené odpady, triesky, zvyšky sterov a pod.).

Taveninu možno ochrániť pomocou **trosiek a tavidiel, použitím inertných plynov alebo použitím prísad prvkov**, ktoré menia charakter pôsobenia taveniny s plynmi.

Ochrana taveniny sa dosahuje pomocou:

trosiek a tavidiel

použitím inertných plynov,

použitím prísad prvkov, ktoré majú charakter pôsobenia taveniny s plynmi.

Základné požiadavky na trosky a tavidlá sú:

nižšia teplota tavenia než je teplota tavenia zliatiny,

nižšia hustota než je hustota zliatiny,

nepriepustnosť plynov z okolitej atmosféry,

nízka hustota na začiatku tavenia a vysoká hustota po ukončení tavenia.

Pre prípravu taveniny sa v praxi používajú tavidla, ktoré možno podľa ich funkcie rozdeliť na:

Krycie tavidlá, ktoré vytvárajú súvislú vrstvu na hladine kovu.

Rafinačné tavidlá, v ktorých je požadovaná malá povrchová aktivita k tavenine.

Pri vysokej teplote by mali mať tavidlá dobrý účinok na zmáčavosť inklúzií v tavenine, avšak by nemali zmáčať taveninu.

Cieľom rafinačných postupov je:

odstránenie rozpustných kovových prímiesí,
odstránenie nerozpustných nekovových vmestkov,
zníženie obsahu plynov.

Odstránenie kovových rozpustných prímiesí

Kovové rozpustené nečistoty sú buď ušľachtilejšie, alebo menej ušľachtilé ako základný kov.

V prípade hliníka patria medzi menej ušľachtilé nečistoty Li, Na, Mg a K.

K nečistotám, ktoré sú ušľachtilejšie ako hliník možno zaradiť Fe, Mn, Si, Cu, Ni a pod.

V prípade medi menej ušľachtilé nečistoty sú Pb, Sn, Ni, Zn, Fe, Si, Cr a iné. Ušľachtilejšie ako meď sú Au, Ag a kovy platinovej skupiny.

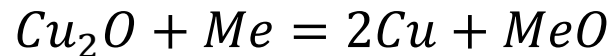
Rafináciu taveniny od kovových rozpustných prímiesí možno realizovať:

- oxidáciou,
- použitím špeciálnych rafinačných solí,
- odstátím taveniny,
- výdržou s následnou filtráciou alebo vákuovou destiláciou.

Rafinácia oxidáciou

Využíva sa na odstránenie prímiesí, ktoré majú vyššiu afinitu ku kyslíku ako má základný kov.

Typickým príkladom pri výrobe neželezných kovov je pyrometalurgická rafinácia medi od prímiesí. Oxidácia nečistôt sa uskutočňuje pomocou vzniknutého Cu_2O podľa reakcie:



Iný príklad je rafinácia surového olova od Sn, As, Sb.

Nemôže byť použitá pre rafináciu kovov, ktoré vytvárajú stabilné oxidy, ako napríklad hliník.

Rafinácia pomocou použitia rafinačných solí

Rafinačné soli musia rozpúšťať prímеси alebo s nimi chemicky reagovať a prevádzať ich do trosky.

Tento spôsob sa používa napr. pri odstránení horčíka z hliníkových zliatin.

Rafinácia odstátím taveniny (výdržou na teplote)

Pri tom sa vytvárajú zlúčeniny s vysokou teplotou tavenia a hustotou v porovnaní s hustotou základnej zliatiny a klesajú na dno panve.

Odstátie v prípade hliníkovej taveniny nemá výrazný vplyv na zníženie obsahu plynov alebo inklúzií v tavenine, preto sa nepoužíva.

Metóda vákuovej destilácie

Rovnováha v systéme je daná teplotou, tlakom a zložením.

Zložky zliatiny možno od seba oddeliť pri konštantnej teplote zmenou tlaku alebo pri konštantnom tlaku zmenou teploty.

Pri tomto spôsobe rafinácie sa na oddelenie kovov od seba využíva ich rozdielny bod varu, to znamená, že sa využíva v prípade rafinácie rozdiel medzi teplotou varu kovu kovu, ktorý chceme rafinovať a teplotami varu jeho prímiesí či nečistôt. Ako príklad možno uviesť rafináciu zinku od kadmia (kadmium má teplotu varu 767°C a zinok 906°C). Tiež sa používa na oddeľovanie ortuti z amalgámov.

Odstránenie nekovových nerozpustných inklúzií

Inklúzie vznikajú pri výrobnom procese kovu a sú jeho neoddeliteľnou súčasťou. Podľa pôvodu ich delíme na exogénne a endogénne.

Exogénne inklúzie vznikajú v priebehu tavenia a odlievania, a to reakciou s výmurovkou pece alebo s formou.

Ide o častice výmurovky, formovacích zmesí, trosky, tavidiel a pod.

Endogénne inklúzie vznikajú oxidáciou a chemickými reakciami medzi jednotlivými prvkami v samotné tavenine. Ide o oxidy, nitridy, boridy, karbidy, sulfidy, atď. Príkladom v Al tavenine môže byť Al_3C_4 , Al_2O_3 , AlN alebo AlB_2 .

Odstraňujú sa niekoľkými spôsobmi:

- odstátím
- prefukovaním aktívnymi a inertnými plynmi
- vákuovaním
- spracovaním troskou a tavidlami,
- filtráciou.

Filtrácia taveniny

Vysoký stupeň odstránenia inklúzií z taveniny možno dosiahnuť **filtráciou**.

K filtrácii taveniny sa používa mnoho druhov filtrov, ktoré sa odlišujú svojou konštrukciou, oblasťou použitia i filtračnou účinnosťou.

Z hľadiska tvaru sa delia do dvoch základných typov, oba tieto typy sa podstatne líšia mechanizmom filtrácie:

ploché filtre a
objemové filtre.

Podľa spôsobu výroby filtre delíme na:

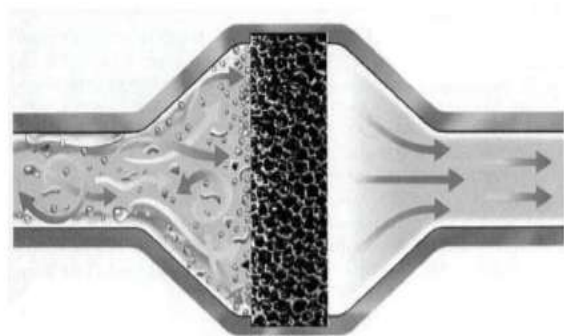
1. lisované
2. penové
3. Extrudované.

Typ materiálu filtra je odlišný pre rôzne kovy, odráža odlišné vlastnosti kovu.

Filtrácia zliatin železa je komplikovaná podstatne vyššími teplotami kovu a vyššími nárokmi na chovanie filtrov pri vysokých teplotách.



Ukážka filtrov používaných na filtráciu tavenín



Vplyv penového filtra na tok taveniny

Odstránenie plynov z taveniny

Hlavnou plynnou nečistotou v hliníku je vodík, v medi vodík a kyslík. Najväčší podiel na zvýšenom obsahu plynov v kovoch a zliatinách má vodík. V porovnaní so železom a meďou má hliník dosť nízku rozpustnosť vodíka.

Vodík

- prvok s najmenším atómovým priemerom, malý polomer atómu – ľahký pohyb difúziou v mriežke tuhých kovov
- jediný kov, ktorý môže do kovov difundovať i pri normálnej teplote okolia.

Pri ochladzovaní tekutého kovu dochádza k znižovaniu rozpustnosti vodíka.

V tuhom stave **pri T 660°C** - rozpustnosť vodíka v Al = **0,036 cm³/100g**,
V roztavenom kove pri rovnakej T je rozpustnosť **0,77 cm³/100g**.

Prekročenie medze rozpustnosti - vodík z taveniny uniká buď difúziou, alebo tvorbou plynových dutín = **endogénna bublinatosť** (napr. v odliatku).

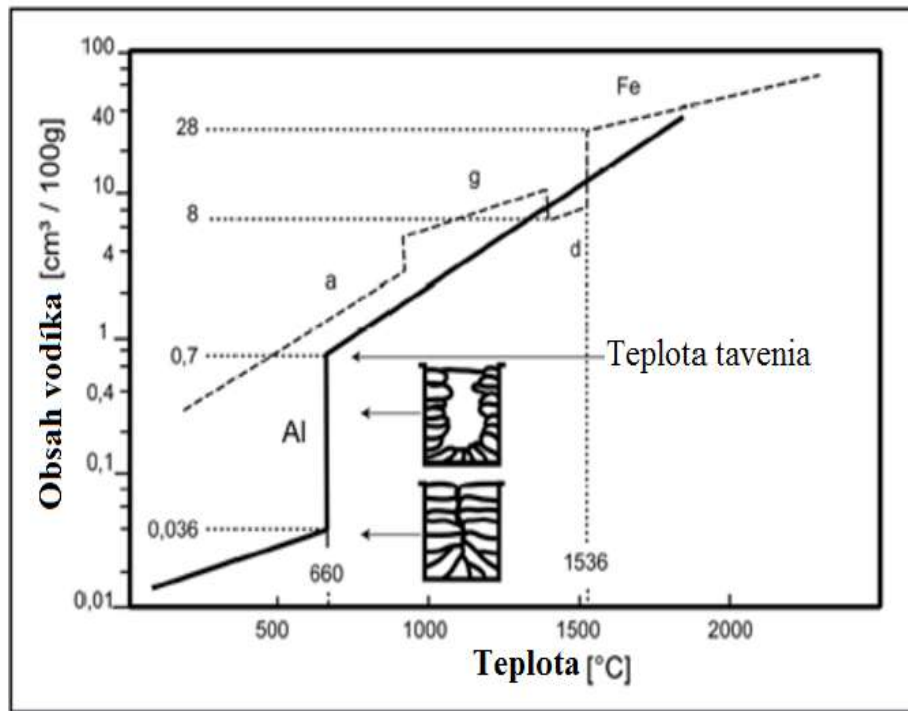
Množstvo vodíka rozpusteného v kove ~ rýchlosť ochladzovania.

Dôležitý faktor - teplota roztaveného kovu.

So \uparrow teplotou sa rozpustnosť zvyšuje.

Nízka teplota - obmedzuje pohlcovanie plynov na najnižšiu mieru, dáva kovu lepšiu pevnosť a ťažnosť.

Presýtený tuhý roztok – stav, keď je v tuhom kove rozpustené väčšie množstvo vodíka, než odpovedá rovnovážnej hodnote rozpustnosti



Rozpustnosť vodíka v železe a hliníku v závislosti od teploty

Odplynenie taveniny

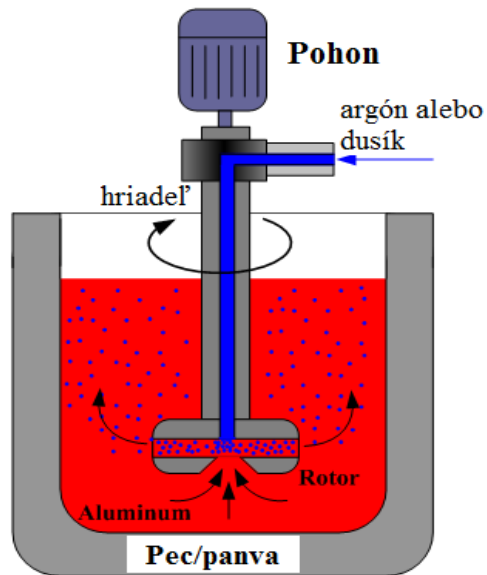
- je proces, pri ktorom dochádza k odstraňovaniu plynov rozpustených v tavenine, ktoré sa pri tuhnutí odliatok môžu vylúčiť
- Spôsoby znižovania obsahu plynov v kovoch sú založené na rozdieli tlaku plynu v tavenine a v od-plyňujúcom prostredí alebo v zmene rozpustnosti plynu s klesajúcou teplotou

Spôsoby odplynenia sú:

- prefukovanie taveniny inertnými alebo aktívnymi plynmi,
- spracovanie taveniny pomocou solí,
- výdrž taveniny v atmosfére inertných plynov alebo vo vákuu,
- použitie prísad určitých prvkov,
- zmrazenie a rýchle ohriatie,
- použitie rôznych fyzikálnych prostriedkov (vibrácie, ultrazvuk a jednosmerný prúd).

Na účely odplynenia sa používajú plyny: argón, dusík, chlór a zmes dusíka a argónu s chlórom.

Cieľom odplynenia nie je úplne odstrániť rozpustený plyn, ale znížiť jeho koncentráciu pod kritickú hodnotu.



Princíp odstraňovania plynov používaný pre rafináciu hliníkovej taveniny

Vákuová rafinácia sa v súčasnosti využíva pri rafinácii ocelí.

Mimopecné vákuové spracovanie oceli umožňuje v tekutej oceli:

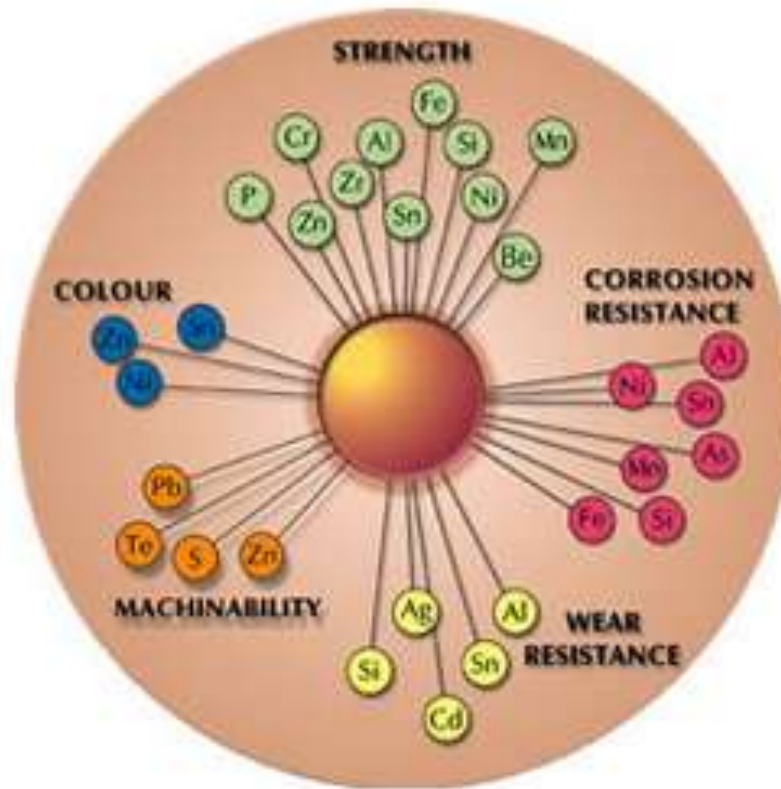
- znížiť obsah vodíka a dusíka,
- hlboko oceľ oduhličiť,
- dezoxidovať oceľ,
- oceľ dolegovať na požadovanú značku,
- modifikovať nekovové vmestky v oceli.

Priaznivé účinky vákuovania oceli spočívajú predovšetkým v **znížení obsahu plynov** rozpustených v oceli a **v ovplyvňovaní priebehu uhlíkovej reakcie**, ktorej produktom je plynná fáza – oxid uhoľnatý.

Prednáška 5.

Meď a jej zliatiny.

Med' a zliatiny medi



Med' a jej zliatiny s cínom – cínové bronzy – patria k najstarším kovovým materiálom

Med' a jej zliatiny – veľmi dobre **tvárniteľné za studena** i za tepla i pri záporných T

- odolné voči atmosférickej korózii
- dobre sa obrábajú, zvarajú, spájajú
- recyklovateľné

½ medi na medené výrobky

½ medi na zliatiny,

Čistá vyžihaná Cu - vodivostný štandard 100% IACS (International Annealed Copper Standard)

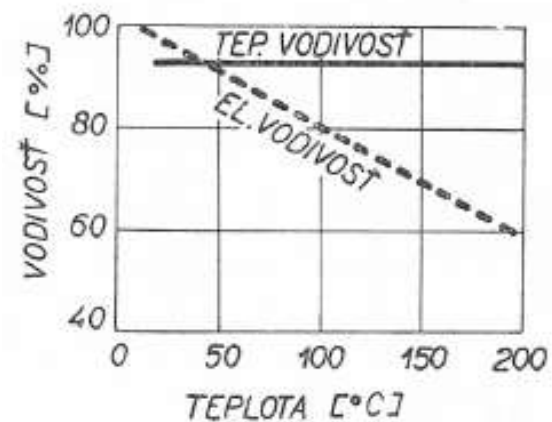
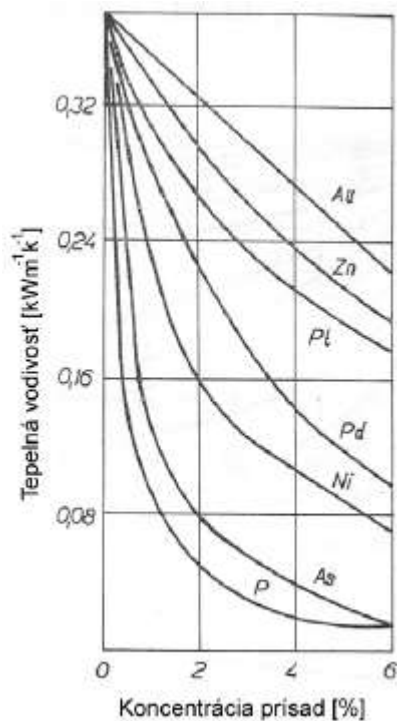
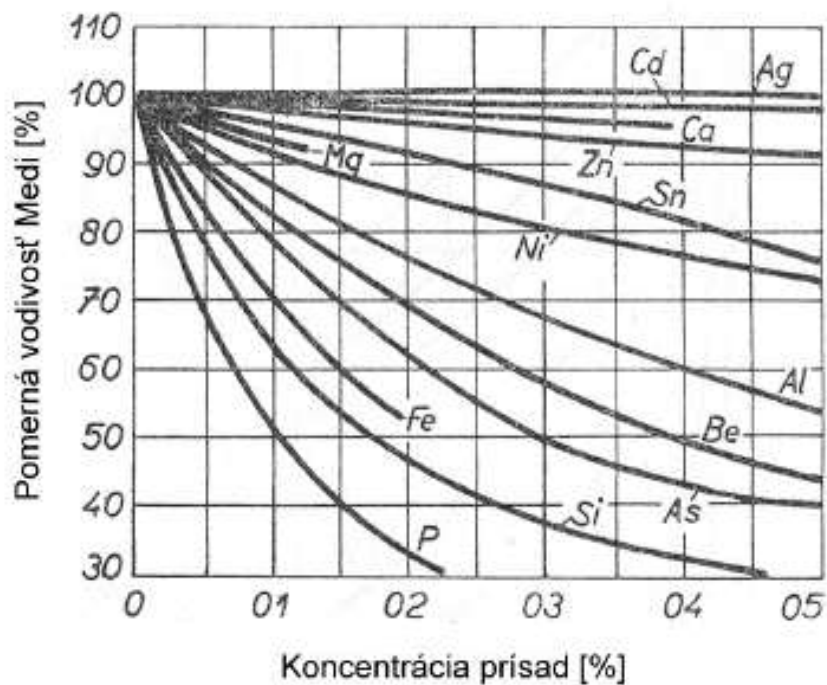
Podľa použitia sa meď delí do týchto skupín:

- a) meď elektrovodná, čistoty **Cu 99,9** (max obsah nečistôt 0,1%).
- b) meď zvlášť vhodná na zváranie, čistoty **Cu 99,85** (maximálny obsah nečistôt 0,15%, z toho kyslíka max 0,02%).
- c) meď vhodná na zváranie, čistoty **Cu 99,75** (maximálny obsah nečistôt 0,25%, z toho kyslíka max 0,04 %).
- d) meď bežnej akosti, čistoty **Cu 99,5** (maximálny obsah nečistôt 0,5%, z toho kyslíka max. 0,1%).

Na zváranie sa odporúča meď s nízkym obsahom kyslíka.

Označenie		Chemické zloženie (%)			Pevnosť v ťahu (MPa)	Tvrdosť (HB)
hutnícke	STN	Cu	O ₂	Nečistoty		
Technická meď					Žihavý stav	
Cu 99,9	423001	99,9	0,06	0,1	200	40-65
Cu 99,85	423003	99,85	0,02	0,15	210	40-65
Cu 99,75	423004	99,75	0,04	0,25	210	40-65
Cu 99,5	423005	99,5	0,10	0,5	210	40-65

Vplyv prísad na vodivosť medi



Najvýznamnejšie zníženie vodivosti spôsobuje P a As.

Med' elektrovodná: 99,9% (max. obsah nečistôt 0,1%)

Špeciálne zliatiny pre elektrotechnický priemysel

Čistá meď má síce vynikajúcu elektrickú vodivosť, ale mechanické vlastnosti sú pomerne nízke a aj obrábateľnosť je slabšia. V prípade tvárnenia za studena sa uvedené vlastnosti síce zlepšia, ale materiál je použiteľný len do 200°C, lebo podľa druhu nečistôt Cu rekryštalizuje pri nízkych teplotách 200-300°C.

Preto sa vyvinuli zliatiny Cu s dobrou el. vodivosťou i dobrými mechamickými vlastnosťami. Obsah prísad je v elektrovodných zliatinách veľmi nízky, lebo prísady znižujú el. vodivosť.

Zliatina	Obrobiteľnosť v porovnaní s mosadzou Ms 58 = 100%	Elektrická vodivosť v porovnaní s Cu 99,9% = 100%
Ms 58	100	25
CuTe	90	90
CuNiSi*	30 – 35	35
CuCoBe*	30 – 35	35
CuCr*	25 – 30	85
CuCrZr*	25 – 30	80
CuMg _{0,4}	20 – 25	62
CuCd _{0,7}		80
CuAg		95
CuZr*		90
Cu _{99,9}		100

* vo vytvrdenom stave

Prísady v elektrovodných zliatinách

Najpoužívanejšie: Cd, Cr, Ag, Te, Zr. Zvyšujú rekryštalizačnú T medi a tak rozširujú jej použiteľnosť do vyšších teplôt, keď je med' spevnená tvárnením za studena.

Vlastnosti mnohých zliatin možno ešte zlepšovať precipitačným vytvrdením.

Med' – kadmium (do 0,7% Cd): zvyšuje pevnosť, tvrdosť a zlepšuje vl. za tepla.

Použitie: troleje, diaľkové vodiče pre el. energiu, pre telefónne spojenie.

Med' – zirkón (do 0,15% Zr): po vytvrdení vysoká el. vodivosť.

Elektródy zvaracích strojov, lamely komutátorov...

Med' – chróm: precipitačným vytvrdením sa získa vysoká el. vodivosť a tvrdosť.

Elektródy, kontakty, pružiny.

Med' – striebro: el. vodivosť sa nemení, Ag zvyšuje rekryštalizačnú teplotu.

Komutátor, súčiastky el. strojov.

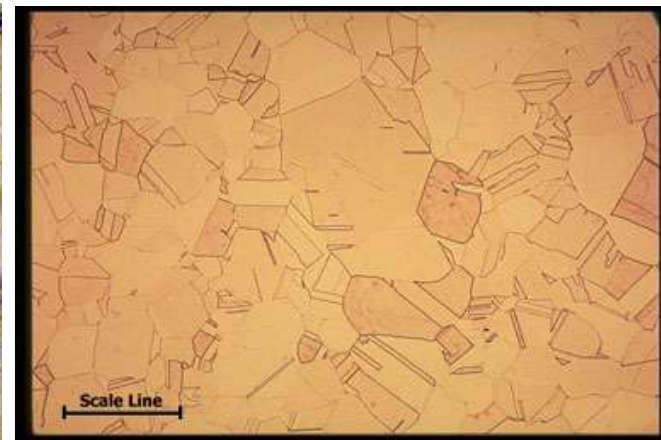
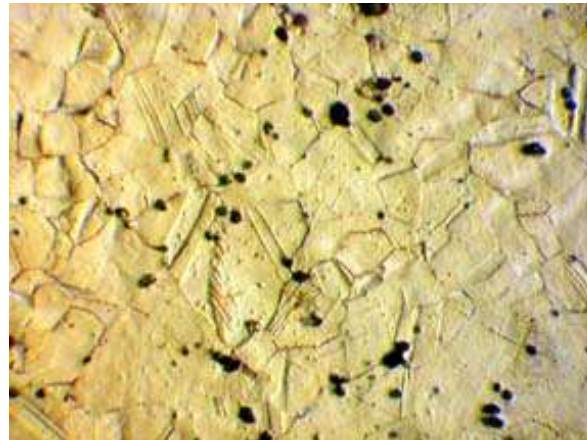
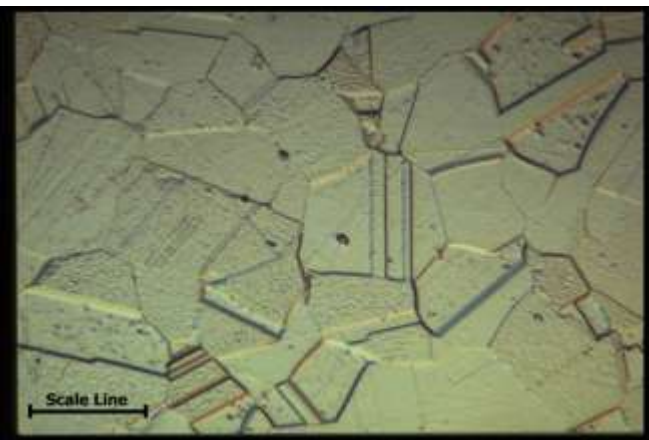
Med' – telúr: Te zvyšuje obrobiteľnosť Cu pri nepodstatnom znížení el. vodivosti.

Vznik rovnomerných globulárnych krehkých častíc v matrici – vznik krátkej triesky.

Jemné súčiastky pre elektrotechnický priemysel.

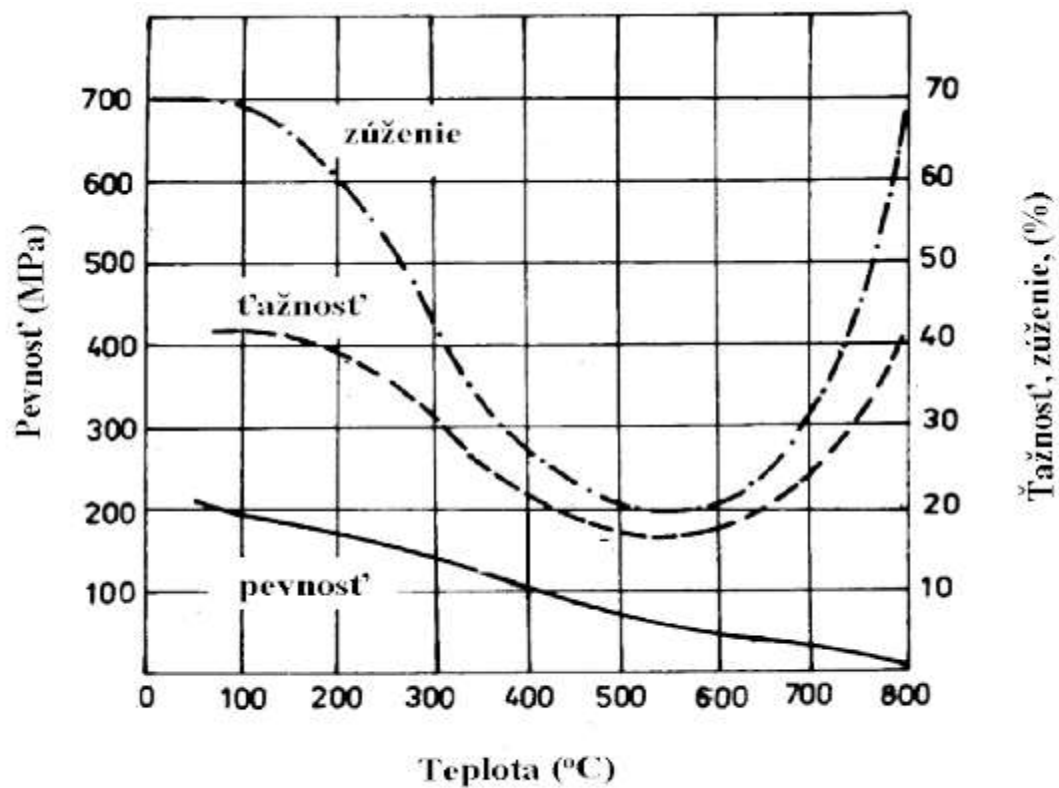
Meď patrí **medzi najtvárnejšie kovy** a možno ju **tvárniť za studena** s veľkými redukciami.

Plastická deformácia spôsobuje **dvojčatenie medi**. Dôsledkom je typická štruktúra s mnohými dvojčatami. (*Kovy s najväčšou plasticitou s K12 – sklon k dvojčateniu*)



Tvárním za studena sa mechanické vlastnosti mierne zvyšujú (Cu v liatom stave má pevnosť 160 MPa a v stave po valcovaní 220 MPa)

S rastom T pevnostné i plastické vlastnosti **klesajú**, pričom **minimálne hodnoty sú v intervale 400 až 500°C**. Preto sa meď **tvárni za studena**, alebo pri vyšších T 800-900°C.



Obr.2.-1 Vlastnosti medi pri zvýšených teplotách

Vplyv prímiesí na vlastnosti medi

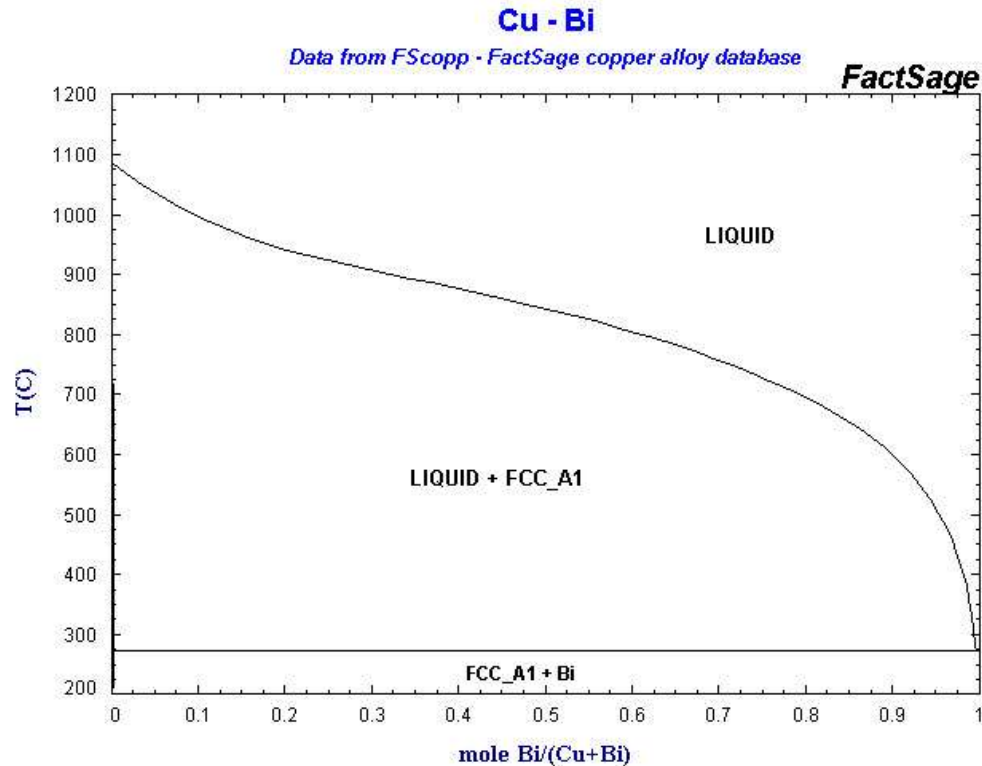
Najškodlivejšími nečistotami v medi sú **bizmut** a **olovo**.

Bizmut – v tuhom stave sa v medi prakticky nerozpúšťa.

V prípade tvárnenia pri vyšších teplotách sa bizmut taví ($T_{\text{tav}} 270^{\circ}\text{C}$), a preto sa med' porušuje.

Krehkosť pri vyššej teplote spôsobuje už minoritné množstvo bizmutu, preto jeho prípustný obsah podľa normy je 0,01%, resp. **0,001%**.

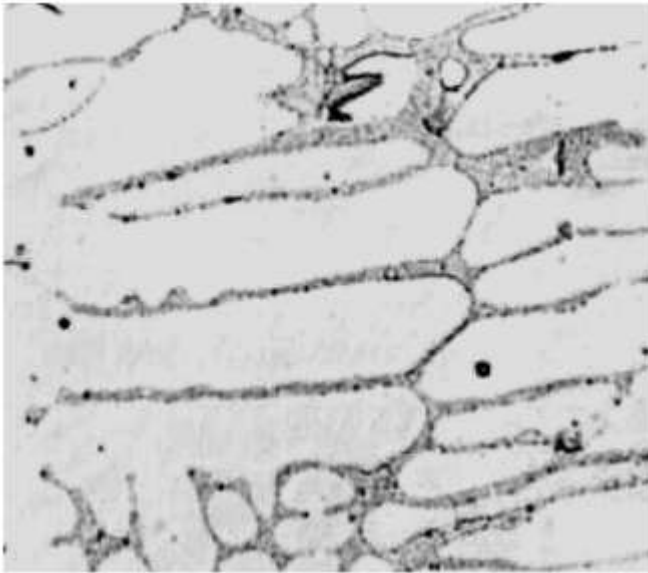
Olovo – podobný vplyv, ale miernejší, asi 10 krát menší v porovnaní s bizmutom.



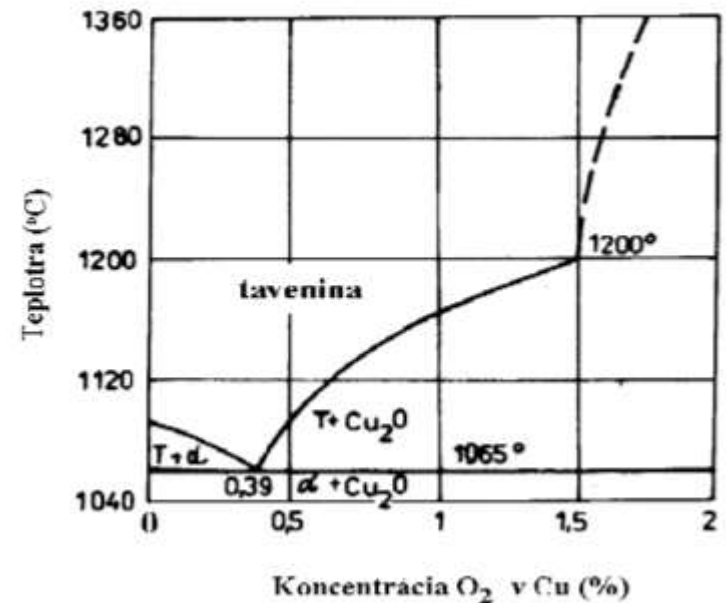
Kyslík – dostáva sa do medi pri jej výrobe a je obvyklou sprievodnou nečistotou. Kyslík sa v medi nerozpúšťa a tvorí eutektikum (Cu+Cu₂O) pri teplote 1065°C a koncentrácii kyslíka 0,39%.

Vzhľadom na to, že eutektická teplota sa nachádza pri vyššej teplote ako je bežná teplota tvárnenia za tepla, jej prítomnosť v malom množstve v podobe eutektika na hraniciach zŕn nevyvoláva krehkosť za tepla, ako v prípade Bi, Pb.

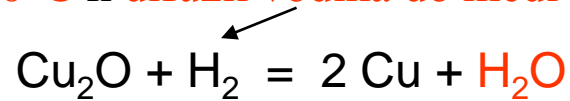
Ale už 0,06% kyslíka spôsobuje krehnutie medi za studena. Obsah je preto limitovaný na 0,03 – 0,05%.



Štruktúra liatej medi, 0,06% kyslíka



Vodík – v prípade pôsobenia atmosféry obsahujúcej vodík alebo uhľovodíky na meď, dochádza pri teplote nad 400°C k difúzii vodíka do medi a nastáva reakcia



Vodná para nemôže difundovať v medi, zhromažďuje sa v mikropóroch a výrazne zvyšuje svoj tlak za vzniku trhlín. Ide o vodíkovú nemoc.

Síra – vytvára s meďou eutektikum pri teplote 1067°C a pôsobí na meď podobne ako kyslík, ale podstatne miernejšie.

Fosfor – požíva sa ako dezoxidačná prísada (po dezoxidácii jeho obsah má byť 0,04%). So stúpajúcim obsahom fosforu klesá elektrická i tepelná vodivosť.

Kremík a železo – ostávajú v medi z procesu jej výroby v malom množstve, ktoré je neškodné.

Napr. do 0,2% neovplyvňuje mechanické vlastnosti, ale elektrická vodivosť pri tomto obsahu klesá až na 50%.

Tepelné spracovanie medi a jej zliatin

Cu nie je polymorfná – možnosti TS sú **obmedzené**

TS medi:

- **rekryštalizačné žíhanie** pri 340 až 450°C/1hod/vzduch

TS zliatin medi:

- **rekryštalizačné žíhanie** pri 425-600°C
- žíhanie **na zníženie vnútorných pnutí** pri 250-300°C pri mosadziach
- **vytvrdzovanie** sa používa pre bronzy hliníkové, nikelkremíkové, nikelcínové a predovšetkým **berýliové**.

Skladá sa z rozpúšťacieho **ohrevu** pri 700 až 900°C/až 5h podľa druhu zliatiny - **ochladzovanie vo vode s následným umelým starnutím** pri 270-450°C - dochádza k vylúčeniu jemných precipitátov

ZLIATINY MEDI

1. pre tvárnenie

2. na odlievanie

Štruktúra:

Homogénne zliatiny (jednofázové) – **tuhý roztok α**

Heterogénne zliatiny (o vyššej pevnosti) – **tuhý roztok α + krehké fázy** (krehké fázy sú väčšinou elektrónové zlúčeniny).

Najrozšírenejšie sú **mosadze** a **bronzy**.

*Medené zliatiny sú prevažne **jednofázové zliatiny** – tuhé roztoky legujúcich prvkov v Cu.*

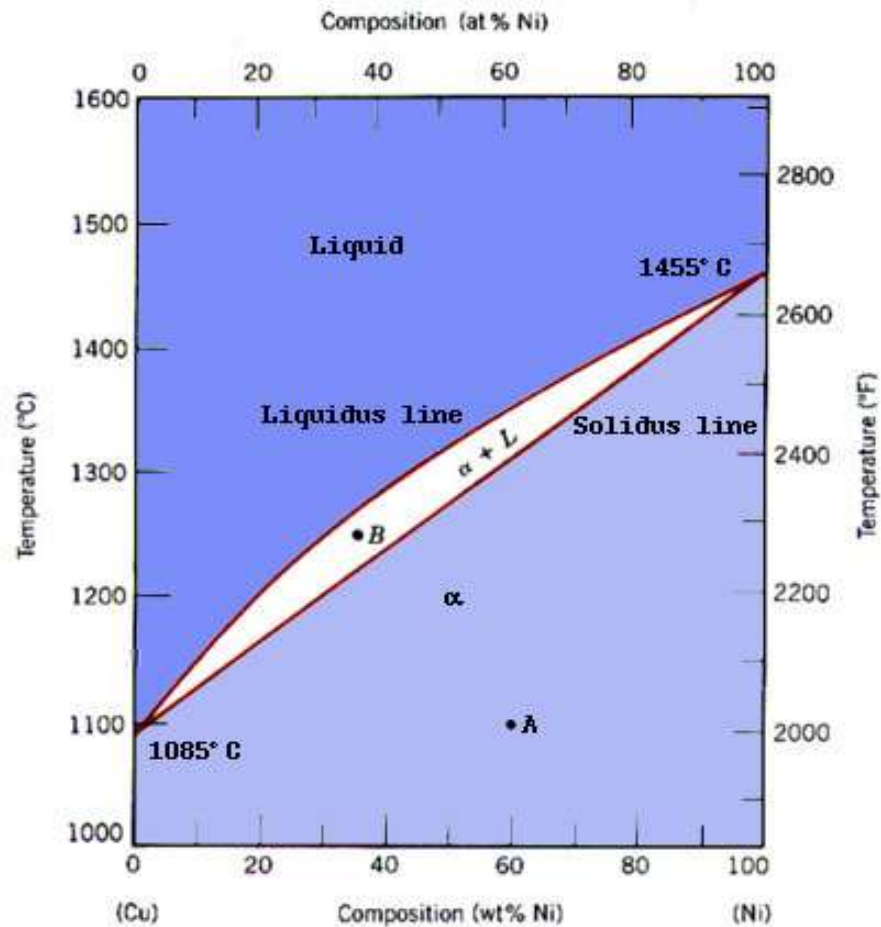
Rozpustnosť mnohých legúr v medi býva často vysoká:

*napr. **niklu** 100%,*

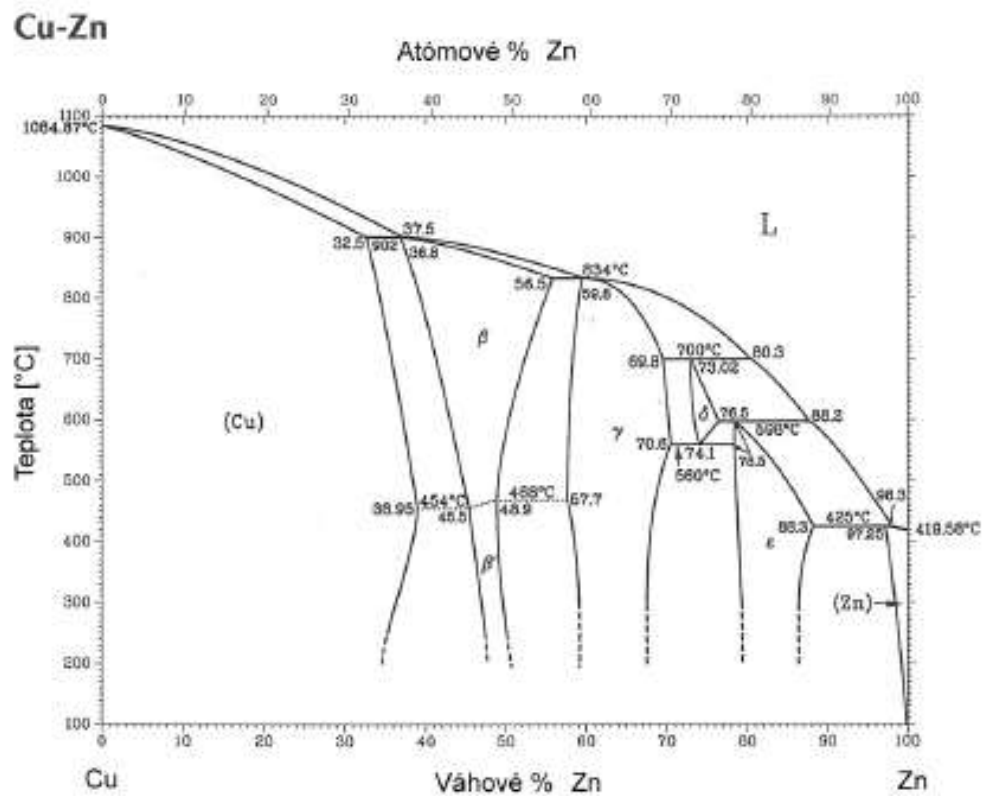
zinku 32%,

cínu 10%

hliníka 7%



Zliatiny na báze Cu-Zn



Kovy sú v (l) stave dokonale rozpustné, v (s) stave je rozpustnosť oboch kovov obmedzená.

Maximálna rozpustnosť zinku je pri $T = 454^{\circ}\text{C}$ – rozpúšťa sa 38% Zn, pri ďalšom znižovaní T rozpustnosť opäť klesá, ale táto zmena rozpustnosti nemá prakticky význam, lebo difúzna schopnosť pri týchto teplotách je už tak malá, že nedochádza k rozpadu presýteného tuhého roztoku α a pri rýchlom ochladení mosadze sa udrží toto množstvo Zn v metastabilnom tuhom roztoku.

Rovnovážny obsah Zn pri teplote okolia je 32%.

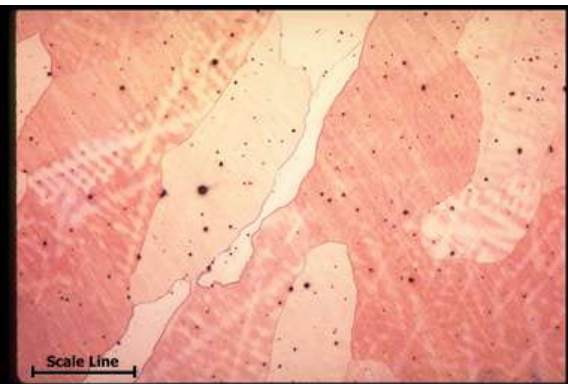
Označenie		Chemické zloženie (%)			Pevnosť v ťahu (MPa)	Tvrdosť (HB)
hutnícke	STN					
Mosadze		Cu	Zn	Legúry	Žíhaný stav	
Cu90Zn	423201	88-91	zvyšok	-	240	55-70
Cu80Zn	423203	79-81	zvyšok	-	260	55-75
Cu70Zn	423210	69-72	zvyšok	-	280	60-85
Cu63Zn	423213	62-65	zvyšok	-	290	60-90
Cu58ZnPb	423223	56-59	zvyšok	Pb 1-3	430	100-130
Cu65ZnNi	423256	63-66	zvyšok	Ni 13-16	350	80-100

Homogénne zliatiny α - mosadze

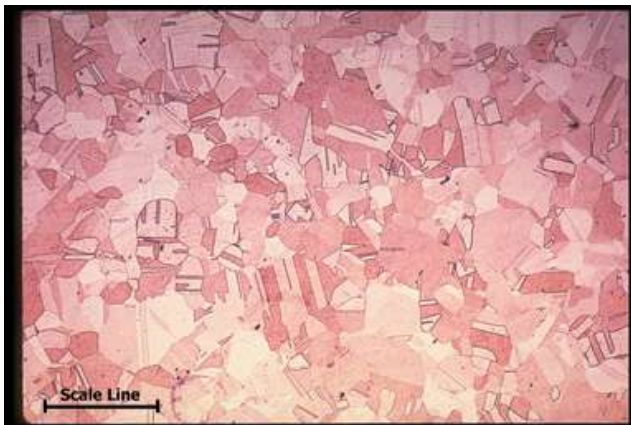
Tuhý roztok α – je substitučný tuhý roztok Zn v Cu s K12 mriežkou.

Štruktúra α – mosadze v **liatom stave** je dendritická.

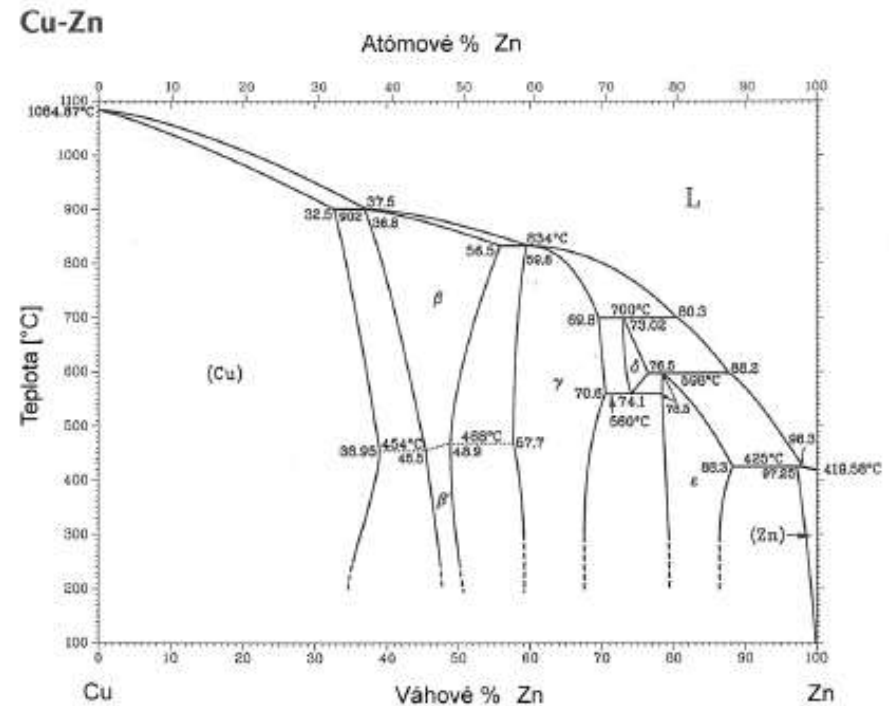
Po tvárení s následným rekryštalizačným žíhaním sa mení na polyedrickú štruktúru s dvojčatami. Tieto mosadze majú pri T 300-700°C zhoršenú tvárnosť, podobne ako čistá Cu, preto sa **obvykle tvárnia za studena**.



Liaty stav



Tvárnená α - mosadz po žíhaní



Heterogénne zliatiny

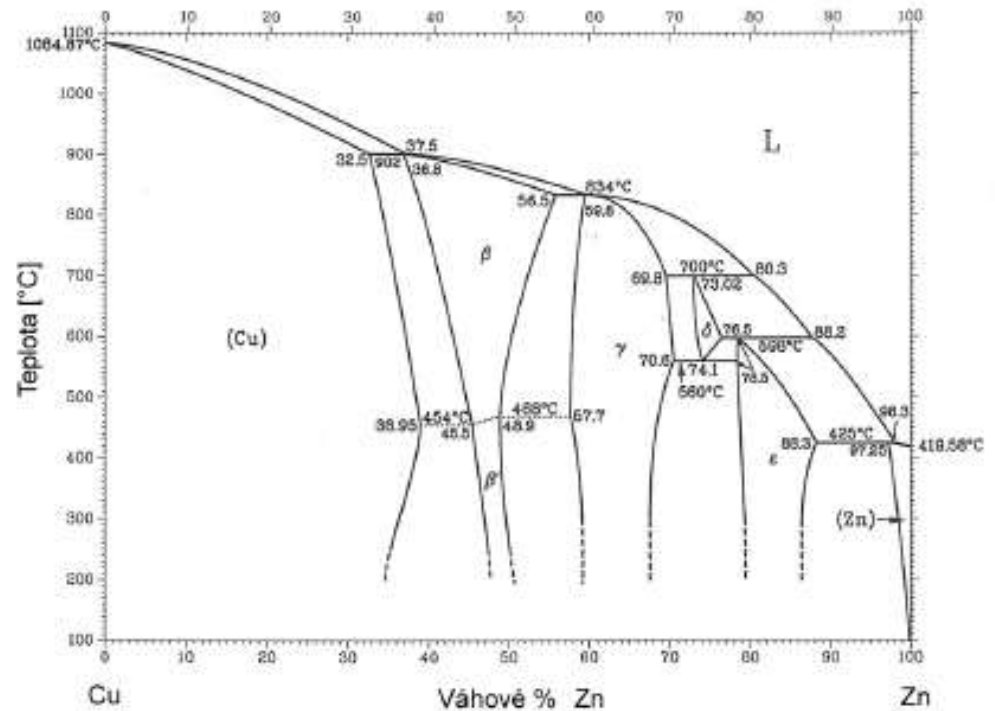
Zliatiny s vyšším obsahom **Zn od 36 do 56%** obsahujú po primárnej kryštalizácii neusporiadanú fázu β , ktorá pri teplote 454-468°C sa mení na usporiadanú fázu β' . Po ďalšom ochladzovaní sa táto fáza nemení.

Podľa obsahu Zn sú zliatiny:

buď heterogénne ($\alpha + \beta'$), alebo homogénne s fázou β' , alebo heterogénne ($\beta' + \gamma$).



Štruktúra dvojfázovej mosadze $\alpha + \beta'$ v [

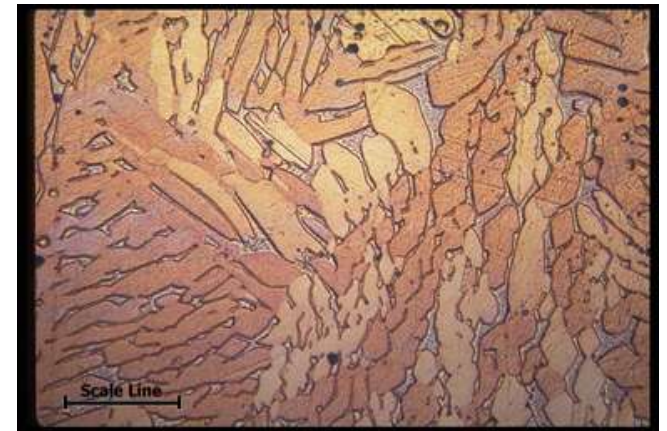


Prísada 1-2 hm% Pb zlepšuje obrábiteľnosť.

AUTOMATOVÉ MOSADZE

Obsah Cu asi 60%, **prísada Pb** – **zlepšuje obrábiteľnosť** tým, že Pb priaznivo pôsobí na tvorbu krátkej triesky pri obrábaní. Zliatiny sa používajú na obrábanie na automatoch. Dobré sa môžu kovať a lisovať za tepla, za studena menej, dobre sa razia – razenie súčiastok pre hodinárstvo – **ozubené kolieska** a pod.

V súčasnosti je snaha ich nahrádzať Al-**Mg** zliatinou.



Mikroštruktúra automatovej $\alpha + \beta'$ mosadze

Charakteristika jednotlivých fáz

- Fáza α - tuhý roztok, mřížka K12, fáza je poměrně měkká, značně tvárná, ale při tvárnutí za tepla velmi citlivá na nečistoty
- Fáza β - neuspořádaná fáze - elektronová zlúčenina $\text{CuZn}_{3/2}$, mřížka K8, má dobrou tvárnost aj pri zvýšených teplotách v oblasti fáze β alebo ($\alpha + \beta$)
- Fáza β' - uspořádaná fáze, křehká
- Fáza γ - elektronová zlúčenina $\text{Cu}_5\text{Zn}_8(21/13)$, mřížka kubická zložitá
- Fáza ε - elektronová zlúčenina $\text{CuZn}_3(7/4)$, mřížka hexagonálna s tesným uspořádaním
- Fáza θ, μ - tuhé roztoky

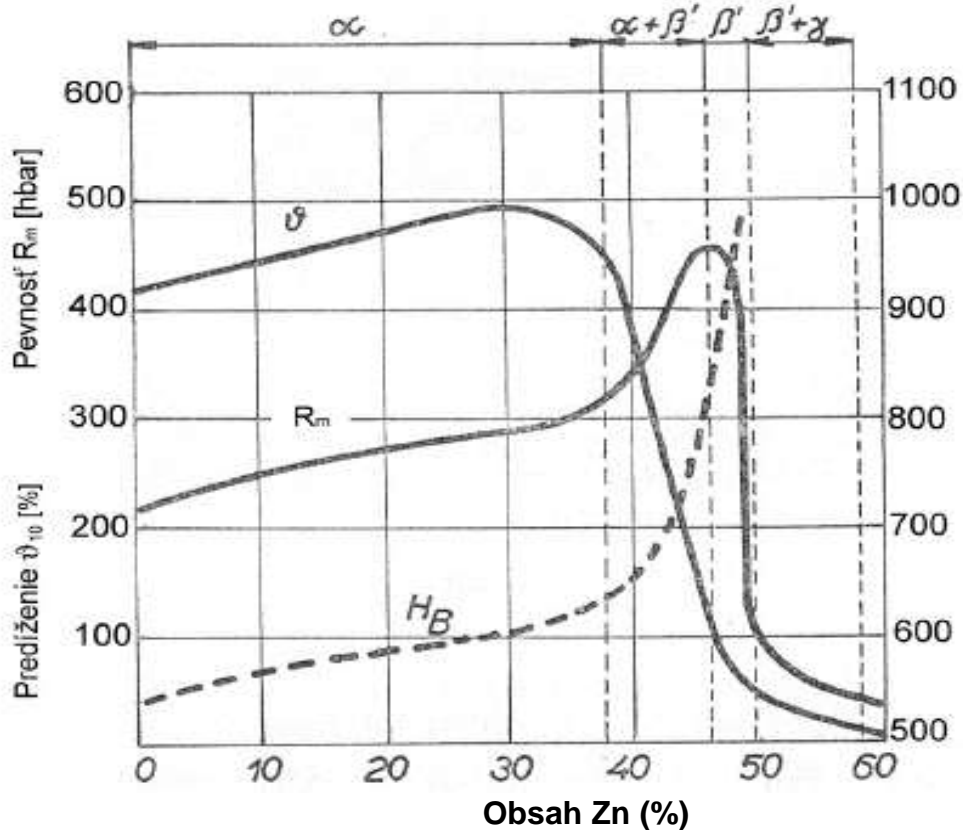
MOSADZE PRE TVÁRNENIE

Tvoria prevažnú časť výroby.

Obsah Zn: 5-42% - **homogénne** i **heterogénne**.

Mosadze Ms (napr. Ms96, Ms90)

Mechanické vlastnosti sa prísadou Zn zlepšujú (obr.)



Mechanické vlastnosti mosadzí

Tombaky – Cu viac ako 80%.
Majú dobrú tvárnosť, aj odolnosť voči korózii (plechy a pásy).
Použitie: v elektrotechnike, súčiastky prístrojov, membrány, sitá,....

Mosadze – Cu 68-70%, majú najlepšiu ťažnosť (hlboké ťahanie) – nábojnice, hudobné nástroje

MOSADZE NA ODLIEVANIE

Obsah Cu: 58-63% - heterogénne mosadze

Teplotný interval kryštalizácie je malý – dobrá zabiehavosť a malý sklon k segregácii.

Majú však veľké zmraštenie, sú náchylné na tvorbu dutín a vznik sťažení.

Odlievanie: do piesku a do kokily

Použitie: pre menej namáhané súčiastky.

Súčiastky čerpadiel, plynovodov a vodovodov, stavebné a nábytkové kovania, ozubené kolesá a pod.

ZVLÁŠTNE MOSADZE

S prídavkom **Al, Mn, Sn, Si, Ni**.

Pre tvárnenie i odlievanie. *Zlepšujú mechanické* a iné vlastnosti.

Prísady sa rozpúšťajú v homogénnom tuhom roztoku a buď zužujú alebo rozširujú jeho oblasť

Hliníkové (3-3,5% Al) - zlepšenie mechanických vlastnosti.

Armatúry, kondenzátorové cievky.

Cínové (do 2,5%Sn)- Sn zužuje oblasť tuhého roztoku α , zlepšuje mechanické vlastnosti, odolnosť proti korózii, výborné akustické vlastnosti.

Výroba hudobných nástrojov, plechy a profily pre námorné lode.

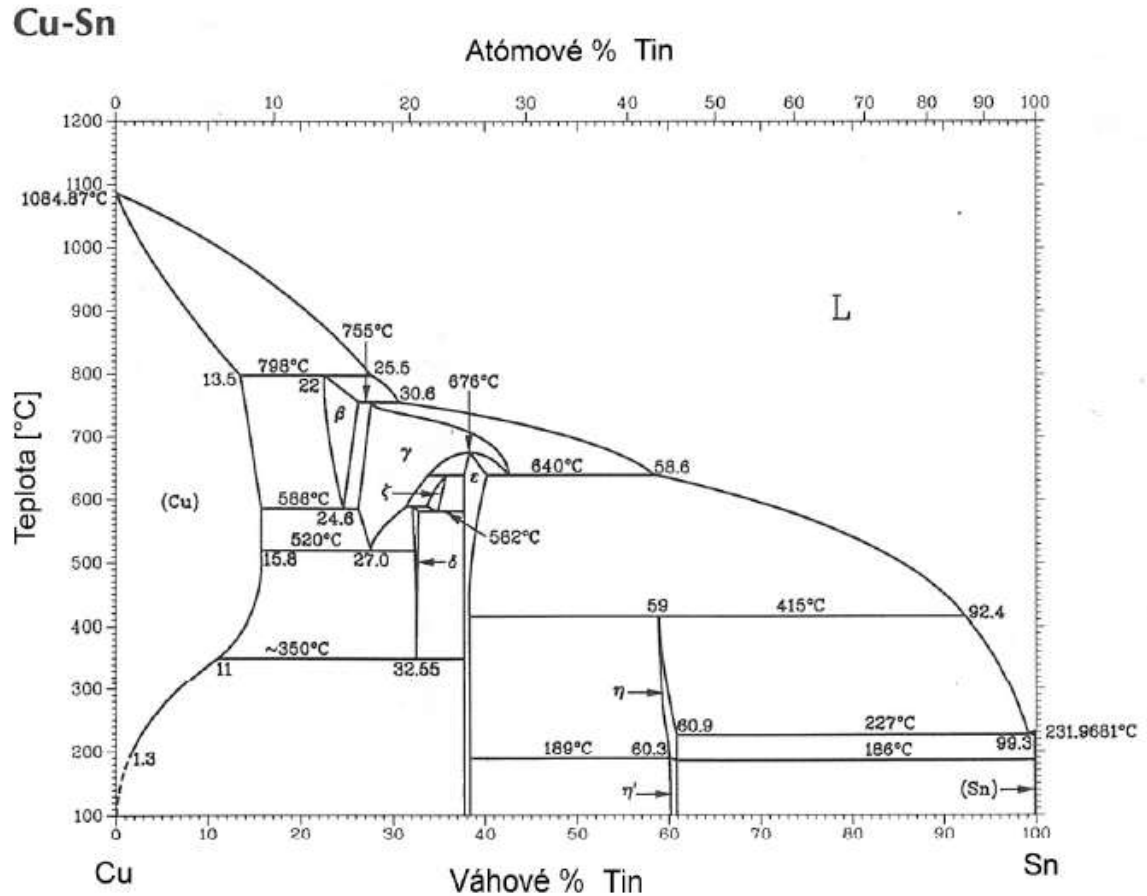
Mangánové (3-5% Mn)– Mn rozširuje oblasť α , zvyšuje pevnosť, tvrdosť, koróznou odolnosť. Ventilové sedlá, vysokotlakové rúrky (*značne namáhané časti armatúr*).

Niklové (8 až 20% Ni)– zlepšenie mech. vl. a zvlášť *výrazné zlepšenie koróznej odolnosti*.

Použitie: jemná mechanika, lekárske prístroje, pružinový materiál.

Úžitkové a ozdobné predmety - *alpaka, pakfong*.

Zliatiny na báze Cu-Sn (cínové bronzy)

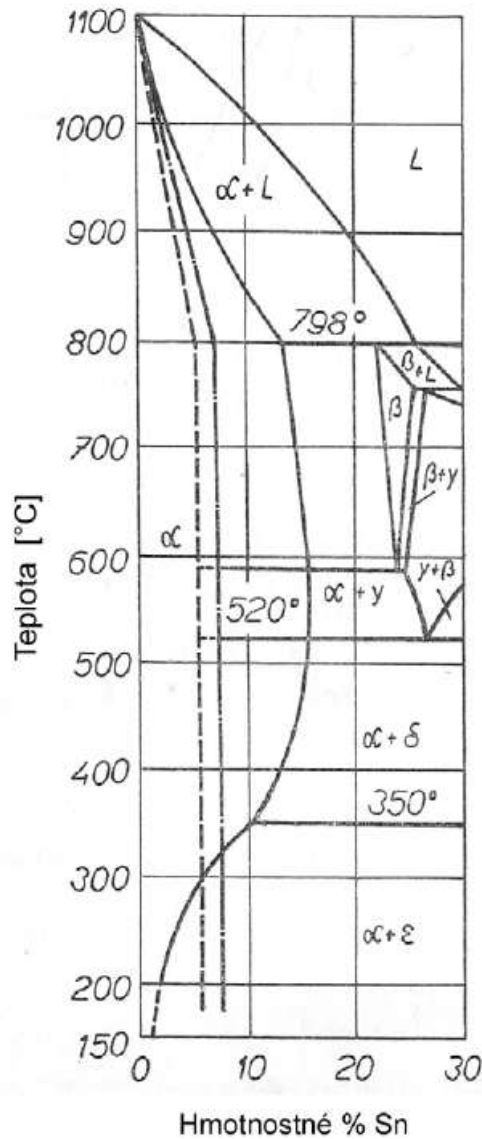


Veľké rozmedzie tuhnutia – nastáva silná segregácia Sn pri tuhnutí a nízka rýchľ. difúzie Sn pri nižších T.

Dobré zlievarenské vlastnosti – malé zmrštenie

Zlé zlievarenské vlastnosti – v dôsledku širokého intervalu tuhnutia - menšia zabiehavosť a väčší sklon k vzniku dendritickej segregácii.

Označenie		Chemické zloženie (%)			Pevnosť v ťahu (MPa)	Tvrdosť (HB)
hutnícke	STN					
Cínové bronzy		Cu	Sn	Legúry	Žíhaný stav	
CuSn1	423011	zvyšok	0,8-2	-	240	60-80
CuSn6	423016	zvyšok	5-7	-	350	70-90
CuSn8	423018	zvyšok	7-9	-	380	80-100
Hliníkové bronzy		Cu	Al	Legúry	Žíhaný stav	
CuAl5	423042	zvyšok	4-6	-	380	70-110
CuAl9Mn2	423044	zvyšok	7-9	Mn 1-3	480	140-160
Niklové bronzy		Cu	Ni	Legúry	Žíhaný stav	
CuNi30	423064	zvyšok	27-31	Mn 27-31	350	70-90



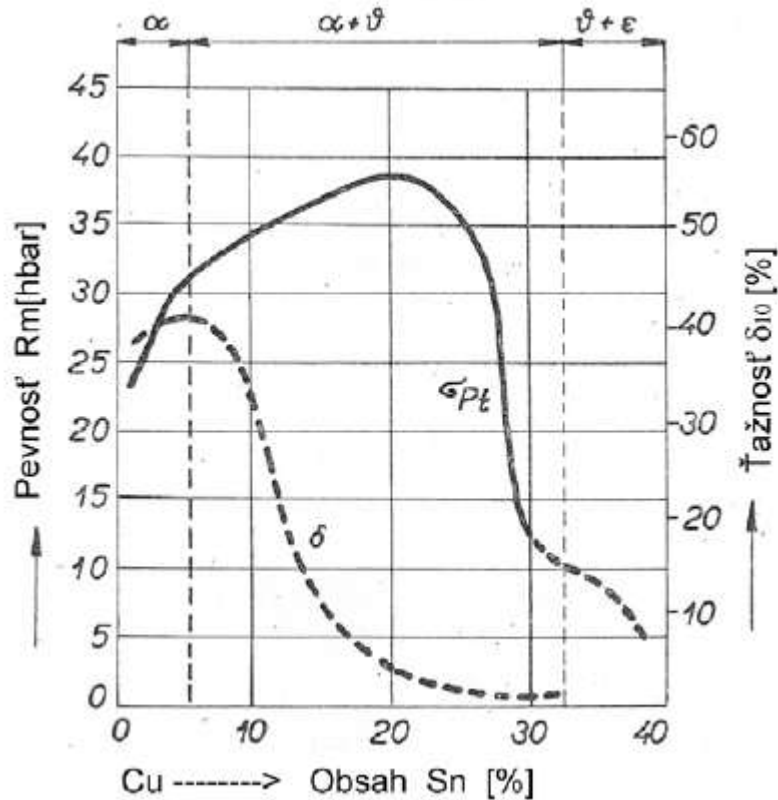
Vplyvom zmeny rýchlosti ochladzovania (do piesku a do kokily) sa môže zmeniť diagram na pseudorovnovážny, t.j. **oblasť α sa posunie k nižším koncentráciám Sn.**

Podľa štruktúry:

- **Homogénne:** tuhý roztok α (do 5% Sn)
- **Heterogénne:** α + eutektoid

Štruktúra dendritická, po tvárnení a žíhaní polyedrická.

Vplyv rýchlosti ochladzovania na oblasť α



Zvyšovaním obsahu Sn v homogénnej oblasti – sa zvyšuje ťažnosť. Keď však pribudne eutektoid, ťažnosť prudko klesá.

Pevnosť neustále stúpa až do 20%Sn – potom klesá v dôsledku zvýšeného podielu krehkej fázy.

Delenie cínových bronzov:

- na tvárnenie (do 9%Sn)
- na odlievanie (väčšinou 10-12%)

Vplyv cínu na mechanické vl. Cu-Sn zliatin

Cínové bronzy na tvárnenie

Sú to väčšinou **homogénne bronzy**.

Klzné ložiská, pružiny pracujúce v koróznom prostredí

Cínové bronzy na odlievanie

Sú to väčšinou **heterogénne zliatiny**.

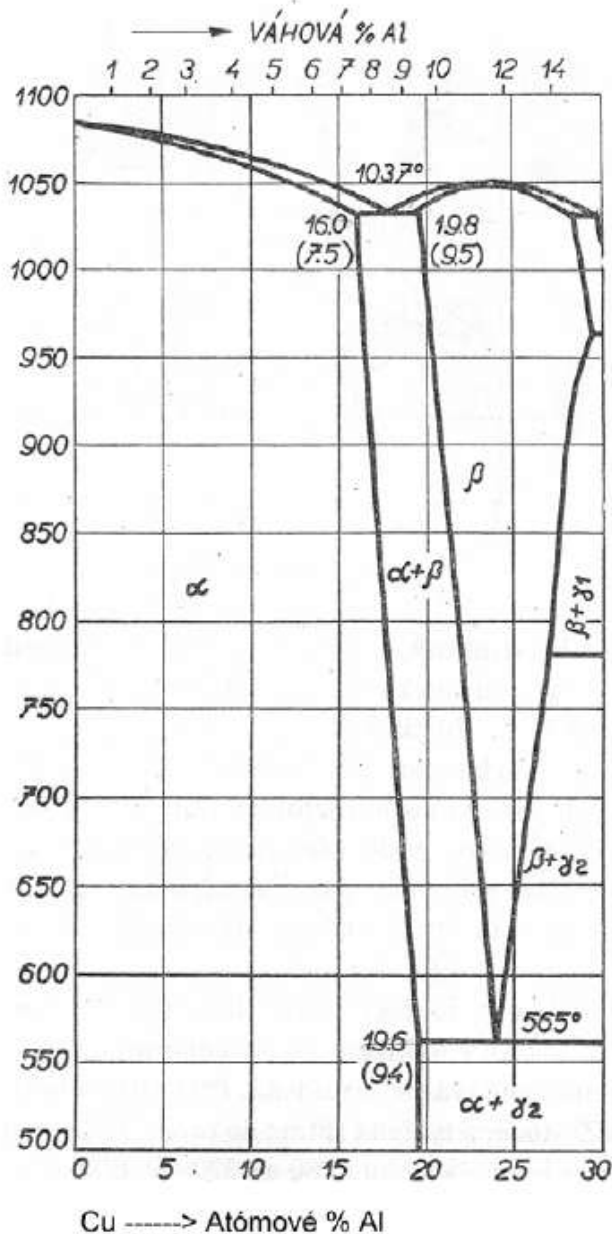
- 11-12% Sn – delovina (v minulosti na výrobu zbraní)
 - 14-16% Sn – silne namáhané súčiastky
 - 20-22% Sn – zvonovina – pre odlievanie zvonov
 - 30-33% Sn – zrkadlovina – na výrobu optických zrkadiel
-
- Umelecký bronz (sochársky): jeho zloženie sa oproti minulosti zmenilo k nižším hladinám prísad a to: cca **6% Sn**, 5% Zn, 1% Pb, zvyšok Cu.

Zvláštne bronzy

Majú úplne alebo čiastočne nahradený Sn inými prvkami.

- červené bronzy Cu-Sn-Zn (armatúry, súčiastky čerpadiel, ložiskové puzdrá,...)
- hliníkové bronzy
- kremíkové bronzy
- fosforový bronz
- berýliový bronz (najpevnějšíe zliatiny na báze Cu)
- olovený bronz
- niklové a mangánové bronzy

Hliníkové bronzy

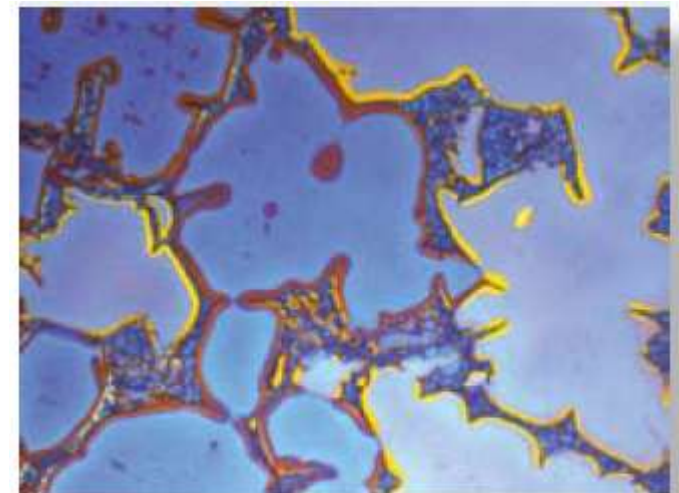


Oblasť tuhého roztoku α je pomerne úzka.

Charakteristický je **úzky interval kryštalizácie** – dobrá zabiehavosť, neselegujú, ale ich zmršťovanie je vysoké a tvoria sústredenú sťažninu.

Väčšinou: **5-12% Al**, zvýšená korózna odolnosť tvorbou Al_2O_3 na povrchu.

Plakety, mince, armatúry, ložiská. Žltá farba



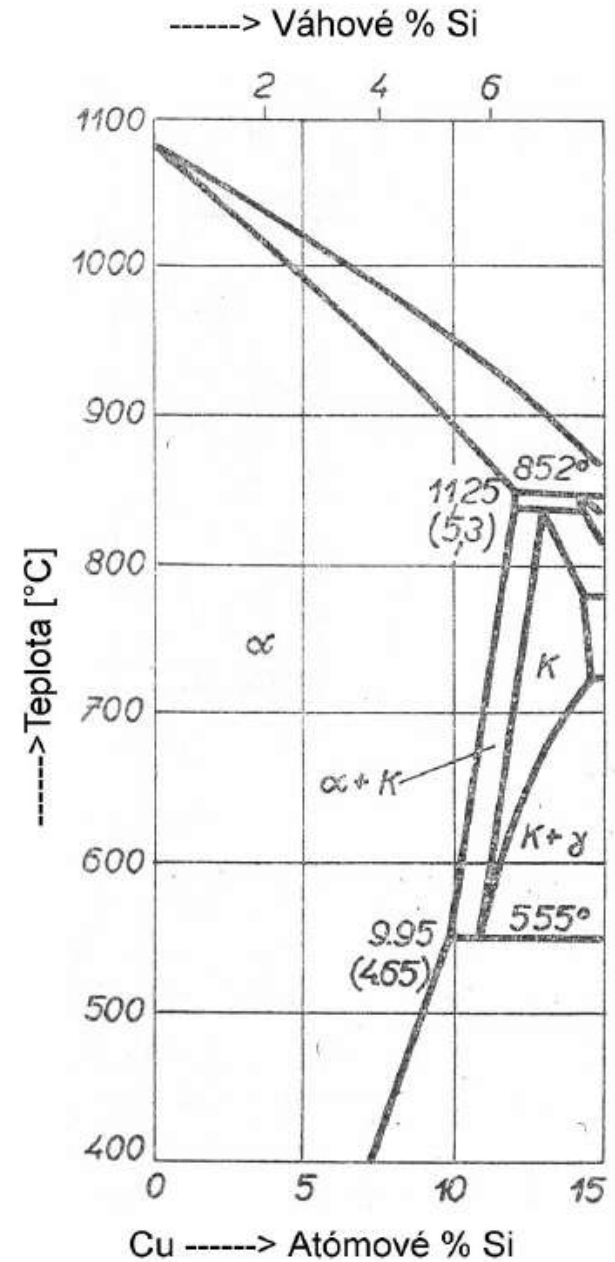
Aluminium bronze, colour etched according to Klemm, pol. light, 200x.

Kremíkový bronz

- ako náhrada za drahé cínové bronzy
- majú väčšiu pevnosť a širší interval použiteľnosti (od -180 až do 200°C)
- tvrdosť sa zvyšuje prídavkom Mn, Ni a Zn

Tvárnené bronzy: 3,5% Si a zlievarenské: 5% Si

Obľúbené u sochárov, zlatá bronzová farba, dobrá obrobitelnosť



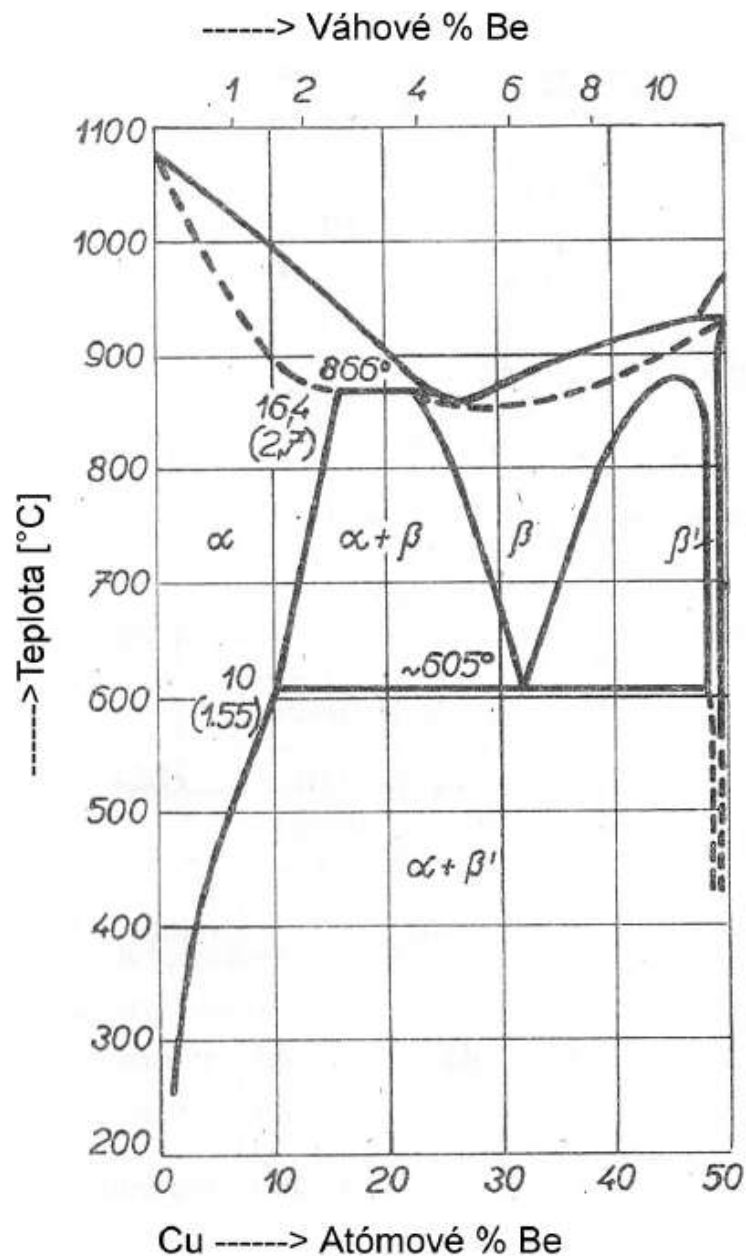
Berýliové bronzy

Najpevnější zliatiny na báze Cu

Optimální obsah Be – 2 hm% - zliatina po vytvrzení dosahuje pevnost v tahu až 1400 MPa. (zmena rozpustnosti s T – precipitačním vytvrzováním)

Použitie:

pružiny s dobrou el. vodivostí,
zápustky pre tvárnenie a ložiská



Označovanie medi a zliatin medi: 6 miestny znak

Prvé písmeno **C** – zliatina na báze medi

Druhé písmeno W – tvárnený, B - ingot, C – odliatok, M – predzliatina

Ďalšie trojčísle – určuje zliatinu

Posledné (6.) písmeno – materiálková skupina

Príklad: **CuZn40** (podľa *STN Ms60*, číslo *42 3220*)

a podľa EN: CuZn40, číslo CW-509L

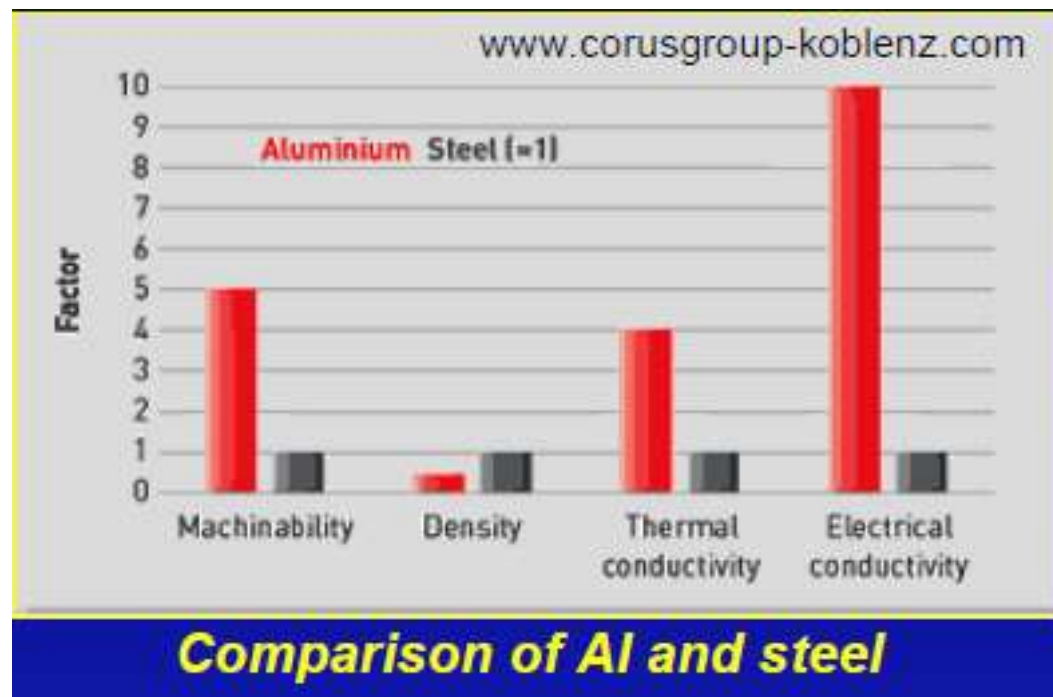
STN EN 1412 Med' a zliatiny medi. Európsky systém číselného označovania

Prednáška 6.

Hliník a jeho zliatiny.

Zliatiny hliníka pre tvárnenie, zliatiny hliníka pre odlievanie.

ZLIATINY HLINÍKA



Porovnanie vlastností hliníka a ocele

Zliatiny hliníka

Výhody:

- nízka merná hmotnosť,
- v porovnaní s čistým Al podstatne vyššie mech. vlastnosti
- ak neobsahujú Cu – veľmi dobre odolávajú korózii a látkam kyslej povahy
- dobre sa zvárajú v ochrannej atmosfére
- dobrá elektrická a tepelná vodivosť
- vratný odpad sa pomerne ľahko spracováva
- dobré plastické vlastnosti i pri veľmi nízkych teplotách (nádrže na tekutý dusík)

Nevýhody:

- nízka tvrdosť
- horšie trieskové obrábanie a mechanické leštenie
- nízka odolnosť voči alkalickým látkam

Mechanické vlastnosti za nízkých teplot

Typické hodnoty mechanických vlastností určených zkouškou tahem při nízkých teplotách vybraných tvářených slitin hliníku

Slitina	Teplota zkoušky /°C/											
	- 196			- 80			- 28			20		
	R _m /MPa/ /	R _{p0,2} /MPa/	A /%/	R _m /MPa/	R _{p0,2} /MPa/	A /%/	R _m /MPa/	R _{p0,2} /MPa/	A /%/	R _m /MPa/	R _{p0,2} /MPa/	A /%/
Al99 F16	230	180	30	180	160	16	170	160	15	165	150	15
AlMnCu F15	240	170	30	165	150	18	150	140	16	150	140	16
AlMn1Mg1 G22	360	230	26	260	210	16	250	200	13	240	200	12
AlMn1Mg1 G27	400	300	20	300	260	10	290	250	7	280	250	6
AlMg2.5 G25	380	250	28	280	220	21	260	210	18	260	210	16
AlMg2.5G27	410	300	25	300	260	18	290	260	15	290	260	14
AlMg2.7Mn G25	410	250	32	290	210	23	280	210	20	280	210	18
AlMg2.7Mn G27	430	180	30	320	250	21	300	240	18	300	240	16
AlMg4.5Mn W28	400	160	36	300	140	30	290	140	27	290	140	25
AlCuMg2 F44	580	420	19	490	340	19	475	325	19	470	320	19
AlCuSiMn F46	580	500	14	510	450	13	500	430	13	480	410	13
AlZnMgCu1.5 F53	700	630	9	620	540	11	590	520	11	570	500	11

Hliníkové slitiny, stejně jako většina slitin neželezných kovů, má vlastnosti v některých případech při nízkých teplotách dokonce lepší než při teplotách pokojových. Tato schopnost, spojená s kubickou plošně centrovanou mřížkou.

DELENIE HLINÍKOVÝCH ZLIATIN

A. Podľa spôsobu spracovania:

Zliatiny pre tvárnenie,
Zliatiny pre odlievanie.

B. Podľa schopnosti zvýšenia tvrdosti a pevnosti TS-vytvrdzovaním:

Nevytvrditeľné
Vytvrditeľné

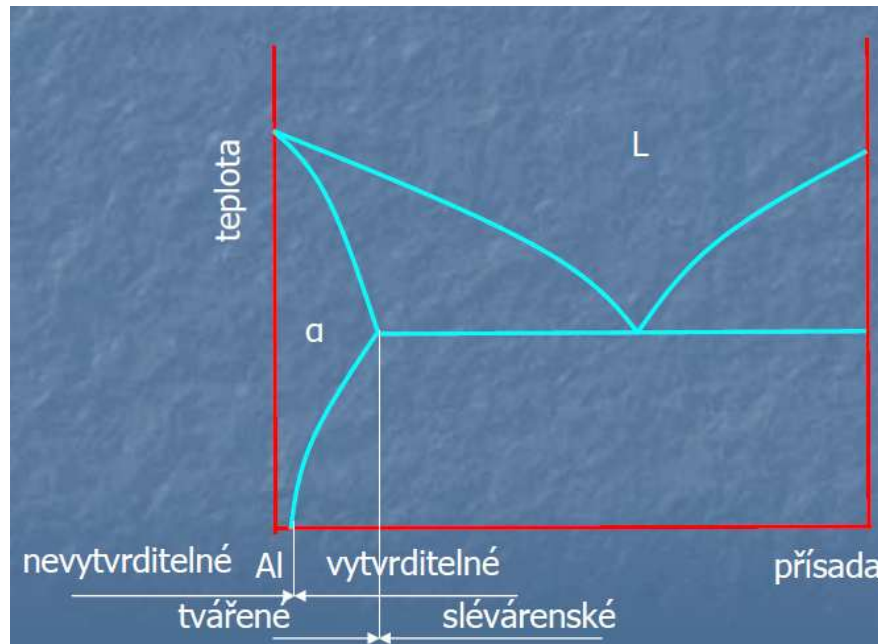
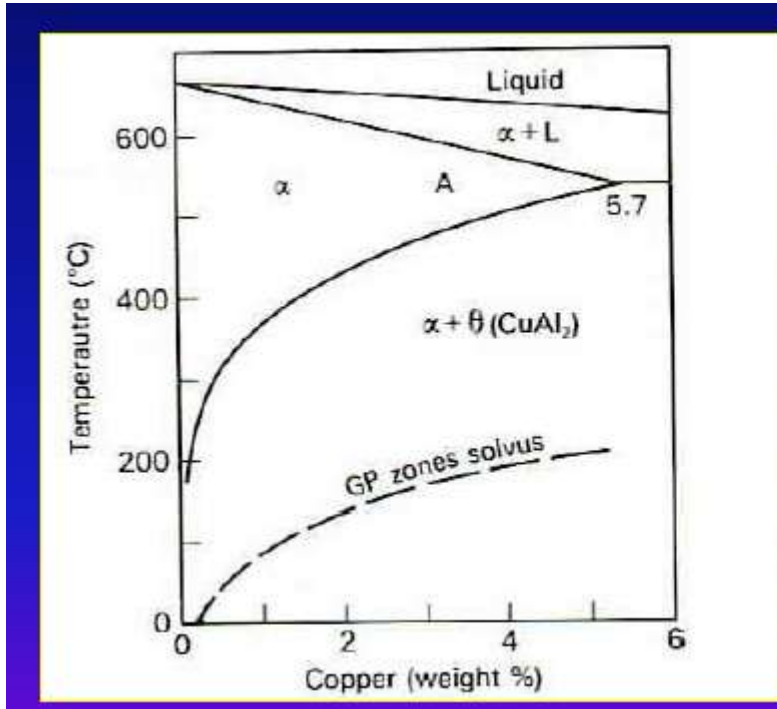


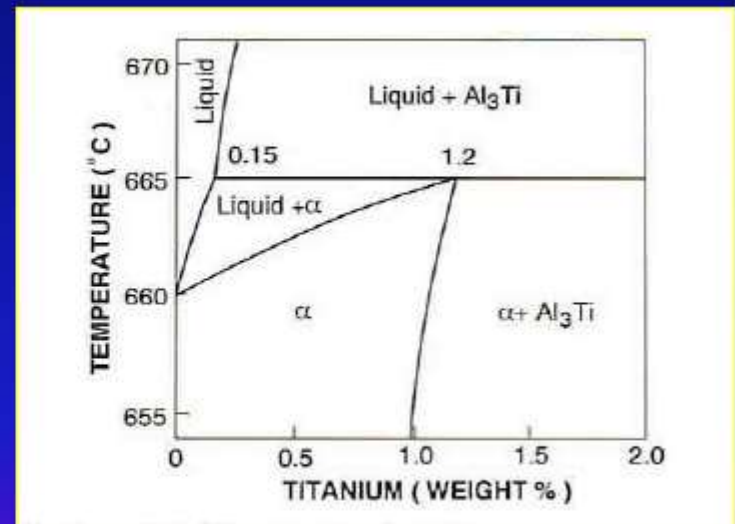
Schéma obecného rovnovážného diagramu binárných zliatin Al

Fázové diagramy hliníka s rozličnými legujúcimi prvkami

Maximálna rozpustnosť v tuhom stave v binárnych Al zliatinách sa vyskytuje pri eutektickej a peritektickej teplote.



Časť Al-Cu eutektického fázového diagramu



Časť Al-Ti peritektického fázového

nu

Rozpustnosť prvkov v hliníku

Mg, Cu, Zn a **Si** sú najviac používané legujúce prvky v Al, ktoré majú **dostatočnú rozpustnosť v tuhom stave**

Cr, Mn a **Zr** sa používajú na vytváranie zlúčenín **riadiacich štruktúru zrn.**

Table 2.1 Solid solubility of elements in aluminium (from Van Horn, K.R. (Ed), *Aluminium*, Volume 1, American Society for Metals, Cleveland, Ohio, 1967; Mondolfo, L.F., *Aluminium Alloys: Structure and Properties*, Butterworths, London, 1976)

Element	Temperature (°C)	Maximum solid solubility	
		(wt%)	(at%)
Cadmium	649	0.4	0.09
Cobalt	657	<0.02	<0.01
Copper	548	5.65	2.40
Chromium	661	0.77	0.40
Germanium	424	7.2	2.7
Iron	655	0.05	0.025
Lithium	600	4.2	16.3
Magnesium	450	17.4	18.5
Manganese	658	1.82	0.90
Nickel	640	0.04	0.02
Silicon	577	1.65	1.59
Silver	566	55.6	23.8
Tin	228	-0.06	-0.01
Titanium	665	-1.3	-0.74
Vanadium	661	-0.4	-0.21
Zinc	443	82.8	66.4
Zirconium	660.5	0.28	0.08

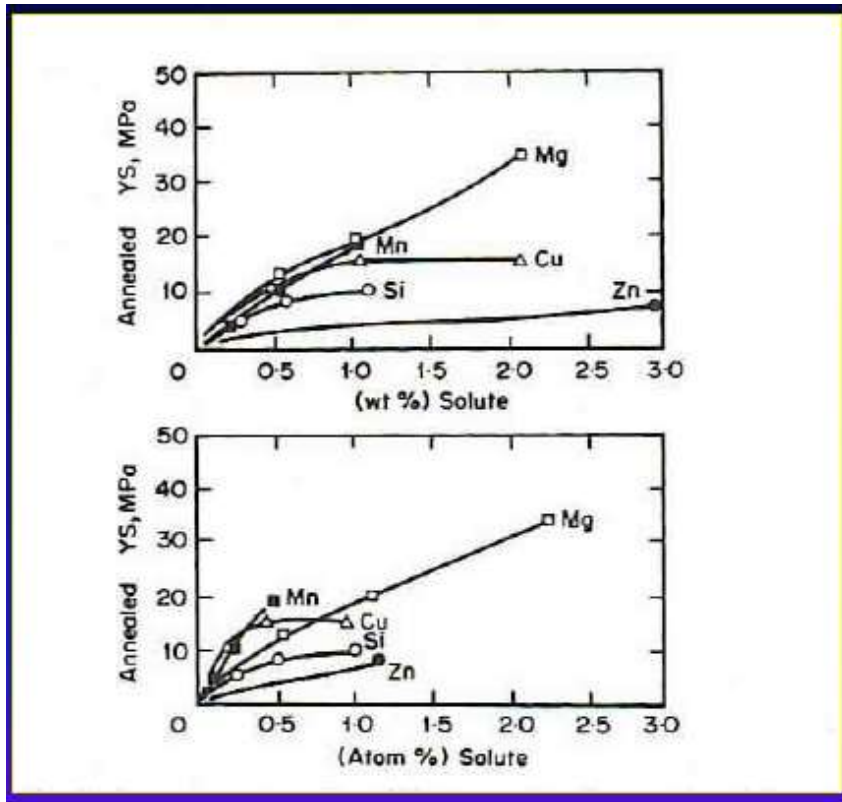
Note:

- (i) Maximum solid solubility occurs at eutectic temperatures for all elements except chromium, titanium, vanadium, zinc and zirconium for which it occurs at peritectic temperatures.
- (ii) Solid solubility at 20°C is estimated to be approximately 2 wt% for magnesium and zinc, 0.1–0.2 wt% for germanium, lithium and silver and below 0.1% for all other elements.

Prísadové prvky sa v Al **obmedzene** rozpúšťajú tvoria **substitučný tuhý roztok**.

Zvýšenie pevnosti sa dosahuje v dôsledku **substitučného tuhého roztoku** legúrami v interakcii **s deformačným spevnením za studena**, alebo **použitím TS**, resp. ich kombináciou.

Spevnenie tuhým roztokom binárnych Al zliatin vysokej čistoty

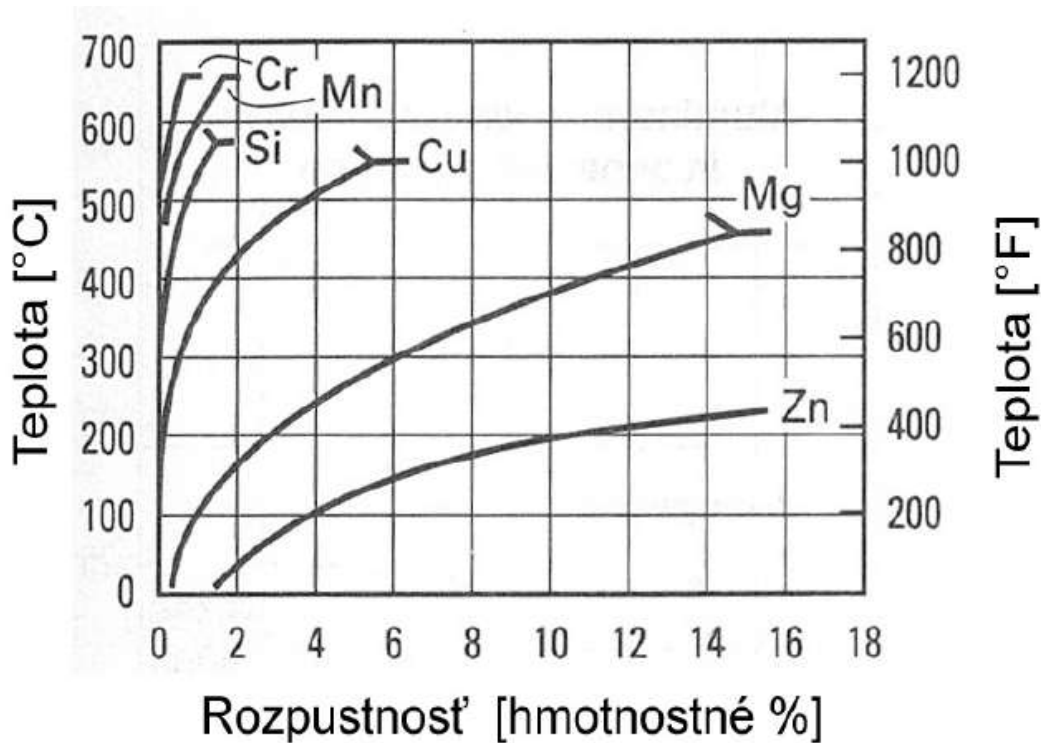


- Vyžíhané Al vysokej čistoty má veľmi nízku medzu klzu (7-11 MPa), možno ho spevniť tuhým roztokom.

- **Mn** a **Cu** sú najefektívnejšie pri 0,5%, ale majú tendenciu tvorby Al_6Mn precipitátov a nerozpustných Al-Cu-Fe. častíc.

- **Mg** je najefektívnejší prvok pri spevňovaní – vysoká rozpustnosť.

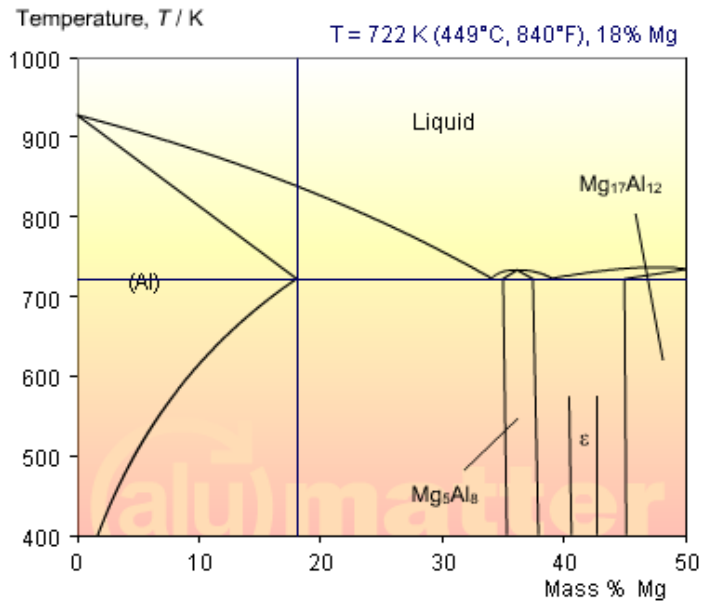
Zn má vysokú rozpustnosť, ale málo prispieva k zvýšeniu pevnosti tuhým roztokom.



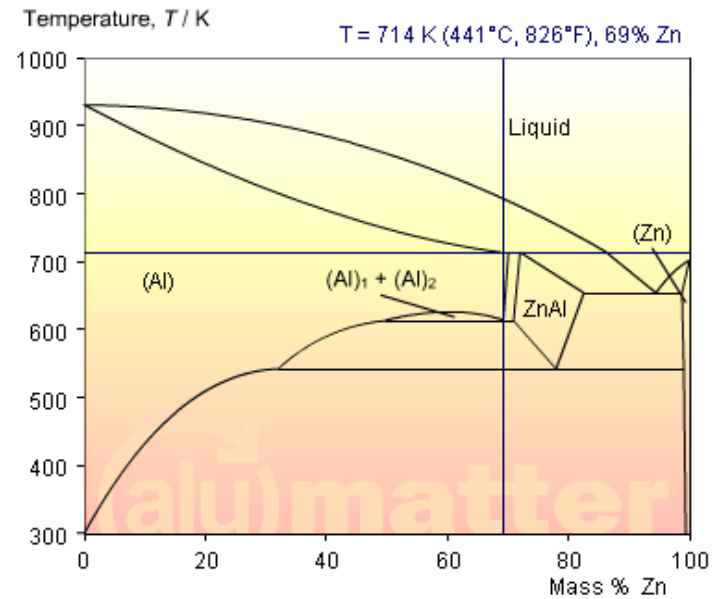
Rozpustnosť bežných legúr v rovnovážnych binárnych sústavách s Al v závislosti od teploty

Rovnovážne diagramy Al - prísadový prvok sú buď diagramy eutektického typu s obmedzenou rozpustnosťou v tuhom stave (Al-Si) alebo sú komplikované prítomnosťou inetrmediálnych fáz (Al-Cu, Al-Mg, Al-Mn).

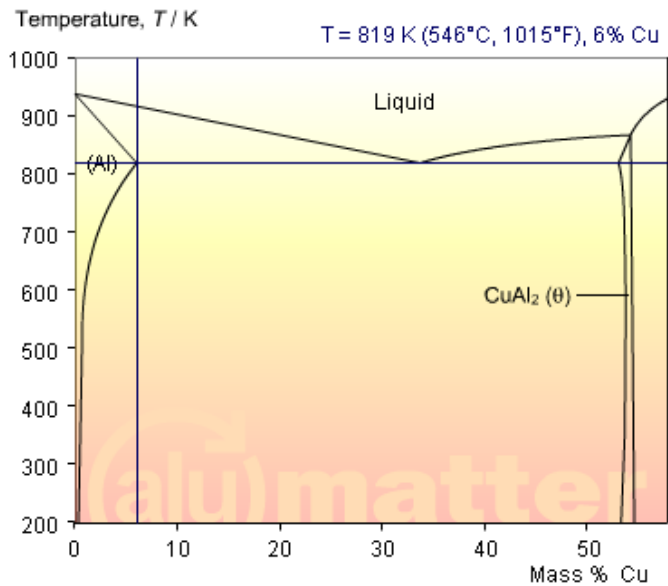
Al-Mg Phase Diagram



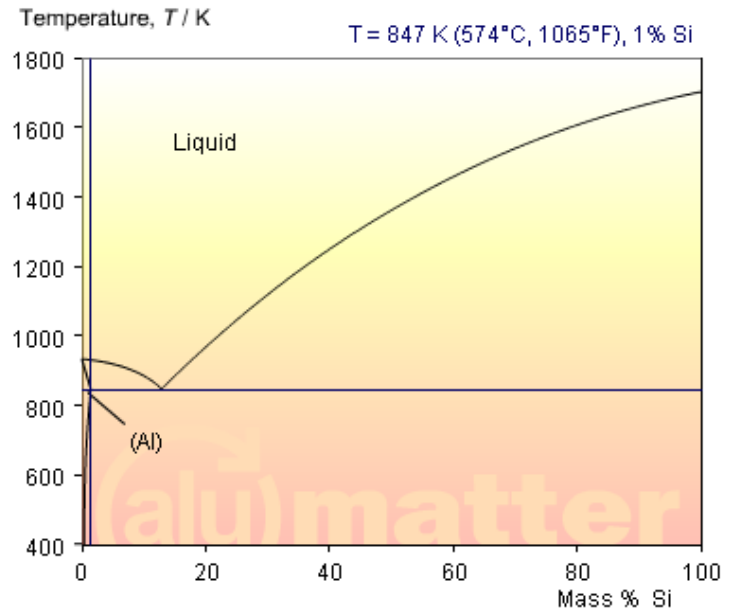
Al-Zn Phase Diagram



Al-Cu Phase Diagram



Al-Si Phase Diagram



Med' (do 12%, pre tvárnenie do 6%) zlepšuje pevnosť a tvrdosť, **zhoršuje tvárnosť** a **odolnosť proti korózii**.

Horčík (do 11%, pre tvárnenie do 8%) zlepšuje pevnosť a odolnosť proti korózii a vytvrditeľnosť.

Mangán zvyšuje pevnosť, tvárnosť, húževnatosť a odolnosť proti korózii, jeho obsah neprekročí zvyčajne 2%. Pri väčšej koncentrácii podporuje vznik krehkosti a zhoršuje odlievateľnosť. Zjemňuje zrno.

Kremík sa vyskytuje vo väčšom množstve (až 25%) v zliatinách na odlievanie, v zliatinách na tvárnenie je jeho obsah do 1%. Zvyšuje pevnosť a odolnosť proti korózii.

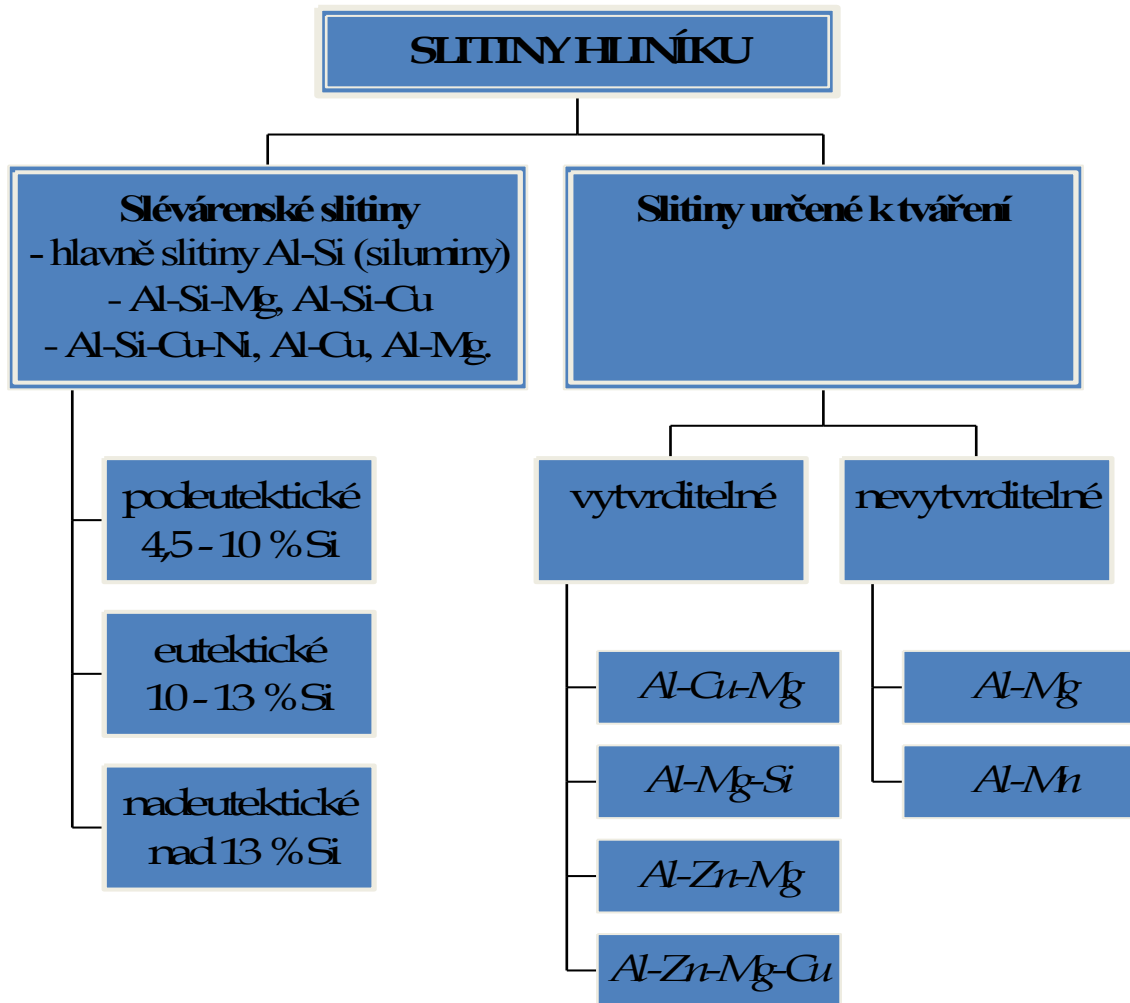
Lítium (do 5%) umožňuje vytvrdzovanie, zvyšuje pevnosť a odolnosť proti únave.

Zinok (6 až 8%) zvyšuje pevnosť, **zhoršuje koróznú odolnosť**.

Železo (0,5 až 1,5%) zvyšuje pevnosť, zlepšuje zlievateľnosť, **zhoršuje tvárnosť a koróznú odolnosť**.

Nikel (do 2%) zvyšuje pevnosť, húževnatosť aj koróznú odolnosť.

V malých množstvách sa v zliatinách Al vyskytujú tiež **Ti, Cr, V** pre zjemnenie zrna.



Zliatiny pre tvárnenie: obsah prísad taký, aby pri tuhnutí vznikol len tuhý roztok (1 fáza).

Vytvrditeľné: na tvárnenie za tepla.

Nevytvrditeľné: na tvárnenie za tepla i za studena.

Zlievárenské zliatiny: vyšší obsah prísad, tuhnú ako heterogénne, obsahujú eutektikum.

Zliatiny určené na tvárnenie

Väčšina trhu používa systém navrhnutý Aluminium Association (tzv. AA kategorizácia).

8 skupín:

1xxx - tieto zliatiny obsahujú minimálne 99 % Al. Ale iba pri tejto skupine dokážeme povedať, aký je obsah hliníka v zliatine podľa označenia.

Napr. zliatina 1145 (3. a 4. číslo označenia) - obsahuje 99,45 % Al.

Druhé číslo označenia je informácia o modifikácii zliatiny alebo o hranici nečistôt v zliatine.

Tento spôsob označovania sa však už nedá aplikovať na ďalšie skupiny zliatin.

Pre skupiny 2xxx až 8xxx majú 3. a 4. číslo už len význam sériového označenia.

Major Alloying Element	Wrought
None (99%+ Aluminium)	1XXX
Copper	2XXX
Manganese	3XXX
Silicon	4XXX
Magnesium	5XXX
Magnesium + Silicon	6XXX
Zinc	7XXX
Lithium	8XXX
Unused	

Príklad: **AW-6060**

Európska norma

EN 573

Označenie Al zliatin pre tvárnenie

Nevytvrdiviteľné zliatiny:

- 1xxx séria (Al vysokej a technickej čistoty)
- 3xxx séria (Al-Mn)
- 5xxx séria (Al-Mg)
- 8xxx séria (rôzne)

Vytvrdiviteľné zliatiny:

- 2xxx séria (Al-Cu)
- 6xxx séria (Al-Mg-Si)
- 7xxx séria (Al-Zn)

VYTVRDZOVANIE

Je to cyklus TS:

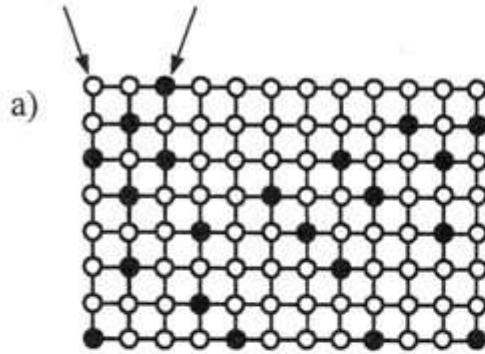
1. rozpúšťacie žíhania
2. rýchle ochladenia (tvorba metastabilného presýteného tuhého roztoku)
3. precipitačné vytvrdzovanie (starnutie) – tvorba malých disperzných častíc v matrici. Prirodzené alebo umelé.

Typickým príkladom je zliatina Al-Cu.

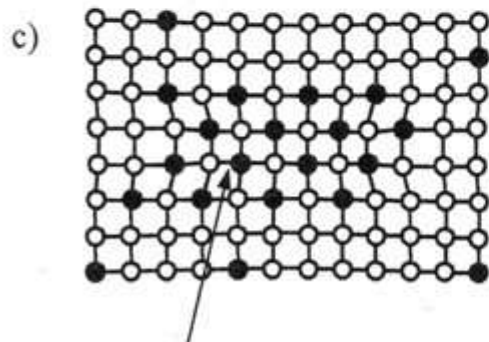
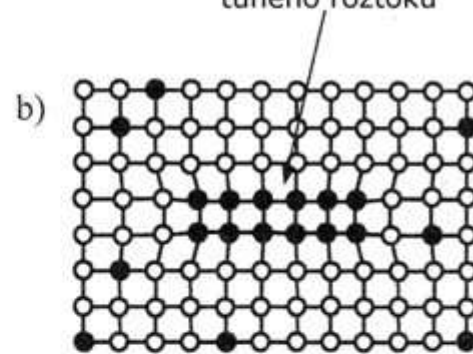
Mechanizmus starnutia: 4 etapy

1. Vznik Guinier-Prestonových zón (G.P. zóny) – ide o nahromadenie atómov Cu v tuhom roztoku v tvare kruhových diskov o hrúbke asi 2 atómov, ktoré sú koherentné s matricou Al
2. Zmena G.P. zón na θ'' fázu – ide o koherentné častice, oveľa väčšie v porovnaní s G.P. zónami, ktoré spôsobujú maximálne zvýšenie tvrdosti
3. Vznik fázy θ' z fázy θ'' , ktorá je semikoherentná s matricou Al
4. Vznik rovnovážnej fázy θ (CuAl_2), ktorá je nekoherentná s Al matricou a ktorá má menší vplyv na tvrdosť zliatiny

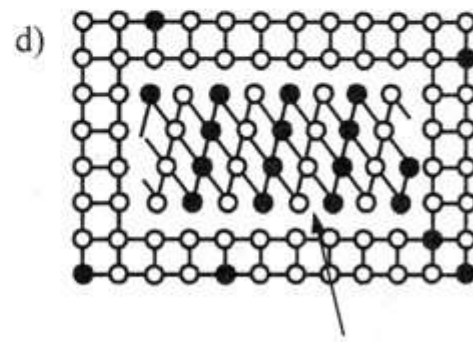
Základný atóm (A) Rozpúšťaný atóm (B)



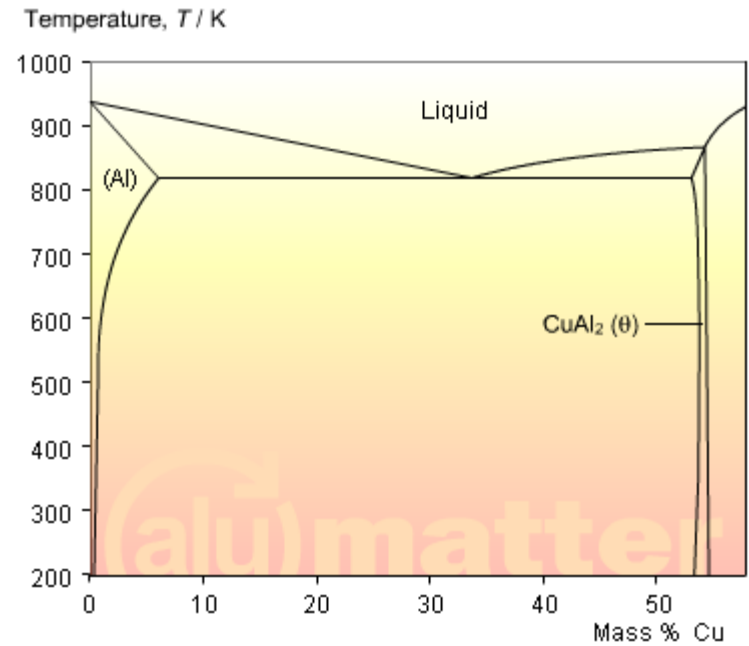
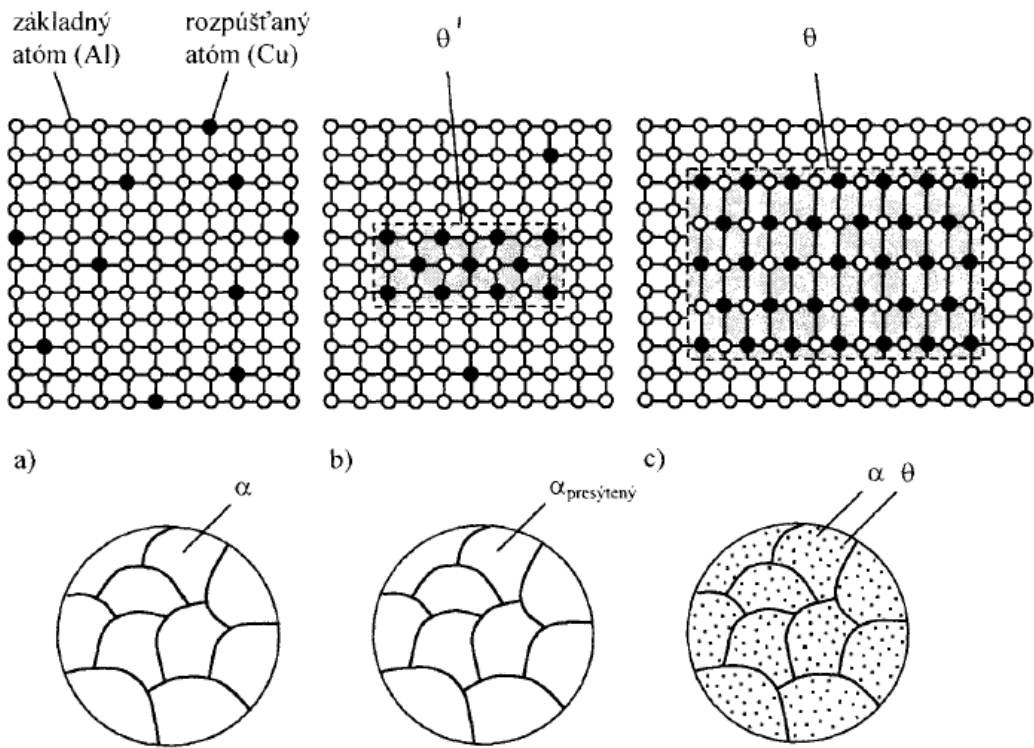
GPZ koherentné s mriežkou
tuhého roztoku



Prechodový
semikoherentný precipitát



Rovnovážny
nekoherentný precipitát



GPZ – oblasť zvýšenej koncentrácie Cu v tuhom roztoku. Atómy Cu sú menšie ako Al.

Preto miesta bohatšie na Cu majú **iný mriežkový parameter**. Vznikajú **mriežkové napätia** – zvyšujú tvrdosť a pevnosť. Maximálny efekt vytvrdenia.

V ďalšej etape dosahuje koncentrácia Cu v zónach približne stechiometrický pomer Al_2Cu – nastáva preskupenie atómov v týchto zónach. Vzniká semikoherentný precipitát θ' .

V ďalšej etape sa úplne prestupujú atómy na mriežku rovnovážneho precipitátu θ .

Hliník vysokej čistoty a technickej čistoty (1xxx)

Vysoká čistota: 99,99%

Technická čistota: až do 1% nečistôt

Pevnosť v ťahu: 70 MPa a po tvárnení 130 MPa

Použitie: vodiče, zariadenia pre chemický priemysel, fólie, dekoratívna povrchová úprava

Fe a Si sú vždy prítomné ako nečistoty:



TVÁRNE NÉ ZLIATINY BEZ VYTVRDZOVANIA

nižší obsah prísad, 1-fázová štruktúra aj pri T okolia - tvárne za studena aj za tepla

Sú to zliatiny nízkopevnostné s dobrou odolnosťou proti korózii (3xxx a 5xxx)

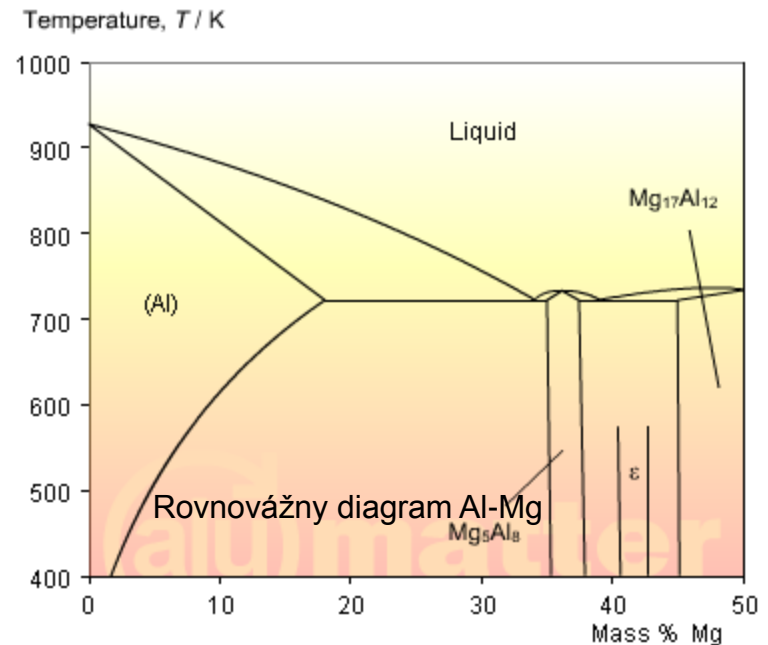
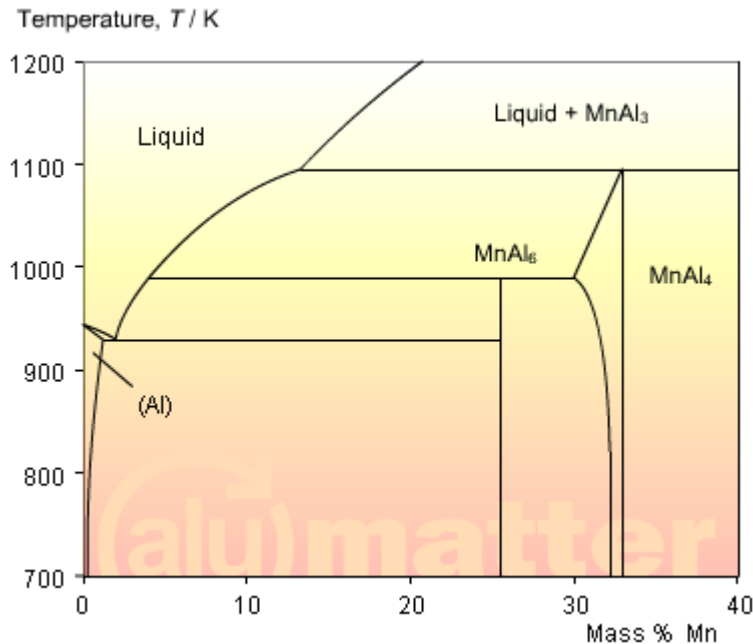
Neobsahujú Cu – preto sú odolné proti korózii, avšak ich nie je možno TS podstatne spevniť.

Prednosti: dobrá zvariteľnosť, tvárnosť, lomová húževnatosť.

• **Mn 3xxx (do 1,25% Mn)**, už od 2% Mn vznikajú Al_6Mn – zhoršujú mechanické vlastnosti.

Zvýšenie pevnosti - tvárnením za studena. Majú dobrú odolnosť proti korózii a dobrú zvariteľnosť.

• **Mg 5xxx (do 5% Mg)**, rozpustnosť Mg je síce vyššia ako u Mn, napriek tomu sa nevytvrdzujú, pretože **malé zvýšenie pevnosti znamená veľké zníženie ťažnosti. Spevnenie – tvárnením za studena.** Pri obsahu Mg nad 6% - sklon ku korózii po hraniciach, hlavne pod napätím – preto sa obvykle nepoužívajú.



Al-Mn a Al-Mn-Mg zliatiny (3xxx série)

- Al-Mn zliatiny (do 1,25%Mn)

dobrá korózna odolnosť

Použitie: fólie

strešné plechy



- Al-Mn-Mg zliatiny

dobrá korózna odolnosť

Použitie:

nápojové plechovky



Al-Mg zliatiny (5xxx séria)

• **Mg prídavok (0,8-5%) poskytuje spevnenie roztokom, umožňuje široký rozsah zloženia zliatin**

vysoký stupeň spevnenia deformačne

vysoká korózna odolnosť (do 5% Mg)

vysoký lesk

Použitie: konštrukčné plechy pre transport, veľké nádrže na benzín, mlieko, obilie, tlakové nádoby, komponenty v architektúre



**Aluminium
transportation
plates**



**Aluminium fuel
tank**

TVÁRNENÉ ZLIATINY S VYTVRDZOVANÍM

Možno ich rozdeliť podľa odolnosti voči korózii:

- zliatiny s nízkou odolnosťou proti korózii: Al-Cu-Mg (2xxx)
- zliatiny s dobrou odolnosťou proti korózii: Al-Mg-Si (6xxx)

Zliatiny s vyššou pevnosťou a nízkou odolnosťou proti korózii: Al-Cu-Mg (2xxx)

- najviac používané materiály. Sú to **duraly**. Obsahujú asi 4% Cu a menšie prísady Mg a Mn.
AlCu4Mg1(superdural), AlCu4Mg1Mn.

- plátovanie hliníkom. Po vytvrdení R_m až 530 MPa.

Použitie: konštrukčný materiál – pri stavbe dopravných prostriedkov

Zliatiny s nižšou pevnosťou a vyššou koróznou odolnosťou: Al-Mg-Si (6xxx)

Po vytvrdení R_m 350 MPa. Precipitácia fázy Mg_2Si .

Obsahujú 0,5 -1%Mg a 0,4 -1%Si a ďalšie prísady.

Použitie: v letectve (Avial zliatina), stavebníctve, architektúre.

Al-Cu zliatiny (2xxx série)

Precipitačné spevnenie – tvorba θ fázy v α matrici – vysoká pevnosť

húževnatosť, creepova pevnosť, vysoká húževnatosť pri kryogénnych teplotách. Dobrá obrobiteľnosť

Použitie: palivové nádrže, zvaracie drôty



Al-Cu-Mg zliatiny (2xxx séria)

Malé množstvo Mg (0,2%) modifikuje precipitačný proces, väčšie spevnenie

Použitie: piesty, nity pre lietadlá

- pistons, rivets for aircraft constructions

Airplane structure



Aluminium pistons and devices for thermal shock used in airplane



Al-Mg-Si zliatiny (6xxx séria)

stredná pevnosť,
ľahko sa prietlačne lisujú
farebná anodizácia
dekoratívne prvky,
konštrukčné prvky,...



Zliatiny o vysokej pevnosti: Al-Zn-Mg (7xxx)

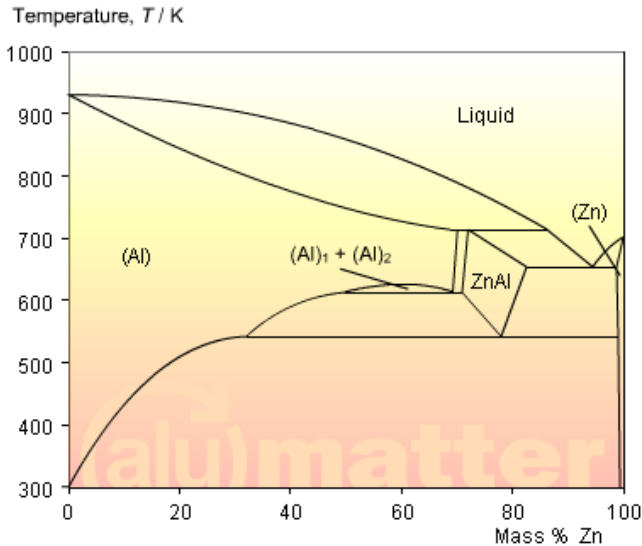
Ide o najpevnnejšie zliatiny Al, s R_m až 600 MPa

5-8%Zn a **2%Mg**, aj **2%Cu** a iné

Vo vytvrdenom stave náchylné ku korózii a koróznemu praskaniu, preto sa plátujú.

Zliatina AlZn6MgCu - **vysokonamáhané súčiastky** nosných konštrukčných dielcov lietadiel.

Nevýhoda: rýchly pokles mech. vlastností pri zvýšených teplotách (už pri 150°C sú výhodnejšie superduraly).



Al 7039 aircraft construction



Al 7075
Component in
motorcycle



Al 7005
post box

Zliatiny Al-Li (8xxx)

Ide o nové vývojové zliatiny pre letecký priemysel.

Prednosťou lítia ako prísady do hliníka je jeho nízka hustota.

Lítium je vysoko reaktívny, rýchlo oxiduje na vzduchu – preto sa odlievajú v ochrannej atmosfére argónu alebo vo vákuu.

Možnosť vytvrdenia.

Komplexne legované: Al-Li-Mg, Al-Li-Cu-Mg, prídavok Zr.

Alloy identification systems

Temper designations
(Added as suffix letters of digits to the alloy number)

Suffix letter F, O, H, T or W indicates basic treatment or condition.

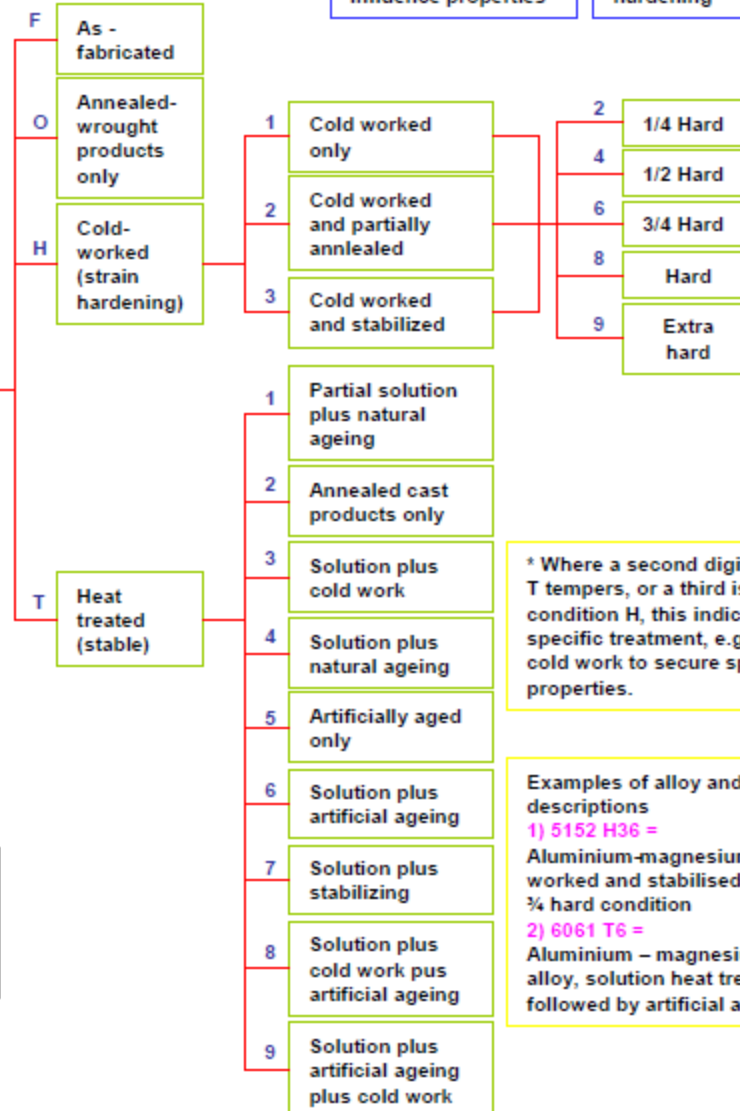
First suffix digit indicates secondary treatment used to influence properties*

Second suffix digit for condition H only. Indicates residual hardening*

4-digit series	Aluminium content or main alloying elements
1 xxx	99.00% minimum
2 xxx	Copper
3 xxx	Manganese
4 xxx	Silicon
5 xxx	Magnesium
6 xxx	Magnesium and silicon
7 xxx	Zinc
8 xxx	Others

- The first digit indicates the alloy group.
- The second indicates modifications to alloy or impurity limit.
- The last two identify the aluminium alloy or indicates the aluminium purity.

Aluminium alloy and temper designation systems (IADS system)



* Where a second digit is used for T tempers, or a third is used for condition H, this indicates a specific treatment, e.g. amount of cold work to secure specific properties.

Examples of alloy and temper descriptions
 1) 5152 H36 = Aluminium-magnesium alloy, cold worked and stabilised to develop a 3/4 hard condition
 2) 6061 T6 = Aluminium – magnesium – silicon alloy, solution heat treated followed by artificial ageing.

Hodnotenie tvárniteľnosti podľa ASM

Slitina	Hodnota lisovateľnosti [%]
EN AW 1350	160
EN AW 1060	135
EN AW 1100	135
EN AW 3003	120
EN AW 6063	100
EN AW 6061	60
EN AW 2011	35
EN AW 5086	25
EN AW 2014	20
EN AW 5083	20
EN AW 2024	15
EN AW 7075	9
EN AW 7178	8

Zliatiny určené na odlievanie

Posledné číslo za bodkou .x označuje formu produktu (odliatok, ingot).

AC

- 1xx.x series are minimum 99% aluminium
- 2xx.x series copper
- 3xx.x series silicon, copper and/or magnesium
- 4xx.x series silicon
- 5xx.x series magnesium
- 7xx.x series zinc
- 8xx.x series lithium

Značení slitin Al na odlitky

Dle ČSN EN 1706

EN AC-XXXXX



Najbežnejšie zlievarenské zliatiny na báze binárnych systémov :

Al-Si (eutektikum obsahuje **12,5 hm.% Si**)

Al-Cu (eutektikum pri 32 hm.% Cu)

Al-Mg (eutektikum pri obsahu 34 hm% Mg)

ich vzájomnými kombináciami dospejem k základným zliatinám na základe ternárnych systémov:

Al-Si-Mg

Al-Si-Cu

Al-Cu-Si

Al-Mg-Si

Vzorové označování Al slitin na odlitky

Skupina slitin	Označení slitiny	
	Číselné	Chem. značkami
AlCu	EN AC-21xxx	EN AC-Al Cu4
AlSiMgTi	EN AC-41000	EN AC-Al Si2MgTi
AlSi7Mg	EN AC 42xxx	EN AC-Al Si7Mg0,3 (0,6)
AlSi10Mg	EN AC 43xxx	EN AC-Al Si10(9)Mg
AlSi	EN AC 44xxx	EN AC-Al Si12(11)
AlSi5Cu	EN AC 45xxx	EN AC-Al Si6(5)Cu4(3,1)
AlSi9Cu	EN AC 46xxx	EN AC-Al Si9(7,11)Cu3(2,1)
AlSi(Cu)	EN AC-47xxx	EN AC-Al Si12Cu
AlSiCuNiMg	EN AC-48000	EN AC-Al Si12CuNiMg
AlMg	EN AC-51xxx	EN AC-Al Mg3(5,9)
AlZnMg	EN AC-71000	EN AC-Al Zn5Mg

Charakteristiky typů slitin Al

Typ slitiny	Slévárenské vlastnosti	Mechanické vlastnosti	Obrobitelnost	Odolnost proti korozi	Povrchová úprava
Al – Si	Obsah Si zlepšuje	0	0	0	–
Al – Si – Cu	Vznik nízkotavících eutektik	+	+	0 (Cu snižuje)	–
Al – Si – Mg	+	+	+	+	0
Al - Cu	–	+	+	–	–
Al – Mg	–	–	+	+	+

– špatné

0 střední

+ výborné

Zliatiny na odliatky

Odlievanie:

- do piesku
- do kovových foriem
- pod tlakom



Pri odlievaní do piesku – pomalé ochladzovanie – hrubozrnná štruktúra – najnižšie pevnostné vlastnosti.

Pri liatí do kovových foriem, alebo pod tlakom – jemná štruktúra – lepšie vlastnosti.

Zliatiny pre odliatky

Vyšší obsah prísad (v porovnaní so zliatinami pre tvárnenie), musia mať dobré zlievarenské vlastnosti a tieto podmienky spĺňajú zliatiny **eutektického zloženia**

1. **Al-Si**, špeciálne silumíny: Al-Si-Mg, Al-Si-Cu, Al-Si-Cu-Mn, Al-Si-Cu-Mg-Ni.
2. **Al-Cu**
3. **Al-Mg**

SILUMÍNY

Majú dobrú zabiehavosť, koróznú odolnosť, malú zmrašťivosť a nie sú náchylné na praskanie.

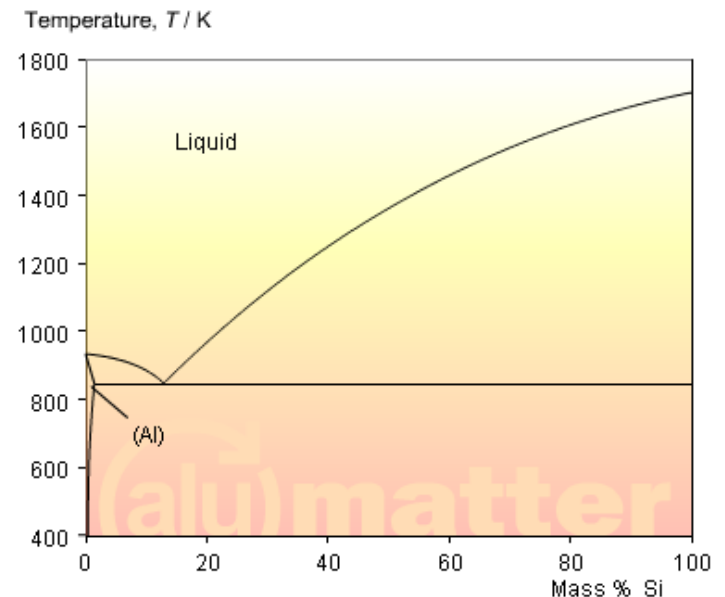
podeutektické (4,5-10%Si),

eutektické (10-13%Si)

nadeutektické (13-24%Si).

Eutektikum: α + Si

Al-Si Phase Diagram



Zliatiny na báze Al-Si

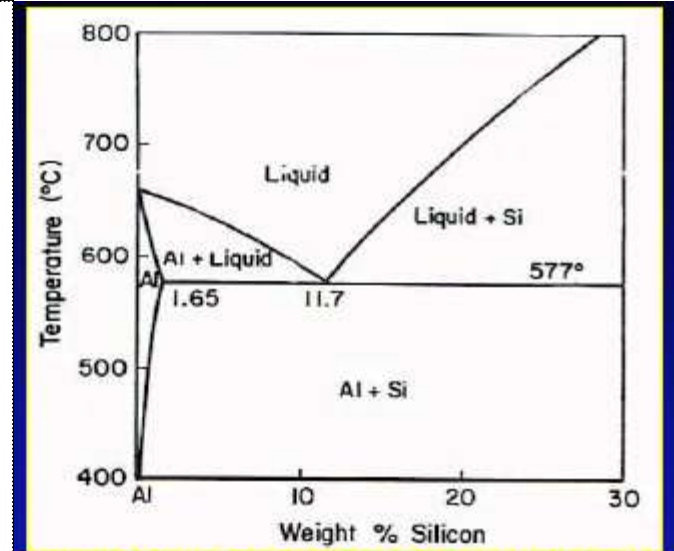
85-90% všetkých zlievárenských Al zliatin.

Silumíny:

modifikované a nemoifikované

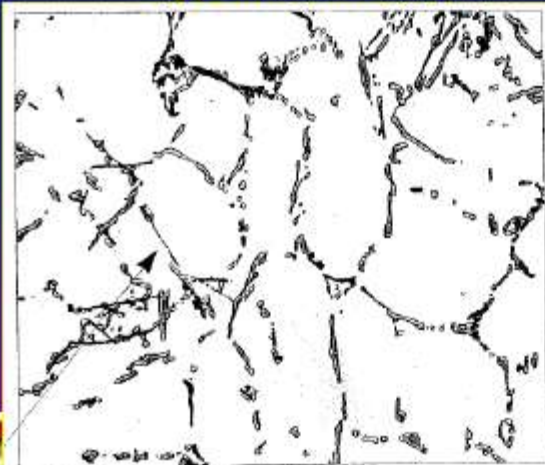
Modifikácia: pre zlepšenie mechanických a iných vlastností

- prídavkom Sr (0,02-0,04%) alebo Na
- zjemnenie častíc Si



Equilibrium binary Al-Si phase diagram

Hypoeutectic Al-Si



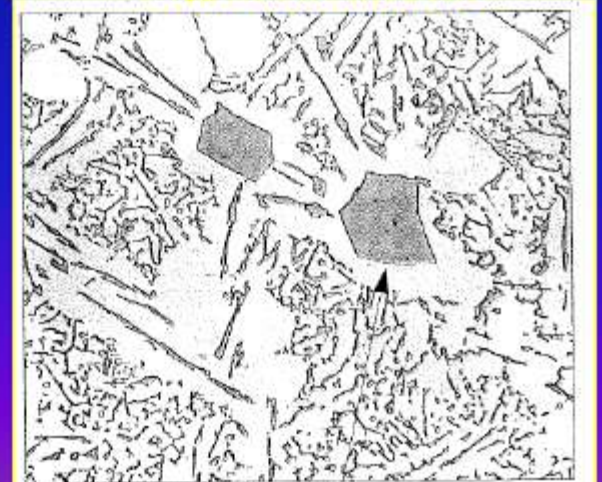
(x500)

Eutectic Al-Si

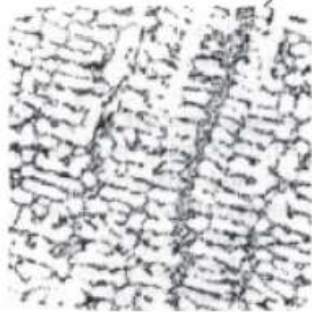
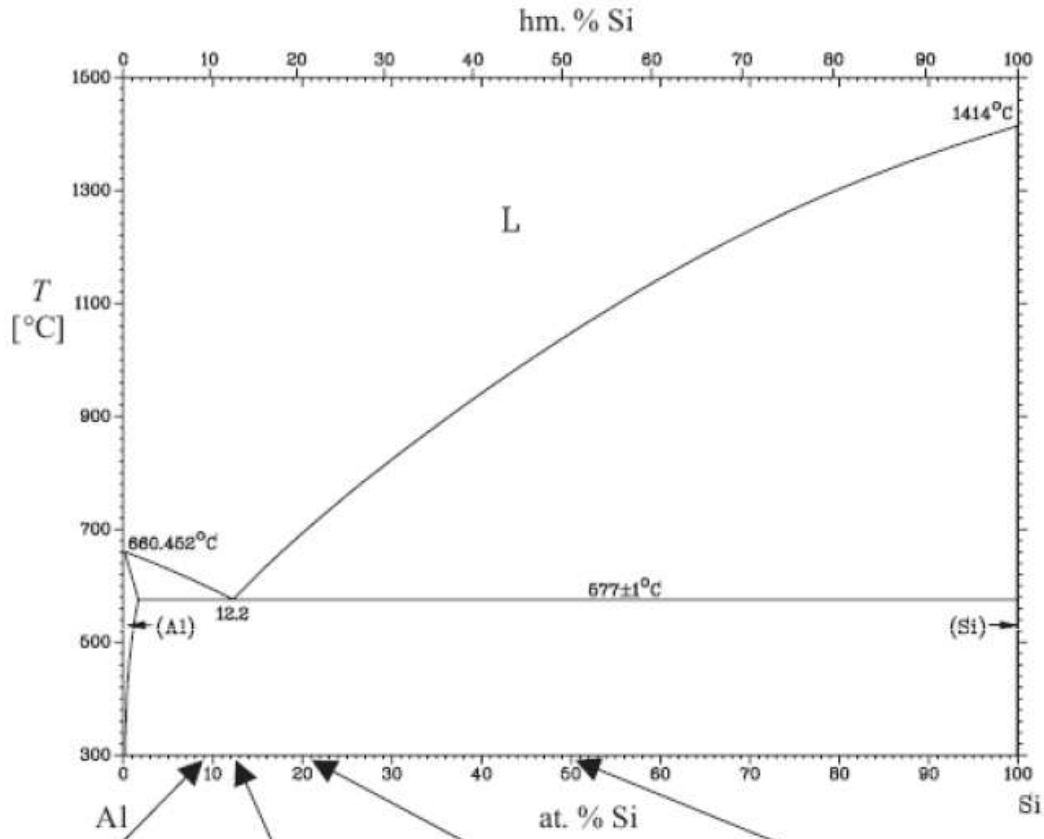


Require modification

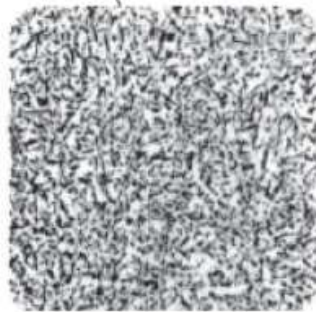
Hypereutectic Al-Si



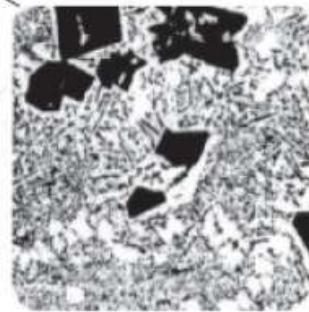
(x500)



8 at. % Si



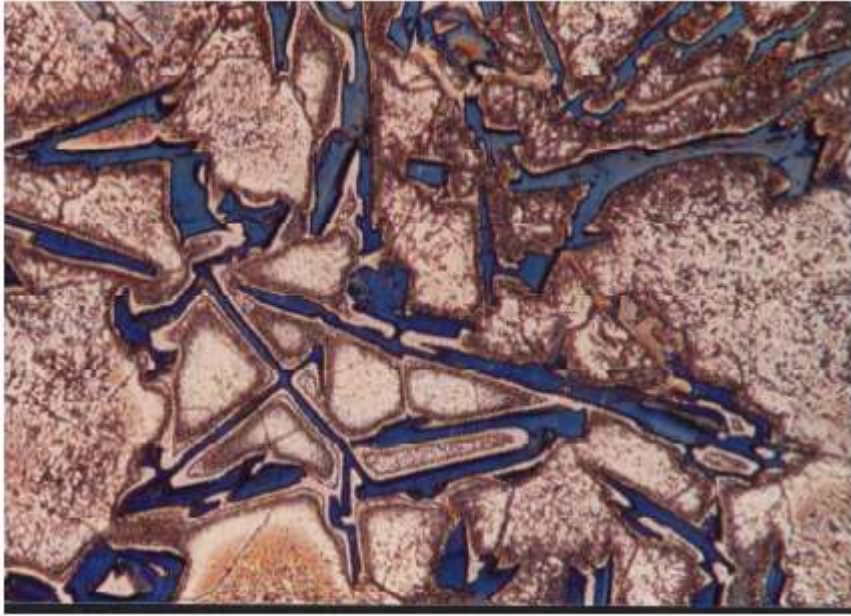
12 at. % Si



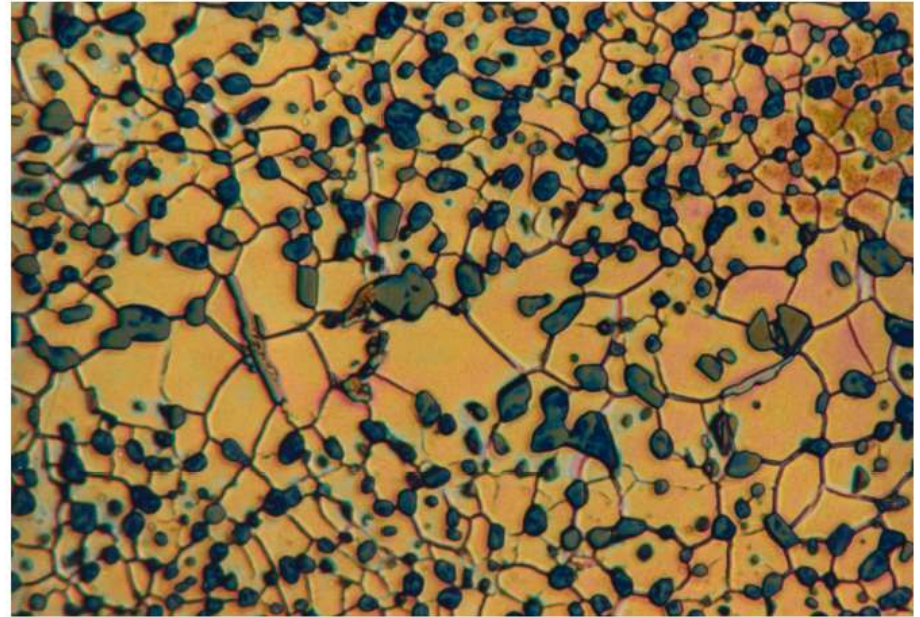
20 at. % Si



50 at. % Si



Nemodifikovaný eutektický silumín,
Výrazne modré sfarbené ihlice Si,
rozložené v tuhom roztoku α , 500x



Eutektický silumín, farebné leptanie, modré
častice Si (modifikované) rozložené v tuhom
roztoku α (žlté)

Al-Si-Cu, Al-Si-Mg zliatiny

Cu a **Mg** prídavok – zvýšenie pevnosti

Použitie: hlavy valcov automobilov, bloky motorov ...



Al-Cu

Binárne majú malé využitie.

Prídavkom Ni, Fe – disperzné spevnenie, horšie zlievárenské vlastnosti, horšia odolnosť proti korózii.

Zliatiny sú určené pre dlhodobú funkciu pri T 350 až 450°C.

Použitie: Hlavy valcov a piesty väčších rozmerov.



The image displays two distinct Al-Cu alloy components. The upper component, labeled 'Aerospace housing (201.0)', is a complex, cylindrical structure with a white and black finish, mounted on a red support structure. The lower component, labeled 'Flywheel housing (295.0)', is a smaller, more intricate part with a metallic, multi-faceted design. Both components are shown against a dark blue background.

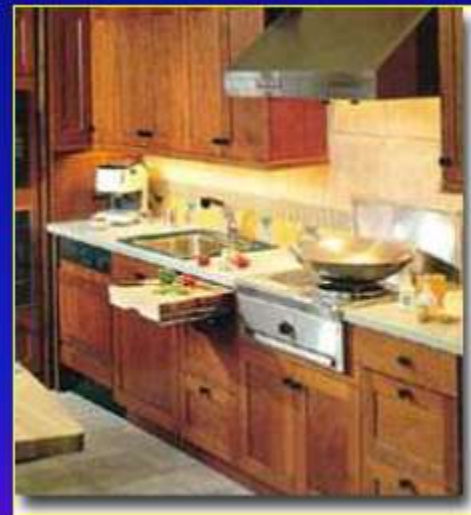
**Aerospace housing
(201.0)**

**Flywheel housing
(295.0)**

Al-Mg

Vyššia rázová húževnatosť, pre rázovo namáhané odliatky s náhlymi zmenami prierezu a pre odliatky odolávajúce koróznemu prostrediu.

Rebrované hlavy valcov, automobilové kovania, foto-prístroje, nádoby pre styk s potravinami, súčasti vnútornej i vonkajšej architektúry,...



Kitchen utensils



Watch body

Prednáška 7.

Titán a jeho zliatiny.

Zliatiny s efektom tvarovej pamäti.

TITÁN A JEHO ZLIATINY

Titán – pomenovanie po Titánoch,
v gréckej mytológii synovia
matky zeme Gaie a boha Urána.

- štvrtý najviac rozšírený kov (~ 0,86%)
po Al, Fe a Mg.

V r. 1948 v USA vyrobené prvé
2 tony

V ZSSR sa vyrábal od r. 1950

Prednostný dovoz Ti a zliatin
z bývalej ZSSR do POLDI Kladno -
tvárnenie



Teplota tavenia: 1660°C

Teplota varu: 3287°C






Fyzikálne vlastnosti titánu

Crystal structure	HCP (<882.5°C) BCC (>882.5°C)
Atomic diameter	0.320
Density (g.cm⁻³)	4.54
Melting point (°C)	1667

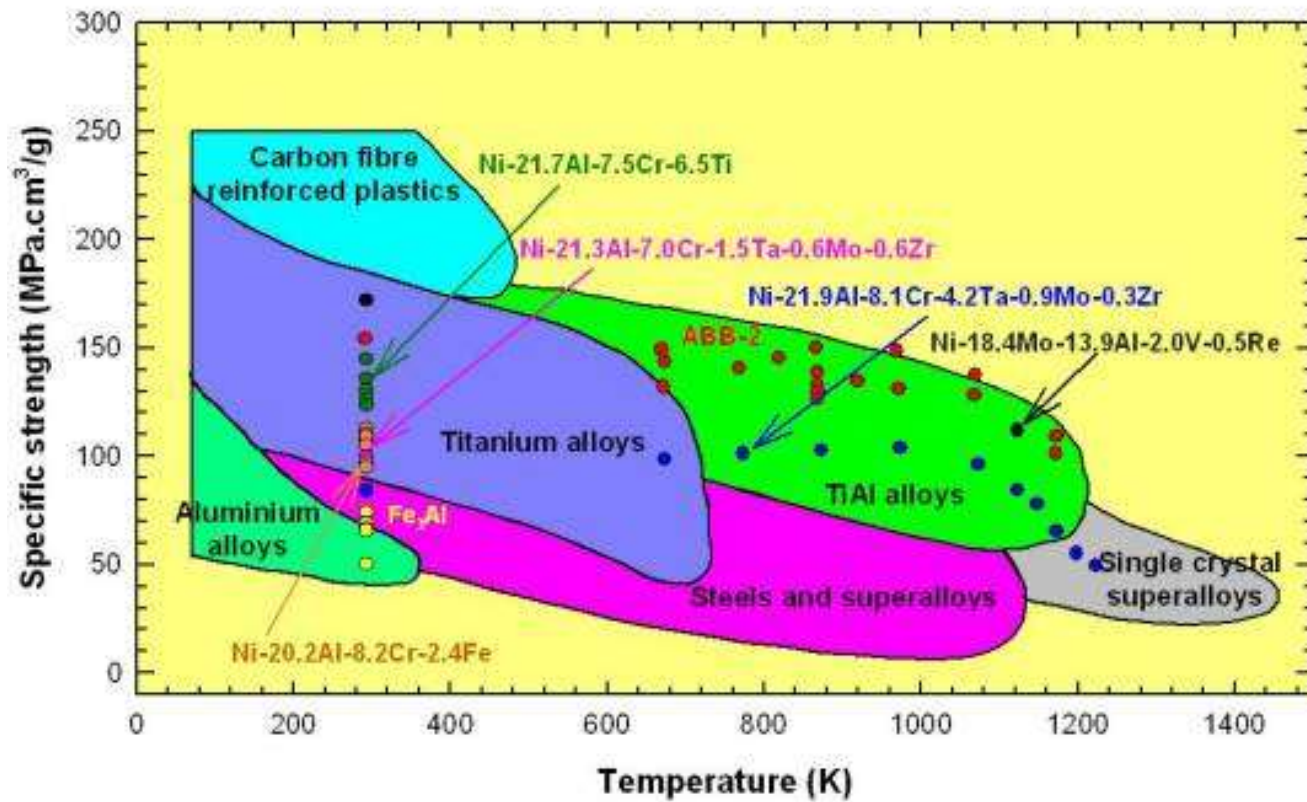
22	HCP,BCC
<i>Ti</i>	
Titanium	
47.87	

- vysoko reaktívny s kyslíkom, dusíkom, uhlíkom a vodíkom
- ťažko sa vyrába (je drahý).
- používa sa hlavne v tvare tvárnenom pre aplikácie, kde cena nie je rozhodujúca
- vysoká pevnosť a húževnatosť

Výroba titánu vo svete

Rank ↕	Country/Region ↕	2010 ↕	2011 ↕	2012 ↕	2013 ↕
	World	137,000	186,000	200,000	222,000
1	 China	57,800	60,000	80,000	100,000
2	 Russia	25,800	40,000	44,000	45,000
3	 Japan	31,600	56,000	40,000	40,000
4	 Kazakhstan	14,500	20,700	25,000	27,000
5	 Ukraine	7,400	9,000	10,000	10,000

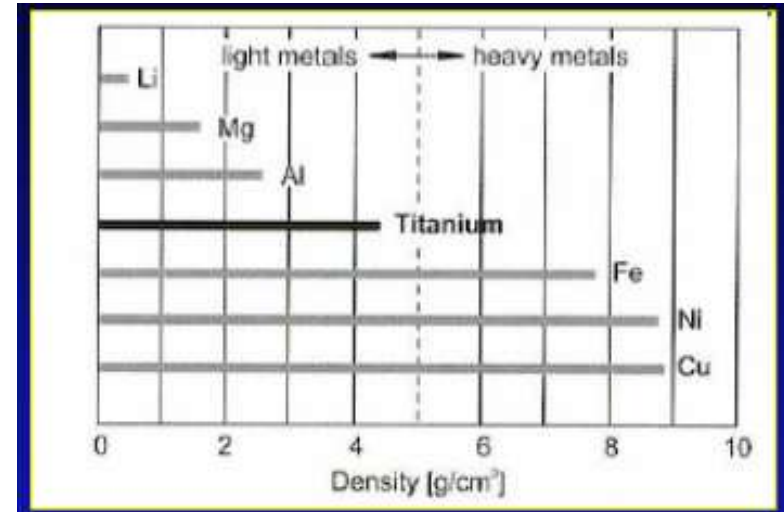
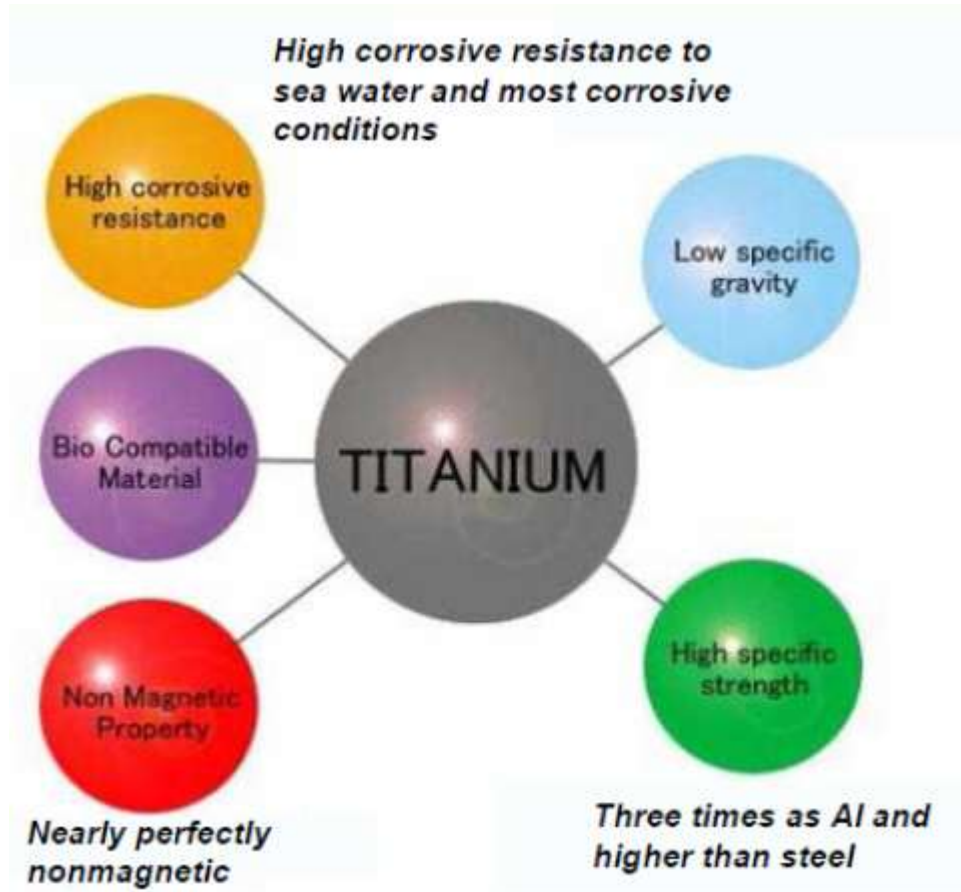
- ľahký kov ($\rho = 4\,500 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), pevný
- **najlepší pomer pevnosť/hmotnosť**,
- polymorfný
- do $T = 882^\circ\text{C}$ mriežka **H12** ($\text{Ti}\alpha$), nad 882°C mriežka **K8** ($\text{Ti}\beta$) až po T_{tav} (1668°C)
- čistý Ti je tvárny a pomerne mäkký, v **žíhanom stave má $R_m = 240\text{-}250 \text{ MPa}$**
- **tvárnením za studena pevnosť** možno zvýšiť až na **800 MPa**
- **dobre sa tvárni** pri $T = 880$ až 980°C , t.j. **v oblasti K8(Ti β)**
- **zle sa obrába**
- slabá elektrická a tepelná vodivosť
- **výborná korózna odolnosť**
- **zváranie v inertnej atmosfére, alebo vo vákuu**



95 % Ti sa používa vo forme TiO_2 – titánová bieloba

- dáva bielu farbám, zubnej paste, papieru, porcelánu, keramike, textíliam,....
- **silným fotokatalyzátorom**, ktorý dokáže rozložiť takmer akúkoľvek organickú zlúčeninu, pokiaľ je vystavená slnečnému žiareniu.
- vo vývoji je aj druh dlažobnej kocky, ktorá využíva katalytické vlastnosti TiO_2 k odstráneniu oxidov dusíka zo vzduchu. Rozloží ich na ekologicky neškodné látky, ktoré môžu byť následne vyplavené dažďovou vodou.
- **nejedovatá zlúčenina**, preto sa vo veľkom množstve využíva v kozmetickom priemysle (do opaľovacích krémov, rúžov, telových púdrov, mydiel, prípravkov s perleťou, zubných pást a pod.), ale tiež vo farmácii.
- Je dokonca využívaný aj v potravinárskom priemysle napr. pri balení salám.
- malé množstvo sa pridáva aj do cigaretového tabaku, preto popol z cigariet je taký biely.

Výhody titánových zliatin



Využitie titánu a jeho zliatin

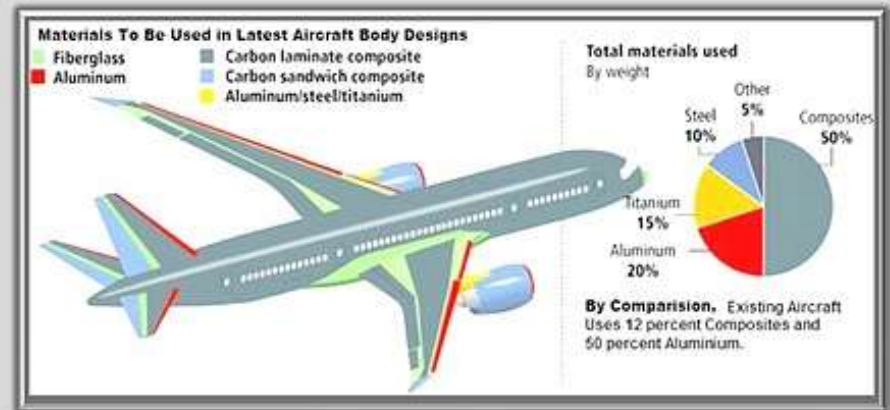
- titán technickej čistoty sa využíva v chemickom, papierenskom a textilnom priemysle. Vhodný tam, kde sa pracuje s vlhkým chlóróm a jeho zlúčeninami.
- odoláva morskej vode – oplášťovanie lodí, lodné kovania,
- držiaky elektród
- chirurgické nástroje, šrúby, protézy, zubné implantáty
- *kozmičké technológie a špeciálne aplikácie leteckého priemyslu.*
- pri výrobe skeletov a povrchových ochranných štítov kozmičkých objektov (družíc, vesmírnych sond a staníc).
- v leteckom priemysle sa používajú pri výrobe namáhaných súčastí lietadiel.
- pri výrobe *luxusných hodiniek a šperkov.*

V r. 2009, **76% Ti zliatin** v USA bolo použitých pri konštrukciách lietadiel.

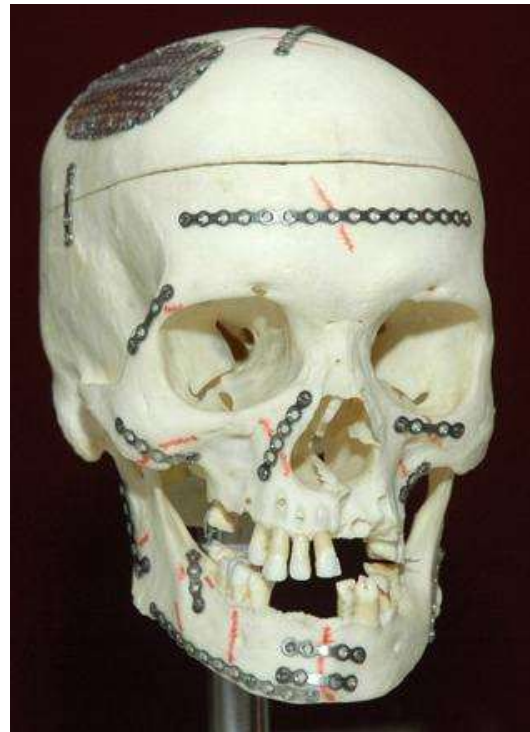
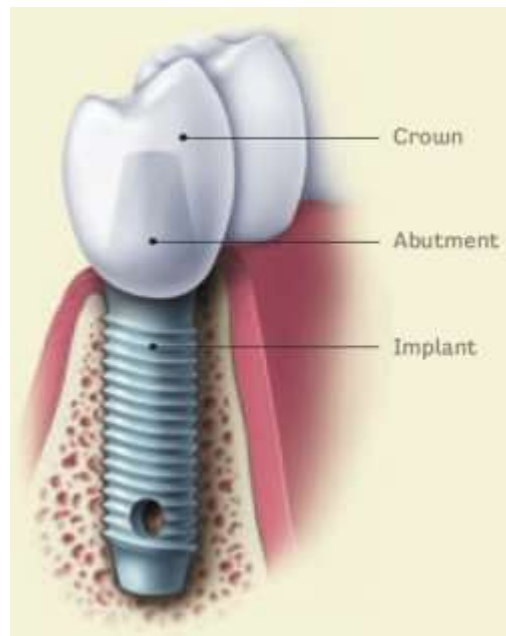


US Airforce SR-71 Blackbird
(najrýchlejšie hypersonické špionážne lietadlo
v 60tych až 80tych rokoch 20.st.)
85% Ti zliatiny a 15% kompozity

Next Generation Aircraft Structures



Total Airframe Weight:		240,000 lbs
Composite	50%	120,000 lbs
Aluminum	20%	48,000 lbs
Titanium	15%	36,000 lbs
Steel	10%	24,000 lbs
Other	5%	12,000 lbs



Biokompatibilita – využitie v medicíne



Guggenheimovho múzeum v Bilbau, použitie eloxovaného Ti

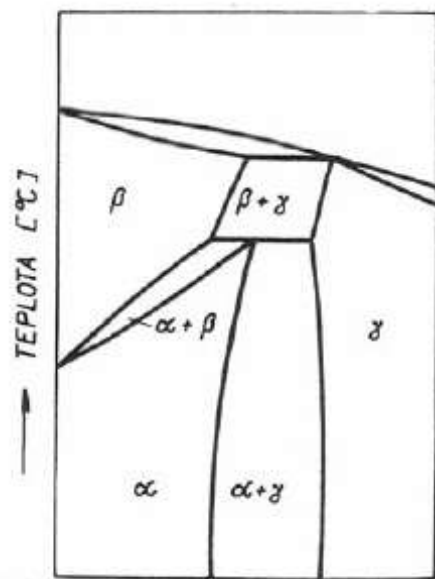
Rozdelenie legúr titánu

Podľa typu vznikajúceho tuhého roztoku poznáme legúry, ktoré vytvárajú:

- intersticiálny tuhý roztok: H, O, N, C
- substitučný tuhý roztok: Al, Cr, Nb, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Si, Zr, Ta, Sn, W, V, Pd

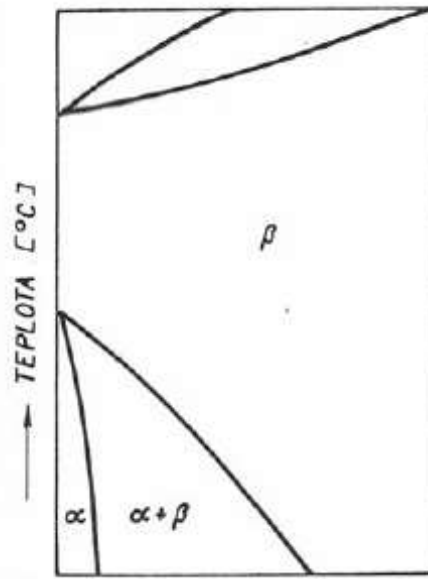
Delenie zliatin podľa konečnej štruktúry

- zliatiny α
- zliatiny pseudo α (s obsahom max. 5% fáze β)
- zliatiny $\alpha+\beta$
- zliatiny β
- zliatiny pseudo β (s malým obsahom fáze α)



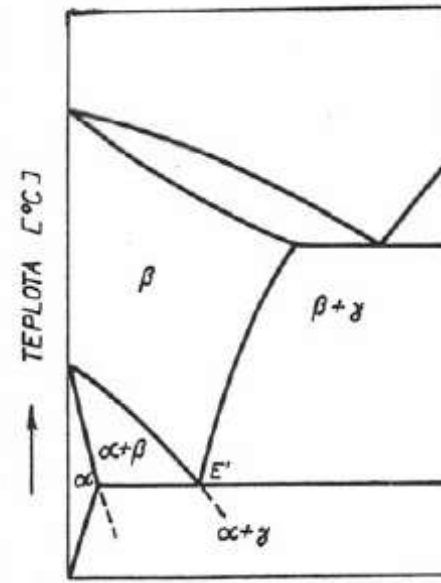
Ti Al, O, N, C

Vplyv α stabilizátorov



Ti V, Nb, Mo, Ta

Vplyv β stabilizátorov
úplný



Ti Mn, Fe, Cr, Si, Ni, Cu, Co

Vplyv β stabilizátorov čiastočný
pri eutektoidnej premene

Vplyv legúr podľa rozpustnosti vo fáze α a vo fáze β

- α stabilizátory (Al, O, N, C) zvyšujú teplotu fázovej premeny $\alpha \leftrightarrow \beta$. Z praktického hľadiska je použiteľný iba Al, lebo O, N, C je nutné udržiavať na nízkej hladine kvôli ich vplyvu na skrehnutie
- β stabilizátory prvého typu – úplné (V, Nb, Mo, Ta) znižujú teplotu fázovej premeny a zachovávajú tuhý roztok β až do izbovej teploty
- β stabilizátory druhého typu – čiastočné (Cu, Si, Cr, Mn, Fe, Co, Ni) sú menej účinné a pri nízkej teplote sa tuhý roztok β eutektoidne rozpadáva
- neutrálne legúry (Sn, Zr) nemajú vplyv na premenu $\alpha \leftrightarrow \beta$

Zliatiny α

Obsahujú **Al ako α stabilizátor** a neutrálne pôsobiace Sn a Zr.

Dobrá pevnosť a odolnosť proti krehkému porušeniu i za veľmi nízkych teplôt. Pre kryogénne aplikácie. Žiarupevnosť do 300°C. Korózna odolnosť.

Optimálne vlastnosti: 5 % Al a 2-3 % Sn.

Zliatina: TiAl5Sn2,5 ($R_m = 825 \text{ MPa}$, A = 10%)

Zvariteľné výkovky a plechy, lopatky leteckých motorov a parných turbín

Zliatiny pseudo α

Do základnej Ti-Al bázy sa pridávajú prvky stabilizujúce a spevňujúce fázu β .

Obsah β fázy – 2 až 5%.

Majú **pevnosť o 10-20% vyššiu** než zliatiny α a **lepšiu tvárnosť** pri teplote okolia.

($R_m = 950 - 1275 \text{ MPa}$, A = 10%)

Vysoké a **stále mechanické vlastnosti pri vyšších teplotách (500 až 550°C).**

turbokompresory

Zliatiny $\alpha + \beta$

Široká škála štruktúr – teda aj vlastností

Môžu byť tvorené rovnoosými zrnami alebo lamelami oboch tuhých roztokov

Najčastejšie používaná zliatina: **Ti-6Al-4V, $R_m = 1125 \text{ MPa}$**

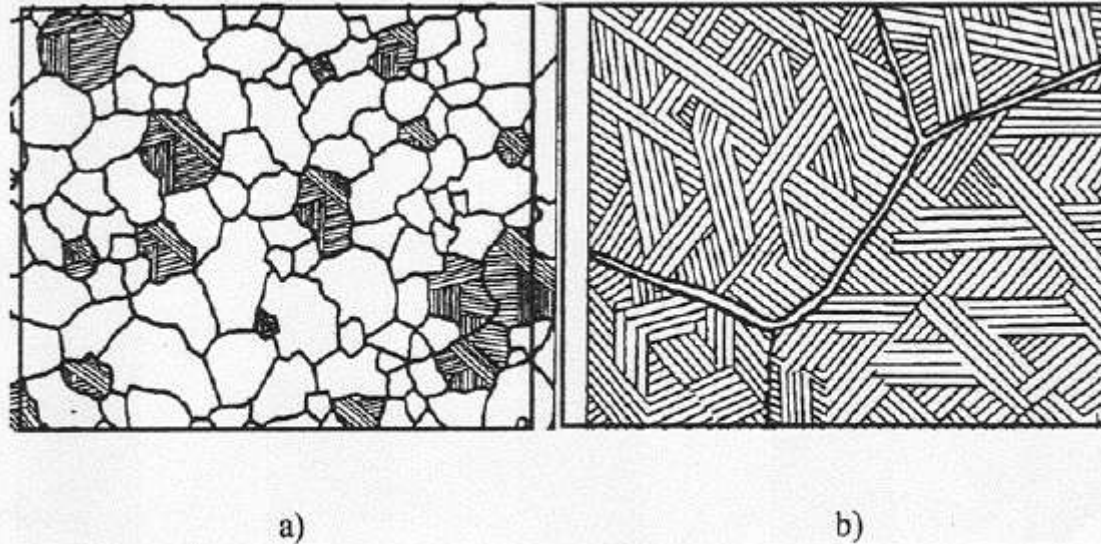
Na výroby tejto zliatiny sa spotrebuje cca 50% celej produkcie **Ti**.

V žíhanom stave **lepšia tvárnosť** ako u zliatin α a pseudo α ,
možno ich TS vytvrdiť.

Zvárateľnosť a odolnosť proti tečeniu je horšia než u zliatin α a pseudo α

Použitie:

lopatky turbín, kompresorov, časti podvozkov lietadiel, športové náradia, tlakové nádoby, čerpadlá na plyny a chemikálie, zbrane.



Hlavné morfológické typy štruktúr zliatin titánu $\alpha + \beta$
v žíhanom stave

- a) Rovnoosé zrná tuhých roztokov α a β
- b) Lamely tuhých roztokov α a β

Zliatiny β a pseudo β

Sú to zliatiny vo vývoji.

Ich prednosťou je **vysoká odolnosť proti korózii** a veľmi dobrá tvárnosť pri teplote okolia, daná mriežkou.

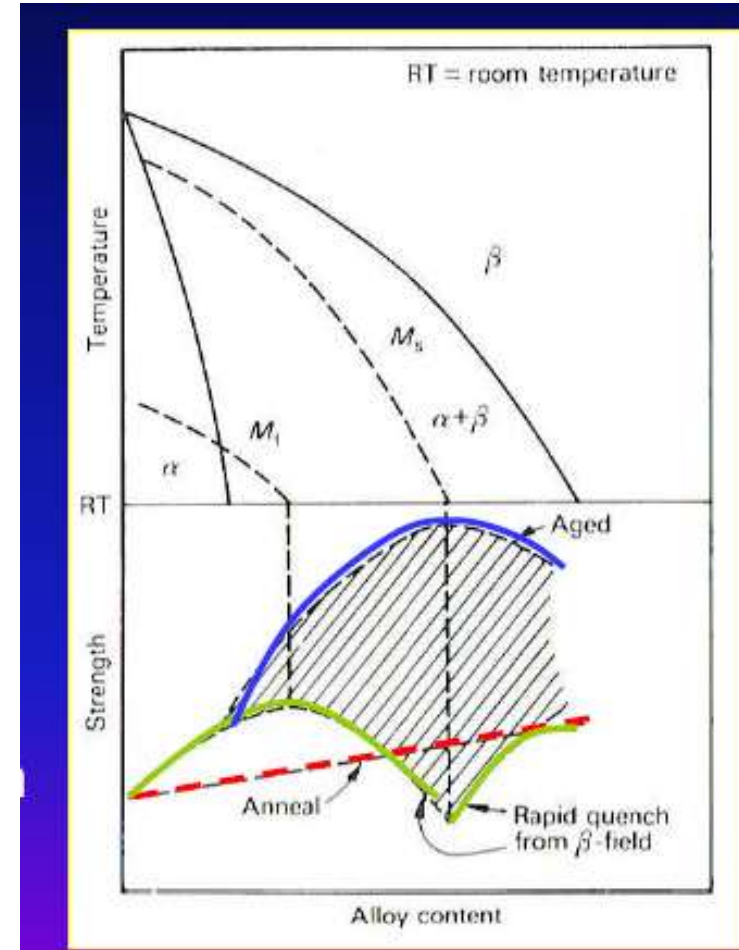
Pevnosť v ťahu až 1400 MPa.

Súčiastky lietadiel a rakiet

Základný princíp tepelného spracovania

TS sa aplikuje hlavne na α/β a β titánové zliatiny v dôsledku $\alpha - \beta$ transformácii

- **Pevnosť** žíhaných zliatin sa zvyšuje postupne a lineárne so zvyšujúcim sa **obsahom legúr**.
- **Kalenie** z oblasti β fázy spôsobuje **martenzitickú transformáciu** so zlepšenou pevnosťou (v závislosti od obsahu).
- Pre **nízko legovaný Ti**, rýchle kalenie z oblasti β spôsobuje **maximálnu pevnosť** pri M_f .
- Pre **vysokolegovaný Ti**, rýchle kalenie z oblasti β spôsobuje najnižšiu pevnosť, ale po starnutí **maximálnu pevnosť**.



Kovy s javom tvarovej pamäti

Materiály s tvarovou pamäťou

Základom je intermetalid TiNi, ktorý možno tvárniť aj za studena

45%Ti, 55%Ni „NITINOL“

Jav tvarovej pamäti (SME) bol prvýkrát objavený v roku 1951 v zliatine **zlato-kadmium (AuCd)**.

Neskôr, v roku 1963, v zliatine **nikel-titán („NiTinol“)**.

Ďalšie zliatiny: **Cu-Al-Ni, Cu-Al-Mn, Ni-Ti-Cu, Ni-Ti-Hf** a v mnohých ďalších.

Tento jav sa pozoruje aj u iných zliatin, avšak s malým efektom.

Tieto zliatiny patria do skupiny intermetalických zlúčenín.

Intermetalické zlúčeniny sú zlúčeniny dvoch a viac kovov s usporiadanou kryštalickou štruktúrou.

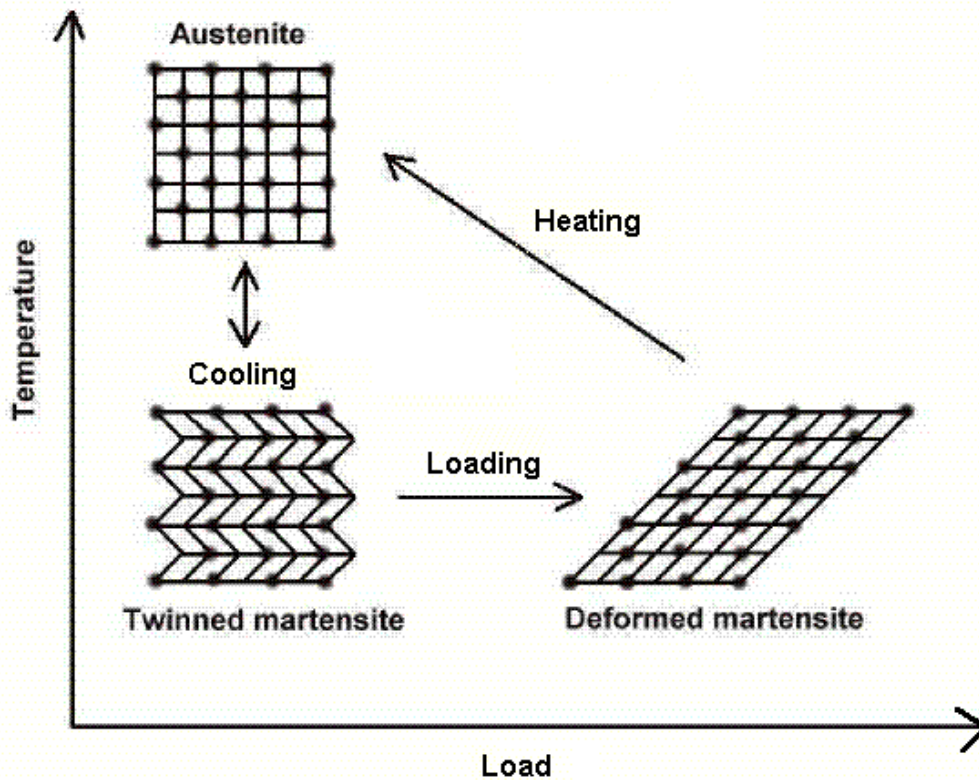
Jav tvarovej pamäti (Shape memory effect, SME)

je dôsledkom termoelastickej martenzitickej transformácie.

Martenzit je kryštálová štruktúra, ktorá vzniká **bezdifúznou** fázovou transformáciou.

Zaujímavou vlastnosťou zliatin s tvarovou pamäťou je **elastická deformácia**. Zvyčajne elastická deformácia u bežných kovov nepresahuje 1%, u kovov s efektom tvarovej pamäti môže elastická deformácia **dosahovať až 15%**.

Priebeh martenzitickej transformácie závisí od podmienok ako je: **teplota, napätie** a v niektorých zliatinách i **magnetizmus** (napr. NiMnGa).



Materiál mení svoju štruktúru **zmenou teploty a napätia**.

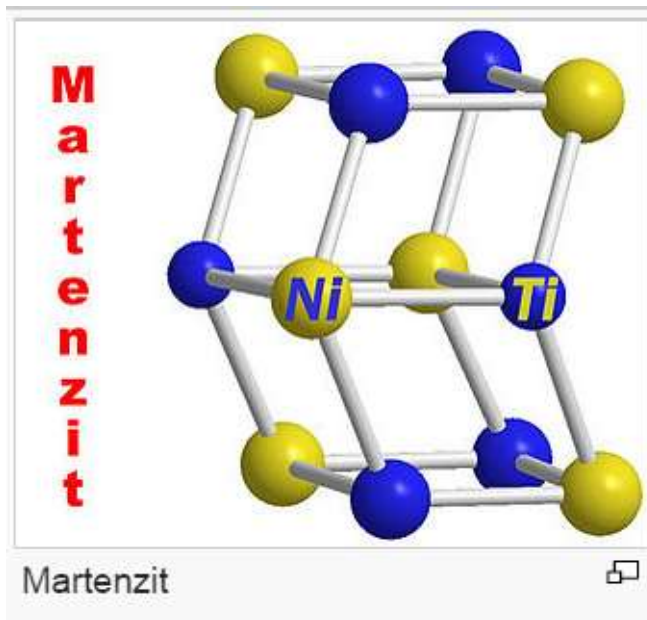
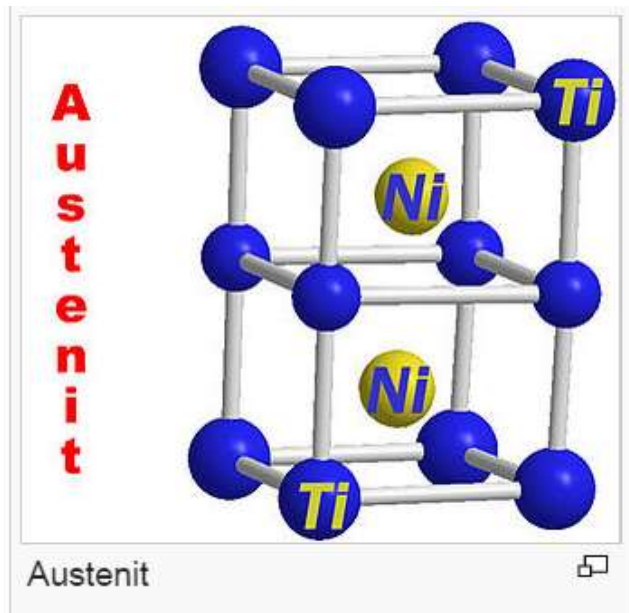
Základným krokom je pri výrobe dostať v materiáli vhodnú štruktúru.

Touto štruktúrou je tzv. **dvojčat'ový martenzit**.

Tento dostávame rýchlym ochladením materiálu z austenitu.

Po deformácii vznikne z **dvojčat'ového martenzitu** tzv. **deformovaný martenzit**.

Deformovaný martenzit vieme ohriatím dostať pri materiáloch s reverzibilnou martenzitickou premenou späť do oblasti austenitu.



M_s : začiatok premeny austenitu na martenzit pri ochladzovaní

M_f : koniec premeny austenitu na martenzit pri ochladzovaní

A_s : začiatok premeny martenzitu na austenit pri ohreve

A_f : koniec premeny martenzitu na austenit pri ohreve

Austenit má zväčša štruktúru s vysokou symetrickou kubickou mriežkou.

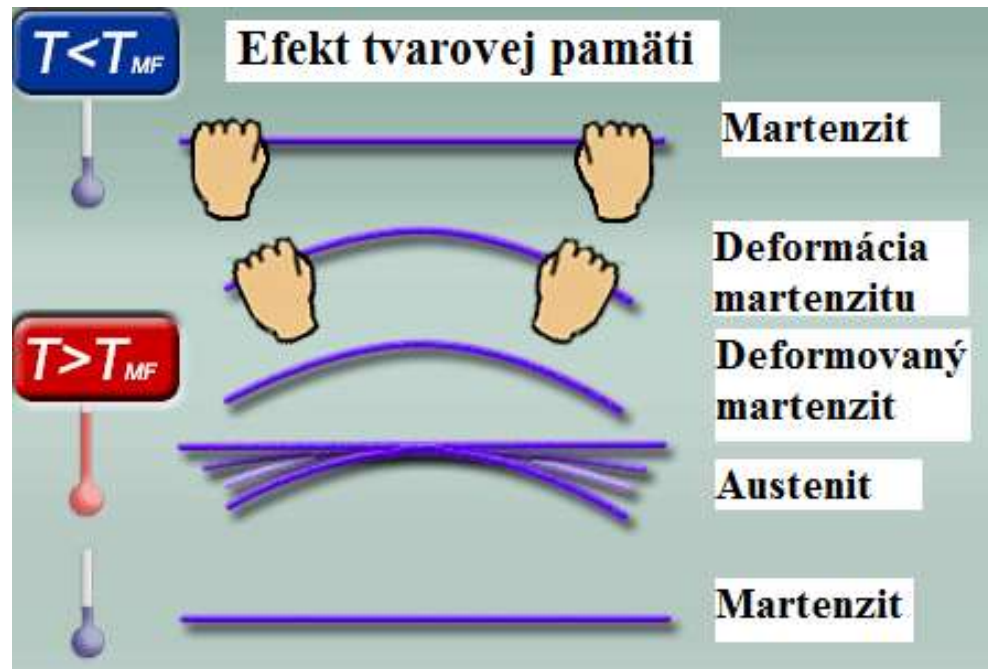
Martenzit má nižšiu symetriu, mriežka je ortorombická, tetragonálna, monoklinická a i.

Transformácia austenitu na martenzit sa uskutočňuje presunovacím šmykom.

Ak sa martenzit deformuje, deformácia počas ohrevu vzorky sa úplne odstráni.

Uvoľňovanie deformácie, alebo SME sa začína pri teplote A_s a je ukončené pri A_f .

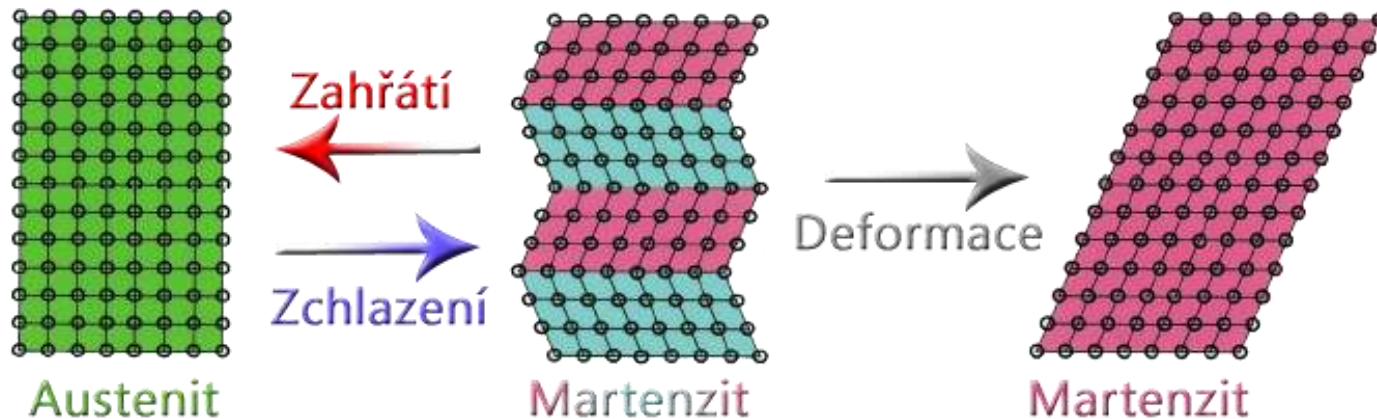
Vzorka, ktorá je deformovaná v oblasti výskytu 100% martenzitu, nadobudne pôvodný tvar, keď sa ohreje nad teplotu A_f .



Kritické teploty M_s , M_f , A_s a A_f závisia od zloženia zliatiny a jej termo-mechanického spracovania.

Prechod z austenitu na martenzitu, vyzerá ako keď sa pokúsime pôvodnú kocku zložiť z kosých kvádrov, rôzne orientovaných k pôvodnej kocke.

Pokiaľ na zliatinu pri transformácii nepôsobia žiadne vonkajšie sily, tak výsledná „kocka“ si zachová približný tvar i objem, ktorý mal austenit.



Efekt tvarovej pamäti má 2 základné prejavy:

Jednocestná pamäť je bežný pamäťový efekt.

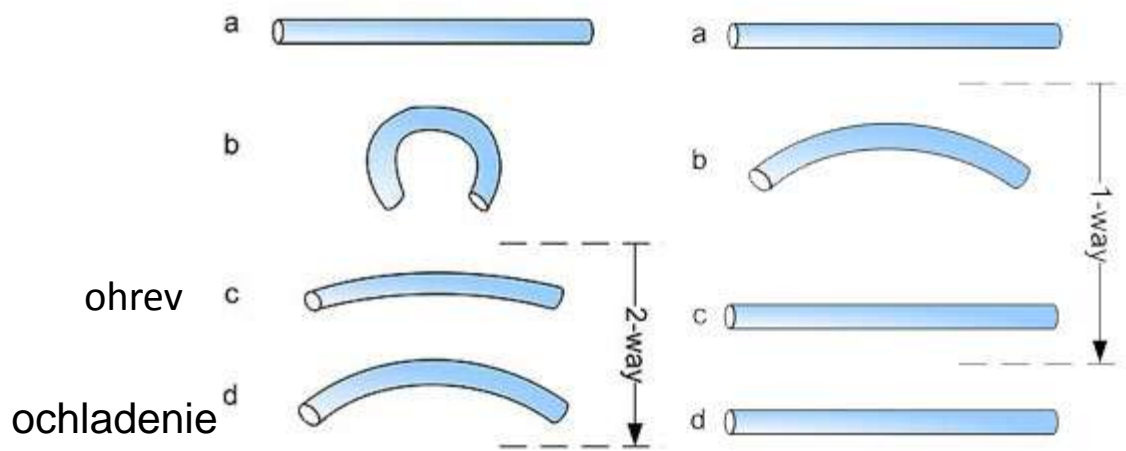
To znamená, že zliatina z austenitu prejde na martenzit alebo skôr zmes viacerých rôznych martenzitov.

Po ohreve zliatina prejde späť do jediného austenitu (vráti sa do pôvodného tvaru). Zliatina si pamätá len jednu polohu (austenit), preto je to pamäť jednocestná.

Dvojcestnú pamäť možno „vytrénovať“ z jednocestnej.

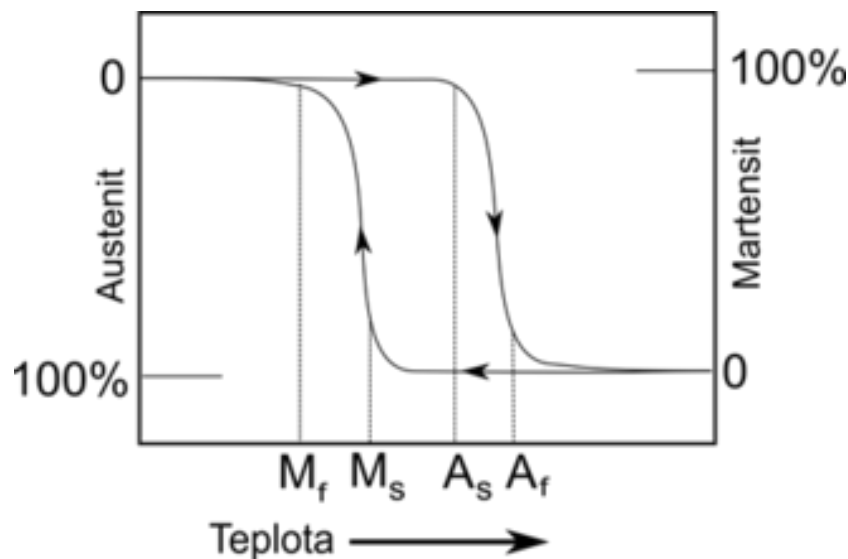
SME aj pri ohreve aj pri ochladzovaní.

Pre dosiahnutie dvojcestného javu je potrebné špeciálne termomechanické spracovanie zliatiny, tzv. tréning, ktoré vyvolá potrebnú zmenu počas ohrevu a ochladzovania.



Zmenou kryštálovej štruktúry sa menia i fyzikálne vlastnosti látok s tvarovou pamäťou.

V týchto zliatinách pozorujeme **hysterézne chovanie** pri prechode z jednej fázy do druhej.



Obr. Hysterézna krivka pomeru medzi martenzitom a autenitom

Šírka teplotnej hysterézie sa rovná $M_s - A_s$. Šírka môže byť v rozmedzí 1 °C až 60 °C a závisí hlavne od zloženia a typu zliatiny.

Martenzit môže vzniknúť aj pôsobením dostatočne vysokého napätia
Ide o tzv. **napäťovo indukovaný martenzit**.

Ak sa napätie odstráni, elastická deformácia relaxuje a martenzit transformuje
Deformácie, ktoré vznikajú z tejto mechanickej tvarovej pamäti sú označované
ako **superelastické chovanie**.

Procesy superelasticity nastávajú za podmienok namáhania súčiastky
z materiálu s tvarovou pamäťou v austenitickej fáze (pri teplote vyššej ako A_f).
Vtedy môže dôjsť k transformácii austenitu na martenzit i bez pôsobenia zmeny
teploty t.j. len vplyvom napätia.

Tvarová zmena je síce obmedzená ale je plne vratná pri odľahčení.

Prakticky sa využívajú dve základné skupiny zliatin s efektom tvarovej pamäti:

- **Zliatiny Ni-Ti**, zodpovedajúce svojim zložením nikelidu titánu (približne 45 hmot. % Ti), sú biologicky kompatibilné a používajú sa najmä na aplikácie v medicíne.
- **Zliatiny Cu-Zn-Al**, zodpovedajúce svojim zložením elektrónovej zlúčenine typu 3/2 (obsah Zn a Al je volený tak, aby elektrónová koncentrácia bola 1,4-1,5), ktoré sú cenovo dostupnejšie, ale môžu sa použiť len na technické aplikácie.

Aplikácie:

V priebehu 60.-70. rokoch NASA študovala a vyvíjala pamäťové zliatiny pre použitie na satelitné antény, ktoré by sa rozvinuli a expandovali pri vystavení slnečnému žiareniu.

Nitinol sa začal používať v medicíne. Ide o nehrdzavejúci kov s veľkou biokompatibilitou.

V roku 1971 P.N. Sawyer a M. Page vytvorili umelé experimentálne srdce za použitia 50 μm Nitinolového drôtku. Pracovalo žiaľ iba v rozmedzí 12 až 15 úderov za minútu (omnoho pomalšie ako ľudské srdce).

Iné experimenty tvorili zubné strojčeky, elastický rám okuliarov a krvné filtre, ktoré by sa dali ľahko zaviesť do žíl alebo artérií a neskôr by sa vplyvom ľudského tepla roztiahli a umožnili by lepší prietok.

Firma Delta Metals v Anglicku vyvinula automatické vetranie skleníkov a ventily na potrubiach s horúcou vodou.

Japonská firma Shap Electric Company a Matsushita Electric použili tieto materiály ako kontrolné poistky v elektrických sporákoch a na pohybovanie žalúzií na ventilátoroch.

Firma Panasonic vyrábala kávovar, ktorý používal NiTi struny ako tepelný senzor.



Obr. Príklad použitia

<https://www.youtube.com/watch?v=-K57cbOhA5g>

<https://www.youtube.com/watch?v=oakDTbZHdks>

<http://www.youtube.com/watch?v=fLGaF6cWI04&feature=related>

<http://www.youtube.com/watch?v=Mh31B4Ryn9U&feature=related>

Prednáška 8.

Zliatiny zinku, zliatiny horčíka.

Zinok a jeho zliatiny

Merná hmotnosť je $7,14 \text{ g.cm}^{-3}$

Teplota tavenia (420°C) a teplota odparovania (907°C).

Kryštalizuje v mriežke H 12.

Zinok je tvrdý a krehký pri väčšine teplôt.

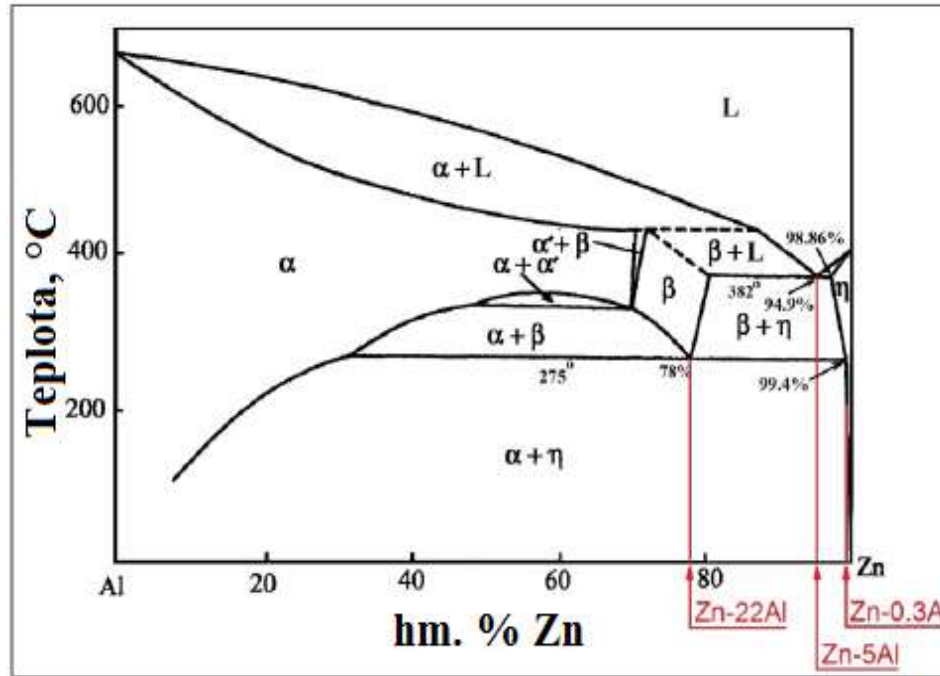
Ťažný je v rozmedzí teplôt 100 až 150°C , nad teplotou 210°C sa stáva opäť krehkým.

Polotovary zinku možno valcovať na plech, avšak tvárniaca schopnosť zinku je obmedzená, čo vyplýva z jeho kryštalickej mriežky.

Zliatiny zinku majú dobré zlievarenské vlastnosti, výbornú zabiehavosť.

Približne 60% zinku sa využíva v povrchovom inžinierstve na koróznú ochranu ocelí. Približne 15% zinku sa využíva ako legúra pri výrobe zliatin medi, predovšetkým mosadzí. Ďalších 15% zinku sa používa na výrobu zinkových zliatin.

Zlievarenské zliatiny zinku



Binárny diagram Al-Zn.

Zlievarenské zliatiny zinku obsahujú ako **hlavný prísadový prvok hliník**, ktorý zlepšuje odlievateľnosť.

Rovnovážny diagram Al-Zn ukazuje, že najvýhodnejší obsah hliníka z hľadiska zlievarenských vlastností je v rozmedzí eutektika, t.j. 3,8 až 4,3%, ale obsah hliníka v zliatinách sa pohybuje až do 27%.

Rozpustnosť Al v Zn je nízka.

Zamac (ZAMAK) je nemecký akronym zinkovej kompozície – Zinok, hliník (alumínium), horčík (Magnézium) a meď (Kupfer).

Zliatina je vhodná na odstredivé liatie presných odliatkov.

Zliatiny Zamak spĺňajú najvyššie štandardy pre priemyselné použitie.

V Európe sú ich vlastnosti a chemické zloženie kontrolované podľa normy EN 1774 pre ingoty a podľa EN 12844 pre odliatky.

V praxi je nepoužívanejšou zliatinou Zamak 3, nasleduje Zamak 2, Zamak 5 a Zamak 7.

Zamak 3 a 5 sú najpoužívanejšie pri tlakovom liatí.

Názov a označenie najpoužívanejších zinkových zliatin

Názov	Označenie
Zamak 2	ZnAl4Cu3
Zamak 3	ZnAl4
Zamak 4	-
Zamak 5	ZnAl4Cu1
Zamak 7	ZnAl4Ni
ZA-8 (Zamak 8)	ZnAl8Cu1
ZA-12 (Zamak 12)	ZnAl11Cu1
ZA-27 (Zamak 27)	ZnAl27Cu2

Pre výrobu zliatin Zamak sa používa zinok najvyššej čistoty (99,99 %).
Problémom zinkových zliatin je obsah plynov uzavretých v odliatkoch.

Vodík je hlavný plyn, ktorý je zodpovedný za tvorbu pórovitosti.

Plyny je nutné odstrániť už pri odlievaní.

Docieli sa toho vyvinutím zvýšeného tlaku na zliatinu vstriednutej do oceleovej formy odliatku, tým sa prebytočný plyn z odliatku vytlačí.

V niektorých prevádzkach sa tento technologický krok podceňuje alebo vedome vynecháva z dôvodu skrátenia výrobného cyklu.

Ostatné typy zliatin zinku

EZAC

Zliatina má vynikajúcu tekutosť a nízku liacu teplotu (415-440 °C), je vhodná pre liatie na strojoch s teplou komorou.

ACuZinc

ACuZinc je najnovšia zlievarenská zliatina zinku, ktorá bola vyvinutá pre potreby určitých špecifických spôsobov a metód tlakového odlievania. Zliatina má vyššiu odolnosť voči tečeniu, opotrebeniu a vyšší koeficient trenia. Odlieva sa pri vyšších teplotách 480 – 490°C.

Zinag

Zinag je zliatina tvorená tromi kovmi – zinkom, hliníkom a striebrom. Vyznačuje sa vynikajúcimi mechanickými a antikoroznymi vlastnosťami a nízkou hmotnosťou. Oblasť použitia je predovšetkým v letectve, kozmonautike, medicíne, v automobilovom a v stavebnom priemysle.

Superloy

Zliatina má (Al 6,6 - 7,2%, Cu 3,0 – 3,6%) vynikajúcu odolnosť proti tečeniu.

Zliatina sa používa pre tlakové liatie na strojoch s teplou komorou, čo zaručuje vysokú presnosť rozmerov odliatkov.

Superloy je teda vhodným materiálom pre aplikácie, kde potrebujeme kompromis medzi presnými rozmermi a vysokými mechanickými vlastnosťami. Je veľmi vhodná pre elektrotechnické súčiastky, konektory, adaptéry a malé presné súčiastky.

Zliatiny horčíka

Zliatiny horčíka majú nízku mernú hmotnosť a podobné mechanické vlastnosti ako zliatiny hliníka.

Hlavné výhody Mg zliatin sú:

veľmi nízka hustota,
schopnosť odlievania veľmi tenkých odliatkov,
výborná obrobiteľnosť,
dobrá zvariteľnosť pre oblúkové zváranie v ochrannej atmosfére.

Hlavné nevýhody Mg zliatin sú:

zlá tvárnosť za studena,
nižšia korózna odolnosť,
vysoká reaktivita,
vysoká cena,
nižšia rázová húževnatosť,
výrazná anizotropia vlastností tvárnených výrobkov.

Príprava taveniny

Hlavný problém je vysoký sklon k oxidácii.

Príprava taveniny sa musí robiť v ochranej atmosfére.

Po natavení, rafinácii, odplynení a zjemnení zrna nasleduje liaci proces, opäť v ochranej atmosfére.

Na tavenie sa používajú pece indukčné téglikové, elektrické odporové pece. Menej často sa používajú plynové pece.

Aby sa zabránilo neželanej oxidácii, je snaha chrániť taveninu **taviacimi soľami** alebo **plynnou atmosférou**.

Taviace soli sa používajú od začiatku odlievania hliníkových zliatin.

V moderných taviacich agregátoch sa používajú už iba plyné atmosféry.

Pri tavení horčíkových zliatin je vsádzka tvorená zložkami:

- **kovovými**, ktoré tvoria hotové zliatiny dodávané vo forme ingotu, vratný materiál (vtokové sústavy, náliatky...) a legúry.
- **nekovovými**, ktorú predstavujú legujúce prísady, ktoré sa vsádzajú vo forme solí – MnCl_2 , K_2ZrF_6 , atď.
- tavidlá (**krycie a rafinačné soli**).

Rafinácia taveniny horčíkových zliatin

Cieľ: odstránenie nekovových častíc, vodíka, nežiaducich prímiesí taveniny.

Uskutočňuje sa rafinačnými soľami, poprípade odplynením.

Tavenina môže obsahovať nežiaduce prímiesí:

- nekovové prímiesí, t.j. hlavne zvyšky tavidiel v podobe jemne rozptýlených vmestkov MgCl_2 , NaCl , CaCl_2 , MgO ;
- kovové prímiesi - Fe, Ni;
- rozpustené plyny, v horčíkových zliatinách sa najčastejšie vyskytuje vodík.

Zliatiny horčíka :

- zlievarenské
- na tvárnenie.

Základnou fázou je substitučný tuhý roztok legujúcich prvkov v horčíku – fáza α .

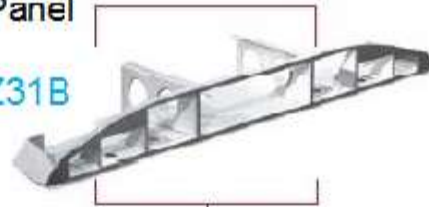
Zliatiny horčíka sú väčšinou ternárne.

Hlavnými prísadami sú Al, Zn a Mn, ale aj Si, Th alebo kovy vzácnych zemín.

Používajú sa aj dve binárne zliatiny Mg-Al a Mg-Zn.

Cockpit Instrument Panel

Material: Mg alloy AZ31B



Service Door
Inner Panel

Material: Mg sheet
AZ31B or ZK10



Rudder Pedal

Material: Mg alloy
AZ80A



Zliatiny horčička na tvárnenie

Zásadný vplyv pre zlepšenie tvárniteľnosti a zvýšenie mechanických vlastností má veľkosť zrna.

Jemnozrnné horčičkové zliatiny sú lepšie tvárniteľné.

Zliatiny Mg-Al-Zn, obyčajne obsahujú 3 až 9% Al, 0,2 až 1,5% Zn, 0,15 až 0,5% Mn.

K najviac používaným zliatinám patrí MgAl₄Zn, ktorá sa dobre zvara.

Zliatina MgAl₆ sa používa na profily, výlisky a plechy.

Zliatiny Mg-Al-Cd patria k zliatinám vysokopevnostným. Namiesto Zn obsahujú Cd a Ag.

Zliatiny Mg-Zn-Zr obsahujú 2 až 6% Zn a 0,7% Zr. Používajú sa najmä v leteckom priemysle. Zirkón zvyšuje pevnosť, tvárnosť a odolnosť proti korózii.

Zliatiny Mg-Mn a Mg-Mn-Al sú použiteľné do teploty 200°C a majú dobrú odolnosť proti korózii.

Zliatiny Mg-Mn s prídavkom tória (2 až 3%) majú pri vyšších teplotách vysoké pevnostné vlastnosti.

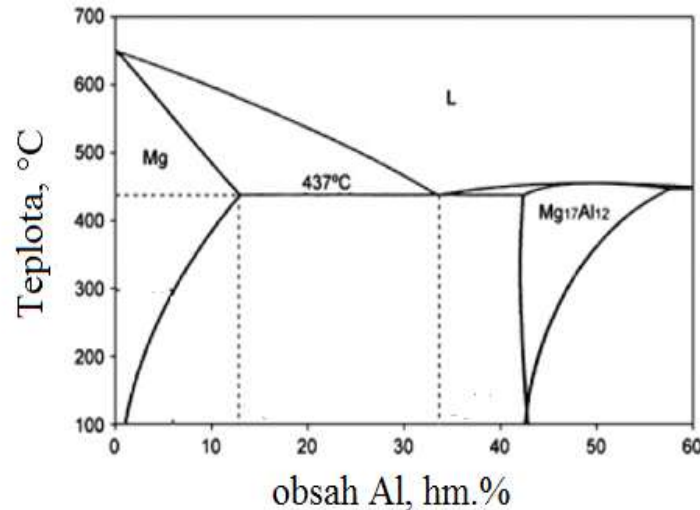
Zliatiny horčíka na odlievanie

- obsahujú väčšie množstvo legúr ako zliatiny na tvárnenie,
- v ich štruktúre je prítomné eutektikum.

Rozpustnosť hliníka v horčíku je pri eutektickej teplote 11,5% a postupne klesá na približne 1% pri izbovej teplote.

Eutektikum je tvorené α fázou (substitučný tuhý roztok hliníka v horčíku) a β fáza ($\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$).

Obsah zinku v zlievarenských zliatinách nezvykne byť vyšší ako 1 až 2%.



Časť binárneho diagramu Mg-Al

Zliatiny Mg-Al-Zn obsahujúce do 12% Al, 3% Zn a Mn sú najpoužívanejšími zlievarenskými zliatinami horčíka. Použiteľné sú až do teploty 150°C.

Známe sú pod označením „*elektrón*“ (obchodný názov používaný v USA).

Je vhodná pre odlievanie do piesku aj dosahuje po vytvrdzovaní pevnosť v ťahu 270 MPa a ťažnosť 3%.

Zliatiny Mg-Mn sa vyznačujú horšími zlievarenskými vlastnosťami v porovnaní s ostatnými zliatinami horčíka, hlavne zabiehavosť je horšia a vyššie zmraštenie. Obsahujú 1 až 2,5 % Mn, nevytvrdzujú sa a majú pomerne nízke mechanické vlastnosti ($R_m = 80$ až 110 MPa).

Zliatiny Mg-Zn-Zr, prísada Zr (0,4 až 1%) zjemňuje zrno. Prísadou KVZ (kovov vzácnych zemín), napr. céru k základnej zliatine Mg-Zn-Zr sa zlepšujú mechanické vlastnosti a možno ich použiť do teploty 200 až 250°C.

Zliatiny Mg-KVZ majú vysokú žiarupevnosť, s hlavnými prísadovým prvkom neodýmom sú použiteľné do 250 až 300°C. Obsahujú tiež Zr, ktorý zjemňuje zrno.

Zliatiny Mg-Zn-Zr-Th boli vyvinuté v Rusku. Tieto zliatiny sa vyznačujú jednou z najvyšších žiarupevností z horčíkových zliatin. Sú schopné dlhodobo byť vystavené teplotám až 350°C.

Prednáška 9

Nikel a jeho zliatiny

Nikel

- Ťažký kov s hustotou $8,9 \text{ g.cm}^{-3}$
- Teplota tavenia je 1455°C .
- Patrí do triády feromagnetických kovov spolu s Fe a Co, (Fe-Co-Ni).
- Curieho teplota niklu je 357°C (nad Curieho teplotou stráca feromagnetické vlastnosti).
- Kryštalizuje v mriežke K12, je tvárny.
- Dá sa kovať, valcovať na plech, môžu sa z neho ťahať drôty.
- Čistý nikel je dobre zvariteľný. Jeho medza klzu je približne 150 MPa, pevnosť v ťahu 400 až 450 MPa a ťažnosť dosahuje 50%.
- Tvárnením za studena sa pevnosť v ťahu zvyšuje až na 1 100 MPa, ťažnosť sa znižuje na 2%.
- Významnou vlastnosťou niklu je vysoká rázová húževnatosť i pri nízkych teplotách.
- Pre zlepšenie mechanických a korózných vlastností sa leguje zliatinovými prvkami.

Zliatiny niklu

Zliatiny niklu sú vo všeobecnosti pevnejšie, tvrdšie a húževnatejšie ako väčšina zliatin neželezných kovov a tiež ako mnoho ocelí.

Ich cena je však pomerne vysoká, avšak nižšia ako cena titánových zliatin.

Nikel možno legovať mnohými kovmi. Úplne rozpustná v tuhom stave v nikli je meď. Širokú rozpustnosť v nikli má Fe a Cr, čo vytvára možnosti pre prípravu mnohých zliatin.

Konštrukčné zliatiny niklu

Konštrukčné zliatiny možno rozdeliť do troch skupín:

zliatiny pre prácu v bežných podmienkach,
antikorózne zliatiny,
žiaruvzdorné a žiarupevné zliatiny.

Konštrukčné zliatiny niklu pre prácu v bežných podmienkach.

Nevytvrdiviteľné konštrukčné zliatiny sa spevňujú tvárnením za studena.

Do tejto skupiny patria zliatiny s prísadou Mn, Si a Mo.

Zlievarenské zliatiny Ni-Si majú vyšší obsah Si (9%) a ďalšie prísady ako Cu, Fe, Cr, Co a Mn.

Vytvrdiviteľné konštrukčné zliatiny sa spevňujú precipitačným vytvrdzovaním.

V zliatinách Ni-Be (do 2% Be) sa dosahuje po vytvrdení pevnosť až 1 800 MPa pri dostatočnej ťažnosti.

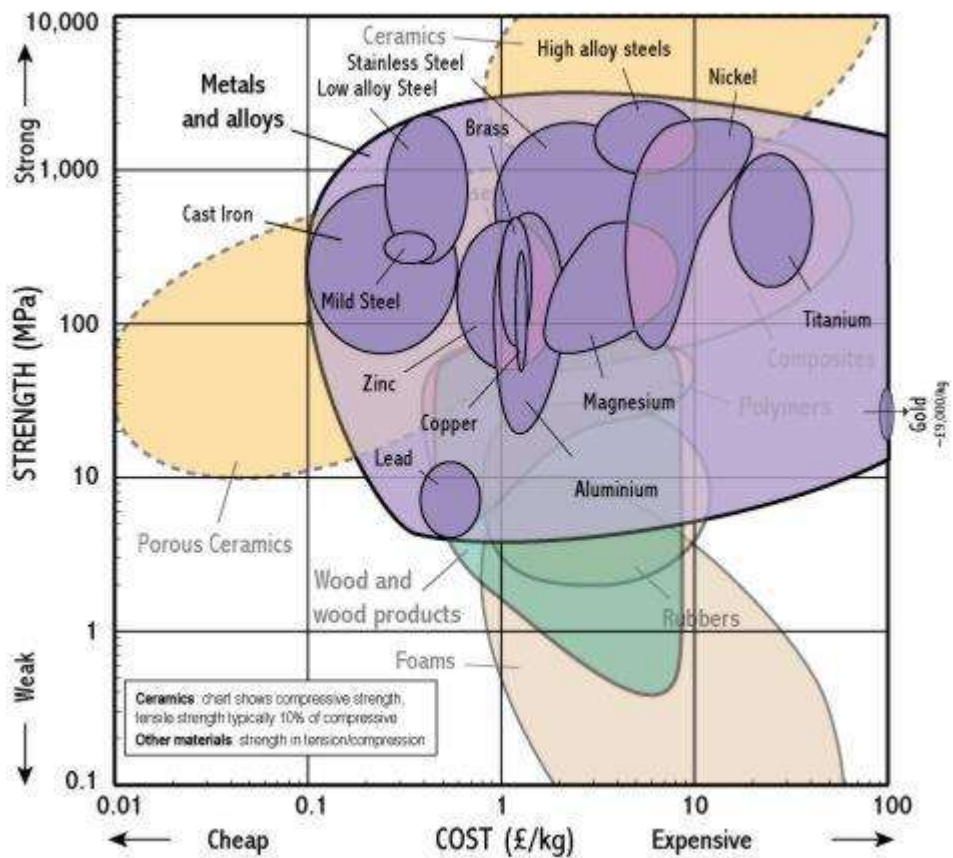
Zliatiny Ni-Al (do 4,5% Al) majú po precipitačnom vytvrdzovaní pevnosť až 1 350MPa pri ťažnosti 7%.

K najrozšírenejším zliatinám niklu patria zliatiny **Ni-Cu**, známe ako **monely**.

Vyznačujú sa vysokou odolnosťou proti korózii.

Súčasnú zliatiny Ni-Cu obsahujú 28 až 34% medi, prípadne niektoré ďalšie kovy ako Si, Mn, Fe, Al.

Sú ťažné a húževnaté a dajú sa dobre zvarať.



MONEL 400 - 28 až 34% Cu.

Má vysokú pevnosť a húževnatosť v širokom rozsahu teplôt a výbornú koróznú odolnosť.

Použitie má pre výrobu súčastí v námornom a chemickom priemysle.

Currieho teplota je v rozsahu 21 – 49°C.

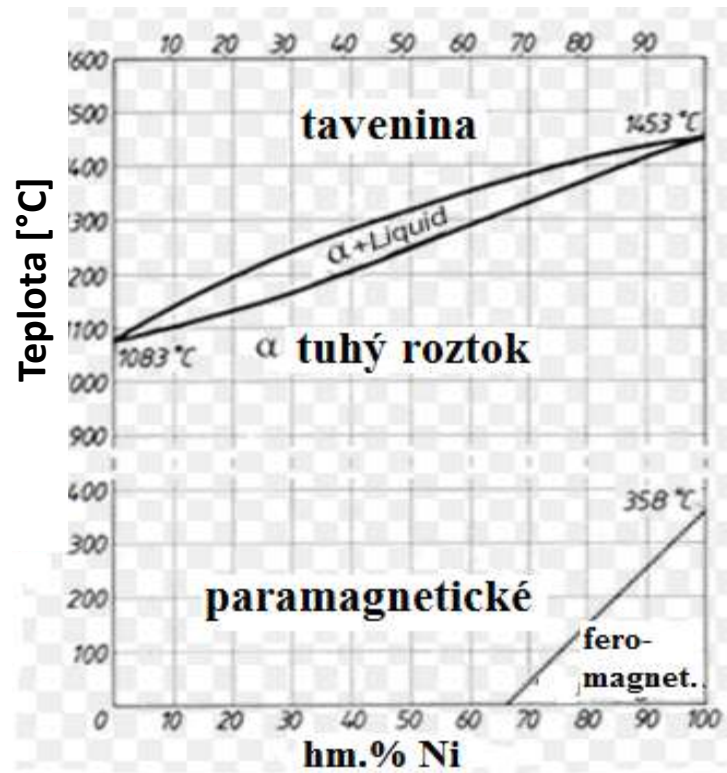
Okrem Ni, Cu obsahuje do 2,5% Fe, do 2% Mn, do 0,3% C, do 0,5%Si a do 0,024% S.

Monel K-500, kombinuje vynikajúcu koróznú odolnosť MONELu 400 spolu s vyššou pevnosťou a tvrdosťou.

Po precipitačnom vytvrdení má pevnosť 1 100 MPa.

Obsahuje okrem niklu 28-33% Cu, 2-3% Al, 0,03-0,85% Ti, do 2% Fe, do 0,25% C, do 1,5% Mn, do 0,01%S, do 0,5% Si.

Monel R-405 je voľne obrobiteľný variant zliatiny Monel 400. Obsahuje určité množstvo síry, ktoré spôsobuje tvorbu sulfidických inklúzií, ktoré zapríčiňujú lámanie triesky počas obrábania. Podobne ako Monel 400 odoláva morskej vode a pare pri vysokých teplotách, podobne ako zásaditým roztokom. Spevňuje sa deformáciou.



Binárny diagram Cu-Ni.

Antikorózne zliatiny niklu

používajú sa pre najťažšie korózne podmienky vtedy, ak iné materiály nevyhovujú svojou koróznou odolnosťou (oceľ), mechanickými vlastnosťami (olovo, nekovové materiály) alebo extrémne vysokou cenou (tantal, titán).

Tieto materiály sú veľmi drahé a surovinovo náročné.

Majú vysokú pevnosť, ale väčšina z nich má len obmedzenú schopnosť deformácie za studena.

S rôznymi obmenami chemického zloženia sa vyrábajú vo viacerých štátoch pod rôznymi menami.

Ni-Mo majú veľmi dobrú koróznou odolnosť a obsahujú 16 až 28% Mo a malé množstvo Cr a Fe. Dajú sa tiež dobre zvärať.

Hastelloy je registrovaná ochranná známka výrobcu Haynes International, Inc. Prvou vývojovou zliatinou bola zliatina Hastelloy A (NiMo20Fe20).

Následne bola vyvinutá zliatina Hastelloy B, ktorá obsahovala znížený obsah Fe, menej než 10% Fe a zvýšený obsah Mo (30%). Používa sa pre neoxidujúce prostredia, napríklad na nádrže pre morenie v HCl alebo H₂SO₄.

Žiaruvzdorné a žiarupevné zliatiny niklu

Tieto zliatiny sa používajú tam, kde nevyhovujú svojimi vlastnosťami žiarupevné ocele.

Sú určené pre prevádzkové teploty nad 750°C.

Ide o zliatiny niklu, ktoré vo Veľkej Británii dostali označenie ***Nimonic***.

Pre najvyššie tepelno-pevnostné podmienky sa dnes ako konštrukčné materiály používajú komplexne legované vytvrditeľné zliatiny niklu, označované pre svoje vlastnosti **superzliatiny**.

V súčasnej dobe sa superzliatiny používajú v leteckých a pozemných plynových turbínach, raketových motoroch, chemických a petrolejárskych závodoch, lebo majú schopnosť uchovať si vysoké pevnosti, dokonca aj po dlhodobej tepelnej expozícii nad teplotou 650°C, ktorá je hraničnou teplotou použitia žiarupevných ocelí.

Nimonic je registrovaná ochranná známka [Special Metals Corporation](#), Nimonic väčšinou obsahuje viac ako 50% Ni a 20% Cr s prídavkom Ti a Al.

Niklové superzliatiny tvoria z hľadiska chemického zloženia rozsiahlu skupinu komplexne legovaných zliatin.

Základnou štruktúrnou zložkou (matricou) superzliatin v liatom stave je fáza γ , t.j. tuhý roztok prísad v nikli.

Na spevňovaní matrice sa podieľa fáza γ' (najčastejšie je to intermetalická zlúčenina $\text{Ni}_3(\text{Al,Ti})$), karbidy a v niektorých zliatinách aj ďalšie spevňujúce fázy, ako boridy a pod.

Jedinečné fyzikálne vlastnosti zliatin na báze niklu predstavujú ďalšie ich aplikácie.

Tieto zliatiny možno rozdeliť do nasledovných skupín:

- zliatiny s nízkym koeficientom rozťažnosti
- zliatiny elektrických odporov
- magneticky mäkké zliatiny
- zliatiny s efektom tvarovej pamäti.

Zliatiny s nízkym koeficientom rozťažnosti

Nikel má výrazný vplyv na tepelnú rozťažnosť železa.

Zliatiny možno navrhovať tak, aby mali veľmi nízky koeficient tepelnej rozťažnosti, prípadne aby vykazovali konštantnú alebo známu tepelnú rozťažnosť v širokom intervale teplôt.

Zliatina Fe-36% Ni (**Invar**) vykazuje najnižšiu hodnotu tepelnej rozťažnosti v rozsahu teplôt od štandardnej po 230°C.

Existujú varianty pôvodnej zliatiny Invar s mierne odlišným koeficientom rozťažnosti ako:

Inovco (Fe-33Ni-4,5Co), ďalej zliatina FeNi42 (NILO 42) alebo zliatina FeNiCo, známa ako **Kovar** alebo **Dilver P**.

Zliatiny elektrických odporov

Niektoré zliatiny na báze Ni, prípadne obsahujúce veľké množstvo Ni sa používa na výrobu nástrojov a prvkov meracích zariadení pre meranie a regulovanie elektrických charakteristík (odporové zliatiny), alebo sa využívajú v peciach a zariadeniach generujúcich teplo (výhrevné odporové zliatiny).

Medzi zliatiny **elektrických odporov** s obsahom Ni patria:

- zliatiny Cu-Ni obsahujúce 2 až 45% Ni
- Ni-Cr-Al zliatiny obsahujúce 35-95% Ni
- Ni-Cr-Fe zliatiny obsahujúce 35 až 60% Ni
- Ni-Cr-Si zliatiny obsahujúce 70 až 80% Ni.

Medzi zliatiny **výhrevné odporové obsahujúce Ni** patria:

- Ni-Cr zliatiny obsahujúce 65-80% Ni s 1,5% Si
- Ni-Cr-Fe zliatiny obsahujúce 35 až 70% Ni s 1,5% Si + 1% Nb.

Magneticky mäkké zliatiny

Tieto materiály zahŕňajú široký rozsah zliatin Ni-Fe a Ni-Co, ako aj čisté železo.

Magneticky mäkké materiály majú nízku koercitívnu silu H_c , vysokú hodnotu saturačnej magnetickej indukcie B_s a vysokú permeabilitu μ .

Hysterézne slučka týchto materiálov má malú plochu, je úzka.

Východiskové vysoko čisté materiály, špeciálne procesy a technológie sa používajú na tavenie a rafináciu týchto materiálov v riadených podmienkach v indukčných taviacich peciach na vzduchu a vo vákuových indukčných taviacich peciach.

Výsledný produkt sa vyrába kombináciou kovania, valcovania za tepla a studena, ťahaním drôtov a tepelným spracovaním, podľa špecifikácií zákazníka.

Magneticky mäkké zliatiny zahŕňajú dva zliatinové systémy:

1. Softmag zliatiny,
2. Softcomag zliatiny

1. **Fe-Ni softmag zliatiny** vykazujú široký rozsah magnetických vlastností v závislosti od obsahu niklu (od 30 do 80% Ni).

Malé množstvo iných legujúcich prvkov, najmä Mo a Cu sa pridáva a špeciálne výrobné postupy ako je žíhanie vo vodíku sa aplikujú pre dosiahnutie špecifických charakteristík.

Zliatiny Fe- Ni s približným obsahom 80% Ni sú známe pod označením Permalloy.

[Supermalloy](#) je zliatina zložená z 79% Ni, 5% Mo a Fe.

2. **Fe-Co softcomag zliatiny** obsahujú od 25 do 49% Co, zvyšok tvorí železo.



Ni30Cr20 drôt



Prednáška 10

Úvod do svetelnej a elektrónovej mikroskopie

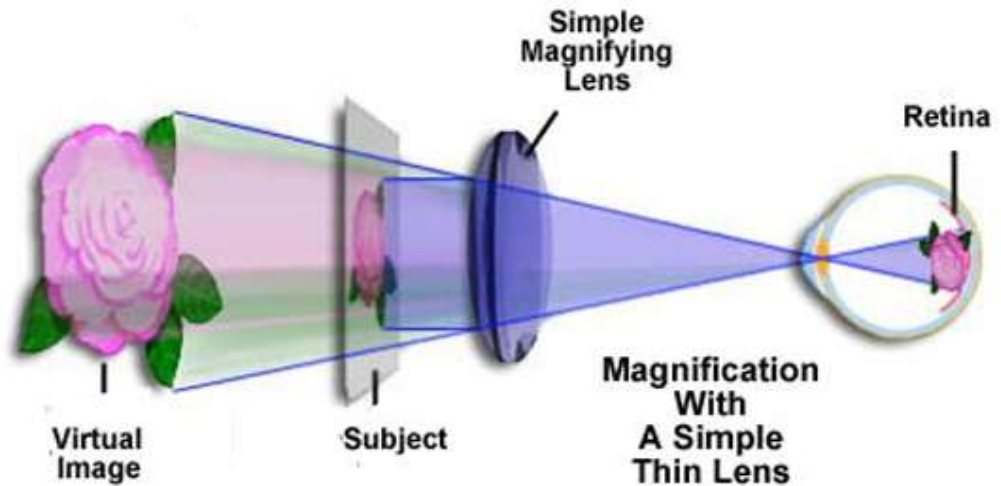
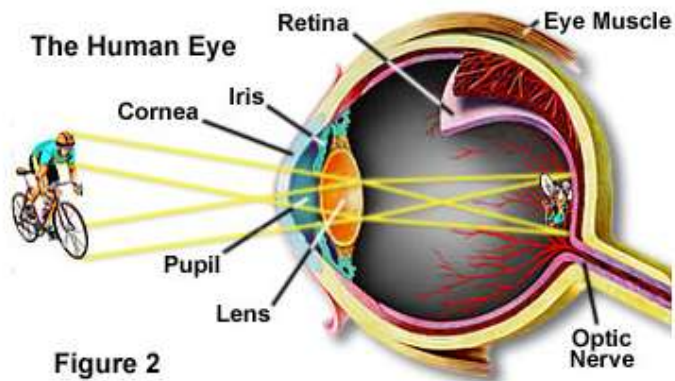
Využitie elektrónovej mikroskopie a mikroanalytických metód v materiálovom výskume

Pohľady na predmety a ich detaily

- do 50 násobného zväčšenia
- **MAKROPOHĽAD**
- zväčšenia nad 50x
- **MIKROPOHĽAD**

Makropohľad je realizovateľný akoukoľvek technikou, teda svetelnou ale aj elektrónovou mikroskopiou.

Princíp zobrazenia okolitého sveta v ľudskom oku



Fyzikálna podstata

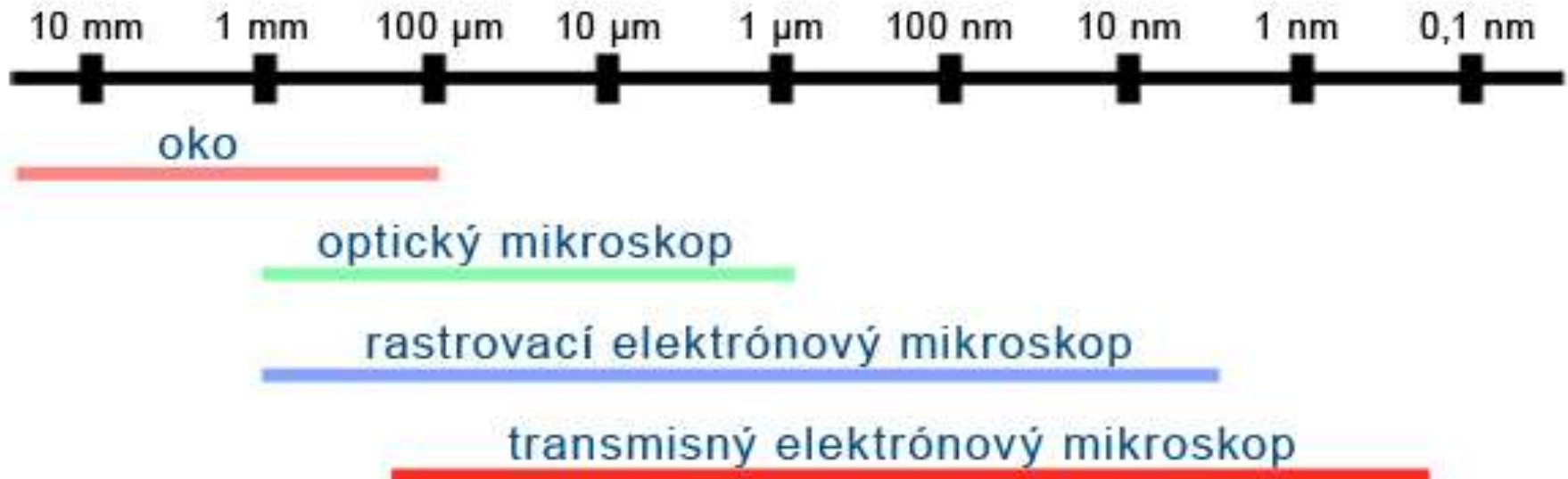
Základná vlastnosť ľudského oka

Rozlišovacia schopnosť (medza rozlíšenia)

Najmenšia vzdialenosť dvoch bodov, ktoré je možné okom pozorovať ako oddelené.

K pozorovaniu predmetov alebo ich detailov so značne **menšími** rozmermi než je **rozlišovacia schopnosť oka** je potrebné použiť optické zariadenia.

Rozsah použiteľnosti rôznych optických zariadení



Pre najmenšiu vzdialenosť d medzi dvoma opticky pozorovanými bodmi predmetu, pri ktorej ich vníma oko oddelene, platí Abbeho vzťah:

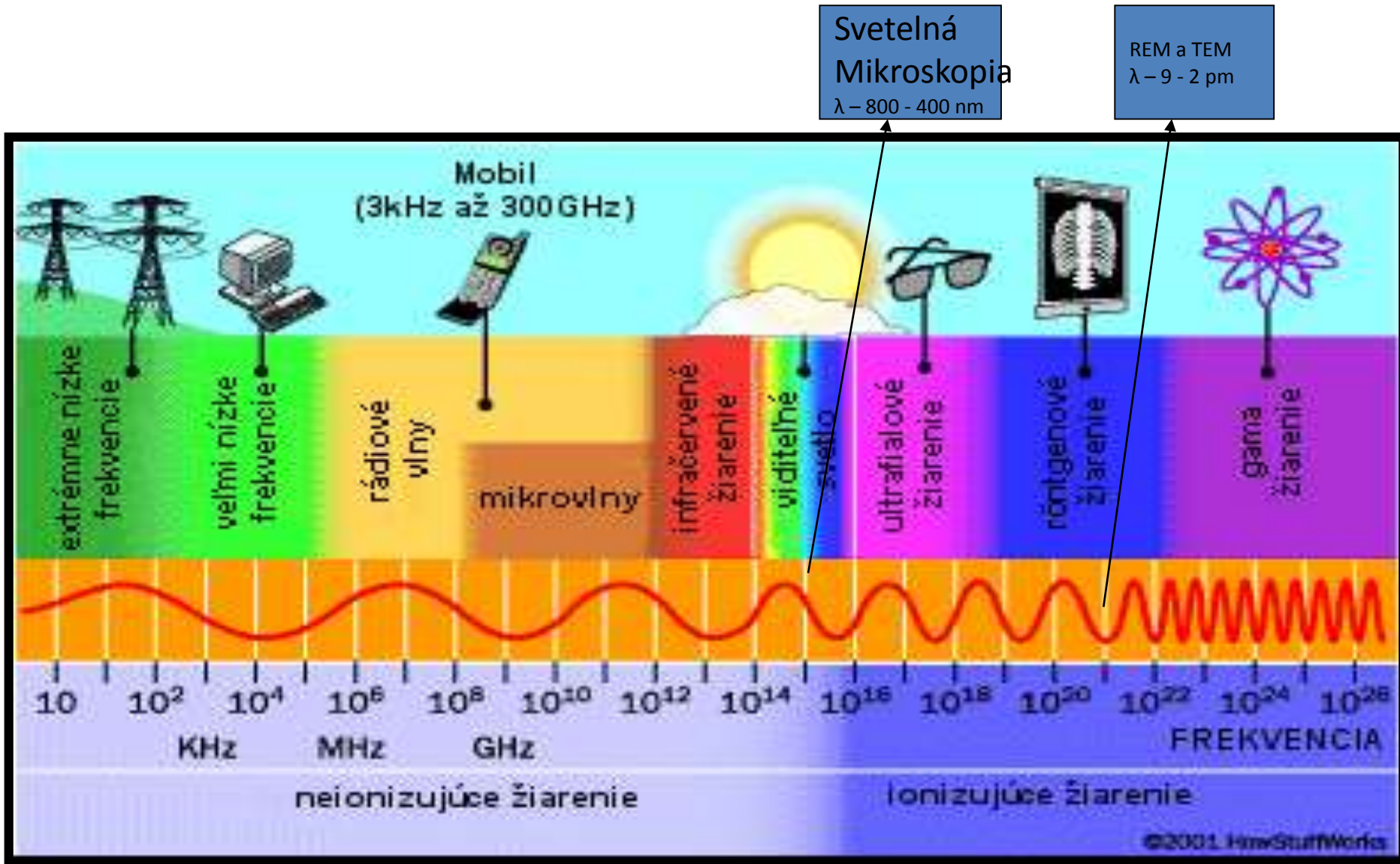
$$d = \frac{0,61\lambda}{n \cdot \sin \alpha}$$

λ je vlnová dĺžka svetla vysielaného predmetom,

n je index lomu prostredia medzi predmetom a objektívom zariadenia,

α je apertúrny uhol

SPEKTRUM ELEKTROMAGNETICKÉHO VLNENIA



Pre svetelnú mikroskopiu platí:

- Maximálne dosiahnuteľné zväčšenie pre $n = 1$ je 1000 až 1500 x,
- Použitím imerzného prostredia (priehľadnej kvapaliny s vyšším indexom lomu) je možné dosiahnuť zväčšenie 2000 až 3000 x
- Hraničná hodnota rozlišovacej schopnosti svetelného mikroskopu je okolo 0,2 μm

Hĺbka ostrosti svetelných optických zariadení je veľmi nízka

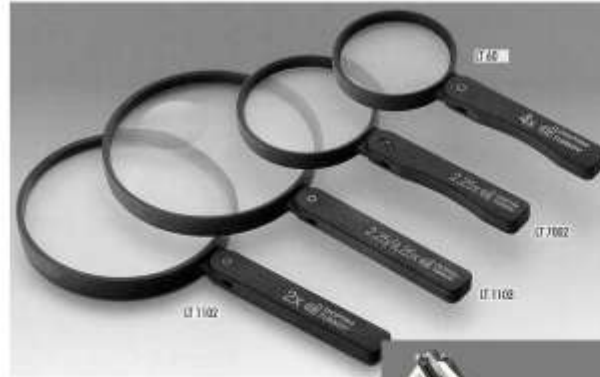
Hĺbka ostrosti je definovaná ako maximálna vzdialenosť dvoch rovnobežných rovín preparátu, ktoré sú ostro zobrazené, hoci nie sú rovnako vzdialené od objektívu.

Pomôcky a zariadenia svetelnej makro a mikroskopie

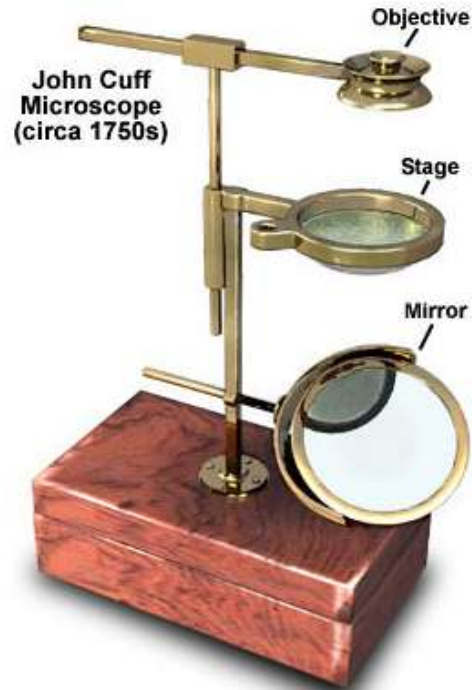
Lupy

maximálne
zväčšenia

cca **5x**



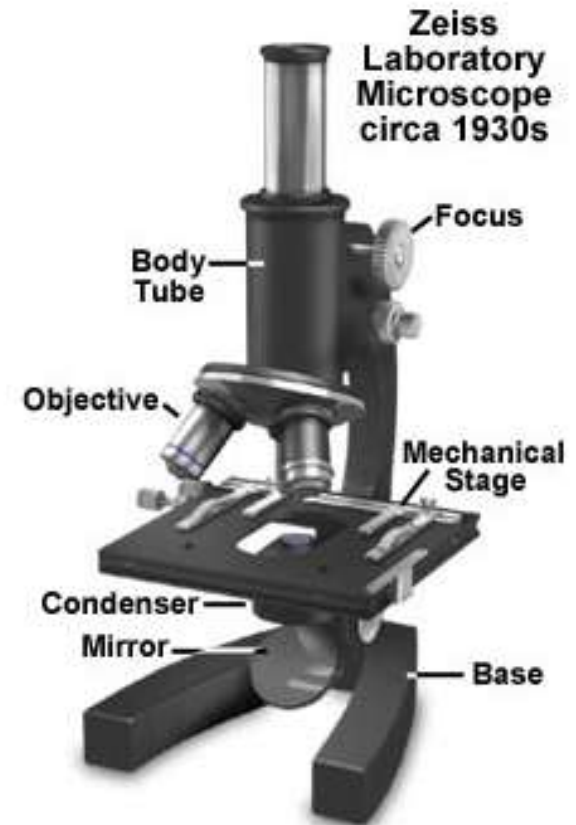
Svetelné mikroskopy



Z histórie



Monokulárne lupy a mikroskopy



Binokulárne mikroskopy



Svetelné mikroskopy s prechádzajúcim a odrazeným svetlom

Olympus Provis AX 70
(circa 1998)



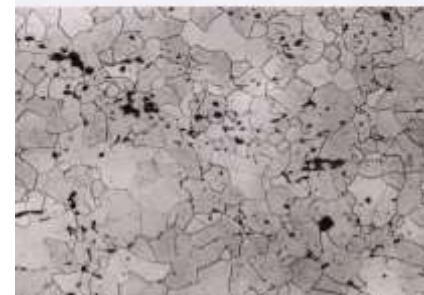
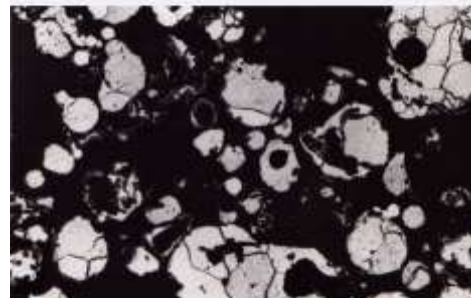
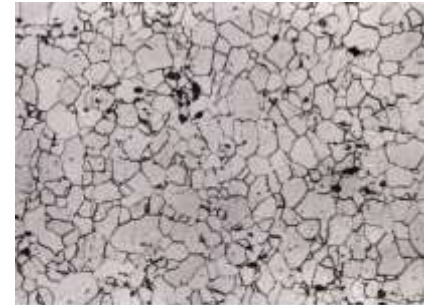
A - prechádzajúce svetlo,

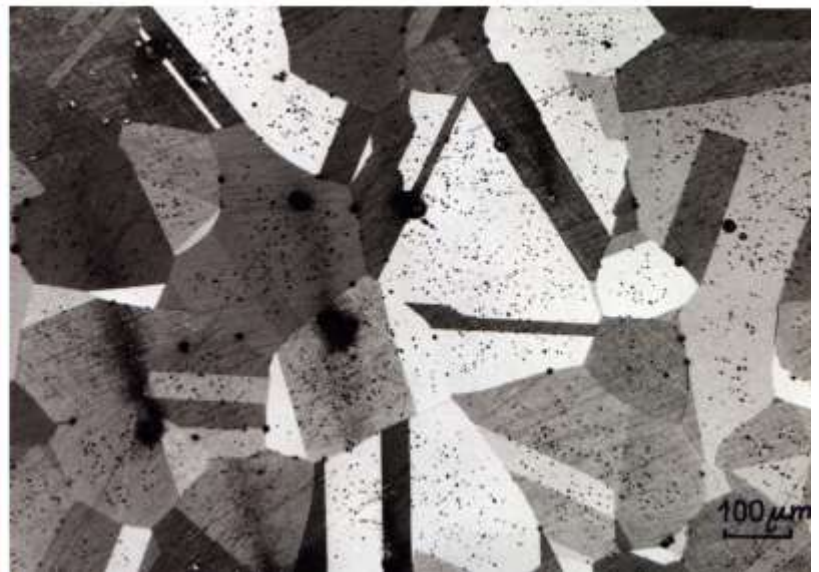
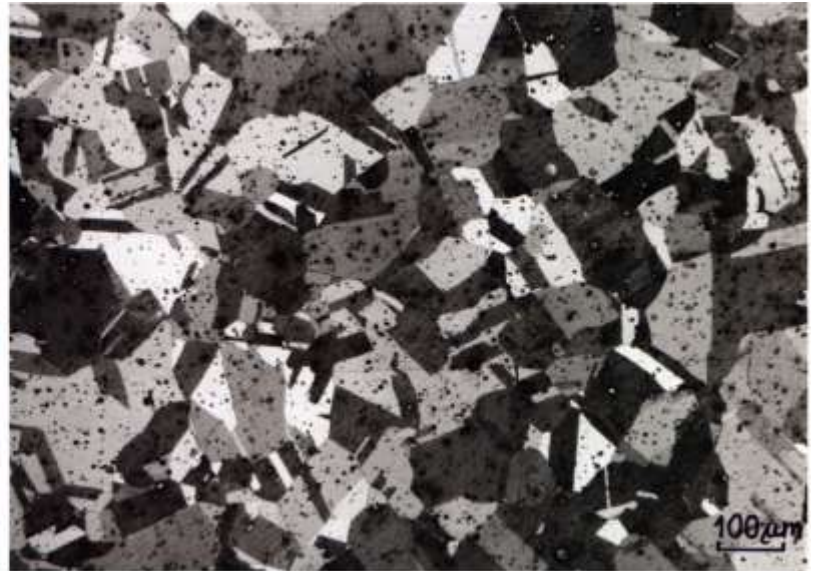
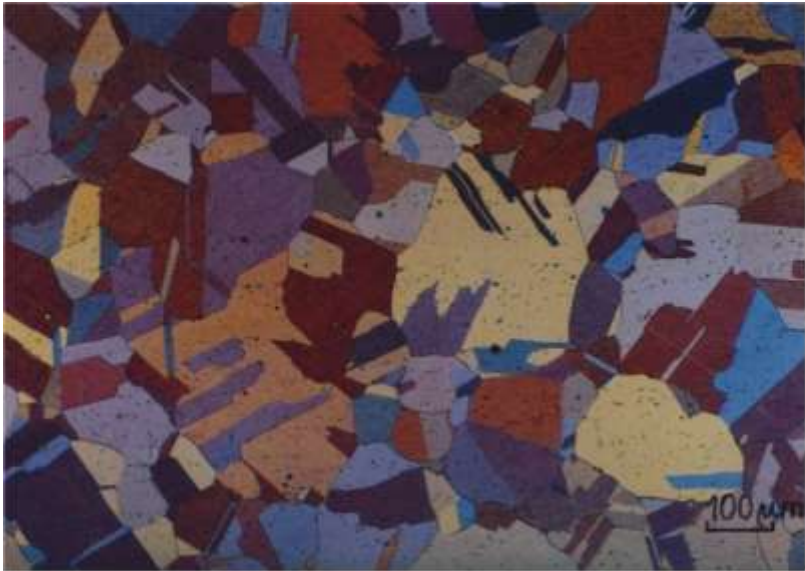
B - odrazené svetlo (rudný, resp. metalografický)

Posúdenie hĺbky ostrosti svetelných mikroskopov

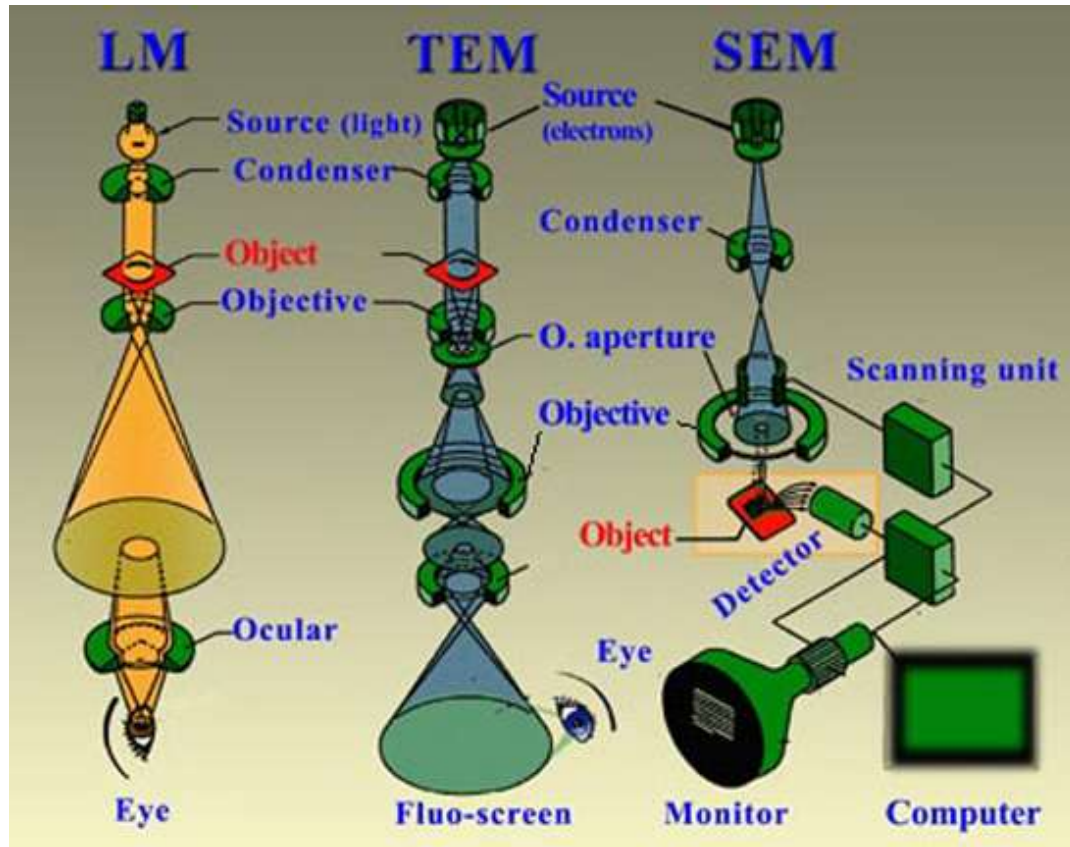


Z dôvodu malej hĺbky ostrosti dobre využitie svetelnej mikroskopie si vyžaduje rovinné vzorky – výbrusy a nábrusy





Porovnanie princípov svetelnej a elektrónovej mikroskopie



SM a TEM zobrazujú všetky body naraz.

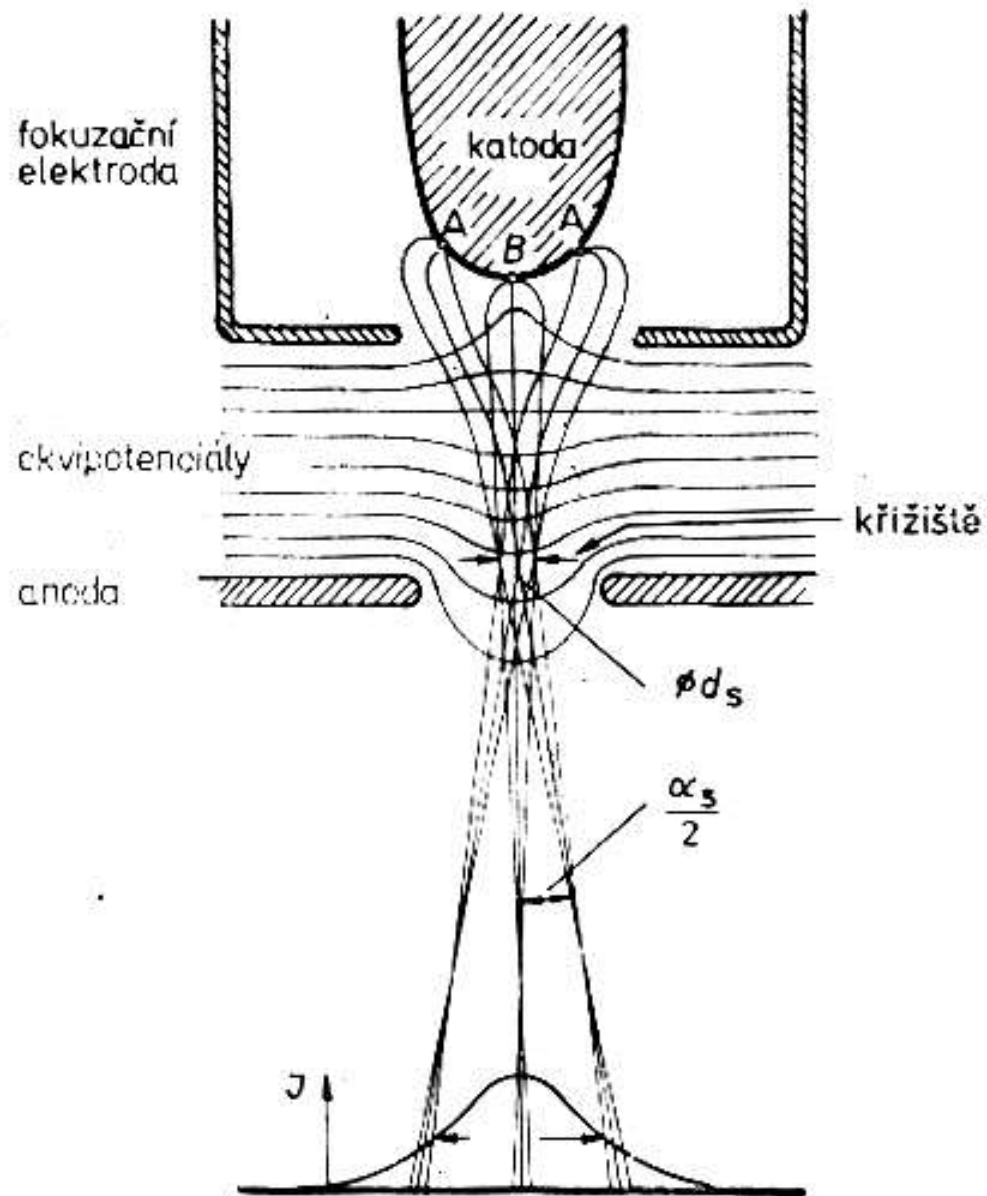
V REM sa jednotlivé body zobrazujú časovo po sebe a skladajú svoj obraz.

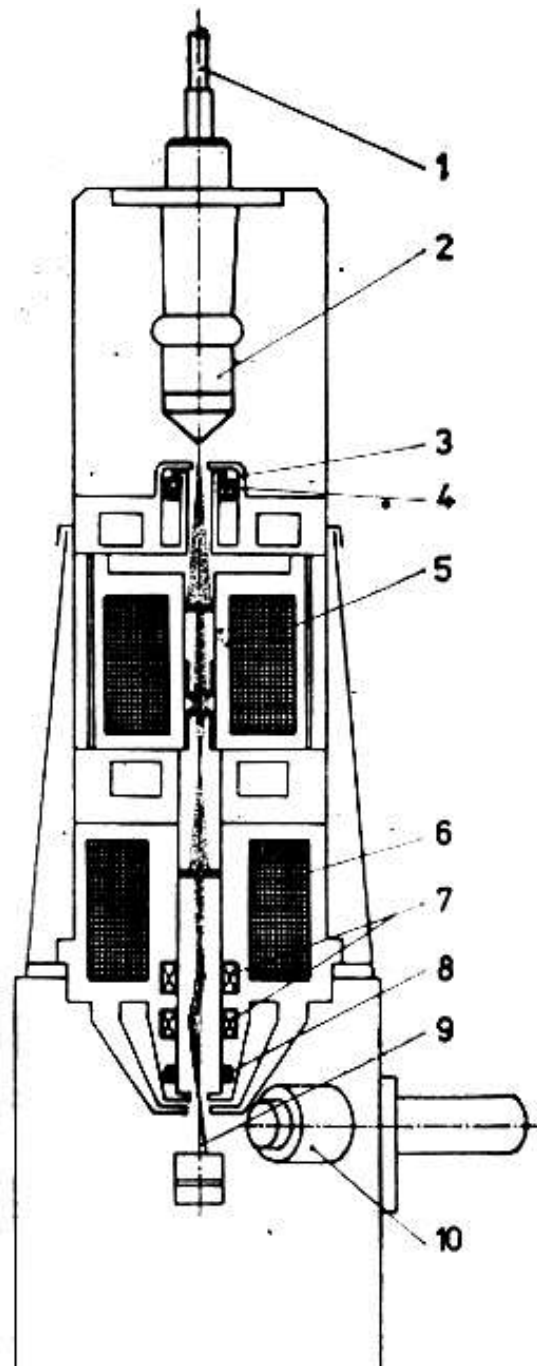
Svetelný lúč – zväzok fotónov využívaný v SM je v elektrónovej mikroskopii nahradený prúdom zväzku elektrónov – *primárny zväzok elektrónov*.

Zväzok fotónov je produkovaný zdrojom viditeľného svetla (žiarovka, odrazené denné svetlo).

Zväzok elektrónov je v elektrónových mikroskopoch produkovaný emisiou elektrónov v elektrónových tryskách – *katóda elektrónového mikroskopu*.

Emisia elektrónov vzniká prechodom elektrického prúdu wolframovým vláknom tvaru V – *teplá katóda*.





Vlnové a korpuskulárne vlastnosti elektrónu umožnili využitím elektrónovej optiky (elektromagnetické cievky) konštrukciu elektrónových mikroskopov.

Prúd elektrónov – elektrónový zväzok je nositeľom magnetického poľa.

Prechodom zväzku osou toroidnej cievky je možné riadiť optickú mohutnosť zväzku.

- Zväčšovaním rýchlosti elektrónu je možné získať veľmi krátku vlnu,
- Rozlišovacia schopnosť elektrónového mikroskopu podľa Abbeho vzťahu bude omnoho vyššia než pri použití viditeľného svetla,
- V elektrónovom mikroskope si elektrónové lúče vyžadujú kvalitné vákuum, v ktorom môžu získať potrebnú vysokú kinetickú energiu pod vplyvom pôsobenia urýchľovacieho napätia U (rádovo v desiatkach kV).

Pre rýchlosť častice – elektrónu, nositeľa záporného elektrického náboja e platí:

$$v = \sqrt{\frac{2U \cdot e}{m}}$$

U – urýchľovacie napätie

Vlnová dĺžka prúdu elektrónov v elektrónovom mikroskope sa po dosadení numerických hodnôt konštant rovná:

$$\lambda = \frac{1,226}{\sqrt{U}}$$

Vlnová dĺžka viditeľného svetla je v rozmedzí približne od 400 do 800 nm, vlnová dĺžka elektrónového lúča dostatočne urýchleného je rádovo iba **tisícina nm**. Obrovský rozdiel vo vlnovej dĺžke EM oproti SM je základom vyšších výkonov a oveľa lepšej jeho rozlišovacej schopnosti. Tá je limitovaná rozmerom apertúrnej stopy.

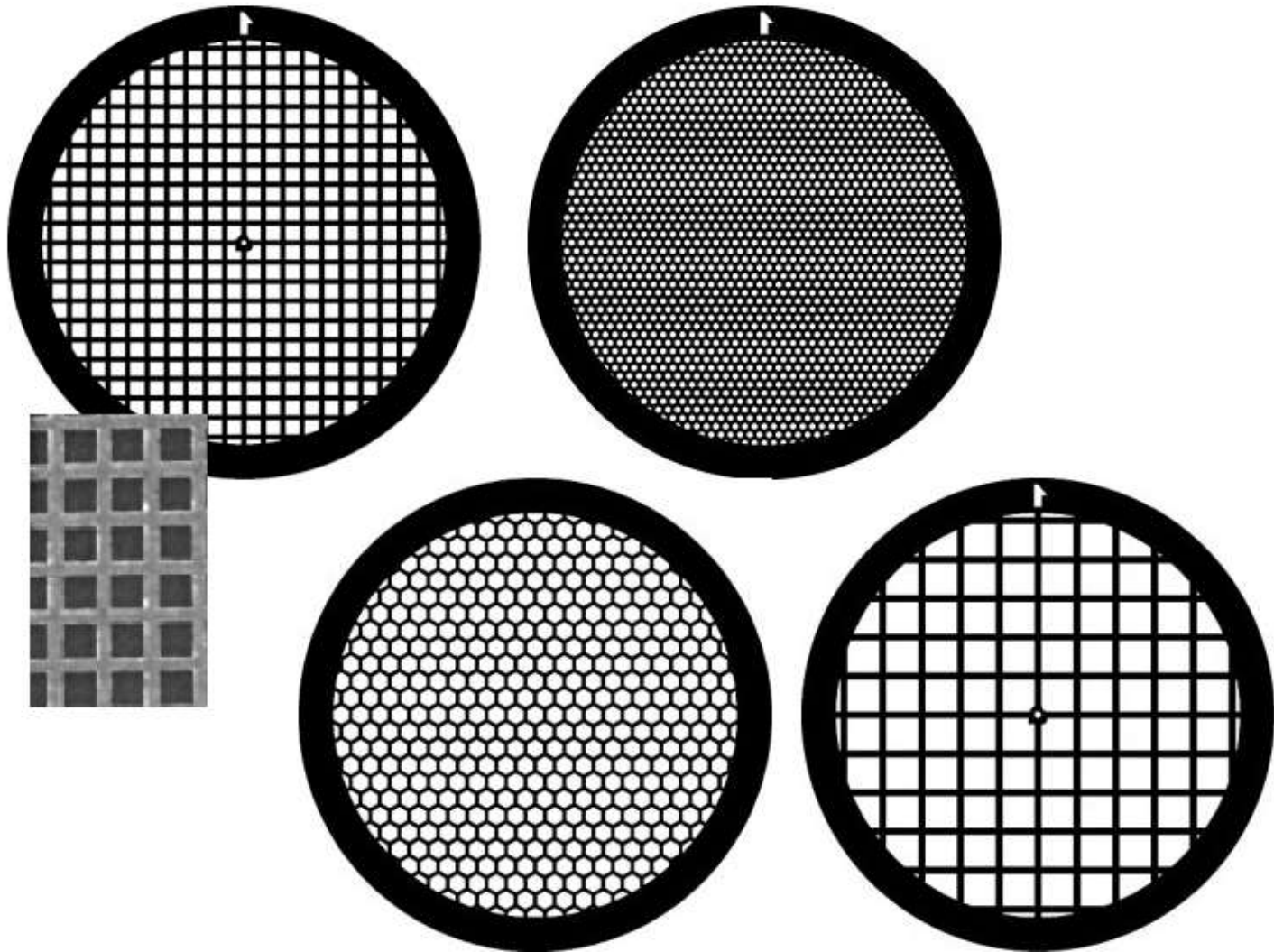
Elektrónový mikroskop popri vysokej rozlišovacej schopnosti má dostatočnú **hĺbku ostrosti** definovanú ako maximálnu vzdialenosť dvoch rovnobežných rovín preparátu, ktoré sú ostro zobrazené, hoci nie sú rovnako vzdialené od objektívu.

TEM-y



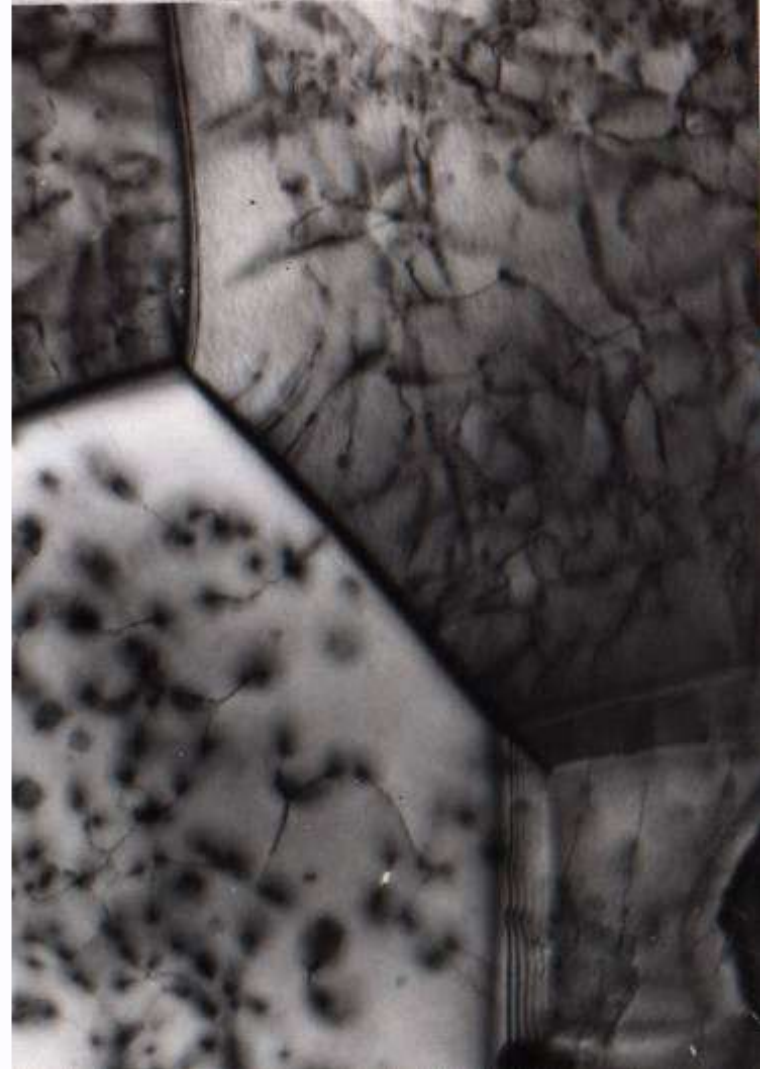
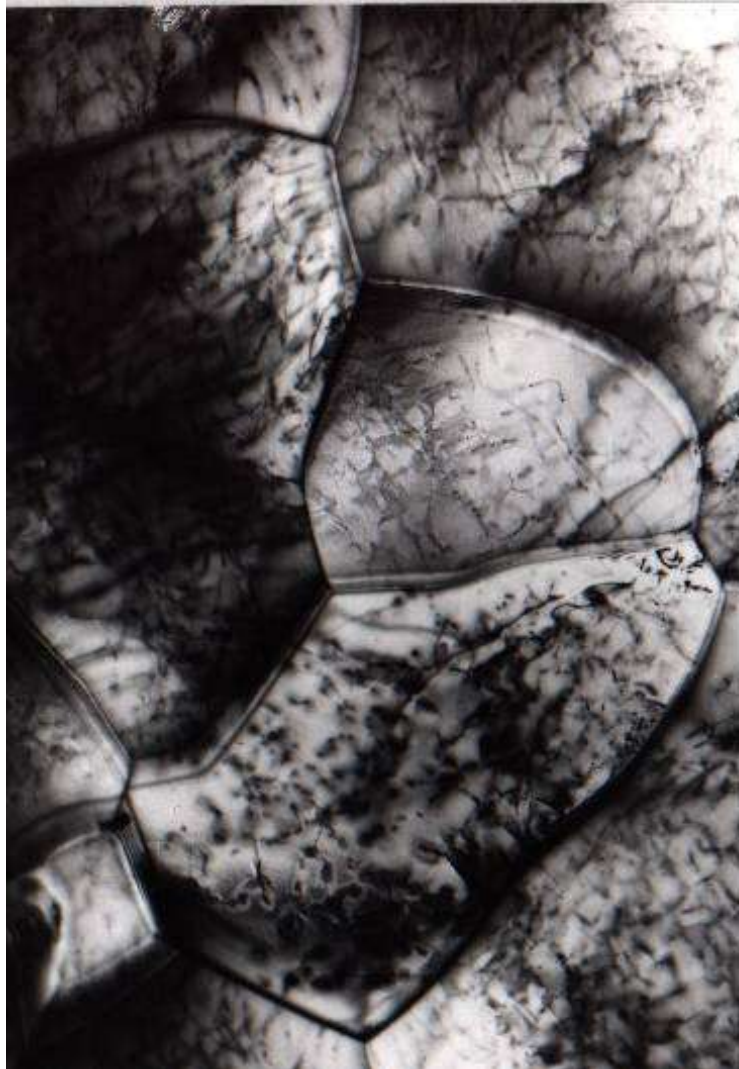
Sieťky pre TEM

Ø 3 mm



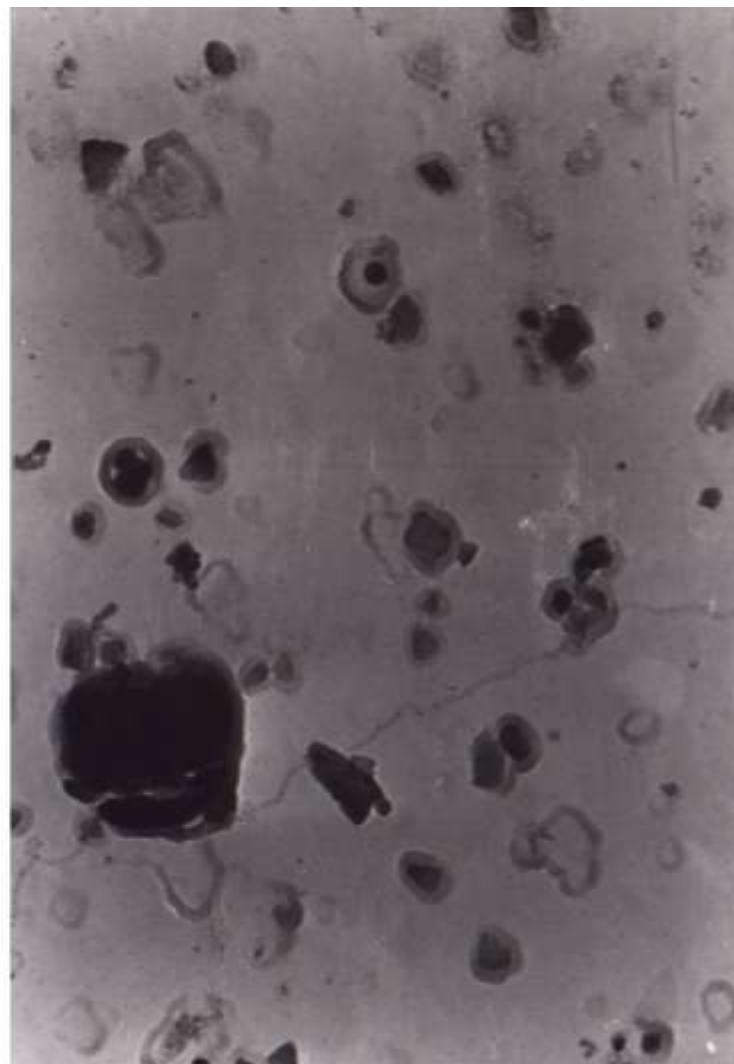
Snímky TEM

– fóliová technika



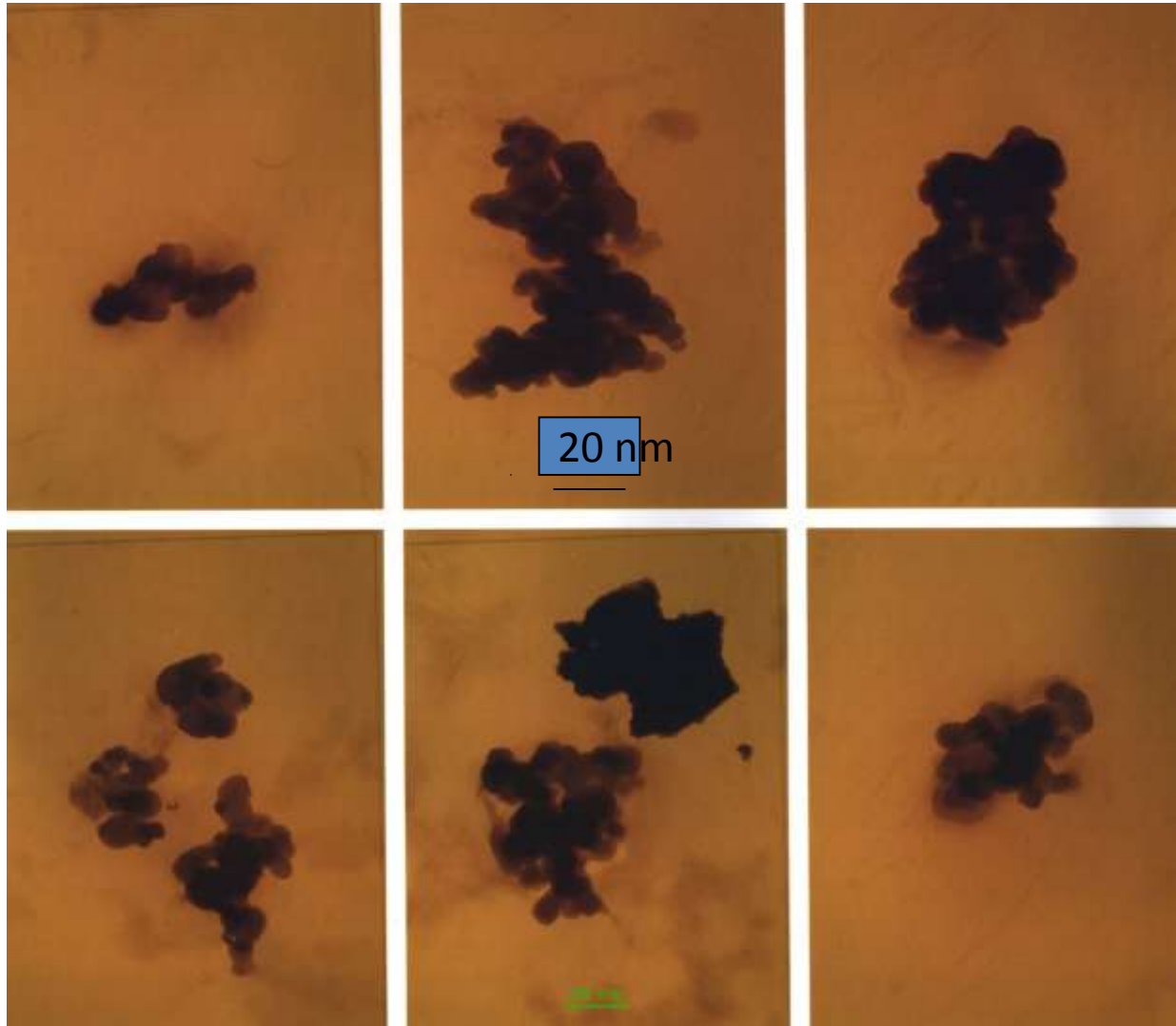
Snímky TEM

– replikačná technika



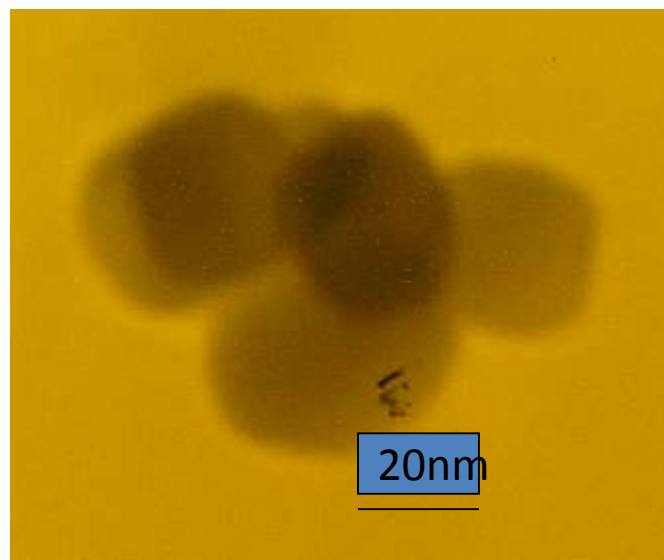
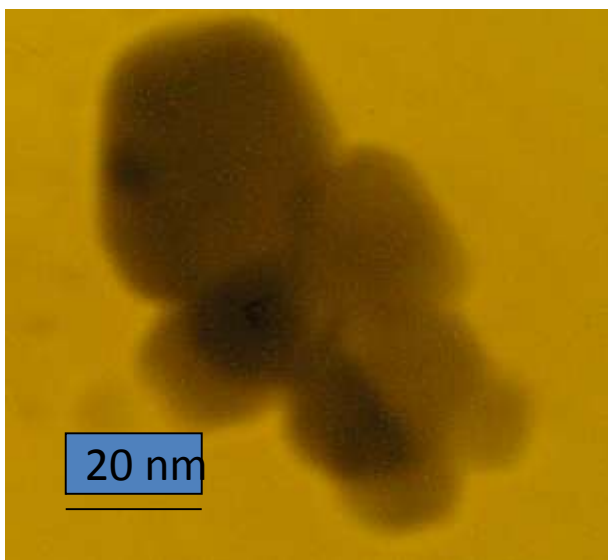
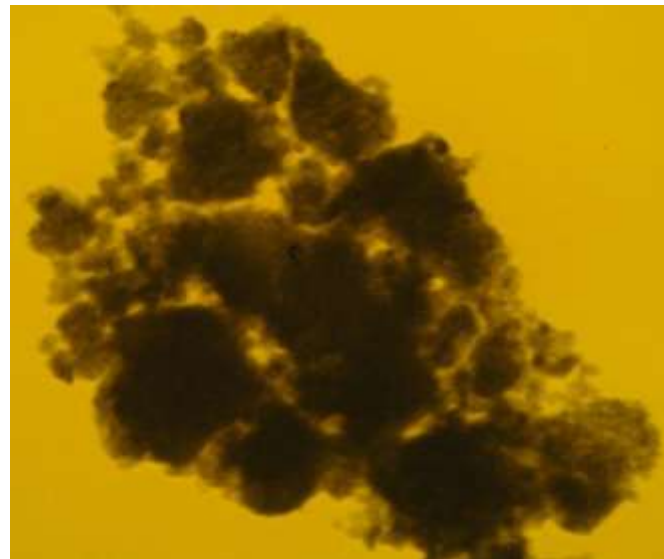
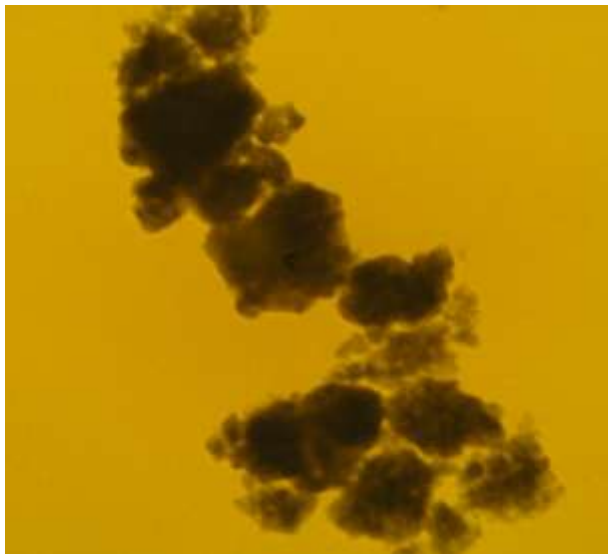
Snímky TEM

– častice na uhlíkovej blane



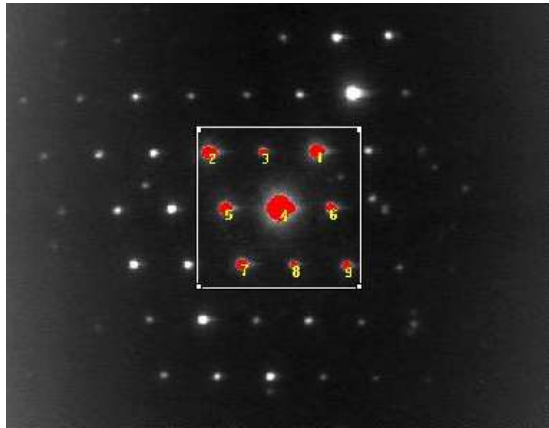
Elektrokeramické prášky připravené metodou sol-gel

snímky TEM

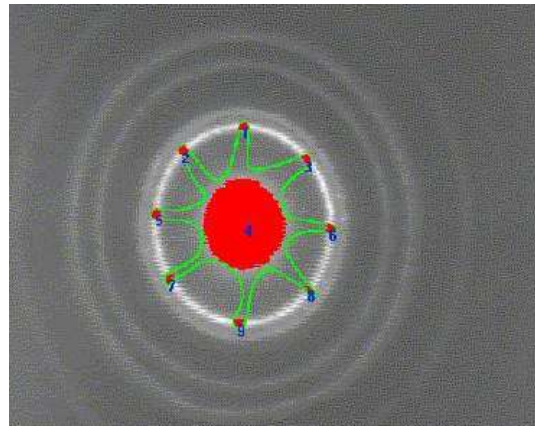


Elektrónová difrakcia

monokryštál – bodové reflexie

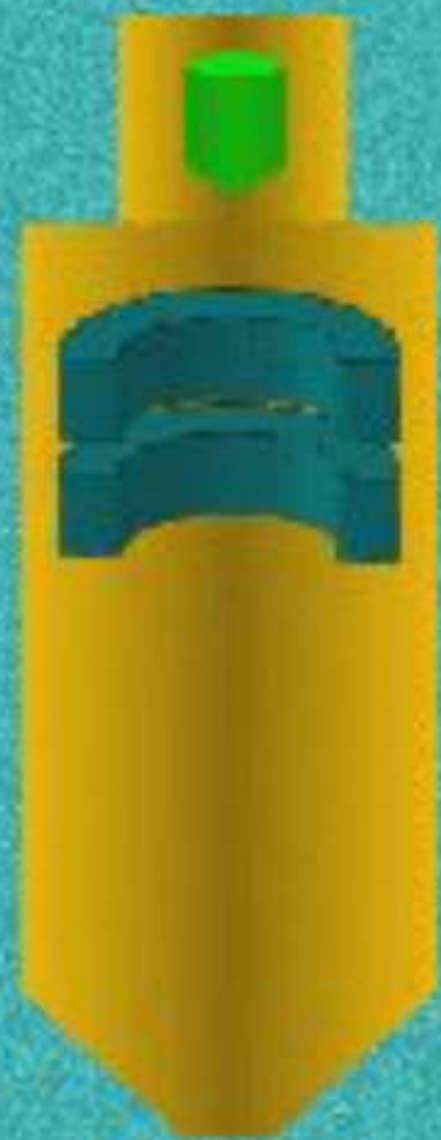


polykryštál – sústredné kružnice



Princíp
REM











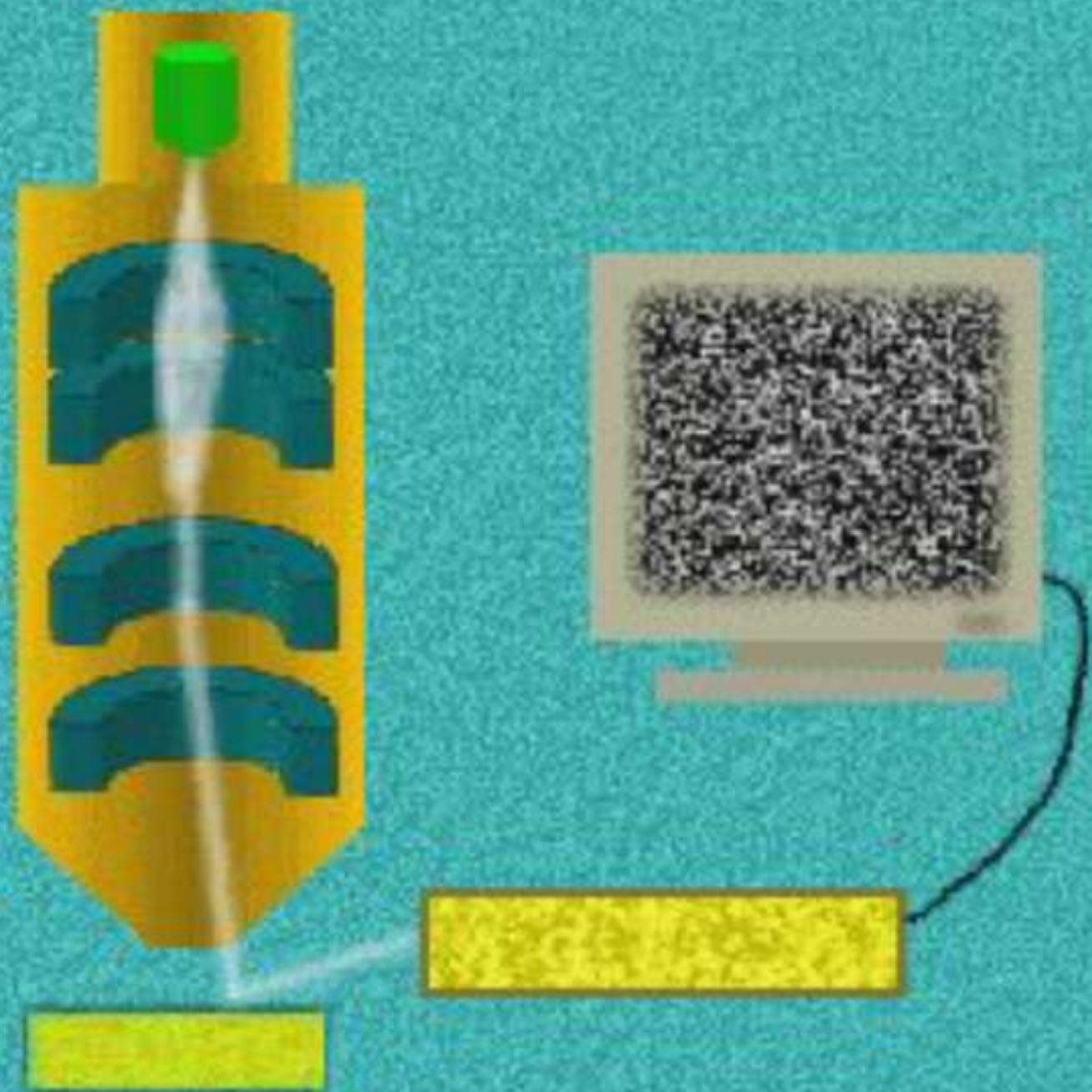


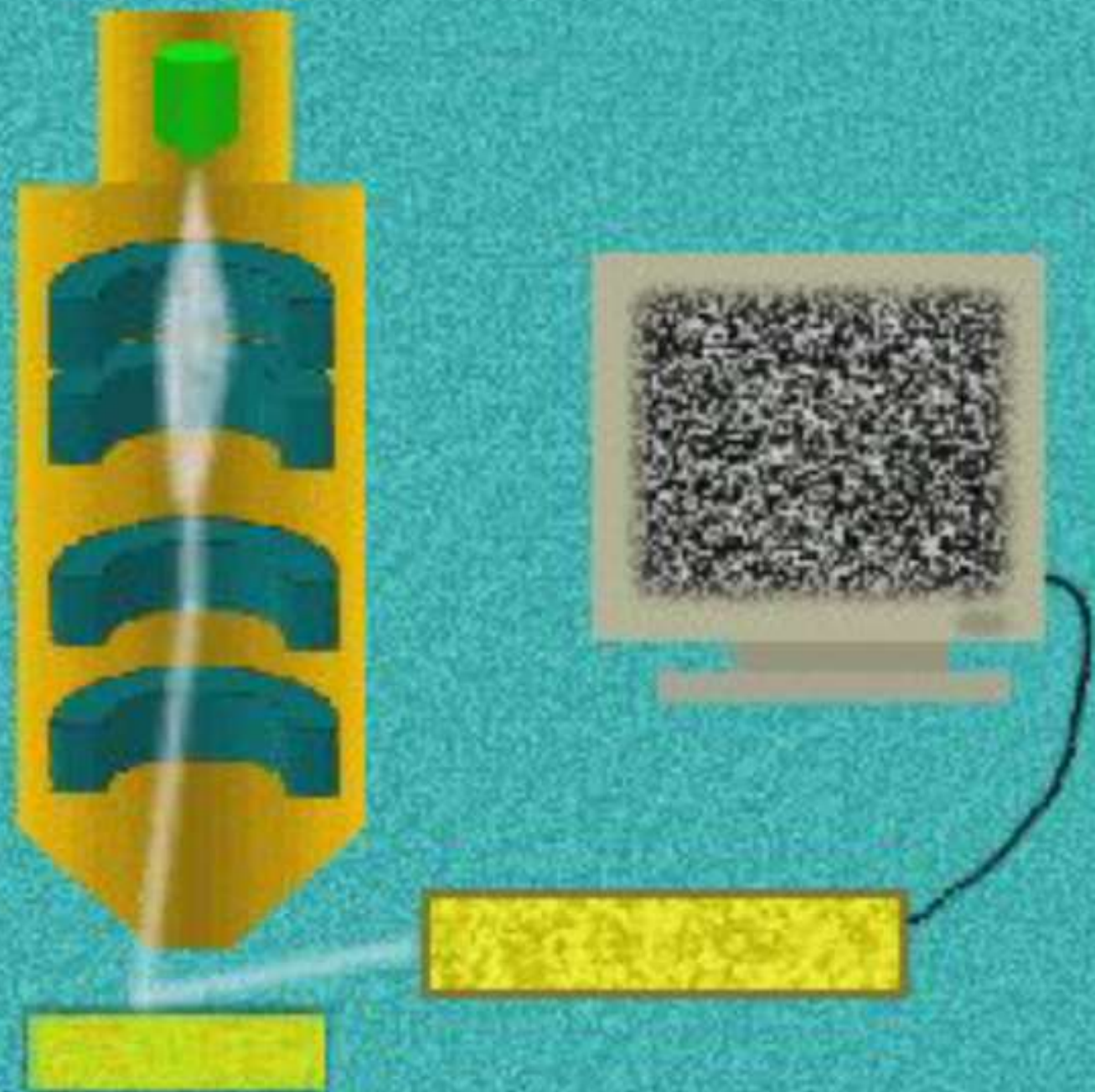


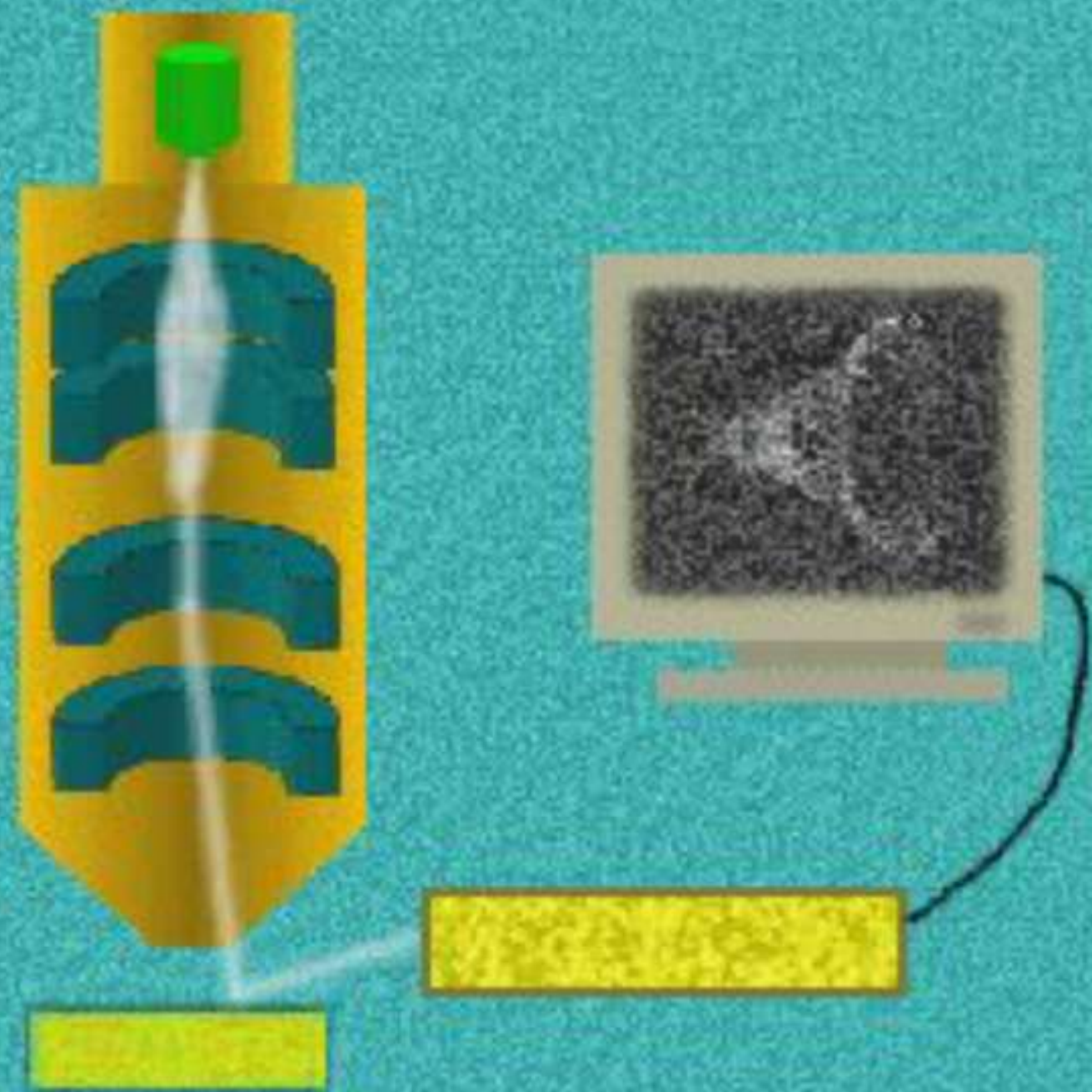


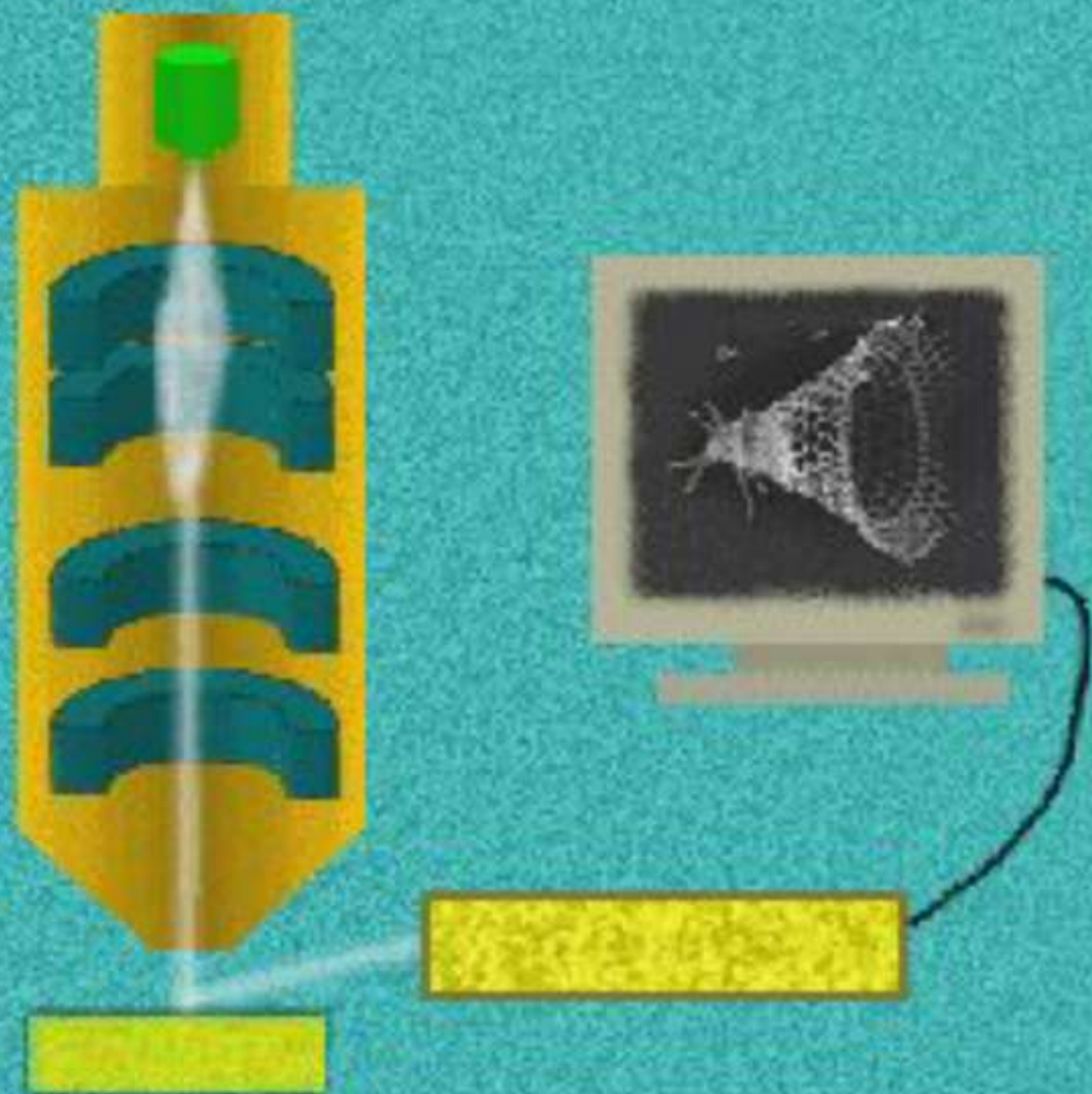




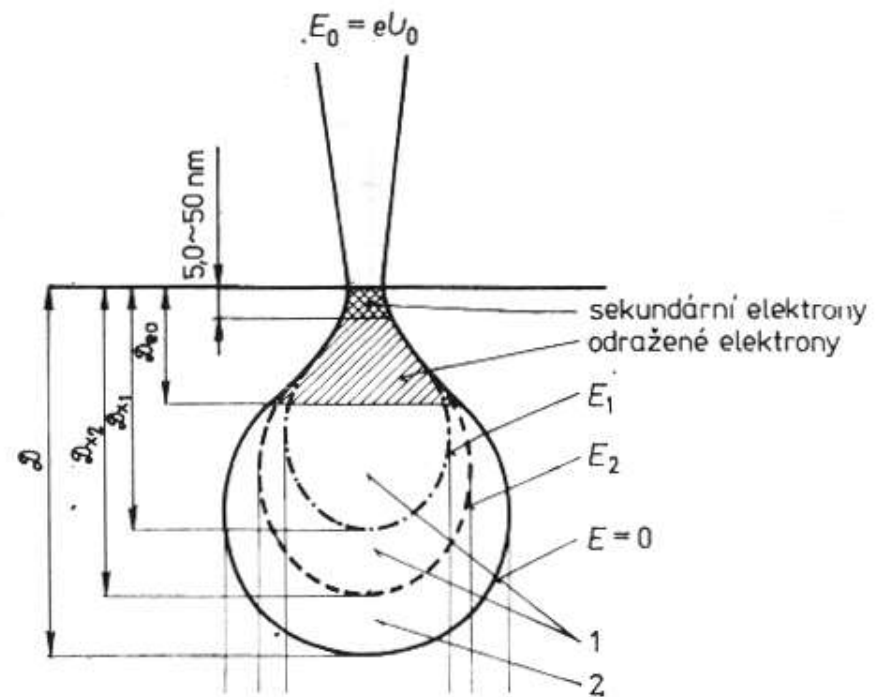
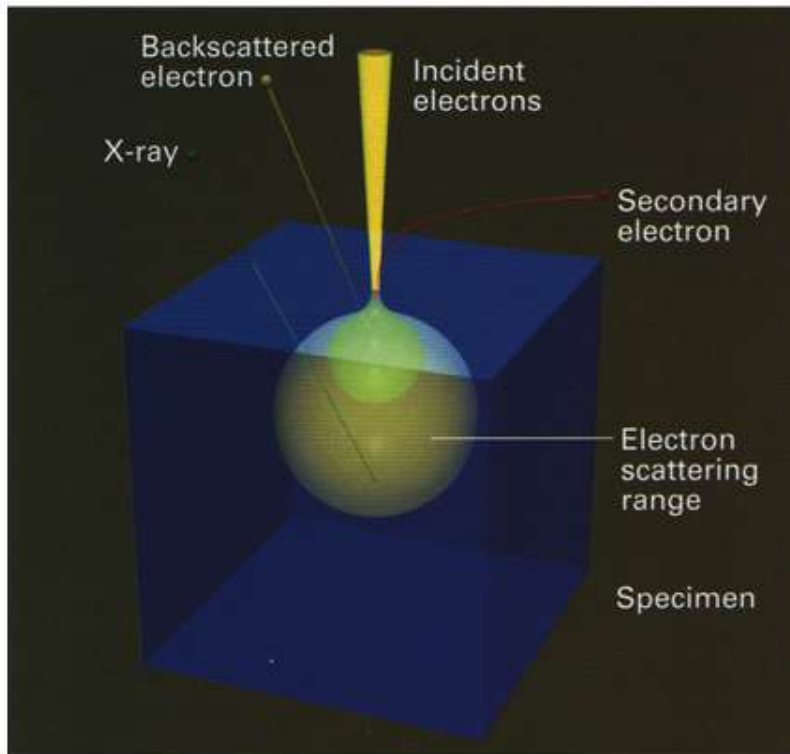




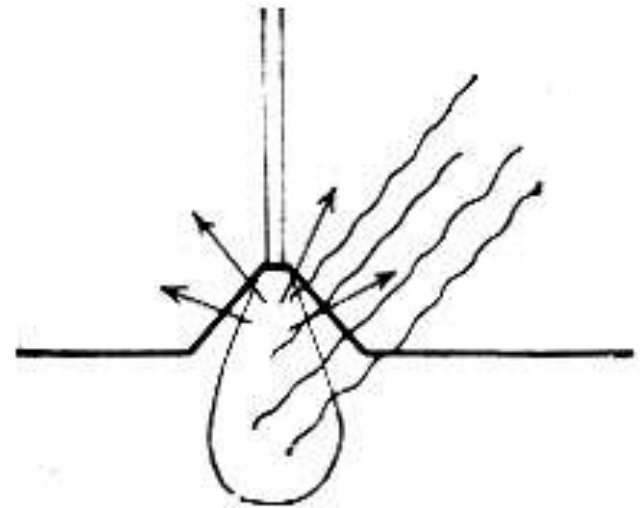
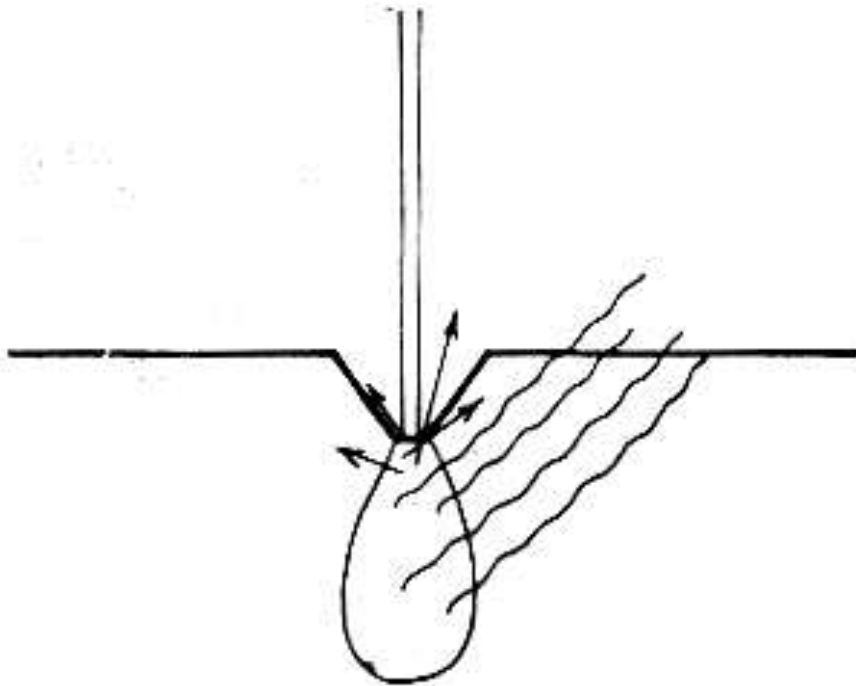




Interakcia primárneho zväzku elektrónov so vzorkou v REM



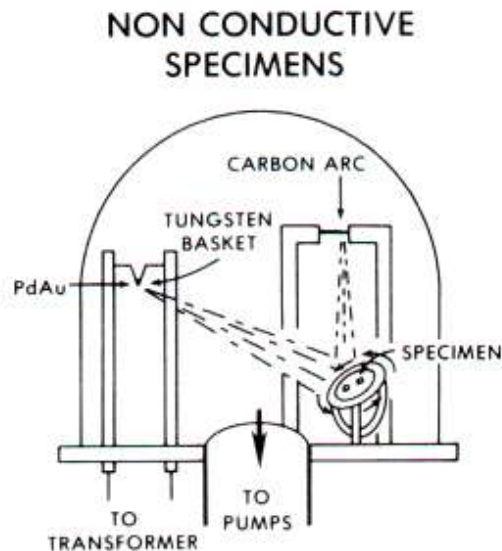
Vznik kontrastu v REM



Pokovovanie nevodivých materiálov pre REM

- Naparovanie
- Naprašovanie

Hrúbka vrstiev je cca 20 až 30 nm



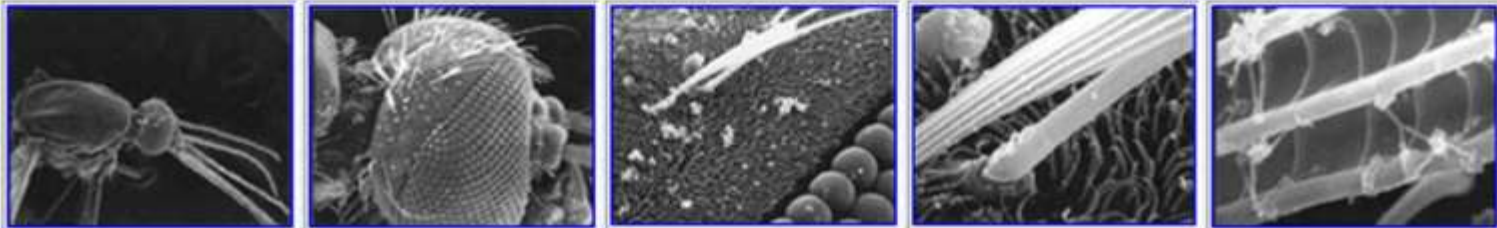
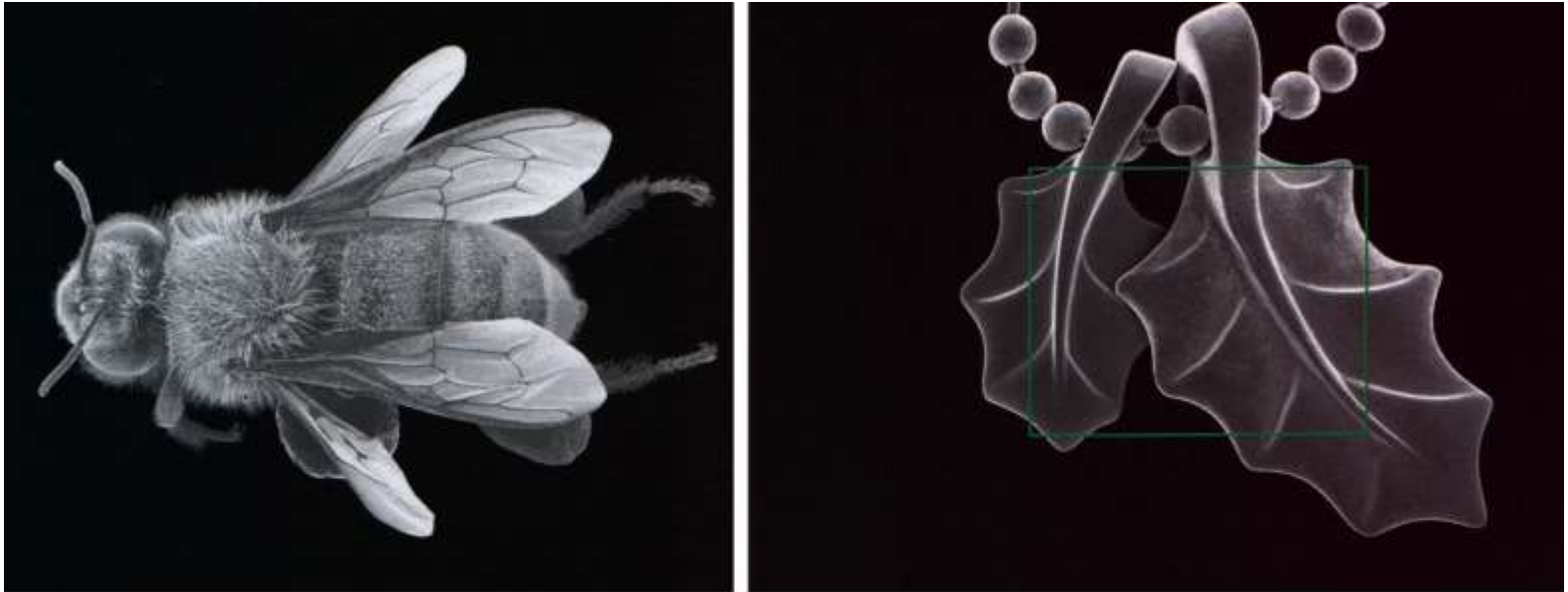
CARBON FOR X-RAY, PdAu FOR SEM IMAGING
COATING BY EVAPORATION
(OR SPUTTER METAL COATING)



REM

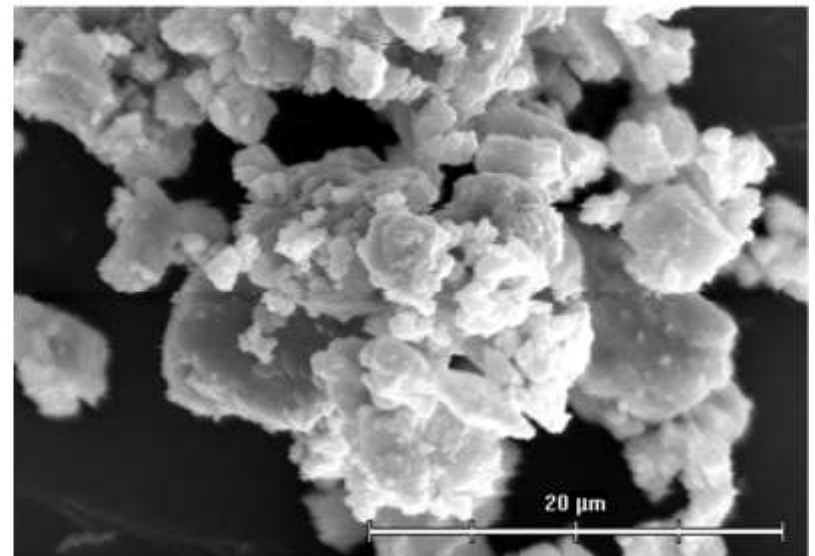
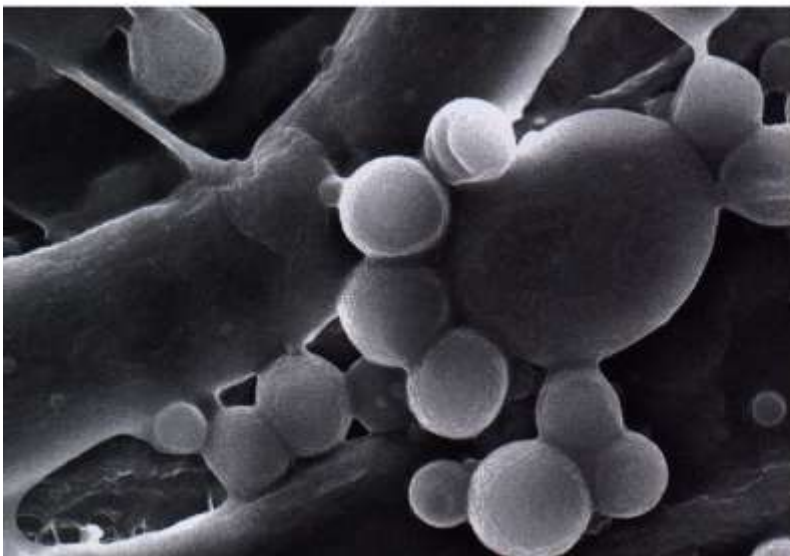
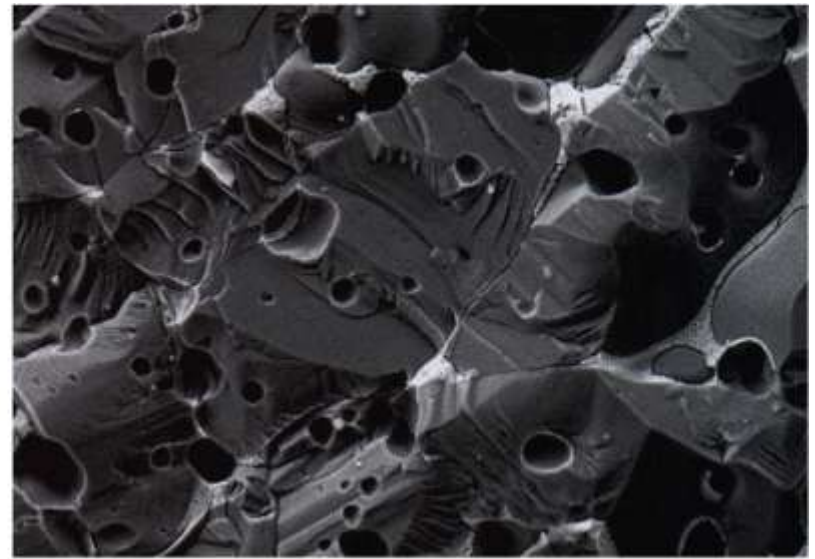
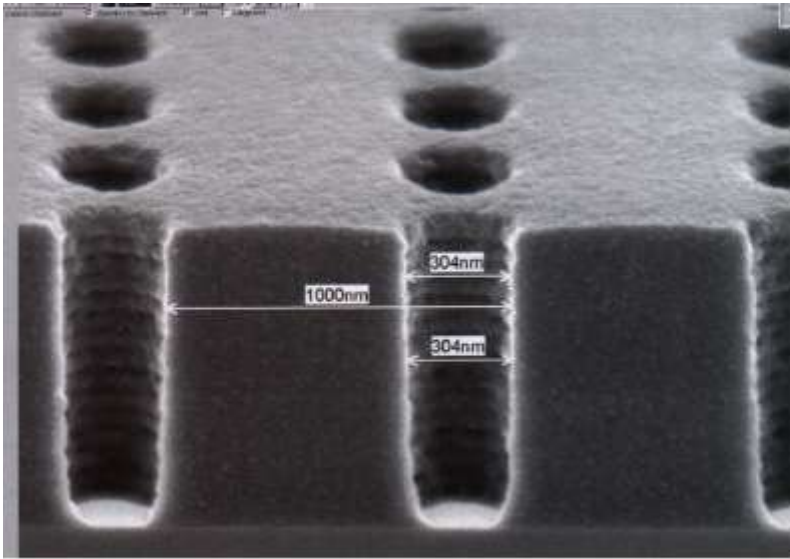


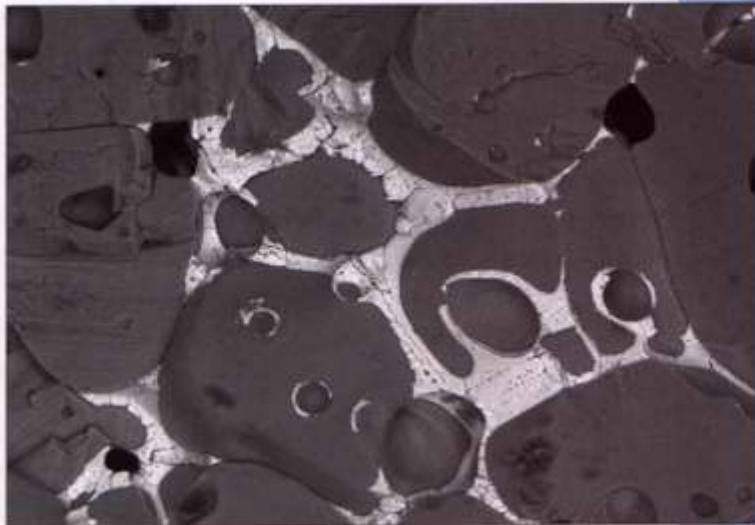
Makro a mikrosnímky objektů získaných REM



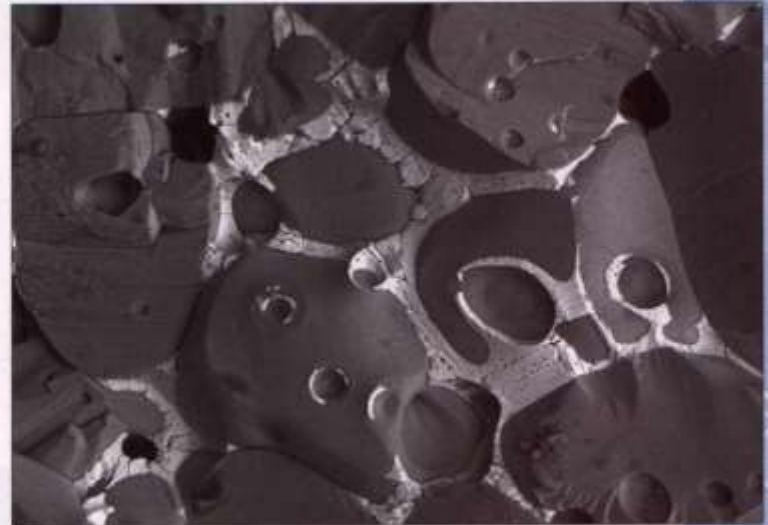
vysoká hlíbká ostrosti

Snímky REM

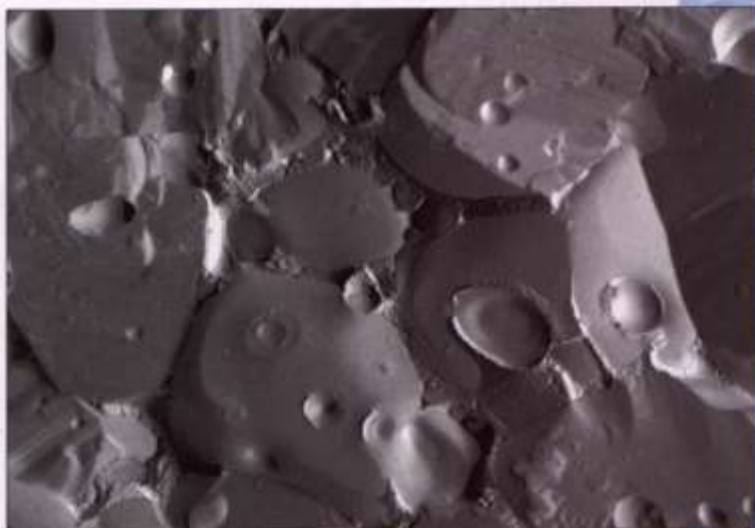




Composition image



Shadowed image



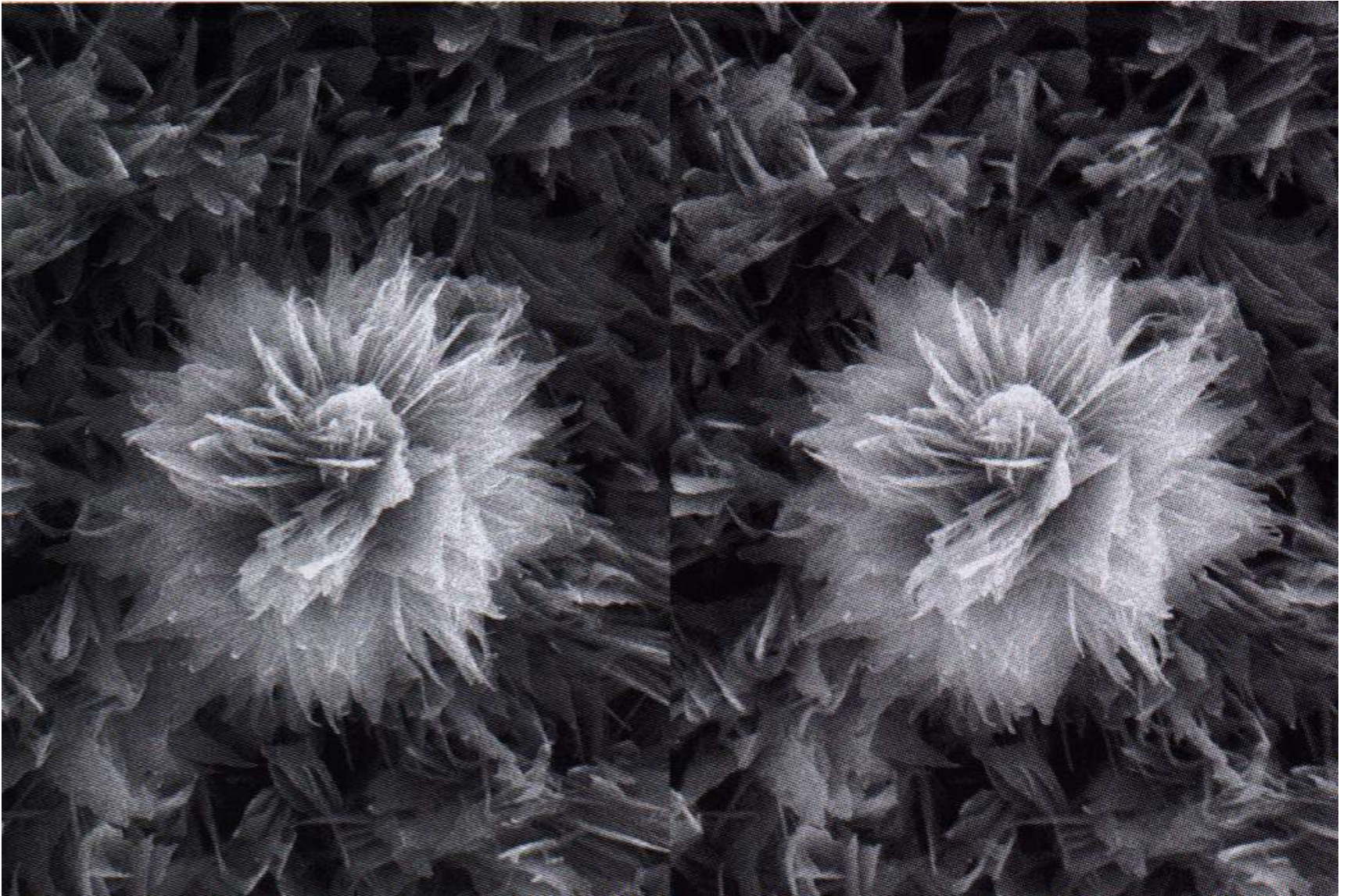
Topography image



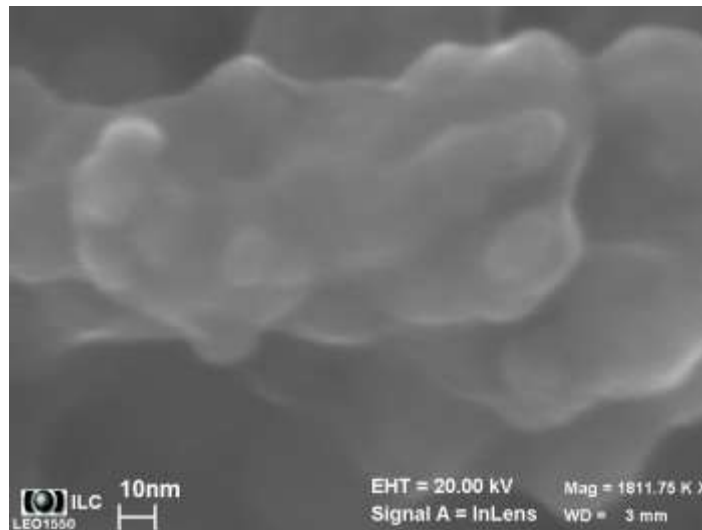
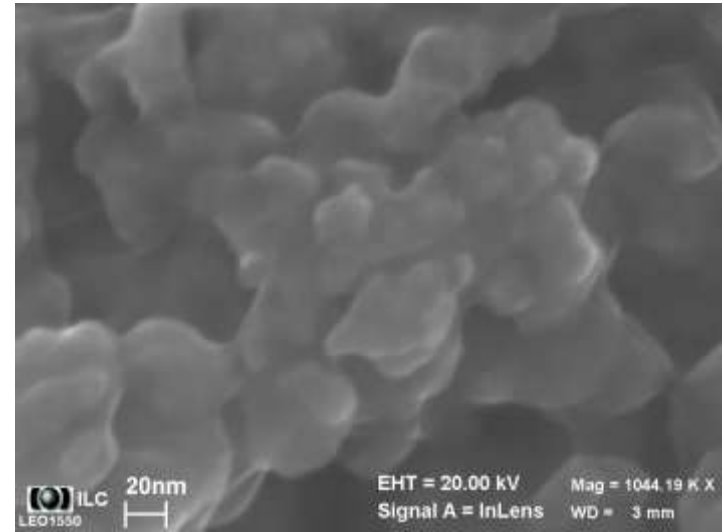
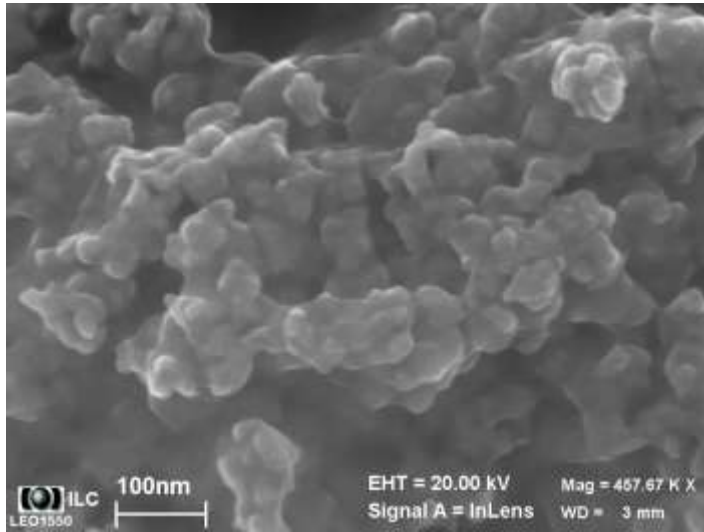
Secondary electron image

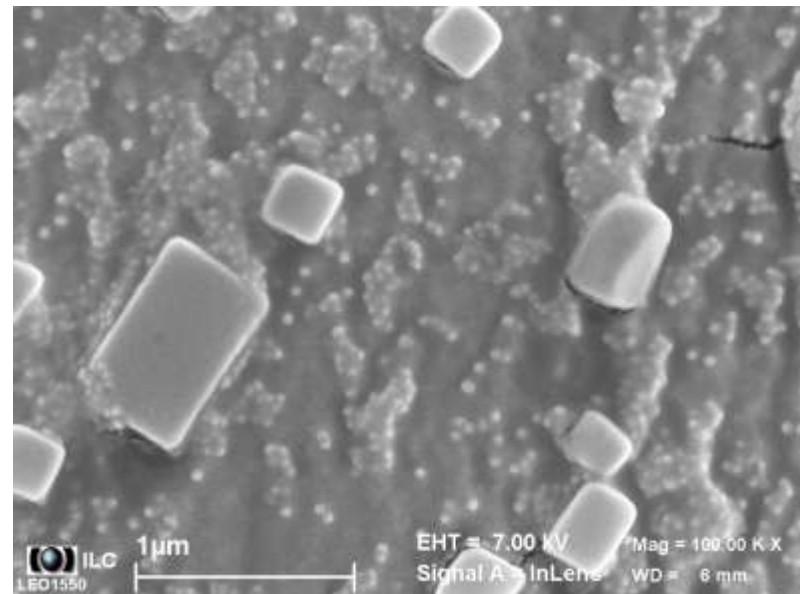
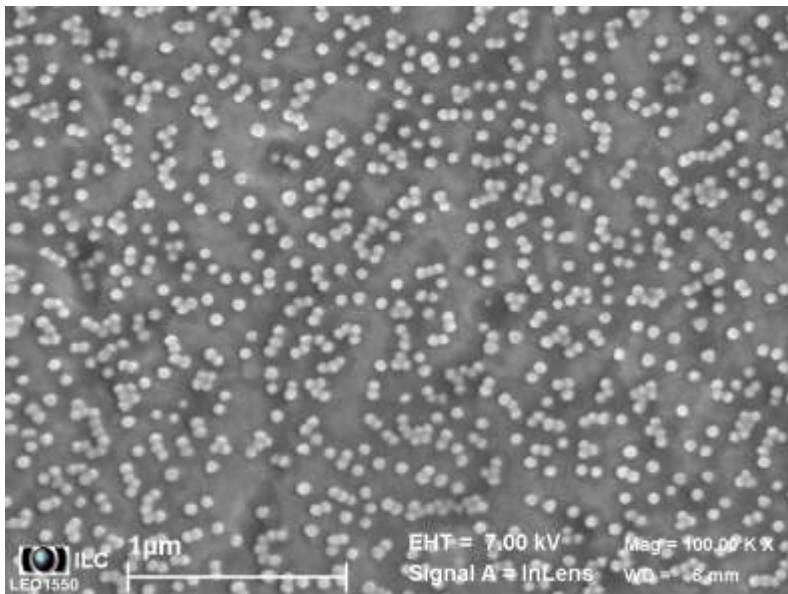
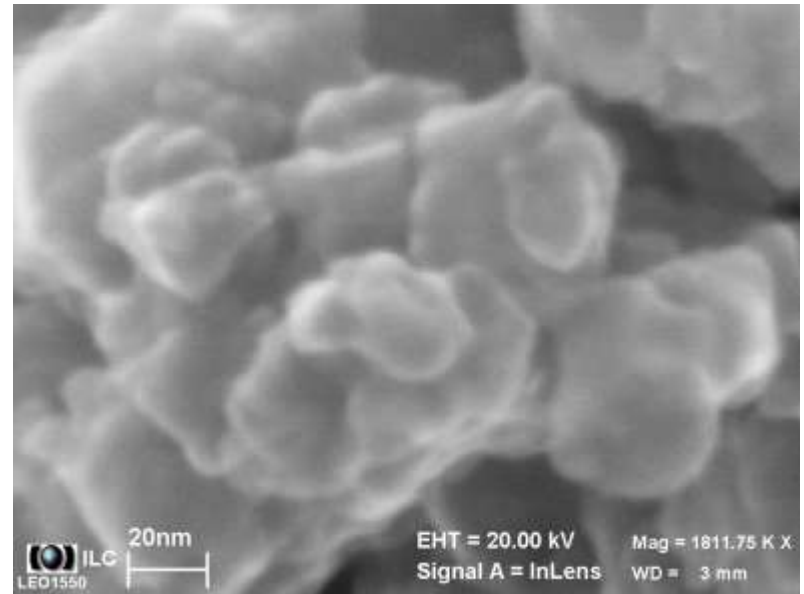
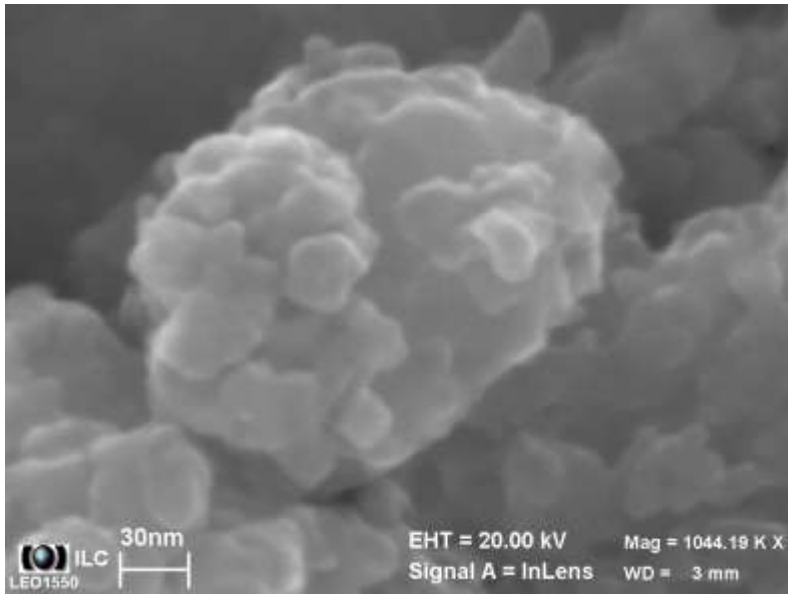
Varistor $\times 480$

Stereosnímká REM



HREM

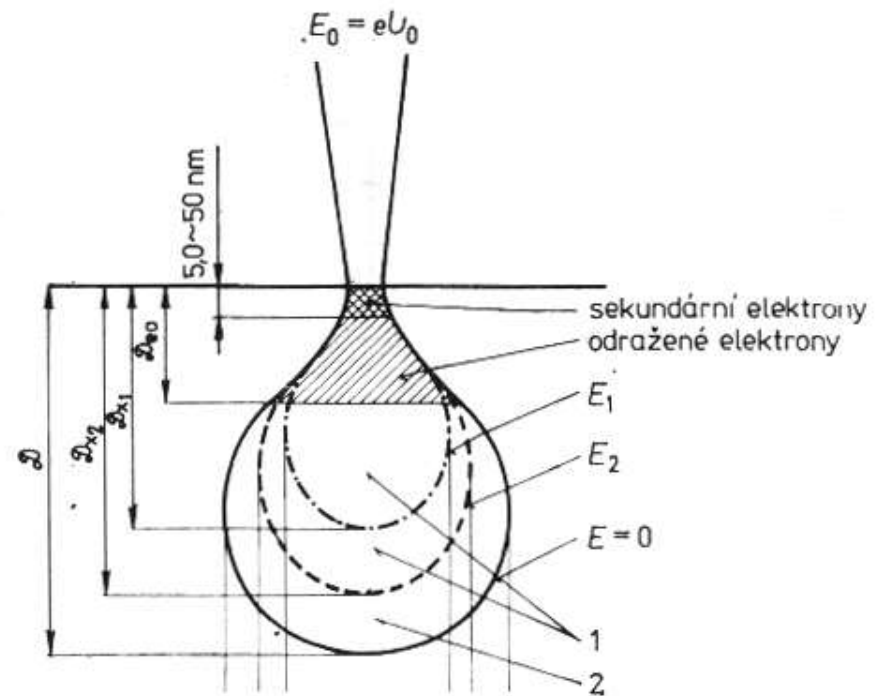
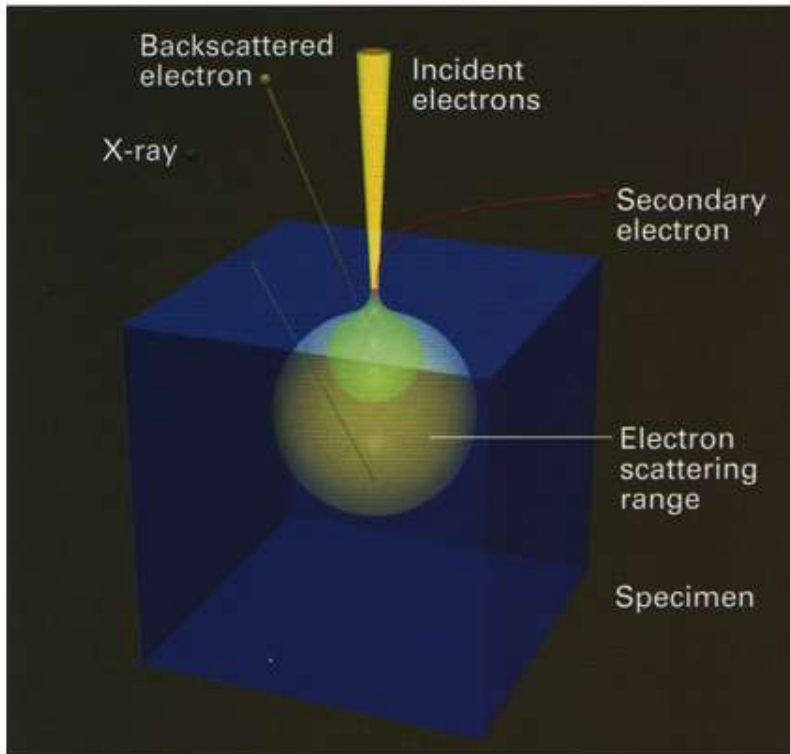




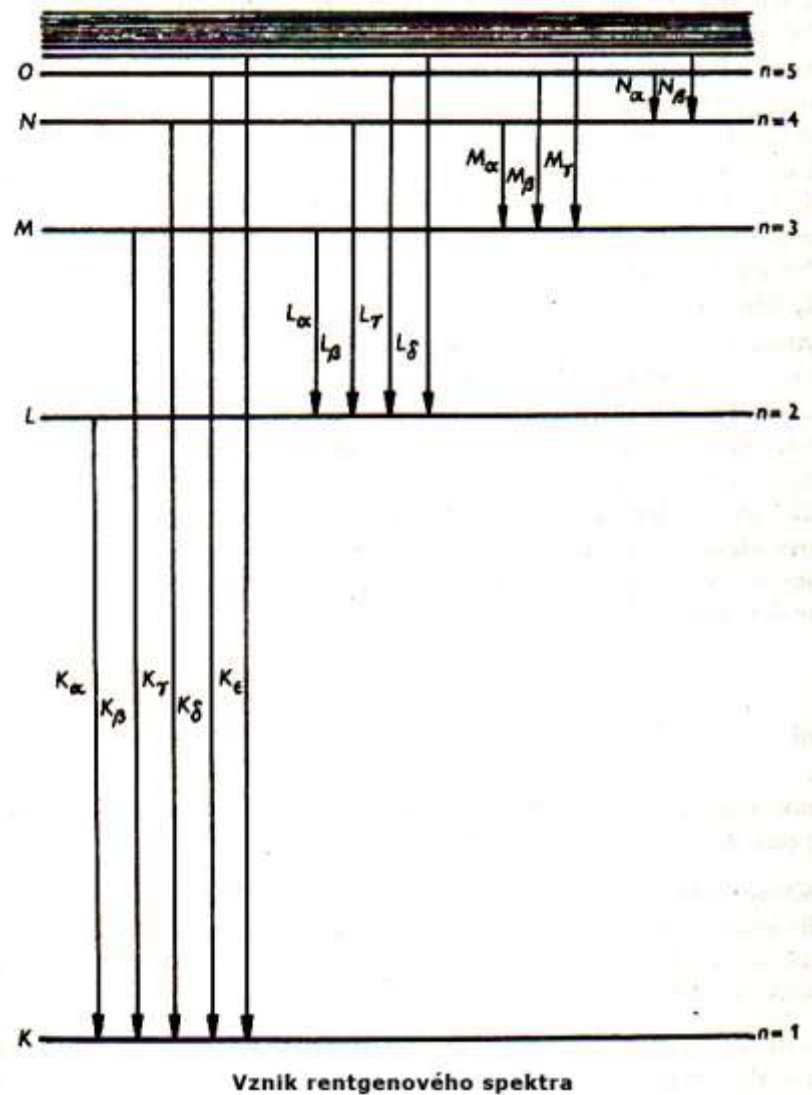
REM s EDX



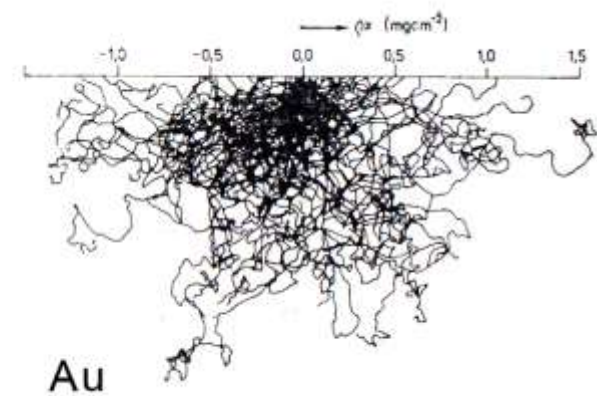
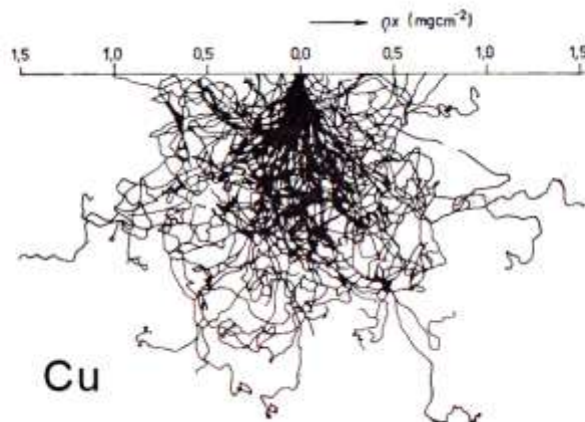
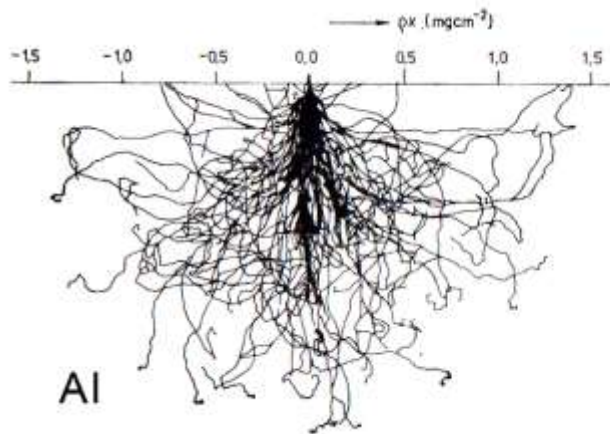
Vznik charakteristického RTG žiarenia



Vznik rentgenového spektra

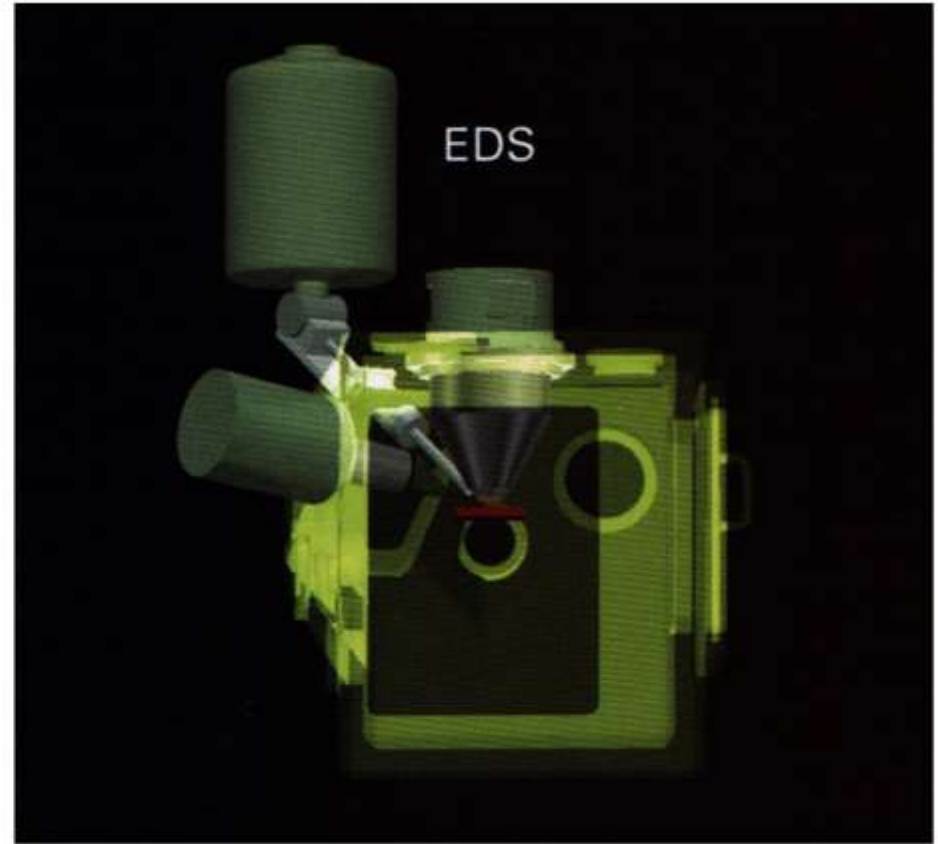
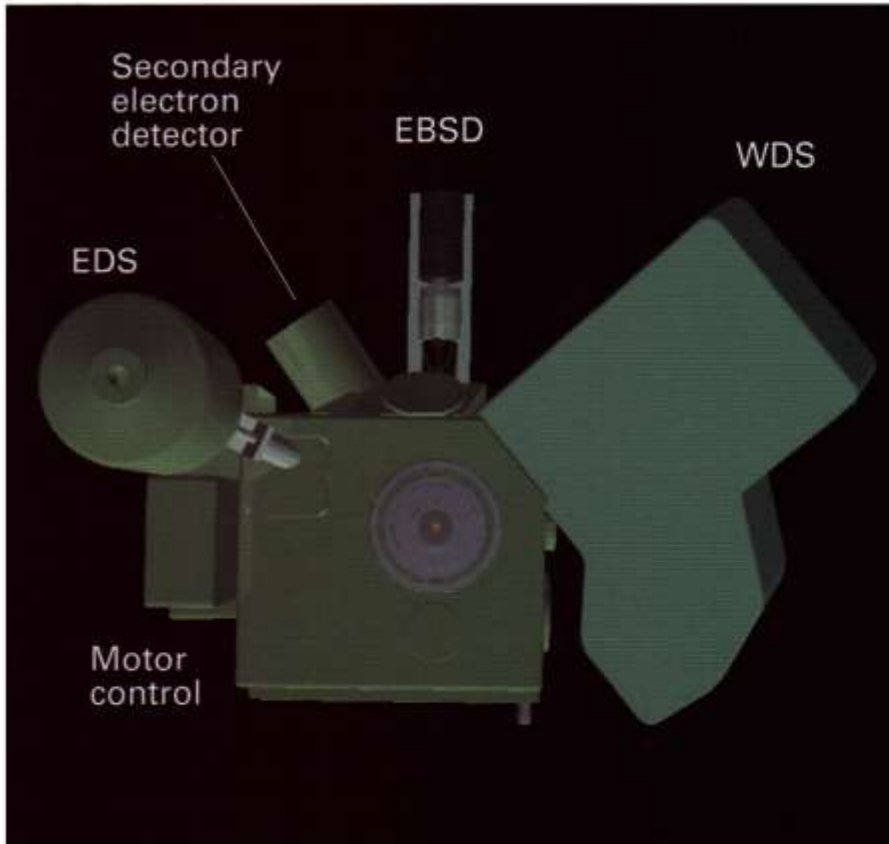


Dráhy primárných elektrónov s kolmým dopadom na vzorky Al, Cu, Au

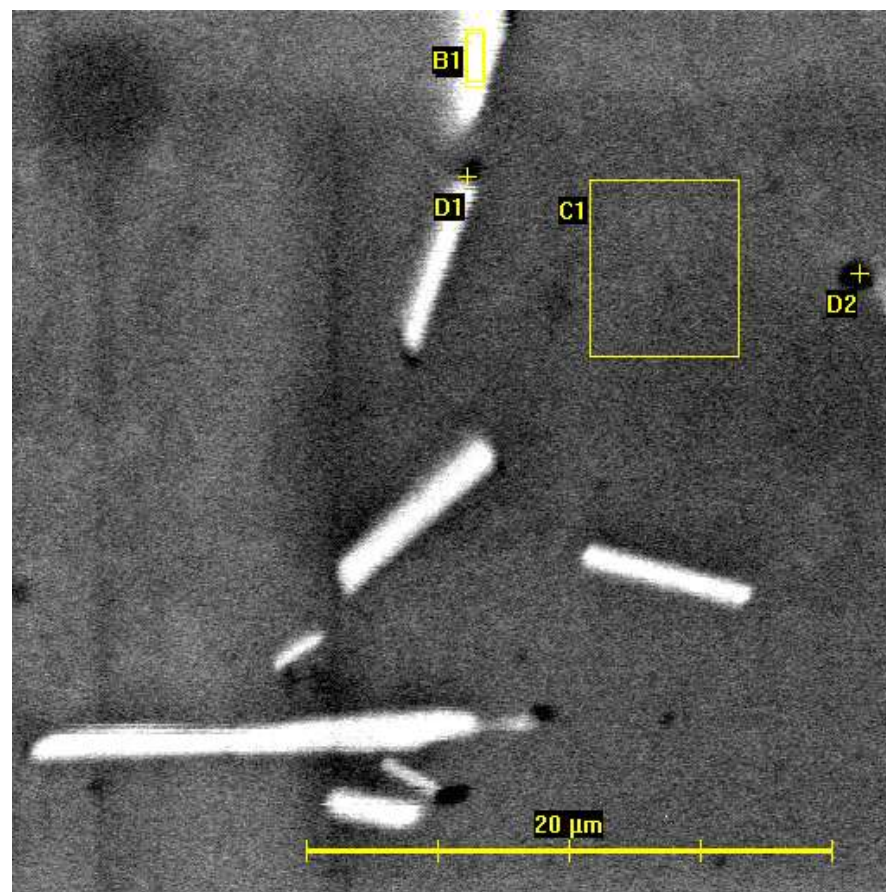
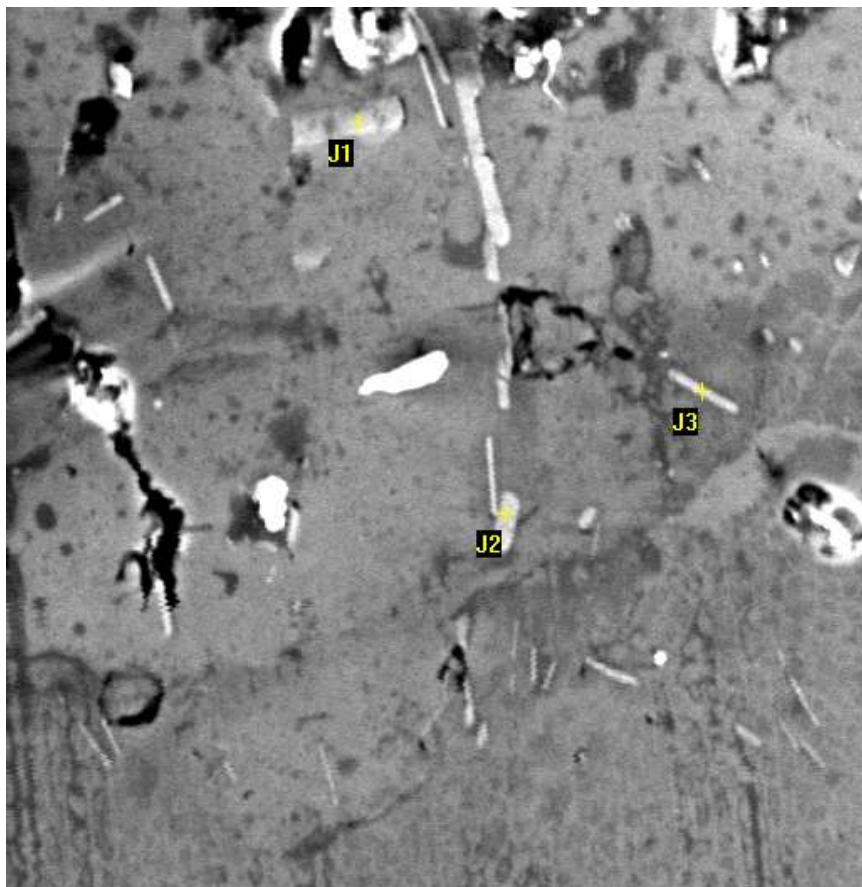


VDX a EDX detektory

zariadenia umožňujú realizovať bodové, plošné a čiarové analýzy

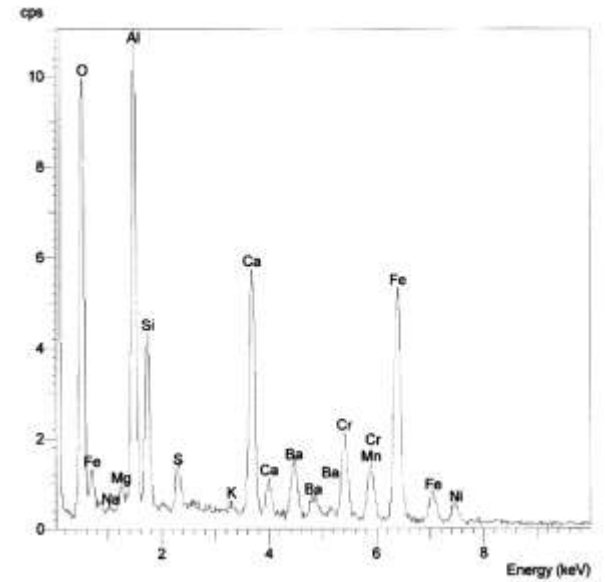
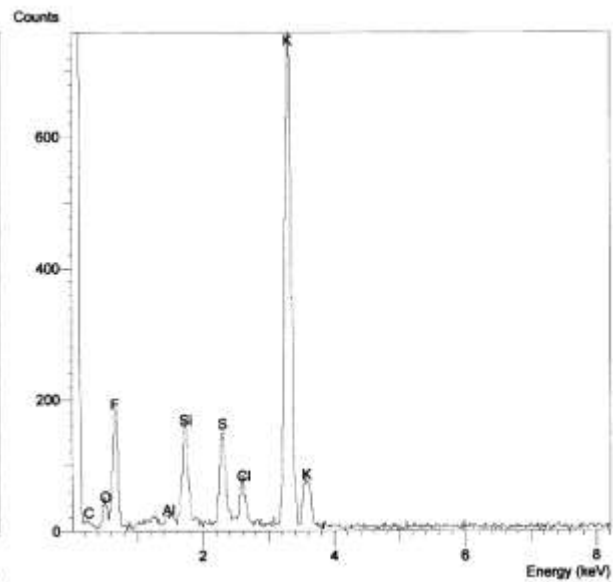
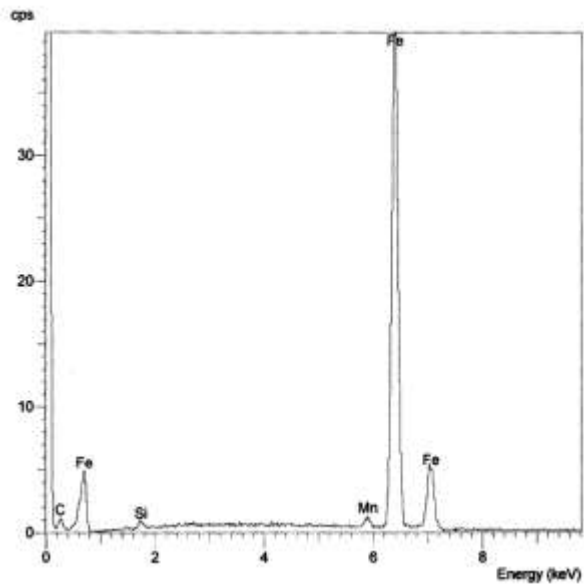


REM snímky leptaného výbrusu s označenými miestami bodových a plošných analýz

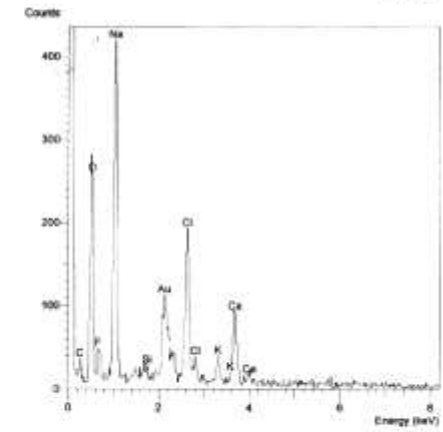
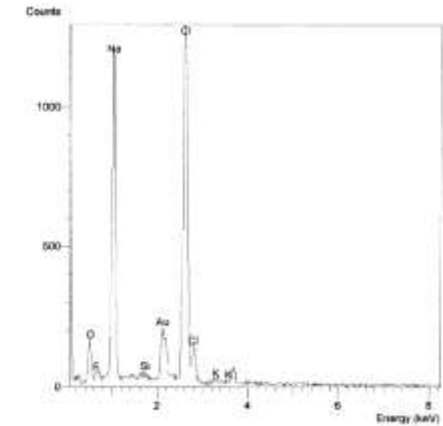
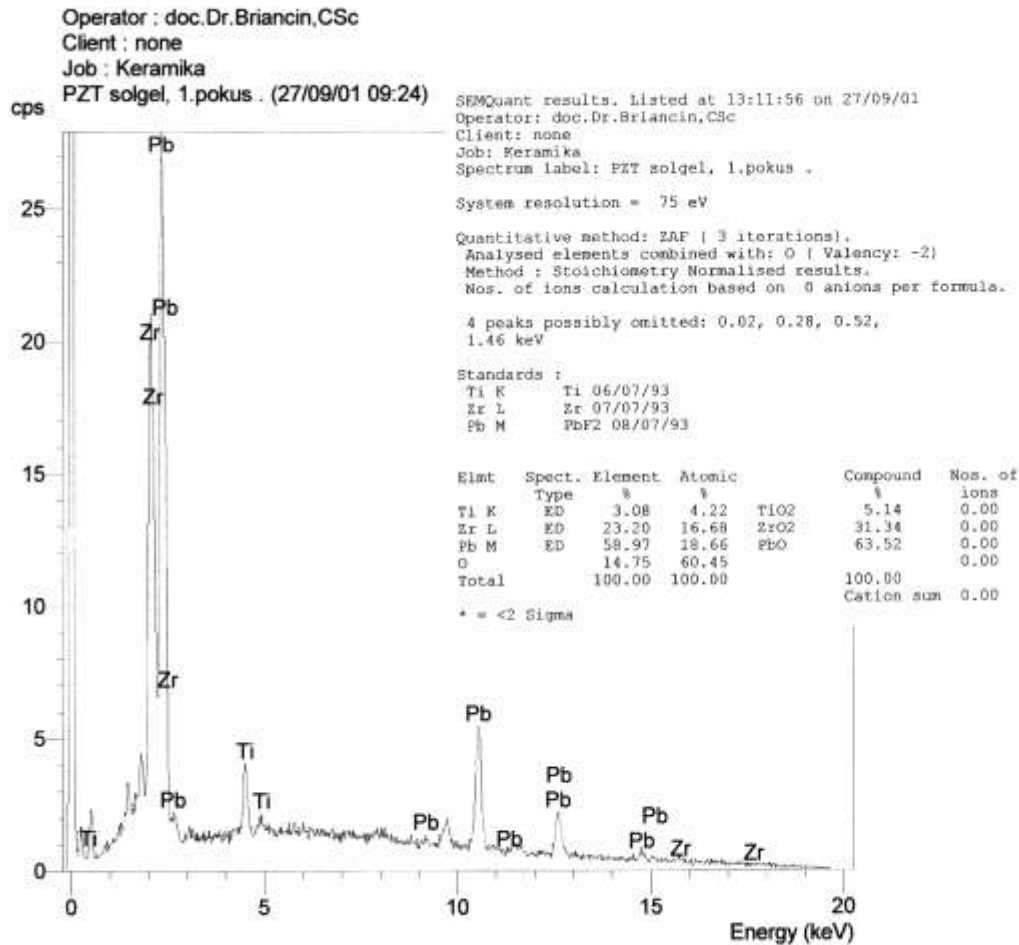


Príklady EDX spektier

kvalitatívna analýza



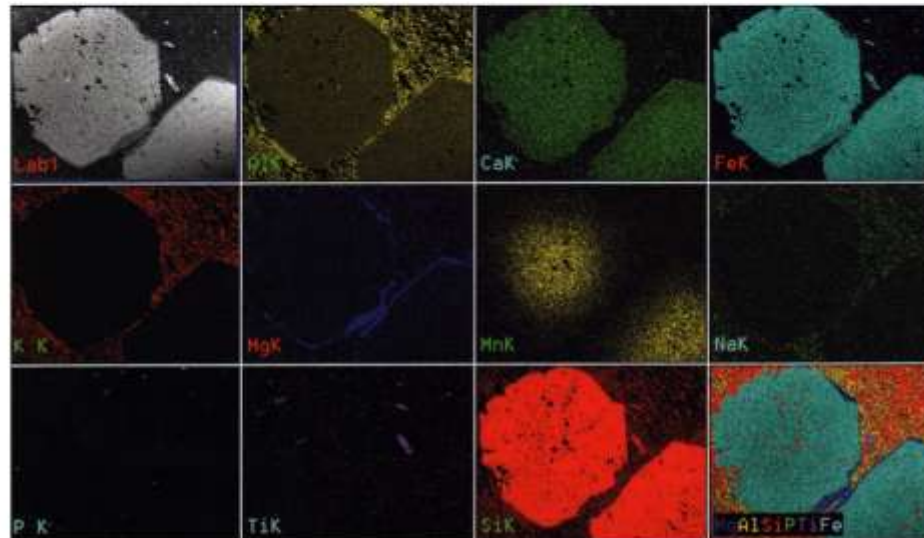
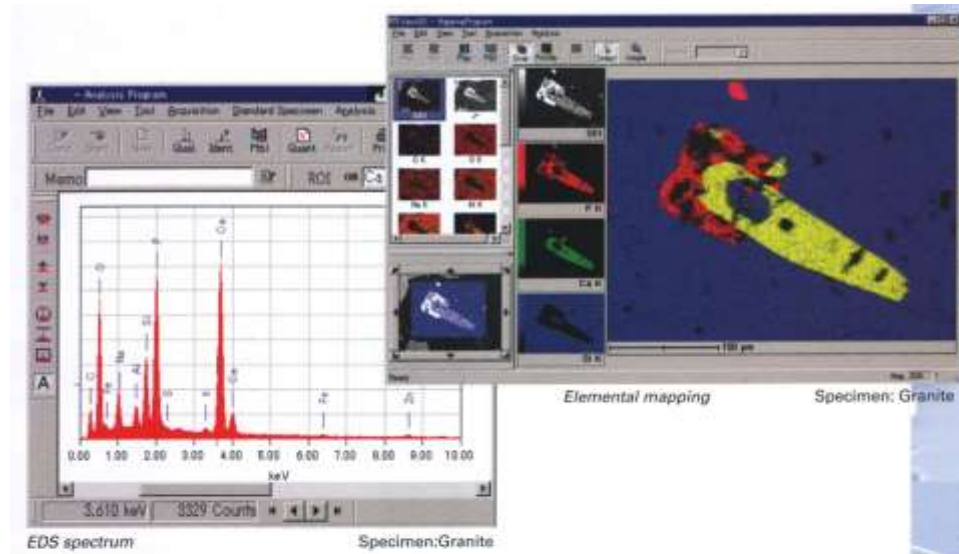
Kvalitatívna a semikvantitatívna analýza



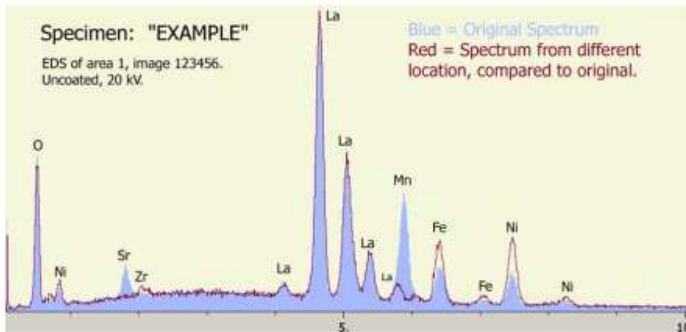
Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
Si K	ED	3.76	4.06
Cl K	ED	54.37	46.56
K K	ED	21.34	16.57
F		20.53	32.81
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma

Plošná EDX analýza - mapping

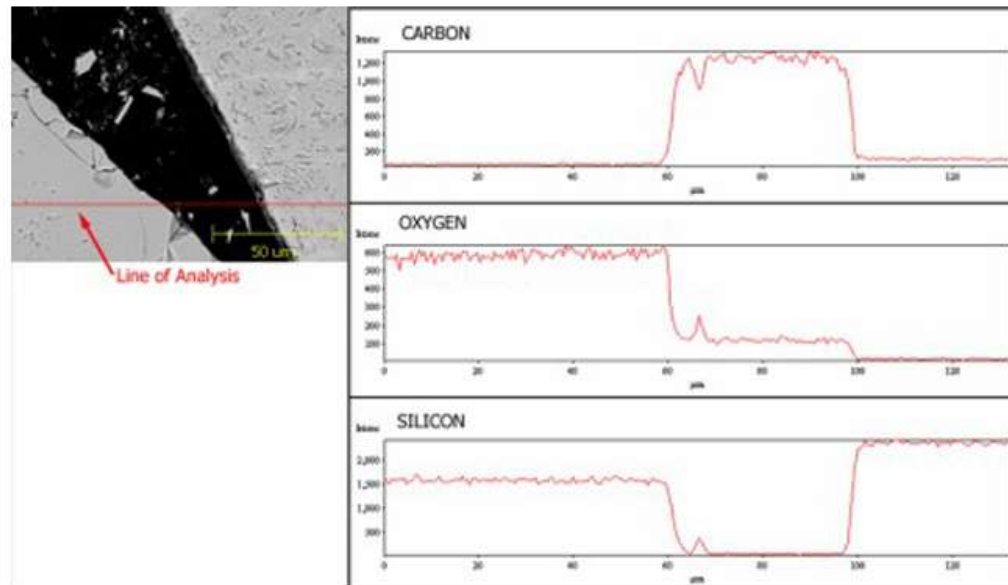
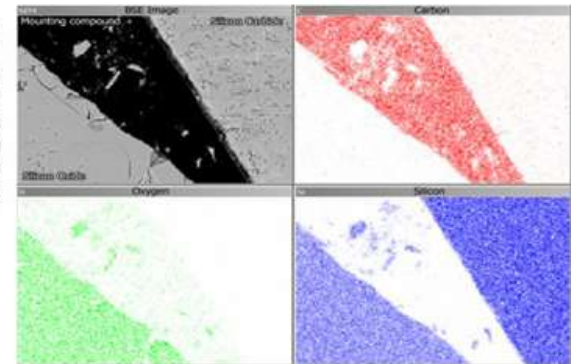


Čiarová EDX analýza – line scan



El.	Line	Conc	Error	MDL
			2-sig	3-sig
O	K α	19.646 wt.%	0.414	0.221
Mn	K α	10.770 wt.%	0.220	0.271
Fe	K α	3.900 wt.%	0.139	0.223
Ni	K α	5.240 wt.%	0.185	0.270
Sr	La	2.802 wt.%	0.135	0.269
La	La	57.641 wt.%	0.687	0.546
		100.000 wt.%		

kV 20.0
Takeoff Angle 35.0°
Elapsed Livetime 170.3



Digitálne spracovanie obrázu

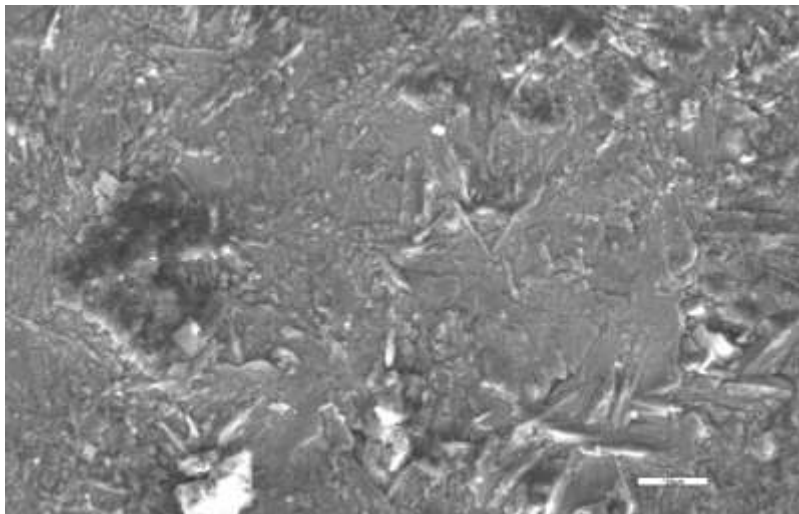
Vysoké rozlíšenie digitálneho spracovania obrázu má v súčasnosti veľké prednosti . V počiatkoch využitia počítačového spracovania obrázu, následné zväčšovanie obrázu nevedlo ku kvalitným výsledkom. Dnešná technika poskytuje možnosti aj počítačového zvyšovania zväčšenia a dáva detailnejšie informácie.

Sledovanie procesov In situ

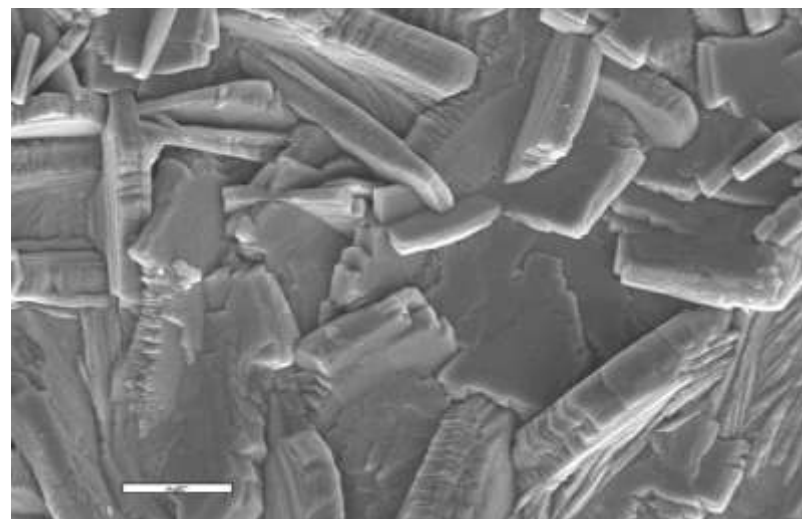
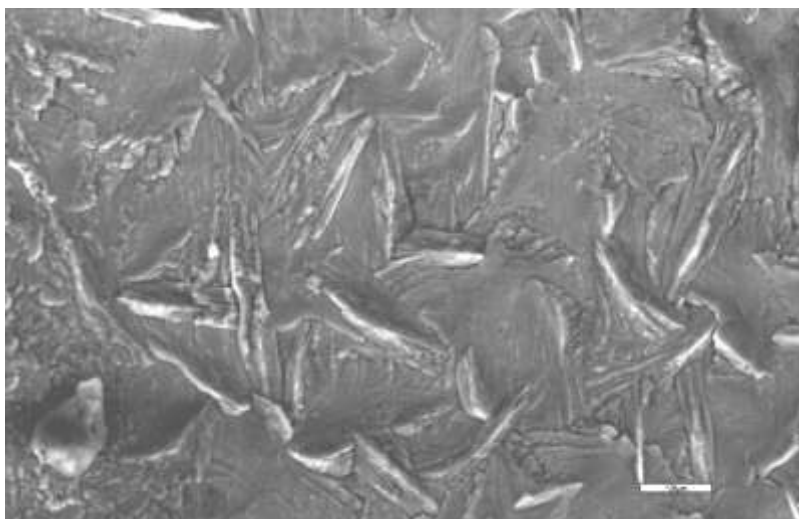
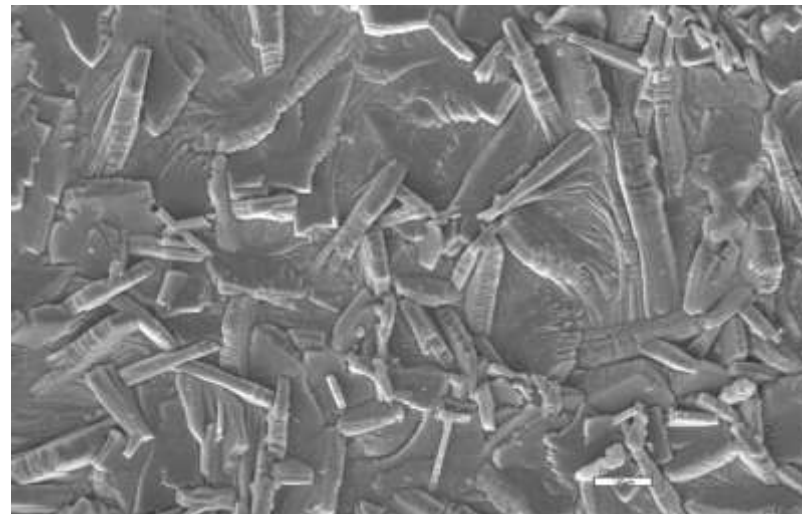
Využitím zväčšenia – vstupu do mikrosveta a záznamovať kinematiku dejov je možné využitím dnešnej vyspelejšej techniky – vysokorozlišovacích digitálnych kamer, ktoré svojimi vysokocitlivými snímačmi dovoľujú pozorovať objekty a procesy bez dodatečného osvetlenia, ktoré by mohlo proces ovplyvniť.

Využitie
REM, TEM
a lokálnej
mikroanalýzy

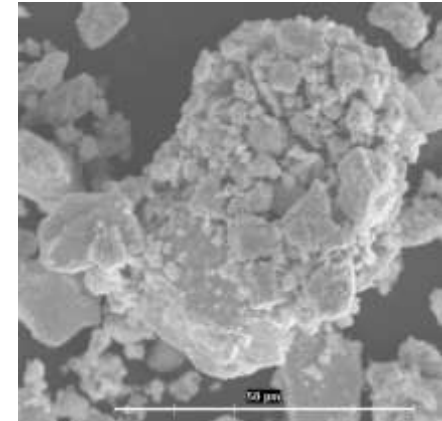
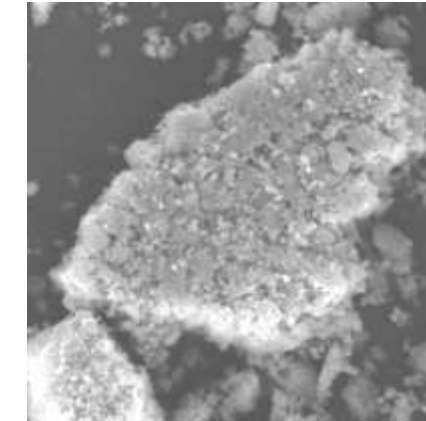
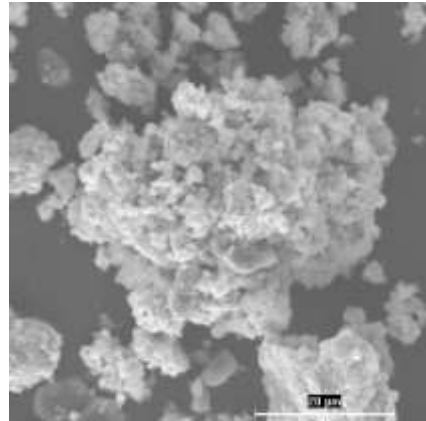
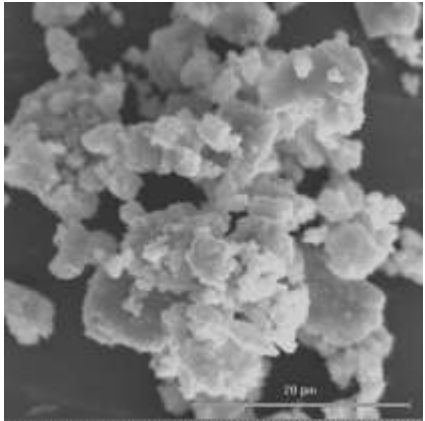
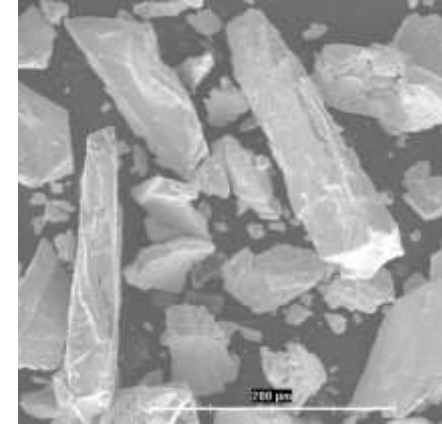
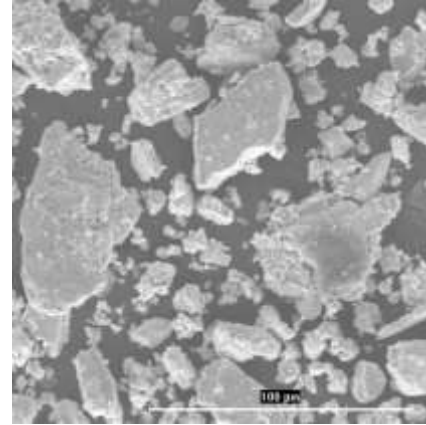
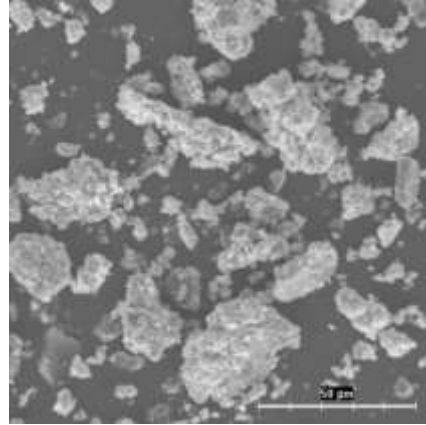
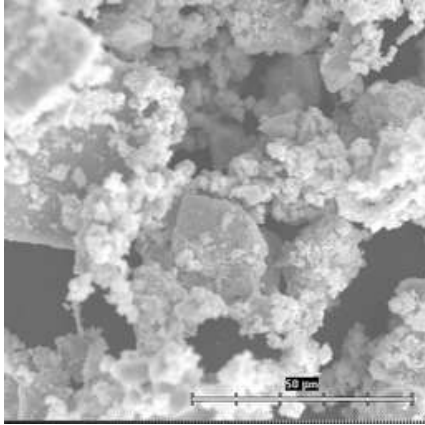
Zákazník: EUROKOV – fosfatovanie oceľových plechov
Plech č. 1



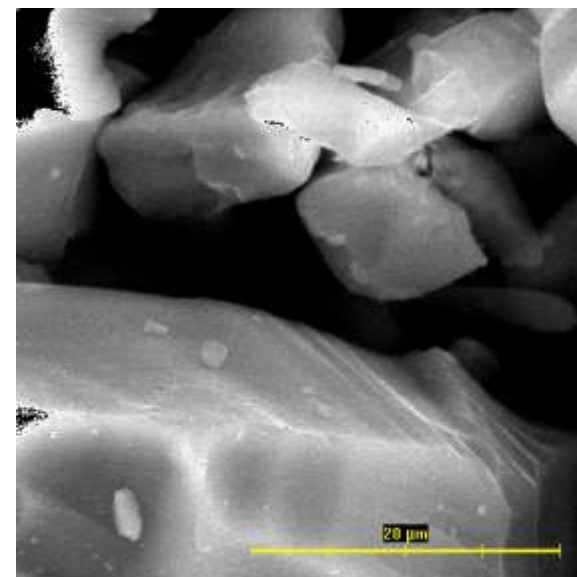
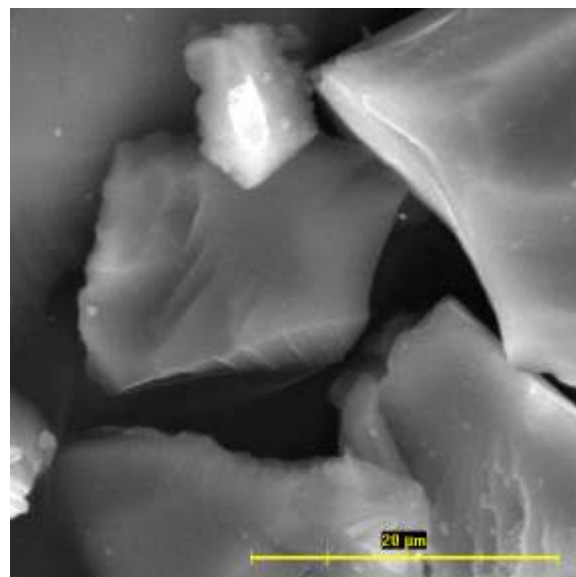
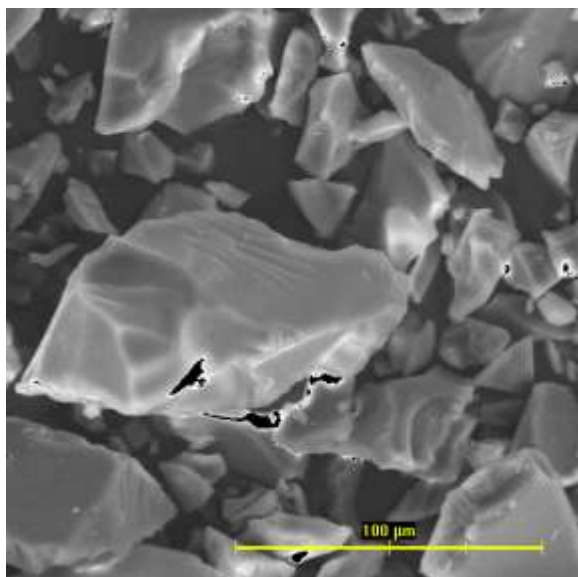
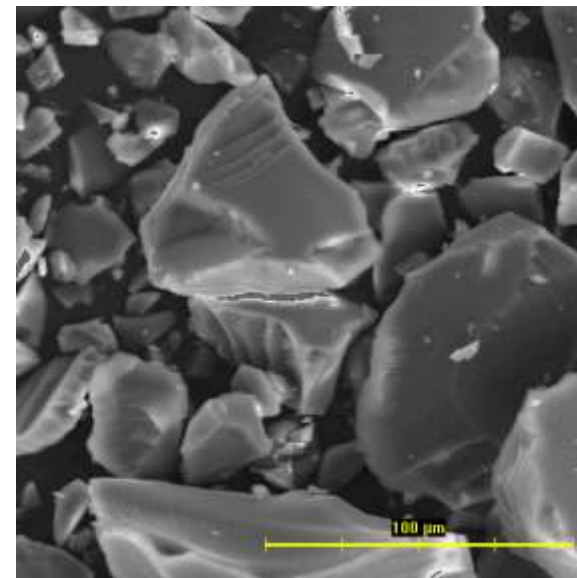
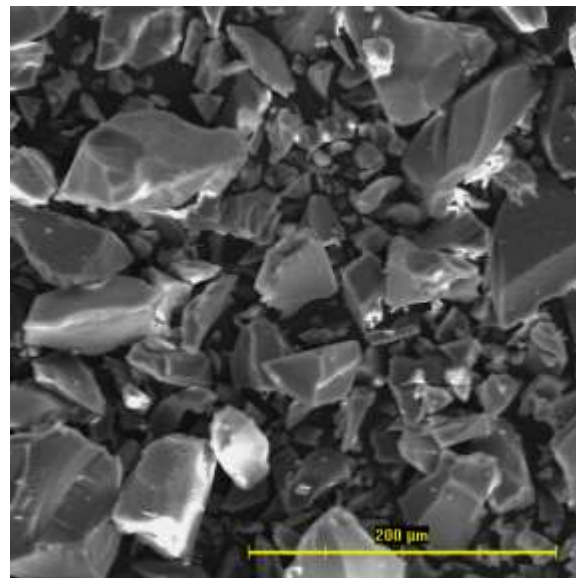
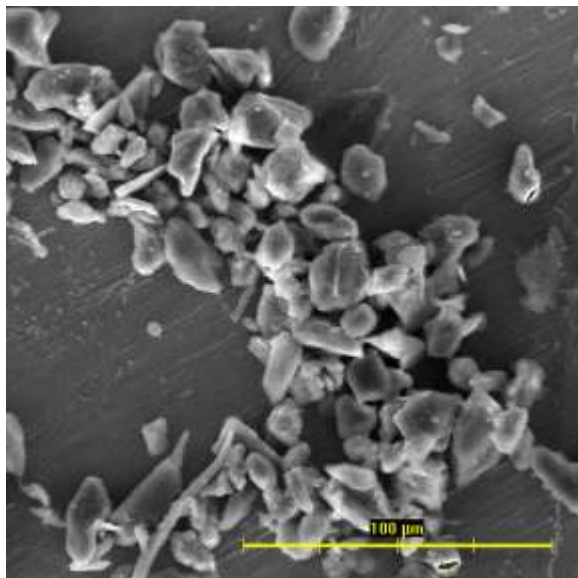
Plech č. 2



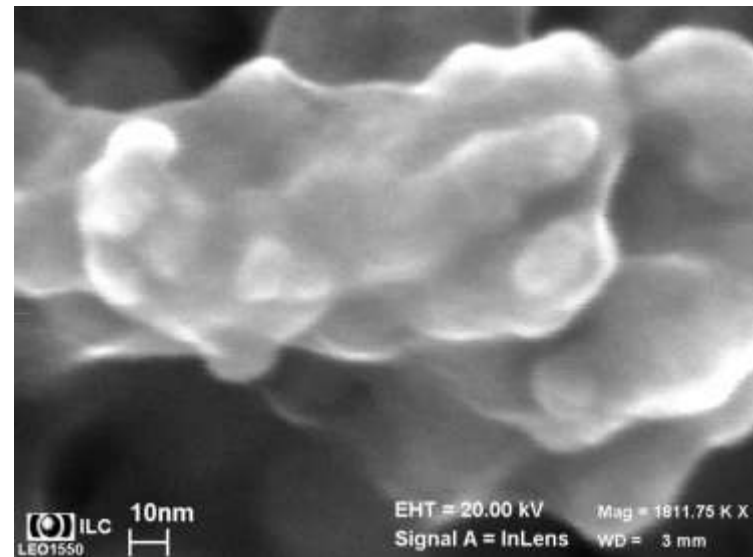
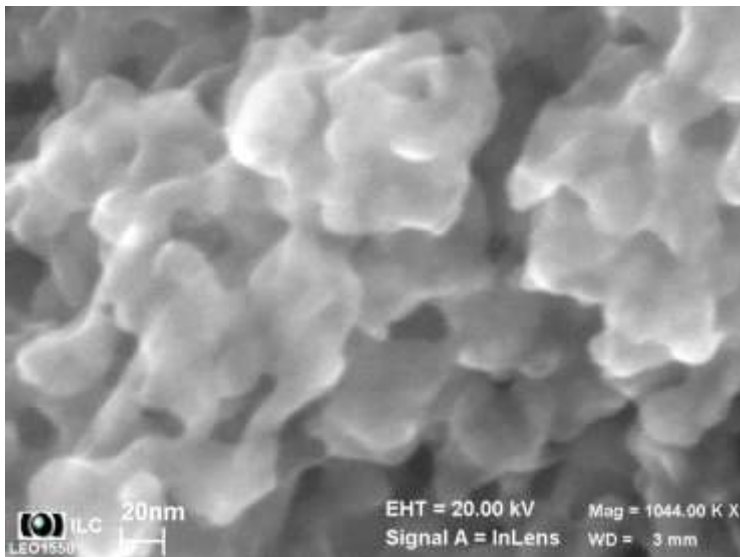
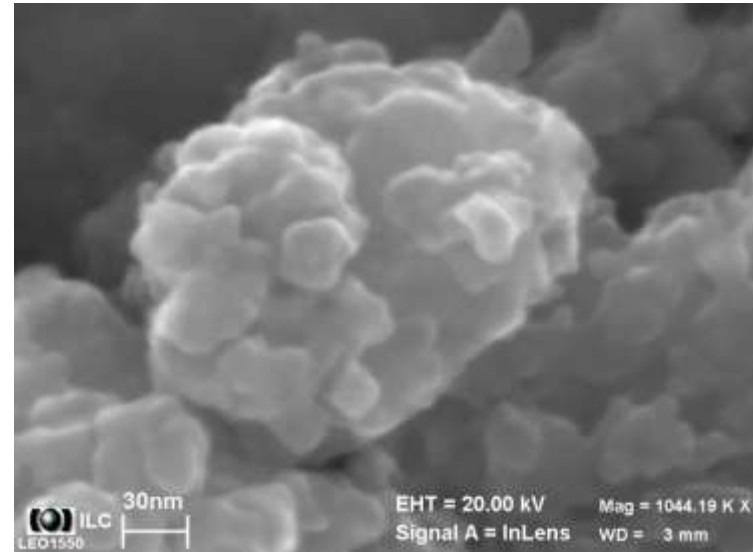
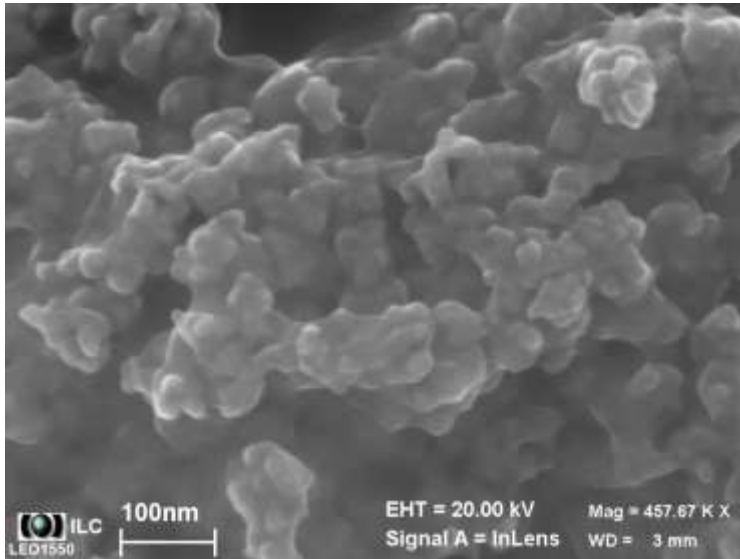
Rôzne typy práškových materiálov



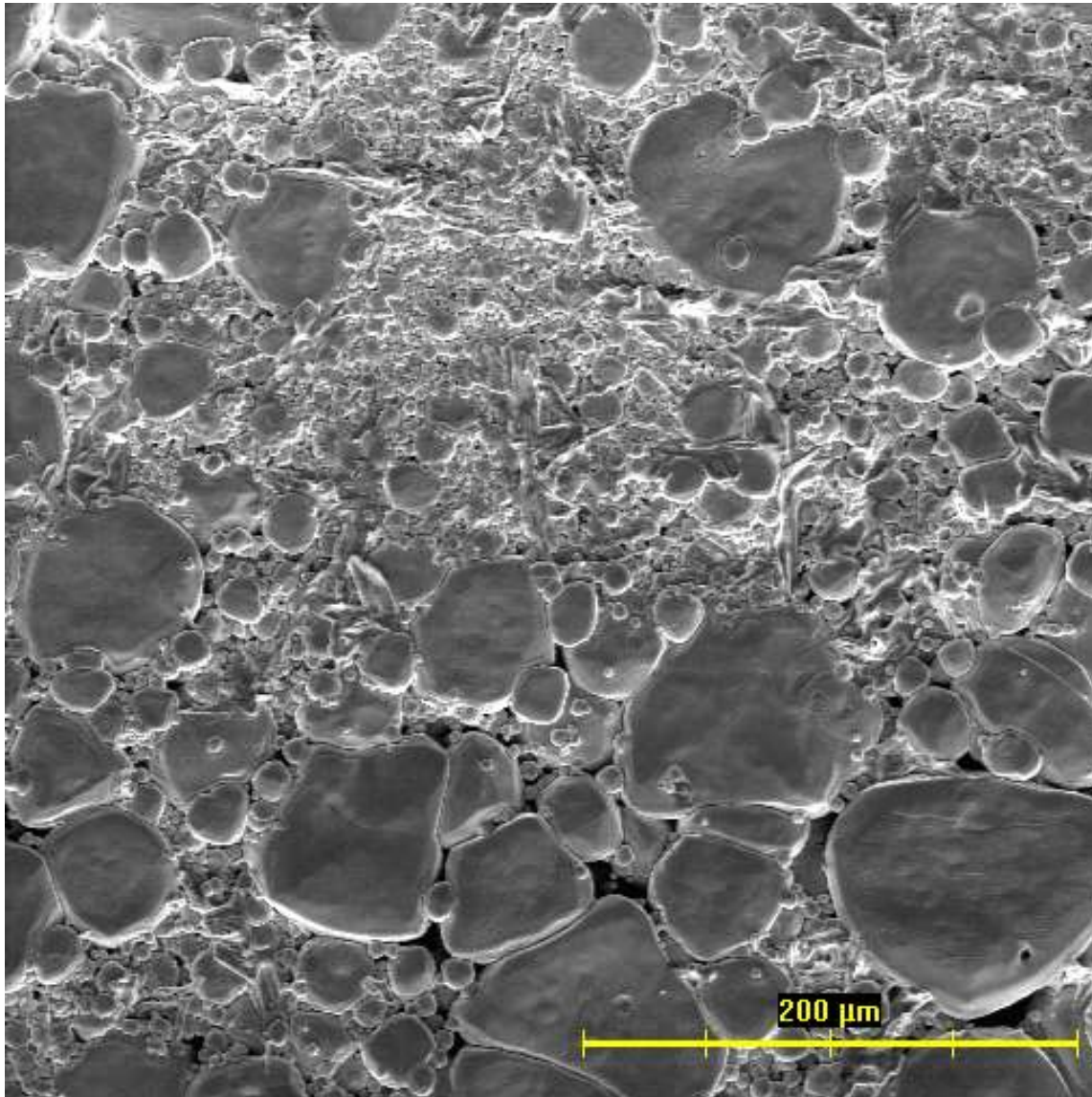
SiO₂ prášek



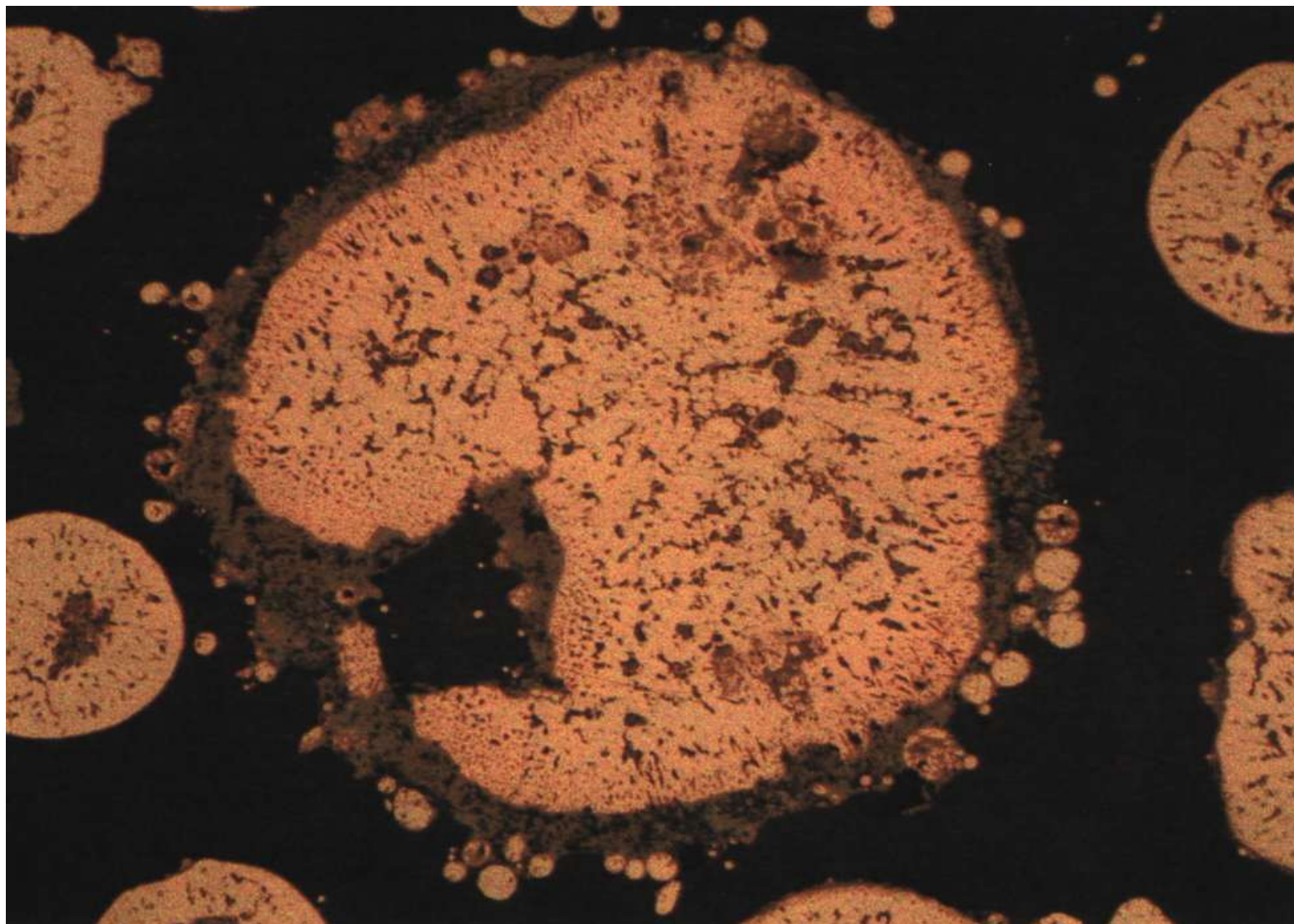
Nanometrické práškové častice dokumentované na rastrovacom elektrónovom mikroskope s vysokým rozlíšením



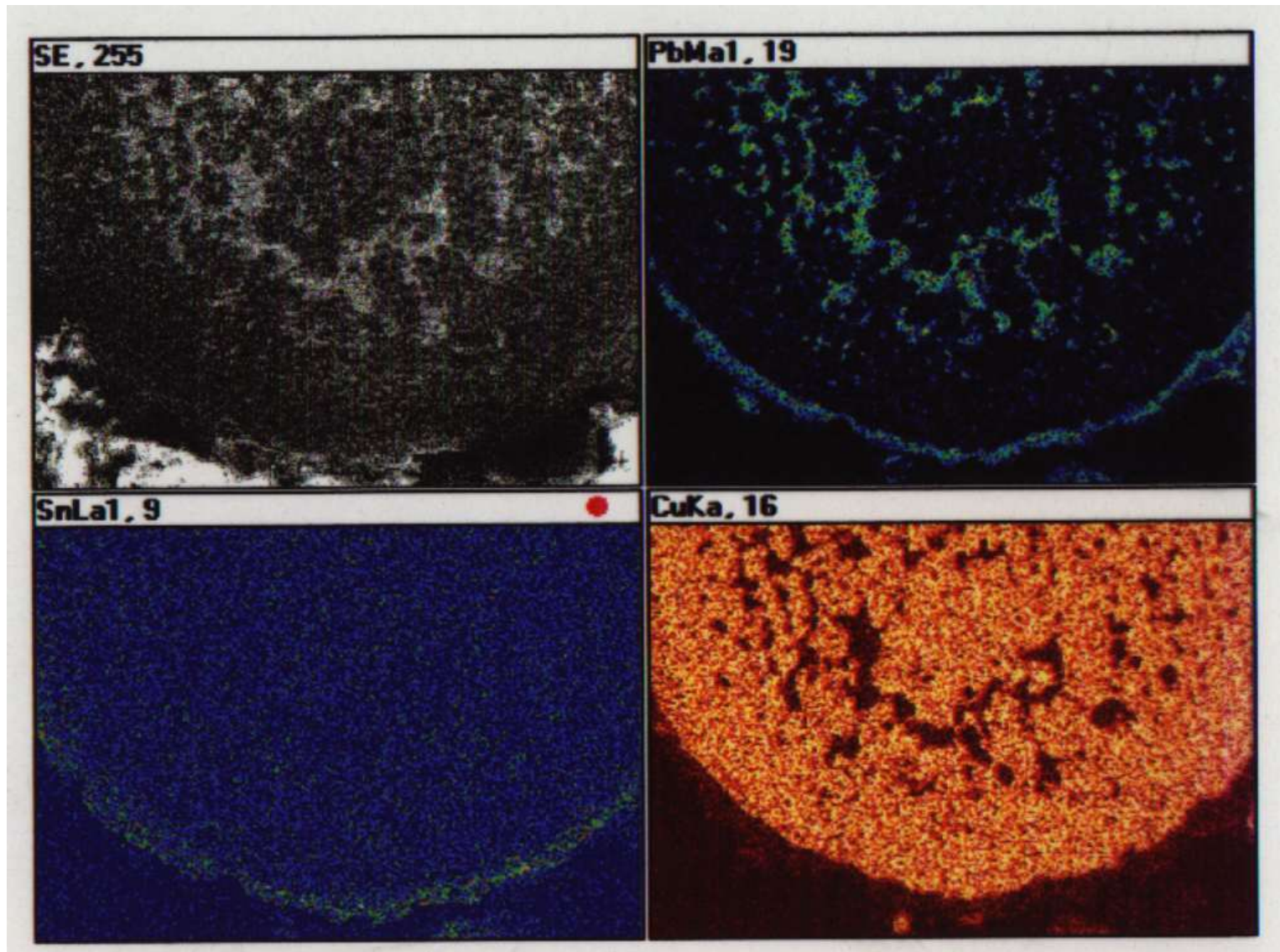
Povrch polovodičovej keramiky



Morfológia prášku $\text{CuPb}_{22}\text{Sn}$ 4 prášku
svetelná mikroskopia



EDX plošná distribúcia Cu, Pb a Sn v CuPb22Sn 4 prášku



EDX čiarová distribúcia Cu, Pb a Sn v CuPb22Sn4 prášku

