

- Literatura:
- Pluhař J.: Nauka o materiálech, SNTL, Praha 1989, 552 s.
- Ptáček L.: Nauka o materiálu I a II, CERM, Brno 2001, 854 s.
- Horáček J.: Nauka o materiálu, ČZU v Praze, Praha 2000, 71 s.
- Přednášky.....

- Zkouška – písemná + ústní, v rozsahu přednášek + cvičení.

Čím se budeme zabývat?

- Vnitřní stavba materiálu, vazby mezi atomy
- Krystalová mřížka
- Značení rovin a směrů v krystalografii
- Mřížkové poruchy
- Interakce mřížkových poruch
- Difúze v kovech
- Fáze a fázové přeměny
- Binární rovnovážné diagramy
- Deformační a lomové chování materiálu
- Elastická a plastická deformace
- Druhy lomů, creep, únava
- **Železo a jeho slitiny**
- **Rovnovážná soustava Fe-C**
- Rozdělení slitin železa s uhlíkem
- Vliv prvků na slitiny železa
- Výroba železa
- Přeměny austenitu
- Transformační diagramy
- Tepelné zpracování slitin železa
- **Chemickotepelné zpracování slitin železa**
- **Oceli**
- **Litiny**
- Neželezné kovy
- Polymerní materiály
- **Kompozity**
- **Technická keramika**
- **Slinování**
- Mechanické zkoušky
- Metalografie
- Opotřebení a koroze

Rozdělení materiálů

- Kovy
- Polokovy
- Nekovy



Kovy

- Velká elektrická a tepelná vodivost
- Poměrně velká pevnost a schopnost plastického přetvoření
- Kovový lesk
- Všechny kovy jsou s výjimkou rtuti při teplotě 20 °C v tuhém stavu

- Alkalické kovy
- Přechodové kovy
- Kovy A podskupin

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
|------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|---|--|---------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|--|-------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| I A | II A | III B | IV B | V B | VI B | VII B | VIII | VIII | VIII | I B | II B | III A | IV A | V A | VI A | VII A | 0 |
| Vodík 1 H 1,00794(7) | | | | | | | | | | | | | | | | | Helium 2 He 4,002602(2) |
| Lithium 3 Li 6,941(2) | Beryllium 4 Be 9,012182(3) | | | | | | | | | | | | | | | | Neon 10 Ne 20,1797(6) |
| Sodík 11 Na 22,989770(2) | Hafnium 12 Mg 24,3040(6) | | | | | | | | | | | | | | | | Argon 18 Ar 39,948(1) |
| Draselík 19 K 39,0983(1) | Vápník 20 Ca 40,078(4) | Skandium 21 Sc 44,955910(3) | Titan 22 Ti 47,867(1) | Vanad 23 V 50,9415(1) | Chrom 24 Cr 51,9961(6) | Mangan 25 Mn 54,938049(3) | Zinek 26 Fe 55,845(2) | Kobalt 27 Co 58,933200(9) | Nikl 28 Ni 58,6934(2) | Měď 29 Cu 63,546(3) | Zinek 30 Zn 65,39(2) | Gallium 31 Ga 69,723(1) | Uhlík 6 C 12,0107(8) | Dusík 7 N 14,0064(7) | Kyslík 8 O 15,9994(3) | Fluor 9 F 18,9984032(3) | Chlór 17 Cl 35,4527(8) |
| Rubidium 37 Rb 85,4678(3) | Stroncium 38 Sr 87,62(1) | Yttrium 39 Y 88,90585(2) | Zirkonium 40 Zr 91,224(2) | Niob 41 Nb 92,90638(2) | Molybden 42 Mo 95,94(1) | Technecium 43 Tc 98,9063 | Ruthenium 44 Ru 101,07(2) | Rhodium 45 Rh 102,90550(2) | Palladium 46 Pd 106,42(1) | Stříbro 47 Ag 107,8682(2) | Kadmium 48 Cd 112,411(8) | Indium 49 In 114,818(3) | Cín 50 Sn 118,710(7) | Arsen 51 As 74,92160(2) | Selen 52 Se 78,96(3) | Brom 53 Br 79,904(1) | Krypton 36 Kr 83,80(1) |
| Cesium 55 Cs 132,90545(2) | Baryum 56 Ba 137,327(7) | 57-70 Lanthano- idy | Hafnium 72 Hf 178,49(2) | Tantal 73 Ta 180,9479(1) | Wolfram 74 W 183,84(1) | Rhenium 75 Re 186,207(1) | Osmium 76 Os 190,23(3) | Iridium 77 Ir 192,217(3) | Ptacek 78 Pt 195,078(2) | Zlato 79 Au 196,96656(2) | Rtut 80 Hg 200,59(2) | Thalium 81 Tl 204,3833(2) | Olovo 82 Pb 207,2(1) | Bismut 83 Bi 208,98038(2) | Polonium 84 Po (209,9824) | Astat 85 At (209,9871) | Xenon 54 Xe 131,29(2) |
| Franzium 87 Fr (223,0197) | Rádium 88 Ra (226,0254) | 89-102 Aktino- idy | Rutherfordium 104 Rf (261,110) | Dubnium 105 Db (262,1144) | Seaborgium 106 Sg (263,1169) | Bohrium 107 Bh (264,12) | Hassium 108 Hs (265,1306) | Melitrium 109 Mt (269) | Ununnilium 110 Uun (269) | Ununnilium 111 Uuu (272) | Ununnilium 112 Uub (277) | | | | | | Radon 86 Rn (222,0176) |
| Lanthanoidy: | | Lanthan 57 La 138,90509(2) | Cer 58 Ce 140,116(1) | Praseodym 59 Pr 140,90766(2) | Neodym 60 Nd 144,24(2) | Promethium 61 Pm (144,9127) | Samarium 62 Sm 150,36(3) | Europium 63 Eu 151,964(1) | Gadolinium 64 Gd 157,25(3) | Terbium 65 Tb 158,92534(2) | Dyprosium 66 Dy 162,50(3) | Holmium 67 Ho 164,93032(2) | Erbium 68 Er 167,26(3) | Thulium 69 Tm 168,93421(2) | Ytterbium 70 Yb 173,04(3) | Lutetium 71 Lu 174,967(1) | |
| Aktinoidy: | | Aktinium 89 Ac (227,0277) | Thorium 90 Th 232,0381(1) | Protaktinium 91 Pa 231,03688(2) | Uran 92 U 238,02891(1) | Neptunium 93 Np (237,0482) | Plutonium 94 Pu 244,0642 | Amercium 95 Am (243,0614) | Kurium 96 Cm (247,0703) | Berkelium 97 Bk (247,0703) | Kalifornium 98 Cf (251,0796) | Einsteinium 99 Es (252,0830) | Fermium 100 Fm (257,0851) | Mendelevium 101 Md (258,1084) | Nobelium 102 No (259,1011) | Lavrencium 103 Lr (262,110) | |

■ nekovy
■ alkalické kovy
■ alkalické zemní kovy
■ vzácné plyny
■ halogeny
■ metalloidy
■ přechodné kovy
■ jiné kovy
■ vzácné zemní prvky

O — název prvku
+ — protonové číslo
O — značka prvku
15,9994(3) — relativní atomová hmotnost

Alkalické kovy

- Mají nízkou teplotu tání a špatné mechanické vlastnosti
- Kovová vazba je u nich slabá

- Lithium
- Sodík
- Draslík
- Cesium
- Aj.

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | |
|------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|---|---|---------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|--|-------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| I A | II A | III B | IV B | V B | VI B | VII B | VIII | VIII | VIII | I B | II B | III A | IV A | V A | VI A | VII A | 0 | |
| Vodík 1 H | | | | | | | | | | | | | | | | | Helium 2 He 4,002602(2) | |
| Lithium 3 Li 6,941(2) | Berýl 4 Be 9,012182(3) | | | | | | | | | | | | Bor 5 B 10,811(7) | Uhlík 6 C 12,0107(8) | Dusík 7 N 14,0064(7) | Kyslík 8 O 15,9994(3) | Fluor 9 F 18,9984032(5) | Neon 10 Ne 20,1797(8) |
| Sodík 11 Na 22,989770(2) | Hořčík 12 Mg 24,3050(8) | | | | | | | | | | | | Hliník 13 Al 26,981538(6) | Křemík 14 Si 28,0855(3) | Fosfor 15 P 30,973761(2) | Síra 16 S 32,066(6) | Chlór 17 Cl 35,452(8) | Argon 18 Ar 39,948(1) |
| Draslík 19 K 39,0983(1) | Vápník 20 Ca 40,078(4) | Skandium 21 Sc 44,955910(8) | Titan 22 Ti 47,867(1) | Vanad 23 V 50,9415(1) | Chrom 24 Cr 51,9961(6) | Mangan 25 Mn 54,938045(9) | Železo 26 Fe 55,845(2) | Kobalt 27 Co 58,933200(9) | Nikl 28 Ni 58,6934(2) | Měď 29 Cu 63,546(3) | Zinek 30 Zn 65,38(2) | Gallium 31 Ga 69,723(1) | Germanium 32 Ge 72,61(2) | Arsen 33 As 74,92160(2) | Selen 34 Se 78,96(3) | Brom 35 Br 79,904(1) | Krypton 36 Kr 83,80(1) | |
| Rubidium 37 Rb 85,4678(3) | Stroncium 38 Sr 87,62(1) | Yttrium 39 Y 88,90585(2) | Zirkonium 40 Zr 91,224(2) | Niob 41 Nb 92,90638(2) | Molybden 42 Mo 95,94(1) | Techneclium 43 Tc (98,9063) | Ruthenium 44 Ru 101,07(2) | Rhodium 45 Rh 102,90550(2) | Palladium 46 Pd 106,42(1) | Sířbr 47 Ag 107,8682(2) | Kadmium 48 Cd 112,411(8) | Indium 49 In 114,818(3) | Cin 50 Sn 118,710(7) | Antimon 51 Sb 121,760(1) | Tellur 52 Te 127,60(3) | Jod 53 I 126,90447(3) | Xenon 54 Xe 131,29(2) | |
| Cesium 55 Cs 132,90545(2) | Baryum 56 Ba 137,327(7) | 57-70 Lantha- noidy | Hafnium 72 Hf 178,49(2) | Tantal 73 Ta 180,9479(1) | Wolfram 74 W 183,84(1) | Rhenium 75 Re 186,207(1) | Osmium 76 Os 190,23(3) | Iridium 77 Ir 192,217(3) | Platina 78 Pt 195,078(2) | Zlato 79 Au 196,96655(2) | Rtuť 80 Hg 200,59(2) | Thallium 81 Tl 204,3833(2) | Olovo 82 Pb 207,2(1) | Bismut 83 Bi 208,98038(2) | Polonium 84 Po (209,9843) | Astat 85 At (209,9871) | Radon 86 Rn (222,0176) | |
| Francium 87 Fr (223,0197) | Rádium 88 Ra (226,0254) | 89-102 Akti- noidy | Rutherfordium 104 Rf (261,110) | Dubnium 105 Db (262,1144) | Seaborgium 106 Sg (263,1186) | Bohrium 107 Bh (264,12) | Hassium 108 Hs (265,1306) | Meitnerium 109 Mt (269) | Ununnilium 110 Uun (272) | Ununnilium 111 Uuu (272) | Ununnilium 112 Uub (277) | | | | | | | |
| Lanthanoidy: | | Lanthan 57 La 138,905(2) | Cer 58 Ce 140,116(1) | Praseodym 59 Pr 140,90765(2) | Neodym 60 Nd 144,24(1) | Promethium 61 Pm (144,9127) | Samarium 62 Sm 150,36(3) | Europium 63 Eu 151,964(1) | Gadolínium 64 Gd 157,25(3) | Terbium 65 Tb 158,92534(2) | Dysprohm 66 Dy 162,50(3) | Ho 67 Ho 164,93032(2) | Erbium 68 Er 167,26(3) | Thulium 69 Tm 168,93421(2) | Ytterbium 70 Yb 173,04(3) | Lutecium 71 Lu 174,967(1) | | |
| Aktinoidy: | | Aktinium 89 Ac (227,0277) | Thorium 90 Th 232,038(1) | Protaktinium 91 Pa 231,0368(2) | Uran 92 U 238,0289(1) | Neptunium 93 Np (237,0482) | Plutonium 94 Pu (244,0642) | Amercium 95 Am (243,0614) | Curium 96 Cm (247,0703) | Berkelium 97 Bk (247,0703) | Kalifornium 98 Cf (251,0796) | Einsteinium 99 Es (252,0830) | Fermium 100 Fm (257,0961) | Mendelevium 101 Md (258,0984) | Nobelium 102 No (259,1011) | Lawrencium 103 Lr (262,110) | | |



- nekovy
- alkalické kovy
- alkalické zemní kovy
- vzácné plyny
- halogeny
- metalloidy
- přechodné kovy
- jiné kovy
- vzácné zemní prvky

Přechodové kovy

- Nejvýznamnější kovy z hlediska technického použití
- Vysoké teploty tání
- Dobré mechanické vlastnosti, malá stlačitelnost

- Železo
- Mangan
- Chrom
- Nikl
- Vanad
- Titan
- Molybden
- Wolfram aj.

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
|------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|---|--|---------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|--|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|
| I A | II A | III B | IV B | V B | VI B | VII B | VIII | VIII | VIII | I B | II B | III A | IV A | V A | VI A | VII A | 0 |
| Vodík 1 H 1,00794(7) | | | | | | | | | | | | | | | | | Helium 2 He 4,002602(2) |
| Lithium 3 Li 6,941(2) | Beryllium 4 Be 9,012182(3) | | | | | | | | | | | | | | | | Neon 10 Ne 20,1797(8) |
| Sodík 11 Na 22,989770(2) | Magnesium 12 Mg 24,3040(8) | | | | | | | | | | | | | | | | Argon 18 Ar 39,948(1) |
| Draslík 19 K 39,0983(1) | Vápník 20 Ca 40,078(4) | Skandium 21 Sc 44,955910(8) | Titan 22 Ti 47,867(1) | Vanad 23 V 50,9415(1) | Chrom 24 Cr 51,9961(6) | Mangan 25 Mn 54,938045(9) | Železo 26 Fe 55,845(2) | Kobalt 27 Co 58,933200(9) | Nikl 28 Ni 58,6934(2) | Měď 29 Cu 63,546(3) | Zinek 30 Zn 65,38(2) | Gallium 31 Ga 69,723(1) | Germanium 32 Ge 72,61(2) | Arsen 33 As 74,92160(2) | Selen 34 Se 78,96(3) | Brom 35 Br 79,904(1) | Krypton 36 Kr 83,80(1) |
| Rubidium 37 Rb 85,4678(3) | Stroncium 38 Sr 87,62(1) | Yttrium 39 Y 88,90585(2) | Zirkonium 40 Zr 91,224(2) | Niob 41 Nb 92,90638(2) | Molybden 42 Mo 95,94(1) | Technecium 43 Tc (98,9063) | Ruthenium 44 Ru 101,07(2) | Rhodium 45 Rh 102,90550(2) | Palladium 46 Pd 106,42(1) | Síř 16 S 32,06(6) | Kadmium 48 Cd 112,411(8) | Indium 49 In 114,818(3) | Cín 50 Sn 118,710(7) | Antimon 51 Sb 121,760(1) | Tellur 52 Te 127,60(3) | Jod 53 I 126,90447(3) | Xenon 54 Xe 131,29(2) |
| Cesium 55 Cs 132,90545(2) | Baryum 56 Ba 137,327(7) | 57-70 Lanthanoidy | Hafnium 72 Hf 178,49(2) | Tantal 73 Ta 180,9479(1) | Wolfram 74 W 183,84(1) | Rhenium 75 Re 186,207(1) | Osmium 76 Os 190,23(3) | Iridium 77 Ir 192,217(3) | Platina 78 Pt 195,078(2) | Zlato 79 Au 196,96655(2) | Hg 80 Hg 200,59(2) | 111 Tl 204,3833(2) | 112 Pb 207,2(1) | 113 Bi 208,98038(2) | 114 Po (209,9824) | 115 At (208,9871) | 116 Rn (222,0176) |
| Francium 87 Fr (223,0187) | Radium 88 Ra (226,0254) | 89-102 Aktinoidy | Rutherfordium 104 Rf (261,103) | Dubnium 105 Db (262,1144) | Seaborgium 106 Sg (263,1068) | Bohrium 107 Bh (264,12) | Hassium 108 Hs (265,1036) | Melitarium 109 Mt (268) | Ununnilium 110 Uun (269) | Ununnilium 111 Uun (272) | Ununnilium 112 Uun (277) | | | | | | |
| Lanthanoidy: | | Lanthan 57 La 138,905(2) | Cer 58 Ce 140,116(1) | Praseodym 59 Pr 140,90765(2) | Neodym 60 Nd 144,24(3) | Promethium 61 Pm (144,9127) | Samarium 62 Sm 150,36(3) | Europium 63 Eu 151,964(1) | Gadolinium 64 Gd 157,25(3) | Terbium 65 Tb 158,92534(2) | Dysprosium 66 Dy 162,50(3) | Holmium 67 Ho 164,93032(2) | Erbium 68 Er 167,26(3) | Thulium 69 Tm 168,93421(2) | Ytterbium 70 Yb 173,04(3) | Lutecium 71 Lu 174,967(1) | |
| Aktinoidy: | | Aktinium 89 Ac (227,0277) | Thorium 90 Th 232,0381(1) | Protaktinium 91 Pa 231,03688(2) | Uran 92 U 238,02891(1) | Neptunium 93 Np (237,0482) | Plutonium 94 Pu (244,0642) | Amerikium 95 Am (243,0614) | Kurium 96 Cm (247,0703) | Berkelium 97 Bk (247,0703) | Kalifornium 98 Cf (251,0796) | Einsteinium 99 Es (252,0830) | Fermium 100 Fm (257,0851) | Mendelevium 101 Md (258,0884) | Novalium 102 No (259,1011) | Lorenzium 103 Lr (262,110) | |

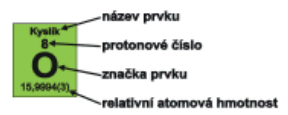
■ Kyslík — název prvku
8 — protonové číslo
O — značka prvku
15,9994(3) — relativní atomová hmotnost

- nekovy
- alkalické kovy
- alkalické zemní kovy
- vzácné plyny
- halogeny
- metalloidy
- přechodné kovy
- jiné kovy
- vzácné zemní prvky

Kovy (III – V) A podskupin

- Kovy s přechodem na nekovy (Al, Ga, Pb, Sn....) – kovalentní vazba
- Přechod mezi kovy a nekovy je plynulý a je charakterizován skupinou polokovů:
- Bor
- Křemík
- Germanium aj.

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | | |
|---|--|---|--|---|--|---|--|--|--|--|--|---|---|---|--|---|---|--|--|
| I A | II A | III B | IV B | V B | VI B | VII B | VIII | VIII | VIII | IB | II B | III A | IV A | V A | VI A | VII A | 0 | | |
| Vodík 1 H 1,00794(7) | | | | | | | | | | | | | | | | | Helium 2 He 4,002602(2) | | |
| Lithium 3 Li 6,941(2) | Beryllium 4 Be 9,012182(3) | | | | | | | | | | | Bor 5 B 10,811(7) | Uhlík 6 C 12,0107(8) | Dusík 7 N 14,00644(7) | Kyslík 8 O 15,9994(3) | Fluor 9 F 18,9984032(9) | Neon 10 Ne 20,1797(6) | | |
| Sodík 11 Na 22,989770(2) | Magnesium 12 Mg 24,3050(8) | | | | | | | | | | | Alumínium 13 Al 26,9815386(8) | Křemík 14 Si 28,0855(3) | Fosfor 15 P 30,973762(3) | Síra 16 S 32,065(6) | Chlór 17 Cl 35,4527(8) | Argon 18 Ar 39,948(1) | | |
| Draslík 19 K 39,0983(1) | Vápník 20 Ca 40,078(4) | Skandium 21 Sc 44,955910(8) | Titan 22 Ti 47,887(1) | Vanad 23 V 50,9415(1) | Chrom 24 Cr 51,9961(6) | Mangan 25 Mn 54,938045(9) | Železo 26 Fe 55,845(2) | Kobalt 27 Co 58,933200(5) | Nikl 28 Ni 58,6934(2) | Měď 29 Cu 63,546(3) | Zinek 30 Zn 65,39(2) | Gallium 31 Ga 69,723(1) | Germanium 32 Ge 72,630(8) | Arsen 33 As 74,92160(2) | Selen 34 Se 78,96(8) | Brom 35 Br 79,904(1) | Krypton 36 Kr 83,80(1) | | |
| Rubidium 37 Rb 85,4678(3) | Stroncium 38 Sr 87,62(1) | Yttrium 39 Y 88,90585(2) | Zirkonium 40 Zr 91,224(2) | Niob 41 Nb 92,90638(2) | Molybden 42 Mo 95,94(1) | Technetium 43 Tc (98,9063) | Ruthenium 44 Ru 101,07(2) | Rhodium 45 Rh 102,90550(2) | Palladium 46 Pd 106,42(1) | Stříbro 47 Ag 107,8682(2) | Kadmium 48 Cd 112,411(8) | Indium 49 In 114,818(3) | Cín 50 Sn 118,710(7) | Antimon 51 Sb 121,757(1) | Tellur 52 Te 127,60(3) | Jod 53 I 126,90447(3) | Xenon 54 Xe 131,29(2) | | |
| Cesium 55 Cs 132,90545(2) | Baryum 56 Ba 137,327(7) | 57-70 Lanthanoidy | Hafnium 72 Hf 178,49(2) | Tantal 73 Ta 180,9479(1) | Wolfram 74 W 183,84(1) | Rhenium 75 Re 186,207(1) | Osmium 76 Os 190,23(3) | Iridium 77 Ir 192,217(3) | Platina 78 Pt 195,078(2) | Zlato 79 Au 196,96656(2) | Hg 80 Hg 200,59(2) | Thalium 81 Tl 204,387(1) | Olovo 82 Pb 207,2(1) | Bismut 83 Bi 208,9804(1) | Polonium 84 Po (209) | Astat 85 At (209) | Radon 86 Rn (222,0176) | | |
| Francium 87 Fr (223,0187) | Rádium 88 Ra (226,0254) | 89-102 Aktinoidy | Rutherfordium 104 Rf (261,110) | Dubnium 105 Db (262,1144) | Seaborgium 106 Sg (263,1186) | Bohrium 107 Bh (264,12) | Hassium 108 Hs (265,1308) | Mitlerium 109 Mt (268) | Ununium 110 Uun (269) | Ununium 111 Uuu (272) | Ununium 112 Uub (277) | | | | | | | | |
| Lanthanoidy: | | Lanthan 57 La 138,905(2) | Cer 58 Ce 140,116(1) | Praseodym 59 Pr 140,90765(2) | Neodym 60 Nd 144,24(3) | Promethium 61 Pm (144,9127) | Samarium 62 Sm 150,36(3) | Europium 63 Eu 151,964(1) | Gadolinium 64 Gd 157,25(3) | Terbium 65 Tb 158,92534(2) | Dysprosium 66 Dy 162,50(3) | Holmium 67 Ho 164,93032(2) | Erbium 68 Er 167,26(3) | Thulium 69 Tm 168,93421(2) | Ytterbium 70 Yb 173,04(3) | Lutetium 71 Lu 174,967(1) | | | |
| Aktinoidy: | | Aktinium 89 Ac (227,0277) | Thorium 90 Th 232,0381(1) | Protaktinium 91 Pa 231,03688(2) | Uran 92 U 238,02891(1) | Neptunium 93 Np (237,0482) | Plutonium 94 Pu (244,0642) | Americium 95 Am (243,0614) | Curium 96 Cm (247,0703) | Berkelium 97 Bk (247,0703) | Kalifornium 98 Cf (251,0796) | Einsteinium 99 Es (252,0830) | Fermium 100 Fm (257,0861) | Mendelevium 101 Md (268,0864) | Nobelium 102 No (269,1011) | Lavrencium 103 Lr (262,110) | | | |



- nekovy
- alkalické kovy
- alkalické zemní kovy
- vzácné plyny
- halogeny
- metalloidy
- přechodné kovy
- jiné kovy
- vzácné zemní prvky



Nekovové materiály

- Polymery
- Anorganická skla
- Žárovzdorné a žárovečné keramické materiály
- Krystalové modifikace uhlíku (grafit, diamant)
- U nekovových materiálů nebudeme mluvit o jejich vnitřní stavbě, ale o chemické (molekulární) struktuře

Nekovy: C, N, O, P, S, Se, H

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|------------------------|----------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| I A | II A | III B | IV B | V B | VI B | VII B | VIII | VIII | VIII | IB | II B | III A | IV A | V A | VI A | VII A | 0 | | | | | | | | | | |
| Vodík 1 H 1,00784(7) | Helium 2 He 4,002602(2) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Li 3 6,941(2) | Beryllium 4 Be 9,012182(3) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Na 11 22,989770(2) | Mg 12 24,3050(6) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| K 19 39,0983(1) | Ca 20 40,078(4) | Sc 21 44,955910(9) | Ti 22 47,867(1) | V 23 50,9415(1) | Cr 24 51,9961(8) | Mn 25 54,938045(9) | Fe 26 55,845(2) | Co 27 58,933200(9) | Ni 28 58,9332(2) | Cu 29 63,546(3) | Zn 30 65,39(2) | Ga 31 69,723(1) | Ge 32 72,61(2) | As 33 74,92160(2) | Se 34 78,96(8) | Br 35 79,904(1) | Kr 36 83,80(1) | | | | | | | | | | |
| Rb 37 85,4678(3) | Sr 38 87,62(1) | Y 39 88,90585(2) | Zr 40 91,224(2) | Nb 41 92,90638(2) | Mo 42 95,94(1) | Tc 43 98,9063 | Ru 44 101,07(2) | Rh 45 102,90550(2) | Pd 46 106,42(1) | Ag 47 107,8682(2) | Cd 48 112,411(8) | In 49 114,818(3) | Sn 50 118,710(7) | Sb 51 121,760(1) | Te 52 127,60(3) | I 53 126,90447(3) | Xe 54 131,29(2) | | | | | | | | | | |
| Cs 55 132,90545(2) | Ba 56 137,327(7) | Lanthaoidy | | Hf 72 178,49(2) | Ta 73 180,9479(1) | W 74 183,84(1) | Re 75 186,207(1) | Os 76 193,22(3) | Ir 77 192,217(3) | Pt 78 195,078(2) | Au 79 196,96656(2) | Hg 80 200,59(2) | Tl 81 204,3833(2) | Pb 82 207,2(1) | Bi 83 208,98038(2) | Po 84 209,987(1) | At 85 209,987(1) | Rn 86 222,0176 | | | | | | | | | |
| Fr 87 223,0187 | Ra 88 226,0254 | Aktinoidy | | Rf 104 261,103(7) | Db 105 262,114(4) | Sg 106 263,108(8) | Bh 107 264,102(2) | Hs 108 265,103(8) | Mt 109 268 | Uun 110 (269) | Uuu 111 (272) | Uub 112 (277) | | | | | | | | | | | | | | | |
| Lanthaoidy: | | La 57 138,905(2) | Ce 58 140,116(1) | Pr 59 140,90765(2) | Nd 60 144,242(3) | Pm 61 144,9127 | Sm 62 150,36(3) | Eu 63 151,964(1) | Gd 64 157,25(3) | Tb 65 158,90534(2) | Dy 66 162,50(3) | Ho 67 164,93032(2) | Er 68 167,26(3) | Tm 69 168,93421(2) | Yb 70 173,04(3) | Lu 71 174,967(1) | | | | | | | | | | | |
| Aktinoidy: | | Ac 89 227,02877 | Th 90 232,0381(1) | Pa 91 231,03688(2) | U 92 238,02891(1) | Np 93 237,0482 | Pu 94 244,0642 | Am 95 243,0614 | Cm 96 247,0753 | Bk 97 247,0753 | Cf 98 251,0796 | Es 99 252,0830 | Fm 100 257,085(1) | Md 101 258,1064 | No 102 259,101(1) | Lr 103 260,101(2) | | | | | | | | | | | |

nekovy
 alkalické kovy
 alkalické zemní kovy
 vzácné plyny
 halogeny
 metalloidy
 přechodné kovy
 jiné kovy
 vzácné zemní prvky

Kyslík
 O
 15,9994(3)

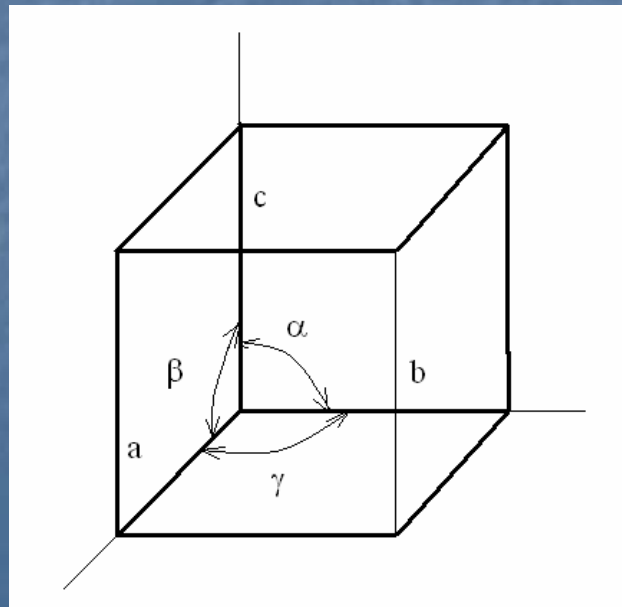
— název prvku
 — protonové číslo
 — značka prvku
 — relativní atomová hmotnost

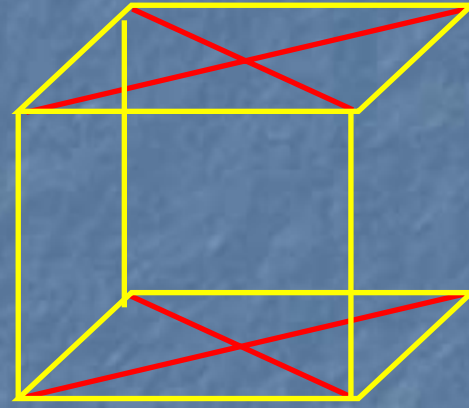
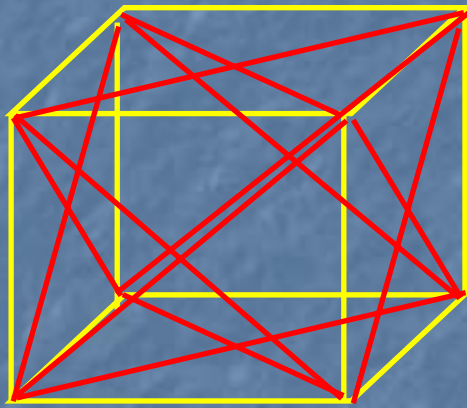
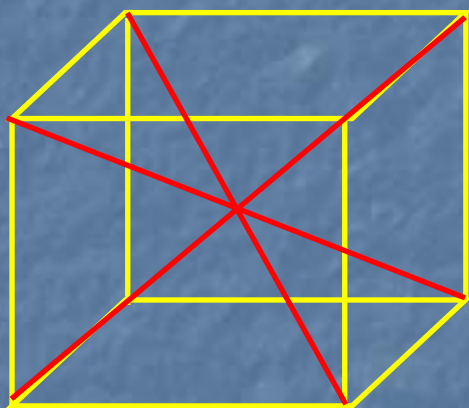
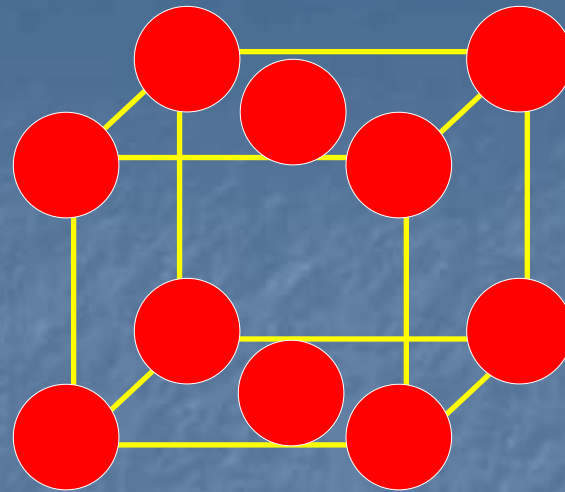
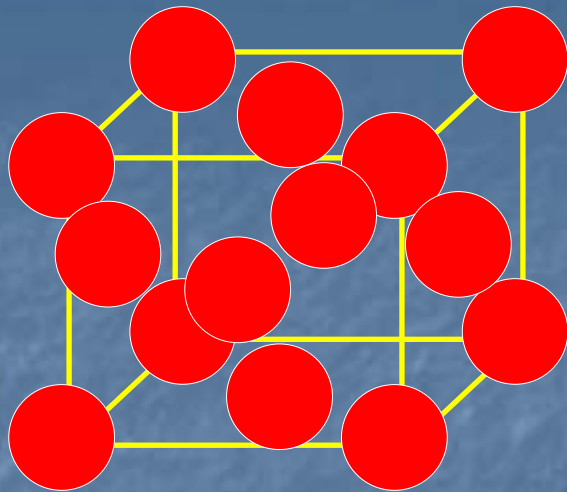
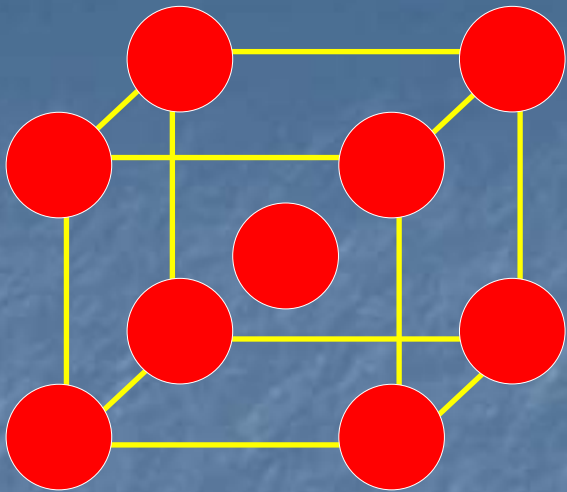
Základní vazby mezi atomy

- **Iontová** - nejjednodušší vazba, která spočívá v elektrické přitažlivosti mezi elektropozitivními a elektronegativními ionty (u prvků ležících blízko v periodické tabulce vzácným plynům)
- **Kovalentní** - název je odvozen od názvu „kolektivní valence“, je na rozdíl od iontové vazby charakterizována společnými dvojicemi valenčních elektronů elektricky neutrálních atomů. Tyto elektrony jsou potom polovinu doby v oblasti vlivu jednoho atomového jádra a polovinu doby v oblasti vlivu druhého atomového jádra. Tato vazba je velmi silná, takže ani táním nebo rozpouštěním se molekuly nemění. Příkladem této párové vazby elektronů je např. H_2O , CO_2 , Cl_2 .
- **Kovová** - podobá se vazbě kovalentní. Jakmile se atomy kovů k sobě přiblíží a vytvoří krystalickou strukturu, valenční elektrony se jako plyn volně pohybují mezi ionty, kterými jsou kationty, čímž vyvolají vazebné síly. Projevuje se především u prvků, které mají nízký počet elektronů ve vnější sféře, což jsou právě především kovy.
- Vazba **van der Waalova** je běžná u prvků nebo chemických sloučenin s velmi stabilní valenční skupinou, což jsou např. inertní plyny

Krystalové mřížky

- Podle počtu prvků souměrnosti mřížky se krystaly rozdělují do **7 krystalografických soustav**
- V každé této soustavě mohou existovat až **4 typy** základních mřížek: mřížka prostá, bazálně středěná, prostorově středěná a plošně středěná
- Většina technicky důležitých kovů krystalizuje v soustavě **krychlové plošně středěné (fcc)**, **krychlově tělesně středěné (bcc)** a **šesterečné (hex)**.
- Celkem existuje 14 prostorových (Bravaisových) typů mřížek v 7 krystalografických soustavách





Prostorově středěná

Plošně středěná

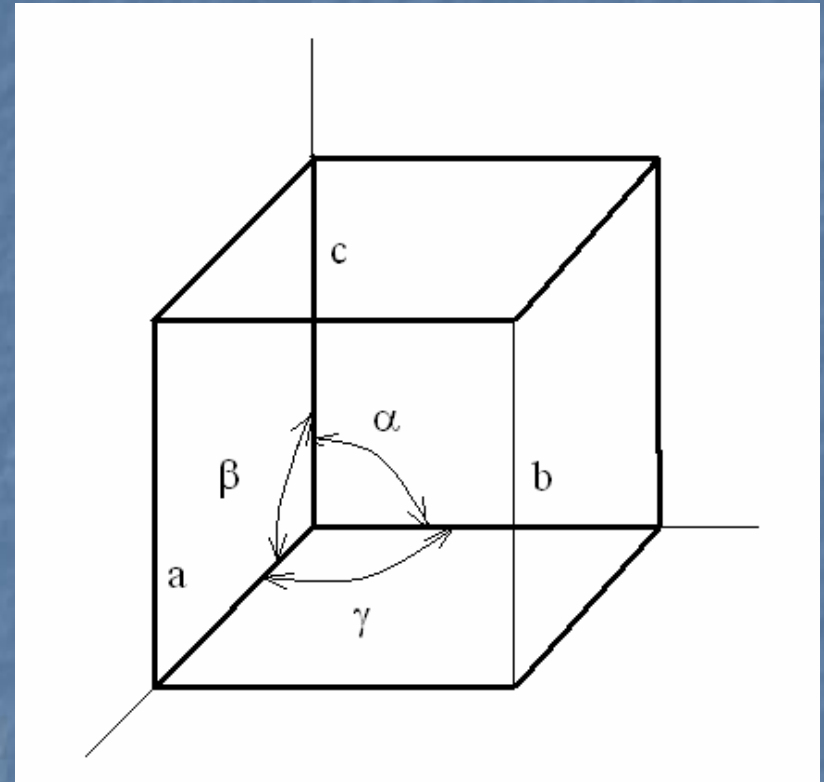
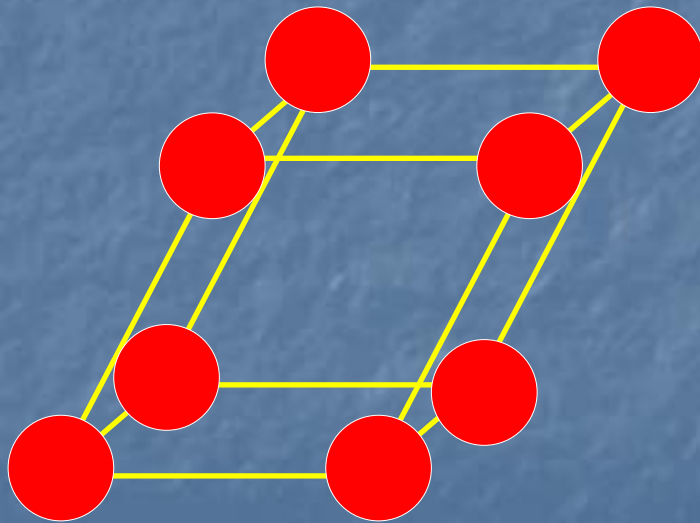
Bazálně středěná

Typy krystalových mřížek

- Trojklonná (triklinická) – existuje jen prostá mřížka
- Jednoklonná (monoklinická) – existuje mřížka prostá a bazálně centrovaná
- Kosočtverečná (ortorombická) – existují všechny 4 typy mřížek
- Čtverečná (tetragonální) – existuje prostá a prostorově centrovaná
- Trigonální (romboedrická) – existuje pouze mřížka prostá
- Šesterečná (hexagonální) – existuje jen mřížka bazálně centrovaná
- Krychlová (kubická) – existuje mřížka prostá, prostorově centrovaná a plošně centrovaná

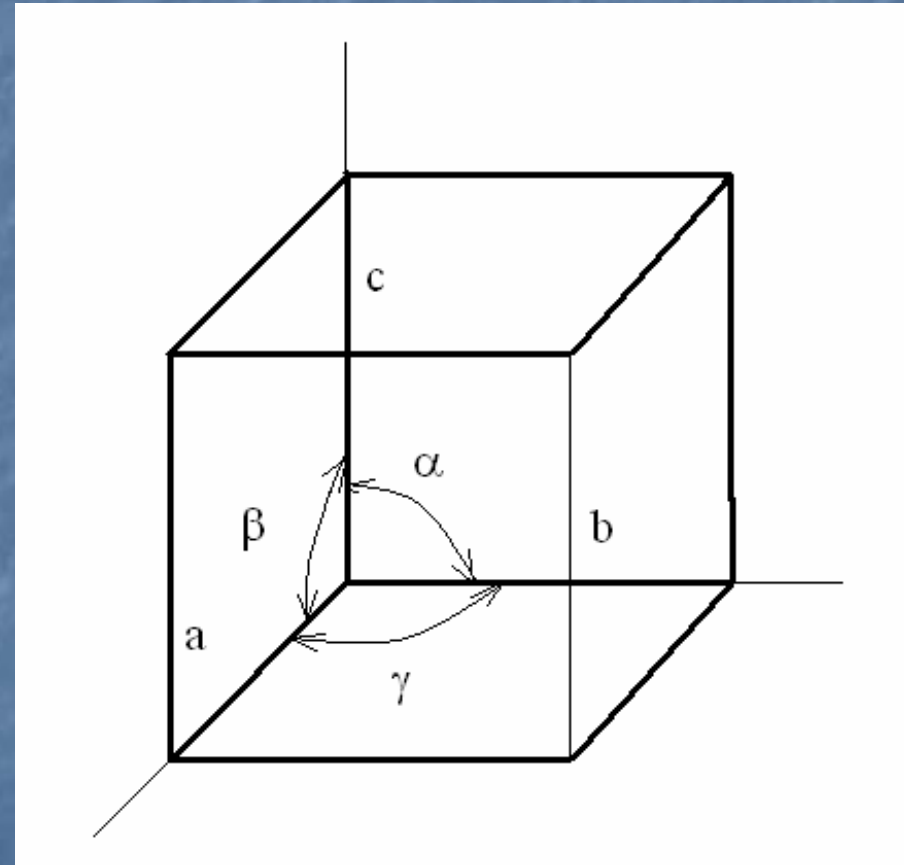
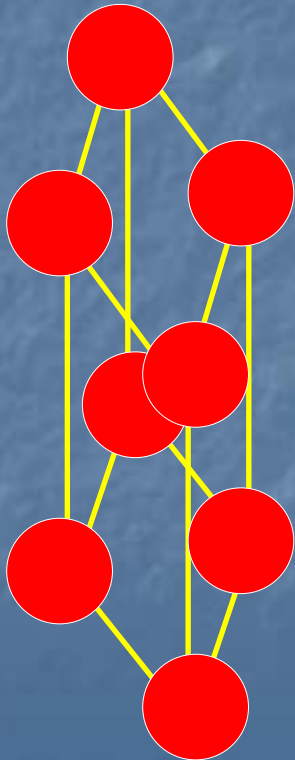
Trojklonná (triklinická) mřížka

- $a \neq b \neq c$
- $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$



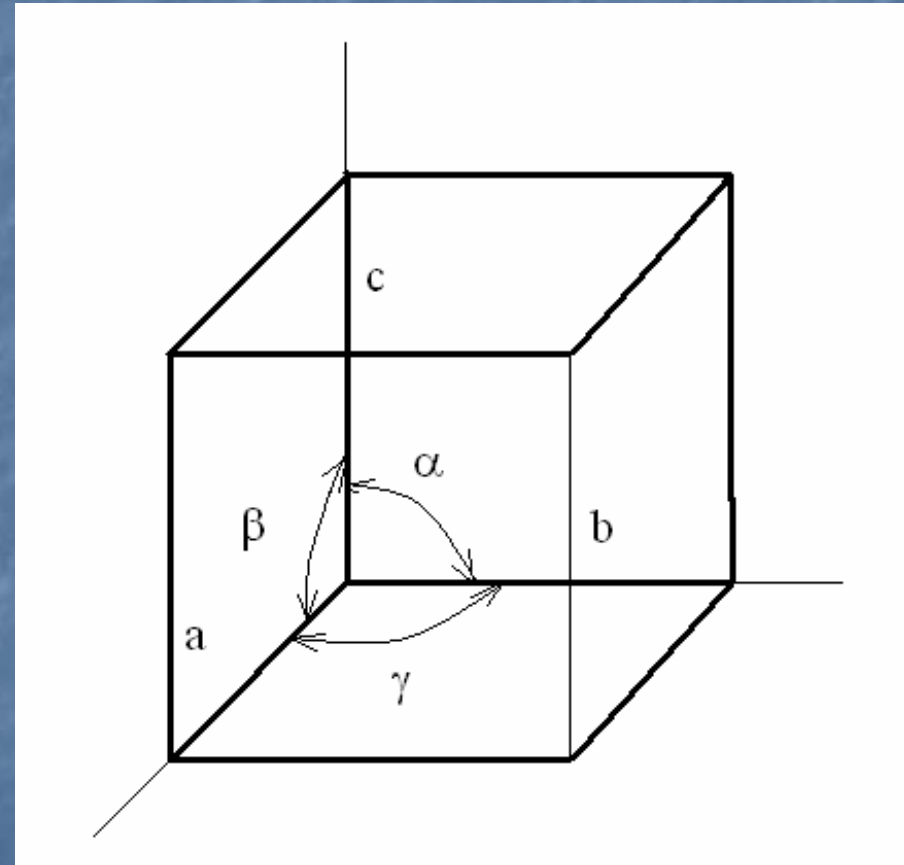
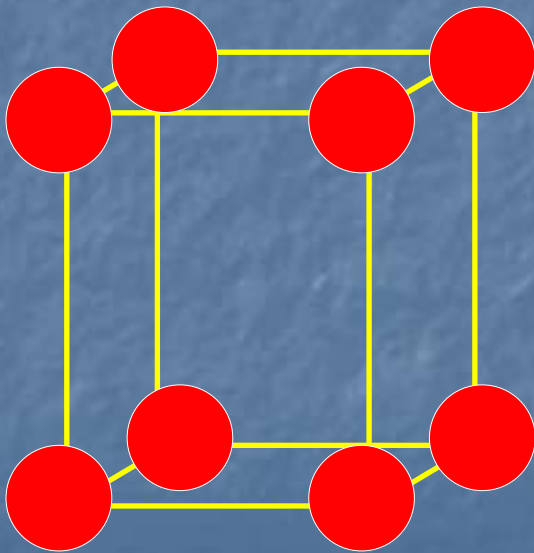
Jednoklonná (monoklinická) mřížka

- $a \neq b \neq c$
- $\alpha = \beta = 90^\circ \neq \gamma$



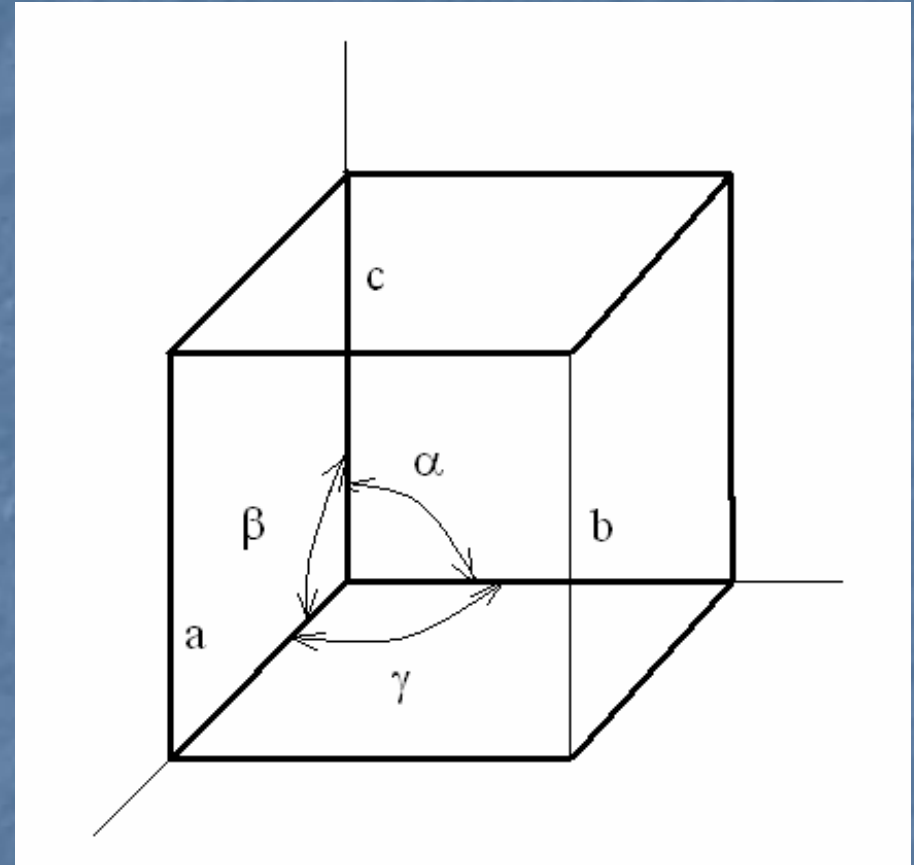
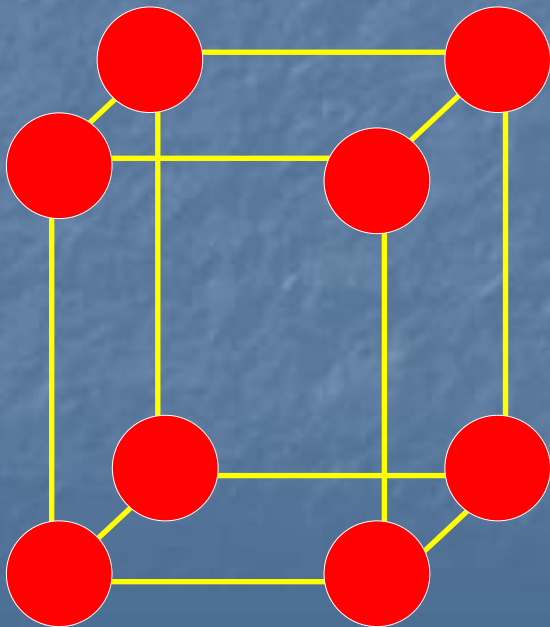
Kosočtverečná (ortorombická) mřížka

- $a \neq b \neq c$
- $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
- Ga, B



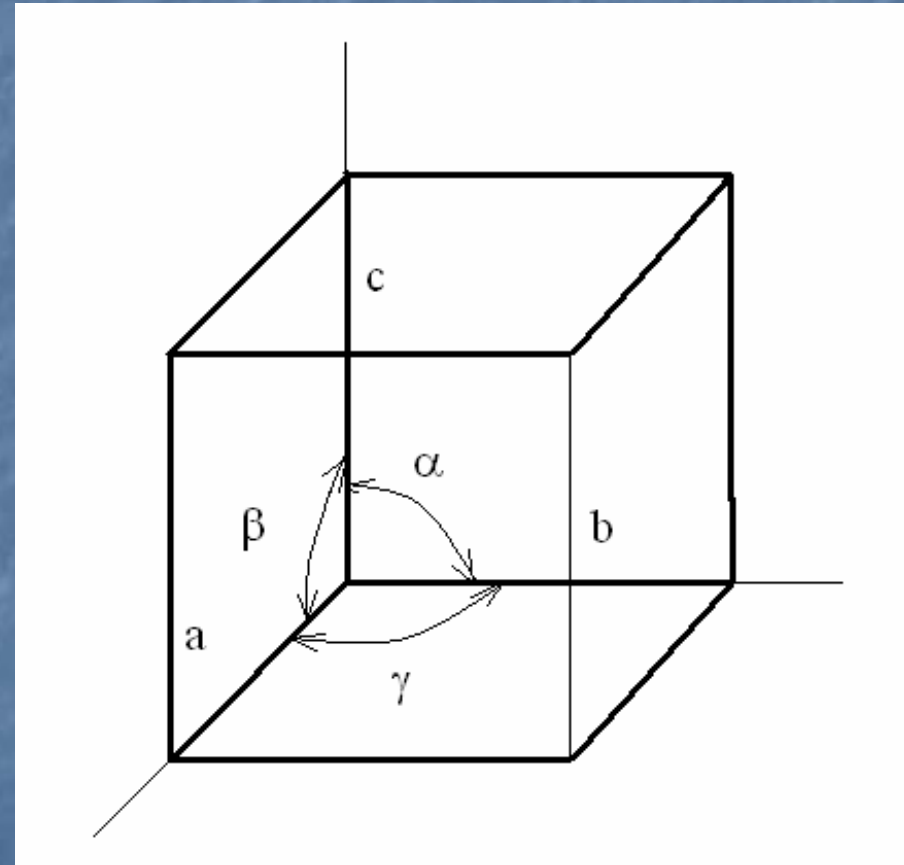
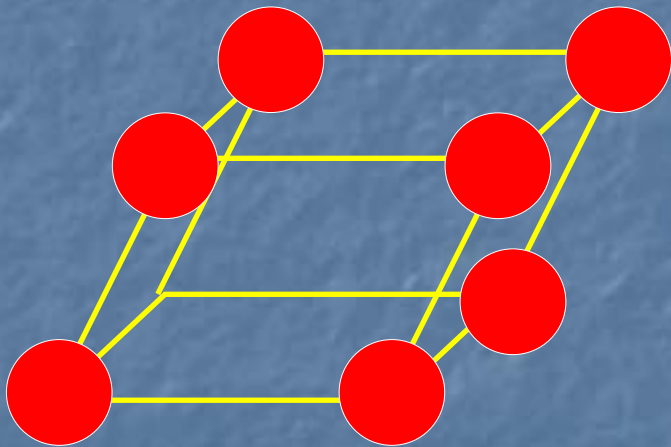
Čtverečná (tetragonální) mřížka

- $a=b \neq c$
- $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$
- I_n, S_n



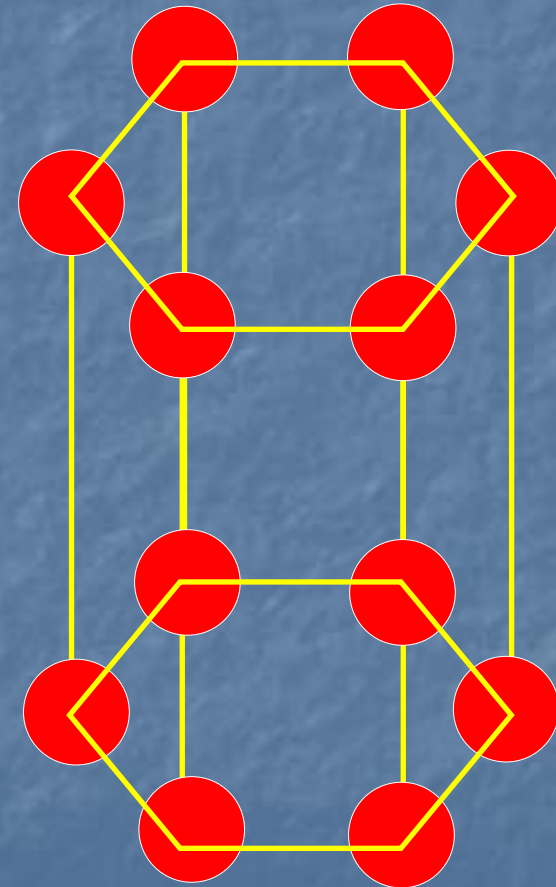
Trigonální (romboedrická) mřížka

- $a=b=c$
- $120^\circ > \alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$
- As, Sb, Bi



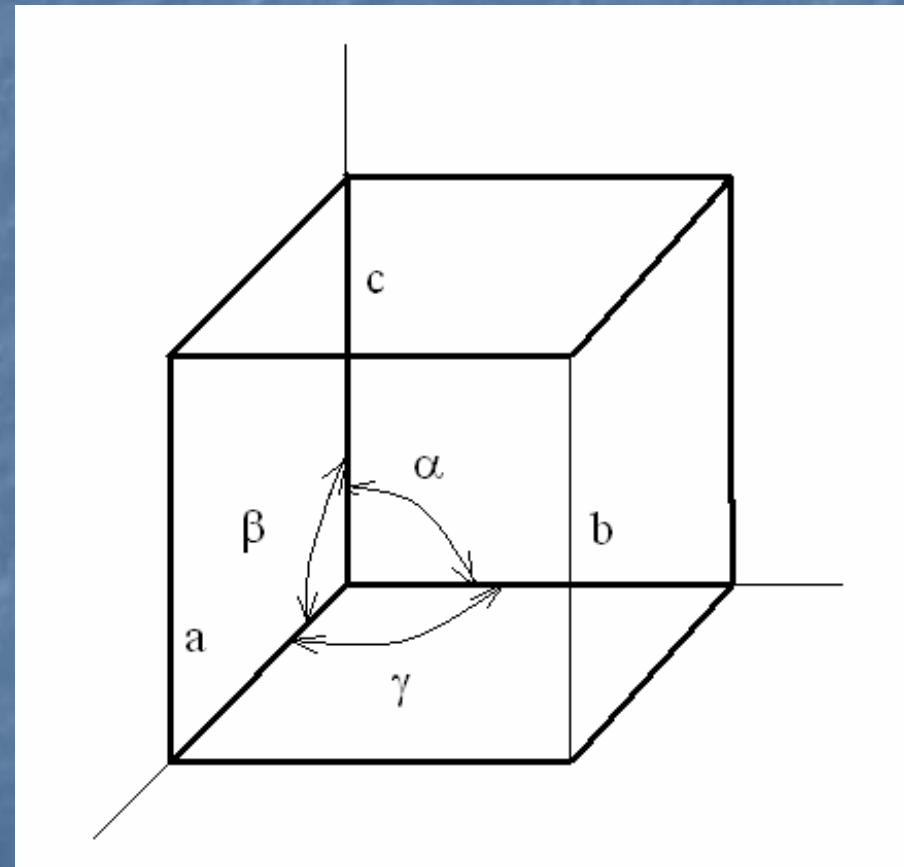
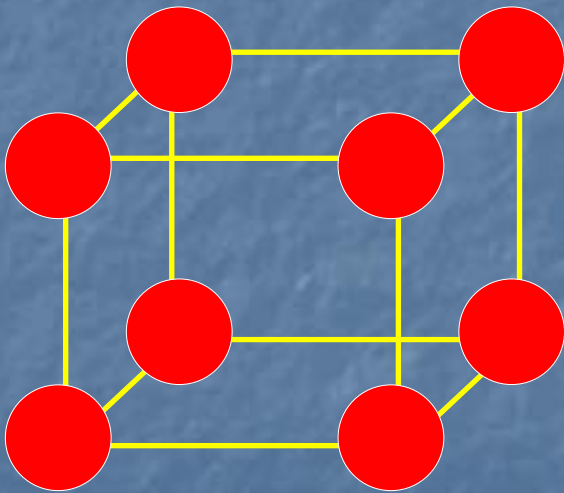
Šesterečná (hexagonální) mřížka

- $a=b \neq c$
- $\alpha=\beta=90^\circ$
- $\gamma=120^\circ$
- Se, Te,
- Be, Mg, Ti, Co, Zn, C, Zr, Cd...



Krychlová (kubická) mřížka

- $a=b=c$
- $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$
- Mn, Ge - prostá
- Ca, Ni, Cu, Ag, Pg, Au, Pt - FCC
- Fe, W, Mo, Cr, Nb, V, K, Na, Li - BCC



Značení rovin a směrů – Millerovy indexy

- Poloha roviny je určena třemi číselnými indexy h, k, l zapsanými v kulaté závorce (hkl)

$$h:k:l = \frac{1}{p} : \frac{1}{q} : \frac{1}{r}$$

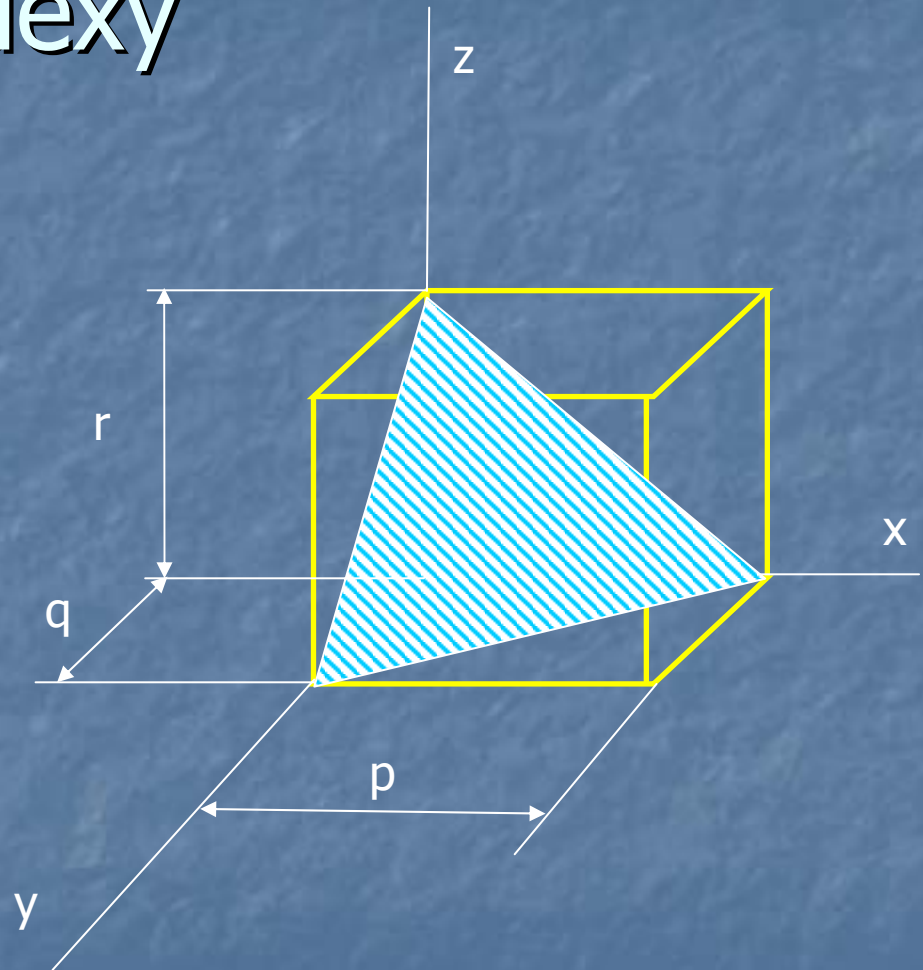
Např. je-li $p=q=r=1$ potom je rovina (111) ,

Při $p=1, q=2, r=0,5$ potom je rovina

$$\left(1\frac{1}{2}\right)$$

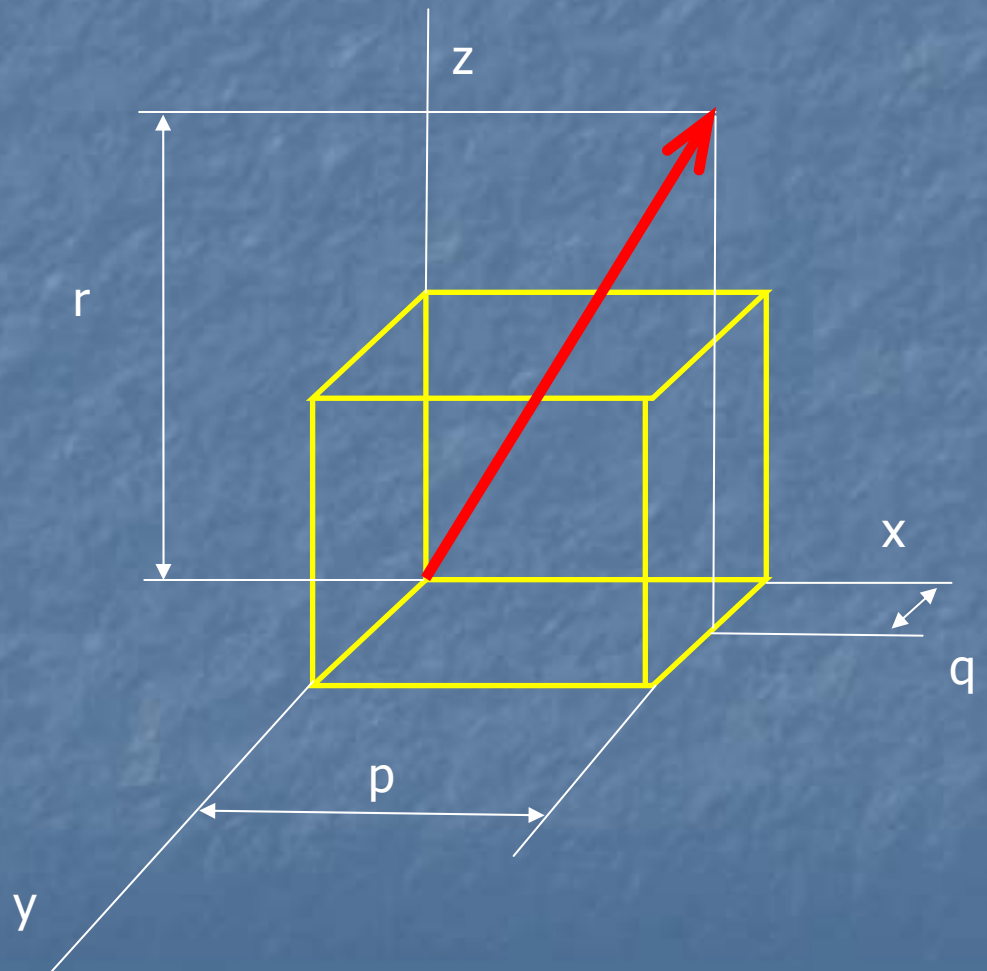
Vytíná-li sledovaná rovina úsek na záporné části osy, je i příslušný index

záporný, což se vyznačuje nad indexem, např.: $(\bar{h}kl)$



Značení směrů

- Ke značení směrů se používají indexy u, v, w zapsané v hranaté závorce $[uvw]$
- Např. tento červený paprsek lze zapsat při $p=1, q=1/3, r=2$ takto $[132]$



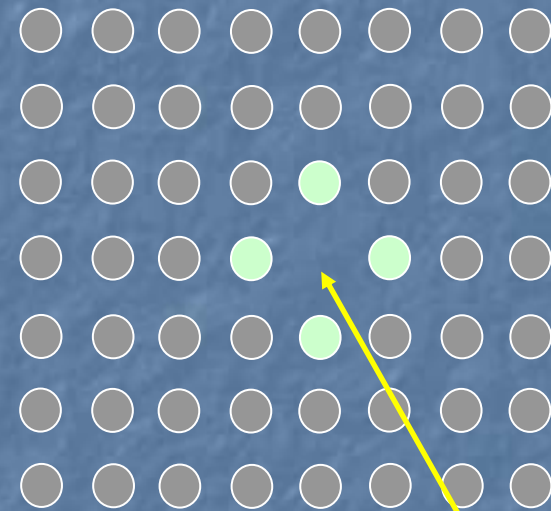
Mřížkové poruchy

Mřížka skutečných krystalů není nikdy dokonalá

- Z geometrického hlediska lze vady v krystalech rozdělit na:
 - **Bodové vady** (bezrozměrné),
 - **Čárové vady** (jednorozměrné),
 - **Plošné vady** (dvojrzměrné),
 - **Prostorové vady** (trojrozměrné).
- Z termodynamického hlediska jsou **stabilní a nestabilní**

Bodové poruchy - vakance

- **Vakance** mohou vznikat na povrchu kovu jako tzv. Schottkyho poruchy přechodem atomu základní mřížky do uzlové polohy na povrchu nebo jako tzv. Frankelovy poruchy přechodem mřížkového atomu do intersticiální polohy. Vzniká tak párová porucha intersticiál – vakance. Vakance se rovněž v krystalu tvoří při primární krystalizaci. Jiné zdroje vakancí mohou být např. hranice zrn.



Se vznikem vakance nastává **kompres**e okolní mřížky

● Základní atom mřížky

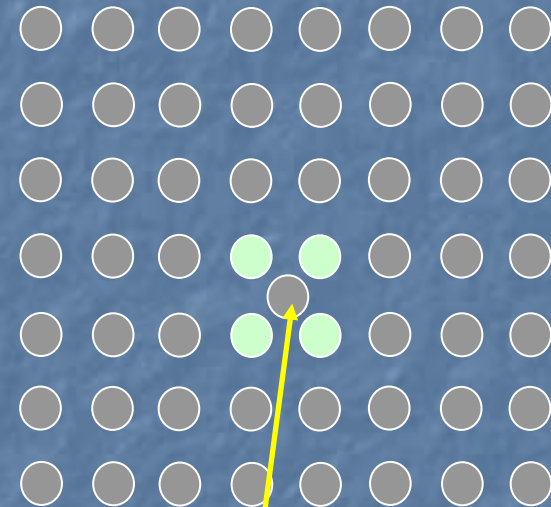
● Základní atom mřížky ovlivněný napět'ovým polem vakance

vakance

Bodové poruchy – vlastní intersticiál

- **Intersticiály** vznikají snadno v krystalech s velkou meziatomovou vzdáleností. Všechny intersticiální polohy nemohou být obsazeny z důvodu elastické deformace okolí poruchy.

S přechodem atomu do intersticiální polohy je spojena **dilatace mřížky**

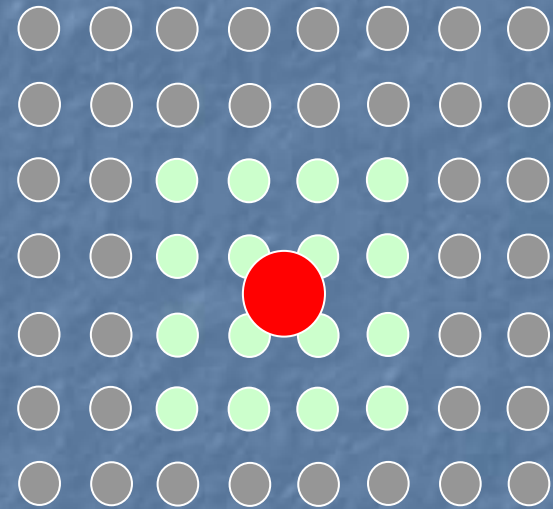


Vlastní intersticiál

● Základní atom mřížky

● Základní atom mřížky ovlivněný napětovým polem vakance

Bodové poruchy – cizí intersticiál

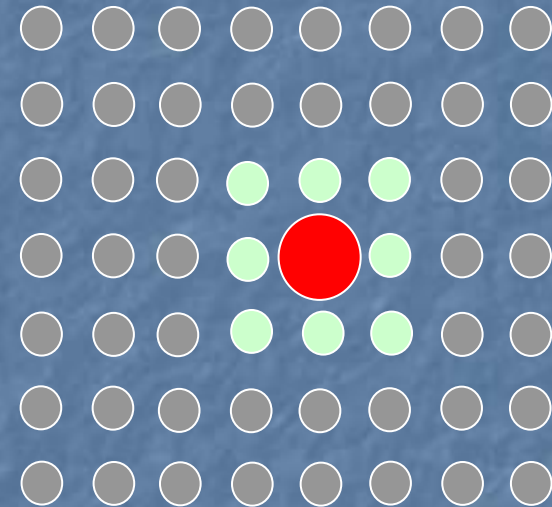


● Základní atom mřížky

● Základní atom mřížky ovlivněný napět'ovým polem vakance

● Intersticiální atom přísady

Bodové poruchy – substituční atom příměsi



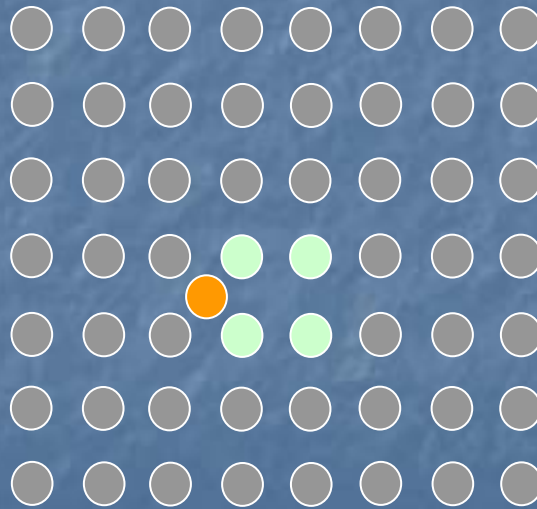
● Základní atom mřížky

● Základní atom mřížky ovlivněný napětovým polem vakance

● Substituční atom přísady

Migrace bodových poruch

- **Bodové poruchy se mohou pohybovat krystalem.** Mechanizmem jejich pohybu jsou diskrétní přeskoky z jednoho uzlového bodu do sousedního (vakance) nebo mezi intersticiálními polohami (intersticiální atomy a příměsi). Přeskok vakance je dán relativně přeskokem sousedního atomu na její místo. Atom přitom musí překonat energetickou bariéru.



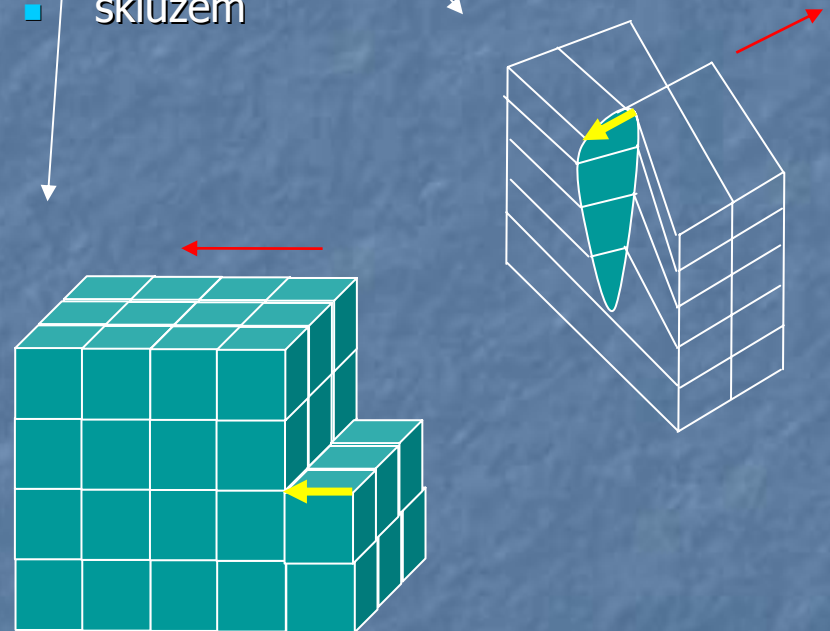
Čárové poruchy - dislokace

- Čárové poruchy krystalické mřížky vznikají přesunutím (dislokováním) určitého množství atomů při skluzovém pohybu vzhledem k vrstvě sousední. Poruchy se nazývají **dislokace**
- Přítomnost dislokace v krystalu vyvolává pružnou deformaci mřížky, které odpovídá napětové pole okolo dislokace
- **Významnou vlastností dislokací je schopnost pohybovat se krystalovou mřížkou.** Hranové i šroubové dislokace se mohou pohybovat především skluzem ve skluzové rovině, překročí-li skluzové napětí v rovině a směru skluzu určitou mezní hodnotu

- Hranové
- Šroubové

Dislokace se mohou pohybovat krystalem:

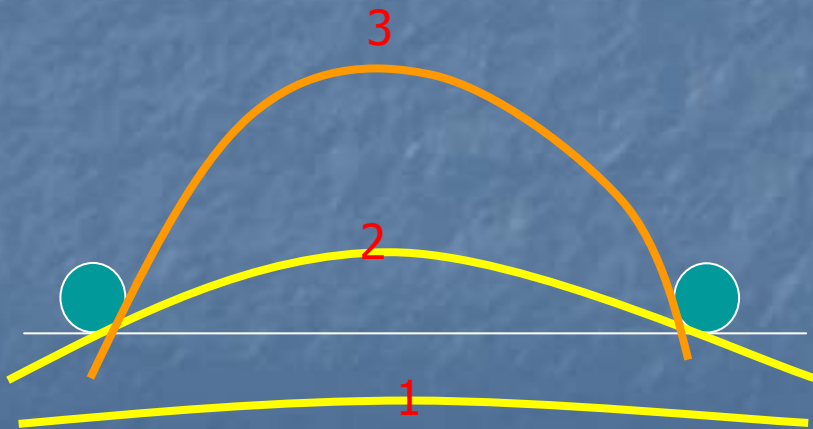
- Šplháním
- skluzem



Burgersův vektor (b)

Interakce dislokací s překážkami

- K pohybu dislokace jinak dokonalou mřížkou stačí i velmi malé hodnoty smykového napětí. V reálných krystalech se však dislokace setkává s překážkami, jejichž překonání vyžaduje zvýšení skluzového napětí. Překážkami jsou například jiné dislokace, atomy příměsí a částice jiných fází
- Na překážkách typu atomů příměsí nebo jiných částicích (precipitátech) se dislokace uchytí
- K dalšímu pohybu je nutné dodat zvýšené napětí k překonání této bariéry
- **Interakce dislokací s atomy příměsí a precipitáty je základním principem zpevňování kovů**



1 – poloha dislokace před překážkou, napětí pro pohyb dislokace je relativně malé
2,3 - poloha dislokace při interakci s překážkou, průhyb dislokace odpovídá zvýšenému napětí.

Plošné vady mřížky

- Vrstevné chyby
- Hranice zrn

Velkoúhlová hranice (více než 15°), malouhlová hranice ($1-2^\circ$)

- Volné povrchy krystalů
- Vysoceporuchová oblast s energií vyšší než má mřížka uvnitř zrna
- Hranice zrna se vyznačují specifickými fyzikálními a chemickými vlastnostmi, které ovlivňují pochody v polykrystalických materiálech – segregace příměsí, přednostní precipitace sekundárních fází aj.

Difúze, fáze a fázové přeměny

- Difúze je jedním ze způsobů přenosu hmoty, při kterém se její částice (atomy, ionty, molekuly), i vakance pohybují vzhledem k sousedním částicím.
- Protože podstatou difúze je tepelný pohyb částic hmoty, je **intenzita difúze výrazně závislá na teplotě**.
- K difúzi dochází v každém skupenství, v tuhé fázi je však jediným způsobem přenosu hmoty.
- **Difúzí se zpravidla zmenšují koncentrační rozdíly**, v opačném případě jde o obrácenou difúzi.
- **Technický význam difúze spočívá jak v prospěšných tak i ve škodlivých změnách koncentrace a ve fázových či strukturních přeměnách buď jen v povrchových vrstvách výrobků nebo v celém jejich objemu.**

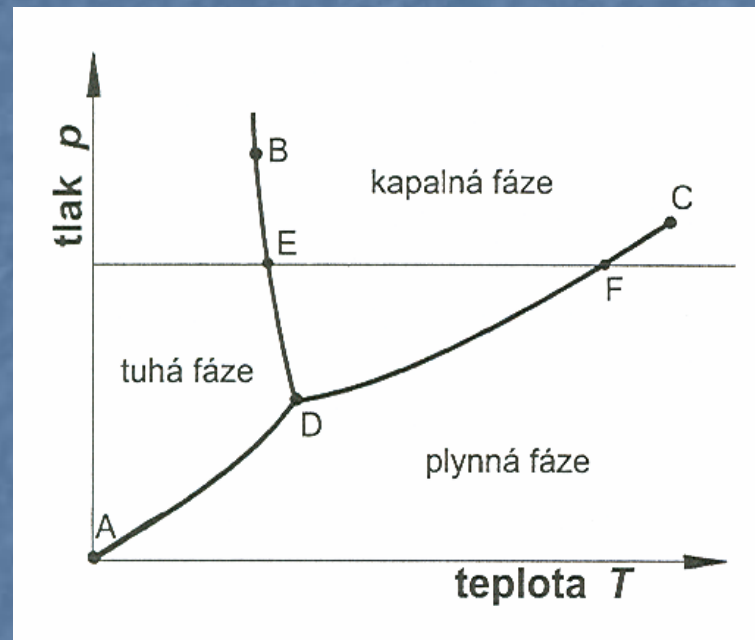
Difúze

- Příkladem prospěšných koncentračních změn je povrchové zvýšení obsahu vybraných prvků při chemicko-tepelném zpracování konstrukčních ocelí.
- Oduhličení nástrojových ocelí při jejich zpracování za vysokých teplot je škodlivé.
- Prospěšné fázové přeměny, ke kterým dochází difúzí v celém objemu výrobku, jsou přeměny při některých druzích žíhání slitin.
- Naproti tomu k škodlivým strukturním změnám patří difúze vakancí, které se při tečení (creepu) spojují na hranicích zrn v polykrystalickém materiálu v kavity, čímž začíná mezikrystalový lom. (viz. Deformační a lomové chování materiálu)

Fázové pravidlo

- Maximální počet fází, které jsou navzájem v rovnováze není libovolný a je dán zákonem, který vyslovil J. W. Gibbs. Udává vztah mezi počtem složek, fází a stupňů volnosti. Jeho obecná formulace je
- $v = k + 2 - f$
- kde v je počet stupňů volnosti (počet nezávislých změn, které jsou v soustavě povoleny, aniž se změní počet existujících fází, proměnné jsou při těchto změnách: teplota, tlak a složení fází)
- k – počet složek (nejmenší počet nezávislých chemických prvků, z nichž je možno celou soustavu složit)
- f – počet fází

- u tuhých a kapalných kovových soustav neuvažujeme obvykle vliv tlaku jako proměnné veličiny. Pak má fázové pravidlo tvar:
 - $v = k + 1 - f$
 - Pro čistý kov lze z rovnice odvodit $v = 2 - f$, což znamená, že při jedné fázi lze měnit jednu proměnnou veličinu, například teplotu aniž se počet fází změní.
- Jsou-li při $k = 1$ přítomny dvě fáze, jako je to při krystalizaci čistého kovu, nemá soustava žádný stupeň volnosti. Krystalizace probíhá při konstantní teplotě – teplotě tuhnutí.
- Pro dvě složky má fázové pravidlo tvar $v = 3 - f$. Při jedné fázi (např. binární slitina v kapalném stavu) lze nezávisle měnit současně dvě proměnné veličiny – teplotu a složení, aniž dojde ke změně počtu fází.
- Gibbsonovo pravidlo informuje pouze o počtu fází v soustavě, neříká však nic o jejich množství, složení a rozdělení.



Obecný fázový diagram p-T jednosložkové soustavy

Fáze a fázové přeměny

- Technické mnohosložkové materiály (slitiny) se obvykle dělí na jednofázové (homogenní) a mnohofázové (heterogenní).
- Při tomto dělení se vychází z počtu základních fází, které při dané teplotě okolí tvoří mikrostrukturu materiálu.
- Příkladem jednofázových slitin jsou austenitické oceli, na rozdíl třeba od dvoufázových mosazí ($\alpha+\beta$).
- Pokud bychom opět exaktně uvažovali i minoritní fáze (vměstky, precipitáty), shledali bychom všechny technické materiály heterogenními.

- Tuhé fáze v mnohosložkových soustavách se dělí na tuhé roztoky a intermetalické fáze.
- Oba druhy tuhých fází mohou být v závislosti na podmínkách tuhnutí buď **krystalické nebo amorfní**.

Tuhé roztoky

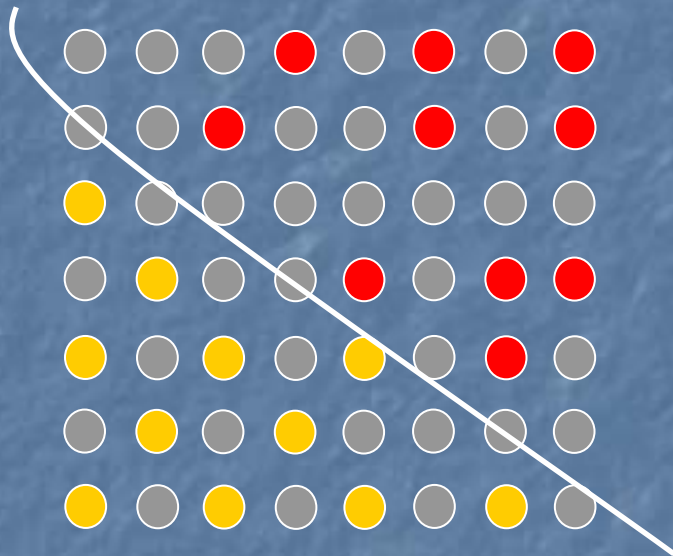
- Tuhé roztoky dělíme na :
- **Primární a sekundární**
- Primární tuhé roztoky vznikají fázovou přeměnou z kapalně fáze (taveniny), kdežto sekundární roztoky vznikají fázovou přeměnou, které se účastní alespoň jedna jiná tuhá fáze.
- **Substituční a intersticiální**
- **Substituční tuhé roztoky** tvoří složky, jejichž atomy mají srovnatelnou velikost a to tak, že atomy rozpuštěných složek postupně nahrazují atomy rozpouštějící (základní) složky v uzlových bodech její krystalové mřížky.
- O rozsahu rozpustnosti, která kvalitativně může být omezená nebo neomezená rozhodují tyto faktory:

- **poměrná velikost atomů** – čím větší je rozdíl ve velikosti atomů mezi základní a další přísadou, tím menší rozpustnost má tato složka, až při rozdílu větším než 14 % je rozpustnost už velmi omezená,
- **elektronegativita** – s rostoucím rozdílem elektronegativity složek tuhého roztoku roste tendence ke vzniku intermediálních fází a klesá rozpustnost,
- **koncentrace valenčních elektronů** – složka s menším počtem valenčních elektronů v sobě rozpouští za jinak stejných podmínek více té složky, která má větší počet valenčních elektronů.
- při úplné rovnovážné rozpustnosti musí mít všechny složky tuhého roztoku stejný **druh krystalové mřížky**.
- **Intersticiální tuhé roztoky** tvoří složky, jejichž atomy jsou výrazně menší než atomy základní složky a to tak, že atomy rozpuštěných složek zaplňují volné prostory v krystalové mřížce základní složky. Poměr velikostí atomů nesmí přesáhnout hodnotu 0,59.
- rozpustnost v tomto druhu tuhého roztoku je vždy **omezená**.

- **Elektrochemické sloučeniny** tvoří takové prvky, které se výrazně odlišují svojí elektronegativitou (FeS, Mg₂Si). Stechiometrický poměr atomů ve sloučenině odpovídá valenci zúčastněných prvků. Obvykle mají vysokou teplotu tání, při které se přeměňují na kapalnou fázi stejného chemického složení.
- **Intersticiální sloučeniny** (hydridy, boridy, karbidy, nitridy) jsou tvořeny malými atomy nekovových prvků s kovy. V případě přechodových kovů je rozdíl v elektronegativitě oproti intersticiálním prvkům malý a meziatomová vazba má převážně charakter kovový, částečně kovalentní (Fe₃C, WC)
- Jestliže se atomy různých prvků vzájemně přitahují méně než atomy stejných prvků, musí v dané soustavě vznikat tendence ke vzniku více fází, z nichž každá bude obsahovat převážně jeden prvek. Vznikne směs fází buď přímo při tuhnutí (eutektikum, peritektikum) nebo dalším ochlazením v tuhé fázi (eutektoid, peritektoid, precipitát a matrice).

■ Uspořádané a neuspořádané

Neuspořádaný tuhý roztok



Uspořádaný tuhý roztok

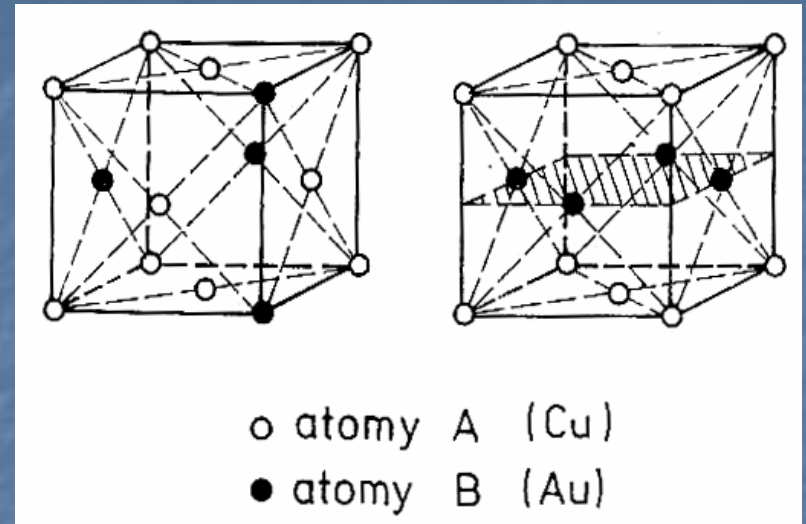


Schéma neuspořádaného (vlevo) a uspořádaného (vpravo) tuhého roztoku slitiny AuCu.

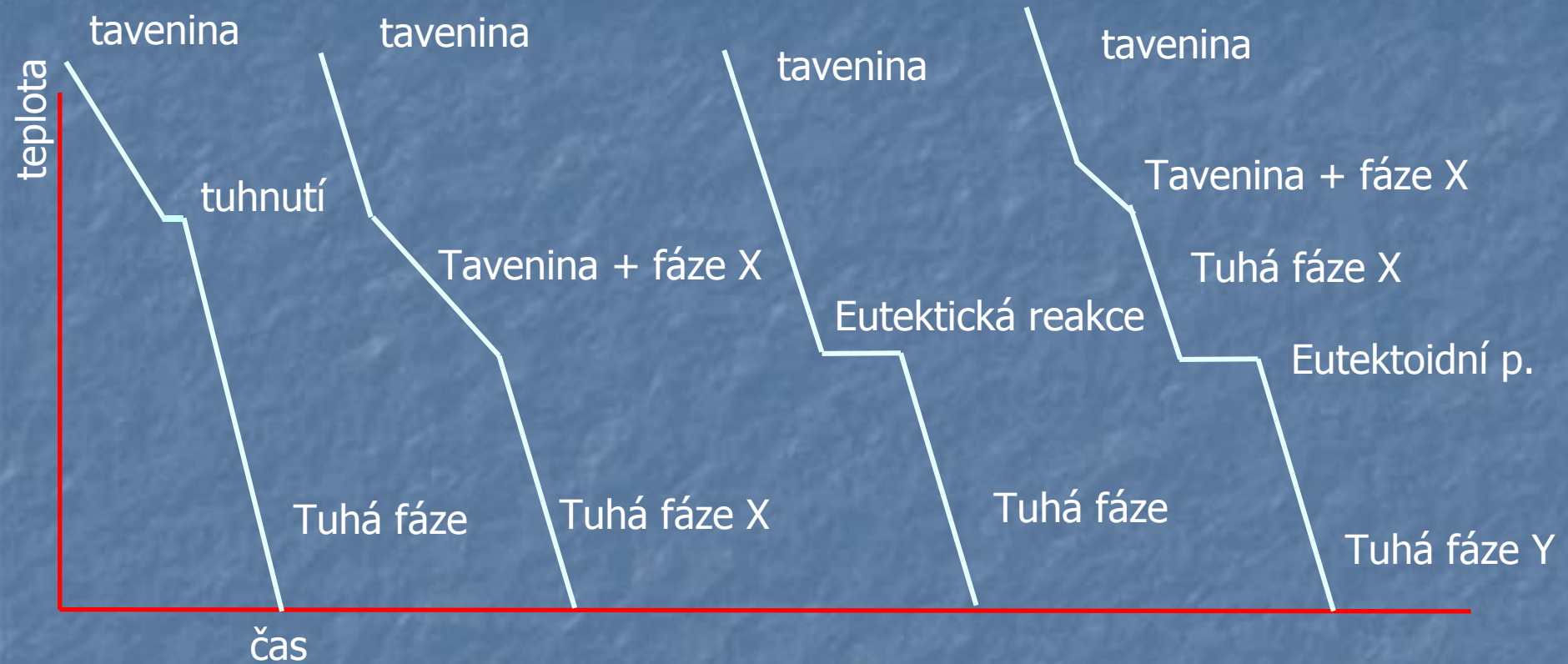
Rovnovážné diagramy

- Podávají kvalitativní i kvantitativní popis fází, které jsou v rovnováze v kovových soustavách o dvou a více složkách v závislosti na teplotě.
- Jak plyne z fázového pravidla, stačí u kondenzovaných soustav při jedné složce k popisu jeden údaj tj. teplota.
- U dvou složek jsou nutné dva údaje – teplota a koncentrace. To je nejčastější případ rovnovážných diagramů běžných slitin.
- Zobrazujeme je v souřadnicích **teplota – koncentrace**.

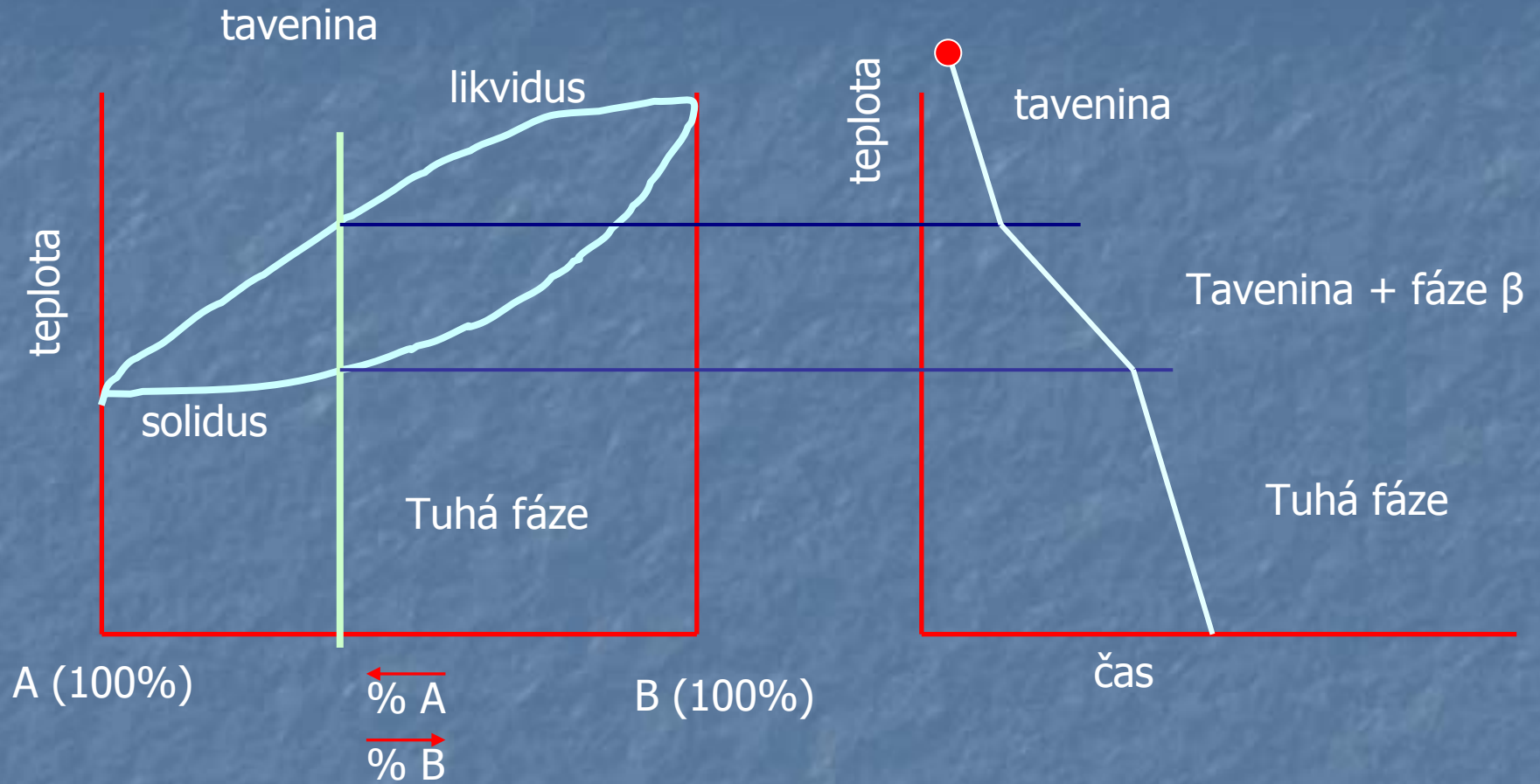
- **Pro sestrojování rovnovážných diagramů je nutno zjistit teploty, při nichž dochází k přeměnám fází, ať je to přechod z kapalného stavu do tuhého stavu nebo přeměny probíhající v tuhém stavu.**

- **Jednosložkové**
- **Dvousložkové**
- **Vícesložkové**

Základní křivky chladnutí



Příklad sestrojení rovnovážného diagramu



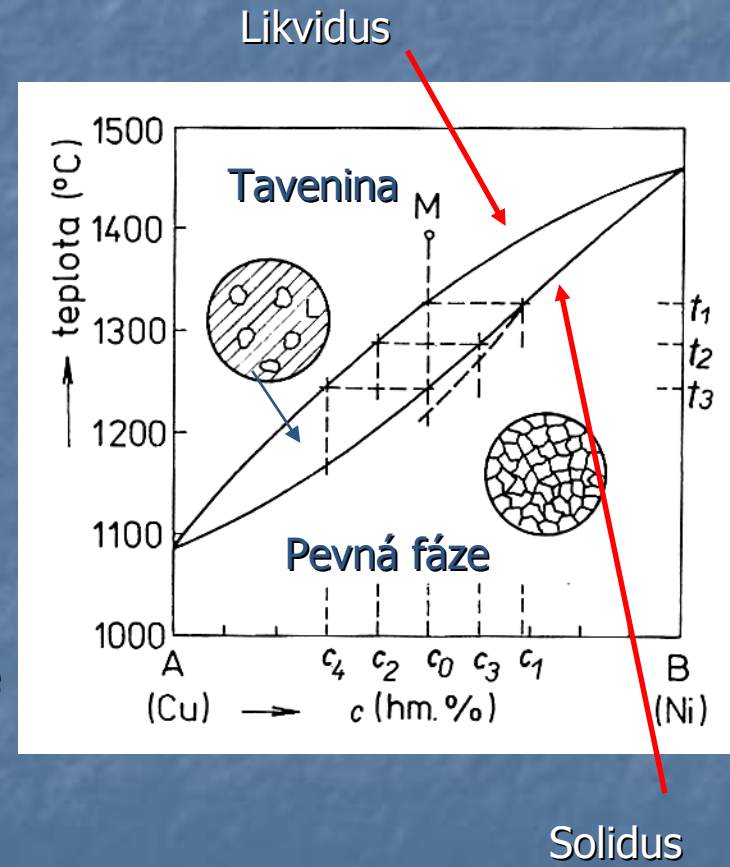
Dvousložkové soustavy

- Nejčastěji se rovnovážné diagramy třídí podle rozpustnosti obou složek v kapalném a tuhém stavu na:
 - S úplnou rozpustností v tuhém i kapalném stavu,
 - S úplnou rozpustností v kapalném a omezenou rozpustností v tuhém stavu,
 - S úplnou rozpustností v kapalném stavu a úplnou nerozpustností v tuhém stavu,
 - S úplnou nerozpustností nebo neúplnou rozpustností v kapalném stavu.

Pozn. Vzhledem k polymorfii některých prvků jsou jejich rovnovážné diagramy dále komplikovány fázovými přeměnami v tuhém stavu, popřípadě u složek s částečnou rozpustností nebo úplnou nerozpustností v tuhém stavu vznikem zvláštních fází, které označujeme jako fáze intermediální.

Diagramy s úplnou rozpustností složek v kapalném i tuhém stavu

- V kapalném stavu jsou složky slitiny dokonale mísitelné, tvoří jedinou, homogenní fázi. Dokonalá mísitelnost je zachována i v tuhém stavu, slitina je tuhým roztokem v celé koncentrační oblasti.
- Diagram má dvě křivky spojující teploty počátku krystalizace čistých složek (A, B). Horní křivka – likvidus udává teploty počátku krystalizace binárních slitin a zároveň i složení kapalné fáze, která je v rovnováze s vyloučenými krystaly. Spodní křivka – solidus udává složení vznikající tuhé fáze – tuhého roztoku.
- Nad křivkou likvidu je termodynamicky stabilní fází tavenina a soustava má dva stupně volnosti ($v=2$, $f=1$). V oblasti mezi likvidem a solidem existují vedle sebe dvě fáze – tavenina a krystaly tuhého roztoku a soustava má jeden stupeň volnosti ($v=1$, $f=2$). Pod čarou solidu je jediná fáze – tuhý roztok, soustava má opět dva stupně volnosti ($v=2$, $f=1$).



Dle fázového pravidla $v=3-f$

Pákové pravidlo

- Slitina o složení c_0 a hmotnosti m_0 , která má teplotu t_2 . Jsou v ní přítomny krystaly tuhého roztoku o hmotnosti m_L a koncentraci c_2 . Bilance jedné ze složek např. B, je dána vztahem:

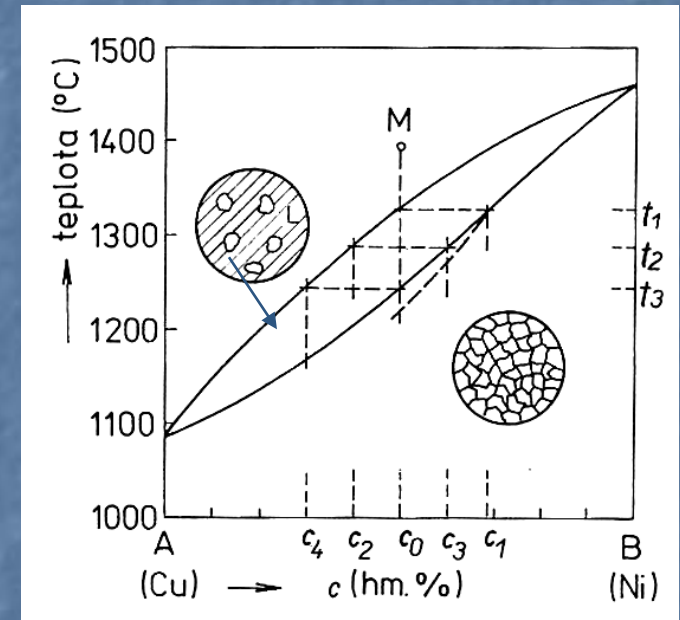
$$m_S \cdot c_3 + m_L \cdot c_2 = m_0 \cdot c_0 = (m_S + m_L) c_0$$

jehož upravením dostaneme:

$$m_L(c_0 - c_2) = m_S(c_3 - c_0) \quad \text{a}$$

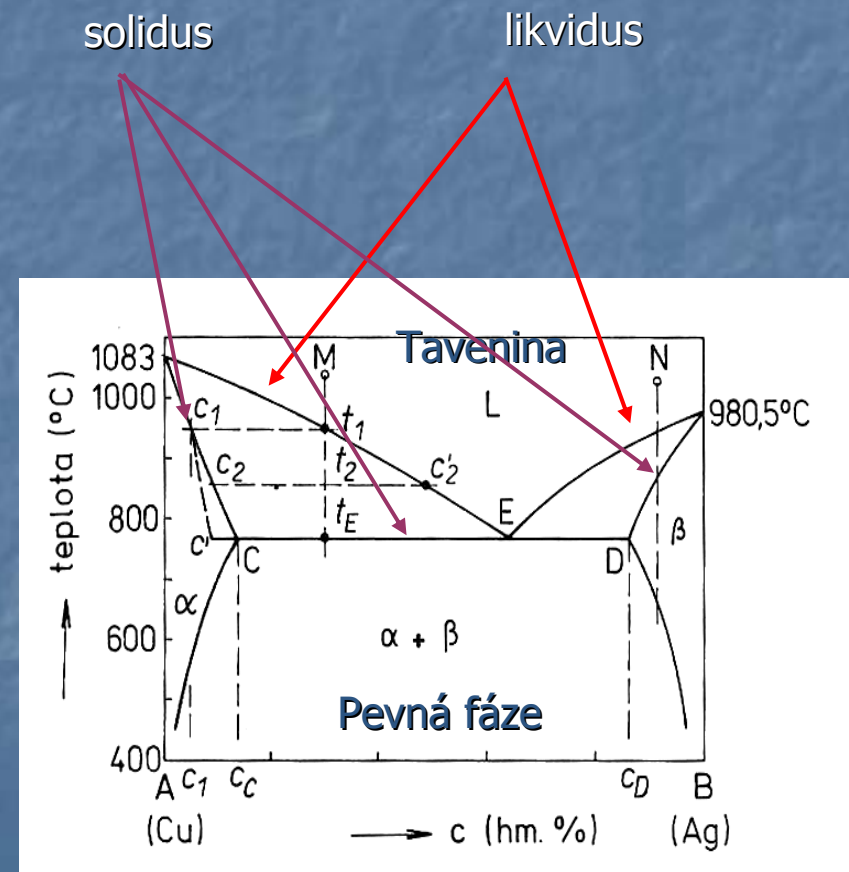
$$\frac{m_S}{m_L} = \frac{(c_0 - c_2)}{(c_3 - c_0)}$$

tj. poměr množství tuhé fáze a taveniny je úměrný poměru délek úseček $c_0 - c_2$ a $c_3 - c_0$.



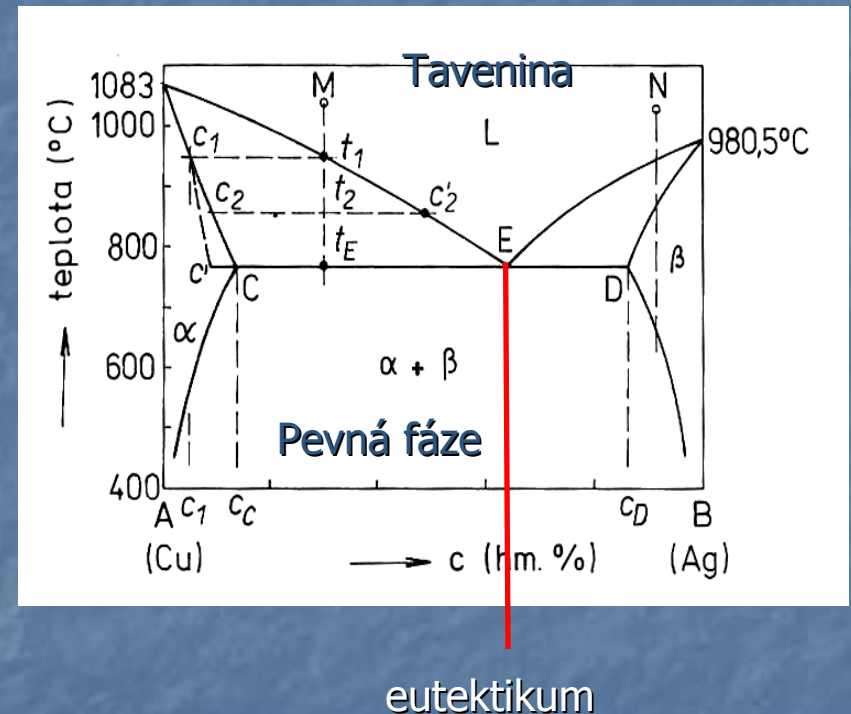
Diagramy s omezenou rozpustností složek v tuhém stavu

- Složka A se rozpouští až do určité koncentrace složku B, tak i naopak. Vznikají tak tuhé roztoky α , β , jejichž oblast navazuje v diagramu na čisté složky A a B.
- Teploty tuhnutí čistých složek A a B jsou přísadou druhé složky snižovány, takže křivky likvidu mají klesající tendenci. Obě větve likvidu se protínají v bodu E, který představuje slitinu s nejnižší teplotou tání t_E . Označujeme ji jako teplotu eutektickou.



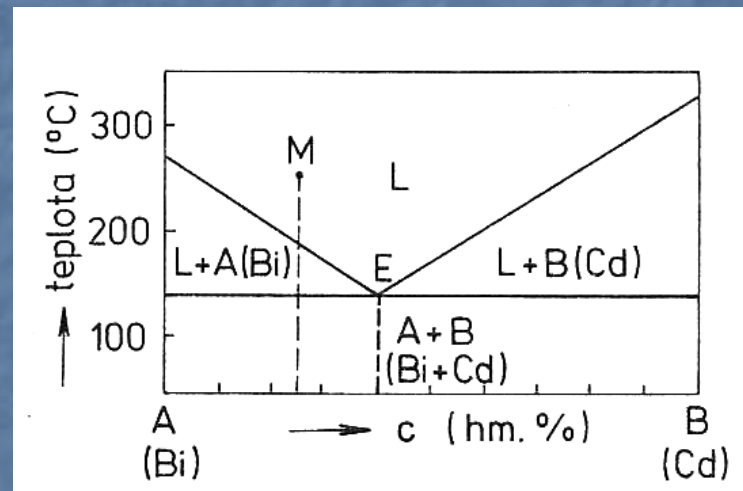
Diagramy s omezenou rozpustností složek v tuhém stavu

- Snížením teploty pod t_E musí zmizet kapalná fáze – proběhne krystalizace, při níž vznikají krystaly tuhého roztoku α a β jako mechanická směs, která je označována jako eutektikum.
- Slitiny v rozmezí c_C a c_D obsahují krystaly tuhého roztoku α nebo β zbytek tvoří eutektikum



Diagramy slitin s úplnou nerozpustností složek v tuhém stavu

- Ideální soustava s úplnou nerozpustností v tuhém stavu se vyznačuje tím, že:
- Struktura je v tuhém stavu tvořena směsí krystalů čistých složek,
- Přísada druhé složky snižuje teplotu tání základní složky,
- Obě křivky likvidu se protínají v eutektickém bodě E představující mechanickou směs krystalů čistých složek,
- Eutektikála prochází celou koncentrační oblastí od jedné čisté složky k druhé a tvoří čáru solidu.
- Při krystalizaci jakékoli slitiny vznikají krystaly jedné čisté složky (A nebo B podle koncentrace). Složení taveniny se mění podle čar likvidu AE a BE. Slitina v tuhém stavu obsahuje v rozmezí koncentrace A – E krystaly čisté složky A a eutektikum, v rozmezí E – B krystaly čisté složky B a eutektikum.



Diagramy slitin s omezenou rozpustností složek v tuhém stavu a peritektickou přeměnou

- U složek, které mají značně rozdílné teploty tání
- Podobně jako při eutektické přeměně jsou při peritektické reakci v rovnováze dvě fáze tuhé a jedna kapalná
- Vymizí jedna z tuhých fází za vzniku nové tuhé fáze

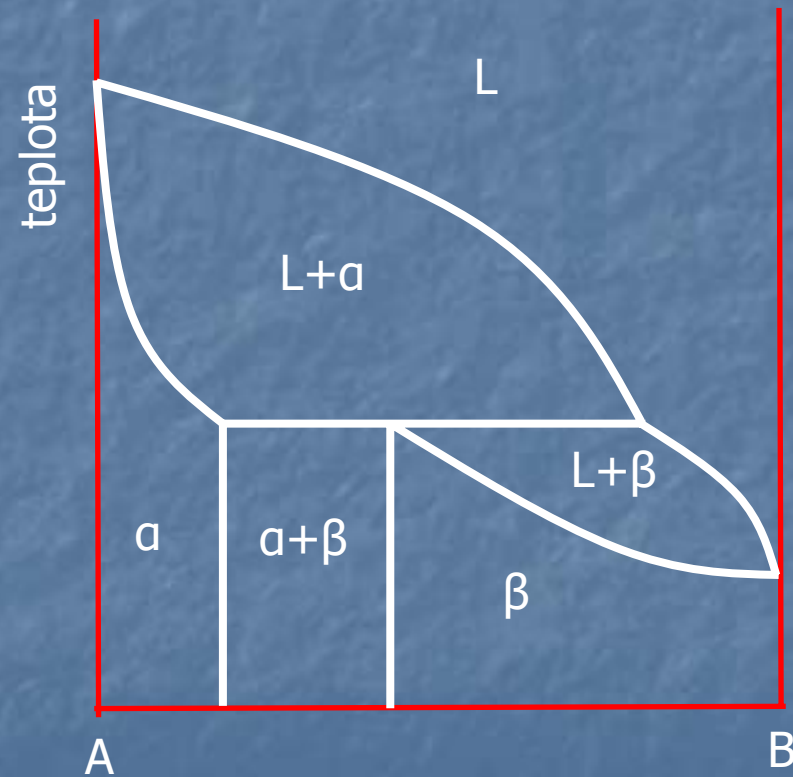
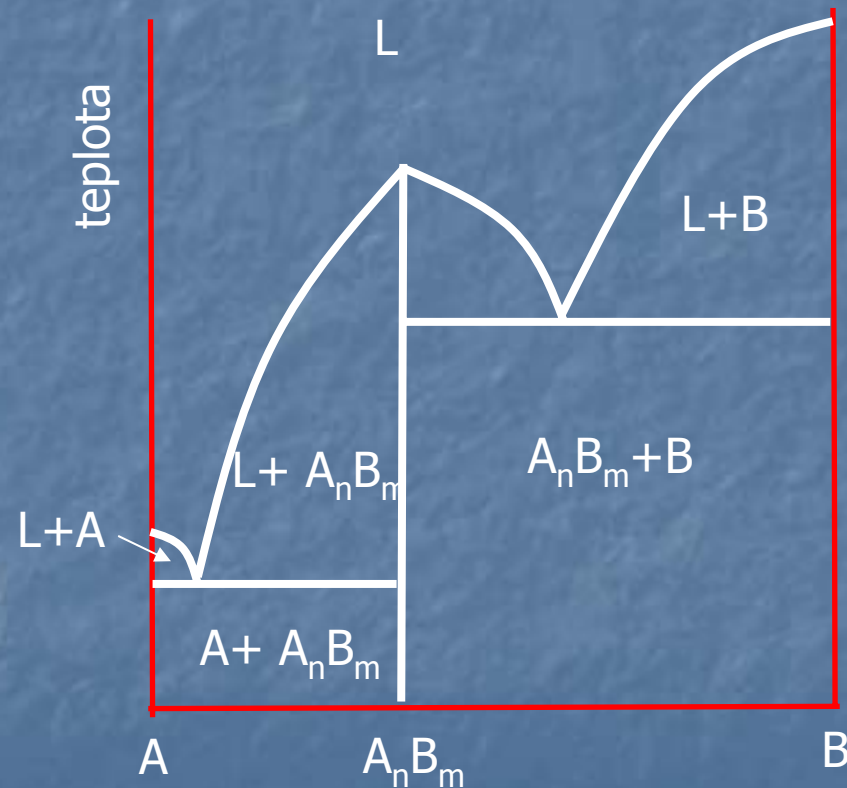


Diagram s kongruentní teplotou tání intermediální fáze

- Vznik nové fáze A_nB_m rozděluje diagram na dva dílčí binární diagramy
- Teplota tání intermediální fáze je dána průsečíkem (distektikum) dvou čar likvidu
- Je-li maximum ostré – dobrá stabilita intermediální fáze)
- Je-li plošší stabilita je menší

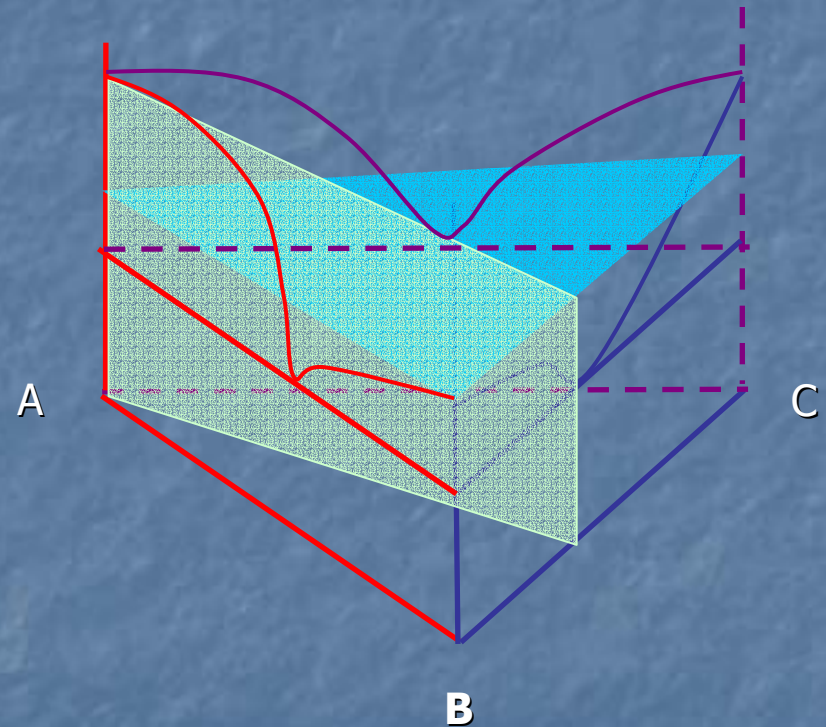


Krystalizace ternárních slitin

- Rovnovážné diagramy 3 prvků.

Např:

- AC, AB, BC – dokonale nerozpustné
- Využívají se řezy těchto diagramů a to řez při konstantní teplotě – horizontální řez (modře) nebo při konstantní jedné slitině – vertikální řez (zelenkavě)



Krystalizace kovů

- Krystalizace čistých kovů probíhá při konstantní teplotě,
- Krystalizace neprobíhá v celém objemu najednou, ale začne vznikem krystalizačních zárodků!
- Tyto zárodky rostou na úkor taveniny tak dlouho dokud nevyplní celý objem.

- Krystalizace je charakterizována dvěma parametry:
 - **Rychlostí tvorby zárodků**
 - **Lineární rychlostí růstu**

- Pokud krystalizační zárodky vznikají z taveniny přímo vlivem klesání teploty a energie – mluvíme o **homogenní nukleaci**,
- Pokud krystalizační zárodky vznikají na cizích zárodcích (oxidy, sulfidy, stěna formy aj.) – mluvíme o **heterogenní nukleaci** (energeticky nejsnazší)

Fázové přeměny v tuhém stavu

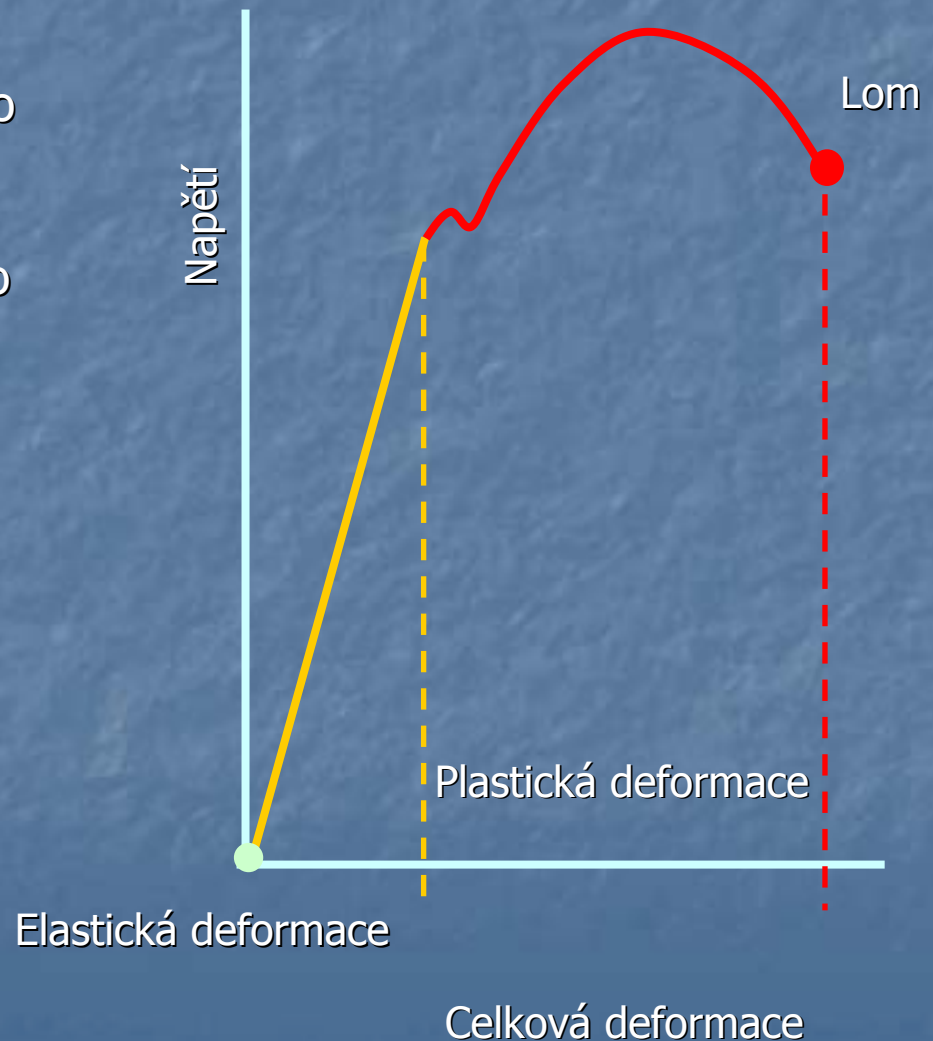
- Fázové přeměny se projevují snahou soustavy dosáhnout nebo alespoň se přiblížit při změně vnějších podmínek (teploty, tlaku aj.) stavu, který má nejmenší hodnotu volné entalpie.
- Tyto přeměny lze rozdělit na přeměny s **tepelně aktivovaným růstem** a přeměny u kterých tepelná aktivace není významná (**atermální růst**).
- Tepelně aktivované přeměny:
 - **polymorfní přeměny,**
 - **masivní přeměny,**
 - **rozpad přesyceného tuhého roztoku (precipitace),**
 - **eutektoidní a bainitické přeměny.**
- Přeměny s atermálním růstem jsou přeměny **martenzitické**.

Deformační a lomové chování materiálů

- Působením vnějších sil mění tělesa svůj tvar – jsou deformována.
- Při překročení mezních podmínek dochází k lomu.
- Zatímco oblast velmi malých deformací, přípustných pro pracovní režimy strojních konstrukcí je oblastí zájmu konstruktérů, oblast velkých plastických deformací umožňuje technologům realizovat potřebné tvářecí operace.

Elastická deformace

- Zatěžujeme-li těleso tak, že je jeho deformace vratná, tj. že po odlehčení vymizí (těleso nabývá původní tvar a objem), hovoříme o elastické (pružné) deformaci.
- Elastická deformace je umožněna relativně malým posunem atomů kolem rovnovážných poloh v krystalové mřížce.



Hookův zákon

$$y = k \cdot x$$

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

- Kde $E = \operatorname{tg} \theta$ - modul pružnosti v tahu

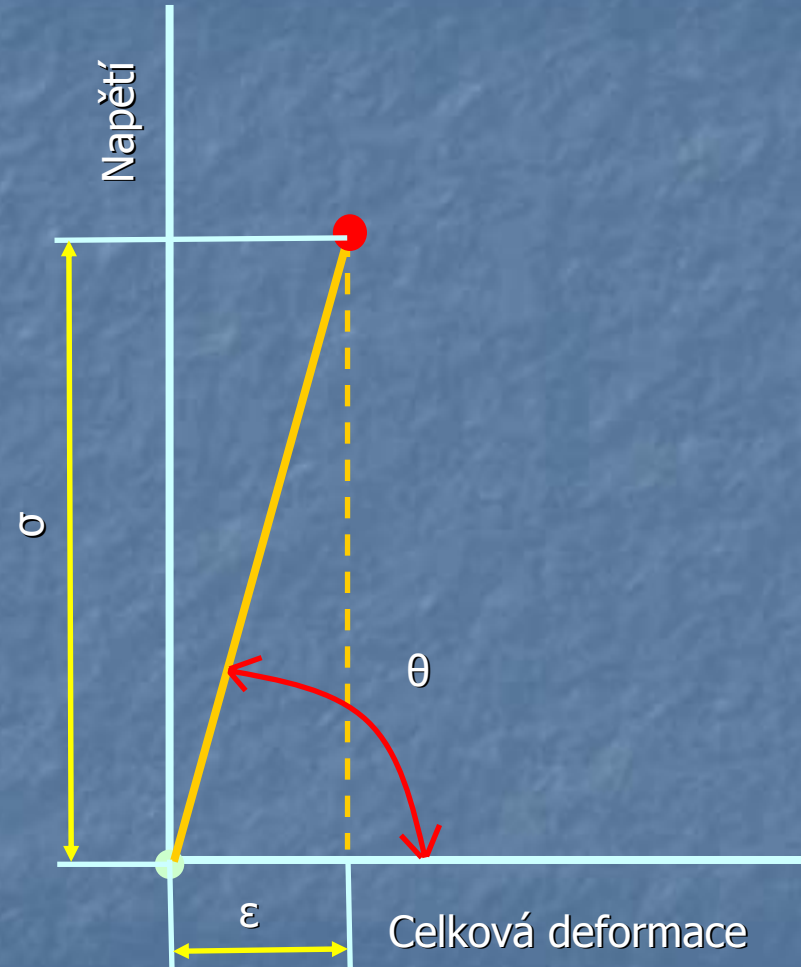
$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0}$$

$$\sigma = \frac{F}{S}$$

- Analogie Hookeova zákona pro smykové namáhání, např. kroucení, má tvar:

$$\tau = G \cdot \gamma$$

- kde τ je smykové napětí,
- G – modul pružnosti ve smyku a
- γ – poměrná smyková deformace



- V případě monokrystalu jsou hodnoty modulů pružnosti výrazně závislé na orientaci napětí vůči krystalografickým směrům – hovoříme o **anizotropii** elastických charakteristik. Anizotropii elastických charakteristik vedle monokrystalů vykazují ty materiály, které mají uspořádanou strukturu (preferenční orientace) – uspořádaná molekulární struktura u amorfních plastů, ale také kompozitní materiály, jež obsahují vlákna např. i dřevo.
- Většina kovových materiálů používaných v praxi mají strukturu polykrystalickou. Protože jednotlivá zrna jsou náhodně orientována – elastické charakteristiky polykrystalických materiálů prakticky na směr působícího napětí nezávisí a jsou tedy **izotropní**.

Anelastická deformace

- Pružná (elastická) deformace je charakterizována úplnou reverzibilitou a platností Hookeova zákona.
- Uvedené podmínky jsou splněny jen tehdy, když rychlost zatížení je velmi nízká a působící napětí nevyvolá změny v hustotě a rozložení mřížkových poruch, popřípadě v rozložení magnetických momentů v materiálu.

Tangens úhlu ON – modul pružnosti E_n

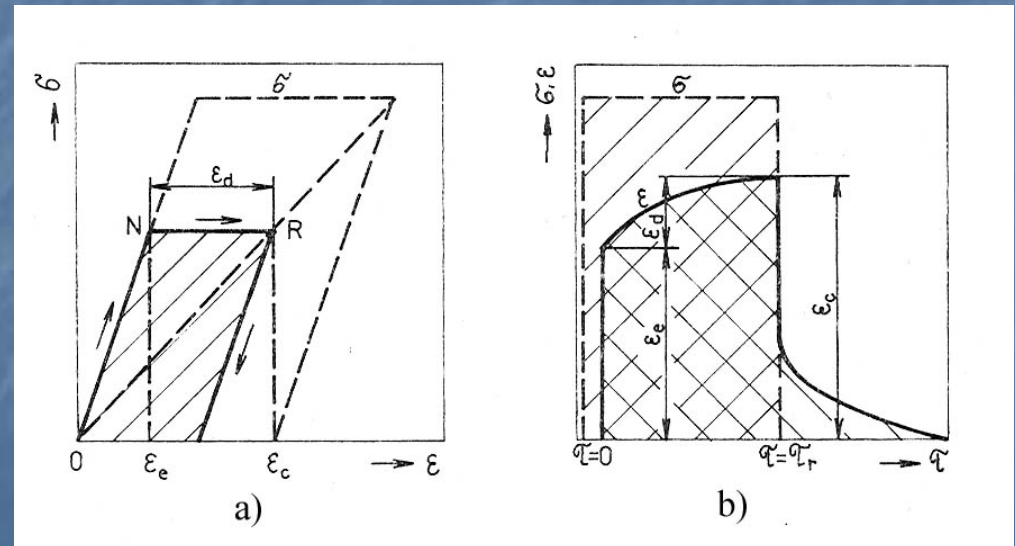
Tangens úhlu OR – relaxovaný modul E_r pružnosti

$$\Delta E = E_n - E_r$$

- porucha modulu pružnosti

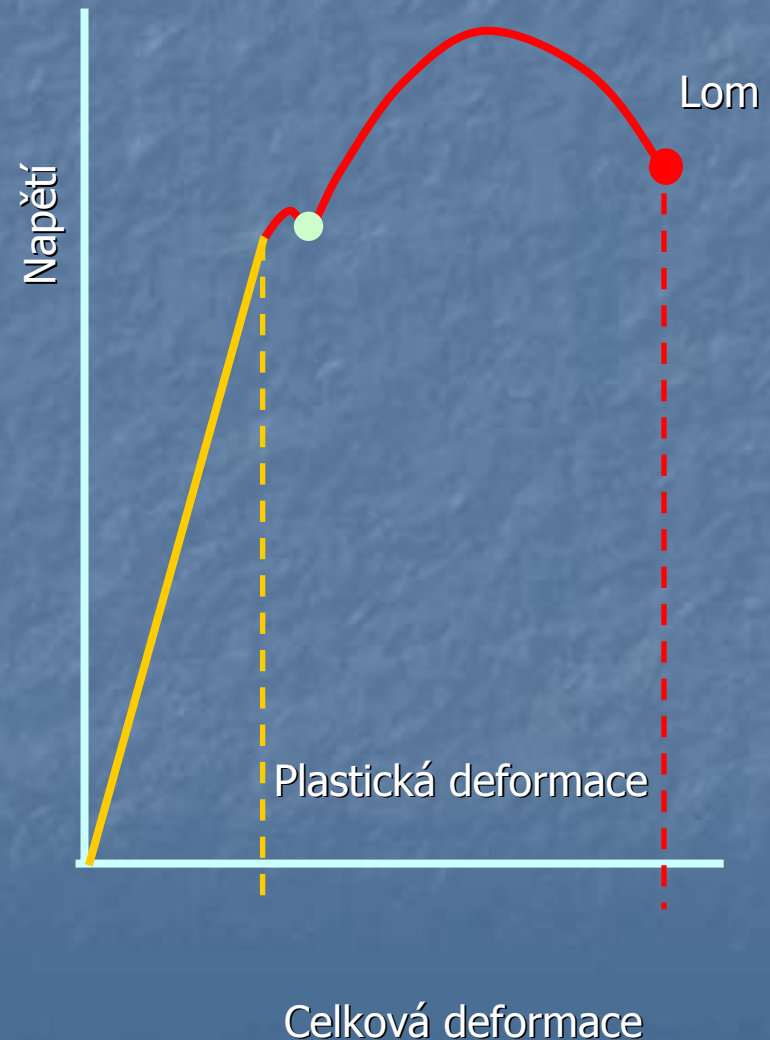
$$\Delta = \frac{E_n - E_r}{E_n}$$

- stupeň dynamické relaxace



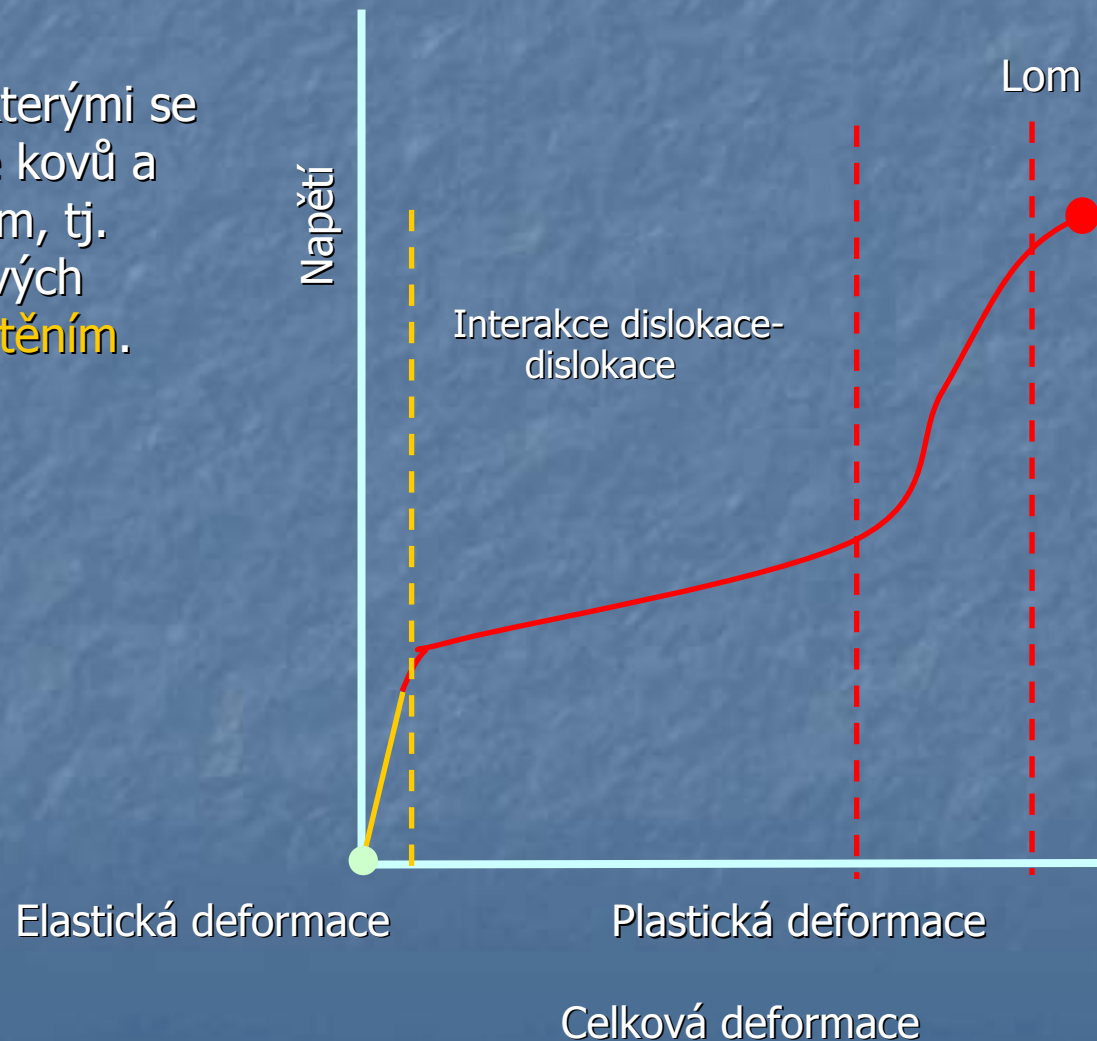
Plastická deformace a deformační zpevnění

- Působením dostatečně velkého zatížení mění materiál svůj tvar a rozměry, uskutečňuje se plastická deformace. Povrchové jevy, které doprovázejí plastickou deformaci, svědčí rovněž o rozsáhlých změnách v mikroskopické a submikroskopické stavbě materiálu.
- Během plastické deformace se projevuje výrazná nehomogenita plastického přetvoření v různých oblastech materiálu a jejich deformačního zpevnění. Společnými vnějšími činiteli, které modifikují proces plastické deformace, jsou teplota a rychlost deformace.



Plastická deformace monokrystalu

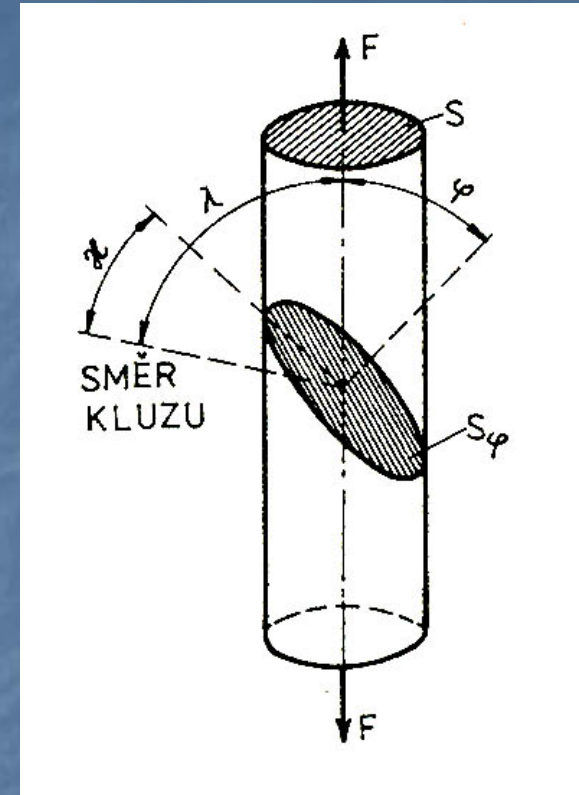
- Mezi základní mechanismy, kterými se realizuje plastická deformace kovů a slitin, patří deformace skluzem, tj. **pohybem dislokací** ve skluzových rovinách a deformace **dvojčatěním**.



- Rovina, v níž proběhne skluzový pohyb dislokací, se nazývá aktivní rovina skluzu. Skluz probíhá v určitých krystalografických rovinách a směrech a je řízen třemi zákony:
 1. směr skluzu je vždy totožný se směrem, který je nejhustěji obsazen atomy,
 2. skluz obvykle probíhá v nejhustěji obsazených rovinách krystalu,
 3. z možné skupiny rovin a směrů v krystalové mřížce je aktivní ten skluzový systém (rovina a směr), v němž má smykové napětí nejvyšší hodnotu.

- Ke skluzovému pohybu dislokací dochází při relativně nízkých hodnotách kritických skluzových napětí τ_{kr} . Souvislost mezi kritickým skluzovým napětím a mezí kluzu monokrystalu σ_K můžeme určit například tak, že uvažujeme monokrystal namáhaný jednoosým tahem silou F . Ve skluzové rovině, jejíž normála svírá se směrem hlavního napětí úhel φ , působí smyková složka síly F ve směru, který svírá se směrem hlavního napětí úhel λ . Potom smykové napětí v rovině skluzu:

$$\tau = \frac{F \cdot \cos \lambda}{S_\varphi} = \frac{F}{S} \cdot \cos \lambda \cdot \cos \varphi$$



- Když se mění sklon skluzové roviny vzhledem ke směru hlavního napětí, mění se též velikost smykového napětí. Když je skluzová rovina kolmá na směr hlavního napětí, je smykové napětí $\tau=0$. V rovině se nerealizuje skluz, ale krystal se poruší křehkým lomem. Největší hodnoty dosáhne τ v dané skluzové rovině tehdy, když úhel mezi skluzovou rovinou a směrem hlavního napětí je 45° . Položíme-li normálové napětí σ rovno mezi kluzu σ_K , potom

- Položíme-li normálové napětí σ rovno mezi kluzu σ_{kr} , potom

$$\tau_{kr} = \sigma_K \cdot \cos \lambda \cdot \cos \varphi$$

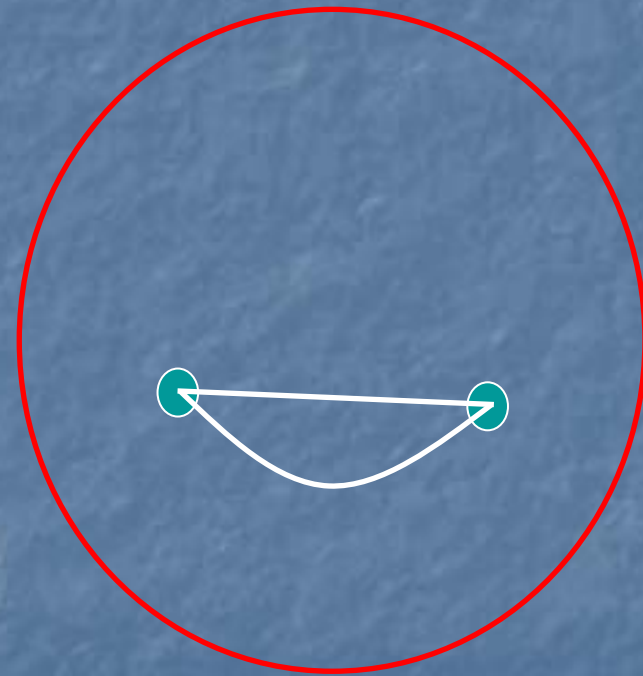
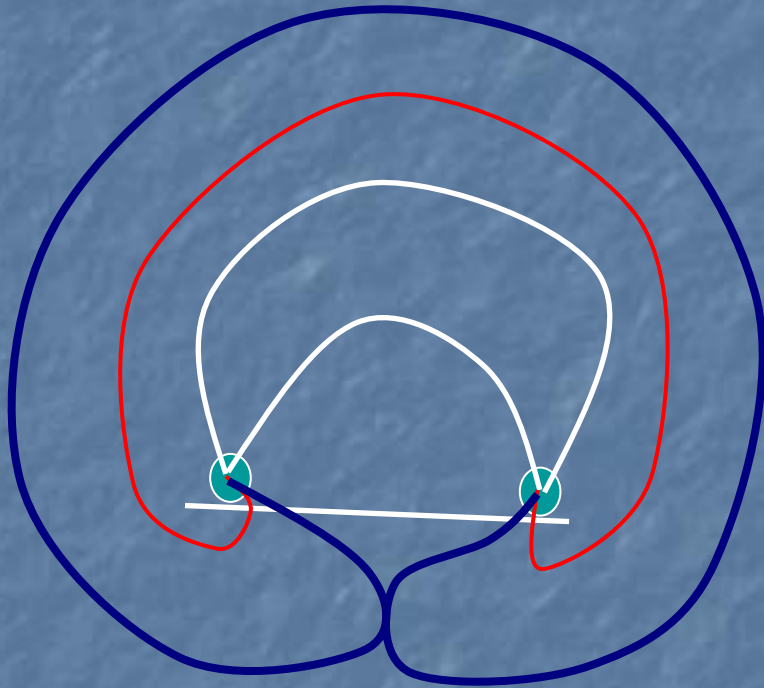
Mez kluzu je určena rovnicí

$$\sigma_K = \frac{\tau_{kr}}{m}$$

- kde součinitel m se označuje jako Schmidův faktor s maximální hodnotou $m=0,5$ pro $\varphi=45^\circ$.
- **Dvojčatění** se projevuje náhlým přeskupením celého úseku krystalové mřížky. Nová mřížka má pravidelné uspořádání, stejné jako původní mřížka, je však **symetricky přetočena** vzhledem ke své původní rovině. Dvojčata mohou vzniknout při plastické deformaci (např. cín), ale i vlivem napětí při ohřevu nebo fázové přeměně.

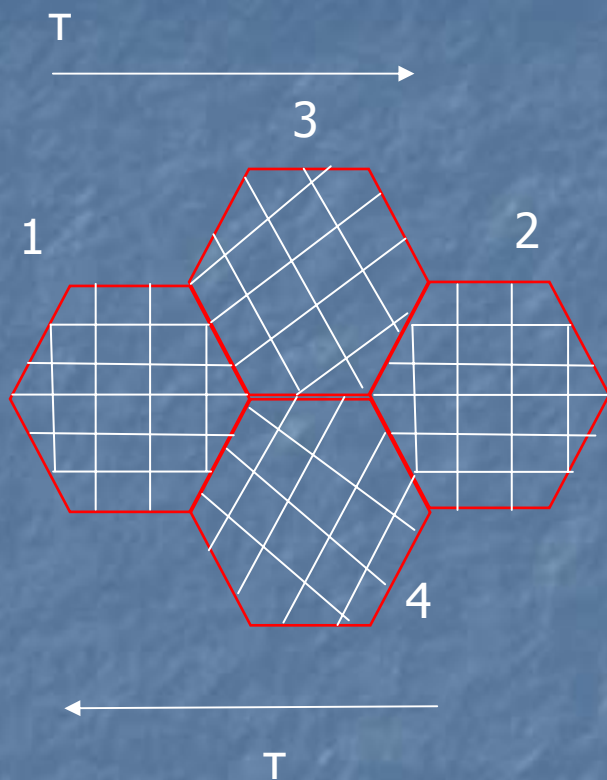
Vznik dislokací během plastické deformace

- Frank-Readův zdroj dislokací

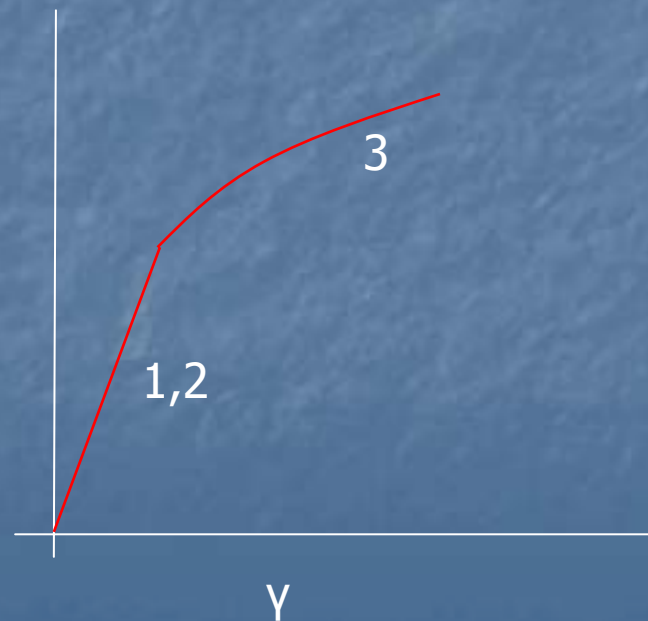


Plastická deformace polykrystalu

- Plastická deformace se uskutečňuje, když se dosáhne napětí potřebné pro hromadný pohyb dislokací.
- Polykrystalický kov je agregát náhodně orientovaných krystalů (zrn) různé velikosti, které jsou propojeny společnými hranicemi.
- Deformace jednotlivých zrn je orientačně závislá a vzájemně se omezuje.
- Skluz začne v tom zrně a skluzovém systému, v němž se dosáhne kritického skluzového napětí nejdříve.
- V příznivě orientovaných zrnech se již od malých deformací uplatňuje vícenásobný skluz a rychlé zpevňování, kdežto v ostatních skluz ještě nezačal.

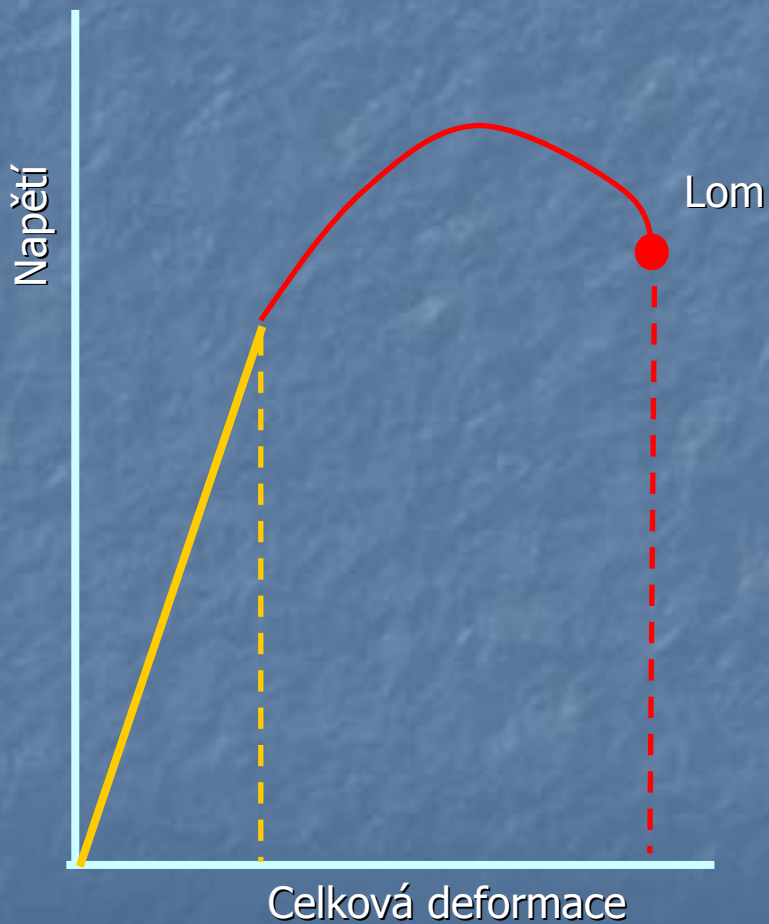


V čistém polykrystalickém kovu nedojde k plastické deformaci spontánně při určité hodnotě tahového nebo smykového napětí, ale bude docházet k postupnému odklonu závislosti napětí-deformace od přímky elastických deformací



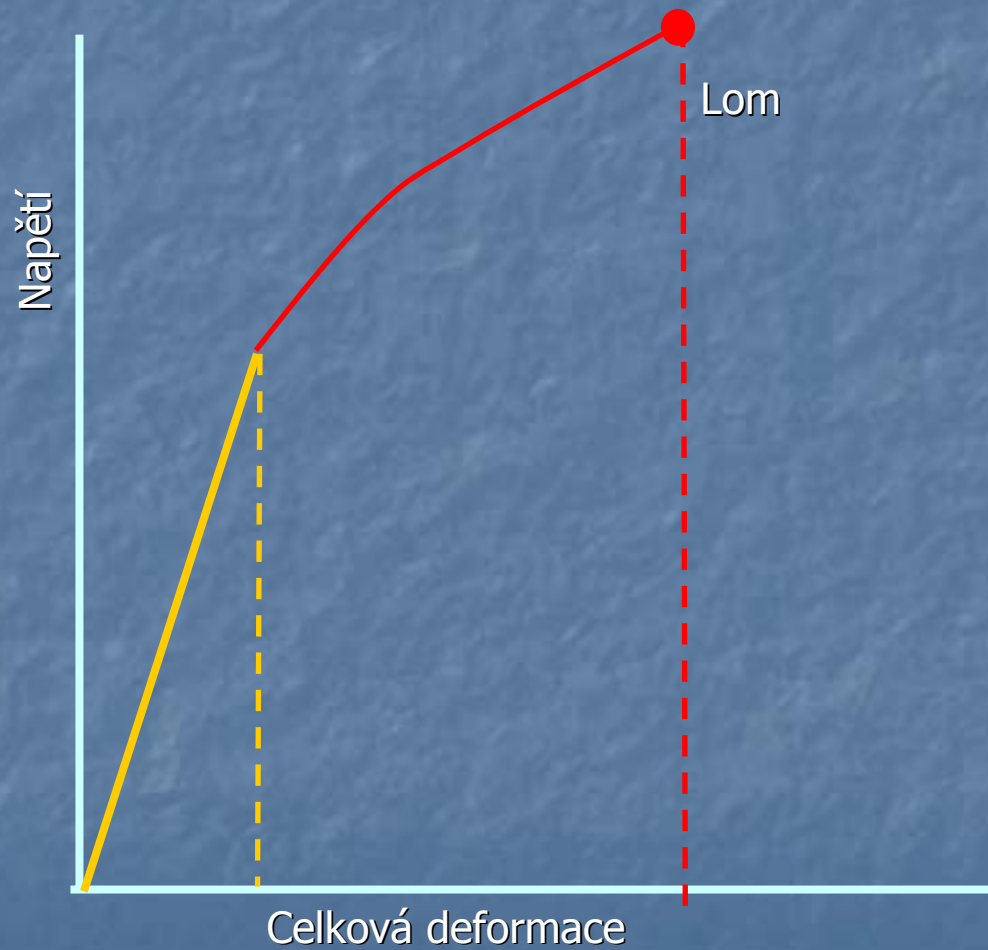
Deformační diagramy

$S = \text{konst.}$



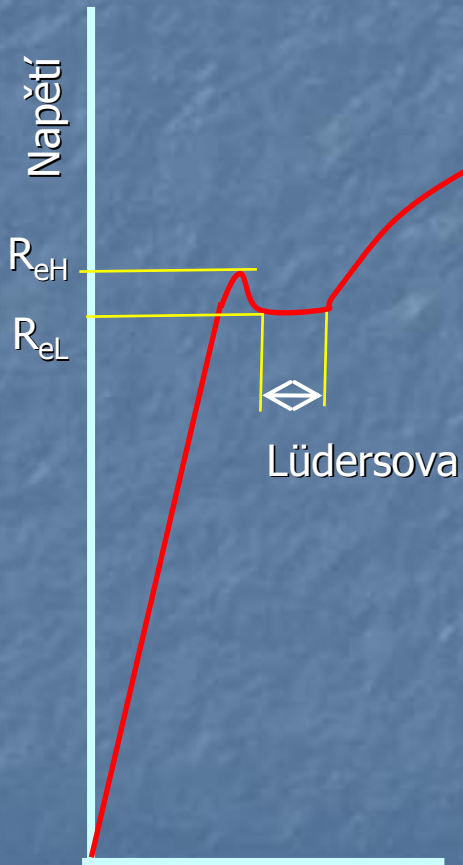
Smluvní tahový diagram

$S \neq \text{konst.}$

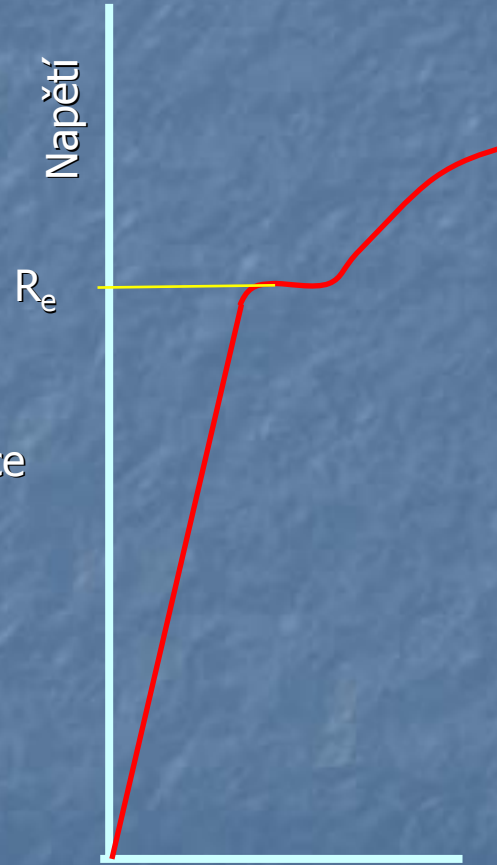


Skutečný tahový diagram

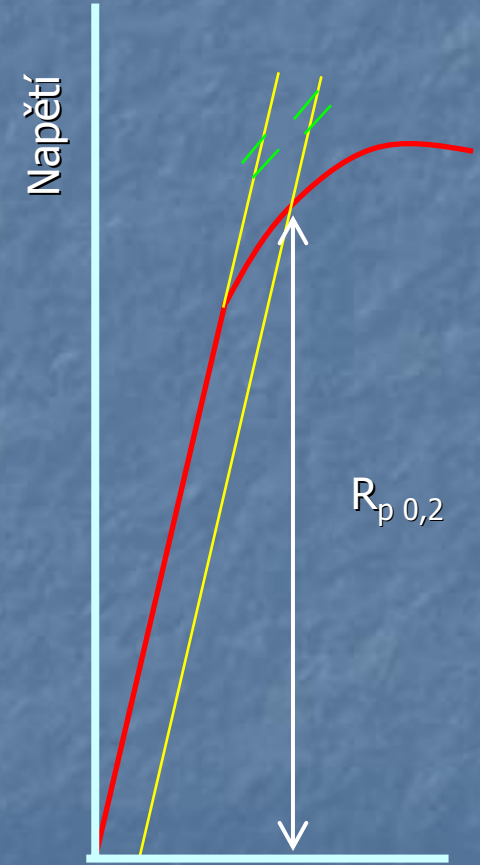
Mez kluzu



Celková deformace



Celková deformace



Celková deformace

Mechanismy zpevnění polykrystalu

- **Deformační zpevnění** – interakce dislokací.
- **Zpevnění hranicemi zrn** – hranice jsou pro dislokace neprůchodné, dislokace se kupí a napětí pro další deformaci se zvyšuje.
- **Zpevnění legováním** – interakce dislokací s atomy příměsí
- **Zpevnění částicemi**
 - Precipitační zpevnění – částice vzniklé rozpadem přesyceného tuhého roztoku
 - Disperzní zpevnění – viz. prášková metalurgie

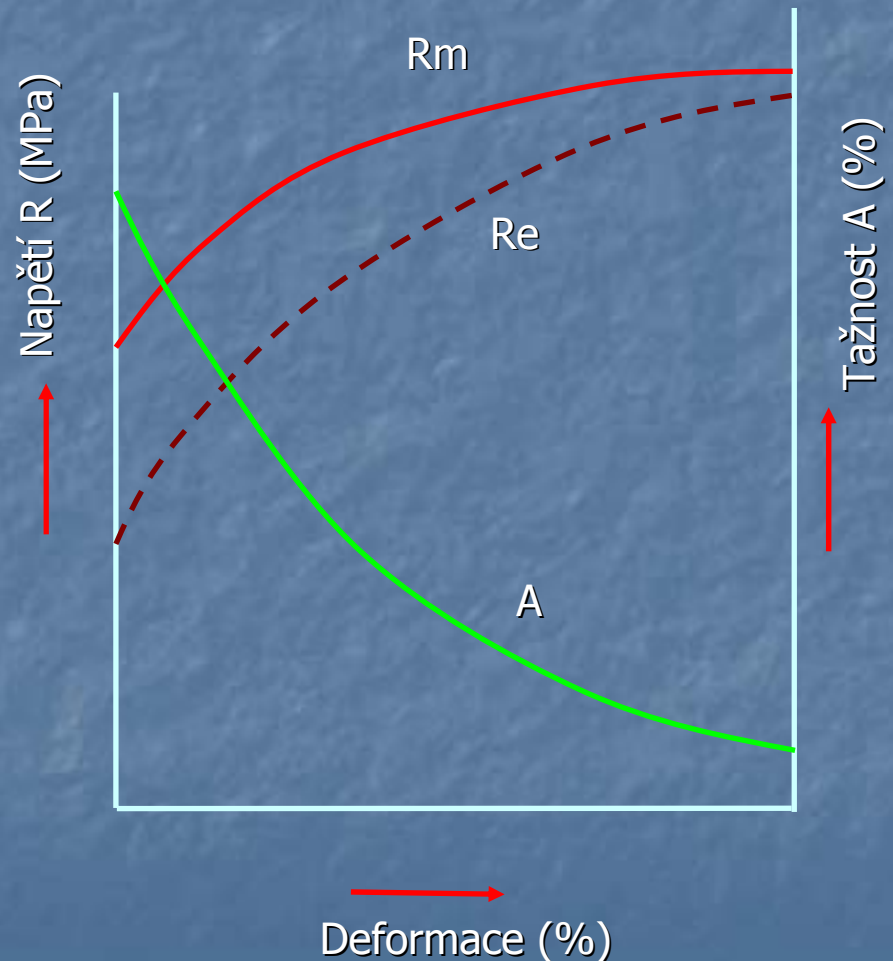
V praxi se uplatňuje vždy několik druhů zpevnění zároveň.

Charakteristika deformačně zpevněného kovu

- Deformační zpevnění se projevuje zvýšením meze pevnosti, kluzu a zmenšením tažnosti, houževnatosti.
- Mez kluzu roste s deformací rychleji než pevnost.

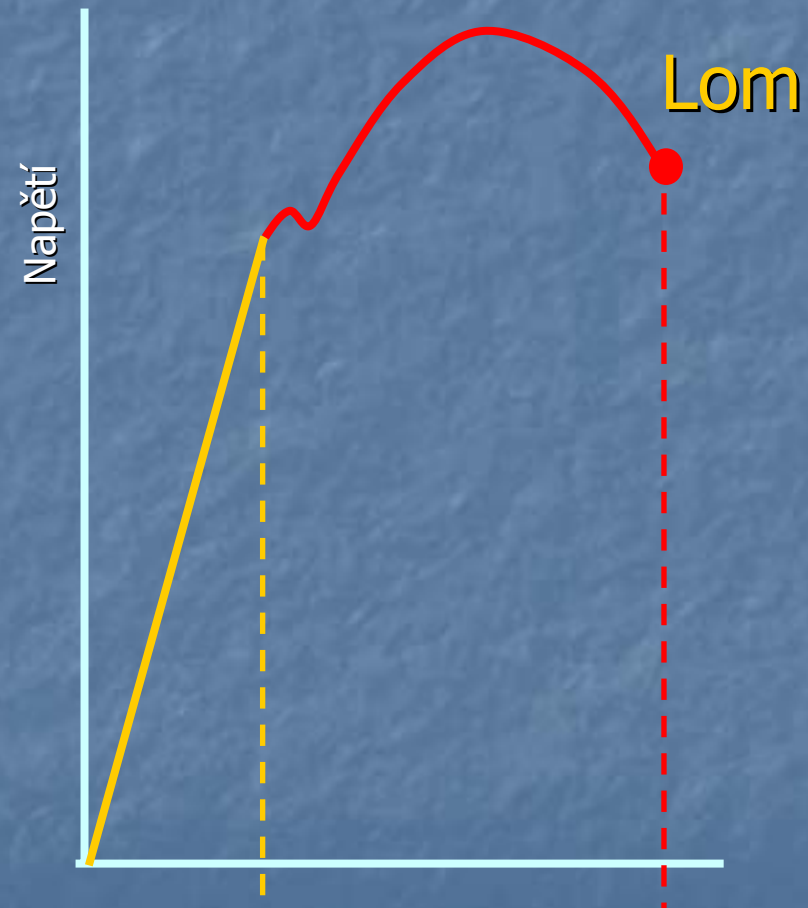
Poměr $\frac{R_e}{R_m}$ se s zvětšující se deformací blíží k 1. zároveň však tažnost klesá na nulu a kov se při další deformaci porušuje.

- Deformačním zpevněním lze zvětšit pevnost na dvojnásobek, mez kluzu 3 až 6 (dle výchozího poměru R_e/R_m).



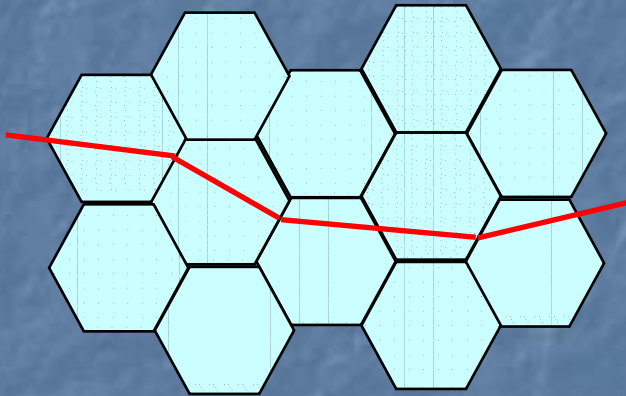
Rozvoj porušení a lom

- Lom je mezním stavem – katastrofální následky (havárie letadel, jaderných zařízení, lodí, potrubí.....)
- Vznik lomu vyžaduje porušení meziatomových vazeb a oddělení dvou částí materiálu.
- U monokrystalu je to možné:
 - Usmýknutím skluzovým mechanismem – působení smykového napětí – **tvárný lom**
 - Štěpením – odtržení v určité krystalografické rovině – působení normálového napětí – **štěpný lom**

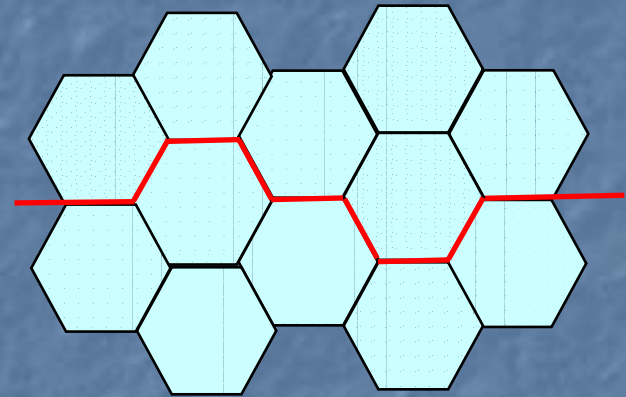
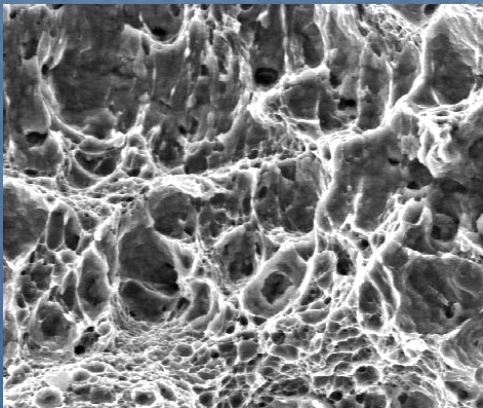


Celková deformace

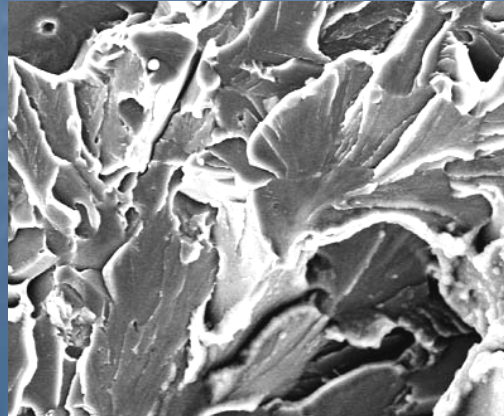
- U polykrystalu díky přítomnosti hranic zrn musíme ještě lom rozlišit na:
 - Transkrystalický – lom procházející zrny
 - Interkrystalický – lom po hranicích zrn
- Dle energetického hlediska lomy rozdělujeme na **houževnaté** a **křehké**.



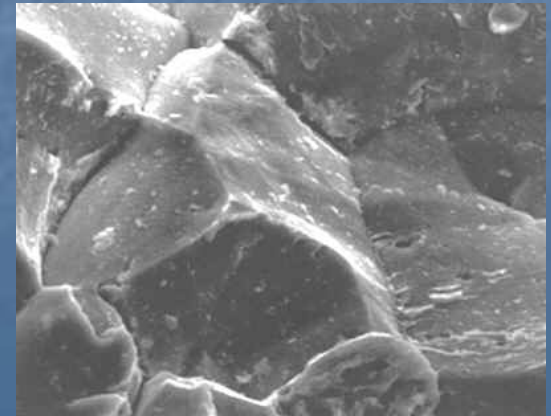
Transkrystalický tvárný



Transkrystalický štěpný

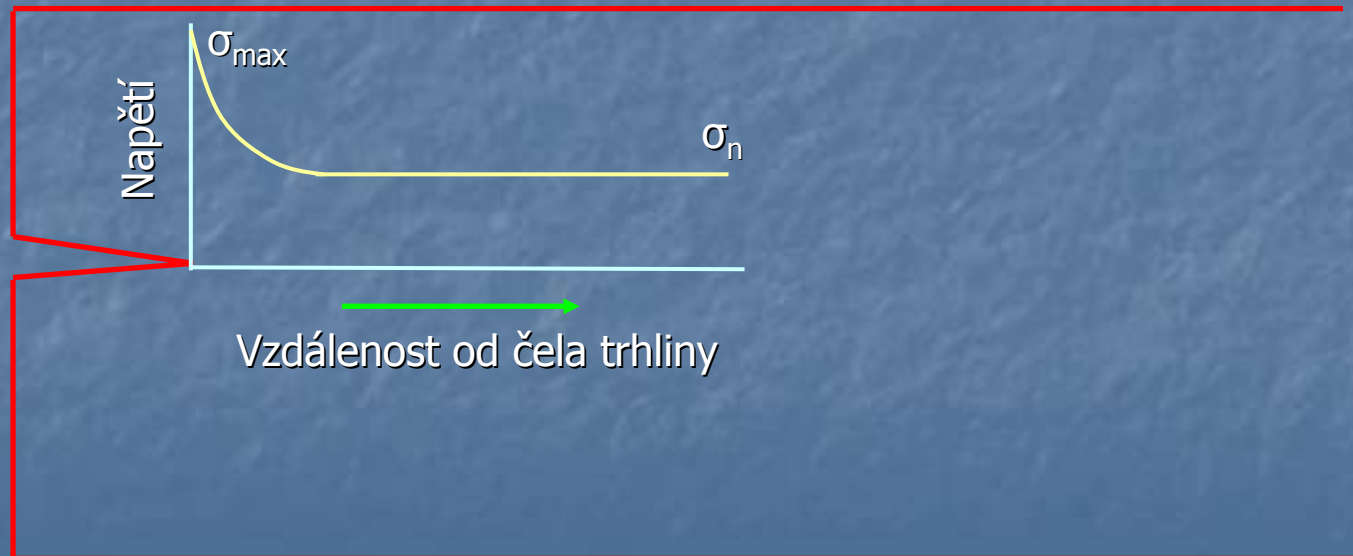


Interkrystalický štěpný



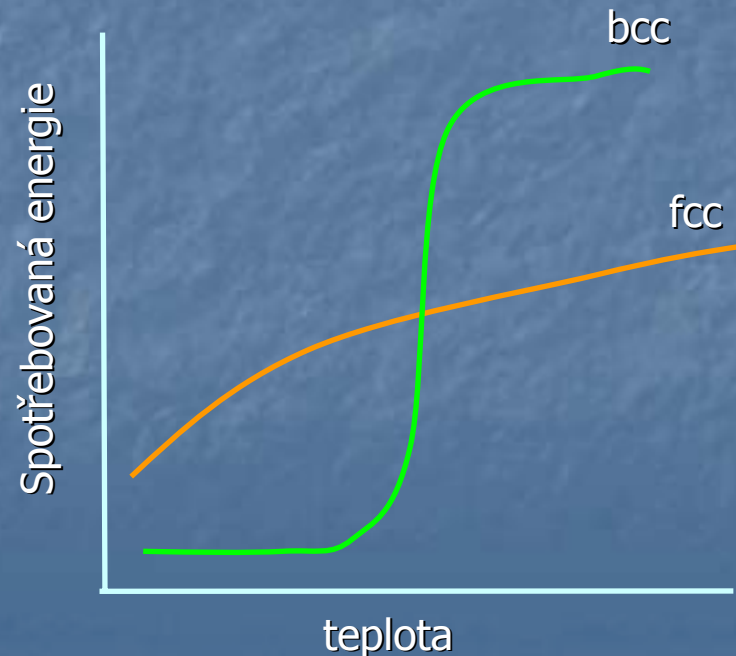
Nukleace a rozvoj porušení

- Zárodkem trhlin jsou již existující nečistosti z výroby a zpracování materiálu, nebo trhlinky, jenž se vytvoří při zatěžování.
- Při překročení kritické velikosti trhliny při daném napětí se trhlina rozeběhne (rychlost šíření trhliny dosahuje rychlosti zvuku daného materiálu) nezávisle na vnějším napětí a vznikne lom – nestabilní šíření trhliny – křehký lom
- Při podmínkách houževnatého porušení mají kovové materiály dostatečnou plasticitu – lokální zvýšení napětí relaxuje – stabilní šíření trhliny – pro šíření trhliny je nutné dodávat energii.



- Z hlediska bezpečného provozu strojů a konstrukcí mají rozhodující význam podmínky pro zahájení nestabilního šíření trhliny, které nelze ovládat – kritická velikost trhliny při daném napětí nebo napětí pro danou délku trhliny.
- K hodnocení možností křehkého porušování používáme přístup:
- Lomové mechaniky – posuzování energetického stavu soustavy (lomová houževnatost, kritické otevření trhliny, J – integrál.....)
- Teplotně tranzitní – způsob porušení i spotřebovanou energii ovlivňuje výrazně teplota. U kovů s fcc mřížkou klesá energie na porušení plynule, ovšem u kovů s bcc mřížkou je naopak charakteristický prudký pokles v úzkém rozmezí teplot.

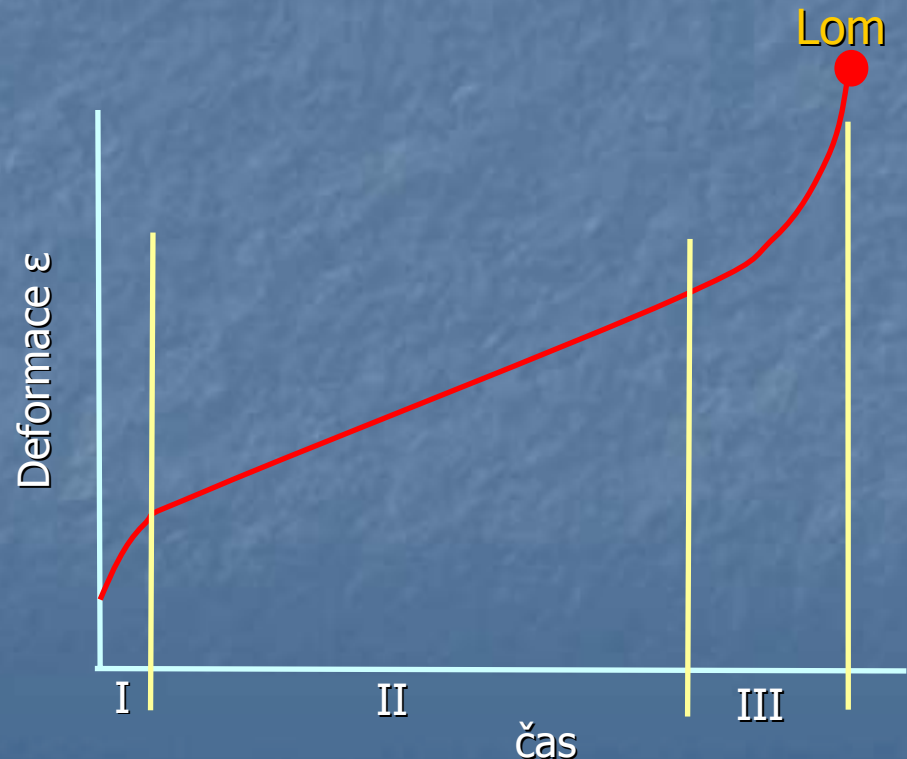
(zkoušky rázem v ohybu,
teplota nulové houževnatosti,
teplota zastavení trhliny.....)



Tečení a relaxace

- Při zvýšených teplotách probíhají v krystalové mřížce souběžně s deformací v závislosti na čase tepelně aktivované zotavovací procesy. Jimi se dosažený odpor proti deformaci zmenšuje, takže i při stálé hodnotě napětí se trvalá deformace tělesa s rostoucí dobou zatěžování zvětšuje – teče (creep).
- Při teplotách nad $0,4 T_T$ vede tečení k lomu – mezní stav nastává i při napětích nižších než je mez kluzu.
- Při homologických teplotách nad $0,6-0,7$ se u většiny kovů projevuje značný pokles napětí potřebného k plastické deformaci – využití při tváření za tepla.

- I – primární tečení
- II – sekundární tečení
- III – terciální tečení



- Relaxací rozumíme časově závislou přeměnu elastické deformace na plastickou, jenž probíhá za vyšších teplot při stálé celkové deformaci:
 $\varepsilon_c - \varepsilon_e - \varepsilon_p = \text{konst.}$
- Pochody, kterými se uskutečňuje nárůst plastické deformace při relaxaci, jsou obdobné jako při creepu. Probíhají však při měnícím se napětí a dosahují podstatně menších plastických deformací.
- Relaxace má však jen dvě stádia odpovídající primárnímu a sekundárnímu creepu!
- Relaxace se projevuje nežádoucím způsobem u nalisovaných a šroubových spojů, a pružin pracujících za vyšších teplot.



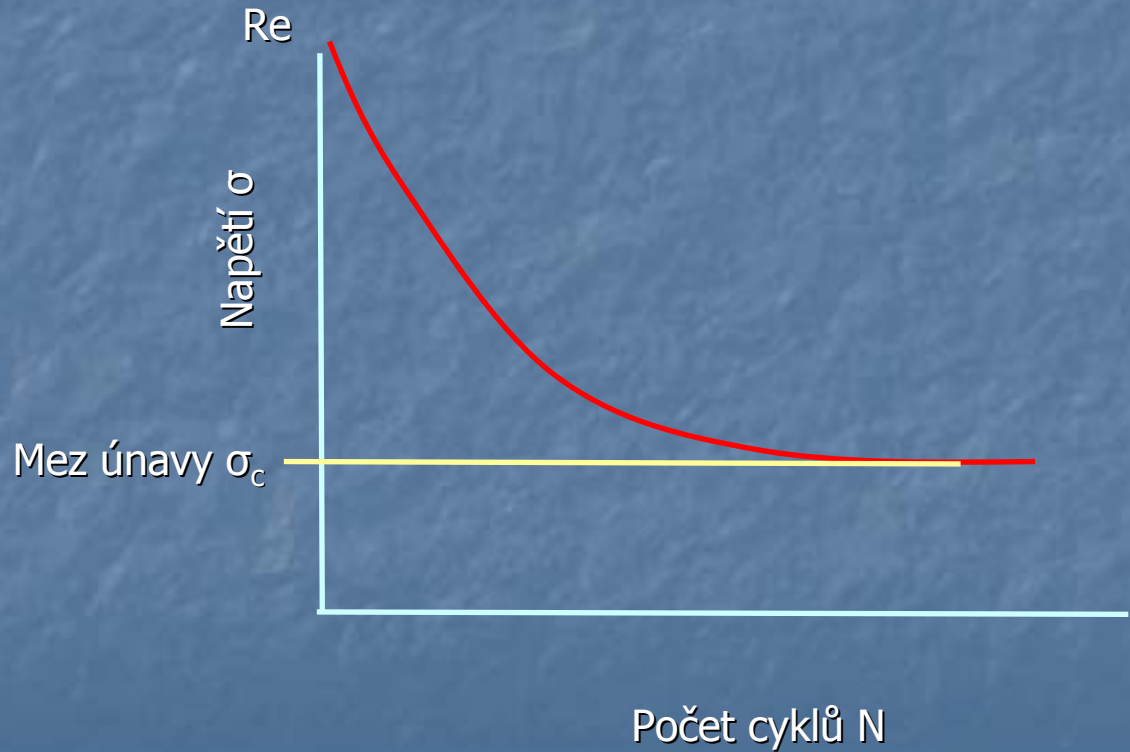
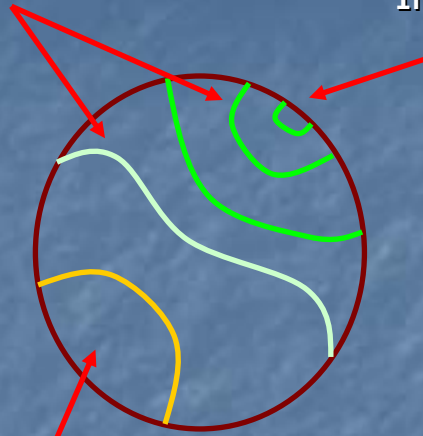
Únava materiálu

- Jen malá část strojních dílců a konstrukcí je namáhána v provozu stálými nebo pomalu měnícími se silami. Většinou jde naopak o opakující se proměnné namáhání (hřídele, čepy, pružiny, mostní konstrukce apod.). Takto namáhané součásti se někdy po určité době provozu porušují při napětích, která jsou značně nižší než je pevnost i mez kluzu materiálu, zjištěná statickou zkouškou.
- V takovém případě mluvíme o únavě materiálu a o únavovém lomu
- Únavový proces je podmíněn střídavou plastickou deformací, která vede ke zvyšování poruchovosti mřížky, interakci poruch a vzniku poškození. Poškozování kovových materiálů únavou je složitý proces, který je možno rozdělit na tři stádia:
 1. změny v mikrostruktuře a poruchovosti mřížky, spojené se změnami vlastností,
 2. vznik zárodků trhlin,
 3. šíření trhlin.Proces končí lomem, který se někdy označuje za čtvrté stádium.

Linie šíření trhliny

Iniciační místo

Statický dolom



Výroba slitin železa

- Principem výroby slitin železa je redukce oxidů železa obsažených v železných rudách.

Výroba železa

```
graph TD; A[Výroba železa] --> B[Nepřímou výrobu železa z rud]; A --> C[Přímou výrobu železa z rud]; B --> D[Produktem redukčních procesů je surové železo, které je dále zpracováváno v ocelárnách nebo slévárnách]; C --> E[Produktem je nauhličené železo ve formě železné houby nebo pelet.]
```

Nepřímou výrobu železa z rud

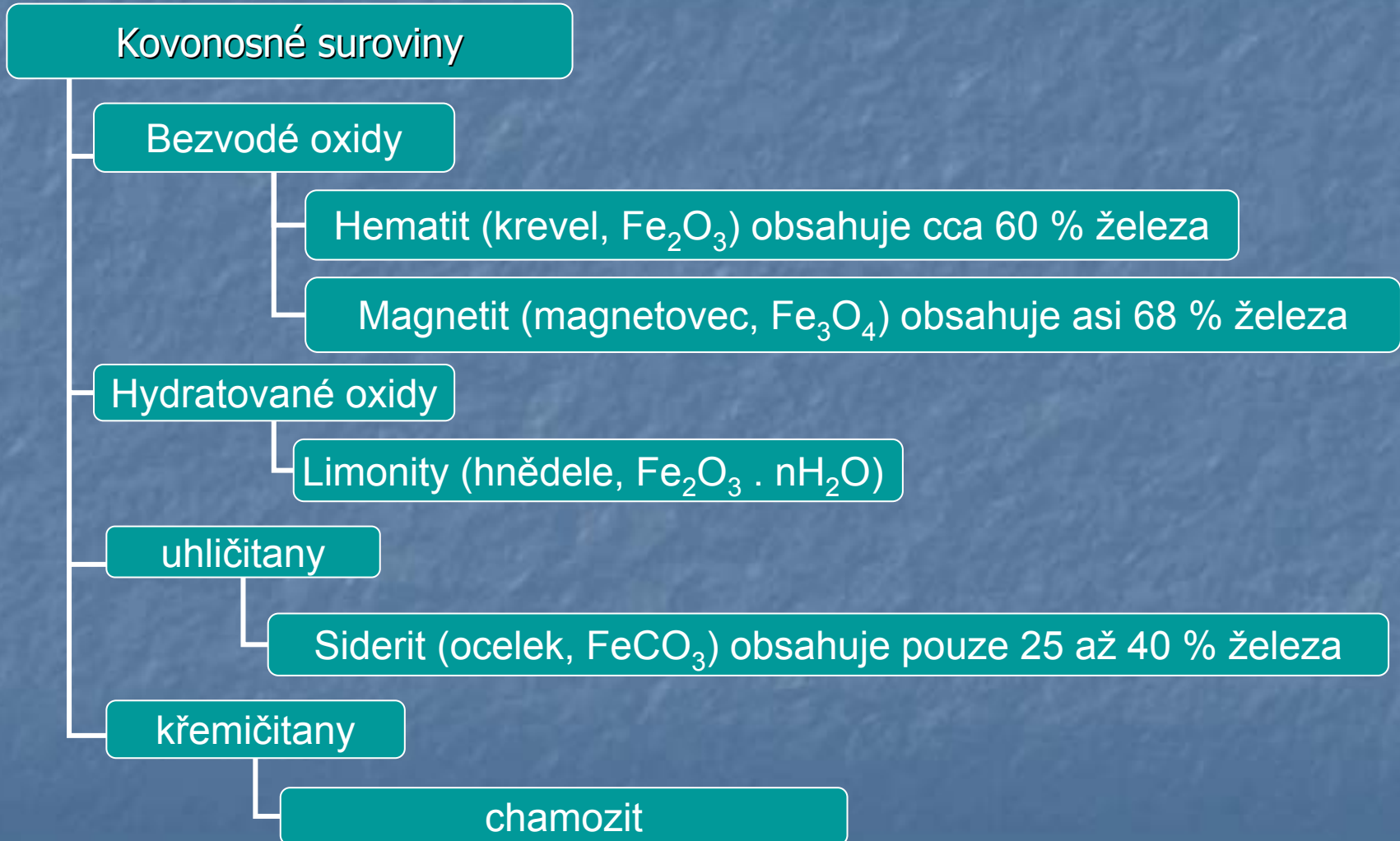
Produktem redukčních procesů je surové železo, které je dále zpracováváno v ocelárnách nebo slévárnách

Přímou výrobu železa z rud

Produktem je nauhličené železo ve formě železné houby nebo pelet.

Produkty přímé redukce se používají jako vsázka do ocelářských pecí, nebo slouží k výrobě železného prášku dále zpracovávaného v práškové metalurgii.

Suroviny pro výrobu slitin železa



- Slitiny železa se vyrábějí především z oxidických rud, a to nejvíce z hematitových rud
- Manganové rudy se používají spolu s železnými rudami jako vsázka do vysoké pece – výsledkem redukce manganových a železných rud ve vysoké peci je **feromangan**.

Palivo a struskotvorné přísady

- Palivem a zároveň redukčním činidlem ve vysokých pecích je metalurgický koks, který obsahuje 83 až 91 % uhlíku a 6 až 12 % popela.
- Většina rud má kyselý charakter a proto jsou struskotvorné přísady zásadité. Hlavní struskotvornou přísadou je vápenec (CaCO_3), dále se používá dolomitický vápenec $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ nebo dolomit.

Výroba surového železa

Výroba ve vysoké peci

- Šachtová pec s plynulým zavážením vsázky (rud, paliva a struskotvorných přísad)
- Palivo se spaluje proudem vzduchu přehřátého na 1000 až 1300 °C a je vháněno do pece výfučnami
- V oblasti výfučen vzniká redukční plyn o teplotě 1800 až 2100 °C (CO a H₂)
- Vyredukované železo je nauhličováno koksem a shromažďuje se v nístěji pece
- Nad hladinou surového železa se shromažďuje struska
- Surové železo i struska se pravidelně vypouštějí



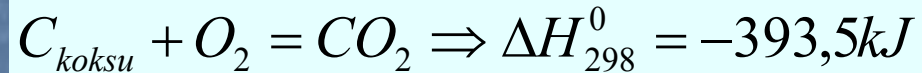
- Vysokou pec lze rozdělit na 6 teplotních zón :
- **Kychta:** V kychtě vysoké pece dochází k zavážení vsázky a odvádění vysokopecního plynu
- **Šachta:** V šachtě předává horký vysokopecní plyn své teplo pevné vsázce. Teplota vsázky vzrůstá proti teplotě okolí na cca 950 °C a oxidy železa se v této zóně částečně redukuje.
- **Rozpor vysoké pece:** Rozpor připojuje šachtu k sedlu vysoké pece. V této části roste teplota dále z 950 °C asi na 1250 °C. Nastává další redukce oxidů železa a začíná reakce s koksem.
- **Sedlo:** Reakce koksu pokračují v zóně sedla. Tvoří se tavenina železa a strusky.
- **Výfučny:** V této zóně se do pece zavádí proud horkého vzduchu pomocí řady výfučen (mezi 16 - 42). Výfučny jsou umístěny okolo horního obvodu nístěje a jsou propojeny velkou rourou (okružní větrovod) obtočenou okolo pece ve výšce sedla. Teplota tady může přestoupit 2000° C a oxidy se zcela zredukuje.
- **Nístěj:** Nístěj shromažďuje tekuté surové železo a strusku. Okolo nístěje jsou umístěny jeden až čtyři odpichové otvory, při čemž je jeden nebo dva v kteroukoliv dobu v provozu.

Šachta, rozpor, sedlo a pás výfučen mají typické chlazení vodou, nístěj se chladí vodou, olejem nebo vzduchem. Pec je vyzděna žáruvzdorným materiálem (nístěj mívá tloušťku přinejmenším až 1,5 m)

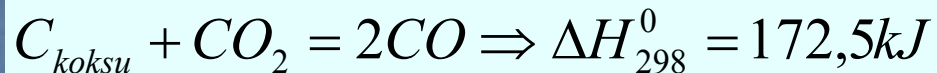
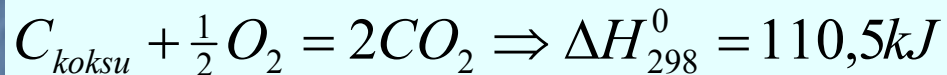
Produkce surového železa se u vysokých pecí pohybuje asi od 0,5 Mt/rok u malých až do téměř 4 Mt/rok u velkých vysokých pecí.

Základní reakce probíhající ve vysoké peci

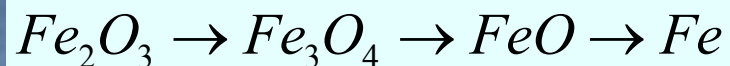
- V oblastech výfučen probíhají reakce spalování koksu kyslíkem



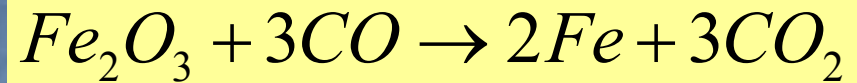
V oblasti vdálenějších od výfučen při nedostatku kyslíku:



Termická disociace oxidů:



Redukce oxidů:



Rozpuštění uhlíku a jiných prvků v železe:

Vyredukovaná železná houba rozpouští v sobě uhlík, ale k intenzivnímu nauhličování dochází až po jeho úplném roztavení přímou reakcí s uhlíkem koksu

Výroba oceli

- Základní surovinou pro výrobu oceli je vedle surového železa ocelový odpad
- Kyslíkový konvertor
- Elektrická oblouková pec
- Ocelářské pochody jsou založeny na snižování prvků, jejichž koncentrace je vyšší, než se požaduje nebo naopak na zvyšování prvků, jejichž koncentrace v oceli je nižší, než se požaduje
- K tvorbě strusky se používá vápno nebo vápenec a tavidla

Postupy snižování koncentrace prvků v oceli:

- Oxidace prvků na plynné oxidy
- Oxidace prvků na oxidy v oceli nerozpustné a jejich absorpce ve strusce
- Rozdělení prvků mezi kov a strusku
- Snížení parciálního tlaku prvku v plynné fázi a jeho převedení do plynné fáze

Postupy zvyšování koncentrace prvků v oceli:

- Legování
- Dezoxidace
- Modifikace

Oxidace

- Kyslík se přivádí ve formě oxidů (rud) nebo dmýcháním plyným kyslíkem
- Oxidace uhlíku (uhlíkový var) má důležitý význam při výrobě oceli – bubliny oxidu promíchávají lázeň

Snížení koncentrace prvků v oceli snížením parciálního tlaku v atmosféře

- Dmýcháním inertního plynu nad taveninu
- Snižování obsahu vodíku a dusíku

Dezoxidace

- Snižování obsahu kyslíku v oceli
- Přidávání prvků se silnou afinitou ke kyslíku
- Nejčastěji – hliník, křemík.....titan
- Vznik oxidů pevných nebo kapalných, které vyplouvají do strusky

Modifikace oceli

Ovlivnění skupenství nebo chemického složení vměstků
vápník

Legování oceli

Prvky s nižší afinitou ke kyslíku než železo (Ni, Cu, Mo, W) je vhodné přidávat před oxidací

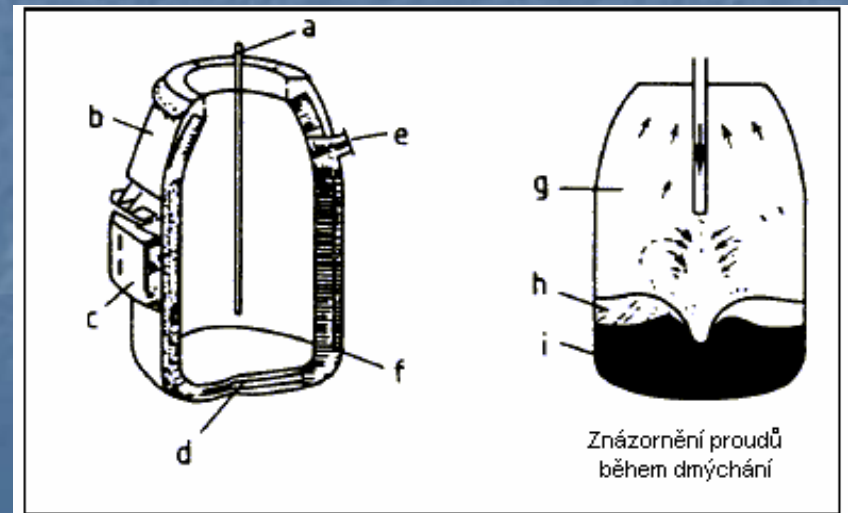
Prvky s vyšší afinitou ke kyslíku (Mn, Cr, V, Si, Al, Nb, Ti) se přidávají do dezoxidované oceli, aby se snížil jejich propal

Výroba oceli v kyslíkovém konvertoru

- Cílem kyslíkové výroby oceli je spálení (tj. oxidace) nežádoucích nečistot obsažených v kovové vsázce. Hlavními prvky, které tudíž přecházejí na oxidy jsou uhlík, křemík, mangan, fosfor a síra.

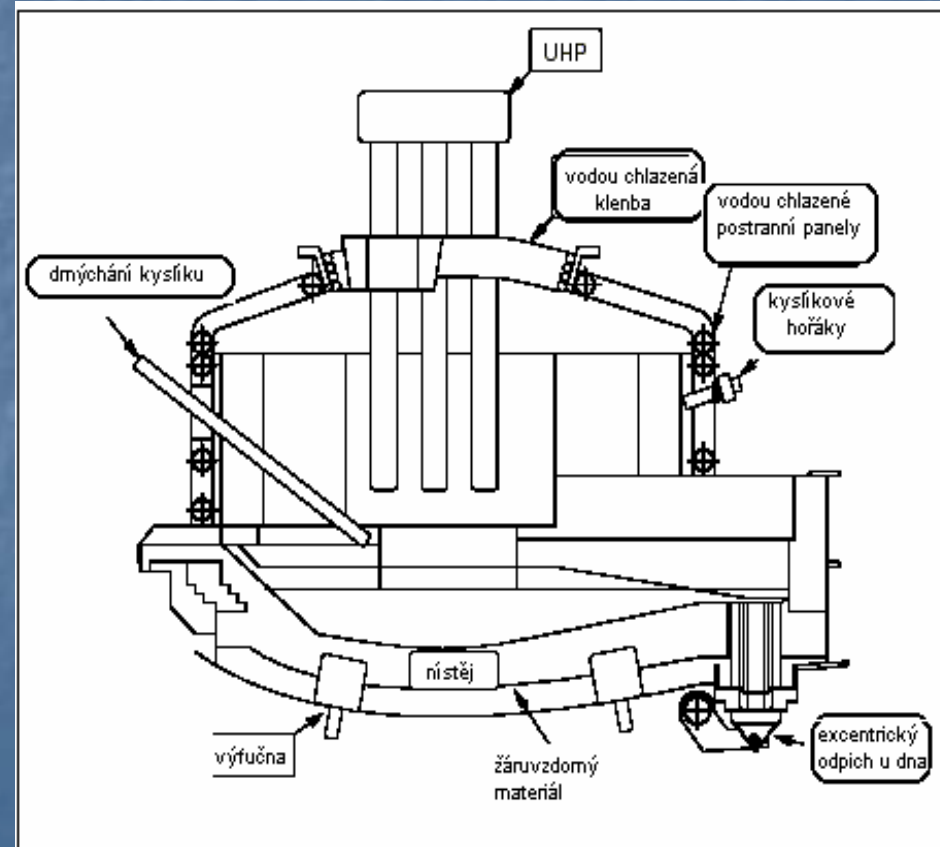
Výroba oceli kyslíkovým pochodem je diskontinuální proces, který zahrnuje následující kroky :

- přepravu a skladování taveniny horkého kovu
- předúpravu taveniny horkého kovu (odsiřování)
- oxidaci v kyslíkovém konvertoru (oduhlíčení a oxidaci nečistot)
- úpravu sekundární metalurgií
- odlévání (kontinuální a/nebo do ingotů)



Výroba oceli v elektrických obloukových pecích

- Hlavní vsázkou do elektrické obloukové pece je železný šrot, který může tvořit šrot z vlastních z oceláren (např. odřezky), odstřížky ze zpracování ocelových výrobků (např. součástí vozidel) a městský nebo spotřebitelský šrot (např. výrobky po uplynutí doby životnosti).
- Zdrojem tepla jsou elektrické oblouky hořící mezi vsázkou a grafitovými elektrodami



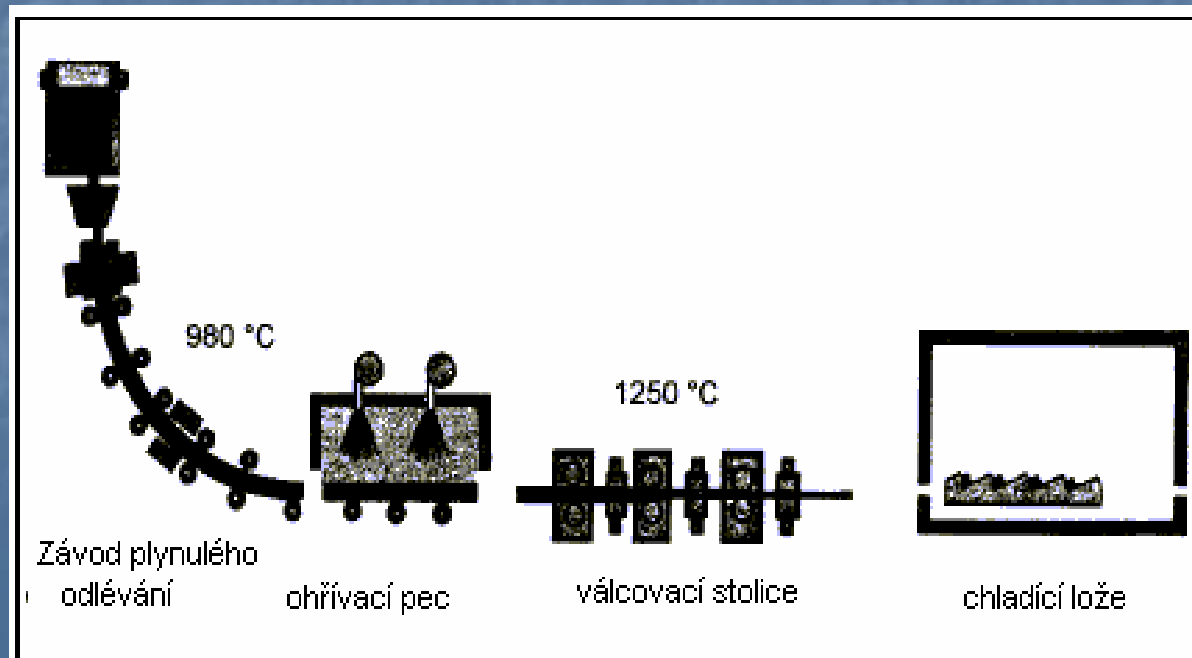
Mimopecní zpracování oceli

- Pracují za atmosférického nebo sníženého tlaku
- S přehřevem či bez přehřevu

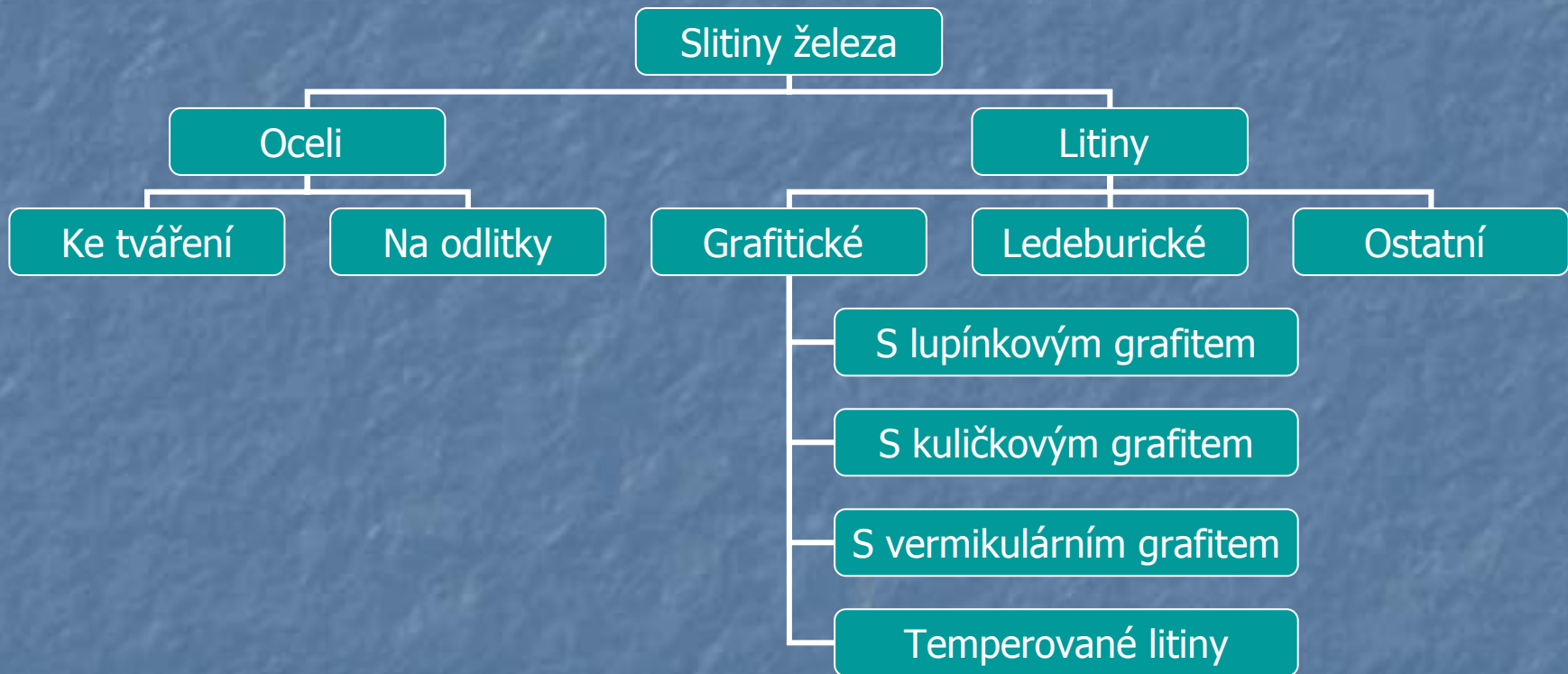


Odlévání oceli

- Dominantní jevy ovlivňující vlastnosti oceli při odlévání a tuhnutí jsou sekundární oxidace a segregace oceli
- Malá část oceli se odlévá ve slévárnách do pískových forem
- Odlévání oceli do kokil – ingoty – další zpracování (válcování, kování)
- Plynulé odlévání – odlévání oceli do krystalizátoru (měděný) – tuhnoucí kov je vytahován.....

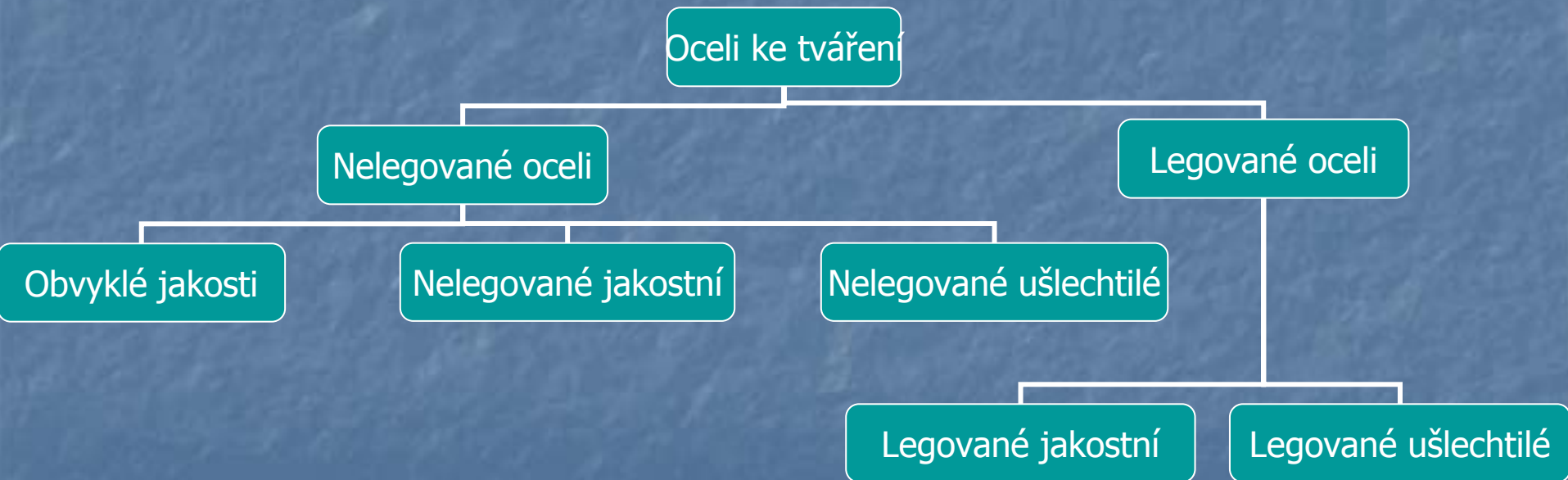


Rozdělení a značení technických slitin železa



Oceli ke tváření

- Definice a rozdělení dle ČSN EN 10020
- Ocelové materiály, jejichž hmotnostní podíl železa je větší než kteréhokoliv jiného prvku a které všeobecně vykazují méně než 2 %C a obsahují i jiné prvky



- Nelegované oceli – určující obsahy jednotlivých prvků v žádné případě nedosahují mezních obsahů (max Mn 1,65%)
- Legované oceli – jednotlivé prvky minimálně v jednom případě dosahují nebo překračují mezní obsah

| | | | |
|----|--------|---------|------|
| Al | 0,10 | Ni | 0,30 |
| B | 0,0008 | Pb | 0,40 |
| Bi | 0,10 | Se | 0,10 |
| Co | 0,10 | Si | 0,50 |
| Cr | 0,30 | Te | 0,10 |
| Cu | 0,40 | Ti | 0,05 |
| La | 0,05 | V | 0,10 |
| Mn | 1,65 | W | 0,10 |
| Mo | 0,08 | Zr | 0,05 |
| nb | 0,06 | Ostatní | 0,05 |

Hlavní skupiny jakosti nelegovaných ocelí

- Oceli obvyklých jakostí – nejsou určeny pro TZ
- Nelegované jakostní oceli – vyšší nároky při namáhání, křehkost..
- Nelegované ušlechtilé oceli:

Jsou určeny pro TZ nebo povrchové kalení, mají přesně stanovené chemické složení a často zvláštní podmínky výroby:

- Oceli s požadavky na nárazovou práci v zušlechtěném stavu
- Oceli s požadavky na hloubku zakalené vrstvy
- Oceli s požadavky na zvláště nízké obsahy nekovových vměstků
- Oceli s předepsaným nejvyšším obsahem P a S
- Oceli s minimálními hodnotami KV většími než 27 J na podélných vzorcích při -50 °C
- Oceli pro jaderné reaktory
- Feriticko – perlitické oceli s 0,25 %C
- Oceli s předepsanou minimální hodnotou el. vodivosti
- Oceli pro předepínací výztuž do betonu

Hlavní skupiny jakosti legovaných ocelí

Legované jakostní oceli – pro podobné použití jako nelegované jakostní

- Svařitelné jemnozrnné oceli pro ocelové konstrukce a tlakové nádoby
- Oceli legované Si nebo Si a Al se zvláštními požadavky na magnetické a elektrické vlastnosti
- Oceli určené na výrobu kolejnic a důlních výztuží
- Oceli pro ploché výrobky válcované za tepla nebo za studena určené pro náročnější tváření za studena
- Oceli legované pouze mědí

Legované ušlechtilé oceli:

- Nerezavějící oceli s obsahem uhlíku menším nebo rovno 1,2 % a obsahem Cr větším 10,5 %
- Rychlořezné oceli – nad 0,6 %C a 3-6 %Cr + Mo, W, V nad 7 % dohromady
- Ostatní legované ušlechtilé oceli

Systemy označování ocelí

- Zkrácené označování (EN 10027-1)
- Číselné označování (EN 10027-2)
- Čísla a písmena jsou volena tak, aby vyjadřovala základní charakteristické znaky

System zkráceného označování

- Podle jejich použití a mechanických nebo fyzikálních vlastností
- Na základě jejich chemického složení

- Značka je tvořena 3 skupinami znaků a číslic

| | | | |
|------|------|-------|-------|
| 1. s | 2. s | 3.a s | 3.b s |
| X | n | X | X |

1 – velká písmena

2 – číslo – nejčastěji mez kluzu nebo mez pevnosti.....

3a – dodatečné vlastnosti (KV, TZ.....)

3b – souvisí s použitím oceli

S-ocelové konstrukce

L-potrubí

E-strojní součásti

R-kolejnice

.....

př: S355JR

- dle chemického složení:
- s obsahem do a nad 1% Mn

1s 2s 3s

- nelegované oceli s Mn méně než 1%

C 40

- nelegované oceli s vyšším obsahem Mn

- 10CrMo 9-10

- legované oceli:

X2 CrNiMo 17-13-2 - ocel s 0,02%C

- rychlořezné oceli:

1s 2s

HS n-n (W-Mo-V-Co)

číselné označování:

1.nnnn(nn)

číslo před tečkou je hlavní číslo skupiny materiálů

dvojčíslí za tečkou udává číslo skupiny materiálů

1.4408

Označování litin (ČSN EN 1560)

■ Zkrácené označování:

1. Pozice obsahuje EN
2. Pozice obsahuje znaky GJ (odlitek z litiny)
3. Pozice uvádí označení pro tvar grafitu velkým písmenem (L,S,M,V,N,Y)
4. Pozice se připojuje jen v případě označení makro-mikrostruktury (A,F,M,L,Q,T,B,W)
5. Pozice uvádí mechanické vlastnosti nebo chem. Složení +způsob výroby zkušebního vzorku (S,U,C)

EN GJL-150C litina s lupínkovým grafitem, s minimální pevností 150 MPa

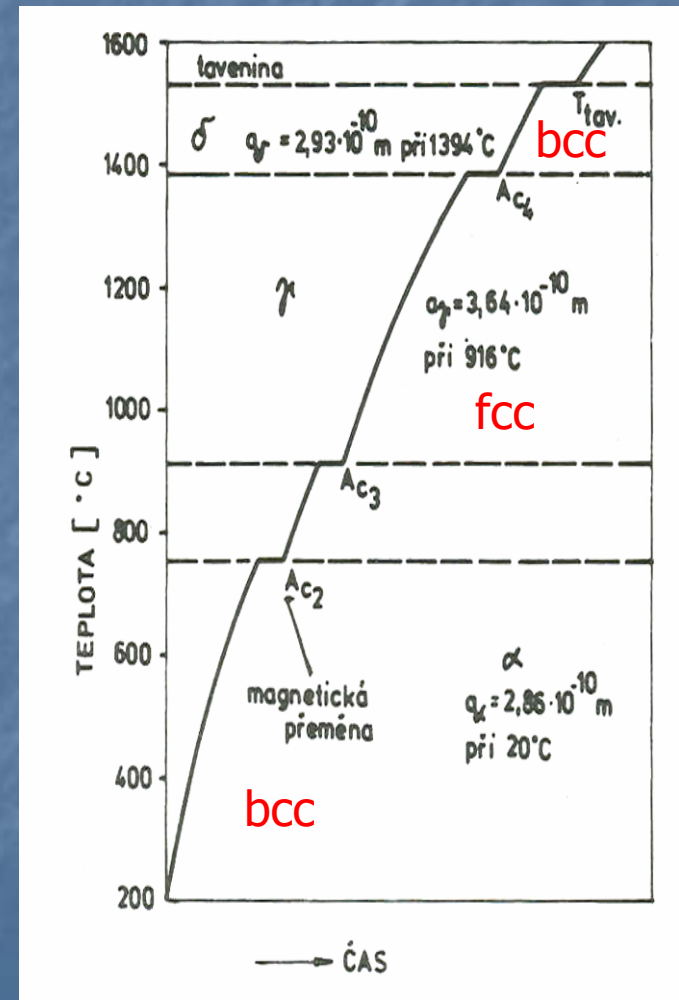
■ Číselné označování:

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| E | N | - | X | X | n | n | n | n |

- 1 – 3 pozice – znak EN
 - 4 pozice – písmeno J
 - 5 pozice – tvar grafitu
 - 6 pozice – symbolizuje hlavní vlastnost litiny (0-9)
"1 pevnost, 2 tvrdost, 3 chem. Sl.,
 - 7 - 8 pozice – označení jednotlivých materiálů
 - 9 pozice – udává zvláštní požadavky na jednotlivé materiály (0-9)
- 4,5 – KV , 7 – tepelně nezpracováno.....

Železo a jeho slitiny

- Železo se v závislosti na teplotě vyskytuje ve dvou krystalografických modifikacích.
- Až do teploty 911 °C je stabilní modifikace s krystalickou mřížkou krychlovou prostorově středěnou, která se označuje jako modifikace α . Modifikace α je magnetická až do teploty 760 °C, nad touto teplotou ztrácí železo své magnetické vlastnosti.
- Nemagnetická modifikace s krychlovou mřížkou prostorově středěnou se označuje jako modifikace β .
- V intervalu teplot 911 až 1392 °C má železo krychlovou mřížku plošně středěnou, označovanou jako modifikace γ .
- Nad tímto intervalem teplot až do teploty tavení nabývá železo opět krystalickou mřížku krychlovou prostorově středěnou, která se označuje jako modifikace δ .



Slitiny železa s uhlíkem

- Komplexní slitiny nejenom s uhlíkem, ale i dalšími prvky jako je mangan, křemík, titan aj. popř. další nečistoty – kyslík, dusík, vodík
- Na vlastnosti technických slitin železa má významný vliv uhlík. Podle jeho obsahu lze slitiny železa rozdělit na:
 - Slitiny s velmi nízkým obsahem uhlíku
 - Oceli s obsahem uhlíku asi do 2 %
 - Surová železa a litiny s obsahem uhlíku nad 2 %
- Uhlík ve slitinách železa překrývá vliv dalších přítomných prvků – proto budeme s určitou nepřesností vycházet z binárního rovnovážného diagramu slitin železa s uhlíkem a odvozovat tak závěry o jejich struktuře a vlastnostech

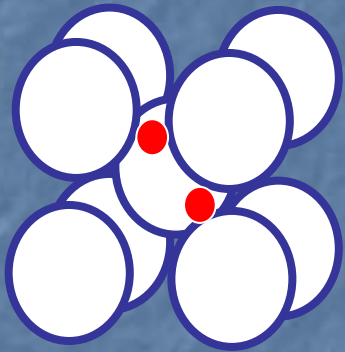
Uhlík v železe

Rozpustnost uhlíku v železe závisí na modifikaci a teplotě

V železe α (ferit alfa) se uhlík rozpouští jen zcela nepatrně, při teplotě 727 °C jen 0,02 %C, při 500 °C klesne na 0,004 % a při 20 °C je řádově 10^{-7} %.

V železe γ se může rozpustit až 2,11 %C.

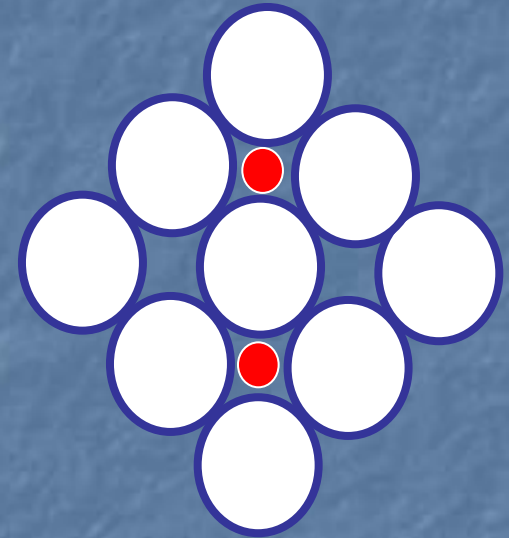
V železe δ (ferit delta) je rozpustnost až 0,1 %C.



Umístění atomů uhlíku
v mřížkách železa

Alfa

Gama



Při větším obsahu uhlíku, než odpovídá hranici rozpustnosti, vzniká při dané teplotě nová fáze – Fe_3C , karbid železa (cementit).

Je ortorombický, teplota tavení cca 1380 °C, bez žádné alotropické modifikace.

Je velmi tvrdý (800 HV), zvyšuje tvrdost slitin železa, zároveň však klesá houževnatost.

- Vedle Fe_3C existují ještě přechodové karbidy vznikající při popouštění oceli – $\text{Fe}_{2,4}\text{C}$ a FeC
- Atomy uhlíku mohou být nahrazeny jinými vhodnými prvky o malém atomovém poloměru – N, B, H
- Také atomy železa mohou být nahrazeny jinými prvky přibližně stejného atomového poloměru jaký má železo – Mn, Cr
 - Vznikají tak komplexní karbidy $(\text{Fe}, \text{Mn})_3\text{C}$ - kde lze nahradit železo manganem v každém poměru
 - Železo chromem lze nahradit až do 10 % - $(\text{Fe}, \text{Cr})_3\text{C}$
 - Nebo i vanadem a wolframem do 5 %.
- Náhrada železa v cementitu je tím obtížnější, čím je poloměr atomu přísady odchylnější od atomového poloměru železa.
- Cementit není stabilní nad 400 °C a začíná se rozpadat na svoje složky (železo a uhlík-grafit) – tento rozpad označujeme jako grafitizaci
 - Grafitizace je např. příčinou křehnutí ocelí za vysokých teplot!

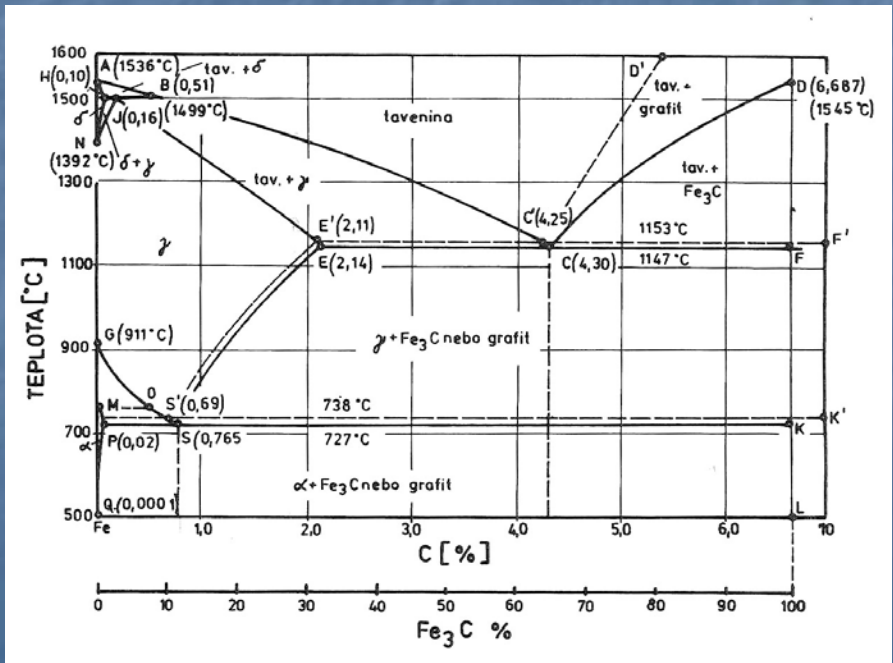
Rovnovážná soustava slitin železa s uhlíkem

Diagram se znázorňuje do obsahu uhlíku 6,69 % - což odpovídá 100 % Fe_3C (cementit) – tato soustava (Fe- Fe_3C) se označuje jako soustava metastabilní
Podle této soustavy se chovají většinou oceli (plná čára)

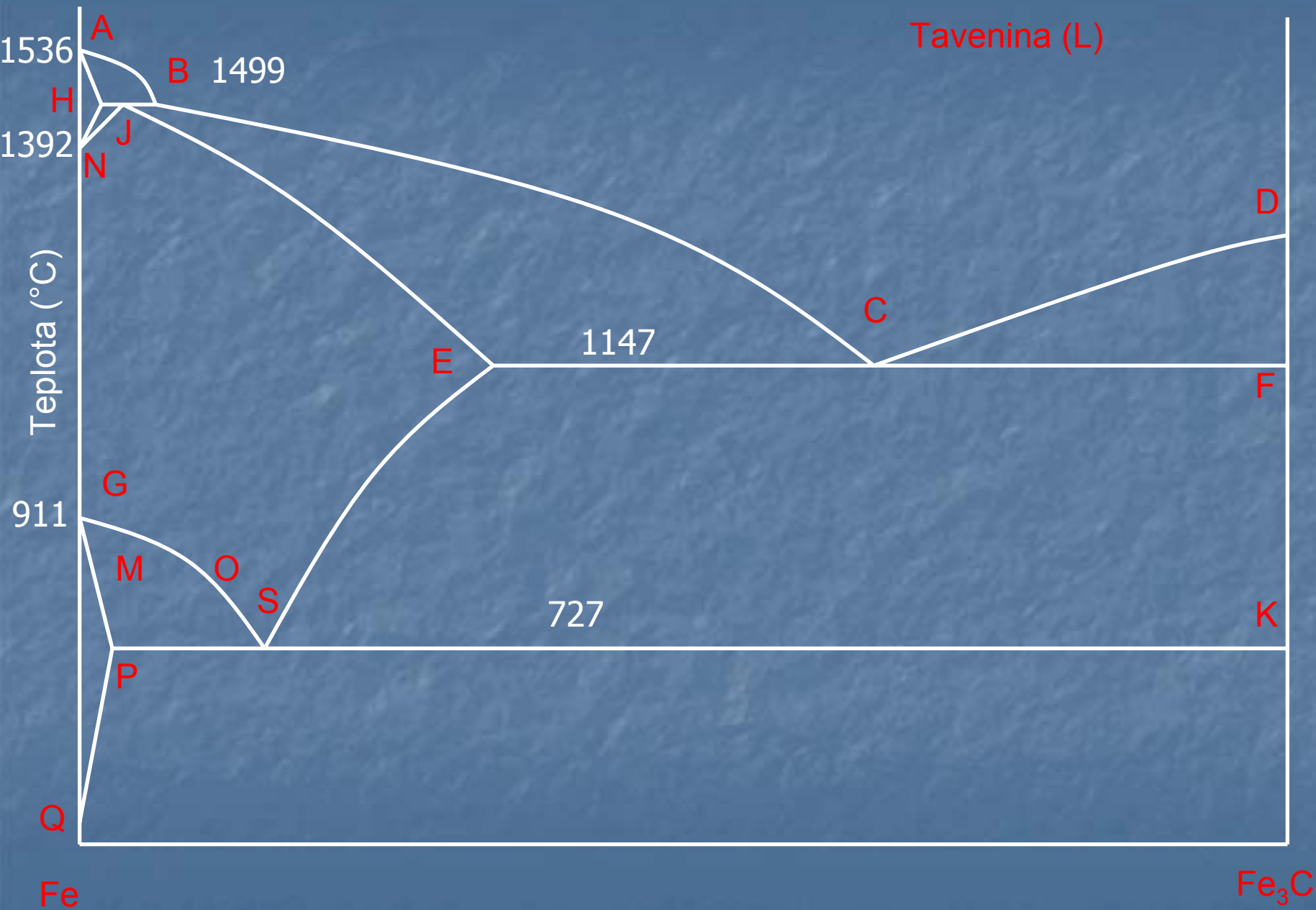
Druhý typ diagramu Fe-C je soustava stabilní, podle této soustavy se chovají grafitické litiny a surová železa (čárkovaná čára)

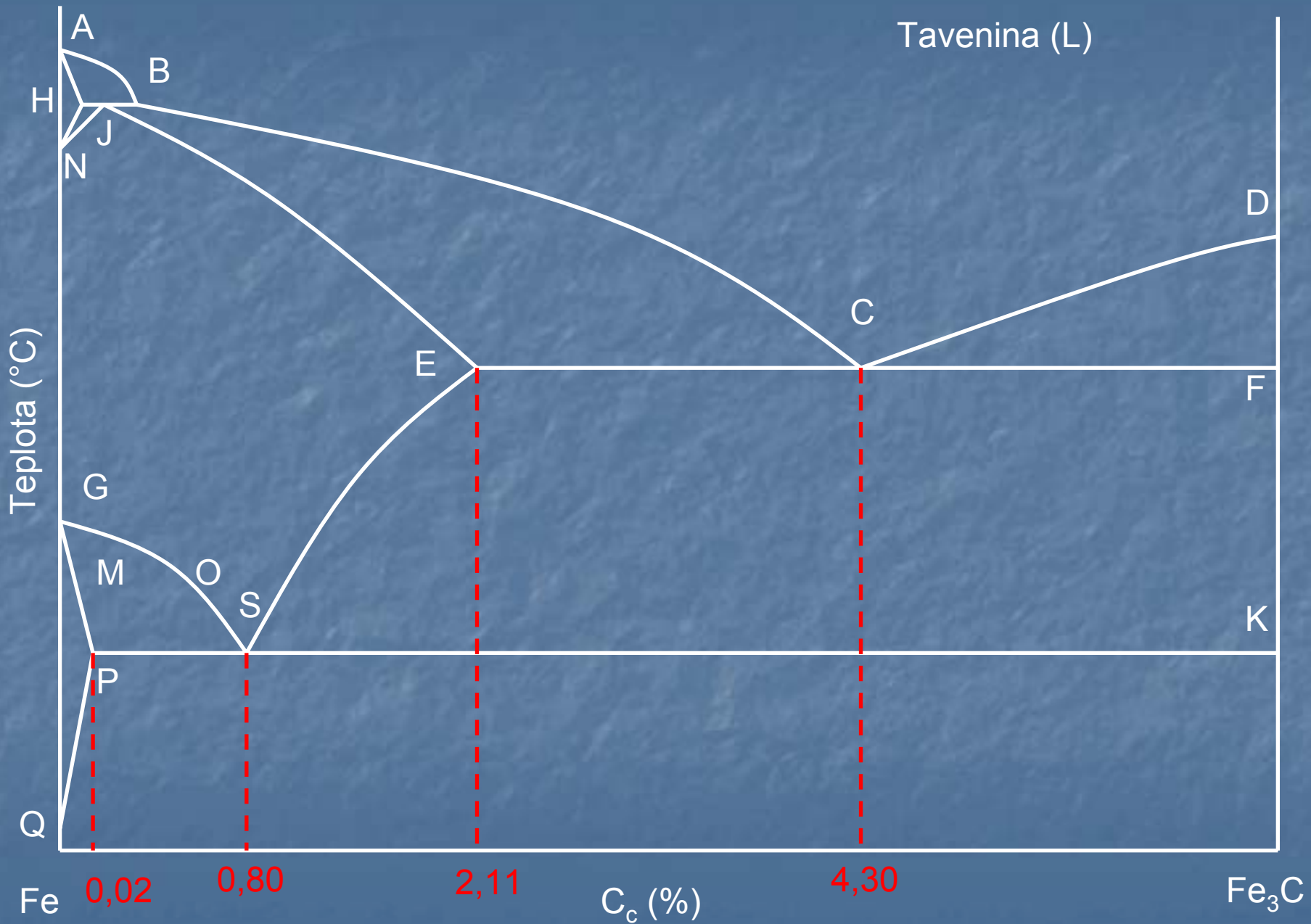
O tom zda slitina bude krystalizovat ve shodě s metastabilní nebo stabilní soustavou rozhodují zejména tyto okolnosti:

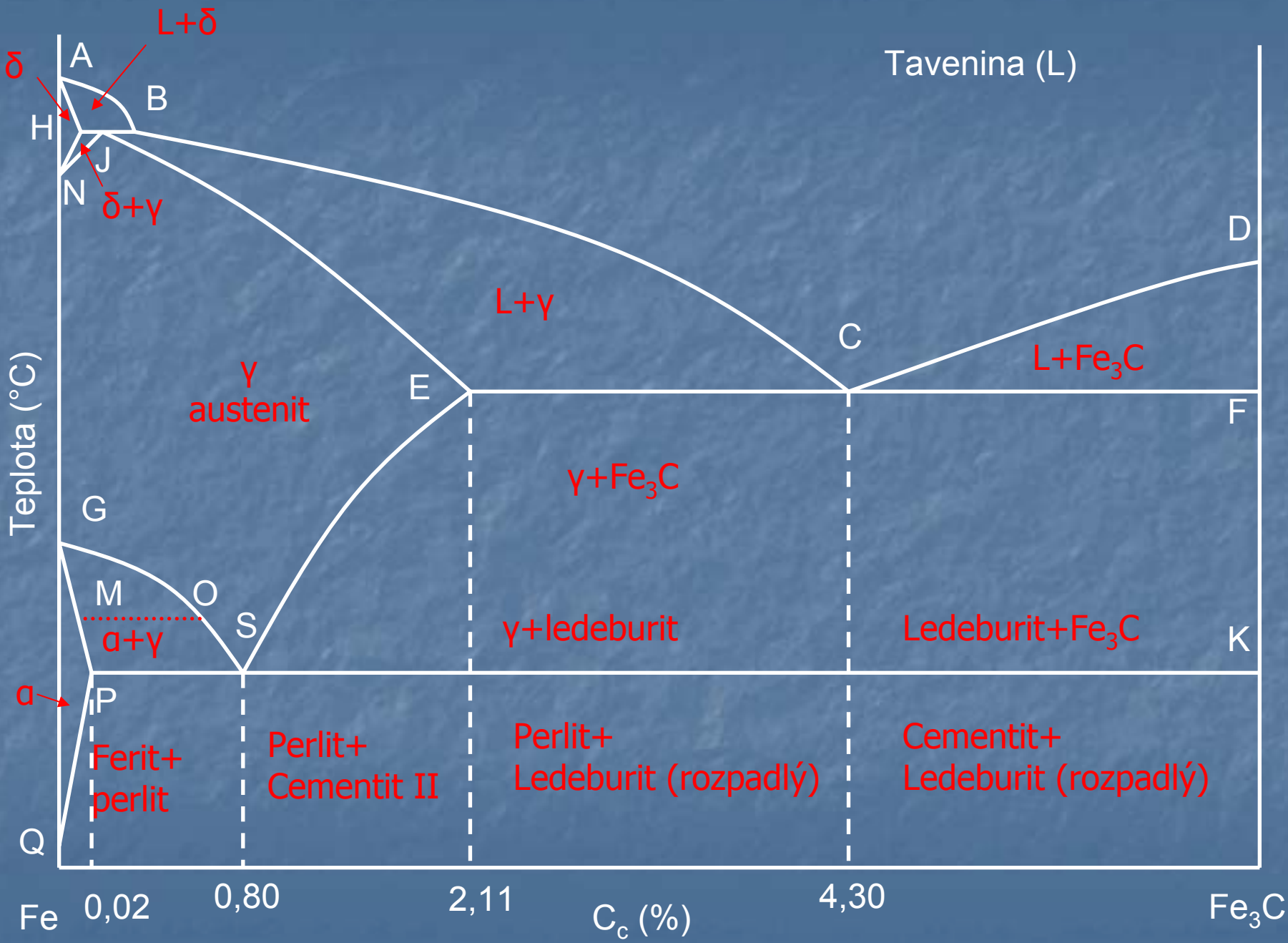
- Přítomnost dalších prvků (Mn podporuje krystalizaci dle MD, křemík dle SD)
- Rychlost ochlazování (rychlé – MD, pomalé – SD)
- Obsah uhlíku (pod 2,11% MD nad SD)

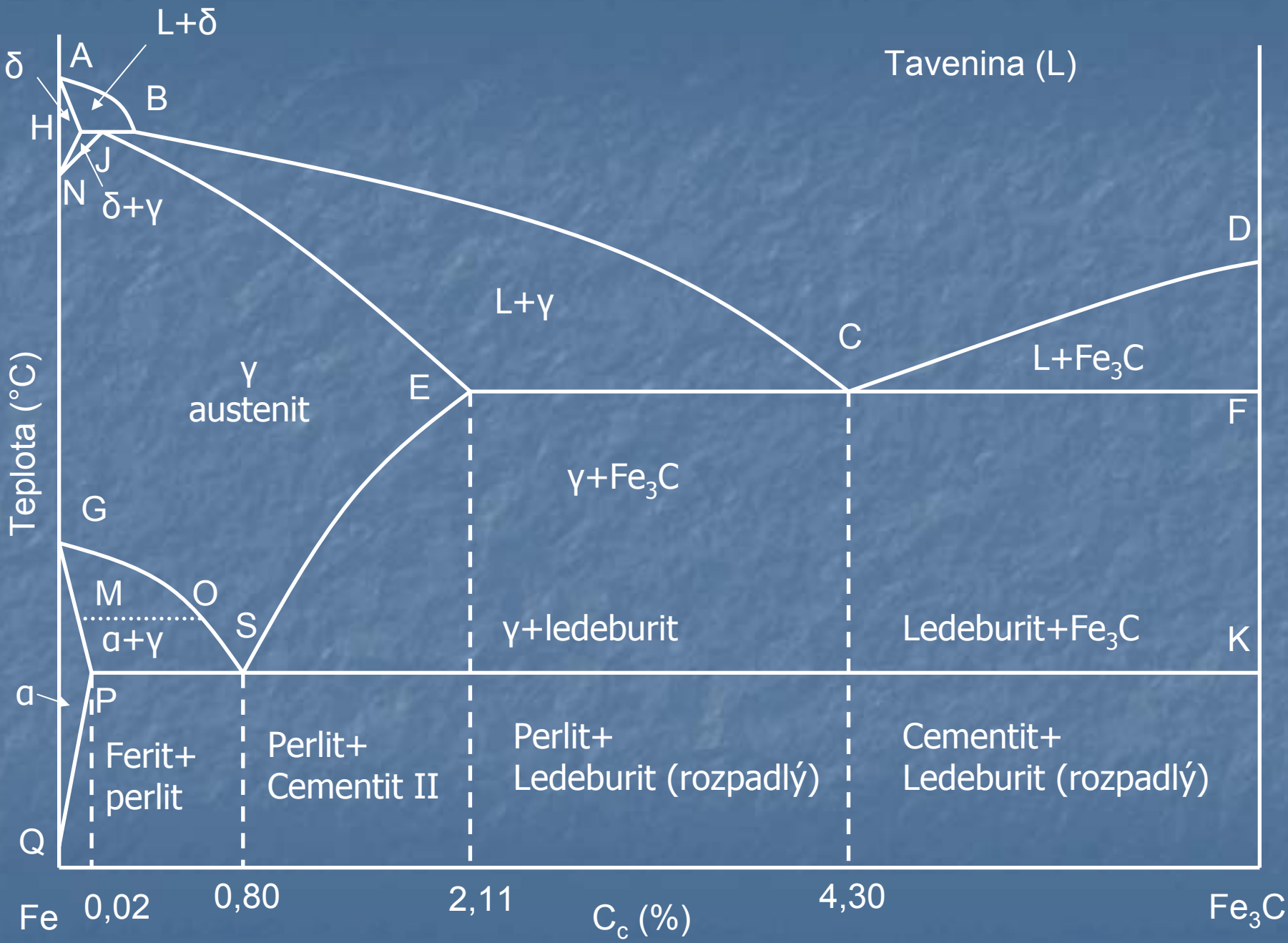


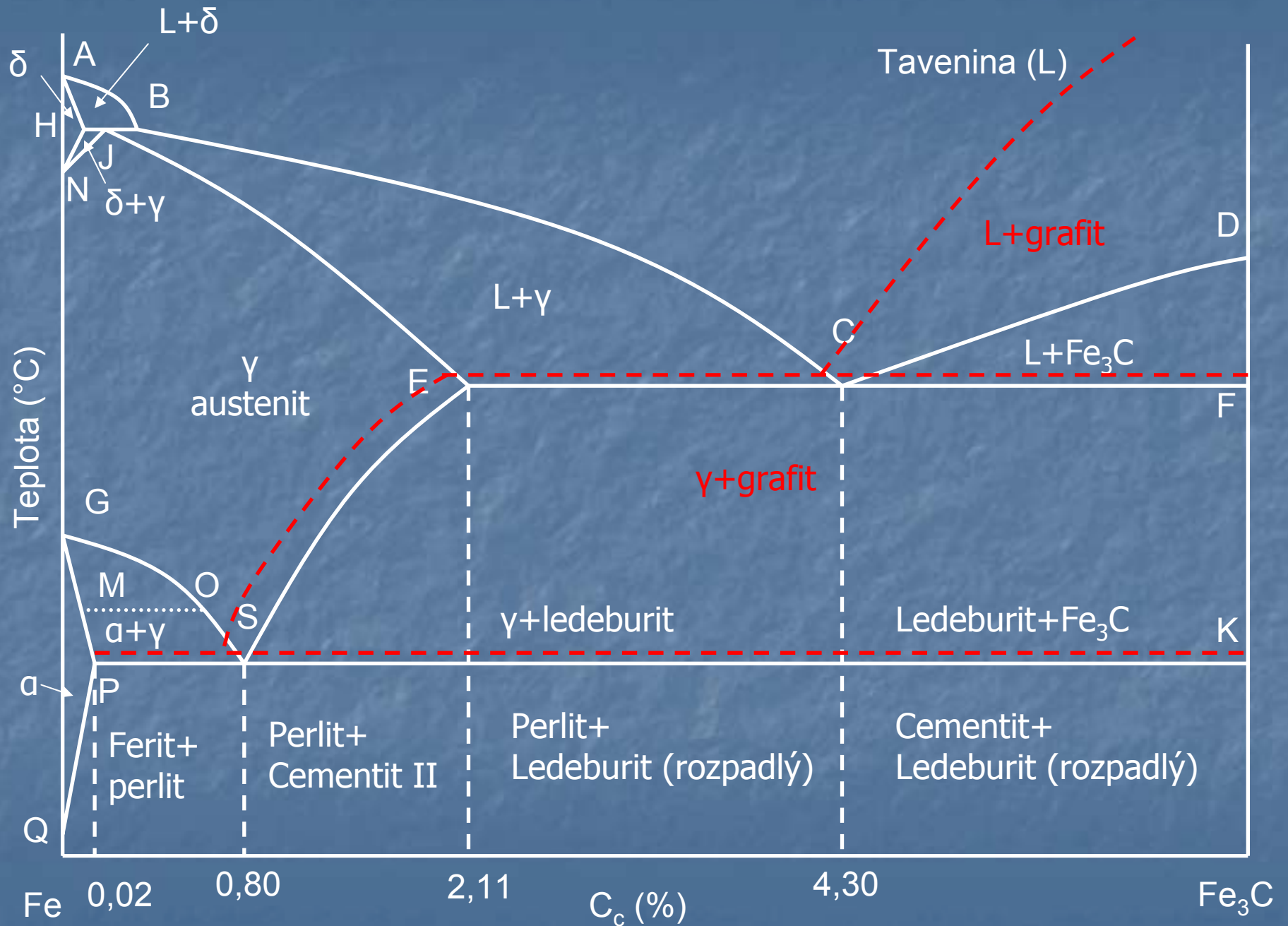
Metastabilní a stabilní soustava železa s uhlíkem











Metastabilní soustava Fe – Fe₃C

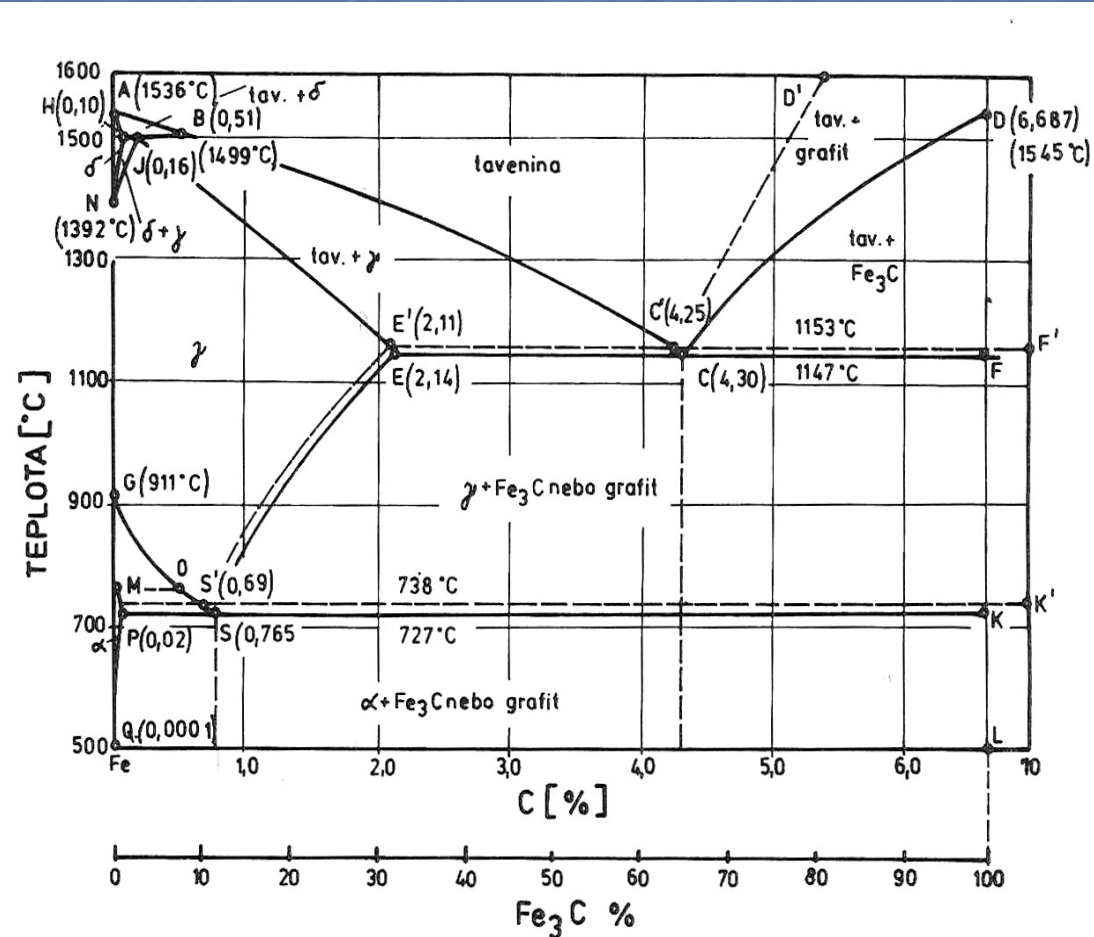
- Likvidus rovnovážného diagramu má dvě větve ABC a CD – protínají se v eutektickém bodě C a ECF je eutektikála
- Solidus je dán body AHJECF

Pod čarou solidu dochází k dalším přeměnám:

GOS – vylučování feritu z austenitu

ES – vylučování sekundárního cementitu

S – přeměna austenitu na perlit (eutektoid)



- Technické slitiny železa s uhlíkem na základě rovnovážného diagramu můžeme potom rozdělit na dvě hlavní skupiny:

- Slitiny s obsahem uhlíku do 2,1 % - oceli
- Podeutektoidní do 0,8 %C
- Eutektoidní s 0,8 %C
- Nadeutektoidní nad 0,8 do 2,1 % C
- Slitiny s obsahem uhlíku nad 2,1 % - surová železa a litiny
- Podeutektické 2,1 – 4,3 %C
- Eutektické 4,3 %C
- Nadeutektické nad 4,3 %C

Strukturní složky (rovnovážné) v diagramu Fe-Fe₃C a Fe-C

- Ferit – tuhý roztok v železe alfa nebo delta
- Austenit – tuhý roztok uhlíku v železe gama
- Cementit – intersticiální sloučenina
- Primární – z taveniny
- eutektický – při eutektické krystalizaci
- Sekundární – vylučuje se při ochlazování austenitu (na hranicích)
- Terciální – vylučuje se z feritu při ochlazování
- Grafit – čistý krystalický uhlík (primární, sekundární, eutektoidní, terciální)
- Ledeburit – eutektikum složené z austenitu a cementitu
- Grafitové eutektikum – směs austenitu a lupínkového grafitu
- Perlit – eutektoid složený z feritu a cementitu
- Grafitový eutektoid – směs feritu a grafitových zrn

Vliv dalších prvků



Doprovodné prvky škodlivé

- Zhoršují ve většině případů technologické i užité vlastnosti slitin železa – snažíme se jejich obsah minimalizovat!

Fosfor

- Je součástí vsázkových surovin
- U ocelí je obsah pod 0,04 %P, v litinách je 0,5 %P i více
- Uzavírá oblast gama
- Tvoří fosfidy
- Při vyšším obsahu (šedá litina) vzniká fosfid Fe_3P (15,6 %P) - tvoří binární eutektikum Fe – Fe_3P
- Při větším obsahu uhlíku vzniká ternární eutektikum Fe - Fe_3P - Fe_3C (steadit) což je typická složka litiny.
- V litinách zvyšuje tekutost, ale snižuje houževnatost
- U ocelí vyvolává popouštěcí křehkost, zvyšuje t_p a zhoršuje svařitelnost

Síra

- Podle způsobu výroby obsahují oceli od 0,005 do 0,07 %S
- V litinách i přes 0,15 %S
- Vzniká sulfid FeS
- Zhoršuje mechanické vlastnosti zejména při dynamickém namáhání, svařitelnost, korozivzdornost
- Zlepšuje obrobitelnost

Kyslík

- Zvyšuje tvrdost a křehkost
- Je třeba, aby vměstky měly zrnitý tvar a nebyly rozmístněny po hranicích zrn

Dusík

- Dostává se do železa z pecní atmosféry při výrobě
- Rozpustnost při teplotě 1600 °C je 0,04 – 0,05 %, při 20 °C je 0,0005 %N
- Vylučuje se z přesyceného tuhého roztoku jako Fe_4N nebo Fe_{16}N_2
- Nitridy se vylučují přednostně na hranicích zrn nebo na skluzových rovinách
- Dusík je příčinou deformačního stárnutí ocelí!

Vodík

- V železe se rozpouští jen v atomárním stavu a umísťuje se v intersticiálních polohách
- Zhoršuje mechanické vlastnosti (R_m , R_e)

Doprovodné prvky prospěšné

Mangan

- Rozšiřuje oblast gama
- Snižuje difúzi uhlíku – při vyšším obsahu zpomaluje přeměnu α na γ tak, že již při normálním ochlazování nedojde k eutektoidní přeměně a ocel zůstane austenitická i při teplotě 20 °C
- Zvyšuje mez kluzu i pevnost, hrubnutí zrna, tvařitelnost za studena, odolnost proti opotřebení

Křemík

- Zvyšuje R_e , R_m , odolnost proti korozi v kyselinách
- Zmenšuje elektrickou i tepelnou vodivost, rychlost difúze uhlíku v železe

Přísadové prvky

- Umožňují dosáhnout specifických vlastností
- Volba prvků se podřizuje hlavnímu cíli např:
 1. Zvýšení pevnosti a tvrdosti aniž by se snížila houževnatost ocelí: Mn, Si, Ni, Mo, V, W, Cr
 2. Zvýšení prokalitelnosti: Cr, Mn, Mo, V....
 3. Vytvoření tvrdých karbidů odolných proti opotřebení: W, Cr, V, Mo
 4. Zmenšení sklonu k růstu zrna: Al, V, Ti
 5. Zvýšení žárovevnosti: Cr, Mo, V, W...
 6. Zvýšení odolnosti proti oxidaci za vysokých teplot: Cr, Si, Al
 7. Korozivzdornost: Cr, Ni, Mo, Si, Cu

Jako přísadových prvků se používají téměř všechny kovy a řada nekovů

- K legování se používá jednoho nebo více prvků
- Přísadové prvky se rozpouštějí ve feritu nebo austenitu za vzniku substitučních nebo intersticiálních tuhých roztoků

Vliv přísadových prvků se obecně projevuje:

- Změnou termodynamické stability základních tuhých fází ve slitinách železa
- Změnou mechanických a fyzikálních vlastností
- Vznikem nových fází
- Změnou mechanismu a kinetiky fázových přeměn v tuhém stavu

Přeměny austenitu

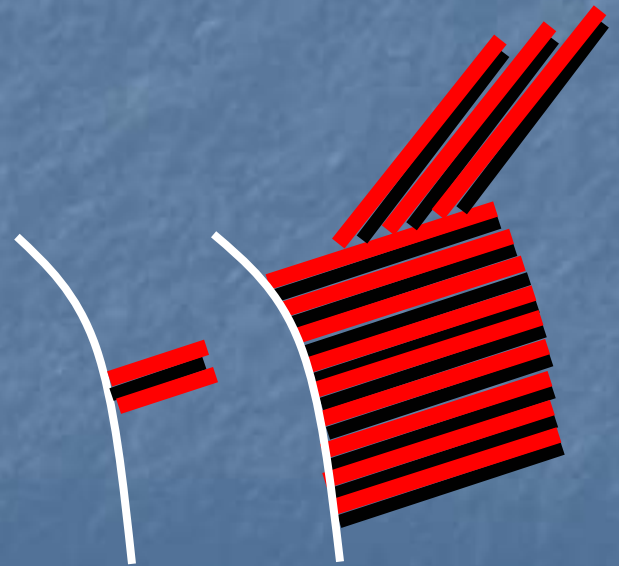
- Při poklesu teploty polymorfní oceli pod kritické teploty A_3 , A_m , A_1 , dochází k přeměnám přechlazeného austenitu
- Základem je přeměna železa γ na α , doprovázená změnou rozpustnosti uhlíku
- Teplota přeměny je závislá na difúzi uhlíku a železa, která s klesající teplotou klesá, přičemž difúze železa klesá rychleji
- Teplotní interval A_1 až 450 – 500 °C – kde je dostatečně účinná difúze uhlíku i železa odpovídá perlitická přeměna
- 500 – 200 °C – difúze uhlíku je ještě dostačující, železo již prakticky nedifunduje – bainitická přeměna
- Pod 200 °C není možná difúze uhlíku ani železa – přeměna martenzitická

Perlitická přeměna

- Austenit uhlíkové oceli o eutektoidním složení se rozpadá na perlit – eutektoidní směs feritu a cementitu (karbidů)
- Začíná heterogenní nukleací vedoucí fáze na hranicích austenitických zrn
- Vedoucí fází může být ferit i cementit (závisí na přesycení austenitu)
- Přesycení je dáno polohou austenitu v MD ke křivkám GS a SE
- ES – pravděpodobnost vzniku feritického zárodku
- GS – pravděpodobnost vzniku cementitického zárodku

■ S klesající teplotou izotermické přeměny nebo s rostoucí rychlostí ochlazování v intervalu A_1 až $500\text{ }^\circ\text{C}$ se zvětšuje počet zárodků perlitu – zmenšení mezilamelární vzdálenosti perlitu (zvýšení houževnatosti, pevnosti, tvrdosti)

■ Rozeznáváme perlit lamelární a zrnitý (globulární) vznikající velmi pomalým ochlazováním v okolí teploty A_1 nebo sferoidizačním žíháním

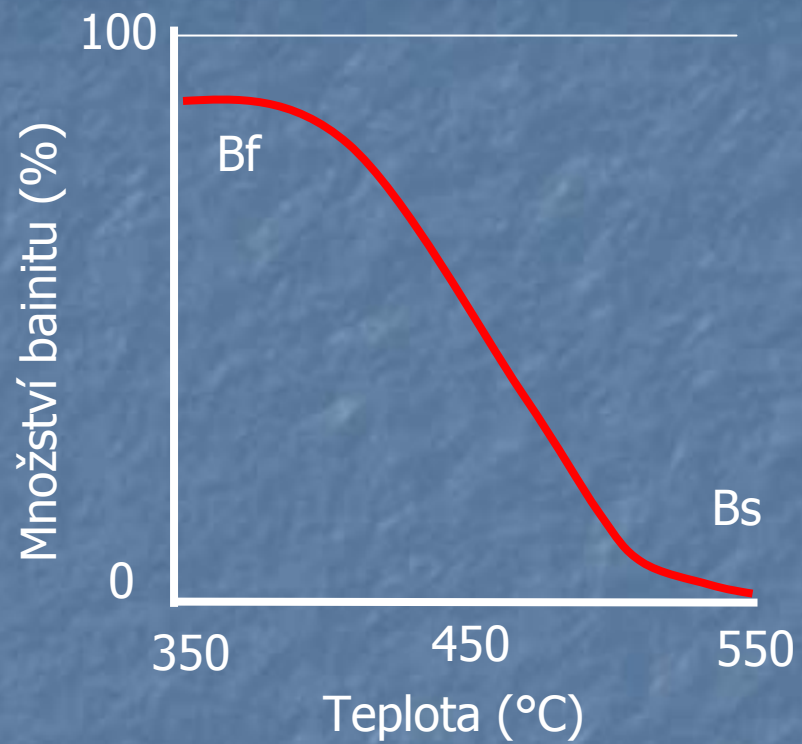


Bainitická přeměna

- Transformace austenitu na ferit se uskutečňuje smykem
- Vzniku a růstu bainitického feritu předchází (doprovází) difúze uhlíku a následná precipitace cementitu
- Vzniká rozpadem austenitu mezi teplotami 500 °C a teplotou Ms
- U uhlíkových ocelí dochází k částečnému překrývání C-křivek P a B přeměny (přechod mezi strukturami je plynulý)
- U legovaných ocelí (W, Cr...) jsou přeměny odděleny oblastí větší stability austenitu
- V závislosti na teplotě vzniku rozeznáváme horní a dolní bainit

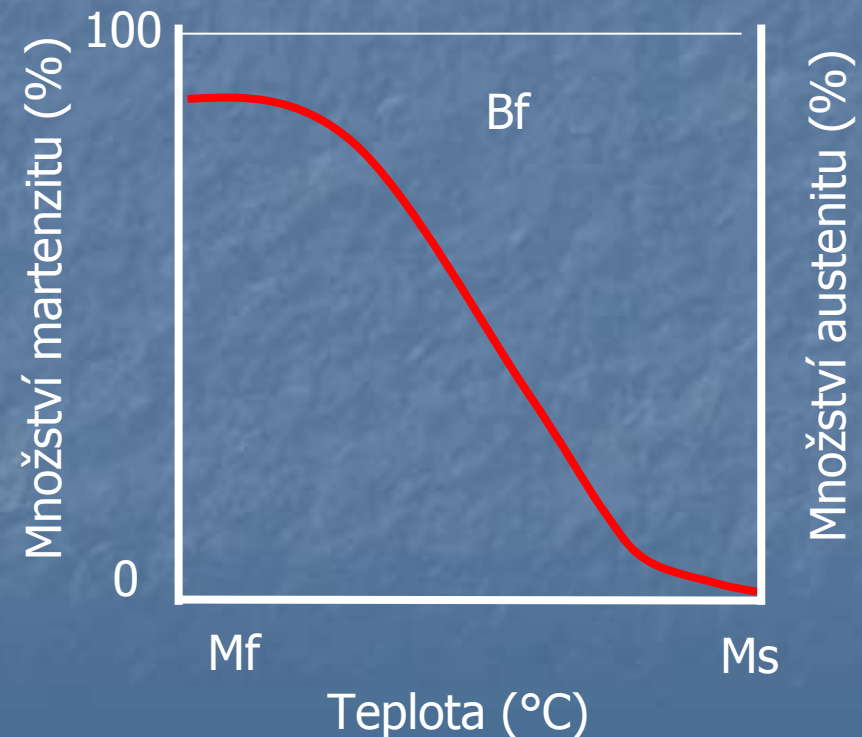


Bainitická křivka



Martenzitická přeměna

- Přeměna austenitu bezdifúzní přeměnou
- Nutnost ochladit austenitizovanou ocel pod teplotu M_s v čase kratším, než je doba potřebná k zahájení perlitické nebo bainitické přeměně
- Minimální rychlost se nazývá kritická rychlost kalení – v_k (uhlíkové ocele $1000 \text{ K}\cdot\text{s}^{-1}$)



Martenzit má tetragonální mřížku

- Martenzit je tvrdší než původní fáze
- Tvrdost je dána zpevňujícími mechanizmy:
- Zpevnění tuhého roztoku (zejména pak intersticiálním uhlíkem)
- Zpevnění vyvolané hranicemi martenzitických útvarů
- Substrukturní zpevnění (dislokační nebo dvojčatový martenzit)

- Zpevňovací mechanizmy společně se značným vnitřním pnutím způsobují vysokou křehkost martenzitu
- S obsahem uhlíku se zvyšuje nebezpečí vzniku kalicích mikrotrhlin

Vznik předčasných a zbrzděných lomů!

Vysoká tvrdost a křehkost zakalené oceli se odstraňuje popouštěním (následuje ihned po kalení)

Popouštění oceli

- Ohřev následující bezprostředně po zakalení, při kterém nerovnovážné fáze martenzit a zbytkový austenit procházejí změnami
 - 4 stádia popouštění
1. stádium – cca do 200 °C – rozpad tetragonálního martenzitu na nízkouhlíkový martenzit kubický (do 0,125 %C) a nerovnovážný karbid ϵ ($\text{Fe}_{2,4}\text{C}$) s těsně uspořádanou hexagonální mřížkou. První stádium je spojeno pouze s mírným poklesem tvrdosti
 2. stádium – 200 až 300 °C – rozpad zbytkového austenitu ve strukturu bainitického typu. Spojeno se snížením tvrdosti nebo zvýšením dle obsahu zbytkového austenitu
 3. Stádium – nad 300 °C – tvorba cementitu za současného rozpadu nízkouhlíkového martenzitu na ferit. Monotóní pokles tvrdosti a pevnosti současně se zvýšením tvárnosti
 4. Stádium – nad 500 °C – hrubnutí částic cementitu a feritu. U vysokolegovaných ocelí v tomto stádiu precipitují speciální karbidy zvyšující tvrdost – sekundární tvrdost

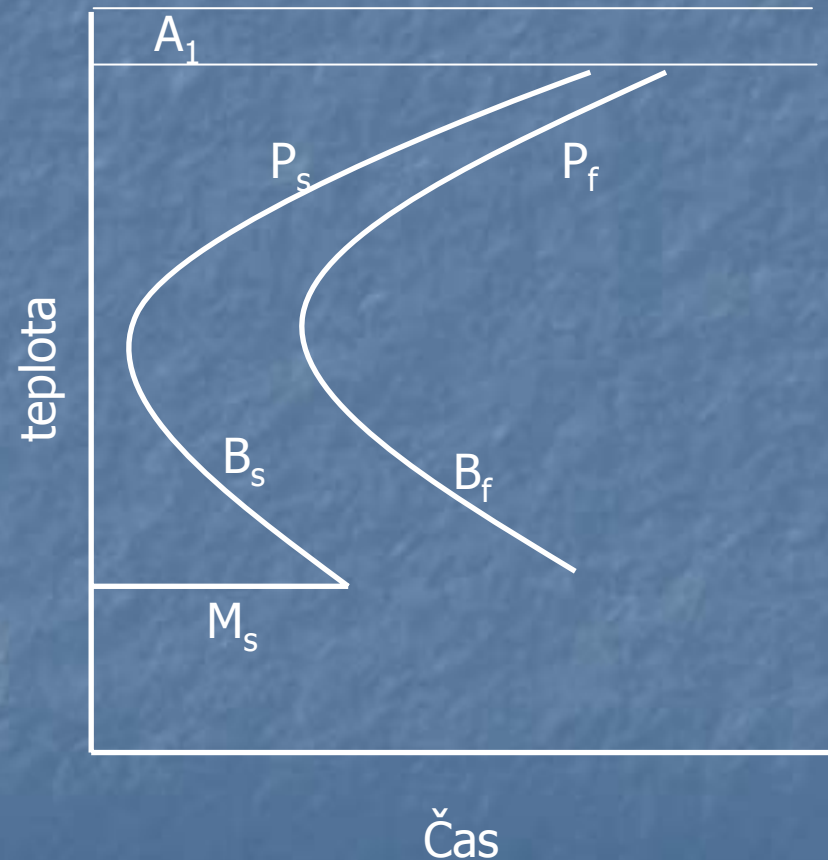
Transformační diagramy ocelí

- Znázorňují teplotní a časovou závislost průběhu přeměn přechlazeného austenitu
- Při stálé teplotě rozpadu austenitu – izotermický rozpad austenitu
- Různá rychlost ochlazování – anizotermický rozpad austenitu

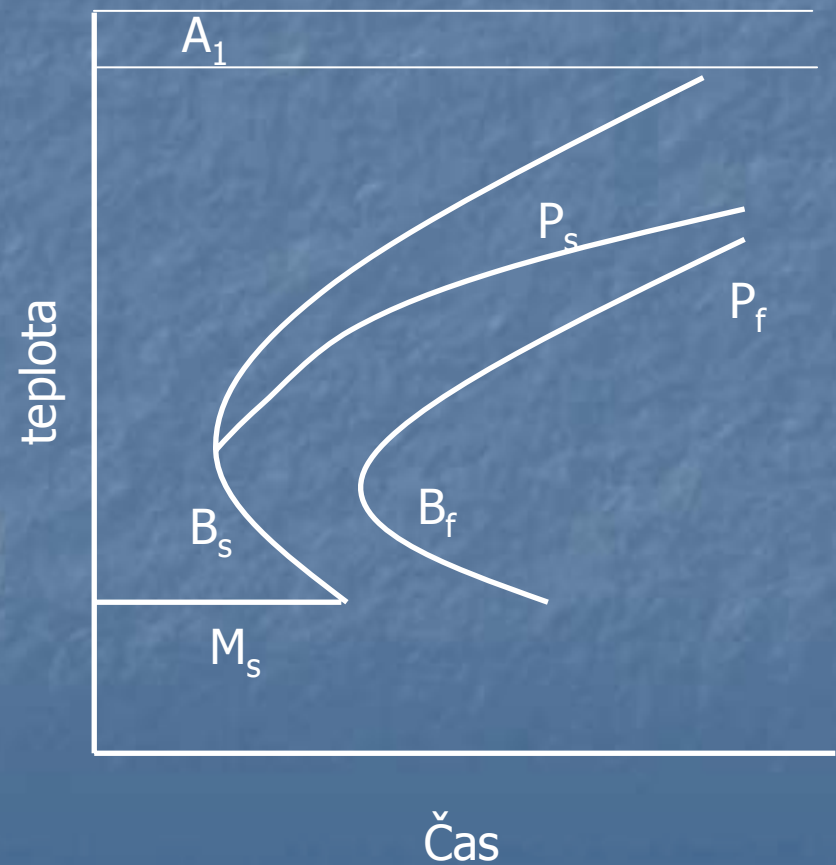
- Osy T a t
- Polohy začátků a konců přeměn austenitu
- Stanovují se na základě experimentů, nově i též na základě termodynamických výpočtů

IRA

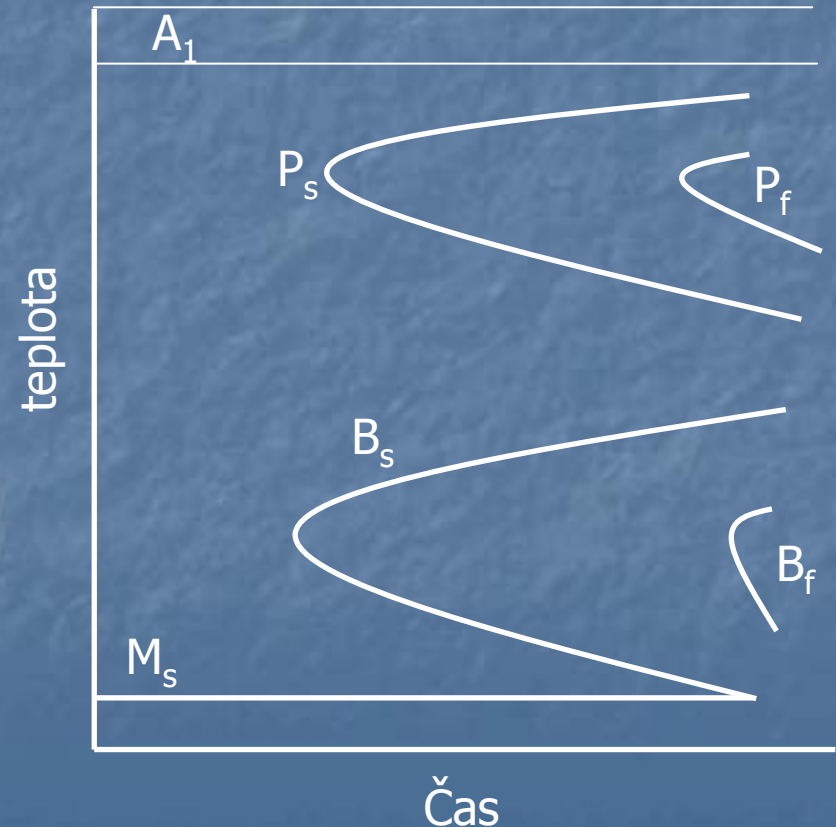
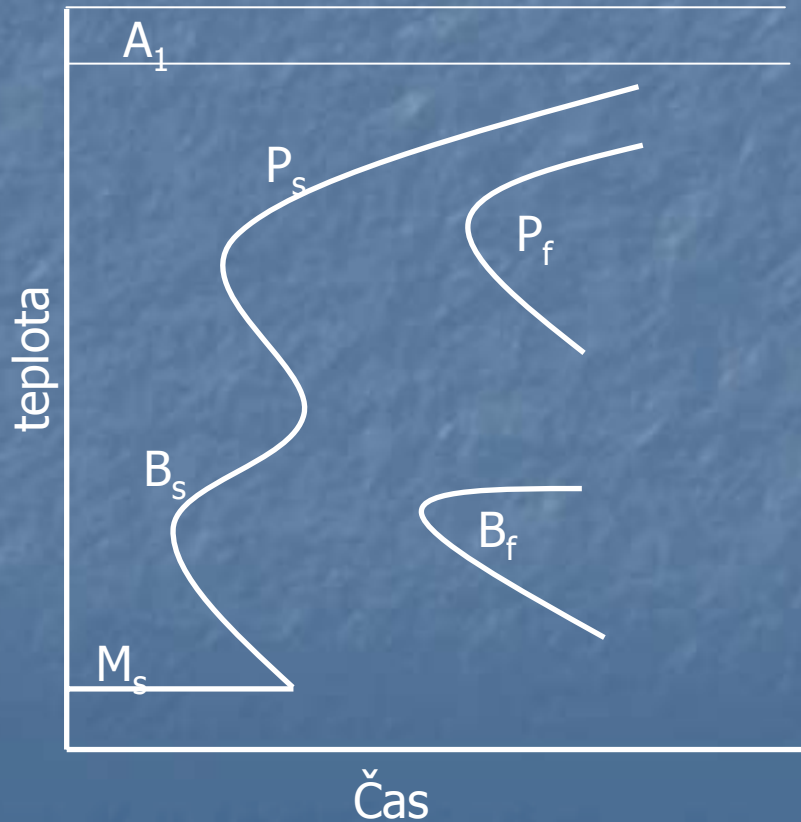
- Křivky počátku a konce perlitické přeměny mají tvar C
- C křivky počátku a konce perlitické přeměny se u uhlíkových ocelí v určité oblasti překrývají – jsou nahrazeny společnou křivkou
- V intervalu teplot A_1 a nosu (550 °C u uhlíkových ocelí) vzniká lamelární perlit
- Mezilamelární vzdálenost perlitu s klesající teplotou se zmenšuje
- Pod nosem do M_s převládá bainitická přeměna
- Pod M_s probíhá bezdifúzní martenzitická přeměna



- U ocelí o jiném složení než eutektoidním začíná přeměna austenitu vylučováním proeutektoidního feritu nebo cementitu (sekundární)

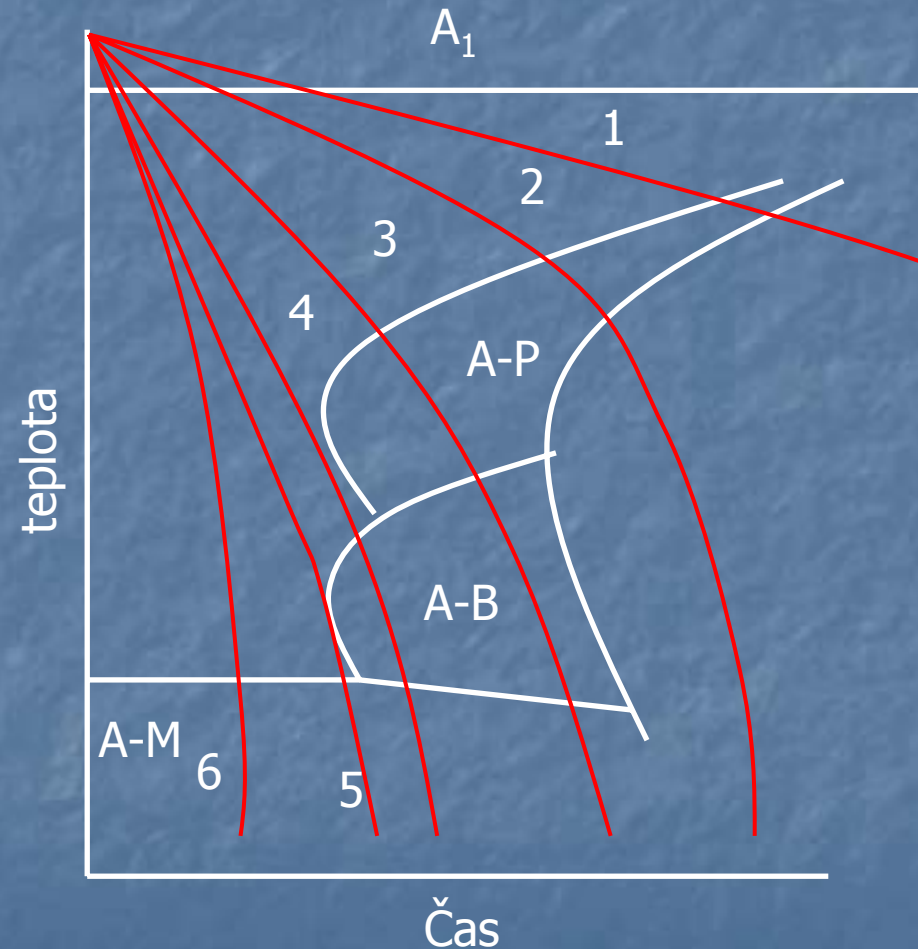


- Tvar a poloha křivek diagramu IRA je ovlivněna zejména chemickým složením
- Kromě Al, Co všechny přísadové prvky zvyšují jeho stabilitu (posun křivek doprava)
- Prvky rozpustné ve feritu (Ni, Si, Cu...) nemění tvar diagramu
- Prvky karbidotvorné (Mo, Cr, V, W..) mění tvar diagramu – oddalují od sebe perlitickou a bainitickou oblast

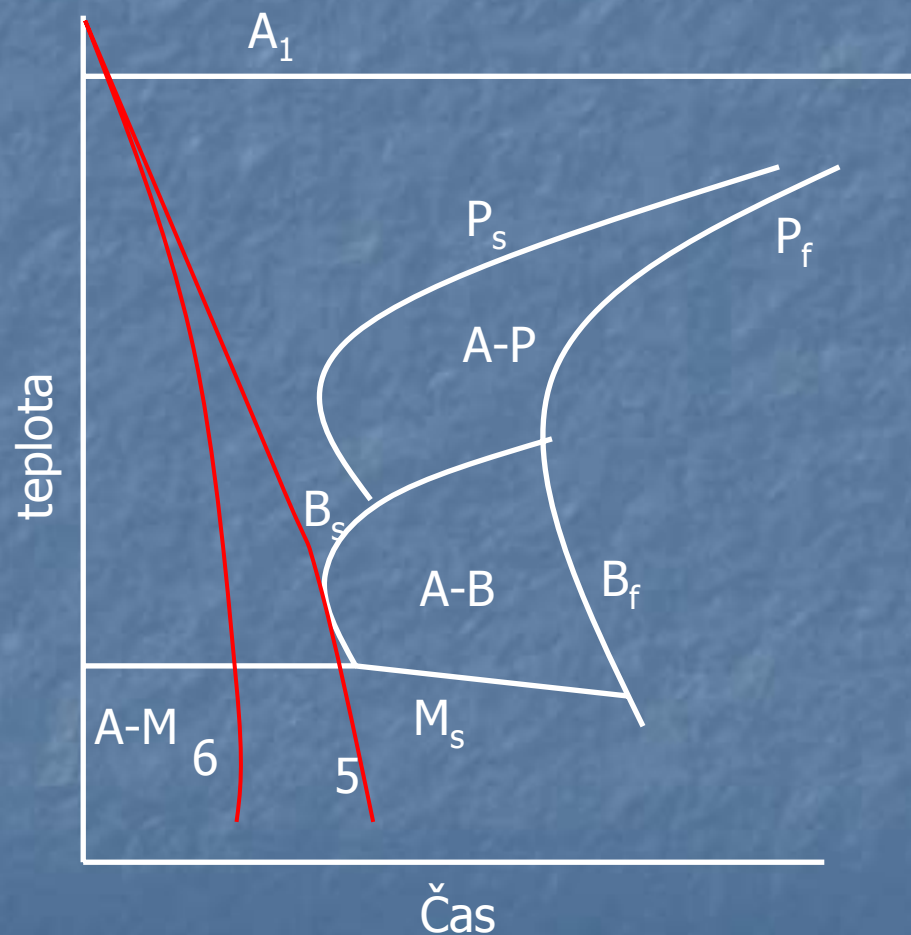


ARA

- Křivky počátků a konců přeměn získány při plynulém ochlazování různými rychlostmi
- Diagramy ARA je nutné sledovat ve směru jednotlivých křivek ochlazování!!!
- Při pomalém ochlazování se realizuje perlitická přeměna
- Při určité rychlosti ochlazování neproběhne perlitická přeměna do konce, ale zbylý austenit transformuje v oblasti bainitické
- Pro rychlejší ochlazování potom začne přeměna bainitická a pokračuje martenzitickou přeměnou



- Od rychlosti, které udává křivka 5 se austenit transformuje pouze na martenzit s jistým podílem zbytkového austenitu
- Vliv přísadových prvků na tvar ARA diagramu je podobný vlivu na IRA
- Posun křivek je k nižším teplotám a delším časům



Tepelné zpracování slitin železa

Cíl:

- Řízené využívání fázových a strukturních přeměn v tuhém stavu s cílem získat požadované mechanické, technologické či jiné užité vlastnosti výrobků nebo polotovarů
- Využívá se řízených změn teploty (tepelné zpracování), změn chemického složení povrchových vrstev a teploty (chemickotepelné zpracování) nebo změn teploty a důsledků plastické deformace (tepelněmechanické zpracování)

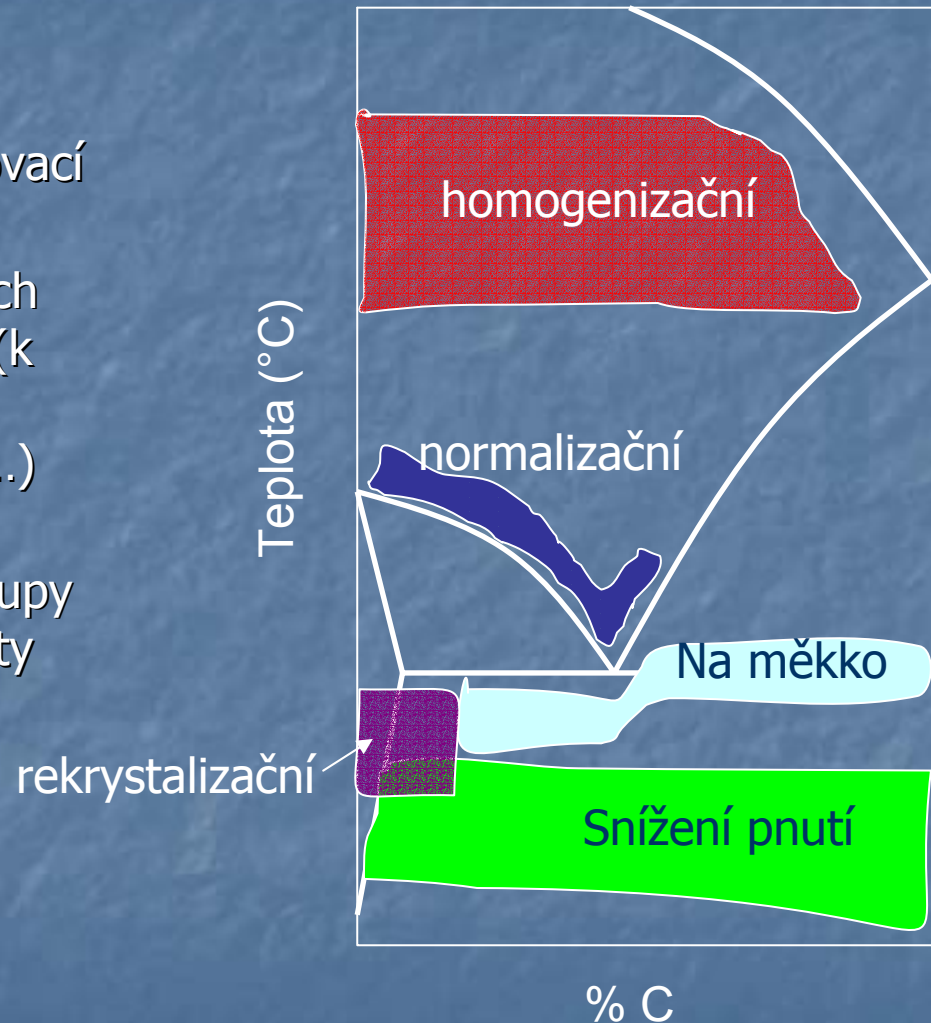
Tepelné zpracování slitin železa

- Technologie tepelného zpracování vycházejí z teorie fázových přeměn
- Technologie TZ zohledňuje i velikost a tvar součástí, kvalitu povrchu, rozměrovou stabilitu...
- V průběhu TZ může úroveň vnitřních pnutí dosáhnou úrovně jenž vedou k plastické deformaci či ke vzniku trhlin!



žihání

- Snaha pro dosažení struktur tvořených rovnovážnými fázemi
- Je charakteristická malá ochlazovací rychlost
- Je zařazováno do technologických postupů jako operace přídatné (k usnadnění obrábění, obnova plasticity po tváření za studena...) nebo jako konečné operace
- Pro polymorfní oceli se dělí postupy žihání podle výšky použité teploty

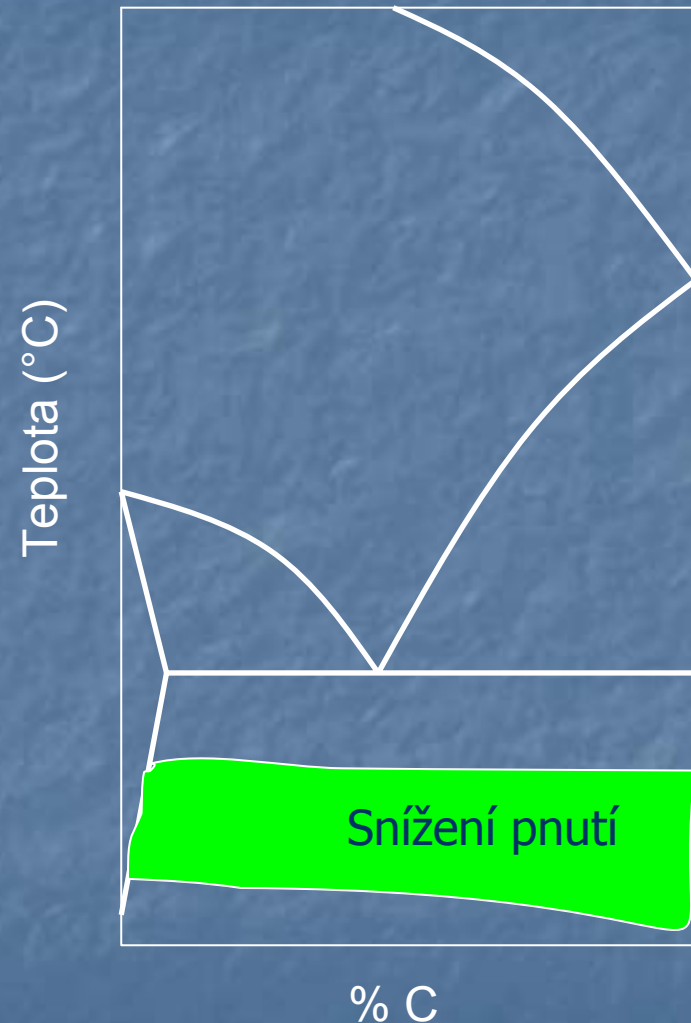


Žíhání bez překrytalizace

- Žíhání pod teplotou A_1 u polymorfních ocelí
- Dochází ke strukturním změnám (sferoidizace karbidů, zotavení, rekrytalizace..), kde fázové přeměny jsou nevýznamné (s výjimkou rozpouštění terciálního cementitu)
- U nepolymorfních ocelí se vždy jedná o žíhání bez překrytalizace

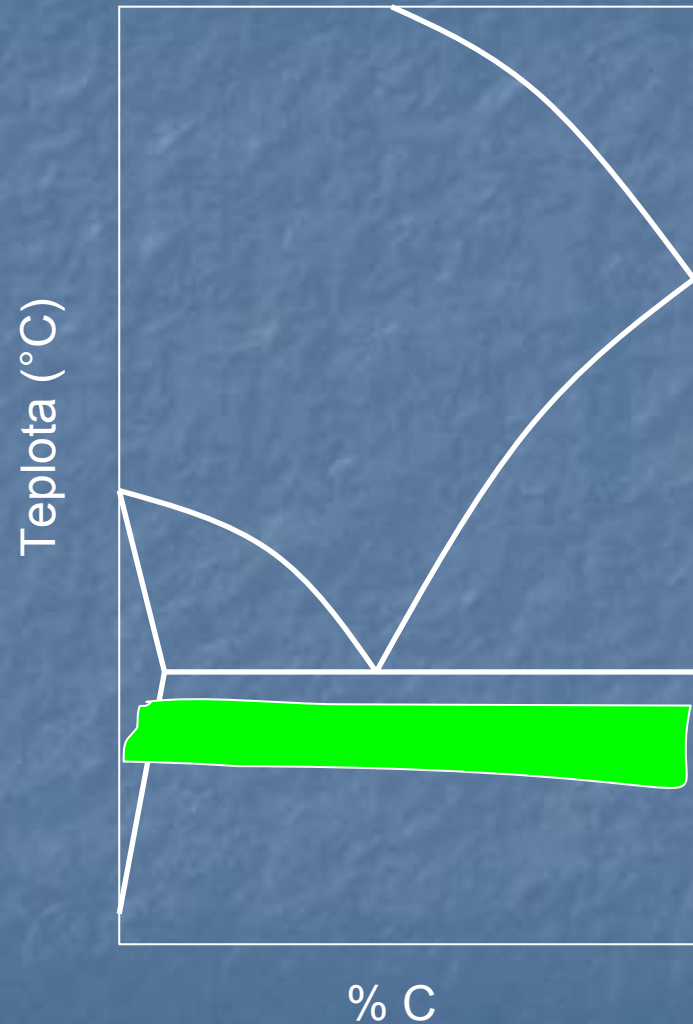
Žíhání na snížení pnutí

- Cílem je snížit nebo odstranit vnitřní pnutí, které vznikla při předchozím zpracování jako důsledek místního ohřevu (svařování), tváření za studena, rozsáhlého třískového obrábění nebo nerovnoměrného chladnutí tvarově složitých součástí či velkých rozměrů
- Provádí se při 500 – 650 °C1-2 hodiny



Rekrytalizační žíhání

- K odstranění deformačního zpevnění po předchozím tváření za studena
- Teploty 550 – 700 °C pro polymorfní oceli
- Cca 800 °C pro nepolymorfní
- Pro austenitické až 1100 °C
- Doba 1-5 hodin



Žihání na měkko

- Účelem je snížení tvrdosti a zejména zvýšení obrobitelnosti oceli
- Dochází k sferoidizaci perlitického cementitu
- Podeutektoidní oceli 600 – 720 °C po 4 hodiny i více s pomalým ochlazením v peci
- Nadeutektoidní oceli nad A_1 s velmi pomalým ochlazením (10-15 °C/h) přes teplotní interval A_1 do 600 °C při kterém vzniká zrnitý perlit



Protivločkové žíhání

- U ocelových polotovarů náchylných ke vzniku vloček jako prevence ke vzniku vnitřních trhlin
- 600-680 °C po dobu stovek hodin

Žíhání pro odstranění křehkosti po moření

- Při odstranění okují mořením dochází k difúzi vodíku do oceli
- 300-500 °C po dobu 1-4 hodiny

Rozpouštěcí žíhání

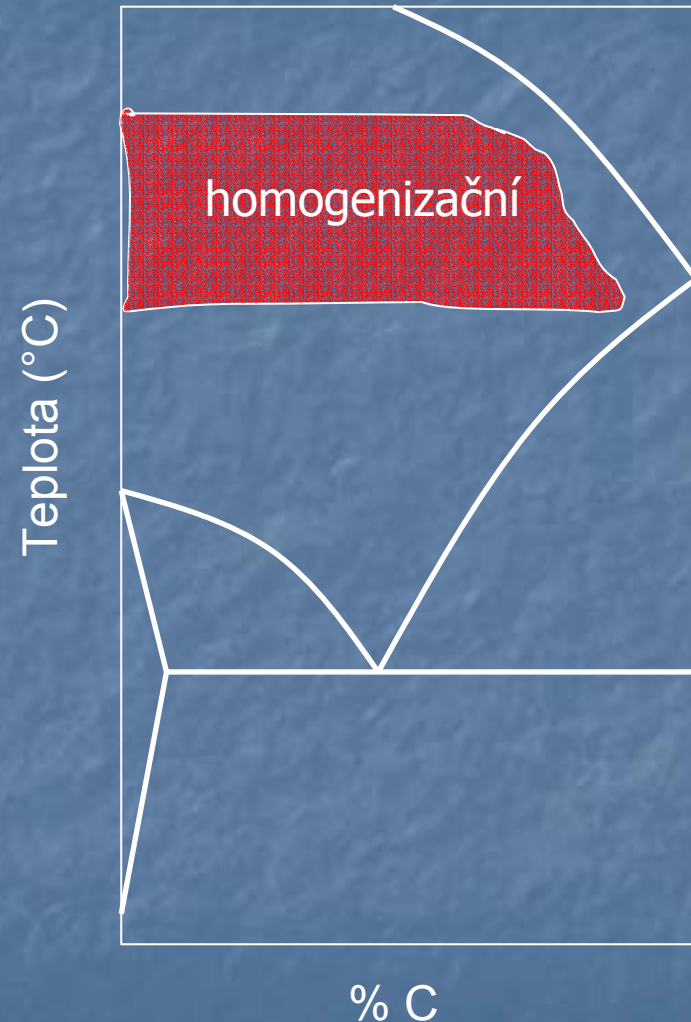
- U nepolymorfních ocelí s cílem rozpustit v tuhém roztoku minoritní fáze (karbidy, nitridy)
- Až 1100 °C
- U polymorfních ocelí ohřev pod A_1 s rychlým ochlazením se odstraňují důsledky stárnutí

Žíhání s překrytí

- Dochází k úplné nebo téměř úplné přeměně výchozí struktury v austenit
- Podeutektoidní oceli se žíhají nad teplotou A_3
- Nad eutektoidní oceli se žíhají nad A_{cm} nebo mezi A_1 a A_{cm}

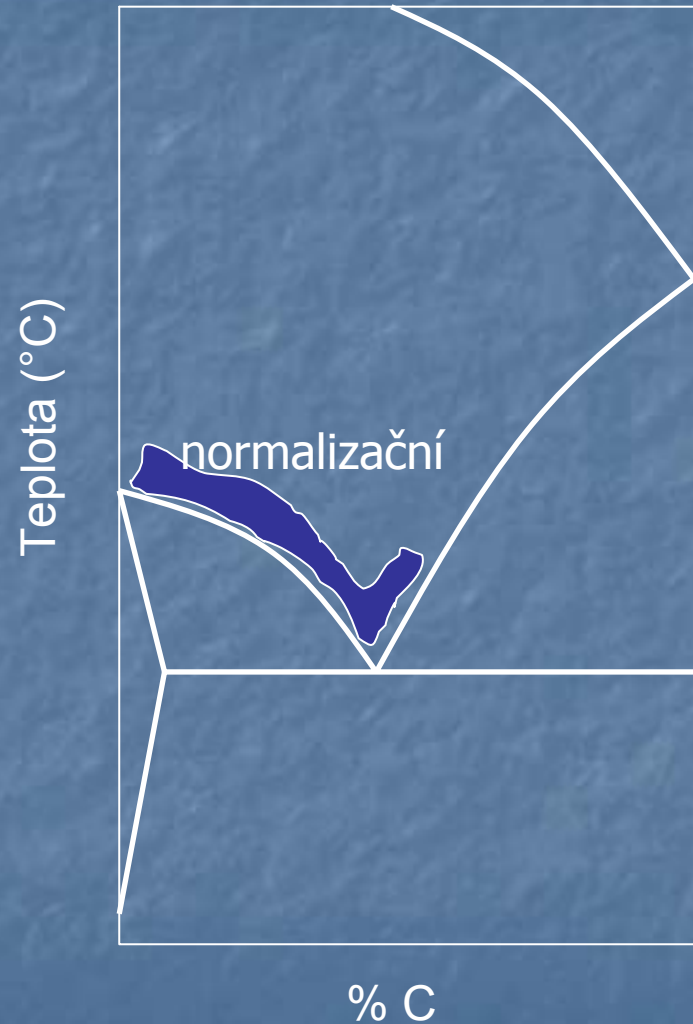
Homogenizační žíhání

- Účelem je zmenšení chemické heterogenity (při tuhnutí odlitků...)
- Lokální rozdíly se vyrovnávají difúzí
- 1100 – 1250 °C po dobu 5-15 hodin
- Zhrubnutí austenitu odstraníme tvářením za tepla nebo normalizací



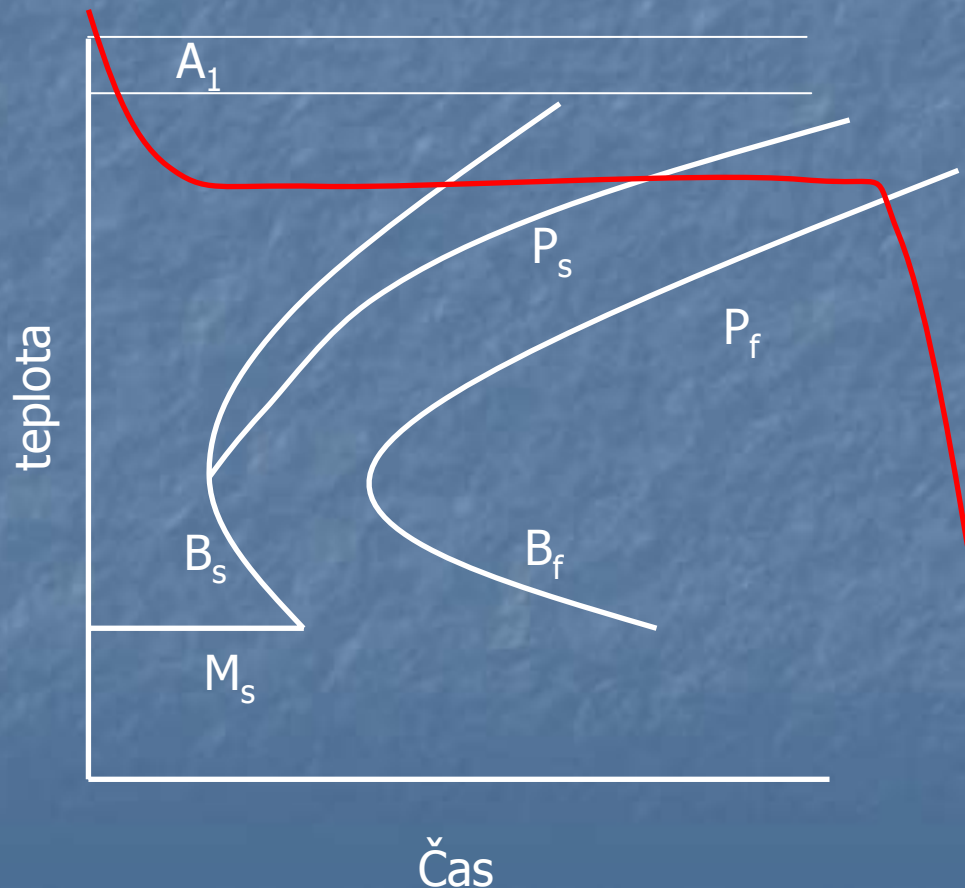
Normalizační žíhání

- Účelem je zjemnění austenitického zrna a zrovnoměrnění sekundární struktury
- Vhodné pro výkovky, svařence, odlitky
- U podeutektoidních ocelí ohřev 30-50 °C nad A_3 s ochlazením na vzduchu



Izotermické žíhání

- Rychlé ochlazení austenitizované oceli na teplotu izotermického rozpadu austenitu v oblasti perlitické přeměny s následným ochlazením na vzduchu



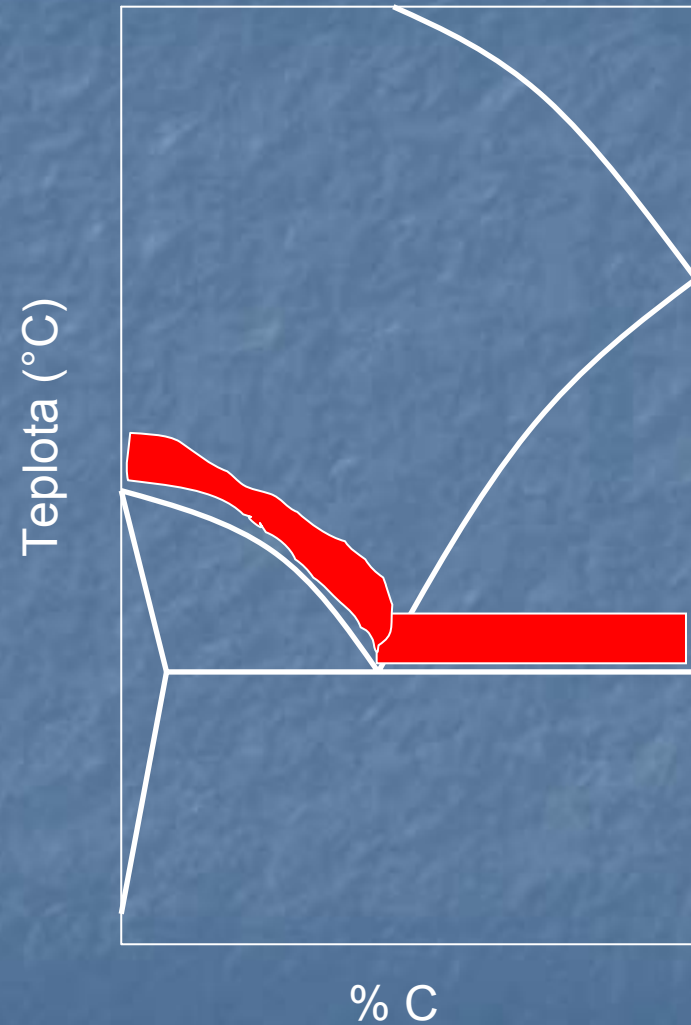
Kalení a popouštění

- Kalením se označují způsoby tepelného zpracování, jejichž cílem je dosažení nerovnovážných stavů ocelí
- Podle převažující složky rozdělujeme kalení na martenzitické a bainitické
- Cílem kalení je zajistit vznik struktury martenzitické

- Kalitelnost – schopnost získat martenzitickou strukturu
- Zakalitelnost – hodnotí se tvrdost oceli po zakalení (maximální tvrdost je určena tvrdostí martenzitu)
- Prokalitelnost – schopnost oceli získat po zakalení tvrdost odpovídající její zakalitelnosti v určité hloubce pod povrchem kaleného předmětu

Kalicí teplota

- U podeutektoidních ocelí 30-50 °C nad A_{c3}
- U nadeutektoidních ocelí 30-50 °C nad A_{c1}

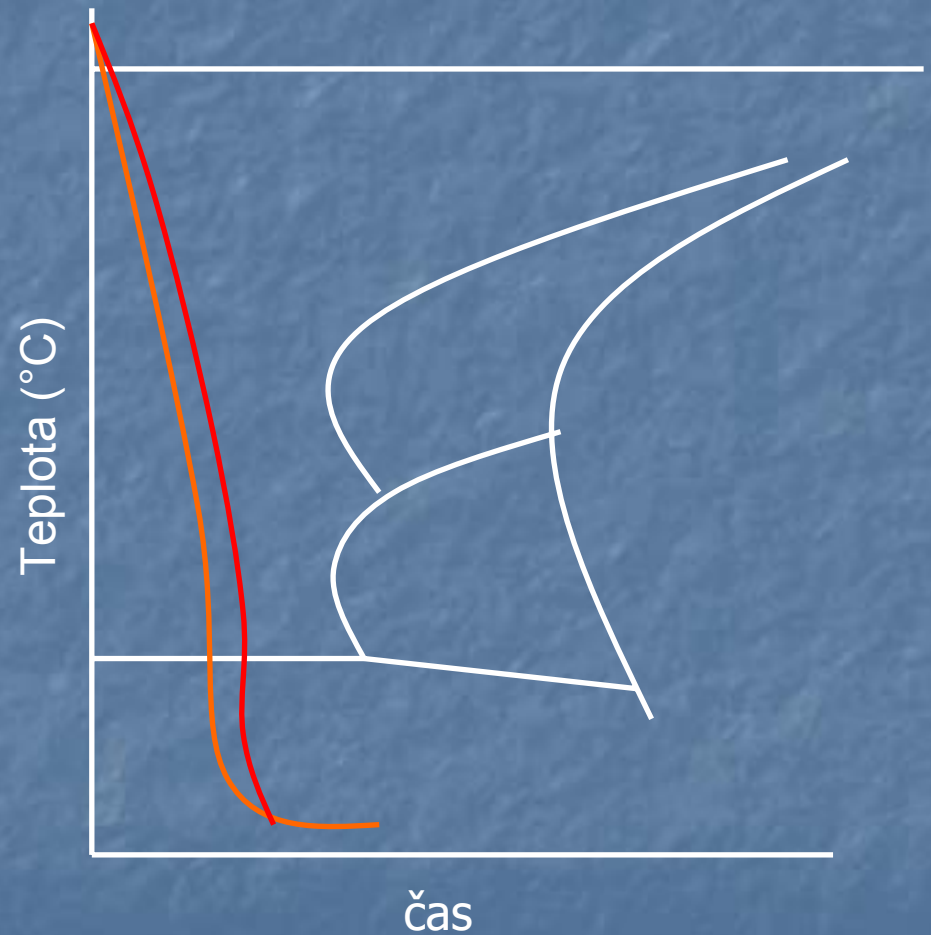


Kalicí prostředí

- Optimální ochlazovací prostředí je takové, které umožní ochlazování příslušných objemů rychlostí jen o málo překračující rychlost kritickou
- Nejlepší ochlazovací účinnost by měla být v oblasti perlitické a naopak relativně malou v oblasti martenzitické
- Účinnost závisí na tepelné vodivosti, měrném a výparném teple a na viskozitě kalicího prostředí
- Pokud se v kalicím prostředí vyskytuje při kalení parní polštář (voda, olej), je nutno tento polštář porušit (pohyb kalicího prostředí nebo kaleného předmětu)
- Voda – nenáročné, nehořlavé, levné a nejběžnější kalicí prostředí – nejúčinnější je v oblasti nosu ARA diagramu – s rostoucí teplotou vody klesá ochlazovací účinnost
- Oleje – mají 3-4x menší rychlost ochlazování v oblasti perlitické přeměny a téměř 10x menší v oblasti martenzitické – s rostoucí teplotou oleje se účinnost nemění
- Vzduch – nejmírnější kalicí prostředí
- Teplé lázně – pro termální kalení a izotermické zušlechťování – Pb, Sn, oleje nebo taveniny solí
- Kalicí čelisti – měděné desky s vnitřním chlazením

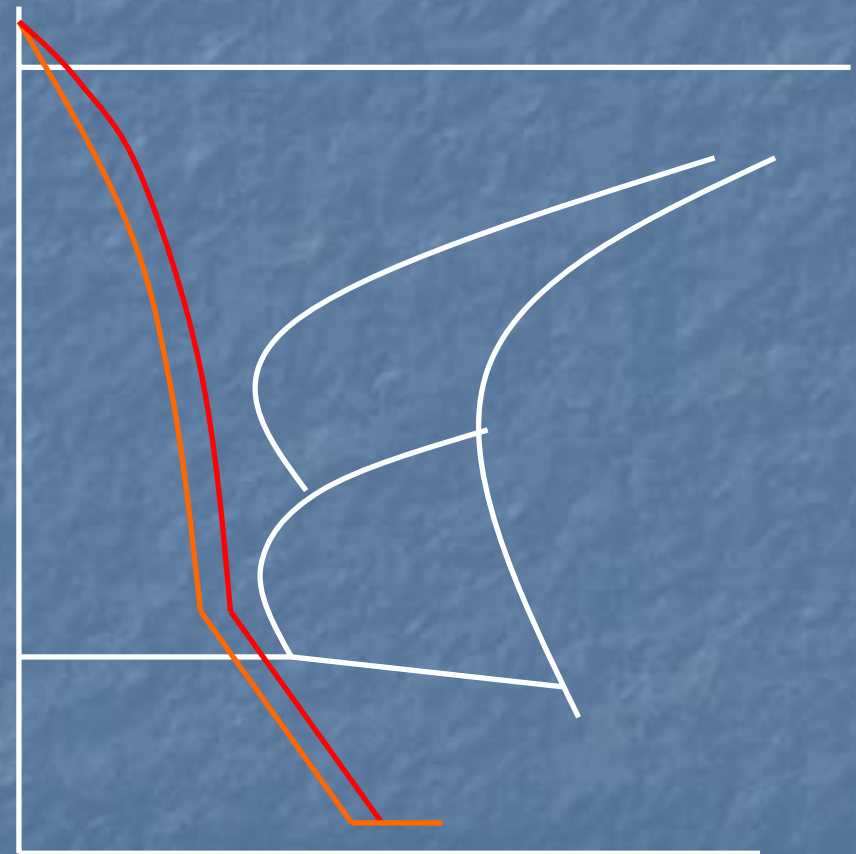
Kalení do studené lázně

- Do vody, oleje nebo na vzduchu
- Nejjednodušší
- Vysoká úroveň vnitřních pnutí☹



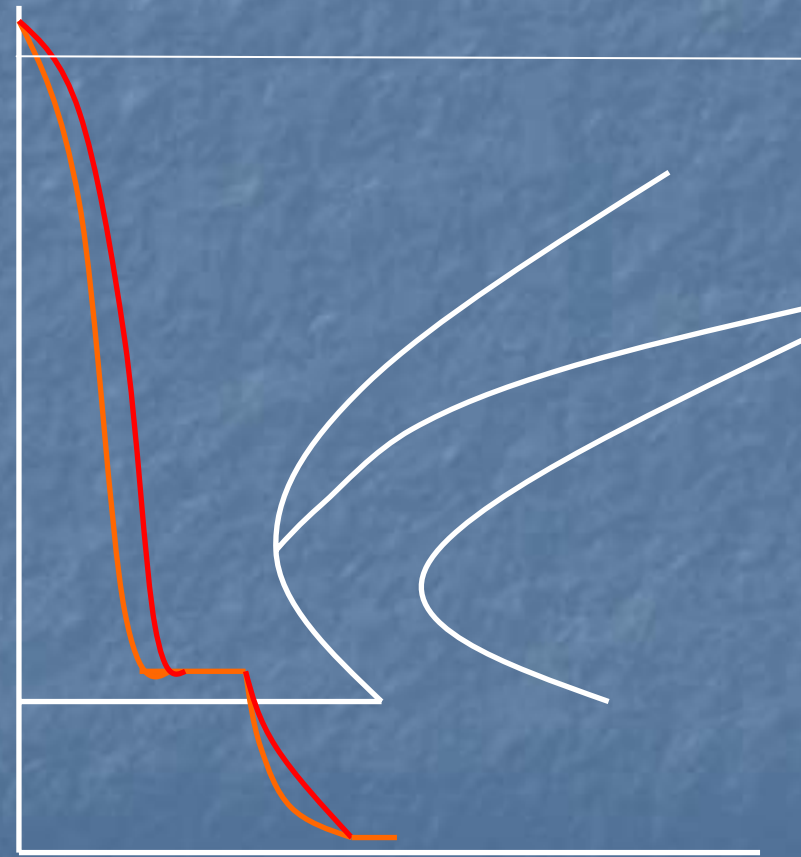
Přerušované (lomené) kalení

- Rychlé ochlazení až na teplotu těsně nad M_s poté přemístit předmět do mírnějšího média
- Kombinace voda-olej, voda – vzduch, olej – vzduch
- Sníží se úroveň vnitřních pnutí☺



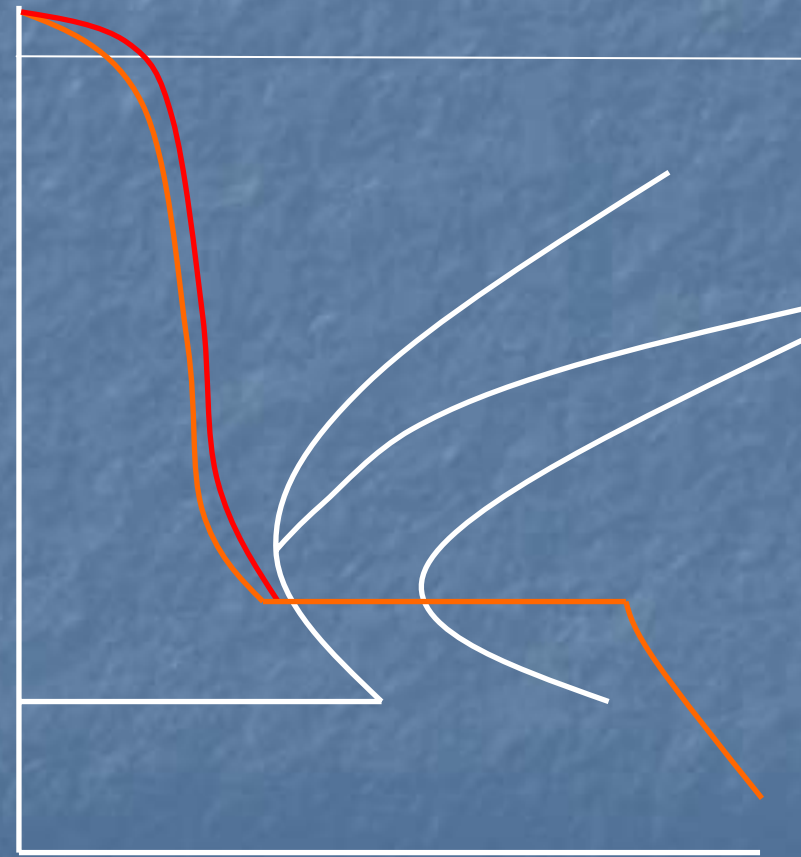
Termální kalení

- Ochlazování v lázni jejíž teplota leží těsně nad teplotou M_s kalené oceli
 - Vyrovnání teplot povrchu a jádra
 - Potlačení teplotních pnutí již před vlastním kalením
-
- U všech kalení, které mají výslednou strukturu martenzitickou následuje popouštění



Izotermické zušlechťování

- Jako termální kalení, ale ponechání v lázni až po dokončení bainitické struktury
- Minimální vnitřní pnutí ☺
- Nepopouští se
- Uhlíkové oceli jen do průměru 5mm

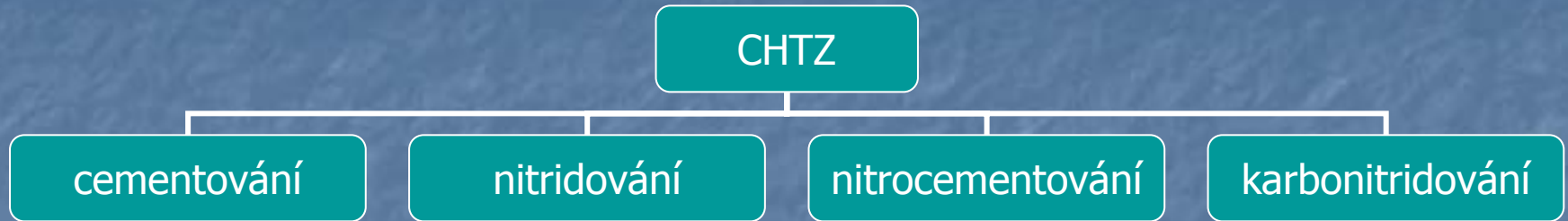


Povrchové kalení

- Rychlý ohřev povrchu – austenitizace – a její zakalení
- Tvrdý povrch a houževnaté jádro

- Rychlost ochřevu je až několik set °C/s
- Indukční – 1-6 mm
- Plamenem – 1,5-3 mm
- Laserem – 0,2-0,8 mm

Chemicko tepelné zpracování



Difúzní syčení povrchu oceli různými prvky (C, N, B, Si, Al.....) s cílem dosáhnout rozdílných mechanických nebo fyzikálně chemických vlastností povrchu a jádra součásti

Požadovaných vlastností se dosahuje buď přímo obohacením povrchové vrstvy a pomalým ochlazením nebo následujícím TZ

Základní pochody při CHTZ jsou: disociace, adsorpce, difúze

Cementování

- Sycení povrchu uhlíkem
- Při teplotách nad A_{c3} – 850-950 °C
- Jemnozrnné ocele pak 1150 °C

Cementační prostředí:

- Sypké – směs dřevěného uhlí a uhličitanu barnatého ($BaCO_3$, nebo $NaCO_3$, $CaCO_3$ – při cementační teplotě reaguje dřevěné uhlí s kyslíkem uzavřeným v krabici na CO , tento oxid potom ve styku se žhavým povrchem oceli se rozkládá na CO_2 a C
- Kapalné – lázně chloridových solí s přísadou kyanidů (KCN , $NaCN$), cementační soli s SiC
- Planné – ve směsi plynů CO , CO_2 , CH_4 , H_2 a H_2O

- Koncentrace uhlíku v nauhličené vrstvě klesá z 0,8-1%C na povrchu směrem do jádra až k výchozímu obsahu uhlíku v oceli
- Při určování hloubky cementační vrstvy se počítá pásmo nadeutektoidní, eutektoidní a polovina pásma podeutektoidního
- Podle tloušťky se dělí na tenké (0,5mm), střední (1,5mm) a tlusté (nad 1,5mm)

Tepelné zpracování po cementaci

- Vysoké tvrdosti cementované vrstvy se dosahuje jejím kalením a nízkoteplotním popouštěním
- Přímé kalení z cementační teploty lze použít při cementování v plynném nebo kapalném prostředí
- Uhlíkové oceli se kalí do vody, legované do oleje



Nitridování

- Sycení povrchu dusíkem
- Vysoké tvrdosti se dosahuje již při vlastním sycení povrchu vznikem velmi tvrdých nitridů nebo karbonitridů železa
- Nitridační atmosférou je čpavek, který se při styku s povrchem disociuje na dusík a vodík – atmosféru je nutno obměňovat!
- Nitridace probíhá při teplotě 500-550 °C po dobu 60 hodin
- Tvrdost povrchu nabývá hodnot 1000 až 1200 HV

Nitrocementování

- Sycení povrchu dusíkem a uhlíkem
- 820-840 °C – 1-2 hodiny
- Směs uhlovodíků a čpavku
- Solné lázně s přísadou kyanidů
- Kalení a popouštění

karbonitridování

- 600-630 °C – 4 hodiny
- Bez dalšího tepelného zpracování

Další postupy jsou solfonitridování nebo sulfonizování – pro velmi dobré třecí vlastnosti

Difúzní hliníkování nebo křemíkování – pro žáruvzdorné a korozi-vzdorné vrstvy

Iontová implantace

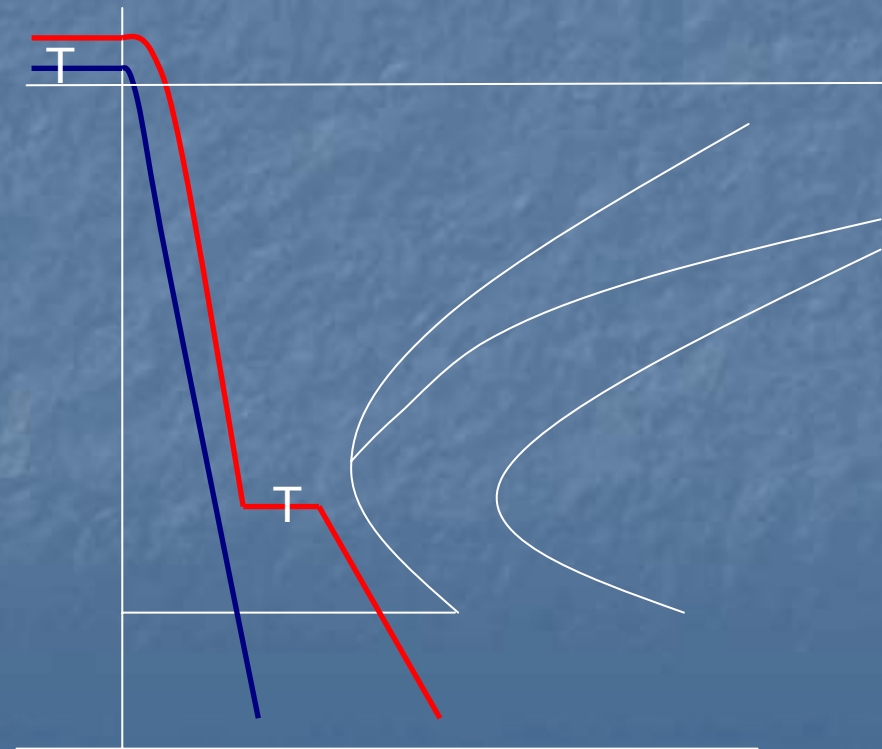
- Při implantaci dopadá svazek vhodně volených iontů s vysokou kinetickou energií na základní materiál
- Povrch je bombardován dávkami 10^{15} až 10^{18} iontů na cm^2
- Používají se především N, C, O a kovy Cr, Mo, Ti, Al, Zn, Ta, Pt aj.....
- Hloubka vrstvy je od několika atomových rovin až po mikrony
- Užívá se ke zvýšení tvrdosti povrchu, odolnosti proti opotřebení a korozi, i ke zvýšení meze únavy

Tepelně mechanické zpracování

TMZ

Deformace před fázovou přeměnou

Deformace během izotermické fázové přeměny



Konstrukční oceli

Oceli pro ocelové konstrukce

Nelegované jakostní oceli (ČSN EN 10025-A1)

- Vhodné pro výrobu plochých a dlouhých výrobků
- Jsou zaručeny minimální hodnoty R_e , R_m , A a $KV(20^\circ\text{C}, 0^\circ\text{C}, -20^\circ\text{C})$
- Jsou určeny pro tváření za studena (ohýbání, profilování, tažení) i za tepla
- 3 typy lišící se hodnotami R_e a R_m (S235J0, S275J0, S355J0) (uklidněné)
- Svařitelnost těchto ocelí vzrůstá od jakostního stupně JR ke stupni K2 a s klesající hodnotou uhlíkového ekvivalentu

$$C_{ev} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$$

Svařitelné jemnozrnné konstrukční oceli (ČSN EN 10113-1 až 3)

- Jsou dodávány jako plechy, pásy nebo dlouhé výrobky válcované za tepla
- Určeny pro vysocenamáhané konstrukce (mosty, nádrže na vodu...)
- Dodávají se buď ve stavu normalizovaném nebo ve stavu TMZ (válcovaném)
- Podle pevnostních charakteristik jsou normalizovány 4 typy ocelí s $R_e(275-460 \text{ MPa})$ (S275N, S355N, S420N, S460N)
- Jednotlivé typy ocelí mají předepsány KV pro teploty 20 až $-50 \text{ }^\circ\text{C}$

Konstrukční oceli odolné atmosférické korozi (ČSN EN 10155)

- Ve vhodných atmosférických podmínkách mají odolávat korozi bez povrchové ochrany – Cu, Cr, Ni, Mo (vytvoření oxidů)
- Dodávají se jako ploché nebo dlouhé výrobky či trubky
- N do 0,012 %, Ni do 0,6 %
- S235J2W, S355J2WP....

Oceli pro tlakové nádoby ČSN EN 10028

OCELI JSOU URČENY PRO VÝROBU PLOCHÝCH A DLOUHÝCH VÝROBKŮ POUŽÍVANÝCH PRO KONSTRUKCI TLAKOVÝCH NÁDOB.

- Svařitelné nelegované a legované oceli pro vyšší teploty
- Normalizačně žíhané jemnozrnné KO vhodné ke svařování
- Oceli legované Ni se zaručenými vlastnostmi při nízkých teplotách

- Z každé tavby je nutno provádět zkoušku tahem, KV, rozměrovou kontrolu, vizuální kontrolu povrchu
- Ultrazvuková zkouška!

Svařitelné nelegované a legované oceli pro vyšší teploty (ČSN EN 10028-2)

- Nelegované jakostní nebo legované ušlechtilé
- 4 jakosti Re(235 – 355 MPa) – P235GH, P355GH
- Legované obsahují Cr a Mo (13CrMo4-5.....)
- Obsah P do 0,03 %, S do 0,025 %, Cu do 0,3 %

Svařitelné jemnozrnné oceli (ČSN EN 10028-3)

- Normalizačně žíhané nebo Normalizačně Válcované
- Norma rozděluje oceli do 4 řad označených posledními dvěmi písmeny na konci značky:
 - Základní řada (P...N)
 - Žáropevná řada (P...NH)
 - Řada se zaručenou houževnatostí při nízkých teplotách (P...NL1)
 - Zvláštní řada se zaručenou houževnatostí při nízkých teplotách (P...NL2)
- P275N, P355N, P460N

Oceli legované Ni se zaručenými vlastnostmi při nízkých teplotách (ČSN EN 10028-4)

- Mají zaručenou hodnotu KV podle obsahu Ni od -60 do -196 °C
- Je normalizováno celkem 7 značek
- Podle obsahu Ni je možné je rozdělit do 4 skupin:
 1. 0,3-0,85 %Ni – 11MnNi5-3, 13MnNi6-3
 2. 1,3-1,7 %Ni – 15NiMn6
 3. 3,25-5,25 %Ni – 12Ni14, 12Ni19
 4. 8,5-10 %Ni – X8Ni9, X7Ni9
- Součet Cr, Cu, Mo max. 0,50 %

Oceli pro výztuž do betonu ČSN EN 10080

- Normovány jsou dvě oceli B500A a B500B, které mají stejné chemické složení – 0,22%C, 0,050%P, 0,050%S, 0,012 %N
- $C_e=0,50\%$
- Mají předepsanou mez únavy 180 MPa
- Liší se poměrem R_m/R_e , kde A-1,05, B-1,08 při $R_m=500\text{MPa}$

Oceli pro kolejnice

- Perlitické nelegované oceli, legované manganem nebo Cr (V)
- Požaduje se dobrá odolnost proti kontaktní únavě
- Pro všechny jakosti je předepsána max. hodnota obsahu vodíku – vakuování oceli

Automatové oceli ČSN EN 10087

- Obsahují více než 0,10 %S
- Nedoporučuje se svařování
- Dodávají se v tepelně nezpracovaném stavu, k cementování, k zušlechtnění
- Muže být přidána přísada 0,2-0,35 %Pb pro zlepšení obrobiteľnosti

Oceli k cementování ČSN EN 10084

- Mají relativně nízký obsah uhlíku
- Je normováno celkem 35 značek
- Podle chemického složení je můžeme rozdělit do 6 skupin:
 1. Nelegované ušlechtilé (0,07-0,18 %C) – C16E
 2. Chrómové - 28Cr4
 3. Chrómmanganové - 20MnCr5
 4. Chrómmolybdenové - 20MoCr4
 5. Chrómniklové - 17CrNi6-6
 6. Chróm-molybden-niklové - 18CrNiMo7-6

Oceli k nitridaci ČSN EN 10085

- Obsahují kontrolovaný obsah dvou nebo více nitridotvorných prvků-Al, Cr, Mo, V
- 31CrMo12, 31CrMoV9, 39CrAlNi7.....
- Všechny značky mají předepsaný stejný režim pro zušlechtění:
- Kalení 870-930 °C do vody nebo oleje, popouštění 580-700 °C a nitridace 480-570 °C

Pružinové oceli ČSN EN 10132-4

- Dodávané ve stavu žíhaném na měkko, tvářeném za studena nebo zušlechtěném
- Je předepsána zkouška na nekovoé vměstky a na velikost zrna
- 1. Ušlechtilé nelegované oceli - C55S, C125S
- 2. Legované oceli Si - 55Si7
- 3. Legované oceli Cr, V nebo Ni - 102Cr6, 80CrV2
- Vedle mechanických vlastností norma udává pro nelegované značky HV ve stavu válcovaném za studena
- Max. pevnosti se pohybují v rozmezí 1100-1200 MPa, HV 305-325

Oceli k zušlechťování ČSN EN 10083

- Určeny převážně k výrobě strojních součástí, které se TZ
- Dodávají se v tepelně nezpracovaném stavu
- Všechna jsou obrobitelné ve stavu žíhaném na měkko
- C22E, C60E, 38Cr2, 36NiCrMo16.....
- Nelegované oceli se popouštějí na 550-660 °C po dobu min. 60 minut

Nerezavějící oceli ČSN EN 10088

- Základním prvkem je chróm – schopnost oceli odolávat elektrochemické korozi v oxidačním prostředí
- Podmínkou je minimální obsah Cr – 11,5 % v tuhém roztoku
- Mají nízký obsah uhlíku (pod 0,1 % C) – C snižuje obsah Cr neboť ho váže na karbidy!
- C má vyšší difúzní rychlost než Cr – vznik míst o nižším podílu Cr – mezikrystalová koroze☹
- Při obsahu pod 12 % Cr jsou oceli samokalitelné

Chrómové a chróm-niklové martenzitické a feritické oceli

- Pro stavbu vodních strojů
- Jsou svařitelné

Chrómniklové austenitické oceli

- Odolné vůči kyselinám (HNO₃, HCl a organickým kyselinám)

Žáropevné oceli ČSN EN 10095

- Mají vysokou odolnost proti oxidaci, korozi a dlouhodobě stálé vlastnosti v horkých plynech
- Odolnost proti oxidaci za vysokých teplot získávají oceli legováním Cr, Si, Al, Ni
- Rozdělují se na feritické, austenitické a feriticko-austenitické
- Obsah uhlíku pod 0,12%

Nástrojové oceli

- Oceli na řezné nástroje
- Oceli na nástroje pro lisování a ražení za studena
- Oceli pro práci za tepla
- Oceli na měřidla a pomocné nástroje a přípravky

Požadují se tyto vlastnosti:

- Tvrdost – závisí na obsahu C, popř. na přísadách karbidotvorných prvků
- Plastické vlastnosti a houževnatost – závisí na matici, morfologii a velikosti karbidů
- Odolnost proti popouštění – důležité pro řezné nástroje, posuzování poklesu tvrdosti s teplotou
- Řezivost – ovlivňována množstvím a složením a rozložením karbidů ve struktuře
- Tepelná únava
- Prokalitelnost
- Rozměrová stálost – důležitá vlastnost u měřidel a tvarových nástrojů

Oceli na řezné nástroje

Nelegované nástrojové oceli

- Pro výrobu méně náročných nástrojů – závitníky, frézy, pilky...
- Tvrdost 56-60 HRC
- Při tepelném zpracování je nutné chránit nástroj proti oduhličení povrchu!

Legované nástrojové oceli

- Podobné použití jako nelegované
- Mají vyšší prokalitelnost, tvrdost 60-64 HRC
- Součet legujících prvků nepřesahuje 3 %

Rychlořezné oceli

- Vysoká odolnost proti poklesu tvrdosti až do teplot 550 °C
- Základním legujícím prvkem je wolfram
- Popouštění se provádí 3x

Oceli na nástroje pro lisování a ražení za studena

- Oceli na nástroje namáhané rázy
- Kladiva, důlčíky, razidla, děrovací nástroje, dláta, sekáče.....
- Mají kolem 0,4 %C
- Tvrdost 58-61 HRC

- Oceli pro nástroje pro lisování a ražení
- Nelegované nebo nízkolegované
- 1 %C
- Pro lisování plastických hmot....

Oceli pro práci za tepla

- Vyžadujeme vysokou odolnost vůči deformaci, otěruvzdornost a odolnost proti erozi, za pracovních teplot a odolnost proti tepelné únavě

Oceli na odlitky

- Technické podmínky uvádí norma ČSN EN 1559-2
- Pro většinu typů ocelí ke tváření existuje varianta oceli na odlitky – G
- Nelegované konstrukční oceli – nahrazujeme pokud je to možné litinou s kuličkovým grafitem – svařitelné
- Nízkolegované konstrukční oceli – manganové oceli, dnes se dává přednost složení stejnému jako mají oceli pro zušlechťení (tvářené)
- Otěruvzdorné oceli – austenitické manganové oceli (až 15 %Mn), chromové karbidické oceli (martenzitické)

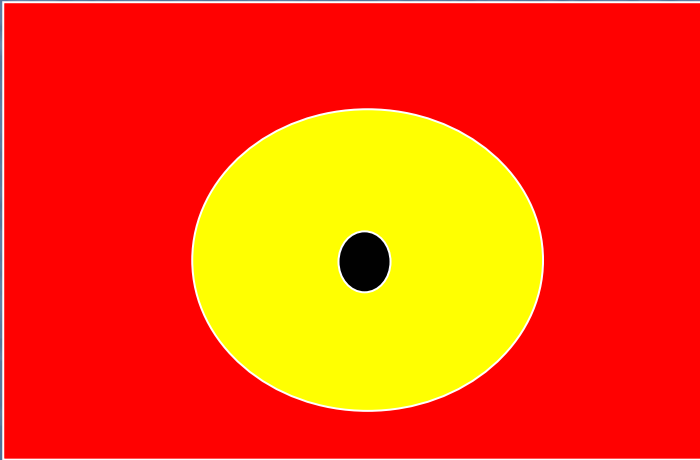
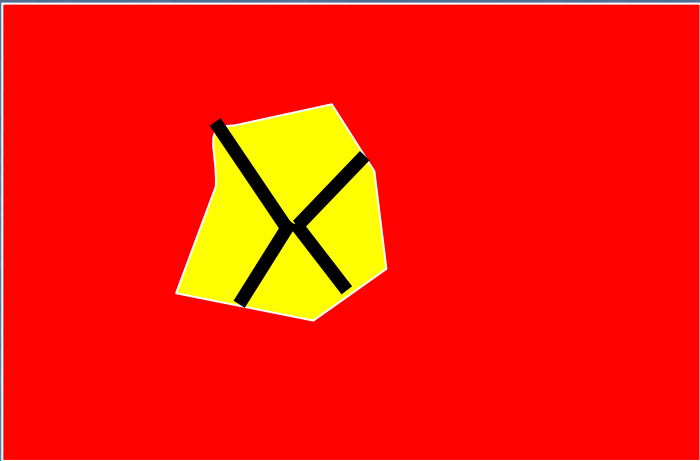
Litiny

- Slitiny železa s uhlíkem, křemíkem, manganem a dalšími prvky přičemž obsah uhlíku je vyšší než 2 %
- Vyrábí se roztavením surovin (surové železo, litinové zlomky...) v kuplovně nebo elektrické indukční popř. obloukové peci
- Podle podmínek tuhnutí vzniká v litinách buď cementitické eutektikum nebo grafitové eutektikum
- Podle vyloučeného typu eutektika rozlišujeme:
- Bíle tuhoucí litiny (bílá litina, temperovaná, tvrzená) – mají bílý lom
- Grafitické litiny (lupínkový grafit, kuličkový, vermikulární) – mají šedý lom
- Legované druhy litin

Krystalizace litin

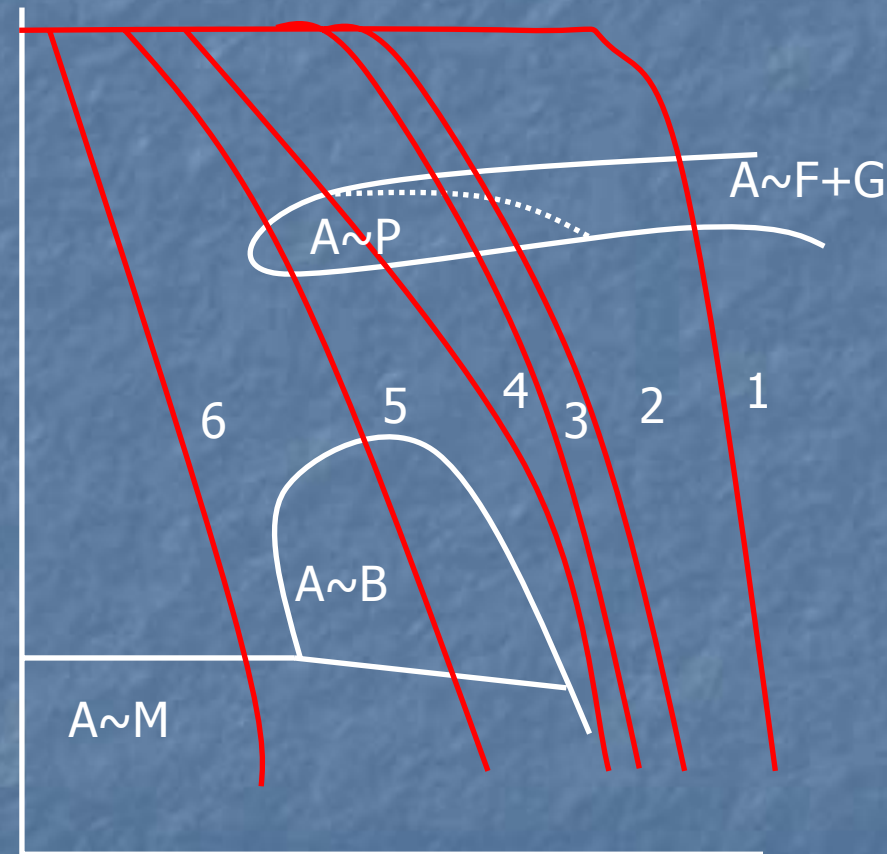
- Rozhodující přísadou v litinách je křemík
- Do 1%Si – sledujeme přeměny v diagramu Fe-C
- Při vyšším obsahu vycházíme z ternárního diagramu Fe-C-Si (vertikální řezy)
- Schopnost litiny tvořit stabilní nebo metastabilní eutektikum ovlivňuje především rychlost ochlazování taveniny – malá rychlost SD, velká MD
- Mezní rychlosti se zvyšují s rostoucími obsahy křemíku a grafitizačními přísadami (Al, Cu, Ni) v litině
- Očkování litiny – Si – zvyšování počtu zárodků pro krystalizaci grafitového eutektika

- Pro kuličkový tvar grafitu musíme zvýšit povrchové napětí mezi grafitem a taveninou – Mg, cín...



Fázové přeměny litin v tuhém stavu

- Přeměny v tuhém stavu můžeme sledovat stejně jako u ocelí v diagramech ARA
- Pomalé ochlazování (1) vzniká úplná transformace austenitu na ferit a grafit
- Se zvyšující se rychlostí (2,3) ochlazování probíhají oba druhy eutektoidní přeměny s výslednou feriticko-perlitickou matricí
- Při určité rychlosti (4) proběhne pouze metastabilní přeměna austenitu na perlit
- Ochlazování (5) vede ke vzniku strukturní směsi perlitu, bainitu, martenzitu a zbytkového austenitu
- Vysoké ochlazovací rychlosti (6) vedou ke vzniku martenzitu



Bílá litina

- Odpovídá svou strukturou metastabilní rovnováze soustavy Fe-C-Si
- Ve stavu po odlití je tvořena směsí eutektického a sekundárního cementitu a perlitu – vznik této strukturní směsi je podporován zvýšenými obsahy karbidotvorných prvků a vyšší rychlostí tuhnutí
- Tvrdost je ovlivňována především obsahem cementitu ve struktuře (350-500 HB)
- Tvrdost lze zvýšit martenzitickým kalením

- Výroba jednoduchých odlitků s vysokou odolností proti opotřebení
- Nelegovaná bílá litina je výchozím produktem pro litinu temperovanou

Grafitické litiny

- Struktura grafitických litin je tvořena grafitem a základní kovovou maticí
- Vlastnosti závisí na tvaru ,velikosti, obsahu a rozložení grafitu a na druhu matrice (perlit, ferit, cementit) a steaditu (fosfodické eutektikum)
- ČSN EN 1560 rozlišuje tyto typy grafitu:
 - Lupínkový – nejsilnější vrubový účinek
 - Kuličkový – nejvýhodnější tvar
 - Temperovaný uhlík (grafit ve tvaru vloček)
 - Vermikulární (červíkovitý)
- Matrice po odlití tvoří perlit, ferit nebo jejich směs a další strukturní složky (steadit, vměstky) – perlit zvyšuje tvrdost, pevnost a odolnost proti opotřebení, ferit naopak houževnatost

Litina s lupínkovým grafitem ČSN EN 1561

- Grafit je přítomen ve tvaru lamelárních částic – lupínků
- Levný konstrukční materiál s dobrými slévárenskými vlastnostmi
- Lupínky = vruby – snižují mechanické vlastnosti (A=1%)
- Většinou mají podeutektické složení
- Křemík jako grafitizační činidlo má tuhnutí litiny největší vliv – původní podeutektická litina se vzrůstajícím obsahem křemíku bude tuhnout jako eutektická či nadeutektická (křemík podporuje rozpad eutektického a eutektoidního cementitu)

- Norma nebere v úvahu způsob výroby
- Normuje však charakteristické vlastnosti – pevnost nebo HB dle tloušťky odlitku
- E není konstantní – neplatí Hookův zákon – mění se s napětím

Litina s kuličkovým grafitem ČSN EN 1563

- Grafit je přítomen ve tvaru částic kuličkového grafitu
- Má výrazně lepší mechanické vlastnosti (tvárnost..)
- Chemické složení odpovídá většinou eutektické či nadeutektické koncentraci
- Koncentrace Si je větší než u litiny s lupínkovým grafitem
- Velikost grafitických kuliček závisí na rychlosti ochlazování

- Feritická matrice – vysoká houževnatost, plastičnost, obrobitelnost – pro zajištění plně feritické struktury-feritizační žíhání
- Perlitická matrice – vyšší pevnost

- Vysoce jakostní materiál spojující přednosti lité oceli a litiny s lupínkovým grafitem, má větší útlum.....
- Pevnostní charakteristiky jsou na rozdíl od litiny s lupínkovým grafitem méně závislé na tloušťce odlitku

Litina s vermikulárním grafitem

- Grafit je přítomen ve tvaru červíků
- Svým tvarem zaujímá místo mezi litinou s lupínkovým grafitem a kuličkovým grafitem
- Příklad vyvolávající vznik kuličkového grafitu je dodána v takovém množství, které je nedostatečné pro úplné vytvoření kuličkového grafitu
- Vhodná pro tepelně namáhané odlitky
- Feritická nebo perlitická matrice

Litina s vločkovým grafitem – temperovaná litina ČSN EN 1562

- Slitina Fe a C – má takový obsah uhlíku a křemíku, že ztuhne dle MD jako litina bílá – veškerý uhlík je vázán jako karbid železa
- Své charakteristické vlastnosti (dobrá houževnatost a obrobitelnost) získává následným TZ – temperování (grafitizační žíhání – rozložení karbidů v ledeburitu na temperovaný grafit)
- TZ – 2 způsoby – TZ v oduhličujícím temperovaná litina s bílým lomem) a neoduhličujícím (temperovaná litina s černým lomem) prostředí

Tvrzená litina

- Druh litého materiálu u kterého je plně zvládnut proces krystalizace za zvláštních podmínek ochlazování – cílem je dosáhnout na povrchu vytvoření bílé litiny s metastabilním ledeburitem a v jádru litina s kuličkovým nebo lupínkovým grafitem
- Válcovací stolice, zdvihátka.....

Legované druhy litin

- Obsah přísady nesmí ovlivnit tvorbu grafitu
- Mají zlepšit mechanické vlastnosti bez dalšího tepelného zpracování
- Přidáním prvků se zlepšují následující vlastnosti litin:
 1. Mechanicko-technologické vlastnosti - Cr, Mo, Ni, Cu
 2. Vlastnosti za zvýšených teplot – Si, Al, Mo, Cr, Ni
 3. Korozivzdornost – Si, Cr, Ni, Cu
- Podle převažující přísady je dělíme do 4 skupin:
 1. Litiny legované hliníkem
 2. Litiny legované křemíkem
 3. Litiny legované chromem
 4. Litiny legované niklem

Tepelné zpracování grafitických litin

Žíhání litin

- Žíhání ke snížení vnitřních pnutí – u tvarově složitých odlitků z litiny s lupínkovým grafitem
- Žíhání ke snížení tvrdosti – u grafitických litin s lupínkovým a kuličkovým grafitem, kdy vysoká tvrdost zhoršuje obrobitelnost
- Sferoidizační, feritizační,
- Normalizační – je zvýšení odolnosti proti opotřebení nebo jako výchozí operace pro další TZ

- Kalení litin
- Matrice – bainitická nebo martenzitická
- Izotermické zušlechťování - bainit

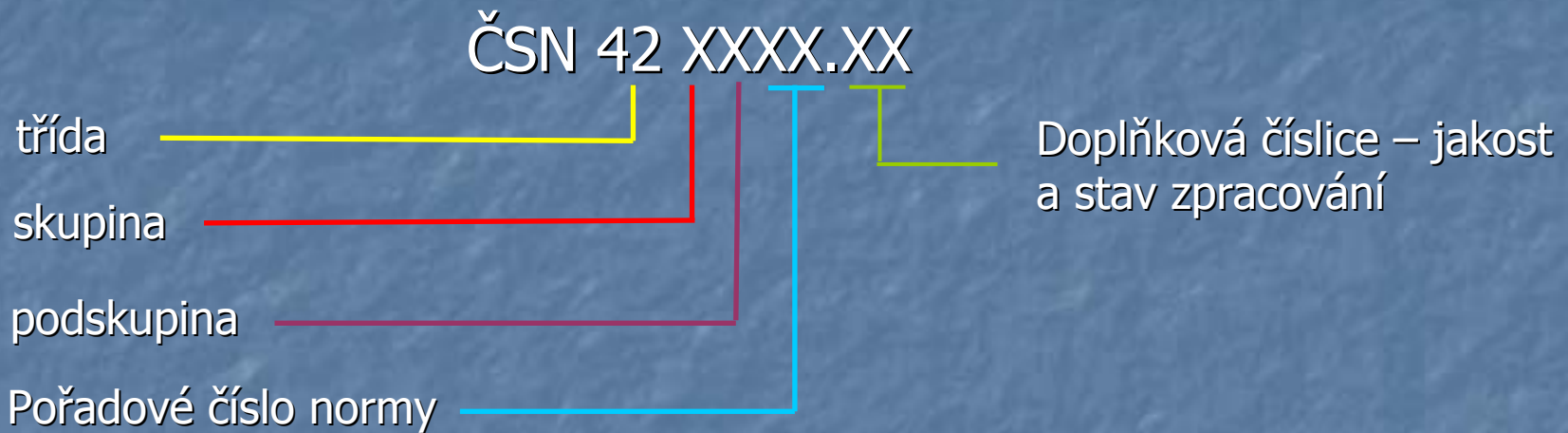
Neželezné kovy a slitiny

Rozdělení neželezných kovů a slitin

- Jako kritérium pro rozdělení do skupin se volí teplota tání s přihlédnutím na další vlastnosti (hustota, chemická stálost..)



Označování neželezných kovů a slitin



- 42 30XX – měď a slitiny mědi tvářené
- 42 31XX – měď a slitiny mědi na odlitky
- 42 32XX – slitiny měď-zinek tvářené
- 42 33XX – slitiny měď-zinek na odlitky
- 42 34XX – nikl, kobalt a slitiny niklu tvářené
- 42 35XX – nikl, kobalt a slitiny niklu na odlitky
- 42 36XX – olovo, cín a jejich slitiny tvářené
- 42 37XX – olovo, cín a jejich slitiny na odlitky
- 42 38XX – ušlechtilé kovy a jejich slitiny

- 42 39XX – nízkotavitelné slitiny neželezných kovů
 - 42 40XX – hliník tvářený
 - 42 41XX – hliník na odlitky
 - 42 42XX – slitiny hliníku tvářené
 - 42 43XX – slitiny hliníku na odlitky
 - 42 44XX – slitiny hliníku tvářené
 - 42 45XX – slitiny hliníku na odlitky
 - 42 47XX – letectví a kosmonautika
 - 42 49XX – hořčík a slitiny hořčíku na odlitky
-
- Čtvrtá číslice označuje podskupinu – sudá (tvářené), lichá (na odlitky)
-
- Kromě ČSN se používá značení vyjadřující:
 - Přibližné složení materiálu – Al99,5, MgAl8Zn1, CuSn8, TiAl6V4
 - Obchodní označení – dural, monel, stelit.....

Kovy a slitiny nízkotavitelných kovů

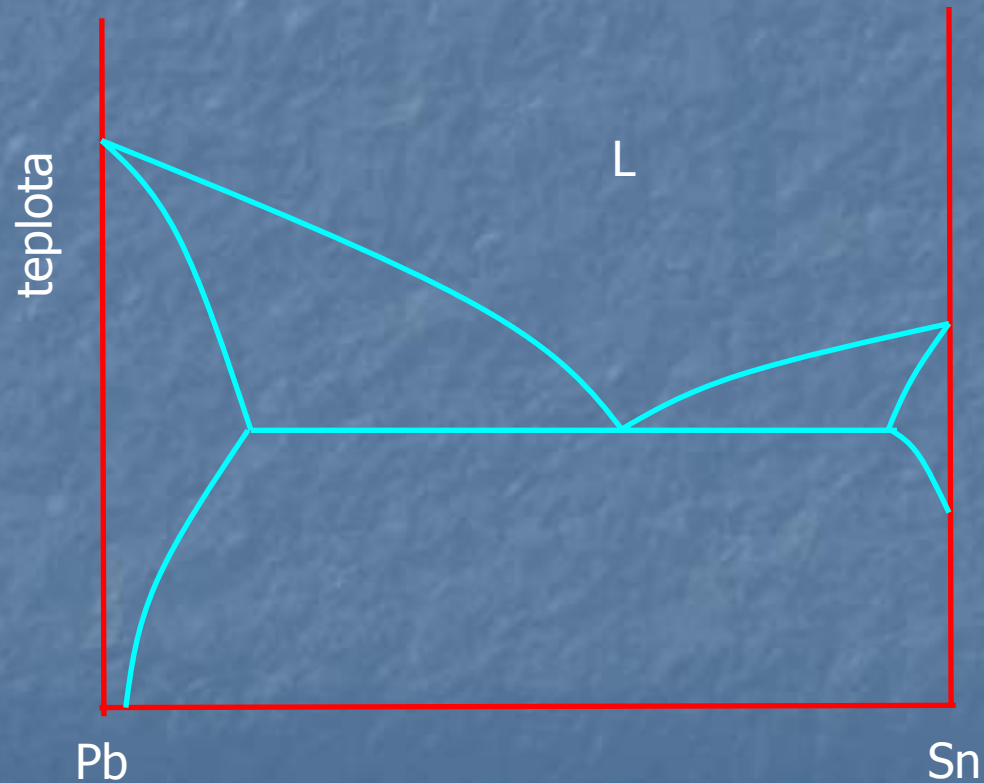
- Cín – polymorfní kov, jehož nízkoteplotní modifikace α (stabilní pod 13,2 °C) má podobu šedého prášku (cínový mor). Má dobrou odolnost proti korozi.
- Olovo – odolává silným anorganickým kyselinám, je však napadáno organickými kyselinami a destilovanou vodou
- Zinek – dobrá odolnost proti atmosférické korozi, mořské vodě, benzinům a olejům. Špatně odolává destilované vodě, páře, kyselinám a silnějším zásadám
- Antimon – křehký kov s malou pevností. Používá se jako přísada do slitin s nízkou teplotou tání, kde zvyšuje tvrdost a odolnost proti opotřebení

Slitiny nízkotavitelných kovů

Měkké pájky

- Slitiny s teplotou tavení do 500 °C – slitiny Pb-Sn popř. legury (Cd, Ag, Cu), Sn+30%Zn

- Se zvyšujícím se podílem eutektika se zlepšuje zabíhavost a pevnost
- Pájky s vysokým podílem olova se používají pro méně významné spoje
- Pájky s převládajícím podílem cínu jsou určeny pro lékařství
- Pro elektrotechnické účely se přidávají přísady mědi, stříbra



Tvrdé olovo

- Slitiny olova s antimonem (od 10 do 0,5 % Sb)
- Slitiny s nízkým obsahem Sb lze tvářet – pláště kabelů
- Slitiny s vysokým obsahem Sb – pro odlévání (desky akumulátorů..)

Kompozice (ložiskové kovy)

- Olověné kompozice – Pb-Sb-Sn (až 15 %Sb, až 16 %Sn, až 2 %Cu)
- Měď tvoří s cínem intermetalid Cu_6Sn_5 – vylučuje se z taveniny jako primární fáze tvořící kostru přispívající k tvrdosti kompozice
- Cínové kompozice – Sn-Sb s přísadou Cu až 6%
- Slitiny Cd-Ni, Cd-Ag, In-Pb

Liteřina

Slitiny zinku – pro lití pod tlakem optických a elektrotechnických přístrojů, karburátory...

Hliník a slitiny hliníku

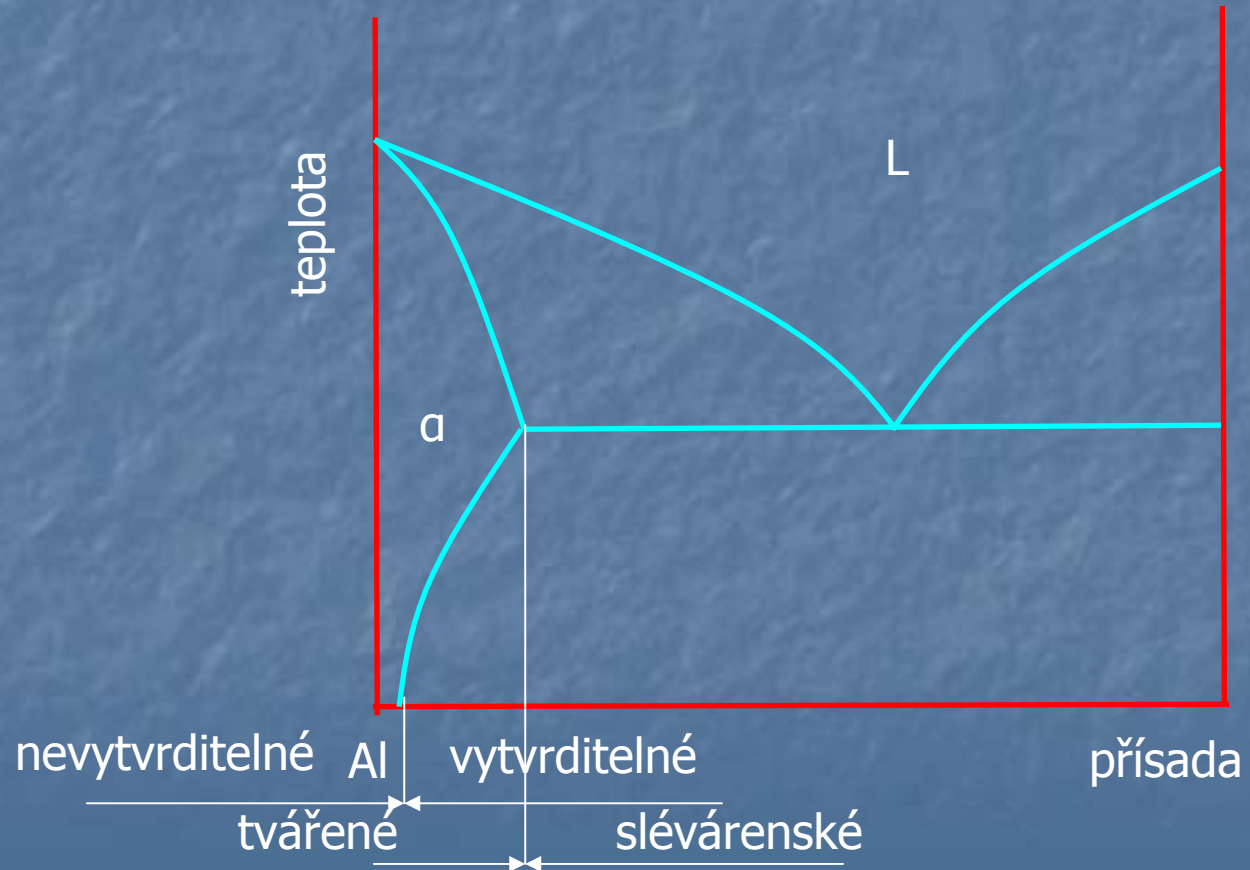
- Vedle oceli patří k nejpoužívanějším kovovým konstrukčním materiálům
- Surovinou k výrobě je bauxit, v čistém stavu oxid hlinitý – z taveniny tohoto oxidu ve směsi s kryolitem se získává elektrolyticky čistý hliník
- Nízká měrná hmotnost ($2470\text{-}2890\text{ kgm}^{-3}$) a poměrně dobrou pevnost (90-670 MPa)

Hliník technické čistoty:

- Pevnost v tahu nízká cca 70 MPa
- Elektrovodič
- Obaly v potravinářství.....

Slitiny hliníku

- Dělení slitin lze provést podle způsobu zpracování, jiné dělení můžeme provést podle toho jestli je slitina vytvrditelná či ne atd...



Slitiny hliníku pro tváření

Slitiny nízkopevnostní s dobrou odolností proti korozi

- Slitiny hliníku s hořčíkem, hořčíkem a křemíkem, manganem
- Jsou svařitelné a tvařitelné
- Používají se v letectví, stavebnictví a bytové architektuře

Slitiny a vyšší a vysokou pevností, s nízkou odolností proti korozi

- Slitiny na bázi Al-Cu-Mg – nejpoužívanější materiály
- Duraly – AlCu4Mg, AlCu4Mg1, AlCu4Mg1Mn
- Značné pevnosti se dosahuje vytvrzováním

- Slitiny Al-Li – vývojové slitiny – nižší hmotnost, větší E

Slitiny hliníku pro odlitky

Binární siluminy

- Slitiny Al-Si
- Podeutektické (do 11,7 %Si), eutektické, nadeutektické (nad 11,7 %Si)
- Nejlepší slévárenské vlastnosti mají eutektické siluminy
- Hliníkové pájky

Speciální siluminy (do 275 °C)

- Pro zlepšení pevnostních charakteristik se přidávají přísady Mg a Cu
- Lze je vytvrzovat
- Písty, skříně převodovek....

Modifikace siluminů

- Modifikování alkalickými kovy

Slitiny Al-Cu

- Obsahují ještě nikl a železo
- Disperzně zpevněná matrice
- Pro teploty 350-450 °C

Slitiny Al-Mg

- Mají nejvyšší měrnou pevnost a rázovou houževnatost ze slévárenských slitin
- Pro odlitky mechanicky namáhané za vyšších teplot – žebrované hlavy válců, fotopřístroje, nádobí pro styk s potravinami

Slitiny Al-Zn-Mg

- Dobře svařitelné

Tepelné zpracování slitin hliníku

- Nejčastější TZ hliníku je rekrystalizační žíhání
- Hlavní TZ slitin hliníku je žíhání a vytvrzování
- Žíhání na odstranění pnutí – u tvarově složitých součástí tvářených za tepla, u odlitků litých zejména do kokil a po svařování – 300-400 °C
- Žíhání rekrystalizační – mezioperace po tváření za studena – 300-500 °C
- Žíhání stabilizační – pro stabilizaci struktury (vlastností i rozměry) – 240-350 °C
- Žíhání vytvrzených slitin – k dosažení odpevnění je-li vytvrzený materiál určen k další operaci tváření – 350-450 °C
- Vytvrzování – rozpouštěcí ohřev s následným ochlazením a vytvořením metastabilního přesyceného tuhého roztoku a jeho následné stárnutí. Rychlost ochlazování je určena kritickou rychlostí stanovenou z kinetických diagramů rozpadu nerovnovážného tuhého roztoku. Stárnutí je rozpad přesyceného tuhého roztoku (přirozené, umělé).

Vzhledem k velmi úzkému teplotnímu intervalu mezi křivkou rozpustnosti a solidem je třeba teplotu rozpouštěcího žíhání dodržovat s přesností 5°C!!

Hořčík a slitiny hořčíku

- Čistý hořčík je jako konstrukční kov nepoužitelný
- Jeho slitiny s Al, Zn jsou nejvíce používané (známé jako Elektron) – zpevňující účinek hliníkem
- Slitiny Mg-Zn-Zr – mají vyšší hodnoty meze kluzu a pevnosti vlivem zpevňujícího účinku zinku a také zirkonu zjemňujícího zrna

- Tepelné zpracování Mg závisí na složení slitiny a na požadovaných konečných vlastnostech:
 - Homogenizační – rovnoměrné rozložení prvků
 - Žíhání na snížení pnutí
 - Rekrytalizační
 - Vytvrzování – jen u soustav, kde je nárůst pevnosti velký

Měď a její slitiny

- Čistá měď má vysokou el. vodivost, tepelnou vodivost
- Tvářená měď se používá pro zařízení vystavená nízkým teplotám, výměníky tepla, varné nádoby
- Plechy jsou určeny pro střešní krytinu, okapy.....
- Tváříme za studena nebo v rozmezí teplot 800-900 °C

- Polovina produkce mědi je určena na slitiny:
- Podle způsobu použití je rozdělujeme na slitiny tvářené a odlévané
- Mosazi (zinek), bronzы (Sn, Pb, Al.....)

Mosazi

- Slitiny mědi a zinku s dalšími přísadami
- Diagram Cu-Zn je jedním z nejsložitějších (4 intermediální fáze + změny rozpustnosti v tuhém stavu, peritektické přeměny)
- Slitiny můžeme rozdělit na homogenní (jednofázové) a heterogenní
- Jednofázové slitiny mohou obsahovat maximálně 39 %Zn, při teplotě 20 °C pak 32 %Zn
- Heterogenní mají ve struktuře navíc fázi β – tvrdá a křehká
- Pevnost roste až do obsahu 45 %Zn kdy již fáze β převládá – další zvýšení obsahu zinku má za následek vymizení fáze α – pokles pevnosti mosazi

Mosazi pro tváření

- Pásky, plechy, dráty, profily, trubky
- Obsah Zn je 5-42 % - jsou tedy homogenní i heterogenní
- ČSN EN 42 32XX + Ms (obsah mědi)
- Mosaz s více než 80 %Cu – tombaky – dobrá odolnost proti korozi a velmi dobrá tvárnost
- Mosazi s 68-70 % Cu mají nejlepší tažnost – nábojnice, hudební nástroje..
- Mosazi s obsahem 58 %Cu + Pb – šroubová mosaz (krátká drobivá tříška)

Mosazi pro odlitky

- Mají 58-63 % Cu
- Velmi dobrá zabíhavost, malý sklon k odměšování
- Mají velké smrštění (i přes 1,5 %)!!
- Stavební a nábytková kování, ventily, ložisková pouzdra....

Zvláštní mosazi

- Obsahují přísady dalších kovů zlepšující vlastnosti
- Sn – mají výborné akustické vlastnosti – hudební nástroje
- Ni – vysoká pevnost a odolnost proti korozi – lékařské nástroje...
- Al – kondenzátorové trubky....
- Mosazi s teplotou tavení vyšší než 500 °C patří k tzv. tvrdým pájkám

bronzy

Cínové bronzy

- Pro tváření – 9 %Sn – dobré kluzné vlastnosti – kluzná ložiska
- Pro odlitky:
- 12% Sn – dobrá pevnost a houževnatost, odolnost proti korozi, výborné třecí vlastnosti
- 14-16 % Sn – pro díly značně namáhané
- 20-22 % Sn – zvony
- 30-33 % Sn – optická zrcadla

Červené bronzy – Cu-Sn-Zn

Hliníkové bronzy – žáruvzdorné

Křemíkové

Fosforové – pájky

Beryliové – nejpevnější (1400 MPa) – pružiny s dobrou el. Vodiivostí, nejiskřící nástroje

Olověné – kluzná ložiska

Niklové a manganové – konstantan – odpory....

Nikl a slitiny niklu

- Feromagnetický kov, drahý
- Asi 60 % Ni je přísadou do ocelí, 15 % plechy, 25 % slitiny
- K povrchovým úpravám ke zvýšení odolnosti proti korozi

- Slitiny niklu se vyznačují vysokým elektrickým odporem, vysokou odolností proti korozi a opalu, vysokou pevností, žárupevností a houževnatostí.

- Konstrukční slitiny
- Slitiny se zvláštními fyzikálními vlastnostmi
- Slitiny žáruvzdorné a žárupevné

Konstrukční slitiny niklu

- Ni - Cu – monely – vysoká odolnost proti korozi, pevnost 500-1200MPa, používají se pro zařízení chemického, potravinářského a farmaceutického průmyslu, součásti čerpadel a lopatky turbín
- Ni - Be (do 2 %Be) – po vytvrzení mají pevnost až 1800 MPa při dobré houževnatosti. Použití do 500 °C na pružiny, membrány, trysky...
- Ni – Mn – odolávají korozi i za vyšších teplot – elektrody zapalovacích svíček
- Ni – Mo – vhodné pro odlitky, odolává působení kyseliny solné a chloridů

Slitiny niklu se zvláštními fyzikálními vlastnostmi

- Termočláňkové, Ni-Cr – chromel, teplotní rozsah 300-1000 °C
- Odporové, Ni-Cr (20 %) – topné odpory do 1150 °C
- Magneticky měkké Ni-Fe (22-64 %) – permaloy – jádra transformátorů měřících zařízení
- Slitiny s malou roztažností – invar, elinvar, kovar

Žárovzdorné a žárovevné slitiny niklu

- Jsou určeny pro teplotně a napětově nejvíce namáhané součásti
- Tavení a odlévání vyžaduje vakuovou technologii!!
- Žárovzdorné slitiny jsou na bázi Ni-Cr nebo Ni-Cr-Fe
- Nikl s chrómem tvoří soustavu s úplnou rozpustností v tuhém stavu
- Chróm je základním přísadovým prvkem – 15-30 %
- Struktura je tvořena tuhým roztokem s plošně středěnou krychlovou mřížkou, zpevnění je substituční – creep!!
- Žárovevné slitiny jsou také na bázi Ni-Cr + Al, Ti (tvoří zpevňující fázi) + prvky karbidotvorné
- Po rozpouštěcím žíhání následuje rychlé ochlazení (metastabilní tuhý roztok) a stárnutí (precipitace intermetalik) (Ni_3Ti , Ni_3Al ...)
- Spodní hranice je 550 °C horní pak 950 °C

Titan a slitiny titanu

- + nízká měrná hmotnost, vysoká měrná pevnost, použití za nízkých teplot
- - vysoké náklady na výrobu a zpracování, nízký modul pružnosti
- Používá se především v chemickém, papírenském a textilním průmyslu (je odolný vůči chlóru a jeho sloučeninám....), v lékařství, letectví...

Slitiny titanu

- Titan má dvě alotropické modifikace:
 1. Ti_{α} s mřížkou hexagonální, do 882,5 °C
 2. Ti_{β} s mřížkou prostorově středěnou kubickou, do teploty tání 1668 °C
- Přísadové prvky se v obou modifikacích rozpouštějí úplně nebo částečně a tvoří roztoky alfy nebo beta, které zachovávají mřížku dané modifikace titanu

- Podle konečné struktury se dělí na:
 1. Slitiny α
 2. Slitiny pseudo α
 3. Slitiny $\alpha+\beta$
 4. Slitiny pseudo β
 5. Slitiny β

slitiny α

- Obsahují stabilizátor – hliník
- Mají velkou tepelnou stabilitu, dobrou pevnost a odolnost proti křehkému porušení i za velmi nízkých teplot

Slitiny pseudo α

- Do základní báze Ti-Al jsou přidány prvky stabilizující a zpevňující fázi β
- Mají vyšší pevnost a tvárnost

Slitiny $\alpha+\beta$

- Nejčastěji používané slitiny
- Mají lepší tvařitelnost, lepší odolnost proti únavovému namáhání a lze je vytvrdit (mají nižší K_{T})
- Svařitelnost a odolnost vůči creepu je horší
- Pro lopatky turbín a kompresorů, součásti leteckých draků, jízdní kola...

Slitiny β a pseudo β

- Vysoká odolnost proti korozi, velmi dobrá tvařitelnost
- Vyšší hmotnost, pevnost až 1400 MPa

Žáropevné pseudoslitiny titanu

- Základ – intermetalické sloučeniny (Ti_3Al , TiAl)
- Žárupevnost je srovnatelná se slitinami niklu
- Nízká tvárnost☹

Materiály a s tvarovou pamětí

- Základem je intermetalid TiNi , tvařitelný za studena
- Vratná martenzitická přeměna – ohřevem

TZ – žíhání na odstranění pnutí, rekrystalizační, izotermické, stabilizační, vytvrzování

Kobalt a jeho slitiny

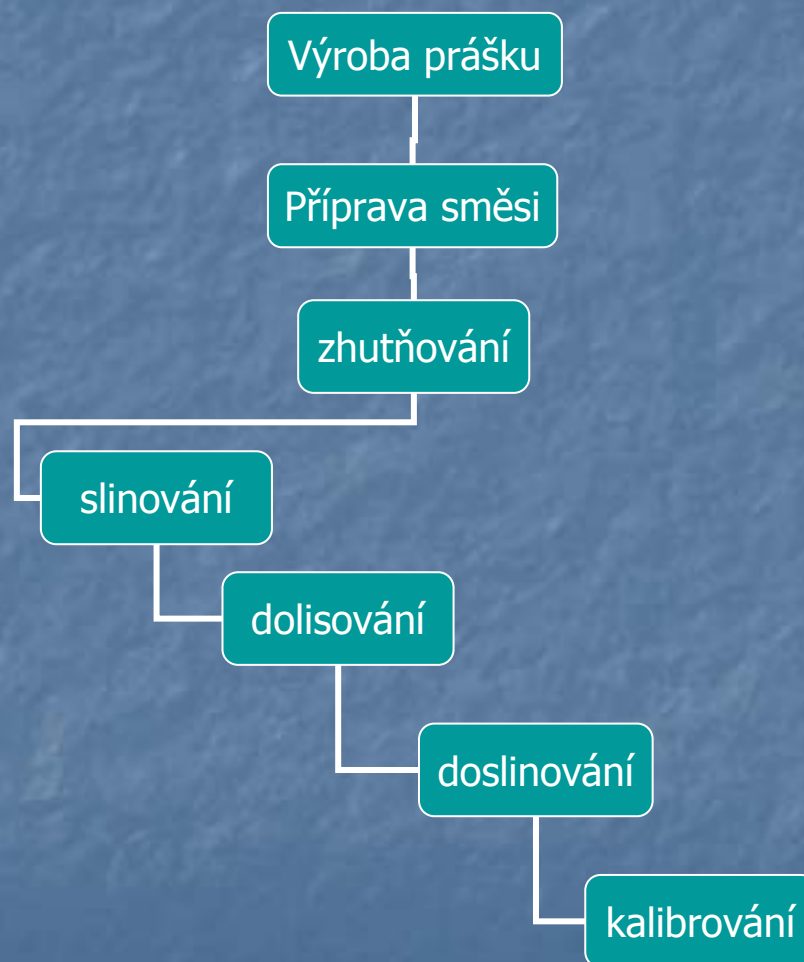
- Feromagnetický, polymorfní kov
- Pojivo při výrobě tvrdokovových materiálů – PM
- U slitin je zpevnění substituční a nemusí se odlévat ve vakuu
- Nejvhodnější do prostředí se sírou a sodíkem

Kovy a slitiny s vysokou teplotou tání

- W, V, Mo, Ta, Cr, Nb, Zr
- Obtížná výroba a zpracování
- Přísadové prvky
- Využití v práškové metalurgii
- Katalyzátory chemických reakcí

Slinuté kovy – prášková metalurgie

- Hospodárná technologie lisování
- Bezodpadní....



Výroba kovových prášků

Mechanické drcení

- Vhodné u křehkých materiálů
- U houževnatých omezeně – výroba hydridů, cold-stream process

Rozprašování kovové taveniny

- Rozprašování vodou – pro kovy s nízkou rozpustností kyslíku
- Rozprašování plynem a ochlazení ve vodě – pro prášky s nízkým obsahem kyslíku, miskovitý nebo kulovitý tvar částic
- Rozprašování kovu v plynu a ochlazení v netečném plynu – s velmi nízkým obsahem kyslíku

Tříštění kapek kovu

- Kapky dopadají na rotující lopatky

Rozprášení kapek

- Výroba prášku titanu kulovitého tvaru
- Tavení tyče elektrickým obloukem nebo plasmou

Chemické způsoby výroby prášku

- Prášek je produktem chemické reakce (vznik karbonylů-kov)

Příprava prášků

- Zaručit sypkost, lisovatelnost, slinovatelnost

Třídění

- Dle velikosti zrna

Magnetické odlučování

- Odstranění nečistot z feromagnetických prášků

Tepelné zpracování

- Žíhání na měkko

Redukce

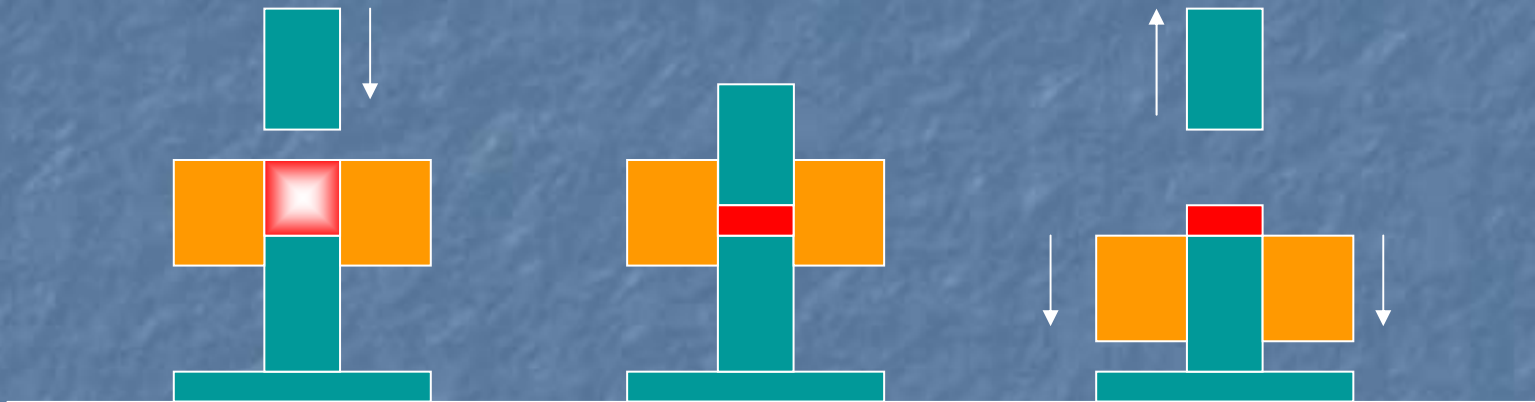
- Odstranění vrstvy oxidů z povrchu prášku

Míchání

- Při výrobě z prášků různého chemického složení

Zhutnění

- Jednoosé lisování – tlak 20-100 MPa



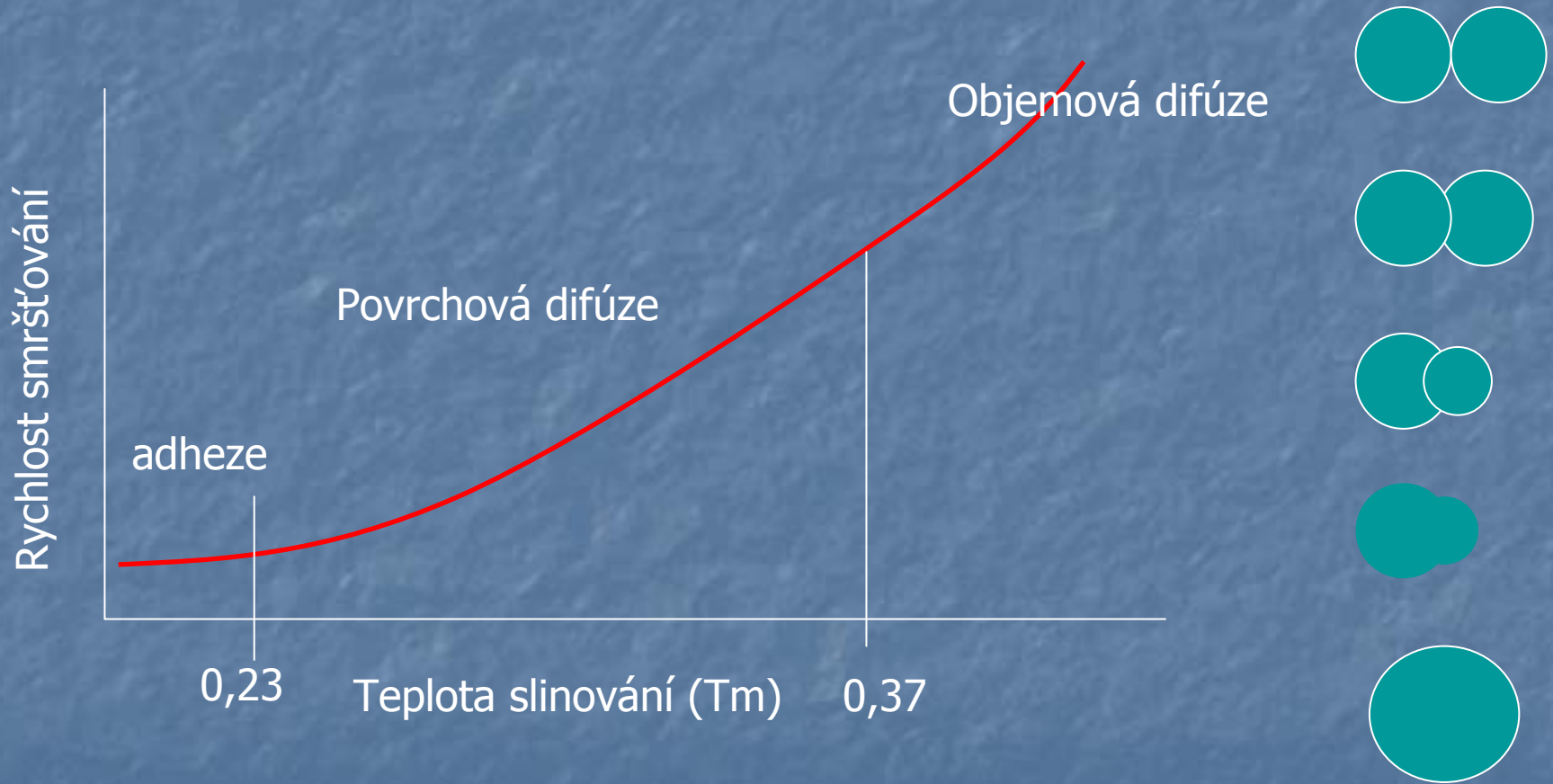
Lisovací nástroje jsou z nástrojových ocelí a pracovní plochy jsou vyloženy slinutými karbidy

Izostatické lisování – pro výrobky s nevýhodným poměrem výšky ku průměru (2,5:1)

- Prášek je v pouzdru z gumy vystaveného v tlakové nádobě tlaku až 400 MPa
- **Protlačovací lisování** – polotovary velké délky
- **Válcování prášku** – plechy a pásy
- **Zhutnění vysokou energií** – u prášků se špatnou lisovatelností (keramika) – lisování výbuchem
- **Stříkání prášku** – podobné stříkání plastů

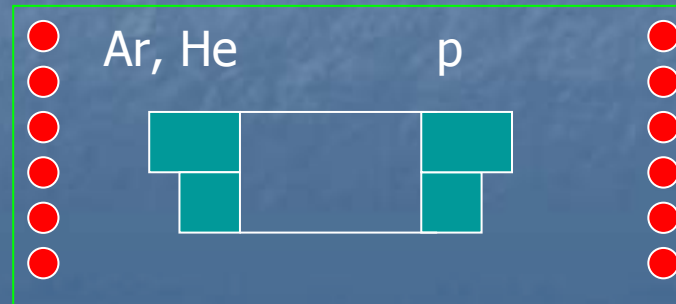
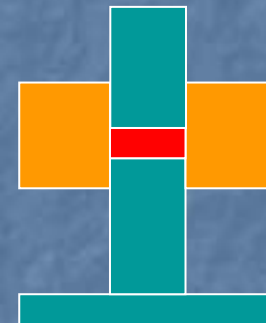
Slinování

- Základem je difúze atomů kovů



Technologie slinování

- **Přímý ohřev**
- Ohřev průchodem elektrického proudu
- Jednoduchá tělesa
- **Nepřímý ohřev**
- Slinování průběžné nebo přerušované
- **Slinování pod tlakem lisovníku**
- **Izostatické lisování za tepla**
- 100-200 MPa při 2000 °C
- Patrona naplněná práškem



Použití výrobků PM

- Vysoká teplota tavení – tvárné kovy Mo,, W, Ta, Nb
- Rozpad karbidu při teplotě tuhnutí – slinuté karbidy
- Rozdílné teploty tavení – kovové uhlíky, slinuté karbidy
- Velké rozdíly v hustotě – ložiska z kovu a grafitu...
- Homogenita v rozdělení tvrdých částic – disperzní slitiny
- Špatná slévatelnost – permanentní magnety
- Není možné třískové obrábění – vysoce legované křehké oceli...
- Nehospodárná výroba kováním, odléváním, třískovým obráběním – malé součástky ve velkých sériích



Technicky důležité slituté materiály

- Slituté oceli – strojírenství, elektrické nástroje.....
- Slituté karbidy – WC + Co (90/10) – tvrdost až 1800 HV (pevnost v ohybu 3000 MPa)
- Materiály se stanovenou porézností – kovové filtry (pórovitost 27 % a více) z Cu90Sn10, kluzná ložiska – FeCu, bronzy...

Keramické konstrukční materiály

- Anorganické nekovové materiály
- Obsahují kovové a nekovové prvky vázané především iontovými nebo iontově-kovalentními vazbami
- Tradiční keramika – ze surovin nacházejících se v přírodě (jíl, křemen, živec...)
- Progresivní keramika – výroba z čistých, práškových uměle připravených sloučenin (oxidy, boridy, karbidy, nitridy)
- Skelné materiály – průhledné a tvrdé

Výroba keramiky

- Úprava prášku
- Tvarování – lisování, suspenzní lití, vytlačování, vstříkávání
- Tepelné zpracování – sušení nebo odstraňování pojiva
- Zahřívání (slinování) – při teplotách pod teplotou tavení

- Vitřifikace – vypalování tradiční keramiky

Vlastnosti keramických materiálů

- Plasticita – malá
- Pevnost – závisí na velikosti zrn a vnitřních trhlin
- Lomová houževnatost – nízká
- Únava - není

Typy konstrukční keramiky

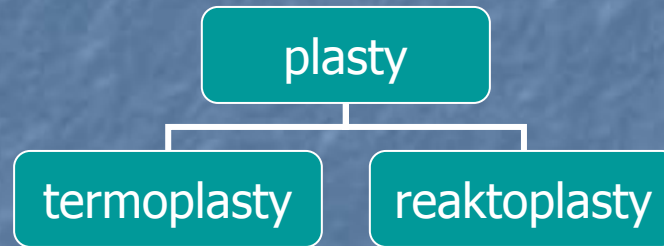
- Oxid hlinitý – nejpoužívanější
- SiC – vysoká tvrdost a odolnost při creepu za vysokých teplot
- SiN – vysokoteplotní aplikace
- Sialony (Si-Al-ON) – mezi oxidovou a neoxidovou keramikou
- Oxid zirkoničitý – vysoký bod tání a struktura umožňující transformační zhouževnatění

Použití:

- Otěruvzdorné součásti
- Řezné nástroje
- Ložiska
- Biokeramika
- Elektrochemická zařízení
- Tepelné stroje
- Povlaky
- Armáda a NASA

Plasty

- Materiály jejichž podstatnou část tvoří organické makromolekulární látky + přísady (aditiva za účelem úpravy specifických vlastností)

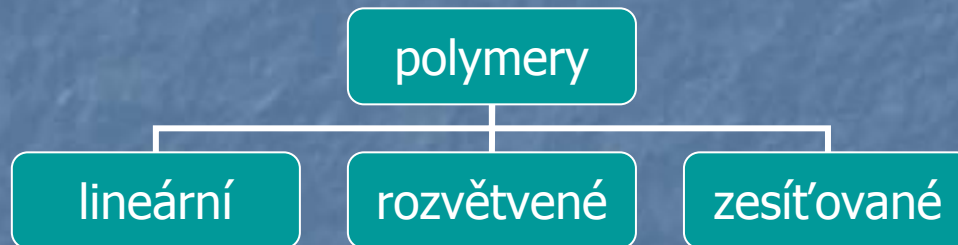


Termoplasty lze převést opakovaně do taveniny nebo viskózního toku
Reaktoplasty procházející při zpracování chemickotepelnou úpravou, zářením nebo pomocí zesíťovacích činidel vytvářejí prostorové zesíťované struktury pospojované kovalentními vazbami (vytvrzování, vulkanizace)

Příprava polymerů

- Syntetické polymery vznikají z nízkomolekulárních sloučenin chemickými reakcemi – polymerace
- Polymerace – adiční a kondenzační
- Adice – proces iniciovaný přítomností volných radikálů – nevznikají vedlejší produkty
- Kondenzace – reakce dvou různých monomerů za vzniku polymerního řetězce a vedlejšího produktu (voda, amoniak..)

- Z monomerů vznikají řetězením polymery



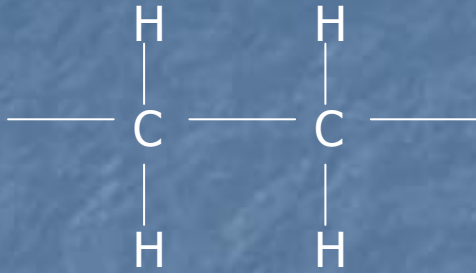
Příspěvky do polymerů

- • **Plnivo** – pevná netěkavá přísada přidávána k makromolekulárním látkám ve větším množství. Upravují se vlastnosti plastu a snižuje se cena. Mohou být organického nebo anorganického charakteru a podle tvaru jsou prášková (úprava fyzikálních vlastností) a vláknová (vyztužují hmotu a podstatně zvyšují pevnost),
- • **Stabilizátor** – přísada udržující vlastnosti makromolekulárních látek na původních nebo blízkých hodnotách během skladování, zpracování a používání. Především to jsou antioxidanty, světelné stabilizátory a tepelné stabilizátory,
- • **Mazivo** – přísada sloužící ke zlepšení tokových vlastností, k zabránění lepivosti ve formě aj. obvykle to bývají vosky či kyselina stearedová,
- • **Změkčovač** – málo těkavá organická látka dodávající polymerům požadované vlastnosti (ohebnost, mrazuvzdornost aj.),
- • **Nadouvadlo** – přísada uvolňující při zpracování plyny pro výrobu lehčených materiálů,
- • **Antistatické činidlo** – přísada potlačující vznik statické elektřiny a tím i ulpívání prachu na povrchu,
- • **Barvivo** – dodává plastům požadovanou barvu
- **Retardéry hoření**

Struktura polymerů

- Submolekulární – opakující se konstituční jednotka polymerního řetězce – druh atomů, vazeb, velikost a rozmístění substituentů na uhlíkových atomech
- Molekulární – uspořádání makromolekul z hlediska velikosti a jí distribuce, větvení, hustoty sítě a vzájemného uspořádání opakujících se konstitučních jednotek
- Nadmolekulární – vzájemné uspořádání makromolekul a útvarů vzniklých agregací jejich většího množství – druh elementární krystalové buňky, tloušťka lamelárních krystalů, krystalinita, stupeň orientace

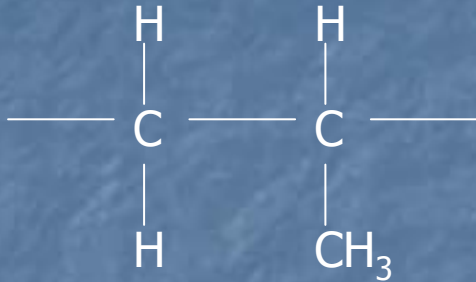
Polyethylen PE



- Houževnatý semikrystalický polymer
- Odolává kyselinám, zásadám a rozpouštědlům
- Pevnost v tahu až 35 MPa
- Teplota použitelnosti až 75 °C

- Folie na obaly, hadice, kanystry.....

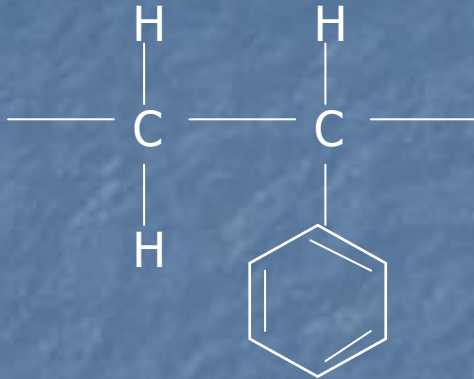
Polypropylen PP



- Semikrystalický polymer
- Pevnost 21 – 37 MPa
- Tažnost až 700 %
- Tepelná odolnost do 100 °C
- Oxidační kyseliny jej rozpouští a rozpouštědlech bobtná

- Potrubí, armatury.....

Polystyren PS



- Amorfnní polymer s lineárními řetězci
- Tvrdý, křehký, chemicky inertní
- Pevnost 35 – 65 MPa
- Teplotní odolnost do 70 °C
- Odolný proti vodě, oxidující kyseliny jej nabobtnávají

- Lehčený polystyren je vhodný jako izolace ve stavebnictví

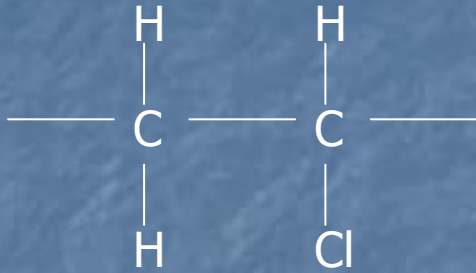
Polytetrafluoretylen PTFE



- Teflon
- Krystalický polymer s krystalinitou až 95 %
- Hustota cca $2300 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
- Nehořlavý
- Teplotní použitelnost až do $250 \text{ }^\circ\text{C}$
- Výborné třecí vlastnosti

- Kluzná ložiska, těsnění...

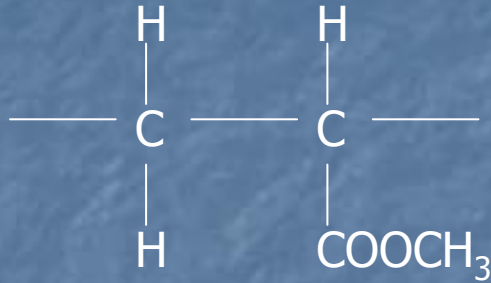
Polyvinylchlorid PVC



- Amorfní polymer, lineární a rozvětvené molekuly
- Pevnost až 60 MPa
- Teplotní odolnost do 80 °C

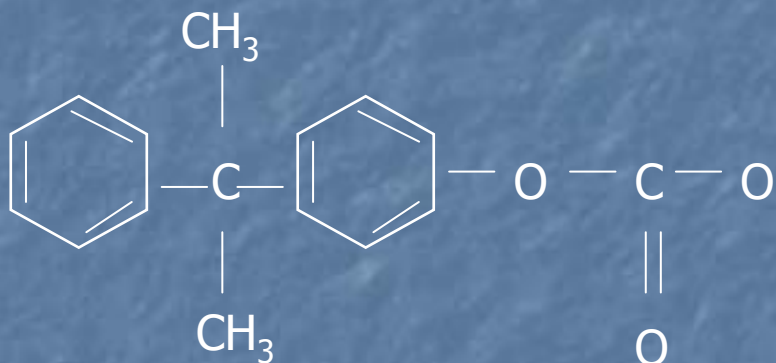
- Potrubí, armatury, hadice, izolace v elektrotechnice....

Polymetylmetakrylát PMMA



- Plexisklo
- Amorfní polymer
- Čiré netříštivé organické sklo

Polykarbonát PC



- Amorfní polymer
- Teplotní použitelnost do 120 °C
- Pevnost až 70 MPa
- Části elektrospotřebičů, nádoby v potravinářském a chemickém průmyslu

Polyetyltereftalát PET

- Pevnost až 80 MPa
- Houževnatý, odolný proti opotřebení
- Teplotní použitelnost do 100 °C
- Výlisky jsou vhodné na přesné strojní součásti
- Fólie se používají na izolace kabelů, magnetofonové pásky..
- Vlákna (tesil) – průmyslové tkaniny.....
- Vyfukováním se vyrábějí láhve na nápoje

Polyamidy PA

- Má krystalickou strukturu
- V řetězci obsahuje dusík

- PA6 – silon
- Pevnost až 85 MPa
- Dobré třecí vlastnosti, tlumí rázy
- Tepelná odolnost do 120 °C
- Neodolává metylalkoholu a ve vodě bobtná
- Používá se především na lana, vlasce, v textilním průmyslu...

- PA66 – nylon
- Nízká sorpce vody
- Lana mají lepší mechanické vlastnosti

Reaktoplasty

- Mají typickou zesíťovanou strukturu
- Amorfní, nerozpustné, netavitelné
- Lze je obrábět

Fenoplasty

- Fenolformaldehydová pryskyřice – Bakelit
- Polykondenzace fenolu s formaldehydem
- Podle poměru a způsobu kondenzace se rozlišují:
- Novolaky – pro nátěrové hmoty, tmely...
- Rezoly – lepidla, lisovatelné pryskyřice....

Aminoplasty

- Vznikají kondenzací formaldehydu s amino sloučeninami (močovinou, melaminem..)
- Podobají se fenoplastům
- Nátěrové hmoty..
- Pevné a tuhé transparentní, zdravotně nezávadné
- Vnitřní dekorace.....

Epoxidové pryskyřice

- Lepidla
- Teploty do 160 °C
- Odolávají zředěným kyselinám a některým rozpouštědlům

Polyesterové pryskyřice

- Teploty do 120 °C
- Pojivo do laminátů
- Síťovací reakce je exotermická!!!

Mechanické vlastnosti plastů

- Tahové diagramy – průběh je výrazně závislý na teplotě i rychlosti zatěžování

Křehké materiály

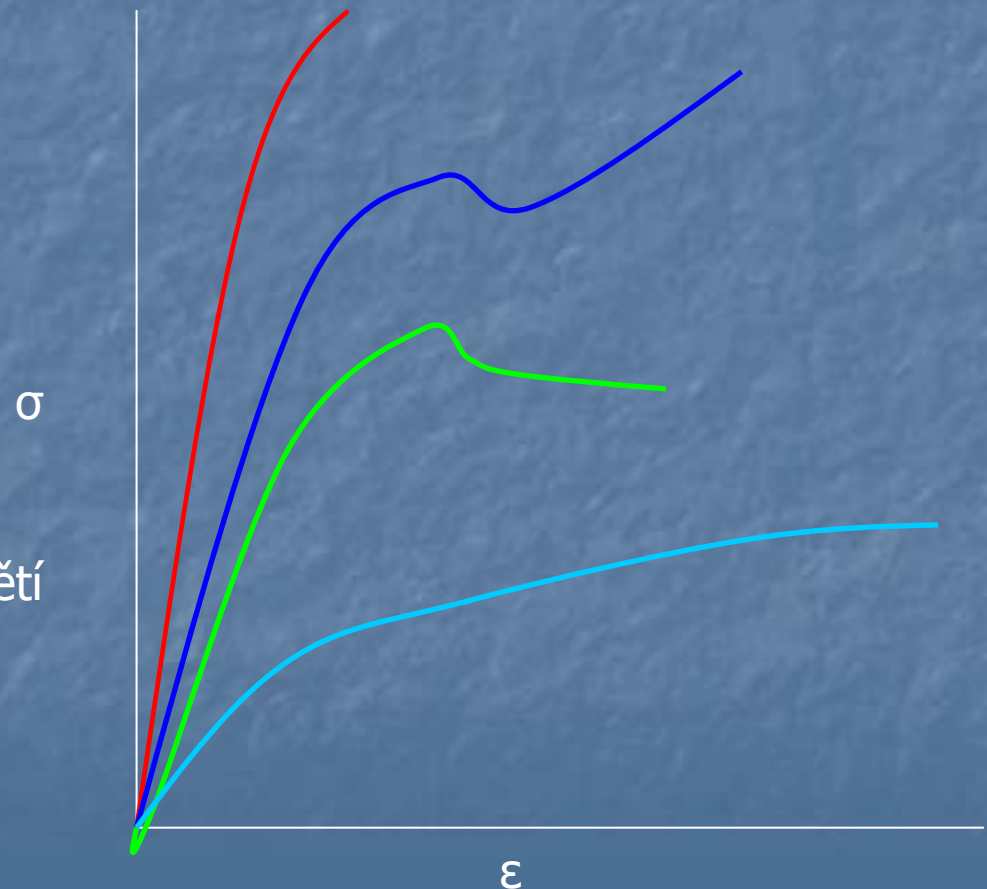
Houževnaté materiály s
napětím na mezi kluzu nižším
než při přetržení

Houževnaté materiály s
napětím na mezi kluzu vyšším
než při přetržení

Houževnaté materiály bez
meze kluzu

Pevnost je buď mez kluzu nebo napětí
při přetržení

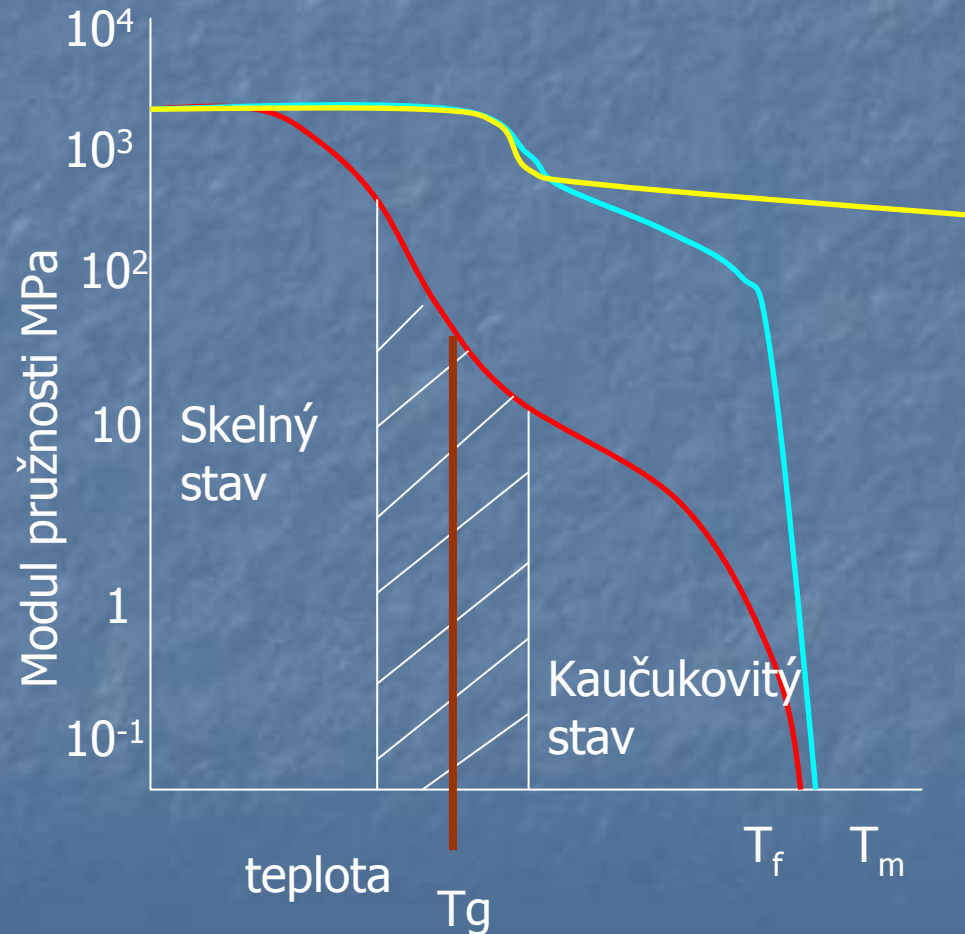
Prodloužení se bere celkové



Teplotní závislost modulu pružnosti

Amorfní termoplastické polymery

- S rostoucí teplotou se oslabují soudržné síly a E mírně klesá – pohyblivost řetězců je omezena (zamrznuty) – sklovitý stav
- Deformační chování - podobá se anorganickým sklům
- Zvyšování teploty má za následek snížení E o 4 řády a přechod ze skelného do kaučukového stavu
- Při dalším zvyšování teploty - přechod z kaučukovitého stavu do stavu viskózního toku T_f
- Nad teplotou T_f se polymery zpracovávají (vstřikováním.....)

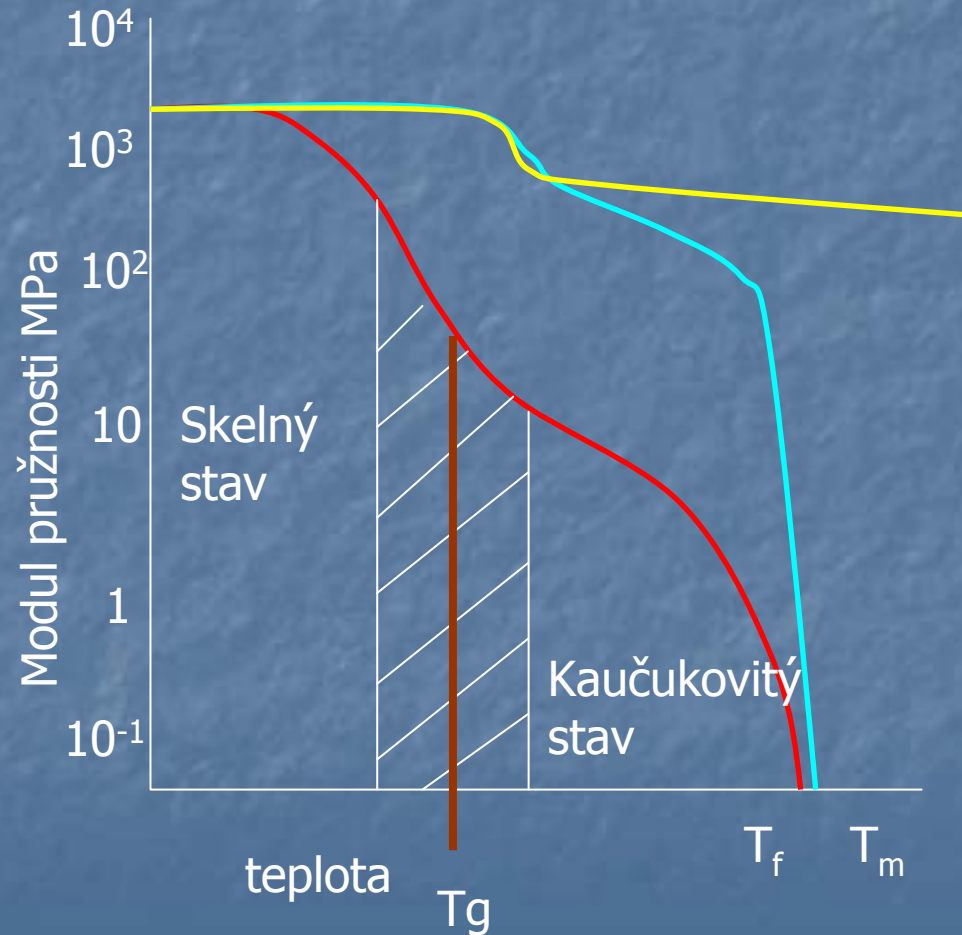


Semikrystalické polymery

- Obsahují amorfnní a krystalickou fázi
- Krystalové útvary vyztužují matici v oblasti nad teplotou skelného přechodu T_g – pokles E je malý

Sesítěné polymery

- Pokles E po dosažení T_g je max o jeden až dva řády
- Pokles závisí na stupni zesíťení a chemické struktuře síťujícího činidla
- E je nad teplotou T_g téměř konstantní až do teplot, kdy dochází k degradaci a porušování kovalentních vazeb



Viskoelastické chování polymerů

- Celková deformace v čase $\varepsilon_c(t)$ se skládá z deformace pružné časově nezávislé ε_1 , z deformace pružné časově závislé ε_2 a z deformace trvalé ε_3 vzniklé tečením

Elastomery (kaučuky)

- Přírodní – získává se z latexu kaučukovníku
- Syntetické – izoprénový, butadien styrenový, silikonový, polyuretanový, butylový.....
- Liší se mechanickými vlastnostmi a mají různé odolnosti proti degradaci
- Mají teplotu skelného přechodu pod 0°C
- Od 160 °C se stávají lepkavými

Polyizopren

- Je podstatou přírodního kaučuku získávaného z latexu kaučukodárných rostlin. Stejnou strukturu má i syntetický polyizoprénový kaučuk, který má výhodu ve větší čistotě, konstantní kvalitě a možnosti řízení délky makromolekul při polymeraci. Charakteristickou vlastností polyizoprenu je krystalizace vyvolaná deformací v tahu, což vede k jeho výraznému zpevnění.

Polybutadienový kaučuk

- Tento kaučuk se vyznačuje vysokou elasticitou i za nízkých teplot, vysokou odolností proti otěru, vyšší odrazovou pružností a nižšími hysterezními ztrátami než má polyizopren. Používá se rovněž jako elastomerní přísada pro zvýšení houževnatosti plastů.

Butadien – styrenový kaučuk

- Je nejdůležitějším syntetickým kaučukem, tvoří více než 55 % spotřeby všech kaučuků. Připravuje se kopolymerační reakcí butadienu (70 až 78 %) a styrenu (22 až 30 %).

Olejuvzdorné kaučuky

- Mezi tyto speciální kaučuky se řadí především kaučuk butadienakrylonitrilový a polychloropren. Butadienakrylonitrilový kaučuk vzniká kopolymerací butadienu a polárním akrylonitrilem s jehož obsahem klesá bobnavost v pohoných látkách a v olejích, roste tvrdost, ale klesá elasticita. Polární polychloropren kromě olejuvzdornosti vyniká dobrou odolností proti povětrnosti a ozonu, je samozhášivý a má výbornou adhezi k různým materiálům.

Tepluvzdorné kaučuky

- Nejdůležitějším kaučukem této skupiny je kaučuk silikonový. Má trvalou teplotní odolnost 200 až 250 °C, krátkodobě až do 350 °C. Avšak pro svojí nízkou hodnotu kohezní energie je jeho pevnost v tahu výrazně menší než u běžných kaučuků.

Pryže

- Vulkanizovaný kaučuk
- Vulkanizace – vytvoření chemických vazeb mezi kaučukovými molekulami (dochází k zesílení) 150 °C
- Kaučuková směs – kaučuk, vulkanizační činidlo, urychlovače, aktivátory, plniva, změkčovadla, pigmenty, barviva.....
- Kaučukovitost (množství kaučuku)
- Nad 80 % - vlákna, máčení
- 50-80 % - pneumatiky, duše...
- 30-50 % - obuv, hadice....
- Pod 30 % - podlahoviny, těsnění...

Kompozity

- **Kompozity** (neboli kompozitní materiály) tvoří jedna nebo více nespojitých fází, uložených ve fázi spojité. Diskontinuální fáze bývá obvykle pevnější než fáze spojitá a označuje se jako výztuž, zatímco spojitá fáze se nazývá matrice.
- **Matrice** je nositelkou tvaru kompozitu a její funkcí je přenos zatížení do **vystužující fáze**. V porovnání s výztuží má obvykle nižší pevnost a vyšší plasticitu. Odděluje jednotlivé částice zpevňující fáze a brání rozvoji křehkého lomu. **Materiálem matrice může být kov, polymer nebo keramika.**

- Kompozitní materiály lze rozdělit podle mnoha různých kritérií z nichž nejčastěji jsou níže uvedené:
 - 1. **podle použité matrice**
 - • kompozity s kovovou maticí
 - • kompozity s polymerní maticí
 - • kompozity s keramickou maticí
 - 2. **podle druhu zpevňující fáze**
 - • kompozity s kovovou výztuží
 - • kompozity se skleněnou výztuží
 - • kompozity s keramickou výztuží
 - • kompozity s polymerní výztuží
 - • kompozity zpevněné whiskery
 - • kompozity s výztuží na bázi organického materiálu
 - 3. **podle geometrického tvaru zpevňující fáze**
 - • kompozity zpevněné částicemi (partikulové kompozity)
 - • kompozity zpevněné vlákny

Částicové kompozity

- Pro částicové kompozity je charakteristické, že zpevňující fáze je dispergována v matrici a jednotlivé částice výztuže jsou vzájemně oddělené
- Výztuž je považována za částicovou jsou-li její rozměry ve všech směrech přibližně stejné. Nejčastějšími tvary výztuže jsou koule, krychle, tyčinka a destička.
- Materiál částic i matrice může být libovolná kombinace kovů a nekovů a záleží jen na požadovaných výsledných vlastnostech kompozitu.
- Částice v kompozitu omezují rozvoj plastických deformací materiálu matrice.
- Z hlediska přenosu napětí na výztuž je potenciál částicových kompozitů nižší než ve srovnání s kompozity vláknovými.
- Z tohoto důvodu jsou částice účinné ve zlepšení tuhosti a povrchové tvrdosti, ale nenabízejí podstatné zvýšení pevnosti v tahu. Ve všech typech matric způsobují zlepšení vlastností při zvýšených teplotách a zvyšují creepovou odolnost.

- Důležitou kategorií částicových kompozitů jsou **disperzně zpevněné kovové materiály připravované práškovou metalurgií**, které jsou složeny z kovové matrice a jemně rozptýlených stabilních částic oxidů, nitridů, karbidů nebo boridů. Jsou izotropní, dají se svařovat a nacházejí použití především v extrémně tepelně namáhaných konstrukcích jako jsou díly raket, lopatky plynových turbín, jaderné reaktory atd.
- Existují i **částicemi vyztužené keramické materiály**, kdy je tuhá keramická fáze dispergována v tuhé keramické matrici a obě fáze přispívají k odolnosti kompozitu za vysokých teplot. Další možnou variantou kompozitu je kombinace **keramické matrice a kovu**, tyto materiály se nazývají **cermety** a kov zvyšuje houževnatost jinak křehké matrice. Cermety se používají na nástroje na nástroje pro vysokorychlostní obrábění.

Mechanika kompozitů s částicemi

- Hustota:

$$\rho_k = \sum_{i=1}^n \rho_i \cdot X_i$$

Modul pružnosti:

$$E_k = \sum_{i=1}^n E_i \cdot X_i$$

Použití kompozitů s částicemi

Slinuté karbidy

- Matrice Co, částice WC, TiC, TaC
- Slinování nad teplotou tavení kobaltu

Brusiva

- Částice Al_2O_3 , SiC, BN, C
- Matrice polymer

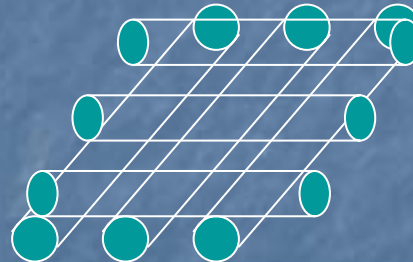
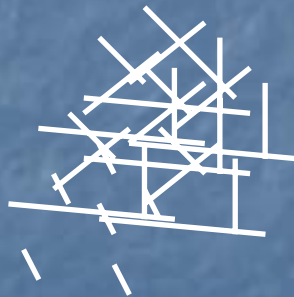
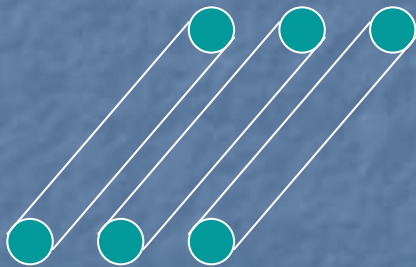
- Materiály pro elektrické kontakty

- Polymerní kompozity – pryž, olovo v PE (jaderná energetika)

- Formy pro odlévání, slitiny hliníku nebo hořčíku....

Vláknové kompozity

- Samostatná vlákna, snad kromě vlasců, nití a lan, nelze použít jako konstrukční materiál, a proto se vkládají do matrice, která je ochrání před poškozením a udává tvar výsledného kompozitu.
- Vysoký poměr délky k průměru dovoluje přenést velmi vysoký podíl aplikovaného namáhání z matrice do pevných vláken. Vlákna mají velkou ohebnost, což je charakteristické pro materiál mající vysoký modul pružnosti a malý průměr.
- Vlákna zpevňující kompozit mohou být přírodní, skleněná, keramická, na bázi polymeru nebo kovová.

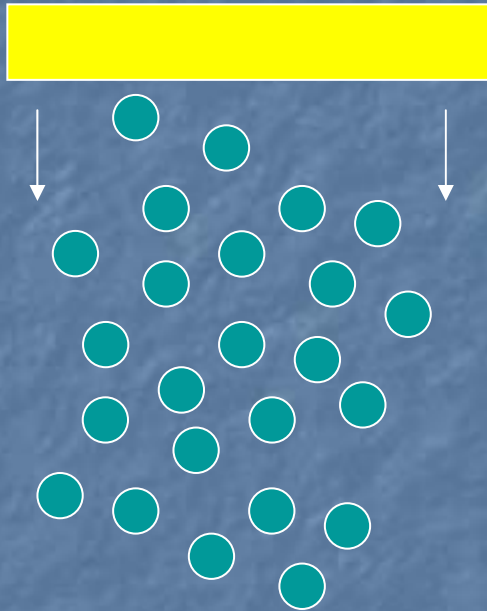


Mechanika kompozitů s vlákny

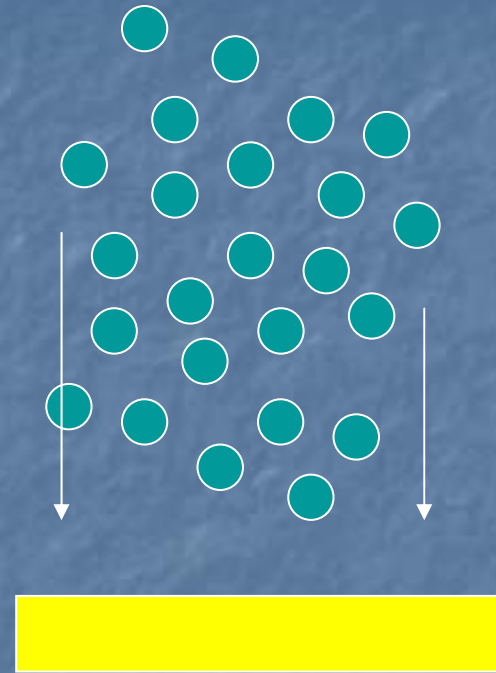
- Obdobné jako u částicových kompozitů
- Ve směru kolmém na vlákna pak platí:
 - Pevnost v tahu závisí na spojení vláken a matrice,
 - Mezní poměrné prodloužení musí mít matrice vyšší než vlákno!

$$\frac{1}{E_c} = \frac{V_m}{E_m} + \frac{V_v}{E_v}$$

Výroba kompozitů s vlákny



Infiltrace
Výztuž je nehybná
Roztavený kov zatéká do pórů



Disperze
Vyztužující fáze je přidávána na
povrch roztaveného kovu a
mícháním se strhává do taveniny
Nevýhoda-dlouhá doba kontaktu
výztuže s matricí☹️

- Stříkané kompozity
- Roztavený kov ve formě kapiček je vstříkován s výztuží nebo na výztuž
- Nevýhodou je zbytková pórovitost matrice kompozitu

- In-situ procesy:
- Chemická reakce kovu s jinou fází – TiAl....

Použití kompozitů s vyztužujícími vlákny:

- Vyztužený beton
- Pneumatiky – drát nebo nylon v pryži
- Sklolaminát – skelná vlákna nebo tkanina v polyesteru
- Kompozity pro letectví, energetiku, lodní průmysl, sportovní.....

Jiné druhy kompozitů

- Dřevo – anizotropní materiál, pevnost 70-140 MPa (35 MPa), lignin 6900 MPa
- Sendvičové materiály

Degradační procesy v konstrukčních materiálech

- Výrobní degradace – metalurgie, chemická a strukturní heterogenita, dendritická segregace, degradace svarových spojů
- Provozní degradace – stárnutí, radiační poškození, opotřebení, koroze

Koroze

- Chemická
- Elektrochemická (galvanický článek) – (hliníková slitina-bronz, voda), (ferit-cementit), (napětové pole mřížkových poruch)

Druhy korozního napadení:

- **Koroze rovnoměrná** – rozpouští se celý povrch
- **Koroze nerovnoměrná:**
 - Bodová – lokální poškození ionty Cl nebo O, napadá Fe, Al...snadno pasivovatelné kovy
 - Štěrbínová – jemné kapiláry se špatným oběhem korozního prostředí v důsledku rozdílu koncentrace kyslíku
 - Mezikrystalová – koroze po hranicích zrn – segregáty..... , (austenitické oceli, hliníkové a titanové slitiny)
 - Selektivní – napadá jen některé fáze nebo složky

Porušování koroze při napětí

- Korozní praskání – interkrystalické nebo transkrystalické
- Korozní únava – únava materiálu

Ochrana proti korozi

- **Opatření ovlivňující kov** – legování, TZ, povlaky, inhibitory koroze
- **Opatření ovlivňující korozní prostředí** – ochráné atmosféry, inhibitory koroze, odplynění vody...
- **Opatření ovlivňující konstrukci** – zamezení kontaktu dvou kovů o různém elektrochemickém potenciálu, zamezení hromadění vlhkosti, technologické aspekty

Zásady volby materiálu

- Dnes má konstruktér k dispozici cca 100 000 různých materiálů!!!
- Pro rutinní praxi musí znát detailně minimálně 100 materiálů!!!!!!!!!!

- Kovy – E, pevnost lze upravovat, malá odolnost proti korozi
- Keramika, sklo – křehké, E, citlivé na trhliny a vruby
- Polymery a elastomery – malé E, výborně tvarovatelné
- Kompozity – kombinace vlastností, drahé

- Technologie výroby
- Materiálové a výrobní náklady
- Ekologičnost
- Jiná – dostupnost, omezení, věrohodnost dat....

Proces volby materiálu

1. Definice funkcí, které výrobek bude muset zabezpečit a přenést je na požadované materiálové vlastnosti (pevnost, odolnost..), cenu či dostupnost materiálu
2. Definice výrobních požadavků – velikost, složitost, kvalitu povrchu, počet dílců....
3. Porovnání požadovaných vlastností v nejširší paletě materiálů a vybrat vyhovující
4. Posouzení vybraných materiálů detailněji – dostupnost polotovarů, ceny, technologických vlastností...
5. Na základě výsledků posouzení vybrat materiál a určit data a specifikace, potřebné pro konstrukci