

Výroba kovů

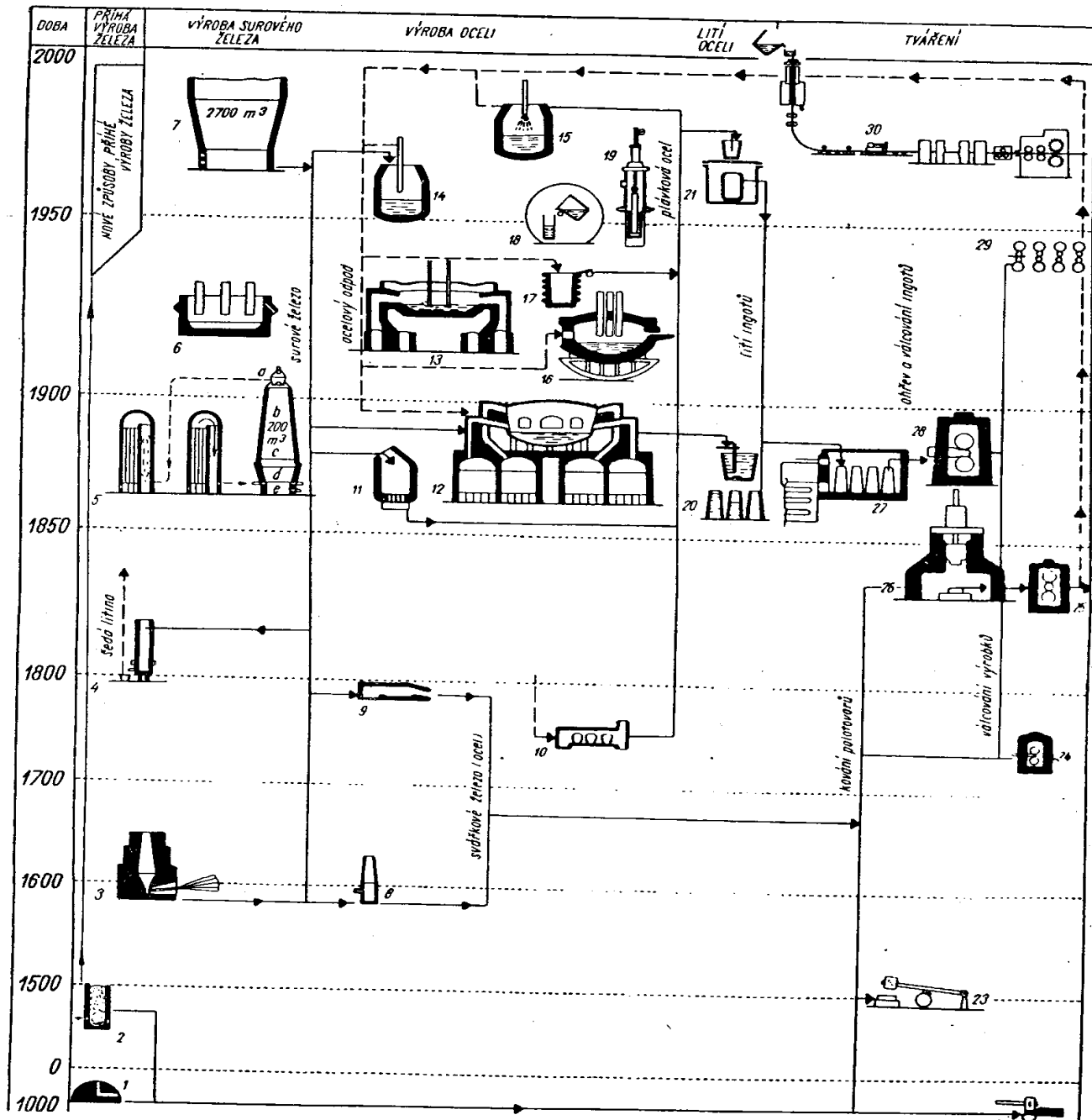
- Historie
 - Objevy a příprava kovů, výrobní postupy
 - Suroviny a redukční pochody
-

Tabulka 7-1. Doba objevu a počátky průmyslového

Li 1817	Be 1798 1920						
Na 1807	Mg 1755 1920						
K 1807 1955	Ca 1808	Sc 1879	Ti 1789 1945 1930 Fe	V 1830 1950 1905 Fe	Cr 1797 1920 1900 Fe	Mn 1774 1856 Fe	Fe 3. tisíciletí před n. l.
Rb 1861 1955	Sr 1790	Y 1794	Zr 1789 1950 1935 Fe	Nb 1801 1950 1940 Fe	Mo 1782 1910 1910 Fe	Tc 1937	Ru 1844 1900
Cs 1860	Ba 1808	La 1839	Hf 1922 1950	Ta 1802 1940 1920 Fe	W 1783 1910 1900 Fe	Re 1925 1960	Os 1803 1900

využití kovů a polokovů (podle Jenfčka)

				B 1808 1940 Fe 1950	C Od ne- paměti	N 1772	O 1772
				Al 1827 1895	Si 1823 1950 1860 Fe	P 1669	S Od ne- paměti
Co 1735 1910 Fe 1910	Ni 1751 1880 Fe 1880	Cu 6. tisíciletí před n. l.	Zn Staro- věk (1530)	Ga 1875	Ge 1886 1950	As 1250	Se 1817
Rh 1803 1890	Pd 1803 1880	Ag 4. tisíciletí před n. l.	Cd 1817 1910	In 1863 1940	Sn 4. tisíci- letí před n. l.	Sb 1450	Tc 1782
Ir 1803 1890	Pt 1735 1825	Au Od nepa- měti	Hg Staro- věk	Tl 1861	Pb 5. tisíci- letí před n. l.	Bi 1450	Po 1898



Obr. 7-2. Přehled vývoje pochodů výroby železa a oceli (L. Jeníček)

Přímá výroba železa z rud:

1 - primitivní pícka na přímou výrobu železa z rud, 2 - šachtová pec 80 až 100 cm vysoká, u nás od doby římské

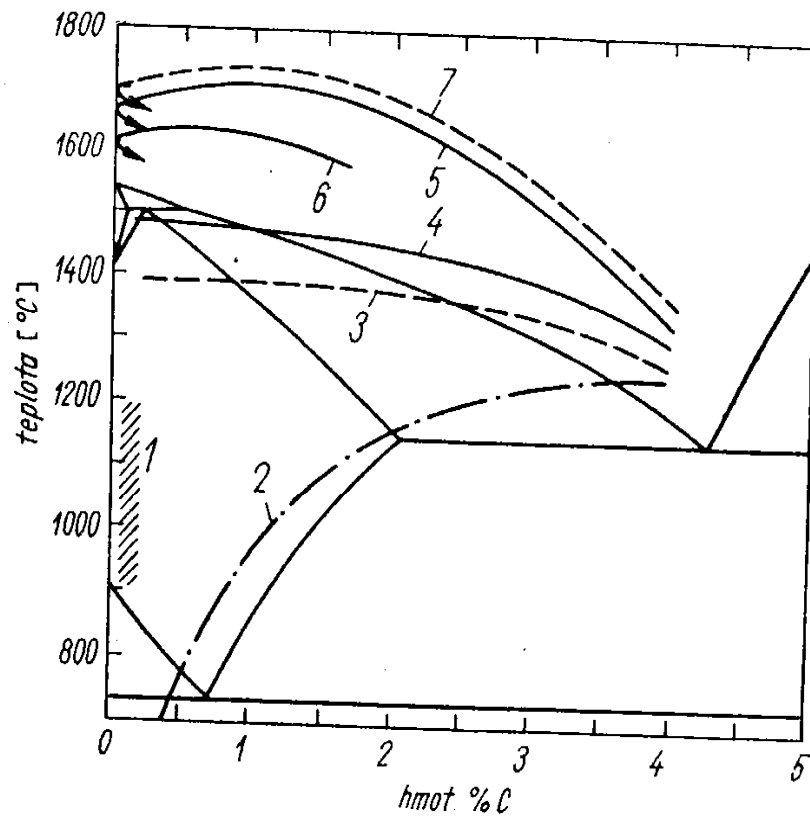
Výroba surového železa a jeho přetavování:

3 - dřevouhelná vysoká pec, která se vyvinula ze starších kusových pecí, 4 - kuplovna na př. surového železa za použití koksu a v prvních dobách i dřevěného uhlí, 5 - koksová pec (a b - šachta, c - rozpor, d - zarážka, e - nístěj) s předeřhřivačem větru (první předeřhřivač větru), 6 - oblouková pec na výrobu surového železa a výrobu feroslitin, 7 - vysoká pec na kombin. (kyslík + zemní plyn)

Výroba oceli: 8 - výheň na zkujňování surového železa — začátky nepřímé výroby kujného železa, 9 - pudlovací pec, 10 - kelímková pec (při topení dřevěným uhlím nebo koksem dovolovala je oceli s vyšším obsahem uhlíku, tj. s nižší teplotou tavení), 11 - spodový konvertor, 12 - Siem Martinova pec, 13 - Siemsenova—Martinova pec s použitím kyslíku, 14 - vrchový kyslíkový k, 15 - pec s hořákem na kyslík a zemní plyn, 16 - oblouková pec, 17 - středofrekvenční pec, 18 - středofrekvenční pec, 19 - vakuová pec s utavovanou elektrodou

Lití oceli: 20 - lití oceli do kokil, 21 - lití oceli do vakua

Tváření: 22 - ruční kování, 23 - hamr, 24 - duo na válcování plechu, 25 - válcovací trio, 26 - 27 - hlubinná pec (naznačené provedení s rekuperátorem se používá nověji), 28 - blooming na ingotů, 29 - spojitá trať na válcování pásů, 30 - plynulé lití spojené se spojitým válcováním



Obr. 7-1. Průběh teplot a obsahu uhlíku při různých železářských pochodech zanesených do diagramu železo—uhlík (podle L. Jeníčka):

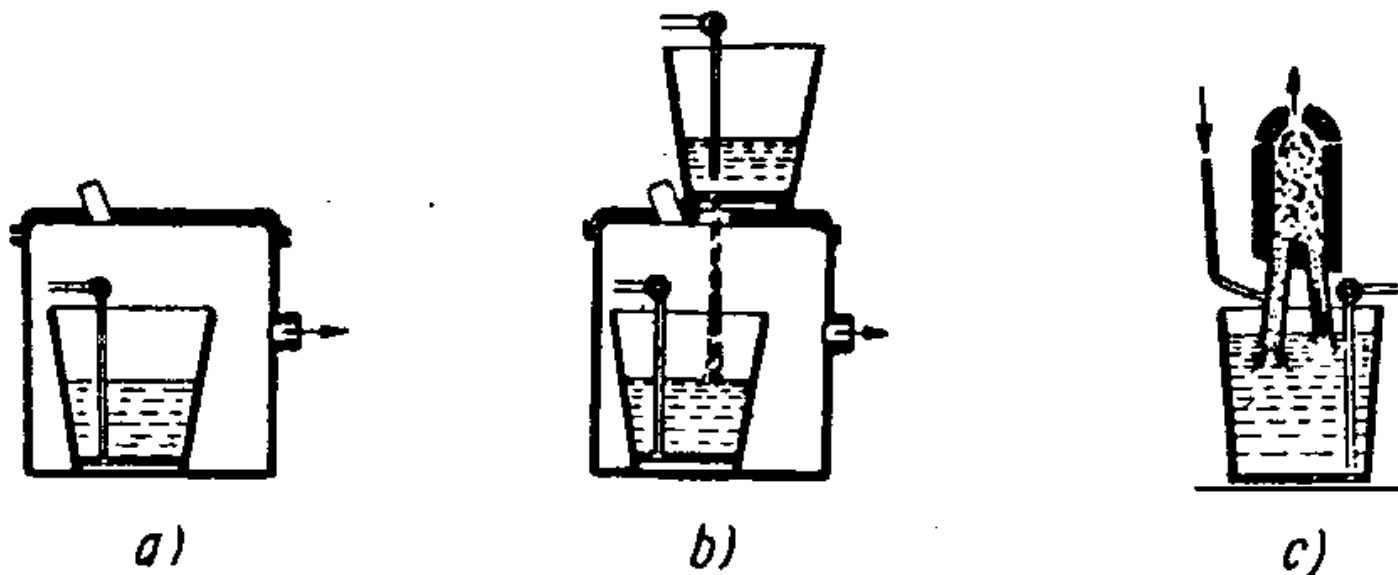
1 - přímá výroba kujného železa z rud, 2 - výroba surového železa ve vysoké peci, 3 - zkujňování surového železa ve výhni, 4 - pudlování, 5 - bessemerování, thomasování, 6 - Martinův pochod, 7 - kyslíkový konvertorový pochod

Výroba železa a oceli

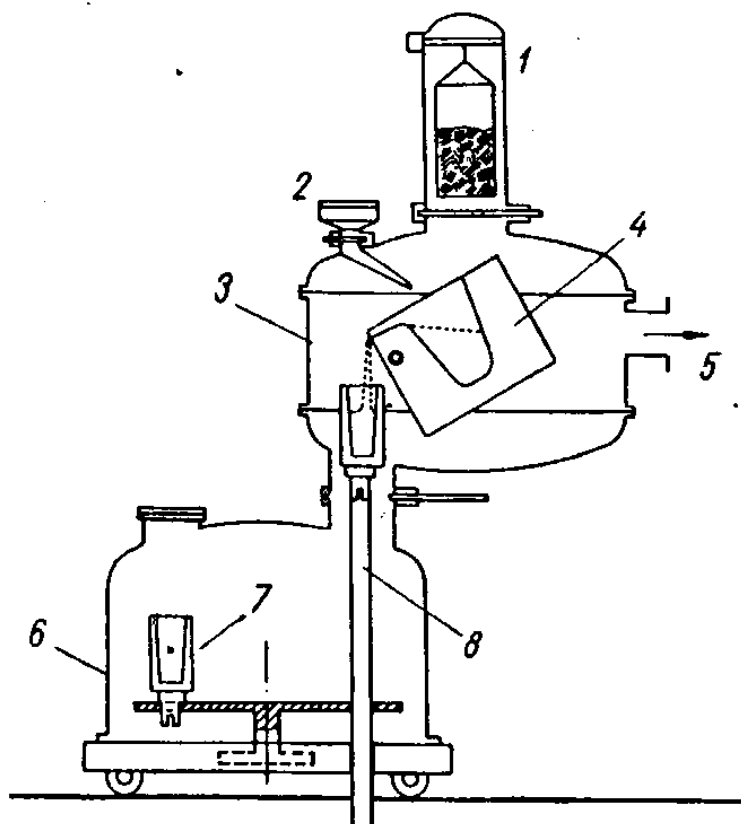
- Výroba surového železa ve vysoké peci
 - Současné ocelářské pochody
 - Odlévání oceli
 - Výroba slitinových ocelí
 - Zpracování oceli
-

Tabulka 7-4. Přehled hlavních typů železných rud

Název	Typ (složení)	Obsah* Fe [%]	Vlastnost, vzhled	Poznámka
Magnetovec (magnetit)	Fe_3O_4 kysličník želez- natoželezitý	50—70	hutný, ne- snadno redu- kovatelný	upravuje se pražením
Krevel (hematit)	Fe_2O_3 kysličník železi- tý	40—65	červenavý	kusová ruda, často s velkým podílem pra- chového zrna
Hnědel (limonit)	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \times \text{H}_2\text{O}$ hydrát kysliční- ku železitého	25—45	hnědý—ze- mitý	vžité názvy podle tva- ru a barvy: mineta, žlutka apod.
Ocelek (siderit)	FeCO_3 uhličitan želez- natý	25—40	žlutavý	praží se pro odstraně- ní CO_2
Šamosit (nučická ruda)	křemičitan hli- nito-železnatý	35—45	zrnitá	vžité názvy podle tva- ru a barvy: skleněnka, bělka, modrá ruda, pískovice apod.
Kyzy Pyrity	sirníkové želez- né rudy	50—65		výpražky z výroby ky- seliny sírové, nutno odstranit zbytky síry a mědi

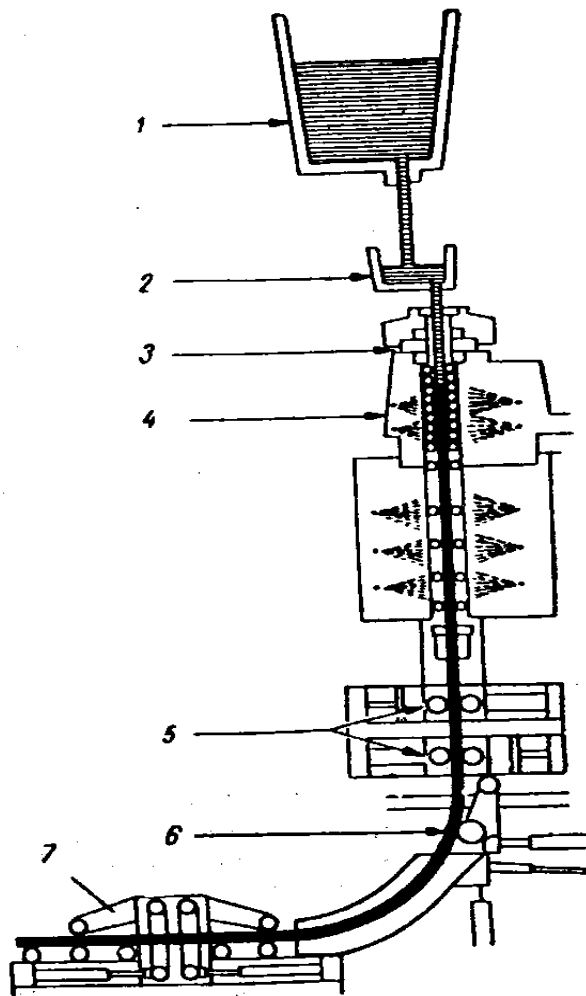


Obr. 7-6. Mimopecní rafinace při sníženém tlaku:
a) odplyňování oceli v pánvi umístěné v kesonu, b) odplyňování proudu oceli odlévané do pánve umístěné v kesonu, c) oběhové odplyňování oceli



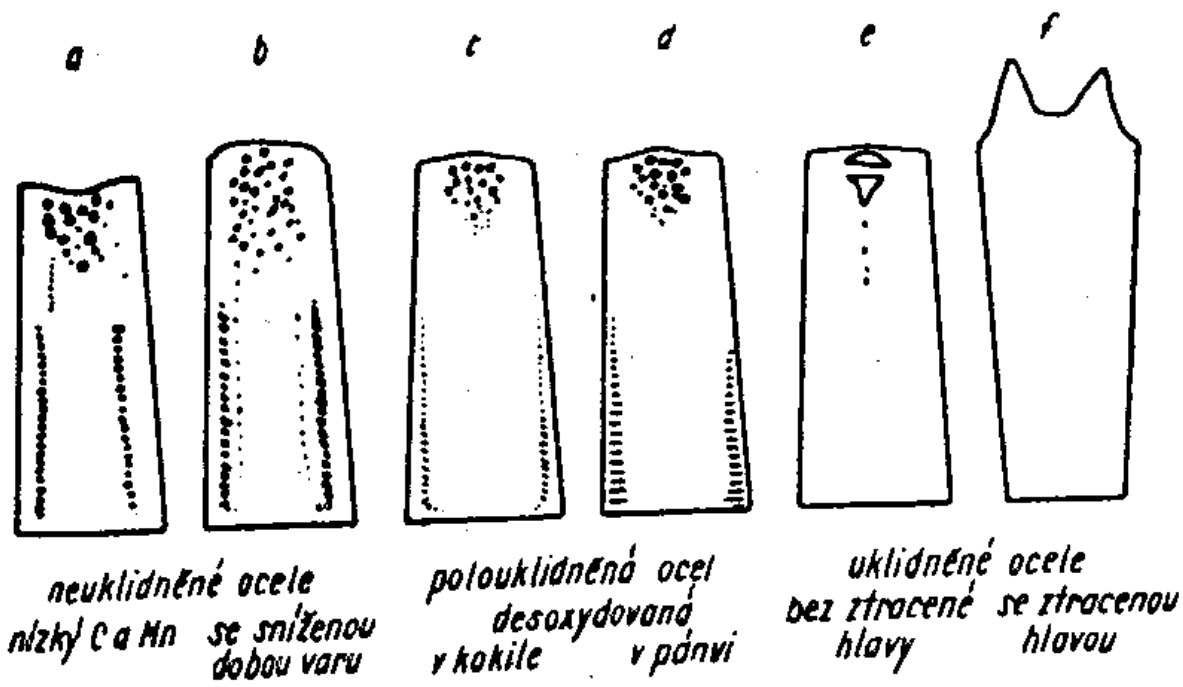
Obr. 7-5. Schéma vakuové indukční pece

1 - sázecí komora, 2 - přidávání přísad, 3 - vakuová komora, 4 - tavicí kelímek, 5 - vakuová čerpadla, 6 - kokilová komora, 7 - kokila, 8 - zvedací zařízení kokily



Obr. 7-9. Schéma zařízení na plynulé odlévání oceli:

1 - pánev s tekutou ocelí, 2 - mezi-pánev, 3 - vodou chlazená kokila (krystalizátor), 4 - vodní sprcha, 5 - vyváděcí válec, 6 - ohýbací válec, 7 - rovnání, 8 - alternativa, při které se lité sochor neohýbá a rozřezává



Obr. 7-8. Struktura ingotů odlitých různým způsobem:

a) neuklidněná ocel při nízkém obsahu uhlíku a manganu, *b)* neuklidněná ocel se sníženou dobou varu, *c)* ocel polouklidněná desoxydovaná v kokile, *d)* ocel polouklidněná desoxydovaná v pánvi, *e)* uklidněná, ingot se ztracenou hlavou, *f)* ocel uklidněná bez ztracené hlavy

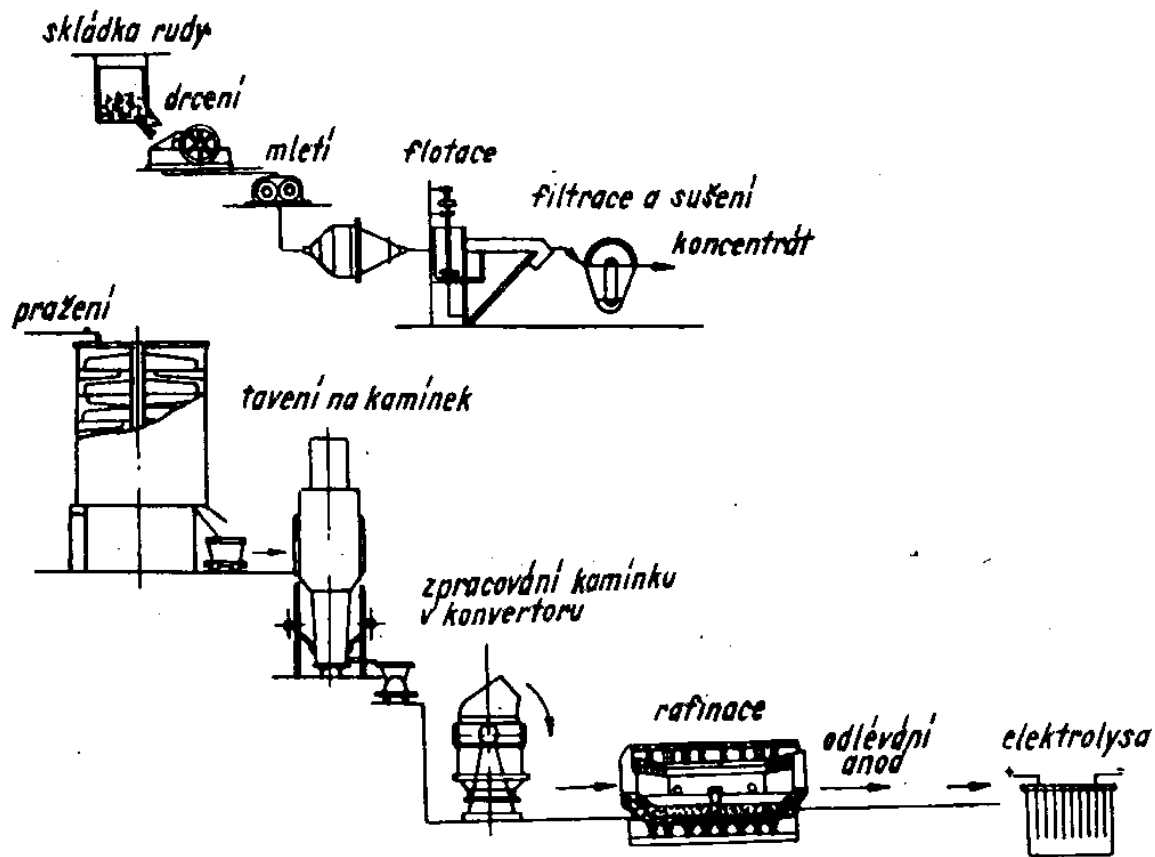
Materiál pro stěny kokil

Kyslíčníky kovů s vysokou teplotou tání

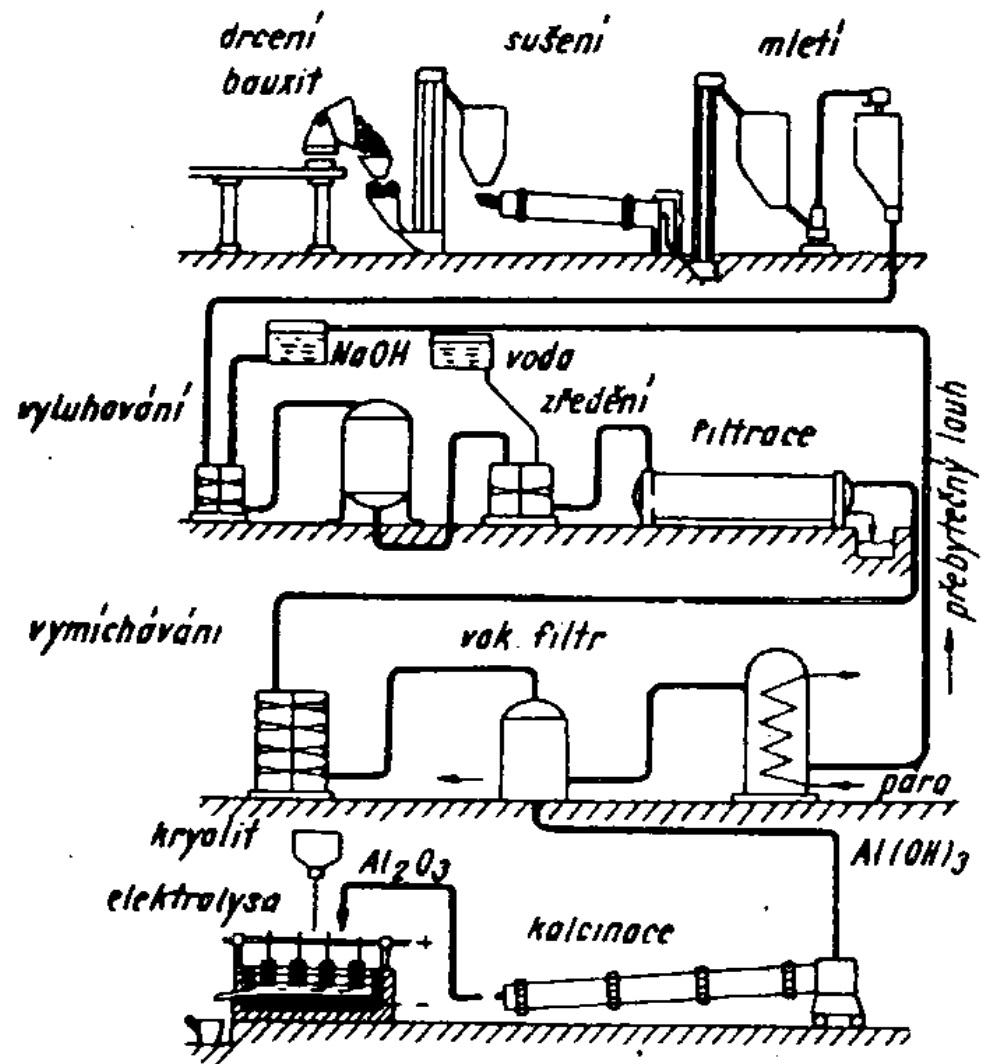
Vzorec	Teplota tání [°C]	Poznámka
TiO ₂	1 700	rutil
SiO ₂	1 713	crystalit
2 SiO ₂ · Al ₂ O ₃ · 2 H ₂ O	1 755	kaolinit
Cr ₂ O ₃	1 990	chromit
Al ₂ O ₃	2 050	korund
CaO	2 570	pálený vápenec
MgO	2 600	pálená magnésie
ZrO ₂	2 720	

Výroba neželezných kovů

- Suroviny
 - Pyrometalurgie:
 - Tepelný rozklad rudy, elektrolýza roztavených solí
 - Hydrometalurgie:
 - Loužení a elektrolýza
 - Příklady: výroba Cu, Ni, Al a Ti
-



Obr. 7-10. Schéma pyrometalurgické výroby mědi včetně elektrolytické rafinace



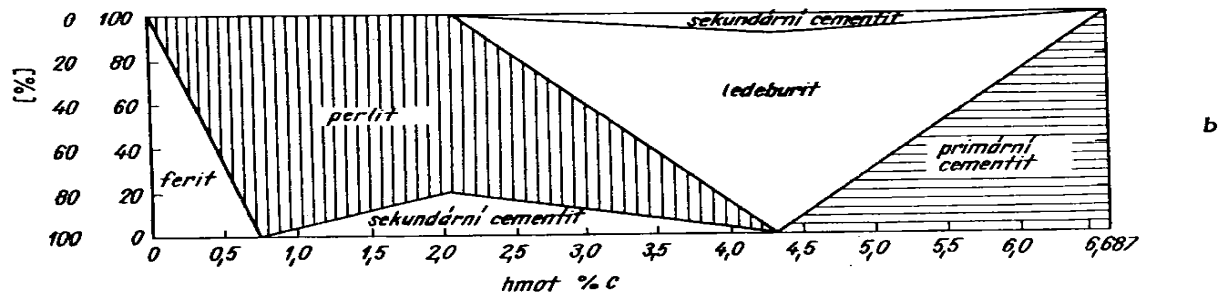
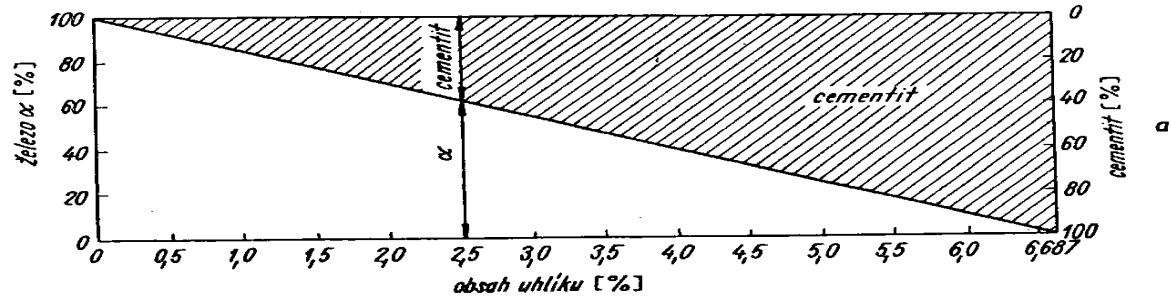
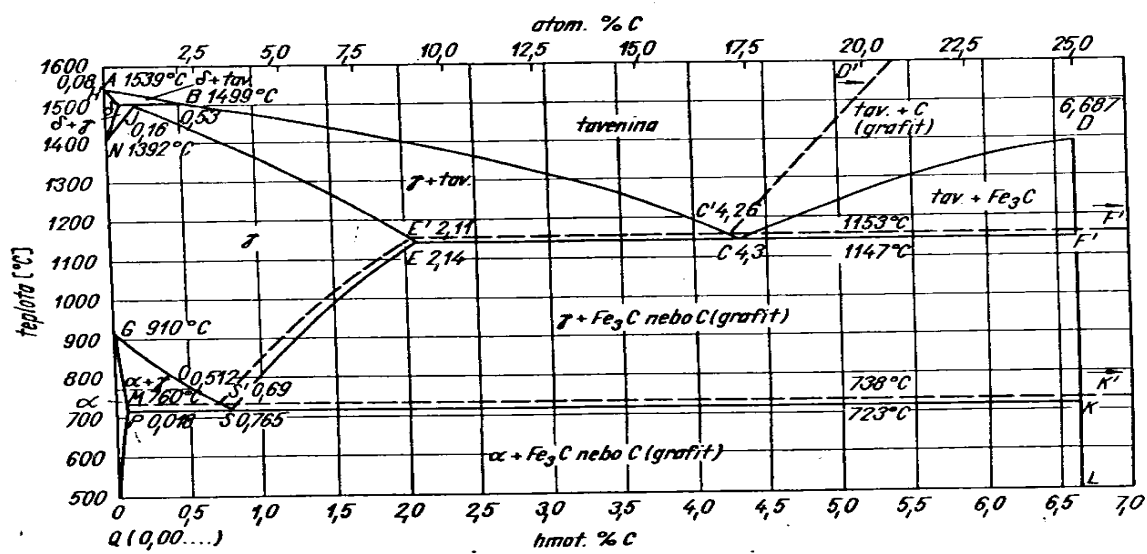
Obr. 7-11. Schéma výroby hliníku tavnou elektrolýzou.

Základní typy železných slitin (přehled)

- Fe-C fázový diagram
 - Ovlivňování struktury ocele
 - Základy tepelného zpracování ocelí
 - Ocele, legované ocele, třídy materiálů
 - Litiny
-

Fe-C fázový diagram

- Stabilní a metastabilní fázový diagram
 - Kritické body fázového diagramu Fe-C
 - Peritektická, eutektická a eutektoidní přeměna
 - Strukturní součásti soustavy Fe-C:
 - Ferit, austenit, cementit (primární, sekundární, terciární), ledeburit, perlit, delta-ferit
-

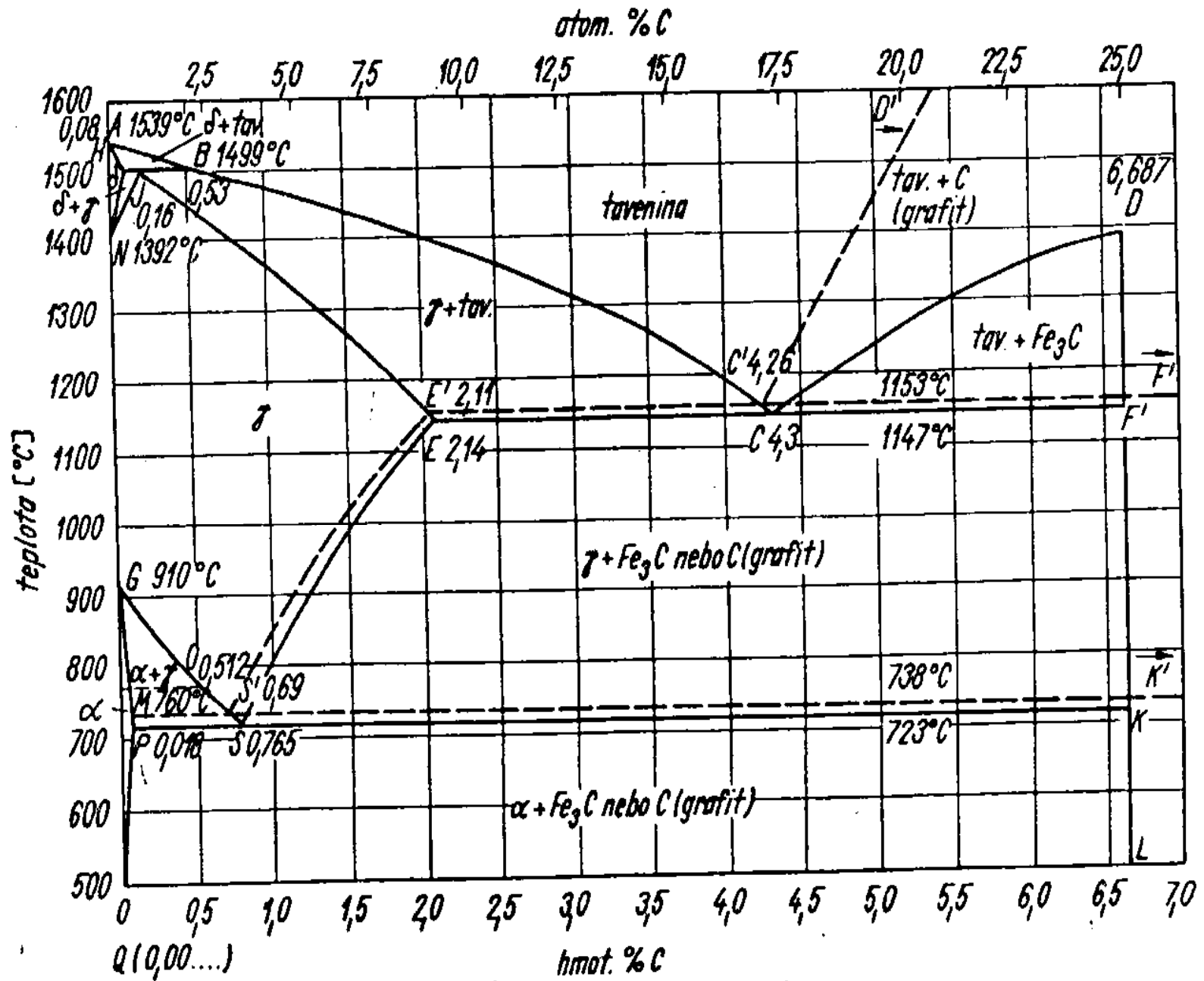


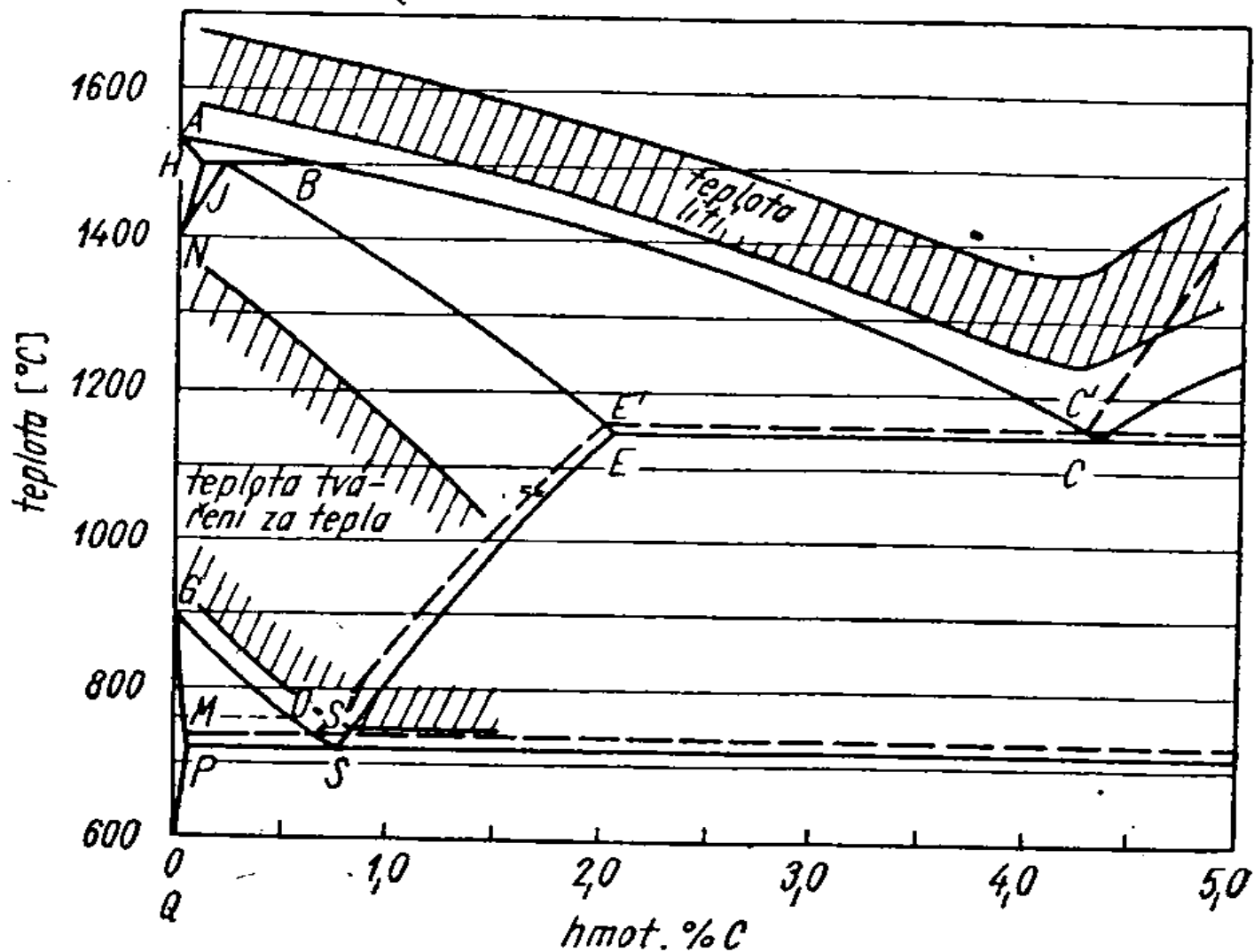
Obr. 4-3. Rovnovážný diagram železa a uhlíku

Plně — metastabilní soustava železo — karbid železa

Čárkovaně — stabilní soustava železo — grafit

Ve spodní části je graficky znázorněn a) podíl železa a cementitu ve slitinách železa a uhlíku krystalizujících metastabilně (Sauveurov diagram). b) podíl všech strukturních součástí





Obr. 4-16. Teploty lití a tváření za tepla slitin železa s uhlíkem

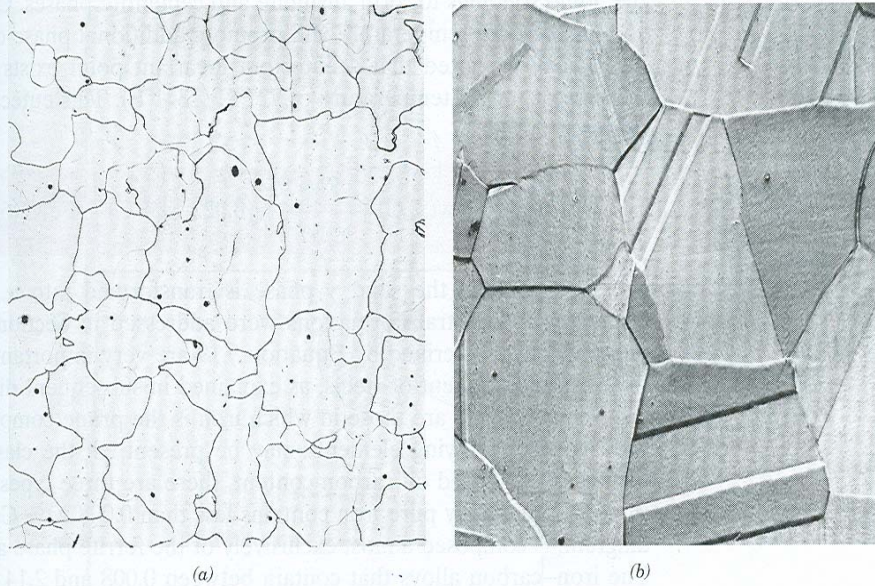


FIGURE 9.23 Photomicrographs of (a) α ferrite (90 \times) and (b) austenite (325 \times). (Copyright 1971 by United States Steel Corporation.)

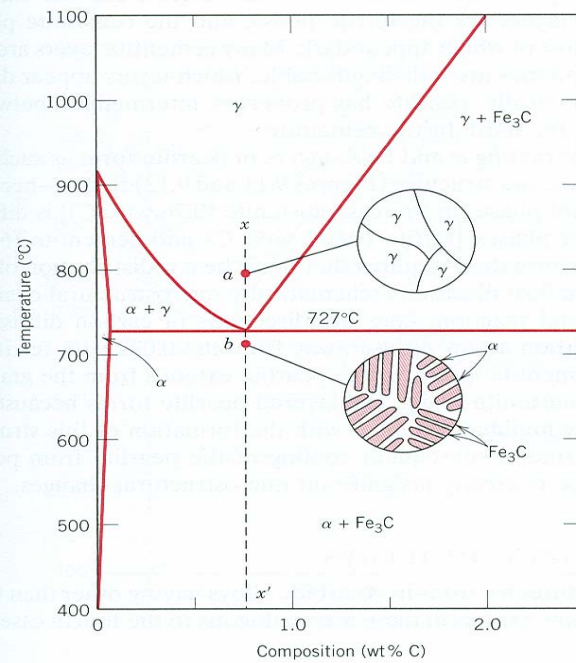


FIGURE 9.24 Schematic representations of the microstructures for an iron-carbon alloy of eutectoid composition (0.76 wt% C) above and below the eutectoid temperature.

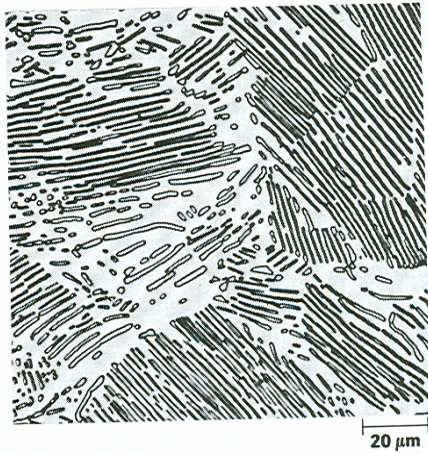


FIGURE 9.25 Photomicrograph of a eutectoid steel showing the pearlite microstructure consisting of alternating layers of α ferrite (the light phase) and (thin layers most of which appear dark) $500\times$. (Reproduced with permission from *Metals Handbook*, Vol. 9, 9th edition, *Metallography and Microstructures*, American Society for Metals, Materials Park, OH, 1985.)

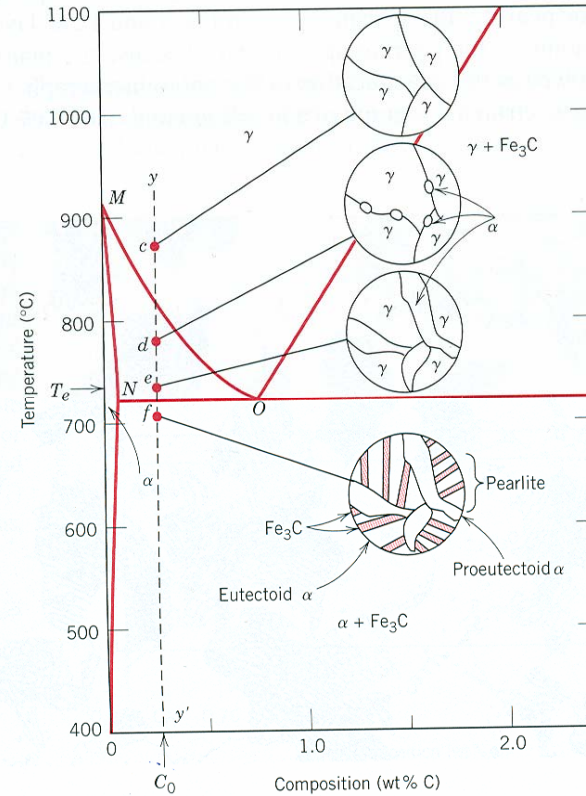


FIGURE 9.27 Schematic representations of the microstructures for an iron-carbon alloy of hypoeutectoid composition C_0 (containing less than 0.76 wt% C) as it is cooled from within the austenite phase region to below the eutectoid temperature.



FIGURE 9.31 Photomicrograph of a 1.4 wt% C steel having a microstructure consisting of a white proeutectoid cementite network surrounding the pearlite colonies. 1000 \times . (Copyright 1971 by United States Steel Corporation.)

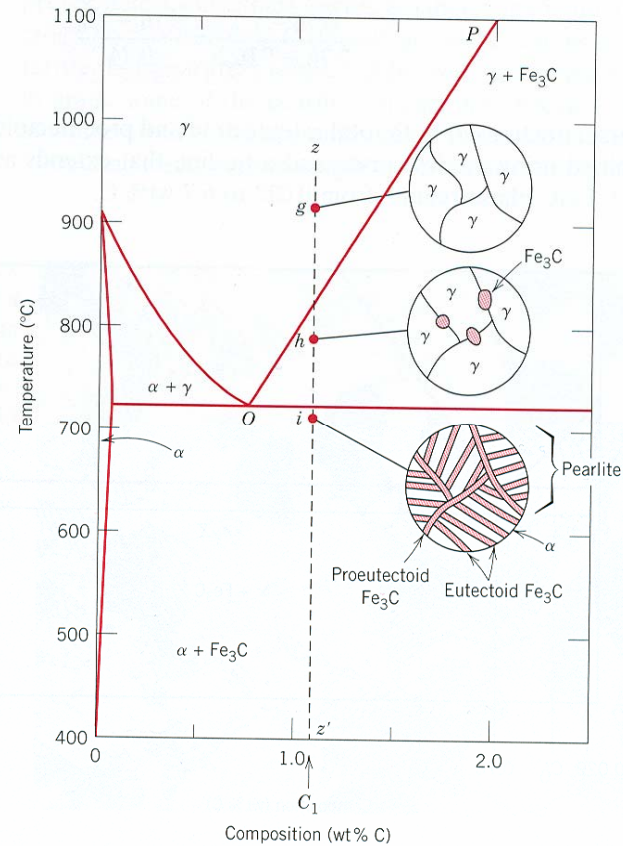
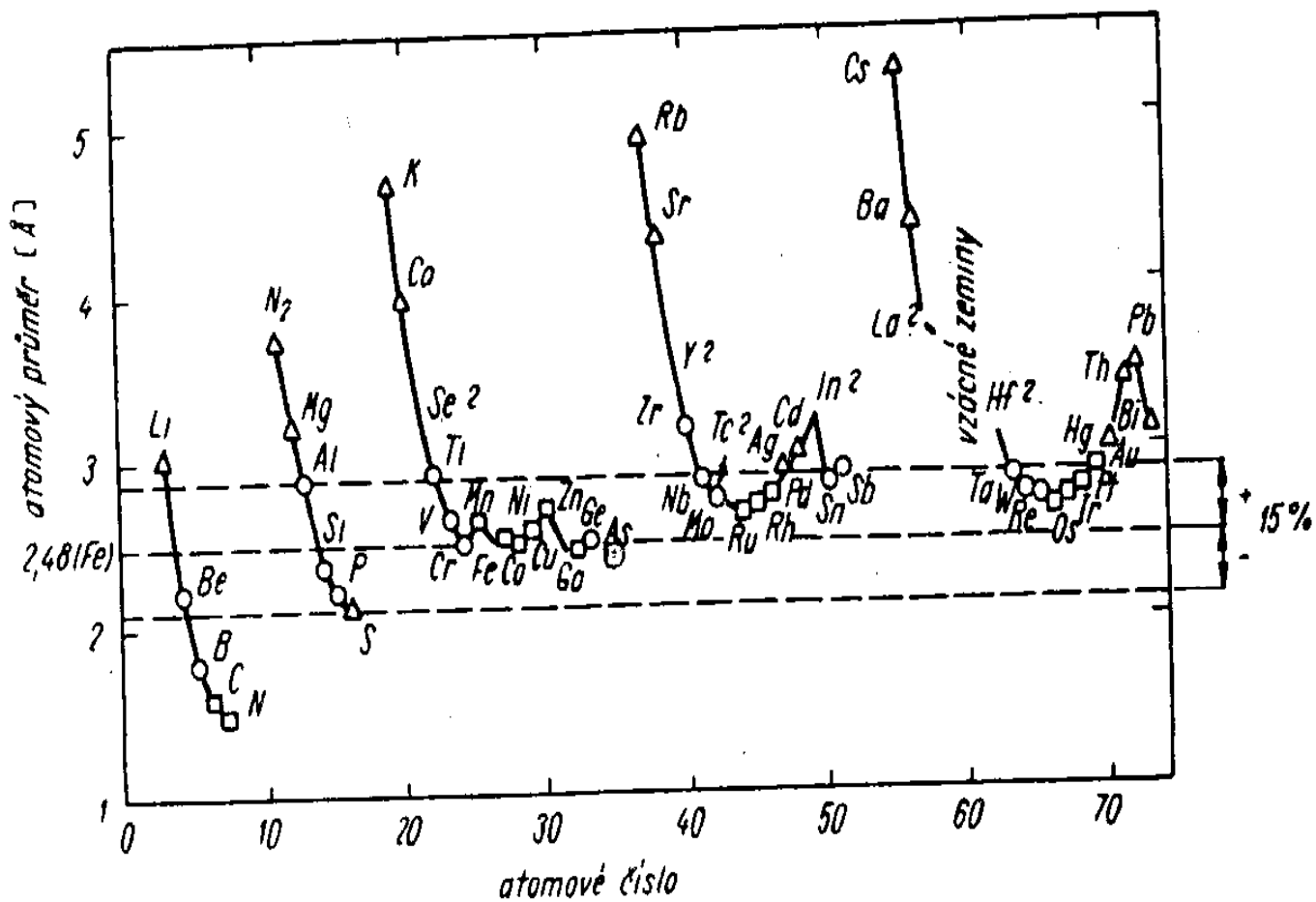


FIGURE 9.30 Schematic representations of the microstructures for an iron–carbon alloy of hypereutectoid composition C_1 (containing between 0.76 and 2.14 wt% C), as it is cooled from within the austenite phase region to below the eutectoid temperature.

Tabulka 4-2. Přehled rovnovážných strukturních složek v slitinách železa s uhlíkem

Typ strukturní složky	Metastabilní soustava				Stabilní soustava			
		název	obsah uhlíku (max) %	číslo obrázku		název	obsah uhlíku (max) %	číslo obrázku
Tuhé roztoky	δ γ α	δ -ferit austenit* α -ferit	0,08 2,14 0,018	 4—104 4—11	δ γ α	δ -ferit austenit α -ferit	0,08 2,11 0,018	
Intermediální fáze	karbid železa (Fe_3C)	cementit	6,687		—	—	—	
Prvek					element. uhlík	grafit	100,0	4—120a 4—13a
Eutektikum	karbid železa (Fe_3C) + tuhý roztok γ	ledeburit	4,30	4—6	grafit + tuhý roztok γ	grafitové eutektikum	4,26	
Eutektoid	karbid železa (Fe_3C) + tuhý roztok α	perlit	0,765	4—9 2—76a	grafit + tuhý roztok α	grafitový eutektoid	0,69	

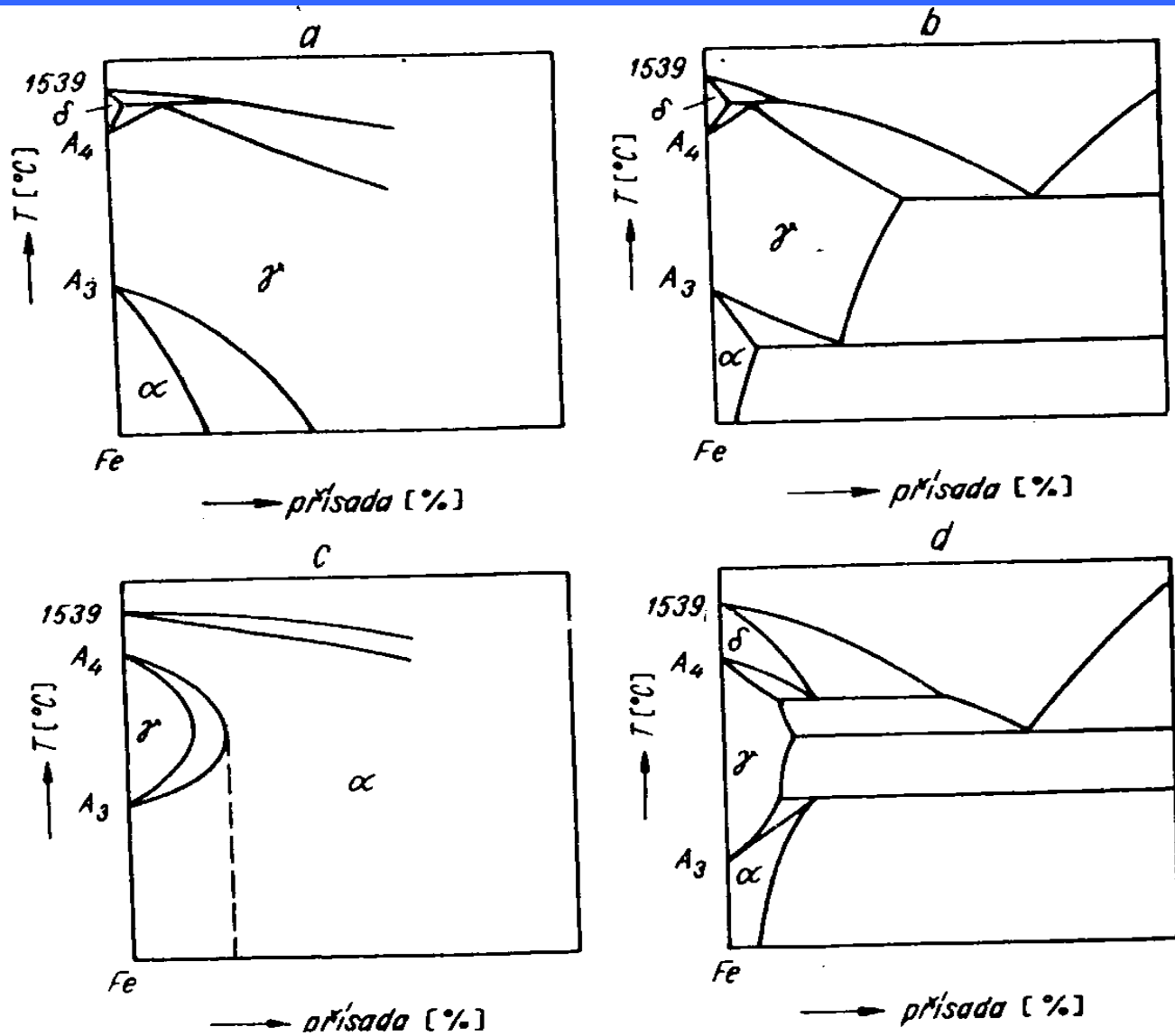
* V tomto případě jde o tuhý roztok, který díky přísadě dalších prvků je stálý i při teplotě okolí.



Obr. 4-29. Vztah mezi atomovým průměrem a atomovým číslem prvků s vyznačením jejich rozpustnosti v železe

Vyznačen pás průměrů lišících se o $\pm 15\%$ od průměru atomu železa

- \triangle — prvky v železe nerozpustné
- \circ — prvky tvořící s Fe tuhé roztoky — omezují pole γ
- \square — prvky tvořící s Fe tuhé roztoky — rozšiřují pole γ



Obr. 4-30. Vliv slitinových prvků na překrystalizační teplotu v soustavě Fe—Me
 a) prvky rozšiřující oblast γ až k normální teplotě,
 b) prvky rozšiřující oblast γ , částečná rozpustnost,
 c) prvky uzavírající oblast γ ,
 d) prvky uzavírající oblast α , částečná rozpustnost

Vliv přísad na eutektoidní reakci

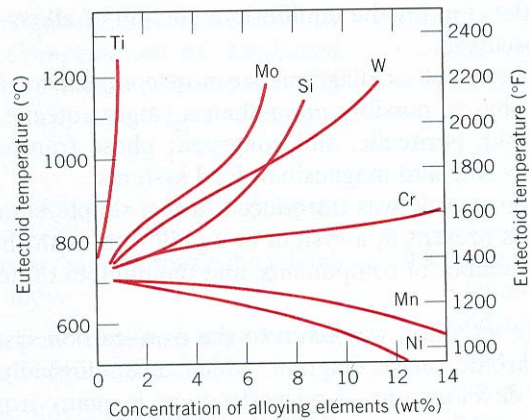


FIGURE 9.32 The dependence of eutectoid temperature on alloy concentration for several alloying elements in steel. (From Edgar C. Bain, *Functions of the Alloying Elements in Steel*, American Society for Metals, 1939, p. 127.)

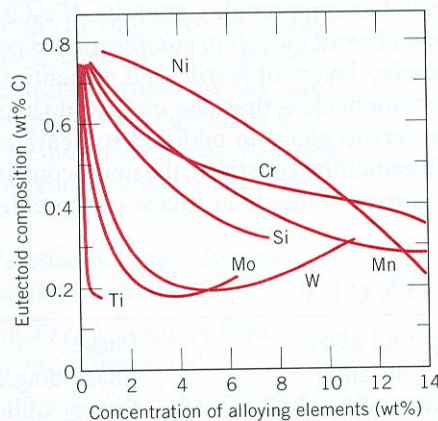





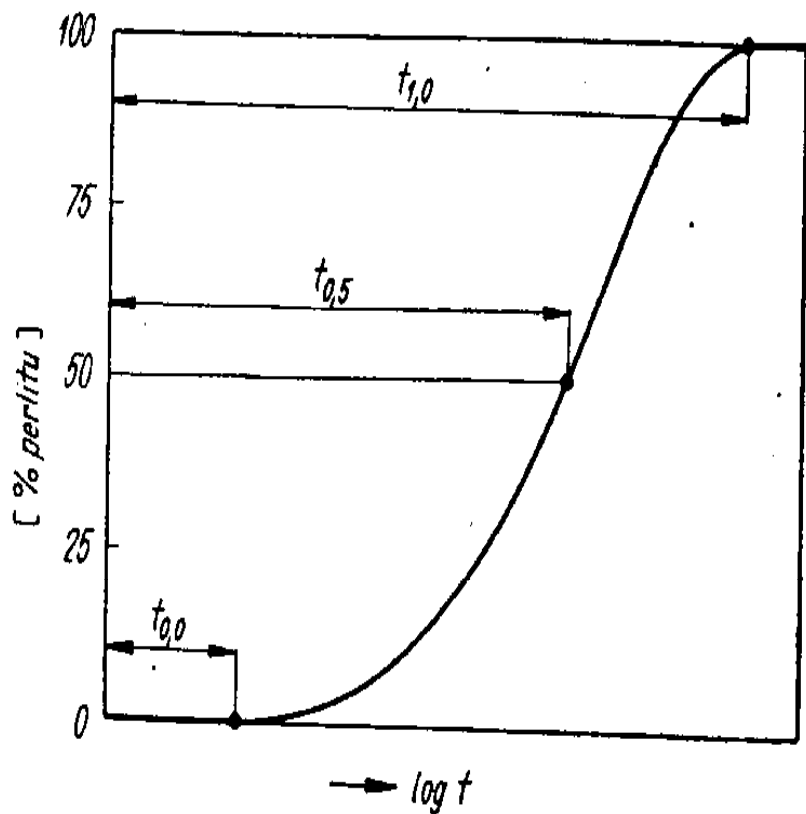
FIGURE 9.33 The dependence of eutectoid composition (wt% C) on alloy concentration for several alloying elements in steel. (From Edgar C. Bain, *Functions of the Alloying Elements in Steel*, American Society for Metals, 1939, p. 127.)

	IV	V	VI	VII	VIII
TiC		VC / V ₄ C ₃	Cr ₂₃ C ₆	Mn ₂₃ C ₆	Fe ₃ C Fe ₂ C
ZrC		NbC / Nb ₄ C ₃	Mo ₂ C MoC	Cr ₇ C ₃ Mn ₇ C ₃ Cr ₃ C ₂ Mn ₃ C	
HfC		TaC Ta ₂ C	W ₂ C WC		

Krystaluje v soustavě:

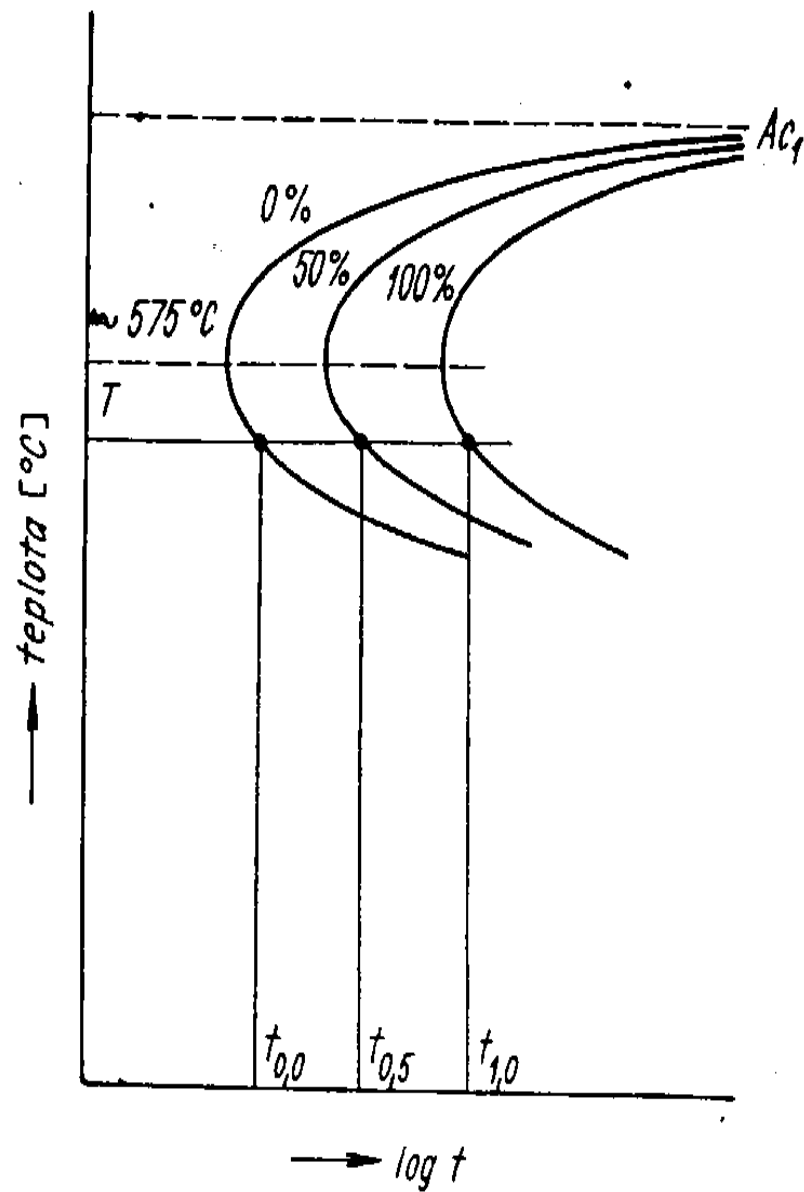
-  kubické
-  hexagonální, tetragonální
-  orthorhombické

Obr. 4-32. Přehled karbidů vyskytujících se v ocelích podle zařazení prvku v periodické soustavě (sloupce IV až VIII)



Obr. 4-37. Izoterma perlitické přeměny

Obr. 4-38. Schematický diagram izotermického rozpadu austenitu (perlitická oblast)



Bainite

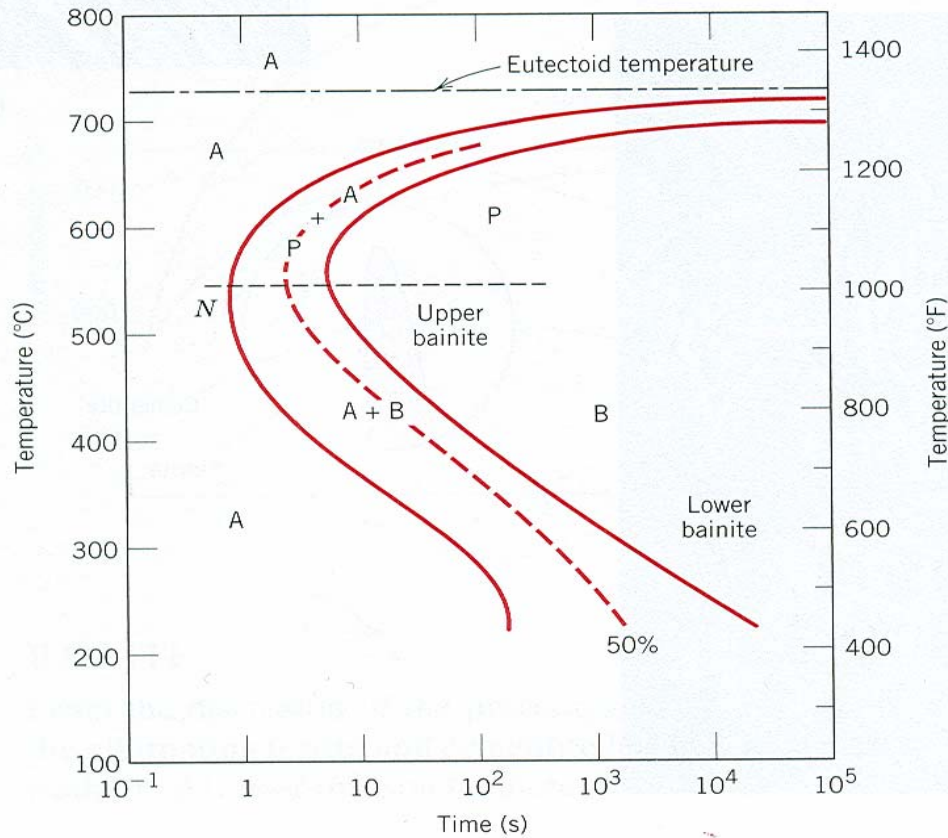


FIGURE 10.9 Isothermal transformation diagram for an iron-carbon alloy of eutectoid composition, including austenite-to-pearlite (A-P) and austenite-to-bainite (A-B) transformations. (Adapted from H. Boyer, Editor, *Atlas of Isothermal Transformation and Cooling Transformation Diagrams*, American Society for Metals, 1977, p. 28.)

Třídění slitin Fe-C

- surové železo, litina (nad 2% hmot. C)
- Ocel uhlíková, nízkolegovaná –
 - - nadeutektoidní (nad 0,8% hmot.C)
(konstrukční)
 - - podeutektoidní (nástrojové)
- Doprovodné prvky – škodlivé (nečistoty: S,O,P,N,H)
 - - prospěšné (Mn,Si,Cu)
- Slitinové prvky – přísady: Cr,Ni,Mn,Si,Mo,W,V,Co

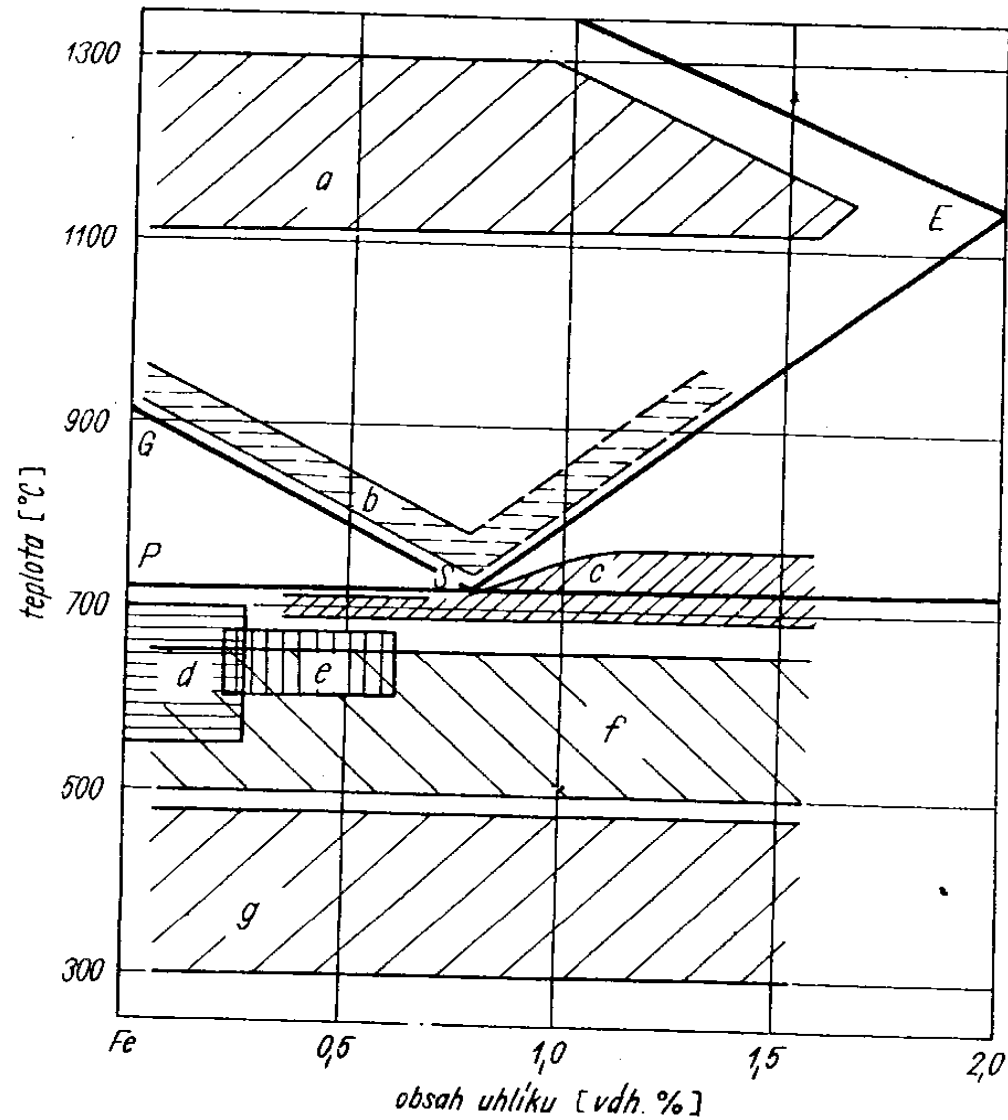


Vliv slitinových prvků

- Karbidy: speciální (TiC, Mo₂C NbC)
 - komplexní ((CrFe)₇C₃, (CrFe)₂₃C₆)
 - Karbidy netvoří: Ni, Si, Co, Al, N
 - Řada rostoucí karbidotvornosti:
 - Fe, Mn, Cr, W, Mo, V, Zr, Nb, Ta, Ti
-

Ovlivňování struktury ocele

- Žíhání – rekrytalizační (po deformaci)
 - - s překrytalizací (fázová přeměna)
 - - homogenizační (hrubé zrno)
 - - normalizační (jemné zrno)
 - - na měkko (sferoidizace cementitu)
 - Austenitizace
-

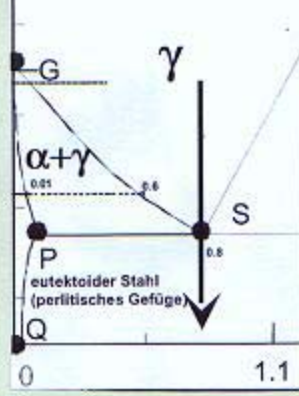


Obr. 4-56. Oblasti žíhacích teplot v rovnovážném diagramu Fe—Fe₃C

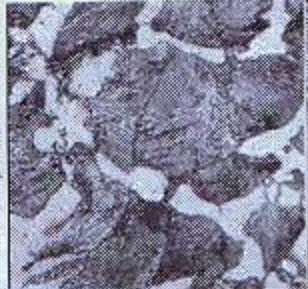
a - homogenizační žíhání, *b* - normalizační žíhání, *c* - žíhání na měkko, *d* - rekrytalizační žíhání, *e* - žíhání protivločkové, *f* - žíhání k snížení pnutí, *g* - žíhání k odstranění křehkosti po moření

Mechanismus a kinetika rozpadu austenitu

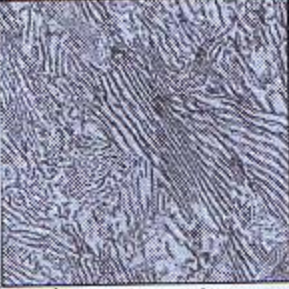
- Difúzní a bezdifúzní fázové přeměny
 - Ledeburitická a perlitická přeměna
 - Martenzitická přeměna, kalení
 - Bainitická přeměna
 - Izotermický rozpad austenitu (IRA)
 - Anizotermický rozpad austenitu (ARA)
 - Popouštění zakalené oceli
-



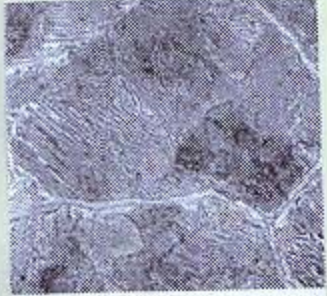
Ferrit



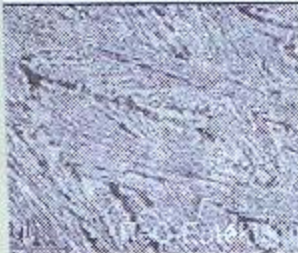
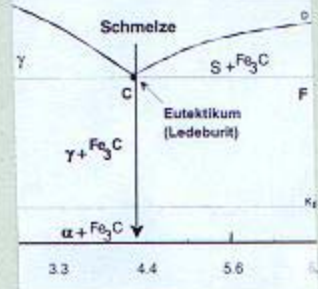
Ferrit-Perlit



Perlit



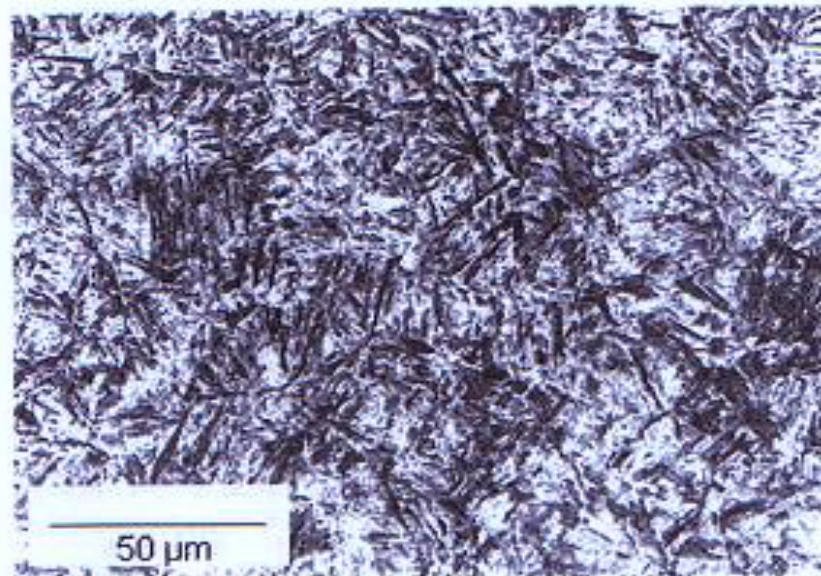
Perlit mit Korngrenzzementit



Ledeburit

Martensite

Martensite is a body-centered cubic form of iron in which some carbon is dissolved. Martensite forms during quenching, when face centered cubic [austenite](#) changes to the body centered cubic structure without the precipitation of [cementite](#). Instead, the carbon is retained in the iron crystal structure, which is stretched slightly so that it is no longer cubic. Martensite is more or less [ferrite](#) supersaturated with carbon. Compare the grain size with [tempered martensite](#).



Martensit

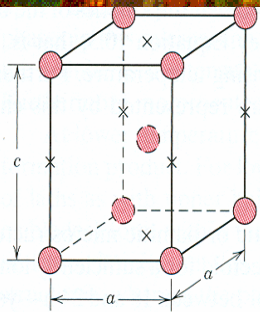


FIGURE 10.11 The body-centered tetragonal unit cell of martensitic steel showing iron atoms (circles) and sites that may be occupied by carbon atoms (crosses). For this tetragonal unit cell, $c > a$.

centered tetragonal (BCT) martensite. A unit cell of this crystal structure (C

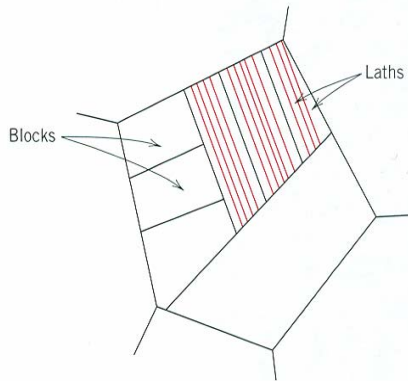


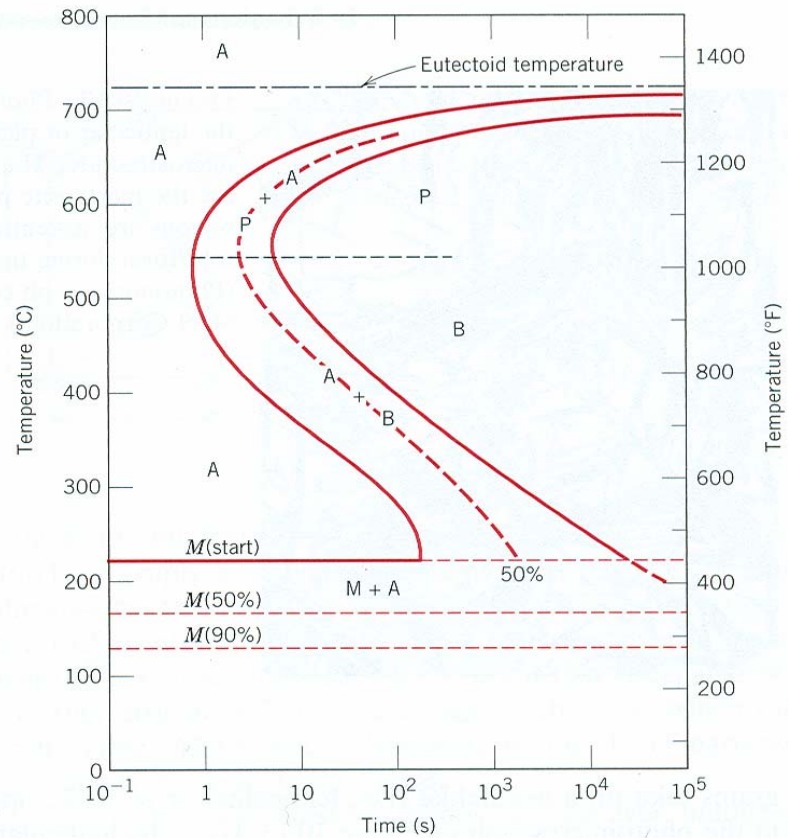
FIGURE 10.12 Schematic diagram showing the microstructural features of lath or massive martensite. (Adapted from A. Marder and J. I. Goldstein, Editors, *Phase Transformations in Ferrous Alloys*, The Metallurgical Society of AIME, 1984.)



FIGURE 10.13 Photomicrograph showing the lenticular or plate martensitic microstructure. The needle-shaped grains are the martensite phase, and the white regions are austenite that failed to transform during the rapid quench. 1220X. (Photomicrograph courtesy of United States Steel Corporation.)

Martensit - kinetika

FIGURE 10.14 The complete isothermal transformation diagram for an iron-carbon alloy of eutectoid composition: A, austenite; B, bainite; M, martensite; P, pearlite.



Mechanické vlastnosti ocelí

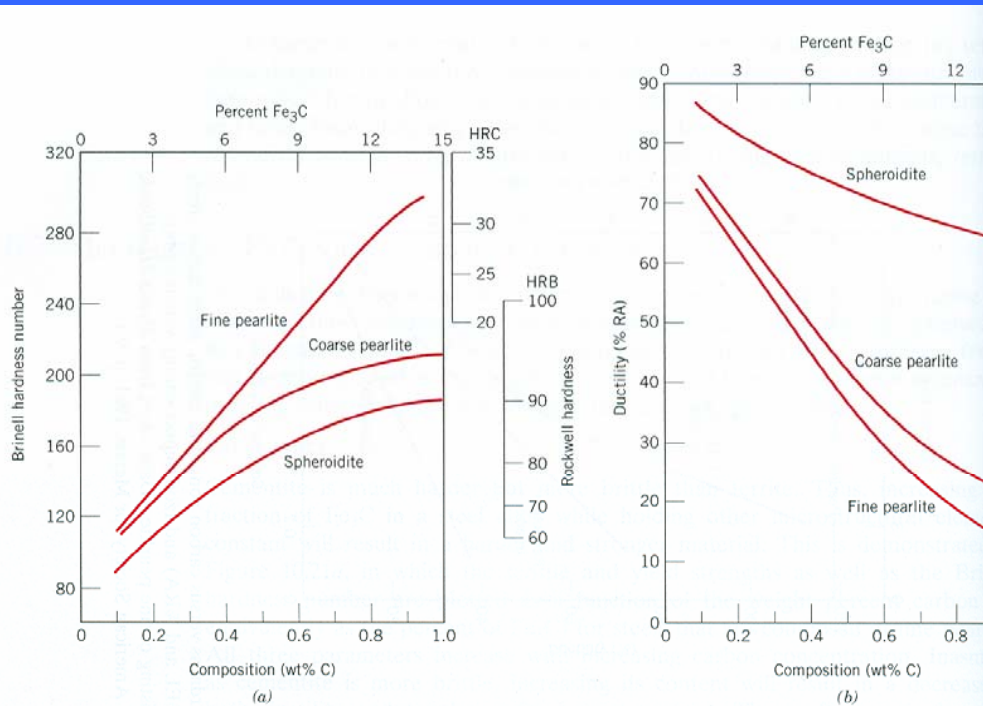


FIGURE 10.22 (a) Brinell and Rockwell hardness as a function of carbon concentration for plain carbon steels having fine and coarse pearlite as well as spheroidite microstructures. (b) Ductility (%RA) as a function of carbon concentration for plain carbon steels having fine and coarse pearlite as well as spheroidite microstructures. (Data taken from *Metals Handbook: Heat Treating*, Vol. 4, 9th edition, V. Masseria, Managing Editor, American Society for Metals, 1981, pp. 9 and 17.)

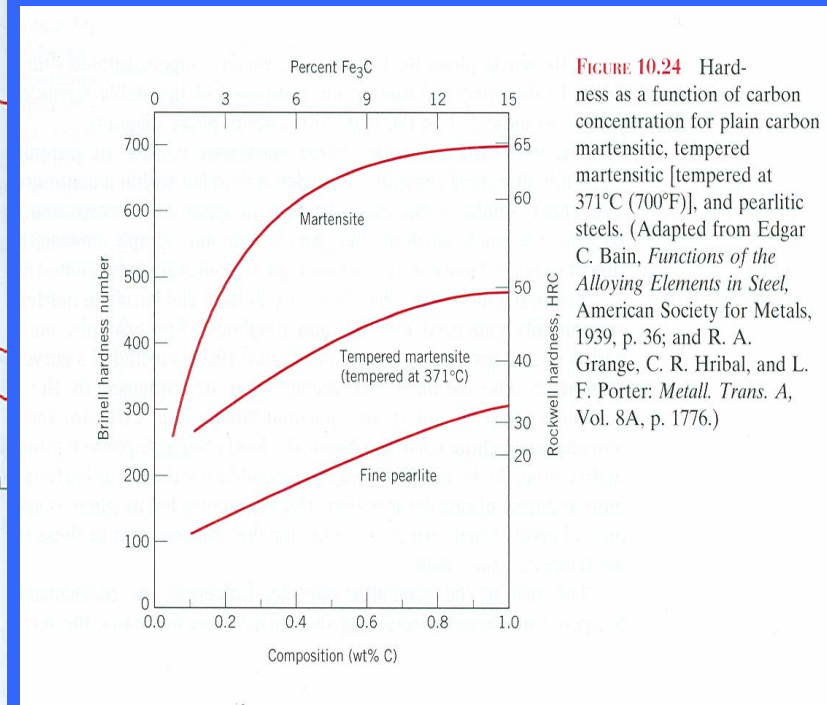


FIGURE 10.24 Hardness as a function of carbon concentration for plain carbon martensitic, tempered martensitic [tempered at 371°C (700°F)], and pearlitic steels. (Adapted from Edgar C. Bain, *Functions of the Alloying Elements in Steel*, American Society for Metals, 1939, p. 36; and R. A. Grange, C. R. Hribal, and L. F. Porter: *Metall. Trans. A*, Vol. 8A, p. 1776.)

Korespondence austenitu a martensitu

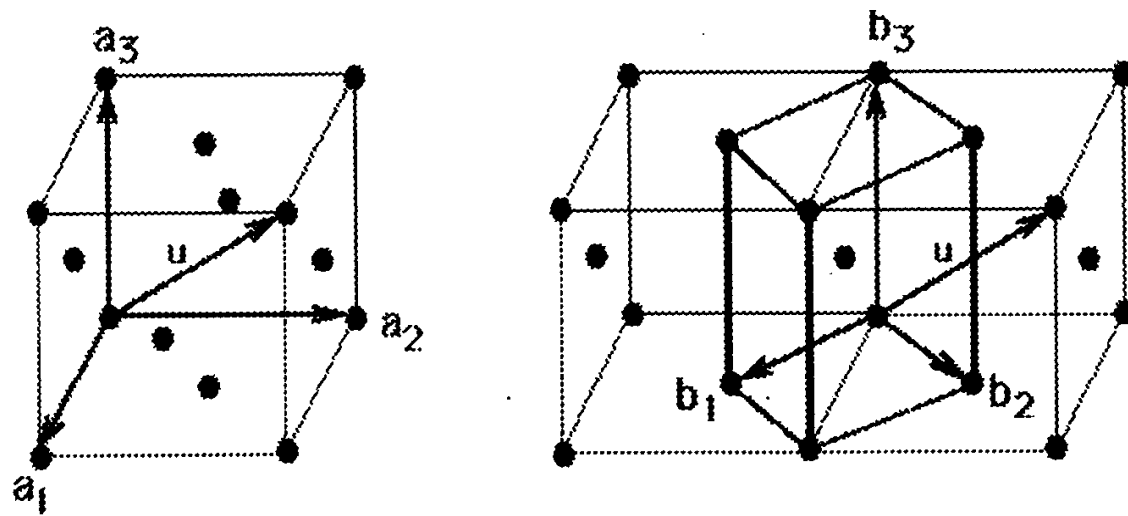
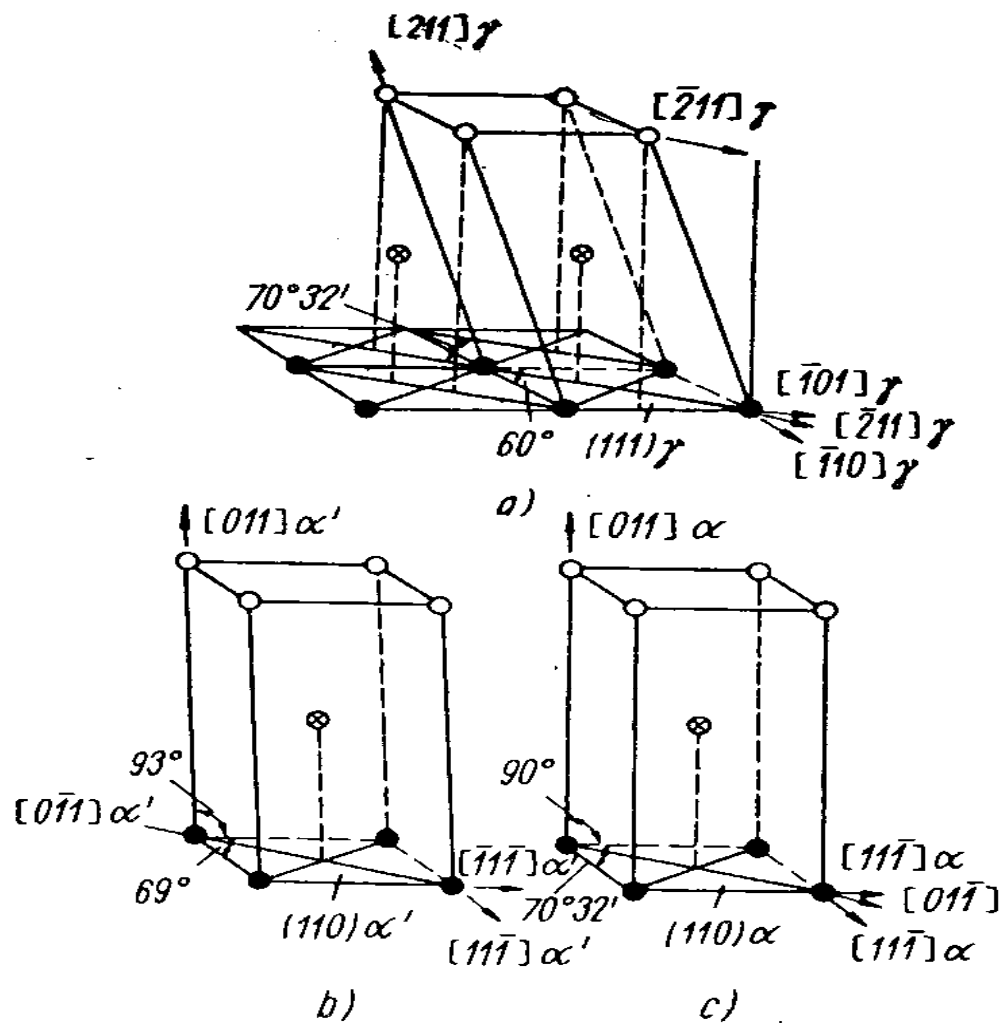
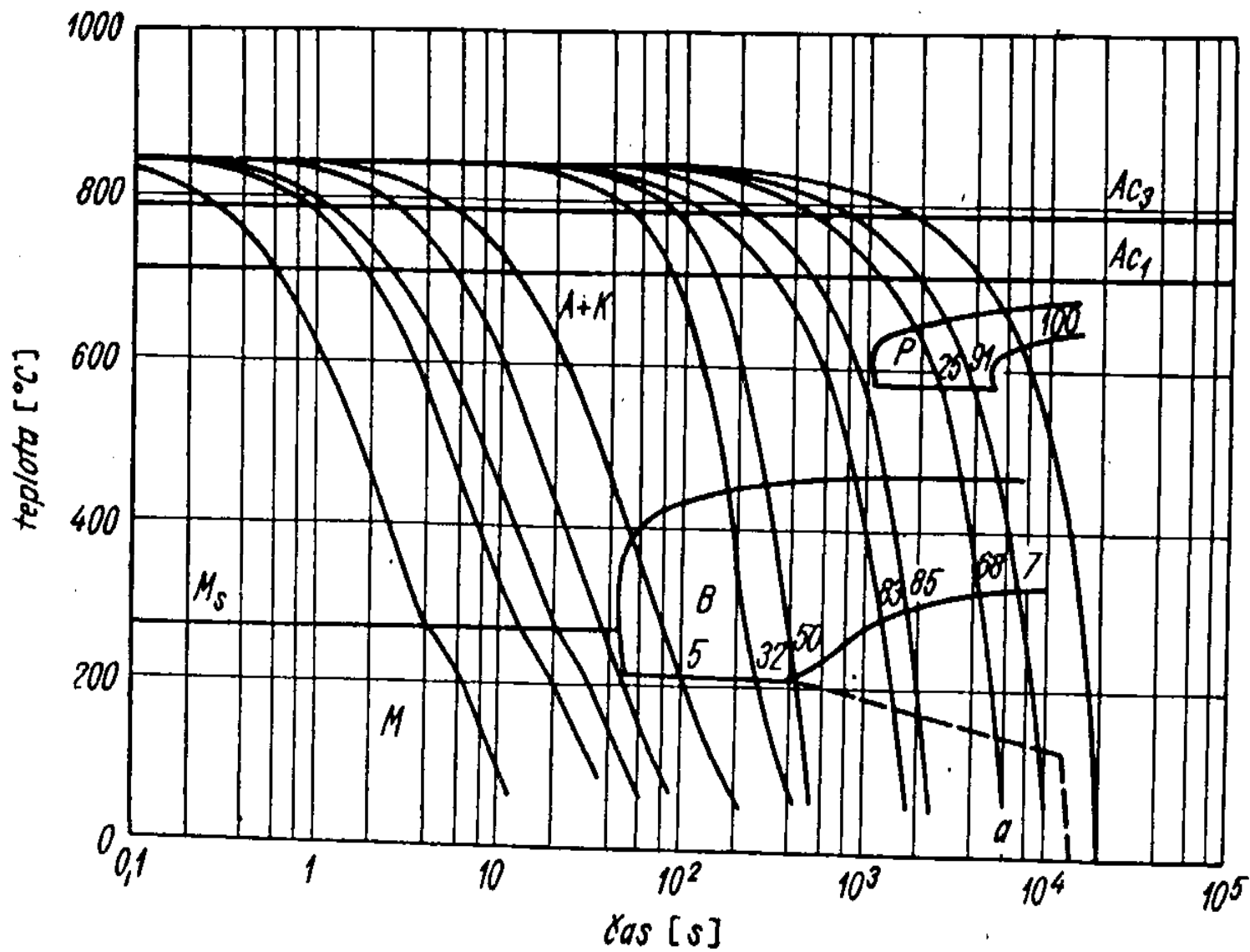


Fig. 6: The Bain strain (not all lattice points illustrated)



Obr. 4-45. Schéma mechanismu přestavby mřížky austenitu v mřížku martenzitu (podle Kurdjumova a Sachse)

a) plošně středěný austenit s krystalografickou rovinou $\{111\} \alpha$ ve vodorovné poloze, b) objemně středěný tetragonální martenzit α' , c) kubický ferit α



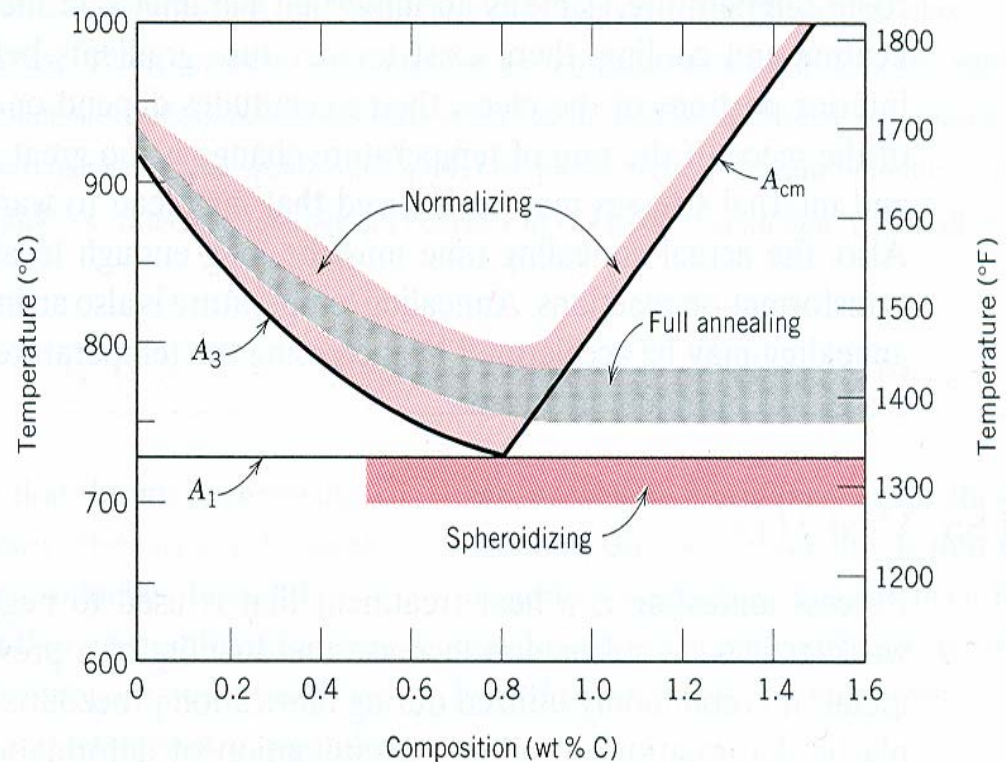
Obr. 4-53. Diagram anizotermického rozpadu austenitu (ocel o složení 0,52 % C; 0,70 % Mn; 0,29 % Si; 1,09 % Cr; 0,43 % Mo; 0,14 % V)

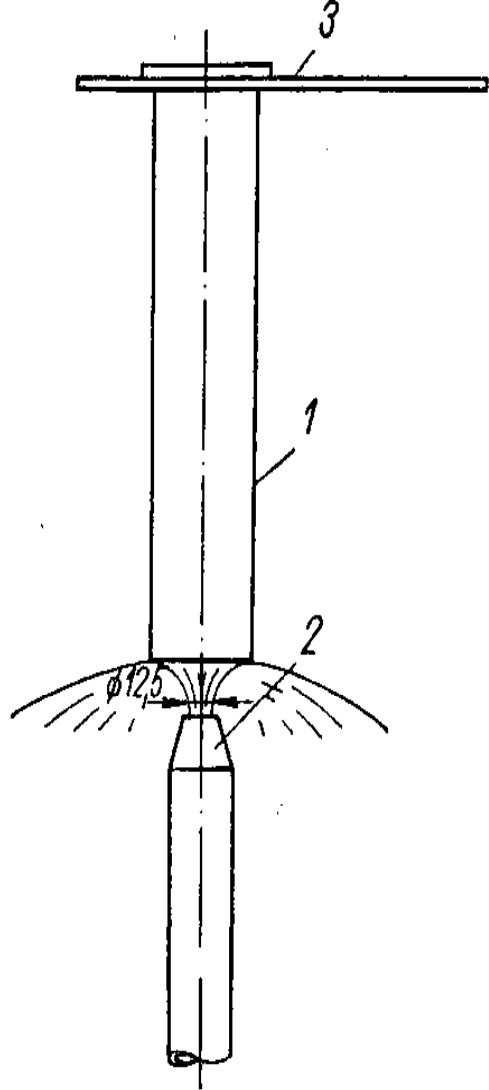
Základy tepelného zpracování ocelí

- Kalení a popouštění
 - - kalitelnost a prokalitelnost
 - - modifikované postupy kalení
 - - popouštění a struktury popouštěných ocelí
 - Chemicko-tepelné zpracování
 - - cementace, nitrocementace
 - - nitridování, sulfonizování
-

Žihání ocelí

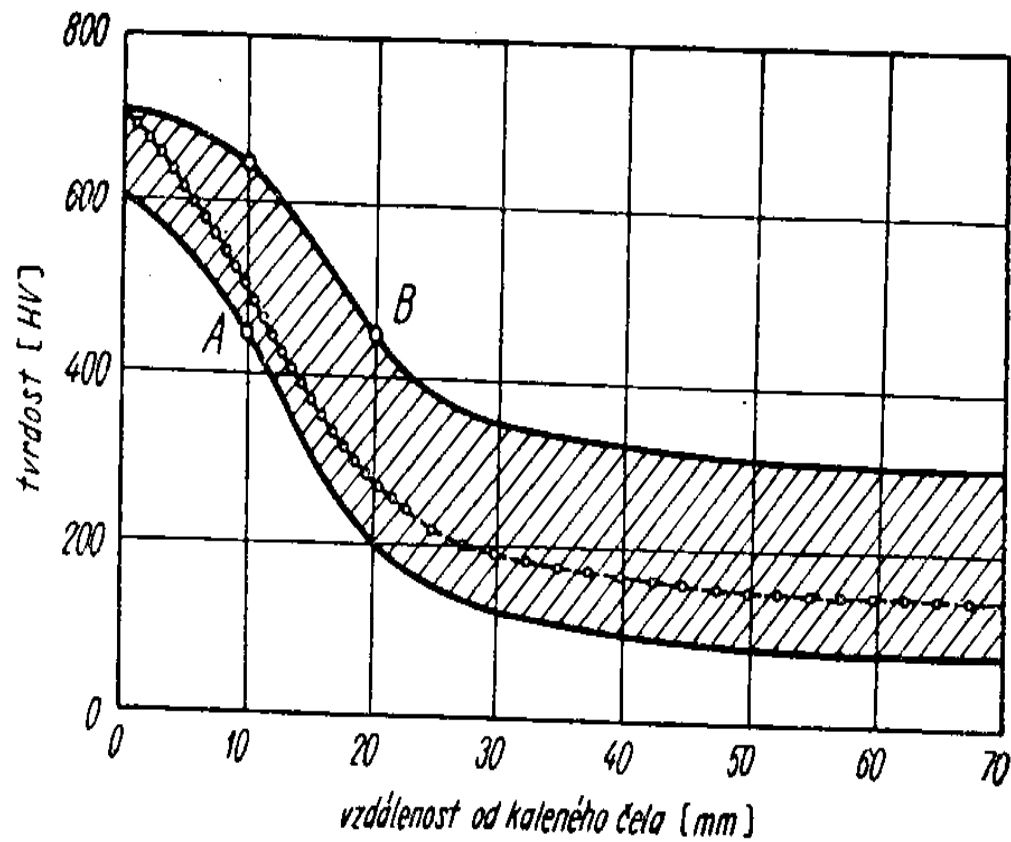
FIGURE 11.1 The iron–iron carbide phase diagram in the vicinity of the eutectoid, indicating heat treating temperature ranges for plain carbon steels. (Adapted from *Metals Handbook*, T. Lyman, Editor, American Society for Metals, 1948, p. 661.)





Obr. 4-64. Čelní zkouška prokalitelnosti

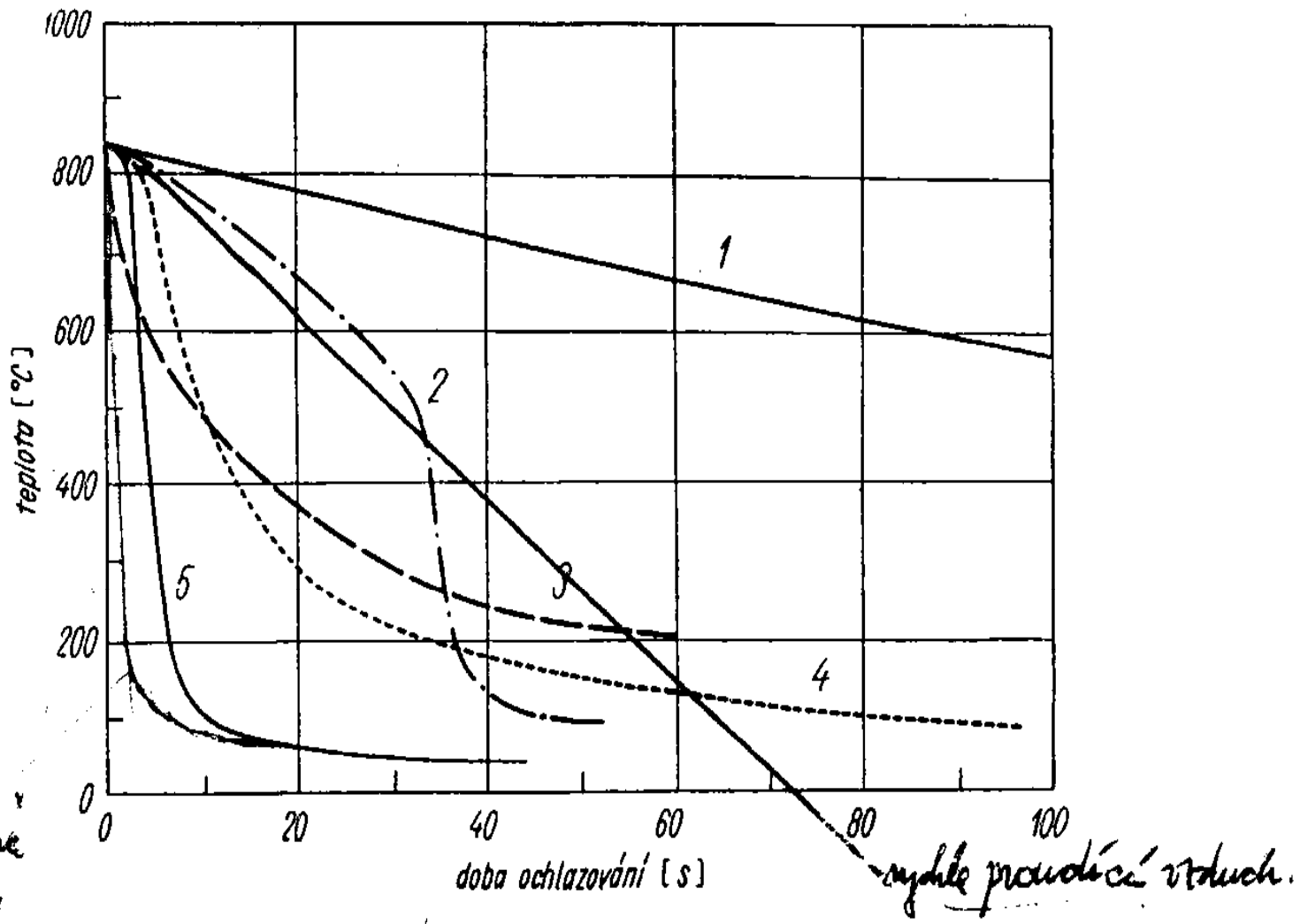
1 - zkušební tyč, 2 - tryska, 3 - držák



Obr. 4-65. Diagram prokalitelnosti

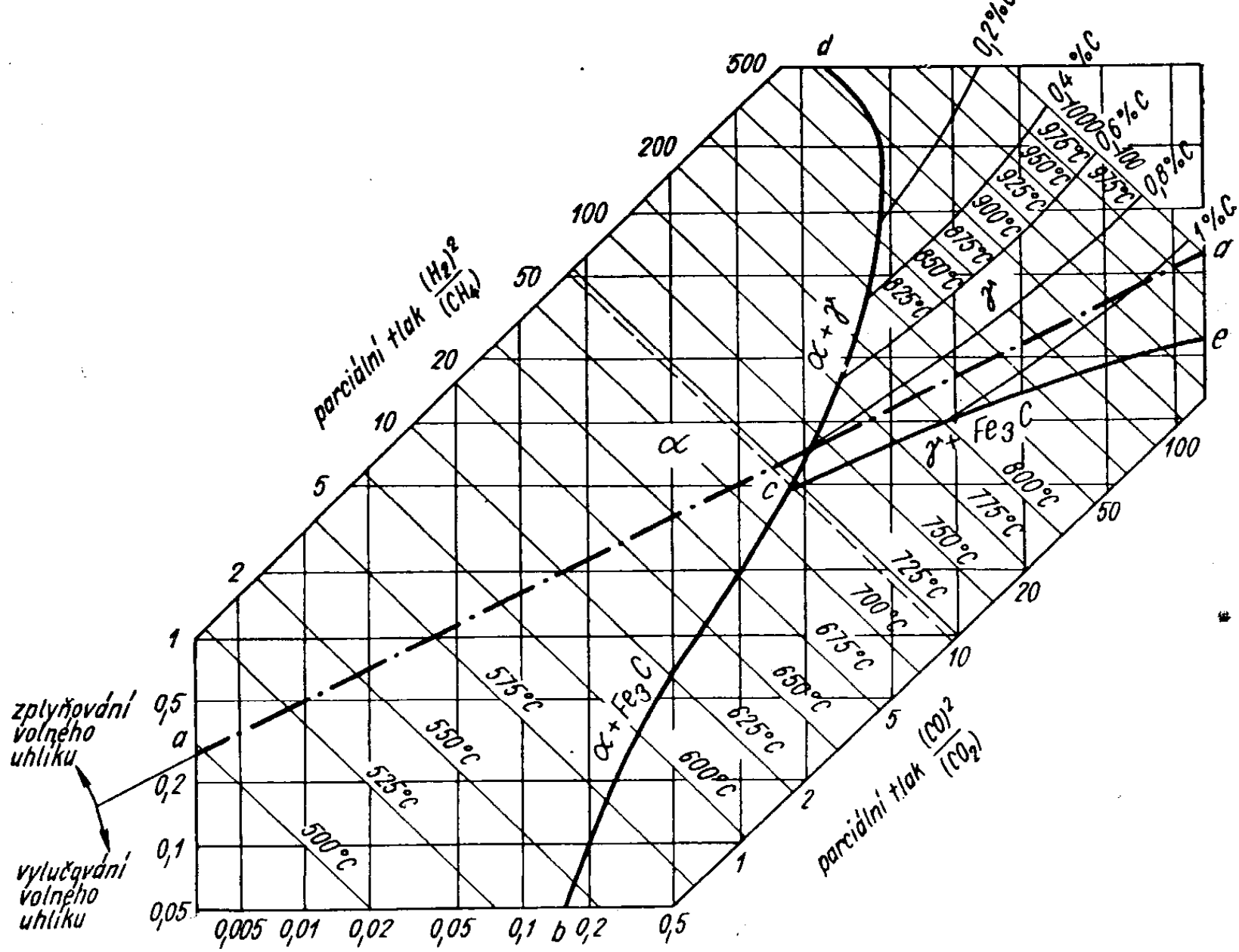
Pás prokalitelnosti — šrafovaná plocha, křivka prokalitelnosti — čárkovaně.

Index prokalitelnosti (příklad): I 450 = 10/20 — odpovídá úseku A—B.

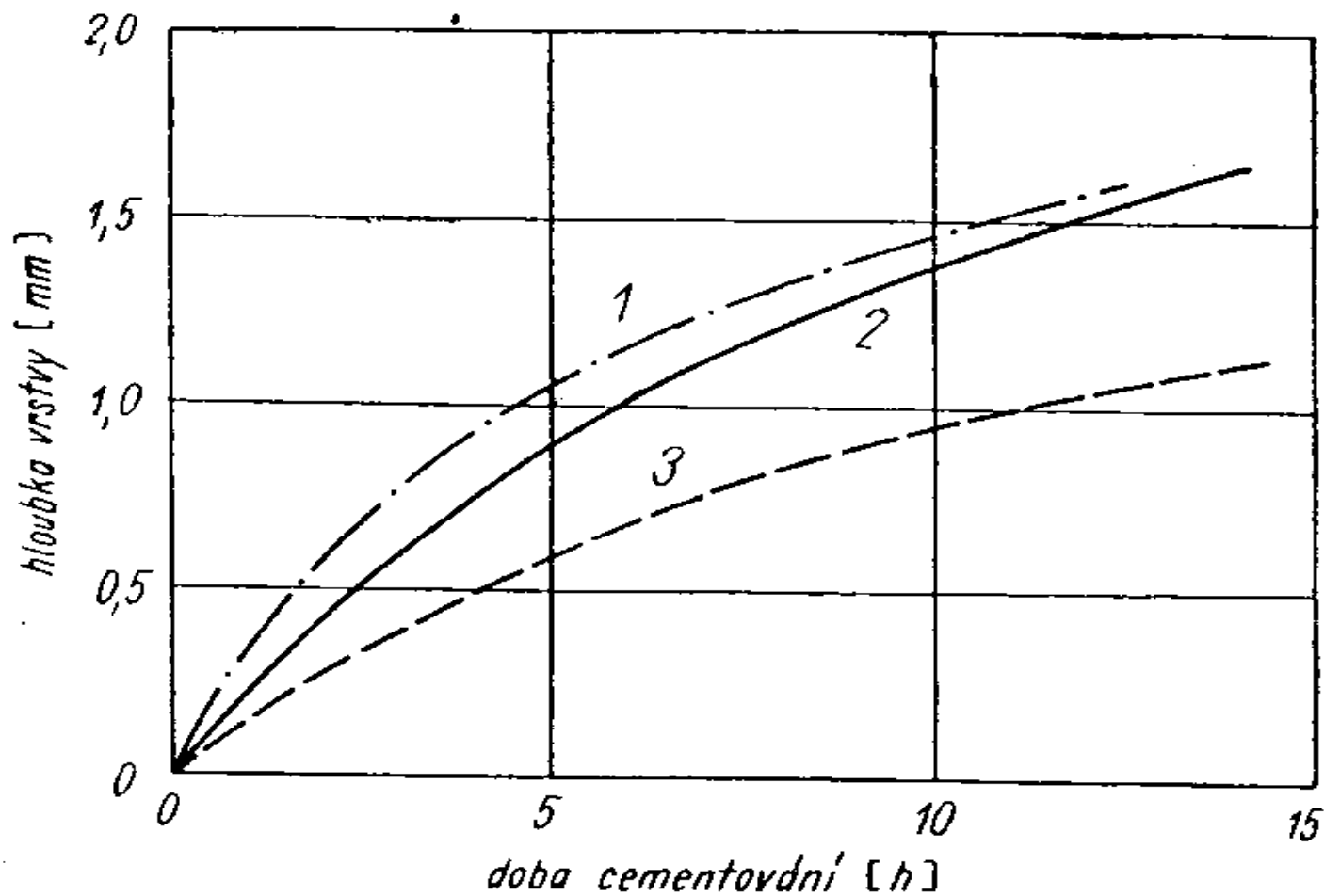


Obr. 4-67. Průběh ochlazování ocelového válce o průměru 10 mm v různých kalicích prostředích

1 - klidný vzduch, 2 - voda 95 °C, 3 - solná lázeň 200 °C, 4 - olej 20 °C, 5 - voda 20 °C

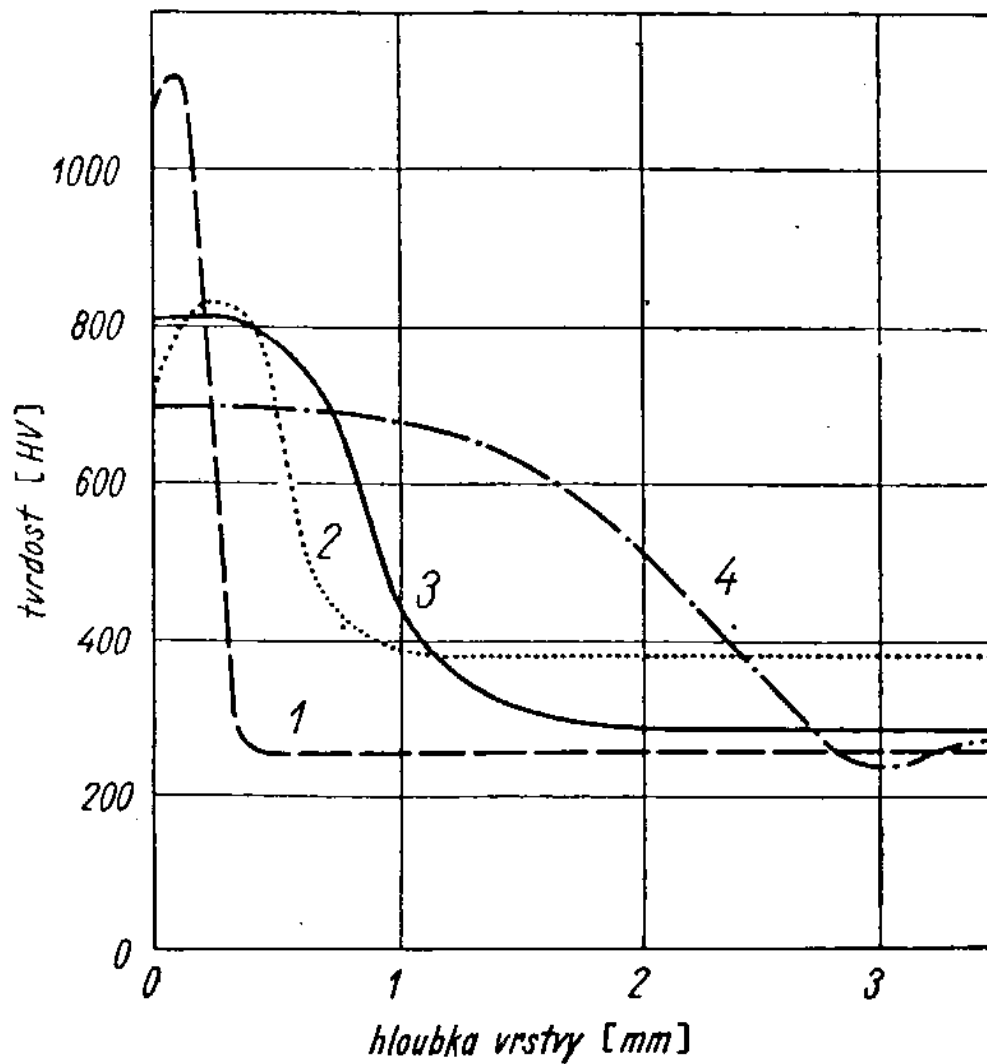


Obr. 4-81. Rovnovážný diagram cementačních atmosfér (podle G. Neumanna)



Obr. 4-82. Rychlost růstu cementované vrstvy v různých prostředích

1 - cementování v lázni, 2 - cementování v plynu,
3 - cementování v prášku



Obr. 4-86. Průběhy tvrdosti ve vrstvách různého typu (podle V. Jareše)

1 - nitridovaná, 2 - nitrocementovaná, 3 - cementovaná,
4 - povrchově kalená vrstva

Rozdělení a označování ocelí

- Oceli (uhlíkové-0,6%C, slitinové)
 - - tvářené – konstrukční, nástrojové
 - Konstrukční – třída 10 – 17
 - Nástrojové – třída 19
 - - uhlíkové, slitinové, rychlořezné
- Oceli na odlitky – konstrukční, nástrojové
-

Označování ocelí podle EN - číselné označování



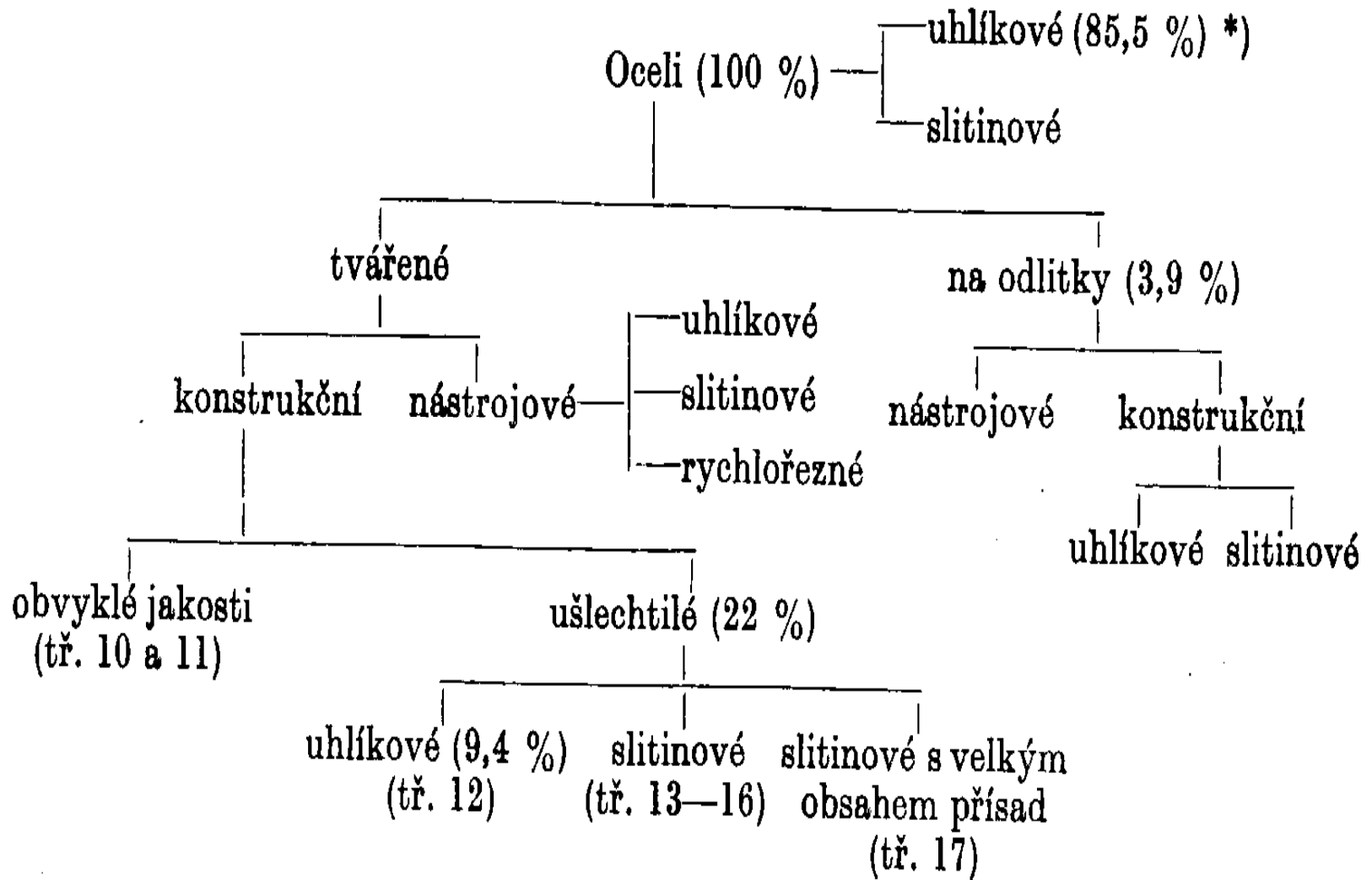
Nelegované

00 obvyklá jakost, 01-07 jakostní, 10-18 ušlechtilé

Legované

08,09 jakostní, 20-89 ušlechtilé

Tabulka 4-10. Rozdělení ocelí

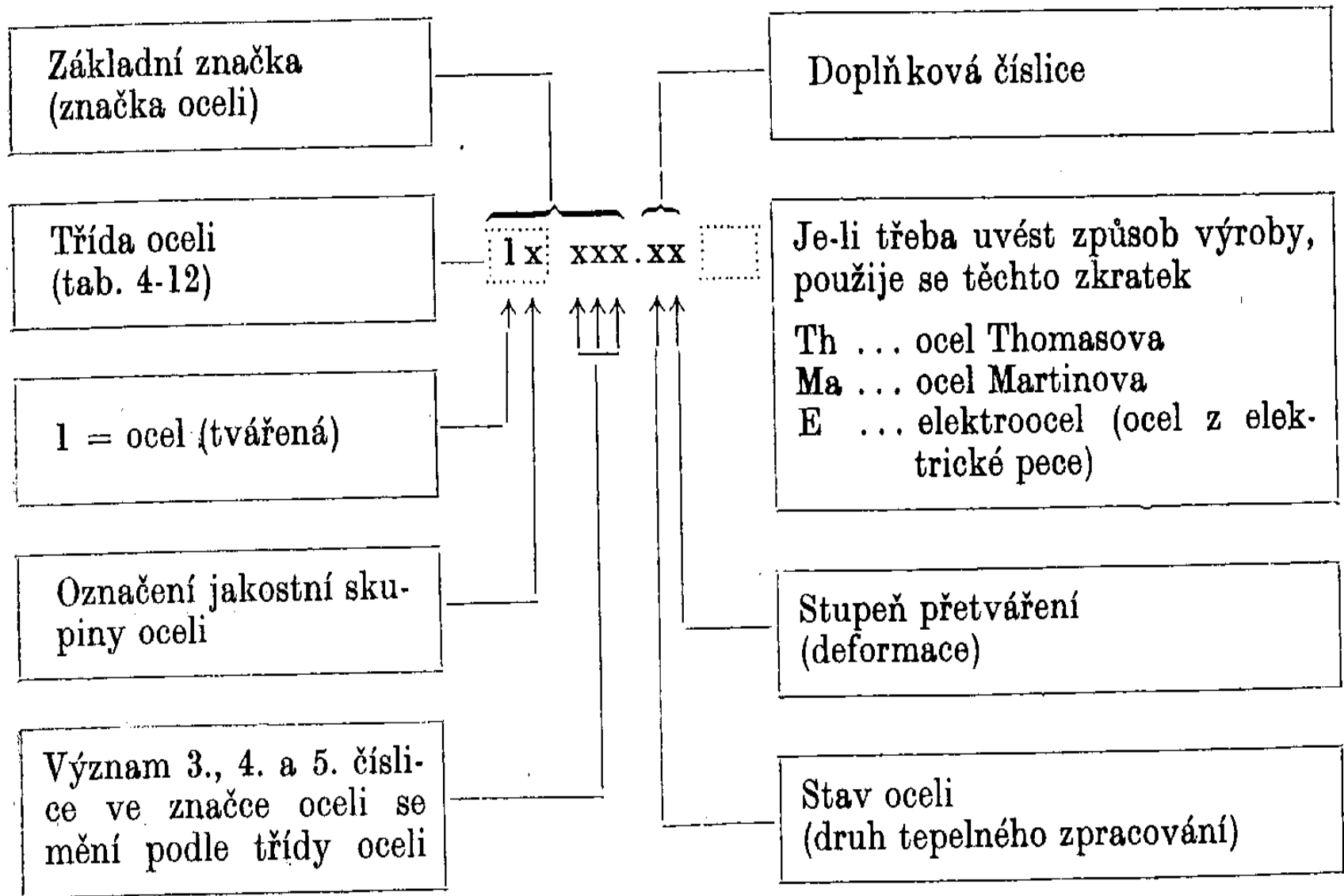


*) Podíl ocelí jednotlivých skupin z celkového objemu výroby oceli

Třídy ocelí

- Třída 10,11 – konstrukční oceli obvyklé jakosti
 - Třída 12-17 – konstrukční oceli ušlechtilé
 - (Třída 17: žárovevné, korozivzdorné)
 - Třída 18 – Slinuté prášky ocelové a slitinové
 - Třída 19 - Nástrojové oceli (uhlíkové, slitinové)
 - Rychlořezné oceli
-

Tabulka 4-11. Číselné označování tvářených ocelí podle ČSN



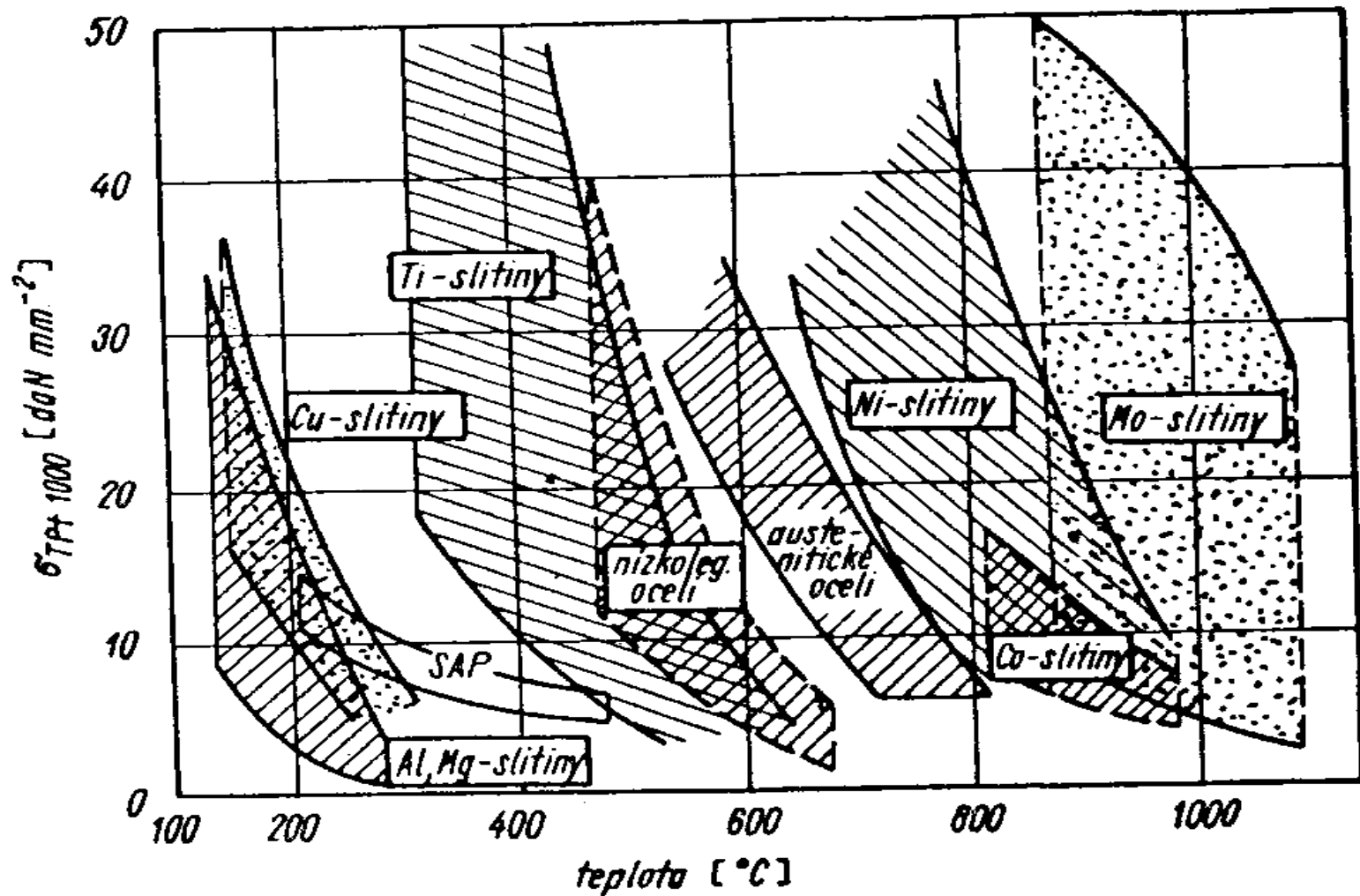
10 xxx	Konstrukční oceli obvyklých jakostí (chemické složení se zpravidla neudává a nezaručuje)	Obsah fosforu a síry se nezaručuje v hotovém výrobku; zaručuje se jen v tavebním vzorku u oceli 10 522 a 10 523	
11 xxx		Obsah fosforu a síry se zaručuje v hotovém výrobku; popř. v tavebním vzorku zpravidla na max. 0,06 % pro každý prvek	
12 xxx	Konstrukční oceli ušlechtilé (chemické složení se zaručuje v hotovém výrobku). Obsah fosforu a síry nesmí překročit zpravidla 0,035 nebo 0,040 % jednotlivě, součet max. 0,06 nebo 0,07 %	Uhlíkové k cementování, k zušlechťování, pružinové	
13 xxx		Slitinové: k cementování k zušlechťování k přímému kalení k nitrídování pružinové	Oceli: Mn, Si, Mn—Si
14 xxx			Oceli: Cr; Mn—Cr; Si—Cr; Cr—Al; Cr—Mn—Si
15 xxx			Oceli: Cr—Mo; Cr—V; Mn—Cr—Mo; Mn—Cr—V; Cr—Mo—Al
16 xxx			Oceli: Ni; Cr—Ni; Cr—Ni—Mo; Ni—Cr—W
17 xxx			Slitinové s velkým obsahem přísadových prvků
18 xxx	Slinuté prášky ocelové a slitinové (uhlíkové a slitinové). Přídavný materiál pro svařování, dráty — elektrody a jiné		
19 xxx	Nástrojové oceli (uhlíkové, slitinové, slitinové rychlořezné, slitinové na lité nástroje)		

Oceli se zvláštními fyzikálními vlastnostmi

- Stálá tepelná roztažnost – invar
- Magneticky měkké materiály - trafoplechy(Si)
 - Magneticky tvrdé materiály- W,Co
 - Nemagnetické materiály – Mn,Cr

Oceli na odlitky – uhlíkové, slitinové

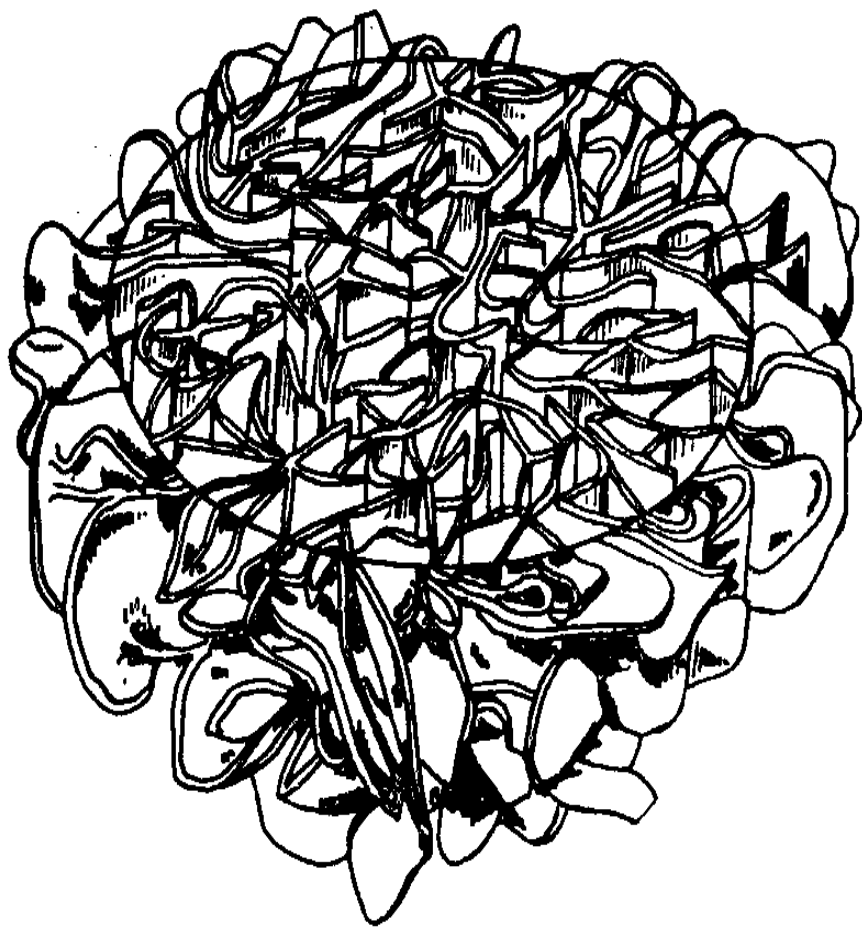
Třída 26 - 29



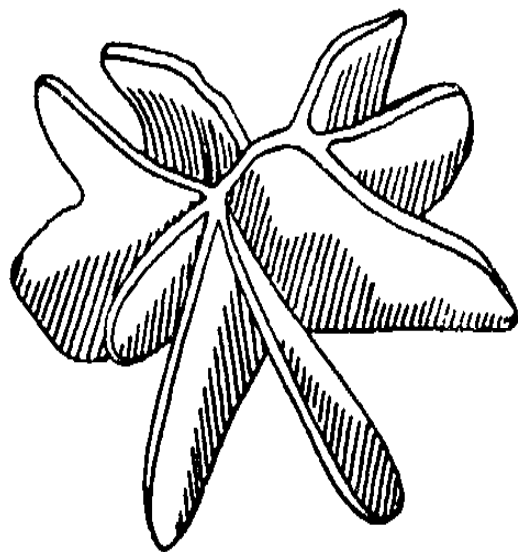
Obr. 4-108. Hlavní skupiny žárovevných materiálů (pevnost při tečení za 1 000 hodin v závislosti na teplotě)

Litiny

- Litiny – bílá legovaná
 - nelegovaná
 - litina k temperování
 - - šedá s lupínkovým grafitem
 - očkovaná s lupínkovým grafitem
 - tvárná se zrnitým grafitem
-

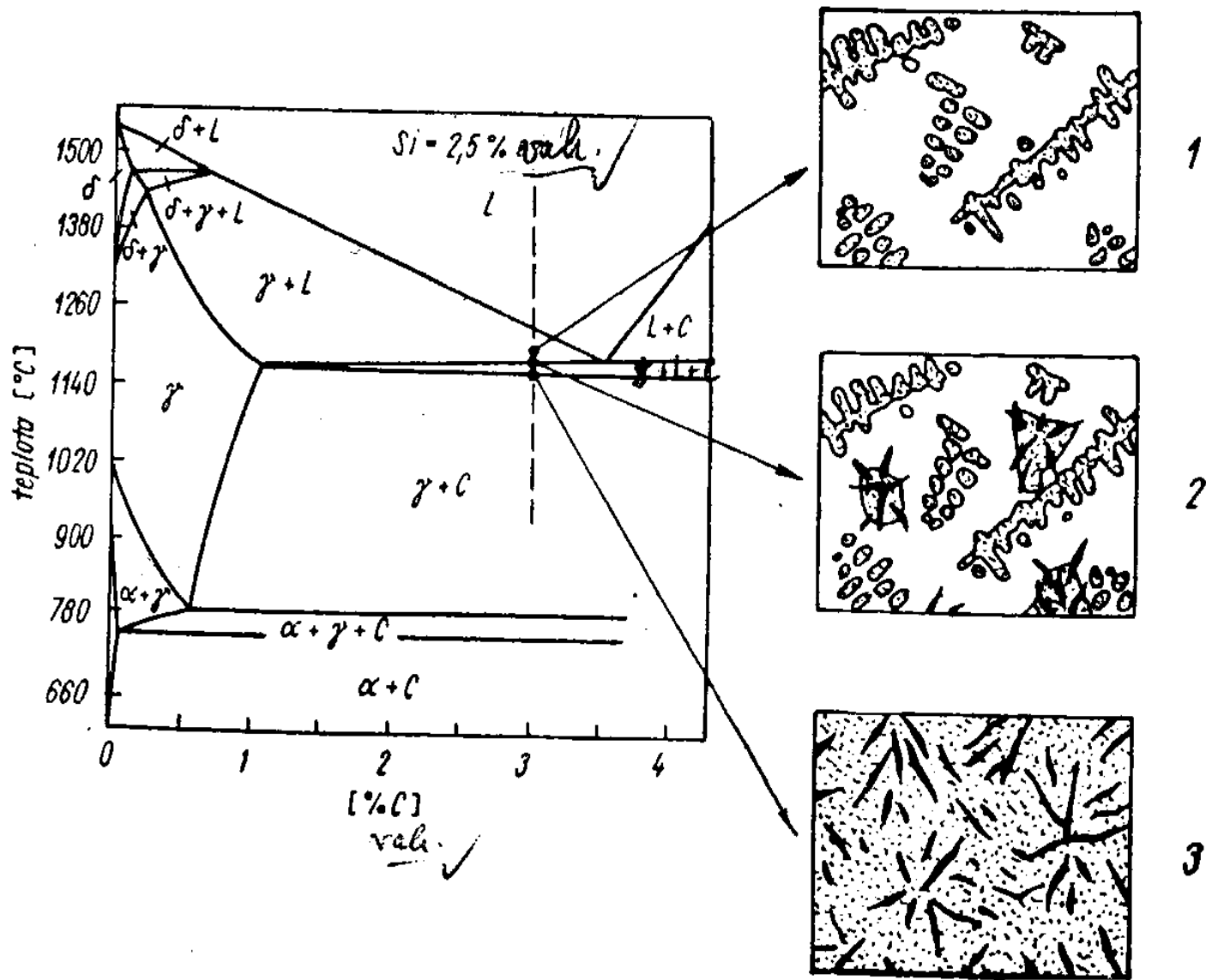


a



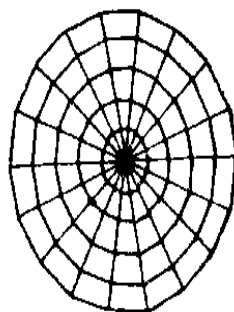
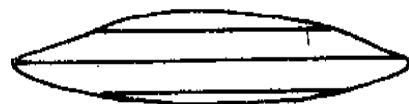
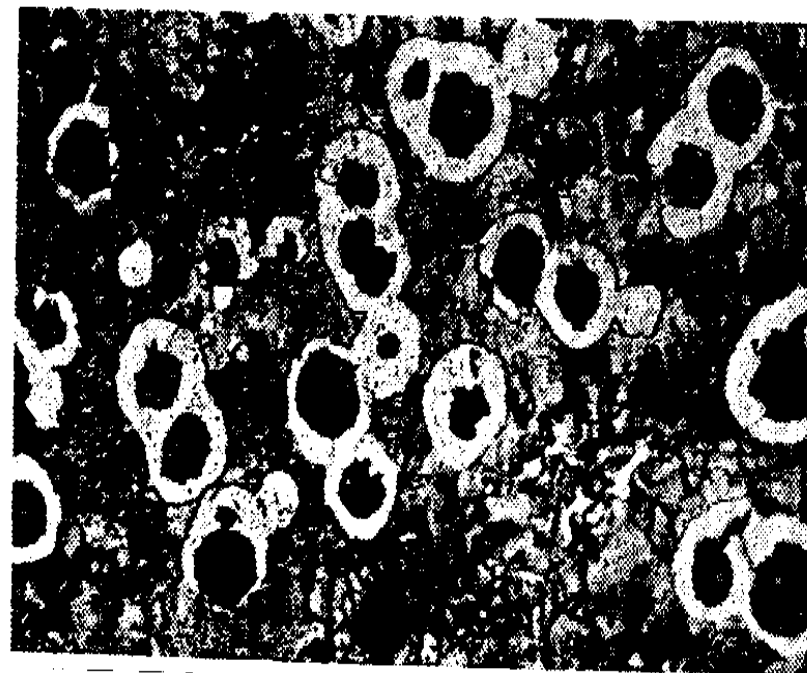
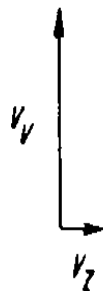
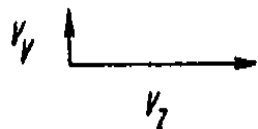
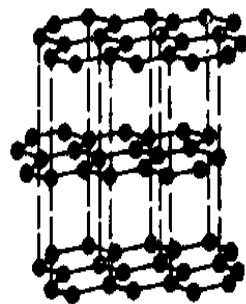
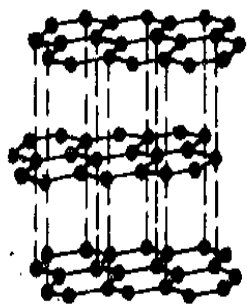
b

Obr. 4-118. Schéma prostorového grafitového útvaru (a) eutektické buňky podle H. Morrogha, (b) podle K. P. Bunina. Buňka (b) je tvořena lupínkovým grafitem. Mezi lupínky grafitu je austenit



Obr. 4-119. Schéma tuhnutí (vznik dendritů a eutektických buněk) podeutektické šedé litiny

1 - vznik dendritů austenitu, 2 - počátek krystalizace eutektických buněk, 3 - konec krystalizace (ve struktuře je grafit a austenit)



1

2

Obr. 4-122. Schéma růstu lupínkového a zrnitého grafitu

1 - růst lupínkového grafitu — Rychlost růstu V_z ve směru základní roviny (0001) převažuje nad růstem ve směru kolmém V_v , 2 - růst zrnitého grafitu — Rychlost ve směru V_v převažuje nad rychlostí růstu ve směru základní roviny V_z

Litiny

- Vztah mezi strukturou, složením a vlastnostmi
 - Tvárná litina
 - Skořepová litina

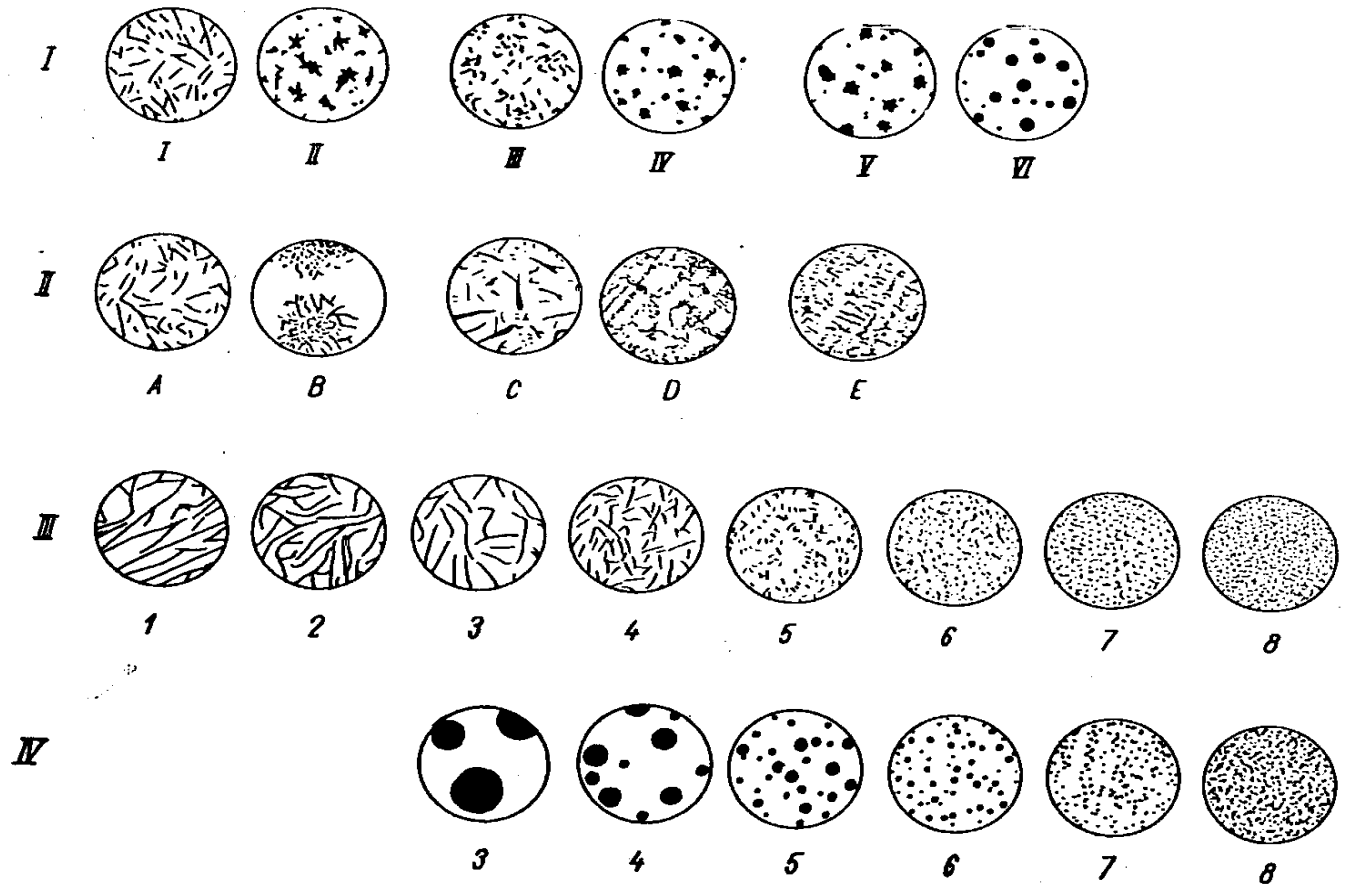
 - Legované litiny – korozivzdorné, žárovzdorné,
■ (Nikrosilal, Pyroferal)
 - Bílá litina
 - Temperovaná litina (s bílým lomem, s černým lomem)
-

litiny ČSN EN 1560 (420005)

EN GJ - grafit – matrice - mech.vlast - chem.slož

L lupínkový	F ferit	400 (R _m)	X
S kulič.	P perlit	19 (A)	%C
M temp.	M mart.	HB	chem. značky prvků
V vermik.	L ledeb.	KV	Cr Ni
N bez. graf	Q kaleno	(RT, LT)	9-5
Y zvláštní	T kal + pop		
	B, W temp. s		
	black nebo white lomem		

Příklad EN GJ SF-400 (GGG 40)

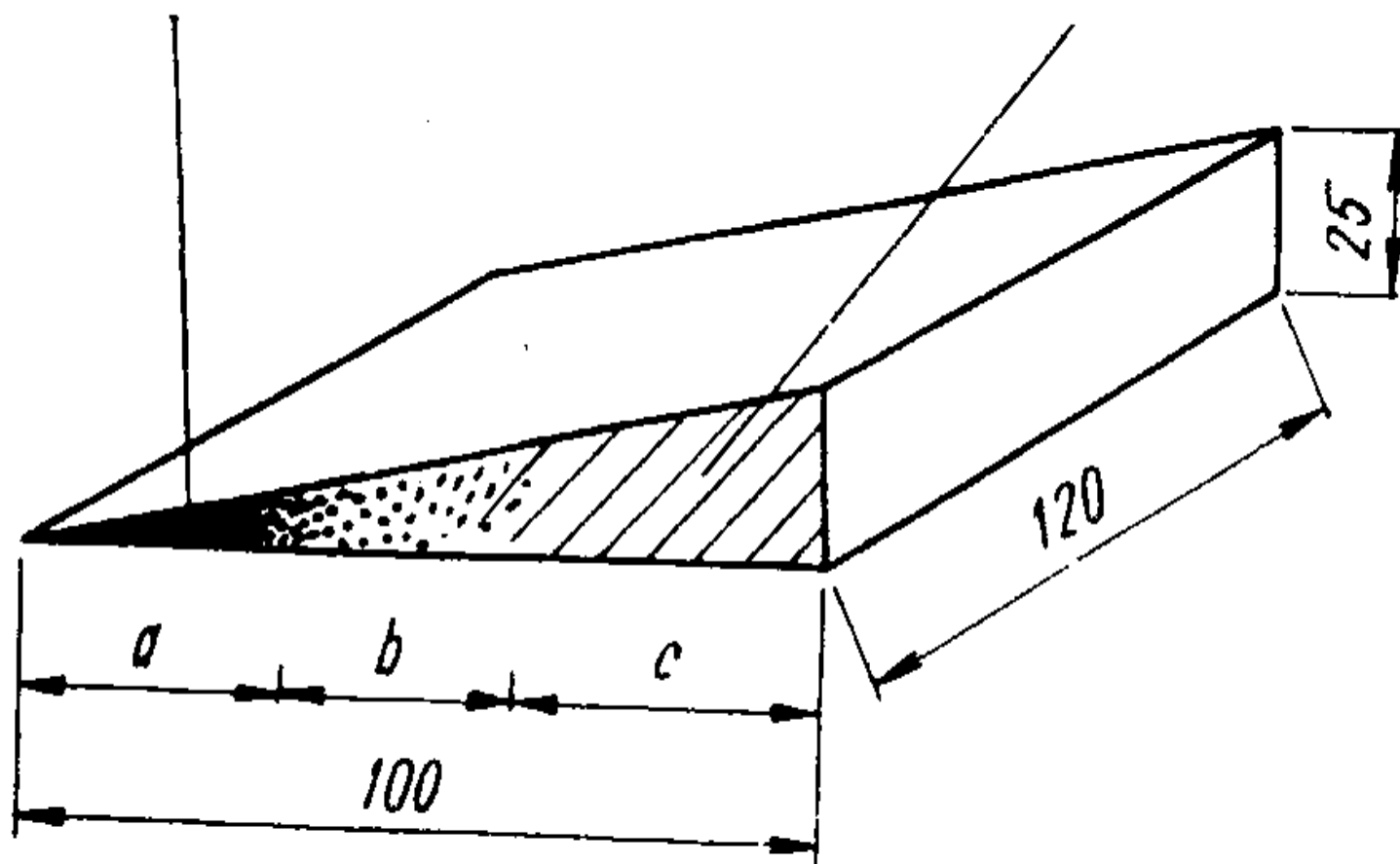


Obr. 4-123. Příklad rozřídění grafitu podle ISA

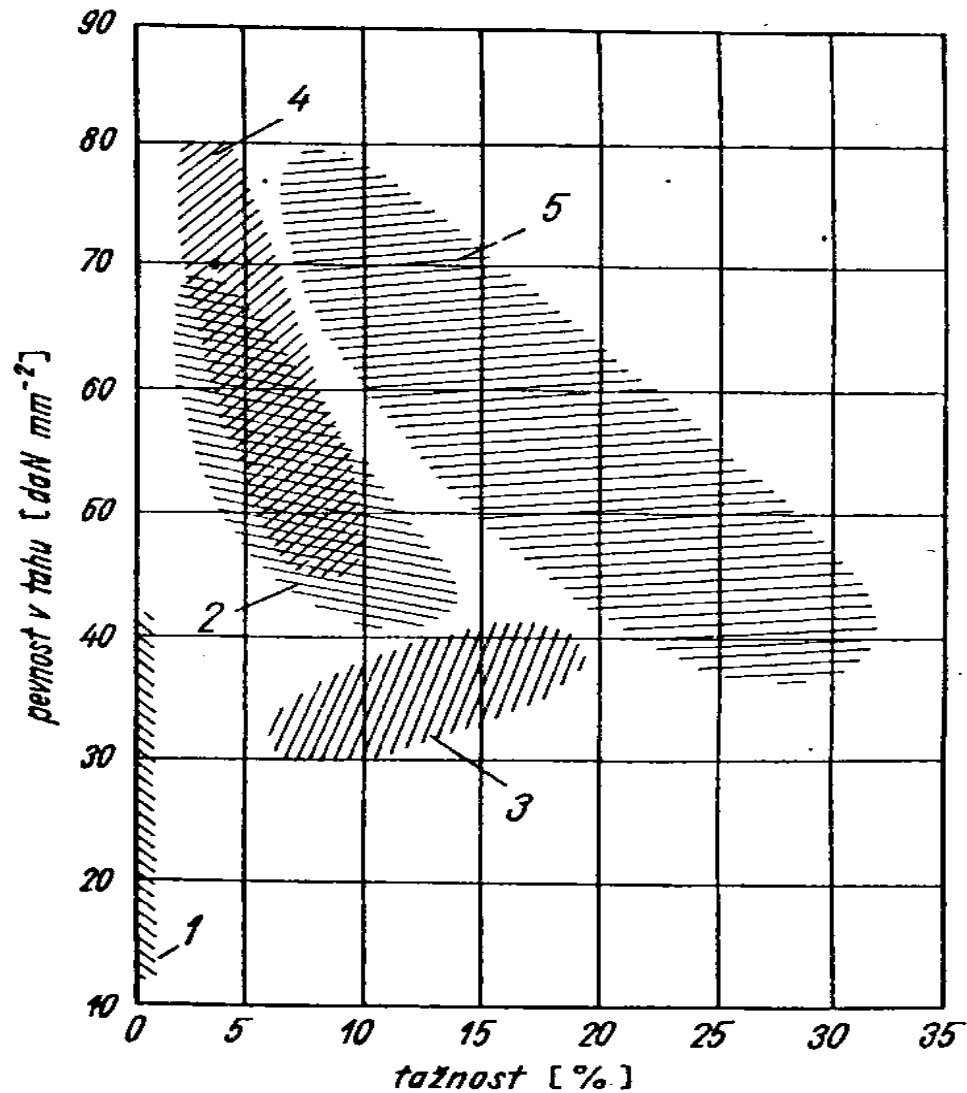
Stupnice velikosti grafitu vyloučeného ve tvaru
I — I až VI

Velikost číslo	Velikost při zvětšení 100 : 1 [mm]	Skutečná velikost [mm]
1	100	> 1
2	50—100	0,5 — 1
3	25—50	0,25 — 0,5
4	12—25	0,12 — 0,25
5	6—12	0,06 — 0,12
6	3—6	0,03 — 0,06
7	1,5—3	0,015—0,03
8	< 1,5	< 0,015

- I - Rozřídění podle tvaru
- II - Uspořádání grafitu
- III - Stupnice velikosti grafitu pro tvar I a V
- IV - Stupnice velikosti grafitu pro tvar VI



Obr. 4-129. Klínová zkouška litiny
a - bílá litina, b - přechodová struktura, c - šedá litina



Obr. 4-145. Oblasti mechanických vlastností litých materiálů

1 - šedá litina s lupínkovým grafitem, 2 - tvárná litina, 3 - temperovaná litina feritická, 4 - temperovaná litina perlitická, 5 - ocel na odlitky

Základní typy neželezných slitin

- Kovy s nízkou teplotou tání (Zn, Sn, Pb, Bi, In...)
 - Lehké kovy (Mg, Al,...)
 - Kovy se střední teplotou tání (Mn, Cu,...)
 - Kovy s vysokou teplotou tání (Ti, V, Cr, Mo, W..)
 - Kovy ušlechtilé (Pt, Pd, Ag, Au,...)
 - Kovy radioaktivní (Ra, U,...)
 - Kovy rozptýlené (Sc, KVZ,...)
 - Ostatní (Si, Ge, As,...)
-

Vlastnosti neželezných kovů

■ Fyzikální vlastnosti

- Modul pružnosti, teplotní roztažnost, teplota tání, elektrická vodivost a elektrický odpor, tepelná vodivost, měrná hmotnost,
- termoelektická síla, magnetické vlastnosti

■ Chemické vlastnosti

- Korozní odolnost

■ Mechanické vlastnosti

- Zpevnění tvářením za studena, vliv legování, vliv tepelného zpracování („stárnutí“),

■ Technologické vlastnosti

- Slévatelnost, obrobitelnost, tvářením za tepla a za studena

Příklady využití slitin neželezných kovů

- Materiály pro kluzná ložiska
 - Sn,Sb,Cu,Pb,Al
- Pájky
 - Měkké (teplota tání do 500 C)
 - Vlastnosti: smáčivost, vzlínavost a zabíhavost
 - Pb-Sn, přísady: Ag,Cd,Bi, projekt „Pájky bez olova“:Sn-Ag-Cu
 - Tvrdé:
 - Mosazné (800-940 C, Cu,Zn, přísady Ag,Ni)
 - Stříbrné(700-900 C, Ag, Cu,Zn,Ni,Mn)
 - Hliníkové (Al-Si5, Al-Si12)

Precipitační vytvrzování

(solution hardening → precipitation hardening)

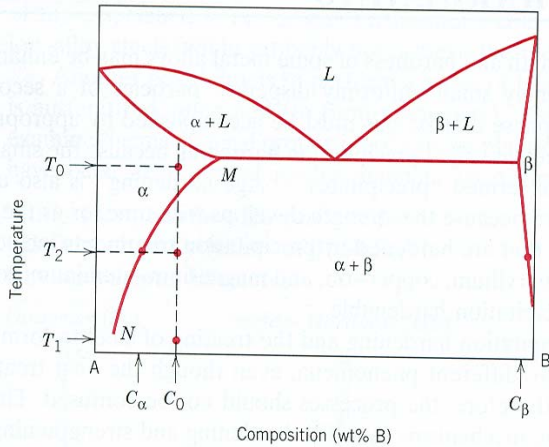


FIGURE 11.11 Hypothetical phase diagram for a precipitation hardenable alloy of composition C_0 .

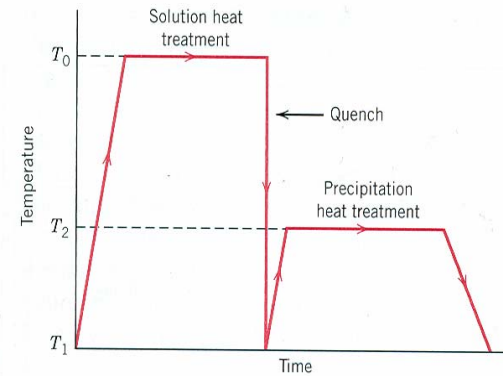


FIGURE 11.12 Schematic temperature-versus-time plot showing both solution and precipitation heat treatments for precipitation hardening.

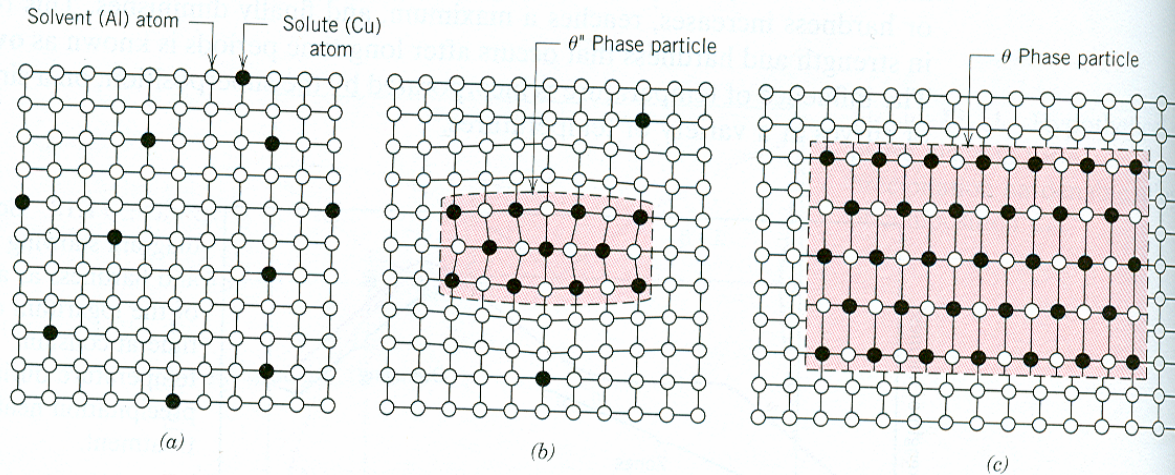


FIGURE 11.15 Schematic depiction of several stages in the formation of the equilibrium precipitate (θ) phase. (a) A supersaturated α solid solution. (b) A transition, θ'' , precipitate phase. (c) The equilibrium θ phase, within the α matrix phase. Actual phase particle sizes are much larger than shown here.

Slitiny hliníku

- Nevytvrzovatelné: Al-Cu, Al-Cu-Mn, Al-Mg-Cr
 - Vytvrditelné: Al-Cu-Mg-Mn, Al-Zn-Mg-Cu
 - lité: Al-Cu-Si, Al-Si-Mg
 - Speciální: Al-Li-Cu-Mg-Zr – v letectví
-

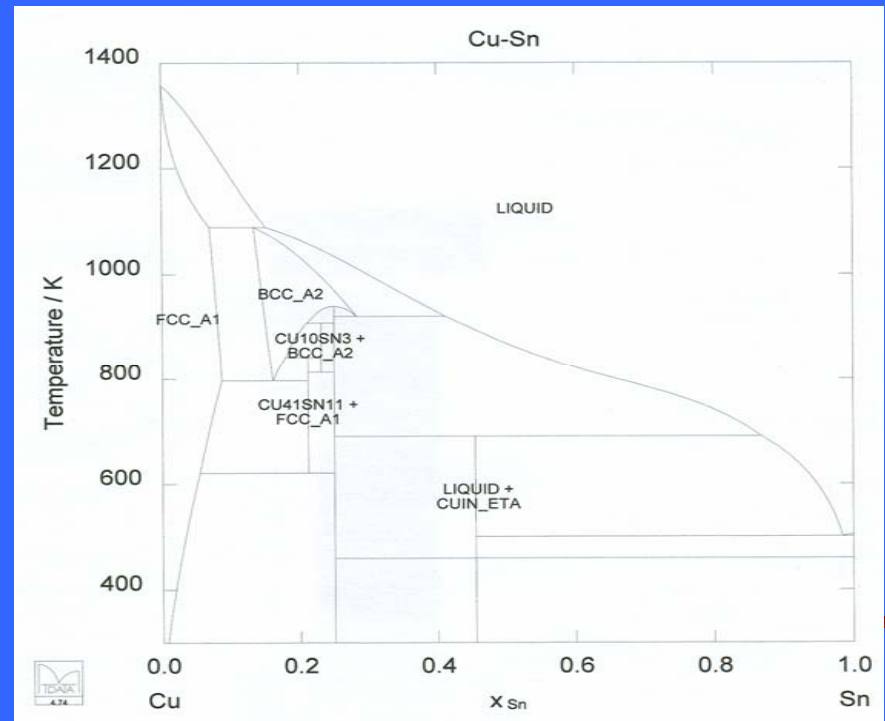
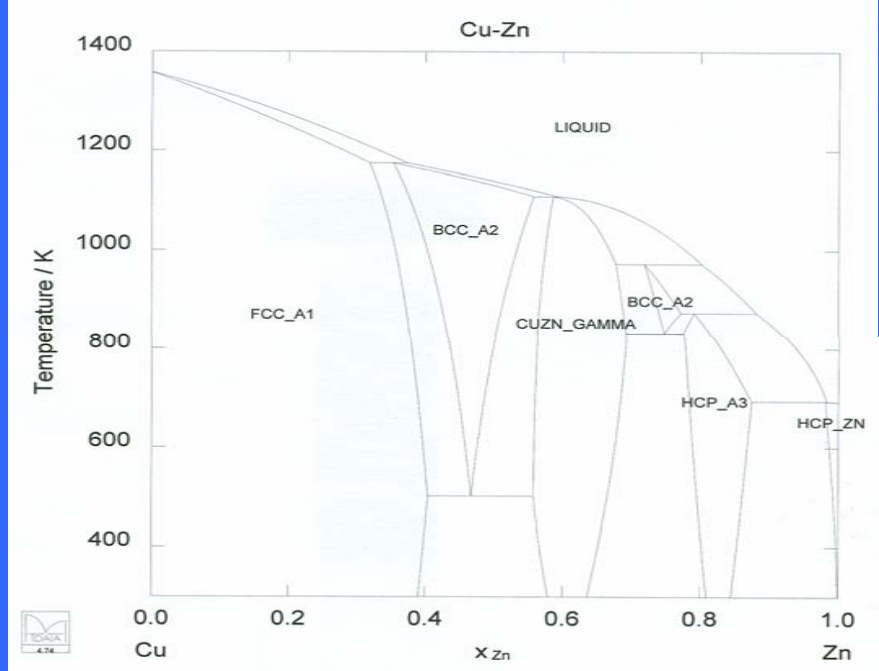
Slitiny mědi

■ Mosaz Cu-Zn

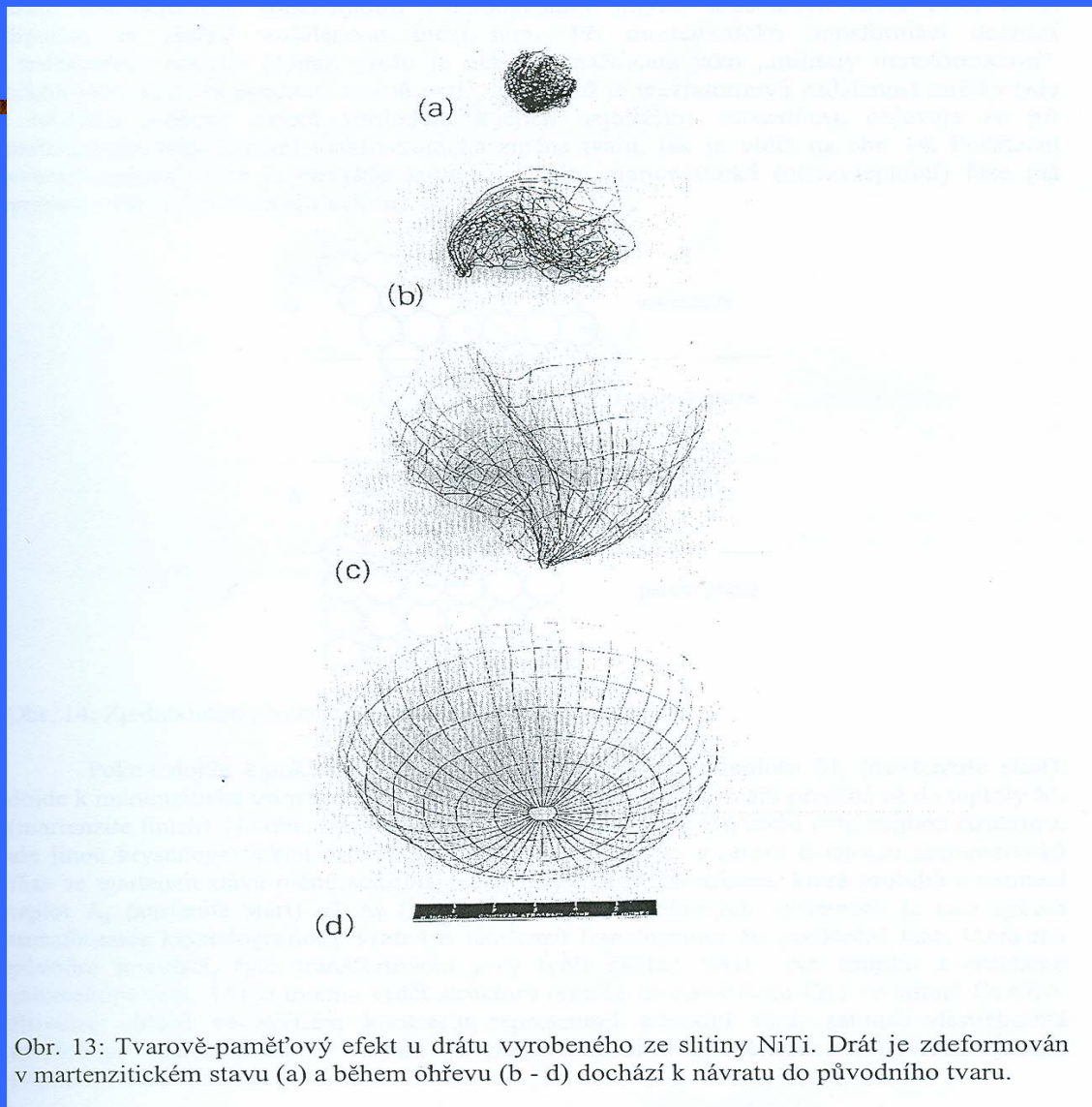
■ Bronz

Cu-Sn, Cu-Ni, Cu-Al, Cu-Si

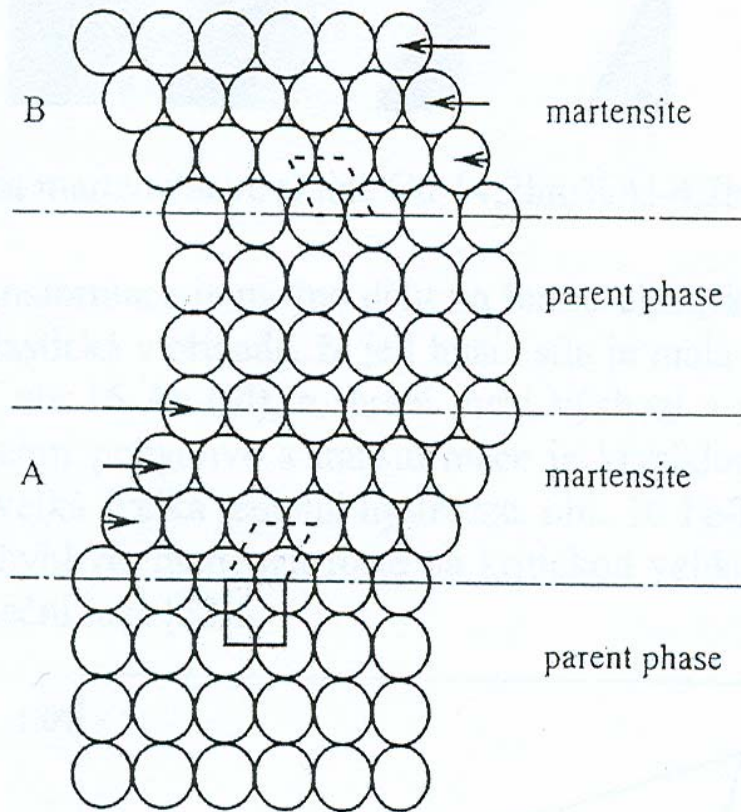
■ (větší pevnost než mosaz)



Slitiny titanu



Obr. 13: Tvarově-paměťový efekt u drátu vyrobeného ze slitiny NiTi. Drát je zdeformován v martenzitickém stavu (a) a během ohřevu (b - d) dochází k návratu do původního tvaru.



Obr. 14: Zjednodušený model martenzitické transformace.

„Military transformation“

Jiné slitiny s tvarovou pamětí: Au-47,5 at.% Cd, InTl, CuZn, CuAlNi.

Superelasticita.

Slitiny titanu

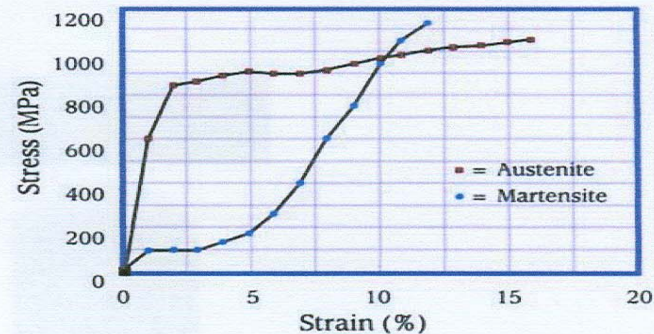
SHAPE MEMORY ALLOYS

Shape Memory Alloys (SMAs) refer to a group of materials which have the ability to return to a predetermined shape when heated. The shape memory effect is caused by a temperature dependent crystal structure. When an SMA is below its phase transformation temperature, it possesses a low yield strength crystallography referred to as Martensite (see Stress-Strain figure). While in this state, the material can be deformed into other shapes with relatively little force. The new shape is retained provided the material is kept below its transformation temperature. When heated above this temperature, the material reverts to its parent structure known as Austenite causing it to return to its original shape (see Phase Transformation figure). This phenomenon can be harnessed to provide a unique and powerful actuator.

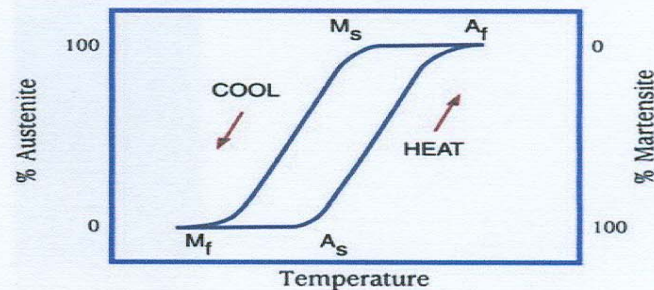
The most widely used shape memory material is an alloy of Nickel and Titanium called Nitinol. This particular alloy has excellent electrical and mechanical properties, long fatigue life, and high corrosion resistance. As an actuator, it is capable of up to 5% strain and 50,000 psi recovery stress, resulting in ~1 Joule/gm of work output. Nitinol is readily available in the form of wire, rod, and bar stock with transformation temperature in the range of -100° to +100° Celsius. More recently applications in Micro-Electro-Mechanical-Systems (MEMS) has led to the development of Nitinol in the form of sputter deposited thin film.

For more information about Shape Memory Alloy and its applications, contact TiNi Aerospace at the address below.

STRESS-STRAIN CHARACTERISTICS



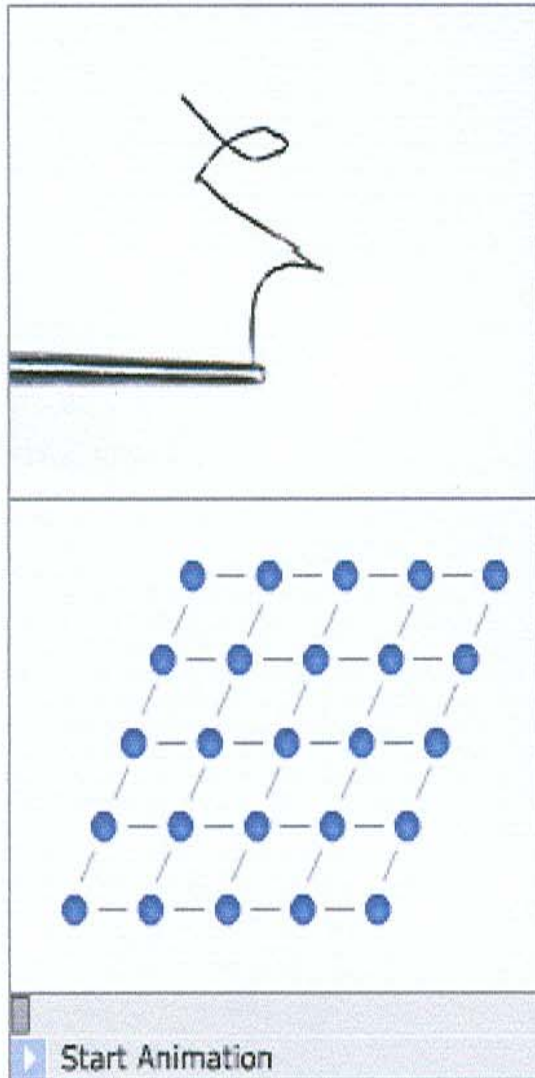
PHASE TRANSFORMATION



PROPERTIES OF NITINOL

Density	6.45 gm/cm ³	(0.23 lb/in ³)
Thermal Conductivity	10 W/m ² K	(5.78 Btu/hr ft ² F)
Specific Heat	322 j/kg ^o K	0.08 Btu/lb ^o F
Latent Heat	24,200 J/kg	(10.4 Btu/lb)
Ultimate Tensile Strength	750-960 MPa	110-140 ksi)
Elongation to Failure	15.5%	(15.5 %)
Yield Strength (Austenite)	560 MPa	(80 ksi)
Young's Modulus (Austenite)	75 GPa	(11 (ksi)_
Yield Strength (Martensite)	100 MPa	(15 (ksi)
Young's Modulus (Martensite)	28 GPa	(4 Mpsi)

Thermal Shape Memory Effect

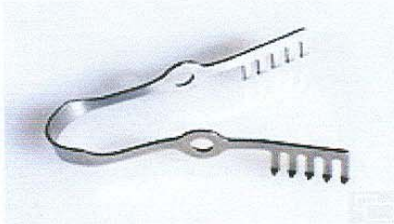


A shape memory alloy is capable of remembering a previously memorized shape. It has to be deformed in its low temperature phase Martensite and subsequently heated to the high temperature phase Austenite, e.g. in hot water or with an electrical current. The alloy generates a high force during the phase transformation. Thus, it can be used as an actuator in a multitude of different applications. The shape change is not restricted to just pure bending. The most suitable actuation mode has proved to be the linear contraction of a straight wire actuator.

In contradiction to the mechanical shape memory effect, the thermal shape memory effect is related to a heat stimulus, with which the Memory-Metal is capable of delivering a high amount of work output per material volume.

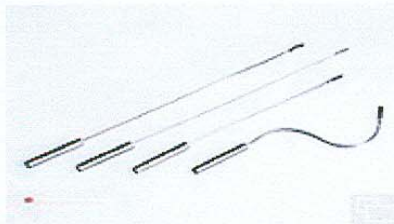
Medical Applications

NiTiNol is used in a vast variety of applications in medical implants and instruments. Its excellent corrosion behaviour together with extraordinary properties open significant markets and opportunities. About 90% of all medical applications make use of the superelasticity, the remaining 10% use mainly the martensitic deformation characteristics.



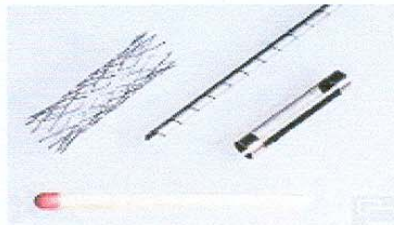
Tissue Spreader

Superelastic component used mainly in open heart surgery. The instrument is laser-cut out of sheet and heat treated to very tight opening force requirements.



Coronary Probe

Martensitic instrument used in open heart surgery to measure the inner diameter of the coronary vessels. Main advantage is the pliability of the soft cone-shaped tip. The instrument is fully reusable.



Laser-cut parts

A large number of different implants and instruments can be found in the market. Both, sheet and tubing can be structured with an advanced laser process.



Brain Spatula

Martensitic instrument used for neuro-surgery. The pliable spatula can be reused after steam sterilization.

Srdeční chirurgie

Neurochirurgie

Tissue=tkáň

Pliability=poddajnost

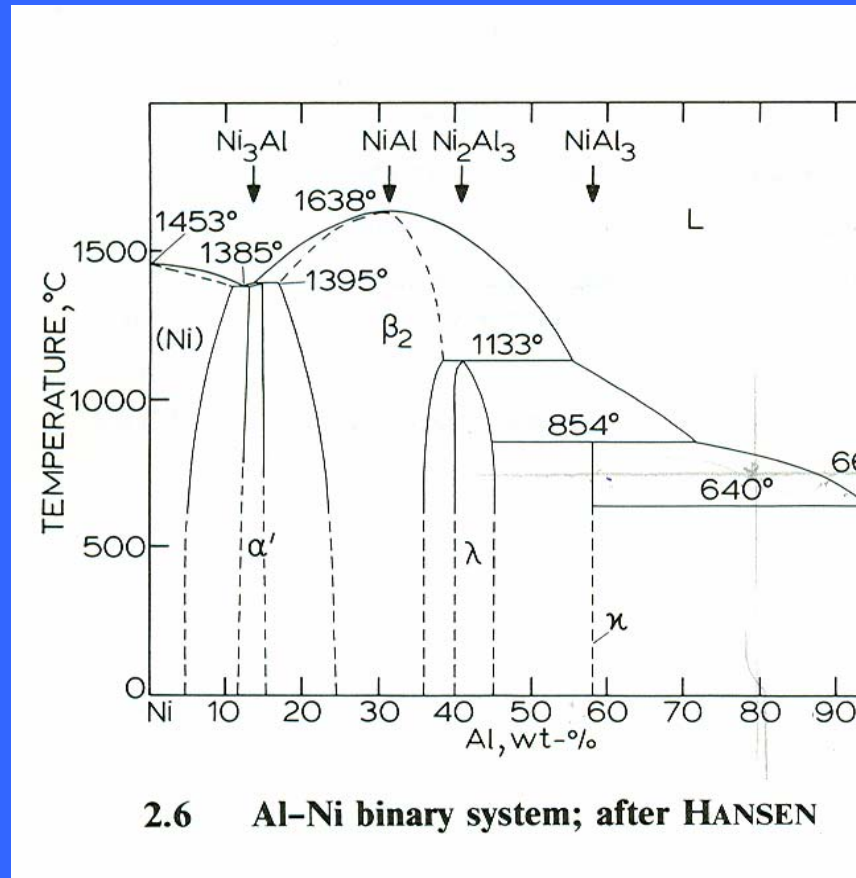
Slitiny niklu

Žáropevné slitiny (intermetalika – Ni-Al)

Korozovzdorné slitiny (Avesta, Nicrofer)

(Yuka mountain project)

Žáropevné slitiny – Intermetalika - Ni-Al



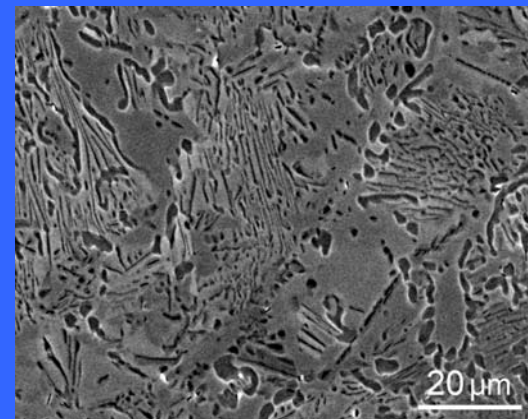
Korozivzdorné slitiny

■ Steel (wt.%)	Cr	Ni	Mn	Si	Mo	Cu	S	P	C	N	Fe
■ Nicrofer 3033	32.8	30.9	0.64	0.31	1.67	0.58	0.004	0.010	0.007	0.39	zbytek
■ Nicrofer 3127	27.0	31.0	1.6	0.30	6.4	1.3	a	a	0.009	0.20	zbytek
■ a – nestanoveno											

a



b



SEM fotografie mikrostruktury Nicrofer 3033
po žihání při 700 °C (a) 500 hrs., (b) 6170 hrs.

Čisté a velmi čisté kovy

Jaderná energetika

Polovodičová technika

Korozivzdorné slitiny

- Ovlivnění vlastností:
 - elektrické vodivosti, houževnatosti, korozní odolnosti, tvárnosti
- Výroba:
 - tepelný rozklad, vakuová destilace, pásmové čištění

Deformační zpracování kovů (deformation hardening)

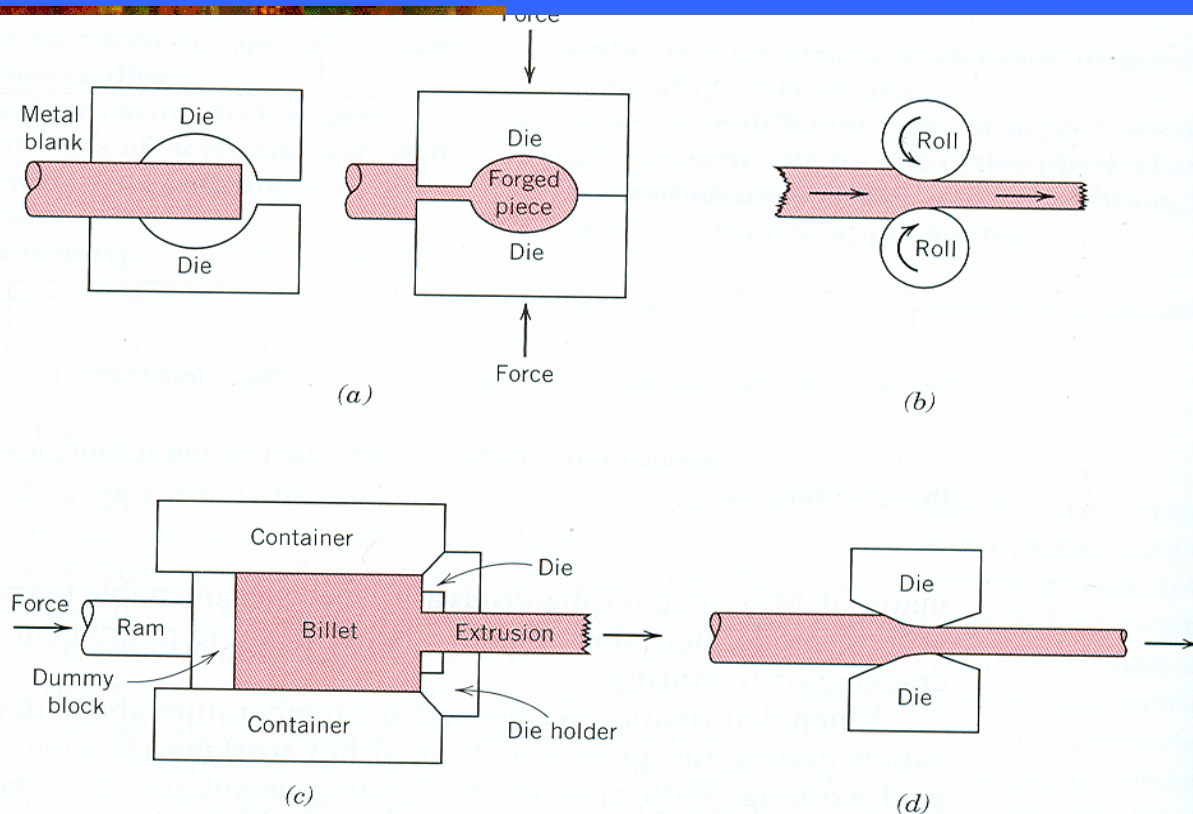
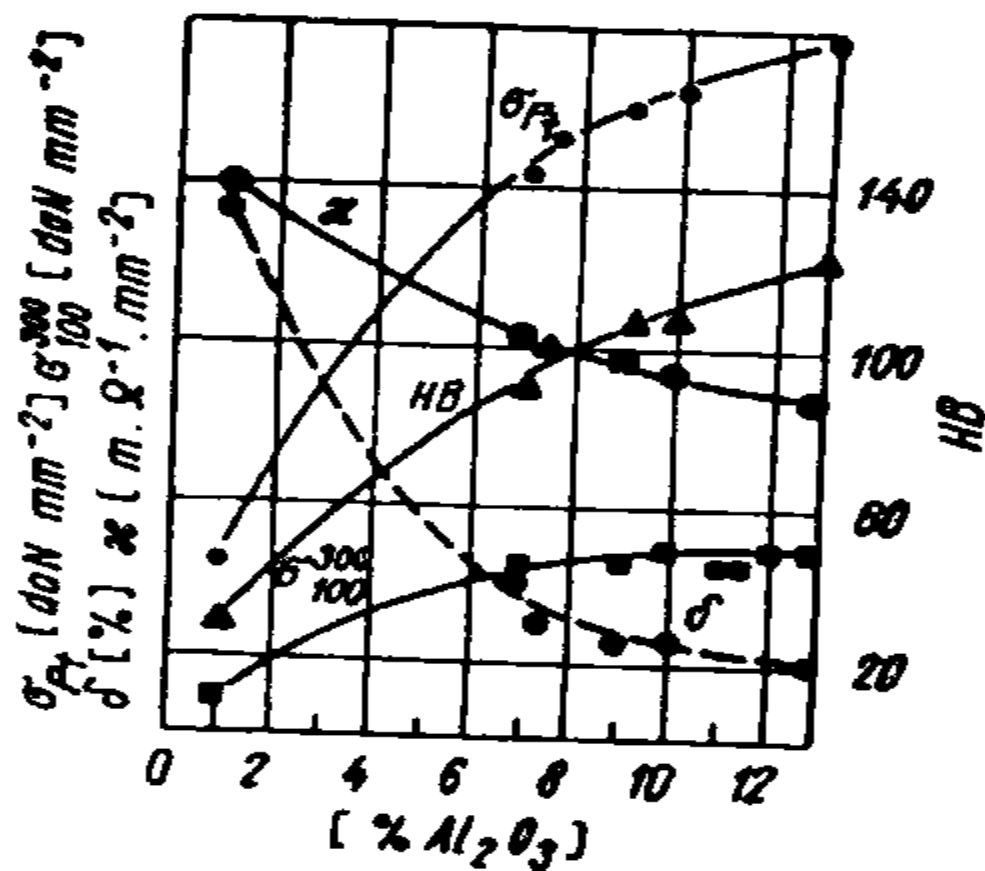


FIGURE 12.2 Metal deformation during (a) forging, (b) rolling, (c) extrusion, and (d) drawing.

Použití čistých kovů

- Konstrukční (Fe,Zn,Al,Cr,Mo,Zr,Ti)
 - Mosazi, SAP-sintered alumina powder
 - Polovodiče (Si,Ge As,Sb,Bi,Ga,Se,Te)
 - Ge,Si (5N - 6N), rafinace těchto kovů-pásmové
čistění(Al,Sn,Bi), vakuová destilace (Pb,Cd, Ga, In),
elektrolýza (Sn,Pb,Ga,In)
-



Obr. 6-6. Vliv obsahu kysličníku hlinitého v prášku na vlastnosti protlačované tyče ze SAP (podle Gerčikové aj.)

Svařování kovů, slinuté kovy

- Svařitelnost:
 - - svařovaný materiál
 - - postup svařování
 - - druh spoje, konstrukce, namáhání
 - Technologická zkouška – 4 stupně svařitelnosti
 - (Návarové zkoušky: nárazová, ohybová, praskavost svaru)
-

Tepelné svařování (welding)

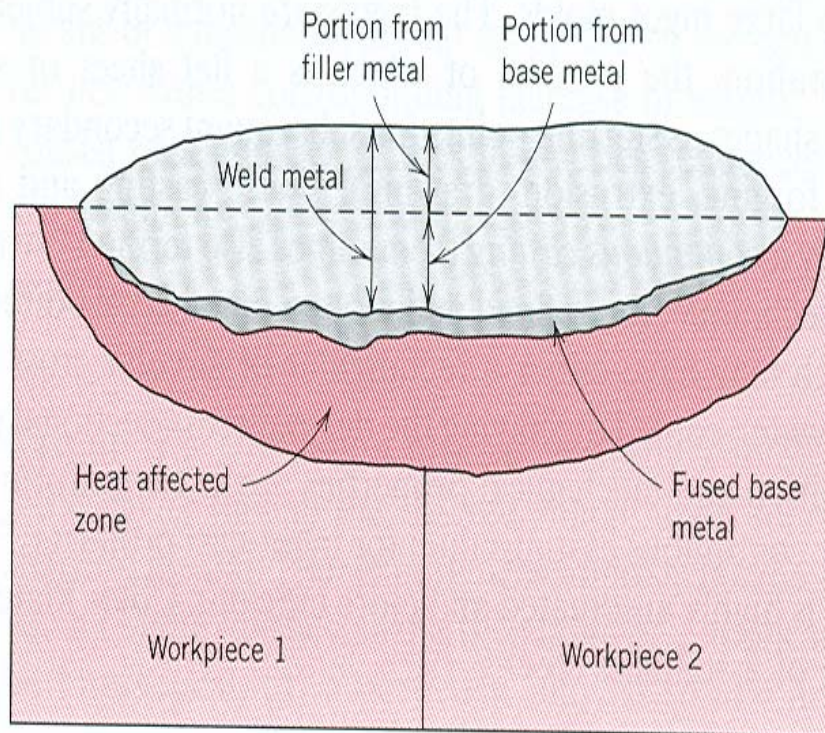


FIGURE 12.3 Schematic cross-sectional representation showing the zones in the vicinity of a typical fusion weld. (From *Castings Handbook*, C. F. Walton and T. J. Opar, Editors, 1981.)

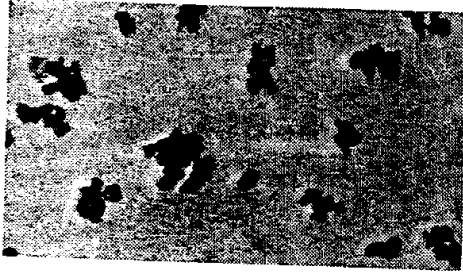
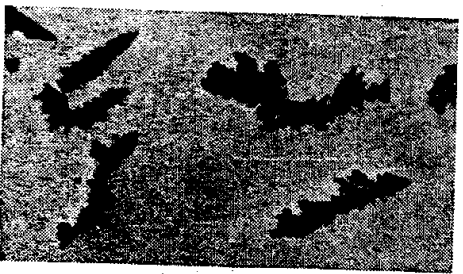
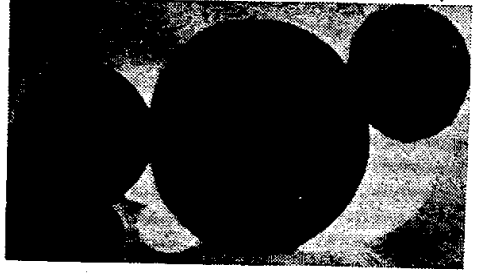
Slinuté kovy

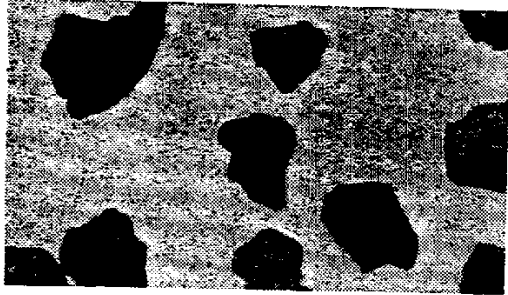
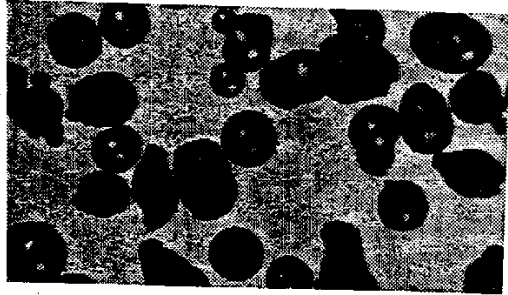
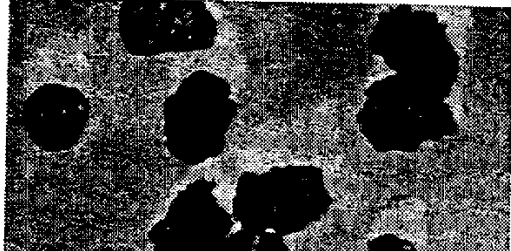
- Výroba slinutých materiálů
 - Příprava kovového prášku
 - Lisování (tvarování) prášku
 - Slinování (spékání) výlisku
 - Tváření polotovaru
-


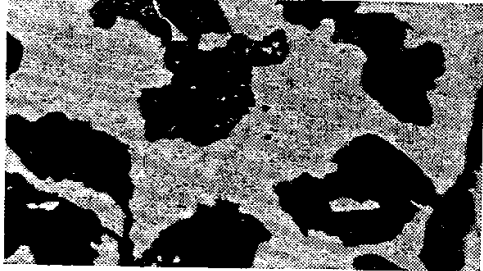
Způsoby výroby kovových prášků

- Chemicky – redukce H_2 , CO , pevná činidla
- Fyzikálně – rozstříkování roztaveného kovu
- - mletí

Tabulka 7-9. Výroba a vlastnosti kovových prášků

Způsob výroby	Vhodný pro	Tvar a stav částic	Výrobní náklady	Tvar zrn
Redukce kyslíčnicků	dobře redukovatelné kovy (Cu, Ag, Fe, Ni, Co, W, Mo)	nepřavidelný, pórovitý, stav měkký	nízké ve velkovýrobě (Fe-houba), střední v malém	
Elektrolýza roztoků	Cu, Ag, Fe, Zn, Sn, Ni, Cr	dendrity, vločky	střední	
Elektrolýza taveniny	Ta, Nb, Th, Zr	nepřavidelná zrna	velmi vysoké	
Štěpení karbonylu	Fe, Ni	kulovitá zrna, velmi jemnozrný prášek	vysoké	

Způsob výroby	Vhodný pro	Tvar a stav částic	Výrobní náklady	Tvar zrn
Kondenzace par	Zn	kulovitá zrna, velmi jemný prášek	střední; nízké, jde-li o vedlejší produkt	
Mezikrystalická koroze	houževnaté kovy, nerezavějící ocel, žárovzdorné slitiny	nepřavidelná a zaoblená zrna	střední až vysoké	
Granulace taveniny	Fe, Cu, Ag, Al, mosaz, bronz, litina	nepřavidelná ledvinkovitá zrna	nízké	
Rozprašování taveniny dusíkem nebo vzduchem do vody	Pb, Zn, Sn, Ag, Fe, mosaz, ferrosilicium a ost. ferroslitiny	kulovitá zrna, vyžadují zpravidla doredukování; po redukcí houbovitá	nízké	

Způsob výroby	Vhodný pro	Tvar a stav částic	Výrobní náklady	Tvar zrn	
Mletí	v kulovém mlýnu rotačním	karbidy kovů a kovy, kysličníky, mosaz, hliník	u křehkých materiálů ostrohranná nepravidelná zrna	vysoké (střední)	
	v kulovém mlýnu vibračním	karbidy a kovy		střední	
	v kulovém mlýnu Atritor	kysličníky, karbidy, kovy	u tvárných kovů a slitin plochá až lístkovitá zrna	střední	
	ve vířivém mlýnu	Fe, Cu, Ni, mosaz, bronz		střední	
	v tryskovém mlýnu	křehké karbidy a kysličníky		nízké	
	v kolovém mlýnu	houbovité pračky a kysličníky		střední	
	ve stoupě	mosaz, bronz, Cr, karbidy, ferroslitiny		vysoké	

Tabulka 7—10. Přehled základních druhů železného a ocelového prachu (podle ČSN 41 8001 a dalších)

Název	Označení		Způsob výroby	Použití
	číslo materiálového listu	druh		
Železný prášek mechanicky zhotovený	18.001	0,3 0,15	mletí drtě ve vířivém mlýně	prášková metalurgie strojních součástí obalová hmota elektrod pro obloukové svařování řezání plamenem chemická katalýza
	18.002	+0,06		
	18.003	—0,06		
Ocelový prášek granulovaný	18.010 18.011	0,4 0,06	granulace uhlíkové oceli nebo litiny s 1,5 až 4 % C	obalová hmota elektrod řezání plamenem
Rozstříkovaný železný prášek		surový 3—4 % C kysličníky	rozstříkování proudu roztavené litiny stlačeným vzduchem	
		žháný 0,1 % C	žhánání surového prachu v uzavřené peci do vyredukování kysličníků přítomným uhlíkem	prášková metalurgie strojních součástí obalové hmoty elektrod pro svařování obloukem, řezání plamenem
Železný prášek W			vodou rozstříkovaný proud roztavené oceli s nízkým obsahem uhlíku	obalová hmota elektrod pro obloukové svařování
Železná houba			redukce prachových kysličníků železa pevným uhlíkem nebo redukční atmosférou	prášková metalurgie strojních součástí, ocelářská surovina

Příklady výrobků ze slinutých kovů

- Vysokotavitelné kovy
- W, Mo, Ta, Nb – obtížně tavitelné kovy

- Slinutá ocel
- V hromadné výrobě součástí bez nároků na pevnost,
- 10-15% porezita (Siperma)

- Slinuté mikroheterogenní materiály

Příklady výrobků ze slinutých kovů

- Slinuté nástrojové materiály
 - Slinuté elektrické kontakty
 - Disperzně vytvrzené slitiny
-