



**Lesnická
a dřevařská
fakulta**

10. 9. 2015, Brno

Připravil:

doc. Ing. Zdeněk Kopecký, CSc.

Materiály pro výrobu strojů a dřevoobráběcích nástrojů

Předmět: Strojní mechanismy

Mendelova
univerzita
v Brně



1

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

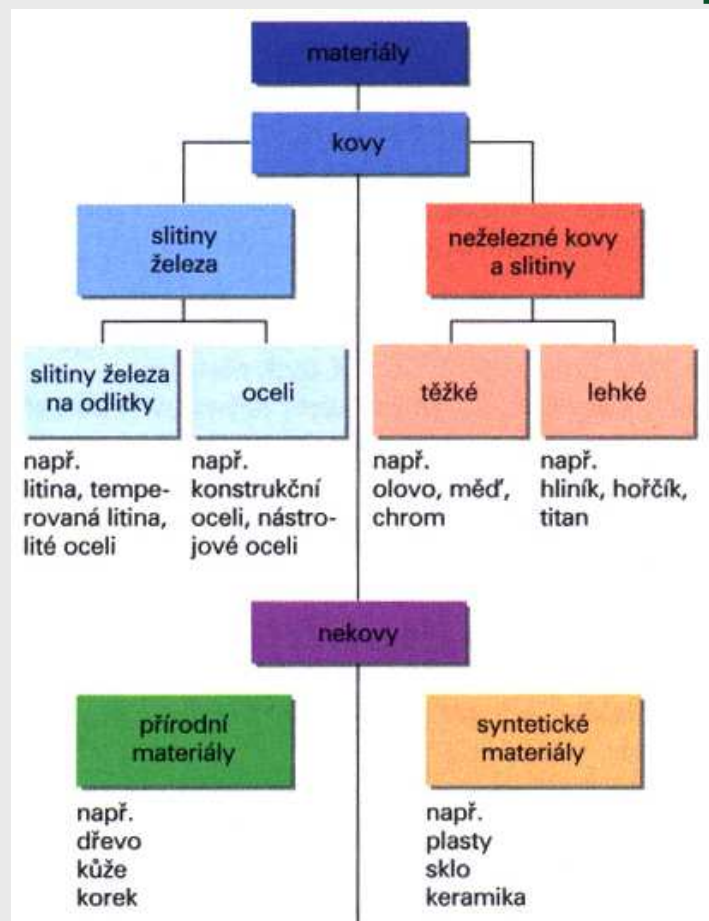
Materiály k výrobě dřevařských strojů a zařízení

Rozdělují se na tři velké skupiny:

Kovy

Nekovy

Kombinované materiály



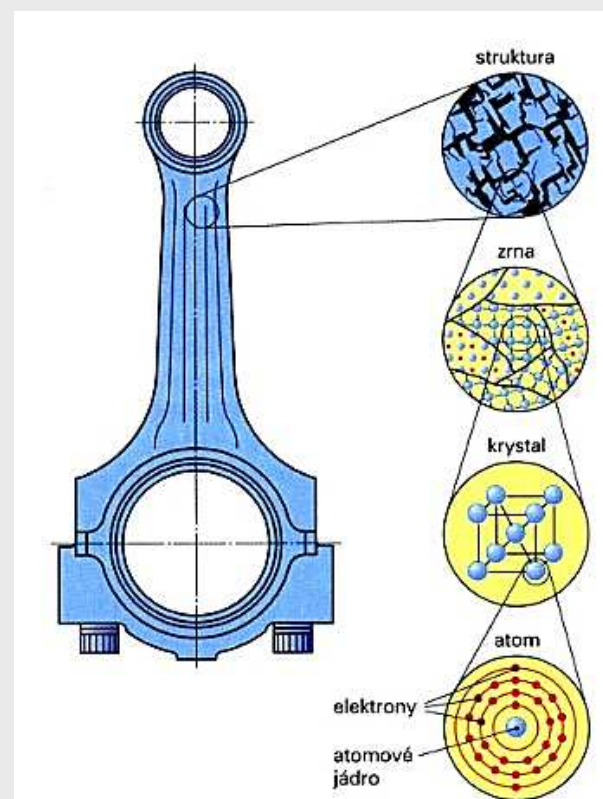
1. Oceli a litiny



1. Struktura železných kovů

- Železné kovy jsou nejrozšířenějšími materiály k výrobě dřevařských strojů.
- Ocel = slitina Fe + Fe_3C + doprovodné + legující prvky.
- Litina se získává ze surového železa + litinový a ocelový šrot.
- Podle obsahu C se dělí na
oceli (C do 2,11%)
litiny (C nad 2,11%)

Prostorově
středěná
krystalická
mřížka železa



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

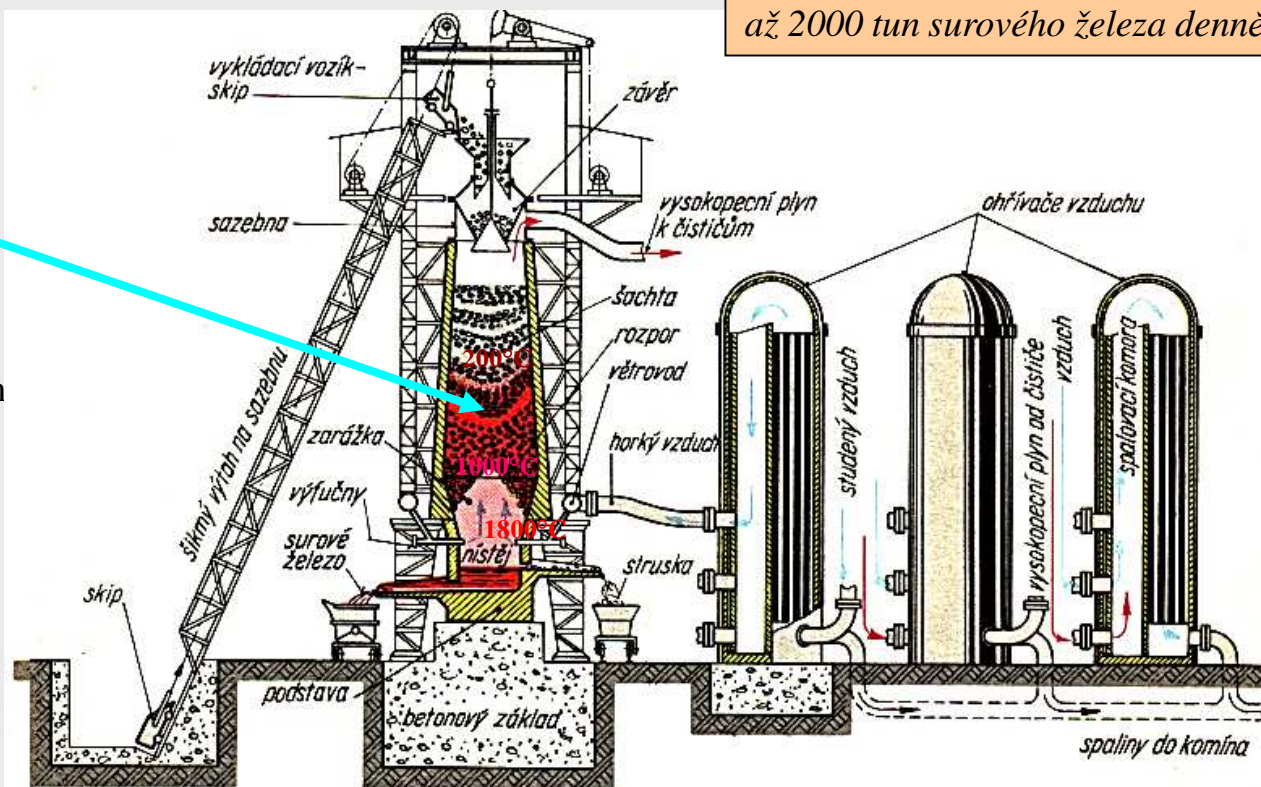
Výroba surového železa

Železná ruda

(magnetovec 70%Fe
nebo krevel 65%Fe nebo
hnědel až 50 % Fe)

+ koks + vápenec

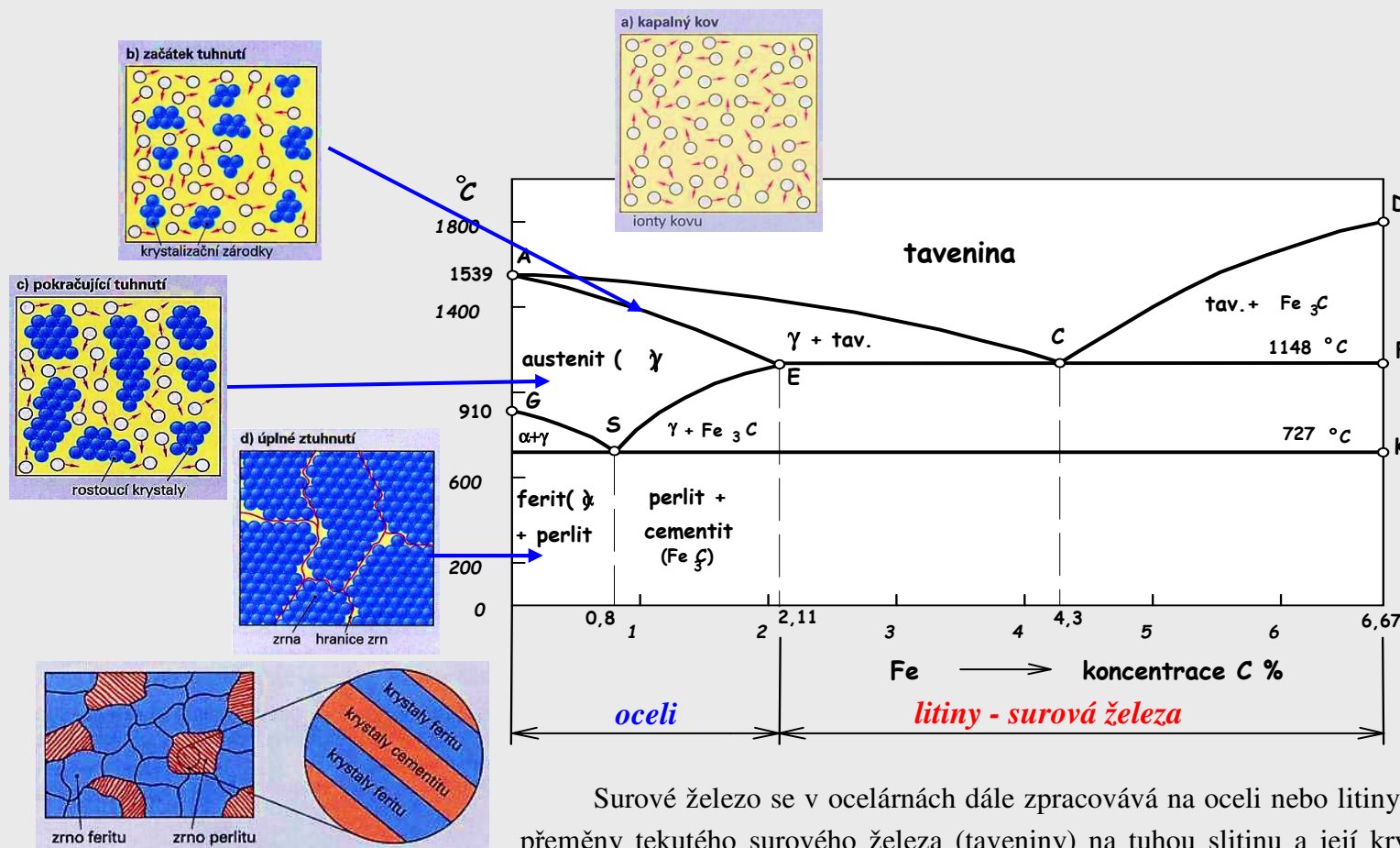
- Výroba všech slitin železa začíná tavením železné rudy ve vysoké peci.
- Při tavení se využívá **redukčního principu výroby** = odnímání kyslíku železným rudám za vysokých teplot.



Vysoká pec šachtová vysoká 25-40 m
pracuje nepřetržitě min. 10 let, produkuje
až 2000 tun surového železa denně

Na 1t surového železa se spotřebuje:
2 až 2,4 t železné rudy, 1 až 1,4 t koksu,
700 až 800 kg struskotvorných přísad
(vápence), 4000 m³ vzduchu

Přeměna tekutého surového železa na tuhou slitinu



Surové železo se v ocelárnách dále zpracovává na oceli nebo litiny. Průběh přeměny tekutého surového železa (taveniny) na tuhou slitinu a její krystalické struktury jsou orientačně zobrazeny ve zjednodušeném rovnovážném diagramu železo-uhlík (Fe-C). V technickém železe se uhlík vyskytuje jako grafit nebo cementit tj. karbid železa Fe_3C .

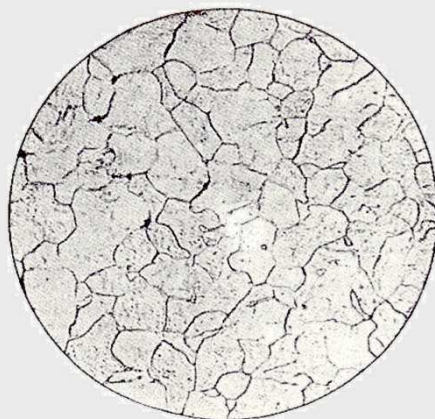


Strukturní složky oceli

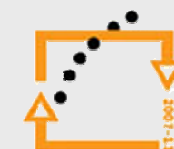
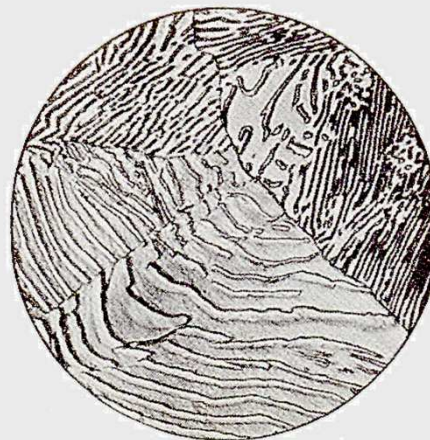
Austenit nazvaný podle anglického metalurga Austena je tuhý roztok uhlíku v železe γ (nemagnetické železo při teplotě 900 – 1400 °C).



Ferit (podle latinského názvu železo “ferum”) je tvořen čistým magnetickým železem α . V oceli tvoří světlé krystaly, které obsahují nejvýš 0,035%C. Za studena jsou měkké a tvárné – proto ocel, která má více těchto krystalů má tyto vlastnosti.



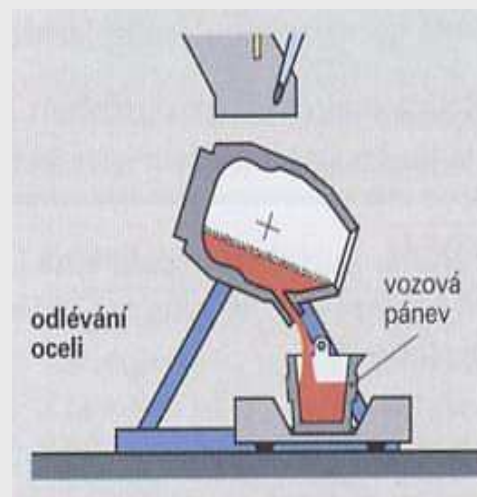
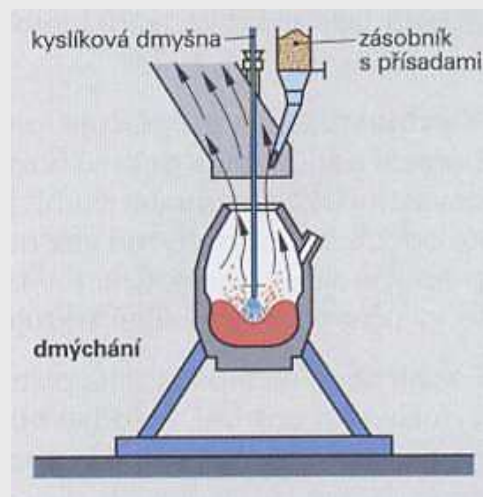
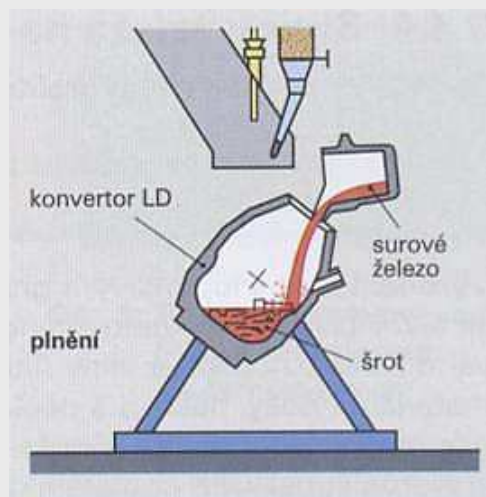
Perlit – jeho krystaly se lesknou jako perleť. Je to směs jemných krystalů feritu a cementitu, vzniká rozpadem austenitu obsahujícího 0,8%C. Rozeznáván je lamelární (viz. obrázek) nebo globulární perlit (ocel s gp je měkkší a tvárnější).



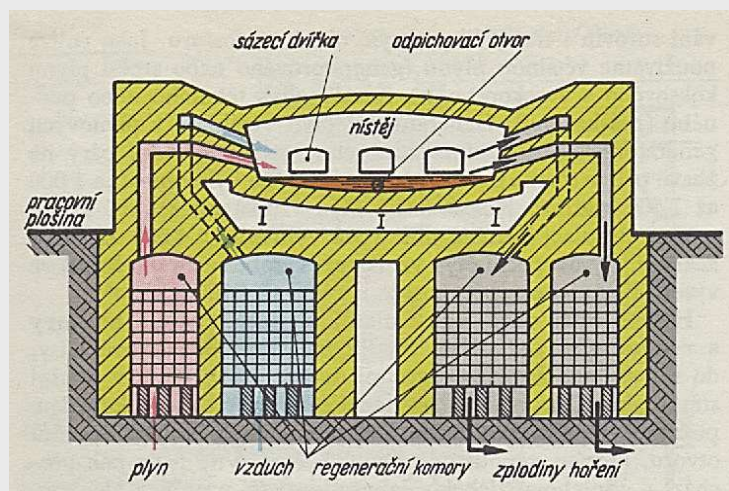
Výroba a zpracování oceli

- Surové železo vyrobené ve vysoké peci je vlivem značného obsahu uhlíku (až 4,5 %) i ostatních prvků (Si, Mn, P a S) málo pevné, křehké a nedá se tvářet. Snížením obsahu C pod 2 % se změní surové železo v železo kujné – ocel.
- Ocel běžné jakosti se vyrábí zkujňováním v konvertorech = spalováním uhlíku a dalších prvků (P, S, ...) v konvertorech, elektrických obloukových pecích nebo v Siemens-Martinských pecích. Při zkujňování se do surového Fe přidává železný šrot + legující prvky (přísady) Cr, Mn, W ... zlepšující vlastnosti oceli.

Konvertorový pochod dmýcháním kyslíku shora



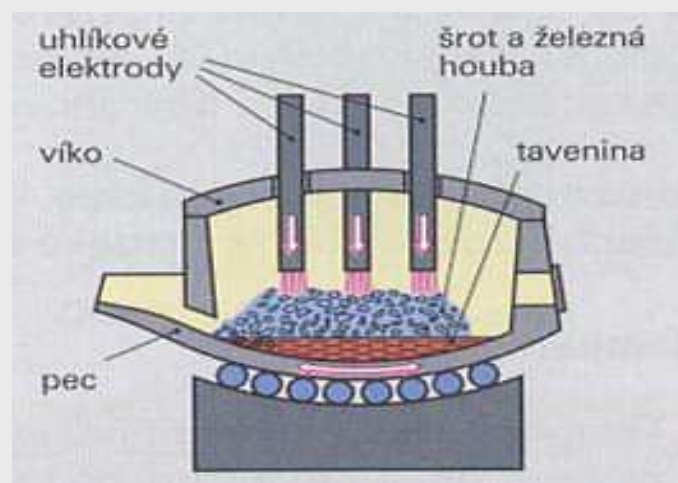
Siemens-Martinská pec



Vhodnými přísadami + železný šrot lze vyrobit z jedné tavby několik druhů ocelí

Ocel se vypouští do licích pánví a poté se odlévá do kovových forem - kokil v nichž tuhne na ingoty + další zpracování ve válcovnách na různé hutní nebo do různých forem, které mají tvar budoucího výrobku.

Elektrická oblouková pec

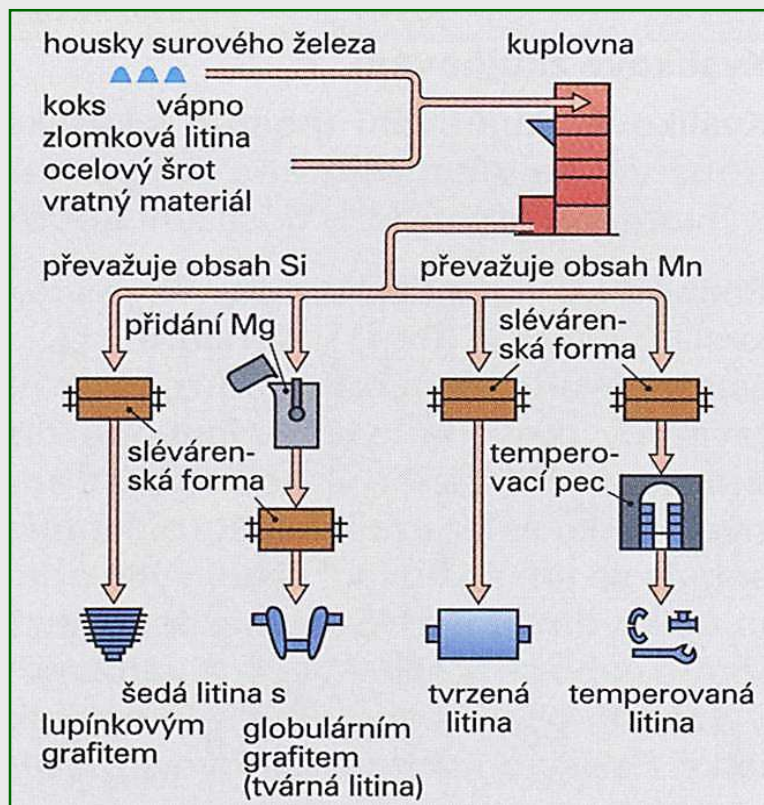


Ušlechtilé nástrojové oceli se vyrábí v el. obloukových pecích.

Mezi elektrodami a vsázkou hoří elektrický oblouk (teplota 3500°C). Vysoké teploty tavení umožňují přidávat těžko tavitelné prvky wolfram, molybden a tantal nutné k výrobě ušlechtilých nástrojových ocelí.



Výroba litiny



- **Litiny** se získávají přetavováním surového železa, litinového odpadu a přísad v kuplovnách (šachtových pecích vytápěných koksem).
- **Šedá litina s lupínkovým grafitem (C asi 3%)** - šedé surové železo + stará zlomková litina + ocelový šrot, pevnost v tahu 120 MPa. Grafitové lupínky vytvářejí vrubový účinek a tím se podstatně snižuje pevnost litiny. Má schopnost tlumit kmitání a díky vysokému obsahu grafitu má poměrně dobré kluzné vlastnosti (použití na rámy strojů, bloky spalovacích motorů, kotouče brzd apod).

- **Temperovaná litina s bílým lomem** se vyrábí žháním litiny s vyšším obsahem manganu. Odlitky z temperované litiny mají podobné vlastnosti přibližující se oceli a používá se například k výrobě fitinek (tvarovek) pro spojování trubek, brzdové bubny, převodové skříně náboje kol apod.

Rozdělení ocelí

Podle chemického složení :

Oceli uhlíkové - mají předepsané hodnoty C, P, S, Mn, Si kromě stavební oceli.

Oceli slitinové - jsou slitiny Fe a C + legující prvky (Cr, Ni, V, Mo, W), vlastnosti těchto ocelí jsou dány druhem a množstvím legujících prvků (přísad=lugur), ocel se pak nazývá podle prvku, kterého obsahují nejvíce.

Podle použití :

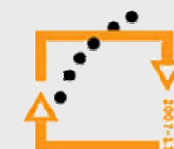
Oceli konstrukční - jsou všechny oceli používané při konstrukci strojů
(cca 0,8% C)

Oceli nástrojové - na výrobu nástrojů (0,8%-2% C)

Podle způsobu výroby:

Oceli k tváření - ingotové

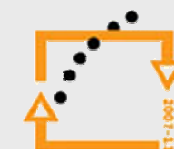
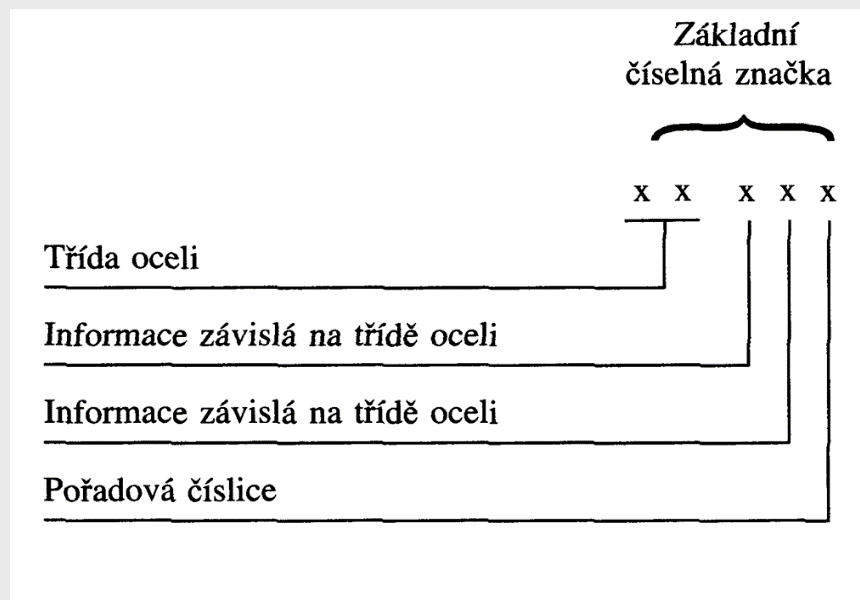
Na odlitky



Značení ocelí

System označování ocelí je uveden v normách ČSN EN 10027-1/2. Pro styk se zahraničím je nutné důsledně používat evropské značení. V tuzemsku je povoleno používat označení podle původní ČSN 420002.

Číselné označování podle ČSN 42 0002 se skládá ze základní pětimístné číselné značky.



Třída oceli	Oceli podle		Charakteristika ocelí
	použití	stupně legování	
10	kon- strukční	nelegované	předepsané hodnoty mechanických vlastností, chemické složení není předepsáno
11			předepsané hodnoty mechanických vlastností a obsah C, P, S popř. (P + S) a dalších prvků
12			předepsaný obsah C, Mn, Si, P, popř. (P + S) i dalších prvků
13		nízkolegované	legovací prvky: Mn, Si, Mn – Si, Mn – V
14			legovací prvky: Cr, Cr – Al, Cr – Mn, Cr – Si, Cr – Mn – Si
15			legovací prvky: Mo, Mn – Mo, Cr – Mo, Cr – V, Cr – W, Mn – Cr – V, Cr – Mo – V, Cr – Si – Mo – V, Cr – Mo – V – W
16		středně legované	legovací prvky: Ni, Cr – Ni, Ni – V, Cr – Ni – Mn, Cr – Ni – V, Cr – Ni – W, Cr – Ni – Mo, Cr – V – W, Cr – Ni – V – W
17	Korozivzdorné, žárovevné oceli, nemagnetické oceli	středně legované a vysokolegované	legovací prvky: Cr, Ni, Cr – Ni, Cr – Mo, Cr – V, Cr – Al, Cr – Ni – Mo, Cr – Ni – Ti, Cr – Mo – V, Mn – Cr – Ni, Mn – Cr – Ti, Mn – Cr – V, Cr – Ni – Mo – V, Cr – Ni – Mo – W, Cr – Ni – Mo – Ti, Cr – Ni – V – W, Cr – Ni – W – Ti atd.
19	nástro- jové	nelegované	předepsaný obsah C, Mn, Si, P, S
		legované (nízko, středně, vysoko)	legovací prvky: Cr, V, Cr – Ni, Cr – Mo, Cr – Si, Cr – V, Cr – W, Cr – Al, Cr – Ni – W, Cr – Si – V, Cr – Mo – V, Cr – V – W, Cr – Ni – Mo – V, Cr – V – W – Co, Cr – Ni – Mo – W, Cr – Ni – V – W atd.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Třída oceli „11“

Nejběžnější konstrukční uhlíková ocel.

Není určena k tepelnému zpracování.

Zpracovává se ve stavu dodaném z hutního závodu a válcoven (různé profily).

Použití : Na málo namáhané části strojů a běžné profily.

Příklad značení:

11 353

35 - přibližná mez pevnosti v tahu x 10 - tedy 350 MPa

3 - pořadová číslice – v tomto případě označuje zaručenou svařitelnost



Třída oceli „12“

Konstrukční nelegovaná ušlechtilá ocel. Je nelegovaná, ale má přesně dodrženo chemické složení. Především přesný obsah **C** umožňuje její jakostní tepelné zušlechtění.

Z válcoven se dodává v různých profilech.

Použití : Na hřídele, táhla, pístnice, šrouby, čepy, ozubená a řetězová kola, pružiny, atd.

Příklad značení:

12 050

0 - součet středního obsahu legur (tyto oceli legury neobsahují)

5 - střední obsah C v deset. % - tedy 0,5 %

0 - pořadová číslice - je vždy nula



Třídy ocelí „13 až 16“

Konstrukční nízko až středně legované oceli.

Z válcoven se dodávají v různých profilech.

Použití : Pro velmi namáhané strojní součásti
(ojnice, klikové hřídele, ozubená kola, torzní tyče a pružiny,
elementy valivých ložisek atd.)

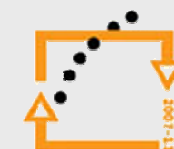
Příklad značení (pro tyto oceli stejné):

14 260 Křemíko-chromová ocel na pružiny

2 - součet středního obsahu legur v % - tedy 2 %

6 - střední obsah C v deset. % - tedy 0,6 %

0 - pořadová číslice - je obvykle nula



Třída oceli „17“

Speciální, obvykle vysokolegované oceli. Obsah legujících kovů ve slitině je přes 10%. U některých obsah legur převyšuje obsah železa.

Použití : Nerez oceli (potravinářské a lékařské nástroje - 17 029 chromová ocel).

Žáropevné oceli 17 251 chrom-niklová ocel (kotlové trubky, lopatky parních turbín, ventily spalovacích motorů).

Antimagnetické oceli

Příklad značení:

17 460 Ocel korozivzdorná nemagnetická (přístroje, přístroje)

4 - skupina hlavní legury - tedy „0“-chromová ocel, „4“ - manganová ocel, „5“ – niklová ocel.

6 - Stupeň bohatosti přísad

0 - pořadová číslice - obvykle nula



Třída oceli „19“

Všechny oceli k výrobě obráběcích a tvářecích nástrojů. Jsou uhlíkové nebo legované a vyznačují se vysokými hodnotami pevnosti a tvrdosti, vysokou houževnatostí, řezivostí, odolností proti otěru.

Použití : **Uhlíkové oceli** (ruční nástroje).
 Legované slitinové oceli (strojní obrábění).
 Rychlořezné oceli (velmi namáhané nástroje)

Příklad značení:

19 824 Wolfram vanadová rychlořezná ocel (HS)

8 - typ legování - tedy „0,1,2“- nelegované oceli, „3-9“ - legované,
 „8“ - rychlořezné oceli.

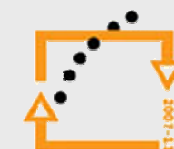
2 - uhlíkové společně s 3-tí číslicí charakterizuje obsah uhlíku,
 legované - pořadové číslo

4 - pořadová číslice


































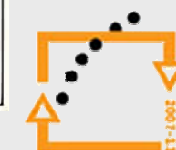
Význam doplňkových čísel

První doplňková číslice ¹⁾	Stav oceli (druh tepelného zpracování)	Druhá doplňková číslice ²⁾	Stupeň přetváření		
			pásky válcované zastudena	plechy válcované	
				zatepla	zastudena
1 × × × × 0	tepelně nezpracovaný	1 × × × × 0	dále nepřeválcováno	dále nepřeválcováno	
1 × × × × 1	normalizačně žháný	1 × × × × 1	lehce převálcováno	lehce převálcováno	
1 × × × × 2	žháný (s uvedením způsobu žhání)	1 × × × × 2	1/4 tvrdý		
1 × × × × 3	žháný na měkko	1 × × × × 3	1/2 tvrdý		
1 × × × × 4	kalený nebo kalený a popouštěný při nízkých teplotách, po rozpouštěcím žhání (jen u austenitických ocelí)	1 × × × × 4	3/4 tvrdý		
		1 × × × × 5	4/4 tvrdý		
		1 × × × × 6	5/4 tvrdý		
1 × × × × 5	normalizačně žháný a popouštěný	1 × × × × 7	netvoří se při něm čtyřlístky (pásky jsou zpracovány se zřetelem na omezení anizotropie mechanických vlastností materiálů — omezení tvorby cípů); mechanické vlastnosti jako u měkce žháného materiálu		
1 × × × × 6	zušlechťený na dolní pevnost obvyklou u příslušné oceli	1 × × × × 8	zpracováno podle zvláštního předpisu		
1 × × × × 7	zušlechťený na střední pevnost obvyklou u příslušné oceli				
1 × × × × 8	zušlechťený na horní tvrdost obvyklou u příslušné oceli				
1 × × × × 9	stavy, které nelze označit číslicemi 0 až 8	1 × × × × 9	zpracováno podle dohodnutého předpisu		



Barevné značení válcovaných polotovaru

Jakost oceli	Barevné odstíny		Jakost oceli	Barevné odstíny	
I 0004	oranžová		I 1600	zelená : modrá	
I 1109	stříbrná : černá		I 1700	fialová : růžová	
I 1110	zlatá : modrá		I 2010	zelená : bílá : červená	
I 1300	světlehnědá : bílá		I 2021	zelená : bílá : hnědá	
I 1301	hnědá : červená		I 2022	zelená : bílá : fialová	
I 1320	světlehnědá : zelená		I 2041	zelená : žlutá : fialová	
I 1321	hnědá : zelená		I 2050	zelená : červená : černá	
I 1330	světlehnědá : červená		I 2060	zelená : červená : hnědá	
I 1331	hnědá : růžová		I 2071	zelená : modrá : oranžová	
I 1343	černá : růžová		I 2090	zelená : černá : oranžová	
I 1353	žlutá : žlutá		I 3180	fialová : žlutá : zelená	
I 1373	černá : bílá		I 7041	červená : bílá : fialová	
I 1375	černá : modrá		I 7241	červená : zelená : fialová	
I 1378	černá : fialová		I 7246	červená : modrá : oranžová	
I 1500	černá : žlutá		I 7248	červená : hnědá : černá	
I 1523	černá : zelená				



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Označování ocelí podle EU normy ČSN EN 10027-1

Označení oceli se sestává z písmena a čísel. Příklad:

Základní symbol $\begin{array}{c} \perp \\ S \end{array}$ $\begin{array}{c} \perp \\ x \ x \ x \end{array}$ číslo (mez kluzu)



Písmena a čísla vyjadřují základní charakteristické znaky oceli, třídění:

- a) Značky vytvořené na základě použití a mechanických nebo fyzikálních vlastností:
- S — oceli pro ocelové konstrukce pro všeobecné použití,
 - P — oceli pro tlakové nádoby,
 - L — oceli na potrubí,
 - E — oceli na strojní součásti,
 - po písmenu (S, P, L nebo E) následuje číslo vyjadřující minimální mez kluzu v $N\ mm^{-2}$ pro nejmenší tloušťku výrobku
 - B — oceli pro výztuž do betonu,
 - následující číslo pak vyjadřuje mez kluzu $N\ mm^{-2}$
 - R — oceli na kolejnice,
 - následující číslo odpovídá min. pevnosti v tahu $N\ mm^{-2}$
 - T — tenké a pocínované plechy a pásy; pochromované plechy a pásy,
 - M — plechy a pásy pro elektrotechniku.

Poznámka: Jedná-li se o oceli na odlitky, přidá se před označení písmeno G.

b) Značky vytvořené na základě chemického složení oceli

- nelegované oceli (s výjimkou automatových) se středním obsahem manganu pod 1 %:
- C + čísla odpovídající stonásobku středního obsahu uhlíku
- nelegované oceli se středním obsahem manganu $\geq 1\ %$, nelegované automatové oceli a legované oceli (kromě rychlořezných) s obsahy jednotlivých legujících prvků pod 5 %:
- číslo odpovídající stonásobku středního obsahu uhlíku + chemické symboly legujících prvků + čísla vyjadřující obsah charakteristických legujících prvků.
- legované oceli (kromě rychlořezných) s obsahem min. jednoho legujícího prvku $\geq 5\ %$:
- X + číslo odpovídající stonásobku střední hodnoty rozsahu předepsaného pro obsah uhlíku + chemické symboly legujících prvků charakterizujících ocel + čísla udávající obsahy charakteristických legujících prvků.
- rychlořezné oceli
- HS + čísla udávající obsahy prvků v následujícím pořadí wolfram (W), molybden (Mo), vanad (V), kobalt (Co).

2. Neželezné kovy a jejich slitiny



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

2. Neželezné kovy a jejich slitiny

Neželezné technické kovy se rozdělují podle různých hledisek - často podle teploty tání a měrné hmotnosti:

Podle teploty tavení:

- A) kovy s nízkou teplotou tání (Sn, Pb, Zn, Al, Cd)
- B) kovy se střední teplotou tání (Cu, Ni, Co, Mn)
- C) kovy s vysokou teplotou tání (Ti, Va, Mo, W, Ta)

Podle hustoty:

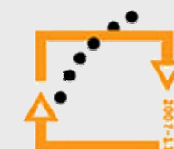
- A) lehké kovy (Al, Mg, Ti a jejich slitiny)
- B) těžké kovy (Cu, Sn, Pb, Zn, Cd)

Dále jsou rozeznávány ušlechtilé (drahé) kovy (Au, Ag, Pt, Rh, Pd)
a radioaktivní kovy (U, Ra, Po, Rh).



HLINÍK - Al (lehký kov)

- Nejrozšířenější neželezný kov stříbřité až bílé barvy, je měkký a velmi tvárný, má velmi dobrou tepelnou a elektrickou vodivost, je odolný vůči atmosférické korozi.
- $\rho = 2700 \text{ kg.m}^{-3}$, $R_m \cong 50 \text{ MPa}$, $T_t = 660 \text{ °C}$
- Nachází široké uplatnění v elektrotechnice a ve strojírenství – zejména jeho slitiny Al+Cu+Mg (DURAL), Al+Si+Mn (SILUMIN) pro různé odlitky nebo Al+Cu+Ni pro písty spalovacích motorů.
- Není však odolný proti roztokům a silným zásadám.
- Hliník vytváří s dusíkem tzv. nitridy, které mají vysokou tvrdost.



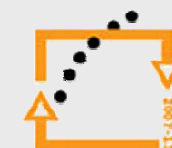
HOŘČÍK - Mg (lehký kov)

- Poměrně malá pevnost, křehký, není odolný vůči chemickým vlivům, používá se hlavně na slitiny - samostatně není vhodný konstrukční materiál.
- Patří k nejlehčím kovům $\rho = 1740 \text{ kg.m}^{-3}$, $R_m \cong 280 \text{ MPa}$.
- Jeho slitina Mg+Al+Zn (ELEKTRON) se používá na přesné odlitky v leteckém a automobilovém průmyslu, slitina Mg+Li+Al má vynikající tažnost a používá se např. na výrobu fólií o tl. až 0,04 mm.



MĚĎ - Cu (těžký kov)

- Je kov červenooranžové barvy, po stříbru s nejlepší elektrickou a tepelnou vodivostí, je odolný vůči atmosférické korozi.
- $\rho = 8940 \text{ kg.m}^{-3}$, $R_m \cong 220 \text{ MPa}$, $T_t = 1083 \text{ °C}$
- Jeho slitina Cu+Zn(až42%) (MOSAZ) se používá na výrobu armatur a na polotovary ve formě tyčí, plechů apod.,
slitina Cu+Sn(až 20%) (CÍNOVÝ BRONZ) na odlitky,
Cu+Al (HLINÍKOVÝ BRONZ) – šneková kola a armatury,
Cu+Pb (OLOVĚNÝ BRONZ) na výrobu kluzných ložisek.



3. Nástrojové materiály



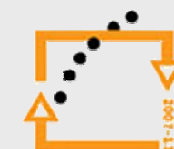
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Úvod

Nástroje musí často plnit zcela protichůdné požadavky podle prováděných technologických operací a podle obrábění rozdílných materiálů.

Materiály na nástroje jsou voleny:

- **podle druhu obráběného materiálu** (volba je specifická pro měkká, tvrdá a exotická dřeva, spárovky, překližky, dřevoštěpkové desky, dřevotřísky, dřevovláknité a povrchově upravené materiály „lamino“, sklolamináty)
- **podle prováděných technologických operací** (hoblování, řezání ve spáře, frézování podélné a příčné, čepování, profilování, lineární a tvarové formátování)

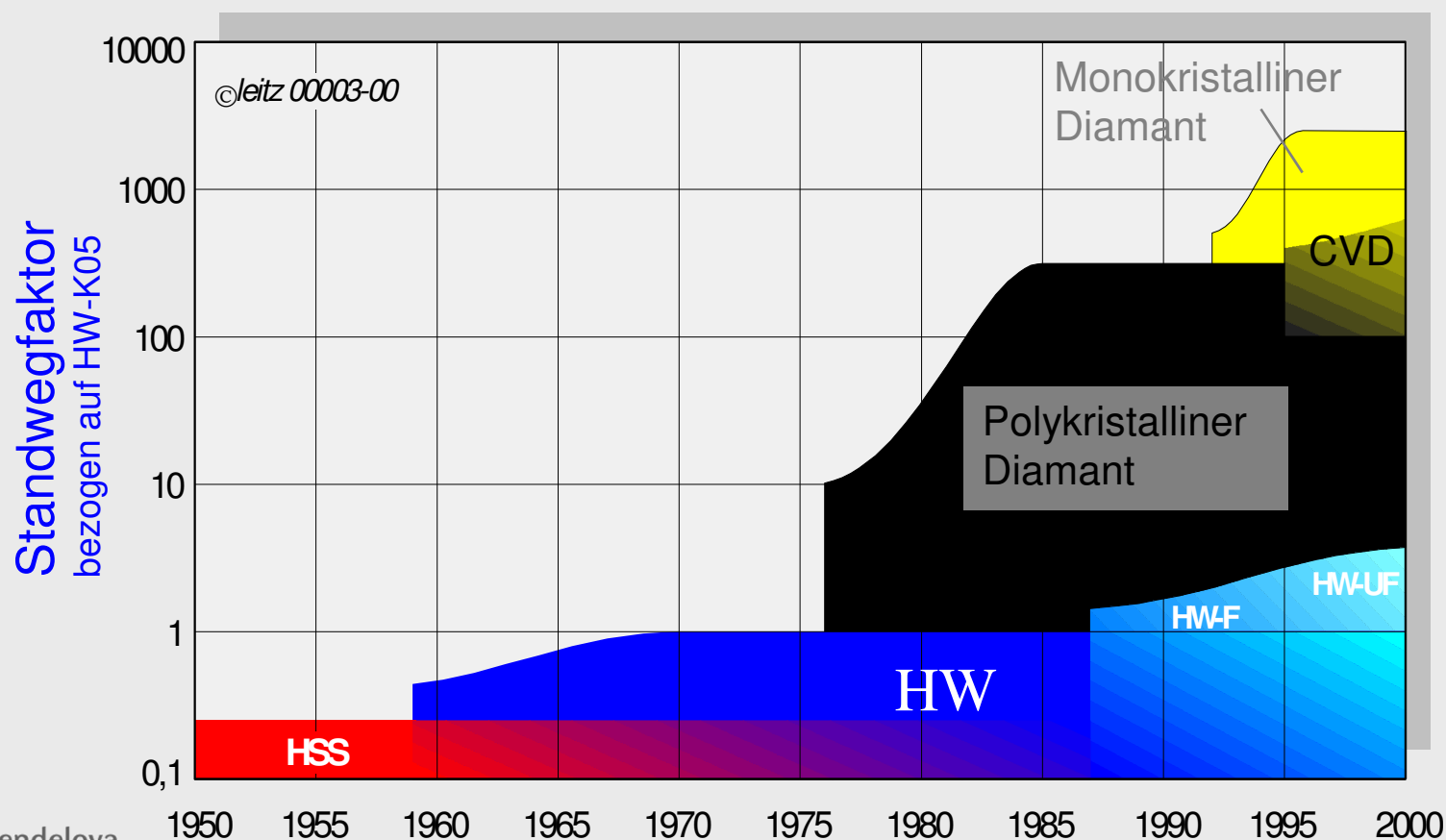


Nejpoužívanější nástrojové materiály:

- *Nástrojové oceli* (HSS)
- *Slinuté karbidy* (SK nebo HM)
- *Stelity* (ST)
- *Super tvrdé materiály*
(polykrystalické diamanty a super tvrdé vrstvy)

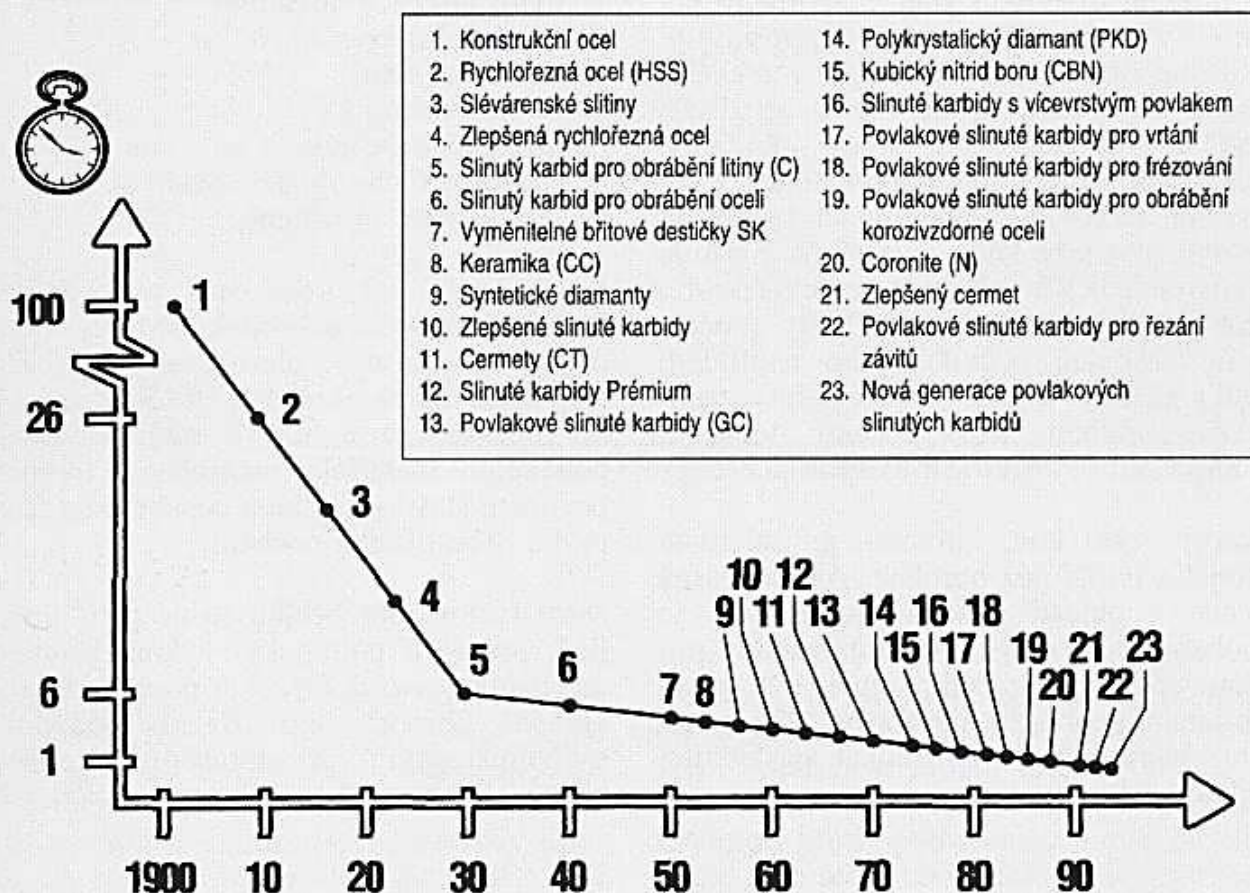


Vývoj používaných materiálů podle firmy Leitz



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Produktivita řezných materiálů při obrábění



3.1 Nástrojové oceli

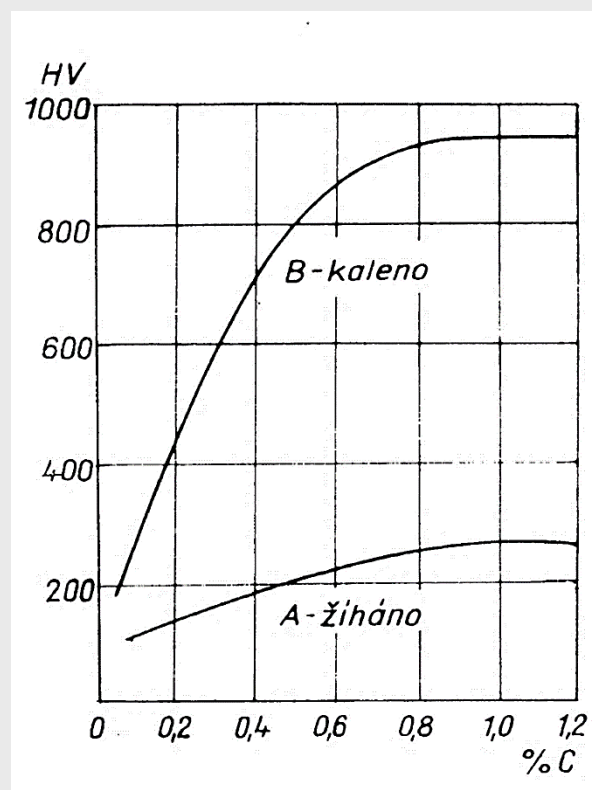
- Uhlíkové nástrojové oceli
- Legované nástrojové oceli
- Rychlořezné oceli - HSS



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Nástrojové uhlíkové oceli

- ❖ pro méně namáhané nástroje - ruční obrábění, např. ocel 19 083, např. nebozezy, dláta, sekery
- ❖ jejich vlastnosti podstatně ovlivňuje obsah C
- ❖ s rostoucím obsahem C se zvyšuje tvrdost
- ❖ C = 0,5% pro měkká dřeva
- ❖ C = 1% (19 191) 1. jakost - i pro méně namáhané nástroje u strojního obrábění, např. sukovníky, zátkovníky



Legované nástrojové oceli

- ❖ Použití pro střední až vyšší výkony - strojní obrábění.
- ❖ Legující prvky - **Cr**, **W**, **V**, **Mo** (karbidotvorné prvky), **Co** (pojivo - tvoří se železem tuhý roztok tím zvyšuje pevnost feritu), **Mn** (působí jako deoxidační prostředek, zlepšuje schopnost ocelí k tváření za tepla a jejich prokalitelnost), **Ni** (se rozpouští ve feritu a podstatně zlepšuje houževnatost oceli, zároveň zlepšuje prokalitelnost a snižuje velikost deformací při kalení).
- ❖ Použití na frézy, sukovníky, zátkovníky, dlabací vrtáky a jako nože (hoblovací, profilové nože a blankety k profilování do frézovacích hlav.

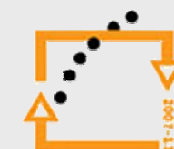


Rychlořezné oceli

- Hlavními legujícími prvky u těchto ocelí jsou W, V, Mo, Cr
- Používají se pro vysoce namáhané a výkonné nástroje

Charakteristické vlastnosti:

- vysoká odolnost proti popuštění,
- houževnatost, tvrdost za tepla i za studena, velká odolnost proti opotřebení,
- na mechanické vlastnosti má podstatný vliv tepelné zpracování - kalení v oleji a teplých lázních



Nejpoužívanější řezné oceli

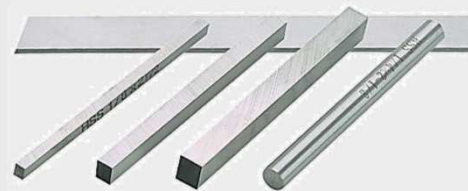
Označení	Typ	C %	Mn	Cr	Mo	V	W	Co	Ni	Poznámky
19419 DIN 1.2235 CrV	SP	0,70	0,30	0,45		0,10				Listy rámových pil
19452 SiCr nástrojová	HL	0,55	0,60	0,70					0,35	
19436 DIN 1.2080 X210Cr12 Poldi 2002 „nástrojová“	HL	1,80	0,20	11,0					0,50	Si 1,5, nože do hoblovacích hlav, vrtáky, čepovací frézy
19824 DIN 1.3355, EU S 18-0-1, ISO 18-0-1	HS	0,70	0,45	3,80	0,50	1,00	18,0			Drážkovací, úhlové kotoučové frézy
19830 DIN 1.3343	HS	0,80	0,45	3,80	4,50	1,50	5,50			Jedna z nejstarších druhů HS (více jak 50 let), velice žádaná na nože frézovacích hlav, poměrně drahá (18%W)
										Jedna z nejkvalitnějších HS, vynikající houževnatost (5%Mo) a odolnost proti opotřebení, na vysoce namáhané frézy (výměnné nože, nebo pájené destičky) – pozor náchylná na mikrotrhliny a nutno úzkostlivě dodržet správný postup tepelného zpracování



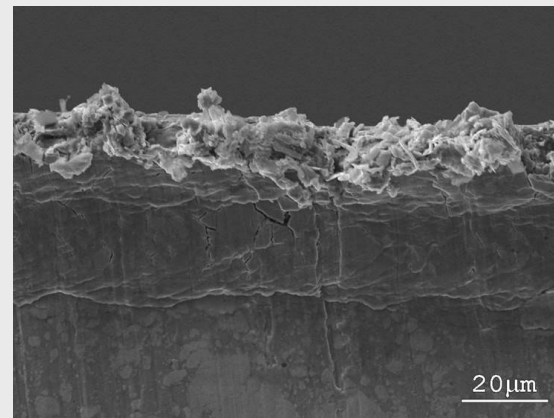
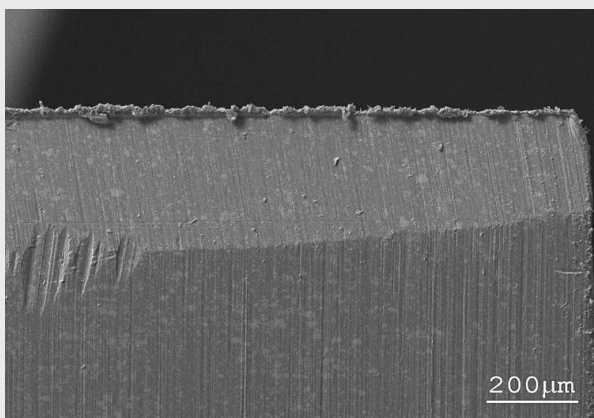
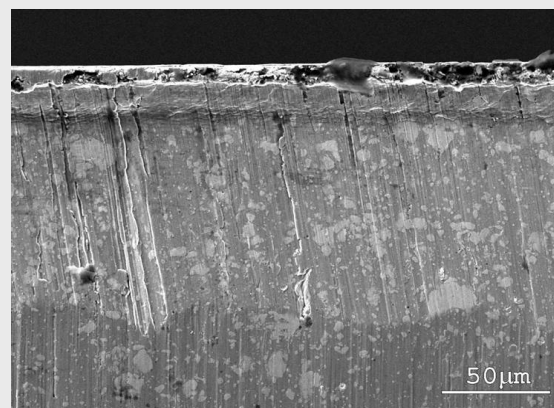
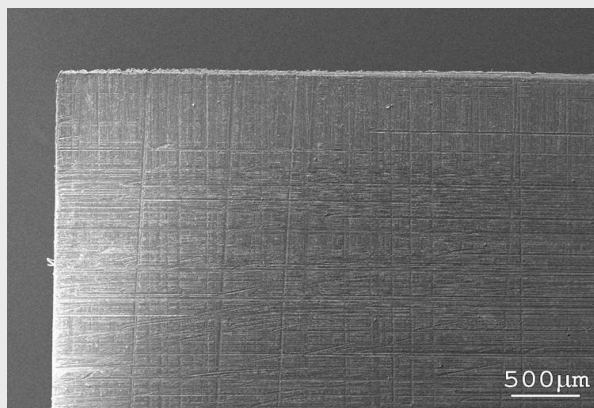
Příklad použití HSS oceli



- Wolfram-vanadová ocel 19 824 (18 %W a 1%V) (označení dle EN ISO 513 – HSS 18) - má vyšší houževnatost a dobrou odolnost proti opotřebení - použití např. pro nože frézovacích hlav - wolfram a vanad vytvářejí s uhlíkem ve struktuře oceli velmi tvrdé karbidy stálé až do teplot 600 až 700° C. Současně zvyšují prokalitelnost oceli.



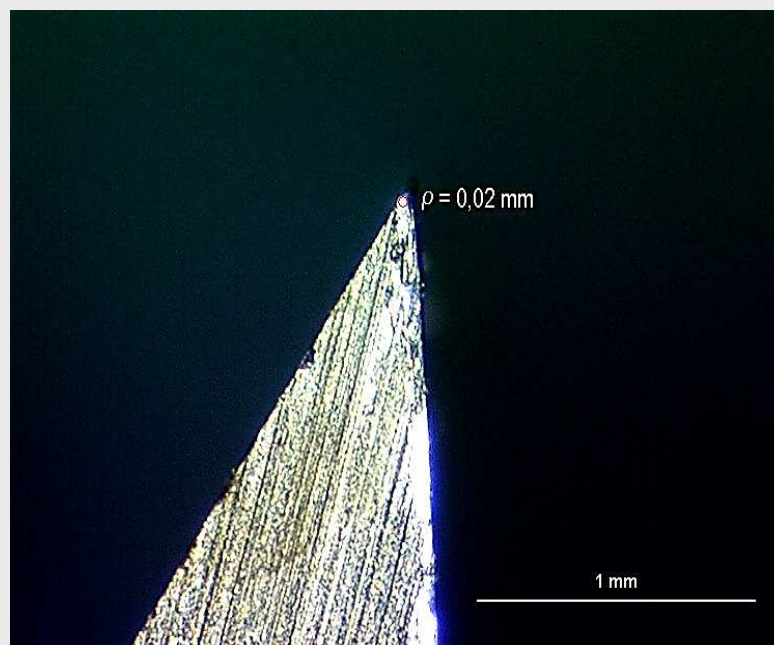
Břit frézovacího nože z HSS 19824 pod elektronovým mikroskopem



Shrnutí

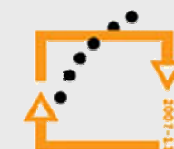
Nástrojové a rychlořezné oceli vynikají houževnatostí při dobré tvrdosti a relativní odolností proti otupení u rostlého dřeva.

- Umožňují dobré vyostření břitu - poloměr zaoblení břitu se běžně pohybuje v mezích $\rho = 8$ až $20 \mu\text{m}$
- Nejsou dostatečně odolné proti opotřebení abrazivními materiály, což jsou nejen aglomeráty, ale také exotické dřeviny či topol.



3.2 Slinuté karbidy (SK)

- ▶ Slinuté karbidy jsou v současné době velmi rozšířeným nástrojovým materiálem zejména pro obrábění tvrdých dřevin a aglomerovaných materiálů (první SK WC-Co v letech 1921 až 1923 v oblasti obrábění kovů).
- ▶ Dřevoobráběcí nástroje jsou opatřovány břitovými destičkami, které jsou k tělesu nástroje (zubu) připájeny nebo jsou výměnné a k nástroji upevněné pomocí speciálních úchytů.
- ▶ Vyznačují se vysokým výkonem a trvanlivostí ostří - převyšující několikanásobně trvanlivost nástrojových ocelí.



Výroba a chemické složení SK

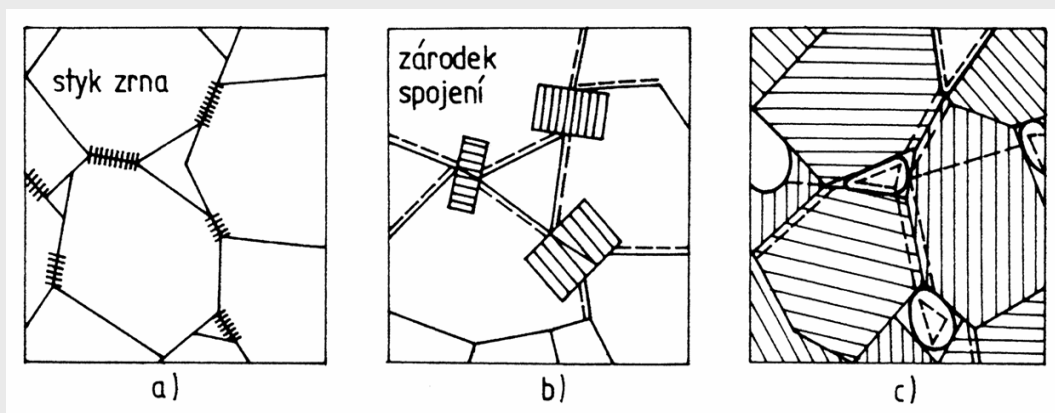
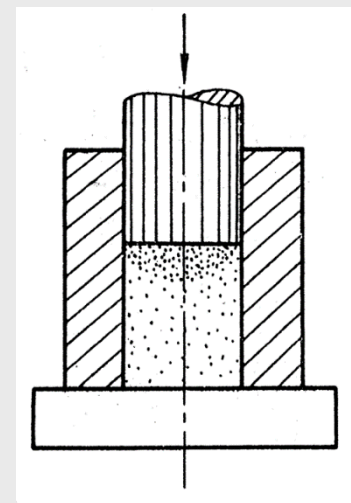
Slinuté karbidy patří do skupiny slinutých kovů, které jsou zařazovány do třídy 18, vyráběny jsou *práškovou metalurgií*.

Zrnitost 0,2 až 10
 μm



Výroba

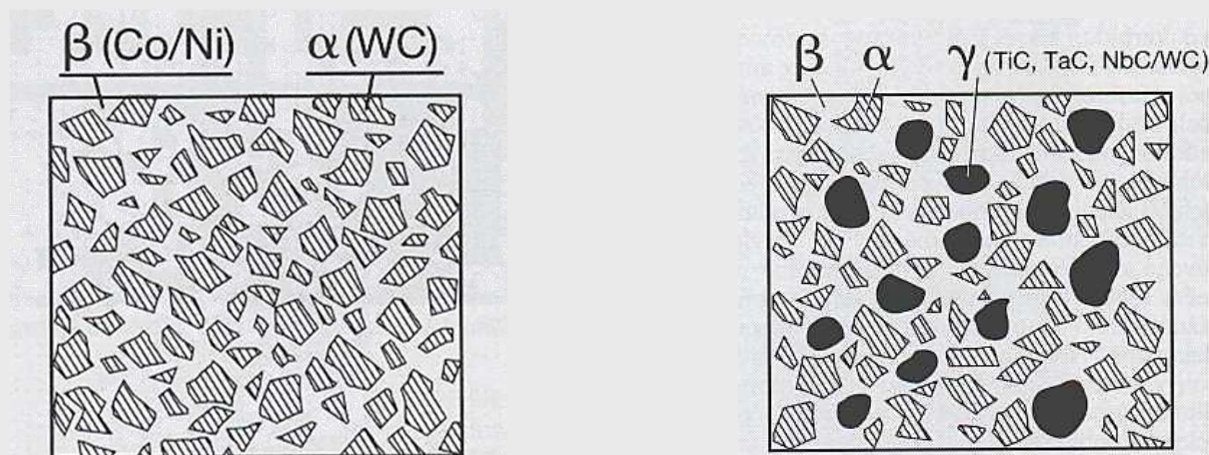
- ▶ SK nejsou slitiny, nýbrž pevně spojená směs prášků tvrdých materiálů (karbidů wolframu WC, titanu TiC, tantalu TaC a pojiva kobaltu Co - čím je ho více tím mají větší houževnatost)
- ▶ Lisování pod tlakem 70 až 420 MPa a při teplotě 600 °C - zpevní se tak, že je můžeme řezat a brousit



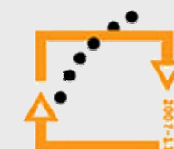
- Spékání a slinování karbidových zrn s nataveným kobaltem (1400 až 1600°C)



Chemické složení a vlastnosti



Druh SK ČSN 22 8001	Chemické složení (%)				Pevnost v ohybu (N/mm ²)	Měrná hmotnost (g/cm ³)	Tvrdość HV ₃₀	Kód ISO 513
	WC	Co	TaC	TiC				
H 05	93	5	2	-	1700	14,9	1650	K05 – K10
H10	91,5	7	1,5	-	1850	14,7	1600	K10- K20
H30	90,4	9	0,6	-	2000	14,35	1450	K20 – K30



Klasifikace a použití SK

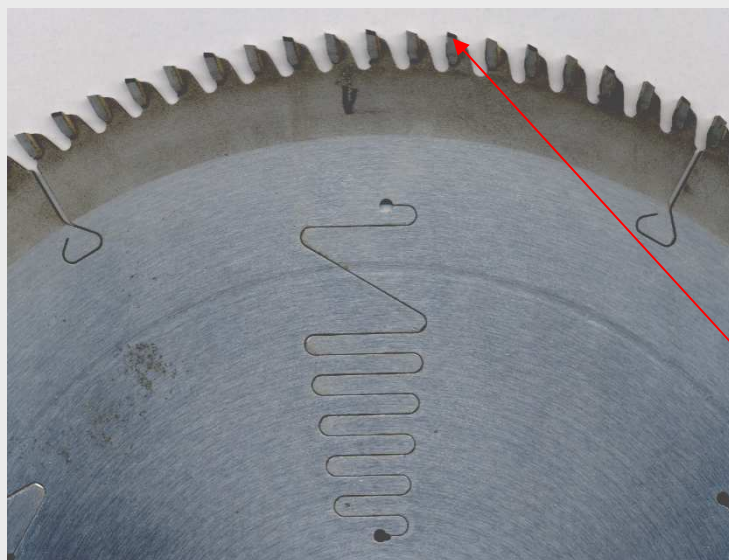
ISO	Zrno μm	Pojivo Co %	Tvrlost HV 10	Měkké dřevo	Tvrdé dřevo	DTD	MDF	Poznámka
K 01	0,5 – 0,7	3	2150	--	o	+++	+++	T03SMG (Tigra)
K10	0,8 – 1,3	4	1780	+	+	-	+	HC 05 (Ceratzit)
K20	0,7 – 1,0	10	1650	++	++	o	o	T10MG (Tigra)
K30	1,4 – 2,5	8	1450	+	+	-	--	T08MF (Tigra)
K40	1,4 – 2,5	10	1400	+	o	--	--	T10MF

+++ Excelentní
 ++ Velmi dobré
 + Dobré
 o Přijatelné
 - Ne příliš dobré
 -- Špatné

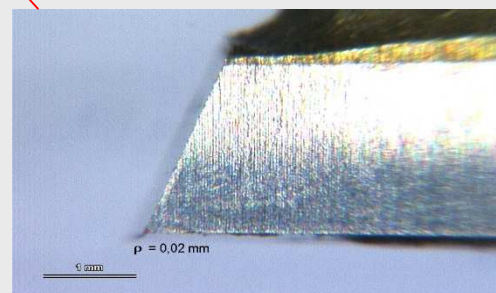
Poznámka: Ostření SK zásadně diamantovým brusivem v pryskyřičné vazbě (zrnitost 46 až 91), vyměnitelné destičky se obvykle nepřebroušují



Pilový kotouč B s břitovými destičkami SK s předřezem



(Pilana 22 53 97 – 11 TFZ L) :
průměr $D = 350$ mm,
tloušťka řezné spáry $s = 3,6$ mm,
počet zubů $z = 108$.
úhel čela $\gamma = 5^\circ$,
úhel břitu $\beta = 75^\circ$,
úhel hřbetu $\alpha = 10^\circ$,
úhel řezu $\delta = 80^\circ$.



Poloměr ostří $\rho = 0,02$ mm



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Trvanlivost břitu ze SK

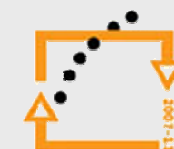
- ▶ Geometrie břitu (úhel břitu by neměl být menší než 45° - nebezpečí vydrolování a ulomení břitu!
- ▶ Trvanlivost neklesá i při větších řezných rychlostech.
- ▶ Pozor při obrábění měkkých dřev- uvolněné suky mohou způsobovat vylomení břitu.



3.3 Stelity

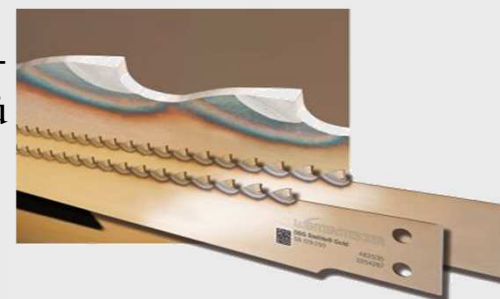
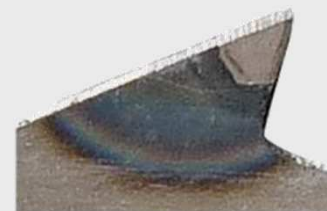
Stelity jsou neželezné návarové slitiny na bázi Cr-Co-W

- **Složení** Cr - 20÷30%, Co (nebo Ni - dostupnější a lacinější kov než kobalt) – 35÷65%, W - 5÷25% + další prvky (Σ Mo – Fe – C) do 1,5÷14%.
- Existují různé druhy stelitů (podle % obsahu prvků) s tvrdostí v rozpětí (45 až 60) HRC při teplotách (750 až 800)° C.
- Stelity jsou poměrně odolné proti opotřebení, mají malou křehkost a jsou dobře brousitelné.
- Trvanlivost břitu je 5 až 12-ti násobná oproti běžným nástrojovým ocelím a je přibližně poloviční oproti slinutým karbidům.



Použití stelitových návarů

- Stelit byl poprvé představen v roce 1907 E. Haynesem, továrna Stellite Division ho v roce 1913 uvedla na americký trh. V Evropě se začal prosazovat až 1923. V ČSR jej poprvé začala vyrábět společnost Poldi Kladno pod značkou Real.
- Široké uplatnění u pilařských nástrojů (u fréz nevhodné - příliš velká pórovitost). Zejména aplikace na PK pro rozmítací pily, pilové listy rámových pil. Stelity vykazují nízký koeficient tření, odolnost proti otěru a korozi.
- Uplatňují se také při řezání vysoce abrazivních a chemicky agresivních dřevin.
- Jsou dodávány jako tyčinky ve tvaru zubu - např. lichoběžníkový profil, U-profil.
- Aplikace poměrně jednoduchá - řezání a broušení běžným způsobem - nařezané destičky ve tvaru zubu se letují přímo do připravených žlábků v zubu nástroje a to plamenem nebo odporově.



Stelitované zuby kotouče pro rozmítací pilu



- Stelitované zuby nástrojů mají v porovnání se slinutými karbidy menší náchylnost k poškození břitů vlivem nečistot ve dřevě.

- Velmi dobrá trvanlivost břitu (např. **pilové kotouče z nástrojových ocelí** - nutné přebroušení po 4h práce, tj. 2x za směnu - stelitované zuby dosahují trvanlivost min. 24h tj. přebroušení 1x za 3 směny),



- Brousí se kotouči na bázi kubického nitridu bóru KNB – značené pod obchodními názvy Boronit nebo Borazon

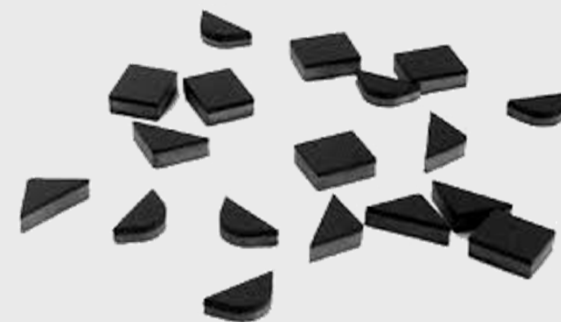


3.4 Super tvrdé materiály

- Syntetický diamant - k výrobě je nezbytný grafit, který se při vysokých tlacích min. 10 GPa a teplot kolem 3000 °C přeměňuje na zrnka diamantu, podobně jako před mnoha milióny lety cca 150 km pod zemským povrchem byly vytvořeny přírodní diamanty.
- Takto vzniklá zrnka diamantu o velikosti 2 až 20 μm se smísí se zrnky kobaltového (nebo Ni) pojiva. Metodou tavného slinování se vytvoří homogenní souvislá vrstva polykrystalického diamantu s vlastnostmi blízkými přírodnímu diamantu.
- Polykrystalický diamant se většinou vyrábí ve formě tlustých vrstev (až 0,5 mm) slinovaných na podkladovém materiálu ze slinutého karbidu ve tvaru polotovarů (destiček).

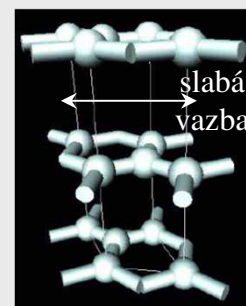
Poznámka: Pomocí tavného slinování, kde dochází k natavování pojiva (Co), které je schopno rozpouštět uhlík na povrchu diamantových zrn. Vytváří se eutektikum (Co-C) a tavenina se postupně infiltruje do pórů mezi slinovanými zrny a při chladnutí se z ní znovu překrystalizuje diamant. Výsledná struktura je tvořena plátkem z diamantovanými zrny spojenými přímo mezi sebou nebo přes kobaltové pojivo, s ojedinělými místy čistého kobaltu.

PKD

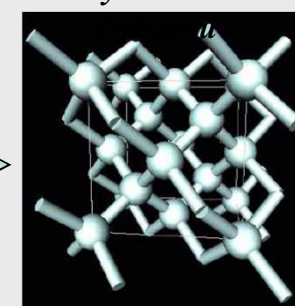


Kubická mřížka diamantu, každý atom uhlíku se díky nejhustší vazbě ze všech prvků váže k dalším čtyřem atomům umístěným ve vrcholech

Hexagonální mřížka grafitu

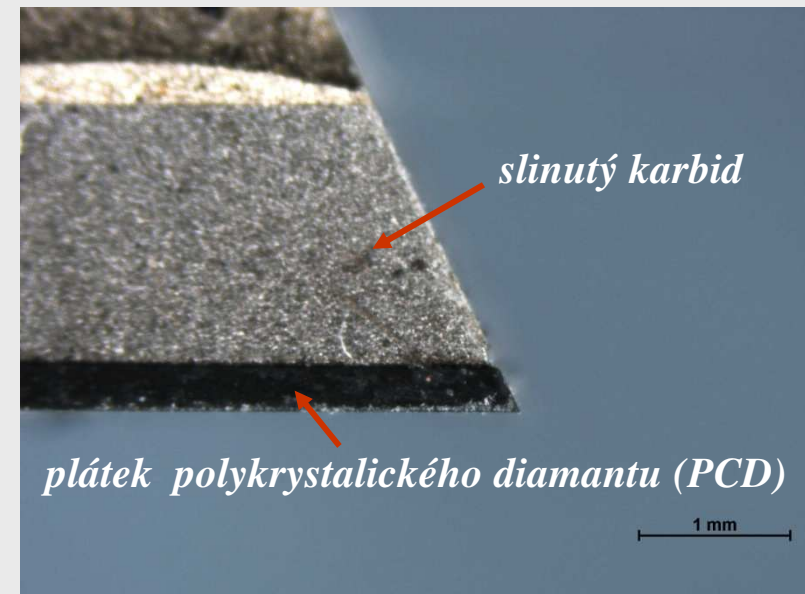


10 GPa
3000 °C



PKD na zuby pilového kotouče

- Polykrystalické diamanty (PKD) jsou jedny z nejmodernějších materiálů pro dřevoobráběcí nástroje (tyto nástroje jsou postupně zaváděny do praxe od r. 1973).
- Hlavní výhodou nástrojů, které jsou osazeny reznými destičkami z PKD je vysoká trvanlivost rezné hrany. Poměr trvanlivosti rezné hrany ze SK : PKD je podle údajů firmy LEUCO 1:50 až 1:80.



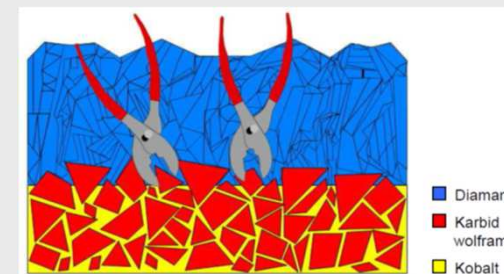
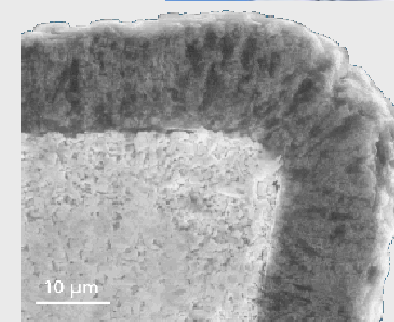
*Detail zuby pilového kotouče řady Diamond Line
firmy Pilana*

Poznámka: Zahraniční firmy LEITZ nebo LEUCO při konstrukčním řešení fréz používají dva systémy připevnění destiček z PKD. Buď jsou plátky přímo připájené na zub (břit) nástroje nebo jsou připájeny na speciální držáky, které jsou mechanicky upnuté do tělesa nástroje klínem a šroubem. Držáky je možné v axiálních drážkách přestavovat nebo je možné je polohovat o dna tvarových vybrání v tělese nástroje.

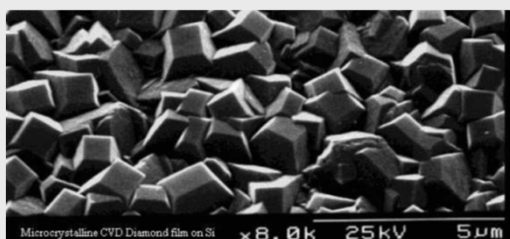
Pozor: PKD je velmi křehký a postrádá chemickou stabilitu za zvýšených teplot, má afinitu k železu→diamant je schopen se rozpouštět a reagovat s tímto kovem. Je obecně známo, že diamanty **nejsou** vhodné k obrábění ocelí.

CVD diamanty (Chemical Vapour Deposition)

- CVD diamant je novinkou v oblasti dřevořezných nástrojů. Jedná se o materiál, který se na svoje uplatnění v oblasti obrábění materiálů na bázi dřeva připravuje.
- **CVD technologie je chemický proces povlakování, který je založen na reakci plyných sloučenin v plazmě.** Plazma se tvoří v bezprostřední blízkosti povrchu podkladového SK a následném uložení (deponování) produktu heterogenní reakce na tomto zařízení.
- Na břitovou destičku z karbidu wolframu jsou při velmi nízkém tlaku a teplotě kolem 1000 °C ve vakuové komoře zaplněné metanem a atomárním vodíkem vylučována zrnka diamantu.
- Lze vyloučit tenké povlaky – max. do tloušťky 30 μm jako tenkovrstvé povlakování. Existují ovšem postupy při kterých se tvoří CVD vrstvy s tloušťkou do 0,5 mm.
- Zrna na povrchu dosahují velikosti pouhých 1 μm a směrem ke SK - zřejmě rekrytalizací rostou. To vzhledem k vlastnosti diamantu - umožní dobré „zakotvení“ horních jemných zrn.
- CVD diamant je elektricky nevodivý, proto se řeže a brousí laserem.



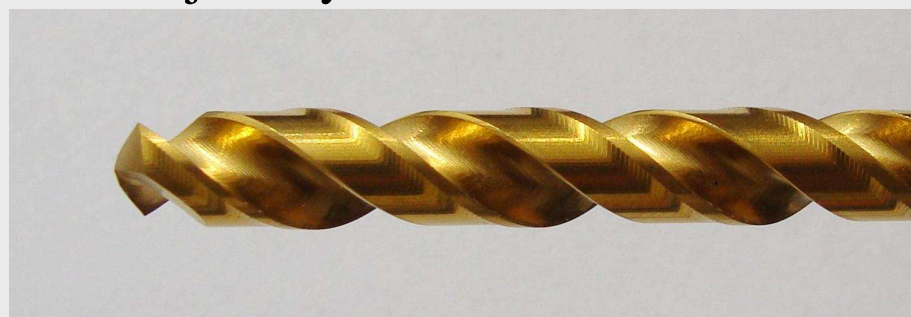
*Schéma mechanické adheze u CVD
diamantového povlaku
(zdroj - Ing. Čmiel, DP VUT 2009)*



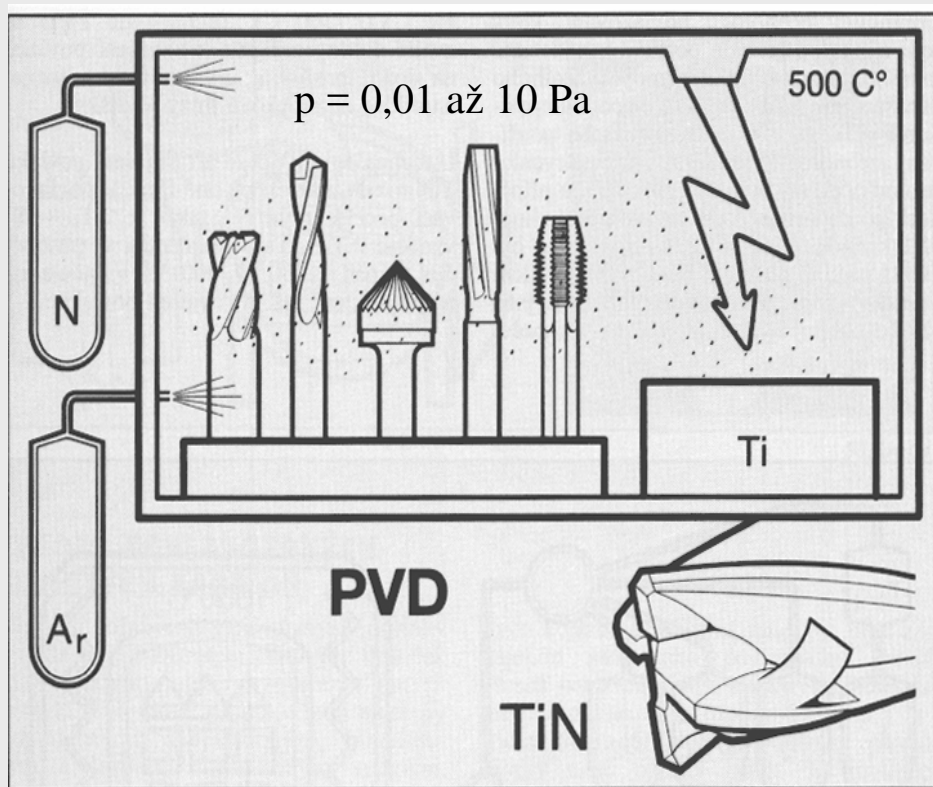
- Hlavní výhodou CVD diamantů oproti PKD diamantům, je že neobsahují žádné kovové pojivo a jejich struktura se tím pádem neliší od přírodních diamantů. Nevýhodou je nižší lomová houževnatost.

Super tvrdé povlaky nitridů kovů

- Pro vysoce výkonné obrábění jsou v posledních letech často používány super tvrdé nanokompozitní povlaky na bázi (Ti, Al)N.
- **Průmyslová aplikace fyzikální metody povlakování (PVD - Physical Vapour Deposition),** při teplotách nepřesahujících teploty popouštění HSS, byla nejprve využita pro nitrid titanu (TiN) u firmy Balzern AG v Lichtenštejnsku koncem 60-tých let minulého století. Tloušťka povlaku dosahuje obvykle 3 až 5 mm.



Technologie PVD



- Před vlastním procesem povlakování se do vyhřáté vakuové komory na provozní teplotu zavádí argon Ar, který vysokým napětím přivedeným na nástroje ionizuje a jeho atomy začnou čistit povrch nástroje vyražením atomů nečistot (C, O₂, zbylých kovů)

- Při nanášení (naprašování) povlaku TiN se titan při hoření nízkonapětového oblouku ve vakuové komoře uvede do plynné fáze - ionizací v elektrickém nízkonapětovém oblouku, kde teplota dosahuje řádově 15 000 °C. Do povlakovací pece je současně zaveden dusík N₂, takže z $2\text{Ti} + \text{N}_2$ vznikne 2 TiN.

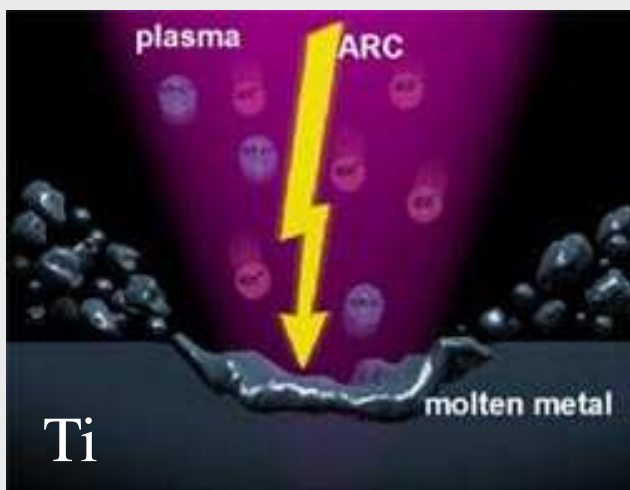
- Tato super tvrdá sloučenina se působením napětí ~ 50 až 400 V vylučuje na nástroji, který má být opatřen povlakem. Povlakovaná vrstva je zbarvena zlatožlutě.



Povlakovací zařízení fy PLAIT firmy



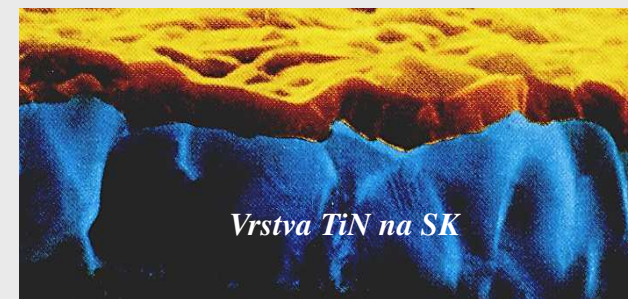
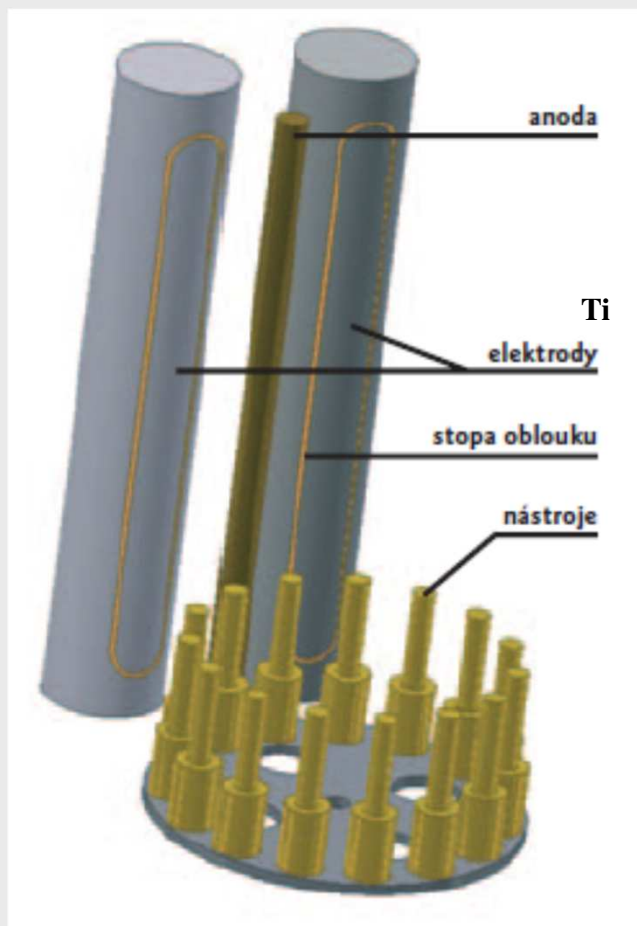
Nízkonapět'ový oblouk



- Nízkonapět'ový oblouk je výhodný pro svoji vysokou rychlost odpařování a vysokou ionizaci plazmatu. Velmi zajímavé jsou jeho parametry. Hoří v místě katodové skvrny o průměru řádově 10 μm , kde dosahuje teploty cca 15 000 $^{\circ}\text{C}$. Za těchto podmínek lze odpařit prakticky každý elektricky vodivý materiál.



Schéma PVD zařízení



Materiál je odpařován a zároveň ionizován obloukem z elektrod. Ionizovaný materiál (např. Ti^+ , Ti^{2+} , atd.) je urychlován směrem k nástrojům záporným předpětím, které je na ně přiloženo. Cestou ionizuje ještě atomy plynné atmosféry N_2 . Ionizované atomy po dosažení povrchu nástrojů vytváří povrchovými reakcemi vlastní deponovanou vrstvu.



Děkuji za pozornost

