



**Lesnická  
a dřevařská  
fakulta**

8. 7. 2016, Brno

Připravil:

doc. Ing. Zdeněk Kopecký, CSc.

# Nástrojové materiály

Předmět: Nástroje a procesy obrábění

Mendelova  
univerzita  
v Brně



# Obsah přednášky

## Úvod

1. Nástrojové oceli
2. Stellity
3. Slinuté karbidy
4. Super tvrdé materiály



# Úvod

1. **Na materiály nástrojů je obecně kladena celá řada požadavků:** vysoká tvrdost a pevnost, dostatečná houževnatost, odolnost proti opotřebení i při vysokých teplotách,, odolnost proti korozi, prokalitelnost ...
2. **V praxi bohužel neexistuje „univerzální“ nástrojový materiál:** který by byl schopen efektivně obrábět všechny materiály, tj. v oblasti dřevařské praxe - rostlé dřevo, modifikované dřevo, aglomerované materiály, kompozity ...
3. **Při volbě materiálu dřevoobráběcího nástroje je třeba si uvědomit, že:** namáhání břitu nástroje, zejména teplotní a chemické je podstatně vyšší než u nástrojů pro obrábění kovů ...
4. **Obecně platí:** čím je dokonalejší nástrojový materiál, tím větší bude produktivita obrábění – zvyšování rezných podmínek, hospodárné obrábění abrazivních materiálů apod. ...

## ***Kritéria volby nástrojového materiálu***

### ***Při volbě se zohledňuje:***

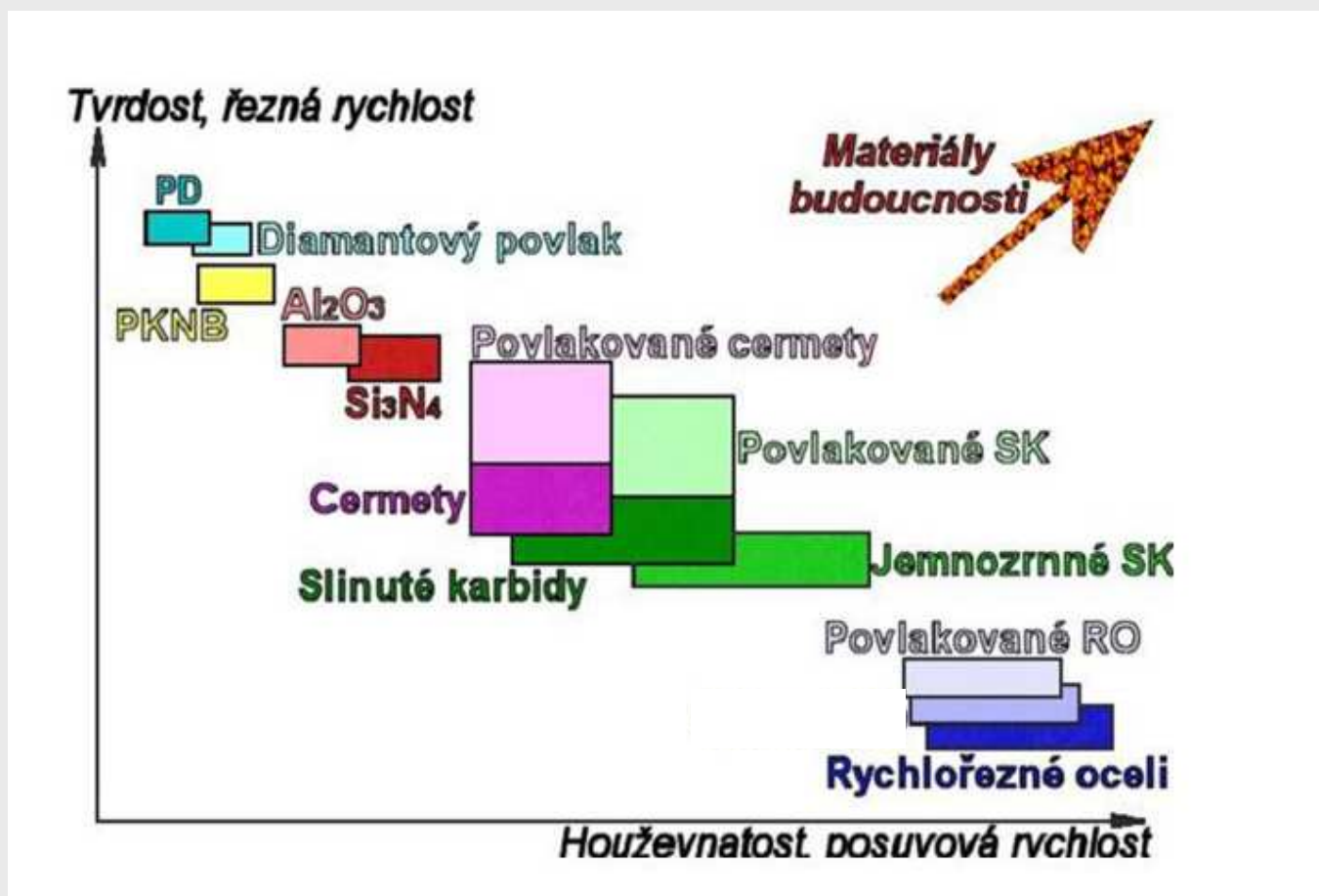
- **druh a velikost nástroje,**
- **druh obráběného materiálu,**
- **požadované řezné podmínky,**
- **požadovaná trvanlivost břitu a životnost nástroje.**



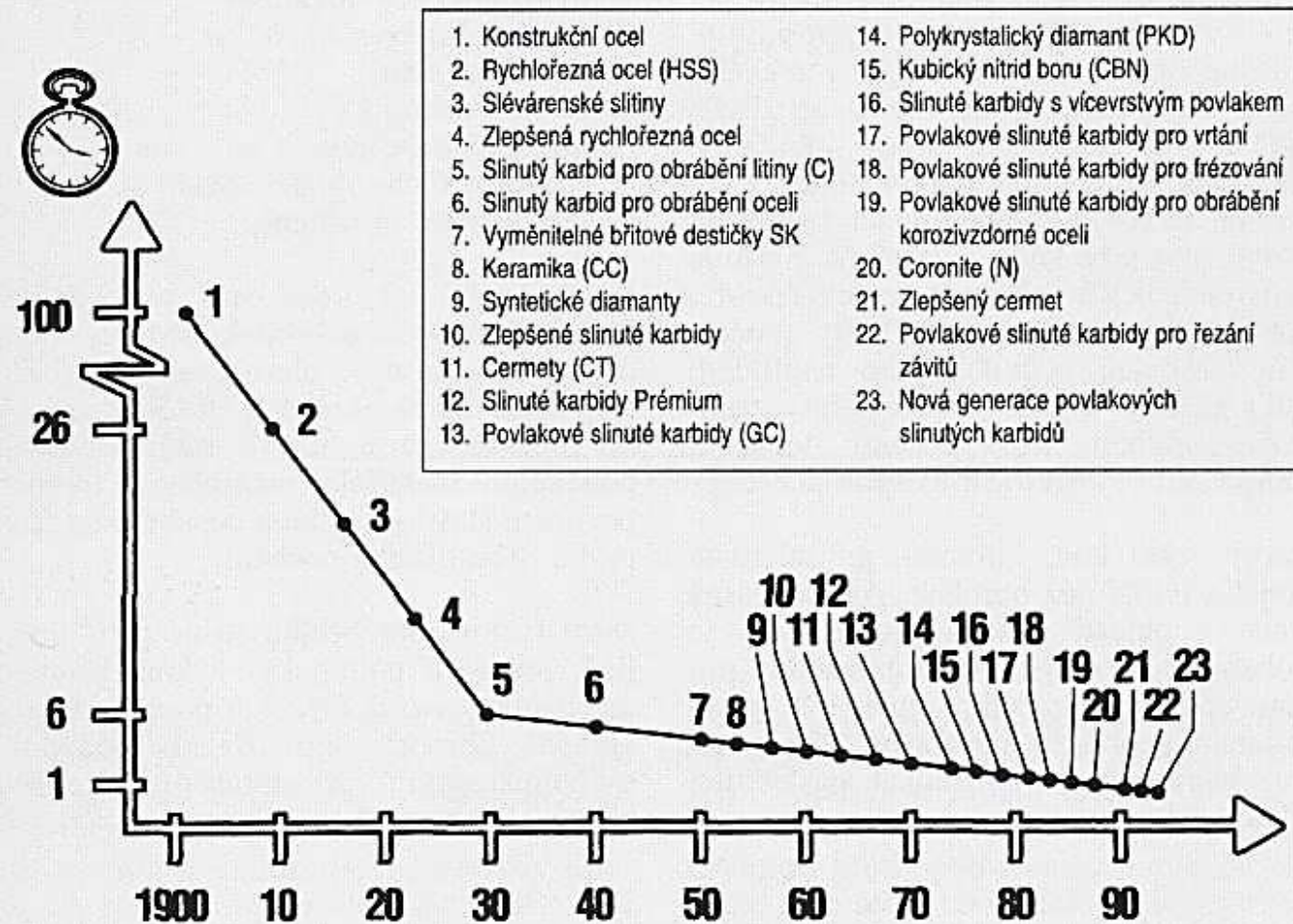
## ***Druhy nástrojových materiálů pro obrábění materiálů na bázi dřeva***

- ***Nástrojové oceli*** (ruční i strojní obrábění dřeva)
- ***Stellity*** (pilařské nástroje)
- ***Slinuté karbidy*** (pilové kotouče a frézy)
- ***Diamantové materiály*** (vysokoproduktivní nástroje)

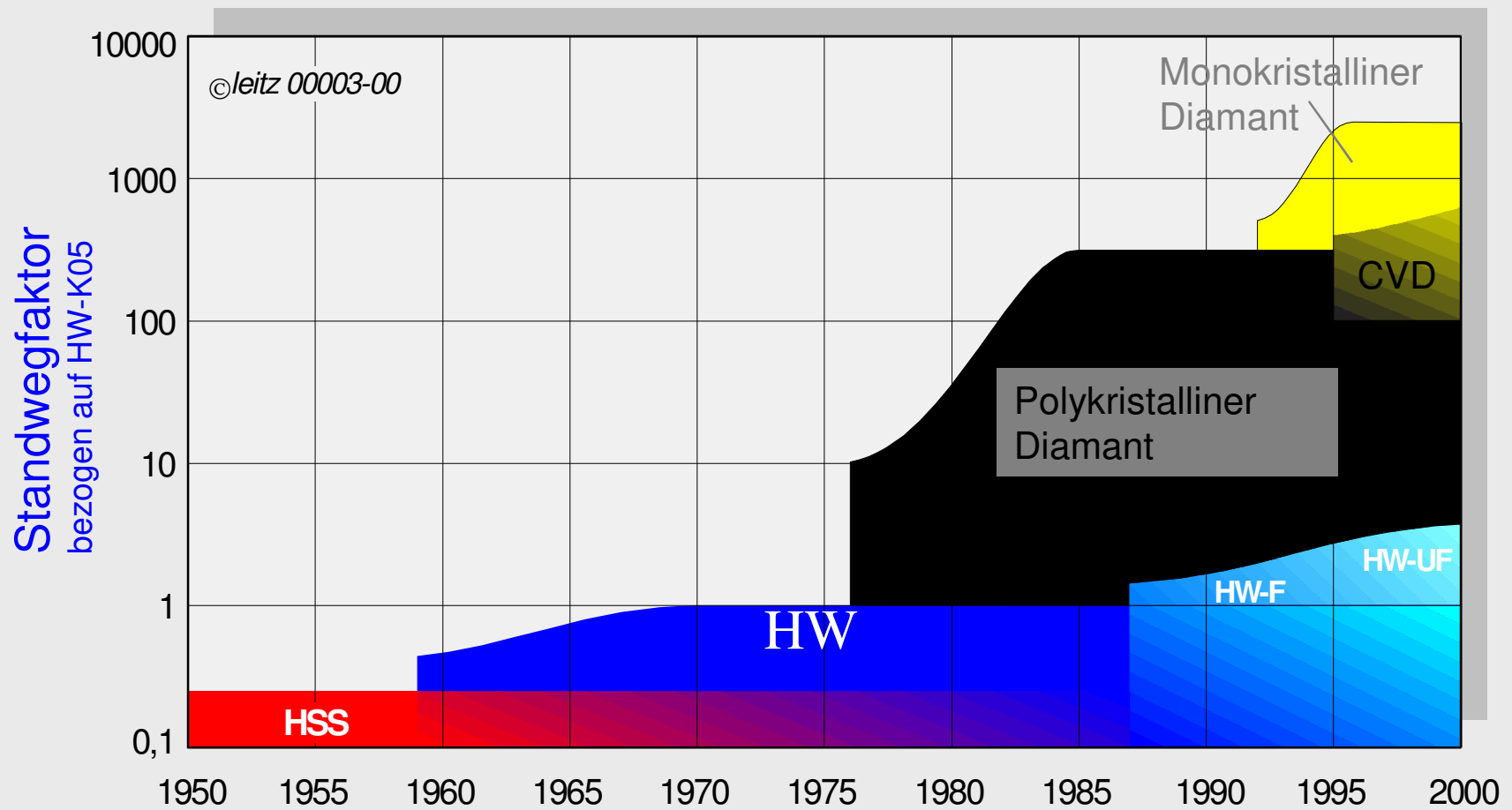
# Vlastnosti a použitelnost nástrojových materiálů



## Vývoj v oblasti výkonu řezných materiálů



## Řezné materiály podle firmy Leitz

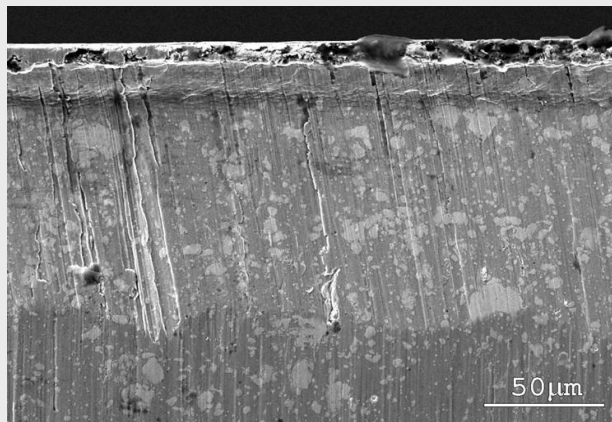


# 1. Nástrojové oceli

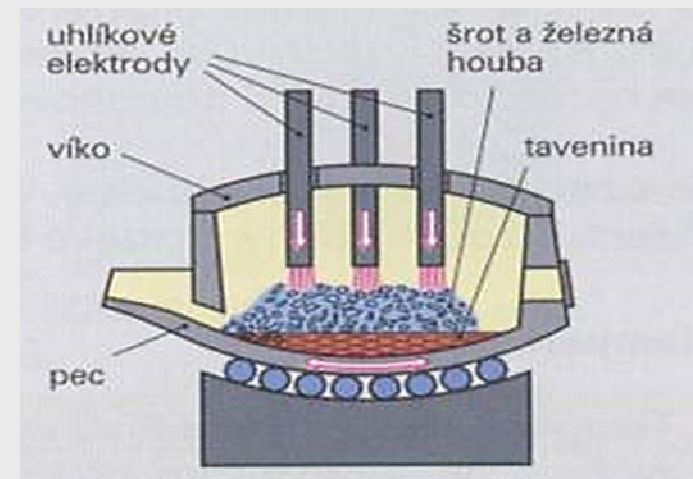


## 1.1 Charakteristika

- Nástrojové oceli patří do skupiny ušlechtilých legovaných ocelí.
- Vyrábějí se převážně v elektrických obloukových pecích.
- Vyznačují se vyšším procentem legujících karbidotvorných kovů a poměrně vysokým obsahem uhlíku
- Vynikají velmi dobrou houževnatostí (břit nástroje se nadměrně nevylamuje - např. při obrábění suků) a jsou dobře tepelně zpracovatelné = možnost velmi dobrého povrchového zakalení.



## Elektrická oblouková pec



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.

břit hoblovacího nože v  
zorném poli elektronového  
mikroskopu



## 1.2 Rozdělení

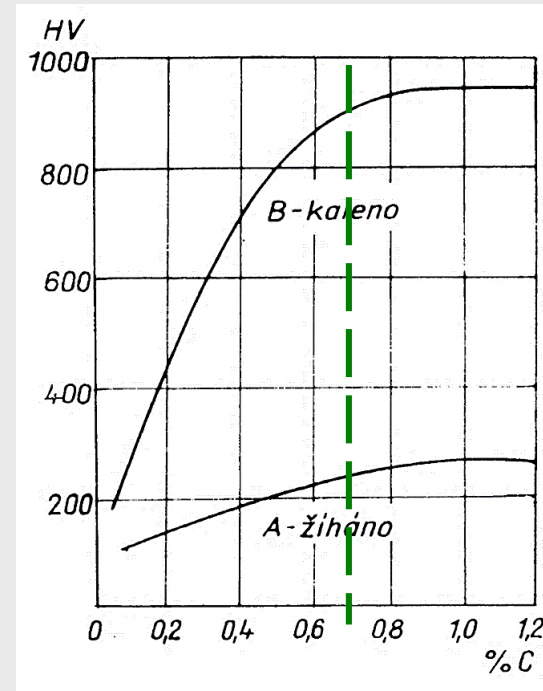
- Nástrojové oceli (NO) se dělí podle chemického složení na uhlíkové a slitinové. Zvláštní skupinu slitinových ocelí tvoří rychlořezné oceli (HSS), které byly vynalezeny v roce 1900 Taylorem (jedná se o bohatě legované oceli, některé z nich mohou mít ve své struktuře až 18% wolframu a dalších těžce tavitelných kovů). Samostatnou skupinu tvoří slitinové oceli na odlévané nástroje.
- Se zřetelem na společné charakteristické znaky a technický význam je nástrojovým ocelím vyhrazena v normě samostatná třída 19.

- **Uhlíkové**
- **Slitinové** (legury Cr, W, V, Mo, ...)



## 1.2.1 Nástrojové uhlíkové oceli

- Vlastnosti těchto ocelí jsou především dány obsahem uhlíku C (0,55 až 1,5 %).
- Max. tvrdost dosahují při obsahu uhlíku od 0,8 do 1,0 % (viz. graf, HV tvrdost podle Vickerse).
- Při vyšším obsahu uhlíku se kalením již tvrdost nezvyšuje, ale stoupá odolnost proti opotřebení.
- Při zvýšení teploty nad 250 °C ztrácejí tyto oceli ovšem velmi rychle svou tvrdost a rapidně roste opotřebení břitu.



**Ocel 19 083** značení podle ČSN 42 0002, značení dle EN ISO C45U (staré značení podle POLDI – 76H EXTRA)

- pro méně namáhané nástroje pro ruční obrábění - nebozezy, vrtáky, dláta, sekery, ...

**Ocel 19 191**, značení dle EN ISO C105U (staré značení podle POLDI – EZH)

- obsah uhlíku C=1%,
- ocel se vyznačuje poměrně vysokou tvrdostí, je vhodná např. pro sukovníky nebo zátkovníky.



## 1.2.2 Nástrojové slitinové oceli

- ❖ Specifických vlastností se docíluje legováním, přidáním do slitiny železa s uhlíkem dalších kovů (legur) - **chromu Cr, wolframu W, vanadu V, molybdenu Mo** (s uhlíkem vytváří ve slitině velmi tvrdé struktury - karbidy → mají vliv na podstatné zvýšení odolnosti proti opotřebení).
- ❖ Legováním se zlepšuje prokalitelnost – důležitá pro nástroje větších rozměrů a tvarů a použití pro vyšší řezné rychlosti.
- ❖ Používají se u strojního obrábění dřeva pro střední až vyšší výkony (frézy, dlabací vrtáky, hoblovací a profilové nože ...).
- ❖ Rozdělují se na: *nízkolegované, vysokolegované a rychlořezné*

## *Nízkolegované slitinové oceli*

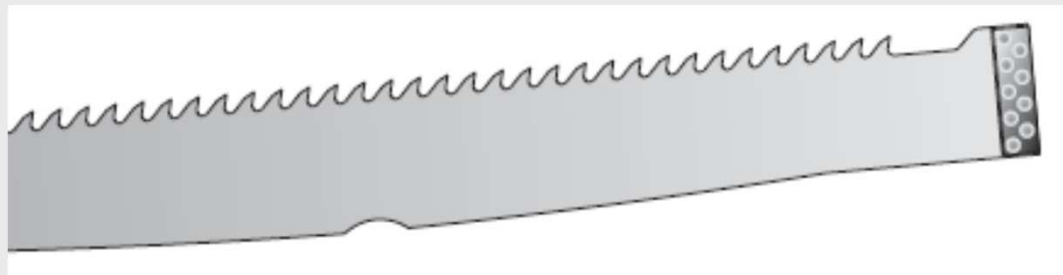
- mají vyšší odolnost proti opotřebení než nástrojové uhlíkové oceli,
- nejčastějšími legujícími prvky bývají chrom a vanad,
- obsah uhlíku se pohybuje v rozmezí 0,75 až 1,5 %,
- svoji tvrdost i řeznou schopnost si zachovávají při teplotě 350 až 400 °C.

❑ **19 418 – chromová ocel (0.8% C, 0.55% Cr)**

pilové kotouče, kruhové strojní nože,

❑ **19 419 – chromvanadová ocel (0.75% C, 0.55% Cr, 0.15% V)**

pilové listy rámových pil,



## Vysokolegované slitinové oceli

- v porovnání s uhlíkovými a nízkolegovanými oceli mají v zakaleném a popuštěném stavu vysokou tvrdost, řeznost, odolnost proti otěru za tepla i za studena,
- ve své struktuře obsahují až 15 % přísad (legur) - nejčastějšími legujícími prvky bývají **chrom, vanad, wolfram, molybden, nikl**
- obsah uhlíku může být větší než 2 %, uhlík zabezpečuje vytvoření dostatečného množství karbidu chromu (zabezpečuje vysokou tvrdost a odolnost proti opotřebení)

❑ 19 436 - chromniklová ocel (1.8%C, 12%Cr, 0.2%Mn, 0.5%Ni)

drážkovací frézy, úhlové kotoučové frézy,

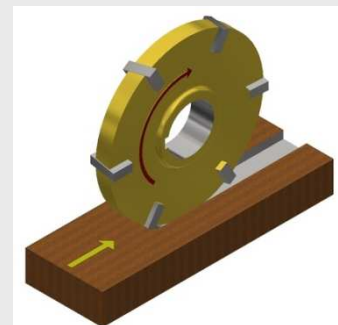


❑ 19 581 - chromvanadová ocel (2.2%C, 5.3%Cr, 4.4%V, 1,2%W, 0.6%Mo)

nástroje na obrábění abrazivních aglomerovaných materiálů,

❑ 19 571 - chromová ocel (0.9%C, 5.0%Cr, 0.25%V, 0.75%Mo)

frézy a vrtáky s vysokou houževnatostí.



## *Rychlořezné oceli – HS (dříve HSS)*

- používají se pro vysoce namáhané a výkonné nástroje při strojním obrábění,
- jsou to vysokolegované nástrojové oceli s obsahem wolframu až do 18 %,
- umožňují 10x vyšší výkony a mají 10x až 30x větší trvanlivost ostří než uhlíkové a nízkolegované nástrojové oceli,
- vysokou tvrdost nad 60 HRC si zachovávají do teploty až 650 °C,
- mají obvykle 0,7 až 1,3 % C,
- dalšími legujícími prvky mimo W jsou: Cr – cca 4% -zlepšuje prokalitelnost a tvrdost, V – cca 2% s C - tvoří nejtvrdší VC, Mo - cca 0,5% - zvyšuje houževnatost, Co – 2 až 12% – zvyšuje odolnost proti popouštění, při vyšším obsahu ale snižuje houževnatost.

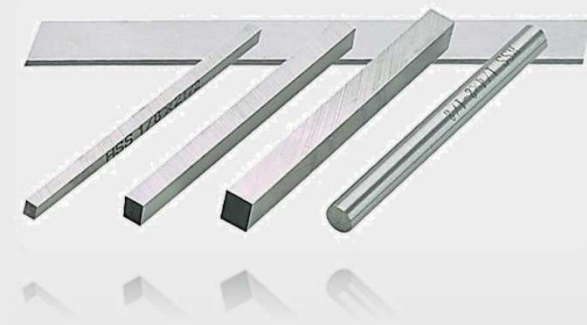
### *Příklady použití:*

- ❑ 19 824 - wolfram vanadová ocel (0.75%C, 18% W, 4.2% Cr, 1.3%V)  
hoblovací nože do frézovacích hlav
- ❑ 19 830 - wolfram molybdenová ocel (0.8%C, 5.5% W, 4.5 %Mo, 3.8%Cr, 1.5%V), na vysoce namáhané frézy

## *Příklad použití rychlořezné oceli*

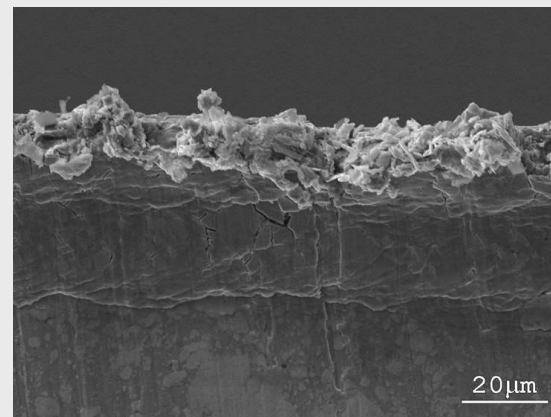
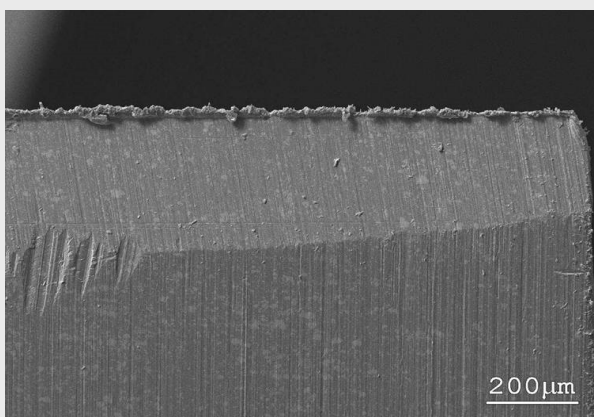
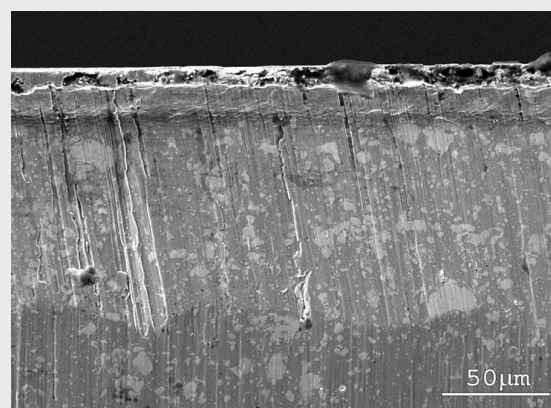
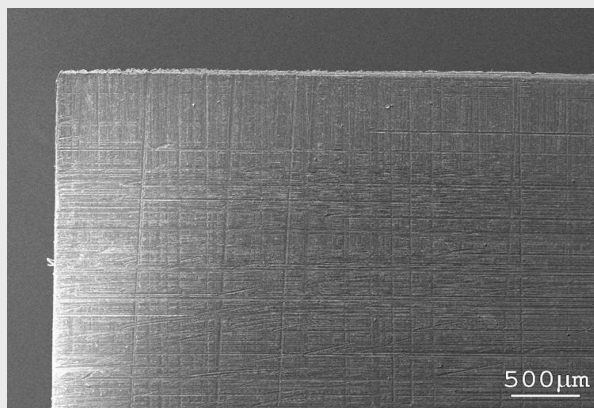


- ❖ Wolfram-vanadová ocel 19 824 (18 %W a 1%V) (označení dle EN ISO 513 – HS 18) - má vyšší houževnatost a dobrou odolnost proti opotřebení - použití např. pro nože frézovacích hlav - wolfram a vanad vytvářejí s uhlíkem ve struktuře oceli velmi tvrdé karbidy stálé až do teplot 600 až 700° C. Současně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

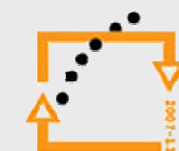
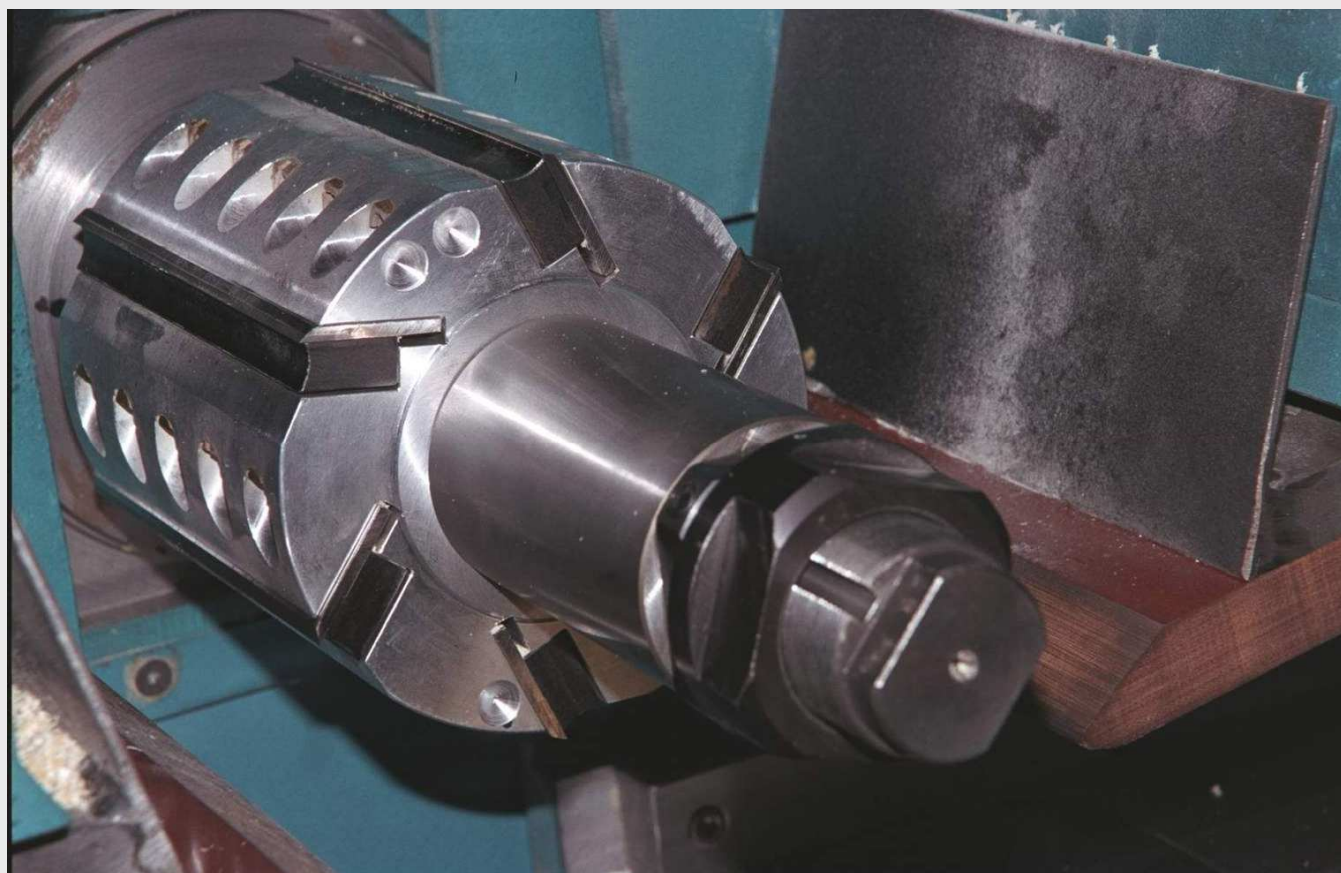




## *Břit frézovacího nože z HS 19824 pod elektronovým mikroskopem*



## Frézovací hlava osazená noži z HS oceli



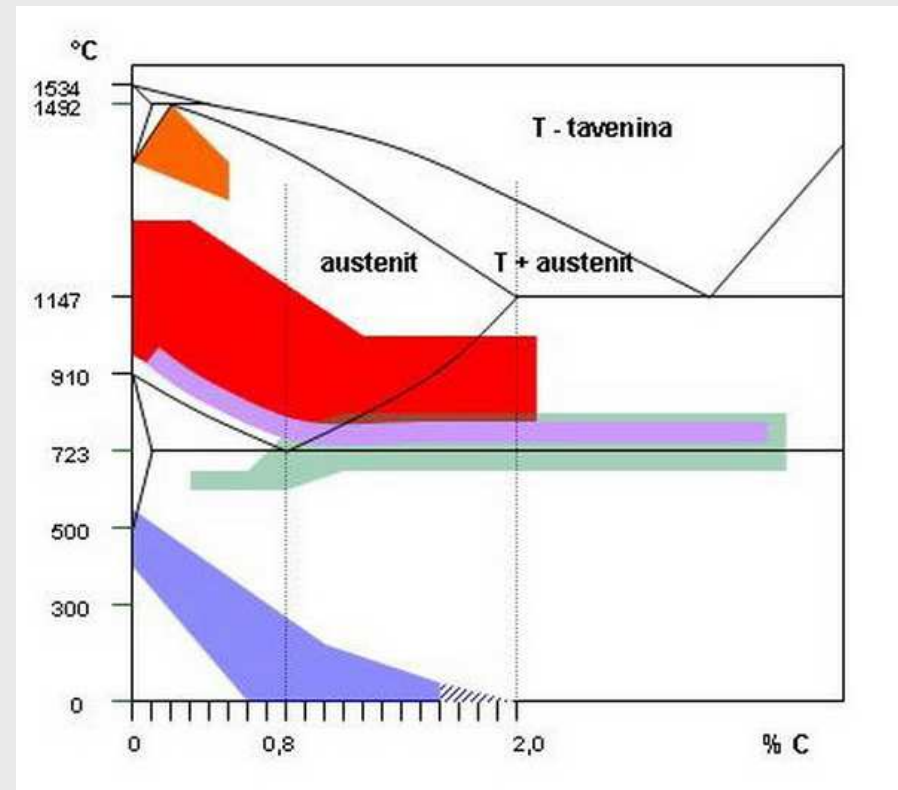
## 1.3 Vybrané řezné oceli z dřevařské praxe

Označení	hut.z.	C %	Mn	Cr	Mo	V	W	Co	Ni	Poznámky
<b>19419</b>	T75CV	0,75	0,30	0,55		0,15				Listy rámových pil
DIN 1.2235 CrV										
<b>19452</b>	SC	0,6	0,60	0,85					0,35	Si 1,5, nože do hoblovacích hlav, vrtáky, čepovací frézy
SiCr nástrojová										
<b>19436</b>	2002	2	0,20	12,0					0,50	Drážkovací, úhlové kotoučové frézy, nože na tvrdé a abrazivní materiály
DIN 1.2080 X210Cr12 Poldi 2002 „nástrojová“										
<b>19824</b>	MAXI MUM SEPCI AL	0,75	0,45	4,2	0,50	1,3	18,0			Jedna z nejstarších druhů HSS (více jak 50 let), velice žádaná na nože frézovacích hlav, poměrně drahá (18%W)
DIN 1.3355, EU S 18-0-1, ISO 18-0-1										
<b>19830</b>	MAXI MUM SEPCI AL Mo5	0,80	0,45	3,80	5	1,50	5,50			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
DIN 1.3343										



## 1.4 Tepelné zpracování nástrojových ocelí

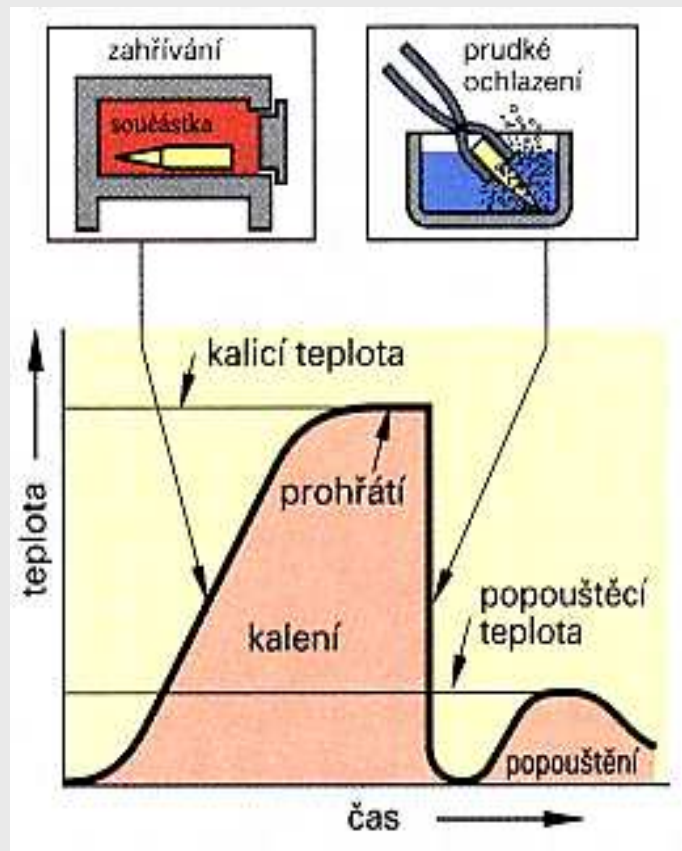
- Tepelné zpracování nástrojových ocelí je důležitý technologický pochod, kterým se podstatně zvyšuje tvrdost a odolnost bříty nástroje proti opotřebení.
- Nástroj z vysokolegované slitinové oceli nevhodně tepelně zpracované může mít nižší výkon než např. nástroj z uhlíkové nebo nízkolegované oceli správně tepelně zpracované.



- červená** - oblast kovací teplot
- oranžová** - oblast teplot pro kovářské svařování
- zelená** - oblast žíhání na měkko
- fialová** - oblast kalicích teplot
- modrá** -- oblast tvorby martenzitu

## A. Kalení

Cílem je dosáhnout zvýšení tvrdosti oceli, po „rychlém“ ochlazení vznikne nová nestabilní tvrdá struktura, která je nazývána – **Martenzit** (přesycený tuhý roztok uhlíku v železe alfa)



1000x zvětšeno

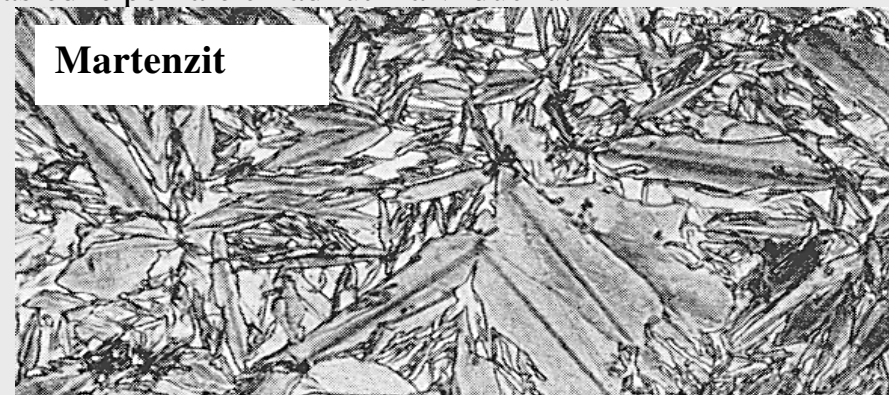
### Rovnoměrné zahřátí:

- nástrojové uhlíkové oceli (770 až 830°C),
- rychlořezné - postupný ohřev na 450°C a 850°C s prodlevami 0,5 minuty na 1 mm tloušťky nástroje s konečnou teplotou až na 1280°C.

### „Rychlé“ ochlazení:

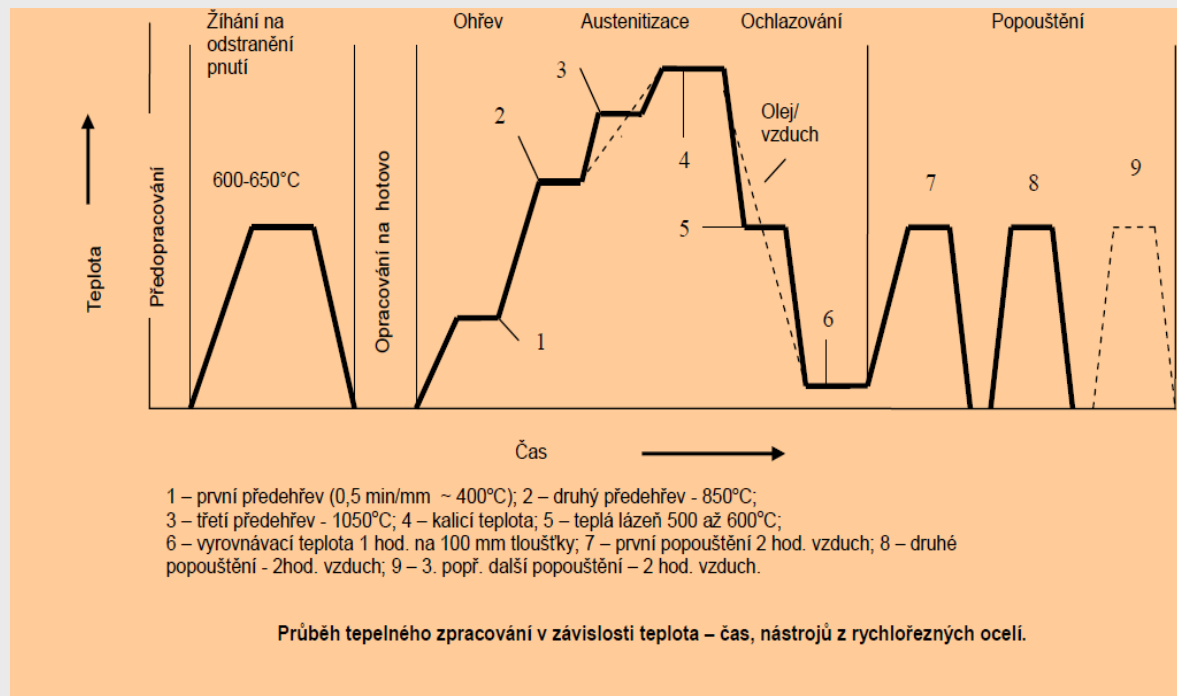
Základní pravidlo je, čím má ocel méně **uhlíku**, tím rychleji musí být ochlazena. S přibývajícím uhlíkem rychlost chlazení zpomalujeme a nejpomalejší je u vysoce legovaných ocelí (legury jsou špatným vodičem tepla, ocel se nedokáže naráz ochladit a popraská).

- o uhlíková nástrojová ocel – kalení ve vodě,
- o nízkolegovaná nástrojová ocel – kalení v oleji,
- o vysokolegovaná ocel a RO – kalení v roztavené solné lázni (sodné, draselné nebo barnaté chloridy) (teplota lázně 500°C) a následné pomalé chladnutí na vzduchu.

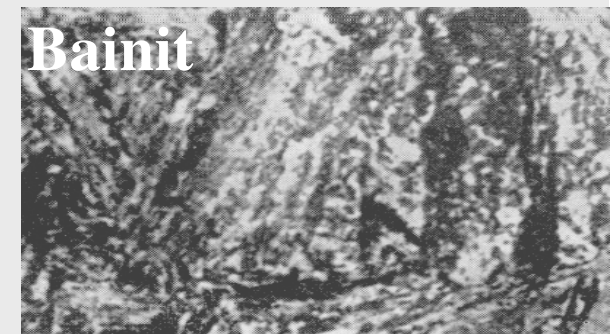


## B. Proces zušlechťování rychlořezné oceli

- Rychlořezné oceli, vzhledem ke své struktuře (velké procento tvrdých karbidů) není možné jen zakalit.
- HS ocel je nutné před kalením nejdříve *vyžítat k odstranění vnitřního pnutí* a po kalení je třeba tento materiál tzv. *popustit*.
- **Popouštění** zmírňuje nežádoucí křehkost a vnitřní pnutí v zakaleném nástroji (tímto procesem se zabráňuje vylamování břitů) a do určité míry zvyšuje jejich houževnatost a to na úkor tvrdosti.
- Při popouštěcí teplotě 520 až 620 ° C se změní **Martenzit** na méně tvrdou a stabilní strukturu **Bainit**.
- Celý proces je nazýván **zušlechťování**.



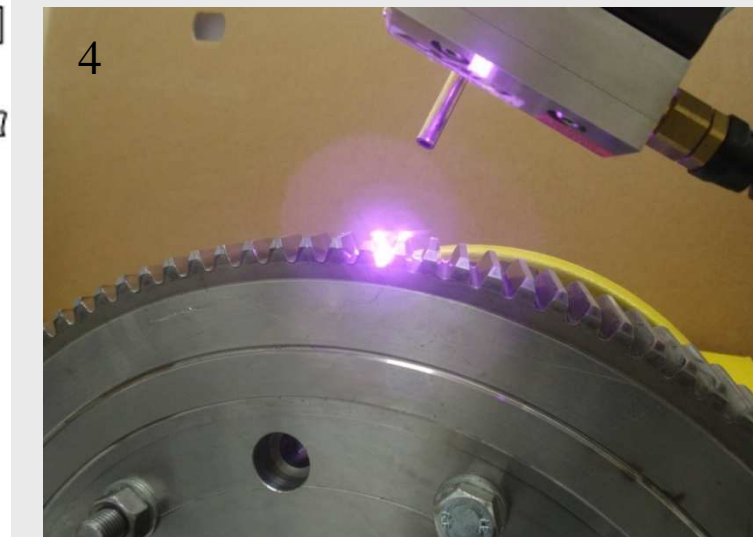
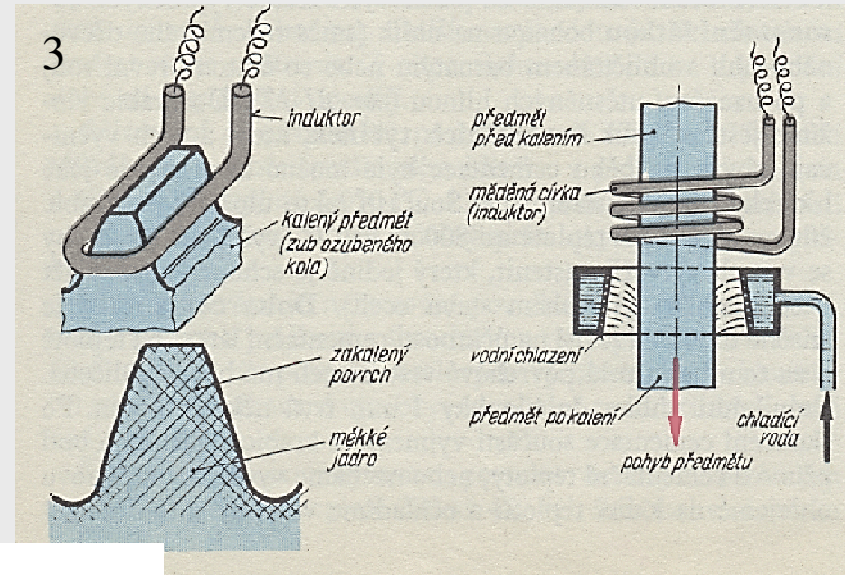
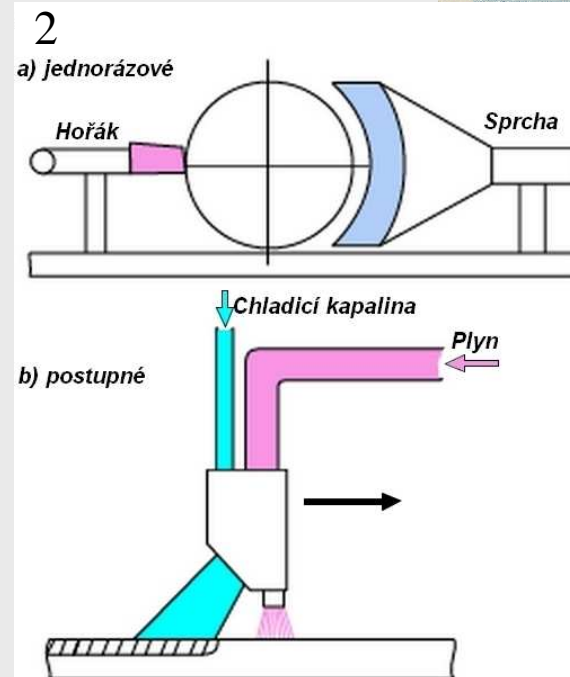
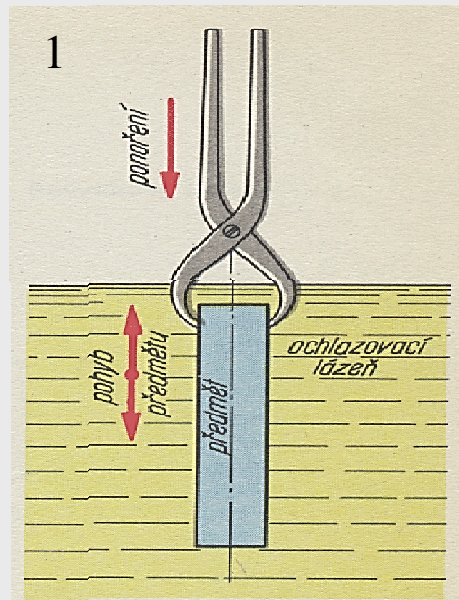
Proces popouštění následuje ihned po zakalení nástroje.



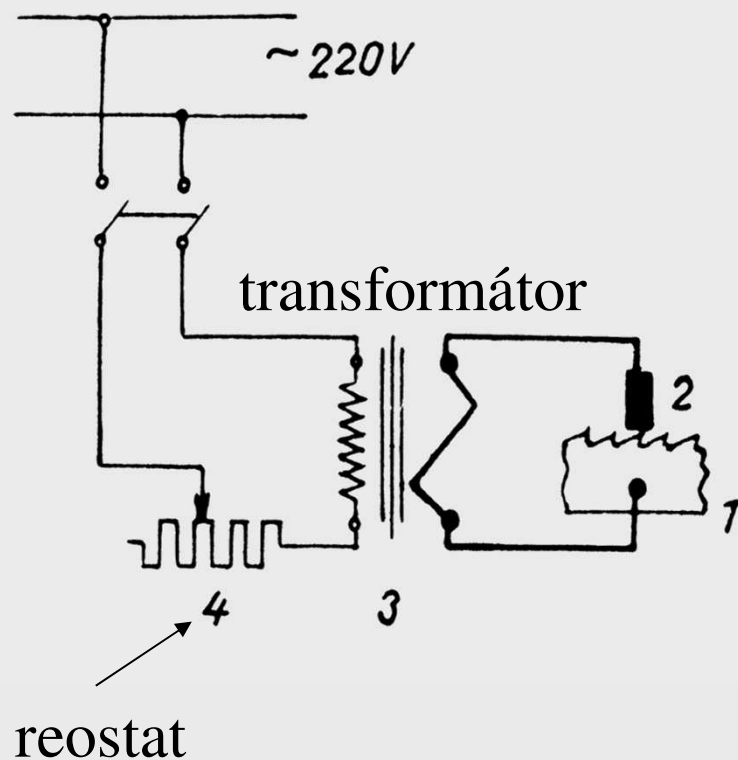


# Způsoby kalení

- 1 - kalení v lázni,
- 2 - povrchové kalení plamenem,
- 3 - vysokofrekvenční kalení (indukční ohřev)
- 4 - laserové povrchové kalení









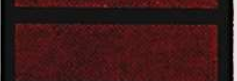
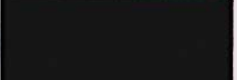





## *Povrchové kalení zubů pil*



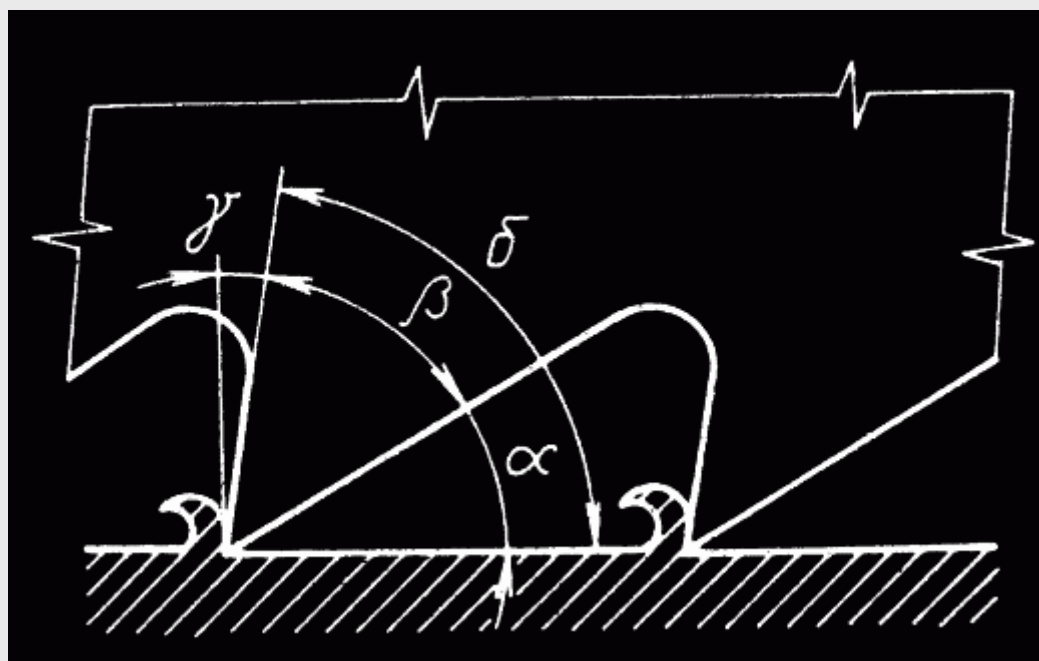
- ❖ elektroda 2 je ve vzdálenosti 0,5 až 1 mm od hrotu zubu,
- ❖ délka dotyku je 3 mm a přítlak je 0,1 N,
- ❖ ohřev trvá 3 až 4s do hloubky 6 až 6,5 mm,
- ❖ na hrotu zubu (teplota až 900°C),
- ❖ povrch zubu zžedne do vzdálenosti 12 až 13 mm od hrotu,
- ❖ po vypnutí proudu se elektroda ihned oddálí a hrot zubu se zakalí okolním vzduchem.



## *Barvy oceli při ohřevu a při popouštění*

Teploty [°C]	Barvy				Teploty [°C]
	žhnoucího tělesa		tělesa při popouštění		
550	hnědočerná			žlutobílá	200
630	hnědočervená			slámově žlutá	220
680	tmavě červená			zlatě žlutá	230
740	tmavě třešňová			tmavě žlutá	240
780	třešňová			žlutohnědá	250
810	světle třešňová			hnědočervená	260
850	světle červená			purpurová	270
900	žlutočervená			fialová	280
950	oranžová			tmavě modrá	290
1 000	tmavě žlutá			chrpově modrá	300
1 100	žlutá			světle modrá	320
1 200	světle žlutá			šedomodrá	340
1 300	bílá			šedá	360

## 1.5 Broušení nástrojů z nástrojových ocelí



$\alpha$  - úhel hřbetu

$\beta$  - úhel břitu

$\gamma$  - úhel čela

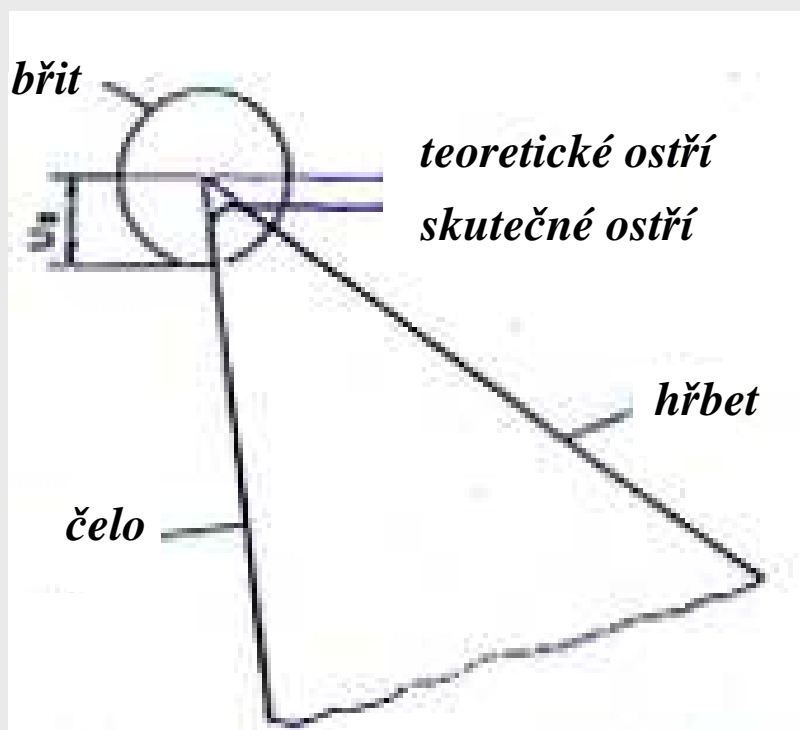
$\delta$  - úhel řezu

<http://www.rzk.xf.cz/rezani.html>





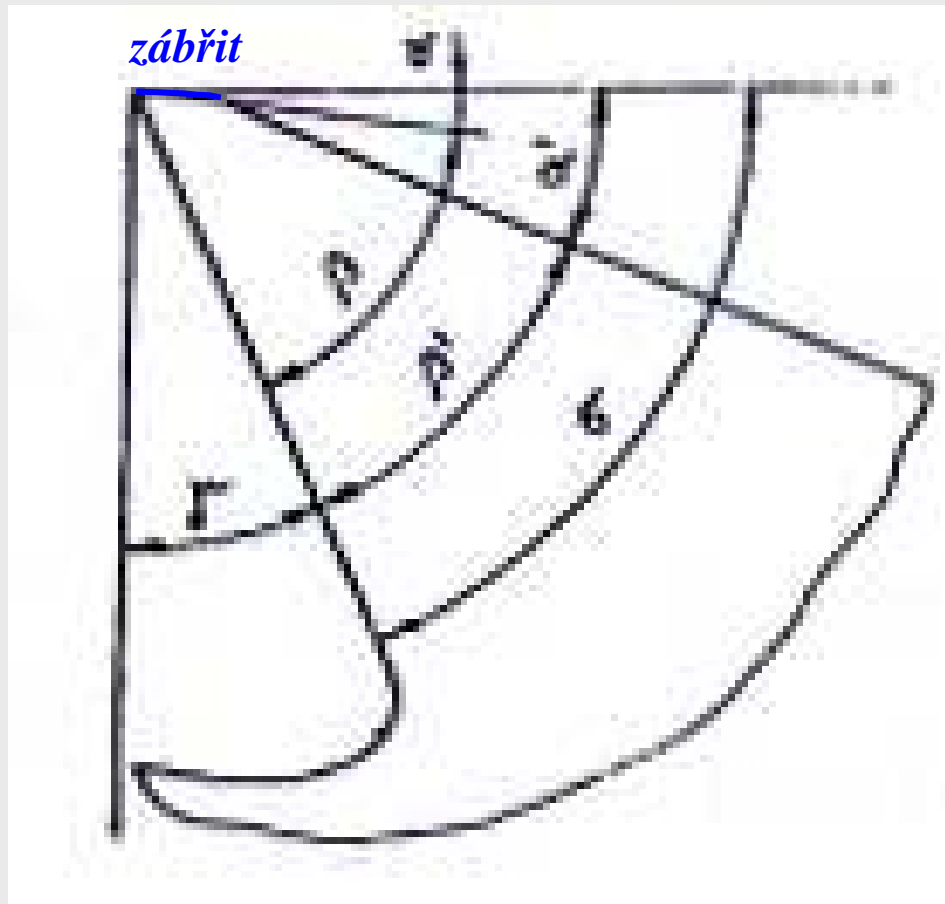
## Řezný klín nástroje



- **Břit** – klínová část nástroje vytvořená plochou čela a hřbetu nástroje.
- **Teoretické ostří** – vznikne průnikem roviny čela a hřbetu nástroje.
- **Skutečné ostří** – je tvořeno průnikem nerovných ploch čela a hřbetu.
- **Otupené ostří** – je tvořeno válcovou nebo jinou plochou.



## Zábřit



$\alpha$  - úhel hřbetu  
 $\beta$  - úhel břitu  
 $\gamma$  - úhel čela

**Zábřit** – vyskytuje se například u nožů frézovacích hlav.

Jedná se o zbroušenou plošku (cca do 0,2 mm) na hřbetu nože, která často vzniká při egalizaci (sjednocení) břitů frézovacích nožů do řezné kružnice.

**Výhody:** všechny nože odebírají stejnou třísku, zvýšení úhlu břitu  $\beta \rightarrow$  zvýšení pevnosti břitu.

**Nevýhody:** zvětšení úhlu řezu  $\delta$ , snížení úhlu hřbetu  $\alpha \rightarrow$  větší odpory při frézování.

# Čím brousíme?

## Brusné kotouče



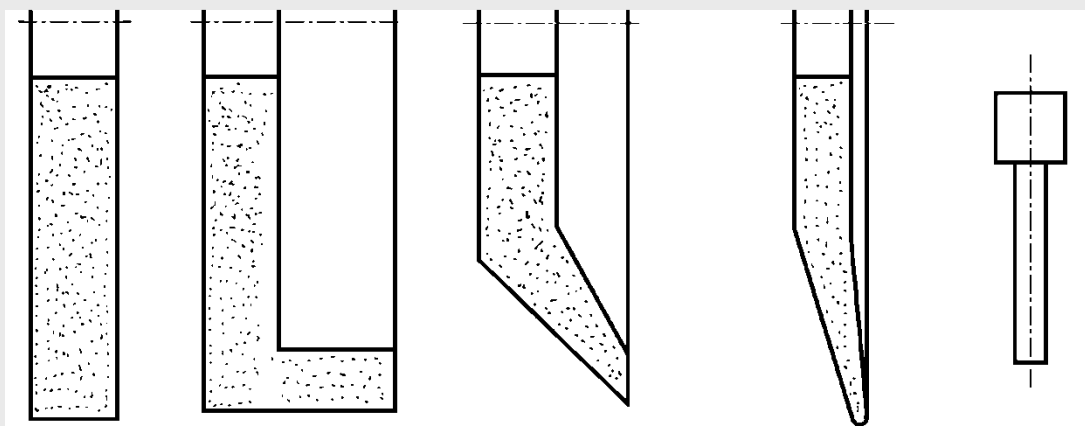
Plochý

Hrncovitý

Miskovitý

Talířovitý

Brusné tělísko



# Značení brusných kotoučů



A 96 24 P 5 V

pojivo  
(keramika)

pórovitost  
(polohutná cca 25%  
pórů)

tvrdost  
(tvrdý – pro měkké  
oceli ,na HSS I až K)

zrnitost  
(0,8mm – hrubování)

druh  
brusiva  
(umělý korund)

## Elektrokorund

(umělý korund)  
( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )

*Získává se  
tavením látek  
bohatých na  
bauxit v  
elektrických  
pecích.*

hnědý

A 96

růžový

A 98

červený

A 99

**bílý**

**A 99B**

# Zrnitost

Druh	Číslo zrna	Měrný rozměr zrna [ $\mu\text{m}$ ]		Použití (informativně)
		od	do	
Brusná zrna hrubá	4	5 000	4 000	Ve zvláštních případech
	6	4 000	3 150	
	8	3 150	2 500	
	10	2 500	2 000	
	12	2 000	1 600	
	14	1 600	1 250	Hrubování
	16	1 250	1 000	
	20	1 000	800	
	24	800	630	
	30	630	500	
36	500	400		
Brusná zrna střední	46	400	315	Strojní části, ostření nástrojů
	60	315	250	
	70	250	200	
	80	200	160	
	100	160	125	
	120	125	100	
Brusná zrna jemná	150	100	80	Předhlazení
	200	80	63	
	240	63	50	
	280	50	40	
	320	40	32	
Mikrozrna	M32	32	32	Dohlazení, konečné lapování
	M22	22	15	
	M15	15	10	
	M10	10	7	
	M7	7	5	Ve zvláštních případech
	M5	5	3	
	M3	3	—	

Zrna číslo 4 až 320 jsou tříděna sítý, zrna M32 až M3 plavením.

- *dnešní normy vycházejí ze starších norem, kde je zrnitost popsána jako číslo udávající počet ok síta na jeden čtverečný palec (25,4 mm),*
- *kterým ještě při prosívání propadne,*
- *tedy čím větší číslo, tím hustší síto a tím jemnější brusivo.*

## *Tvrdość kotouče*

- Tvrdořtí brusných nástrojů se rozumí odpor, který klade pojivo proti uvolnění jednotlivých brusných zrn z nástroje.
- Volí se podle druhu broušeného materiálu a způsobu broušení. **Brusný kotouč** se volí tím **měkčí**, **čím tvrdší je broušený předmět** a čím větší je styčná plocha brusného kotouče s broušeným předmětem.

<b>TVRDOST</b>	velmi měkká	G, H (nástr. Oceli)
	měkká	I, J, K (na HSS)
	střední	L, M, N, O
	tvrdá	P, Q, R, S
	velmi tvrdá	T, U
	zvlášt' tvrdá	V, W, Z

# Pórovitost

## (Struktura)

- Pórovitostí se rozumí hutnost brusných nástrojů, tj. **objem pórů v % k celkovému objemu**.
- Pórovitost brusných nástrojů je **označována pořadovými čísly 1 až 13**.
- Pórovité kotouče mají velké prostory mezi zrny, nezanášejí se a dobře se chladí, protože přijímají mezi zrna řeznou kapalinu.

Označení	Struktura	Objem pórů [%] ( $\pm 4$ %)
1 2	velmi hutná	3 8
3 4	hutná	13 18
5 6	polohutná	23 28
7 8	pórovitá	33 38
9 10	velmi pórovitá	43 48
11 12 13	zvlášť pórovitá	53 58 63

# Pojivo

Druh pojiva	Označení podle ČSN 22 4010	Složení	Použití
Keramické	V	Směsi různých křemičitanů	Základní pojivo normálních kotoučů s výjimkou prořezávacích
Silikátové	S	Alkalické křemičitany	Omezené použití, např. pro měkké tvarové kotouče nebo drobné nástroje
Magnezitové	O	Cementové pojivo z magnezitu aj.	Omezené použití pro méně přesné broušení
Přírodní šelak	E	Organická látka	Menší pevnost než bakelit. Nástroje na ozubení apod.
Pryž	R	Vulkanizovaná s přísadkou síry	Pro velké rychlosti, hladký povrch obráběný
Umělé pryskyřice	B	Například bakelit	Po keramickém nejdůležitější pojivo. Vhodné pro broušení závitů a pro nárazové broušení
Kovové	—	Slitiny mědi, lehké kovy, litina aj.	Pro diamantové kotouče

Pojivo **pryžové (R)** se využívá pro výrobu velmi tenkých řezacích a drážkovacích kotoučů, kotoučů pro ostření pilek a pod. Jeho elasticity se využívá při výrobě kotoučů leštících.

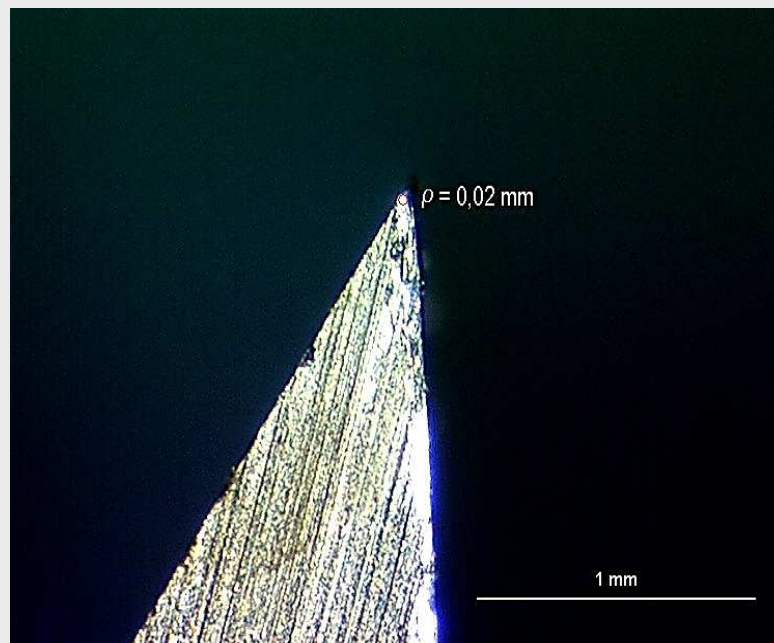
**Magnezitové pojivo (O)** se používá pro výrobu kotoučů na ostření nožů a pilových kotoučů velkých průměrů. Mimo toho se používá pro výrobu různých druhů tvarových segmentů určených pro broušení nekovových materiálů (kameniny a pod.).



## Shrnutí

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

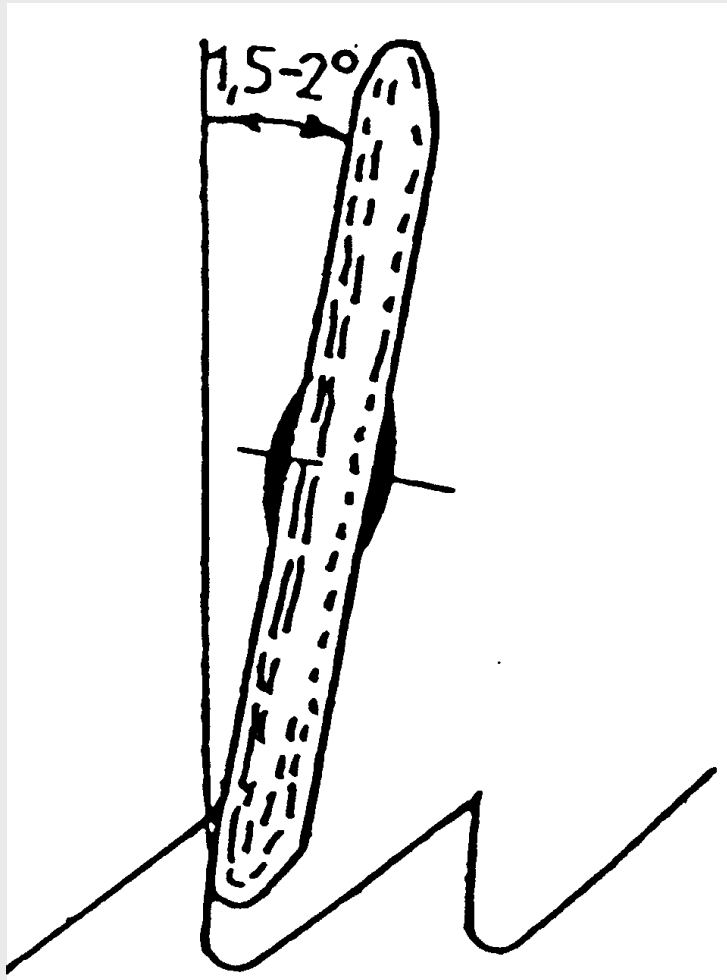
- Umožňují dobré vyostření břitu - poloměr zaoblení břitu se běžně pohybuje v mezích  $\rho = 8$  až  $10 \mu\text{m}$ .
- Nejsou dostatečně odolné proti opotřebení abrazivními materiály, což jsou nejen aglomeráty, ale také např. tvrdé exotické dřeviny.



## *Univerzální automatická ostříčka OPK při broušení pilového pásu*

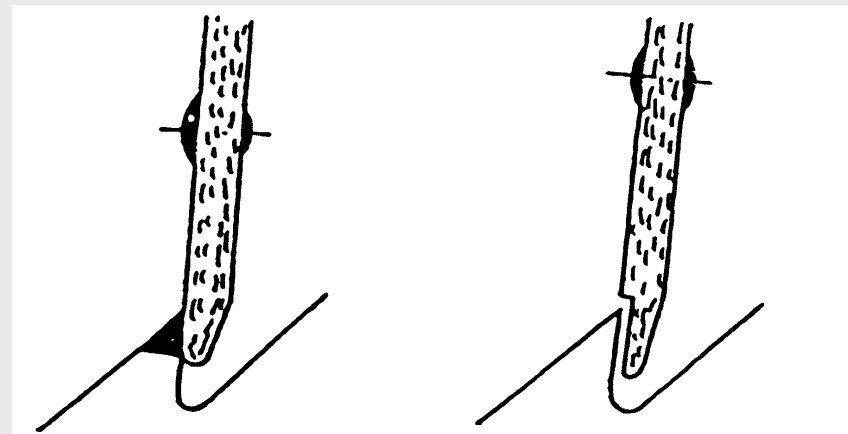


## *Broušení čela zuby*



- Nejběžnější chybou při broušení čela zuby je jeho přehřátí, projevující se zamodráním (shořením) ostří a vytvořením trhlinek.
- Aby k tomuto nedocházelo, je nutné brusný kotouč od roviny čela odklonit o cca 1,5 až 2° a odebírat velmi tenkou třísku tak, aby se naostrilo božní ostří zuby

**Paradoxní otupování  
ostří vytvořenou  
přehřátí ostří hranou na brusném  
kotouči**



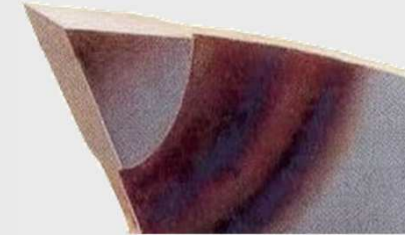
## 2. Stellity



# Chemické složení

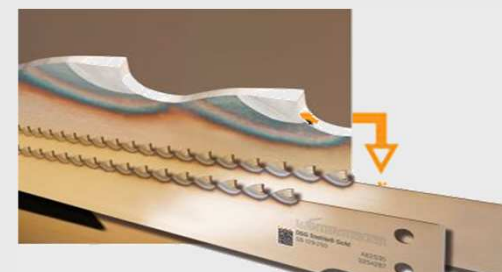
*Stellity jsou neželezné návarové slitiny  
na bázi Cr-Co-W*

- **Složení** Cr - 20÷30%, Co (nebo Ni - dostupnější a lacinější kov než kobalt) – 35÷65%, W - 5÷25% + další prvky ( $\Sigma$  Mo – Fe – Ni – 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.
- Stellity jsou poměrně odolné proti opotřebení, mají malou křehkost a jsou dobře brouditelné.
- Trvanlivost břitu je 5 až 12-ti násobná oproti běžným nástrojovým ocelím a je přibližně poloviční oproti slinutým karbidům.



## Použití stelitových návarů

- Stellit 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.





## Stellitové zuby kotouče pro rozmítací pilu

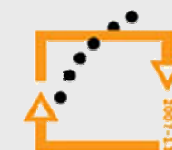


- Stelitové zuby nástrojů mají v porovnání se slinutými karbidy menší náchylnost k poškození břitů vlivem nečistot ve dřevě.

- Velmi dobrá trvanlivost břitu (např. pilové kotouče z nástrojových ocelí - nutné přebroušení po 4h práce, tj. 2x za směnu - stelitové 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



## *Vlastnosti borazonového kotouče*

Kubický nitrid bóru		
	KNB	Boronit, Borazon

- Velmi tvrdý materiál obsahující 43,6 % bóru a 56,4 % dusíku. Kubická mřížka KNB je podobná mřížce diamantu (kostka), ale v mřížce jsou atomy bóru a dusíku. Rozměry mřížky jsou o něco větší než u diamantu, čím se vysvětluje menší tvrdost v porovnání s diamantem.
- KNB vzniká při tlaku 300 - 980 MPa a teplotě 2000°C.

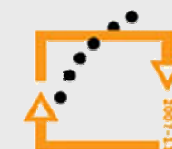


# 3. Slinuté karbidy



# Charakteristika slinutých karbidů HW (v Německu HM, v ČR SK)

- ▶ Slinuté (spékané) karbidy (SK) jsou v podstatě heterogenní sloučeniny vyráběné speciální technologií - práškovou metalurgií.
- ▶ Nositelem vysoké řezivosti jsou karbidy (sloučenina kov+uhlík) vysoce tavitelných kovů (W, Ti, Ta, Nb, Co, Mo).
- ▶ Průkopníkem v oblasti vývoje a průmyslového využití SK byl Karl Schröder (podle patentu 420689 společnosti OSRAM), který na začátku 20-tých let min. století zjistil, že když smíchá práškový wolfram s uhlíkem a speče je, získá poměrně tvrdý materiál, křehkost vyřešil přidáním malého množství kobaltu nebo niklu (tak vznikly první SK WC-Co v letech 1921 až 1923 v oblasti obrábění kovů). Firma Krupp postup zdokonalila a výrobek uvedla na trh s označením Widia.
- ▶ Dřevoobráběcí nástroje jsou opatřovány břitovými destičkami již od druhé poloviny 20. století, které jsou k tělesu nástroje (zubu) obvykle připájeny nebo jsou výměnné a k nástroji upevněné pomocí speciálních úchytů.



## Výroba slinutých karbidů

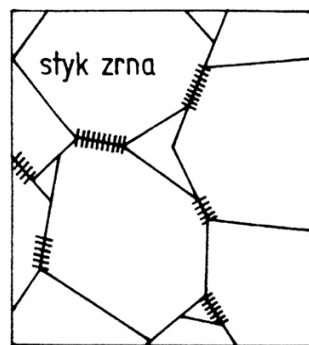
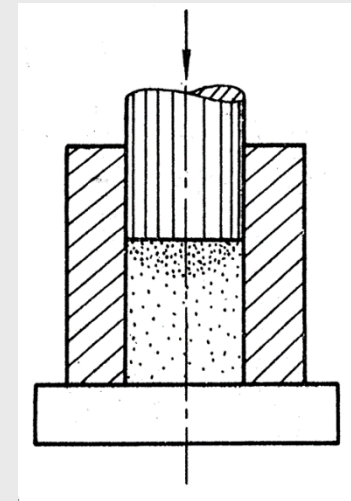
Nejedná se o kov nebo slitinu kovů, vyráběny jsou *práškovou metalurgií* – z *práškové směsi karbidů wolframu, titanu nebo tantalu, spojenou kobaltovým pojivem.*

Zrnitost 0,2  
až 10  $\mu\text{m}$

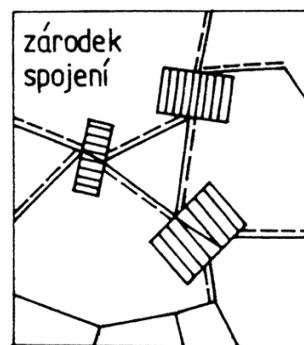


## Lisování a spékání SK

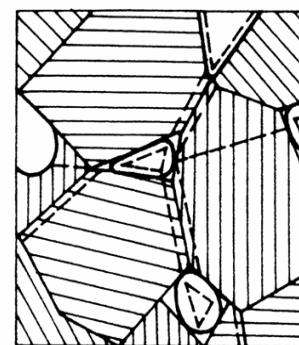
- ▶ Lisování pod tlakem 70 až 420 MPa, při teplotě 600 °C - zpevní se na kompaktní těleso, nicméně můžeme je ještě tvarovat řezáním.
- ▶ Spékání a slinování (spojování) karbidových zrn nataveným kobaltem (1400 až 1600°C), již se mohou jen brousit diamantovými kotouči.



a)



b)



c)



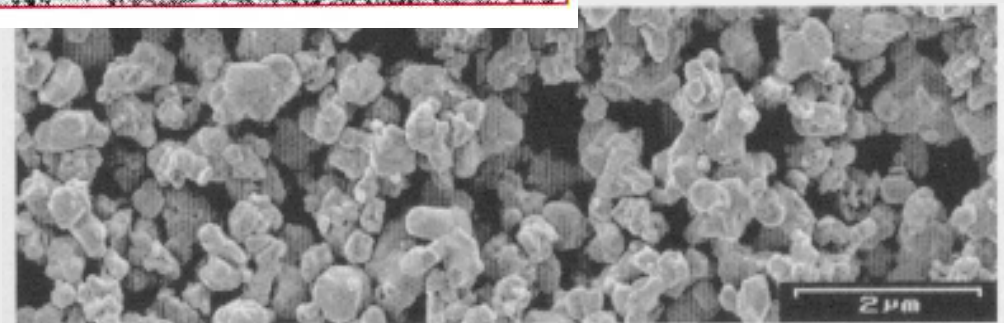
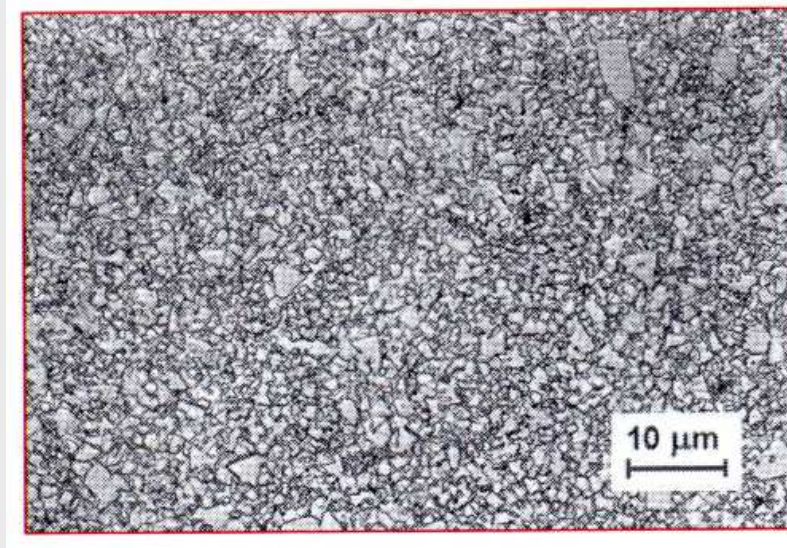


# Karbid wolframu WC

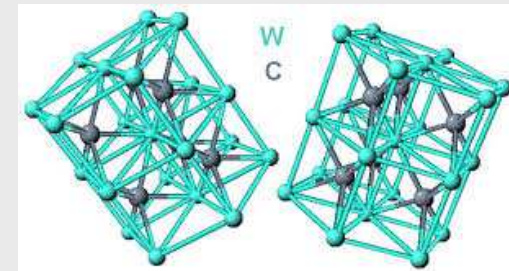
Wolframit (tung-sten, švédsky těžký kámen)  
Wolfram - hustota 19 100 kg/m<sup>3</sup>, Tt = 3400 °C



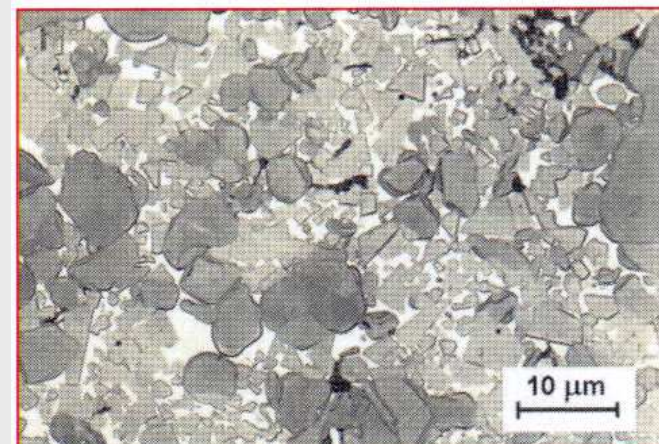
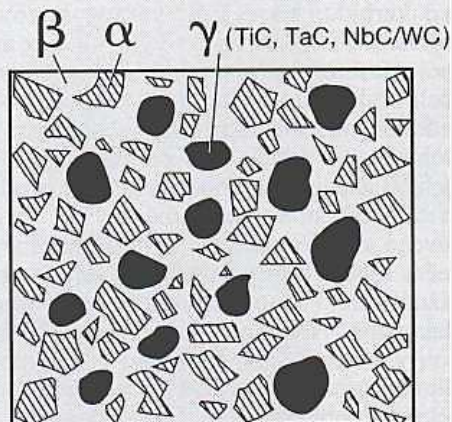
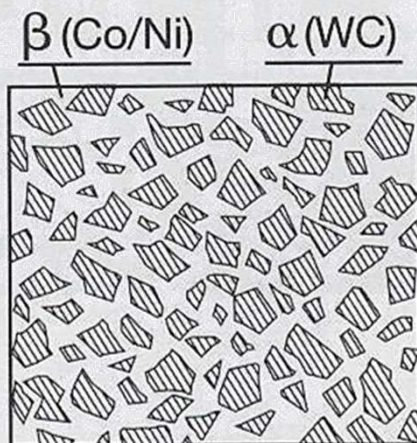
Struktura WC+Co velmi  
jemné zrno



Hexagonální krystalická mřížka



## Chemické složení a vlastnosti

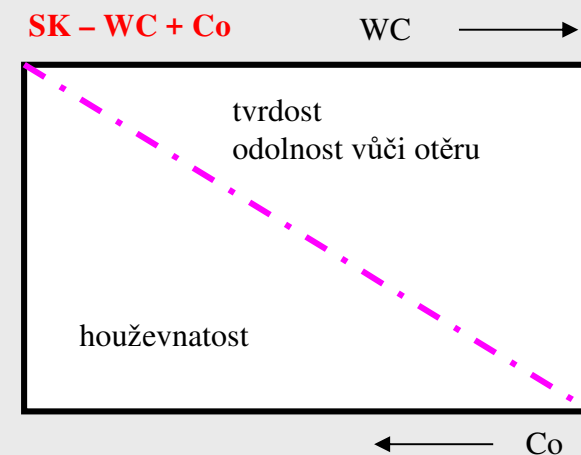


Struktura WC+TiC+Co se středně hrubým zrnem

Druh SK ČSN 22 8001	Chemické složení (%)				Pevnost v ohybu (N/mm <sup>2</sup> )	Měrná hmotnost (g/cm <sup>3</sup> )	Tvrdost HV <sub>30</sub>	Kód ISO 513
	WC	Co	TaC	TiC				
H1	93,5	6	0,5	-	1600	14,9	1780	K10
G1	91	9	-	-	1700	14,7	1650	K20
G2	89	11	-	-	1800	14,35	1400	K40

## Vliv jednotlivých prvků na vlastnosti SK

- ❖ *Karbid wolframu WC* – je nositelem tvrdosti za vysokých teplot, je vysoce odolný proti mechanickému opotřebení.
- ❖ *Karbid titanu TiC* – s rostoucím obsahem zvyšuje odolnost proti opotřebení za vysokých teplot, ale snižuje houževnatost.
- ❖ *Karbid tantalu TaC* – podobně jako TiC, dále zlepšuje odolnost proti teplotním nárazům.
- ❖ *Kobalt Co* slouží jako pojivo a zvyšuje houževnatost SK.

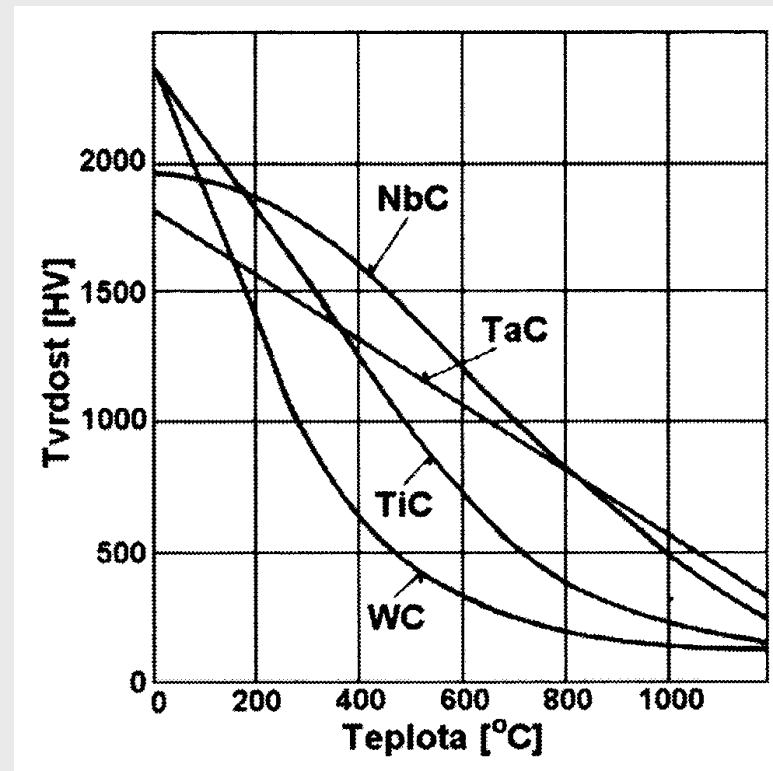




# Rozdělení a tvrdost SK v závislosti na teplotě

Na základě chemického složení jsou SK zařazovány do skupin (podle ISO 513):

- **Skupina K** (jednokarbidové):  
WC (87 ÷ 92)% + Co (4 ÷ 12)% (červené značení)
- **Skupina P** (dvojkarbidové):  
WC (30 ÷ 82)% + TiC (8 ÷ 64)% + Co (5 ÷ 17)% (modré značení)
- **Skupina M** (vícekarbidové):  
WC (79 ÷ 84)% + TiC (5 ÷ 10)% +  
TaC.NbC (4 ÷ 7)% + Co (6 ÷ 15)%  
(žluté značení)

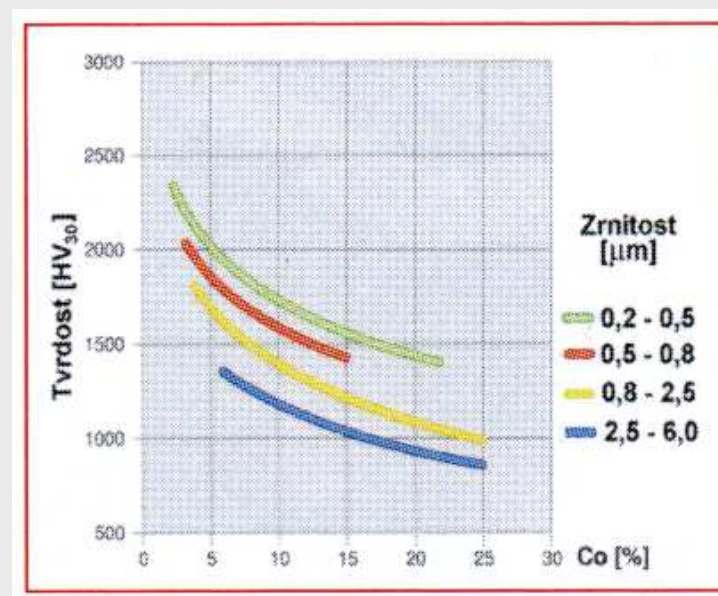


## Použití SK pro obrábění materiálů na bázi dřeva

ISO	Zrno $\mu\text{m}$	Pojivo Co %	Tvrdość HV	Měkké dřevo	Tvrde dřevo	DTD	MDF	Poznámka
K 01	0,5 – 0,7	3	2150	--	o	+++	+++	T03SMG (Tigra)
K10	0,8 – 1,3	6	1780	+	+	-	+	HC 05 (Ceratzit)
K20	0,7 – 1,0	9	1650	++	++	o	o	T10MG (Tigra)
K30	1,4 – 2,5	8	1450	+	+	-	--	T08MF (Tigra)
K40	1,4 – 2,5	11	1400	+	o	--	--	T10MF (Tigra)

+++ 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



## *Trvanlivost břitu ze SK*

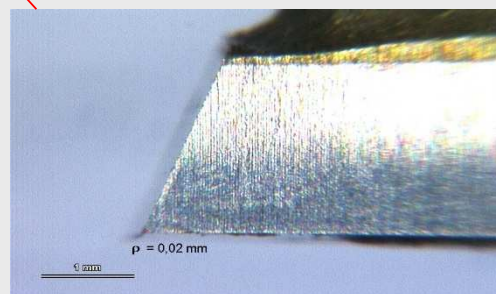
- ▶ Geometrie břitu - úhel břitu by neměl být menší než  $45^\circ$  (nebezpečí vydrolování a vylomení břitu, zejména při nárazu na suk ve dřevě!)
- ▶ Trvanlivost 10 až 30 krát vyšší než u nástrojových ocelí, neklesá i při větších řezných rychlostech.
- ▶ Dosažitelný poloměr zaoblení ostří  $\rho = 15$  až  $20 \mu\text{m}$  je logicky vyšší než u nástrojových ocelí.



## *Pilové kotouče s břitovými destičkami SK*



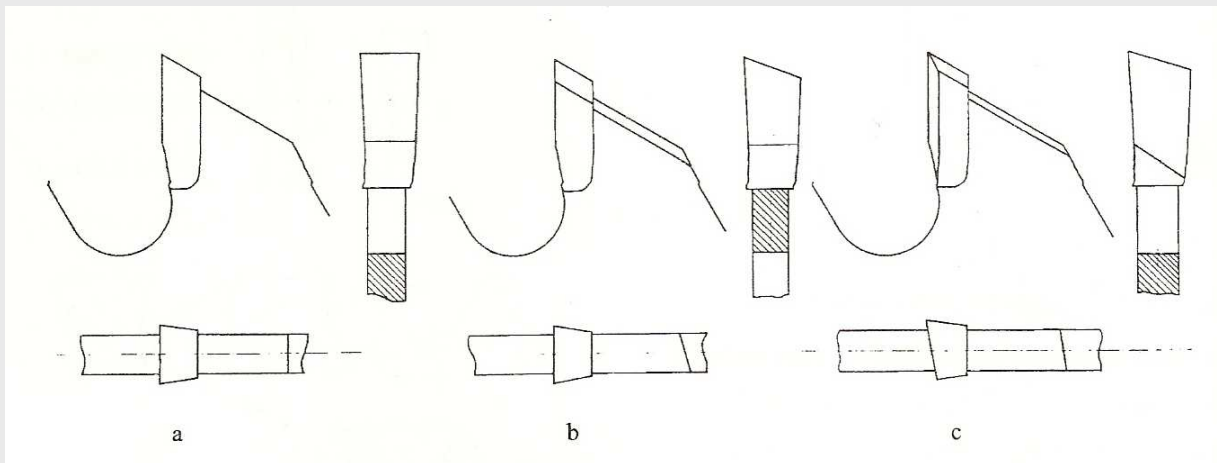
**(Pilana 22 53 97 – 11 TFZ L) :**  
průměr  $D = 350$  mm,  
tloušťka řezné spáry  $s = 3,6$  mm,  
počet zubů  $z = 108$ .  
úhel čela  $\gamma = 5^\circ$ ,  
úhel břitu  $\beta = 75^\circ$ ,  
úhel hřbetu  $\alpha = 10^\circ$ ,  
úhel řezu  $\delta = 80^\circ$ .



**Poloměr ostří  $\rho = 0,02$  mm**

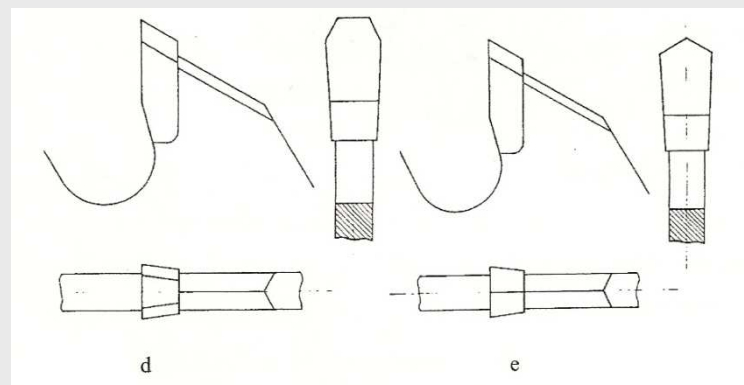


## Tvary zubů ze slinutých karbidů



*a – přímý, b,c – střídavý, d – trapézový, e – střechovitý*

Tvary zubů jsou velmi rozličné a často závislé na konkrétním použití pilového kotouče. Jako nejčastější tvar zubu pilového kotouče můžeme označit přímý (a) nebo střídavý (b, c). Používají se pro podélné řezání měkkého i tvrdého dřeva, dřevotřískových a dřevovláknitých desek, překližek a plastických hmot. Další varianty zubů jsou trapézový a střechovitý (obr. d,e), které se používají zejména na laminované dřevotřískové desky. Existují i další varianty a různé kombinace tvarů zubů.



# Ostření slinutých karbidů

## Postup operací:

- **Operace č. 1** - kotouč se nejdříve brousí obvodově, nejvýše o 0,5 mm až se vytvoří min. fasetka na všech zubech (podle stupně otupení), jedná se o egalizaci – sjednocení zubů do řezné kružnice.
- **Operace č. 2** - jemné ostření čela zubů pod úhlem o 2° menším než je úhel čela.
- **Operace č. 3** - hrubé ostření hřbetů zubů, až se fasetka po obvodovém broušení zúží, na některých zubech může být ještě patrná min. fasetka.
- **Operace č. 4** - jemné ostření hřbetů zubů až zmizí všechny obvodové fasetky.

**Poznámka:** Základní způsob ostření se provádí u kotoučů s velkým otupením nebo po každém pátém normálním ostření běžně otupených kotoučů. Normální způsob ostření je shodný se základním, avšak odpadá operace č.1.

## *Parametry ostření*

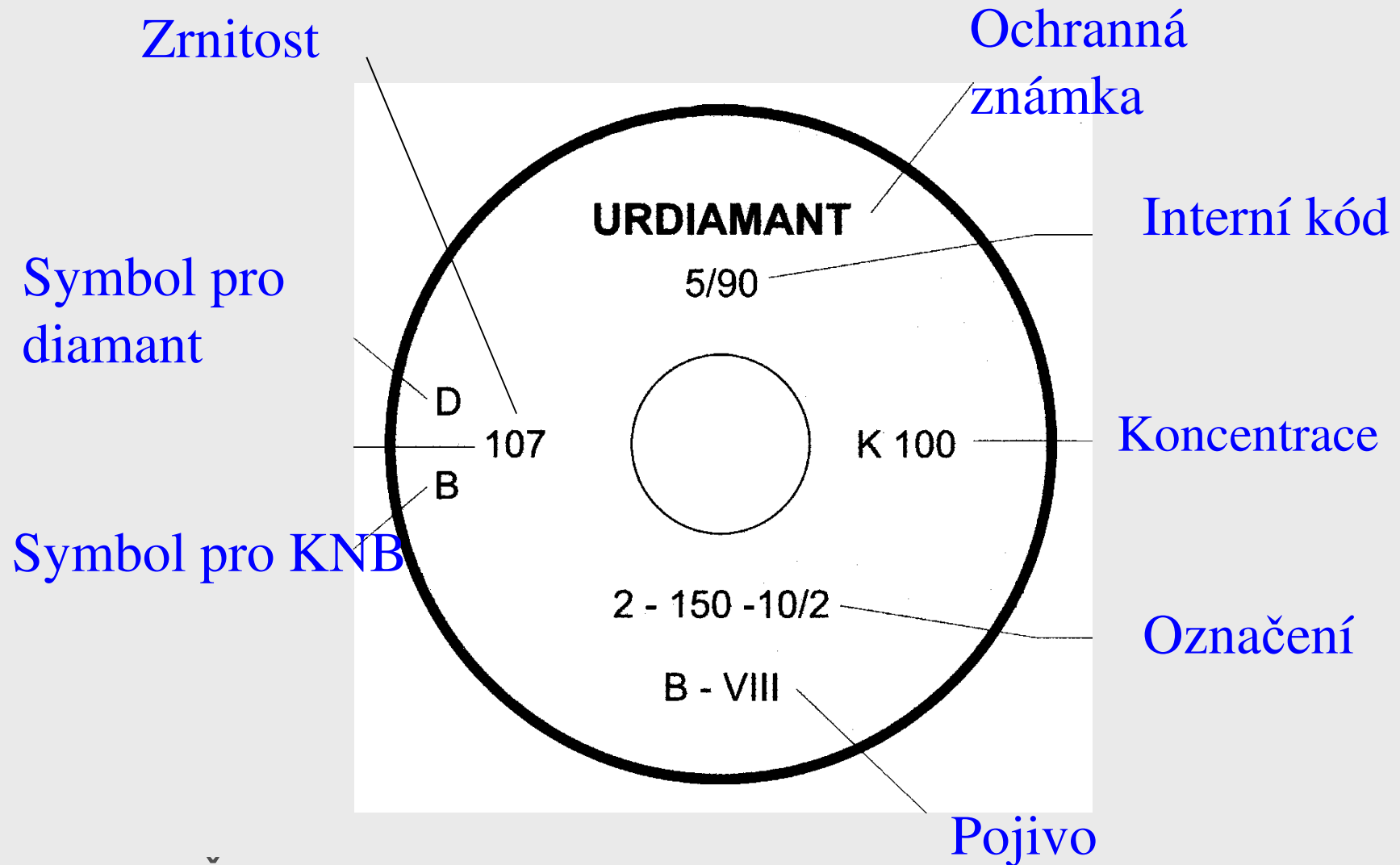
- SK zásadně brousíme strojně diamantovými kotouči pod proudem chladící kapaliny.
- Ostřit je nutno ve směru proti břítu.
- Dovolené úchytky břitů od řezné kružnice  $\pm 0,01$  mm

Směrné hodnoty při broušení diamantovými kotouči o průměru 100 až 125 mm:

	<i>hrubé ostření</i>	<i>jemné ostření</i>
• zrnitost	D 107	D 64
• přísv (mm) na dvojzdvih	0,02 až 0,03	0,005 až 0,01
• posuv (m/min)	2 až 3	0,5 až 1,5
• obvodová rychlost (m/s)	15 až 20	25 až 30



# *Diamantové kotouče*



## *Koncentrace diamantových zrn*

= váhové množství diamantového prášku (zrn) v 1 cm<sup>3</sup> brusného materiálu.

Za 100 % koncentraci byl zvolen obsah 0,88 g diamantu v 1 cm<sup>3</sup> brusného materiálu, což je asi 25 % jejího objemu.

Koncentrace [%]	25	50	75	<b>100</b>	125	150	175	200
Obsah diamantu v [g] v 1 cm <sup>3</sup> brusné vrstvy	0,22	0,44	0,66	<b>0,88</b>	1,1	1,32	1,54	1,76
Obsah diamantu v ct (karátech) na 1 cm <sup>3</sup> brusné vrstvy	1,1	2,2	3,3	<b>4,4</b>	5,5	6,6	7,7	8,8

- 25 % – u velmi tenkých kotoučů (5ct =1g diamantových zrněk)
- 100 % – u strojního ostření nástrojů
- 150 % – u tvarového ostření

Jako pojivo diamantových zrněk se používají slitiny mědi (nejčastěji bronz)

## *Zrnitost diamantových nástrojů*

Zrnitost		Použití	Drsnost
D 126	B 151	Hrubování	0,8
D 107	B 126		
D 91	B 107		
D 76	B 91	Dokončování	0,4
D 64	B 76	<b>Ostření rezných nástrojů ze SK</b>	<b>!!!! 0,4 !!!!</b>
D 54	B 64	Dokončování	0,2
D 46			

## *Specializovaná automatická bruska fy Vollmer*



[http://www.vollmer-group.com/uploads/media/VOLLMER\\_CP\\_200\\_Detail\\_03.jpg](http://www.vollmer-group.com/uploads/media/VOLLMER_CP_200_Detail_03.jpg)

The CP 200 sharpening machine is suitable for the machining of carbide-tipped circular saw blades with varying tooth geometries on the diameter of 650 millimetres.

# *Hobby ostrička*



## Shrnutí

- SK jsou vhodné na nástroje pracující vysokými řeznými rychlostmi a na nástroje pro opracování abrazivních (aglomerovaných) a kompozitních materiálů.
- SK se vyznačují vysokým výkonem a trvanlivostí břitu nástroje - převyšující několikanásobně trvanlivost nástrojových ocelí a to 10 až 30 x.
- !!Pozor!! – nesnáší prudkou změnu teplot, zejména při broušení (velká náchylnost ke vzniku trhlin) – je nutno intenzivně chladit.
- Na nástroj se pájí (pájka na bázi Ag a Cu) – indukční ohřev zubu nástroje, nebo se používají výměnné břitové destičky (např. u frézovacích hlav).







## 4. Super tvrdé materiály



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# Charakteristika diamantů

V souvislosti s vysokoproduktivním obráběním materiálu na bázi dřeva, zejména obrábění abrazivních materiálů vysokými rychlostmi na CNC strojích se stále častěji používají diamantové břity nástrojů.

*V zásadě se používají syntetické diamanty ve formě polykrystalických diamantů (PCD), poprvé vyrobený firmou General Electric počátkem padesátých let minulého století přeměnou grafitu na PCD kompak.*

## Vybrané vlastnosti:

**Tvrdoost** - 10 (mikrotvrdoost cca 98 GPa) nejvyšší tvrdoost v Mohsově stupnici,

**Broušení** - diamant je možné brousit na plochách štěpného osmistěnu – brousí se diamantovým práškem,

**Hustota** -  $3,52-3,6 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

**Lom světla** – velmi vysoký – index lomu  $n = c/v = 2,4$  ( $c$  – rychlost světla ve vakuu)

**Tepelná vodivost** – ze všech látek nejvyšší vůbec - až  $\lambda=2300 \text{ W/m} \cdot \text{K}$  (druhé je Ag s  $429 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ )

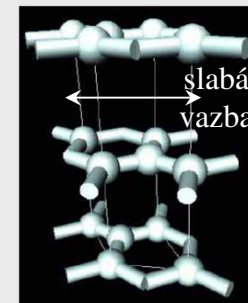
**Modul pružnosti** -  $E = 820$  až  $1250 \text{ GPa}$  (pro srovnání rychlořezná ocel má  $217 \text{ GPa}$ )

**Poznámka:** Název „diamant“ pochází ze starořeckého slova „adamas“ co znamená nepřemožitelný nebo nezničitelný.

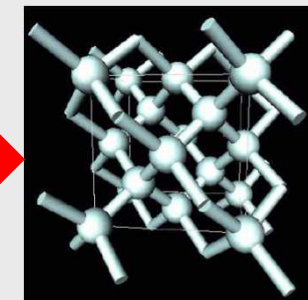
Číré přírodní diamanty jsou z 99,97% tvořeny čistým uhlíkem. Hmotnost diamantu se udává v karátech, 1 karát vyjadřuje hmotnost 200 mg (vyjádření pro diamanty a jiné drahokamy). Diamant o hmotnosti 1g má tedy 5 ct. U zlata 1 karát označuje 1/24 celkové hmotnosti předmětu. Ryzí zlato se tedy vždy označuje jako 24 karátové. 18 karátové zlato obsahuje 18/24 čistého zlata a 6/24 příměsí.



*Cullinan – Hvězda  
jihu největší diamant  
na světě 3106 ct =  
621 g*



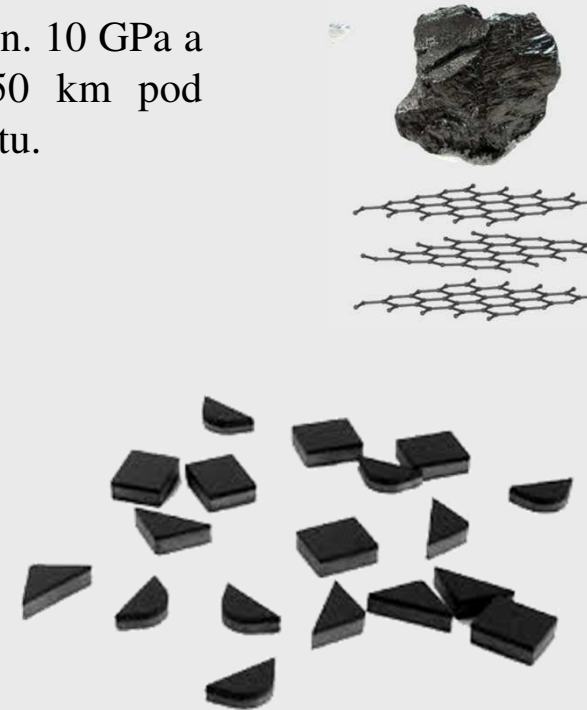
*Hexagonální mřížka  
grafitu*



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

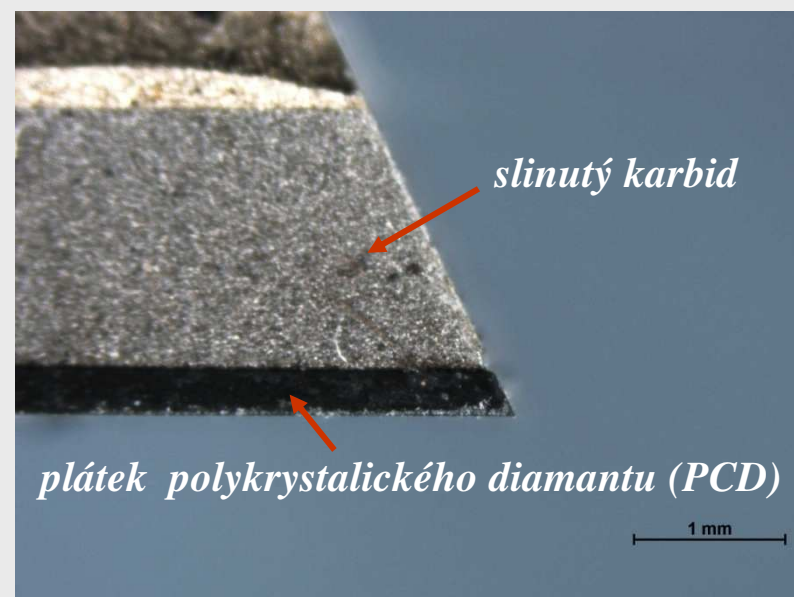
# Výroba syntetického diamantu

- K výrobě je nezbytný grafit, který se při vysokých tlacích min. 10 GPa a teplot kolem 3000 °C přeměňuje, podobně jako cca 150 km pod zemským povrchem před mnoha milióny lety na zrna diamantu.
- Takto vzniklá zrnka (2 až 20 μm) diamantu se smísí se zrnky kobaltového (nebo Ni) pojiva. Metodou tavného slinování HPHT se vytvoří homogenní souvislá vrstva polykrystalického diamantu s vlastnostmi jako je tvrdost, tepelná vodivost, houževnatost, odolnost proti tlaku blížkými monokrystalickému diamantu.
- **Polykrystalický diamant se většinou vyrábí ve formě tlustých vrstev (až 0,5 mm) slinovaných na nosiči ze slinutého karbidu ve tvaru polotovarů (destiček).**



## Polykrystalické diamanty (PKD)

- 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.



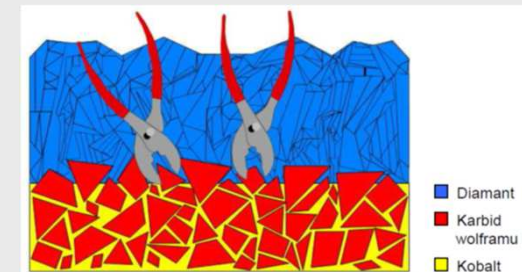
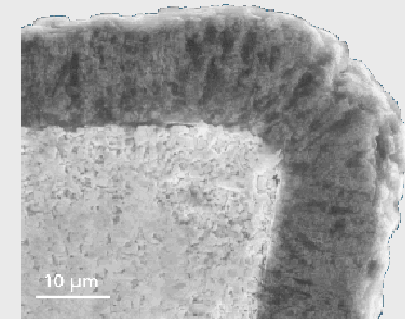
*Detail zubu pilového kotouče řady Diamond Line  
firmy Pilana*

**Poznámka:** Zahraniční firmy LEITZ nebo LEUCO při konstrukčním řešení fréz používají dva systémy připevnění destiček z PKD. Buď jsou plátky SK+PKD přímo připájeny na zub (břit) nástroje, nebo jsou destičky 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.

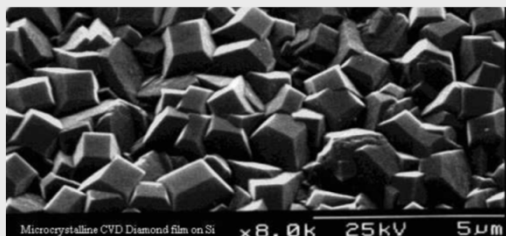
**Pozor:** PKD je velmi křehký a postrádá chemickou stabilitu za zvýšených teplot, má afinitu k železu → diamant je schopen se rozpouštět a reagovat s tímto kovem. Je obecně známo, že diamanty **nejsou** vhodné k obrábění ocelí.

# 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 rekrystalizací 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.



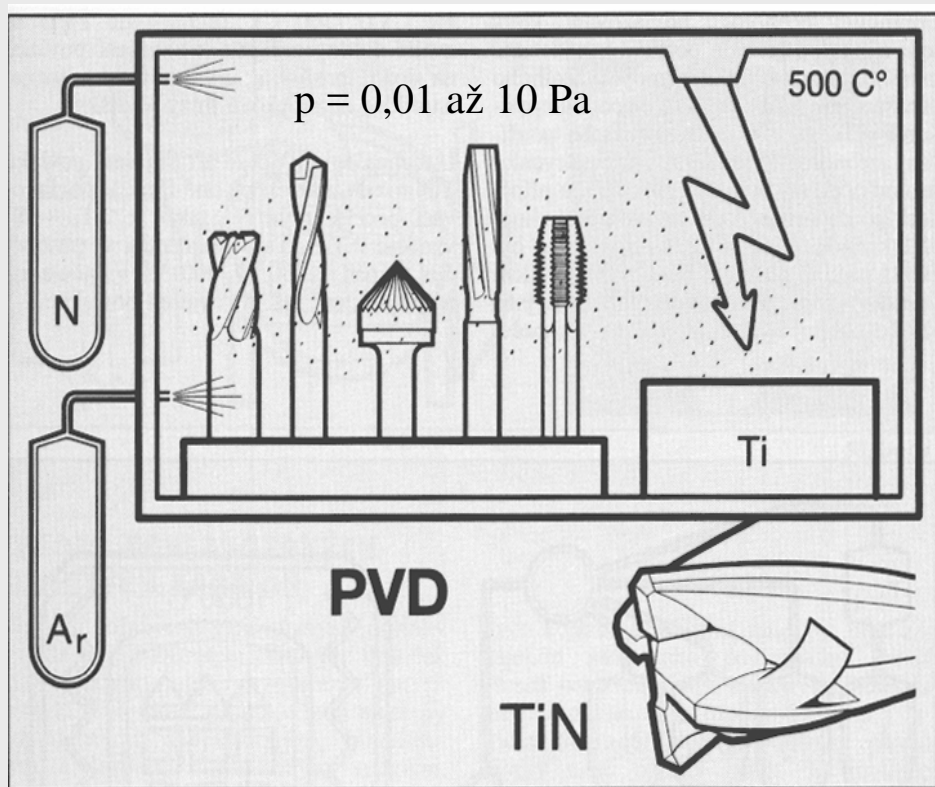
## Super tvrdé povlaky nitridů kovů

- 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  $\mu\text{m}$ .





## Technologie PVD



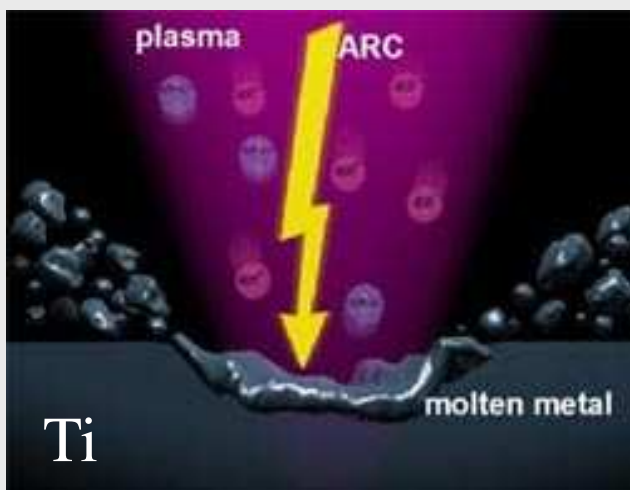
- Před vlastním procesem povlakování se do vyhřáté vakuové komory na provozní teplotu zavádí argon Ar, který vysokým napětím přivedeným na nástroje ionizuje a jeho atomy začnou čistit povrch nástroje vyražením atomů nečistot (C, O<sub>2</sub>, zbylých kovů)

- 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 N<sub>2</sub>, takže z 2Ti + N<sub>2</sub> 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.



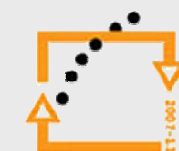
## Nízkonapěťový oblouk



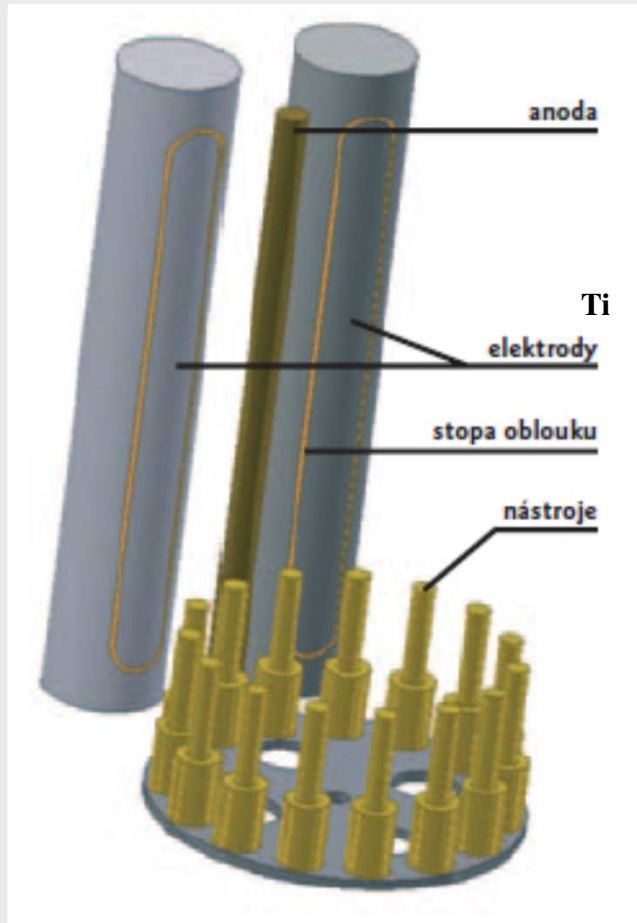
- Nízkonapěťový oblouk je výhodný pro svoji vysokou rychlost odpařování a vysokou ionizaci plazmatu. Velmi zajímavé jsou jeho parametry. Hoří v místě katodové skvrny o průměru řádově 10  $\mu\text{m}$ , kde dosahuje teploty cca 15 000  $^{\circ}\text{C}$ . Za těchto podmínek lze odpařit prakticky každý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



EVROPSKÁ UNIE



## Schéma PVD zařízení

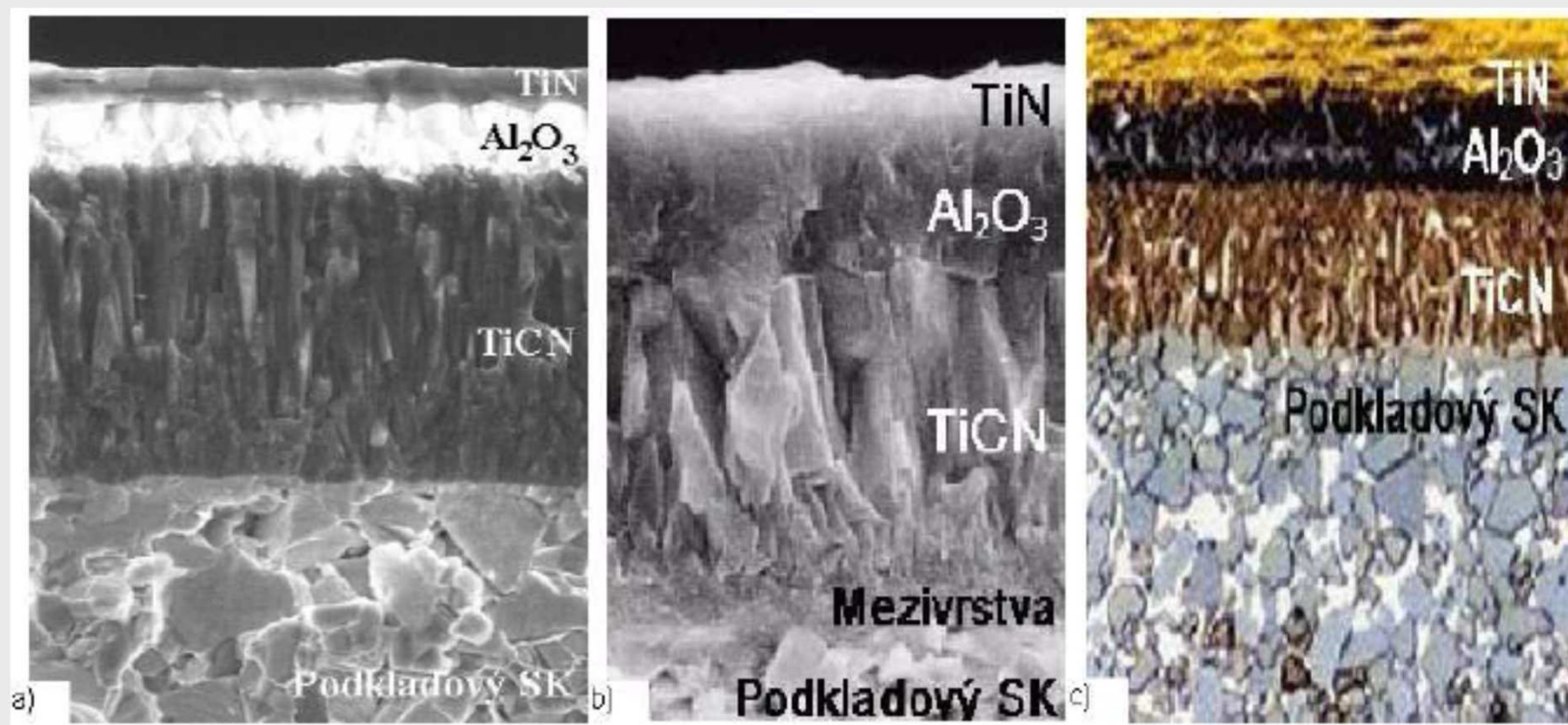


Materiál je odpařován a zároveň ionizován obloukem z elektrod. Ionizovaný materiál (např.  $Ti^+$ ,  $Ti^{2+}$ , atd.) je urychlovaný směrem k nástrojům záporným předpětím, které je na ně přiloženo. Cestou ionizuje ještě atomy plynné atmosféry  $N_2$ . Ionizované atomy po dosažení povrchu nástrojů vytváří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





## *Povlakovaný slinutý karbid pod mikroskopem*



*Multi vrstvy PVD 3. generace*  
a) Mitsubishi b) Kyocera c) Sandvik Coromat

## *Povlakovací zařízení fy PLAIT*





TiN

Teplota nanášení povlaku	450°C
Mikrotvrdost	2200 - 2700 HV
Barva	zlatá
Tepelná odolnost	550°C - 600°C
Vlastnosti	Nejrozšířenější povlak. Tvoří základ pro širokou škálu dalších vrstev. Je houževnatý.
Užití	Pro téměř všechny druhy nástrojů. Nižší tvrdost a vyšší pružnost lze využít pro tvářecí nástroje (razníky, tažníky, tažnice..), střížné nástroje (střížníky, matrice,...), řezné nástroje (vrtáky, frézy, závitníky, protahovací trny,...)





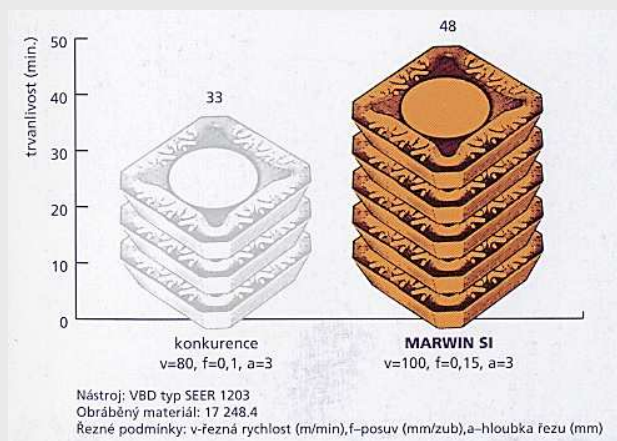


TiAlN

Teplota nanášení povlaku	450°C
Mikrotvrdost	3500 HV
Barva	černofialová
Tepelná odolnost	750°C
Vlastnosti	Tvrký, otěruvzdorný povlak, umožňuje při obrábění "na sucho". Vyniká korozní odolností.
Užití	Řezné nástroje, tepelně namáhané nástroje (formy), zvýšení otěruvzdornosti a korozní odolnosti součástí.

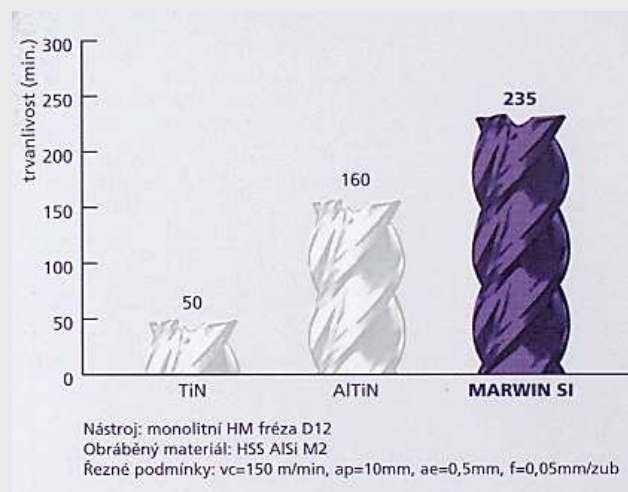


## Trvanlivost nástrojů s povlaky



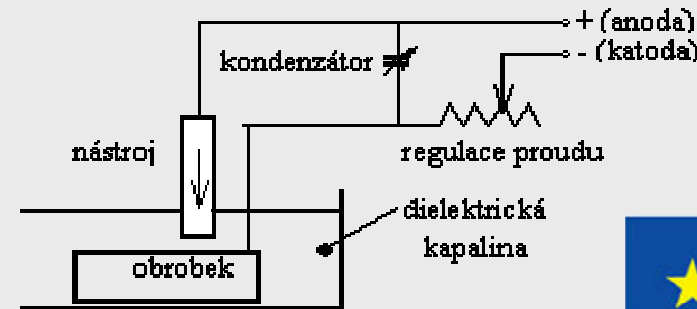
- Zvýšení řezné rychlosti o 20 až 40% a posuvu v rozsahu 30 až 70%.

- Některé výzkumy v oblasti obrábění kovů uvádějí zvýšení trvanlivosti řezné hrany povlakovaných HSS nástrojů o 50 až 300% což není zanedbatelné zejména pro osové a tvarové nástroje.



# Ostření super tvrdých materiálů

- Jistým, problémem širšího nasazení v dřevařských provozech, je a byl technologicky a servisně náročný servis (ostření a opravy převážně pájených, ale i výměnných břitových destiček).
- Super tvrdé materiály lze např. brousit směsí diamantového prachu a oleje, elektrojiskrově nebo laserem.
- Výrobci dřevoobráběcích nástrojů často používají technologii elektrojiskrového broušení. Obecně je elektrojiskrové obrábění založeno na působení impulsního elektrického výboje mezi dvěma elektrodami. Nástroj je připojen ke katodě, obrobek k anodě. Elektrický výboj uvolní z obrobku částici materiálu, která se pohybuje k nástroji. Aby se na nástroj nepřivařila, probíhá výboj v dielektrické kapalině, která částici ochladí, případně odplaví.

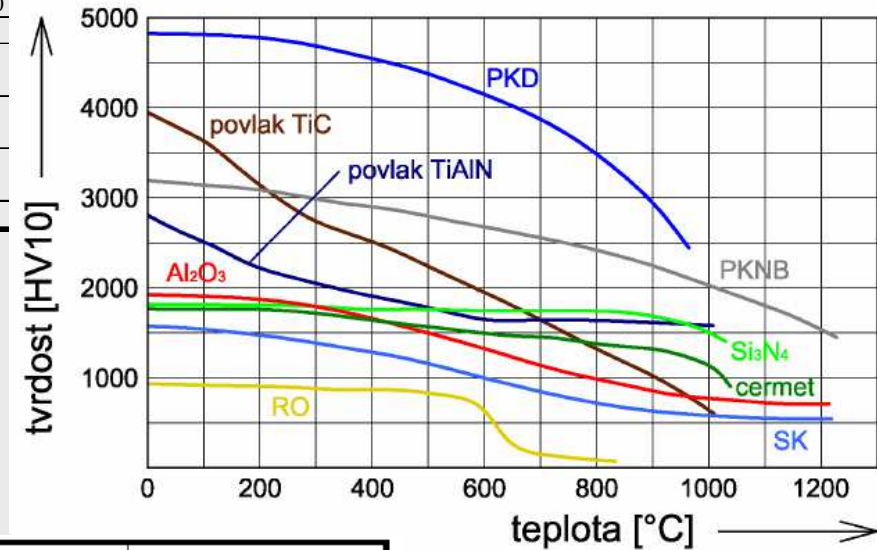


*nástroj - měď mosaz nebo grafit  
pracovní kapalina - petrolej nebo  
transformátový olej  
zdroj impulsního výboje - kondenzátor  
nebo polovodiče*



## Srovnání vlastností nástrojových materiálů

	Monokrystal diamantu	CVD	PKD	SK (K10)
Hustota [g/cm <sup>3</sup> ]	3,52	3,51	4,10	15,00
E [GPa]	1050	1180	840	600
Houževnatost [MPa]	3,4	5,5	9,0	11,0
Tvrdość (Knoop) [GPa]	50 - 100	85 - 100	65 - 80	18
Tepelná vodivost [W/mK]	1000 - 2000	750 - 1500	500	100
Tepelná roztažnost	2,0 - 2,5	3,7	4,0	5,4



	RO (HSS)	STELIT	SK (HW)	PKD
Tvrdość (GPa) Podle Knoopa	10	9,5	16 ÷ 18	65 ÷ 80
Úhel řezného klínu (břítu)	35° ÷ 45°	40° ÷ 45°	50° ÷ 55°	60° ÷ 75°

# Děkuji za pozornost

