VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

# APLIKACE ŘEZNÝCH MATERIÁLŮ A JEJICH VYUŽITÍ VE STROJÍRENSKÉM PRŮMYSLU

**APPLICATION AND UTILIZATION OF CUTTING MATERIALS IN ENGINEERING INDUSTRY**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

**AUTOR PRÁCE** **JIŘÍ LOJDA**
AUTHOR

**VEDOUCÍ PRÁCE** **Ing. Josef SEDLÁK**
SUPERVISOR

BRNO 2008

Zadání

Licenční smlouva

## ABSTRAKT

Bakalářská práce je průřezově zaměřena na popis řezných materiálů v širokém spektru strojírenského průmyslu. Cílem práce je komplexní rozbor a charakteristika řezných materiálů se zohledněním na nejnovější poznatky a stávající vývojové trendy.

**Klíčová slova**

Řezné materiály, trendy, oblasti použití, novinky.

## ABSTRACT

The Thesis Work is focused on the description of cutting materials in a wide spectrum of the machinery industry. The goal of the work is a complex analysis and characteristics of cutting materials considering the latest technical knowledge and current development trends.

**Key words**

Cutting material, trends, application field, news.

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

LOJDA, JIŘÍ. *Aplikace řezných materiálů a jejich využití ve strojírenském průmyslu: Bakalářská práce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, květen 2008. 44 s., 9 příloh. Vedoucí práce Ing. Josef Sedlák.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Aplikace řezných materiálů a jejich využití ve strojírenském průmyslu vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

22.5.2008 ……

Lojda Jiří

**PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji tímto Ing. Josefu Sedlákovi za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

# OBSAH

Abstrakt……4
Čestné prohlášení……5
Poděkování……6
Obsah ……7
Úvod ……8
1. Charakteristika řezných materiálu z různých hledisek……9
1.1. Nástrojové oceli……9
1.2. Rychlořezné oceli ……10
1.3. Slinuté karbidy ……11
1.4. Cermety……21
1.5. Řezná keramika……22
1.6. Supertvrdé řezné materiály……23
2. Rozbor současného stavu problematika trendy……27
2.1. Současný vývoj nástrojových materiálů……27
2.2. Současné povlaky řezných materiálů……27
2.3. Moderní povlakovací metody……31
2.4. Jaká je očekávaná budoucnost řezných materiálů a nástrojů……32
3. Oblasti použití, technologické aplikace……33
4. Technicko-ekonomické hodnocení ……39
Závěr……42
Seznam použité literatury……43
Seznam použitých symbolů a zkratek……45
Seznam příloh……46

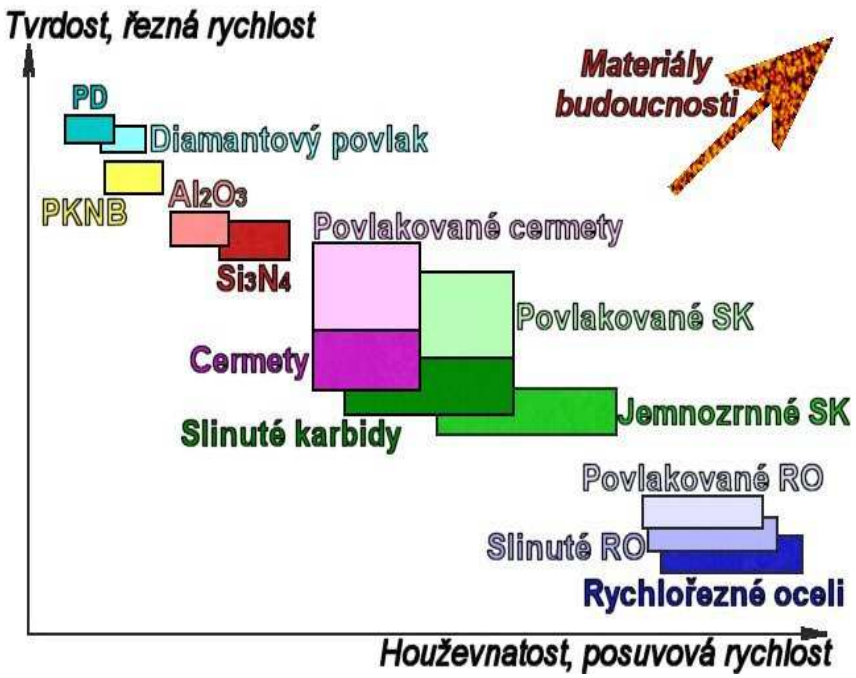
# ÚVOD

Strojírenská technologie obrábění je průmyslové odvětví, které se v současné době velmi rychle rozvíjí. Za poslední desetiletí nastal velmi rychlý pokrok ve vývoji řezných nástrojů.

Dnešní doba nám nabízí různé druhy materiálů od rychlořezných ocelí až po supertvrdé řezné materiály. V součastné době ani v blízké budoucnosti nelze očekávat objevení zcela nového řezného materiálu. Úkolem není hledání nových materiálů, ale zdokonalení technologie výroby a optimální využití již známých řezných materiálů, u kterých máme přesně vymezenou oblast užití, protože do budoucna patrně nebude existovat univerzální materiál, který by umožňoval neomezenou aplikaci, bez ohledu na limitující faktory.

Dnes již každý významný výrobce nástrojů a nástrojových matriálů uvádí ve svých technických příručkách a prospektech všechny potřebné informace o nejvýhodnějších oblastech užití vyráběných a dodávaných řezných matriálů.

Úkolem této bakalářské práce je komplexní rozbor a charakteristika řezných materiálů se zohledněním na nejnovější poznatky a stávající vývojové trendy. (2,8)




Obr. 1.1 Použití řezných materiálů (8)

# 1 CHARAKTERISTIKA ŘEZNÝCH MATERIÁLŮ Z RŮZNÝCH HLEDISEK

## 1.1 Nástrojové oceli

Na nástrojové oceli jsou kladeny často protichůdné požadavky. Některé nástroje musí mít vysokou tvrdost a pevnost, jiné vysokou houževnatost. U nástrojů pracujících za tepla musí zůstat mechanické vlastnosti zachovány i za zvýšených teplot. U všech nástrojů je požadována vysoká odolnost proti abrazivnímu a adheznímu opotřebení, u některých i za zvýšených teplot. Nástrojové oceli musí mít také vysokou čistotu, tj. nižší obsah vměstků, a rovnoměrně rozložené karbidy v matrici, aby se snížilo nebezpečí praskání nástrojů při kalení a vyštipování břitu za provozu. U ocelí na nástroje s většími průřezy nebo složitými tvary je třeba zaručit také dostatečně velkou prokalitelnost. (2,8)

V rámci dosud používaného pětimístného značení patří nástrojové oceli do třídy 19, nově zaváděné označování podle norem EU je ale zcela odlišné.

### Nelegované oceli

Na vlastnosti těchto ocelí má největší vliv obsah uhlíku. Tvrdost oceli v zakaleném stavu vzrůstá s obsahem uhlíku, snáší teplotu břitu do 220℃ a řezné rychlosti do 15 m/min. Avšak v současné době ztrácejí na významu a jsou nahrazovány legovanými ocelemi. (16)

**Příklad**: Nelegovaná ocel 19 222

Tab. 1.1 Nelegovaná ocel 19222 (16)

| Prvek: | C | Mn | Si | P | S | Cr | Ni |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Chemické složení: [%] | 1,05 - 1,2 | 0,2 - 0,4 | 0,15 - 0,3 | 0,3 | 0,35 | 0,2 | 0,15 |

Tepelné zpracování: kalení: 751 - 770℃ do oleje, popouštění: 100 - 205℃, tvrdost min. 64 HRC.

### Legované oceli

Hlavními legujícími prvky těchto ocelí jsou karbidotorné prvky Cr, V, W, Mo, které vytváří tvrdé a až do vysokých teplot stálé karbidy. Další legující prvky Ni, Si a Co nejsou karbidotvorné. Oproti nelegovaným ocelím jsou charakteristické větší prokalitelností a zvýšenou odolností proti popouštění, avšak jsou náročnější na tepelné zpracování. Snáší teplotu břitu 250℃ - 350℃ a řeznou rychlost 15 - 25 m/min. (16)

**Příklad**: Legovaná ocel 19 712

Tab. 1.2 Legovaná ocel 19 712 (16)

| Prvek: | C | Mn | Si | P | S | Cr | Ni | V | W |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Chemické složení:[%] | 1,15 - 1,3 | 0,4 - 0,7 | 0,17 - 0,35 | 0,03 | 0,035 | 1,45 - 1,8 | 0,1 - 0,2 | 0,1 - 0,2 | 1,2 - 1,6 |

Tepelné zpracování: kalení: 810 - 850 do oleje, popouštění: 100 - 300 ℃, tvrdost: min. 62 HRC.

Tab. 1.3 Rozdělení, značení a užití podle chemického složení (8)

| **Oceli** | | **Nelegované** | **Legované** | **Vysokolegované (rychlořezné)** |
|---|---|---|---|---|
| **Označování** | | 19 0xx - 19 2xx | 19 3xx - 19 7xx | 19 8xx |
| **Obsah uhlíku [%]** | | 0,5 - 1,5 | 0,8 - 1,2 | 0,7 - 1,3 |
| **Obsah legujících prvků [%]** | **Celkem** | < 1,0 | 10 - 1,2 | > 30 |
| | **Jednotlivé prvky** | desetiny | jednotky | až desítky |
| **Legující prvky** | | Mn, Si, Cr | Cr, W, Mo,V, Mn, Si, Ni | W, Mo, Cr, V Co |
| **Kalicí prostředí** | | voda | olej | vzduch |
| **Tvrdost po kalení (HRC)** | | 62 - 64 | 66 | 64 - 68 |
| **Užití** | | ruční nástroje nářadí (nůžky, sekáče, pilníky, pilky na kov | strojní nástroje pro nižší hodnot $v_c$ (např. protahovací trny) | strojní nástroje (nože, frézy, vrtáky, výstružníky, atd.) |

## 1.2 Rychlořezné oceli

Rychlořezné oceli mají své zcela specifické vlastnosti a využitelnost, zejména pro vysocevýkonné řezné nástroje. Obsahují karbidotvorné prvky W, Cr, V, Mo a nekarbidotvorný Co. Uhlíku obsahují zpravidla méně než 1%. Podle obsahu legujících prvků a vlastností jsou vhodné pro řezné nástroje na obrábění oceli, oceli na odlitky o vysoké pevnosti a také pro těžkoobrobitelné materiály.

Jsou charakteristické střední odolností proti opotřebení a vysokou lomovou pevností, které jim dávají široké pole uplatnění. Rychlořezné oceli mají nejvyšší houževnatost, ale ve srovnání s ostatními materiály je jejich tvrdost poměrně nízká. Jsou z nich vyráběny nástroje tvarově složité, které nemohou být vyrobeny z ostatních řezných materiálů - (výstružníky, závitníky atd.). (8,16)

**Příklad:** Rychlořezná ocel 19 861 (ČSN 41 9861), která je v rámci norem EU označena jako HSS 10-4-3-10

Tab. 1.4 Rychlořezná ocel 19861 (8)

| Prvek: | W | Mo | V | Co |
|---|---|---|---|---|
| Chemické složení: [%] | 10 | 4 | 3 | 10 |

## 1.3 Slinuté karbidy

Jsou produktem práškové metalurgie a vyrábí se z různých karbidů a kovového pojiva. Prášková metalurgie se začala rozvíjet tím, že se podařilo vyrobit žhavící vlákno z wolframového prášku.

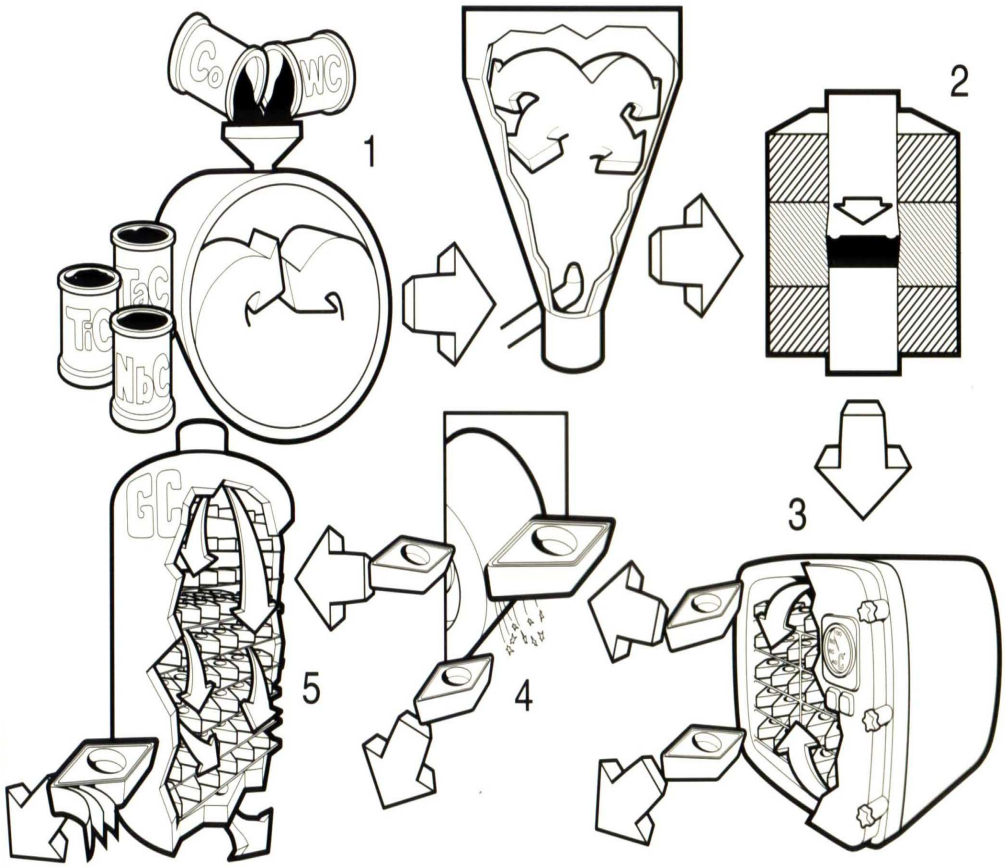
Postupným vývojem vznikaly první slinuté karbidy, které byly složeny z karbidu wolframu, který měl funkci tvrdého matriálu a kobaltu jako kovového pojiva. Tyto řezné nástroje dosahovaly velmi dobrých výsledků při obrábění litin a barevných kovů, ale nebyly vhodné pro obrábění ocelí, protože při vyšších řezných rychlostech docházelo k tvorbě výmolu na čele. Proto se pozornost výrobců zaměřila na další karbidy, zejména TiC, TaC a NbC. (1,2)

### 1.3.1 Výroba slinutých karbidů

Výroba slinutých karbidů představuje typickou metodu oboru, nazývaného prášková metalurgie. Podstatou procesu výroby slinutých karbidů je lisování směsi prášku tvrdých karbidických částic s práškem pojícího kovu, nejčastěji kobaltu, a následné slinování při teplotě blízké bodu tavení pojiva. Struktura a složení mají velký význam pro kvalitu výrobku. (1,8)

Výroba slinutých karbidů sestává z následujících hlavních částí:

- Výroba prášku
- Lisování polotovarů
- Slinování
- Tvarování polotovarů
- Povlakování
- Technologie úprav nástrojů před a po povlakování




Obr. 1.2 Postup výroby slinutých karbidů (8)

**Výroba prášku**

Výroba práškového wolframu patří k nejdůležitějším technologickým operacím výroby slinutých karbidů. U prášku je kontrolována velikost zrn, homogenita a obsah kyslíku.

Prášky lze získat téměř ze všech kovů a jejich sloučenin a to dvěmi základními způsoby:

- Mechanicky - drcením v kulových a vířivých mlýnech nebo rozprašováním tekutého kovu.

- Fyzikálně – chemicky - redukcí oxidů, elektrolytickým vylučováním a chemickým slučováním s nekovy. (1,2)

**Lisování polotovarů**

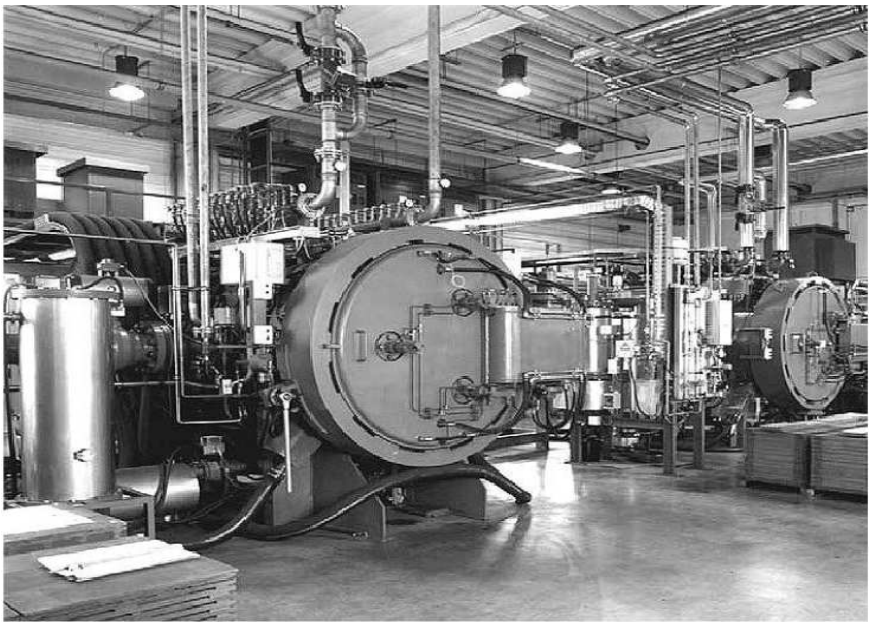
Lisováním se upravují kovové prášky a jejich směsi do tvaru výrobku. Výsledný produkt má být rovnoměrně zhutněn, a proto se nejčastěji používají formovací lisy, kdy se dva písty pohybují proti sobě a lisují směs.

Pro nízkou plasticitu směsi se přidávají látky, které usnadňují vzájemné spojení. Rozměry výlisku musí být větší, než jsou rozměry hotového výrobku, vzhledem ke smrštění při slinování, které činí 20 i více procent. (1,2)

**Slinování**

Slinování je pravděpodobně nejkritičtější fází výrobního procesu slinutých karbidů. Slinování může probíhat v ochranné atmosféře nebo ve vakuu a má obvykle tři etapy:
-předběžný ohřev na teplotu 700 - 1000 ºC;
-ohřev na pracovní teplotu a výdrž na této teplotě;
-ochlazení.

Pece pro slinování mají obvykle příčný průřez 100 až 300 $cm^2$ a délku 1 - 2 m. (1,8)



Obr. 1.3 Slinovací pece firmy ALD (8)

**Tvarování polotovarů**

Břitové destičky získávají svoji konečnou podobu převážně broušením. Většina břitových destiček má břit se zaobleným ostřím. Tato úprava se získá kartáčováním slinutého polotovaru. (2,8)

**Technologie úprav nástrojů před a po povlakování**

Úpravy nástrojů před povlakováním:

Odmaštění - odstranění konzervačních a jiných mastných látek z povrchů nástrojů se provádělo klasicky pomocí benzínu a petroleje. Dnes jsou tyto neekologické látky nahrazeny průmyslovými odmašťovadly opět na bázi ropných derivátů. (6)

Mokré čištění - jako průmyslová zařízení jsou využívány mycí linky s několika samostatnými mycími a splachovacími vanami. Čištění probíhá v alkalickém prostředí-nejběžnější je čištění v roztocích obsahující KOH či NaOH. Po očištění následují oplachy, které však musí nejen odstraňovat zbytky čistících lázní, ale i chránit očištěný povrch proti korozi pasivátorem. (2,6)

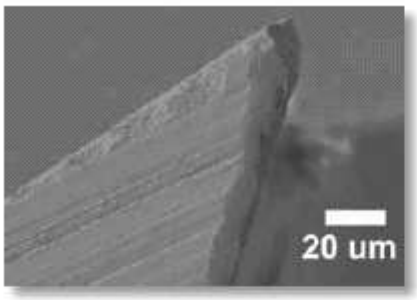
Obr. 1.4 Průmyslová myčka (6)

Pískování - lze jím odstranit pevně ulpívající nečistoty na povrchu, případně i nečistoty uchycené v mírně pórovitém povrchu. (6)

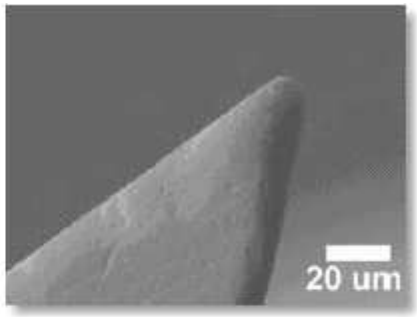
Úpravy nástrojů po povlakování:

Leštění - odstraní případné makročástice po povlakování a sníží celkovou drsnost funkčních ploch a břitů.

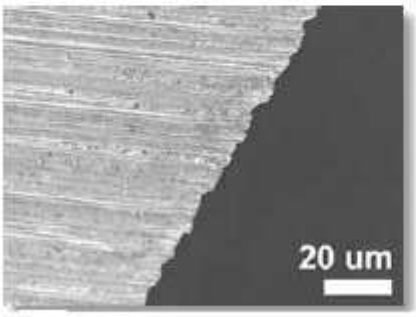
Znalost popsaných metod může být prospěšná při posuzování funkčnosti povlakovaných nástrojů a při rozhodování o nejvhodnějším postupu výroby nástrojů. (6)



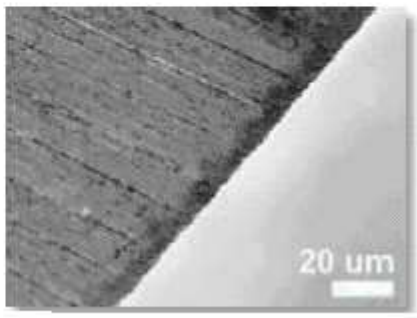

Špička běžného HM nástroje bez úpravy




Špička HM nástroje po mikroúpravě omíláním




Břit běžného HM nástroje bez úpravy




Břit HM nástroje po mikroúpravě omíláním

Obr. 1.5 Špička a břit po mikroúpravě omíláním (6)

## 1.3.2 Nepovlakované slinuté karbidy

Slinuté karbidy se dle ČSN ISO 516 člení v závislosti na svém složení a oblasti použití do tří skupin:

**Slinuté karbidy typu P**

Označují obrábění železných kovů tvořících dlouhou třísku - ocel, ocelolitina, korozivzdornou ocel a temperovanou litinu. Tento druh slinutého karbidu se označuje modrou barvou.

Tab. 1.5 Slinuté karbidy typu P (1)

| Hlavní skupina | Ozna-čení | Obráběný materiál | Příklad užití a podmínky užití | Změna charakteristik |
|---|---|---|---|---|
| **P** Oceli, oceli na odlitky, temperované litiny | **P01** | **Oceli, oceli na odlitky** | **Jemné soustružení a vyvrtávání – vysoké řezné rychlosti, malé posuvy** | **Roste tvrdost, otěruvzdornost a $v_c$ ↑ ↓ Roste %Co, houževnatost a $v_f$** |
| | **P10** | | **Soustružení, kopírování, řezání závitů, frézování** | |
| | **P20** | **Oceli, oceli na odlitky, temperované litiny** | **Soustružení, kopírování, frézování - střední řezné rychlosti, střední posuvy, hoblování při malých posuvech** | |
| | **P30** | | **Soustružení, hoblování, frézování - střední až nízké řezné rychlosti, střední až velké posuvy, méně příznivé pracovní podmínky (proměnlivá tvrdost, hloubka řezu, přerušovaný řez apod.)** | |
| | **P40** | **Oceli, oceli na odlitky s pískem a lunkry** | **Soustružení, hoblování, obrážení, částečně práce na automatech - nízké řezné rychlosti, velké posuvy, možnost použití velkého úhlu čela při nepříznivých pracovních podmínkách** | |
| | **P50** | **Oceli, oceli na odlitky, střední nebo nižší pevnosti, také s pískem a lunkry** | **Soustružení, hoblování, obrážení, práce na automatech - nízké řezné rychlosti, velké posuvy, možnost použití velkého úhlu čela při nepříznivých pracovních podmínkách** | |
| **Složení: WC + TiC + Co + *(TaC.NbC)*<br>[hm. %] 30÷82 8÷64 5÷17** | | | | |

**Slinuté karbidy typu M**

Mají univerzální použití a jsou určeny pro obrábění materiálů tvořících dlouhou i střední třísku, jako je austenitická korozivzdorná ocel, žáruvzdorné materiály, manganová ocel. Označují se žlutou barvou.

Tab. 1.6 Slinuté karbidy typu M (1)

| Hlavní skupina | ozna-čení | Obráběný materiál | Příklady užití a podmínky užití | Změna charakteristik |
|---|---|---|---|---|
| M<br>Oceli, manganové oceli, austenitické oceli, automatové oceli, oceli na odlitky, šedé litiny, legované litiny, tvárné litiny, temperované litiny, neželezné a lehké kovy | M10 | Oceli, manganové oceli, oceli na odlitky, šedé litiny, legované litiny | Soustružení - střední až vysoké řezné rychlosti, malé až střední posuvy | Roste tvrdost, otěruvzdornost a $v_c$ ↑ ↓ Roste %Co, houževnatost a $v_f$ |
| | M20 | Oceli, austenitické oceli, manganové oceli, oceli na odlitky, šedé, tvárné a temperované litiny | Soustružení, frézování - střední řezné rychlosti, střední posuvy | |
| | M30 | Oceli, austenitické oceli, žáropevné materiály, oceli na odlitky, šedé litiny | Soustružení, hoblování, frézování - střední řezné rychlosti, střední až velké posuvy | |
| | M40 | Oceli nízké pevnosti, automatové oceli, neželezné a lehké kovy | Soustružení, tvarové soustružení, upichování - zvláště na automatech | |
| Složení: WC + TiC + TaC.NbC + Co<br>[hm. %] 79÷84 5÷10 4÷7 6÷15 | | | | |

**Slinuté karbidy typu K**

Typ K označuje obrábění materiálů,které tvoří krátkou třísku - šedá litina, kalená ocel, neželezné materiály.

Tab.1.7 Slinuté karbidy typu K (1)

| Hlavní skupina | Ozna -čení | Obráběný materiál | Příklady užití a podmínky užití | Změna charakteristik |
|---|---|---|---|---|
| K<br>Šedé litiny, temperované litiny, kokilové litiny, neželezné kovy, oceli nízké pevnosti, kalené oceli, plastické hmoty, dřevo, nekovové materiály | K01 | Kalené oceli, kokilové litiny s HRC≤60, šedé litiny s vysokou tvrdostí, slitiny Al s vysokým obsahem Si, plastické hmoty, keramické látky | Soustružení, jemné vyvrtávání, frézování na čisto, škrabání | Roste tvrdost, otěruvzdornost a $v_c$ ↑ ↓ Roste %Co, houževnatost a $v_f$ |
| | K10 | Kalené oceli, šedé litiny s HB≤220, temperované litiny, slitiny Cu, slitiny Al s obsahem Si, plastické hmoty, tvrdá guma, sklo, porcelán, kámen | Soustružení, vrtání, vyhrubování, vystružování, frézování, protahování, škrabání | |
| | K20 | Šedé litiny s HB≤220, měď, mosazi, hliník a ostatní neželezné kovy, vrstvené dřevo | Soustružení, hoblování, vyhrubování, vystružování, frézování - při vysokých požadavcích na houževnatost slinutého karbidu | |
| | K30 | Oceli nízké pevnosti, šedé litiny s nízkou tvrdostí, vrstvené dřevo | Soustružení, hoblování, obrážení, frézování; možnosti použití velkého úhlu čela při nepříznivých pracovních podmínkách | |
| | K40 | Neželezné kovy, měkké dřevo a tvrdé dřevo v přírodním stavu | Soustružení, hoblování, obrážení; možnosti použití velkého úhlu čela při nepříznivých pracovních podmínkách | |
| Složení: WC + Co + *(TaC.NbC)*<br>[hm. %] 87÷92 4÷12 | | | | |

**Slinuté karbidy typu N**

Slouží k obrábění neželezných kovů a slitin Al a Cu.

**Slinuté karbidy typu S**

Označují obrábění speciálních žárupevných slitin na bázi Ni, Co, Fe a Ti.

**Slinuté karbidy typu H**

Označují obrábění zušlechtěné oceli s pevností nad 1500 MPa, kalené oceli HRC 48 - 60 a tvrzené kokilové litiny. (1,2)

**Příklad:** HF7 **-** nepovlakovaný slinutý karbid, vhodný při jemném soustružení litiny a nerez ocelí (P10-P20,K10-K25). (3)

## 1.3.3 Povlakované slinuté karbidy

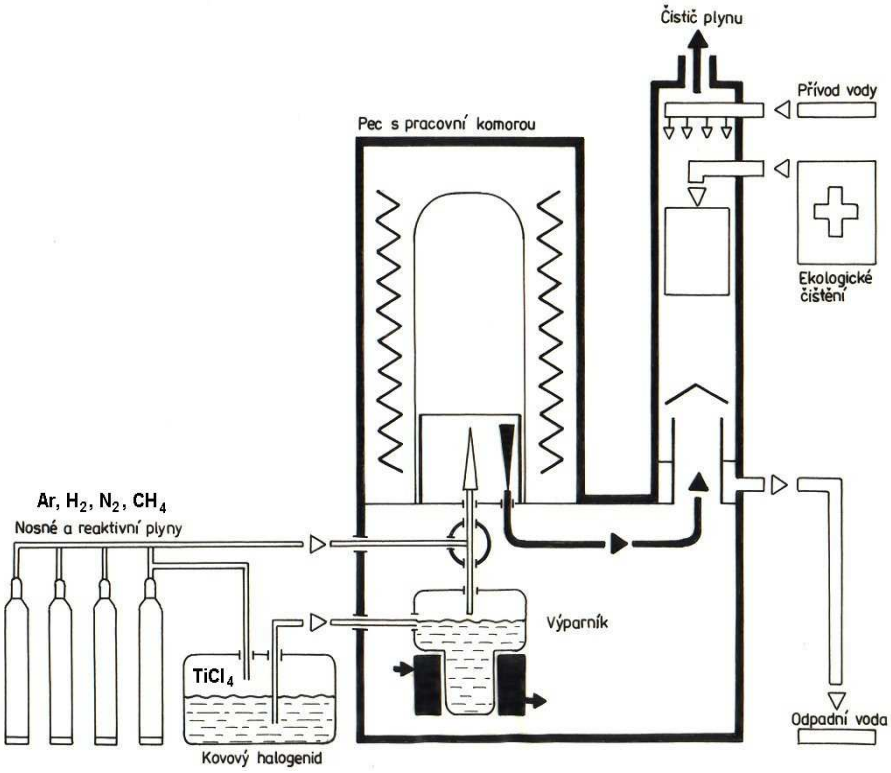
Povlakované slinuté karbidy jsou vyráběny tak, že na podkladový materiál se nanáší tenká vrstva materiálu s vysokou tvrdostí a vynikající odolností proti opotřebení. Mezi nejpoužívanějšími matriály na povlakování slinutých karbidů patří - karbid titanu (TiC), nitrid titanu (TiN), oxid hliníku ($Al_2O_3$) a karbonitrid titanu (TiCN).

Sled řazení vrstev odpovídá jejich specifickým vlastnostem. Jako první se na substrát obvykle nanáší vrstvy s lepší přilnavostí k podkladu. Tyto vrstvy mají relativně nižší odolnost proti opotřebení. Naopak poslední vrstva je charakteristická svou tvrdostí a odolností proti opotřebení. (1,4)

**Metody povlakování**

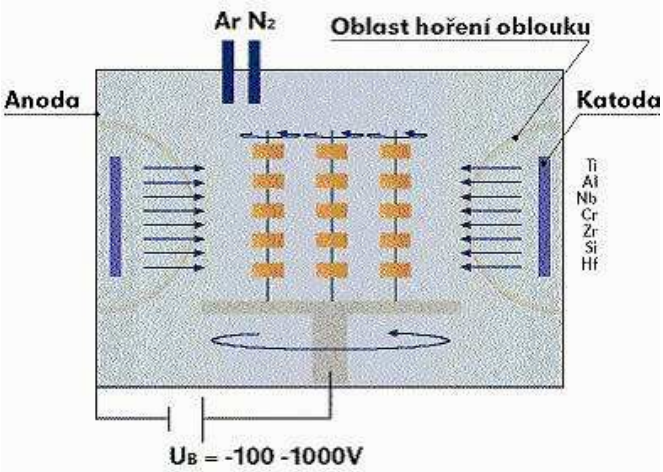
Podle principu se metody dělí do dvou základních skupin:

- **Metoda CVD** (Chemical Vapour Deposition = chemické napařování z plynné fáze) probíhá za vysokých teplot (nad 1000 ºC). Technologie je vhodná pro vytváření vícevrstvých povlaků, protože v jeho průběhu je možné relativně jednoduše regulovat množství různých přiváděných plynů. Za nevýhody lze považovat nemožnost povlakovat ostré hrany a snížení pevnosti podkladového materiálu. (1,8)




Obr.1.6 Princip povlakovacího zařízení pro metodu CVD (8)

- **Metoda PVD** (Physical Vapour Deposition = fyzikální napařování) probíhá za nízkých pracovních teplot (pod 600 ºC). Tato metoda byla původně vyvinuta pro povlakování nástrojů z rychlořezných ocelí, dnes se však používá i ve velkém rozsahu i u destiček ze slinutého karbidu. Fyzikální nanášení povlakové vrstvy probíhá ve středním až vysokém vakuu. Výhodou této technologie je schopnost povlakovat i ostré hrany a povlak nemá nepříznivý vliv na vlastnosti podkladu. Nevýhodou této technologie je požadavek na důkladnější přípravu povrchu vzorku, destička se musí neustále pohybovat, aby bylo zaručeno rovnoměrné nanesení vrstvy. (1,8)




Obr.1.7 Princip povlakování metodou PVD (7)

Obr.1.8 Povlakovací zařízení od firmy PLATIT (7)

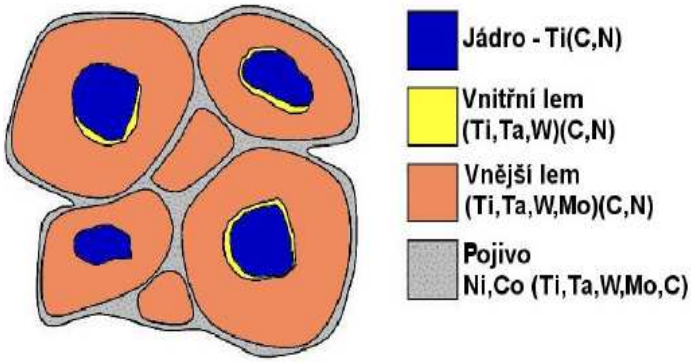
Povlakovací zařízení od firmy PLATIT- součásti mohou být pokryty programovatelnou potahovanou tloušťkou mezi 1 a 10 µm. Je zajištěno stejnoměrné dávkování a vysoká kvalita povlaku.

Příklad: CTC1135 – povlakovaný slinutý karbid (MTCVD multivrstvý povlak) s gradientním substrátem (vysoce houževnatá povrchová vrstva o tloušce 20 µm bez kubických karbidů absorbuje cyklické rázové namáhání tah/tlak, jádro odolává tepelnému zatížení). Pro soustružení ocelí (vč. korozivzdorných). (3)

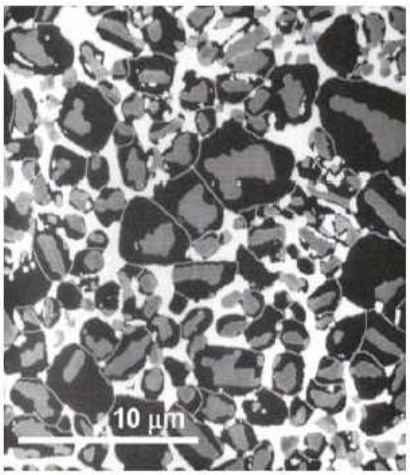
## 1.4 Cermety

Cermet je řezný materiál obsahující tvrdé částice (TiC, TiN, TiCN, TaN) v kovovém pojivu (Ni, Mo, Co), který je vyráběn práškovou metalurgií. Název Cermet vznikl složením slov **Cermatic** a **Metal**, vyjadřuje tak nástrojový materiál, jehož mechanické vlastnosti vykazují výhodnou kombinaci tvrdosti keramiky a houževnatosti kovu. Základní složení cermetů: **TiC + TiN + Ni, Mo**.

Charakteristickou vlastností cermetů je nízká měrná hmotnost, která se pohybuje v rozmezí 5,6 - 7,4 g/cm$^3$. Ve srovnání se slinutými karbidy jsou tyto hodnoty zhruba poloviční a jsou dány zejména tím, že cermety v drtivé většině neobsahují těžký karbid wolframu. Tvrdé částice cermetu vytvářejí zvláštní zrna, která obsahují jádro Ti(C,N), obalené lemy z komplexních karbonitridů. Protože tvrdá fáze cermetů vytváří při obrábění plochy s velmi nízkou drsností povrchu (v důsledku vynikající odolnosti proti adhezi a nízké náchylnosti k reakci s obráběným ocelovým materiálem), jsou cermety velmi rozšířenými hlavně pro dokončovací obrábění. (2,8)




Obr.1.9 Struktura cermetu - schéma (8)




Obr.1.10 Struktura cermetu na bázi TiCN (8)

**Příklad**: TCM407 - cermet, sk. P01-P15/M01-M10/ K01-K05, určený pro soustružení a jemné dokončování ocelí (vc=200÷430 m.min$^{-1}$), korozivzdorných ocelí (vc=160÷280 m.min$^{-1}$) a šedých litin (vc=180÷500 m.min$^{-1}$) bez použití řezné kapaliny. (3)

## 1.5 Řezná keramika

Keramika je charakterizována jako převážně krystalický materiál, jehož hlavní složkou jsou anorganické sloučeniny nekovového charakteru. Pro novou keramiku je charakteristické to, že je vyráběna z poměrně čistých surovin a často z čistých výchozích chemikálií, jako keramika syntetická. Většina látek zařazovaných pod pojem "**nová keramika"** jsou látky krystalické na rozdíl od tradiční keramiky. Intenzivní výzkumnou a vývojovou činností byly v posledních letech výrazně zlepšeny některé vlastnosti keramických materiálů tak, že to umožnilo podstatně rozšířit jejich aplikace ve strojírenské výrobě. (2,8)

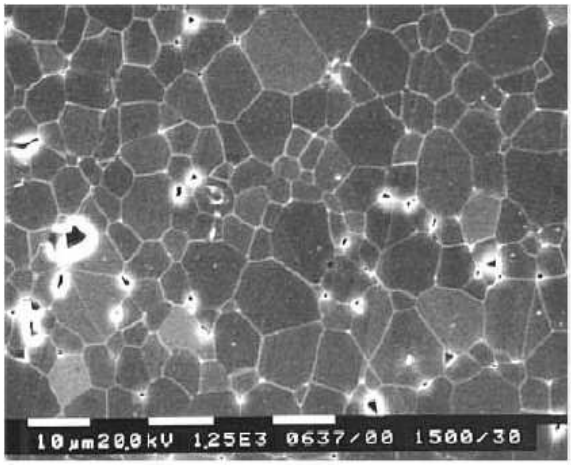
Vlastnosti řezné keramiky pro výrobu řezných nástrojů:

- vysoká tvrdost;
- odolnost proti mechanickému namáhaní (zejména tlakem);
- odolnost proti působení vysokých teplot (u součastných nejlepších materiálů i odolnost proti náhlým změnám teploty);
- odolnost proti opotřebení, chemickým vlivům a korozi (vysoká trvanlivost a řezivost);
- nízká měrná hmotnost;
- dostupnost základních surovin z domácích zdrojů;
- poměrně nízká cena. (2,8)

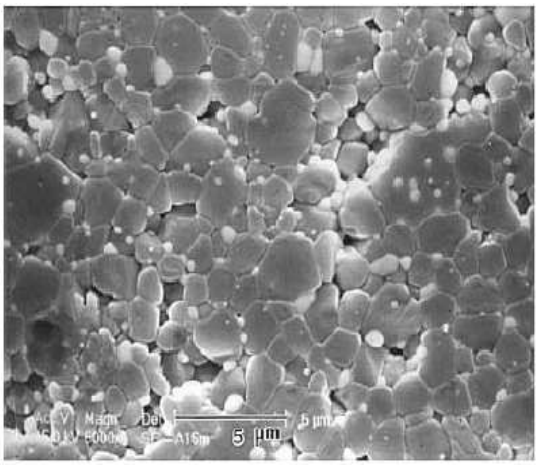
Pro dělení a značení keramických řezných materiálů neexistuje konkrétní norma (jako je tomu např. u slinutých karbidů), všeobecně je přijímáno následující dělení:

- oxidová keramika:

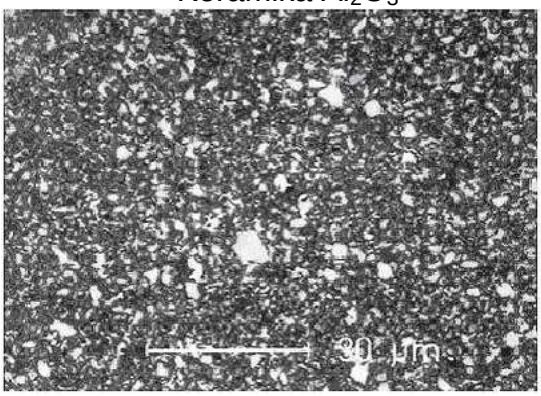
- čistá (99,5% $Al_2O_3$), symbol CA podle ČSN ISO 513;
- polosměsná ($Al_2O_3$+$ZrO_2$,$Al_2O_3$+$ZrO_2$+CoO),symbol CA;
- směsná keramika ($Al_2O_3$+TiC, $Al_2O_3$+$ZrO_2$+TiC,$Al_2O_3$+TiC+ TiN), symbol CM;
- nitridová keramika ($Si_3N_4$,$Si_3N_4$+$Y_2O_3$,$Si_3N_4$+TiN,), symbol CN;
- vyztužená (oxidická nebo nitridová keramika vyztužená pomocí whiskerů SiC nebo $SiN_4$). (8)



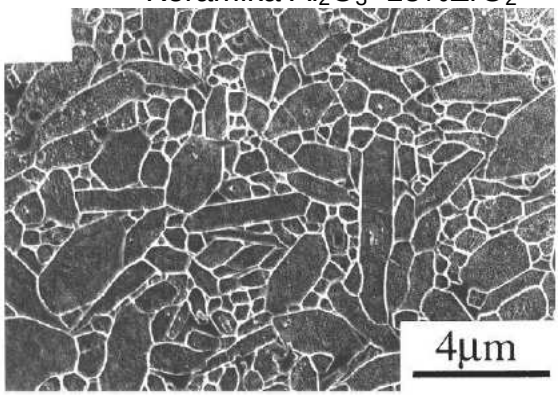

Keramika $Al_2O_3$




Keramika $Al_2O_3$+15%$ZrO_2$




Keramika $Al_2O_3$+TiC




Keramika $Si_3N_4$

Obr.1.11 Keramické materiály pro výrobu břitových destiček (8)

**Příklad:** CTS3110 – směsná keramika na bázi $Al_2O_3$; pro dokončovací soustružení kalených litých válců a kalených ocelí. (3)

## 1.6 Supertvrdé řezné materiály

Do této perspektivní skupiny syntetických řezných materiálů patří:

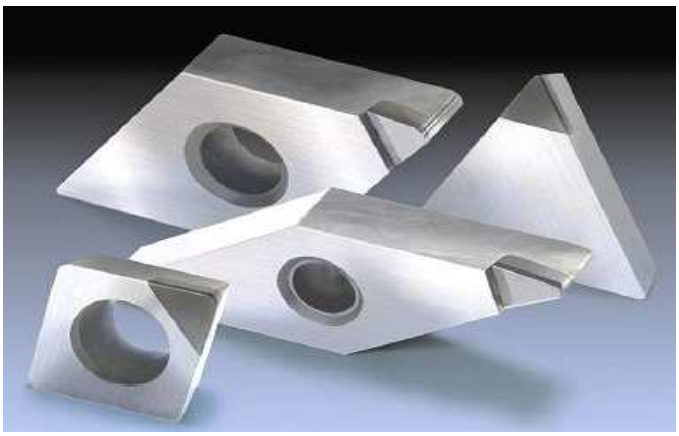
- polykrystalický diamant (PKD, PCD)
- polykrystalický kubický nitrid bóru (PKNB)

Vzhledem k vynikajícím mechanickým vlastnostem (pevnost v tlaku a tvrdost..) lze tyto materiály použít pro speciální aplikace. Protože diamant má poměrně nízkou teplotní stálost (při dosažení teplot nad 800 ℃ se mění na grafit), nesmí být používán pro obrábění materiálů na bázi železa (oceli, litiny), kde by při nadměrném ohřevu docházelo k silné difúzi mezi nástrojem a obráběným materiálem a tím i k velmi rychlému opotřebení v důsledku probíhajících chemických reakcí, hlavně na čele nástroje (10).

### 1.6.1 Polykrystalický diamant (PKD, PCD)

Nejtvrdším známým materiálem je přírodní monokrystalický diamant. Jeho tvrdosti téměř dosahuje syntetický polykrystalický diamant (PKD). PKD se vyznačuje vysokou tvrdostí, vynikající otěruvzdorností, vysokou tepelnou vodivostí a výbornou řezivostí. Jemné krystaly diamantu jsou spojovány slinováním za vysokých teplot a tlaků např. pomocí keramického pojiva. Poloha krystalů je náhodilá a v žádném směru nevytváří místa, která by mohla být zdrojem lomu. Z tohoto důvodu může tvrdost a odolnost proti opotřebení působit stejnou měrou ve všech směrech.

Malé břity z PKD jsou pevně uchyceny na vyměnitelné břitové destičce ze slinutého karbidu, která jim zaručuje pevnost a odolnost proti tepelným a rázovým šokům. Trvanlivost je mnohonásobně větší až stonásobná než u slinutých karbidů. (2,8).



Obr.1.12 Vyměnitelné břitové destičky s PKD (3)

Omezení pro použití zdánlivě dokonalého řezného materiálu lze shrnout do těchto bodů:

- Teploty v oblasti řezání nesmí překročit 600 ºC
- Pro svoji afinitu není PKD použitelný k obrábění železných materiálů
- PKD není vhodný pro obrábění houževnatých materiálů s vysokou pevností

Široké aplikační možnosti poskytuje diamant v oblasti obrábění hliníkových slitin (soustružení i frézování - v některých případech lze použít řezné rychlosti, které přesahují hodnotu 5000 $m \cdot \min^{-1}$), zejména s vysokým obsahem křemíku, který působí na nástroj velmi silným abrazivním účinkem. Často je doporučován i pro obrábění slitin mědi (bronzu, mosazi), kompozitů vyztužených různými druhy vláken (skleněná, uhlíková, aramidová - kevlar, polyetylénová, atd.), titanu a jeho slitin, keramiky, grafitu tvrdých přírodních materiálů (žula, mramor, apod.).(2,10)

**Přehled materiálů doporučených pro obrábění s PCD:**

- Hliník a slitiny hliníku;
- Měď, mosaz a bronzové slitiny;
- Zinek a slitiny hořčíku;
- Zlato a stříbrný karbid wolframu, před - slinuté a slinuté těleso;
- Uhlík a tuha keramické látky, nezapálený;
- Epoxidová pryskyřice;
- Umělé hmoty a kaučuk;
- Skleněné vlákno směsice;
- Tuha směsice;
- Fenolická třísková deska a dřevovláknitá deska. (9)

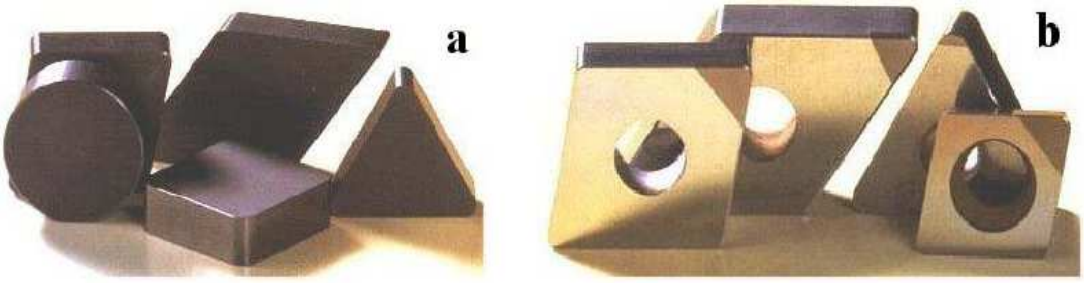
**Výhody vyměnitelné břitové destičky s PKD:**

- Vysoká životnost;
- Vysoká produktivita;
- Vysokorychlostní obrábění;
- Vysoká kvalita povrchu obrobků;
- Dlouhodobé dodržení tolerance rozměrů u obrobků;
- Vynikající výkonnost a trvanlivost VBD, nabízejí mnohostranné možnosti použití především v sériové výrobě. (9,2)

## 1.6.2 Polykrystalický kubický nitrid bóru (PKNB, CBN)

Měkce hexagonální modifikací vystupuje nitrid boru v určité analogii s uhlíkem, kde krystalizuje jako grafit se stejným typem mřížky a tvrdou kubickou modifikací. Přírodní nitrid boru není vhodný na nástroje s definovanou geometrií, protože na rozdíl od hexagonálního nitridu křemíku je měkký. Teprve transformací mřížky, za vysokých teplot a tlaků, z hexagonální na kubickou, se stává kubický nitrid boru druhým nejtvrdším materiálem vedle diamantu. (2,9)

Z tohoto materiálu jsou vyráběny monolitní břitové destičky (obr.a), nebo je ve formě segmentu připájen na špičku břitové destičky ze slinutého karbidu (obr.b).




Obr.1.13Břitové destičky firmy Seco (Švédsko), a - CBN100, b - CBN150 (3)

CBN má vynikající výkonnost, vykazuje mimořádnou tvrdost, vysokou tvrdost za tepla i při extrémních teplotách (2000 ºC), velkou odolnost proti abrazivnímu opotřebení a při obrábění má vždy dobrou chemickou stabilitu. CBN je relativně křehký. Je sice houževnatější tvrdší než keramika, ale nemá tak dobrou tepelnou a chemickou odolnost. I přes vysokou cenu našel uplatnění při soustružení kalných součástí, které se doposud brousily.

CBN se používá pro obrábění tvrdých materiálů:

- ocelové výkovky;
- kalená ocel a litina;
- povrchově kalené obrobky;
- slinované materiály na bázi kobaltu a železa;
- žárovzdorné slitiny.

CBN se vyrábí při vysokých teplotách a tlacích, jejichž působením se dosáhne spojení kubických krystalů bóru s keramickým nebo kovovým pojivem. Neuspořádané částice tvoří velmi hustou polykrystalickou strukturou. Krystal CBN je velmi podobný krystalu syntetického diamantu. Vlastnosti řezného materiálu CBN můžeme obměňovat změnou velikosti krystalu, obsahu a druhu pojiva, s cílem získat různé varianty tohoto řezného materiálu. CBN v kombinaci s keramickým pojivem vytváří větší odolnost

proti opotřebení a chemickou stabilitu, takže tento druh řezného materiálu je pak zvlášť vhodný k obrábění tvrdých ocelových součástek. Vysoký obsah CBN zajišťuje větší houževnatost a je vhodný v první řadě pro obrábění tvrdých druhů litin a žáruvzdorných slitin. (2,8,9)

Příklad: CBN100P – povlakovaný polykrystalický kubický nitrid boru (50% KNB v keramické matrici TiN, PVD povlak TiCN + TiAlN + TiN (tlouš_ka 2 ÷ 4 µm, vrstva TiN slouží též jako indikátor opotřebení). Pro obrábění kalených ocelí. (3)

# 2 ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU, PROBLEMATIKY, TRENDY

## 2.1 Současný vývoj nástrojových materiálů

Vývoj nových řezných materiálů, který neustále zvyšuje odolnost proti opotřebení, řezivosti a trvanlivosti je problém, jehož řešení nebude patrně ukončeno.

Řezný materiál by měl mít vysokou tvrdost spojenou s vysokou houževnatostí a to především za zvýšených teplot. U dnešních materiálů, které se používají při obrábění, obvykle s narůstající tvrdostí klesá houževnatost. Proto se výrobci řezných nástrojů snaží vyvinout takový matriál, který by splňoval uvedené požadavky.

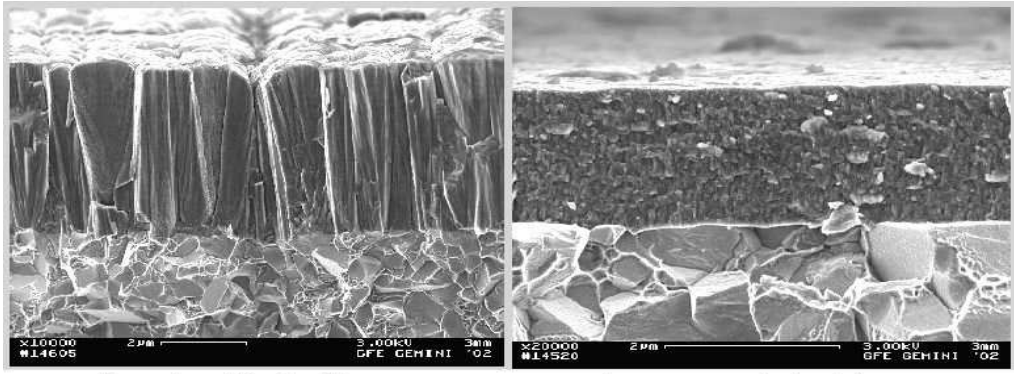
Trendy v oblasti řezných nástrojů spočívají především ve zvyšování produktivity při obrábění a snižování nákladů na obrábění. Tím může být dosažení určité tvarové a rozměrové přesnosti a drsnosti obrobené plochy,ale i dosažením takové kvality obrobené plochy pro obrábění, která nám umožní vynechat některé následné operace, například broušení nebo dokončování.

Perspektivní trendy zahrnují nové a výkonnější vrstvy povlaků řezných materiálů, nové tangenciální systémy upínání, které vedou k výraznému snížení řezných sil, nezanedbatelná je i snadnější manipulace a jednoduchá výměna břitových destiček a nástroje. (2,11)

## 2.2 Současné povlaky řezných materiálů

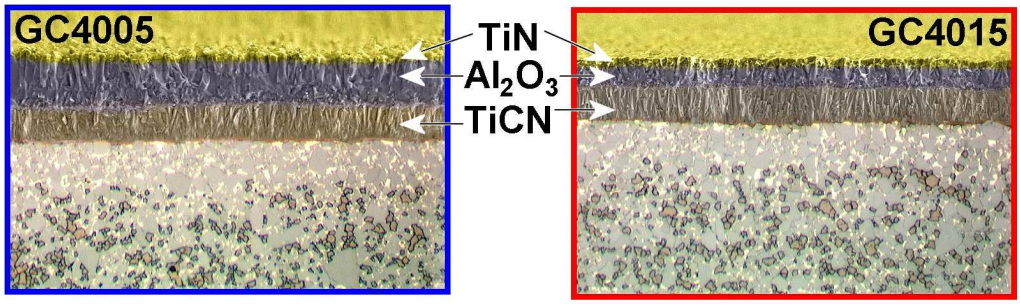
- **1.generace**: jednovrstvý povlak TiC s tloušťkou vrstvy 7 µm a špatnou soudržností podkladu a povlaku (1). Při obrábění těmito nástroji dochází k rychlému odlupování vrstvy, což vede k znehodnocení destičky. (1,2,8)

- **2.generace**: jednovrstvý povlak (TiC,TiCN,TiN) bez *eta* - karbidu na přechodu podklad-povlak (1). Vrstvy povlaků o tloušťce 13 µm jsou nanášeny zdokonalenou metodou, proto u nich nedochází odlupování. (1,2,8)




Obr.2.1 Povlakovaný slinuty karbid 2.generace (1)

- **3.generace**: vícevrstvý povlak (dvě až tři,případně i více vrstev) s ostře ohraničenými přechody mezi jednotlivými vrstvami. Vrstvy bývají nejčastěji řazeny v tomto pořadí(od podkladu k povrchu): TiC-$AL_2O_3$, TiC-TiN, TiC-TiCN-TiN, TiC-$Al_2O_3$-TiN. (1,2,8)




Obr.2.2 Povlakovaný slinutý karbid 3.generace, Sandvik Coromant (3)

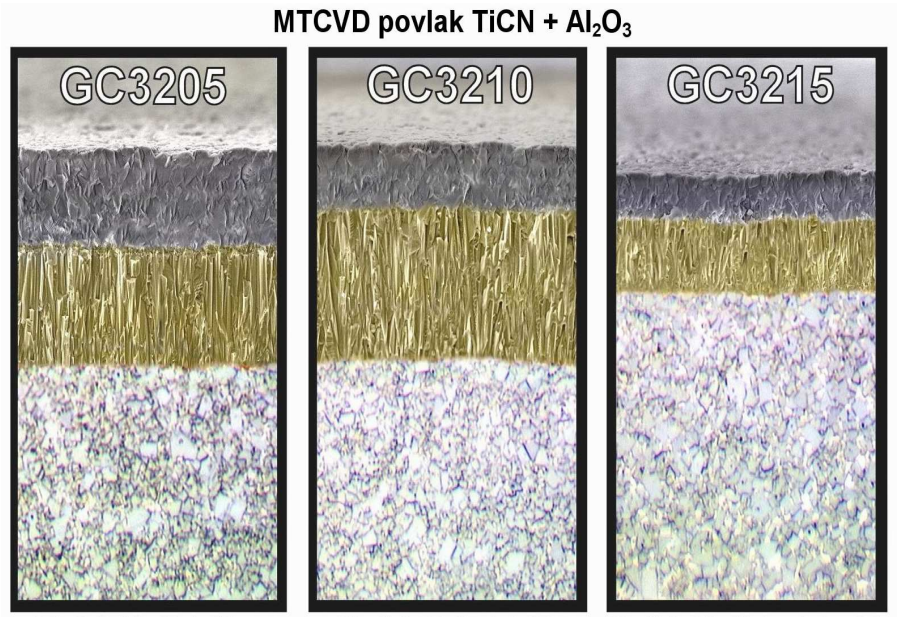
Povlakovaný slinutý karbid 3. generace s povlakem TiCN+$Al_2O_3$+TiN. Má velmi vysoké řezné rychlosti, dlouhé řezy a obrábění zasucha to vše je možné díky tlusté vrstvě povlaku na bázi hliníku, který má tepelně izolační vlastnosti. Zvětšená tloušťka vrstvy povlaku $Al_2O_3$ se používá u třídy GC4005.

Klíčem k dlouhé a spolehlivé životnosti nástroje a vysoké produktivitě je nalezení rovnováhy mezi odolností proti otěru, oloupávání povlaku a správné houževnatosti břitu pro zamýšlenou aplikační oblast. Tlustší povlaky jsou odolnější proti otěru, ale tenčí povlaky jsou odolnější proti olupování. (1,2,8)

Třída GC3205 (obr.2.3) je optimalizována pro nejlepší odolnost proti opotřebení při obrábění šedé litiny při vysokých rychlostech.

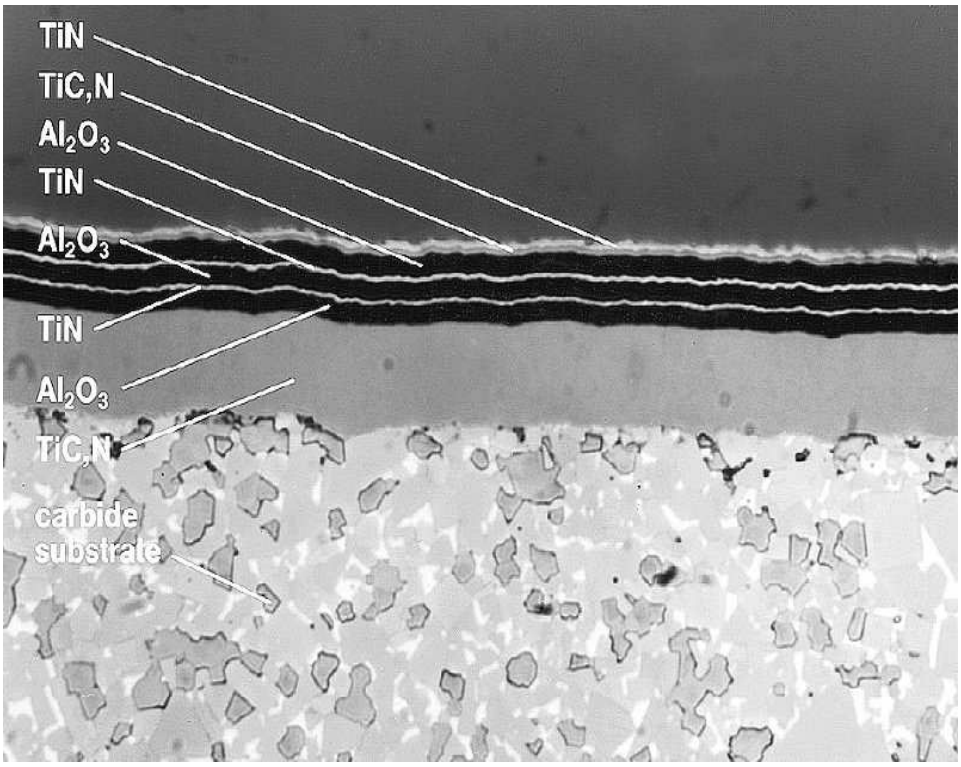
Třída GC3210 (obr.2.3) je optimalizována pro nejlepší vyvážení odolnosti proti otěru a odolnosti proti olupování povlaku.

Třída GC3215 (obr.2.3) je schopna snášet náročné přerušované řezy při nízkých až středních řezných rychlostech.



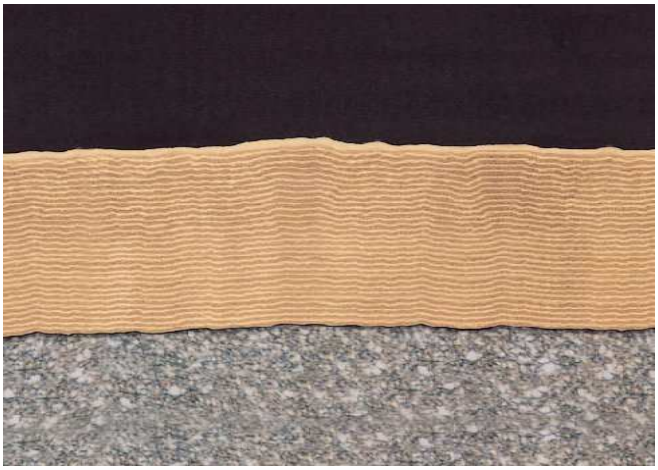

Obr.2.3 Povlakovaný slinutý karbid 3.generace, Sandvik Coromant (3)

- **4.generace**: speciální vícevrstvý povlak (velmi často i více než 10 vrstev a mezivrstev). Výroba takového povlaku je umožněna cíleným řízením atmosféry v povlakovacím zařízení, podle potřeb technologického postupu povlakování. (1,2,8)




Obr.2.4 Povlakovaný slinutý karbid 4.generace, Kennametal (1)

- **Multivrstvý povlak** - má vysokou trvanlivost a s ní spojené vysoké úběry obráběného matriálu. Povlak je založen na principu pravidelného střídání dvou typů vrstev s rozdílnými fyzikálními vlastnostmi, tloušťka jednotlivých vrstev je velmi malá, kolem 10 nm i méně. (3,8)

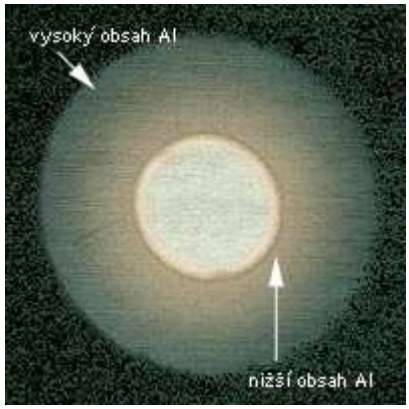


Obr.2.5 Multivrstvý povlak Ti/TiCN, Galenite (8)

Břitová destička s multivrstvým povlakem firmy Valenite obsahuje 62 alternujících vrstev Ti/TiCN.

Povlak má velmi malou drsnost, a proto výrazně snižuje tření mezi třískou a čelem nástroje, což vede k podstatnému snížení množství vzniklého tepla. (3,8)

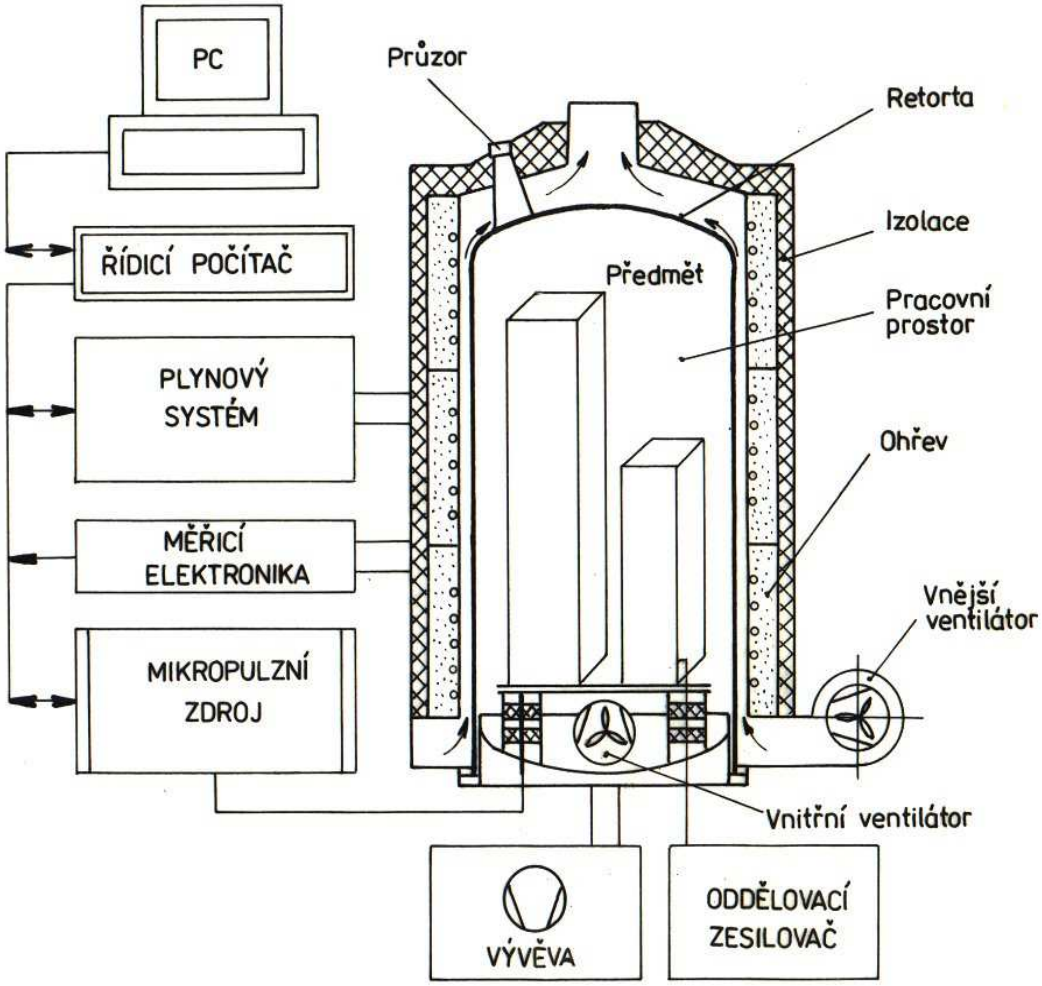
- **Gradientní povlak**, povlak s průběžně proměnným složením vrstvy. Směrem k povrchu vrstvy se zvyšuje obsah Al, aby zabezpečil vysokou oxidační odolnost při zachování dostatečné tvrdosti povlaku. (8,14)




Obr.2.6 Gradientní povlak (14)

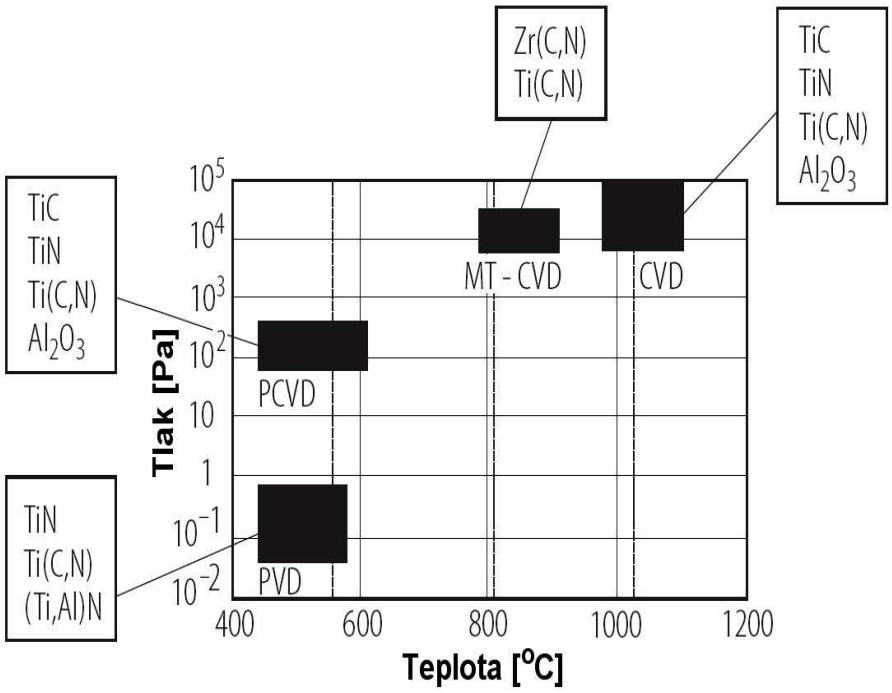
## 2.3 Moderní povlakovací metody

- **Plazmaticky aktivovaná CVD metoda** (označení PCVD) vyznačuje se nízkými pracovními teplotami (pod 600 ºC). Metoda PCVD je založena na zvýšení energie plynné atmosféry v povlakovací komoře pomocí její ionizace a aktivace v plazmatickém výboji. Plazma lze vytvořit pomocí vnějšího elektrického napájení zdroje nebo reaktivním plynem ($NH_3$). (2,5,8)




Obr.2.7 Princip povlakování metodou PCVD firmy Böhlerit (1)

- **Metoda MTCVD** (tzv. middle teperature CVD metoda). Technologie umožňuje nanášet povlaky z plynné fáze za teplot podstatně nižších, 700 - 850 ºC. Metoda využívá jako vstupní sloučeninu acetonitril ($CH_3CN$) nebo též vysoce toxický a hořlavý metylkyanid. Břitové destičky jsou odolnější proti mechanickým rázům a mohou být použity při vyšších hodnotách posuvných rychlostí. (2,5,8)




Obr. 2.8 Závislost tlaku na teplotě u povlakovacích metod (1)

## 2.4 Jaká je očekávaná budoucnost řezných materiálů a nástrojů

Materiál budoucnosti by se měl přibližovat ideálnímu řeznému nástroji, který má vysokou otěruvzdornost a tepelnou stabilitu, který má vysokou tvrdost a je velmi houževnatý. Měl by dosahovat optimální trvanlivosti nástroje za vyšších řezných rychlostí a většího rozsahu řezných podmínek. Řezným materiálům jako je PCD, CBN nebo keramika, chybí dostatečná houževnatost. Nástroje z rychlořezné oceli zase nemají dostatečnou otěruvzdornost a tepelnou stabilitu. Nejrozšířenější slinutý karbid se v kombinaci těchto vlastností nachází někde uprostřed.

Vývojové aktivity budou probíhat jak u samotného substrátu tak i u nových efektivních způsobů povlakování. Například společnost Seco se zaměřila na výzkum řezných povlaků až do úrovně atomů a výsledkem je povlak Duratomic, který představuje současnou špičku v technologii povlakování.

Také je v poslední době hodně diskutovaná otázka obrábění za sucha či s minimálním množstvím řezné kapaliny. Jak z důvodů nákladů, tak i s ohledem na životní prostředí. Proto s v nově vyvíjených řezných materiálech klade důraz na vysokou tepelnou stabilitu. U nových povlaků jsou sledovány i kluzné vlastnosti a nástroje jsou konstruovány tak, aby docházelo k nižšímu vývoji teplot a vzniklé teplo bylo odváděno třískou. (11,18)

# 3 OBLASTI POUŽITÍ, TECHNOLOGICKÉ APLIKACE

Vývoj nových typů řezných nástrojů, inovace stávajících druhů, rozšiřování sortimentu z hlediska rozměrového, patří k základním předpokladům úspěchu výrobců moderních nástrojů na současném trhu. V celém tomto procesu jsou využívány výsledky konstrukčního, materiálového a technologického výzkumu, které jsou uplatňovány součastně s novými požadavky na nástroje.

Příprava nástrojů musí respektovat změny ve výrobě, nové konstrukční materiály, zvyšování přesnosti atd., pokrok ve vývoji obráběcích strojů a uplatňování nových výrobních technologií. Progresivní řezný nástroj by měl charakterizovat nejen prvotřídní technické parametry, ale součastně i široké aplikační možnosti, a to v souladu s potřebami trhu a uživatelů.

Všichni významní výrobci řezných nástrojů průběžně mění a doplňují sortiment svých nástrojových matriálů podle požadavků trhu. Následující výčet si klade za úkol vybrat nejvýznamnější novinky současnosti u 5-ti největších dodavatelů:

- **Pramet**
- **Sandvik Coromat**
- **Seco**
- **Walter AG**
- **Iscar**

## Pramet

Firma Pramet Tools představila tyto dva nové materiály pro vyměnitelné břitové destičky. Materiály 6605 a 6615 byly vyvinuty k zajištění stabilního zvýšeného výkonu nástrojů pro operace soustružení velké škály litinových materiálů se širokým rozsahem obrobitelnosti. Nové typy materiálů mají speciální vlastnosti, které v kombinaci s vhodnou geometrií destičky zajistí vysoký a stabilní výkon nástroje a nabízejí tak možnost zvýšení řezných rychlostí, posuvů a životnosti nástroje. Materiál 6605 zahrnuje speciální karbidový substrát se zvýšenou tvrdostí a speciální progresivní MT CVD silnější povlak typu TiCN-$Al_2O_3$-TiN, který zajišťuje odolnost proti mechanickému i difuznímu opotřebení, a vnější nanokompozitní TiAlSiN PVD povlak s unikátní kluznou vrstvou Lubrik, která snižuje tření a omezuje tvorbu nárustků.

Kombinace tvrdšího substrátu a neobvyklé kombinace povlaků MT CVD - PVD dává materiálu vysokou odolnost proti opotřebení, tepelnou stabilitu a provozní spolehlivost. Výborné vlastnosti nového materiálu se projevují zejména při obrábění šedé litiny a u aplikací, kde je kladen důraz na vysokou produktivitu a kde jsou stabilní řezné podmínky. Vyniká také v aplikacích, ve kterých je potřeba mimořádné odolnosti proti deformaci, při

obrábění za sucha a pro delší časy řezu. Pro soustružení tvárné litiny je doporučován nový materiál 6615. Jde o kombinaci speciálního karbidového substrátu s funkčně gradientní vnější vrstvou a speciálního vícevrstvého MT CVD povlaku typu TiCN-$Al_2O_3$ -TiN s povrchovou hladkou, kluznou nanokompozitní PVD vrstvou.

Tloušťka tohoto povlaku je poněkud menší, než je tomu u materiálu 6605. Kombinace substrátu s relativně vysokou houževnatosti a zároveň dobrou odolností vůči deformaci a otěruvzdorného povlaku s unikátní kluznou vrstvou umožňuje dosahovat špičkového výkonu i za nestabilních podmínek při přerušovaném řezu. Nové materiály pro obrábění litinových materiálů skupin K05-K15 (materiál 6605) a K15-K25 (materiál 6615) jsou určeny pro ty zákazníky, kteří požadují při soustružení litin větší výkon, větší spolehlivost a menší spotřebu destiček. (21)

## Sandvik coromat

Firma Sandvik Coromant uvedla na trh první z nové generace fréz pro frézování do rohu, CoroMill 490, umožňující snížit náklady na obrábění až o 25%.

Fréza CoroMill 490 představuje vysoce přesný nástroj pro aplikace s malou hloubku řezu a požadavky na omezení dokončovacích operací, jako je obrábění tvarově přesných výkovků a odlitků používaných v současném strojírenství za účelem zvýšení produktivity. Opracování těchto odlitků a výkovků vyžaduje menší množství práce, která však musí být o to přesnější. To umožňuje fréza CoroMill 490 s břitovými destičkami se čtyřmi břity a současně její použití přináší zákazníkům značné snížení nákladů na obrobenou součást. Pro takové aplikace je CoroMill 490 nejefektivnějším nástrojem. Je tak přesná, že umožňuje dokončit finální výrobek na jedno upnutí. Maximální hloubka řezu je 5,5 mm, doporučená 4 mm.

CoroMill 490 nabízí z hlediska produktivity i další přínos. Její univerzálnost umožňuje zákazníkům použít frézu CoroMill 490 jako základní normovaný frézovací nástroj, nahradit vícečetné skladování dalších nástrojů a zjednodušit kontrolu výroby. Výsledkem je snížení výrobních nákladů na čelní frézování a frézování do rohu. CoroMill 490 lze také použít pro frézování hran a obrysů s nulovým přesazením a frézování drážek do plného materiálu.

Díky vysoce pozitivnímu úhlu čela i úhlům je vstup do materiálu a zahájení řezu velmi klidné a řez se čtyřbřitými vyměnitelnými destičkami je lehký a tichý s nízkými řeznými silami. Malé řezný síly jsou výsledkem inovace geometrie vyměnitelných břitových destiček a nových jakostí pro novou generaci VBD z dílny Sandvik Coromant. Nová geometrie VBD zahrnuje také novou geometrii paralelního zábřitu čtyřbřité destičky, takže výsledkem je vynikající kvalita povrchu čela i rohu. (22)

Obr. 3.1 Fréza CoroMill 490 (22)

## Seco

Přišla s novou řadou řezných destiček s polykrystalického kubického nitridu bóru s označením SecoMax – CBN050C a C-Lock. Mají uživateli přinést obrábění vyššími řeznými rychlostmi s relativně vysokou trvanlivostí nástroje. Povlakovaný druh CBN050C je tvořen novým podkladovým materiálem s nízkým obsahem KNB i novým PVD povlakem typu (Ti, Si)N, jejichž spojení zajišťuje podstatné zvýšení tvrdosti a životnosti destiček při obrábění řeznými rychlostmi na úrovni 200 až 250 $m.min^{-1}$. V porovnání s dřívější kvalitou KNB umožní novinka zvýšení řezné rychlosti asi o 25 %. Díky "zlatému" povrchu destičky je snadná i detekce opotřebení břitu v provozu. Nové destičky jsou připraveny v několika provedeních podle formy použití KNB, a to buď jako monolitní, nebo se spékanou vrstvou, příp. s pájenou jednou nebo více špičkami. (11)

Obr. 3.2 Povalkované břitové destičky CBN050C (11)

Břitové destičky C-Lock se spékanou vrstvou KNB na karbidovém základu jsou vyrobeny novým výrobním procesem bez použití pájení. Destičky jsou opatřeny středovým otvorem pro upnutí typu C a určeny pro široký rozsah soustružnických, frézovacích a vyvrtávacích operací. Program břitových destiček zahrnuje tvary C, D, S, T a provedení se 2, 3 a 4 břity. Výrobce nabízí dva druhy uvedeného materiálu s ozn. CBN 10 a CBN 200

pro obrábění povrchově kalených ocelí, spékaných materiálů a litiny. Přínos CBN 200 dokumentují výsledky obrábění vnějšího povrchu těles ložisek z litiny GG25, kdy nasazením nové destičky za podmínek $v_c$ / f / $a_p$ = 550 / 0,14 - 0,3 / 0,25 byl zvýšen počet obrobených kusů jedním břitem z původních 200 na 1000. (11)

Dále firma Seco představila břitové destičky TM2000 a TM4000 pro soustružení korozivzdorných ocelí, které mají povlak Duratomic. Pokrývají většinu aplikací se soustružením korozivzdorných ocelí, od dokončovacího obrábění po těžké hrubování, které klade největší důraz na produktivitu a spolehlivost.

**TM2000 -** První volba pro vysokoteplotní/vysokorychlostní aplikace.

Při obrábění austenitických nebo duplexních korozivzdorných ocelí může materiál TM2000 při dokončovacích operacích dosahovat vysokých řezných rychlostí. Schopnosti materiálu TM2000 přesahují pouhé dokončovací obrábění, hodnoty posuvu a hloubky řezu lze zvýšit k hodnotám hrubování a ve spojení s utvařečem MF4 dosáhnout rychlosti 200 $m.min^{-1}$

Charakteristiky a výhody TM2000:

- dlouhá trvanlivost nástroje pro levnou a bezobslužnou výrobu;
- zvýšená tepelná odolnost pro vyšší řezné rychlosti a vyšší produktivitu;
- zvýšená odolnost proti otěru pro delší trvanlivost nástrojů a větší spolehlivost;
- omezený sklon k tvoření nárůstků, vynikající jakost povrchu a kvalita součástí.(12)

**TM4000 -** První volba pro přerušované obrábění a spolehlivost.

Rázy při přerušovaném obrábění mohou vést k poškození i v případě těch nejhouževnatějších vícevrstvých povlaků. Kombinace povlaku Duratomic s gradientním substrátem TM4000 maximalizuje houževnatost v řezné zóně, aniž by slevovala z vysoké pevnosti základního materiálu. Tato konstrukce vykazuje podstatně lepší odolnost proti tvorbě výmolů na čele a porušení břitu.

Charakteristiky a výhody TM4000:

- neobyčejná houževnatost snižuje účinky nárazů třísky, tvorbu rýh a vylamování břitu, což umožňuje dosažení maximální spolehlivosti;
- hospodárnost a spolehlivost i při přerušovaných řezech;
- omezený sklon k tvoření nárůstků, vynikající jakost povrchu a kvalita součástí. (12)

Obr.3.3 Řezné destičky TM4000 s povlakem Duratomic (12)

## Walter AG

Již nějakou dobu vyrábí frézovací VBD s PVD povlakem oxidu hlinitého (Obr.3.4). Nyní je tento vysoce výkonný povlak, jediný svého druhu na světě, dostupný i na VBD ISO pro soustružnické aplikace.

Nový řezný materiál nese označení Tiger.tec WSM30 a vyniká výhodným poměrem tvrdosti a houževnatosti.

Na jeho uvedení na trh již dlouho čekali zákazníci z nejrůznějších oblastí - od potravinářského přes letecký a kosmický průmysl až po výrobu zdravotnické techniky. Dosud totiž nebyl k dispozici žádný řezný materiál pro soustružení s byť jen se vzdáleně podobnými parametry životnosti nástroje a spolehlivosti procesu. Až dosud bylo nanášení oxidu hlinitého možné jen technologií CVD.

Před dvěma lety vývojáři řezných materiálů firmy Walter dosáhli zásadního průlomu, takže nyní už lze vrstvu $Al_2O_3$ nanášet fyzikální metodou PVD. Povlaky z oxidu hlinitého nanesené metodou PVD kombinují houževnatost běžných PVD povlaků založených na TiN, TiAlN nebo TiCN s vynikající tepelnou odolností CVD povlaků, čímž vzniká skutečně výjimečný produkt. Nová řada břitových destiček WSM30 zahrnuje pozitivní i negativní geometrie všech standardních tvarů VBD dle normy ISO, pokrývajících široké spektrum aplikací.

Tyto VBD jsou určeny hlavně pro soustružení vysoce legovaných a nerezových ocelí, obtížně obrobitelných materiálů, jako jsou slitiny titanu, a dokonce i superslitin, jako je Inconel. Sekundární oblastí využití jsou silně přerušované řezy nízko a vysokolegovaných ocelí. K dispozici je rovněž další varianta tohoto řezného materiálu WSM33/WSP43, optimalizovaná pro zapichování v rámci programu Walter-Cut. (13)

Obr. 3.4 Frézovací VBD s povlakem oxidu hlinitého (13)

## Iscar

Zavádí sadu nástrojů a destiček označených Sumoturn pro vysokovýkonné operace v podmínkách těžkého obrábění, která se vyznačuje velkorozměrovými jedno a dvoustrannými destičkami pro těžké obrábění. Geometrie CNMM, CNMG a SNMG – obr.3.5 kombinované s novými řeznými materiály Sumo Tec jsou schopny vytvářet velkou třísku. Tyto destičky jsou vyráběny z karbidů Sumo Tec 5000 pro litinu a Sumo Tec 8000 pro obrábění oceli a nerezových ocelí.

Obr. 3.5 Destičku Sumoturn pro těžké obrábění (15)

Skupina Heliturn LD byla rozšířena doplněním nových typů destiček WNMX, DNMX a CNMX. Tyto destičky jsou konstruovány s velmi pozitivními radiálními šroubovitými řeznými břity a pozitivními úhly čela, což je kombinace, která podstatně snižuje řezné síly a pomáhá zvyšovat produktivitu. Řada Heliturn LD kombinovaná s novým pákovým upínáním umožňuje lepší odchod třísky, zejména při podélném soustružení, podpichování a kruhovém kopírování. (15)

# 4 TECHNICKO - EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

V této kapitole se zaměříme na tuzemského vyrobce firmu Pramet Tools. Firma Pramet je jedničkou na našem trhu v minulém roce byl růst v řezných nástrojích, jejím hlavním prodejním oboru 20%. Minulý rok se také podařilo založení dvou poboček a to v Maďarsku a Rusku. Už dnes představuje pobočka v Rusku druhý největší prodejní tým v jejich skupině. Nyní připravuje otevření dalších dvou až tří obchodních poboček v tomto roce.

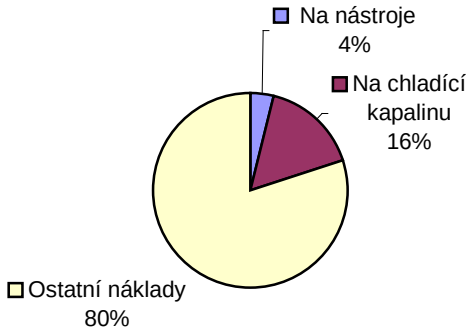
Vývojové trendy v oblasti technologie obrábění jsou stimulovány požadavky strojírenské výroby, mezi něž jednoznačně patří zvyšování produktivity, vysoká provozní spolehlivost, univerzálnost použití (širokorozsahovost), zvyšování kvalitativních parametrů, a nelze opomíjet ani environmentální kritéria. Systematickým monitoringem potřeb průmyslové výroby, spolu se snahou co nejvíce přispět k zefektivnění a zkvalitnění procesu obrábění jako takového, se zabývá i firma PRAMET TOOLS, která každý rok představuje řadu novinek splňujících ta nejtvrdší kritéria.

Od roku 2000 firma Pramet Tools díky vlastnímu vývoji a výzkumu prakticky kompletně inovovala výrobní sortiment nástrojů pro třískové obrábění, a to jak po stránce materiálové, tak po stránce nových tvarů a geometrií nástrojů. Stejnou inovací prošly i materiály pro tvářecí a lisovací nářadí ze slinutých karbidů. Nový sortiment dnes plně odpovídá požadavkům moderních technologických postupů obrábění. Ve srovnání s původním sortimentem je zde nárůst výkonnosti o mnoho desítek procent.

Filozofií firmy je trvalé zlepšování všech jejích činností jedině tak si může udržet náskok před konkurencí. Například spolehlivost, přijímat jen tolik objednávek kolik je firma schopna splnit a doručovat objednávky včas a ze 100 % kvalitou.

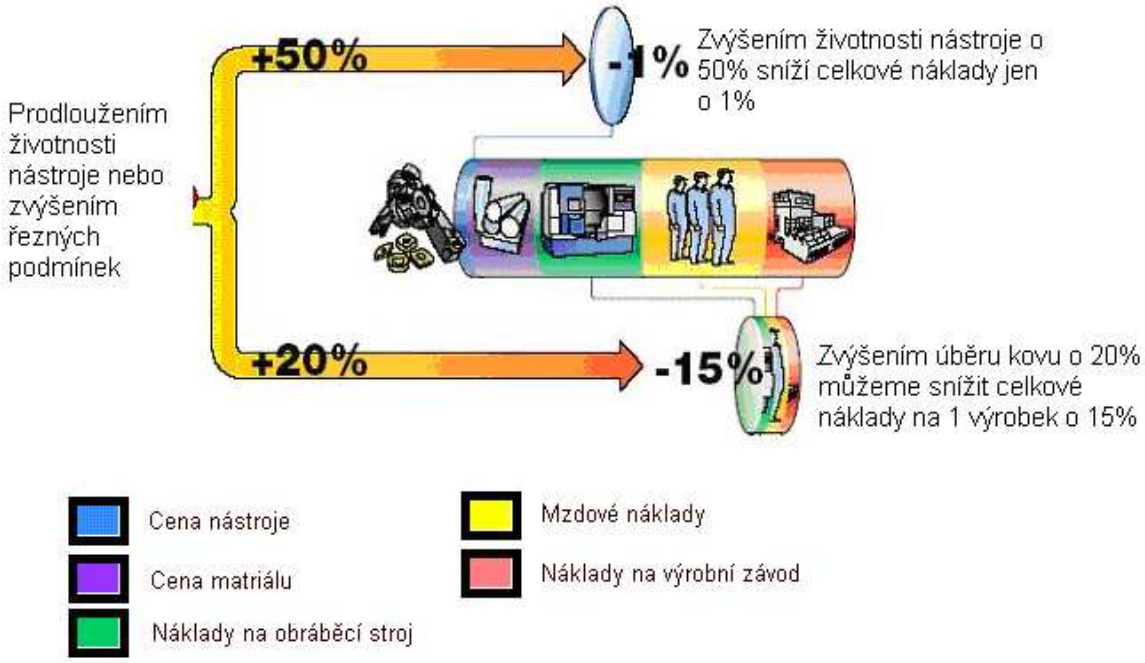
Kapacity vývoje jsou výrazně menší než u vedoucích světových firem, a proto se je snaží využívat efektivně. Při vývoji vždy vychází z analýzy konkurentů, a pak při vlastním návrhu aplikují znalosti řezného procesu, materiálů, povlaků, řezných geometrií, úprav řezné hrany i výrobních možností. Postupně zlepšují kvalitu vývoje a v současných vývojových úkolech si už začínají troufat i na vlastní originální řešení. Nemají ovšem ambice stát se firmou, která bude udávat světové trendy - firma nemá dostatek zdrojů.

V současné době se výzkum zaměřuje na oblast obrábění za sucha. Hrubé rozdělení nákladů na obrábění se ve světě uvádí takto: 4 % na nástroje, 16 % na chladicí kapalinu a 80 % jsou všechny ostatní náklady viz. obr.4.1. Zaváděním nástrojů, které mohou pracovat bez chlazení, se pomáhají snižovat náklady na chladicí kapaliny u zákazníků a současně se přispívá ke zlepšování životního prostředí. Ve firmě Pramet se jedná hlavně o materiál 5026 pro frézování.




Obr. 4.1 Hrubé rozdělení nákladů na obrábění:

Další podstatné snížení nákladů dosáhneme použitím vysoce kvalitních řezných nástrojů a náročnějších řezných podmínek. Snížení nákladů nástroje o 30% představuje snížení celkových nákladů na součástku pouze o 1 %. Zvýšení životnosti o 50% představuje snížení celkových nákladů na součástku také o 1%, ale klíčem pro ekonomický růst podniku je zvýšení řezných podmínek. Pokud se zvýší hodnoty řezných podmínek o 20 %, dojde ke snížení celkových nákladů na součástku o 15 %.




Obr. 4.2 Zvýšení produktivity soustružení (8)

Firma má i vlastní síť obchodních zástupců v jednotlivých regionech, kteří jsou připraveni řešit přímo u zákazníka jejich potřeby. Dalším službou, kterou nabízí, je technické školení v oblasti obrábění pro zákazníky a obchodní partnery. V poslední době se snaží firma nabídnout klíčovým zákazníkům i speciální výrobky "na míru". Konkurence představuje pro

každou firmu jednak nebezpečí, ale také výzvu, která může být impulzem ke zlepšení kvality a služeb. V uplynulém roce se dařilo firmě Pramet konkurovat i levným asijským zemím, což dokládá i výrazný růst exportu do zemí, jako je Čína, Tchaj-Wan nebo Indonésie. (18,19,20)

## Závěr

Problematika výroby řezných materiálů i nástrojů je natolik složitá, že bez kvalitního výzkumu nemá výrobce žádnou šanci uspět.

Vývoj nových typů řezných nástrojů, inovace stávajících druhů, rozšiřování sortimentu, řezných materiálů i jejich typů patří k základním předpokladům úspěchu výrobců moderních nástrojů na součastném trhu. Jsou využívány výsledky konstrukčního, materiálového a technologického výzkumu.

Progresivní řezný nástroj by měl charakterizovat nejen prvotřídní technické parametry, ale i široké aplikační možnosti a to v souladu s potřebami trhu a uživatelů.

Mimo zlepšování technických parametrů se výrobci zaměřují i na přípravu prostředků a systémů, které uživateli umožní optimální technické i ekonomické využití řezných nástrojů. Rozšiřuje se nabídka technických nebo organizačních prostředků, které sledují nástroj a jeho stav v průběhu celé jeho životnosti, evidují a organizačně zajišťují přeostření, údržbu, výměnu, doplňování zásob i likvidaci opotřebených nástrojů.

Velká pozornost je věnována vývoji a aplikaci nových povlaků a povlakovacích metod. Povlakování se dle principu dělí na metody CVD a PVD. Chemické napařování za vysokých teplot (kolem 1000 ℃) je charakteristické pro metodu CVD. Fyzikální napařování za relativně nízkých teplot (pod 500 ℃) je charakteristické pro metodu PVD. Vývoj těchto dvou metod přinesl tzv. plazmaticky aktivovanou CVD metodu (označuje se PCVD), která se od metody CVD liší sníženými pracovními teplotami (běžně 600 ℃). Druhá metoda MTCVD umož ňuje nanášet povlaky z plynné fáze za teplot, v rozsahu 700 - 850 ℃.

Vysokou trvanlivost a s ní spojené vysoké úběry obráběného materiálu dosahují též břitové destičky s multivrstvými povlaky, které jsou založeny na principu pravidelného střídání dvou typů vrstev s rozdílnými fyzikálními vlastnostmi. Tloušťka jednotlivých vrstev je velmi malá, kolem 10 nm i méně.

Zlepšování kvality řezných materiálů, umožňuje zvyšování řezných rychlostí a zkracování výrobního času. Výroba současně klade vyšší nároky na stabilitu obráběcích strojů, na přesné upínání, vyvažování nástrojů a na manipulaci s materiálem. Díky této skutečnosti dochází ke zvýšení výkonnosti moderního strojírenství a konkurenceschopnosti na trhu.

Základem úspěšnosti výrobců řezných nástrojů je schopnost využití všech uvedených aspektů v souladu s potřebami uživatelů. A v relativně krátké době připravit konkrétní nástroj, který ve vhodném sortimentu uvede na trh. Zpravidla tak využívá nové konstrukční prvky např. upínání břitové destičky, seřizovací mechanismus rozměru aj.. Konstrukční úprava je často kombinovaná se zdokonaleným řezným materiálem jehož funkční vlastnosti jsou lepší než stávající nabídky.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. HUMÁR, A. *Slinuté karbidy a řezná keramika pro obrábění.* 1. vyd. Brno: CCB, s.r.o., 1995. 256 s. ISBN 80-85825-10-4.

2. HUMÁR, A., *Materiály pro řezné nástroje*. Studijní opory. VUT FSI v Brně, ÚST, Odbor technologie obrábění. 2006. [online]. [cit. 2007-08-05]. Dostupné na World Wide Web: <http://ust.fme.vutbr.cz/odrabeni/opory/mat_pro_rez_nastroje_v2.pdf>.

3. HUMÁR, A., PÍŠKA, M. Materiály pro řezné nástroje. *MM Průmyslové spektrum - Speciální vydání.* Září 2004. s. 12-15. ISSN 1212-2572.

4. KŘÍŽ, A. *Nové trendy vývoje tenkých vrstev vytvořených PVD a CVD technologií v aplikaci na řezné nástroje.* [online]. [cit. 2007-10-22]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.ateam.zcu.cz/Nove_trendy.pdf>.

5. HUMÁR, A., *Trendy v povlakování slinutých karbidů*. *MM Průmyslové spektrum*. Červenec 2001. s. 43. ISSN 1212-2572.

6. HOLUBÁŘ, P., ŠÍMA, M., ZINDULKA, O. *Technologie úprav nástrojů před a po povlakování. MM Spektrum.* Září 2005. s. 70-72. ISSN 1212-2572.

7. HOLUBÁŘ, P., JÍLEK, M., ŠÍMA, M., *Otěruvzdorné tvrdé a supertvrdé vrstvy*. [online]. [cit. 2008-03-12]. Dostupné na World Wide Web: <http:// www.shm-cz.cz/info.htm>.

8. HUMÁR, A*., Technologie 1, Technologie obrábění* - 1.část Studijní opory. VUT FSI v Brně, ÚST, Odbor technologie obrábění. 2006. [online]. [cit. 2007-11-20]. Dostupné na World Wide Web: <http://ust.fme.vutbr.cz/odrabeni/opory/technologie1_1část.pdf>.

9. J&M DIAMOND TOOL, INC. E. Providence, USA. *Composition of PCD*. [online]. [cit. 2008-03-05]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.diamondtool.com/pcdcbm2a.html#speedscbn>.

10. TechnicBay.com, Brno Česká republika. *Produkty a technologie*. [online]. [cit. 2008-03-23]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.technicbay.com/zprava.php?id=47>.

11. *Nové řezné nástroje do výroby*, MM Průmyslové spektrum, Červen 2006, s. 28. ISSN 1212-2572.

12. *Břitové destičky s novou technologií povlakování,* MM Průmyslové spektrum, Březen 2008, s. 25. ISSN 1212-2572.

13. *První VBD dle normy ISO s PVD povlakem oxidu hlinitého,* MM Průmyslové spektrum, Prosinec 2007, s. 48. ISSN 1212-2572.

14. S.H.M. s.r.o., Šumperk, ČR. [online]. [cit. 2008-04-10]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.shm-cz.cz/cs/produkty>.

15. *Nová technologie pro produktivní obrábění,* MM Průmyslové spektrum, Prosinec 2007, s. 44. ISSN 1212-2572.

16. Kocman, Karel. *Technologie obrábění* / vyd. 2. Brno: CERM, 2005.270s. ISBN 80-214-3068-0

17. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. *Příručka obrábění - Kniha pro praktiky.* Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, s. r. o. 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cuttig - A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4-6.

18. Dvořák, Roman. *Snahou výzkumu je přiblížit se k ideálnímu řeznému nástroji.* MM Spektrum. Listopad 2007 s. 18. ISSN 1212-2572.

19. *Noviny společnosti Pramet Tools, s.r.o*., Prosinec 2007, [online]. [cit. 2008-04-01]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.abarth.cz/novypramet/download/noviny/07_12.pdf >.

20. *Noviny společnosti Pramet Tools, s.r.o*., Březen 2008, [online]. [cit. 2008-04-01]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.abarth.cz/novypramet/download/noviny/08_03.pdf >.

21. Maixner, Vladimír. *Novinky v sortimentu pro obrábění.* MM Spektrum. Září 2007 s. 98. ISSN 1212-2572.

22. *Sandvik Coromant*, ČR, [online]. [cit. 2008-05-05]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.coromant.sandvik.com/sandvik/3300/Coromant/Internet/SE03570.NSF>

# SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

| Zkratka/Symbol | Jednotka | Popis |
|---|---|---|
| CVD | | Chemical Vapour Deposition = chemické napařování z plynné fáze |
| HRC | | Tvrdost podle Rockwella |
| HSS | | Rychlořezná ocel |
| MTCVD | | middle teperature CVD metoda |
| PKNB, CBN | | Polykrystalický kubický nitrid bóru |
| PVD | | Physical Vapour Deposition = fyzikální napařování |
| PKD, PCD | | Polykrystalický diamant |
| PCVD | | Plazmaticky aktivovaná CVD metoda |
| SK | | Slinutý karbid |
| f | [mm] | posuv na otáčku |
| $v_c$ | [m $min^{-1}$] | řezná rychlost |
| $v_1$ | [m $min^{-1}$] | rychlost odcházející třísky |

## Seznam příloh

| | |
|---|---|
| Příloha 1 | Druhy řezné keramiky |
| Příloha 2 | Užití cermetů |
| Příloha 3 | Vybrané vlastnosti nástrojových materiálů |
| Příloha 4 | Slinuté karbidy typu P |
| Příloha 5 | Slinuté karbidy typu M |
| Příloha 6 | Slinuté karbidy typu K |
| Příloha 7 | Slinuté karbidy typu N |
| Příloha 8 | Slinuté karbidy typu S |
| Příloha 9 | Slinuté karbidy typu H |

## Příloha č.1 Druhy řezné keramiky

| Výrobce | Země | Řezná keramika | | Doporučené užití, pokrytý rozsah tříd dle ISO, řezná rychlost $v_c$ [m min$^{-1}$] |
|---|---|---|---|---|
| | | Označení | Typ | |
| Carboloy | USA | Cermax 440 | $Al_2O_3$ | Hrubovací a dokončovací soustružení litin a tvrzených litin, měkkých, kalených i žáruvzdorných ocelí, $v_c$= 450÷900 (tvrdost obráběného mat. 10÷22 HRC), $v_c$= 90÷150 (tvrdost obráběného materiálu 50÷55 HRC, dokončování), P01-P05, K01-K05 |
| | | Cermax 460 | $Al_2O_3$, vyztužená vlákny SiC | Vhodná pro přerušovaný řez a obrábění žáruvzdorných slitinových ocelí (až $v_c$= 600), P05-P10, K01-K10 |
| Saint Gobain Advanced Ceramics | ČR | DISAL 100[97] | $Al_2O_3$ | Obrábění šedých litin a konstrukčních ocelí nepřerušovaným řezem, až $v_c$ = 1000 |
| | | DISAL 210[97] | $Al_2O_3$+$ZrO_2$ | Obrábění, šedých, tvárných a temperovaných litin, konstrukčních, zušlechtěných a rychlořezných ocelí, vhodná pro lehký přerušovaný řez, |
| | | DISAL 220[97] | $Al_2O_3$+$ZrO_2$+CoO | Obrábění tvrzených litin a kalených ocelí (do 64 HRC) částečně přerušovaným řezem, i s procesní kapalinou, vhodná pro střední a jemné frézování |
| | | DISAL 310[97] | $Al_2O_3$+TiC | Obrábění kalených ocelí přerušovaným řezem, vhodná pro střední a jemné frézování, lze použít procesní kapalinu |
| | | DISAL 420<br>DISAL 460 | $Si_3N_4$ | Zejména pro obrábění všech druhů litin (včetně kůry), ale též ocelí přerušovaným řezem, lze použít procesní kapalinu, vhodná pro frézování (i hrubovací) při maximálních výkonech |
| Fansteel VR/ Wesson | USA | VR97 | $Al_2O_3$ | Obrábění šedých litin (250 HB) a měkčích ocelí (35 HRC) |
| | | VR100 | $Al_2O_3$+TiC | Obrábění šedých litin (přes 250 HB) a tepelně zpracovaných ocelí (65÷67 HRC), rychlostní frézování šedých litin |
| | | VR200 | $Si_3N_4$+$Y_2O_3$ | |
| CeramTec (Feldmühle) | Německo | SN56 | $Al_2O_3$+$ZrO_2$ | Hrubovací a dokončovací soustružení litin (šedých, temperovaných, tvárných) |
| | | SN60 | | Hrubovací a dokončovací soustružení šedých litin, dokončovací soustružení ocelí, P05-P20, K05-K20 |
| | | SN76 | | Hrubovací a dokončovací soustružení |
| | | SN80[97] | | Hrubovací soustružení ocelí, frézování šedých litin, P10-P30, M15-M25, K10-K35 |
| | | SH1 | $Al_2O_3$+TiC | Soustružení a frézování tvrdých materiálů, frézování šedých litin malými posuvy, přesné frézování šedých litin a ocelí, M05-M15 |
| | | SH20 | | Přesné soustružení šedých litin, cementačních, zušlechtěných a rychlořezných ocelí |
| | | SH20F | | P01-P15, M05-M15, K01-K15 |
| | | FH3 | | Jemné frézování šedých a tvrzených litin (až 700 HB), zušlechtěných a kalených ocelí |
| | | SL100 | $Si_3N_4$+$Y_2O_3$ | M25-M45, K20-K50 |
| GTE Valeron | USA | Quantum 5000 | $Si_3N_4$+$Y_2O_3$+ $Al_2O_3$+TiC(30%) | Obrábění litin, $v_c$= 600÷1500 |
| Hertel | Německo | AC5 | $Al_2O_3$ | Obrábění litin i ocelí |
| | | MC2 | $Al_2O_3$+TiC | |
| | | NC1 | $Si_3N_4$ | Hrubování šedých litin, soustružení, frézování |
| Iscar | Izrael | Iscanite | $Si_3N_4$+$Y_2O_3$ | Soustružení: K01-K15 |

Zdroj: HUMÁR, A., *Technologie 1, Technologie obrábění* - 1.část Studijní opory. VUT FSI v Brně, ÚST, Odbor technologie obrábění. 2006. [online]. [cit. 2008-02-12].Dostupné na World Wide Web: <http://ust.fme.vutbr.cz/odrabeni/opory/technologie1_1část.pdf>.

Příloha č.2 Užití cermetů

| Nástrojový materiál | Aplikace | Analýza |
|---|---|---|
| PD | Obrábění slitin hliníku vysokými řeznými rychlostmi. | Lze použít cermety, ale při nižších řezných rychlostech; náklady na jeden břit jsou při jejich použití výrazně nižší. |
| | Neželezné kovy a nekovové materiály. | |
| PKNB | Tvrdé obrobky a obrábění šedých litin vysokými řeznými rychlostmi. | Nelze obrábět pomocí cermetů při stejných rychlostech; náklady na jeden břit jsou u cermetů výrazně nižší. |
| Řezná keramika lisovaná za studena | Vysokorychlostní soustružení a zapichování ocelí a litin. | Cermety jsou univerzálnější a levnější, ale nemohou pracovat při vysokých řezných rychlostech. |
| Řezná keramika lisovaná za tepla | Soustružení a zapichování tvrdých obrobků, vysokorychlostní dokončovací obrábění ocelí a litin. | Tvrdé obrobky nelze obrábět pomocí cermetů; oceli a litiny nelze obrábět při stejných rychlostech; cermety jsou univerzálnější a levnější. |
| Řezná keramika $Si_3N_4$ | Hrubovací a polohrubovací soustružení a frézování šedých litin vysokými řeznými rychlostmi za nepříznivých podmínek. | Pomocí cermetů nelze obrábět šedé litiny při stejných řezných rychlostech, ale při středních rychlostech mohou být levnější. |
| Povlakované SK | Obecné použití pro obrábění ocelí (včetně korozivzdorných), šedých litin, atd. | Cermety mohou pracovat při vyšších řezných rychlostech, mají vyšší trvanlivost a jsou levnější při pohrubovacích a dokončovacích operacích. |
| Slinuté karbidy | Houževnaté nástrojové materiály pro nižší řezné rychlosti a různé obráběné materiály. | Cermety mohou pracovat při vyšších rychlostech, zaručují lepší obrobenou plochu. |

Zdroj: HUMÁR, A., *Technologie 1, Technologie obrábění* - 1.část Studijní opory. VUT FSI v Brně, ÚST, Odbor technologie obrábění. 2006. [online]. [cit. 2008-02-12].Dostupné na World Wide Web: <http://ust.fme.vutbr.cz/odrabeni/opory/technologie1_1část.pdf>.

Příloha č.3 Vybrané vlastnosti nástrojových materiálů

| Vlastnost | | Nástrojový materiál | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Slinutý karbid WC+Co | Cermet $MO_2C$ +TiCN+Ni | $Al_2O_3$+$ZrO_2$ | $Al_2O_3$+TiC | $Si_3N_4$ + přísady |
| Měrná hmotnost [g $cm^{-3}$] | | 12,0 ÷ 15,1 | 5,6 ÷ 7,0 | 3,8 ÷ 4,0 | 4,2 ÷ 4,3 | 3,2 ÷ 3,4 |
| Pevnost v ohybu [MPa] | | 1000 ÷ 2400 | 1150 ÷ 1800 | 600 ÷ 800 | 600 ÷ 900 | 600 ÷ 950 |
| Tvrdost | [HV] | 1900 | 2000 | 1600 ÷ 2200 | 1000 ÷ 2400 | 1800 ÷ 2000 |
| | [HRA] | 90 ÷ 92 | 91 ÷ 93 | 91 ÷ 94 | 93 ÷ 95 | 86 ÷ 95 |
| Modul pružnosti v tahu [GPa] | | 520 ÷ 660 | 500 | 340 ÷ 400 | 370 ÷ 420 | 300 ÷ 380 |
| Souč. délkové roztažnosti [$10^{-6}$ $K^{-1}$] | | 4,5 ÷ 7,0 | 7,0 ÷ 7,5 | 7,0 ÷ 8,5 | 1,5 ÷ 3,5 | |
| Měrná tepelná vodivost [W $m^{-1}$ $K^{-1}$] | | 80 | 30 | 20 ÷ 30 | 20 ÷ 25 | 30 ÷ 50 |
| Lomová houževnatost [MPa $m^{1/2}$] | | 10 ÷ 17 | 10 | 4 ÷ 6 | | 5 ÷ 7 |

Zdroj: HUMÁR, A., *Technologie 1, Technologie obrábění* - 1.část Studijní opory. VUT FSI v Brně, ÚST, Odbor technologie obrábění. 2006. [online]. [cit. 2008-02-12].Dostupné na World Wide Web: <http://ust.fme.vutbr.cz/odrabeni/opory/technologie1_1část.pdf>.