

**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**  
**ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

# **SLINUTÉ KARBIDY A JEJICH EFEKTIVNÍ VYUŽITÍ**

CEMENTED CARBIDES AND THEIRS EFFECTIVE USE

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**LUBOŠ CRHAN**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

doc. Ing. ANTON HUMÁR, CSc.

BRNO 2010

Zadání

Licenční smlouva

## ABSTRAKT

Bakalářská práce je vypracovaná v rámci bakalářského studijního programu B2341 – Strojírenství, oboru Strojírenské technologie na fakultě strojního inženýrství v Brně. Práce je zaměřena zejména na problematiku řezných nástrojů ze slinutých karbidů a jejich efektivního využití při obrábění. Z literárních podkladů jsou v první kapitole popsány základní informace o rozdělení, značení, výchozích materiálech, výrobě, vlastnostech slinutých karbidů apod. Další kapitoly jsou zaměřeny na vyhodnocení a porovnání řezných podmínek pro použití různých druhů nástrojových materiálů od jednotlivých výrobců.

### Klíčová slova

Slinuté karbidy, povlakované slinuté karbidy, technologie obrábění, výrobců.

## ABSTRACT

Bachelor's thesis is elaborated in an bachelor's study program B2341 - Engineering, branch of Engineering Technology at the Faculty of Mechanical Engineering in Brno. Work is focused primarily on issues of cemented carbides cutting tools and their effective use during machining. The first chapter describes basic informations on distribution, labelling, raw materials, manufacture, properties of cemented carbides, etc., from literary sources. Other chapters are devoted to evaluation and comparison of cutting conditions for different types of tool materials from different manufactures.

### Key words

Cemented carbides, coated cemented carbides, technology of cutting, manufacturers.

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

CRHAN, L. *Slinuté karbidy a jejich efektivní využití*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 42 s., 2 příloh. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Anton Humár, CSc.

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Slinuté karbidy a jejich efektivní využití vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum: 27. 5. 2010

.....  
Jméno a příjmení bakaláře

## **Poděkování**

Děkuji tímto panu doc. Ing. Antonu Humárovi, CSc. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

**OBSAH**

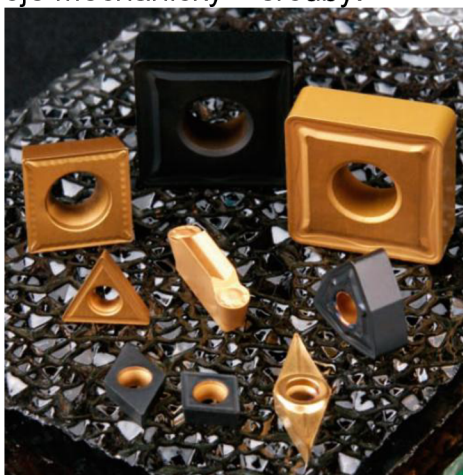
Abstrakt .....	4
Prohlášení.....	5
Poděkování.....	6
Obsah .....	7
Úvod .....	8
1 SLINUTÉ KARBIDY .....	9
1.1 HISTORIE .....	9
1.2 SUROVINY PRO VÝROBU.....	11
1.3 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ A ZNAČENÍ .....	12
1.3.1 Rozdělení slinutých karbidů podle druhu .....	12
1.3.2 Rozdělení slinutých karbidů podle použití .....	12
1.4 NEPOVLAKOVANÉ SLINUTÉ KARBIDY .....	13
1.4.1 Výroba .....	14
1.4.2 Vlastnosti .....	15
1.5 POVLAKOVANÉ SLINUTÉ KARBIDY .....	16
1.5.1 Výroba .....	16
1.5.2 Vlastnosti .....	19
2 VÝROBCI.....	21
2.1 PRAMET TOOLS .....	21
2.2 KENNAMETAL .....	23
2.3 SANDVIK-COROMANT .....	25
3 DOPORUČENÉ ŘEZNÉ PODMÍNKY .....	29
3.1 PRAMET TOOLS.....	29
3.2 KENNAMETAL .....	30
3.3 SANDVIK-COROMANT .....	31
3.4 POROVNÁNÍ .....	33
4 TECHNICKO – EKONOMICKÉ HODNOCENÍ .....	36
Závěr .....	38
Seznam použitých zdrojů.....	39
Seznam použitých zkratk a symbolů.....	41
Seznam příloh .....	42

## ÚVOD

Technologie obrábění je obor, který se neustále vyvíjí a zdokonaluje, jak v oblasti výroby a vývoje nových, přesnějších, produktivnějších obráběcích strojů, tak v oblasti vývoje nástrojů a nástrojových materiálů. Obrábění jako technologie zpracování kovů se začala postupně vyvíjet v období tzv. průmyslové revoluce, která probíhala v osmnáctém a devatenáctém století. Největšího pokroku v tomto odvětví ve všech oblastech došlo v průběhu dvacátého století.

Dnešní vysoká úroveň technologie obrábění kovů je důsledkem především toho, že lidé potřebovali neustále více výrobků z kovových materiálů. Obrábění kovů klade vysoké požadavky na rezný nástrojový materiál, který musí být v oblasti ostří především dostatečně houževnatý a tvrdý zároveň. V průběhu devatenáctého století došlo v technologii výroby železa a oceli k velkému pokroku, který pak vedl ke vzniku nástrojové uhlíkové a legované oceli. Jednalo se o první rezný nástrojový materiál, který se v té době začal používat. Tento rezný materiál bohužel nestačil a měkl i při v té době používaných poměrně nízkých rezných rychlostech. Proto byla snaha neustále vyvíjet nové, odolnější, trvanlivější rezné nástroje, které by bylo možné používat produktivně i pro obrábění vyššími reznými rychlostmi, posuvovými rychlostmi a větších průřezů třísek.

Postupným vývojem a v průběhu časového období až do dnešního dne, byly vyvinuty tyto rezné nástrojové materiály: rychlořezné oceli (HSS), slinuté karbidy, slinuté karbidy s tvrdými povlaky, cermety, keramické nástrojové materiály, polykrystalický kubický nitrid bóru, polykrystalický diamant, přírodní diamant. Bakalářská práce je zaměřena výhradně na slinuté karbidy, a proto jsou následující kapitoly zaměřeny na problematiku rezných nástrojových materiálů ze slinutých karbidů. Slinuté karbidy jsou v současné době nejpoužívanějším nástrojovým materiálem pro technologii obrábění kovů (nejvíce u soustružení a frézování). Nejvíce se v dnešní době používají na moderních pracovištích s NC obráběcími stroji, nebo obráběcími centry. Nejrozšířenější použití nástrojů ze slinutých karbidů je v normalizovaných tvarech VBD, které jsou připevněny k tělu nástroje mechanicky – šrouby.



Obr. 1.1 VBD ze slinutých karbidů firmy Pramet Tools <sup>12</sup>



# 1 SLINUTÉ KARBIDY

## 1.1 HISTORIE

Mezi nejčastěji používané metody obrábění kovových materiálů, které firmy na celém světě používají k výrobě strojních součástí, patří frézování, vr-tání, soustružení a obrábění na obráběcích centrech. U těchto metod obrábění se při vlastní výrobě součásti odebrává z povrchu obrobku materiál ve formě třísek, což klade vysoké požadavky na řezný nástroj. Nejvíce namáhaný v průběhu obrábění je břit řezného nástroje, který musí být dostatečně tvrdý, aby byla zaručena dobrá řezivost a zároveň houževnatý, aby nedocházelo ke drolení a vylamování ostří. Tyto vlastnosti si řezný nástroj musí zachovat i při vysokých pracovních teplotách, které se vyvíjejí při obrábění. V současné době používané řezné nástroje se vyrábějí z různých druhů materiálů a jejich použití je dáno zejména fyzikálními (měrná hmotnost, velikost zrna, součinitel tření), chemickými (chemická stabilita) a mechanickými vlastnostmi (tvrdost, modul pružnosti, pevnost v tlaku a ohybu, lomová houževnatost).

Nástrojové materiály, které mají vysokou tvrdost, se používají zejména u dokončovacího obrábění, kde převládají vysoké řezné rychlosti, nízké posuvové rychlosti a malé průřezy třísek odebíraného materiálu. U této metody obrábění se vyvíjí velké množství tepla, a proto musí být řezný nástroj odolný především proti difúznímu opotřebení. Nástrojové materiály s vysokou houževnatostí se používají pro hrubovací obrábění s většími průřezy třísek a vyššími posuvovými rychlostmi. Při hrubování musí být řezný nástroj dostatečně houževnatý, aby byl schopen odolávat vysokému mechanickému zatížení a nedocházelo k vylamování ostří, nebo drolení nástroje (adhezní a abrazní opotřebení).

Nejnámějšími přírodními materiály, které mají mnohem vyšší tvrdost než nástrojové oceli, jsou diamant a korund ( $Al_2O_3$ ). Tyto velmi tvrdé materiály nemají dostatečnou houževnatost k tomu, aby mohly být použity pro výrobu řezného nástroje. Nejčastěji se proto používají pro broušení materiálů, kde jsou částice těchto tvrdých látek obsaženy v brousicích kotoučích či používány jako volné abrazivo.

Koncem 19. století byly poprvé objeveny dva karbidy wolframu –  $W_2C$  a  $WC$ . Tyto v té době nově objevené velmi tvrdé materiály jsou charakteristické vysokou teplotou tavení, která je přibližně  $2800\text{ }^\circ\text{C}$ . Největšího pokroku ve vývoji tvrdých materiálů bylo dosaženo až po využití elektrické obloukové pece, kterou zkonstruoval Henri Moisson roku 1897 v Paříži. V důsledku toho byly zvýšeny pracovní teploty, které umožnily výrobu prvních nástrojů z těchto materiálů. Tato technologie a pokus o výrobu řezného nástroje z karbidu wolframu odléváním se ovšem neosvědčila, protože odlitky měly mnoho vad a hrubozrnnou strukturu, která byla velmi křehká a při mechanickém zatížení se drolila.<sup>1,2</sup>

V období počátku 20. století se začala postupně rozvíjet prášková metalurgie, která se zabývala zpracováním materiálů na bázi  $WC$  a jiných karbidických prvků, které se vyznačovaly vysokou tvrdostí a odolností proti opotřebe-

ní. Touto technologií se podařilo vyrobit žhavicí vlákno z wolframového prášku s velmi jemným zrnem o velikosti jednotek  $\mu\text{m}$ , což byl v té době velmi významný krok vpřed při zpracování a využití karbidu wolframu. První rezné nástroje vyrobené práškovou metalurgií byly průvlaky k tažení drátů. Vývoj a výzkum této nové technologie výroby rezných nástrojů probíhal v německé firmě Osrám se sídlem Berlíně. Po zkušenostech s výrobou průvlaků se zjistilo, že pokud se karbid wolframu smíchá s menším množstvím práškového kovu kobaltu, následně se směs slisuje do požadovaného tvaru a ve vodíkové atmosféře za teploty kolem  $1300\text{ }^{\circ}\text{C}$  po určitou dobu slinuje, získá se materiál s vysokou tvrdostí, pevností a nízkou pórovitostí, který by byl vhodný i pro použití jako rezného materiálu pro nástroje určené k obrábění.<sup>1,2</sup>

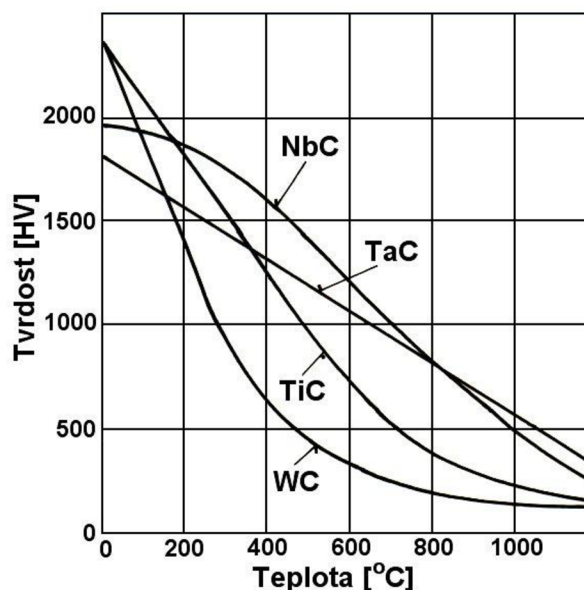
Tab. 1.1 Historický vývoj slinutých karbidů<sup>1</sup>

Rok	Nový materiál, technologie
1923÷25	WC-Co
1929÷31	WC-TiC-Co
1930÷31	WC-TaC(Vc,NbC)-Co
1933	WC-TiC-TaC(NbC)-Co
1938	WC-Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub> -Co
1947÷70	Submikrometrové WC- Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub> -Co
1956	WC-TiC-Ta(Nb)C-Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub>
1959	WC-TiC-HfC-Co
1965÷75	Vysokoteplotní izostatické lisování (HIP), SK pod obchodním označením Keziz, firma Kennametal
1965÷78	TiC, TiN, Ti(C,N), HfC, HfN, (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), CVD povlaky na slinutých karbidech WC-Co
1968÷69	WC-TiC-TaC(NbC)-HfC-Co, WC-TiC-NbC(TaC)-HfC-Co
1969	CVD povlak TiC na vyměnitelné břitové destičce, firma Sandvik Coromant
1969÷71	Termochemické povrchové kalení
1969÷79	Komplexní karbidy s přísadou Ru
1971	CVD povlak (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), Lux a spolupracovníci
1972	Submikrometrový slinutý karbid WC+Co, firma Wimet, Velká Británie
1973	Vícevrstvý CVD povlak TiC+Ti(C,N)+TiN, Schintlmeister
1973÷78	Vícevrstvé povlaky (karbidy, karbonitridy/nitridy, vícenásobné karbidy/karbonitridy/nitridy/oxidy)
1974÷77	Vrstvy polykrystalického diamantu na slinutých karbidech na bázi WC-Co
1978	PVD povlaky TiC a TiN (iontová implantace), firma Sumitomo
1981	Vícenásobné tenké povlaky typu Al(O,N)
1987÷89	PVD povlaky TiAlN
1992÷96	PACVD povlaky, CVD diamantové povlaky
1995	Funkčně gradientní slinuté karbidy (gradientní struktura), Japonsko
1995÷96	CVD povlaky kubického nitridu boru - laboratorní vývoj

Tyto nově vyvinuté velmi odolné materiály vyrobené práškovou metalurgií zvýšily řezné rychlosti proti dosud používaným rychlořezným ocelím z desítek na stovky metrů za minutu. Těmto novým řezným materiálům se začalo říkat slinuté karbidy. První řezné nástroje ze slinutých karbidů složení WC – Co, které byly vyrobeny koncem dvacátých let minulého století, umožňovaly zvýšení řezných rychlostí pouze při obrábění litiny a neželezných kovů, kdy bylo možné použít řezné rychlosti dvakrát až třikrát vyšší než při použití nástrojů z rychlořezných ocelí. Ale při obrábění ocelí u těchto druhů slinutých karbidů docházelo v důsledku difúzního opotřebení k rychlé tvorbě výmolu na čele nástroje, a výsledkem bylo, že trvanlivost nástroje byla velmi nízká a řezné rychlosti srovnatelné s rychlořeznou ocelí. Z těchto důvodů se výrobci snažili používat při výrobě nástrojů dalších druhů karbidů, jako například: karbidu titanu (TiC), karbidu tantalu (TaC), nebo karbidu niobu (NbC), ze kterých při výrobě připravili směs s karbidem wolframu a kobaltem. Vývoj neustále pokračoval a vlastnosti těchto nových řezných materiálů vzbudily velkou pozornost a začaly se vyrábět v mnoha zemích po celém světě (Německo, Francie, Japonsko, USA atd.).<sup>1,2</sup>

## 1.2 SUROVINY PRO VÝROBU

Hlavní suroviny pro výrobu řezných nástrojů ze slinutých karbidů jsou kovy s vysokou tvrdostí a teplotou tavení (wolfram, titan, hafnium, tantal, niob, vanad, chrom, zirkon, molybden), které tvoří sloučeniny s uhlíkem a dusíkem. Takto vzniklé sloučeniny se nazývají karbidy, nebo nitridy výše uvedených kovů (karbid wolframu (WC), karbid titanu (TiC), nitrid titanu (TiN) apod.). Dalším kovem používaným při výrobě je kobalt (Co), který slouží jako pojivová složka zvyšující houževnatost a zajišťující soudržnost tvrdých karbidických částic. Největší zastoupení u všech druhů karbidů má karbid wolframu (WC).<sup>1,2</sup>



Obr. 1.2 Závislost tvrdosti karbidů na teplotě<sup>3</sup>

Karbidy jsou svým vzhledem podobné kovům a mají jako kovy i podobné vlastnosti, mezi které patří především dobrá elektrická a tepelná vodivost. Karbidy mají také jako oceli při vysokých teplotách v průběhu obrábění značný úbytek tvrdosti a pokles řezivosti. Ale i přes velký pokles mají stále mnohem vyšší tvrdost a lepší řezné vlastnosti než nástrojové oceli. Podíl tvrdých karbidických částic tvoří ve slinutých karbidech 55÷92 % z celkového objemu materiálu, a proto jsou výhodnější jako řezný materiál pro nástroje než nástrojové oceli, které obsahují jenom 10÷15 % podílu tvrdých karbidických částic. <sup>1,2</sup>

### 1.3 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ A ZNAČENÍ

Norma ČSN ISO 513 rozděluje slinuté karbidy podle druhu slinutých karbidů a podle jejich použití.

#### 1.3.1 Rozdělení slinutých karbidů podle druhu

Podle druhu jsou slinuté karbidy dle normy ČSN ISO 513 rozděleny na nepovlakované slinuté karbidy a povlakované slinuté karbidy.

Nepovlakované slinuté karbidy se označují symboly HW a HF. Symbol HW označuje zrnitost  $\geq 1\mu\text{m}$  a HF zrnitost  $< 1\mu\text{m}$ . Hlavní složku těchto materiálů tvoří karbid wolframu (WC). <sup>1,2</sup>

Povlakované slinuté karbidy se označují symbolem HC. <sup>1,2</sup>

#### 1.3.2 Rozdělení slinutých karbidů podle použití

Podle použití se slinuté karbidy rozdělují do šesti skupin. Každá skupina je označena písmenem abecedy a podskupinou (dvoumístné číslo), která označuje houževnatost jednotlivých slinutých karbidů (např. P01, P05, P10, P15, P20, P25, P30, P35, P40, P45, P50). Dvojcísle určuje obsah pojícího kovu (kobaltu). Vyšší číslo označuje vyšší obsah pojícího kovu a tím i vyšší houževnatost. Čím vyšší je houževnatost, tím má řezný materiál zvýšenou pevnost v ohybu a nižší tvrdost a otěruvzdornost. Každá skupina má své specifické barevné značení. <sup>1,2</sup>

##### 1) Skupina **K**

Celá skupina se označuje červenou barvou. Jedná se o slinuté karbidy určené k obrábění šedé litiny, neželezných kovů a nekovových materiálů. Při obrábění se tvoří krátká a drobná tříška a převládají menší řezné síly. Hlavní karbidickou složku tvoří karbid wolframu (WC) a slinuté karbidy skupiny K se nazývají jako jednodobové. Při obrábění převládá abrazní a adhezni opotřebení. Skupina K může mít například takovéto složení: WC (87÷92) % + Co (4÷12)% + (TaC.NbC). <sup>1,2</sup>

##### 2) Skupina **P**

Skupina se označuje modrou barvou. Tato skupina slinutých karbidů je určena pro obrábění nelegovaných, legovaných a feritických korozivzdorných

ocelí. Při obrábění vzniká dlouhá tříška a převládají velké řezné síly. Někdy se označují jako dvojkarbidové. Hlavními karbidickými složkami materiálů skupiny P jsou karbid wolframu (WC) a karbid titanu (TiC). Karbid titanu brání vzniku výmolu na čele nástroje v důsledku působení difúzního opotřebení při vysokých teplotách. Nevýhodou je vyšší křehkost a nižší odolnost proti abrazi. Příklad skupiny P: WC (30÷82)% + TiC (8÷64)% + Co (5÷17)% + (TaC.NbC).<sup>1,2</sup>

### 3) Skupina **M**

Slinuté karbidy skupiny M se značí žlutou barvou. Skupina M je určena pro obrábění litých ocelí, austenitických korozivzdorných ocelí a tvárných litin. Při obrábění vznikají střední až vysoké řezné síly. Jedná se o slinuté karbidy s univerzálnějším použitím. Mají vysokou houževnatost a jsou vhodné pro náročné hrubovací operace. Slinuté karbidy skupiny M se nazývají jako vícekarbidové. Příklad skupiny M: WC (79÷84)% + TiC (5÷10)% + TaC.NbC (4÷7)% + Co (6÷15)%.<sup>1,2</sup>

### 4) Skupina **N**

Slinuté karbidy skupiny N se označují zelenou barvou. Jsou určeny pro obrábění neželezných slitin hliníku, hořčíku, mědi, nebo k obrábění plastů, kompozitů a dřeva.<sup>1,2</sup>

### 5) Skupina **S**

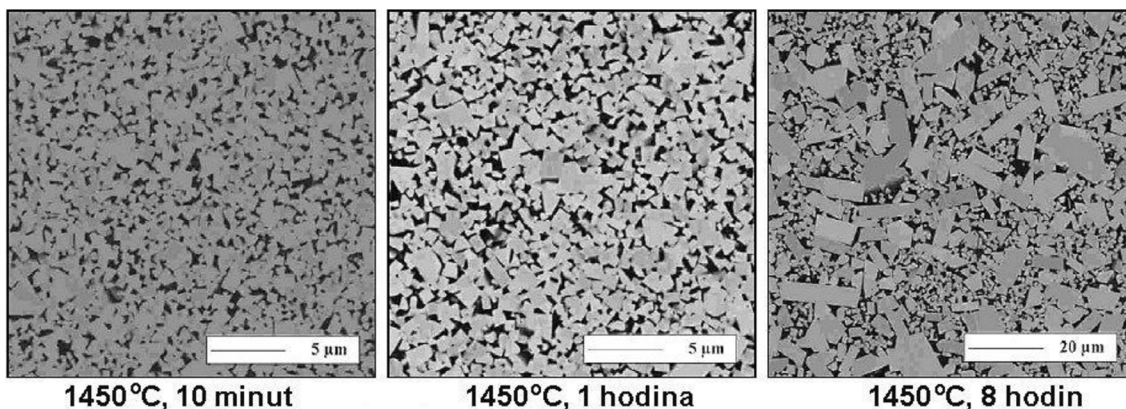
Celá skupina S se značí hnědou barvou. Používají se pro obrábění slitin titanu, žáropevných slitin niklu, kobaltu nebo železa.<sup>1,2</sup>

### 6) Skupina **H**

Slinuté karbidy skupiny H se označují tmavošedou barvou. Používají se pro obrábění zušlechťených a kalených ocelí a obrábění tvrzených litin.<sup>1,2</sup>

## **1.4 NEPOVLAKOVANÉ SLINUTÉ KARBIDY**

Všechny nepovlakované i povlakované slinuté karbidy obsahují jako hlavní karbidický prvek karbid wolframu a jako pojivo kobalt. Další karbidy se přidávají podle toho, jaká skupina materiálů se bude obrábět a jakými řeznými podmínkami (řezná rychlost, rychlost posuvu, šířka záběru ostří). Mezi nejvíce používané karbidy mimo karbidu wolframu patří karbid titanu (TiC), tantalu (TaC), niobu (NbC), chromu ( $Cr_3C_2$ ) a vanadu (VC). Další druhy karbidů se mísí s karbidem wolframu a pojivem hlavně proto, aby zabránily růstu zrna a výsledný řezný materiál měl jemnozrnnou strukturu. Ze všech karbidů při teplotním zatížení nejvíce rostou zrna karbidu wolframu. Řezný materiál s velmi jemnou zrnitostí je soudržnější, méně náchylný k vydrolování a mnohem pevnější a tvrdší než materiály s hrubými zrny.<sup>1,2</sup>



Obr. 1.3 Rostoucí zrna karbidu wolframu při slinování <sup>17</sup>

#### 1.4.1 Výroba

Všechny druhy řezných materiálů ze slinutých karbidů se vyrábí technologií, která se nazývá prášková metalurgie. Prášková metalurgie je založena na výrobě prášků pojiva a různých druhů karbidů, které se navzájem v určitém poměru mísí a vytvoří tak výchozí směs pro výrobu slinutých karbidů. Připravená směs karbidů a pojiva (kobalt) se lisuje do normalizovaných tvarů vyměnitelných břitových destiček, které se potom slinují v elektrické peci za teploty kolem 1350÷1650 °C. Teplota slinování je nižší než teplota tavení karbidů a pohybuje se kolem teploty tavení pojivého kovu kobaltu. Výsledný materiál je velmi kompaktní, soudržný, tvrdý a odolný hlavně proti tlakovému zatížení. Protože většinu ohybového zatížení absorbuje ocelový držák vyměnitelných břitových destiček, je tento materiál ideální pro použití jako břitu nástroje. <sup>1,2</sup>

**Obecný postup výroby slinutých karbidů lze rozdělit do následujících základních operací: <sup>1,2</sup>**

- výroba práškového wolframu,
- výroba práškových karbidů (WC, TiC, TaC.NbC, VC, Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>, atd.) a kobaltu,
- příprava směsí uvedených prášků (míchání, homogenizace, mletí, v případě mokrého mletí sušení a granulace),
- formování směsí (lisování, vytlačování, atd.),
- předslinování sformovaných směsí (700÷850 °C),
- úprava tvaru předslinutého tělesa (v případě potřeby),
- slinování (1350÷1650 °C),
- vysokoteplotní izostatické lisování (HIP - Hot Isostatic Pressing). Tlakový plyn rovnoměrně stlačuje výrobek ze všech směrů a zároveň probíhá slinování. Tímto způsobem vyrobené slinuté karbidy mají vysokou hustotu s minimálním objemem pórů a jiných vad a díky tomu dosahují nejvyšších hodnot trvanlivosti.

### Výroba směsných karbidů (W,Ti)C a [(W,Ti,Ta(Nb))]C

Směsné karbidy se vyrábějí hlavně proto, že výsledný řezný materiál z nich vyrobený má menší pórovitost a tím lepší řezné vlastnosti. Pokud se smíchají samostatně karbid wolframu (WC), karbid titanu (TiC) a pojivo (kobalt), potom při slinování dochází k nauhličování karbidu titanu, který začne vytvářet s karbidem wolframu tuhý roztok. Při nauhličování se začne uvolňovat oxid uhelnatý (CO) a zhorší se tím podmínky slinování, což způsobí vyšší pórovitost výsledného materiálu. Aby se tomu zabránilo, nejdříve se vyrobí tuhý roztok karbidu wolframu v karbidu titanu (W,Ti)C, který se mísí s kobaltem a následně probíhá lisování a slinování výrobku. Směsný karbid se vyrábí z oxidu titaničitého (TiO<sub>2</sub>) smíchaného s karbidem wolframu a sazemí, nebo grafitem. Směs je ohřívána za vysokých teplot ve vakuu, nebo ve vodíkové atmosféře.<sup>1,2</sup>

Podobným způsobem se vyrábí i směsný karbid [(W,Ti,Ta(Nb))]C. Aby měl karbid tantalu (TaC) vliv na vlastnosti řezného materiálu, musí s karbidem wolframu tvořit tuhý roztok. Pro výrobu se používá oxid tantalečný Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.<sup>1,2</sup>

#### 1.4.2 Vlastnosti

Aby byl řezný materiál vhodný pro obrábění, musí být dostatečně tvrdý, aby byl odolný proti otěru, ale také houževnatý z důvodu velkého mechanického zatížení v průběhu obrábění (zejména ohybové a tlakové namáhání). Vyrobit optimální nástrojový materiál není vůbec jednoduché, protože pokud zvýšíme tvrdost vyšším podílem karbidických částic, zároveň tím snížíme houževnatost a naopak. Proto se řezný materiál vyvíjí na určitý druh obráběného materiálu a není možné ho vyrobit univerzálně pro všechny skupiny obráběných materiálů (P, M, K, N, S, H). Na vlastnosti slinutých karbidů má největší vliv podíl jednotlivých karbidů ve výchozí směsi a jejich zrnitost, která se pohybuje v rozmezí kolem 0,5÷5,0 μm a podíl pojícího kovu kobaltu, který bývá přibližně 2÷13 % z celkového objemu materiálu. Dále má na vlastnosti velký vliv obsah uhlíku, dusíku, nečistoty a vady pórovitosti.<sup>1,2</sup>

Nejvyšší hodnoty tvrdosti, pevnosti v tlaku, modulu pružnosti v tahu a smyku, mají slinuté karbidy s jemnozrnnou strukturou a nízkým podílem pojícího kovu kobaltu. Hodnota tvrdosti u druhu WC-Co se pohybuje v rozmezí 780÷1850 HV. Slinuté karbidy s ultrajemnozrnnou a submikrometrovou strukturou mají vysokou tvrdost i při teplotách kolem 800÷900 °C. Pevnost v tlaku bývá běžně v rozsahu 3000÷6000 MPa. Modul pružnosti v tahu bývá přibližně v rozmezí 440÷670 GPa a modul pružnosti ve smyku 170÷270 GPa.<sup>1,2</sup>

Slinuté karbidy s vyšším podílem pojícího kovu kobaltu jsou více houževnaté a mají vyšší hodnoty pevnosti v ohybu, pevnosti v tahu a lomové houževnatosti. Pevnost v ohybu bývá u karbidů druhu WC-Co přibližně 1000÷3000 MPa. Hodnoty lomové houževnatosti a pevnosti v tahu firmy vyrábějící slinuté karbidy většinou neuvádějí. Slinuté karbidy jsou charakteristické tím, že při jejich porušení vznikne křehký lom s minimální plastickou deformací podobně jako u keramiky, nebo skla. Ale hodnoty, u kterých dojde k porušení, jsou mnohem vyšší než u ocelí, a proto mají lepší řezné vlastnosti.<sup>1,2</sup>

Měrná hmotnost slinutých karbidů je vysoká díky vysoké měrné hmotnosti wolframu a její hodnota se pohybuje kolem  $12,3\pm 15,2 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ . S vyšším podílem kobaltu v materiálu měrná hmotnost klesá. Tepelná vodivost slinutých karbidů je dvakrát až třikrát vyšší než u rychlořezné oceli a s rostoucí teplotou klesá. Délková roztažnost se s vyšším obsahem kobaltu zvyšuje a v porovnání s martenziticko-feritickými oceli je zhruba poloviční. <sup>1,2</sup>

Tab. 1.2 Vlastnosti vybraných slinutých karbidů <sup>18</sup>

Složení hm. %					
WC	94,0	85,3	75,0	78,5	60,0
Jiné karbidy (TiC, TaC, NbC)	-	2,7	-	10,0	31,0
Co	6,0	12,0	25,0	11,5	9,0
Měrná hmotnost [ $\text{g cm}^{-3}$ ]	14,9	14,2	12,9	13,0	10,6
Tvrdość [HV30]	1580	1290	780	1380	1560
Pevnosť v ohybu [MPa]	2000	2450	2900	2250	1700
Modul pružnosti v tahu [GPa]	630	580	470	560	520
Lomová houževnatost [ $\text{MPa m}^{1/2}$ ]	9,6	12,7	14,5	10,9	8,1
Tepelná vodivost [ $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$ ]	80	65	50	60	25
Souč. délkové roztažnosti [ $10^{-6} \text{K}^{-1}$ ]	5,5	5,9	7,5	6,4	7,2

## 1.5 POVLAKOVANÉ SLINUTÉ KARBIDY

První povlakované vyměnitelné břitové destičky se začaly vyrábět na přelomu šedesátých a sedmdesátých let dvacátého století. Od počátku vývoje technologie povlakování velmi pokročila a v současné době existuje mnoho druhů povlakovaných materiálů, které se od sebe liší druhem povlaku, tloušťkou vrstvy povlaku, nanášením jednotlivých vrstev, metodou povlakování, podkladovým materiálem (substrátem) apod. <sup>1,2</sup>

### 1.5.1 Výroba

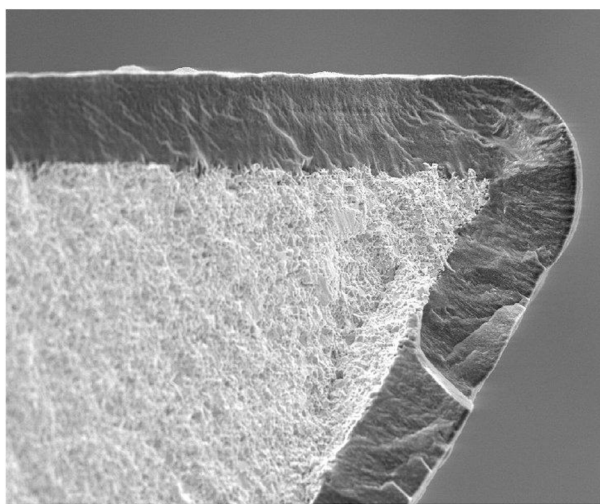
Výroba povlakovaných vyměnitelných břitových destiček probíhá tak, že se vrstva povlaku nanáší na slinuté karbidy jednotlivých skupin K, P, M, nebo na speciální podklad k tomuto účelu vyrobený. Tenká vrstva povlaku je charakteristická vysokou tvrdostí a výbornou odolností proti opotřebení. Výborné vlastnosti povlaku jsou dány především tím, že neobsahuje žádné pojivo, má mnohem jemnější zrnitost než podkladový materiál a méně strukturních vad. Povlak tvoří bariéru mezi podkladovým materiálem a obrobkem a brání difúznímu mechanismu opotřebení nástroje. Nanášení povlaku se provádí dvěma metodami: <sup>1,2</sup>

- **PVD** (Physical Vapour Deposition - fyzikální napařování),
- **CVD** (Chemical Vapour Deposition - chemické napařování z plynné fáze).



### Metoda PVD

Pracovní teploty se pohybují pod 500 °C a povlakování probíhá při nízkém tlaku, který se pohybuje kolem 0,1÷1,0 Pa. Díky nízkým teplotám nedochází k ovlivnění podkladu vyměnitelné břitové destičky, nebo nástroje z rychlořezné oceli. K nevýhodám všech metod PVD patří relativně složitý vakuový systém a požadavek pohybovat povlakovanými předměty v rotačních držácích. Mezi výhody této metody patří možnost povlakování ostrých hran s poloměrem zaoblení pod 20 μm.<sup>1,2</sup>



Obr. 1.4 Ostří povlakované metodou PVD<sup>1</sup>

Nanášení povlaku u fyzikální PVD metody lze realizovat dvěma základními technologiemi:<sup>1,2</sup>

- naprašováním,
- napařováním.

#### Naprašování

Zařízení tvoří materiál určený k naprašování (terč), který představuje katodu, držák substrátu, odprašovací plyn, vakuová komora, čerpací systém a zdroj energie. Doutnavý výboj hoří v prostředí plynu argonu ve vakuové komoře mezi katodou (materiál určený k naprašování) a substrátem (materiál určený k povlakování), který plní funkci anody. S rostoucím napětím proud výboje narůstá a zvyšuje se i intenzita naprašování. Nad záporným terčem výboj udržuje argonovou plazmu obsahující kladné ionty, které jsou v důsledku působení elektrického pole urychleny na materiál určený k naprašování (katodu) a při dopadu na jeho povrch odprašují atomy a molekuly směřující k substrátu.<sup>1</sup>

#### Napařování

Materiál určený k napařování je odpařován tepelným působením svazku elektronů, indukčně, odporově, nebo laserem ve vakuu. Odpařené atomy kon-

denzují na povrchu substrátu v prostředí argonu, který zajišťuje rovnoměrnou tloušťku povlaku.<sup>1,2</sup>

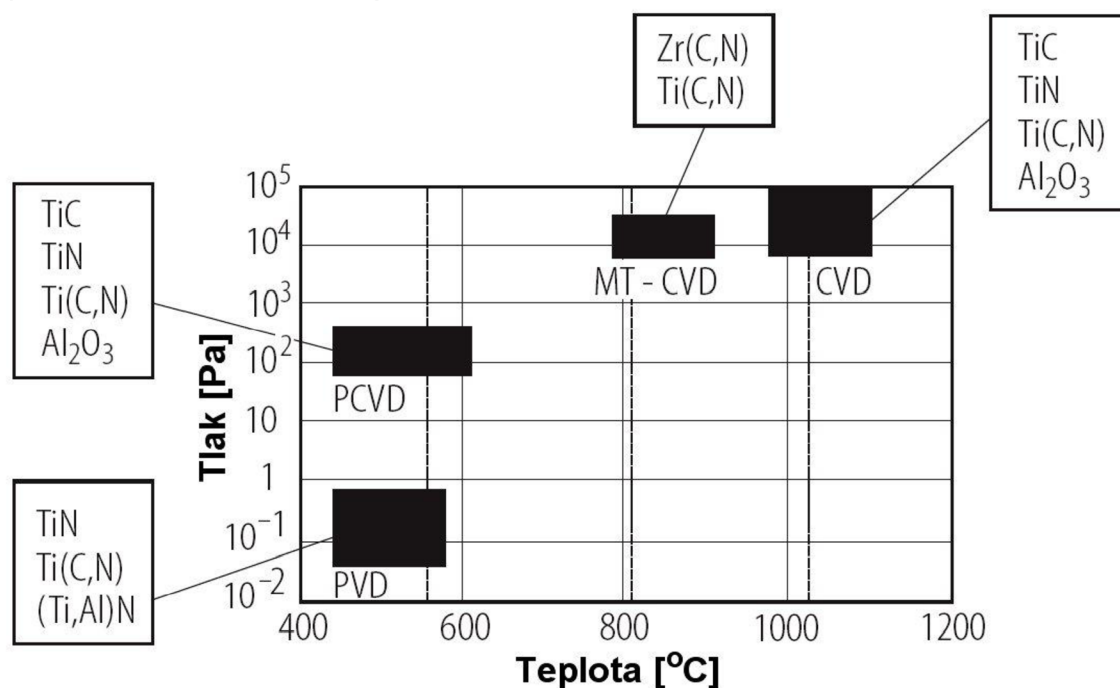
### Metoda CVD

Pracovní teploty u metody CVD jsou vysoké a pohybují se v teplotním intervalu 1000÷1200 °C. Tato metoda se používá nejvíce pro povlakování řezných materiálů ze slinutých karbidů. Metoda CVD může být:<sup>1</sup>

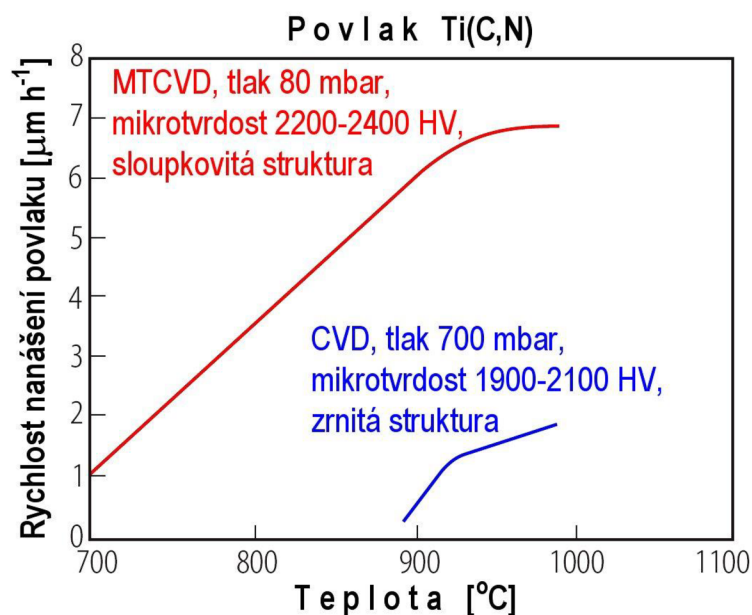
- tepelně indukovaná,
- plazmaticky aktivovaná,
- elektronově indukovaná (paprsek elektronů),
- fotonově indukovaná (např. laserem).

Princip metody CVD spočívá v reakci plynných chemických sloučenin v plazmě, která se tvoří v bezprostřední blízkosti povrchu podkladového slinutého karbidu a následném uložení produktů heterogenní reakce na tomto povrchu. Základním požadavkem přitom je, aby výchozí plyny obsahovaly stabilní ale přitom prchavou sloučeninu, která se v důsledku přivedení energie (ohřevem, plazmovým obloukem, laserem) chemicky rozkládá (např. kovový halogenid,  $TiCl_4$ ) a usazuje na ohřátý povrch povlakovaného předmětu. Aby proběhla požadovaná reakce (vytvoření vrstvy povlaku), musí být v plynech obsažen i nekovový reaktivní plyn (např.  $N_2$ ,  $NH_3$ ,  $CH_4$ ).<sup>1,2</sup>

Vylepšení metody CVD přišlo s plazmaticky aktivovanými technologiemi PACVD (PCVD), PECVD, MWPCVD, MTCVD, které umožňují snížit teploty povlakování až na hodnoty kolem 400÷600 °C.<sup>1,2</sup>



Obr. 1.5 Teploty a tlaky povlakování<sup>15</sup>

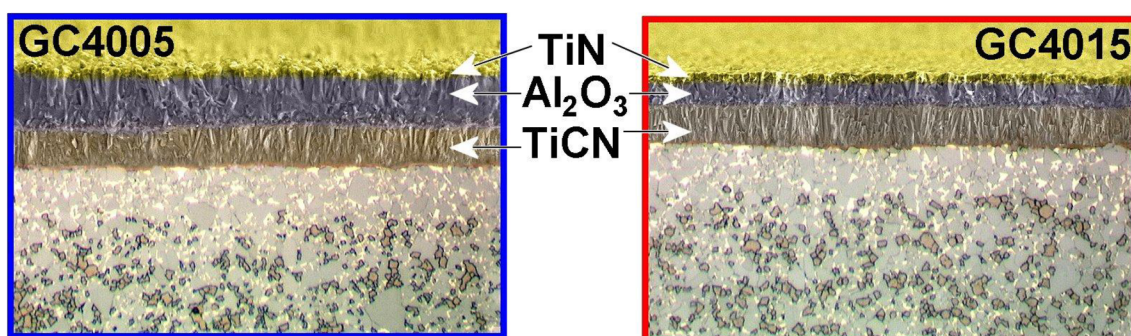


Obr. 1.6 Rychlost nanášení povlaku metodou MTCVD a CVD <sup>15</sup>

### 1.5.2 Vlastnosti

Největší vliv na řezné vlastnosti, mechanické a fyzikální vlastnosti povlakovaných slinutých karbidů, má druh a tloušťka povlaku, metoda povlakování a složení substrátu (podkladu). Řezné podmínky při obrábění určují druh povlaku a sled nanášení jednotlivých vrstev povlaku. Povlak  $\text{Al}_2\text{O}_3$  je určený k obrábění při vysokých řezných rychlostech u kterého dochází k velkému vývinu tepla, protože je termochemicky stabilní. Povlak  $\text{TiC}$  je zase odolnější proti abraznímu opotřebení, které vzniká při obrábění nižšími řeznými rychlostmi, vyššími posuvovými rychlostmi a větších průřezů třísek odebíraného materiálu. Obecně lze povlaky podle odolnosti proti tepelnému opotřebení seřadit následovně:  $\text{Al}_2\text{O}_3 > \text{TiN} > \text{TiCN} > \text{TiC}$ , pořadí podle odolnosti proti abraznímu opotřebení je opačné. <sup>1,2</sup>

Tloušťka vrstvy povlaku se nejčastěji pohybuje v rozsahu 5 až 10  $\mu\text{m}$ . Pokud je tloušťka povlaku příliš velká, dochází k rychlejšímu opotřebení a odlupování povlaku. Slinuté karbidy s povlaky vytvořenými metodou PVD příliš svoje vlastnosti proti nepovlakovaným slinutým karbidům nemění a vynikají vysokou ohybovou pevností a odolností proti vydrolování. Povlaky PVD jsou vhodné pro obrábění, kde převládají vyšší řezné síly (vrtání). Nejvíce se vlastnosti mění u povlakovaných slinutých karbidů vytvořených metodou CVD. Vyšší teploty u metody CVD mohou způsobit vznik trhlinek. Povlaky CVD mají vynikající adhezi, odolnost proti opotřebení a nejvíce se používají pro VBD určené k soustružení, nebo frézování. <sup>1,2</sup>

Obr. 1.7 Povlakované SK firmy Sandvik – Coromant <sup>4</sup>

Vlastnosti různých druhů povlaků a jejich doporučené použití pro níže uvedené technologické operace (soustružení, frézování, vrtání atd.), jsou uvedeny v tabulkách 1.3 a 1.4. Jedná se o povlaky nanesené fyzikální metodou povlakování PVD, které nabízí česká firma Czech Coating pro nástrojové materiály jako efektivní ochranu proti opotřebení a zvýšení trvanlivosti nástrojů.

Tab. 1.3 Vlastnosti PVD povlaků od firmy Czech Coating <sup>14</sup>

Vrstva	Struktura	Barva	Toušťka (μm)	Mikrotvrdość (0,05 HV)/1	Koeficient tření proti oceli	Teplota při depozici	Max. teplota použití
TiN	monovrstva	zlatá	1-5 μm	2300	0,4	<500	600
TiN	monovrstva	zlatá	1-2 μm	2000	0,4	150/250	600
TiCN	gradientní	šedá	1-4 μm	3000	0,4	<500	400
TiAlN	multivrstva	fialová	1-4 μm	3000	0,4	<500	800
AlTiN	monovrstva	černá	1-4 μm	3300	0,4	<500	900
CrN	monovrstva	kovová	1-4 μm	1750	0,4	<500	700
CrC	monovrstva	kovově šedá	1-4 μm	2300	0,4	<500	600
DLC	gradientní	šedá	<1 μm	1200-2000	0,15-0,2	<500	300
AlCrN	monovrstva	šedočerná	<1-5 μm	3300	0,4	<500	1100

Tab. 1.4 Doporučené použití PVD povlaků od firmy Czech Coating <sup>14</sup>

Materiál	Soustružení	Frézování	Vrtání	Vystružování	Řezání závitů	Stříhání	Tváření
Oceli <1000N/mm <sup>2</sup>	AlTiN, TiAlN	AlTiN, TiAlN	TiAlN	AlTiN	TiN	TiCN, TiN	TiN, TiCN
Oceli >1000N/mm <sup>2</sup>		AlCrN *					
Oceli 45-65 HRC	AlTiN	AlTiN, AlCrN*	AlTiN, TiAlN	AlTiN	TiCN	TiCN	TiCN
Korozivzdorné oceli	AlTiN (+DLC)	AlTiN (+DLC)	AlTiN	AlTiN (+DLC)	TiCN, AlTiN+DLC	AlTiN+DLC	AlTiN+DLC
Litiny GG, GGG	AlTiN	AlTiN	AlTiN	AlTiN	AlTiN, TiCN	AlTiN (+DLC)	
Al, Al slitiny	AlTiN+DLC, CrN	AlTiN+DLC, CrN	AlTiN+DLC	AlTiN+DLC	TiN, TiCN, DLC	AlTiN (DLC), CrN	AlTiN+DLC, CrN
Ti, Ti slitiny	AlTiN	AlTiN, TiCN	AlTiN	AlTiN			
Cu, Cu slitiny	CrN, CrC	CrN, CrC	CrN, CrC	CrN, CrC	CrN, CrC	CrN, CrC	CrN, CrC **

Pozn.: \* HSC - frézování bez intenzivního chlazení, \*\* CrC - za tepla

### Gradientní materiály

Jako podkladové materiály pro povlakované VBD ze SK se stále více používají tzv. gradientní materiály. Řízeným procesem slinování se dosáhne houževnatějšího povrchu v oblasti ostří, nebo vyššího podílu tvrdých částic v oblasti špičky destičky. Tyto materiály zvyšují přilnavost povlaku k podkladu a trvanlivost VBD zejména u náročnějších řezů (přerušované řezy, frézování apod.). <sup>4</sup>

## 2 VÝROBCI

### 2.1 PRAMET TOOLS<sup>12</sup>

Česká firma Pramet Tools vyrábí řezné materiály ze slinutých karbidů již více než padesát let a její sídlo je v Šumperku. Produkuje slinuté karbidy pro všechny skupiny obráběných materiálů. Bakalářská práce je zaměřena na řezné materiály ze slinutých karbidů určené pro obecné soustružení, a proto jsou níže uvedené materiály všech firem určeny pro tuto technologii.

#### **Materiál HF7 (K10-K25, N10-N30, M10-M20, S10-S20, H10-H20)**

Univerzální submikrometrový materiál s nízkým obsahem kobaltu vhodný pro všechny skupiny obráběných materiálů kromě skupiny P (šedé, tvárné a temperované litiny, korozivzdorné, žárovečné a žáruvzdorné oceli, slitiny Al a Cu). Používá se pro malé až střední průřezy třísek.

#### **Materiál 6605 (K05-K15, P10-P20, H05-H15)**

Nejotěruvzdornější povlakovaný materiál řady 6000. Povlak je nanesený kombinací metod MTCVD a PVD s nosnou vrstvou  $Al_2O_3$ . Je určený pro obrábění materiálů skupin K, P a H a pro dokončovací až hrubovací soustružení nepřerušovaným řezem. Je doporučený pro suché obrábění a vysoké řezné rychlosti.

#### **Materiál 6615 (P10-P25, K05-K20)**

Materiál s funkčně gradientním substrátem a nízkým obsahem kobaltu. Povlak je nanesený kombinací metod MTCVD a PVD s nosnou vrstvou TiCN. Je určený pro dokončovací až hrubovací soustružení a pro obrábění skupin materiálů P, K a podmíněně i skupinu M. Je vhodný pro vyšší řezné rychlosti a nepřerušované obrábění. Podmíněně se může použít pro mírně přerušovaný řez.

#### **Materiál 6620 (K10-K25, P10-P20, H05-H15)**

Silný povlak s nosnou vrstvou  $Al_2O_3$  je nanesený metou MTCVD. Je určený pro dokončovací až hrubovací soustružení a pro obrábění skupin materiálů K, P, H při středních až vyšších řezných rychlostech. Je doporučený pro nepřerušované obrábění za dobrých záběrových podmínek.

#### **Materiál 6630 (P15-P35, M10-M30, K20-K30, S15-S25)**

Nejuniverzálnější povlakovaný materiál řady 6000 s funkčně gradientním substrátem. Střední povlak s nosnou vrstvou TiCN je nanesený metodou MTCVD. Je určený pro dokončovací až hrubovací soustružení při středních a podmíněně vyšších řezných rychlostech s nepřerušovaným i přerušovaným řezem.

#### **Materiál 6635 (P20-P40, M15-M35, K15-K35)**

Funkčně gradientní substrát s relativně vysokým obsahem kobaltu a tenkým povlakem vytvořeným metodou MTCVD. Používá se pro soustružení nižšími až středními řeznými rychlostmi a pro střední a zejména větší průřezy

třísek. Je doporučený pro přerušované řezy při nepříznivých záběrových podmínkách.

**Materiál 6640 (P20-P40, M20-M35, K25-K40, S20-S30)**

Tenký povlak s nosnou vrstvou TiCN je nanesený metodou MTCVD. Je určený hlavně pro polohrubovací až hrubovací soustružení při nižších až středních rezných rychlostech a pro obrábění skupin materiálů P, M, dále potom i pro skupinu K a podmíněně i pro skupinu S. Je určený pro přerušované řezy a nepříznivé záběrové podmínky.

**Materiál 8016 (K05-K25, N05-N25, H05-H15, P05-P20, M05-M20, S05-S15)**

Nejtěruvzdornější povlakovaný materiál řady 8000 se submikronovým substrátem a nízkým obsahem kobaltu. Materiál je určený pro soustružnické operace s vysokým teplotním zatížením a má univerzální použití pro všechny skupiny obráběných materiálů. Je určený pro malé až střední průřezy třísek a pro vysoké rezné rychlosti. Nanostrukturní povlak je nanesený metodou PVD.

**Materiál 8030 (P25-P40, M20-M35, K20-K40, N15-N30, S15-S25, H15-H25)**

Submikrometrový substrát s nanostrukturním povlakem naneseným metodou PVD. Má univerzální použití pro všechny skupiny obráběných materiálů. Vyniká dobrou otěruvzdorností a provozní spolehlivostí. Je určený pro soustružení středními reznými rychlostmi a pro horší záběrové podmínky.

**Materiál 8040 (M20-M40, S20-S30, P30-P50, K20-K40)**

Nejhouževnatější materiál řady 8000 se submikrometrovým substrátem a vysokým obsahem kobaltu. Nanostrukturní povlak je nanesený metodou PVD. Je určený pro operace s vysokou mechanickou zátěží bříty při nízkých až středních rezných rychlostech a pro obrábění skupin materiálů M, S, dále pak i P a K. Je doporučený pro nestabilní záběrové podmínky.

**Materiál 9210 (P10-P25, K05-K20, M10-M20)**

Nejtěruvzdornější materiál řady 9000 s funkčně gradientním substrátem a relativně nízkým obsahem kobaltu. Silný povlak s nosnou vrstvou Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> je nanesený metodou MTCVD a speciálně upravený. Je určený pro dokončovací až hrubovací soustružení při vyšších rezných rychlostech a pro obrábění skupin materiálů P, dále pak K a podmíněně i pro skupinu M. Je doporučený pro kontinuální a podmíněně i mírně přerušované řezy.

**Materiál 9230 (P10-P35, M10-M30, K20-K35, S15-S25)**

Nejuniverzálnější povlakovaný materiál nové generace řady 9000 s funkčně gradientním substrátem. Speciálně upravený středně silný povlak je nanesený metodou MTCVD. Materiál je určený pro dokončovací až hrubovací soustružení a pro obrábění skupin materiálů P, M, K a podmíněně i pro skupinu S. Je doporučený pro přerušované i nepřerušované řezy při středních až vyšších rezných rychlostech.

**Materiál 9235 (P15-P40, M15-M35, K20-K35, S20-S30)**

Funkčně gradientní substrát s relativně vysokým obsahem kobaltu a středně silným speciálním povlakem naneseným metodou MTCVD. Používá se pro hrubovací až dokončovací soustružení při středních až vyšších řezných rychlostech a pro obrábění skupin materiálů P, M, dále potom pro K a podmíněně i pro skupinu S. Je určený pro přerušované i nepřerušované řezy při nepříznivých záběrových podmínkách.

**2.2 KENNAMETAL<sup>13</sup>**

Americká firma Kennametal byla založena v roce 1938 a v dnešní době působí ve více než šedesáti zemích po celém světě. Společnost nabízí veškerý sortiment nejmodernějších obráběcích materiálů a nástrojů. Hlavní sídlo společnosti je v USA.

**Materiál K313 (M10-M20, K05-K20, N10-N20, S10-S20)**

Nepovlakovaný slinutý materiál s nízkým obsahem kobaltu a jemnozrnnou strukturou WC-Co. Materiál má vysokou pevnost a vynikající odolnost proti opotřebení a vysokému teplotnímu zatížení. Je určený pro obrábění titanu, litiny, nerezové oceli, neželezných kovů a nekovových materiálů. Materiál má vysokou životnost, protože obsahuje minimální množství pórů a vad.

**Materiál KMF (P20-P30, M20-M30, K20-K30, N20-N30, S20-S30)**

Ultrajemný substrát s povlakem TiAlN naneseným metodou PVD. Používá se pro soustružení středními až nízkými řeznými rychlostmi a má univerzální použití pro většinu skupin obráběných materiálů. Je doporučený pro přerušované řezy a vysoké posuvové rychlosti.

**Materiál KC5410 (N05-N20)**

Povlak TiB<sub>2</sub> je nanesený metodou PVD na substrátu s vysokou odolností proti deformaci. Materiál je určený pro hrubování a pro střední až dokončovací obrábění snadno obrobitelného hliníku, slitin hliníku a hořčíku. Povlak TiB<sub>2</sub> je tvrdší než TiN a TiAlN, má velmi hladký povrch, který z důvodu nízkého tření zajišťuje snadný odvod třísek a má vynikající odolnost proti opotřebení.

**Materiál KC5510 (P10-P20, M10-M20, K10-K20, N10-N20, S10-S20, H10)**

Jemnozrnný materiál karbidu wolframu s obsahem kobaltu 6% a povlakem TiAlN vytvořeným technologií PVD. Materiál je speciálně vyvinut pro produktivní obrábění žárovevných slitin a je velmi odolný proti deformaci a má vynikající tuhost.

**Materiál KC9105 (P05-P15, K05-K15)**

Inovativní substrát s vysokou odolností proti deformaci chráněný patentem s novým vícevrstevným povlakem MTCVD-TiCN, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiCN, TiN pro maximální odolnost proti opotřebení. Používá se pro dokončovací až střední obrábění většiny ocelí včetně feritických, martenzitických, kalených nerezových

ocelí a litin. Speciálně navržený substrát zajišťuje odolnost proti deformaci a pevnost břitu vyměnitelné břitové destičky.

#### **Materiál KC9110 (P10-P20, K15-K20 )**

Speciálně navržený materiál chráněný patentem se silnou vrstvou povlaku MTCVD-TiCN, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiCN, TiN pro maximální odolnost proti opotřebení. Používá se pro dokončovací až hrubovací obrábění většiny druhů ocelí a litin. Speciálně navržený substrát zajišťuje odolnost proti deformaci a houževnatost břitu a silné vrstvy povlaku umožňují odolnost proti opotřebení při vysokorychlostním obrábění.

#### **Materiál KC9125 (P20-P30, K25-K35 )**

Houževnatý materiál s vícevrstevným povlakem a vynikající přilnavostí mezi jednotlivými vrstvami MTCVD-TiCN, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiCN, TiN. Jedná se v současné době o nejlepší materiál pro soustružení většiny ocelí s vynikající odolností proti opotřebení v širokém rozsahu rezných podmínek. Je doporučený pro středně hrubovací až středně dokončovací soustružení.

#### **Materiál KC9140 (P35-P45)**

Nově vyvinutý houževnatý materiál s pokročilým vícevrstevným povlakem MTCVD-TiN, TiCN, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiN. Materiál doporučený pro hrubovací operace u legovaných ocelí, kde je kritická pevnost břitu. Speciálně navržený povlak zajišťuje mezivrstvou přilnavost a zvýšenou životnost nástroje.

#### **Materiál KC9210 (M10-M20)**

Jemnozrnný materiál s tenkým povlakem MTCVD-TiCN, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> a hladkým povrchem břitové destičky. Materiál má vynikající odolnost proti vylamování rezné hrany a proti tvorbě nárůstků na rezné hraně a zaručuje dlouhou a spolehlivou životnost nástroje při dokončovacím až středním obrábění nerezové oceli.

#### **Materiál KC9225 (P20-P25, M15-M25)**

Nově vyvinutý materiál s vícevrstevným povlakem naneseným metodou MTCVD. Materiál je speciálně navržený tak, aby byl odolný proti vylamování rezné hrany a umožňoval jemné opracování (povrch obrobku) při obrábění nerezových ocelí.

#### **Materiál KC9240 (P40-P45, M30-M40)**

Materiál s vícevrstevným povlakem MTCVD-TiN, TiCN, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiN s houževnatým podkladovým substrátem. Materiál má vynikající houževnatost, odolnost proti tvorbě nárůstků na rezné hraně a současně odolnost proti opotřebení při obrábění nerezových ocelí. Je ideální pro nejnáročnější operace s nerezovou ocelí.

#### **Materiál KC9315 (P05-P10, K10-M20)**

Vícevrstevný povlak CVD s velmi silnými vrstvami MTCVD-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiCN poskytuje vynikající odolnost proti opotřebení a je nanesený na substrátu speciálně vyvinutém pro obrábění litiny a tvárné litiny. Materiál zaručuje delší život-



nost nástroje při vysokorychlostním obrábění a je vynikající pro nepřerušované a mírně přerušované řezy.

#### **Materiál KC9320 (P10-P15, K10-K25)**

Speciálně tvrzený povlak MTCVD-TiCN a  $Al_2O_3$  na substrátu odolném proti opotřebení. Materiál se vyznačuje vynikající přilnavostí mezi jednotlivými vrstvami povlaků a pevností břitu, a proto je určen pro přerušované řezy při obrábění šedé a tvárné litiny. Má široké použití od dokončovacích až po hrubovací operace.

#### **Materiál KC9325 (P15-P20, K15-K30)**

Materiál s povlakem TiCN a  $Al_2O_3$  se spolehlivým a pevným substrátem. Povlak a substrát jsou optimalizovány z hlediska flexibility a jedná se o vynikající materiál pro různé operace s tvárnou a běžnou litinou.

### **2.3 SANDVIK-COROMANT<sup>10</sup>**

Švédská firma Sandvik-Coromant byla založena v roce 1942 a jedná se o největšího výrobce nástrojů a nástrojových materiálů pro soustružení, frézování a vrtání. Hlavním sídlem firmy je město Sandviken ve Švédsku. Sandvik-Coromant vyrábí, nebo má zastoupení ve 130 zemích po celém světě.

#### **GC1005 – N10 (N05-N15), S15 (S10-S25)**

Slinutý karbid s PVD povlakem. Kombinace tvrdého, jemnozrnného substrátu s dobrou odolností proti plastické deformaci a vysoce odolným povlakem proti opotřebení za vysokých teplot, činí z této třídy nejvhodnější volbu pro hrubovací operace hliníku a tepelně odolných superslitin na bázi Ni, Fe nebo Co.

#### **GC1025 – M15 (M10-M25), S15 (S10-S25)**

Ultrajemnozrnný materiál s fyzikálně naneseným povlakem. Doporučuje se pro obrábění korozivzdorných ocelí, tepelně odolných superslitin a slitin titanu s požadavkem na úzké tolerance při vysokých nárocích na kvalitu povrchu, nebo ostrý řez. Skvělá odolnost proti tepelným rázům a tvorbě vrubů znamená, že je tento materiál vhodný pro dlouhotrvající nepřerušované i přerušované řezy.

#### **GC1105 – S15 (S05-S20)**

Substrát se skládá z tvrdého jemnozrnného WC a příměsi 6% kobaltu, což přináší zvýšenou tvrdost za vysokých teplot a dobrou odolnost vůči plastické deformaci. Nový tenký PVD povlak z TiAlN, který má vynikající přilnavost i k ostrým břitům zaručuje houževnatost, rovnoměrné opotřebení hřbetu a vysokou výkonnost při obrábění tepelně odolných superslitin.

#### **GC1125 – M25 (M10-M30)**

Mikrojemnozrnný materiál s PVD povlakem doporučený pro dokončování všech druhů korozivzdorných ocelí při středních až nízkých rezných rychlos-

tech. Vynikající volba v případě vysokých nároků na ostrý řez a mimořádnou houževnatost bříty, nebo v případě požadavku na vysokou kvalitu obrobeného povrchu. Díky značné odolnosti vůči teplotním rázům je tento materiál vhodný také pro lehké přerušované řezy.

#### **GC1515 – P25 (P10-P30)**

Ultrajemný materiál s CVD povlakem doporučený pro dokončovací obrábění nízkouhlíkových až nízkolegovaných ocelí a dalších materiálů snadno ulpívajících na bříty. Vhodné použití při středních až nízkých řezných rychlostech. Skvělá volba při velkých nárocích na kvalitu povrchu nebo ostrý řez. Díky velké odolnosti vůči teplotním rázům je tento materiál vhodný také pro lehké přerušované řezy.

#### **GC1525 – P15 (P05-P25)**

Materiál s fyzikálně naneseným povlakem a velmi vysokou odolností proti opotřebení a dobrou houževnatostí bříty. Je vhodný pro dokončování až polodokončování nízkouhlíkových a nízkolegovaných ocelí. Používá se při požadavku na dobrou kvalitu povrchu při středních až vysokých řezných rychlostech.

#### **GC2015 – M15 (M05-M25)**

Materiál s chemicky naneseným povlakem pro dokončování až lehké hrubování korozivzdorných ocelí. Substrát umožňuje práci za vysokých teplot a povlak má velkou odolnost proti opotřebení. Tento materiál je proto první volbou pro nepřerušované řezy při středních až vysokých řezných rychlostech.

#### **GC2025 – M25 (M15-M35)**

Slinutý karbid s CVD povlakem optimalizovaný pro hrubování a polodokončování austenitických a duplexních korozivzdorných ocelí při středních řezných rychlostech. Díky dobré odolnosti vůči tepelným a mechanickým rázům je doporučený i pro přerušované řezy.

#### **GC2035 – M35 (M25-M40)**

Slinutý karbid s PVD povlakem doporučený pro polodokončování až hrubování korozivzdorných ocelí a odlitků z korozivzdorných ocelí s obtížně obrobitelným povrchem při nízkých až středních řezných rychlostech. Houževnatý substrát zajišťuje extrémní spolehlivost bříty, což znamená, že tento materiál je vhodný pro těžké přerušované řezy při nízkých až středních řezných rychlostech.

#### **GC3005 – P10 (P01-P25), K10 (K01-K20)**

Materiál s CVD povlakem, který se vyznačuje velkou odolností proti opotřebení a velmi dobrou adhezí k tvrdému substrátu, který má velmi dobré předpoklady pro práci za vysokých teplot v místě řezu. Používá se pro dokončování a polodokončování vysoce legovaných ocelí při vysokých řezných rychlostech a také pro dokončování až hrubování litiny, vysokopevné temperované litiny a legované šedé litiny ulpívající na bříty.

**GC3205 – K05 (K01-K15)**

Slinutý karbid s CVD povlakem má silný, hladký a opotřebením odolný povlak a velmi tvrdý substrát. Je doporučený pro vysokorychlostní obrábění šedé litiny (GCI).

**GC3210 – K05 (K01-K20)**

Slinutý karbid s CVD povlakem má silný, hladký a opotřebením odolný povlak a velmi tvrdý substrát. Je doporučený pro vysokorychlostní obrábění tvárné litiny (NCI).

**GC3215 – K05 (K01-K25)**

Slinutý karbid s CVD povlakem má silný, hladký a opotřebením odolný povlak a velmi tvrdý substrát, který je schopen vydržet i zatížení při přerušovaném řezu. Doporučuje se jako první volba pro hrubování všech typů litiny při malých a středních řezných rychlostech.

**GC4205 – P05 (P01-P15), H15 (H05-H20)**

Materiál s CVD povlakem a se špičkovou odolností proti opotřebení a plastické deformaci. Doporučený pro nepřerušované řezy a obrábění vyšší posuvovou rychlostí. Materiál je určený pro polodokončování až hrubování ocelí a tvrzených materiálů. Je odolný vůči vysokým teplotám bez negativního vlivu na spolehlivost břitu, a to jak při obrábění za mokra, tak při obrábění za sucha.

**GC4215 – P15 (P01-P30), H15 (H05-H25)**

Materiál s CVD povlakem pro dokončovací až hrubovací operace s nepřerušovaným, nebo lehce přerušovaným řezem při obrábění ocelí, nebo ocelolitin. Jedná se o gradientní substrát s optimalizovanou houževnatostí a tvrdostí a povlak s vysokou odolností proti opotřebení. Je charakteristický dlouhodobou spolehlivostí a trvanlivostí břitu při mokřem i suchém obrábění.

**GC4225 – P25 (P10-P35)**

Materiál s CVD povlakem pro dokončovací až hrubovací operace při obrábění ocelí a ocelolitin. Gradientní substrát s optimalizovanou tvrdostí a houževnatostí pro soustružení ocelí v kombinaci se silným povlakem odolným proti opotřebení. Tento materiál je vhodný pro nepřerušované i přerušované řezy s velkým úběrem materiálu a má širokou oblast použití.

**GC4235 – P35 (P20-P45)**

Materiál s CVD povlakem pro hrubovací operace při obrábění ocelí a ocelových odlitků za nepříznivých podmínek. Kombinace gradientního substrátu s tvrdostí a houževnatostí optimalizovanou pro soustružení ocelí se silným povlakem odolným proti opotřebení. Spolehlivost břitu umožňuje provádět přerušované řezy s vysokou posuvovou rychlostí.

**H10 – N15 (N01-N25)**

Nepovlakovaný slinutý karbid. Kombinace vynikající odolnosti proti otěru a ostrosti břitu. Používá se při hrubovacím až dokončovacím soustružení slitin hliníku.

**H13A – N15 (N05-N25), H20 (H15-H25)**

Nepovlakovaný slinutý karbid. Kombinace dobré odolnosti proti otěru s houževnatostí. Je určený pro střední až hrubovací soustružení slitin hliníku a pro soustružení tvrzených materiálů při nízkých řezných rychlostech.

**S05F – S05 (S05-S15)**

Karbid s chemicky naneseným povlakem. Používá se pro dokončování při vysokých řezných rychlostech, nebo pro dlouhotrvající nepřerušované řezy při nižších řezných rychlostech. Při soustružení měkčích materiálů lze tento materiál použít i pro hrubování.

### 3 DOPORUČENÉ ŘEZNÉ PODMÍNKY

Výrobci rezných nástrojových materiálů ze slinutých karbidů vydávají katalogy s doporučenými reznými podmínkami pro obrábění všech skupin obráběných materiálů. Z katalogů firem Pramet Tools, Kennametal a Sandvik-Coromant jsou vybrány nástrojové materiály pro obrábění skupin P, M, K technologií obecného soustružení.

#### 3.1 PRAMET TOOLS

Tab.3.1 Doporučené rezné podmínky pro skupinu P <sup>12</sup>

Skupina	<b>P</b>			
Výrobce	<b>Pramet Tools</b>			
Materiál	Typ soustružení	Řezné podmínky		
		$a_p$ [mm]	$f_n$ [mm]	$v_c$ [m.min <sup>-1</sup> ]
6615	Dokončovací	1,5	0,15	335
	Polohrubovací	2,5	0,20	300
	Hrubovací	5,0	0,40	240
6635	Dokončovací	1,5	0,15	250
	Polohrubovací	2,5	0,20	225
	Hrubovací	5,0	0,40	155
8030	Dokončovací	1,5	0,10	240
	Polohrubovací	2,5	0,20	225
	Hrubovací	5,0	0,40	155
9210	Dokončovací	1,5	0,15	335
	Polohrubovací	2,5	0,20	310
	Hrubovací	5,0	0,40	205

Tab.3.2 Doporučené rezné podmínky pro skupinu M <sup>12</sup>

Skupina	<b>M</b>			
Výrobce	<b>Pramet Tools</b>			
Materiál	Typ soustružení	Řezné podmínky		
		$a_p$ [mm]	$f_n$ [mm]	$v_c$ [m.min <sup>-1</sup> ]
6630	Dokončovací	1,5	0,15	180
	Polohrubovací	2,5	0,20	165
	Hrubovací	5,0	0,40	120
6640	Dokončovací	1,5	0,10	205
	Polohrubovací	2,5	0,20	150
	Hrubovací	5,0	0,40	80
8040	Dokončovací	1,5	0,10	110
	Polohrubovací	2,5	0,20	80
	Hrubovací	5,0	0,40	60
9230	Dokončovací	1,5	0,15	195
	Polohrubovací	2,5	0,20	165
	Hrubovací	5,0	0,40	120

Tab.3.3 Doporučené řezné podmínky pro skupinu K<sup>12</sup>

Skupina	<b>K</b>			
Výrobce	<b>Pramet Tools</b>			
Materiál	Typ soustružení	Řezné podmínky		
		$a_p$ [mm]	$f_n$ [mm]	$v_c$ [m.min <sup>-1</sup> ]
6605	Dokončovací	1,5	0,10	415
	Polohrubovací	2,5	0,20	310
	Hrubovací	5,0	0,40	230
6615	Dokončovací	1,5	0,15	320
	Polohrubovací	2,5	0,20	285
	Hrubovací	5,0	0,40	230
6620	Dokončovací	1,5	0,10	340
	Polohrubovací	2,5	0,20	275
	Hrubovací	5,0	0,40	215
9235	Dokončovací	1,5	0,15	260
	Polohrubovací	2,5	0,20	235
	Hrubovací	5,0	0,40	190

### 3.2 KENNAMETAL

Tab.3.4 Doporučené řezné podmínky pro skupinu P<sup>13</sup>

Skupina	<b>P</b>			
Výrobce	<b>Kennametal</b>			
Materiál	Typ soustružení	Řezné podmínky		
		$a_p$ [mm]	$f_n$ [mm]	$v_c$ [m.min <sup>-1</sup> ]
KC9105	Polohrubovací	0,50÷5,00	0,16÷0,63	90÷455
	Hrubovací	1,3÷13,0	0,30÷1,00	
KC9110	Polohrubovací	0,50÷5,00	0,20÷0,78	90÷455
	Hrubovací	1,3÷13,0	0,30÷1,30	

Tab.3.5 Doporučené řezné podmínky pro skupinu M<sup>13</sup>

Skupina	<b>M</b>			
Výrobce	<b>Kennametal</b>			
Materiál	Typ soustružení	Řezné podmínky		
		$a_p$ [mm]	$f_n$ [mm]	$v_c$ [m.min <sup>-1</sup> ]
KC5010	Polohrubovací	0,50÷5,00	0,16÷0,50	120÷250
KC9210	Polohrubovací až hrubovací	1,0÷8,3	0,13÷0,63	110÷260
KC9225	Hrubovací	1,3÷13,0	0,25÷0,70	120÷250

Tab.3.6 Doporučené řezné podmínky pro skupinu K <sup>13</sup>

Skupina	<b>K</b>			
Výrobce	<b>Kennametal</b>			
Materiál	Typ soustružení	Řezné podmínky		
		$a_p$ [mm]	$f_n$ [mm]	$v_c$ [m.min <sup>-1</sup> ]
KC9315	Polohrubovací	0,50÷5,00	0,16÷0,63	110÷460
KC9320	Hrubovací	1,3÷13,0	0,25÷1,00	150÷550

### 3.3 SANDVIK-COROMANT

Tab.3.7 Doporučené řezné podmínky pro skupinu P <sup>10</sup>

Skupina	<b>P</b>		
Výrobce	<b>Sandvik-Coromant</b>		
Obráběné materiály	Nástrojové materiály		
	GC1525	GC3005	GC4215
	Posuv $f_n$ [mm]		
	0,05-0,1-0,2	0,1-0,3-0,5	0,1-0,4-0,8
	Řezná rychlost $v_c$ [m.min <sup>-1</sup> ]		
<b>Nelegované oceli</b>			
C = 0,1÷0,25 %	560-485-380	520-415-340	570-405-300
C = 0,25÷0,55 %	495-415-335	470-370-305	510-365-265
C = 0,55÷0,80 %	430-365-295	445-355-290	460-330-240
<b>Nízkolegované oceli</b> (legury ≤ 5%)			
Nezušlechtnuté	375-320-255	500-375-300	560-370-260
Oceli pro výrobu kuličkových ložisek	-	-	460-305-215
Kalené a popuštěné	200-165-135	275-215-175	300-210-155
Kalené a popuštěné	160-135-110	225-170-140	240-170-125
<b>Vysokolegované oceli</b> (legury > 5%)			
Žíhané	260-215-175	370-275-225	405-270-200
Zušlechtnuté nástrojové oceli	145-115-90	180-130-105	200-130-95
<b>Oceli na odlitky</b>			
Nelegované	225-185-145	275-220-185	300-215-170
Nízkolegované (legury ≤ 5%)	175-145-105	270-200-170	260-185-140
Vysokolegované (legury > 5%)	140-115-85	205-155-130	205-135-105

Tab.3.8 Doporučené řezné podmínky pro skupinu M<sup>10</sup>

Skupina	<b>M</b>		
Výrobce	<b>Sandvik-Coromant</b>		
Obráběné materiály	Nástrojové materiály		
	GC1025	GC2015	GC2035
	Posuv $f_n$ [mm]		
	0,1-0,2-0,3	0,2-0,4-0,6	0,2-0,4-0,6
	Řezná rychlost $v_c$ [m.min <sup>-1</sup> ]		
<b>Feritické/Martenzitické, válcované polotovary a výkovky</b>			
Nezušlechtné	280-215-170	260-220-200	180-160-130
Precipitačně vytvrzené	155-125-100	125-100-80	85-65-45
Zušlechtné	165-135-120	145-120-85	95-70-50
<b>Austenitické, válcované polotovary a výkovky</b>			
Austenitické	220-180-135	290-240-190	170-145-115
Precipitačně vytvrzené	155-125-100	130-100-80	85-65-45
Superaustenitické	185-160-130	160-135-100	100-90-70
<b>Austenticko-feritické (duplexní), válcované polotovary a výkovky</b>			
Nesvařitelné $\geq 0,05\%C$	210-170-130	220-185-145	160-135-105
Svařitelné $< 0,05\%C$	190-140-110	190-150-120	130-110-85
<b>Feritické/Martenzitické, odlévané</b>			
Nezušlechtné	265-220-170	250-210-170	170-145-115
Precipitačně vytvrzené	135-110-80	100-70-55	70-50-40
Zušlechtné	145-120-90	110-90-60	75-60-50
<b>Austenitické, odlévané</b>			
Austenitické	230-185-145	220-180-140	150-120-95
Precipitačně vytvrzené	135-110-80	105-80-60	70-50-40
Superaustenitické	175-150-125	145-115-95	100-80-60
<b>Austenticko-feritické (duplexní), odlévané</b>			
Nesvařitelné $\geq 0,05\%C$	190-140-100	185-150-135	130-110-85
Svařitelné $< 0,05\%C$	170-130-90	160-140-105	105-95-75



Tab.3.9 Doporučené řezné podmínky pro skupinu K <sup>10</sup>

Skupina	K				
Výrobce	Sandvik-Coromant				
Obráběné materiály	Nástrojové materiály				
	GC1690	GC3215	GC3205		
	Posuv $f_n$ [mm]				
	0,05-0,1-0,2	0,1-0,3-0,5	0,2-0,4-0,6		
Temperované litiny	Řezná rychlost $v_c$ [m.min <sup>-1</sup> ]				
	Feritické (tvořící dlouhou třísku)	740-600-500	260-215-185	460-380-325	
	Perlitické (tvořící krátkou třísku)	640-500-400	210-175-150	375-310-265	
	Šedé litiny	Nízká pevnost v tahu	740-600-500	300-250-210	530-435-375
	Vysoká pevnost v tahu	690-540-435	240-200-170	425-350-300	
Tvárné litiny, SG litiny	Feritické	580-450-345	240-195-165	390-330-275	
Perlitické	480-350-250	215-175-150	350-300-250		
Martenzitické	325-260-220	165-135-115	265-225-190		

### 3.4 POROVNÁNÍ

V níže uvedených tabulkách jsou vybrány k vzájemnému porovnání slituté karbidy od výrobců Pramet, Kennametal a Sandvik-Coromant, které jsou určeny pro skupiny obráběných materiálů P, K a M při aplikaci obecného soustružení. Řezné podmínky jsou závislé na mnoha faktorech, a proto jsou v tabulkách uvedeny rozsahy hodnot, které je možné používat při soustružení níže uvedenými řeznými materiály od těchto výrobců. Nástrojové materiály k porovnání jsou vybrány podle toho, pro jakou skupinu obráběných materiálů jsou určeny a podle dvojčíslí za písmenem skupiny, které určuje houževnatost a typ soustružení (dokončování, polohrubování, hrubování). Přesné složení substrátu si firmy většinou chrání patentem z konkurenčních důvodů. Každá firma má v katalogu jinak řešené doporučené řezné podmínky pro své nástrojové materiály, a proto je úplné a přesné vzájemné porovnání velmi obtížné.

Pro vzájemné porovnání skupin obráběných materiálů P a K, byly vybrány tyto nástrojové materiály:

- 1) Materiál 6615 (P10-P25, K05-K20), výrobce Pramet Tools,
- 2) Materiál KC9105 (P05-P15, K05-K15), výrobce Kennametal,
- 3) Materiál GC3005 – P10 (P01-P25), K10 (K01-K20), výrobce Sandvik-Coromant.

Tab.3.10 Porovnání řezných podmínek vybraných materiálů pro skupinu P<sup>10,12,13</sup>

Skupina		P			
Výrobci	Materiál	Typ soustružení	Řezné podmínky		
			$a_p$ [mm]	$f_n$ [mm]	$v_c$ [m.min <sup>-1</sup> ]
Pramet	6615	Dokončovací až hrubovací	1,5÷5,0	0,15÷0,80	210÷335
Kennametal	KC9105	Polohrubovací až hrubovací	0,5÷13,0	0,16÷1,00	90÷455
Sandvik-Coromant	GC3005	Dokončovací až hrubovací	0,2÷6,0	0,1÷0,5	105÷520

Tab.3.11 Porovnání řezných podmínek vybraných materiálů pro skupinu K<sup>10,12,13</sup>

Skupina		K			
Výrobci	Materiál	Typ soustružení	Řezné podmínky		
			$a_p$ [mm]	$f_n$ [mm]	$v_c$ [m.min <sup>-1</sup> ]
Pramet	6615	Dokončovací až hrubovací	1,5÷5,0	0,15÷0,80	200÷320
Kennametal	KC9105	Řezné podmínky pro materiál KC9105 nejsou uvedeny v katalogu firmy Kennametal			
Sandvik-Coromant	GC3005	Dokončovací až hrubovací	0,2÷6,0	0,2÷0,6	100÷275

Každý výrobce vydává katalog s doporučenými řeznými podmínkami, které je možné pro konkrétní nástrojové materiály nastavovat. Řezné podmínky se mění v závislosti na konkrétním materiálu (např. nelegované, nízkolegované, vysokolegované oceli, oceli na odlitky apod.) a na druhu operace (jemné dokončovací, dokončovací, polohrubovací a hrubovací soustružení, nepřerušovaný řez, přerušovaný řez apod.). Pokud se zvyšují řezné podmínky proti doporučeným podmínkám, které mají výrobci v katalogu, trvanlivost nástroje se snižuje a naopak.

Doporučené řezné podmínky vybraných slinutých karbidů od výrobců Pramet Tools a Sandvik-Coromant pro skupinu P a K v tabulkách 3.10 a 3.11, relativně odpovídají podle obsahu pojiva kobaltu obecným doporučením pro soustružení (vyšší podíl pojiva znamená vyšší posuvové rychlosti, nižší řezné rychlosti a větší průřezy třísek). Materiál od firmy Kennametal má nejnižší obsah pojiva, ale největší možné průřezy třísek a nejnižší uvedené řezné rychlosti. V katalogu firma uvádí, že používá speciálně navržený inovativní substrát s vysokou deformační odolností, který je chráněn patentem.

Pro vzájemné porovnání skupiny obráběných materiálů M, byly vybrány tyto nástrojové materiály:

- 1) Materiál 9230 (M10-M30, P10-P35, K20-K35, S15-S25), výrobce Pramet Tools,
- 2) Materiál KC9225 (M15-M25, P20-P25), výrobce Kennametal,
- 3) Materiál GC1025 – M15 (M10-M25), S15 (S10-S25), výrobce Sandvik-Coromant.

Tab.3.12 Porovnání řezných podmínek vybraných materiálů pro skupinu M <sup>10,12,13</sup>

Skupina		M			
Výrobci	Materiál	Typ soustružení	Řezné podmínky		
			$a_p$ [mm]	$f_n$ [mm]	$v_c$ [m.min <sup>-1</sup> ]
Pramet	9230	Dokončovací až hrubovací	1,5÷12,0	0,15÷1,30	55÷195
Kennametal	KC9225	Hrubovací	1,3÷13,0	0,25÷0,70	120÷250
Sandvik-Coromant	GC1025	Dokončovací až hrubovací	0,5÷5,7	0,10÷0,60	105÷520

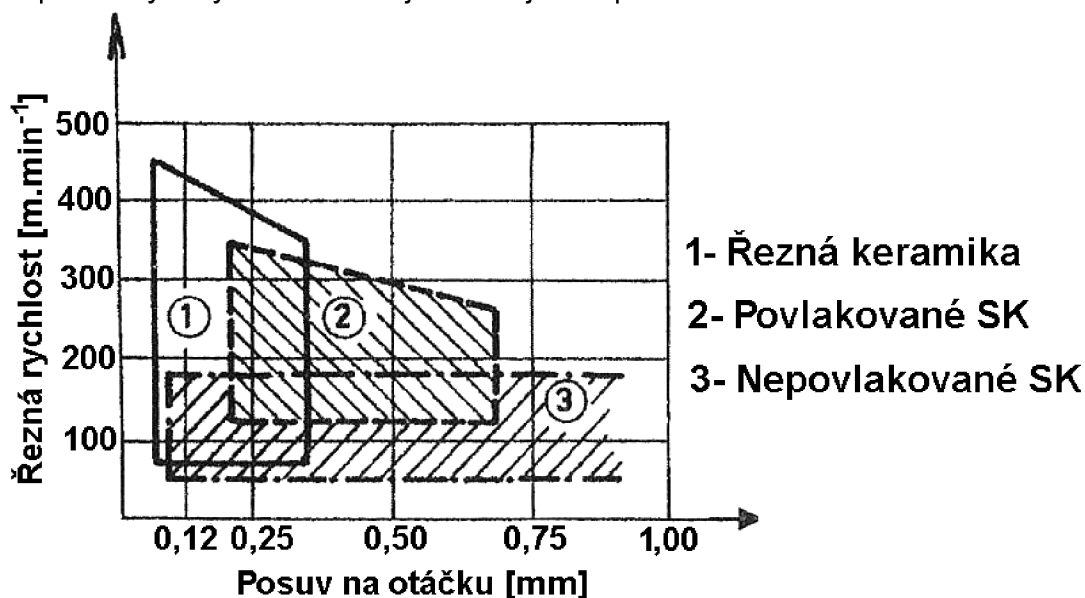
Jak již bylo výše uvedeno, každý výrobce má své vlastní katalogy a v nich doporučené řezné podmínky pro jednotlivé nástrojové materiály. Každá firma má své vlastní řešení doporučených řezných podmínek a bývá proto velmi obtížné jednotlivé materiály navzájem přesně porovnávat.

Například z tabulky 3.12 pro skupinu M vyplývá, že nástrojový materiál od firmy Sandvik-Coromant má nejmenší hodnotu šířky záběru ostří ze všech výrobců, a výrobci Pramet Tools a Kennametal mají spolu navzájem šířky záběrů ostří relativně podobné. Je to dáno tím, že výrobce Sandvik-Coromant má na všechny svoje materiály doporučené řezné podmínky s trvanlivostí 15 minut a při použití procesní kapaliny. Výrobce Kennametal má v katalogu uvedeny pro konkrétní materiál počáteční řezné podmínky, ale zároveň také celý rozsah řezných podmínek, které lze nastavovat u jednotlivého nástrojového materiálu. Podobným způsobem má ve svém katalogu řezné podmínky řešeny i firma Pramet Tools. Ta v I. prioritě volby doporučuje řezné podmínky pro hodnotu trvanlivosti 15 minut a v dalších prioritách doporučuje celý rozsah řezných podmínek, které lze nastavovat u jednotlivého nástrojového materiálu.

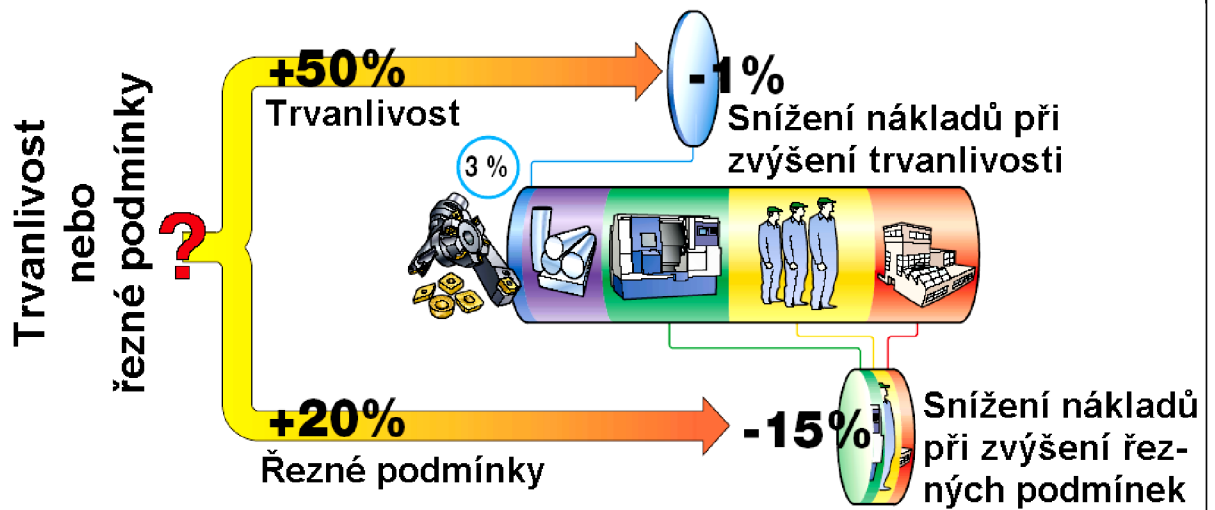
#### 4 TECHNICKO – EKONOMICKÉ HODNOCENÍ

Produktivita při technologii obrábění kovů je definovaná jako poměr mezi vstupy a výstupy ve výrobním procesu. Za vstupní zdroje, které jsou k dispozici při vlastní výrobě určitého druhu výrobku, se považují především stroje a strojní zařízení, pracovníci (např. výrobní dělníci, konstruktéři, administrativa), nářadovny, výchozí materiály, energie apod. Výstupem je potom finální výrobek, který se získá přetvořením výchozího materiálu v průběhu výrobního procesu do jeho konečné podoby. Jen tři procenta z celkových výrobních nákladů jsou spojena s náklady na řezné nástroje. Úspory nákladů na nástroje proto budou mít pouze okrajový vliv a nemohou se srovnávat s úsporami, kterých může být dosaženo snížením výrobních nákladů prostřednictvím zvýšené produkce při použití dražších řezných nástrojových materiálů ze slinutých karbidů.<sup>16</sup>

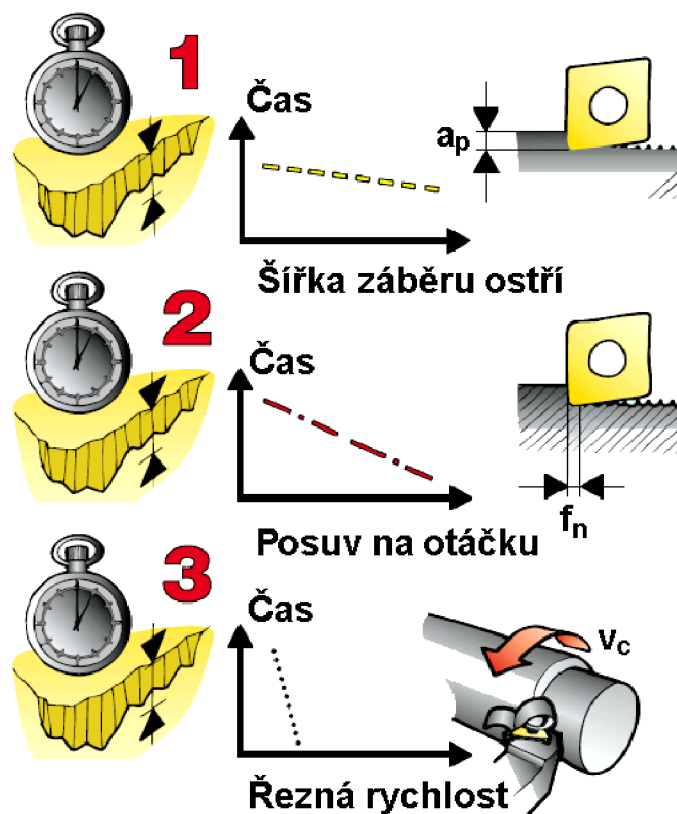
Nejdůležitější parametry, které zvyšují produktivitu práce při obrábění, jsou řezná rychlost ( $v_c$ ), posuvová rychlost ( $v_f$ ) a šířka záběru ostří ( $a_p$ ). Největší vliv na zvýšení produktivity přitom bude mít řezná rychlost a potom posuvová rychlost. I když nárůst těchto parametrů bude mít také velký vliv na trvanlivost nástrojů, současné zvyšování produktivity práce bude plně kompenzovat určité snížení trvanlivosti a větší spotřebu nástrojů. Řezné nástrojové materiály jsou neustále zdokonalovány, a výsledkem snahy snižovat náklady ve výrobním procesu je v současné době například rostoucím trendem tzv. suché obrábění. Odstraněním procesních kapalin se eliminují pořizovací náklady s nimi spojené, ale i čas potřebný na údržbu strojního zařízení. Dalším příkladem zvýšení produktivity práce je snaha snížit prostoje u soustruhů a obráběcích center nasazením rychloupínacích revolverových hlav, které snižují čas potřebný k výměně nástroje až na jednu pětinu.<sup>16</sup>



Obr. 4.1 Oblasti ekonomického použití řezných podmínek vybraných nástrojových materiálů<sup>6</sup>



Obr. 4.2 Úspory výrobních nákladů zvýšením řezných podmínek <sup>16</sup>



Obr. 4.3 Vliv jednotlivých řezných parametrů na produktivitu obrábění <sup>16</sup>

## ZÁVĚR

Jak již bylo zmíněno ve výše uvedených kapitolách, řezné nástroje vyrobené z povlakovaných i nepovlakovaných slinutých karbidů se vyznačují především svoji tvrdostí a odolností ostří při vyšších pracovních teplotách, kdy lze použít podstatně vyšší řezné a posuvové rychlosti, nebo větších průřezů třísek odebíraného materiálu než při použití nástrojů z rychlořezných ocelí. Aby bylo možné plně využít výhod těchto řezných nástrojových materiálů, je zapotřebí mít zajištěnou sériovou či hromadnou výrobu, kde zvýšenými řeznými podmínkami se snadno vykompenzují zvýšené náklady na tyto nástroje. V dnešní době se nejvíce vyměnitelné břitové destičky ze slinutých karbidů (nejvíce povlakované SK) používají na NC obráběcích strojích, nebo obráběcích centrech, a to v celkovém rozsahu cca 80%. Zbývající rozsah používaných nástrojů tvoří převážně nástroje z rychlořezné oceli, především tzv. osové nástroje (vrtáky, výhružníky, výstružníky, tvarové nástroje apod.). Používání ve větší míře nástrojů z nástrojových ocelí by bylo pro výše uvedené poměrně nákladné stroje nevhodné především z důvodu použití neproduktivních řezných podmínek.

Vývoj řezných materiálů ze slinutých karbidů probíhá již mnoho desítek let, kdy počáteční problémy s vydrolováním břitů zejména při obrábění ocelí byly překonány nástupem tzv. povlakovaných slinutých karbidů, které mají houževnaté jádro tvořené karbidem wolframu a kobaltem jako pojivo, případně ještě jinými karbidy a ořezuvzdorný povrch tenkého povlaku, nebo více povlaků nanesených v určitém pořadí na sebe (např. TiC, TiN, TiCN, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Od doby vynalezení nepovlakovaných i povlakovaných slinutých karbidů jsou výborné řezné vlastnosti těchto materiálů plně využívány při výrobě nástrojů pro obrábění všech skupin obráběných materiálů. Celkový vývoj směřuje k tomu, aby na základě poznatků o fyzikálních a mechanických vlastnostech konkrétních nástrojových materiálů bylo definováno jejich použití tak, aby výsledná produktivita a výrobní náklady byly z ekonomického hlediska optimální. Nejde tedy o to vyrobit univerzální nástroj pro všechny skupiny obráběných materiálů (ocel, litina, kalené oceli, superslitiny, slitiny hliníku, neželezné materiály apod.), ale přesně specifikovat určení daného nástroje na jednotlivé skupiny obráběných materiálů zejména s ohledem na celkové náklady a produktivitu.

Výrobci povlakovaných i nepovlakovaných slinutých karbidů doporučují řezné podmínky a použití svých nástrojových materiálů na základě desítky let prováděného výzkumu a vývoje v této oblasti. Technologii výroby s přesným složením substrátu neuvádějí a své materiály mají často patentovány. Vývoj technologie výroby slinutých karbidů neustále pokračuje a firmy před uvedením nově vyvinutého řezného materiálu na trh mají tento materiál důkladně otestovaný a optimalizovaný na konkrétní druhy operací a skupiny obráběných materiálů. Řezné podmínky jsou doporučovány podle druhů operací, skupin obráběných materiálů, způsobu upínání a tvaru VBD, úhlu nastavení nože, geometrii VBD, směru řezu, materiálu nástroje apod. Pro optimální využití konkrétního nástrojového materiálu je zapotřebí dodržovat doporučené řezné podmínky dané výrobcem.

**SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ**

1. HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. MM publishing s. r.o., 2008. 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
2. HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. [online]. Studijní opory. VUTFSI v Brně, ÚST, Odbor technologie obrábění. 2006 [cit. 2010-04-16]. Dostupný z WWW:<[http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/oporysave/mat\\_pro\\_rez\\_nastroje/materialy\\_pro\\_rezne\\_nastroje\\_v2.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/oporysave/mat_pro_rez_nastroje/materialy_pro_rezne_nastroje_v2.pdf)>.
3. HUMÁR, Anton. *Slinuté karbidy a řezná keramika pro obrábění*. 1. vyd. Brno: CCB, s.r.o., 1995. 265 s. ISBN 80-85825-10-4.
4. HUMÁR, A., PÍŠKA, M. *Materiály pro řezné nástroje*. MM Průmyslové spektrum - Speciální vydání. Zář 2004. ISSN 1212-2572., s. 84-96.
5. 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 Cuttign - A Practical Handbook*. ISBN 91-97 22 99-4-6.
6. KOČMAN, Karel. *Speciální technologie obrábění. Třetí přepracované a doplněné vydání*. Leden 2004. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, s.r.o. Brno, 2004. 227 s. ISBN 80-214-2562-8.
7. KOČMAN, Karel, PROKOP, Jaroslav. *Technologie obrábění*. Druhé vydání. Brno : AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, S.R.O. Brno, prosinec 2005. 270 s. ISBN 80-214-3068-0.
8. BROOKES, K.J.A. *Hardmetals and other Hard Materials*. Second Edition. Shrewsbury, England: European Powder Metallurgy Association, 1992. 198 p. ISBN 0 9508995 3 4.
9. BROOKES, K.J.A. *World Directory and Handbook of Hardmetals and Hard materials*. Sixth Edition. East Barnet Hertfordshire, United Kingdom: International Carbide Data, 1996. 220+528 p. ISBN 0 9508995 4 2.
10. AB SANDVIK COROMANT. *Main catalogue 2009: Všeobecné soustružení* [online]. 2010. [cit. 2010-04-29]. Dostupný z WWW: <[http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/downloads/catalogue/CZE/MC\\_2009\\_Klick\\_CZE\\_A.pdf](http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/downloads/catalogue/CZE/MC_2009_Klick_CZE_A.pdf)>.
11. PRAMET TOOLS, s.r.o. Šumperk, ČR. *Příručka obrábění*. [online]. 2004. [cit. 2010-03-17]. Dostupný z WWW: <[http://www.pramet.com/download/katalog/pdf/prirucka\\_cz.pdf](http://www.pramet.com/download/katalog/pdf/prirucka_cz.pdf)>.
12. PRAMET TOOLS, s.r.o. Šumperk, ČR. *Soustružení 2010*. [online]. 2010. [cit. 2010-03-17]. Dostupný z WWW: <<http://www.pramet.com/download/katalog/pdf/Turning%202010%20CZ%20prog.pdf>>.
13. KENNAMETAL. *Katalog soustružení 8010*. [online]. 2010. [cit. 2010-05-03]. Dostupné z WWW:

<[http://www.janhavelka.cz/cd\\_katalog/CD\\_katalogy/PDF/Kennametal\\_anglicka\\_verze/Soustruzeni/Turning\\_8010\\_CJ.pdf](http://www.janhavelka.cz/cd_katalog/CD_katalogy/PDF/Kennametal_anglicka_verze/Soustruzeni/Turning_8010_CJ.pdf)>.

14. CZECH COATING. *Vlastnosti povlaků a doporučená použití*. [online]. 2006. [cit. 2010-04-25]. Dostupné z WWW: <<http://czechcoating.cz/>>.
15. LEICHTFRIED, G., SAUTHOFF, G., SPRIGGS, G.E. *Refractory, Hard and Intermetallic Materials*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2002. 267 p. ISBN 3-540-42961-1.
16. AB SANDVIK, Sandviken, Sweden. *Metalworking Products - CoroPak 2005-1*. [CD disk]. 2005. C-2948:070-ENG.
17. CHBRETOU, V., MISSIAEN, J.M. Analysis of the evolution of the grain size distribution in WC-Co sintered materials with random set models. *Materials Science of Engineering*. 21 June 2001, 2001, A328, s. 291-296.
18. UPADHYAYA, G.S. Materials science of cemented carbides-an overview. *Materials and Design*. 12 September 2000, 2000, 22, s. 483-489.



**SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ**

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
CVD		Chemické napařování z plynné fáze
HSC		Vysokorychlostní obrábění
HV		Tvrdość podle Vickerse
MTCVD		Středně-teplotní metoda CVD
MWPCVD		Mikrovlnná plazmatická metoda CVD
PACVD (PCVD)		Plazmaticky podporovaná metoda CVD
PVD		Fyzikální napařování
SK		Slinuté karbidy
VBD		Vyměnitelné břitové destičky
$a_p$	[mm]	Šířka záběru ostří
$f_n$	[mm]	Posuv na otáčku
$v_c$	[m.min <sup>-1</sup> ]	Řezná rychlost
$v_f$	[mm.min <sup>-1</sup> ]	Posuvová rychlost

**SEZNAM PŘÍLOH**

- Příloha 1 SK pro všeobecné soustružení firmy Sandvik-Coromant <sup>10</sup>  
Příloha 2 SK pro všeobecné soustružení firmy Pramet Tools <sup>12</sup>

**Příloha 1**

	ISO	ANSI		
<b>P</b> Ocel	01	C8	CT 5015, GC 4205, GC 3005	▲ ▼
	10	C7	GC 1525, GC 4215, GC 1515	
	20	C6	GC 4225, GC 4235, GC 1025, GC 1125, GC 2015, GC 2025, GC 235	
	30			
	40	C5		
<b>M</b> Korozivzdorná ocel	10	-	GC 1025, GC 2015, GC 1125, GC 2025, GC 2035, GC 235, GC 1105, GC 1515, GC 1525, GC 1005, GC 4225, GC 4235	▲ ▼
	20	-		
	30	-		
	40	-		
<b>K</b> Litina	01	C4	CB50, CB7050, CC 6090, GC 1690, GC 3205, GC 3210, GC 3215, GC 650, GC 3005, CC 620, CT 5015, GC 4215, H13A, GC 4205	▲ ▼
	10	C3		
	20	C2	GC 1515, GC 4215, H13A	
	30	C1		
<b>N</b> Neželezné kovy	01	C4	H10, CD 1810, CD 10, H13A, GC 1005, GC 1125	▲ ▼
	10	C3		
	20	C2		
	30	C1		
<b>S</b> Žárovzdorné slitiny a superslitiny	01	-	Na bázi Ni: CC 670, CC 6060, CC 6065, S05F, GC 1105, GC 1005, GC 1025, H10A, H13A, H10F, GC 1125, CC 650, H10A, H13A, GC 1025, H10F	▲ ▼
	10	-		
	20	-		
	30	-		
<b>H</b> Tvrzené materiály	01	C4	CC 6050, CC 650, CC 670, GC 4205, GC 4215, H13A	▲ ▼
	10	C3	CB 7015, CB 7025, CB 20, CB 50, CB 7050	
	20	C2		
	30	C1		

Polooha a tvar symbolů tříd ukazují vhodné oblasti aplikace.

Šířed aplikační oblasti.

Doporučená aplikační oblast.

Odolnost proti opotřebení

Houževnatost



= Základní třídy



= Doplnkové třídy



**Příloha 2**

