



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NEPOVLAKOVANÉ SLINUTÉ KARBIDY

UNCOATED CEMENTED CARBIDES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

RADEK BENEŠOVSKÝ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. ANTON HUMÁR, CSc.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Radek Benešovský

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Nepovlakované slinuté karbidy

v anglickém jazyce:

Uncoated cemented carbides

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Bakalářská práce je zaměřena na nepovlakované slinuté karbidy z hlediska výroby, rozdělení, označování, fyzikálně mechanických vlastností, aplikačních oblastí a současných trendů vývoje a výroby u renomovaných špičkových producentů nástrojů a nástrojových materiálů.

Cíle bakalářské práce:

1. Základní dělení materiálů pro řezné nástroje
2. Charakteristika nepovlakovaných slinutých karbidů (druhy, výroba, značení, fyzikálně mechanické vlastnosti)
3. Nepovlakované slinuté karbidy v sortimentu výroby nejvýznamnějších domácích a světových producentů nástrojů a nástrojových materiálů

Seznam odborné literatury:

1. 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.
2. HUMÁR, Anton. Materiály pro řezné nástroje. MM publishing s. r.o., 2008. 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
3. HUMÁR, A., PÍŠKA, M. Materiály pro řezné nástroje. MM Průmyslové spektrum - Speciální vydání. Zář 2004. ISSN 1212-2572., s. 84-96.
4. Odborné časopisy: CIRP Annals - Manufacturing Technology (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/00078506>), International Journal of Machine Tools and Manufacture (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/08906955>), International Journal of Refractory Metals & Hard Materials (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/02634368>), Journal of Materials Processing Technology (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/09240136>), Materials Science and Engineering: A (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/09215093>), Surface and Coatings Technology (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/02578972>), Thin Solid Films (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/00406090>), Wear (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/00431648>).
5. Technické materiály a prospekty firem Ceratizit, Iscar, Kennametal, Korloy, Kyocera, Mitsubishi, Pramet Tools, Sandvik Coromant, Seco, Sumitomo, Walter, Widia, WNT.

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Anton Humár, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 30.10.2013

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá nepovlakovanými slinutými karbidy užívanými k výrobě řezných nástrojů. První část práce obsahuje rozdělení a stručnou charakteristiku materiálů určených k výrobě řezných nástrojů. Druhá část práce se zabývá historickým vývojem, rozdělením a značením, výrobou a fyzikálně mechanickými vlastnostmi nepovlakovaných slinutých karbidů. Poslední část práce je zaměřena na sortimenty nepovlakovaných slinutých karbidů určených k soustružení od společností Pramet Tools, Sandvik Coromant, Seco Tools, Ceratizit, Walter a Iscar a jejich porovnání z hlediska řezných rychlostí.

Klíčová slova

Nepovlakované slinuté karbidy, rozdělení a značení, vlastnosti, výroba, výrobci

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the uncoated cemented carbide used in the manufacture of cutting tools. There is an overview of the most frequently used tool materials in the first part. The second part describes history, sorting, labeling and physico-mechanical properties of uncoated cemented carbides. The last part is focused on products of Pramet Tools, Sandvik Coromant, Seco Tools, Ceratizit, Walter and Iscar and their comparison in terms of cutting speed.

Key words

Uncoated cemented carbides, sorting, labeling, properties, production, manufacturers

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BENEŠOVSKÝ, Radek. *Nepovlakované slinuté karbidy*. Brno 2014. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 44 s. Vedoucí práce doc. Ing. Anton Humár CSc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Nepovlakované slinuté karbidy** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....
Datum

.....
Radek Benešovský

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
ÚVOD.....	9
1. Základní rozdělení materiálů pro řezné nástroje.....	10
1.1 Nástrojové oceli	10
1.1.1 Nástrojové oceli nelegované.....	11
1.1.2 Nástrojové oceli legované.....	11
1.1.3 Rychlořezné oceli	11
1.2 Slinuté karbidy	12
1.3 Cermety	12
1.4 Řezná keramika.....	13
1.5 Supertvrdé řezné materiály	13
1.5.1 Polykrystalický kubický nitrid bóru	14
1.5.2 Polykrystalický diamant	14
2 Nepovlakované slinuté karbidy	15
2.1 Historický vývoj slinutých karbidů.....	15
2.2 Rozdělení a značení.....	15
2.3 Výchozí materiály a jejich vlastnosti	18
2.4 Výroba.....	19
2.4.1 Gradientní slinování.....	20
2.5 Struktura a vlastnosti.....	21
2.5.1 Struktura.....	22
2.5.2 Fyzikální vlastnosti slinutých karbidů	22
2.5.3 Mechanické vlastnosti slinutých karbidů.....	23
2.6 Povlakování slinutých karbidů.....	26
2.6.1 Současné trendy a moderní způsoby povlakování	27
3 Nepovlakované slinuté karbidy v nabídce vybraných výrobců	28
3.1 Pramet Tools	28
3.2 Sandvik Coromant.....	29
3.3 Seco Tools.....	31
3.4 Ceratizit.....	33
3.5 Walter.....	35
3.6 Iscar	36

3.7	Porovnání jednotlivých řezných materiálů.....	37
3.7.1	Porovnání materiálů skupiny K	38
3.7.2	Porovnání materiálů skupiny N	39
3.7.3	Porovnání materiálů skupiny S	40
ZÁVĚR	41
Seznam použitých Zdrojů	42
Seznam použitých zkratk a symbolů.....		44

ÚVOD

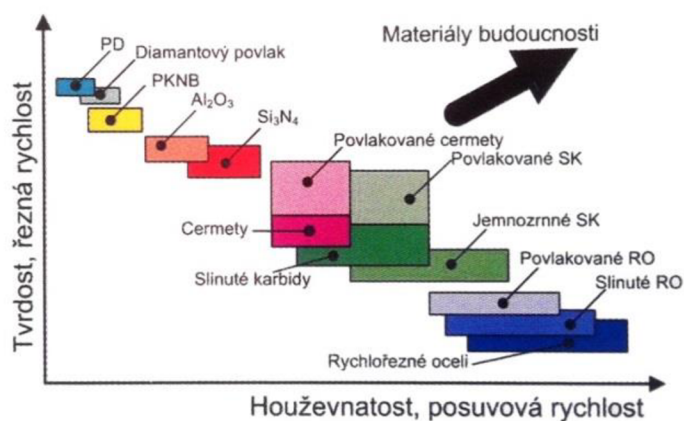
Strojírenství je již řadu let neodmyslitelnou součástí společnosti. Všude kolem sebe můžeme nalézt stroje či přístroje, které nám usnadňují běžný život. Bez těchto vynálezů ať už z dávné historie, nebo nedávné minulosti, bychom si dnes dokázali život jen stěží představit. Tyto vynálezy ale musejí být nějakým způsobem vyrobeny. Velký podíl na jejich výrobě má obrábění. Obrábění je odebrání materiálu ve formě třísek, a tím vytváření nového povrchu požadované geometrie a jakosti, který odpovídá požadavkům zákazníka. Kvalita obrobených ploch do velké míry závisí na řezném nástroji, potažmo na materiálu, ze kterého je vyroben. Takové materiály musí mít své specifické vlastnosti, mezi které patří tvrdost, houževnatost, odolnost vůči opotřebení, pevnost, řezivost apod. Tyto vlastnosti si navíc musí materiál udržet i při velmi vysokých teplotách a po co nejdélejší dobu.

Jedním z velmi kvalitních a rozšířených řezných materiálů jsou slinuté karbidy, které obsahují tvrdé částice karbidů vázané kovovým pojivem. Kvalita slinutých karbidů ve spojitosti s jejich přijatelnou cenou, z nich dělá výbornou variantu pro běžné obrábění. Na trhu proto můžeme nalézt velké množství firem, které se jejich vývojem a produkcí zabývají. Celosvětovým lídrem je švédská firma Sandvik Coromant. Českou jedničkou je pak firma Pramet Tools, která sídlí v Šumperku.

Tato práce se zabývá slinutými karbidy jak z hlediska vlastní výroby a vlastností, tak i z hlediska současné produkce a sortimentu jednotlivých firem.

1. ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ MATERIÁLŮ PRO ŘEZNÉ NÁSTROJE

Mezi materiály, ze kterých se v současné době vyrábí řezné nástroje, patří nástrojové oceli, slinuté karbidy, cermety, řezná keramika a supertvrdé materiály. Vliv vlastností jednotlivých materiálů na pracovních podmínkách je znázorněn na obrázku 1.1.



Obr. 1.1 Vliv vlastností materiálu na pracovní podmínky³

1.1 Nástrojové oceli

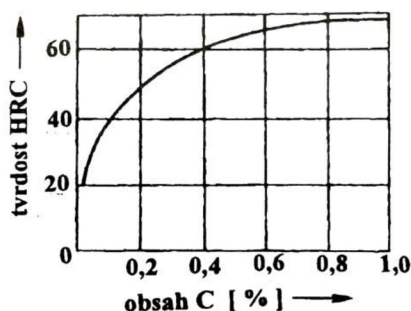
Nástrojové oceli (NO) patří k historicky nejstarším řezným materiálům. Přesto se na trhu udržely a mají nezanedbatelný podíl na celkové produkci nástrojů určených k obrábění. Jejich hlavními výhodami jsou houževnatost a velice příznivá cena. Nástrojové oceli se dále dělí do tří podskupin. Jsou to nástrojové oceli nelegované, nástrojové oceli legované a rychlořezné oceli. Rozdělení a značení nástrojových ocelí dle normy ČSN je uvedeno v tabulce 1.1⁶.

Tab. 1.1 Rozdělení a značení nástrojových ocelí dle ČSN⁶

Základní číselná značka	Význam třetí číslice v základní značce oceli	
19 0xx 19 1xx 19 2xx	Dvojčíslí ze 3. a 4. číslice vyjadřuje střední obsah uhlíku	Nástrojové oceli nelegované
19 3xx	Oceli manganové, křemíkové, vanadové	Nástrojové oceli legované
19 4xx	Oceli chromové	
19 5xx	Oceli chrommolybdenové	
19 6xx	Oceli niklové	
19 7xx	Oceli wolframové	
19 8xx	Oceli rychlořezné	
19 9xx	Volné	

1.1.1 Nástrojové oceli nelegované

Největší vliv na vlastnosti těchto ocelí má obsah uhlíku. Po zakalení tvrdost roste se stoupajícím obsahem uhlíku. Řezné nástroje z těchto ocelí snášejí teplotu jen asi 220 °C, přičemž řezná rychlost nepřesahuje 15 m.min⁻¹. Pro tyto ne příliš dobré vlastnosti nejsou již v dnešní době používány a jsou nahrazovány oceli legovanými. Tyto oceli je nutno kalit a popouštět. Vliv obsahu uhlíku na tvrdost nástrojových ocelí je znázorněn na obrázku 1.2⁶.



Obr. 1.2 Vliv obsahu C na tvrdost nástrojových ocelí⁶

1.1.2 Nástrojové oceli legované

Legované nástrojové oceli mají vedle základního složení ještě další legující složky. Jsou to zejména karbidotvorné prvky (Cr, V, W, Mo), které vytváří tvrdé karbidy, které dobře snáší i vysoké teploty. Mezi další možné legující prvky (nekarbidotvorné) patří Ni, Si, Co. Z legovaných nástrojových ocelí se vyrábějí téměř všechny druhy tvářecích, řezacích a stříhacích nástrojů. Legované nástrojové oceli jsou oproti nelegovaným více prokalitelné a mají větší odolnost proti popouštění. Jsou ovšem náročnější na tepelné zpracování. Nástroje z legovaných nástrojových ocelí snesou teploty až 350 °C a řezné rychlosti až 25 m.min⁻¹. Stejně jako u ocelí nelegovaných je nutné je kalit a následně popouštět k dosažení lepších řezných vlastností⁶.

1.1.3 Rychlořezné oceli

Rychlořezné oceli (RO) jsou samostatná skupina nástrojových ocelí legovaných. Je tomu tak z důvodu jejich specifických vlastností, díky kterým jsou z nich často vyráběny řezné nástroje. Jejich tvrdost je dána zakalením na martenzitickou strukturu a obsahem karbidotvorných prvků Cr, W, V, Mo a nekarbidotvorného Co. Obsah uhlíku se nejčastěji pohybuje do 1 %. V závislosti na obsahu jednotlivých legujících prvků jsou vhodné k obrábění ocelí a dalších těžkoobrobitelných materiálů. Rychlořezné oceli mají vysokou lomovou pevnost a střední odolnost proti opotřebení. Díky těmto vlastnostem mají velmi široké spektrum uplatnění. Jsou používány na výrobu tvarových nástrojů, výstružníků, závitníků, fréz, protahovacích trnů a dalším. Při používání rychlořezných ocelí je vhodné užívat řezné emulze a oleje k prodloužení životnosti nástrojů. Nástroje z rychlořezných ocelí snášejí teploty až 700 °C a řezné rychlosti až do výše 50 m.min⁻¹.

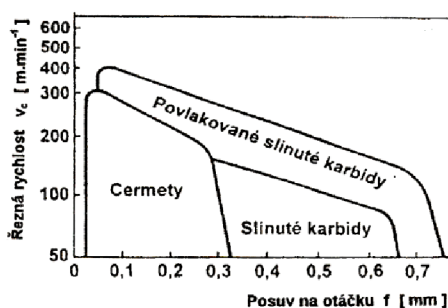
V současné době se rychlořezné oceli vyrábějí hlavně práškovou metalurgií. Mají velmi jemnou strukturu a pravidelné rozložení karbidů i nekovových vměstků. Tyto oceli mají lepší řezné vlastnosti, lepší houževnatost a rozměrovou stálost. Velkým příslibem do budoucna se jeví řezný materiál vyrobený z rychlořezné nebo zušlechtnuté oceli, který bude povlakován silnou vrstvou nitridu titanu^{5,6}.

1.2 Slinuté karbidy

Při aplikacích na automatizované výrobní linky nebo obráběcí centra se nejvíce využívají vyměnitelné břitové destičky ze slinutých karbidů. Jejich podíl je 80 %. Slinuté karbidy jsou produkty práškové metalurgie. Jsou vyráběny z různých druhů karbidů, které jsou k sobě spojeny kovovým pojivem. Nejvýznamnější karbidy jsou karbid wolframu WC, karbid titanu TiC, karbid tantalu TaC a karbid niobu NbC. Nejběžnějším pojivem je kobalt. Slinuté karbidy jsou směsí dvou, nebo i více fází a není možné je opětovně tepelně zpracovat. Obsah jednotlivých fází mění vlastnosti slinutých karbidů, jako je tvrdost, houževnatost a odolnost proti otěru. Nástroje ze slinutých karbidů mohou být používány pro vysoké řezné rychlosti a na velké posuvy. Pro zlepšení vlastností a prodloužení životnosti jsou povlakovány. A to buď jednou, nebo i více vrstvami povlaků. Vyrábí se ve formě vyměnitelných břitových destiček^{5,6}.

1.3 Cermety

Cermet je řezný materiál obsahující tvrdé částice (TiN, TiC, TiCN, TaN), které jsou vázány kovovým pojivem (Ni, Mo, Co). Cermety jsou vyráběny práškovou metalurgií. Samotný název cermet je tvořen spojením počátečních písmen slov CERamic a METAl. Jedná se tedy o keramické částice v kovovém pojivu. Se zvětšujícím se obsahem TiC roste tvrdost. Cermety ovšem nejsou tak houževnaté jako slinuté karbidy, a proto se nejčastěji využívají pro dokončovací operace. Řezné rychlosti se pohybují zhruba do $360 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. V praxi jsou mezi cermety řazeny materiály, jež jsou na bázi karbidu titanu, nitridu a karbonitridu. Tvrdost je u cermetů přibližně stejná, jako u slinutých karbidů, houževnatost a pevnost je ovšem nižší. Cermety mají menší odolnost proti teplotním šokům. Cermety jsou vhodné pro obrábění ocelí, litin, lité oceli, nezelezných kovů a snadno obrobitelných slitin. Snesou vyšší řezné rychlosti než slinuté karbidy. Vyrábějí se stejně jako slinuté karbidy ve formě vyměnitelných břitových destiček. Závislost řezné rychlosti na posuvu na otáčku u cermetů a SK je znázorněn na obrázku 1.3⁶.



Obr. 1.3 Porovnání řezných materiálů v závislosti na řezné rychlosti a posuvu na otáčku⁶

1.4 Řezná keramika

Keramické řezné materiály jsou velmi tvrdé, a to i za vysokých teplot (až 1200 °C). Jejich další výhodou je, že chemicky nijak nereagují s materiálem obrobku. Základní složkou keramických řezných materiálů na bázi oxidu hlinitého je elektrickou cestou vyrobený korund (Al_2O_3), který patří mezi nejtvrděší známé materiály. Řezná keramika se dá využívat při řezných rychlostech až $1600 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$. Keramika je ovšem na druhé straně velmi křehká a má malou tepelnou vodivost^{5,6}.

Podle normy ČSN ISO 513 se pro keramické řezné materiály používají symboly⁶:

- CA – oxidická keramika na bázi Al_2O_3
- CM – směsná keramika na bázi Al_2O_3 s přísadou neoxidických komponent
- CN – neoxidická keramika na bázi nitridu křemíku Si_3N_4
- CC – povlakovaná keramika CA, CM, CN

Řezná keramika se dá rozdělit na dvě skupiny. První skupinou je keramika na bázi oxidu hlinitého. Ta se dá dále dělit na čistou, polosměsnou a směsnou. Čistá obsahuje 99,9 % Al_2O_3 . Používá se na dokončovací soustružení šedé litiny, uhlíkových a nízkolegovaných ocelí při řezných rychlostech přesahujících $100 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$. Barva čisté keramiky lisované za studena je bílá, při lisování za tepla je pak šedá. Polosměsná keramika vzniká přidáním různých přísad do čisté keramiky. Nejčastější přísadou je ZrO_2 , a to až do 20 %. Vyměnitelné břitové destičky mají při výrobě za tepla černou barvu. Směsná keramika obsahuje vedle Al_2O_3 přísadu 20 – 40 % TiC. Má v porovnání s čistou keramikou větší odolnost proti rázům, a to jak mechanickým, tak teplotním. Používá se pro frézování a soustružení načisto. Při výrobě za čista má rovněž černou barvu⁶.

Druhou skupinou je řezná keramika na bázi nitridu křemíku. Tato keramika má vysokou odolnost proti mechanickému porušení břitu a používá se na dokončovací i hrubovací operace. Je vhodná pro přerušované řezy a odolná vůči teplotním šokům. Dobře snáší i velmi vysoké řezné teploty, při kterých již není možné používat slinuté karbidy. Je vhodná pro obrábění za sucha i při chlazení a při řezných rychlostech až $400 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ ⁶.

1.5 Supertvrdé řezné materiály

Další skupinou řezných materiálů jsou materiály, které jsou označovány jako supertvrdé. Patří sem⁵:

- Polykrystalický kubický nitrid bóru (PKNB)
- Polykrystalický diamant (PD)

Tyto materiály patří k vůbec nejtvrdějším, ale mají obrovskou nevýhodu, a tou je velmi vysoká pořizovací cena. V technologické praxi jsou aplikovány ve formě prášků, kotoučů, brusných past a kompozitních řezných nástrojů obsahujících segmenty PKNB a PD^{5,6}.

1.5.1 Polykrystalický kubický nitrid bóru

Polykrystalický kubický nitrid bóru je materiál, jehož tvrdost se blíží tvrdosti diamantu. Vyrábí se za vysokých teplot a tlaků, při nichž se kubické krystaly bóru spojují s keramickým nebo kovovým pojivem. PKNB má vysokou tvrdost i při teplotách okolo 2000 °C, vysokou odolnost proti abrazivnímu opotřebení a dobrou chemickou stabilitu^{5,6}.

1.5.2 Polykrystalický diamant

Diamant je nejtvrdším známým přírodním materiálem. Syntetický polykrystalický diamant ale dosahuje podobných hodnot tvrdosti. Výroba je uskutečněna slinováním jemných krystalů diamantu za vysokých teplot a tlaků. Trvanlivost bříty je mnohonásobně vyšší než u slinutých karbidů. Nástroje z polykrystalického diamantu jsou doporučovány k obrábění všech neželezných kovů a nekovových materiálů, jako je například sklolaminát, grafit, sklo a další. Z kovů je pak vhodný pro obrábění slitin hliníku a dále titanu a mědi jak v čisté formě, tak i ve formě slitin. Dalším možným využitím může být v oblasti obrábění dřeva^{5,6}.

2 NEPOVLAKOVANÉ SLINUTÉ KARBIDY

2.1 Historický vývoj slinutých karbidů

První záznamy o materiálech, ze kterých se do dnešní doby vyvinuly slinuté karbidy, se datují na přelom 19. a 20. století. Větší rozmach pak přišel ve 20. letech 20. století. Průmyslovou výrobu slinutého karbidu typu WC-Co rozvinula německá firma Krupp. Tento materiál byl označován obchodním názvem WIDIA (z německých slov WIE DIAMant = jako diamant), který se zachoval až do dnešní doby^{3,4}.

Přestože základní klíče k řešení problematiky výroby slinutých karbidů byly nalezeny v Německu, řada dalších důležitých objevů byla uskutečněna v jiných státech, mezi které se řadí USA, Rakousko, Švédsko a další. Vzhledem k výrobním patentům a strategické podstatě wolframu byl celý vývoj slinutých karbidů v zásadě rozdělen do dvou větví. Na jedné straně byl vývoj na bázi WC. Na straně druhé potom snaha o naprosté vyloučení karbidu wolframu. Tyto materiály bez obsahu WC jsou v dnešní době nejčastěji označovány jako cermety a tvoří tak samostatnou skupinu rezných materiálů^{3,4}.

Následný vývoj přinesl řadu vylepšení původního složení materiálu díky přísadám dalších prvků (např. Ti, Ta, V, Cr, Nb a další). Ve druhé polovině 20. století se rozvinulo i povlakování slinutých karbidů vrstvou TiC. Později pak i vrstvy TiN, TiCN, Al₂O₃ a další. Povlakování se dá provést dvěma způsoby. Prvním je způsob CVD (Chemical Vapour Deposition – chemické napařování). Druhým pak PVD (Physical Vapour Deposition – fyzikální napařování)^{3,4}.

V prvních aplikacích na začátku 20. století byly destičky slinutých karbidů připájeny do ocelových držáků a obrábění trvalo i 100 minut. Dnešní nástroje zvládnou stejnou operaci i za méně než jedinou minutu. Současné nástroje této metoda upínání již však moc nevyužívají. V drtivé většině případů pájení nahradilo mechanické upínání. Často je tak učiněno pomocí vrutů, kterými je břitová destička upevněna na ocelový držák. V případě opotřebení se tedy dá bez větších potíží a v dílenských podmínkách snadno vyměnit¹.

V současné době je trend co nejvíce zvyšovat úběr obráběného materiálu. To znamená zvýšení posuvových rychlostí. Současně se zlepšujícími se reznými materiály se ovšem zlepšují i samotné obráběné materiály. Je tedy nutné neustále vyvíjet kvalitnější rezné materiály. To samozřejmě znamená velké investice do výzkumu a inovací. Z tohoto důvodu se dozajista jedná o velmi perspektivní obor, který bude mít ještě dlouhá desetiletí velký význam ve strojírenství³.

2.2 Rozdělení a značení

Současné nepovlakované slinuté karbidy jsou podle normy ČSN ISO 513 označovány symboly HW (zrnitost $\geq 1 \mu\text{m}$) a HF (zrnitost $< 1 \mu\text{m}$). Dále pak podle použití se dělí do šesti skupin – P, M, K, N, S a H (viz tabulka 2.1). Jednotlivé skupiny jsou navzájem barevně odlišeny a dají se dále dělit do podskupin. Skupina P je značena barvou modrou (dělí se dále do podskupin P01, P05, P10, P15, P20, P25, P30, P35, P40, P45, P50). Skupina M je značena žlutou barvou (podskupiny M01, M05, M10, M15, M20, M25, M30, M35, M40). Skupina K se značí červenou

barvou (podskupiny K01, K05, K10, K15, K20, K25, K30, K35, K40). U předešlých tří skupin značí rostoucí číslo podskupiny, že obsah pojícího kovu se zvyšuje. Dále s rostoucím číslem roste i houževnatost a pevnost v ohybu. Zároveň ale klesá tvrdost a otěruvzdornost. S ohledem na doporučené řezné podmínky, to znamená klesající řeznou rychlost a rostoucí posuvovou rychlost a tím pádem i rostoucí průřez třísky, která je odebírána^{3,7}.

Další je skupina N. Ta je značena zelenou barvou (podskupiny N01, N05, N10, N15, N20, N25, N30). Skupině S náleží barva hnědá (podskupiny S01, S05, S10, S15, S20, S25, S30). Poslední skupinou je skupina H, která je barvy tmavošedé (podskupiny H01, H05, H10, H15, H20, H25, H30). U těchto tří skupin značí rostoucí čísla podskupin stejné změny vlastností a doporučených řezných podmínek, jako u skupin P, M a K. Platí tedy, že slinuté karbidy s nízkým číslem podskupiny jsou určeny na lehké a dokončující obrábění. Naopak vysoká čísla podskupiny značí, že daný slinutý karbid je určen k hrubovacím procesům^{3,4,7}.

Současná norma ISO 513, tedy norma, která se zabývá slinutými karbidy, je podle Brookese¹⁶ spíše než normou ne úplně přehledným soupisem o označování slinutých karbidů z hlediska použití, nikoli výroby. Norma z roku 2004 uvádí řadu značení. První dvě písmena značí typ řezného materiálu. Následuje hlavní část označení, a tou je písmeno následované dvoučíslím. Písmeno označuje druh obrobku a dvoučíslí pak tvrdost materiálu. Norma z roku 2004 rovněž zavádí další 3 skupiny slinutých karbidů. U předešlých norem se jednalo pouze o skupiny P, M a K. Nyní však přibyly skupiny N, S a H. Zatímco první tři skupiny mají označení podskupin 01 až 50 (u M a K pouze 01 až 40), u skupin N, S a H už existují pouze podskupiny 01 až 30, přestože např. označení N30 vůbec nekoresponduje s označením P30 a není určeno pro podobné aplikace, i když by logicky podle stejného čísla mělo. Norma z roku 2004 tedy neumožní srovnání všech výrobců podle kvality, ale alespoň nám pomůže při porovnávání produktů od jednoho dodavatele.

Základním karbidem pro výrobu všech druhů slinutých karbidů určených k obrábění (tedy s povlaky i bez nich) je karbid wolframu (WC), pojivem je kobalt (Co). Jako další složky se používají karbidy titanu (TiC), tantalu (TaC), niobu (NbC) a chromu (Cr₃C₂). Vzhledem ke svému složení bývají běžné slinuté karbidy také označovány jako jednorbidové (K), dvojkarbidové (P) a vícekarbidové (M). Z tohoto hlediska můžeme k těmto třem skupinám podle ISO přiřadit následující složení (karbidy uvedené v závorkách tvoří samostatné strukturní složky slinutých karbidů, ale jejich úkolem je zabránit růstu zrna v hlavních karbidických fázích)^{3,4}:

- skupina K: WC (87÷92) % + Co (4÷12) % + (TaC.NbC),
- skupina P: WC (30÷82) % + TiC (8÷64) % + Co (5÷17) % + (TaC.NbC),
- skupina M: WC (79÷84)% + TiC (5÷10) % + TaC.NbC (4÷7) % + Co (6÷15) %.

Další přidání malého množství přísad kovů (0,5÷3 % V, Nb, Ta, Ti, Hf) nebo karbidů (VC, Cr₃C₂, NbC, TaC, Zr/HfC) do výchozí práškové směsi má za následek zpomalení růstu zrna WC a výsledný slinutý karbid potom má jemnější strukturu a také vyšší tvrdost a pevnost. Negativním vlivem ale může být částečný pokles houževnatosti³.

Skupina P je určena pro obrábění materiálů, které tvoří dlouhou třísku. Takovými materiály jsou například uhlíkové oceli, slitinové oceli a feritické korozivzdorné oceli. Řezný proces bývá doprovázen velkými řeznými silami a značným opotřebením na čele nástroje. Kvůli tomu tato skupina obsahuje také velké množství TiC a TaC, které zvyšují odolnost proti tvorbě výmolu na čele nástroje. Příklad TiC dále zaručuje velkou odolnost proti difuzi za vysokých teplot (WC naopak difunduje velmi ochotně). TiC má též vyšší tvrdost za vysokých teplot než WC. Nevýhodou ve srovnání s WC ale je vyšší křehkost a nižší odolnost vůči abrazi⁴.

Skupina M obsahuje velké množství různých karbidů a díky tomu je univerzální. Je určena pro materiály, které tvoří dlouhou a střední třísku, mezi které patří například lité oceli, austenitické korozivzdorné oceli a tvárné litiny. Díky vysoké houževnatosti se slinuté karbidy skupiny M používají pro těžké hrubovací operace nebo přerušované řezy^{4,7}.

Skupina K tvoří významnou skupinu nástrojových materiálů. Je určena k obrábění materiálů tvořících krátkou a drobnou třísku (litiny, nezelezná slitiny a nekovové materiály). Nevhodnost k obrábění materiálů tvořících dlouhou třísku je způsobena karbidem wolframu, který při zvyšující se teplotě nevyhovuje požadavkům a rychleji se opotřebovává (dlouhá tříska mnohem více teplotně zatěžuje čelo nástroje, protože má větší plochu styku a tím pádem předá nástroji více tepla)^{4,7}.

Skupina N je využívána k obrábění nezelezných kovů, především pak pro slitiny hliníku a mědi. U hliníku se jedná o jeho měkké (s nízkým obsahem Si) i tvrdé (s vysokým obsahem Si) slitiny. U mědi se jedná o její měkké slitiny, automatovou mosaz a další mosazi a bronz^{8,9}.

Skupina S značí materiály, které jsou určeny k obrábění speciálních žárupevných slitin na bázi niklu, kobaltu a železa. Dále pak k obrábění titanu jak ve formě jeho slitin, tak v podobě titanu technicky čistého^{8,9}.

Skupina H je určena k obrábění vysoce pevných nástrojových ocelí, zušlechťených ocelí, kalených ocelí a tvrzených litin^{8,9}.

Tab. 2.1 Rozdělení slinutých karbidů dle ČSN ISO 513 v závislosti na použití⁸

Skupina	Podskupiny	Oblast využití
P	P01, P05, P10, P15, P20, P25, P30, P35, P40, P45, P50	uhlíkové (nelegované) oceli třídy 10, 11, 12 legované oceli tříd 13, 14, 15, 16 nástrojové oceli uhlíkové (191..., 192..., 193...) nástrojové legované oceli (193...až 198...) uhlíková ocelolitina skupiny 26 (4226...) nízko a středně legované ocelolitininy skupiny 27 (4227...) feritické a martenzitické korozivzdorné oceli (třídy 17..., lité 4229...)
M	M01, M05, M10, M15, M20, M25, M30, M35, M40	austenitické a feriticko austenitické oceli korozivzdorné, žáruvzdorné a žárupevné oceli nemagnetické a otěruvzdorné
K	K01, K05, K10, K15, K20, K25, K30, K35, K40	šedá litina nelegovaná i legovaná (4224...) tvárná litina (4223...) temperovaná litina (4225.....)
N	N01, N05, N10, N15, N20, N25, N30	neželezné kovy, slitiny Al a Cu
S	S01, S05, S10, S15, S20, S25, S30	speciální žárupevné slitiny na bázi Ni, Co, Fe a Ti
H	H01, H05, H10, H15, H20, H25, H30	zušlechťené oceli s pevností nad 1500 Mpa kalené oceli HRC 48 ÷ 60 tvrzené kokilové litiny HSh 55 ÷ 85

2.3 Výchozí materiály a jejich vlastnosti

Základem současných slinutých karbidů jsou tvrdé látky, mezi které patří sloučeniny uhlíku (karbidy) a dusíku (nitridy) s přechodovými prvky periodické soustavy, zejména pak s těžkotavitelnými kovy skupiny IV, V a VI (titanem, chromem, niobem, tantalém a dalšími). Základ všech slinutých karbidů tvoří karbid wolframu (WC)⁴.

Atomy přechodových prvků mají zvláštní stavbu drah v elektronovém obalu. Je to kvůli tomu, že přestože jsou přítomny elektrony ve vnější slupce, vnitřní slupky nejsou zcela zaplněny. Přednostně jsou tedy při zvětšení protonového čísla atomu obsazovány vnitřní nezaplňené slupky. I díky tomu mají látky, ze kterých se vyrábí slinuté karbidy lepší vlastnosti než oceli. Jedná se především o teplotu tavení a o tvrdost. Karbidy jsou velmi tvrdé a jejich velkou výhodou je, že téměř až do teploty tavení nevykazují žádné strukturní změny. Díky tomu mají neměnné vlastnosti (na rozdíl od ocelí, které se musí popouštět a kalit)⁴.

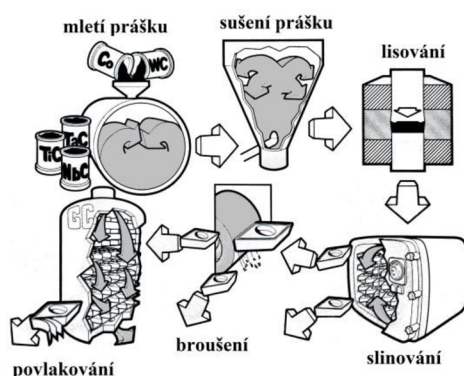
Některými vlastnostmi se karbidy podobají kovům. Vedle vzhledové podobnosti se jedná například o elektrickou a tepelnou vodivost. Za pokojových teplot se mohou karbidy jen velmi málo plasticky deformovat, mechanismus je ovšem stejný jako u ocelí – tedy v důsledku pohybu dislokací. Navzdory tomu, že s narůstající teplotou tvrdost karbidů rychle klesá, tak si za všech podmínek udržují lepší mechanické vlastnosti než oceli. Díky tomu se dobře uplatňují jako řezné nástroje. Zatímco u slinutých karbidů určených pro řezné nástroje se objem tvrdých částic pohybuje nad 80 %, u rychlořezných ocelí dosahuje pouze 10-15 %⁴.

2.4 Výroba

Slinuté karbidy jsou typickým produktem oboru zvaného prášková metalurgie. Jedná se o přípravu směsi z prášků karbidů a prášků odpovídajících pojících kovů. Tato směs se následně mísí v optimálním poměru, lisuje se a nakonec se výlisky slinují. Nejčastěji se jako pojivo používá kobalt. Celá směs se následně slinuje při teplotě blízké teplotě tavení pojiva. Díky tomu vznikne kompaktní materiál, který je prakticky stejně tvrdý jako výchozí karbidy a je také velmi pevný (hlavně v tlaku a v ohybu)⁴.

Postup výroby slinutých karbidů je znázorněna na obrázku 2.2 a může být rozdělen do základních operací³:

- výroba a příprava jednotlivých práškových směsí,
- formování směsi,
- slinování,
- úprava tvaru (je-li to potřeba).



Obr. 2.2 Postup výroby slinutých karbidů¹

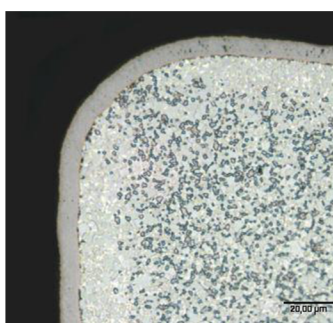
K výrobě hotové práškové směsi je nejprve nutno získat wolfram v podobě prášku. Následně je z čistého práškového wolframu vyroben karbid wolframu (WC) rovněž v podobě jemného prášku. Karbid wolframu je základem všech slinutých karbidů. V případě že je vyráběn slinutý karbid typu P, je potřeba dále vyrobít

práškovou formu karbidu titanu (TiC). Pokud je vyráběn slinutý karbid typu M, bude potřeba vedle karbidu wolframu i karbid TaC(NbC)^{1,4}.

V případě, že byly připraveny všechny potřebné práškové směsi, následuje smísení prášků karbidů s pojivem. Následně je směs lisována do tvaru břitových destiček. Následuje samotné slinování. Při tomto procesu je vylisované těleso umístěno do slinovací pece, ve které je ohříváno na 1350 až 1650 °C a následně ochlazeno. Po skončení slinovacího procesu má již výrobek požadovanou mikrostrukturu a vlastnosti. V současné době je často využívána metoda gradientního slinování^{1,3}.

2.4.1 Gradientní slinování

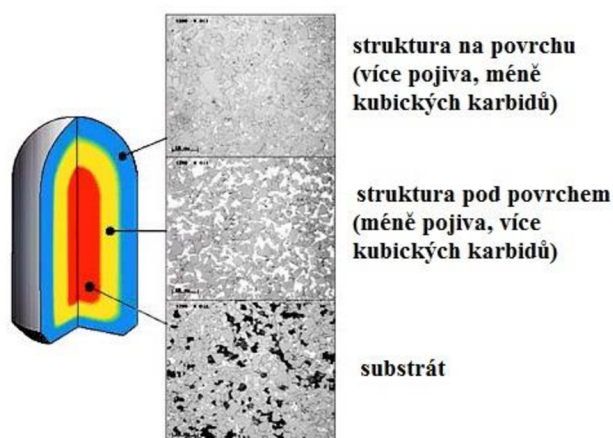
Pro zvýšení řezného výkonu a trvanlivosti je většina slinutých karbidů v dnešní době povlakována tenkými vrstvami karbidů, karbonitridů, nitridů nebo oxidů. Děje se tak především metodou CVD povlakování. Po dokončení povlakovacího procesu a následném ochlazení se ovšem v povlaku často vytváří mikrotrhliny, které se mohou rozšířit i do substrátu nástroje, což urychluje opotřebení břitu a jeho následnou destrukci. Nebezpečí tvorby trhlin ale můžeme snížit tak, že vytvoříme substrát (podklad) s povrchovou vrstvou, která je houževnatější a tím pádem i více odolná vůči šíření trhlin, zatímco substrát si zachová větší tvrdost. Metodou, jak takového složení docílit, se nazývá funkčně gradientní slinování (FGM – Functionally Graded HardMetal). Gradientní struktura je znázorněna na obrázku 2.3. Samotný koncept funkčně gradientních slinutých karbidů byl sice vytvořen poměrně nedávno, ale v dnešní době je již využíván prakticky všemi výrobci nástrojů určených k obrábění^{3,18}.



Obr. 2.3 Gradientní struktura¹⁹

Běžný slinutý karbid obsahuje zrna WC, zrna kubických karbidů a pojivo. K dosažení houževnatějšího povrchu je nutno, aby povrchová vrstva obsahovala velké množství pojiva – kobaltu. Zároveň ale nelze obsah kobaltu zvýšit v celém objemu substrátu z důvodu zachování vlastností materiálu. Výsledná gradientní vrstva na povrchu má tloušťku jen několik desítek mikrometrů. Takové struktury lze docílit u materiálů obsahujících Ti (C, N) při denitrifikačním slinování. Při tomto procesu difunduje dusík směrem z materiálu. V důsledku silné termodynamické vazby mezi dusíkem a titanem je ale zároveň nucen titan difundovat opačným směrem, a to do vnitřních vrstev substrátu. Pokud ovšem

substrát neobsahuje Ti (C, N), pak musí být obsažen dusík již ve slinovací atmosféře. Po skončení slinovacího procesu je odčerpán. Výsledný slinutý karbid tak má tři základní oblasti. První je houževnatá povrchová vrstva s vysokým podílem kobaltu. Pod ní se nachází druhá vrstva, která naopak obsahuje málo kobaltu, ale více tvrdých kubických karbidů. Poslední oblast tvoří samotný substrát, který má složení dáno již z výroby a nemění se. Tyto základní oblasti jsou znázorněny na obrázku 2.4. Přesné poměry jednotlivých složek lze měnit podle potřeby. Je ovšem nutno tak činit s rozvahou, neboť přehnané zvýšení jedné složky může mít negativní účinek na celkové vlastnosti materiálu^{3,18}.



Obr. 2.4 Základní oblasti gradientní struktury¹⁹

Při gradientním slinování lze vyrobit slinuté karbidy v různých strukturních variantách. Je také možno vyrobit břitové destičky s různou mikrostrukturou na čele a na hřbetu nástroje, čímž lze docílit lepších řezných vlastností materiálu. Nabízí se tedy značné množství výrobních kombinací a tím pádem i široké využití gradientně slinovaných břitových destiček ze slinutých karbidů¹⁸.

2.5 Struktura a vlastnosti

Celý vývoj slinutých karbidů určených k obrábění byl zaměřen na vyšší odolnost proti opotřebení (souvisí hlavně s tvrdostí) a vyšší pevnost (ohybovou a tlakovou). Tyto dvě základní vlastnosti jsou ale obecně v protikladu a nelze je jednoduchým způsobem zlepšit současně. Je potřeba řídit mnoho faktorů (složení materiálu, velikost zrn, množství nečistot, defekty atd.). Obecně lze říci, že materiál s nízkým obsahem kobaltu má vysokou tvrdost a pevnost. Naopak s rostoucím podílem Co se tyto vlastnosti zhoršují. Tvrdost je také závislá na velikosti zrna. Čím je zrno menší, tím je větší tvrdost^{3,4}.

Složení a struktura slinutých karbidů může být velmi různorodá a lze tak docílit požadovaných vlastností materiálu. Mezi nejvýznamnější rozdíly při výrobě, které ovlivňují konečné vlastnosti slinutých karbidů, patří¹:

- typ a velikost tvrdých částic,
- druh a podíl kovového pojiva,
- technologie použité při výrobě,
- kvalita vstupních surovin a kvalita samotné výroby.

Značný vliv na prakticky všechny fyzikální i chemické vlastnosti má kobalt (pojivo), kterého se ve složení materiálu vyskytuje nejčastěji 2-13%. Pokud obsah kobaltu roste, pak^{3,4}:

- klesá tvrdost,
- klesá měrná hmotnost,
- klesá relativní odolnost proti abrazi,
- klesá modul pružnosti v tahu a ve smyku,
- roste pevnost v ohybu a v tahu,
- klesá pevnost v tlaku,
- roste vrubová houževnatost,
- mírně roste únavová pevnost,
- roste délková roztažnost,
- klesá tepelná vodivost,
- klesá intenzita elektromagnetického pole,
- roste magnetická permeabilita.

2.5.1 Struktura

Mikrostrukturu slinutých karbidů lze sledovat světelnými mikroskopy (při zvětšení 1600-2000x), a to na vybroušených a následně vyleštěných plochách. Takto získanou plochu je ale potřeba ještě upravit (chemické leptání, elektrolytické leptání nebo oxidace ohřevem). Použitá metoda rozhodne o tom, zda zvýrazníme pouze námi zvolenou strukturní složku, nebo celkovou strukturu slinutého karbidu se všemi jeho složkami. Strukturu můžeme vedle světelných mikroskopů zkoumat také pomocí mikroskopů elektronových. Elektronové mikroskopy jsou sice mnohem nákladnější, ale samotný vzorek potom již nevyžaduje tak zdlouhavou a náročnou přípravu^{3,4}.

2.5.2 Fyzikální vlastnosti slinutých karbidů

2.5.2.1 Fyzikální vlastnosti slinutých karbidů typu WC-Co

Měrná hmotnost je poměrně vysoká díky velké měrné hmotnosti karbidu wolframu (12,3 až 15,2 g.cm⁻³). Skutečná měrná hmotnost je ovšem nižší než teoreticky vypočítaná kvůli pórovitosti a nežádoucím přísadám³.

Tepelná vodivost je u slinutých karbidů ve srovnání s rychlořeznými oceli 2-3krát vyšší. Naopak ve srovnání s mědí je asi třetinová. Jen málo je tepelná vodivost závislá na obsahu kobaltu².

Délková roztažnost je nižší než u ocelí. Závisí ale na obsahu Co (s rostoucím obsahem Co se hodnota délkové roztažnosti může zvětšit až dvojnásobně)³.

Měrný odpor se u slinutých karbidů vyznačuje poměrně nízkými hodnotami. Běžně se pohybuje okolo 20 μΩ.cm².

Elektrická vodivost je u slinutých karbidů v důsledku nízkého odporu velmi dobrá. Dosahují asi 10 % vodivosti čisté mědi².

Magnetické vlastnosti jsou podmíněny přítomností kobaltu (kvůli jeho feromagnetičnosti). S jeho rostoucím podílem se magnetické vlastnosti zlepšují².

2.5.2.2 Fyzikální vlastnosti slinutých karbidů typu WC-TiC-Co

Hodnota měrné hmotnosti se uvádí v rozmezí 5,2 až 14,7 g.cm⁻³. Na měrnou hmotnost má největší vliv obsah TiC (jeho měrná hmotnost je pouze 4,9 g.cm⁻³ oproti WC, které má 15,7 g.cm⁻³). Při nárůstu obsahu TiC tedy měrná hmotnost výrazně klesá³.

Tepelná vodivost je nižší než u WC-Co. Dále potom klesá se zvyšujícím se obsahem TiC. Hodnoty tepelné vodivosti se pohybují v rozmezí 15-90 W.m⁻¹.K⁻¹. Při 15 % obsahu TiC má přibližně stejnou tepelnou vodivost, jako rychlořezné oceli a asi poloviční ve srovnání s WC-Co⁴.

Délková roztažnost mírně roste, pokud se zvyšuje obsah TiC. Oproti typu WC-Co je vyšší. Konkrétní hodnoty součinitele dálkové roztažnosti se pohybují v rozmezí 5,5-7,9 [10⁻⁶ K⁻¹]⁴.

Měrný odpor závisí na obsahu TiC. Hodnoty měrného odporu se nejčastěji pohybují v rozmezí 20-85 μΩ.cm a klesají s rostoucím obsahem TiC³.

Magnetické vlastnosti jsou stejně jako u typu WC-Co závislé na obsahu feromagnetického kobaltu³.

Fyzikální vlastnosti SK typu WC-TiC-TaC.NbC-Co jsou velmi závislé na složení. Je proto velmi složité je konkretizovat a nebudeme se jimi tedy zabývat^{3,4}.

2.5.3 Mechanické vlastnosti slinutých karbidů

2.5.3.1 Mechanické vlastnosti slinutých karbidů typu WC-Co

Tvrdoost závisí hlavně na obsahu kobaltu a velikosti zrna. Tato závislost je znázorněna na obrázku 2.5. Tvrdoost stoupá s klesajícím obsahem kobaltu a s klesající velikostí zrna. U slinutých karbidů je tvrdoost mnohem vyšší než u rychlořezných ocelí a nejčastěji se pohybuje v rozmezí od 780 do 1850 HV, ale mohou být i vyšší. Tvrdoost je také závislá na teplotě. U slinutých karbidů s rostoucí teplotou rychle klesá³.

Pevnost v ohybu roste s rostoucím obsahem kobaltu (viz obrázek 2.5). To se ale děje pouze do chvíle, než dosáhne své maximální hodnoty (závisí i na velikosti zrn WC) a dále pak s růstem obsahu Co má klesající charakter. Pevnost v ohybu závisí i na teplotě. Stejně jako u tvrdosti s rostoucí teplotou pevnost klesá. Pevnost v ohybu ale zvýšit použitím metody HIP (vysokoteplotní izostatické lisování). U běžných materiálů se pevnost v ohybu pohybuje v rozsahu 1000-3000 MPa. U některých nových materiálů ale dosahuje i vyšších hodnot (2000-4700 MPa)³.

Pevnost v tlaku opět závisí na obsahu kobaltu. S jeho rostoucím obsahem klesá. Závisí rovněž na velikosti zrn karbidické fáze (jemnozrnná struktura zvyšuje pevnost v tlaku) a klesá s rostoucí teplotou. Běžně se pevnost v tlaku pohybuje

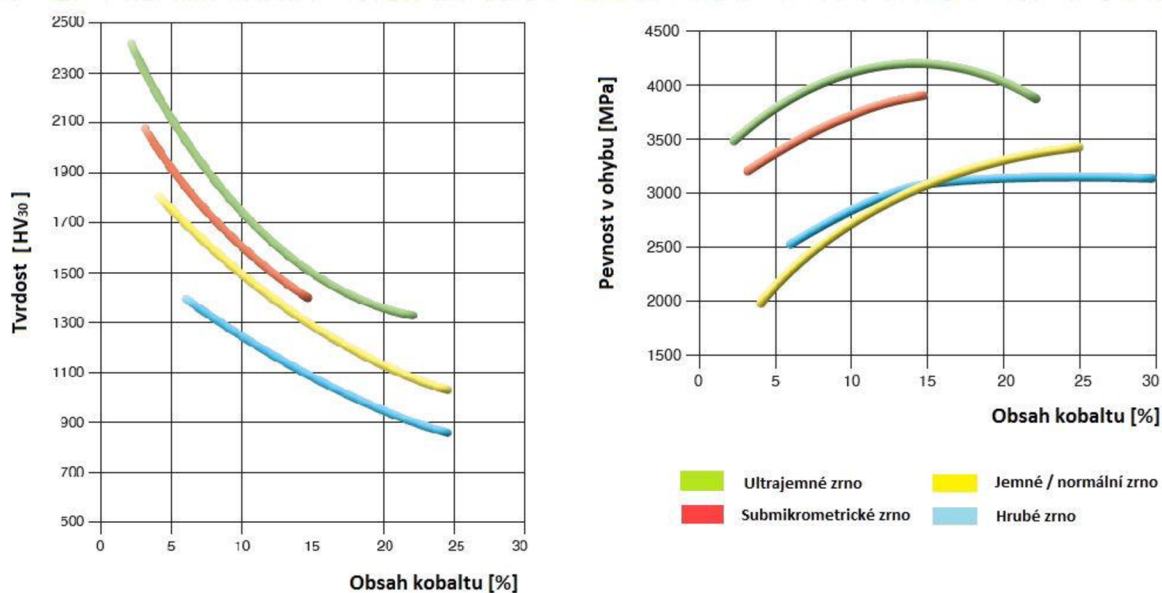
v rozmezí 3000-6200 MPa. Některé dnešní materiály ale dosahují hodnot v rozmezí 3100-8000 MPa³.

Pevnost v tahu se vzhledem k vysoké křehkosti a nízké tažnosti slinutých karbidů velmi obtížně měří. Konkrétní hodnoty musíme tedy brát pouze orientačně. Podle některých výrobců se pevnost v tahu pohybuje o rozmezí 1200-2750 MPa. Uvádí se, že hodnoty pevnosti v tahu jsou přibližně poloviční než hodnoty pevnosti v ohybu³.

Modul pružnosti v tahu a smyku mají slinuté karbidy vysoký. Ve srovnání s rychlořeznými oceli až trojnásobně. Materiály s jemnozrnnou strukturou mají vyšší hodnoty modulu pružnosti. Modul pružnosti klesá s rostoucí teplotou jen mírně a pohybuje se v rozmezí 440-670 GPa. Ve smyku potom nabývá hodnot 170-270 GPa⁴.

Lomová houževnatost je kritická hodnota součinitele intenzity napětí, ke kterému dojde v okamžiku nestabilního šíření trhliny. To v podstatě znamená odolnost tělesa vůči křehkému porušení. S rostoucím obsahem Co lomová houževnatost roste. Lomová houževnatost po překročení teplot 500-700 °C prudce klesá. Až do těchto teplot je ale neměnná. Ve srovnání s kovy mají slinuté karbidy menší lomovou houževnatost⁴.

Vlastnosti slinutých karbidů typu WC-Co v závislosti na složení jsou uvedeny v tabulce 2.2.



Obr. 2.5 Závislost tvrdosti a pevnosti v ohybu na obsahu Co a velikosti zrn WC¹¹

Tab. 2.2 Složení a vlastnosti slinutých karbidů WC-Co³

Složení [hm. %]		Měrná hmotnost [g cm ⁻³]	Tvrdość		Pevnost v ohybu [MPa]	Pevnost v tlaku [MPa]	Modul pružnosti v tahu [GPa]	Měrná tepelná vodivost [W m ⁻¹ K ⁻¹]	Součinitel délkové roztažnosti [10 ⁻⁶ K ⁻¹]	Měrný odpor [μΩ.cm]
WC	Co		[HRA]	[HV]						
100	-	15,7	92 ÷ 94	1800 ÷ 2000	300 ÷ 500	3000	722	122	5,7 ÷ 7,2	53
97	3	15,1 ÷ 15,2	90 ÷ 93	1600 ÷ 1700	1000 ÷ 1200	5900	670	88		
95,5	4,5	15,0 ÷ 15,1	90 ÷ 92	1550 ÷ 1650	1200 ÷ 1400	5800	640	84	3,4 (0 ÷ 300 °C) 4,1 (300 ÷ 600 °C)	-
94 ÷ 94,5 ¹⁾	5,5 ÷ 6	14,8 ÷ 15,0	90 ÷ 91	1500 ÷ 1600	1600 ÷ 1800	5000	620	80	3,6 (0 ÷ 300 °C) 4,6 (300 ÷ 500 °C)	20
94 ÷ 94,5 ²⁾	5,5 ÷ 6	14,8 ÷ 15,0	91 ÷ 92	1600 ÷ 1700	1400 ÷ 1600	5500	630 ²⁾	80	5	21
91	9	14,5 ÷ 14,7	89 ÷ 91	1400 ÷ 1500	1500 ÷ 1900	4800	590	75	-	-
90	10	14,3 ÷ 14,5	88,5 ÷ 90,5	1350 ÷ 1450	1550 ÷ 1950	4700	585	71	-	-
89	11	14,0 ÷ 14,3	88 ÷ 90	1300 ÷ 1400	1600 ÷ 2000	4600	580	67	3,8 (0 ÷ 300 °C) 4,8 (300 ÷ 600 °C)	18
87	13	14,0 ÷ 14,2	87 ÷ 89	1250 ÷ 1350	1700 ÷ 2100	4500	560	59	-	-
85	15	13,8 ÷ 14,0	86 ÷ 88	1150 ÷ 1250	1800 ÷ 2200	3900	540	-	6	-
80	20	13,1 ÷ 13,3	83 ÷ 86	1050 ÷ 1150	2000 ÷ 2600 ³⁾	3400	500	-	4,7 (0 ÷ 300 °C) 6,2 (300 ÷ 600 °C)	-
75	25	12,8 ÷ 13,0	82 ÷ 84	900 ÷ 1000	2000 ÷ 2800 ³⁾	3200	470	-	5,0 (0 ÷ 300 °C) 6,7 (300 ÷ 600 °C)	-
70	30	12,3 ÷ 12,5	80 ÷ 82	850 ÷ 950	1800 ÷ 3000 ³⁾	3000	440	-	-	-
-	100	8,7	-	125 ÷ 250	700 ÷ 1000		180	71	5,1	14

Pozn: 1) hrubozrnná fáze WC, 2 ÷ 4 μm; 2) jemnozrnná fáze WC, 0,5 ÷ 2 μm; 3) výrazně závisí na velikosti zrna a obsahu uhlíku; 4) střední hodnoty

2.5.3.2 Mechanické vlastnosti slinutých karbidů typu WC-TiC-Co

Tvrdość je vyšší než u typu WC-Co. Dále se potom ještě zvyšuje s rostoucím obsahem TiC. Pokud ale výrazně zvětšujeme obsah TiC, pak se to musí dít na úkor obsahu Co, lze tedy potom nárůst tvrdości připsat i poklesu obsahu Co. Hodnoty tvrdości se pohybují v rozmezí 1300-1900 HV. Stejně jako u WC-CO při rostoucí teplotě tvrdość klesá³.

Pevnost v ohybu roste při rostoucím obsahu Co, přičemž obsah TiC je konstantní. Naopak při konstantním obsahu Co klesá pevnost v ohybu s rostoucím obsahem TiC. Typ WC-TiC-Co má nižší pevnost v ohybu než slinuté karbidy typu WC-Co. Pevnost v ohybu potom klesá s rostoucí teplotou³.

Pevnost v tlaku roste, jestliže obsah kobaltu a karbidu titanu klesá. Rozsah hodnot je 3500-5600 MPa a je srovnatelný s WC-Co.

Modul pružnosti v tahu roste, pokud obsah Co a TiC klesá. Hodnoty jsou nižší než u WC-Co⁴.

Lomová houževnatost je nižší než u typu WC-Co. Je tomu tak i kvůli tomu, že šíření trhlin u SK typu WC-TiC-Co probíhá zejména v karbidické fázi⁴.

2.5.3.3 Mechanické vlastnosti slinutých karbidů typu WC-TiC-TaC.NbC-Co

Tvrdość je srovnatelná s tvrdoścemi předešlých typů SK. Má stejnou závislost na obsahu kobaltu, obsahu karbidu titanu a teplotě. Změny v obsahu TaC.NbC nemá významný vliv na tvrdość^{3,4}.

Pevnost v ohybu je srovnatelná jako u předešlých dvou typů SK. Klesá s rostoucím obsahem TaC.NbC a roste s rostoucím obsahem Co. Při zvyšující se teplotě pevnost v ohybu klesá⁴.

Pevnost v tlaku klesá s rostoucím obsahem Co stejně jako u předešlých typů SK. Stejný vliv má i teplota⁴.

Modul pružnosti v tahu dosahuje stejných hodnot jako u typu WC-TiC-Co. Při zvyšujícím se obsahu Co se potom snižuje⁴.

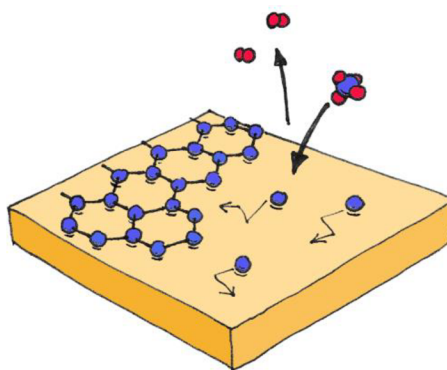
Lomová houževnatost se snižuje, jestliže zvyšujeme obsah Ti a Ta. Ta má sice menší vliv, ale je výrazně dražší. Z tohoto důvodu se více využívá TiC, i když materiál většinou obsahuje i TaC⁴.

2.6 Povlakování slinutých karbidů

Od řezných nástrojů se obecně vyžaduje, aby měli co největší otěruvzdornost a současně i houževnatost. Ideální variantou tedy je taková destička, která má velmi tvrdý otěruvzdorný povrch a houževnaté jádro. Logicky se tedy velmi rozšířilo povlakování slinutých karbidů tenkými vrstvami jiných látek. Nejčastěji se k povlakování používá karbid titanu TiC, nitrid titanu TiN nebo oxid hlinitý Al₂O₃. Povlaky mohou být jedno i vícevrstvé⁶.

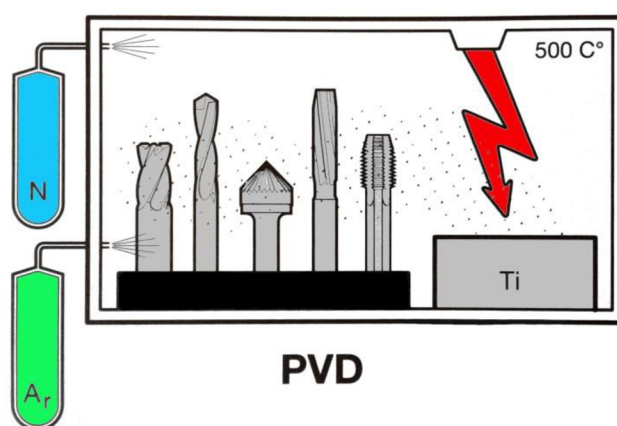
Jednovrstvé nejčastěji tvoří povlak TiC, TiCN nebo TiN. Tloušťka vrstvy se obvykle pohybuje do 13 μm. Vícevrstvé povlaky mají dvě, tři i více vrstev. Jako první se nanášejí povlaky s dobrou přilnavostí, na které se pak vrství povlaky s vysokou tvrdostí. Například tedy může mít třívrstvý povlak toto složení: TiC - Al₂O₃ - TiN⁶.

Povlakování se provádí dvěma základními metodami. První je metoda CVD (Chemical Vapour Deposition), tedy metoda chemického napařování. Tato metoda je založena na chemické reakci plynů. Destičky se zahřejí na teploty okolo 1000 °C a následně je k nim přiveden plyn, který reaguje s povrchem slinutého karbidu a vytváří výsledný povlak (viz obrázek 2.6). To zapříčiňuje vysokou energetickou náročnost a dlouhý pracovní cyklus při CVD povlakování. Výhodou této metody je vysoká homogenita povlaku a výborná adheze mezi naneseným povlakem a substrátem. Mohou být vytvářeny i složité a vícenásobné vrstvy. Nelze ale povlakovat ostré hrany¹.



Obr. 2.6 CVD povlakování²⁰

Druhou metodou je metoda PVD (Physical Vapour Deposition), tedy fyzikální napařování. Schéma PVD povlakování je znázorněno na obrázku 2.7. Tato metoda se ve velkém rozsahu aplikuje pro povlakování rychlořezných ocelí. Ve speciálních případech je ale možno ji použít při povlakování slinutých karbidů. Tato metoda se dobře osvědčila při povlakování velmi ostrých nástrojů, jako jsou například stopkové frézy nebo vrtáky. Povlakovací látka se působením napětí (50 až 400 V) vylučuje na nástroji. Obvykle se teplota při tomto typu povlakování pohybuje okolo 500 °C a je tedy méně energeticky náročná než metoda CVD. Nevýhodou je ale nutnost během povlakovacího procesu otáčet povlakovaný předmět tak, aby byl povlakován ze všech stran. Tloušťka povlaku činí 3 až 5 µm a je tak výrazně tenčí než u metody CVD¹.



Obr. 2.7 PVD povlakování¹

2.6.1 Současné trendy a moderní způsoby povlakování

Další moderní metodou v povlakování je vedle CVD a PVD taky metoda PCVD (Plasma CVD). Jedná se metodu podobnou CVD s tím rozdílem, že je prováděna za mnohem nižších teplot (pod 600 °C). Takto nízká teplota je možná díky ionizaci plynů v atmosféře povlakovací komory a jejich následné aktivaci pomocí plazmatického výboje. Z dalších metod mohou být zmíněny například metoda multivrstvých povlaků (několikanásobné pokládání dvou různých povlaků na sebe), metoda nanokrystalických kompozitů (snížení mikrostrukturních a prostorových rozměrů do nanometrických dimenzí a použití více druhů materiálů se vzájemnou minimální rozpustností), nanášení multivrstev (opět multivrstvá metoda s možností nanášet na sebe až 200 velmi tenkých vrstev povlaků) nebo diamantové povlaky (nanášení vrstvy velmi tvrdého polykrystalického diamantu na podkladní materiál)¹⁷.

3 NEPOVLAKOVANÉ SLINUTÉ KARBIDY V NABÍDCE VYBRANÝCH VÝROBCŮ

Pozornost bude věnována materiálům určených k soustružení. Vzhledem k tomu, že sortiment nepovlakovaných slinutých karbidů určených k soustružení není příliš rozsáhlý, bude nutno porovnat nabídky od více výrobců. Jmenovitě to budou společnosti Pramet Tools, Sandvik Coromant, Seco Tools, Ceratizit, Walter a Iscar. Podskupiny, které jsou ve výčtu podskupin za názvem materiálu zvýrazněny tučně, představují hlavní oblast použití materiálu. Ostatní nezvýrazněné podskupiny značí alternativní možnosti využití.

3.1 Pramet Tools

Pramet Tools je česká firma se sídlem v Šumperku. V její nabídce nepovlakovaných slinutých karbidů určených k soustružení figuruje pouze jediná položka⁹:

HF7 (M10-20, **K10-25**, **N10-30**, S10-20, H10-20). Jedná se o submikrometrový materiál bez kubických karbidů s nízkým obsahem kobaltu (viz obrázek 3.1). Z hlediska obráběných materiálů je velmi univerzální, neboť je doporučován pro všechny skupiny s výjimkou skupiny P. Je určen pro malé až střední průřezy třísek při stabilních záběrových podmínkách. Řezné podmínky doporučené pro tento materiál jsou uvedeny v tabulce 3.1.



Obr. 3.1 Struktura materiálu HF7⁹

Tab. 3.1 Řezné podmínky při soustružení materiálů skupin M, N a S⁹

ISO			M	N	S
Řezný materiál			H7F		
Druh operace	Posuv na otáčku f [mm]	Šířka záběru ostří a_p [mm]	Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]		
Jemné soustružení	0,05	0,5	200	835	-
	0,08		165	695	-
	0,1		150	635	-
Dokončovací soustružení	0,1	1,5	135	570	65
	0,15		115	485	55
	0,2		100	435	50
Polohrubovací soustružení	0,2	2,5	95	415	45
	0,3		85	350	40
	0,4		75	315	35

3.2 Sandvik Coromant

Švédská firma Sandvik Coromant patří na přední příčky v produkci řezných nástrojů na světě. V jeho nabídce nepovlakovaných slinutých karbidů určených k soustružení se vyskytují čtyři položky¹⁰:

H13A (K10-30, N05-25, **S10-30**, H15-25) Materiál kombinuje dobrou odolnost proti opotřebení s houževnatostí. Je určen pro obrábění litiny při středních až nízkých rychlostech a vysokých hodnotách posuvu, hrubovací až dokončovací operace při soustružení slitin hliníku, střední až těžké soustružení tepelně odolných ocelí a titanových slitin a soustružení tvrzených materiálů při nízkých řezných rychlostech.

H10 (N01-25) Tento materiál kombinuje vynikající odolnost proti otěru s ostrostí bříty. Je určen na hrubovací až dokončovací operace při soustružení slitin hliníku.

H10A (S01-S20) Materiál kombinuje dobrou odolnosti proti otěru s houževnatostí. Je určen pro střední až těžké soustružení tepelně odolných ocelí a titanových slitin.

H10F (S10-S30) Jemnozrný materiál, který se vyznačuje výbornou odolností proti tepelným rázům a tvorbě vrubů. Je vhodný pro dlouhotrvající spojitě i přerušované řezy. Materiál je doporučen pro obrábění tepelně odolných superslitin nebo slitin titanu při velmi nízkých řezných rychlostech

Řezné podmínky doporučené pro jednotlivé materiály jsou uvedeny v tabulkách 3.2 až 3.5.

Tab. 3.2 Řezné podmínky při soustružení materiálů skupiny K¹⁰

ISO K			
Řezný materiál			H13A
Obráběný materiál		Tvrdost [HB]	Posuv na otáčku f [mm]
			Řezná rychlost v _c [m.min ⁻¹]
Temperované litiny	Feritické (tvořící dlouhou třísku)	130	140 - 125 - 110
	Perlitické (tvořící krátkou třísku)	230	125 - 110 - 90
Šedé litiny	Nízká pevnost v tahu	180	180 - 145 - 110
	Vysoká pevnost v tahu	220	140 - 115 - 95
Tvárné litiny, SG litiny	Feritické	160	135 - 125 - 95
	Perlitické	250	125 - 115 - 90
	Martenzitické	380	100 - 85 - 65

Tab. 3.3 Řezné podmínky při soustružení materiálů skupiny N¹⁰

ISO N				
Řezný materiál			H10	H13A
Obráběný materiál		Tvrdost [HB]	Posuv na otáčku f [mm]	
			0,15-0,8	0,15-0,8
			Řezná rychlost v _c [m.min ⁻¹]	
Slitiny hliníku	Tvářené nebo tvářené a za studena zpracované, nevystárnuté	60	2500 - 250	2400 - 240
	Tvářené nebo tvářené a vystárnuté	100	2500 - 250	2400 - 240
Slitiny hliníku	Odlévané, nevystárnuté	75	2500 - 250	2400 - 240
	Odlévané nebo odlévané a vystárnuté	90	2500 - 250	2400 - 240
Slitiny hliníku	Odlévané, 13–15% Si	130	560 - 55	500 - 50
	Odlévané, 16–22% Si	130	375 - 38	315 - 31
Měď a slitiny mědi	Snadno obrobitelné slitiny, ≥1% Pb	110	630 - 65	560 - 55
	Mosaz, olověné bronzy, ≤1% Pb	90	630 - 65	560 - 55
	Bronz a bezolovnatá měď, včetně elektrolytické mědi	100	375 - 38	340 - 34

Tab. 3.4 Řezné podmínky při soustružení materiálů skupiny H¹⁰

ISO H			
Řezný materiál			H13A
Obráběný materiál		Tvrdost [HB]	Posuv na otáčku f [mm]
			0,1 - 0,3 - 0,5
			Řezná rychlost v _c [m.min ⁻¹]
Tvrzené oceli	Kalené a popuštěné	45 HRC	45 - 25 - 16
		50 HRC	-
		55 HRC	-
Zvlášt' tvrdé oceli	Kalené a popuštěné	60 HRC	-
		65 HRC	-
Tvrzené litiny	Odlévaná nebo odlévaná a vystárnutá	400	35 - 20 - 11

Tab. 3.5 Řezné podmínky při soustružení materiálů skupiny S¹⁰

ISO S						
Řezný materiál			H10	H10A	H10F	H13A
Obráběný materiál		Tvrdost [HB]	Posuv na otáčku f [mm]			
			0,1 - 0,2 - 0,3	0,1 - 0,3 - 0,5	0,1 - 0,3 - 0,5	0,1 - 0,3 - 0,5
			Řezná rychlost v _c [m.min ⁻¹]			
Žáruvzdorné superslitiny Na bázi železa	Žíhané nebo homogenizačně žíhané	200	-	85 - 70 - 55	70 - 55 - 40	80 - 65 - 50
	Vystárnuté nebo homogenizované a vystárnuté	280	-	65 - 55 - 40	50 - 40 - 30	60 - 50 - 40
Na bázi niklu	Žíhané nebo homogenizačně žíhané	250	-	55 - 40 - 32	40 - 30 - 20	50 - 40 - 30
	Vystárnuté nebo homogenizované a vystárnuté	350	-	40 - 32 - 21	30 - 20 - 10	40 - 30 - 20
	Odlévané nebo odlévané a vystárnuté	320	-	26 - 21 - 16	20 - 15 - 10	25 - 20 - 15
Na bázi kobaltu	Žíhané nebo homogenizačně žíhané	200	-	55 - 40 - 32	40 - 30 - 20	50 - 40 - 30
	Homogenizačně žíhané a vystárnuté	300	-	40 - 32 - 21	30 - 20 - 10	40 - 30 - 20
	Odlévané nebo odlévané a vystárnuté	320	-	26 - 21 - 16	20 - 15 - 10	25 - 20 - 15
Titanové slitiny	Komerčně čistý (99,5% Ti)	400	205 - 170 - 145	195 - 160 - 135	160 - 135 - 115	180 - 150 - 125
	α a α + β slitiny, žíhané	950	80 - 70 - 55	80 - 65 - 55	65 - 55 - 45	70 - 60 - 50
	α + β slitiny ve vystárnutém stavu, β slitiny, žíhané nebo vystárnuté	1050	80 - 60 - 50	80 - 60 - 50	65 - 55 - 45	70 - 55 - 45

3.3 Seco Tools

Firma Seco Tools sídlí rovněž ve Švédsku. V její nabídce figurují čtyři materiály¹⁴:

890 (M05-20, K05-25, N05-20, **S05-25**, H20-30) Jemnozrný materiál s velmi vysokou tvrdostí a dobrou houževnatostí. Je určen pro obrábění těžkoobrobitelných a titanových slitin. Dále je vhodný pro obrábění kalené oceli, litinu a neželezné slitiny (Al, Cu).

883 (M15-25, K15-30, N15-30, **S10-30**, H20-30) Jedná se o ještě houževnatější alternativu k 890. Materiál je určen zejména pro hrubování těžkoobrobitelných a titanových slitin.

HX (M15-25, **K10-30**, N10-30, H20-30) Materiál je určen zejména pro obrábění litiny a kalených ocelí. Vhodný je rovněž pro obrábění hliníku a dalších neželezných materiálů.

KX (N10-30) Jemnozrný materiál určený pro obrábění hliníku a dalších neželezných materiálů.

Doporučené řezné podmínky pro tyto materiály jsou uvedeny v tabulkách 3.6 až 3.8.

Tab. 3.6 Řezné podmínky při soustružení materiálů skupiny K¹⁴

ISO K		
Řezný materiál		HX
Obráběný materiál		Posuv na otáčku f [mm]
		0,1 - 0,15 - 0,2
Litiny		Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]
		145 - 130 - 115
Litiny	Středně tvrdé litiny, šedé litiny	145 - 130 - 115
	Nízkolegované litiny temperované litiny tvárné litiny	130 - 115 - 100
	Středně tvrdé litiny tvárné litiny	110 - 95 - 85
	Tvrde vysoce legované litiny Tvrde temperované litiny tvárné litiny	90 - 80 - 70

Tab. 3.7 Řezné podmínky při soustružení materiálů skupiny N¹⁴

ISO N	
Řezný materiál	KX
Obráběný materiál	Posuv na otáčku f [mm]
	0,1 - 0,15 - 0,2
Slitiny hliníku s nízkým obsahem křemíku	Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]
	575 - 505 - 455
Slitiny hliníku s vysokým obsahem křemíku	465 - 410 - 370
Slitiny mědi	355 - 310 - 280

Tab. 3.8 Řezné podmínky při soustružení materiálů skupiny S¹⁴

ISO S		
Řezný materiál	890	883
Obráběný materiál	Posuv na otáčku f [mm]	
	0,07 - 0,15 - 0,23	0,2 - 0,3 - 0,45
	Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	
Superslitiny na bázi železa	44 - 36 - 31	25 - 22 - 18
Superslitiny na bázi kobaltu	36 - 29 - 25	20 - 17 - 15
Superslitiny na bázi niklu	31 - 25 - 21	18 - 15 - 13
Slitiny titanu	49 - 40 - 34	28 - 24 - 20

3.4 Ceratizit

Sídlem firmy Ceratizit je Lucembursko. V její nabídce jsou čtyři řezné materiály¹¹:

CTW7120 (M15-20, K15-25, **N05-25**, S05-15) Materiál je vhodný pro obrábění neželezných kovů. Vhodný jako substrát pro následné PVD povlakování.

- Složení: 10 % Co, 90 % WC
- Velikost zrna: 0,7 μm
- Tvrdost: HV30 1550

H10T (**K10-20**, **N05-25**) Materiál s vysokou tepelnou odolností a odolností proti opotřebení. Díky jemnozrnné struktuře je při odvádění třísky minimální tření. Vhodný na obrábění hliníku.

- Složení: 6 % Co, 94 % WC
- Velikost zrna: 1 μm
- Tvrdost: HV30 1630

H210T (M05-15, K05-20, **N05-20**, **S05-15**) Materiál určený k obrábění žáruvzdorných slitin, titanu, žáruvzdorných kovů (W, Mo), hliníku, skla a některých plastů. Při odvodu třísky je vytvářeno malé tření.

- Složení: 6 % Co, 94 % WC
- Velikost zrna: 0,8 μm
- Tvrdost: HV30 1850

H216T (K10-20, N05-25) Podobný materiálu H10T. Má vysokou tepelnou odolnost a odolnost vůči opotřebení. Při odvodu třísky dochází k malému tření. Vhodný k obrábění hliníku.

- Složení: 6 % Co, 94 % WC
- Velikost zrna: 1 μm
- Tvrdost: HV30 1630

Doporučené řezné podmínky viz tabulky 3.9 až 3.11.

Tab. 3.9 Řezné podmínky při soustružení materiálů skupiny K¹¹

ISO K					
Řezný materiál			H10T	H210T	H216T
Obráběný materiál		Tvrdost [HB]	Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]		
Šedé litiny	Perlitická / feritická	180	118 - 158	137 - 197	118 - 158
	Perlitická / martenzitická	260	88 - 137	98 - 158	88 - 137
Tvárné litiny	Feritická	160	128 - 167	157 - 197	128 - 147
	Perlitická	-	88 - 128	108 - 148	88 - 128
Temperované litiny	Feritická	130	137 - 197	158 - 217	137 - 197
	Perlitická	230	118 - 158	137 - 177	118 - 158

Tab. 3.10 Řezné podmínky při soustružení materiálů skupiny N¹¹

ISO N						
Řezný materiál			H10T	H210T	H216T	CTW7120
Obráběný materiál		Tvrdost [HB]	Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]			
Tvářené hliníkové slitiny	Nevytvrzené	60	295 - 3400	295 - 2950	295 - 3400	98 - 490
	Vytvrzené	100	197 - 1950	197 - 2450	197 - 1950	98 - 295
Hliníkové slitiny	Nevytvrzené < 12 % Si	80	390 - 1470	390 - 1770	390 - 1470	98 - 490
	Vytvrzené < 12 % Si	90	390 - 1470	390 - 1740	390 - 1470	98 - 295
	Nevytvrzené > 12 % Si	130	197 - 790	197 - 980	197 - 790	98 - 295
Měď a slitiny mědi (bronz, mosaz)	Obráběné slitiny (1 % Pb)	-	246 - 590	246 - 790	246 - 590	98 - 490
	Mosaz, červený bronz	90	197 - 590	197 - 790	197 - 590	98 - 490
	Bronz	100	148 - 390	148 - 590	148 - 390	98 - 295
	Bezolovnatá a elektrolitická měď	100	148 - 295	148 - 390	148 - 295	98 - 295
Nekovové materiály	Termosety	-	78 - 177	98 - 2160	78 - 177	78 - 177
	Tvrzené plasty	-	59 - 147	79 - 197	59 - 147	59 - 148
	Tvrzené pryže	-	98 - 246	98 - 197	98 - 246	98 - 246

Tab. 3.11 Řezné podmínky při soustružení materiálů skupiny S¹¹

ISO S				
Řezný materiál			H210T	CTW7120
Obráběný materiál		Tvrдость [HB]	Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	
Žáruvzdorné slitiny	Žíhané (Fe)	200	35 - 50	-
	Vytvrzené (Fe)	280	25 - 40	-
	Žíhané (Ni/Co)	250	25 - 40	-
	Vytvrzené (Ni/Co)	-	20 - 30	-
Titan	Čistý titan	$R_m = 440$ MPa	78 - 135	50 - 120
	Slitiny titanu	$R_m = 1050$ MPa	40 - 100	30 - 50

3.5 Walter

Firma Walter má sídlo v Německu. V její nabídce jsou pouze dva materiály¹⁵:

WS10 (S01-20) Jedná se o materiál pro obrábění titanu a jeho slitin.

WK1 (N01-20, S05-15) Materiál určený o obrábění hliníku, mědi a jejich slitin.

Doporučené řezné podmínky zmíněných materiálů jsou uvedeny v tabulkách 3.12 a 3.13.

Tab. 3.12 Řezné podmínky při soustružení materiálů skupiny S¹⁵

ISO N			
Řezný materiál			WK1
obráběný materiál		Tvrдость [HB]	Posuv na otáčku f [mm]
			0,1 - 0,2 - 0,4
			Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]
Tvářené hliníkové slitiny	Nevytvrditelné	30	2400 - 1800 - 1300
	Vytvrditelné / vytvrzené	100	750 - 600 - 300
Lité hliníkové slitiny	≤ 12 % Si, nevytvrditelné	75	800 - 450 - 300
	≤ 12 % Si, vytvrditelné / vytvrzené	90	500 - 300 - 200
Měď a její slitiny	Měď nelegovaná / elektrolitická	100	600 - 400 - 270
	Bronz, mosaz, červená mosaz	90	400 - 300 - 250
	Slitiny mědi s krátkou třískou	110	280 - 200 - 130

Tab. 3.13 Řezné podmínky při soustružení materiálů skupiny S¹⁵

ISO S						
Řezný materiál			WS10			
Obráběný materiál			Tvrdost [HB]	Posuv na otáčku f [mm]		
				0,1 - 0,2 - 0,4		
Žárovzdorné slitiny			Na bázi železa	Řezná rychlost v _c [m.min ⁻¹]		
				90 - / - /		
Žárovzdorné slitiny			Na bázi železa	Žíhané	280	70 - / - /
				Vytvrzené	250	70 - / - /
			Na bázi niklu nebo kobaltu	Žíhané	350	60 - / - /
				Vytvrzené	320	50 - / - /
Slitiny titanu			Čistý titan	200	200 - 180 - 140	
			α a β slitiny, vytvrzené	375	90 - 60 - 45	
			β slitiny	410	55 - 35 - 30	

3.6 Iscar

Sídlem firmy Iscar je Israel. V jejich nabídce figurují dva materiály¹³:

IC08 (M10-30, N10-25, S10-30) Jemnozrný materiál určený k obrábění korozivzdorné oceli a žárovzdorných slitin při nízkých až středních rychlostech.

IC20 (M10-25, K10-20, N05-25, S05-20, H05-15) Používá se jak pro dokončovací, tak pro hrubovací operace při obrábění litin a korozivzdorných ocelí při nízkých až středních rychlostech a posuvech.

Doporučené řezné podmínky jsou uvedeny v tabulkách 3.14 a 3.15.

Tab. 3.14 Řezné podmínky při soustružení materiálů skupiny N¹³

ISO N			
Řezný materiál			IC20
obráběný materiál		Tvrdost [HB]	Řezná rychlost v _c [m.min ⁻¹]
Tvářené hliníkové slitiny	Nevytvrditelné	60	1000 - 2500
	Vytvrditelné	100	300 - 1000
Lité hliníkové slitiny	Nevytvrzené < 12 % Si	75	300 - 1000
	Vytvrzené < 12 % Si	90	200 - 600
	Nevytvrzené > 12 % Si	130	-
Měď a její slitiny	Snadno obrobitelné slitiny, ≥1% Pb	110	250 - 600
	Mosaz	90	180 - 400
	Elektrolitická měď	100	150 - 300

Tab. 3.15 Řezné podmínky při soustružení materiálů skupiny S¹³

ISO S				
Řezný materiál				IC20
Obráběný materiál			Tvrdość [HB]	Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]
Žáruvzdorné slitiny	Na bázi železa	Žíhané	200	35 - 45
		Vytvrzené	280	25 - 35
	Na bázi niklu nebo kobaltu	Žíhané	250	25 - 30
		Vytvrzené	350	15 - 25
		Lité	320	20 - 30
Slitiny titanu	Čistý titan		-	80 - 160
	α a β slitiny, vytvrzené		-	50 - 60

3.7 Porovnání jednotlivých řezných materiálů

Porovnávání jednotlivých řezných materiálů napříč výrobci je velmi složité, neboť každý výrobce má jinak sestavené katalogy. Jednotlivé materiály mají v rámci stejných skupin různě široké použití. Samotné porovnání z hlediska řezných rychlostí, pokud je u některých materiálů vůbec možné, bude tedy spíše orientační.

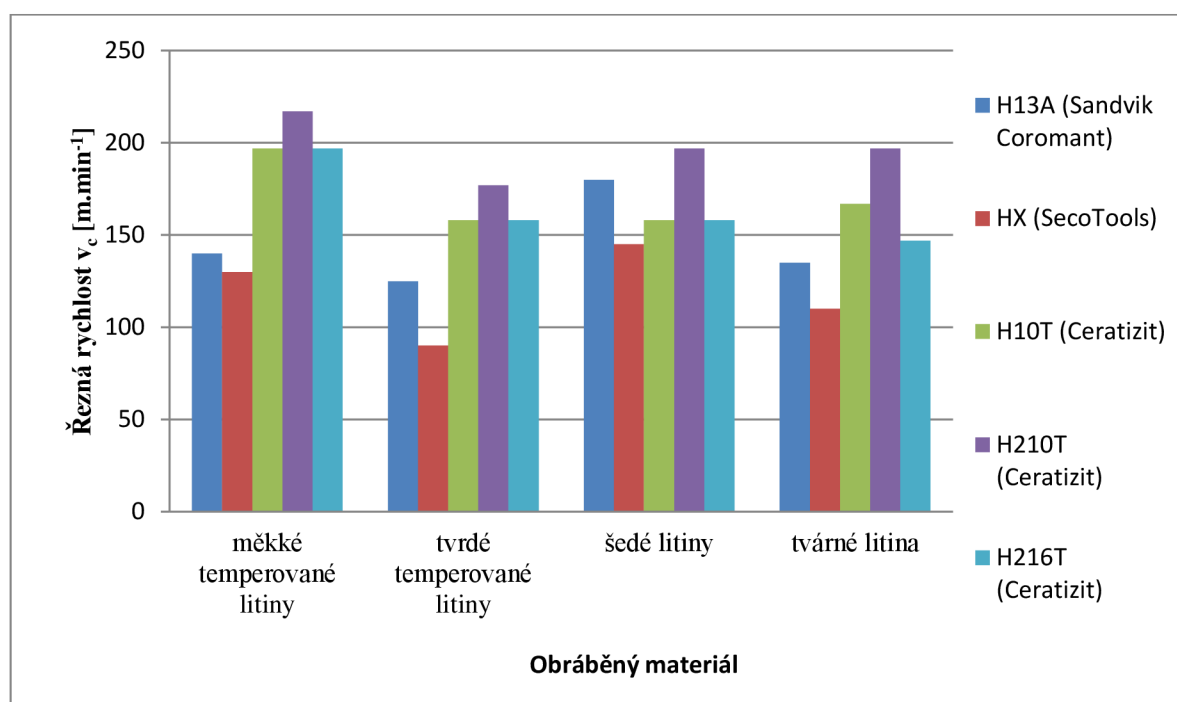
Materiál určený k obrábění materiálů skupiny M, který měl v katalogu uvedeny řezné rychlosti, je pouze jeden. Je jím materiál H7F od výrobce Pramet Tools. Ve skupině H je pak jediným, který má uvedeny řezné rychlosti, materiál H13A od výrobce Sandvik Coromant. Uvedené materiály tedy není možno s žádnými dalšími materiály porovnat. Porovnání se dále nebude týkat materiálů, které mají uvedenu v možnostech použití příslušnou skupinu, ale v katalozích pro ně nebyly uvedeny příslušné řezné rychlosti.

3.7.1 Porovnání materiálů skupiny K

Ve skupině K budou porovnány následující materiály:

H13A (K10-30), HX (K10-30), H10T (K10-20), H210T (K05-20), H216T (K10-20).

Společná oblast použití, ve které můžeme všechny materiály uplatnit, leží v rozpětí K10-20. Grafické porovnání jednotlivých materiálů je znázorněno na obrázku 3.2.



Obr. 3.2 Porovnání řezných materiálů skupiny K

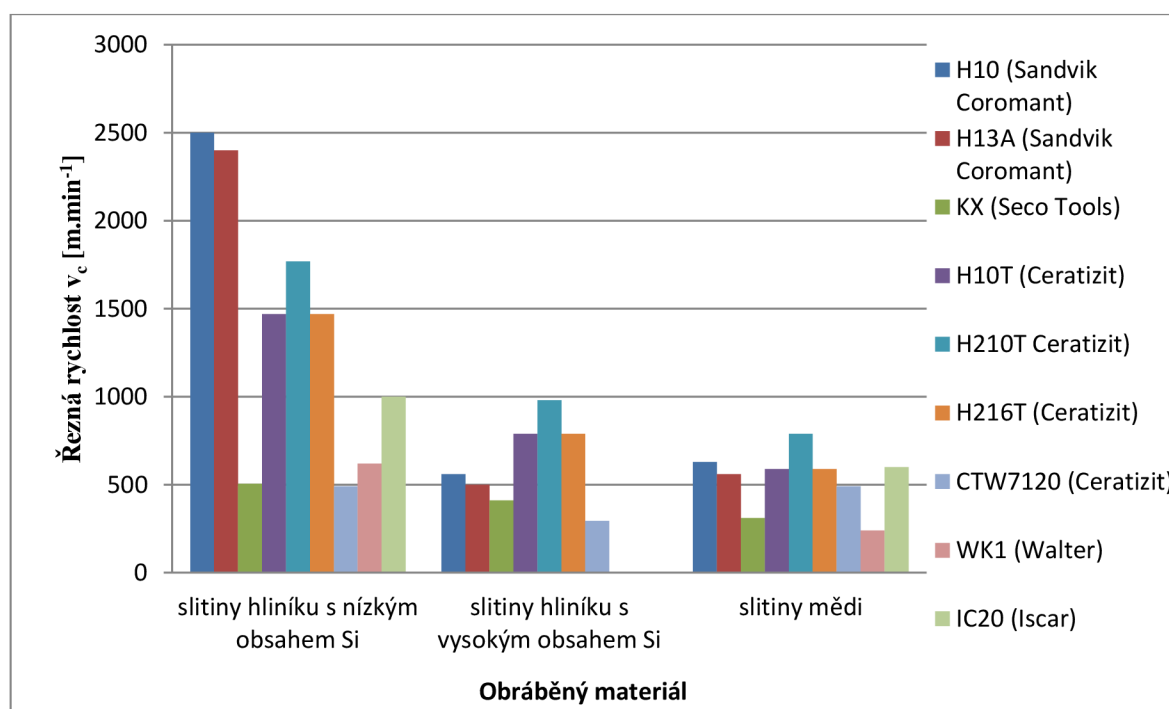
Z grafického znázornění řezných rychlostí jednotlivých materiálů vyplývá, že nejvyšších řezných rychlostí dosahuje materiál H210T od výrobce Ceratizit, neboť u všech druhů obráběných litin, které porovnáváme, ho lze použít při nejvyšších řezných rychlostech a tím pádem je jeho použití nejefektivnější. Vysokých rychlostí lze rovněž použít u materiálu H10T od stejného výrobce. Naopak nejnižších rychlostí může být použito u materiálu s označením HX od společnosti Seco Tools.

3.7.2 Porovnání materiálů skupiny N

Ve skupině N budou porovnány materiály:

H7F (N10-30), H10 (N01-25), H13A (N05-25), KX (N10-30), H10T (N05-25), H210T (N05-20), H216T (N05-25), CTW7120 (N05-25), WK1 (N01-20), IC20 (N05-25).

Společná oblast použití všech uvedených materiálů je N10-20. Grafické porovnání řezných rychlostí jednotlivých materiálů v závislosti na obráběném materiálu je znázorněno na obrázku 3.3.



Obr. 3.3 Porovnání řezných materiálů skupiny N

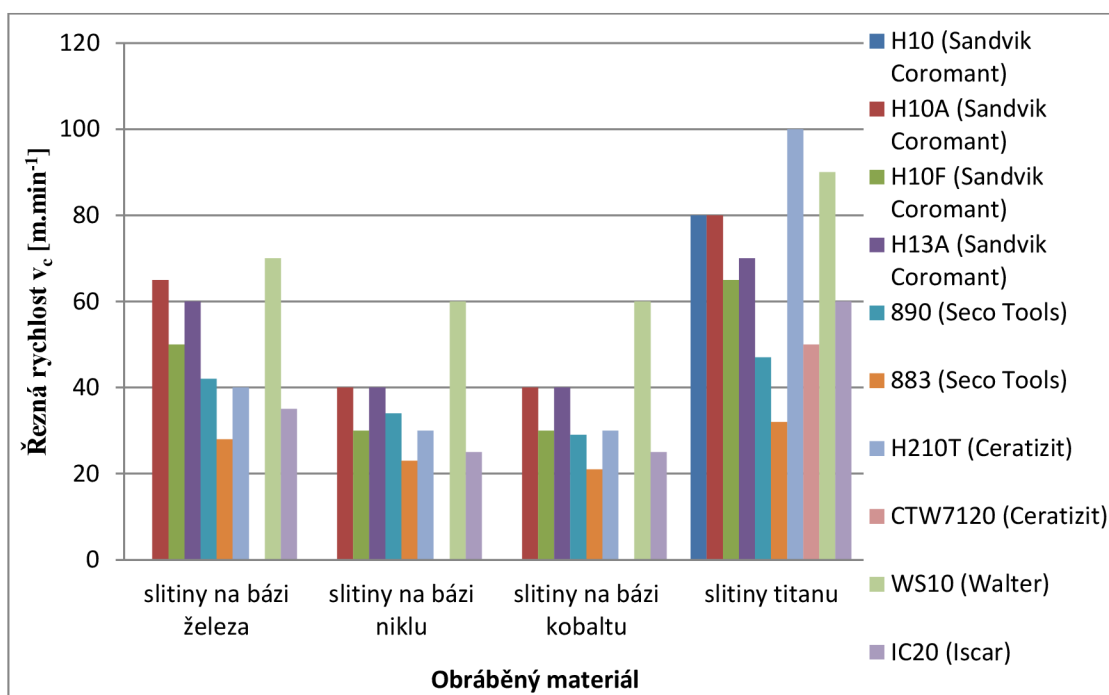
Z grafického znázornění řezných rychlostí jednotlivých materiálů je dobře patrné, že zde jsou velké rozdíly především při obrábění slitin hliníku s nízkým obsahem Si. (Skupiny materiálů od stejných výrobců jsou přibližně na stejné úrovni, zatímco mezi jednotlivými výrobci jsou velké rozdíly. Je to pravděpodobně způsobeno rozdíly v katalogích a porovnání při obrábění těchto slitin tak není zcela přesné.) V této oblasti použití nejvíce vynikají materiály H10 a H13A, které mají doporučeny nejvyšší řezné rychlosti. Oba materiály jsou od společnosti Sandvik Coromant. Dalším materiálem s vysokými doporučenými řeznými rychlostmi je materiál H210T od výrobce Ceratzit. Při obrábění hliníku s vysokým obsahem Si a slitin mědi může být užíván při nejvyšších řezných rychlostech ze všech uvedených materiálů. Mezi materiály, které mohou být používány při nižších řezných rychlostech v porovnání s ostatními, se řadí materiály KX (Seco Tools), CTW7120 (Ceratzit) a WK1 (Walter).

3.7.3 Porovnání materiálů skupiny S

Ve skupině S jsou k porovnání materiály:

H7F (S10-20), H10A (S01-20), H10F (S10-30), H13A (S10-30), 890 (S05-25), 883 (S10-30), H210T (S05-15), CTW7120 (S05-15), WS10 (S01-20), IC20 (S05-20).

Oblast použití, která náleží všem porovnávaným materiálům je S10-15. Grafické porovnání řezných rychlostí jednotlivých materiálů je znázorněno na obrázku 3.4.



Obr. 3.4 Porovnání řezných materiálů skupiny S

Při obrábění materiálů skupiny S má nejvyšší doporučené řezné rychlosti při obrábění slitin na bázi železa, niklu i kobaltu materiál WS10 od společnosti Walter. Při vysokých řezných rychlostech může být používán rovněž materiál H10A od společnosti Sandvik Coromant. Pro obrábění slitin titanu se jeví jako nejlepší volba materiál H210T, který má ve své nabídce společnost Ceratzit.

ZÁVĚR

Tato bakalářská práce se zabývá nepovlakovanými slinutými karbidy.

Slinuté karbidy jsou řezné materiály, které jsou složeny z tvrdých karbidických částic, které jsou k sobě vázány kovovým pojivem. Tyto materiály mají vedoucí postavení při obrábění kovů. Slinuté karbidy jsou vyráběny technologií zvanou prášková metalurgie.

V dnešní době je kvůli lepším vlastnostem většina slinutých karbidů povlakována. Význam nepovlakovaných slinutých karbidů tak značně poklesl. Přesto se ale dále používají pro některé speciální aplikace, jako je například obrábění titanových, hliníkových a žáruvzdorných slitin. Je tedy zřejmé, že i nabídky jednotlivých výrobců tomu budou odpovídat. Zatímco povlakovaných slinutých karbidů produkuje většina výrobců desítky, u nepovlakovaných je situace úplně jiná. Jen u mála výrobců dosahuje nabídka nepovlakovaných slinutých karbidů pěti a více položek.

V této práci jsou z nabídek jednotlivých výrobců, kteří mají zastoupení na českém trhu, uvedeny nepovlakované slinuté karbidy určené k soustružení. Některé z materiálů určených k soustružení se dají využívat i při frézování nebo vrtání stejných materiálů.

Jednotlivé materiály byly porovnány z hlediska řezných rychlostí. Materiály dosahovaly různých výsledků a je tedy třeba při nákupu břitvých destiček pečlivě vybírat podle zvolených požadavků.

Česká společnost Pramet Tools má ve své nabídce nepovlakovaných slinutých karbidů pouze jeden materiál. Společnosti Sandvik Coromant, Seco Tools a Ceratizit nabízejí čtyři materiály. Výrobci Walter a Iscar mají pak ve své nabídce materiály dva.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. AB SANDVIK COROMANT. *Příručka obrábění: kniha pro praktiky*. 1. české vyd. Překlad Miroslav Kudela. Praha: Scientia, c1997, 857 s. ISBN 9197229946.
2. AB SANDVIK COROMANT. *All about Cemented Carbide* [online]. 2008 [vid. 2014-05-12]. Dostupné z: <<http://www.allaboutcementedcarbide.com>>.
3. HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Praha: MM publishing, 2008, 235 s. ISBN 9788025422502.
4. HUMÁR, Anton. *Slimuté karbidy a řezná keramika pro obrábění*. 1. vyd. Brno: CCB, 1995, 265 s. ISBN 8085825104.
5. KOČMAN, Karel. *Technologické procesy obrábění*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 330 s. ISBN 9788072047222.
6. KOČMAN, Karel, PROKOP, Jaroslav. *Technologie obrábění*. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2005. 270 s. ISBN 80-214-3068-0.
7. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 8021423749.
8. PRAMET TOOLS s.r.o. Šumperk. *Soustružení 2008*. 340s.
9. PRAMET TOOLS s.r.o. *Soustružení 2014* [online]. 2014 [vid. 2014-05-10]. Dostupné z: <http://www.pramet.com/cz/ke-stazeni.html>.
10. AB SANDVIK COROMANT. *Main Catalogue*. [online]. 2009 [vid. 2009-03-28]. Dostupné z: http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/downloads/catalogue/CZE/MC_2009_Klick_CZE_A.pdf.
11. CERATIZIT s.a. *Turning Tools and Inserts* [online]. 2013 [vid. 2014-05-12]. Dostupné z: http://www.ceratizit.com/4170_ENG_HTML.php
12. CERATIZIT s.a. *Main catalogue* [online]. 2013 [cit. 2014-05-12]. Dostupné z: http://www.ceratizit.com/4170_ENG_HTML.php
13. ISCAR LTD. *Turning & Threading Tools* [online]. 2012 [vid. 2014-05-17]. Dostupné z: <http://www.iscar.com/catalogs.aspx/CountryId/1>
14. SECO TOOLS S.R.O. *Turning 2012* [online]. 2012 [vid. 2014-05-05]. Dostupné z: <http://www.secotools.com/cs/Global/Services--Support/Machining-Navigator/>
15. WALTER S.R.O. *Turning 2012* [online]. 2012 [vid. 2014-05-08]. Dostupné z: <http://www.walter-tools.com/en-gb/pages/search.aspx?mode=download&q=>
16. BROOKES, Ken. *ISO513 "Standard" that standardises almost nothing*. [online]. 2010 [vid. 2011-05-06]. Dostupné z: http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MIimg&_imagekey=B6VMN-51SNS0T-1-1&_cdi=6155&_user=640830&_pii=S0026065710701156&_origin=search&_zone=rslt_list_item&_coverDate=08%2F31%2F2010&_sk=999349994&wchp=dGLbVzW-zSkzk&md5=f24dd8da0affe2976828d1fc3ad0bcb8&ie=/sdarticle.pdf

17. HUMÁR, A., DANG, V.H. *Trendy v povlakování slinutých karbidů*. MM Průmyslové spektrum. [online] 2001. [vid. 2014-04-28]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/trendy-v-povlakovani-slinutych-karbidu.html>.
18. LENGAUER, W., DREYER, L. *Functionally graded hardmetals*. [online] 2002. [vid. 2014-05-18]. Dostupné z: <http://atmsp.whut.edu.cn/resource/pdf/2247.pdf>
19. PRAKASH, L. J. *Plansee Seminar 2013: Global R&D trends in the PM hardmetals industry – Part two*. [online] 2013. [vid. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://www.ipmd.net/articles/002341.html>
20. MINOT GROUP, OREGON STATE UNIVERSITY. *Cartoon of the growth process for CVD graphene*. [online] 2014. [vid. 2014-05-15]. Dostupné z: <http://www.science.oregonstate.edu/~minote/wiki/doku.php?id=start>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Symbol	Jednotka	Popis
CVD		Chemical vapour deposition
FGM		Functionally graded hardmetal
HB		Tvrlost podle Brinella
HRA		Tvrlost podle Rockwella
HRC		Tvrlost podle Rockwella
HSh		Tvrlost podle Shoreho
HV		Tvrlost podle Vickerse
NO		Nástrojová ocel
PCVD		Plasma chemical vapour deposition
PKNB		Polykrystalický kubický nitrid bóru
PVD		Physical vapour deposition
RO		Rychlořezná ocel
a_p	[mm]	Šířka záběru ostří
f	[mm]	Posuv na otáčku
R_m	[MPa]	Mez pevnosti v tahu
v_c	[m.min ⁻¹]	Řezná rychlost