



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

CEMENTED CARBIDES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

MICHAL VIK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. ANTON HUMÁR, CSc.

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2010/11

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Michal Vik

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:

Slinuté karbidy

v anglickém jazyce:

Cemented carbides

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Bakalářská práce je zaměřena na slinuté karbidy z hlediska výroby, rozdělení, označování, fyzikálně-mechanických vlastností, metod povlakování, 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 a povlakovaných slinutých karbidů (druhy, výroba, značení, fyzikálně-mechanické vlastnosti, metody povlakování)
3. 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. Materiály pro řezné nástroje. Studijní opory. VUT-FSI v Brně, ÚST, Odbor technologie obrábění. 2006. [online].
Dostupné na www:
http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/mat_pro_rez_nastroje/materialy_pro_rezne_nastroje_v2.pdf.
4. HUMÁR, A., PÍŠKA, M. Materiály pro řezné nástroje. MM Průmyslové spektrum - Speciální vydání. Zář 2004. ISSN 1212-2572., s. 84-96.
5. HUMÁR, Anton. Materiály pro řezné nástroje. MM publishing s. r.o., Praha. 2008. 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
6. LEICHTFRIED, G., SAUTHOFF, G., SPRIGGS, G.E. Refractory, Hard and Intermetallic Materials. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2002. 267 p. ISBN 3-540-42961-1.
7. Technické materiály a prospekty firem Ceratizit, Iscar, Kennametal, Korloy, Kyocera, Mitsubishi, Pramet Tools, Sandvik Coromant, Seco, Sumitomo, Walter, Widia.
8. Odborné časopisy 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>).

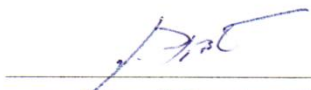
Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Anton Humár, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/11.

V Brně, dne 19.11.2010

L.S.




prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu


prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan

Abstrakt

Cílem této práce je přinést nové poznatky týkající se slinutých karbidů, jejich výroby, vlastností a povlakování. V neposlední řadě má tato práce analyzovat nejnovější nabídku materiálů ze slinutých karbidů u vybraných výrobců nástrojů a nástrojových materiálů.

Klíčová slova: Slinuté karbidy, funkčně gradientní slinování, vlastnosti SK, KNB povlaky

Abstract

The goal of the submitted thesis is to bring out the new knowledge about the cemented carbides, their production, properties and coating. Last but not least, this thesis analyses the latest offered assortment of cemented carbides by selected manufacturers of tools and tool materials.

Key words: Cemented carbides, functionally gradient sintering, cemented carbides properties, CBN coats

Bibliografická citace VŠKP dle ČSN ISO 690-2

VIK, M. *Slinuté karbidy*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011, 45 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Anton Humár, CSc.

Čestné prohlášení

Tímto čestně prohlašuji, že bakalářskou práci na téma slinuté karbidy jsem vypracoval samostatně, s využitím literatury a pramenů uvedených v soupisu bibliografických citací, který je součástí této práce.

V Brně dne

.....

Michal Vik

Poděkování

Zde bych rád poděkoval doc. Ing. Antonu Humárovi, CSc. za vedení a věnovaný čas a stejně tak i za odborné rady.

Obsah

Abstrakt	4
Prohlášení	5
Poděkování	6
Obsah	7
Úvod	9
1. Nepovlakované slinuté karbidy	10
1.1 Základní rozdělení materiálů pro řezné nástroje	10
1.2 Výchozí materiály	11
1.3 Výroba	11
1.3.1 Gradientní slinování	12
1.4 Mechanické vlastnosti SK	16
1.4.1 Tvrdost	16
1.4.2 Lomová houževnatost	17
1.4.3 Pevnost v ohybu	18
1.5 Fyzikální vlastnosti	19
1.5.1 Měrná hmotnost	19
1.5.2 Tepelná vodivost	20
1.5.3 Magnetické vlastnosti	21
2. Povlakování slinutých karbidů	22
2.1 Úvod	22
2.2 Metody povlakování	23
2.2.1 Metoda PVD	23
2.2.2 Metoda CVD	23
2.3 Pvlaky KNB a jejich vlastnosti	23
3. Slinuté karbidy v sortimentu vybraných producentů na trhu	27
3.1 Pramet Tools	27
3.1.1 Nabídka SK pro rok 2011	27
3.2 Sandvik Coromant	30
3.2.1 Nabídka SK pro rok 2011	30
3.3 Widia	35
3.3.1 Nabídka SK pro rok 2011	35

Závěr	38
Soupis bibliografických citací	39
Seznam příloh	43

Úvod

Celosvětový průmysl potřebuje ke své činnosti stále kvalitnější součásti, které vydrží větší zátěž, budou splňovat stále přísnější předpisy a požadavky a hlavně budou co nejlevnější. A jednou z hlavních fází výroby většiny součástí je obrábění materiálu. Bez tohoto se dnes již téměř neobejdeme, jelikož prakticky všechny technické součástky mají minimálně jednu broušenou či obrobenou plochu. A právě zde je třeba užívat vhodné postupy a hlavně odpovídající nástroje vyrobené z materiálů schopných splnit všechny naše požadavky.

Tato práce se zaměřuje právě na materiály pro řezné nástroje určené pro třískové obrábění, konkrétně na slinuté karbidy, tedy materiály, které představovaly první větší skok vpřed v třískovém obrábění, jež do té doby patřilo pouze ocelím. Dále přináší nové poznatky týkající se této problematiky a také informuje o novinkách v materiálech nabízených vybranými firmami pro tento rok.

1. Nepovlakované slinuté karbidy

1.1 Základní rozdělení materiálů pro řezné nástroje

S rozvojem techniky a průmyslových oborů šel ruku v ruce i rozvoj různých metod výroby požadovaných produktů, mezi nimiž je i jedna z nejstarších metod, tedy třískové obrábění. Jelikož je stále požadováno přesnějších výrobků co do povrchových, tak i rozměrových parametrů, je třeba zdokonalovat i způsoby obrábění. Co do vybavenosti se týče, tak je pro to nutné vytvořit stroj, který svou přesností splní naše očekávání. Tato přesnost je však spojená s možnostmi samotných nástrojů pro obrábění. O první oblasti by se dalo říci, že je zvládnuta, pokud vezmeme jako příklad číslicově řízené stroje (CNC - Computer Numerical Control), jež bývají vybaveny laserovým odměřováním, což je momentálně špička v řízení pohybu stroje. Ovšem druhá oblast, tedy řezné nástroje, je v tomto ohledu pomalejší bratr. Tím je myšlena skutečnost, že je jednodušší zvýšit přesnost a rychlost obrábění stroje, ale mnohem problematičtější to samé umožnit pro nástroje. A právě toto je dnes požadováno, přesnost a rychlost výroby. A to lze ovlivnit pouze vhodným výběrem materiálu pro nástroj. Dnes je již k dispozici více typů materiálů, než jen dlouho využívaná ocel, která spolu s dalšími slitinami patří ke kovovým materiálům. Do popředí se stále více dostávají právě nekovové materiály, které dosahují velmi dobrých řezných rychlostí i možností použití pro tvrdé obrobky. Řezné materiály se obvykle rozdělují do těchto kategorií:

- nástrojové oceli (NO),
- slinuté karbidy (SK),
- cermety,
- řezná keramika (ŘK),
- polykrystalický kubický nitrid boru (PKBN),
- polykrystalický diamant (PKD).

Tyto kategorie představují i vývoj materiálů, přičemž každý nově vynalezený materiál vedl prakticky k vyšším řezným rychlostem nástroje. Obvykle pro zvýšení tvrdosti nástroje, jeho trvanlivosti a v neposlední řadě obráběcích rychlostí, se využívá povlaků, které svými vlastnostmi umožní tohoto dosáhnout.

Pro zjednodušení rozhodování a výběru nástroje, byly řezné materiály sjednoceně rozděleny dle normy ISO 513 : 2002 do 6 hlavních skupin, každá se dále dělí do tzv. aplikačních skupin. Hlavní skupiny se dělí dle materiálů, které se jimi obrábí a značí se vždy písmeny a barvou. Každá aplikační skupina je určena písmenem hlavní skupiny a klasifikačním číslem. Čím je číslo nižší, tím je možné obrábět vyšší rychlostí a nástroj má vyšší otěruvzdornost. A naopak čím je číslo vyšší, tím rostou rychlosti posuvu a pevnost řezných materiálů.

Rozdělení řezných materiálů:^{1,2}

- **P** (modrá barva značení) WC + TiC + Co,
- **M** (žlutá barva značení) WC + TiC + TaC.NbC + Co,
- **K** (červená barva značení) WC + Co,
- **N** (zelená barva značení),
- **S** (hnědá barva značení),

- H (šedá barva označení).

Skupina P – je určena pro obrábění materiálů tvořící dlouhou třísku, jako nelegované oceli, slitinové oceli a feritické korozivzdorné oceli. Řezný proces je doprovázen velkými řeznými silami a značným opotřebením na čele nástroje. Přísada TiC zaručuje vysokou odolnost proti difuzi za vysokých teplot a je jednou z hlavních příčin výmolu na čele nástroje.

Skupina M – má univerzální použití a je určena pro obrábění materiálů, které tvoří střední a delší třísku jako jsou lité oceli, korozivzdorné austenitické a austeniticko-feritické oceli a tvárné litiny. Pro svoji relativně vysokou houževnatost se slinuté karbidy této skupiny používají pro těžké hrubovací práce a pro přerušované řezy. Řezné síly dosahují středních až vysokých hodnot a dochází k vydrolování ostří.

Skupina K – je určena pro obrábění materiálů, které vytváří krátkou drobivou třísku, zejména litiny, temperované litiny a litiny s globulárním grafitem. Řezné síly jsou obvykle relativně nízké a převládá abrazivní a adhezní opotřebení. Slinuté karbidy této skupiny nejsou vhodné pro materiály tvořící dlouhou třísku, která zatěžuje tepelně čelo nástroje.

Skupina N – je určena k obrábění materiálů z neželezných kovů, zejména hliníku a dalších neželezných kovů, jejich slitin a nekovových materiálů.

Skupina S – je používána na obrábění tepelně odolných slitin na bázi železa, niklu a kobaltu, titanu a titanových těžce obrobitelných slitin.

Skupina H – je vhodná na obrábění kalených a vysoce tvrdých ocelí, tvrzených a kalených litin. Dalším velmi důležitým kritériem odolnosti materiálu vůči opotřebením je jeho tepelná odolnost.

1.2 Výchozí materiály

Základ současných karbidů tvoří sloučeniny uhlíku (karbidy), dusíku (nitridy), boru (boridy) a křemíku (silicidy) spolu s přechodovými prvky periodické soustavy (hlavně skupiny IV, V a VI). Dominantní zastoupení v nástrojových materiálech ze slinutých karbidů má mezi těmito sloučeninami sloučenina WC.

Karbidy se připravují reakcí uhlíku s kovy nebo jejich oxidy při teplotě 2000°C interakcí zahřátého kovu s uhlovodíky nebo reakcí alkalických kovů s acetylenem v kapalném amoniaku. Podle struktury je lze rozdělit do čtyř skupin:¹

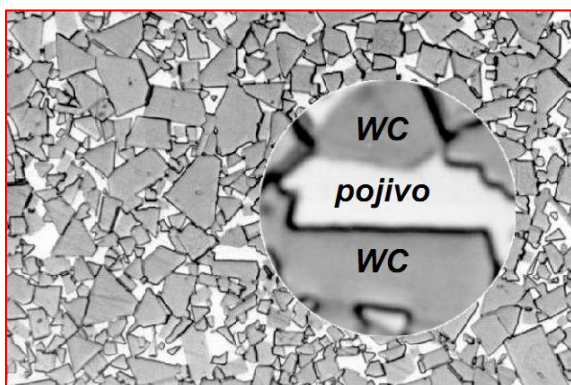
- **iontové karbidy** (např. CaC_2 , Mg_2C_3),
- **intersticiální karbidy** (TiC , ZrC , VC , NbC , TaC , V_2C , MoC , Mo_2C , WC , W_2C),
- **kovalentní karbidy** (Be_2C , B_4C , Al_4C_3 , SiC),
- **karbidy prvků skupiny železa** (Co_3C , Ni_3C , Cr_3C , Mn_3C , Fe_3C).

Karbidy za pokojové teploty se mohou jen velmi omezeně plasticky deformovat, aniž by došlo k jejich porušení. S rostoucí teplotou se snižuje jejich tvrdost a to poměrně rapidně, avšak i tak mají karbidy větší tvrdost než oceli. To je velmi žádoucí při aplikaci u nástrojových materiálů.

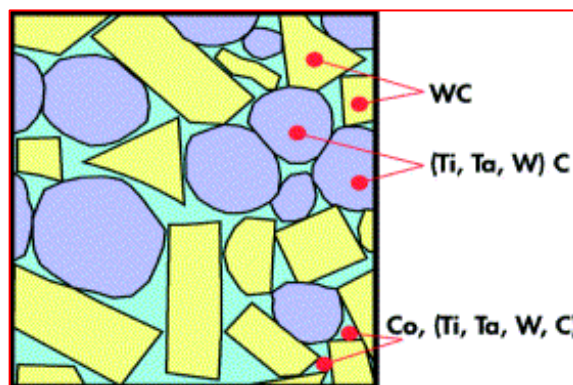
1.3 Výroba

Slinuté karbidy jsou ve stručnosti vyráběny pomocí slinování polotovaru vytvořeného ze slisované směsi. Nejen touto metodou se zabývá obor práškové metalurgie.

Směs prášku se skládá z tvrdých karbidických částic a směsi pojícího kovu, nejčastěji kobaltu. Tato směs se dále slinuje při teplotě blízké bodu tavení pojiva. Tímto postupem získáme strukturu, vyznačující se vysokou pevností v tlaku i ohybu, způsobenou kombinací křehkých, tvrdých karbidů obklopených pevným pojícím kovem (obr 1.3.1 a obr 1.3.2).¹



Obr. 1.3.1 Struktura WC-Co po slinování³



Obr. 1.3.2 Schéma struktury SK po slinování⁴

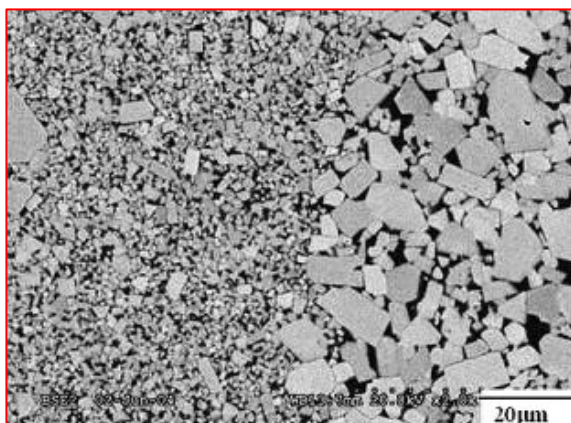
Připravená směs prášku se před slinováním musí zformovat do potřebného tvaru, což lze uskutečnit několika možnými procesy, například lisováním ve formovacích lisech (používáno hlavně pro výrobu vyměnitelných břitových destiček), hydrostatickým lisováním, izostatickým lisováním (CIP - Cold Isostatic Pressing, HIP – Hot Isostatic Pressing), vytlačováním přes trysku nebo litím či vstřikováním do pomocných forem

Další fází výroby je již samotné slinování, které se provádí ve slinovacích pecích v přítomnosti atmosféry z vodíku, argonu či ve vakuu. Slinovací teploty se liší dle použitého typu směsi a atmosféry, ale obecně se dá říci, že slinovací proces probíhá při homologických teplotách 0,65 až 0,80 složky s nejvyšší teplotou tavení. Například pro materiál typu WC-Co (80 % WC, 20 % Co) slinovaného ve vodíkové atmosféře je teplota slinování 1400 °C.¹ Moderním trendem ve výrobě je gradientní slinování.

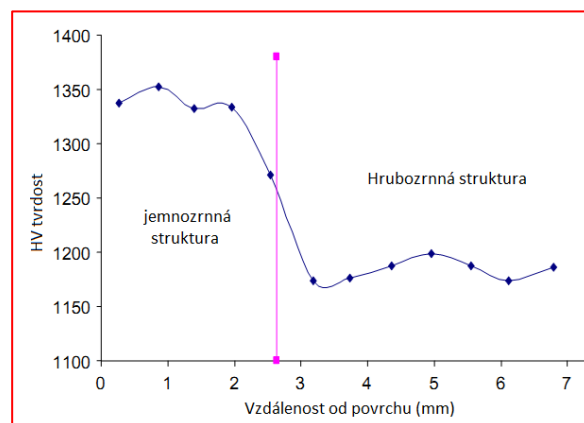
1.3.1 Gradientní slinování

Funkčně gradientní materiály (FGM) vychází z myšlenky přizpůsobené mikrostruktury. Cílem této metody výroby je získat materiál o vlastnostech přizpůsobených daným potřebám.¹ U slinutých karbidů je obecně problém s vyšší křehkostí než u rychlořezných ocelí. Tato vlastnost souvisí s lomovou houževnatostí, která u konvenčních slinutých karbidů není příliš vysoká, a tím jsou náchylnější ke křehkému lomu. Výhoda slinutých karbidů je hlavně větší tvrdost, než u oceli, která obecně ještě roste se zmenšováním zrn WC a tím zjemňováním výsledné struktury. Naopak při větším obsahu pojiva (hlavně kobaltu) lze docílit vyšší houževnatosti na úkor tvrdosti. A právě díky gradientnímu slinování je možno tyto dvě hlavní vlastnosti zkombinovat v jednom výsledném produktu a to tak, že výsledná struktura se bude skládat z houževnatého jádra tvořeného většími částicemi WC s pojivem Co a jemnozrnnou

strukturou na povrchu, která bude zajišťovat potřebnou tvrdost (obr.1.3.3). Ukázku vlivu takovéto struktury na tvrdost je na obr. 1.3.4.



Obr. 1.3.3 Gradientní struktura WC-Co po 1h slinování při 1400 °C⁵

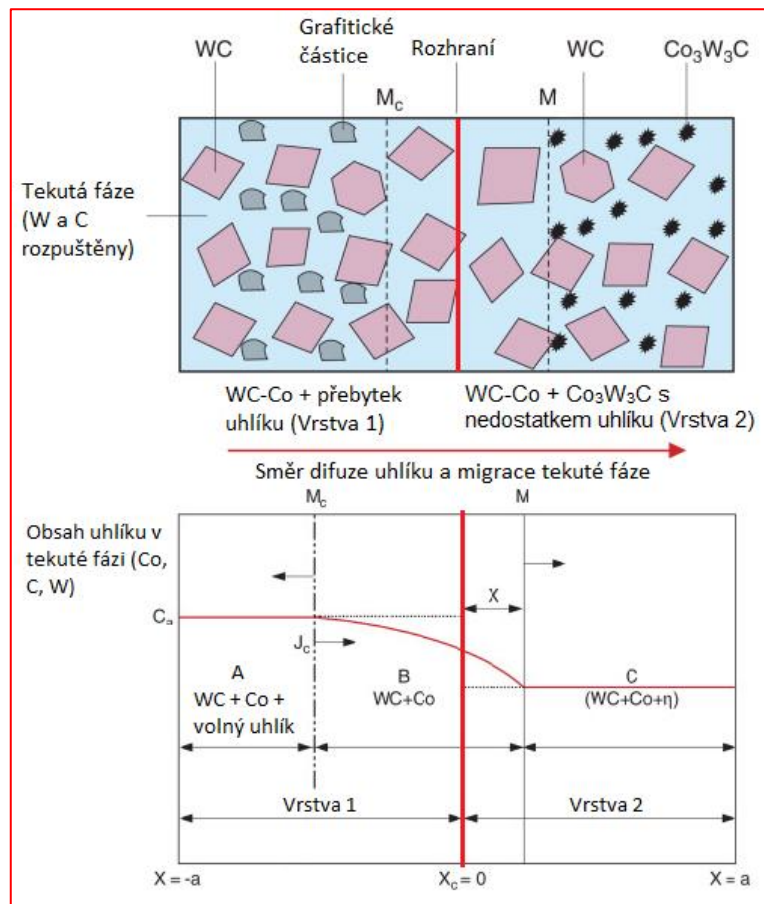


Obr. 1.3.4 Závislost tvrdosti gradientní struktury WC-Co na hloubce⁶

Jak je vidět, funkčně gradientní slinuté karbidy nabízí řešení při rozhodování mezi odolností vůči opotřebení a lomové houževnatosti WC-Co kompozitů. V dnešní době je nejekonomičtější a nejvhodnější metodou pro výrobu funkčně gradientních WC-Co kompozitů tzv. slinování tekuté fáze (liquid phase sintering – LPS), hlavní problém spočívá v tom, že kobalt homogenizuje za normálních podmínek napříč strukturou, což má za následek jednotný obsah kobaltu. Nicméně gradientního obsahu kobaltu po slinování lze dosáhnout pomocí gradientního obsahu uhlíku před slinováním. Ve studii z roku 2008, v níž byla zkoumána výroba gradientní struktury WC-Co, byla popsána gradientní mikrostruktura jako funkce času slinování a teploty, stejně jako dalších faktorů včetně podílu objemu $\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$ (η) fáze, likvidického migračního tlaku a obsahu uhlíku.⁸

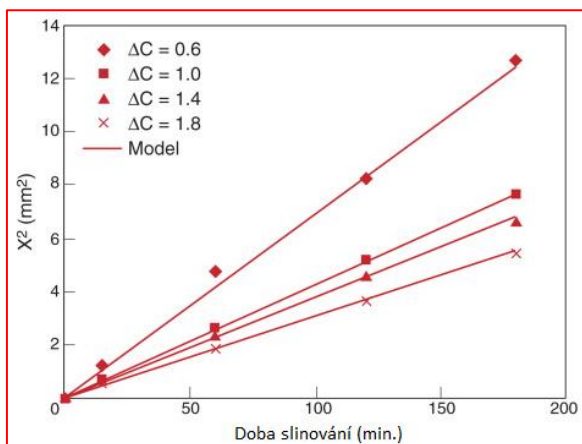
Během slinování tekuté fáze se tato fáze přemísťuje z místa s nižším migračním tlakem likvidu do oblasti s vyšším tlakem. Tento tlak je závislý na velikosti částic a objemovém podílu likvidu a to tak, že se zvyšujícím se objemovým podílem likvidu a rostoucí velikostí částic WC klesá migrační tlak. Tento proces se děje do té doby, než je tlak jednotný v celém systému WC-Co. Tudíž se dá říci, že rychlost migrace likvidu je úměrná gradientu migračního tlaku likvidu.⁸

Dřívější studie ukázaly, že migrace likvidu je závislá na řadě faktorů a procesů. Uhlík byl určen jako důležitý faktor, který ovlivňuje proces výroby funkčně gradientních WC-Co, za použití metody LPS. Zajištěním gradientu uhlíku mezi dvěma přilehlými vrstvami WC-Co způsobí, že gradient kobaltu je zformován v rámci dvojvrstvého WC-Co kompozitu. Gradient kobaltu je závislý na různých procesech, včetně šíření uhlíku, reakce fáze a migrace likvidu. Proces tvorby gradientu kobaltu je znázorněn na obr. 1.3.5. Dvojvrstvý vzorek je vytvořen tak, že k první vrstvě s přebytkem uhlíku je přitlačena druhá vrstva s nedostatkem uhlíku a s obsahem $\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$ (η) fáze při slinovacích teplotách. Během LPS při vysoké teplotě, grafitové částice se rozpustí v první rovině (Mc) ve vrstvě 1 a rozpuštěný oxid se pohybuje směrem do druhé roviny (M) ve vrstvě 2, kde reaguje s $\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$ částicemi. Difuze uhlíku způsobuje přesun likvidu ve stejném směru. Chemická reakce uhlíku s $\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$ částicemi produkuje kobalt a mění kompozici kapalné fáze. Tato reakce, spolu s migrací likvidu a uhlíku dokáže způsobit požadovaný výsledný gradient kobaltu.⁸

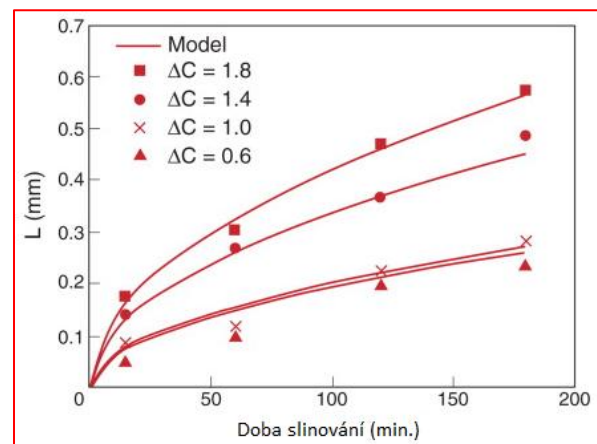


Obr. 1.3.5 Schéma tvorby gradientní struktury kobaltu během LPS ⁷

Závěry ze zkoušek s různými vzorky s odlišným výsledným podílem uhlíku jsou takové, že výsledná tloušťka gradientní WC-Co vrstvy (na obr. 1.3.6 popsána pomocí obsahu plochy: X^2) je přímo úměrná slinovacímu času. Hloubka difuze uhlíku (L), viz obr. 1.3.7, se zvětšuje při prodloužení doby slinování. Výsledky zkoušky byly porovnány s výpočtovým kinetickým modelem, který v obr. 1.3.6 a obr. 1.3.7 představuje spojitá čára. Jak je vidět, výsledky teoretické i experimentální se příliš neodlišují. Tato zjištění jsou důležitá pro zjednodušení výroby a hlavně pochopení chování částic během slinování.



Obr. 1.3.6 Závislost tloušťky WC-Co vrstvy na čase slinování ⁸

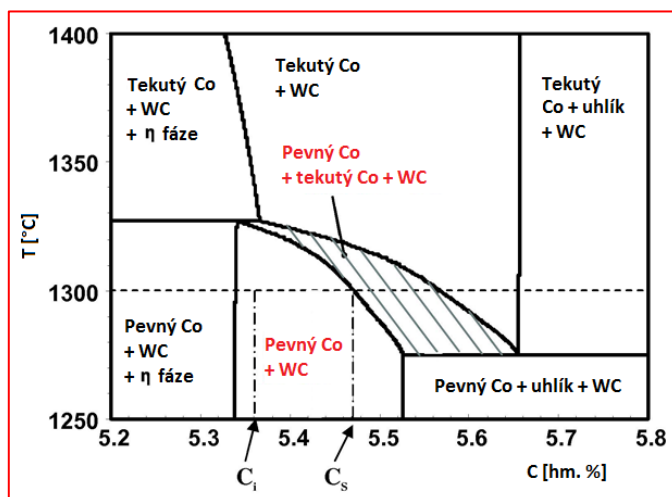


Obr. 1.3.7 Závislost hloubky difuze uhlíku na čase slinování ⁸

Nedávno vytvořená metoda výroby gradientní struktury kobaltu v WC-Co kompozitu, jež spočívá v kontrolování objemového podílu kapalné fáze Co vytvořením gradientu uhlíku a následné migraci tekuté fáze. Studie z roku 2011 se zabývá zkoumáním kinetického modelu tohoto procesu.⁹

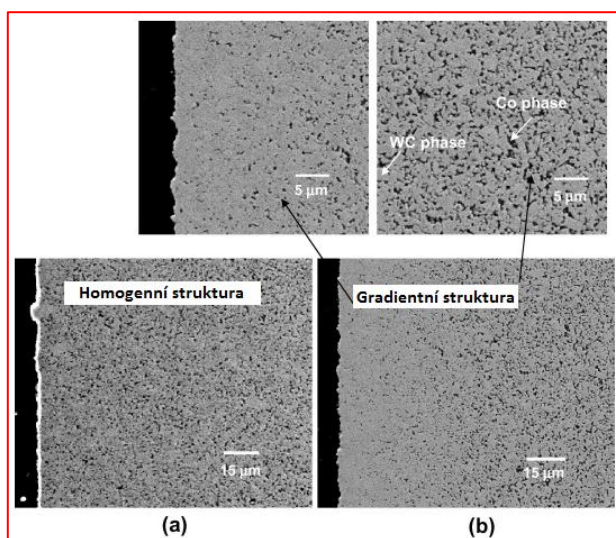
Nový proces výroby je založen na dvou principech:

1. Kapalná fáze se přemísťuje z místa, kde objemový podíl kapalného Co je vyšší, do míst s nižším podílem,
2. relativní objemový podíl kapalné fáze Co, která oproti pevné fázi Co, je zastoupena 0 až 100 procenty v rámci trojfázové oblasti, ve které WC, pevná a kapalná fáze Co mohou koexistovat, jak je zobrazeno vyšrafovanou oblastí na obr. 1.3.8.



Obr. 1.3.8 Ternární fázový diagram WC-Co-C⁹

Při dané teplotě, v rámci rozmezí trojfázové oblasti, objemový podíl kapalné fáze Co závisí na obsahu uhlíku. Je tedy možné vytvořit gradient kapalné fáze Co a to vytvořením gradientu uhlíku ve struktuře. Proces probíhá v atmosféře s vysokým obsahem uhlíku. Výsledná struktura je na obr. 1.3.9.



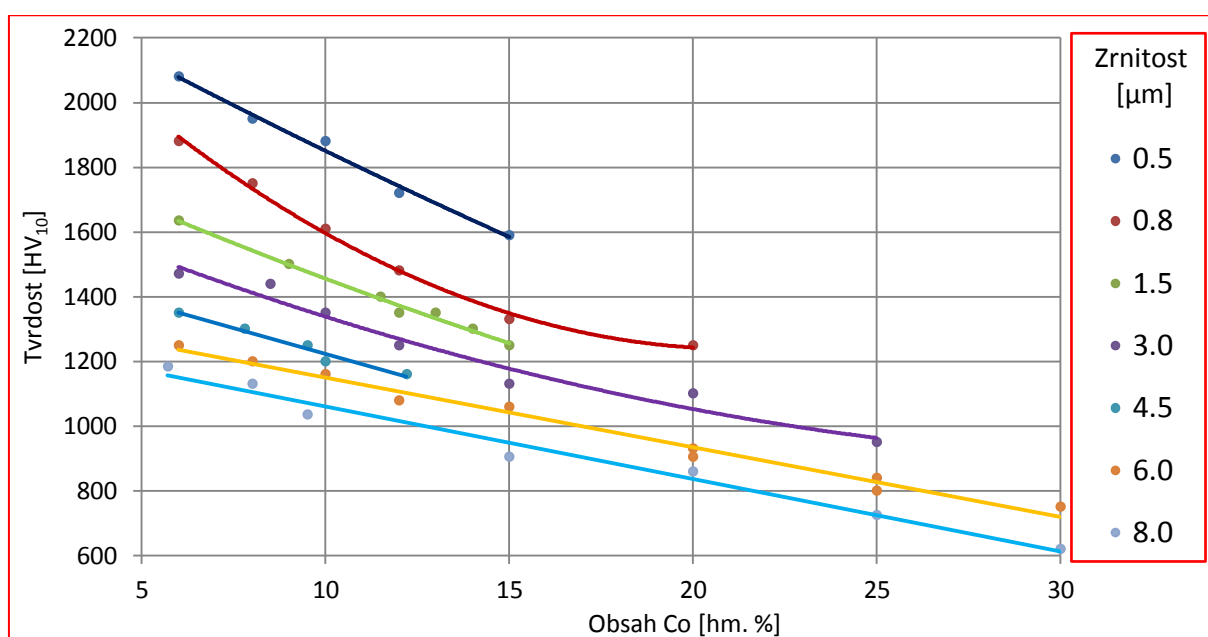
Obr. 1.3.9 Struktura WC-Co a) před tepelnou úpravou, b) po tepelné úpravě při teplotě 1300 °C po dobu 1 hodiny⁹

Jak testy ukázaly, vyšší koncentrace uhlíku v nauhličovací atmosféře a prodloužení doby nauhličování vedlo k silnější vrstvě gradientního kobaltu.

1.4 Mechanické vlastnosti SK

1.4.1 Tvrdość

Tvrdość slinutých karbidů je hlavně ovlivněna objemovým množstvím pojiva (obr. 1.4.1), které samo o sobě není příliš tvrdé (například kobalt jako pojivo má tvrdość okolo 200 HV), a velikostí zrna karbidické fáze (obecně platí, že čím jemnější je struktura zrn, tím vyšší je tvrdość – viz tab. 1.4.1, obr. 1.4.1, příloha 1.4.1). Na obr. 1.4.1 lze pozorovat závislost obou faktorů najednou. Je patrné, že při stejném obsahu Co, avšak s jemnější zrnitostí stoupá tvrdość. Dnes se již dostaly do popředí produkty SK s nanostrukturou karbidických zrn, čímž se zvýšila průměrná tvrdość.



Obr. 1.4.1 Tvrdość SK typu WC-Co v závislosti na obsahu pojiva Co a velikosti zrn WC¹⁰

Tab. 1.4.1 Tvrdość a lomová houževnatost nanostrukturálního vzorku ze SK (WC–10Co–0.25VC–0.45Cr₃C₂) v závislosti na velikosti zrn WC¹¹

Velikost zrna WC [nm]	Tvrdość [HV ₃₀]	Lomová houževnatost K _{IC} [MPa.m ^{1/2}]
308	1811	9,26
310	1795	11,72
336	1818	9,54
338	1985	10,97
339	1812	9,81
344	1763	11,57
352	1632	8,56
360	1719	7,45
362	1832	10,68
365	1746	7,89
369	1745	10,9
380	1789	11,71
382	1789	11,21
425	1703	8,9

Dalším důležitým vlivem na tvrdost SK je provozní teplota. Ta vlivem vysokých řezných rychlostí, pro které se hlavně využívají SK, stoupá, a proto je důležité znát charakteristiku této závislosti. Tvrdost slinutých karbidů rychle klesá s narůstající teplotou, což je způsobeno vlivem pojiva, které má vždy nižší bod tavení než karbidická fáze (Co má bod tavení asi 1500°C, bod tavení WC je asi 2600°C). Avšak i přes to si zachovávají větší tvrdost, než oceli za stejných podmínek a proto jsou vhodné pro obrábění vysokými rychlostmi.

Mezi další faktory ovlivňující tvrdost lze uvést obsah jednotlivých karbidických fází (tab. 1.4.2), jejichž samotná tvrdost ovlivňuje výslednou tvrdost. Dále také způsob slinování může ovlivnit výslednou tvrdost SK (tab. 1.4.3). Studie z roku 2011 zkoumala vliv nové metody výroby nanostrukturních SK a to za použití nauhličené prášku za nízkých teplot před následným vakuovým slinováním. Pro porovnání byl docílen následným nauhličením komerčního vzorku stejný obsah uhlíku. Výsledky tohoto testu jsou v tab. 1.4.4. Jak je vidět, tvrdost vytvořeného vzorku [S] se oproti komerčnímu vzorku [K] lehce zvýšila, ale nárůst lomové houževnatosti byl téměř o polovinu vyšší.¹⁷

Tab. 1.4.2 Závislost tvrdosti na složení SK¹²

Složení vzorku SK	Tvrdost [HV ₃₀]
WC + 3%TiC + 10%Co	1499
WC + 10% TiC + 10% Co	1244
WC + 10% TiC + 20% Co	1203
WC + 10%Co	1366

Tab. 1.4.3 Tvrdost a lomová houževnatost SK typu WC-Co dle obsahu Co a metody slinování¹¹

Obsah Co [hm. %]	Technika slinování	Tvrdost [HV ₃₀]	Lomová houževnatost [MPa.m ^{1/2}]
6	Slinování plasmou (SPS)	1526	12,5
6	Slinování tekuté fáze (LPS)	1580	9,6
10	Slinování plasmou (SPS)	1742	10,8
10	Mikrovlnné slinování	1577	14,8
12	Rychlé tlakové elektrické slinování (PAFES)	1790	12,2
12	Rychlé tlakové elektrické slinování (PAFES)	1926	12,9
12	Slinování plasmou (SPS)	1910	9,5

Tab. 1.4.4 Tvrdost a lomová houževnatost SK dle velikosti zrna, obsahu C a složení¹⁷

Složení (K – komerční; S – syntetický)	Obsah C [hm. %]	Velikost zrn [μm]	Tvrdost [HV ₃₀]	Lomová houževnatost [MPa.m ^{1/2}]
WC + 12%Co [K]	4,6	0,72	1630	10,2
WC + 12%Co [S]	5,4	1,25	1575	15,8
WC + 12%Co (+ C) [K]	5,4	0,76	1480	12,2
WC + 12%Co + 1%Cr2C3/VC [K]	5,3	0,4	1675	10,8

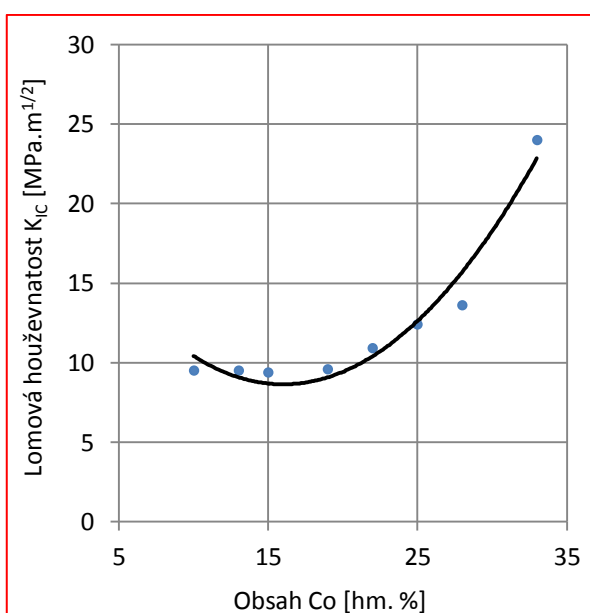
1.4.2 Lomová houževnatost

Lomová houževnatost indikuje množství napětí potřebného k vytvoření vad v materiálu. Tato vlastnost je velmi důležitá u všech nástrojů, jelikož jsou při použití vlivem odporu kladeného obráběného materiálu namáhány a tím se zvětšuje pravděpodobnost vzniku vad a později i případnému porušení. Obecně se počítá z rozměrů vtisku při měření tvrdosti a parametrů tohoto měření podle následujícího vztahu.¹³

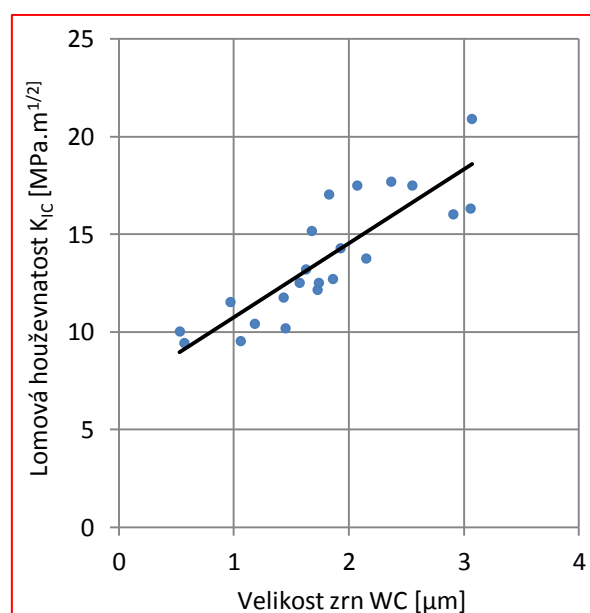
$$K_{IC} = A * \sqrt{\frac{H*P}{\Sigma l}} \quad \left[MPa.m^{\frac{1}{2}}; N.mm^{-\frac{3}{2}} \right] \quad (1)$$

kde: H [N/mm²] je tvrdost,
P [N] je zatížení,
Σl [mm] je součet délek trhlin,
A [-] je konstanta

Lomová houževnatost je tedy závislá na tvrdosti, což je patrné jak ze vztahu (1), tak i z tab. 1.4.1. Závislost lomové houževnatosti na obsahu pojiva je celkem zřejmé, jelikož pojivo je mnohem houževnatější než křehké karbidické fáze, a proto s narůstajícím obsahem pojiva narůstá i lomová houževnatost (obr. 1.4.2). Jelikož lomová houževnatost vychází z hodnot tvrdosti, má také způsob slinování vliv na její hodnotu (viz. tab. 1.4.3 a tab. 1.4.4).



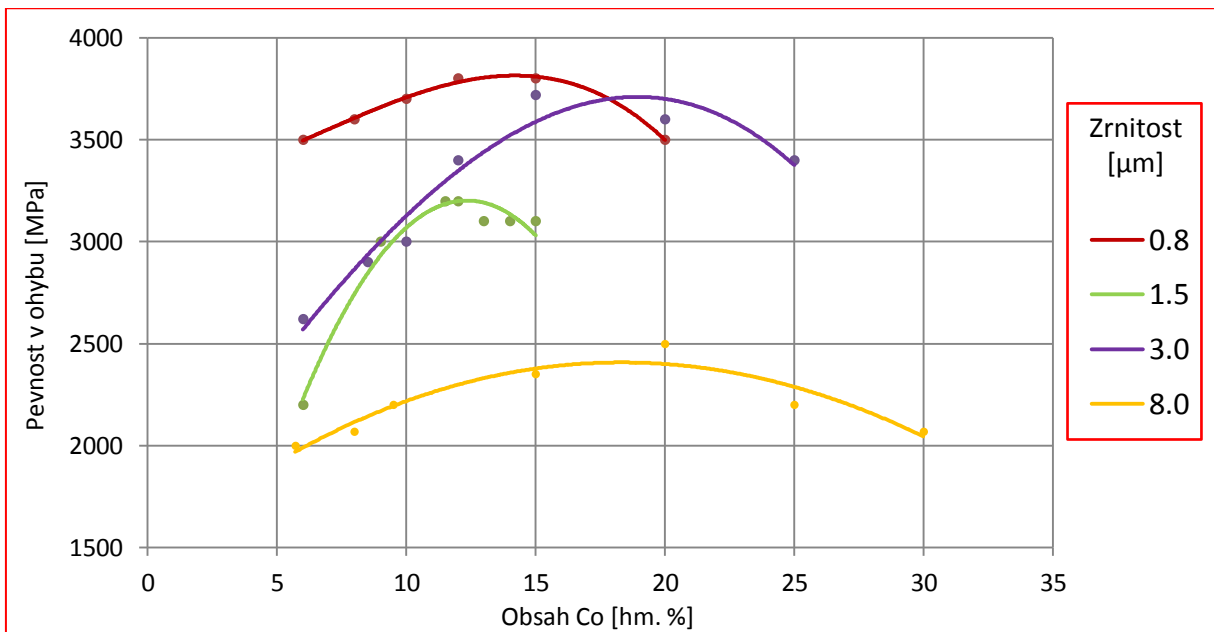
Obr. 1.4.2 Závislost lomové houževnatosti nanostrukturálních SK typu WC-Co na obsahu Co¹⁰



Obr. 1.4.3 Závislost lomové houževnatosti na velikosti zrn WC¹⁸

1.4.3 Pevnost v ohybu

Pevnost v ohybu slinutých karbidů je závislá na více faktorech, mezi ty nejdůležitější patří obsah pojiva, velikost zrn karbidické fáze a teplota. Se zvyšujícím se obsahem pojiva Co roste i pevnost v ohybu, avšak tato závislost není lineární. Při určitém obsahu Co dosáhne pevnost v ohybu maxima a dále již s přibývajícím obsahem Co klesá. Obecně se tak děje asi při obsahu 15 % Co (obr.1.4.4, tab. 1.4.5). Závislost pevnosti v ohybu na velikosti zrn WC je rostoucí, ovšem opět do určité velikosti zrn, kdy je již zvyšování pevnosti v ohybu velmi malé nebo žádné (obr. 1.4.4). Jedná se o velikosti zhruba pod 0,3 μm.^{1,19} S rostoucí teplotou výrazně klesá ohybová pevnost, u materiálů s vyšším obsahem Co intenzivněji.¹



Obr. 1.4.4 Pevnost v ohybu v závislosti na obsahu Co a velikosti zrn WC¹⁰

Tab. 1.4.5 Pevnost v ohybu v závislosti na složení SK^{14,15,16}

Složení [hm. %]	Pevnost v ohybu [MPa]
WC + 6%Co + 15%TiC	1150
WC + 6%Co + 6%TiC + 4%TaC	1290
WC + 6%Co	1400
WC + 8%Co	1450

1.5 Fyzikální vlastnosti

1.5.1 Měrná hmotnost

Měrná hmotnost slinutých karbidů závisí zejména na obsahu karbidické fáze. V první řadě měrnou hmotnost ovlivňuje karbid wolframu, který má největší měrnou hmotnost a bývá také nejvíce zastoupen v materiálu. Dále jsou to doprovodné karbidy, jako je TaC, TiC, NbC (tab. 1.5.2). Kobalt také ovlivňuje výslednou měrnou hmotnost, vzhledem ke své malé měrné hmotnosti (obr. 1.5.1). Porovnání měrných hmotností lze pozorovat v tab. 1.5.1.^{1,19,20}

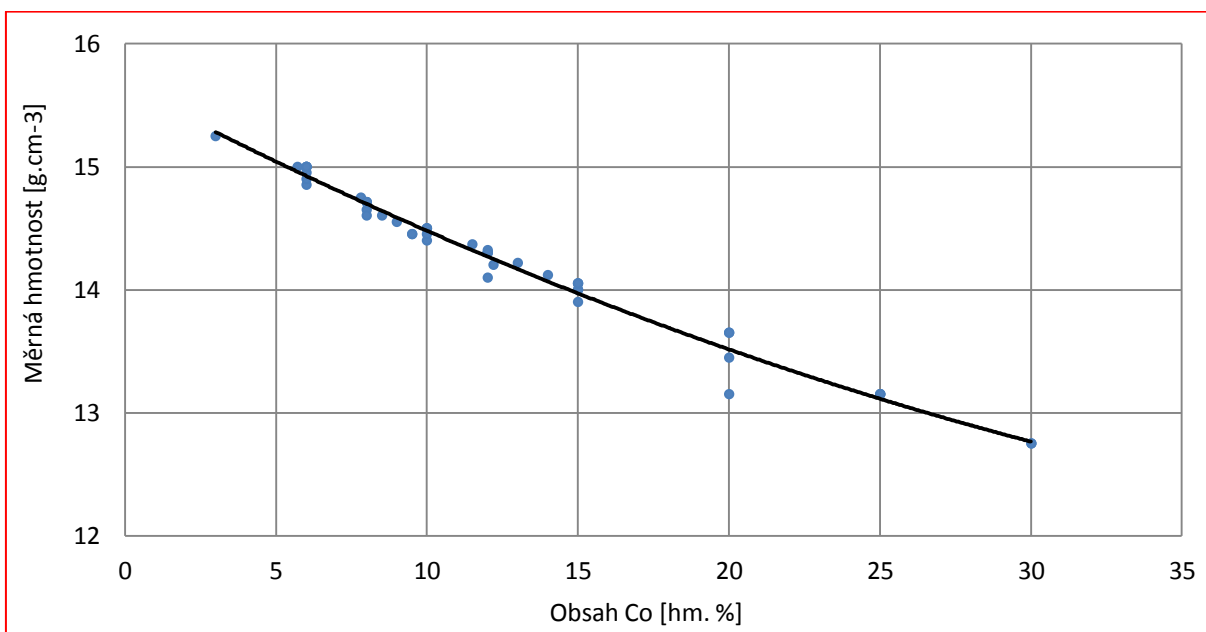
Skutečná měrná hmotnost se od teoretické obvykle nižší. To je způsobeno reálně neodstranitelnou pórovitostí výrobku a dále také některé nežádoucí prvky, jako je například grafit, snižují výslednou měrnou hmotnost.¹

Tab. 1.5.1 Měrné hmotnosti vybraných karbidů^{1,19,20}

Typ karbidu	WC	TaC	NbC	TiC	Co
Měrná hmotnost [g.cm ⁻³]	15,7	13,2	7,7	4,9	8,9

Tab. 1.5.2 Měrná hmotnost výrobků z SK v závislosti na složení¹⁰

Obsah WC [hm. %]	Obsah Co [hm. %]	Obsah TiC/TaC [hm. %]	Měrná hmotnost [g.cm ⁻³]
73	25	3	12,9
77	20	3	13,4
77	8	15	11,4
79	6	15	11,3
82	8	10	13,1
84	6	10	13,2
84,5	9	6.5	12,95
92	6	2	14,9
93,5	6	0.5	14,95



Obr. 1.5.1 Závislost měrné hmotnosti SK typu WC-Co na obsahu Co¹⁰

1.5.2 Tepelná vodivost

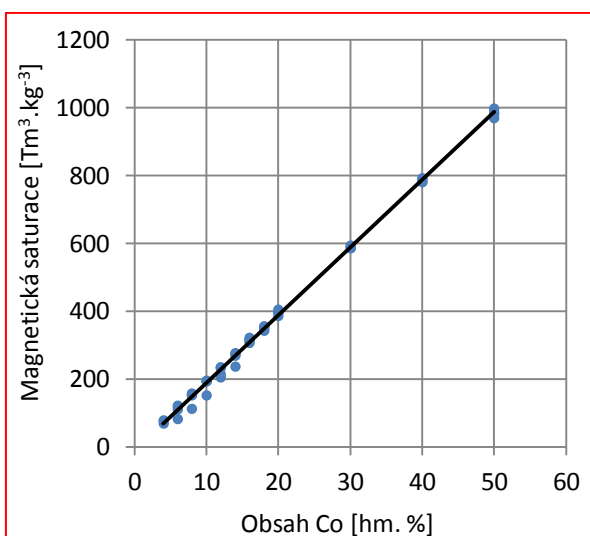
Tepelná vodivost slinutých karbidů je nejvíce závislá na obsahu TiC (tab. 1.5.3). Pokud SK neobsahuje karbid titanu, je tepelná vodivost závislá na obsahu Co, ale nijak extrémně, viz tab. 1.5.3. Obecně je tepelná vodivost SK typu WC-Co asi dvakrát vyšší než oceli (bez obsahu Al) a asi třetinová oproti tepelné vodivosti mědi. Velikost zrn karbidické fáze nemá příliš velký vliv na tepelnou vodivost SK.^{1,19}

Tab. 1.5.3 Tepelná vodivost v závislosti na složení SK^{15,21,22}

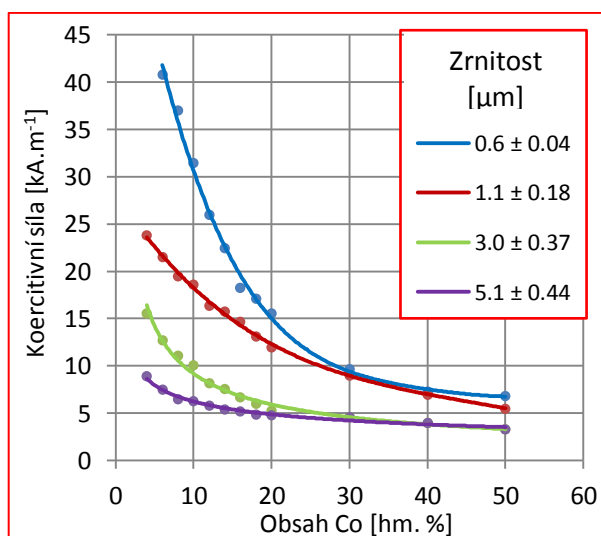
Obsah WC [hm. %]	Obsah Co [hm. %]	Obsah TiC [hm. %]	Tepelná vodivost [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]
90	10	-	105
88	12	-	95
94	6	-	79,5
80	6	14	33,47
79	6	15	33,5

1.5.3 Magnetické vlastnosti

Magnetické vlastnosti SK patří v dnešní době mezi velmi důležité vlastnosti, pomocí nichž lze zjistit charakteristiky struktury, aniž by došlo k porušení výrobku. Magnetické vlastnosti SK jsou podmíněny obsahem kobaltu, který patří mezi feromagnetika. Pomocí měření magnetických vlastností, konkrétně magnetické saturace, lze zjistit obsah pojiva a dokonce i obsah nežádoucích prvků (obr. 1.5.2, příloha 1.5.1).^{1,24} Měřením další magnetické vlastnosti, koercitivní síly, lze zjistit velikost karbidické fáze WC, jelikož i ta je závislá na velikosti a rozložení pojiva (obr. 1.5.3, příloha 1.5.1).^{1,24} Tato metoda se využívá hlavně v průmyslové výrobě, jelikož je rychlá, poměrně spolehlivá a hlavně nedochází k znehodnocování výrobku. Studie z roku 2010 prokázala, že lze na základě obsahu Co u SK typu WC-Co stanovit s 5-10 % přesností velikost zrn WC.²⁴



Obr. 1.5.2 Závislost magnetické saturace na obsahu Co²⁴



Obr. 1.5.3 Závislost koercitivní síly na obsahu Co a na velikosti zrn WC²⁴

Tab. 1.5.4 Koercitivní síla v závislosti na obsahu Co a velikosti zrn WC²³

Obsah Co [hm. %]	Obsah WC [hm. %]	Velikost zrn WC [μm]	Koercitivní síla [kA.m ⁻¹]
10	90	0,2	39,8
13	87	0,2	38,2
15	85	0,2	36,5
19	81	0,2	32,5
22	78	0,22	24,5
25	75	0,22	18
28	72	0,22	17,9
33	67	0,25	15,4

2. Povlakování slinutých karbidů

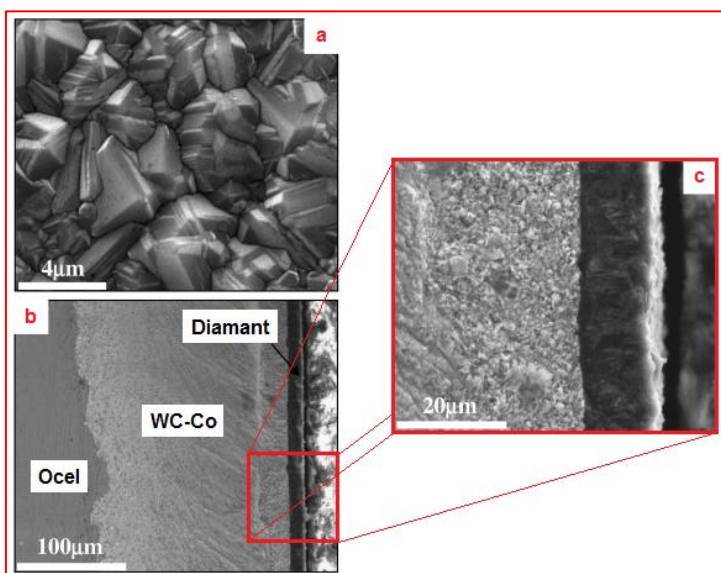
2.1 Úvod

Povlakování slinutých karbidů není žádná novinka na trhu, první jednovrstvé povlaky se objevily již v 60. letech 20. století a pokusy s povlaky ze slinutých karbidů sahají až do roku 1890. Nejprve se jednalo o povlaky typu TiC, s tloušťkou několik mikrometrů, zanedlouho však byly na trhu povlaky typu TiN, TiCN. Následovaly keramické povlaky (Al_2O_3). Nejprve se povlaky vytvářeli chemickým napařováním (viz metoda CVD), později, v 80. letech, se objevily povlaky fyzikálně napařované (viz metoda PVD), mezi něž hlavně patřil povlak typu TiN.¹

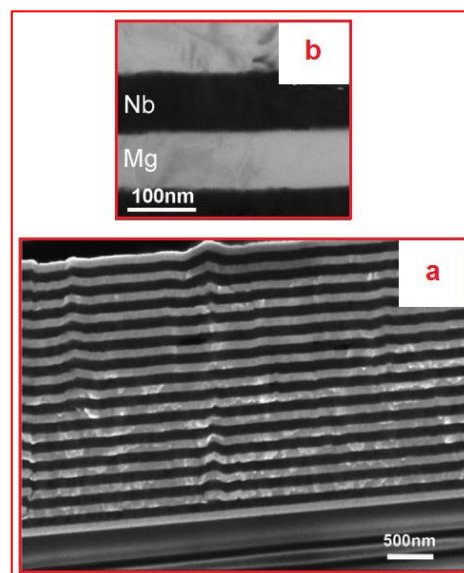
S postupem doby bylo pro konkurenceschopnost třeba zdokonalovat povlaky a jelikož jednotlivé typy povlaků měly víceméně stále stejné vlastnosti, byl logický krok se tyto vlastnosti snažit kombinovat pomocí vícevrstvých povlaků. Pro zjednodušení se zavedly tyto vývojové skupiny:¹

1. **generace** (Jednovrstvé povlaky, typ TiC, tloušťka asi 6 μm),
2. **generace** (Jednovrstvé povlaky, typ TiC, TiCN, TiN, tloušťka 7 až 10 μm),
3. **generace** (Vícevrstvý povlak – dvě až tři vrstvy, případně i více, například: TiC- Al_2O_3 , TiC-TiN, TiC-TiCN-TiN, TiC- Al_2O_3 -TiN),
4. **generace** (Multivrstvý povlak – více než deset vrstev; další speciální povlaky).

Současný trend v povlakování se zaměřuje hlavně na povlaky čtvrté generace, mezi něž také patří povlaky diamantové (obr. 2.1.1), nanokompozitní, gradientní, supermřížkové, inteligentní a povlaky z kubického nitridu boru, které patří zatím k těm nejnovějším a momentálně i s největším potenciálem využití v průmyslu.



Obr. 2.1.1 Diamantový povlak na substrátu HSS a mezivrstvě SK, tloušťka 15 μm (a – pohled shora, b, c – pohled v řezu)²⁵



Obr. 2.1.1 Multivrstvý povlak 4. generace, dvojvrstva Mg/Nb, tloušťka 200 nm (a- pohled v řezu, b – zvětšení)²⁶

2.2 Metody povlakování

2.2.1 Metoda PVD

Metoda PVD (Physical Vapour Deposition - Fyzikální napařování) je metoda, při níž jsou povlaky vytvářeny za sníženého tlaku (0,1 až 1,0 Pa) a poměrně nízkých teplot (pod 500 °C) kondenzací částic uvolňovanými ze zdroje fyzikálními metodami. Těmito metodami mohou být:¹

- **napařování** (přímé, reaktivní, aktivované reaktivní, s asistencí iontového proudu),
- **naprašování** (doutnavý výboj),
- **iontová implementace** (doutnavý výboj).

Tato metoda sloužila původně pro povlakování nástrojů z rychlořezných ocelí, u nichž díky nízkým teplotám nedocházelo k tepelnému ovlivnění. V poslední době je tato metoda na vzestupu a rozšiřuje se její aplikace také na línuté karbidy.¹

2.2.2 Metoda CVD

Metoda CVD (Chemical Vapour Deposition – chemické napařování z plynné fáze) je chemický proces povlakování založený na reakci chemických sloučenin v plazmě, která se tvoří u povrchu podkladového slinutého karbidu a následně uložení produktů této reakce na tomto povrchu. Tento proces se děje za vysokých teplot (1000 až 1200 °C). Rozlišujeme čtyři druhy provedení této metody:¹

- **tepelně indukované,**
- **plazmaticky aktivované,**
- **elektronově indukované,**
- **fotonově indukované.**

Tato metoda je v dnešní době hlavní metodou povlakování slinutých karbidů, pro nanášení složitějších typů povlaků (viz kapitola 2.3) se obvykle používají modifikované plazmaticky aktivované varianty metody CVD.

2.3 Povlaky KNB a jejich vlastnosti

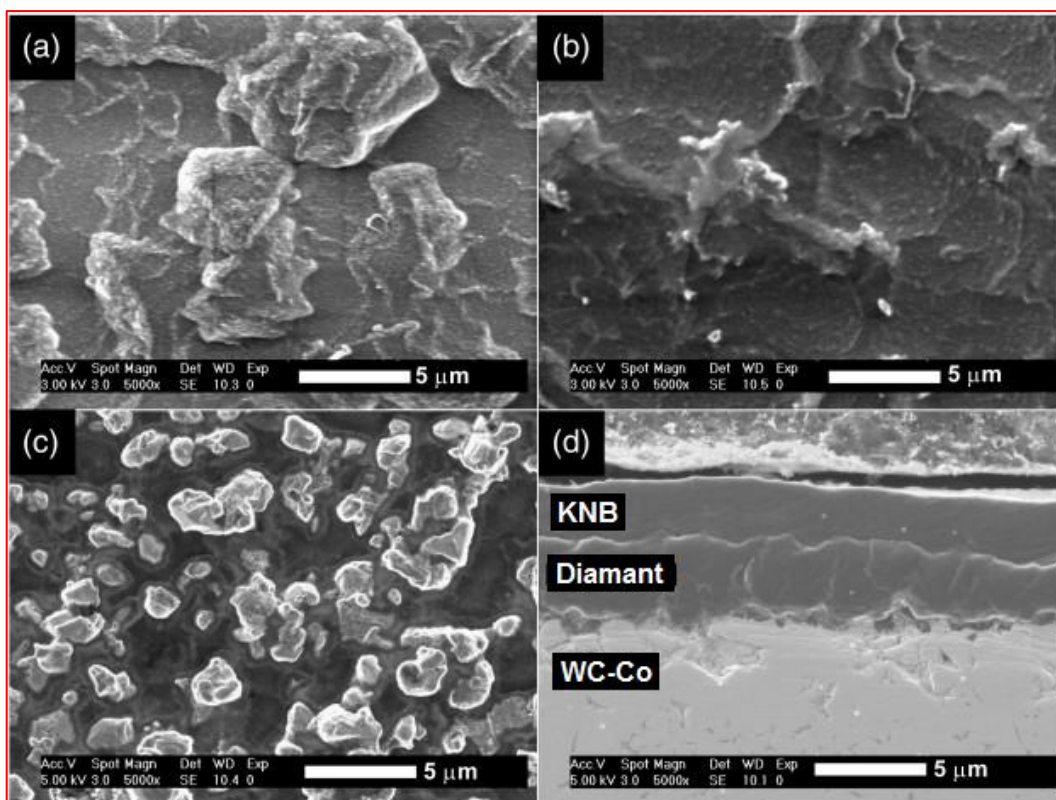
Kubický nitrid boru, označovaný také jako c-BN, je ekvivalentem diamantu a má řadu výjimečných vlastností. V první řadě je to jeho vysoká tvrdost (více než 4000 HV), která je srovnatelná pouze s diamantem. V druhé řadě je to jeho nízká chemická reaktivita, díky které má výhodu oproti diamantovým povlakům, které nemohou být použity na uhlíkové materiály. Další pozitivní vlastností je vysoká teplotní stabilita (až do 1400 °K), vysoký elektrický odpor a nízká měrná hmotnost. Tyto vlastnosti jej předurčují pro použití u povlaků určených pro nejvyšší řezné rychlosti a pro tvrdé materiály. Nevýhodou povlaků z čistého KNB je hlavně špatná adheze. Proto se na substráty nejrůznějších materiálů nanášely mezivrstvy z křemíku.¹

Metod nanášení povlaků nitridu boru bylo vyzkoušeno hned několik, mezi ty první se řadí nanášení pomocí CVD metody. Dále lze vytvořit povlaky KNB pomocí metody vybuzeného reaktivního odpařování (ARE). I metodou PVD lze nanášet povlaky z KNB. Na rozdíl od diamantového povlaku, který je řízen chemickými reakce-

mi, růst a syntéza povlaku z KNB je nezbytně během povlakování doprovázena aplikací iontového bombardování povrchu.¹

Studie z roku 2010 zkoumala zlepšení nanášení a růstu povlaku KNB na povrchy z křemíku a SK typu WC-Co pomocí zdrsnění těchto povrchů naleptáním ve vodíkové plasmě. Povlak z KNB byl nanášen na zdrsněný povrch za doprovodu nízkoenergetického iontového bombardování. Výsledky ukázaly, že jak u povrchu z SK typu WC-Co, tak i u povrchu z křemíku bylo díky zdrsnění dosaženo rychlejšího tempa růstu a vyššího obsahu KNB. Jak se ukázalo, zdrsnění způsobilo zmenšení úhlu styku s vodou a tím měl substrát vyšší volnou povrchovou energii, která byla zodpovědná za počáteční urychlení růstu povlaku.²⁷

Nanášení na podklad z Si je i dnes hojně využíváno, a to hlavně díky snazší reprodukovatelnosti povlaků z KNB. Ovšem dalším logickým krokem byla snaha zkombinovat již nějakou dobu používané povlaky z diamantu s povlakem z kubického nitridu boru. Po úspěšném zkombinování těchto dvou povlaků bylo zjištěno, že vzniklá rozhraní KNB – diamant a diamant – substrát vykazují velmi dobrou přilnavost, řešící špatnou adhezi KNB, a navíc byla zachována vysoká tvrdost povlaku jako celku.¹



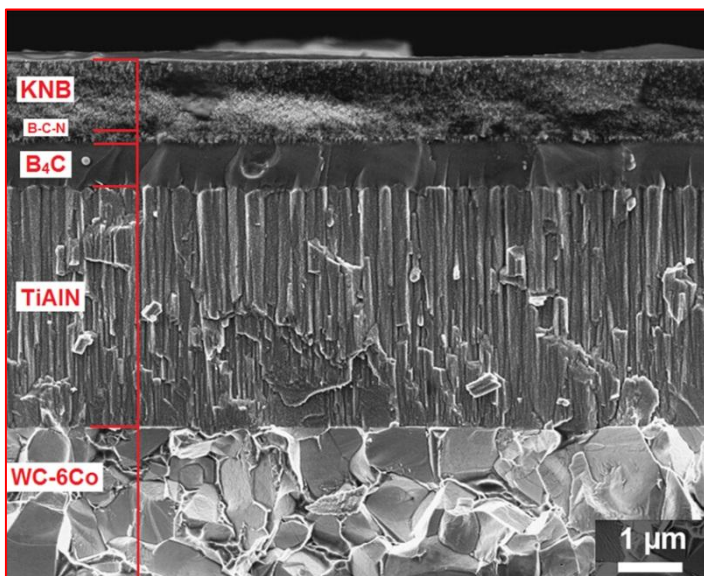
Obr. 2.3.1 Snímky povlaků KNB na diamantovém povlaku připravených při počátečním napětí a) 35 V, b) 45 V, c) 55 V. Snímek d) zobrazuje strukturu povlaků²⁸

Studie z konce roku 2009 zkoumala nanášení povlaku KNB na vyměnitelnou břitovou destičku ze slinutého karbidu s diamantovým povlakem. Pro nanášení KNB byla použita ECR mikrovlnná plazmatická CVD metoda (ECR MPCVD). Byly zkoumány parametry nanášení, jako je například poměr obsahu jednotlivých sloučenin v plynu, velikosti napětí nebo dokonce tloušťky diamantového povlaku. Výsledky ukázaly, že nejvhodnější počáteční napětí je 35 V, při němž je diamantový povrch zcela pokrytý povlakem KNB, na rozdíl od napětí 55 V, kdy bylo pokrytí neúplné, přerušované (obr. 2.3.1). Nejvhodnějším poměrem $\text{BF}_3:\text{H}_2$ v plynu se ukázalo být 2,5:1. Vliv

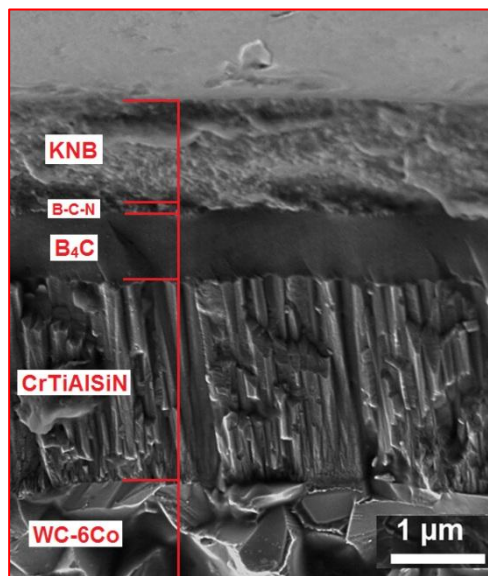
tloušťky diamantového povlaku na růst nitridu boru se ukázal být podstatný a to tak, že na příliš tlusté vrstvě diamantu nevznikne kubická fáze nitridu boru, vzniká pouze měkká hexagonální fáze nitridu boru. Optimální tloušťka se ukázala být asi 3 μm . Dále byla také vyhodnocována tvrdost jednotlivých vrstev a bylo zjištěno, že KNB povlak měl tvrdost až 70 GPa (7140 HV) a diamantová vrstva až 91 GPa (9280 HV). Jak již bylo zmíněno výše, bylo pozorováno dobré přilnavosti obou vrstev, jak mezi sebou, tak i mezi podkladem.²⁸

V dnešní době jsou povlaky KNB vyráběny spíše v laboratorních podmínkách a to hlavně s tloušťkou asi do 1 μm , vzhledem ke špatné přilnavosti nitridu boru, enormnímu vnitřnímu zbytkovému napětí (až 20 GPa) a nedostatečné dlouhodobé stabilitě ve vlhkém prostředí. Tyto povlaky se však ukázaly být nedostatečné pro řezné aplikace a je nutné zvýšit jejich tloušťku. Jednou z možností, jak zvýšit možnosti nástrojů s KNB povlaky, je zavedením vícevrstvého povlaku obsahujícího různé vrstvy materiálů a vlastností.²⁹

Nejnovější studie z roku 2011 se právě touto problematikou zabývá. Vyměnitelná břitová destička z nanostrukturálního SK typu WC-Co (obsah Co je 6 %) byla povlakována základní vrstvou typu TiAlN, pro porovnání byly použity tři typy této vrstvy: TiAlN, CrTiAlN a CrTiAlSiN. Na tuto vrstvu byl nanesen povlakový systém KNB, skládající se z karbidu boru (B_4C), gradientní vrstvy (B-C-N) a vrchní vrstvy z KNB. Výsledná struktura je vidět na obr. 2.3.2 a obr 2.3.3.²⁹



Obr. 2.3.2 Povlakový systém KNB na substrátu SK a povlakem TiAlN²⁹

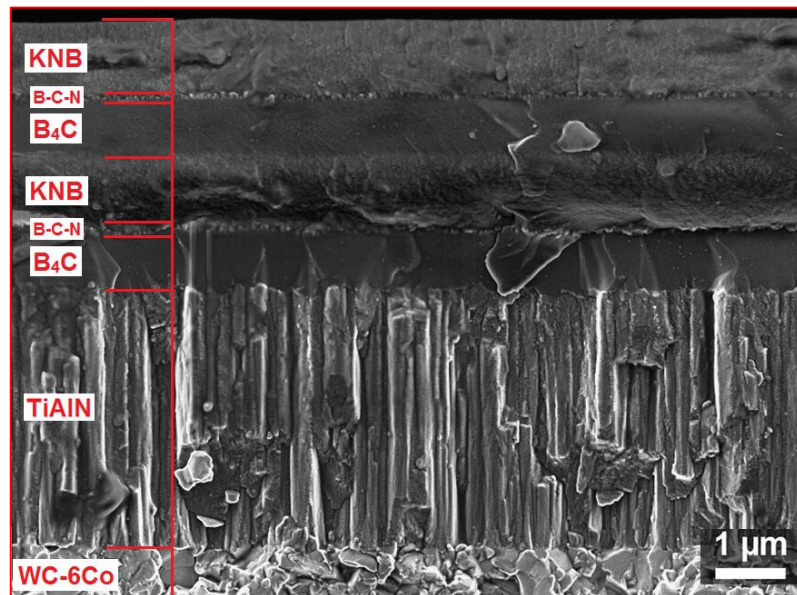


Obr. 2.3.3 Povlakový systém KNB na substrátu SK a povlakem CrTiAlSiN²⁹

V tabulce 2.3.1 lze pozorovat rozdíly mezi různými systémy povlaků, vrstev. Jak je vidět, tvrdost výsledného systému při použití mezivrstvy z TiAlN s přidaným Si a Cr se jeví jako nejvyšší, avšak použití dvou vrstev povlakového systému KNB s mezivrstvou z konvenčního TiAlN je, co se týče tvrdosti, stejné, ale výsledná vrstva KNB se prakticky zdvojnásobila. To je taky druhá možnost, jak zvýšit tloušťku povlaku, tedy multivrstvý povlak. Struktura takového povlaku je na obr. 2.3.4.²⁹

Tab. 2.3.1 Mechanické vlastnosti povlakových systémů KNB na SK substrátu s povlakem²⁹

Typ povlaku na SK		TiAlN	CrTiAlN	CrTiAlSiN	TiAlN	CrTiAlN	CrTiAlSiN	TiAlN
Typ svrchní vrstvy		-	-	-	KNB	KNB	KNB	KNB Dvojvrstva
Tloušťka povlaku [μm]	TiAlN	3,4	-	-	3,4	-	-	3,4
	CrTiAlN	-	2,8	-	-	2,8	-	-
	CrTiAlSiN	-	-	2,4	-	-	2,4	-
	B ₄ C	-	-	-	0,8	0,8	0,8	0,8
	B-C-N	-	-	-	0,2	0,2	0,2	0,2
	KNB	-	-	-	1,1	1,1	1,1	2,2
Mikrotvrdost systému [GPa]		24,2	24,2	30	31,5	71,8	71	75,2
Youngův modul E [GPa]		345	345	352	340	339	329	339
Míra opotřebení [$\times 10^{-15} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$]		5,3	5,3	5,1	4,6	0,6	0,6	0,5



Obr. 2.3.4 Dvojitý povlakový systém KNB na SK substrátu s povlakem TiAlN²⁹

3. Slinuté karbidy v sortimentu vybraných producentů na trhu

3.1 Pramet Tools

Pramet Tools, s.r.o. je výrobce převážně nástrojů a příslušenství pro obrábění ze slinutých karbidů. Společnost má více než 50-ti letou tradici započatou v Československu. Nynější sídlo firmy je v České Republice na adrese Uničovská 2, CZ-787 53 Šumperk. Logo firmy je na obr. 3.1.1.



Obr. 3.1.1 Logo firmy Pramet³⁴

3.1.1 Nabídka SK pro rok 2011

Tab. 3.1.1 Přehled nabízených SK firmy Pramet Tools^{30,31,32}

Označení	Aplikační oblasti dle ISO						Vlastnosti substrátu z SK a povlaku	
	P	M	K	N	S	H		
HF7 ^{S,F}		10-20	10-25	10-30	10-20	10-20	Substrát	
							Povlak	-
							Metoda povlakování	-
H10 ^F	15-25	15-25	15-30	15-30	15-25	15-25	Substrát	
							Povlak	-
							Metoda povlakování	-
S26 ^F	15-30						Substrát	
							Povlak	-
							Metoda povlakování	-
S30 ^F	20-35						Substrát	
							Povlak	-
							Metoda povlakování	-
S45 ^F	30-45	30-40					Substrát	
							Povlak	-
							Metoda povlakování	-
2215 ^F	10-20		10-20			10-20	Substrát	
							Povlak	tenký, neznámý
							Metoda povlakování	MTCVD
2230 ^F	15-30	15-25	15-30				Substrát	
							Povlak	tenký, neznámý
							Metoda povlakování	MTCVD
5026 ^F	15-30	15-25	15-30			10-20	Substrát	
							Povlak	tenký, neznámý
							Metoda povlakování	MTCVD
5030D ^V	15-30	15-25	15-30				Substrát	
							Povlak	multivrstvený, neznámý
							Metoda povlakování	MTCVD










- submikrozný s., - jemnozný s., - střední až hrubý s., - gradientní s.





Tab. 3.1.1 Přehled nabízených SK firmy Pramet Tools – pokračování 1

Označení	Aplikační oblasti dle ISO						Vlastnosti substrátu z SK a povlaku	
	P	M	K	N	S	H		
5040 ^F	25-45	25-35	25-35				Substrát	
							Povlak	tenký, neznámý
							Metoda povlakování	MTCVD
6605 ^S	10-20		5-15			5-15	Substrát	
							Povlak	unikátní duální, neznámý
							Metoda povlakování	MTCVD + PVD
6615 ^S	10-25		5-20				Substrát	
							Povlak	unikátní duální, neznámý
							Metoda povlakování	MTCVD + PVD
6620 ^S	10-20		10-25			5-15	Substrát	
							Povlak	multivrstvený, neznámý
							Metoda povlakování	MTCVD
6630 ^S	15-35	10-30	20-30			15-25	Substrát	
							Povlak	multivrstvený, neznámý
							Metoda povlakování	MTCVD
6635 ^S	20-40	15-35	15-35				Substrát	
							Povlak	multivrstvený, neznámý
							Metoda povlakování	MTCVD
6640 ^{V,S}	20-40	20-35	25-40			20-30	Substrát	
							Povlak	multivrstvený, neznámý
							Metoda povlakování	MTCVD
7010 ^F	5-20	5-20	5-25	5-25	5-15	5-15	Substrát	
							Povlak	multivrstvený, (TiAl)N
							Metoda povlakování	PVD
7025 ^F	20-40	20-30	20-35				Substrát	
							Povlak	multivrstvený, (TiAl)N
							Metoda povlakování	PVD
7040 ^F	15-35	15-35	15-35	10-30	15-25	15-25	Substrát	
							Povlak	multivrstvený, (TiAl)N
							Metoda povlakování	PVD
7205 ^F	2,5-15	2,5-15	2,5-15	2,5-10		2,5-10	Substrát	
							Povlak	nový, neznámý
							Metoda povlakování	PVD
7215 ^F	5-20	5-20	5-25	5-25	5-15	5-15	Substrát	
							Povlak	nový gradientní, neznámý
							Metoda povlakování	PVD
7230 ^F	25-40	20-35	20-35	15-30	15-25	15-25	Substrát	
							Povlak	nový gradientní, neznámý
							Metoda povlakování	PVD
8016 ^{S,F}	5-20	5-20	5-25	5-25	5-15	5-15	Substrát	
							Povlak	nanostrukturální, (TiAlSi)N
							Metoda povlakování	PVD

- submikroznrný s., - jemnozrný s., - střední až hrubý s., - gradientní s.

Tab. 3.1.1 Přehled nabízených SK firmy Pramet Tools – pokračování 2

Označení	Aplikační oblasti dle ISO						Vlastnosti substrátu z SK a povlaku	
	P	M	K	N	S	H		
8026 ^F	15-35	15-35	15-35	10-30	15-25	10-20	Substrát	
							Povlak	nanostrukturní, (TiAlSi)N
							Metoda povlakování	PVD
8026T ^F	20-40	20-30	20-35				Substrát	
							Povlak	nanostrukturní, (TiAlSi)N
							Metoda povlakování	PVD
8030 ^V	25-40	20-35	25-35		20-30	20-30	Substrát	
							Povlak	nanostrukturní, (TiAlSi)N
							Metoda povlakování	PVD
8040 ^V	30-50	20-40	20-40		20-30		Substrát	
							Povlak	nanostrukturní, (TiAlSi)N
							Metoda povlakování	PVD
8230 ^{S,F}	20-40	20-35	20-40	15-30	15-25	15-25	Substrát	
							Povlak	nanostrukturní, (TiAlSi)N
							Metoda povlakování	PVD
8240 ^{S,F}	25-50	20-40	20-40		20-30		Substrát	
							Povlak	nanostrukturní, (TiAlSi)N
							Metoda povlakování	PVD
9210 ^S	10-25	10-20	5-20				Substrát	
							Povlak	silný, neznámý
							Metoda povlakování	MTCVD
9230 ^S	10-35	10-30	20-35		15-25		Substrát	
							Povlak	speciální, neznámý
							Metoda povlakování	MTCVD
9235 ^S	15-40	15-35	20-35		20-30		Substrát	
							Povlak	speciální, neznámý
							Metoda povlakování	MTCVD

 - submikrozný s.,  - jemnozrný s.,  - střední až hrubý s.,  - gradientní s.

Poznámka

1) Označení

- Vedle názvu je uveden zkratkou způsob použití takto:
 - ^V – Vrtání,
 - ^S – Soustružení,
 - ^F – Frézování.
- Pokud je uvedeno více způsobů použití, nemusí tyto všechny platit pro jednotlivé aplikační oblasti v celém rozsahu použití. Pro větší přehlednost není uváděno u každé aplikační oblasti konkrétní použití.

2) Aplikační oblasti

- Tučné zvýraznění značí hlavní použití.

3) Vlastnosti substrátu z SK a povlaku

- Vlastnosti povlaku jsou uváděny vždy v tomto formátu: *vlastnost, složení*

3.2 Sandvik Coromant

Sandvik Coromant je celosvětový výrobce nástrojů a příslušenství pro obrábění původem ze Švédska, jehož historie sahá až do roku 1862. Hlavní sídlo má firma ve Švédsku ve městě Sandviken, SE-811 81. Logo firmy je na obr. 3.2.1.



Obr. 3.2.1 Logo firmy Sandvik Coromant³⁵















3.2.1 Nabídka SK pro rok 2011

Tab. 3.2.1 Přehled nabízených SK firmy Sandvik Coromant³³

Označení	Aplicační oblasti dle ISO						Vlastnosti substrátu z SK a povlaku	
	P	M	K	N	S	H	Substrát	Povlak
CD1810 ^S				10			Substrát	tenký, diamant
							Povlak	CVD
							Metoda povlakování	
GC1005 ^S		10-15		10	15		Substrát	tenký, (Ti,Al)N+TiN
							Povlak	PVD
							Metoda povlakování	
GC1010 ^F	10		10			10	Substrát	tenký, (Ti,Al)N
							Povlak	PVD
							Metoda povlakování	
GC1020 ^{V,S,F}	20-40	20-35	15-20	20-25	20-35	20	Substrát	tenký, TiN
							Povlak	PVD
							Metoda povlakování	
GC1025 ^{S,F}	10-25	15-25	30	15-25	15-25	15	Substrát	tenký, (Ti,Al)N+TiN
							Povlak	PVD
							Metoda povlakování	
GC1030 ^F	30	15		15	15	10	Substrát	tenký, (Ti,Al)N+TiN
							Povlak	PVD
							Metoda povlakování	
GC1044 ^V	40	35	25	20	35	20	Substrát	tenký, (Ti,Al)N
							Povlak	PVD
							Metoda povlakování	
GC1105 ^S		15			15		Substrát	tenký, (Ti,Al)N
							Povlak	PVD
							Metoda povlakování	
GC1115 ^S		15		15	20		Substrát	tenký, oxid
							Povlak	PVD
							Metoda povlakování	
GC1120 ^V	40	35	20	20	35	20	Substrát	tenký, Ti(C,N)
							Povlak	PVD
							Metoda povlakování	

- submikrozný s., - jemnozrný s., - střední až hrubý s., - gradientní s.

Tab. 3.2.1 Přehled nabízených SK firmy Sandvik Coromant – pokračování 1

Označení	Aplicační oblasti dle ISO						Vlastnosti substrátu z SK a povlaku	
	P	M	K	N	S	H		
GC1125 ^S	20-30	20-30	15-30	25	20-25	20	Substrát	
							Povlak	tenký, oxid
							Metoda povlakování	PVD
GC1144 ^V		35					Substrát	
							Povlak	tenký, oxid
							Metoda povlakování	PVD
GC1145 ^S	45	40			40		Substrát	
							Povlak	tenký, oxid
							Metoda povlakování	PVD
GC1210 ^V	10		10				Substrát	
							Povlak	tenký, AlCrN
							Metoda povlakování	PVD
GC1220 ^V	20	20	20	20	30	20	Substrát	
							Povlak	tenký, (Ti,Al)N
							Metoda povlakování	PVD
GC1515 ^S	25	20	25				Substrát	
							Povlak	střední, Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN
							Metoda povlakování	CVD
GC1810 ^S				10			Substrát	
							Povlak	tenký, diamant
							Metoda povlakování	CVD
GC2015 ^S	25	15					Substrát	
							Povlak	tenký, Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN
							Metoda povlakování	CVD
GC2025 ^S	35	25					Substrát	
							Povlak	tenký, Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN
							Metoda povlakování	CVD
GC2030 ^F	25	25			25		Substrát	
							Povlak	tenký, (Ti,Al)N+TiN
							Metoda povlakování	PVD
GC2035 ^S		35					Substrát	
							Povlak	tenký, (Ti,Al)N+TiN
							Metoda povlakování	PVD
GC2040 ^F	40	30			30		Substrát	
							Povlak	tenký, Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN
							Metoda povlakování	CVD
GC2044 ^V		35			35		Substrát	
							Povlak	tenký, oxid
							Metoda povlakování	PVD
GC2135 ^S	35	30			30		Substrát	
							Povlak	tenký, Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN
							Metoda povlakování	CVD

 - submikrozný s.,  - jemnozrný s.,  - střední až hrubý s.,  - gradientní s.

Tab. 3.2.1 Přehled nabízených SK firmy Sandvik Coromant – pokračování 2

Označení	Aplicační oblasti dle ISO						Vlastnosti substrátu z SK a povlaku	
	P	M	K	N	S	H		
GC2145 ^S	45	40			40		Substrát	●
							Povlak	tenký, (Ti,Al)N
							Metoda povlakování	PVD
GC235 ^{V,S}	45	35-40			30		Substrát	●
							Povlak	tenký, Ti(C,N)+TiN
							Metoda povlakování	CVD
GC3005 ^S	10		10				Substrát	●
							Povlak	střední, Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN
							Metoda povlakování	CVD
GC3020 ^S	15		15				Substrát	●
							Povlak	střední, Ti(C,N)+Al ₂ O ₃
							Metoda povlakování	CVD
GC3040 ^{V,F}	20	20	20-30			15-25	Substrát	●
							Povlak	střední, Ti(C,N)+Al ₂ O ₃
							Metoda povlakování	CVD
GC3115 ^S	15		15				Substrát	●
							Povlak	střední, Ti(C,N)+Al ₂ O ₃
							Metoda povlakování	CVD
GC3205 ^S			5				Substrát	●
							Povlak	silný, Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN
							Metoda povlakování	CVD
GC3210 ^S			5				Substrát	●
							Povlak	silný, Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN
							Metoda povlakování	CVD
GC3215 ^S			5				Substrát	●
							Povlak	střední, Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN
							Metoda povlakování	CVD
GC3220 ^F			20				Substrát	●
							Povlak	silný, Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN
							Metoda povlakování	CVD
GC4014 ^V	15		15				Substrát	■
							Povlak	střední, Ti(C,N)+Al ₂ O ₃
							Metoda povlakování	CVD
GC4024 ^V	25	20	20			15	Substrát	●
							Povlak	střední, Ti(C,N)+Al ₂ O ₃
							Metoda povlakování	CVD
GC4034 ^V	30	30	20				Substrát	●
							Povlak	tenký, Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN
							Metoda povlakování	CVD
GC4044 ^V	40	35	20	20	35	20	Substrát	●
							Povlak	tenký, (Ti,Al)N
							Metoda povlakování	PVD

● - submikroznrný s., ● - jemnozrný s., ● - střední až hrubý s., ■ - gradientní s.

Tab. 3.2.1 Přehled nabízených SK firmy Sandvik Coromant – pokračování 3

Označení	Aplicační oblasti dle ISO						Vlastnosti substrátu z SK a povlaku	
	P	M	K	N	S	H		
GC4125 ^S	20-30	20-25	15-30		20-25	20	Substrát	●
							Povlak	tenký, (Ti,Al)N
							Metoda povlakování	PVD
GC4205 ^S	5		10			15	Substrát	■
							Povlak	silný, Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN
							Metoda povlakování	CVD
GC4215 ^S	15		15			15	Substrát	■
							Povlak	silný, Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN
							Metoda povlakování	CVD
GC4220 ^F	15		25			25	Substrát	●
							Povlak	střední, Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN
							Metoda povlakování	CVD
GC4225 ^S	20-25	15	25				Substrát	■
							Povlak	silný, Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN
							Metoda povlakování	CVD
GC4230 ^F	25	15	30				Substrát	●
							Povlak	střední, Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN
							Metoda povlakování	CVD
GC4235 ^S	35	25					Substrát	■
							Povlak	silný, Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN
							Metoda povlakování	CVD
GC4240 ^F	40	40	35				Substrát	●
							Povlak	střední, Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN
							Metoda povlakování	CVD
H10 ^{S,F}				10-15	30		Substrát	●
							Povlak	-
							Metoda povlakování	-
H10A ^S					10		Substrát	●
							Povlak	-
							Metoda povlakování	-
H10F ^{V,S,F}	25		25	20	15-30		Substrát	●
							Povlak	-
							Metoda povlakování	-
H13A ^{V,S,F}		15-25	20-25	15-25	15-25	20	Substrát	●
							Povlak	-
							Metoda povlakování	-
K15W ^F			15				Substrát	●
							Povlak	tenký, Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN
							Metoda povlakování	CVD
K20 ^V		30	20	15		15	Substrát	●
							Povlak	tenký, TiN
							Metoda povlakování	PVD

● - submikroznrný s., ● - jemnozrný s., ● - střední až hrubý s., ■ - gradientní s.

Tab. 3.2.1 Přehled nabízených SK firmy Sandvik Coromant – pokračování 4

Označení	Aplikační oblasti dle ISO						Vlastnosti substrátu z SK a povlaku	
	P	M	K	N	S	H		
K20D ^F			20				Substrát	●
							Povlak	silný, Ti(C,N)+Al ₂ O ₃
							Metoda povlakování	CVD
K20W ^F			25				Substrát	●
							Povlak	tenký, Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN
							Metoda povlakování	CVD
N20D ^V				20			Substrát	●
							Povlak	tenký, (Ti,Al)N
							Metoda povlakování	PVD
P20 ^V	20						Substrát	●
							Povlak	tenký, TiN
							Metoda povlakování	PVD
S05F ^S					5-10		Substrát	●
							Povlak	tenký, Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN
							Metoda povlakování	CVD

● - submikrozný s., ● - jemnozrný s., ● - střední až hrubý s., ▒ - gradientní s.

Poznámka

1) Označení

- Vedle názvu je uveden zkratkou způsob použití takto:
 - ^V – Vrtání,
 - ^S – Soustružení,
 - ^F – Frézování.
- Pokud je uvedeno více způsobů použití, nemusí tyto všechny platit pro jednotlivé aplikační oblasti v celém rozsahu použití. Pro větší přehlednost není uváděno u každé aplikační oblasti konkrétní použití.

3) Vlastnosti substrátu z SK a povlaku

- Vlastnosti povlaku jsou uváděny vždy v tomto formátu: *tloušťka, složení*

3.3 Widia

Společnost Widia je významný celosvětový výrobce nástrojů ze slinutých karbidů s více než 80 letou tradicí. Tato společnost jako první představila povlaky s vrstvou ze ZrCN. Hlavní sídlo společnosti je v USA, Pensylvánie ve městě Latrobe. Logo firmy je na obr. 3.3.1.



Obr. 3.3.1 Logo společnosti Widia ³⁶

3.3.1 Nabídka SK pro rok 2011

Tab. 3.3.1 Přehled nabízených SK firmy Widia ^{37,38,39,40}

Označení	Aplikační oblasti dle ISO						Vlastnosti povlaku	
	P	M	K	N	S	H		
GN1515 ^V				5-15			Povlak	CrC/C-TiN
							Metoda Povlakování	PVD
GP4535 ^V	5-15		5-15				Povlak	multivrstvý, TiAlN-TiN
							Metoda Povlakování	PVD
THM ^F			10-20	10-20	10-20	10-20	Povlak	-
							Metoda Povlakování	-
TN10P ^S	5-20		15-20				Povlak	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃ -TiN
							Metoda Povlakování	MTCVD
TN10U ^S	10-20	10-20	10-20	10-20	10-20	5	Povlak	TiAlN-TiN
							Metoda Povlakování	PVD
TN15M ^S	15-25	10-20					Povlak	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃ -TiN
							Metoda Povlakování	MTCVD
TN15U ^S	10-20	10-20	5-20	10-20	10-20		Povlak	-
							Metoda Povlakování	-
TN20K ^S	5-15		10-25				Povlak	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃ -TiN
							Metoda Povlakování	MTCVD
TN20P ^S	15-30		25-35				Povlak	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃ -TiN
							Metoda Povlakování	MTCVD
TN2505 ^F	5-10	5-10				5-10	Povlak	TiAlOx
							Metoda Povlakování	PVD
TN30M ^S	30-40	25-40					Povlak	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃ -TiN
							Metoda Povlakování	MTCVD
TN30P ^S	30-45						Povlak	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃ -TiN
							Metoda Povlakování	MTCVD
TN5515 ^F			10-20				Povlak	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃
							Metoda Povlakování	MTCVD
TN6501 ^F	5						Povlak	TiB ₂
							Metoda Povlakování	PVD

Tab. 3.3.1 Přehled nabízených SK firmy Widia – pokračování 1

Označení	Aplikační oblasti dle ISO						Vlastnosti povlaku	
	P	M	K	N	S	H		
TN6510 ^F			5-15				Povlak	multivrstvý, TiAlN
							Metoda Povlakování	PVD
TN6520 ^F			15-25				Povlak	multivrstvý, TiAlN
							Metoda Povlakování	PVD
TN6525 ^F	20-30	20-30	20-30				Povlak	multivrstvý, TiAlN
							Metoda Povlakování	PVD
TN6540 ^F	35-45	35-40	30-40				Povlak	multivrstvý, TiAlN
							Metoda Povlakování	PVD
TN7525 ^F	10-30	10-30					Povlak	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃ -TiN
							Metoda Povlakování	MTCVD
TN7535 ^F	20-35	20-35					Povlak	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃
							Metoda Povlakování	MTCVD
WH16PG ^V						20-30	Povlak	MoS ₂ -TiN
							Metoda Povlakování	PVD
WK05CT ^S			10-20				Povlak	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃
							Metoda Povlakování	MTCVD
WK20CT ^S			15-25				Povlak	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃
							Metoda Povlakování	MTCVD
WM15CT ^S		10-20					Povlak	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃ -ZrCN
							Metoda Povlakování	MTCVD
WM25CT ^S		20-30					Povlak	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃ -ZrCN
							Metoda Povlakování	MTCVD
WM35CT ^S		25-35					Povlak	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃ -ZrCN
							Metoda Povlakování	MTCVD
WP10CT ^S	10-20		15-20				Povlak	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃ -TiCN
							Metoda Povlakování	K-MTCVD
WP15CT ^S	10-20						Povlak	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃ -ZrCN
							Metoda Povlakování	MTCVD
WP25CT ^S	20-30	20-30					Povlak	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃ -ZrCN
							Metoda Povlakování	MTCVD
WP35CT ^S	30-40						Povlak	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃ -ZrCN
							Metoda Povlakování	MTCVD
WS10PT ^S		10-20			5-15		Povlak	multivrstvý, TiAlN
							Metoda Povlakování	PVD
WS25PT ^S		20-30			20-30		Povlak	multivrstvý, TiAlN
							Metoda Povlakování	PVD
WU10HT ^S		10-20	5-20	10-20	10-20		Povlak	-
							Metoda Povlakování	-

Tab. 3.3.1 Přehled nabízených SK firmy Widia – pokračování 2

Označení	Aplikační oblasti dle ISO						Vlastnosti povlaku	
	P	M	K	N	S	H		
WU10PT [§]	15-25	15-25	15-25	15-25	15-25	15	Povlak	TiAIN
							Metoda Povlakování	PVD
WU12PV ^v	10-20	10-20	10-20	15-25	10-20		Povlak	TiCN
							Metoda Povlakování	PVD
WU13PV ^v	15-30	15-30	10-25	20-35	15-30		Povlak	TiAIN
							Metoda Povlakování	PVD
WU16PV ^v	20-35	20-35	15-30	15-35	20-35	25-40	Povlak	MoS ₂ -TiAIN
							Metoda Povlakování	PVD
WU25PT [§]	20-30	20-30	20-30	20-30	20-30		Povlak	TiAIN
							Metoda Povlakování	PVD

Poznámka

1) Označení

- Vedle názvu je uveden zkratkou způsob použití takto:
 - ^v – Vrtání,
 - [§] – Soustružení,
 - ^F – Frézování.

3) Vlastnosti povlaku

- Vlastnosti povlaku jsou uvedeny dvěma způsoby:
 - a) *složení povlaku (jednotlivé vrstvy jsou odděleny pomlčkou)*
 - b) *počet vrstev, složení povlaku*

Závěr

Slinuté karbidy jsou užívány pro nástroje již několik desetiletí a i přes to jsou některé aspekty výroby stále ve vývoji. Tato práce informativní formou přináší převážně nové poznatky o problematice slinutých karbidů a jejich povlakování. Dále také zobrazuje nabídku nástrojových materiálů ze slinutých karbidů a to od tří hlavních výrobců na trhu.

Zvláštní důraz byl v této práci kladen na nejmodernější aspekty výroby slinutých karbidů. Prvním z nich je gradientní slinování. Tento druh výroby je dostupný již několik let, avšak stále ještě o některých fyzikálních pochodech nevíme podrobnosti a právě o některých nových skutečnostech je informováno v této práci. Dalším bodem zájmu byly magnetické vlastnosti slinutých karbidů, které se v poslední době ukázaly být poměrně přesným ukazatelem složení či struktury slinutých karbidů. A v neposlední řadě tato práce přináší novinky o povlakování kubickým nitridem boru, což je jen pár let stará metoda, která je ještě stále pouze ve výzkumu. Obzvláště zajímavé jsou shromážděné nejnovější informace o testech s multivrstvým povlakem s gradientním systémem KNB a také úspěšné vytvoření vícevrstvého povlaku z KNB. Jsem přesvědčený, že současný trend povlakování se bude ubírat touto cestou a v budoucnu budou již samozřejmostí multivrstvé povlaky z KNB.

Tato práce je vhodná pro komplexněji pojaté doplnění informací o slinutých karbidech, některé nové informace, obzvláště výše uvedené body zájmu, jsou vhodné k prezentaci ve výuce.

Soupis bibliografických citací

1. HUMÁR, A., *Materiály pro řezné nástroje*. Praha: MM Publishing, s.r.o., 2008. 236 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
2. ČEP, R., *Technologie II – skripta – 1.díl*, [online], [vid. 3. dubna 2011]. Dostupné z: http://homel.vsb.cz/~cep77/PDF/skripta_Technologie_II_1dil.pdf.
3. KŘÍŽ, A., et al. *Prášková metalurgie*, [online], [vid. 8. dubna 2011]. Dostupné z: ateam.zcu.cz/praskova_metalurgie.pdf.
4. LENGAUER, W., DREYER, K. Functionally graded hardmetals. *Journal of Alloys and Compounds*, 2002, vol. 338, iss. 1-2, s. 194-212, ISSN 0925-8388.
5. ESO O., FANG Z., GRIFFO A. Liquid phase sintering of functionally graded WC-Co composites. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 2005, vol. 23, iss. 4-6, s. 233-241, ISSN 0263-4368.
6. HAIBO, Z., ZHIGANG, Z. F., QINGZHONG, L. Characterization of a bilayer WC-Co hardmetal using Hertzian indentation technique. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 2009, vol. 27, iss. 2, s. 317-322, ISSN 0263-4368.
7. BROOKES, K. The trade-offs and economics in functional grades. *Metal Powder Report*, 2007, vol. 62, iss. 11, s. 26-31, ISSN 0026-0657.
8. OLADAPO, O. E., PENG, F., ZHIGANG, Z. F. A kinetic model for cobalt gradient formation during liquid phase sintering of functionally graded WC-Co. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 2008, vol. 26, iss. 2, s. 91-97, ISSN 0263-4368.
9. JUN, G., et al. Kinetics of the formation of metal binder gradient in WC-Co by carbon diffusion induced liquid migration. *Acta Materialia*, In Press, Corrected Proof, Available online, 2011, ISSN 1359-6454.
10. ZY-CARBIDE Co., Buffalo, NY. *Grade Specification*, [online], [vid. 13. května 2011]. Dostupné z: http://www.zy-carbide.com/GradeTable_1_3_2010_D.pdf.
11. OU, X. Q., et al. Fabrication and mechanical properties of ultrafine grained WC-10Co-0.45Cr3C2-0.25VC alloys. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 2011, vol. 29, iss. 2, s. 260-267, ISSN 0263-4368.
12. HYOMOON, N., JAEHYUK, L., SHINHOO, K. Microstructure of (W,Ti)C-Co system containing platelet WC. *Materials Science and Engineering: A*, 2010, vol. 527, iss. 27-28, s. 7163-7167, ISSN 0921-5093.

13. SCHUBERT, W. D., et al. Hardness to toughness relationship of fine-grained WC-Co hardmetals. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 1998, vol. 16, iss. 2, s. 133-142, ISSN 0263-4368.
14. DENG, J., SONG, W., ZHANG, H. Design, fabrication and properties of a self-lubricated tool in dry cutting. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 2009, vol. 49, iss. 1, s. 66-72, ISSN 0890-6955.
15. DENG, J., et al. Wear mechanisms of cemented carbide tools in dry cutting of precipitation hardening semi-austenitic stainless steels. *Wear*, 2011, vol. 270, iss. 7-8, s. 520-527, ISSN 0043-1648.
16. DING, Z., et al. Thermal erosion of WC-based cemented carbide nozzles by coal water slurry. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 2008, vol. 26, iss. 4, s. 334-339, ISSN 0263-4368.
17. BONACHE, V., et al. Synthesis and processing of nanocrystalline tungsten carbide: Towards cemented carbides with optimal mechanical properties. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 2011, vol. 29, iss. 1, s. 78-84, ISSN 0263-4368.
18. ZHIGANG, Z. F. Correlation of transverse rupture strength of WC-Co with hardness. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 2005, vol. 23, iss. 2, s. 119-127, ISSN 0263-4368.
19. SANDVIK AB, Sandviken, Sweden. *All about Cemented Carbide*, [online], [vid. 13. května 2011]. Dostupné z: <http://www.allaboutcementedcarbide.com/01.html>.
20. ECD, *Energy Citations Database*, [online], [vid. 13. května 2011]. Dostupné z: http://www.osti.gov/energycitations/product.biblio.jsp?osti_id=4097717.
21. BONNY, K., et al. Friction and wear characteristics of WC-Co cemented carbides in dry reciprocating sliding contact. *Wear*, 2010, vol. 268, iss. 11-12, s. 1504-1517, ISSN 0043-1648.
22. SONG, W., et al. Performance of a cemented carbide self-lubricating tool embedded with solid lubricants in dry machining. *Journal of Manufacturing Processes*, 2011, vol. 13, iss. 1, s. 8-15, ISSN 1526-6125.
23. KONYASHIN, I., RIES, B., LACHMANN, F. Near-nano WC-Co hardmetals: Will they substitute conventional coarse-grained mining grades? *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 2010, vol. 28, iss. 4, s. 489-497, ISSN 0263-4368.
24. LOVE, A., LUYCKX, S., SACKS, N. Quantitative relationships between magnetic properties, microstructure and composition of WC-Co alloys. *Journal of Alloys and Compounds*, 2010, vol. 489, iss. 2, s. 465-468, ISSN 0925-8388.
25. QIU-PING, W., et al. Fretting wear and electrochemical corrosion of well-adhered CVD diamond films deposited on steel substrates with a WC-Co interlayer. *Dia-*

- mond and Related Materials*, 2010, vol. 19, iss. 10, s. 1144-1152, ISSN 0925-9635.
26. HAM, B., ZHANG, X. High strength Mg/Nb nanolayer composites. *Materials Science and Engineering: A*, 2011, vol. 528, iss. 4-5, s. 2028-2033, ISSN 0921-5093.
 27. TEIL, K., HORI, T., MATSUMOTO, S. Enhanced deposition of cubic boron nitride films on roughened silicon and tungsten carbide-cobalt surfaces. *Thin Solid Films*, 2011, vol. 519, iss. 6, s. 1817-1820, ISSN 0040-6090.
 28. CHONG, Y.M., et al. Deposition of cubic boron nitride films on diamond-coated WC:Co inserts. *Diamond and Related Materials*, 2009, vol. 18, iss. 11, s. 1387-1392, ISSN 0925-9635.
 29. STEIN, C., et al. Cubic boron nitride based coating systems with different interlayers for cutting inserts. *Surface and Coatings Technology*, In Press, Corrected Proof, Available online, 2011, ISSN 0257-8972.
 30. PRAMET TOOLS, s.r.o. Šumperk, ČR. *Vrtání 2011*, [online], [vid. 19. května 2011]. Dostupné z: <http://www.pramet.com/download/katalog/pdf/Drills%202011%20CZ-EN%20screen.pdf>.
 31. PRAMET TOOLS, s.r.o. Šumperk, ČR. *Frézování 2010*, [online], [vid. 19. května 2011]. Dostupné z: <http://www.pramet.com/download/katalog/Milling%202010%20CZ%20prog.zip>.
 32. PRAMET TOOLS, s.r.o. Šumperk, ČR. *Soustružení 2010*, [online], [vid. 19. května 2011]. Dostupné z: <http://www.pramet.com/download/katalog/Turning%202010%20CZ%20prog.zip>.
 33. SANDVIK AB, Sandviken, Sweden. *Technical Guide – Materials – Sandvik Coromant grades*, [online], [vid. 19. května 2011]. Dostupné z: http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/downloads/tech_guide/ENG/MTG_H.pdf.
 34. PRAMET TOOLS, s.r.o. Šumperk, ČR. [online]. Dostupné z: <http://www.pramet.com/index2fa9.html?lang=cz>.
 35. SANDVIK AB, Sandviken, Sweden. [online]. Dostupné z: <http://www.coromant.sandvik.com/>.
 36. KENNAMETAL Inc. Latrobe, Pennsylvania, USA. [online]. Dostupné z: <http://www.widia.com/widia/en/index.jhtml>.
 37. KENNAMETAL Inc. Latrobe, Pennsylvania, USA. *Widia – Advances 2012 - Holemaking*, [online], [vid. 21. května 2011]. Dostupné z: http://www.widia.com/images/widia/pdfs/A-10-02470_Advances2012_A1-A213_Holemaking_mm.pdf.

38. KENNAMETAL Inc. Latrobe, Pennsylvania, USA. *Widia – Advances 2012 - IndexableMill*, [online], [vid. 21. května 2011]. Dostupné z:
http://www.widia.com/images/widia/pdfs/A-10-02470_Advances2012_B1-B59_IndexableMill_mm.pdf.
39. KENNAMETAL Inc. Latrobe, Pennsylvania, USA. *Widia – Advances 2012 - SolidEndmills*, [online], [vid. 21. května 2011]. Dostupné z:
http://www.widia.com/images/widia/pdfs/A-10-02470_Advances2012_C1-C5_SolidEndmills_mm.pdf.
40. KENNAMETAL Inc. Latrobe, Pennsylvania, USA. *Widia – Advances 2012 - Turning*, [online], [vid. 21. května 2011]. Dostupné z:
http://www.widia.com/images/widia/pdfs/A-10-02470_Advances2012_D1-D87_Turning_mm.pdf.

Seznam příloh

Příloha 1.4.1 - Složení a vlastnosti slinutých karbidů firmy ZY-Carbide

Příloha 1.5.1 - Magnetické vlastnosti SK typu WC-Co v závislosti na obsahu Co a velikosti zrn WC

Příloha 1.4.1 Složení a vlastnosti slinutých karbidů firmy ZY-Carbide¹⁰

Označení dle výrobce	Obsah Co [hm. %]	Obsah WC [hm. %]	Obsah TiC/TaC [hm. %]	Měrná hmotnost [g.cm ⁻³]	Tvrdost		Pevnost v ohybu [MPa]	Velikost zrna [μm]
					HV ₁₀	HRA		
ZY 06UF	6	94	-	14,85	2080	94,5	4300	0,5
ZY 08UF	8	92	-	14,65	1950	93,8	4400	0,5
ZY 10UF	10	90	-	14,4	1880	93	4480	0,5
ZY 12UF	12	88	-	14,1	1720	92,6	4600	0,5
ZY 15UF	15	85	-	13,9	1590	91,9	3900	0,5
ZY 06EF	6	94	-	14,9	1880	93	3500	0,8
ZY 08EF	8	92	-	14,6	1750	92,5	3600	0,8
ZY 10EF	10	90	-	14,45	1610	91,9	3700	0,8
ZY 12EF	12	88	-	14,3	1480	91,3	3800	0,8
ZY 15EF	15	85	-	14	1330	90,8	3800	0,8
ZY 20EF	20	80	-	13,15	1250	89	3500	0,8
ZY 06F	6	94	-	14,95	1635	92	2200	1,5
ZY 09F	9	91	-	14,55	1500	91,3	3000	1,5
ZY 11F	11,5	88,5	-	14,37	1400	90,5	3200	1,5
ZY 12F	12	88	-	14,32	1350	89,9	3200	1,5
ZY 13F	13	87	-	14,22	1350	90	3100	1,5
ZY 14F	14	86	-	14,12	1300	89,5	3100	1,5
ZY 15F	15	85	-	14	1250	89	3100	1,5
ZY 06M	6	94	-	15	1470	91	2620	3
ZY 08M	8,5	91,5	-	14,6	1440	90,6	2900	3
ZY 10M	10	90	-	14,5	1350	90,1	3000	3
ZY 12M	12	88	-	14,3	1250	88,8	3400	3
ZY 15M	15	85	-	14,05	1130	87,5	3720	3
ZY 20M	20	80	-	13,65	1100	87,3	3600	3
ZY 25M	25	75	-	13,15	950	85,3	3400	3
ZY 06G	6	94	-	15	1350	90,1	2800	4,5
ZY 08G	7,8	92,2	-	14,75	1300	89,5	2830	4,5
ZY 09G	9,5	90,5	-	14,45	1250	88,9	2930	4,5
ZY 10G	10	90	-	14,5	1200	88,4	3000	4,5
ZY 12G	12,2	87,8	-	14,2	1160	88	2760	4,5
ZY 06C	6	94	-	15	1250	89	2800	6
ZY 08C	8	92	-	14,71	1200	88,5	2900	6
ZY 10C	10	90	-	14,5	1160	88	3000	6
ZY 12C	12	88	-	14,3	1080	87,1	3000	6
ZY 15C	15	85	-	14,05	1060	86,7	3150	6
ZY 20C	20	80	-	13,65	930	85,1	3200	6
ZY 20T	20	77	3	13,4	905	85	3200	6
ZY 25C	25	75	-	13,15	840	83,5	3200	6
ZY 25T	25	73	3	12,9	800	83,3	3200	6
ZY 30C	30	70	-	12,75	750	83	3200	6
ZY 06K	5,7	94,3	-	15	1185	88,2	2000	8
ZY 08K	8	92	-	14,71	1130	87,5	2070	8
ZY 09K	9,5	90,5	-	14,45	1035	86,4	2200	8
ZY 15K	15	85	-	14,05	905	84,9	2350	8
ZY 20K	20	80	-	13,45	860	84,2	2500	8
ZC 25K	25	75	-	13,15	725	82,7	2200	8
ZY 30K	30	70	-	12,75	620	81,5	2070	8
ZY T15	6	79	15	11,3	1465	91	2070	-
ZY T14	8	77	15	11,4	1400	90,5	2070	-
ZY Z25	-	-	-	-	-	-	-	-
ZY T5	9	84,5	6,5	12,95	1340	90	2400	-
ZY M40	-	-	-	-	-	-	-	-
ZY S8	-	-	-	-	-	-	-	-
ZY M05	-	-	-	-	-	-	-	-
ZY W1	6	84	10	13,2	1525	91,5	2240	-
ZY W2	8	82	10	13,1	1400	90,5	2400	-
ZY T04F	-	-	-	-	-	-	-	-
ZY G3	3	97	-	15,25	1525	91,5	2480	-
ZY 6X	6	93,5	0,5	14,95	1465	91	2620	-
ZY 6A	6	92	2	14,9	1525	91,5	2620	-
ZY G6	6	94	-	15	1465	91	2620	-
ZY G8	8	92	-	14,71	1290	89,5	2830	-

Příloha 1.5.1 Magnetické vlastnosti SK typu WC-Co v závislosti na obsahu Co a velikosti zrn WC ²⁴

Označení	Velikost zrna WC [μm]	Koercitivní síla [kA.m ⁻¹]	Magnetická saturace [Tm ³ .kg ⁻³]	Obsah Co [hm. %]
UF6	-	40,8	82,8	6
UF8	-	37	113,1	8
UF10	0,6	31,5	151,5	10
UF12	0,62	26	204	12
UF14	0,59	22,5	236,3	14
UF16	0,65	18,3	317,1	16
UF18	-	17,1	355,5	18
UF20	0,56	15,6	395,9	20
UF30	0,66	9,7	591,9	30
UF40	0,61	7,3	791,8	40
UF50	0,56	6,8	997,9	50
F4	1,3	23,8	68,7	4
F6	1,27	21,5	121,2	6
F8	-	19,5	157,6	8
F10	1,07	18,6	193,9	10
F12	-	16,4	232,3	12
F14	1,17	15,8	274,7	14
F16	-	14,7	313,1	16
F18	-	13,1	353,5	18
F20	0,96	12	397,9	20
F30	0,84	9	593,9	30
F40	0,86	7	791,8	40
F50	0,96	5,5	985,8	50
M4	-	15,6	76,8	4
M6	2,66	12,7	111,1	6
M8	2,65	11,1	153,5	8
M10	2,6	10,1	193,9	10
M12	2,97	8,2	214,1	12
M14	-	7,6	268,7	14
M16	-	6,7	321,2	16
M18	3,47	6	349,5	18
M20	-	5,3	404	20
M30	-	4,6	585,8	30
M40	3,34	4	783,8	40
M50	3,27	3,3	979,7	50
C4	5,1	8,9	78,8	4
C6	5,32	7,5	117,2	6
C8	5,21	6,5	151,5	8
C10	4,77	6,3	195,9	10
C12	4,89	5,8	234,3	12
C14	5,88	5,4	276,7	14
C16	5,1	5,2	307	16
C18	5,65	4,9	343,4	18
C20	5,08	4,8	385,8	20
C30	4,86	4,6	585,8	30
C40	4,13	4	779,7	40
C50	4,71	3,3	969,6	50