



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

SLINUTÉ KARBIDY A JEJICH EFEKTIVNÍ VYUŽITÍ

CEMENTED CARBIDES AND THEIRS EFFECTIVE USE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. JIŘÍ DEMBEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. ANTON HUMÁR, CSc.

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Jiří Dembek

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303T002)**

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 diplomové práce:

Slinuté karbidy a jejich efektivní využití

v anglickém jazyce:

Cemented carbides and theirs effective use

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Diplomová práce je zaměřena na slinuté karbidy z hlediska jejich rozdělení, označování, fyzikálních, mechanických a řezných vlastností, užití a současných trendů vývoje a výroby u renomovaných špičkových producentů nástrojů a nástrojových materiálů. Cílem práce je komplexní zpracování získaných technických poznatků a zejména vyhodnocení a porovnání pracovních podmínek (druh obráběného materiálu, řezné podmínky - vc, f, ap), které vybraní výrobci doporučují pro efektivní soustružnické aplikace svých druhů slinutých karbidů.

Cíle diplomové práce:

1. Charakteristika nepovlakovaných a povlakovaných slinutých karbidů (výroba, značení, fyzikálně mechanické vlastnosti)
2. Slinuté karbidy v sortimentu výroby nejvýznamnějších domácích a světových producentů nástrojů a nástrojových materiálů
3. Hodnocení řezivosti nástroje
4. Doporučené pracovní podmínky pro efektivní využití slinutých karbidů

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 Cutting - A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4-6.
2. BROOKES, K.J.A. Hardmetals and other Hard Materials. Second Edition. Shrewsbury, England: European Powder Metallurgy Association, 1992. 198 p. ISBN 0 9508995 3 4.
3. BROOKES, K.J.A. World Directory and Handbook of Hardmetals and Hard materials. Sixth Edition. East Barnet Hertfordshire, United Kingdom: International Carbide Data, 1996. 220+528 p. ISBN 0 9508995 4 2.
4. ČSN-ISO 3685. Zkoušky trvanlivosti při soustružení jednobřítým nástrojem. Praha: Federální úřad pro normalizaci a měření, 1993.
5. HUMÁR, Anton. Materiály pro řezné nástroje. MM publishing s. r.o., Praha. 2008. 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
6. 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](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/mat_pro_rez_nastroje/materialy_pro_rezne_nastroje_v2.pdf).
7. HUMÁR, A., PÍŠKA, M. Materiály pro řezné nástroje. MM Průmyslové spektrum - Speciální vydání. Zář 2004. ISSN 1212-2572., s. 84-96.
8. KOČMAN, K. Speciální technologie obrábění. Druhé přepracované a doplněné vydání. Brno: PC-DIR Real, s.r.o. 1998, 213 s. ISBN 80-214-1187-2.
9. Technické materiály a prospekty firem Ceratizit, Iscar, Kennametal, Korloy, Mitsubishi, Pramet Tools, Sandvik Coromant, Seco, Walter, Widia.

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

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne 20.11.2009

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato diplomová práce je zaměřena na řezné nástroje vyráběné ze slinutých karbidů. Charakterizuje značení, výrobu a vlastnosti nepovlakovaných a povlakovaných slinutých karbidů a přibližuje nejnovější trendy v povlakování. Cílem této práce je porovnání sortimentu dvou významných světových výrobců a jednoho českého výrobce, z hlediska používaných technologií výroby, mikrostruktury produktů, typů povlaků, metod povlakování a možnosti jejich použití. Ze získaných technických poznatků, byly vyhodnoceny a porovnány pracovní podmínky, které vybraní výrobci doporučují pro efektivní soustružnické aplikace svých nástrojů. Doporučené řezné rychlosti byly zjišťovány pro určitý typ obráběného materiálu dle ISO, šířky záběru ostří a pro určité hodnoty posuvů na otáčku.

Klíčová slova

Slinuté karbidy, povlakování slinutých karbidů, řezné nástroje, mikrostruktura, efektivní využití, doporučené řezné podmínky, řezná rychlost.

ABSTRACT

This diploma thesis is aimed on cutting tools made of cemented carbides. It characterizes marking, production and properties of non - coating and coating cemented carbides and describes the latest trends in coating. Target of this diploma thesis is comparison of assortment of two important world's producers and one Czech producer in term of used productive technologies, products microstructure, coatings types, coatings methods and possibilities of their usage. Cutting data were evaluated and compared from obtained technical knowledge, which were recommended by chosen producers for effective turning application of their cutting tools. Recommended cutting speeds were found out for specific type of cutting material according to ISO, width depth of cut and for specific values of feeds per revolution.

Key words

Cemented carbides, coating of cemented carbides, cutting tools, microstructure, effective use, cutting data, cutting speed.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

DEMBEK, Jiří. *Slinuté karbidy a jejich efektivní využití: Diplomová práce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 101 s., 8 s. příloh. Vedoucí práce: doc. Ing. Anton Humár, CSc.

Prohlášení

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

27.5.2010

.....
Jméno a příjmení diplomanta

Poděkování

Děkuji tímto doc. Ing. Antonu Humárovi, CSc. za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat Mgr. Markétě Dembkové za gramatickou úpravu textu, Markétě Nardelliové za pomoc s překlady zahraniční literatury a rodičům za podporu a umožnění vysokoškolského studia.

OBSAH

Úvod	9
1 Charakteristika nepovlakovaných a povlakovaných slinutých karbidů	12
1.1 Chronometrický vývoj slinutých karbidů	12
1.2 Rozdělení a značení slinutých karbidů	15
1.3 Výroba slinutých karbidů	17
1.3.1 Výroba a příprava prášků	18
1.3.2 Lisování a formování polotovarů	20
1.3.3 Slinování	22
1.3.4 Slinování funkčně gradientních materiálů	26
1.3.5 Opracování slinutých karbidů po procesu slinování	29
1.3.5.1 Obrábění nepovlakovaných slinutých karbidů	29
1.3.5.2 Obrábění a úprava povrchu před povlakováním SK	29
1.3.6 Povlakování slinutých karbidů	32
1.3.6.1 Depoziční metoda PVD a její modifikace	35
1.3.6.2 Depoziční metoda CVD a její modifikace	38
1.3.6.3 Vývoj v oblasti moderních povlaků	39
1.3.7 Závěrečná kontrola	46
1.4 Fyzikální vlastnosti slinutých karbidů	46
1.4.1 Fyzikální vlastnosti slinutých karbidů typu WC – Co	46
1.4.2 Fyzikální vlastnosti slinutých karbidů typu WC – TiC - Co	47
1.5 Mechanické vlastnosti slinutých karbidů	48
1.5.1 Mechanické vlastnosti slinutých karbidů typu WC – Co	48
1.5.2 Mechanické vlastnosti slinutých karbidů typu WC – TiC – Co	50
1.5.3 Mechanické vlastnosti slinutých karbidů typu WC – TiC – TaC.NbC - Co	51
1.6 Vlastnosti povlaků slinutých karbidů	51
2 Slinuté karbidy v sortimentu výroby nejvýznamnějších domácích a světových producentů nástrojů a nástrojových materiálů	54
2.1 Sortiment společnosti PRAMET TOOLS	54
2.1.1 Materiály pro soustružení ze slinutých karbidů	54
2.1.2 Materiály pro frézování ze slinutých karbidů	57
2.1.3 Doporučené řezné podmínky materiálů pro soustružení	61
2.2 Sortiment firmy SANDVIK COROMANT	65
2.2.1 Materiály pro soustružení ze slinutých karbidů	65
2.2.2 Materiály pro frézování ze slinutých karbidů	69
2.2.3 Doporučené řezné podmínky materiálů pro soustružení	72
2.3 Sortiment firmy WIDIA	77
2.3.1 Materiály pro soustružení ze slinutých karbidů	77
2.3.2 Materiály pro frézování ze slinutých karbidů	80
2.3.3 Doporučené řezné podmínky materiálů pro soustružení	83
2.4 Porovnání doporučených řezných podmínek významných výrobců nástrojových materiálů	86

3	Hodnocení řezivosti nástroje	90
3.1	Opotřebení břitu nástroje	91
	Závěr	94
	Seznam použitých zdrojů	95
	Seznam použitých zkratk a symbolů.....	99
	Seznam příloh	101

ÚVOD

Ve spektru technických věd je technologie na předním místě všech technických oborů. Technické vědy už od počátku slouží k prospěchu lidstva a jdou ruku v ruce s vývojem lidské společnosti. Přispívají nejen k vyššímu stupni hmotného blahobytu, ale také k rozvoji kultury apod.

Strojírenská technologie nemá tak dlouhou historii jako je tomu u jiných vědních oborů, ovšem aplikuje jejich poznatky, a to zejména z fyziky, chemie a matematiky, k zdokonalování výrobních procesů. Velká část vývoje strojírenské technologie - především technologie obrábění, probíhala v 18. a 19. století, ve stejné době jako průmyslová revoluce. Několik tisíciletí před tím byla výroba zbraní, nástrojů a součástí zaměřena pouze na odlévání a kování. K největšímu rozvoji obrábění ovšem došlo až ve 20. století, což přispělo k podstatně vyšší přesnosti vyráběných součástí i celých výrobních celků. Neustálá nutnost vyrábět stále ve větším množství pomocí vyšší produktivity přivedla technologii na dnešní velmi vysokou úroveň.

Na požadavek po vysoké produktivitě bylo nutné reagovat nejen zlepšující se konstrukcí obráběcích strojů a zařízení, ale také novými nástroji. A to jak z hlediska konstrukčního, tak i materiálového. V průběhu 19. století se pro výrobu řezných nástrojů používala pouze legovaná a nelegovaná uhlíková ocel. Vzhledem k tepelnému zpracování měl tento materiál poměrně velkou tvrdost, ovšem jeho tepelná stálost byla velmi špatná a tak docházelo k jeho měknutí i při velmi malých řezných rychlostech.

Za první použitelný řezný materiál je považována až tzv. „Mushetova ocel“, která zdvojnásobila dosavadní produkci při soustružení. Její vlastnosti se již přiblížily vlastnostem rychlořezné oceli. Legujícím prvkem této oceli byl wolfram. Tímto prvkem se dosáhlo schopnosti řezného materiálu odolávat vyšším teplotám, vznikajícím při procesu řezání. Objevení Mushetovi oceli bylo podnětem k dalšímu vývoji legovaných ocelí a bádání nad metodami tepelného zpracování u nástrojových ocelí ¹.

Tyto kroky vedly ještě k výkonnějším řezným materiálům, které nyní dosahovaly vyšší tvrdosti za tepla. Z původních 250 °C na víc než 600 °C. Nárůst výkonnosti umožnil rozvoj nově vzniklých průmyslových odvětví, jako například automobilový průmysl a stavba lodí. Nové nástroje byly označeny jako (HSS) – nástroje z rychlořezné oceli. Nože z rychlořezné oceli s broušenou řeznou částí byly nejčastěji používanými nástroji. Díky jejich relativně jednoduchému ostření se staly základem pro obrábění na soustruzích ¹.

Frederick Taylor a Maunsel White provedli mnoho pokusů, ze kterých vyvodili závěry, které umožnily nejen značné navýšení parametrů řezání, ale také, což bylo zásadní, současně prodloužily trvanlivost břitů nástrojů. F. Taylor také zformuloval teorii trvanlivosti břitů, která se využívá i v dnešní době ¹.

Kolem roku 1915 se začaly používat slévárenské slitiny. Takto se označují nezelezné slitiny, které obsahují především kobalt, chrom, wolfram atd. Tyto druhy slitin měly ve svém složení přibližně 50 % tvrdých karbidů. Označení těchto slitin bylo různorodé – například Stellit, Speedaloy, Tungaloy. Jejich tvrdost byla velmi vysoká a udržovaly ji i při teplotách okolo 800 °C. Vyni-

kaly odolností proti abrazivnímu opotřebení, na druhou stranu byly velmi křehké¹.

Slévárenské slitiny jsou ve vývoji předchůdcem slinutých karbidů, a to nejen z hlediska historického, ale i složením, užitnými vlastnostmi a dokonce i způsobem použití – pájení břitů na držáky z uhlíkové oceli apod.

V porovnání s tehdejšími HSS – nástroji měly výrazně lepší použitelné řezné podmínky, ovšem jen poloviční houževnatost.

Vedle vývoje nových materiálů stále docházelo ke zlepšování rychlořezných ocelí pomocí přídavných legujících prvků. Okolo roku 1930 se objevila rychlořezná ocel s kobaltovými přísadami, která byla použitelná pro obrábění širokého spektra nejrůznějších materiálů, ať už to byl hliník nebo hořčík¹.

Délka obráběcího procesu vytvářela tlak na vývoj stále lepších strojů, nástrojů a jejich materiálů. Při vývoji nových nástrojů byla nutnost zabezpečit také dostatečnou stabilitu a tuhost strojů, aby bylo možné dosahovat požadovaných přesností.

Převratným objevem se stalo využití slinutého karbidu jako nástroje resp. části nástroje pro obrábění. Slinuté karbidy mají nejvyšší modul pružnosti, ohybovou pevnost a lomovou houževnatost, proto se používají pro obrábění vysokými posuvovými rychlostmi a pro přerušované řezy. Nízká termochemická stabilita je neumožňuje aplikovat pro vyšší řezné rychlosti. Koncem 60. let 20. století se začaly slinuté karbidy povlakovat termochemicky stabilními tvrdými povlaky z karbidů, nitridů, oxidů a jejich kombinací. Tyto povlaky rozšiřují spektrum použití slinutých karbidů na všechny aplikace při vysokých posuvových i řezných rychlostech, které umožňují velké úběry materiálu a mohou být použity i pro přerušované řezy.

Cermet, jako materiál vhodný pro řezné nástroje se objevuje v 30. letech 20. století. Název cermet vznikl složením prvních tří písmen z anglických výrazů pro keramiku (ceramics) a kov (metal). Tento materiál by měl vykazovat mechanické vlastnosti, které jsou vhodnou kombinací tvrdosti keramiky a houževnatosti kovu. Skutečnost se bohužel podstatně liší od tohoto původního záměru, protože takovýto ideální materiál se zatím nepodařilo vyrobit. Současné cermety se používají pro vyšší posuvové rychlosti, než například řezná keramika a pro řezné rychlosti pohybující se na úrovni povlakovaných slinutých karbidů. Vzhledem k jejich nižší houževnatosti se ovšem omezují na lehké a střední řezy (při vyšších posuvech dochází až k plastickému porušení břitu nástroje). Jsou vhodné pro obrábění korozivzdorných ocelí.

Jako další průlomový materiál byla ve druhé světové válce v Německu vyvinutá řezná keramika, která měla být náhradou za slinuté karbidy. Na trh s řeznými nástroji se ovšem tento materiál dostal až v roce 1954. Řezná keramika na bázi Al_2O_3 se využívá pro obrábění vysokými řeznými rychlostmi a nízkými posuvovými rychlostmi, protože má vysokou tvrdost za tepla (až do 1600 °C) a vysokou termochemickou stabilitu, ovšem nízkou houževnatost. Řezná keramika na bázi Si_3N_4 , která byla vyvinuta poměrně nedávno, má vyšší houževnatost, což umožňuje použití vyšších posuvových rychlostí než u předchozího typu. Řezná keramika je výborným nástrojovým materiálem pro

obrábění součástí z šedé litiny, ale nedosahuje příliš dobrých výsledků při obrábění ocelí a tvárných litin¹.

Supertvrdé rezné materiály, mezi něž můžeme zařadit dva synteticky vyráběné materiály, a to polykrystalický diamant a kubický nitrid boru, se objevily na trhu s obráběcími nástroji až v polovině 70. let minulého století. Ještě dříve se krystaly diamantu používaly do brousicích kotoučů. Vzhledem k jejich vynikajícím mechanickým vlastnostem, je možné použít polykrystalický diamant a polykrystalický nitrid boru jako výhodné rezné nástrojové materiály, zejména pro speciální aplikace. Polykrystalický diamant je možno doporučit, vzhledem k jeho nízké teplotní stálosti, pro obrábění všech neželezných kovů (slitiny hliníku, mědi, titanu) a nekovových materiálů (keramika, sklolamináty, grafit, sklo apod.).

Vývoj nových rezných materiálů, které by měly lepší odolnost proti opotřebení a zároveň umožnily stálé zvyšování rezných parametrů, je obtížný a zabývá se jím mnoho vědeckých týmů na celém světě. V současné době však nelze očekávat objev zcela nového převrtaného rezného materiálu, proto se pozornost spíše ubírá směrem k zdokonalování technologie výroby, zlepšení vlastností a specifikace optimálního využití již existujících materiálů. Možností jak dosáhnout lepších vlastností u těchto materiálů je mnoho, například zjemněním zrnitosti tvrdých fází – vyšší pevnost, houževnatost, výrobou materiálů s rovnoměrnými strukturami bez defektů, novými druhy povlaků, způsoby povlakování, atd.

Tato diplomová práce je z celého zmiňovaného spektra nástrojových materiálů zaměřena na, v dnešní době nejrozšířeněji používaný rezný materiál, slinuté karbidy. Vychází z dostupné odborné literatury, norem, odborných českých i zahraničních článků a z nejnovějších katalogů špičkových světových výrobců nástrojových materiálů a rezných nástrojů, publikovaných na webových stránkách. Popisuje slinuté karbidy z hlediska jejich rozdělení, označování, fyzikálních, mechanických a rezných vlastností, užití a současných trendů vývoje a výroby. Je koncipována jako komplexní zpracování získaných technických poznatků a zejména vyhodnocení a porovnání pracovních podmínek (druh obráběného materiálu, rezné podmínky, apod.), které vybraní výrobci doporučují pro efektivní aplikace svých druhů slinutých karbidů^{1, 21, 30}.

1 CHARAKTERISTIKA NEPOVLAKOVANÝCH A POVLAKOVANÝCH SLINUTÝCH KARBIDŮ

1.1 Chronometrický vývoj slinutých karbidů

Mnoho vynálezců a inženýrů, se na přelomu 19. a 20. století pokoušelo vyrobit umělý diamant, to se jim sice nepodařilo, nicméně objevili materiály – karbidy, boridy a silicidy, které vykazovaly velkou tvrdost a rovněž měly vysokou teplotu tavení. Z těchto látek měl zejména karbid wolframu mnoho charakteristických vlastností, které byly podobné vlastnostem některých kovů. K jeho komerčnímu využití nejprve došlo pro drátové průvlaky vyrobené odléváním. Vzniklé produkty ovšem byly velmi křehké a z hlediska průmyslového využití nepoužitelné.

Na počátku 20. století se podařilo z wolframového prášku vyrobit žhavicí vlákno. Tímto se započal rozvoj vědního oboru prášková metalurgie, který řešil problém výroby řezných materiálů na bázi karbidu wolframu, jež byly v té době až nevídaně tvrdé a odolné proti opotřebení.

Jeden z prvních znalců v oboru práškové metalurgie na začátku dvacátých let, Karl Schröter, ohřál práškový wolfram rozmíchaný s uhlíkem, dosáhl tak práškového karbidu wolframu mikrometrické zrnitosti. Zjistil také, že pokud se takto vyrobený WC smíchá důkladně s určitým množstvím kovu z trojice Fe, Co, Ni, (obsahem do 10 %) a slisovaný celek se ohřívá nad teplotu 1300 °C, získá se výrobek s poměrně nízkou pórovitostí, velmi vysokou tvrdostí a pevností. Materiál se skládal z rovnoměrně rozložených tvrdých zrn WC, které byly spojeny v celek houževnatým kovem. Později výzkum prokázal, že jako pojící kov je nejvhodnější kobalt. Soubor zjištěných mechanických vlastností předurčil tento materiál k použití pro řezné nástroje²¹.

Metalurgická firma Krupp v roce 1926 zařadila slinutý karbid typu WC - Co do průmyslové výroby. V této firmě v roce 1929 bylo experimentálně dokázáno, že vlastnosti vyprodukovaného materiálu značně ovlivňuje velikost zrna karbidu wolframu. S krátkým odstupem zde byl vyvinut materiál s jemnou zrnitostí karbidické fáze, které bylo dosaženo přidáním malého množství VC a TaC a zvýšením obsahu kobaltu. Účelem přidávání těchto karbidů bylo zabránění růstu zrn během slinování. Snižováním zrnitosti slinutého karbidu vzrůstá trvanlivost nástrojů²¹.

I když na počátku 30. let minulého století dosahovaly nástroje vyrobené ze slinutých karbidů typu WC - Co výtečných výsledků při obrábění litin a bavevných kovů (2x až 3x vyšší řezné rychlosti než nástroje z HSS), nebyly vhodné pro obrábění ocelí. Tudíž se vývoj tehdejších výrobců zaměřil na další typy karbidu, hlavně TiC, TaC a NbC. V roce 1931 přišel na trh slinutý karbid na bázi dvou karbidů (WC - 86,5 %, TiC - 8,5 %, pojivo Co - 5 %), v roce 1932 další typy se složením: WC - (77÷74) %, TiC - (16÷14) %, Mo₂C - 2 %, pojivo Co - (5÷10) %, v roce 1939 první jemnozrnný slinutý karbid s příměsí VC a TaC jakožto inhibitory růstu zrn²¹.

Během 2. světové války bylo vyvinuto velké úsilí k úsporám wolframovými materiály a k jejich co největšímu využití pro veškeré vyráběné slinuté kar-

bidy. Díky tomu vědci neměli dostatek wolframu, který potřebovali pro další výzkum v této oblasti, a proto se zaměřili na vývoj slinutých karbidů, jež neobsahují wolfram.

V USA byl již slinutý karbid, který neobsahoval wolfram, vyroben v roce 1930. Byl to materiál na bázi TaC + Ni, který byl používán zejména na obrábění oceli, kvůli jeho vyšší odolnosti proti opotřebením, než vykazovaly tehdejší slinuté karbidy na bázi WC - Co. V dalších letech došlo v USA k širokému uplatnění slinutého karbidu typu WC - TiC - TaC.NbC - Co, obdobnými materiály byly později nahrazeny i slinuté karbidy typu WC - TiC - Co v Evropě ²¹.

V roce 1946 ve Francii došlo k pokusům aplikovat malé množství chromu a vanadu do slinutých karbidů, které mělo zajistit řízený růst zrna během slinování. Z výsledků vyplynulo, že kombinace Cr/V v poměru 0,5/1,0÷1,5/1,0 výrazně omezuje růst velikosti zrna ²¹.

Vývoj slinutých karbidů se odvíjel dvěma směry, a to výzkumem materiálů na základě karbidu wolframu a materiálů, které tento karbid nesměly obsahovat. Z těchto materiálů se následně vyvinula samostatná skupina řezných nástrojů označována jako cermety.

Výrazným skokem v oblasti slinutých karbidů byly jemnozrné materiály s rovnoměrnými karbidickými zrny, které se objevily v produkci v 60. letech 20. století. Hlavní výhodou těchto jemnozrných materiálů byla jejich vyšší pevnost bez ztráty tvrdosti.

V 70. letech minulého století vyrábělo, s větším či menším úspěchem, jemnozrné slinuté karbidy několik firem v USA. Jednou z nich byla firma V. R. Wesson, která přinesla na trh materiál s tvrdostí 91,5 HRA, jenž obsahoval 10 % Co a 0,5 % inhibitoru růstu zrna ²¹.

Evropa ve vývoji za USA nezaostala a tak firma Wimet z Velké Británie mohla v roce 1972 přijít s novými submikrometrovými materiály, u kterých se velikost zrna pohybovala v rozsahu (0,5÷0,9) μm . Této zrnitosti bylo dosaženo (0,50÷0,75) % Cr_3C_2 jako inhibitoru. Ovšem ve struktuře takto připravených materiálů se nadále objevovaly některá zrna o velikosti větší než 1 μm . To se povedlo napravit v roce 1973 japonské firmě Sumitomo. Ve své sérii superjemnozrných materiálů se zrnitostí do 0,7 μm . Firma používala jako inhibitor TaC+ Cr_3C_2 v rozmezí (1,0÷1,5) %. Veškeré tyto slinuté karbidy díky své zrnitosti mají, při zachování stejné tvrdosti, lepší hodnoty mechanických vlastností ²¹.

Velký rozvoj submikrometrových slinutých karbidů nastal v osmdesátých a devadesátých letech 20. století, kde na špici tohoto vývoje byli japonscí výrobci nástrojů.

Historicky asi nejdůležitějším přínosem při zkoumání slinutých karbidů bylo zjištění stechiometrického obsahu uhlíku v karbidu wolframu, který činí 6,12 hmotnostních procent, a možnost řízení obsahu uhlíku. Přesnost řízení obsahu uhlíku je v současné době upřesněna na rozmezí (0,02÷0,03) % ²¹.

Tab.1.1 Vývoj slinutých karbidů, jejich povlaků a povlakování ^{21, 50}

Rok	Nový materiál, technologie
1923-1925	WC – Co
1929-1931	WC - TiC - Co
1930-1931	WC – TaC (VC, NbC) - Co
1933	WC – TiC – TaC (NbC) - Co
1938	WC – Cr ₃ C ₂ – Co
1947-1970	Submikrometrové WC – Cr ₃ C ₂ – Co
1956	WC – TiC – TaC (NbC) – Cr ₃ C ₂
1959	WC – TiC – HfC – Co
1965-1975	Vysokoteplotní izostatické lisování (HIP)
1965-1978	TiC, TiN, Ti(C,N), HfC, HfN, Al ₂ O ₃ , CVD povlaky na SK WC – Co
1968-1969	WC – TiC – TaC (NbC) – HfC – Co
1969	CVD povlak TiC na vyměnitelné břitové destičce
1969-1971	Termochemické povrchové kalení
1969-1979	Komplexní karbidy s přísadou Ru
1971	CVD povlak Al ₂ O ₃
1972	Submikrometrový slinutý karbid WC – Co
1973	Vícevrstvý CVD povlak TiC+Ti(C,N) TiN
1973-1978	Vícevrstvé povlaky (karbidy, karbonitridy/nitridy, vícenásobné karbidy/karbonitridy/nitridy/oxidy)
1974-1977	Vrstvy polykrystalického diamantu na slinutých karbidech na bázi WC – Co
1978	PVD povlaky TiC a TiN (iontová implantace)
1981	Vícenásobné tenké povlaky typu Al(O, N)
1987-1989	PVD povlaky TiAlN
1992-1996	PACVD povlaky, CVD diamantové povlaky
1995	Funkčně gradientní slinuté karbidy (gradientní struktura)
1995-1996	CVD povlaky kubického nitridu boru – laboratorní vývoj
1999	PVD povlaky TiB ₂
2000	PVD povlaky TiN/TiCN/MoS ₂ , TiAlN/WC - C
2004	PVD vícevrstvé TiAlN nano - povlaky
2005	PVD povlaky AlCrN
2007	PVD povlaky Al ₂ O ₃ , (AlCr) ₂ O ₃

1.2 Rozdělení a značení slinutých karbidů

Slinuté karbidy jsou v současné době nejrozšířenějším rezným materiálem. Rozdílnost specifických vlastností jednotlivých typů slinutých karbidů, bylo nutné nějakým způsobem popsat a označit s všeobecnou platností. Proto byl pro ně vyvinut kvalifikační systém ISO. Podle normy ČSN ISO 513 se slinuté karbidy označují symboly:

- HW – slinuté karbidy s obsahem primárního WC, pojivem Co a zrnitostí větší než 1 μm ,
- HF - slinuté karbidy s obsahem primárního WC, pojivem Co a zrnitostí menší než 1 μm ,
- HC - povlakované slinuté karbidy.

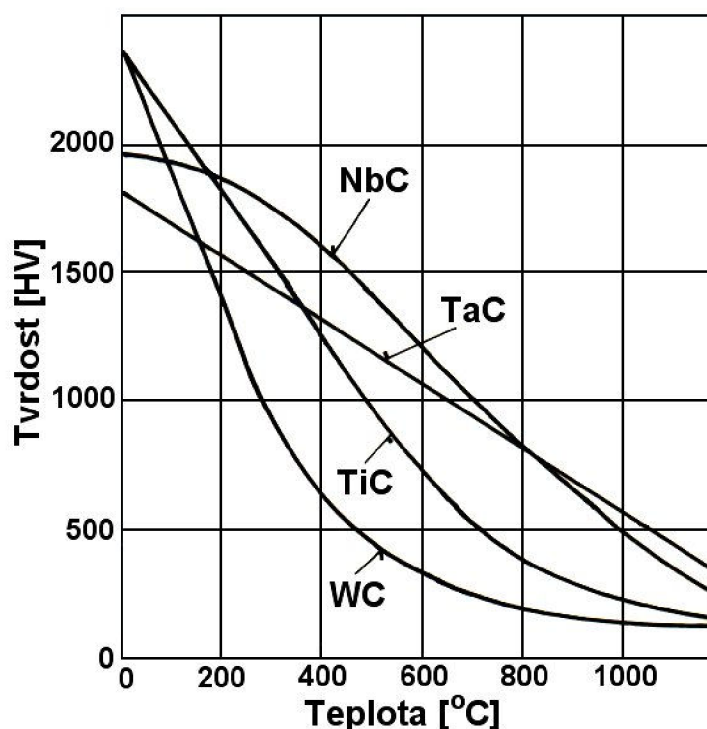
Možnosti použití slinutých karbidů znázorňuje rozdělení do šesti, barevně a písmeny, rozlišených skupin (viz tab. 1.2). Podskupiny se označují dvoumístným číslem, vyjadřující jejich základní mechanické vlastnosti. Obecně přitom platí, že se vzrůstajícím číslem podskupiny klesá houževnatost, pevnost v ohybu a roste otěruvzdornost, tvrdost. Druhy nepovlakovaných slinutých karbidů s vyšším číselným označením se využívají pro střední a těžké obrábění a hrubování. Jejich vyšší houževnatost jim umožňuje užití pro vyšší posuvové rychlosti i při přerušovaném řezu ^{1, 13, 21, 30}.

Tab.1.2 Základní rozdělení slinutých karbidů ^{8, 13, 21, 30, 38, 44}

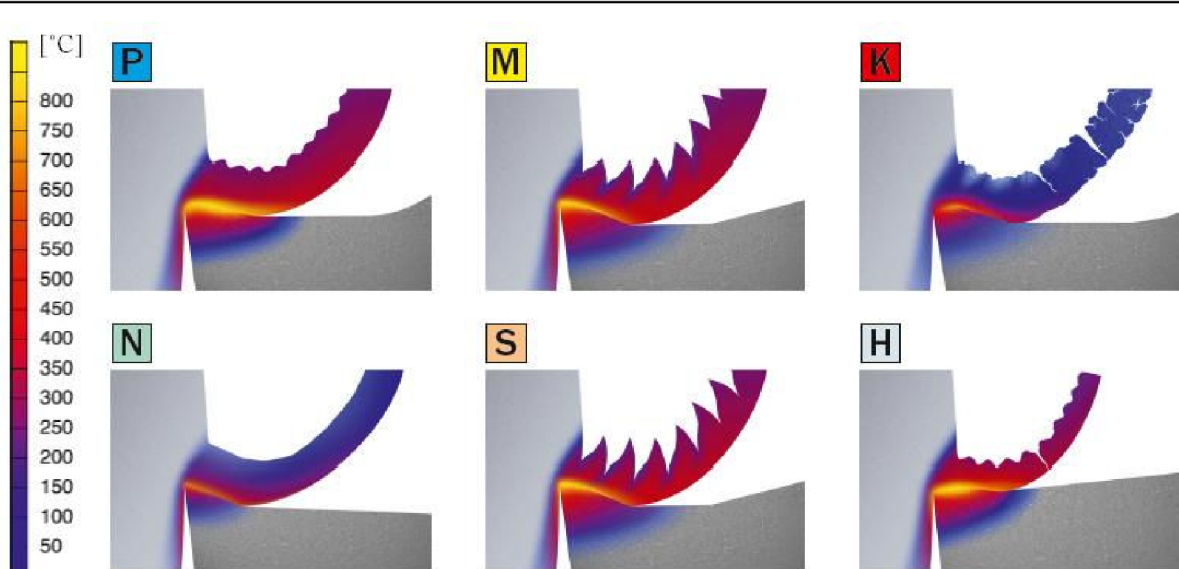
Skupina	Podskupiny	Základní chemické složení	Efektivní aplikace pro obráběný materiál
P	P01, P05, P10, P15, P20, P25, P30, P35, P40, P45, P50	WC (30÷82)% +TiC (8÷64)% +Co (5÷17)% + (TaC.NbC)	Slinuté karbidy pro obrábění materiálů, dávající dlouhou, plynulou třísku: Nelegovaná, nízkolegovaná a vysoce legovaná ocel, litá ocel, automátová ocel, nástrojová ocel, feritická a martenzitická korozivzdorná ocel.
M	M01, M05, M10, M15, M20, M25, M30, M35, M40	WC (79÷84)% +TiC (5÷10)% +TaC.NbC (4÷7)% +Co (6÷15)%	Slinuté karbidy pro obrábění materiálů, dávající dlouhou a střední třísku: Austenitická a feriticko austenitická ocel, korozivzdorná, žáruvzdorná, žárovevná, nemagnetická a otěruvzdorná ocel.
K	K01, K05, K10, K15, K20, K25, K30, K35, K40	WC (87÷92)% +Co (4÷12)% + (TaC.NbC)	Slinuté karbidy pro obrábění materiálů, dávající krátkou, drobnou třísku: Nelegovaná i legovaná šedá litina, tvárná litina, temperovaná litina.
N	N01, N05, N10, N15, N20, N25, N30		Slinuté karbidy pro obrábění neželezných materiálů: Slitiny mědi a hliníku, duroplasty, fibry, plasty s vlákninou, tvrdá guma.
S	S01, S05, S10, S15, S20, S25, S30		Slinuté karbidy pro obrábění: Žáruvzdorné slitiny na bázi Fe, superslitiny na bázi Ni nebo Co, Titanu, Ti slitiny.
H	H01, H05, H10, H15, H20, H25, H30		Slinuté karbidy pro obrábění: Zušlechtné oceli s pevností nad 1500 MPa, kalené oceli HRC 48÷60, tvrzené kokilové litiny HSh 55÷58

Kvalifikace ISO je dobrou pomůckou, když je zapotřebí vybrat vhodný řezný materiál pro určitý případ použití. U většiny výrobců se tento systém využívá jako základní rozdělení při volbě optimálního řezného nástroje. Někteří ovšem nerozdělují své výrobky do šesti, ale do tří až pěti skupin, přičemž například skupinu obráběných materiálů **N** zařazují pod skupinu **K**, **S** do skupiny **M** a **H** do skupiny **P**. Dělení do základních tří skupin přetrvává podle starší normy ISO. Podrobnější informace o požadovaných vlastnostech určitých druhů slinutých karbidů je nutné zjistit z dalšího popisu jednotlivých výrobců řezných materiálů.

Chemické složení se může výrazně lišit i v jednotlivých skupinách, hlavně v množství přísad kovů (V, Nb, Ta, Ti, Hf) a karbidů (VC, Cr₃C₂, NbC, TaC, Zr/HfC) do výchozí práškové směsi, které mají za úkol zajistit zpomalení růstu zrna WC. Zařazení do skupin odpovídá i schopnost zachování tvrdosti za tepla u tvrdých strukturních složek obsažených v určitém slinutém karbidu. Například slinuté karbidy skupiny **K** mají jako jedinou tvrdou strukturní složku WC, který s rostoucí teplotou velmi rychle ztrácí svou tvrdost, rychleji než je tomu u jiných karbidů (obr. 1.1). Díky této vlastnosti skupina **SK** není vhodná k obrábění materiálů, které vytvářejí dlouhou třísku, jelikož dlouhá tříška má větší plochu styku s čelem nástroje a tím jej více tepelně zatěžuje (obr. 1.2)²¹.



Obr. 1.1 Závislost tvrdosti karbidů na teplotě²⁴



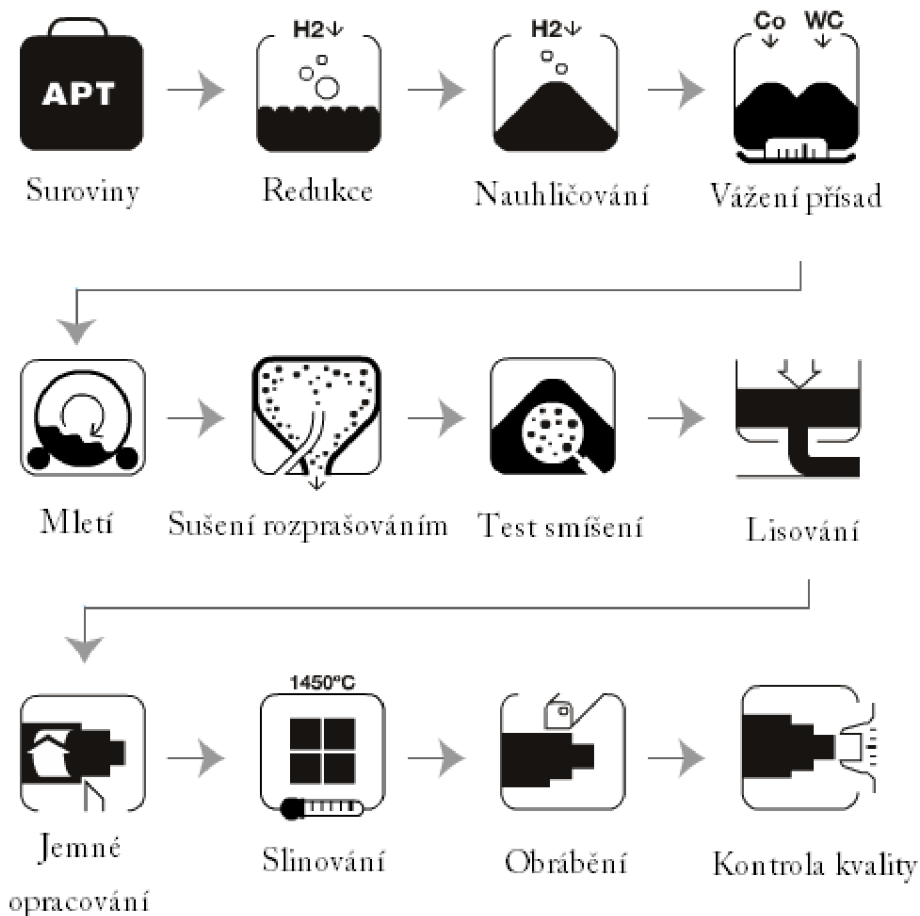
Obr. 1.2 Modely utváření třísky a tepelné bilance v průběhu obrábění, pro slinuté karbidy jednotlivých skupin ⁴⁴

1.3 Výroba slinutých karbidů

Výroba slinutých karbidů je realizována technologií práškové metalurgie. Celý proces sestává z mnoha operací, které musí být pro dosažení požadovaných vlastností, mikrostruktury apod., pečlivě prováděny a kontrolovány. Struktura a složení mají rozhodující význam na kvalitu výrobku – výkonnost, která je při obrábění požadována. Tolerance obsahu WC, Co a dalších karbidů jsou velice úzké a podléhají přísné kontrole. Výsledná struktura slinutého karbidu by měla být homogenní a reprodukovatelná ^{1,23}.

Základem výroby slinutých karbidů, používaných na řezné nástroje, je lisování směsi prášku tvrdých karbidických částic s práškem pojícího kovu a její následné slinování. Celý postup (obr. 1.3) lze rozdělit do následujících hlavních fází:

- výroba, příprava prášků,
- lisování polotovarů,
- slinování,
- obrábění polotovarů,
- povlakování – u povlakovaných slinutých karbidů.



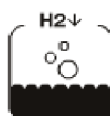
Obr. 1.3 Proces přípravy prášků a výroby nepovlakovaných slinutých karbidů ⁴⁰

1.3.1 Výroba a příprava prášků



Suroviny

Wolframit a scheelit jsou nejpoužívanějšími nerosty, obsahující wolfram, v produkci slinutých karbidů. Z koncentrátu se získává roztok parawolframanu amonného (Ammonium Paratungstate – APT), který je jednou z počátečních surovin pro výrobu. Prvním krokem této výroby je tzv. mokvý proces, zahrnující sekvence postupných rozpouštění, precipitací a separací. Získaný oxid wolframový (WO_3) je mimořádně čistý s minimálními stopami nečistot. Stupeň znečištění bývá kontrolován před dalším postupem ⁴⁰.



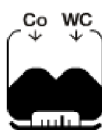
Redukce

Po redukci oxidu wolframového ve vodíku se získává čistý wolframový prášek. Různými obměnami redukčního procesu lze regulovat velikost zrna prášku wolframu. Například pro získání jemnozrnného wolframového prášku je zapotřebí redukce s velkým přebytkem vodíku, za nízké teploty s malým přísunem oxidu wolframového. Hrubšího zrna lze dosáhnout opačným postupem. Vyroběný prášek opět podléhá přísné kontrole ⁴⁰.



Nauhličování

Wolframový prášek se nejprve smíchá se sazemí v přesně stanoveném množství. Směs je následně ve vysokofrekvenčních pecích zahřívána na vysokou teplotu (1700 °C) ve vodíkové atmosféře. Proces nauhličování (karburace) probíhá do doby vzniku prášku karbidu wolframu (WC). Takto vyrobený karbid má určité vlastnosti, které dále určují jeho použití např. velikost zrna, čistota. Obdobně se vyrábějí i další karbidy (TaC, NbC) potřebné pro výrobu slinutých karbidů. Karbid titanu (TiC) se nevyrábí samostatně, ale společně s karbidem wolframu při teplotách vyšších než 2000 °C. Produktem je potom požadovaný směsný karbid ((Ti, W)C) ^{1, 40}.



Vážení přísad

Rozdílné typy práškových karbidů a pojící prášek kobaltu (Co) jsou považovány jako surovina pro výrobu slinutých karbidů. Po pečlivém vážení WC, Co a dalších přísad, dle stanoveného složení a požadovaného druhu slinutého karbidu, se směs mele za mokra, tzn. v prostředí inertních organických kapalin ⁴⁰.



Mletí

Mletí má za účinek zmenšování velikosti zrna prášků a také homogenitu směsi, která je důležitá z hlediska vlastností slinutého karbidu po slinování. Během mletí zrna kobaltu a karbidů k sobě přilnou díky svému reaktivnímu povrchu. Mokré mletí napomáhá k disperzi jednotlivých částic. Proces probíhá ve válcových (kulových) mlýnech tzv. attritory, které jsou naplněny tělísky ze slinutých karbidů, aby nedošlo k znečištění směsi. Tyto tělísky (kuličky) rozmělnují zrna karbidů a pojícího kovu. Mletí je časově nejnáročnější proces během výroby slinutých karbidů, může trvat i několik dnů ^{1, 40}.

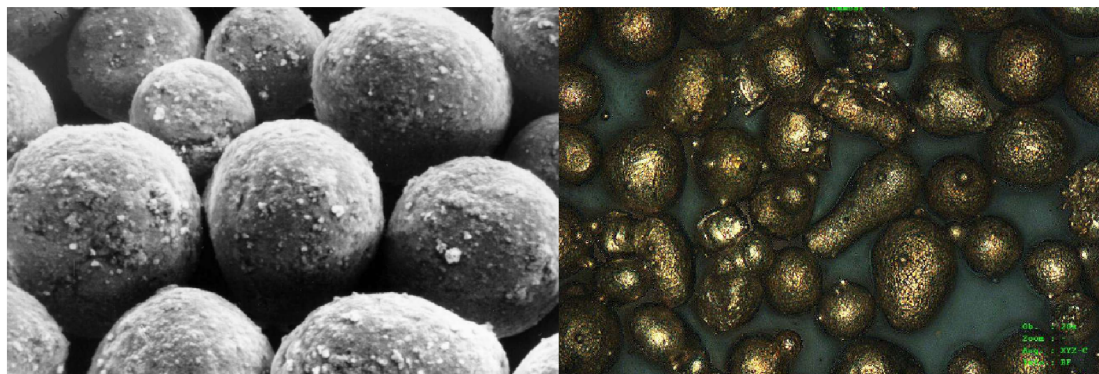
Sušení
rozprašováním

Po mletí se směs musí vysušit, například metodou sušení rozprašováním, do práškové formy. Vysušený prášek se skládá z kulových zrníček karbidů rovnoměrně obalených pojícím kovem. Dokonale vysušená směs je připravena k lisování, je to tzv. RTP (Ready – To - Press) prášek. Ovšem ještě před samotným lisováním je nutné provést test smíšení ⁴⁰.



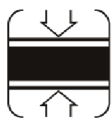
Test smíšení

Lisovací parametry a složení RTP prášku je důležité pro následující postup. Důkladně se proto měří velikost a tvar částic RTP prášku. Mimoto musí mít prášek dobrou zabíhavost, aby rovnoměrně zaplnil veškeré dutiny lisovací formy ^{1, 40}.

Obr. 1.4 Práškové granuláty ³²

1.3.2 Lisování a formování polotovarů

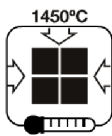
Samotná výroba slinutého karbidu začíná lisováním, formováním RTP prášku do kompaktního celku. Při vývoji nových technologií je snahou dosáhnout homogenity zhuštění s minimální pórovitostí v celém objemu. Při výrobě nástrojů ze slinutých karbidů se používají dva způsoby lisování, a to oboustranné lisování a izostatické lisování za studena (za tepla). Dalšími metodami jak dosáhnout polotovaru připraveného ke slinování jsou vytlačování přes trysku nebo lití či vstřikování do pomocných forem. Protože je RTP prášek velice disperzní směs s nízkou plasticitou, je nutno přidávat tzv. plastifikátor, který má za úkol zachovat tvar polotovaru při vyhození z lisovací formy ^{21, 32, 40}.



Aby bylo dosaženo dobrého zhuštění v celém objemu výlisku za relativně nízkých nákladů, je nejčastěji používán oboustranný způsob lisování. Dva lisovníky se pohybují proti sobě a lisují směs, která se nachází mezi jejich čelními tvarovými plochami, které jsou rovněž vyrobeny ze slinutého karbidu. Problémem, který se ovšem objevuje u všech způsobů přípravy polotovaru, je pórovitost směsi, která má za účinek smrštění hotového výrobku po slinování o 20 i více procent ^{21, 40}.



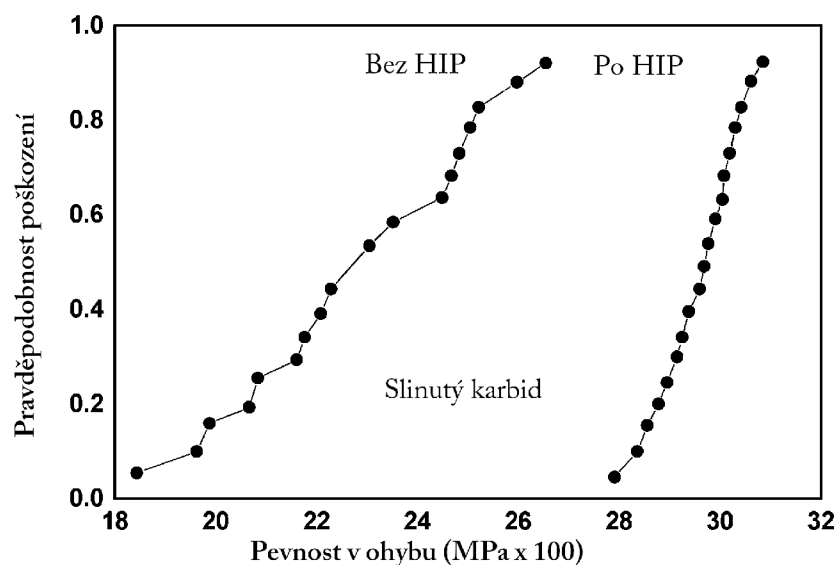
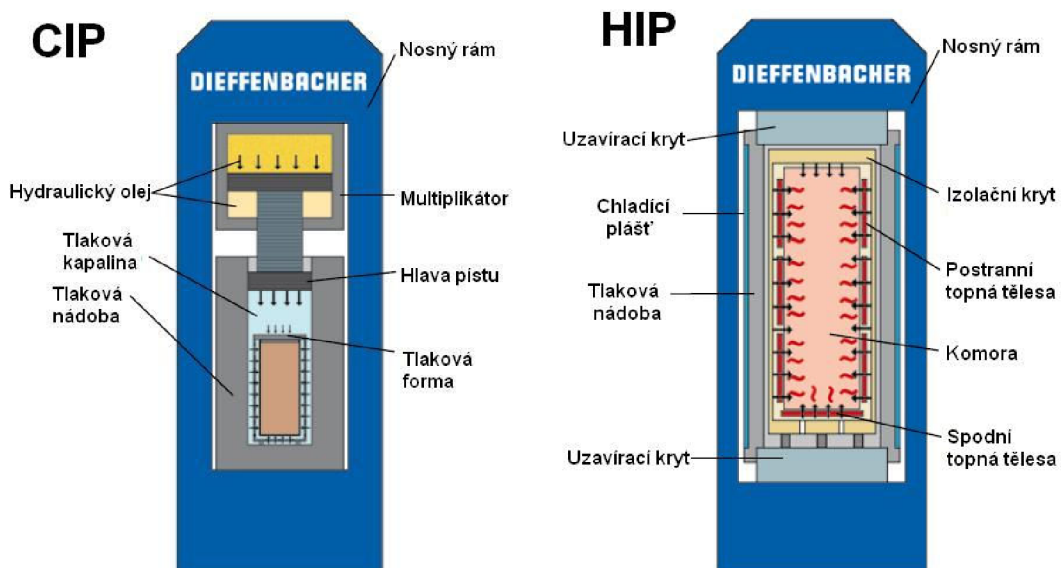
Izostatické lisování za studena (CIP – Cold Isostatic pressing), se vyznačuje tím, že RTP směs je umístěna do pružné formy z latexu nebo silikonového kaučuku. Forma se následně těsně uzavře, aby prášek neovlivnila pracovní, tlaková kapalina. Tlaková kapalina se používá jako výplň prostoru mezi pístem a formou u suché metody („dry – bag“), kdy vyvíjený tlak na formu je působen mechanicky pístem, a jako výplň tlakové komory, ve které je umístěna forma, u tzv. mokré metody („wet – bag“), kdy na formu působí hydraulický tlak kapaliny. Plně automatizovaná suchá metoda se využívá při lisování menších výlisků. Mokrý metoda se používá u větších součástí a nelze ji plně automatizovat. U obou metod je průběh lisování rozdělen do tří fází – nárůst tlaku, výdrž a snižování tlaku. Fáze výdrže na maximálním tlaku je důležitá pro dosažení rovnoměrného tlaku v celém průřezu výlisku. Nejdůležitější fází je snižování tlaku, které nejvíce ovlivňuje výsledné vlastnosti výlisku ^{21, 40}.



Izostatické lisování za tepla (HIP – Hot Isostatic pressing) je proces, při kterém dochází ke slinování slinutých karbidů za spolupůsobení tlaku. V celém objemu práškové metalurgie je proces využívánější, i když z pohledu rezných nástrojů se stále více lisuje metodou CIP. Rovnoměrný tlak na formu způsobuje inertní plyn (argon, helium). Lisování probíhá za vysokých teplot – okolo 2000 °C, po dobu 2 až 6 hodin. Působící tlak je nižší než u metody CIP. Vyšší náklady na využívání této technologie jsou kompenzovány lepšími výslednými mechanickými vlastnostmi produktů. HIP je efektivním prostředkem jak odstranit defekty, které neumožňují plné využití potenciálu slinutých karbidů. I když se při HIP hustota a tvrdost slinutého karbidu nezmění, zlepšuje se jeho lomová houževnatost a pevnost v ohybu viz. tab. 1.3. Díky těmto vlastnostem se zvyšuje spolehlivost vyrobeného kusu. Jak naznačuje graf na obrázku 1.5, dojde k zúžení intervalu síly, při které může dojít k porušení materiálu. Výskyt pórů a mikrotrhlin může mít za následek, že dojde k porušení i při menších zatíženích, než je deklarováno výrobcem ^{5, 32, 40}.

Tab.1.3 Vliv HIP technologie na mechanické vlastnosti slinutých karbidů⁵

Parametry	Bez zpracování HIP technologií	Po zpracování pomocí HIP
Relativní hustota [%]	Téměř 100	Téměř 100
Tvrdość [HRA]	91	91
Pevnost v ohybu [MPa]	2450	2940
Lomová houževnatost [MPa·m ^{1/2}]	10,0	10,5

Obr. 1.5 Weibullův diagram pevnosti v ohybu bez a při použití HIP technologie slisování u slinutých karbidů⁵Obr. 1.6 Schéma lisů firmy Dieffenbacher pro lisování technologií CIP a HIP^{14,15}



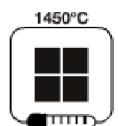
Vytlačování je další ze způsobů přípravy polotovarů slinutých karbidů. Tímto způsobem se vyrábějí monolitní karbidové řezné nástroje kruhových průřezů, které nejsou vhodné pro lisování. U této metody se využívá šnekový podavač, který je zaplněn práškem smíchaným s plastifikátorem (poměrně velké množství), jenž se dodává rovnoměrně do vytlačovacích lisů, u kterých je plynule regulován vytlačovací tlak. Potřebná délka polotovaru je sledována optickým snímačem a po jejím dosažení je výlisek odřezán. Tvarování je možno provádět za tepla i za stude-
na. Rychlosti protlačování nejsou příliš vysoké – okolo 5 až 10 mm/min, aby nedošlo k rozdělení tlaku v příčném průřezu ^{21, 32}.



Jemné
opracování

V některých případech jsou výlisky jemně obráběny, či dotva-
rovány do správného tvaru pro následné slinování. Tvarování ne-
může být finální, kvůli již zmíněného smršťování během slinování
slinutých karbidů ⁴⁰.

1.3.3 Slinování



Slinování

Slinování je finální proces, ve kterém slinutý karbid získává
své vlastnosti jako špičkový materiál pro strojírenství. Proces slino-
vání je vykonáván ve slinovací peci při tak vysoké teplotě, aby se
roztavené pojivo mohlo dobře spojit s WC, popřípadě dalšími karbi-
dy, které vytvářejí tvrdou strukturní složku výsledného produktu.
Teplota slinování je 0,65 až 0,80 složky s nejvyšší teplotou tavení. Pokud tep-
lota přesáhne teplotu tavení některé ze složek, jedná se o slinování za vzniku
kapalné fáze ^{32, 40}.

Celý postup slinování se dělí na předslinování, což je odstranění plastifi-
kátoru, při teplotách 700÷850 °C, a slinování, které je považováno za nejkritič-
tější operaci v průběhu výroby slinutých karbidů. Kompaktní produkt z více, či
méně pórovitého výlisku, vzniká v důsledku změn, které jsou podmíněny fázo-
vým diagramem dané směsi a také fyzikálně – chemickými pochody. Materiál
je zhutňován, vytvoří se hranice mezi karbidickými zrny a difuzními procesy,
a dojde k přeskupení jednotlivých složek ²¹.

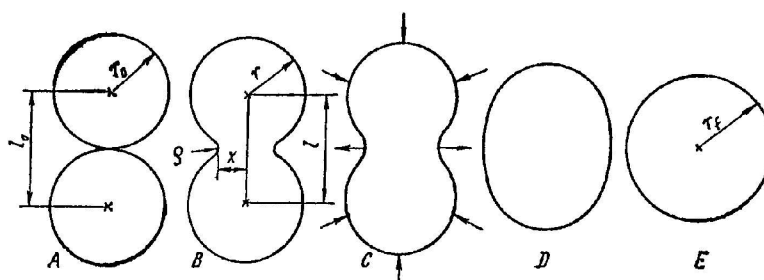
Jako pojivo zrn tvrdé fáze je rozpuštěný kobalt a malé množství rozpuš-
těného wolframu. Díky přítomnosti rozpuštěného wolframu se po ochlazení
stabilizuje plošně středěná kubická mřížka (fcc) kobaltu, což má za následek
četné vrstevné chyby. Bez přítomnosti wolframu má kobalt až do teploty
418 °C hexagonální mřížku (hcp) ²¹.

Pojivová fáze obsahuje malé množství nečistot (Fe, Cr, Ni) a dalších prv-
ků, které jsou ovšem obsaženy ve velmi nízké koncentraci. Nízké znečištění je
možné pouze tehdy, kdy nedochází ke slinování za vzniku kapalné fáze, při
němž probíhá difuze ve všech formách. Do pojiva se dostávají prvky z tvrdých
strukturních složek a rozpustnost kovových prvků je řízena aktivitami uhlíku
a dusíku. Během ochlazování reprecipitují prvky (N, C) na zrnech tvrdé fáze
nebo difundují mimo materiál ²¹.

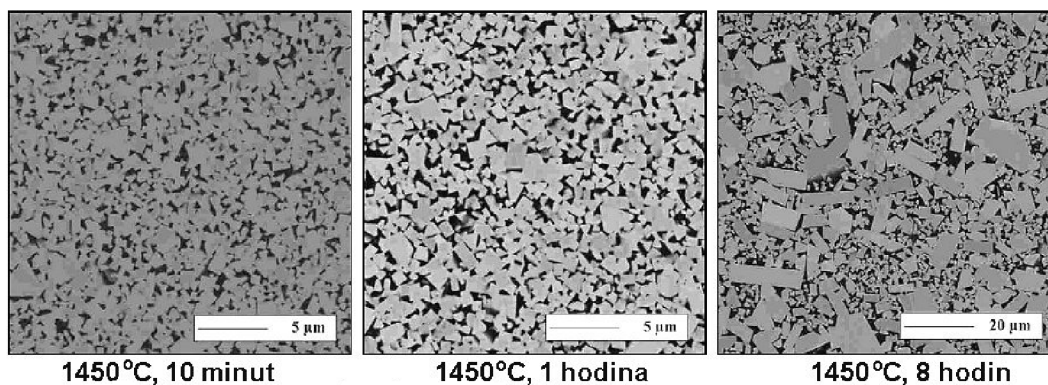
Příkladem směsi, ve které vzniká v průběhu slinování kapalná fáze, je směs WC – Co. Tyto systémy se vyznačují lepší slinovatelností a rychlejším slinováním, oproti jiným systémům. Je to způsobeno tím, že aktivační energie základního kovu, na rozhraní kov – tekutá fáze, je nižší, než na rozhraní – základní kov - atmosféra. Proces slinování je charakterizován ^{21, 32}:

- vytvářením skeletu tuhé fáze,
- částečným zhutněním materiálu v období vzniku skelné fáze,
- úplnou smáčivostí tuhé fáze tekutou fází,
- částečným rozpouštěním karbidických zrn v tavenině,
- následnou krystalizací tvrdých fází tvořících se z roztoků.

Ve slinovací peci se výlisek postupně zahřívá. Při teplotách 1150 ÷ 1300 °C dochází k aktivnímu smršťování pórovitého výlisku a tvoření tuhých roztoků na bázi kobaltu. Po dosažení teploty tavení eutektika následně dochází k vytvoření tekuté fáze a působení sil povrchového napětí, což má za účinek zhutňování materiálu (obr. 1.7). Zhutnění může být úplné (blíží se 100 % teoretické hutnosti), když obsah kobaltu, jakožto tekuté fáze, je v rozmezí 25 ÷ 35 %, nebo neúplné, když je obsah pojícího kovu menší. Následný růst karbidických zrn je dán dalším zvyšováním teploty slinování a délky výdrže na ní (obr. 1.8). Umožňuje jej rekrystalizace přes tekutou fázi. Vytváří se karbidický skelet. Při této fázi je velikost zrna ovlivněna obsahem uhlíku (ve velmi úzkém rozsahu 6,06 ÷ 6,12 %) a dalších typů karbidů (inhibitorů růstu zrna), které mají pozitivní vliv na výslednou jemnozrnnou strukturu. Během ochlazování se z tekuté fáze vylučuje karbid wolframu na obsažených zrnech WC, což má za následek zvětšování zrna, zaplňování mezer mezi zrny a vytváření doplňkových spojení ²¹.



Obr. 1.7 Schéma stádií slinování dvou sférických částic ³³



1450 °C, 10 minut

1450 °C, 1 hodina

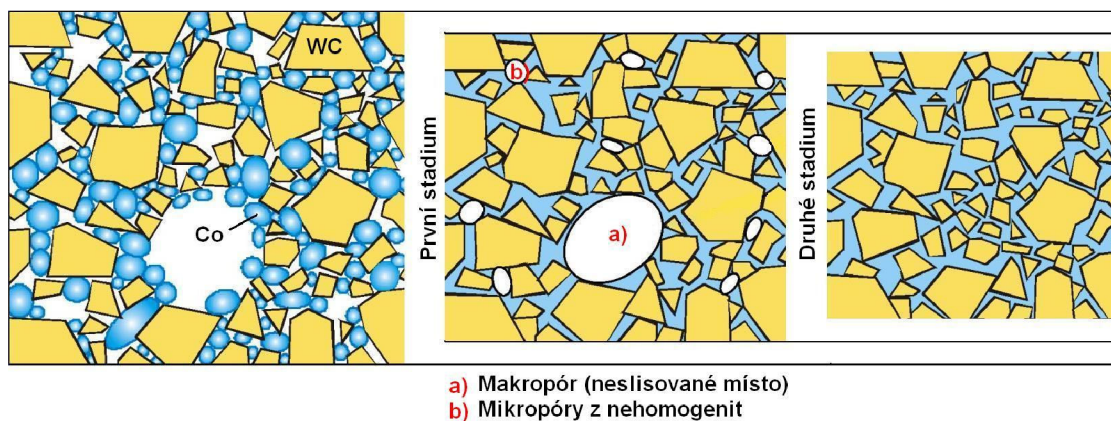
1450 °C, 8 hodin

Obr. 1.8 Růst zrna WC + 12 % Co ⁹

Příkladem slinování v tuhé fázi je vícekomponentní systém WC – TiC – Co. Slinování těchto materiálů je rozděleno do dvou druhů podle teploty. Při použití nižších teplot má velký význam na vlastnosti výsledného produktu předchozí zpracování prášku a při slinování za vyšších teplot je hlavním faktorem velikost zrna připraveného výlisku. Proces slinování je charakterizován:

- nižší rozpustností tuhé fáze v kapalně než v systému WC – Co,
- vyšší rozpustností tuhé fáze v kapalně než v systému Ti – Co,
- nižší smáčivostí tuhého roztoku (W, Ti)C tekutým kobaltem než v systému WC - Co.

Mechanismy zhutnění jsou stejné jako u předchozích směsí, ovšem růst zrn jedné tvrdé fáze ovlivňuje růst zrn další tvrdé fáze. Proto je zrnitost hotového slinutého karbidu závislá na poměru tvrdých fází, a velikosti zrna výchozích prášků. V těchto systémech slinutých karbidů není potřeba dodržet tak přesný limit obsahu uhlíku jako u systému WC – Co ²¹.



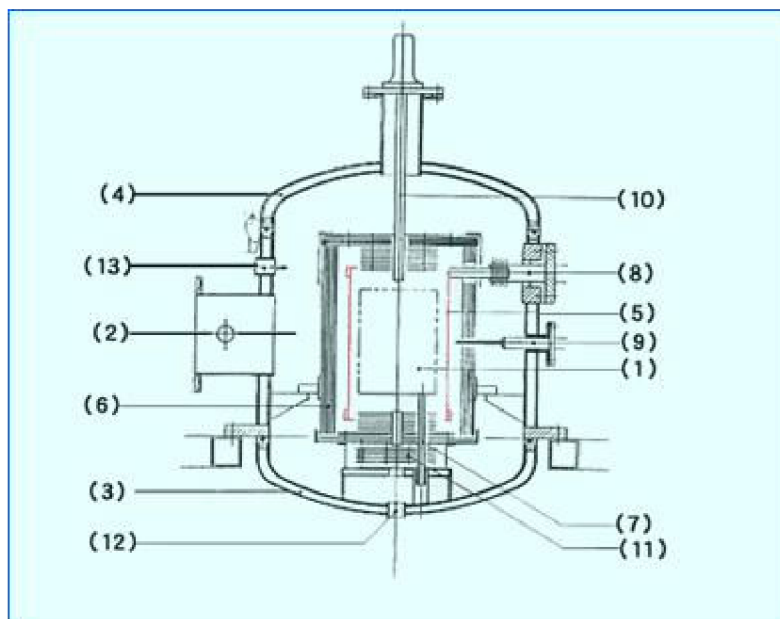
Obr. 1.9 Dvě stadia slinování v tuhé fázi ²¹

Hnací silou procesu slinování je povrchová energie prášku. Jelikož jemnozrnné materiály mají mnohem větší povrch zrn, tudíž větší povrchovou energii, je průběh slinování urychlen. Výlisek z prášku má snahu snížit svoji povrchovou energii, která napomáhá při difuzi částic. Problém pak nastává v dokonalém odhadnutí obsahu pojivového kovu tak, aby velkou plochu jemnozrnného prášku co nejlépe obalil ⁴⁰.

Vysoké smrštění (infiltrace) je, jak již bylo řečeno, velkým problémem při výrobě slinutých karbidů. Výzkum a vývoj proto směřují k snížení infiltrace během slinování. Způsoby jak toho dosáhnout mohou být např. nepřidávat komponent tvořící tekutou fázi před slinováním, ale až dodatečně (nejdříve se slinuje složka s vysokou teplotou tavení, která vytvoří pórovitý skelet, jenž je následně nasycen tekutou fází), nebo používání HIP technologie, či sytících látek apod. ⁴⁰

Slinování může probíhat v ochranné vodíkové atmosféře nebo ve vakuu, které je výhodnější pro výrobu vyměnitelných břitových destiček z hlediska nevytváření nežádoucích povlaků. Slinovací pece využívají i kombinaci ochranné atmosféry na počátku procesu slinování a vakua na konci. Nejčastěji jsou

ovšem využívané vakuové slinovací pece (obrázky 1.9, 1.10). Celý teplotní cyklus slinování je řízen plně automaticky ²¹.



Obr. 1.10 Schéma vakuové slinovací pece ¹⁹:

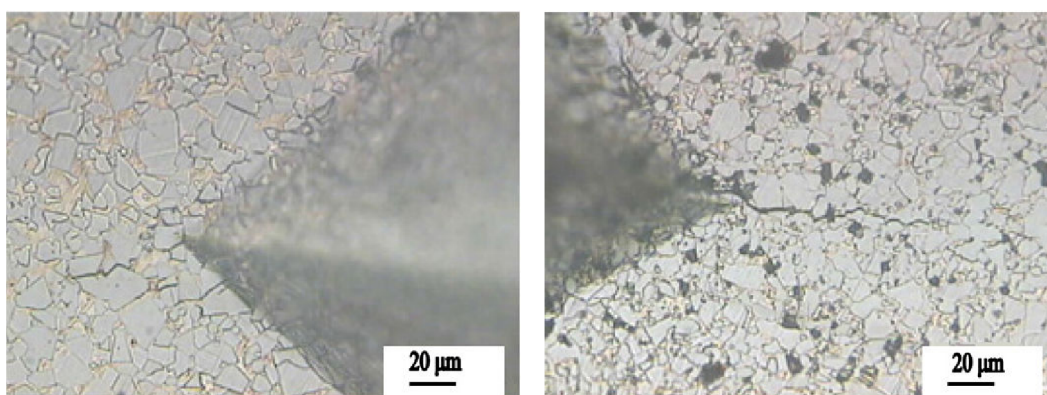
- | | |
|-------------------------|---------------------------------|
| 1) Horká zóna | 7) Testovací tyč |
| 2) Podtlakový ventil | 8) Vodou chlazená elektroda |
| 3) Spodní víko | 9) Posunovací termočlánek |
| 4) Horní víko | 10) Radiační teploměr |
| 5) Topné těleso | 11) Spodní ochranná krycí deska |
| 6) Ochranná krycí deska | 12) Výstup umělého chlazení |
| | 13) Vstup umělého chlazení |



Obr. 1.10 Slinovací pec od firmy TAV ⁴⁹

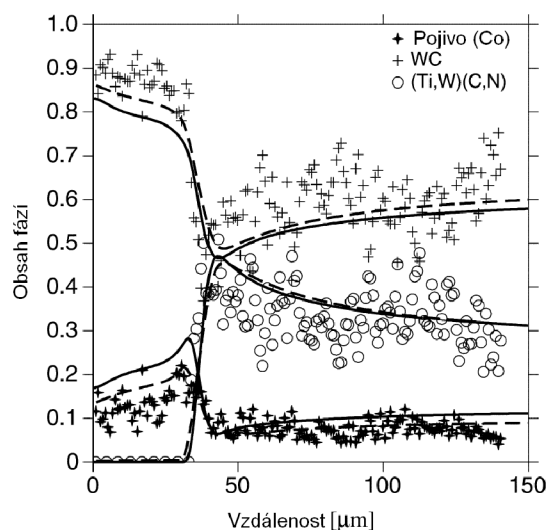
1.3.4 Slinování funkčně gradientních materiálů

Koncepce funkčně gradientních slinutých karbidů (FGM – Functionally Graded HardMetal) byla vyvinuta poměrně nedávno, ovšem v dnešní době je využívána všemi významnými výrobci obráběcích nástrojů. Princip těchto materiálů spočívá v proměnlivém rozložení kubických karbidů v závislosti na vzdálenosti od povrchu substrátu. Základní funkcí pak jsou rozdílné vlastnosti na povrchu a uvnitř substrátu. V aplikaci pro řezné nástroje se využívá funkčně gradientního slinování k dosažení vrstvy odolné proti abrazivnímu opotřebení na povrchu nástroje a jeho relativně houževnatého jádra. U povlakovaných nástrojů může nastat šíření trhlin z vnější vrstvy tepelně namáhaného řezného nástroje až do substrátu. Tomu lze zabránit gradientním slinováním, kdy povrchová vrstva substrátu je houževnatější než jádro, a proto je odolnější proti šíření trhlin.

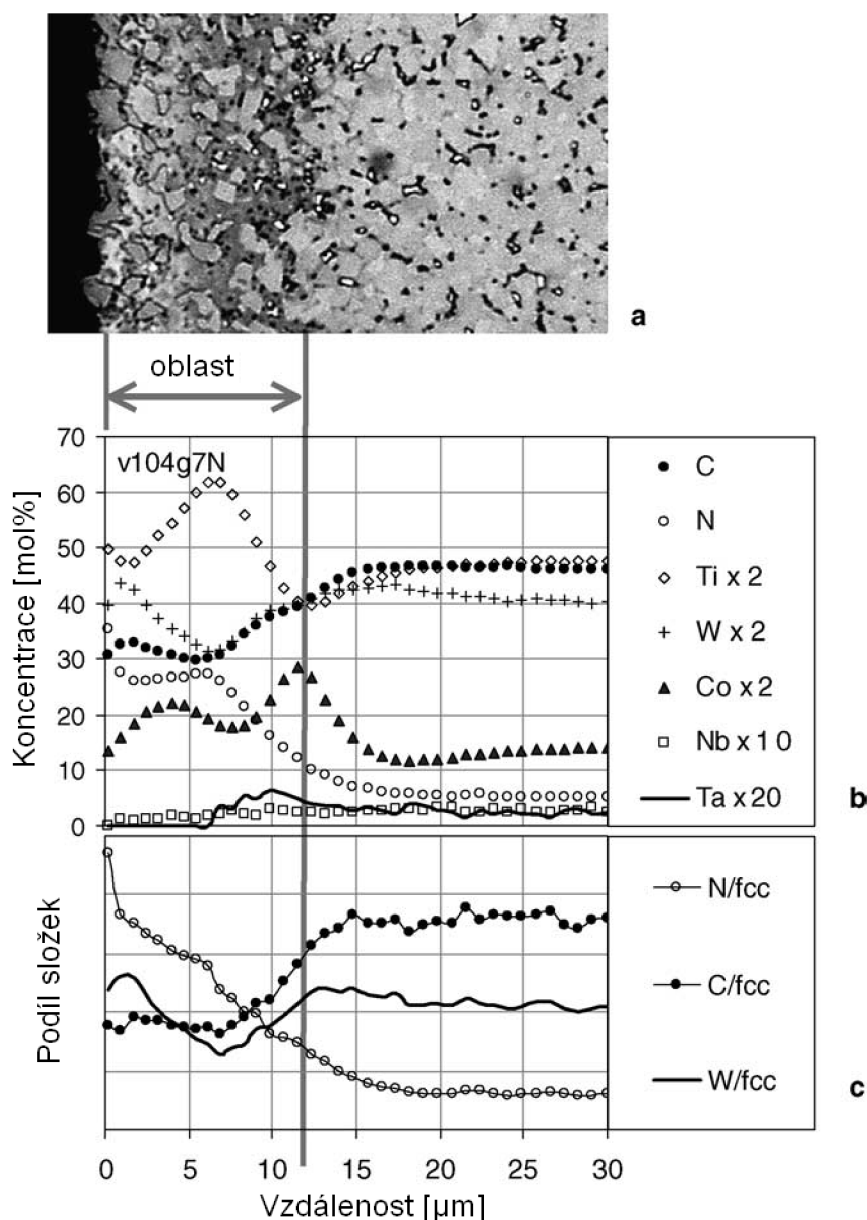


Obr. 1.11 Šíření trhliny, v rozích otisku, po zkoušce mikrotvrdomosti podle Vickerse, ve vnější vrstvě s dvoufázovou strukturou a v tvrdém jádru slinutého karbidu s trojfázovou strukturou ⁵¹

Běžný slinutý karbid obsahuje zrna WC, zrna kubických karbidů s vyšší tvrdostí a nižší houževnatostí a pojivo. Jelikož s menším podílem kubických karbidů stoupá houževnatost, ale zároveň klesá tvrdost, nelze tento způsob aplikovat na celý objem substrátu. Gradientní vrstva je proto tenká jen několik desítek mikrometrů ²¹.



Obr. 1.12 Molový podíl fází po 2 hod slinování při teplotě 1450 °C v atmosféře bez obsahu N₂ ¹⁶

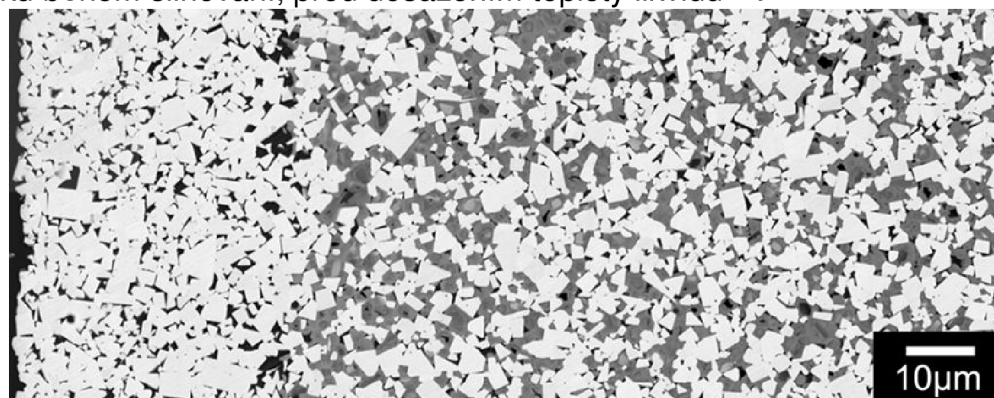


Obr. 1.13 Funkčně gradientní materiál ³⁵: a) mikrostruktura
 b) koncentrace prvků (měřicí zařízení GDOES)
 c) podíl složek

Gradientní strukturu lze vytvořit u materiálů obsahujících Ti (C, N) při slinování za denitrifikačních podmínek. Při slinování nejprve dochází k vnější difuzi dusíku, poté v důsledku silné termodynamické vazby dusíku a titanu k vnitřní difuzi titanu, což má za následek vytvoření povrchové vrstvy bez přítomnosti kubických karbidů. Pokud substrát neobsahuje TiN nebo Ti(C,N) je nutné, aby atmosféra při slinování obsahovala dusík, který je na konci procesu slinování odstraněn. Dusík ovlivňuje difuzi titanu ^{17, 21}.

Struktura funkčně gradientního substrátu se skládá ze tří oblastí, vnější povrchové vrstvy, mezivrstvy a oblast základního substrátu (jádro) obr. 1.14. Tloušťka a složení jednotlivých oblastí se optimalizuje s ohledem na další postup výroby ¹⁷.

FGM lze vytvořit i pomocí vakuového slinování s dlouhou výdrží na maximální teplotě, nebo metodou založenou na tvorbě pórovitých dílců na bázi uhlíku během slinování, před dosažením teploty likvidu ²¹.



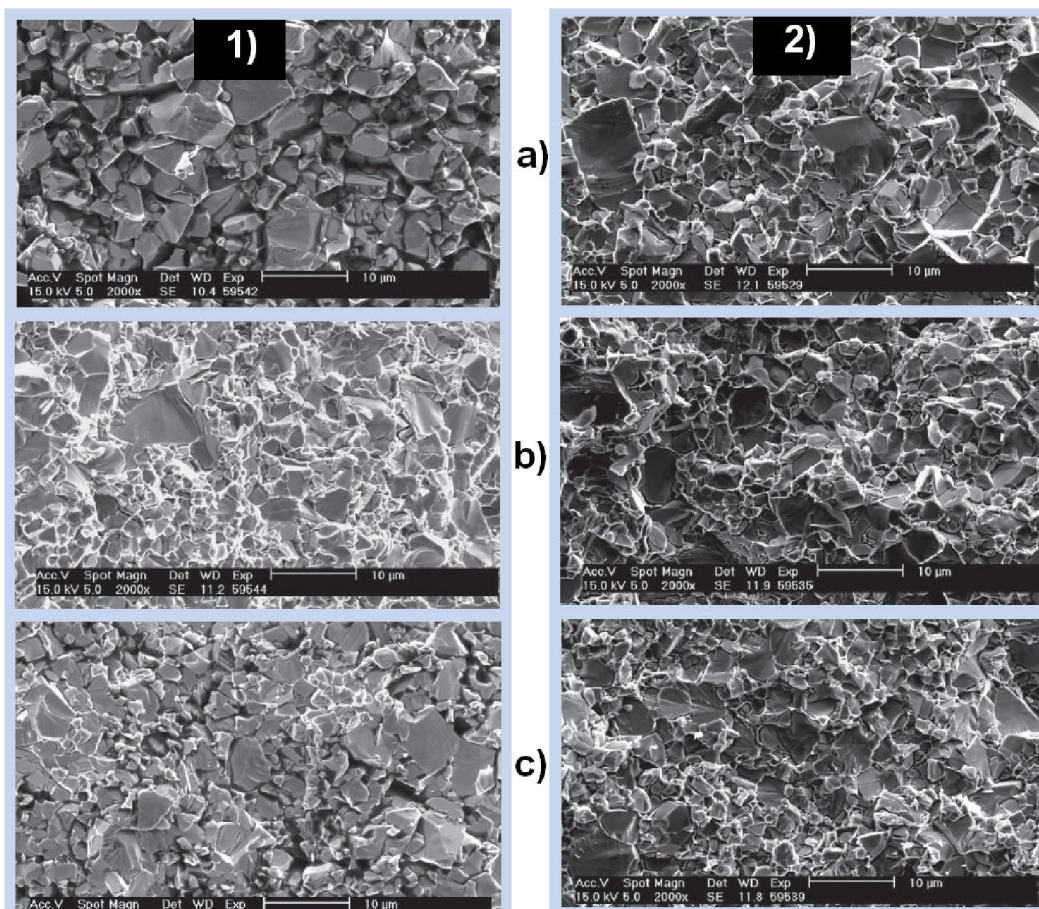
Zvýšený obsah pojiva
Snížený obsah
kubických karbidů

Zvýšený obsah kubické fáze
snížený obsah pojivové fáze

Struktura jádra

Obr. 1.14 Struktura funkčně gradientního materiálu ¹⁷

V poslední době se vědci zabývají výzkumem vlivu uhlíku na tvorbu gradientních vrstev. Z výsledků vyplývá, že nejvíce závislý na obsahu uhlíku je materiál s kubickou fází (Ti, W) (C, N) ²¹.



Obr. 1.15 Faktograf funkčně gradientního materiálu ⁶
1) po statickém ohýbání, 2) po cyklickém zatěžování
a) povrchová vrstva, b) střední vrstva, c) vnitřní vrstva

1.3.5 Opracování slinutých karbidů po procesu slinování

1.3.5.1 Obrábění nepovlakovaných slinutých karbidů



Obrábění



Přestože došlo u polotovarů během slinování k již zmíněnému smrštění, některé produkty postačují svému účelu a bez dalšího opracování jsou expedovány k zákazníkům. U většiny slinutých karbidů jsou požadavky na výsledný výrobek vysoké (z hlediska přesnosti, geometrie apod.), tudíž je nutné je po vyjmutí ze slinovací pece dále obrábět dle požadavků, či potřeb koncového odběratele. K dosažení správného tvaru nástroje se využívají různé metody obrábění. Např. elektroerozivní obrábění, soustružení, vrtání, broušení (bez speciální úpravy je klasické broušení těchto materiálů zdravotně závadné) ⁴⁰.

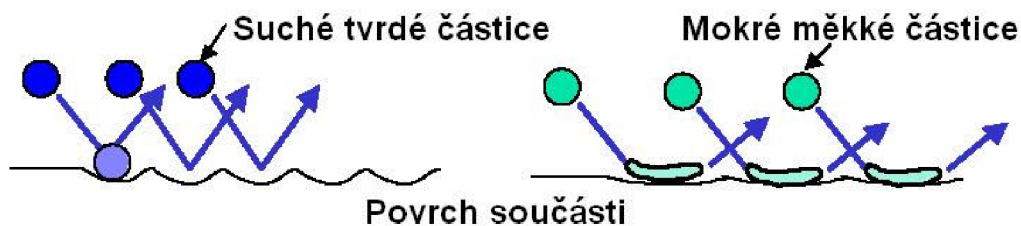
1.3.5.2 Obrábění a úprava povrchu před povlakováním slinutých karbidů

Obrábění povrchu slinutých karbidů před procesem povlakování je obdobné, a využívají se k němu stejné metody jako u finálních nepovlakovaných nástrojů. Rozdíl ovšem nastává při následné úpravě povrchu, jejímž účelem je zlepšení adhezních vlastností před samotným povlakováním. Pokud se totiž vyskytnou na povrchu ostré nerovnosti, stopy po broušení, či nečistoty, může v těchto místech dojít k odstranění povlaku. Různými mechanickými a chemickými úpravami břitů a funkčních ploch nástroje lze tyto problematická místa odstranit.

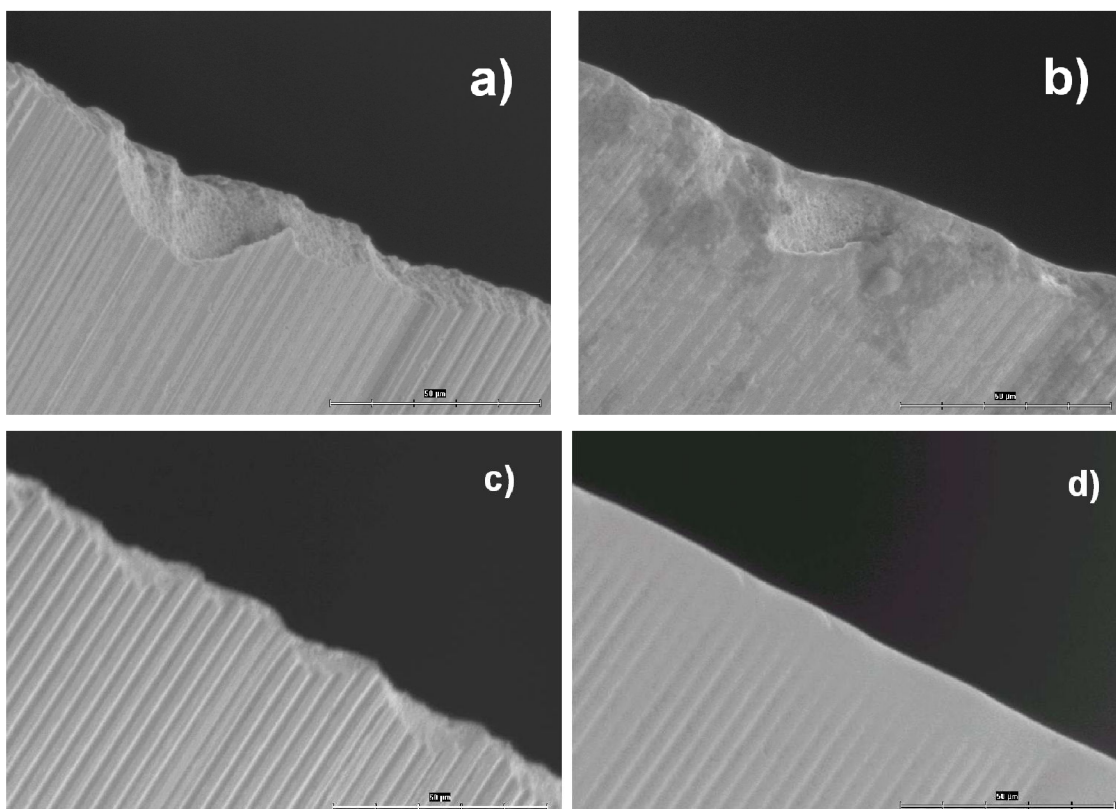
- **Mechanické úpravy nástrojů ze SK před povlakováním**

Po broušení jsou hrany nástroje ze slinutého karbidu tzv. otrepené a plné defektů. Ostré hrany jsou často koncentrátorem napětí, které může způsobit poškození povlakované vrstvy slinutého karbidu ještě před uvedením do procesu obrábění. Při řezném procesu dochází na ostrých hranách k adhezivně – kohezivnímu porušení povlaku.

Otryskávání – provádí se proudem vzduchu o vysoké rychlosti, který unáší abrazivo, způsobující abrazivní opotřebení, které je závislé na mnoha faktorech, jako např. hmotnost, tvar, rychlost a úhel dopadu částic. Jako abrazivum se nejčastěji používají syntetická abraziva na bázi Al_2O_3 a SiC, dále pak minerální abraziva (přírodní oxidy), struska a diamantový prášek. Další způsob otryskávání je pomocí speciální technologie AERO-LAP, kdy proud vzduchu unáší mokré elastické částice s abrazivem. Rozdíl mezi klasickým otryskáváním a otryskáváním pomocí metody AERO – LAP je na obrázcích 1.16 a 1.17 ³⁶.



Obr. 1.16 Rozdíl mezi úpravou proudem tvrdých a měkkých částí (technologie AERO – LAP) ³⁶



Obr. 1.17 Rozdíl mezi úpravou proudem tvrdých a měkkých částic ^{34, 36}

- a) *Hrana řezného nástroje ze slinutého karbidu před opracováním*
- b) *Tatáž hrana po opracování proudem tvrdých částic*
- c) *Broušená hrana řezného nástroje ze slinutého karbidu před opracováním*
- d) *Tatáž hrana po otryskání kompozitními elastickými částicemi s abrazivem*

Kartáčování (omílání kartáčem) – je dalším ze způsobů jak upravit řeznou hranu nástroje před povlakováním (obr. 1.18). Na vlákna kartáčů se využívají ocel nebo tvrdá polymerní vlákna impregnovaná abrazivem ³⁴.



Obr. 1.18 Kartáčování nástrojů ze slinutého karbidu ¹²

Finišování pomocí gumových disků, nebo jiných elementů za přítomnosti abrazivního media (např. vápencové kaše), je méně používaný způsob přípravy povrchu před povlakováním ³⁴.

Veškeré tyto procesy kladou extrémní nároky na přesnost a reprodukovatelnost výsledků, což činí tuto přípravu povrchů velmi náročnou.

- **Chemické úpravy nástrojů ze SK před povlakováním**

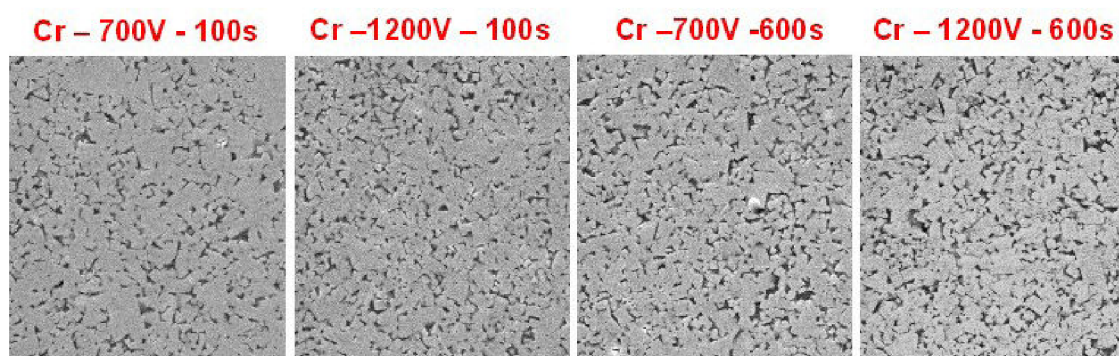
Chemické čištění nástrojů má za úkol odstranit organické nečistoty, mastnoty, ale také prach, brusivo a jiné pevné částice usazené na povrchu. Jako čisticí kapaliny se používají alifatické uhlovodíky atd. Aromatické uhlovodíky se používají jen výjimečně. Technologické zařízení tvoří mycí linky s několika oplachovými vanami. Pro zintenzivnění účinku se oplachy kombinují s využitím ultrazvuku. Při čištění nástrojů ze slinutých karbidů je nutné zajistit, aby se nástroje vzájemně nedotýkaly, a aby jejich styk s tvrdými předměty byl co nejvíce omezen a nedošlo tak k uštípnutí ostrých hran nebo šíření trhlin v nástroji. Pro zajištění kvalitního povrchu, po několika - krokovém chemickém čištění, je nutné smáčené povrchy rychle osušit. K tomu se využívají metody založené na odstředění zbytkové kapaliny, nebo v dnešní době používané vakuové sušičky, které tuto kapalinu odpařují^{21, 36}.

- **Iontové čištění substrátu před povlakováním**

Principem iontového čištění je přivedení záporného předpětí na slinutý karbid a dopad takto urychlených iontů na jeho povrch. Tyto částice pak vyrážejí svojí kinetickou energií mikronečistoty usazené na substrátu. Proces iontového čištění se dělí obvykle na dvě fáze:

- čištění doutnavým výbojem – dochází k ionizaci plynů (Ar , H_2 , N_2), které se vhání do komory. Ionizované atomy vyrážejí z povrchu atomy nečistot,
- čištění nízkonapětovým elektrickým obloukem – přiloží se nízkonapětový zdroj elektrického oblouku na depoziční katody. Na těchto katodách se následně utvoří katodová skvrna, jež je zdrojem iontů, které vyrážejí zbylé atomy nečistot a dočišťují materiál před samotným povlakováním. Pro druhou fázi se používají pevné prvky (Ti , Cr).

Při větších energiích a delších časech čištění dochází k částečnému vyrážení povrchových částic samotného slinutého karbidu (obr. 1.19). Nejdříve k tomuto jevu dochází u fází s menší kohezní pevností a nižší tvrdostí. Výrazně pak tedy mohou vystoupit karbidy a pojivo je odprašováno ven z povrchu slinutého karbidu. Proto při špatně zvolených podmínkách iontového čištění, může dojít k narušení soudržnosti substrátu a rozvoji trhlin^{34, 36}.



Obr. 1.19 Stav povrchu substrátu ze slinutého karbidu po různých parametrech iontového čištění³⁶

- **Stripping**

Pod tímto názvem je označována renovace již dříve povlakovaných nástrojů. Aby byl nástroj nově nepovlakován, je potřeba odstranit předchozí vrstvy povlaků a následně použít výše zmíněné úpravy povrchů před povlakováním. Jelikož je břit při strippingu vystaven působení silných chemikálií, je nutné po tomto procesu nástroj nechat znovu naostřit. Tyto chemikálie mají neblahý vliv na kobaltové pojivo slinutých karbidů, proto je stripping slinutých karbidů vzácností a jeho využití je spíše na laboratorních úrovních, nežli v produkci významných firem³⁶.

1.3.6 Povlakování slinutých karbidů

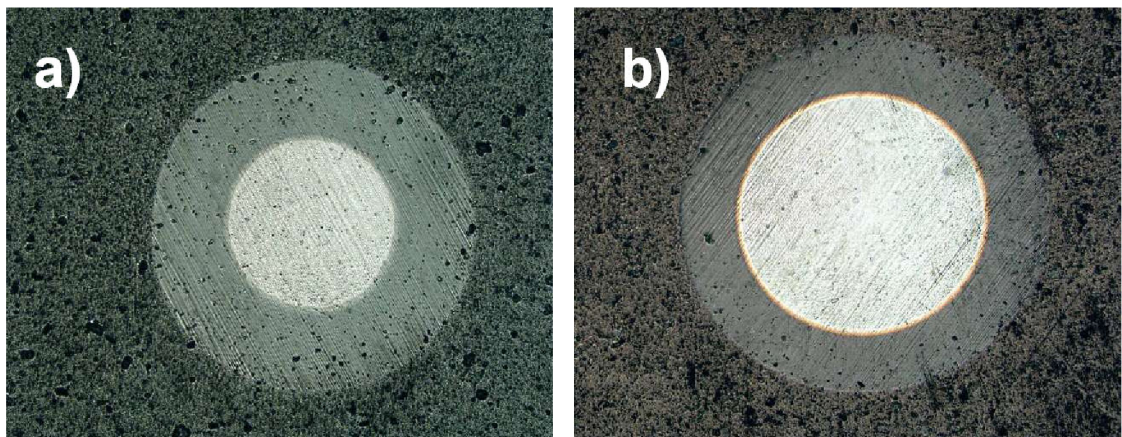
Obrovským skokem ve vývoji slinutých karbidů, jako rezných materiálů, bylo zavedení výroby vyměnitelných břitových destiček firmou Sandvik Coromant povlakovaných tenkou vrstvou TiC v roce 1969. I přes svoji tloušťku pouhých několik mikrometrů zvýšil tento povlak několikanásobně výkonnost stávajícího nástroje ze slinutého karbidu. Díky tomuto povlaku mohly být výrazně zvýšené rezné rychlosti, posuvy a zvýšila se také několikanásobně trvanlivost břitu. Povlak zabraňoval opotřebení jak na čele, tak i na hřbetě nástroje¹.

Možnosti takto nově vzniklého materiálu podnítily rychlý vývoj v této oblasti a zanedlouho byly vyvinuty vrstvy na bázi TiN a TiCN, později také Al₂O₃. Povlakované slinuté karbidy byly velkým krokem kupředu z hlediska opotřebení odolávajících a zároveň houževnatých materiálů. Ve většině případů je odolnost proti opotřebení na úkor houževnatosti a naopak¹.

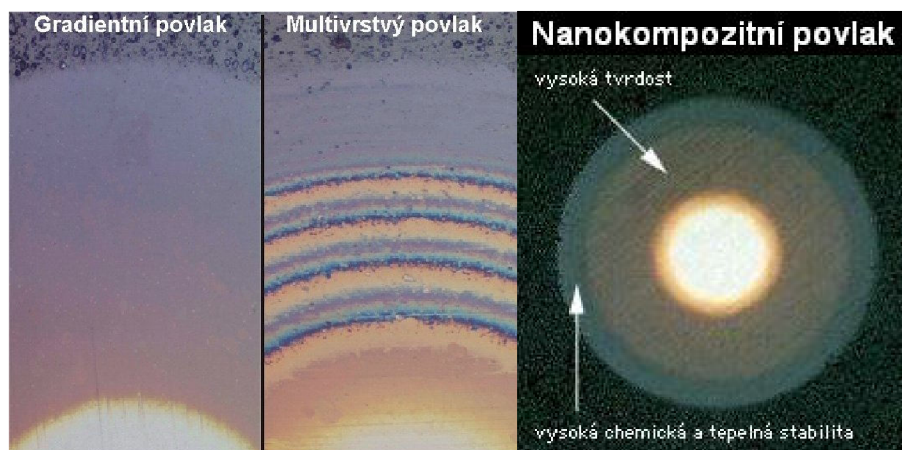
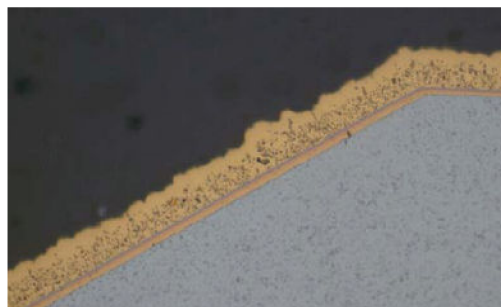
V dnešní době je vývoj povlakovaných slinutých karbidů na takové úrovni, že je vyvinut speciální slinutý karbid pro skoro každou konkrétní aplikaci. Liší se nejenom druhem povlaku (jeho chemickým složením), ale různou kombinací vrstev, tloušťkou, metodou povlakování a v neposlední řadě také substrátem.

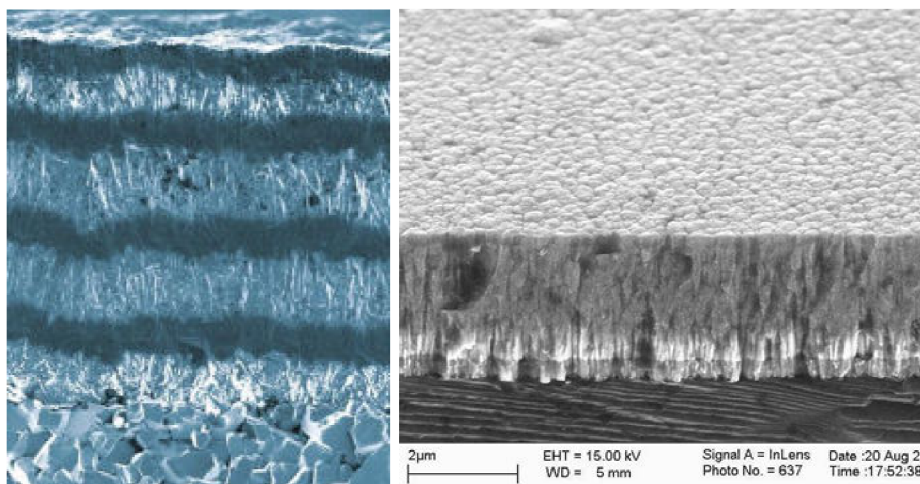
Podle dostupné literatury lze vývoj povlaků rozdělit na čtyři základní stupně²¹.

- 1. generace - jednovrstvé povlaky na bázi TiC, tloušťka cca. 6 μm, špatná soudržnost podkladu s povlakem (obr. 1.20).
- 2. generace – jednovrstvé povlaky na bázi TiC, TiCN, TiN, tloušťka 7÷10 μm, bez eta karbidu na přechodu podkladu s povlakem, lepší soudržnost podkladu s povlakem (obr. 1.20).
- 3. generace – vícevrstvé povlaky, 2 až 3 vrstvy, ostře ohraničené přechody mezi jednotlivými vrstvami, řazení vrstev odpovídá jejich vlastnostem, jednotlivé vrstvy nejčastěji řazené: TiC – Al₂O₃, TiC – TiN, TiC – TiCN – TiN, TiC – Al₂O₃ – TiN (obr. 1.21).
- 4. generace – speciálně vícevrstvé povlaky, často více než deset vrstev, efektivní tvrdost až 4000 HV, méně či více výrazné přechody mezi jednotlivými vrstvami, vícevrstvé ze stejných materiálů jako u třetí generace, diamantové, nanokompozitní, gradientní, supermřížkové, „inteligentní“, z kubického nitridu boru (obr. 1.22, obr. 1.23, obr. 1.24).

Obr. 1.20 Kalotest povlaků ³⁴:

- a) 1. generace – monovrstva,
b) 2. generace - monovrstva s „adhezní“ vrstvičkou.

Obr. 1.21 Povlak 3. generace od firmy Toshiba ²¹Obr. 1.22 Kalotest povlaků 4. Generace ^{21, 46}Obr. 1.23 Typické rozhraní základního substrátu a povlaku z KBN ¹¹



Obr. 1.24 Vícevrstvý diamantový povlak a morfologie a – C:H:W/W – DLC povlaku^{4,7}

Snížení teploty tvorby a zlepšení vlastností, jako je tvrdost a odolnost proti oxidaci za vysokých teplot, jsou hlavními cíli vývoje povlaků slinutých karbidů. Povlaky jsou podle tvrdosti obvykle rozděleny do dvou základních skupin²¹:

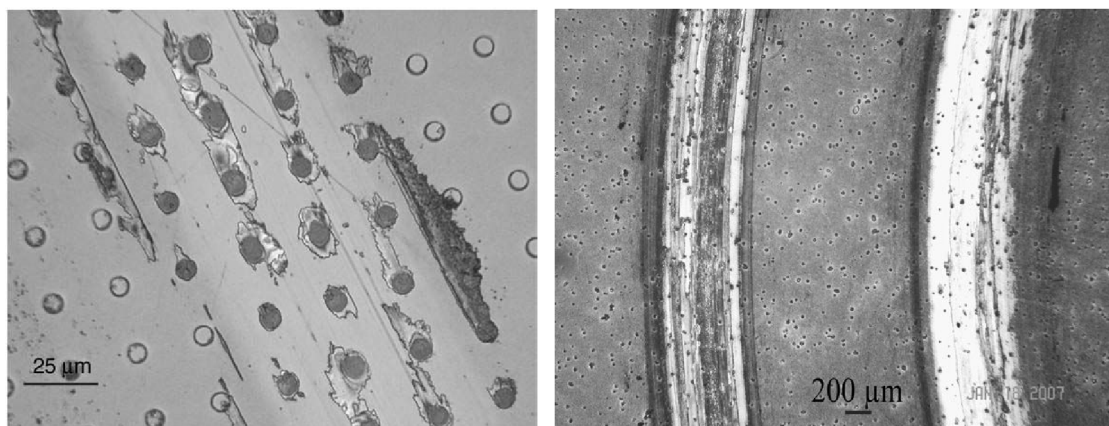
- tvrdé povlaky – tvrdost je menší než 40 GPa,
- supertvrdé povlaky – tvrdost vyšší než 40 GPa (diamantové povlaky, povlaky KBN, povlaky z amorfního nitridu uhlíku, jednokrystalové nitridové supermřížkové povlaky).

Tvrdé i supertvrdé povlaky mají určité využití podle svých specifických vlastností. V nabídce firem s povlakovanými nástroji a specializovaných firem nabízejících povlakování je proto možné se setkat s nepřehledným množstvím všech druhů povlaků. Od nejnovějších čtvrté generace, až po jednovrstvé povlaky, které ovšem také zaujímají širokou aplikační oblast. Nanesený druh povlaku, jeho materiál, či kombinace materiálů - u vícevrstevných technologií, je závislý na požadavku výsledných mechanických a fyzikálních vlastností řezného nástroje.

Nové technologie povlakování umožňují nejen aplikaci původních materiálů (TiC, TiN, TiCN, Al₂O₃), ale dalších různorodých vrstev, z nichž se některé do sériové výroby prozatím nedostaly. Některé jsou ovšem průlomovým materiálem, zvyšujícím výkonnost řezných nástrojů. Příkladem mohou být tzv. „samolubrikační vrstvy“ (obr. 1.25), které mohou výrazně snížit tření mezi čelem nástroje a odcházející třískou²¹.

Řezivost povlakovaného nástroje není závislá pouze na typu deponované vrstvy, ale také na tloušťce povlaku, depozičních podmínkách, na typu substrátu a na vhodné geometrii nástroje.

Povlakování se provádí na podklady ze základních typů slinutých karbidů (P, M, K) a ze speciálních druhů slinutých karbidů, připravených speciálně pro povlakování. Metody depozice vrstev lze rozdělit do základních dvou skupin (PVD, CVD). Na povlakování nejnovějšími povlaky se využívají jejich modifikace (PDGDS, IBAD, MSD, RFSD, EB – PVD, PLD, PCVD, PACVD, PECVD, MWP – CVD, MTCVD, LPCVD, HFCVD, LICVD, CACVD)²¹.



Obr. 1.25 Samolubrikační povlak – povlak TiN s lubrikačními ložisky ^{18, 52}

1.3.6.1 Depoziční metoda PVD a její modifikace

Metoda fyzikálního nanášení povlaků (Physical Vapour Deposition – PVD) byla vyvinuta hlavně pro povlakování rychlořezných ocelí kvůli nízkým pracovním teplotám. V dnešní době se čím dál častěji využívá k povlakování slinutých karbidů, v oblasti řezných nástrojů, či nanášení funkčních, popř. dekorativních tenkých vrstev na široké spektrum spotřebních materiálů (hliníku, plastů, folií apod.). Teploty se během fyzikální depozice pohybují mezi 150 °C a 500 °C, takže nedochází k tepelné degradaci deponovaných materiálů. Metoda PVD se vyznačuje velmi dobrými výsledky při povlakování složitých tvarů a ostrých hran (vrtáky, stopkové frézy, atd.) ^{1, 21, 34}.

PVD technologie je založena na třech základních fyzikálních principech, reaktivním rozprašování, reaktivním vypařování a iontové implantaci materiálů obsažených v povlaku (Ti, Al, Cr, Si, ...), a jejich následné nanesení na polotovary. Reaktivní vypařování a rozprašování se provádí ve vakuu nebo za velmi nízkých tlaků. Vznikající vrstvy povlaku jsou tvořeny jednotlivými atomy deponovaných prvků. Obecně lze tvorbu povlaku metodou PVD rozdělit do tří fází ^{21, 34, 47}:

- převedení materiálů do plynné fáze,
- transport plynné fáze ze zdroje k substrátu,
- vytváření vrstvy na povrchu substrátu.

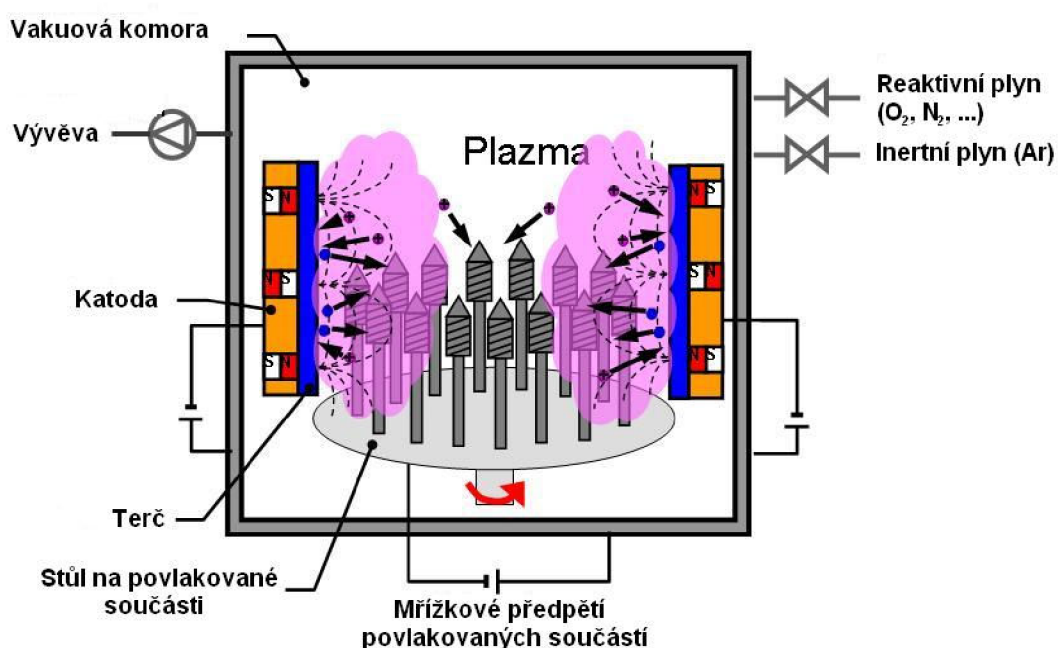
Potřeba složitých vakuových systémů a stínový efekt jsou hlavními nevýhodami PVD metody. Stínový efekt způsobuje nerovnoměrné ukládání povlaku na plochách, které nejsou ve směru odpařovaných částic. Je nutné jej odstranit pomocí komplikovaných mechanismů, zaručujících neustálý pohyb deponovaných povrchů ²¹.

- **Reaktivní rozprašování (naprašování)**

Je založeno na rozprašování materiálu katody (terče) energetickými ionty a kondenzací částic odprášeného materiálu na povrchu povlakovaných součástí. Ionty pracovního plynu, které jsou urychlovány elektrickým polem, dopadají na povrch naprašovaného materiálu ve formě plochého nebo válcového terče (targetu), kde z povrchu vytrhují atomy terče. Ty se průchodem v ionizovaném plynu samy ionizují a dopadají na povrch součástí ³⁴.

Nejjednodušším systémem napařování je **PDGDS** (Planar Diode Glow Discharge Sputter Deposition) – systém napařování doutnavým výbojem rovinové diody. Skládá se z katody (terče) a anody (povlakovaných součástí). Katoda je zdrojem povlakovaného materiálu ²¹.

MSD (Magnetron Sputter Deposition) – magnetonové napařování je založeno na rozprašování pevného terče (katody), ionty pracovního plynu extrapolovalými z plazmatu doutnavého výboje, který je lokalizován pomocí magnetického pole v blízkosti katody. Magnetické pole výrazně zvyšuje účinnost ionizace ³⁴.



Obr. 1.26 Schéma komory pro magnetonové napařování ³

RFD (Radio Frequency Sputter Deposition) – radiofrekvenční napařování je další s modifikací PVD technologie napařování. Umožňuje depozici povlaků z nevodivých terčů (targetů). Touto metodou lze vytvářet různé druhy vodivých, polovodivých a nevodivých povlaků ²¹.

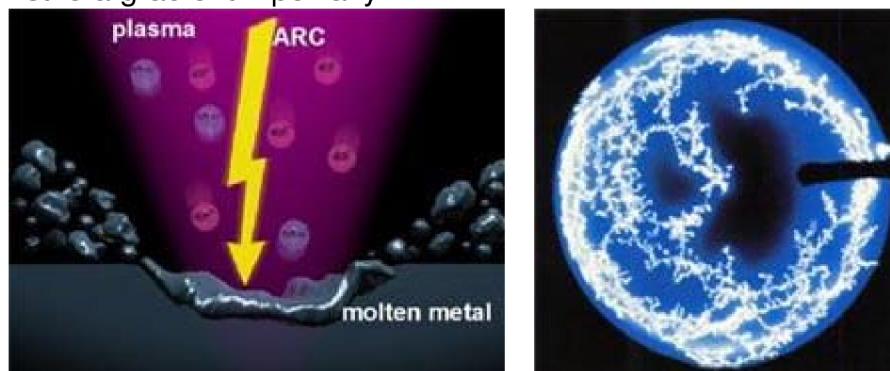
IBAD (Ion Beam Assisted (sputter) Deposition) – napařování iontovým paprskem zajišťuje výbornou adhezi a čistotu povlaku. Je prováděna za velmi nízkých teplot ²¹.

• **Reaktivní vypařování (napařování)**

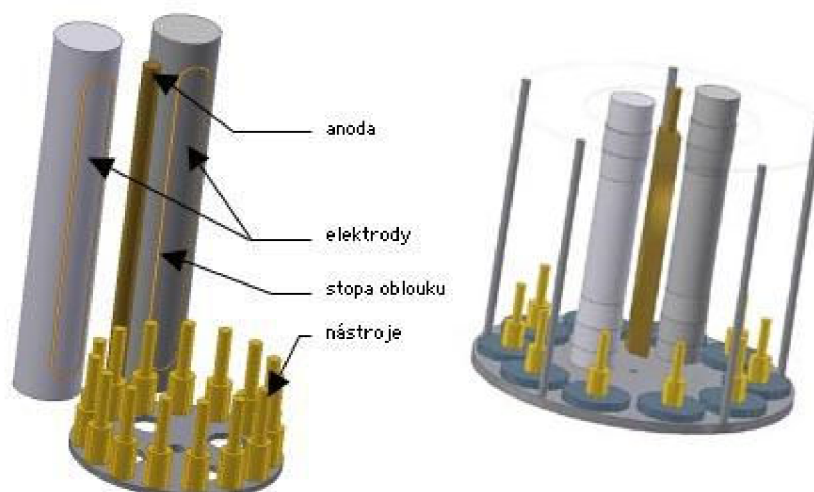
Tato metoda je založena na odpařování materiálu ve vakuu a na kondenzaci jeho par na povlakovaných součástech. Terče, ze kterých je materiál odpařován, jsou zahřívány různými způsoby a podle nich lze metodu vypařování rozdělit na odporové, indukční, pomocí elektrického oblouku, paprsku elektronu, laseru atd.) ^{21, 34}.

Český firma, zabývající se povlakováním nástrojů SHM, využívá k vytvoření nejmodernějších tenkých vrstev PVD metodu odpařování pomocí nízkonapětového oblouku (obr. 1.22). Nízkonapětový oblouk je výhodný pro svoji vysokou rychlost odpařování a vysokou ionizaci plazmatu. Tento oblouk hoří v místě katodové skvrny o průměru přibližně 10 μm a dosahuje teploty skoro

15 000 °C. Při takto nastavených podmínkách lze odpařovat téměř každý vodivý materiál. Nejnovější příprava povlaků je charakteristická použitím rotujících válcových elektrod. Různými hodnotami proudů, přivedených na elektrody a jejich poměrů, je možno měnit stechiometrii, rychlost růstu a částečně i drsnost vrstev bez výměny materiálu elektrod. Tímto způsobem je možno připravit vícevrstvé a gradientní povlaky ⁴⁷.



Obr. 1.27 Schéma katodové skvrny a obrázek pohybu katodové skvrny ⁴⁷



Obr. 1.28 Schéma PVD zařízení a PVD zařízení s centrálním umístěním rotujících elektrod v komoře povlakovacího zařízení pro výrobu povlaků MARWIN od firmy SHM ⁴⁷

EB – PVD (Electron Beam Physical Vapor) – odpařování elektronovým paprskem využívá vysokovýkonné elektronové paprsky k tavení a odpařování materiálů z kovových ingotů. Tato metoda ovšem není vhodná pro řezné nástroje ²¹.

PLD (Pulsed Laser Deposition) – pulzní laserem indukované odpařování, kde je materiál odpařován pomocí laserového paprsku, je výhodné pro produkci složek s vysokou energií, které zlepšují kvalitu povlaku a vynikající stechiometrií mezi terčem a povlakem ²¹.

- **Iontová implantace**

Je metoda kombinující reaktivní rozprašování a odpařování. Povrch deponovaného tělesa je bombardován svazky částic o vysoké energii. Reakcí iontů se usazuje povlak na povrchu součástí. Iontovou implantací lze nanášet

mnoho druhů povlaků o výborných mechanických vlastnostech na tepelně zúšlechťené materiály a plasty²¹.

1.3.6.2 Depoziční metoda CVD a její modifikace

Metoda chemického nanášení povlaků (Chemical Vapour Deposition - CVD) je založena na reakci plynných chemických sloučenin v objemu plazmatu, který se vytváří v bezprostřední blízkosti povrchu povlakovaných součástí, a následném uložení částic heterogenní reakce na tomto povrchu. Chemické deponování probíhá za vysokých teplot ($1000 \div 1200$ °C), což může způsobit degradaci materiálu povlakovaných součástí (např. součástí z HSS oceli). Tímto procesem taktéž není možné nanášet některé typy vrstev. Tloušťka CVD povlaků je větší než u PVD metody, tudíž nastává problém zaoblení u nanášení povlaků na ostré hrany. Během chemického nanášení se používají ekologicky problematické toxické látky. Proces má vysokou energetickou náročnost, dlouhý pracovní cyklus (až 10 hodin), přesto je to nejpoužívanější způsob povlakování slinutých karbidů^{21,34}.

Nízká ekonomická náročnost, možnost povlakování nepřístupných dutin, možnost vytvářet složité vrstvy, vysoká adheze, rovnoměrná tloušťka, vysoká teplotní stabilita a odolnost vrstev vůči opotřebení jsou hlavními výhodami této metody³⁴.

Stejně jako u metody PVD je mnoho modifikací i u metody CVD, které se liší způsobem převedení povlakovacího materiálu do plynné fáze.

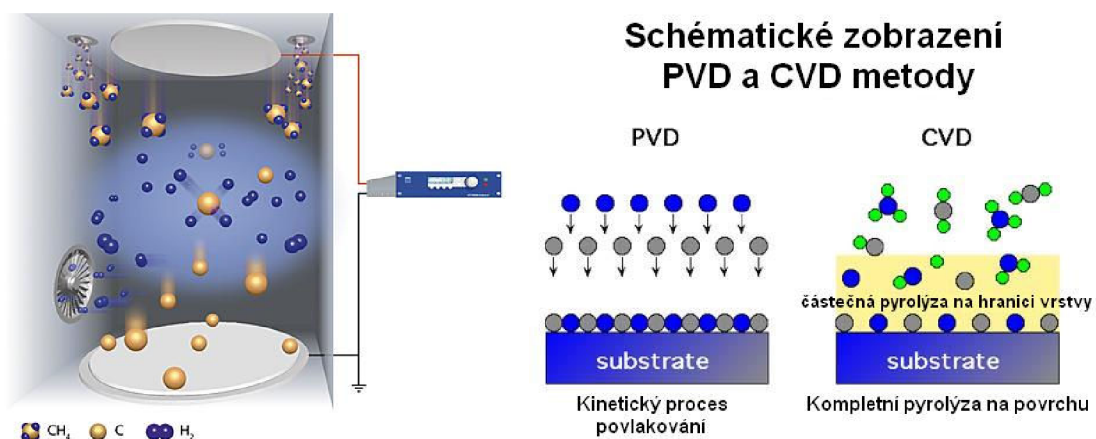
PCVD, PACVD, PECVD (Plasma Chemical Vapour Deposition, Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition) – plazmaticky aktivovaná CVD metoda (obr. 1.23) přinesla významnou kvalitativní změnu v technologii povlakování otěruvzdornými vrstvami. Od tepelně indukované metody CVD se PACVD liší nižšími depozičními teplotami, aniž by se změnil princip metody. Molekuly reaktivního plynu jsou ionizovány plazmovým výbojem^{21,34}.

MWP – CVD (MicroWave Plasma – Chemical Vapour Deposition) - mikrovlnná plazmatická metoda CVD je obdobná předchozí metodě. Nízká pracovní teplota se pohybuje v rozmezí $500 \div 600$ °C³⁴.

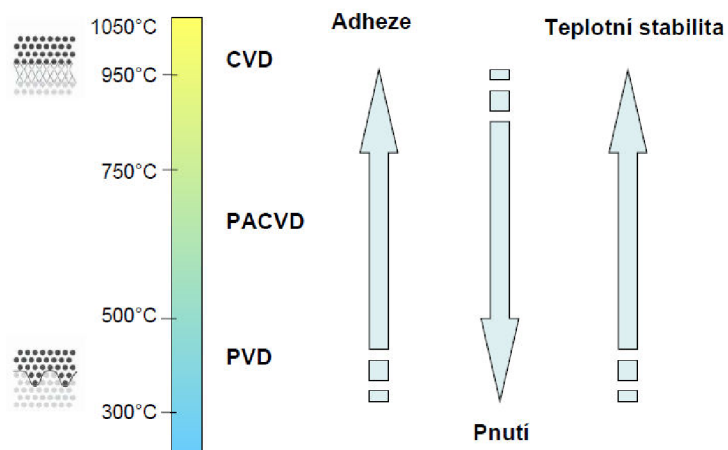
MTCVD (Middle Temperature Chemical Vapour Deposition) – metoda CVD za středních teplot je další technologie, která využívá nižších teplot ($700 \div 850$ °C), než základní CVD. Taktéž se používá jiný vstupní plyn než u ostatních metod²¹.

Z dalších modifikací, které se v poslední době vyvíjejí a stále častěji používají, lze jmenovat²¹:

- **LPCVD** (Low – Pressure Chemical Vapour Deposition) – nízkotlaká CVD metoda,
- **HFCVD** (Hot Filament Chemical Vapour Deposition) – metoda CVD se žhavicím vláknem využívá wolframové vlákno, umístěné v blízkosti povlakované součásti, zahřáté až na 2400 °C,
- **LICVD** (Laser Induced Chemical Deposition) – laserem indukovaná CVD metoda,
- **CACVD** (Cascade Arc Plasma – assisted Chemical Vapour Deposition) – CVD metoda s lavinovým plazmatickým výbojem.



Obr. 1.29 Princip PECVD procesu a schématické zobrazení rozdílu mezi PVD a CVD metodou povlakování ^{2, 26}



Obr. 1.30 Porovnání vlastností vrstvy při různé teplotě (metodě) povlakování ³⁴

1.3.6.3 Vývoj v oblasti moderních povlaků

• Povlak Darwin

Jde o nejnovější patentovaný povlak české firmy SHM (obr. 1.31). Je vytvořen novou hybridní technologií, která využívá výhod technologie odpařování nízkonapěťovým obloukem s pomocí rotačních katod a technologie **HIPIMS** (High Power Impuls Magnetron Sputtering) – magnetronové naprašování vysokovýkonnými impulzy ²⁰.

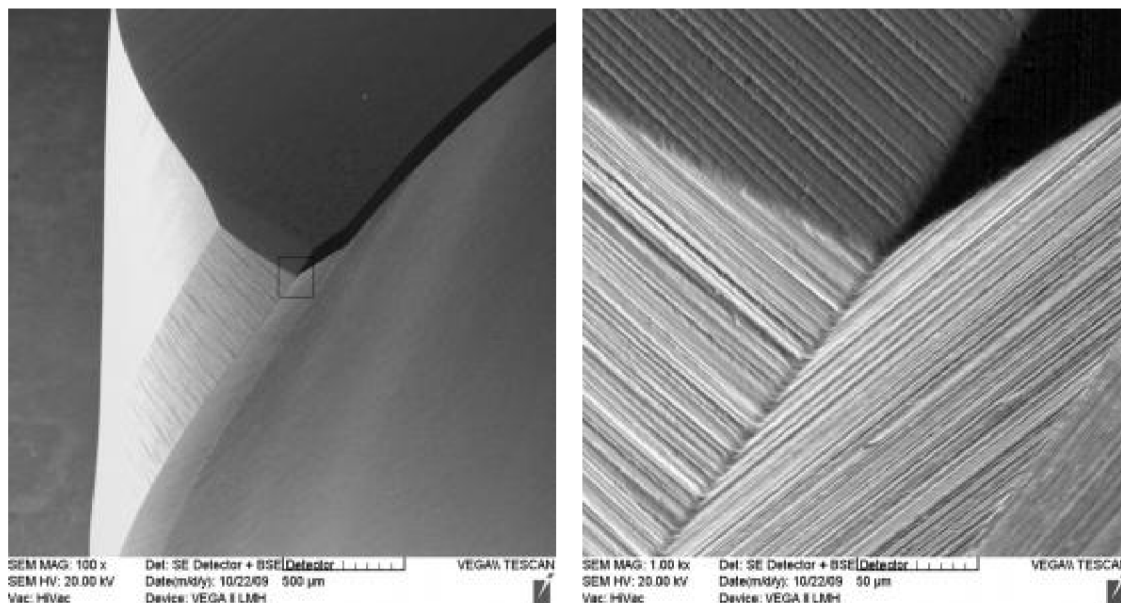
Povlak Darwin kombinuje ty nejlepší vlastnosti, kterých dosahovaly povlaky vyráběné zmíněnými technologiemi. Má vynikající adhezi k povrchu povlakovaného substrátu. Vrstva AlTiN má vysokou tvrdost (>40 GPa). Tvrdost povlaku zaručuje vynikající odolnost vůči abrazivnímu otěru. Teplená odolnost nového povlaku je kolem 800 °C ²⁰.

Výhody nového povlaku Darwin jsou v možnosti kvalitního povlakování ostrých hran a tloušťce větší než 10 μm, která je umožněna velmi nízkým zbytkovým napětím. U PVD metody povlakování je obvykle zbytkové napětí bariérou při přípravě vrstev větších tloušťek ²⁰.

Drsnost povlaku na leštěném vzorku dosahuje maximálních hodnot Ra 0,05 μm při tloušťce vrstvy kolem 4 μm ²⁰.

Povlak Darwin nyní prochází fází ověřování a zkoušek v laboratoři a u zákazníků firmy SHM³⁵. Z prozatímních výsledků vyplývá, že povlak nanesený novou technologií má o téměř 100% vyšší životnost, než kvalitní povlaky AlTiN nanesené obloukovou metodou povlakování. Bylo prokázáno, že z hlediska otěruvzdornosti, adheze a tepelné odolnosti je povlak Darwin srovnatelný s nejlepšími PVD povlaky²⁰.

Díky svým vlastnostem, může být povlak Darwin s výhodou aplikován pro nástroje na hluboké vrtání, kde je potřeba zachovat velmi nízkou drsnost drážky pro dobrý odvod třísky.



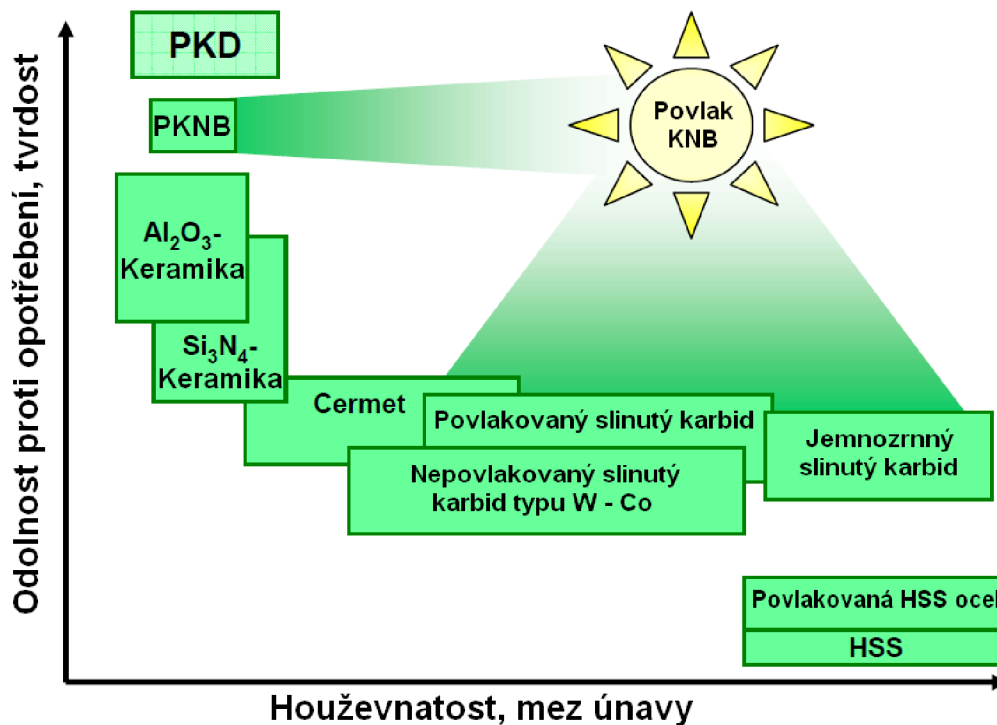
Obr. 1.31 Povrch nástroje s povlakem Darwin²⁰

- **Povlaky z kubického nitridu boru (KNB)**

Komerční využití kubického nitridu boru, jako povlakovací vrstvy rezných nástrojů, se zdálo donedávna být jako neřešitelný problém. Nabízí se otázka, pokud je možné povlakovat nástroje diamantovou vrstvou, proč není na trhu povlak z druhého nejtvrdšího materiálu – KNB? Odpovědí by mohlo být problematické nanášení tohoto typu tenké vrstvy a její špatná adheze k základnímu substrátu.

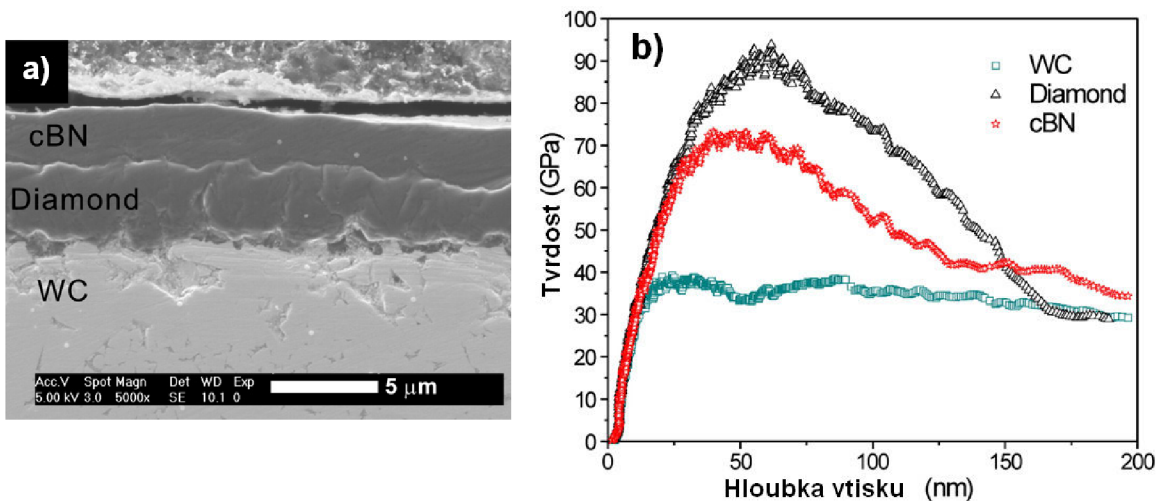
Kubický nitrid boru je ekvivalentním materiálem k diamantu, vyznačuje se vysokou tepelnou stabilitou, tvrdostí (>4000 HV). Jako materiál k povlakování rezných nástrojů má vysokou chemickou stabilitu při aplikaci na obrábění feritické oceli, oproti diamantu a jeho agresivní reakci se železem za vysokých teplot³⁹.

Výzkum v oblasti deponování tenkých vrstev z KNB začal v 80. letech minulého století. První metodou úspěšného povlakování hexagonálního h – BN byla CVD metoda. Z dalších experimentů vyplývá, že pro depozici KNB povlaků je možné použití různých modifikací PVD metody povlakování, protože povlaku může probíhat za nerovnovážných termodynamických podmínek²¹.



Obr. 1.32 Oblasti mechanických vlastností nástrojových materiálů, potenciální vlastnosti materiálů povlakovaných KNB povlakem ⁴

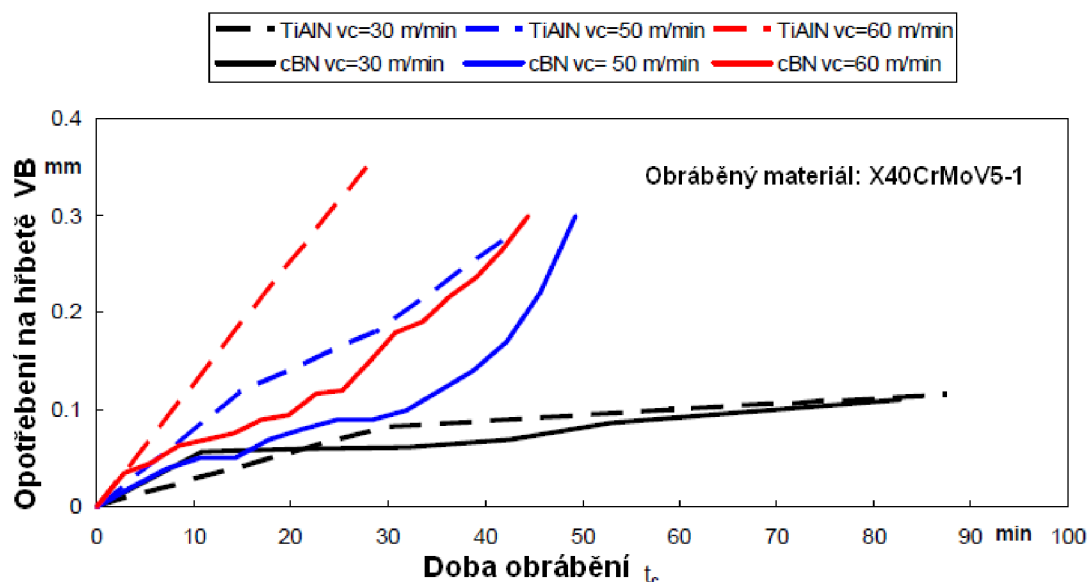
Velmi špatná adheze KNB povlaku k substrátu, je u experimentálních vzorků řešena nanášením povlaku na substráty z čistého křemíku nebo různým použitím mezivrstev. Jako mezivrstvy mezi povrchem slinutého karbidu a tenkého povlaku z KNB se používají například gradientní vrstvy a vrstvy z diamantu nebo titanu (obr 1.33).



Obr. 1.33 Povlak s diamantovou mezivrstvou ¹⁰:

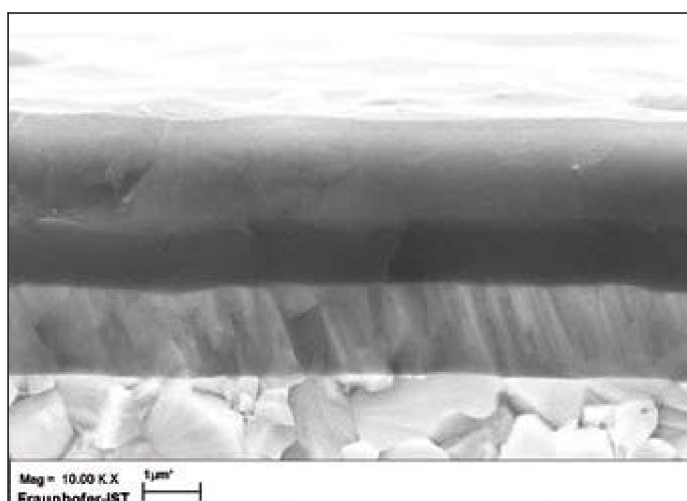
- snímek mikrostruktury,
- srovnání tvrdosti vrstvy KNB nanesené metodou ECR - MPCVD, diamantové vrstvy nanesené metodou CVD, na substrátu WC – Co a samotného substrátu WC – Co.

Institut povrchových úprav a povlakování – Fraunhofer se zabýval výzkumem vlivu povlaku z KNB na opotřebení řezného nástroje během soustružení. Z výsledků vyplývá, že velikost opotřebení řezného nástroje povlakovaného vrstvou KNB je menší než u běžně používaných vrstev, a tento rozdíl se prohlubuje se zvyšující se řeznou rychlostí viz. obr. 1.34⁴.

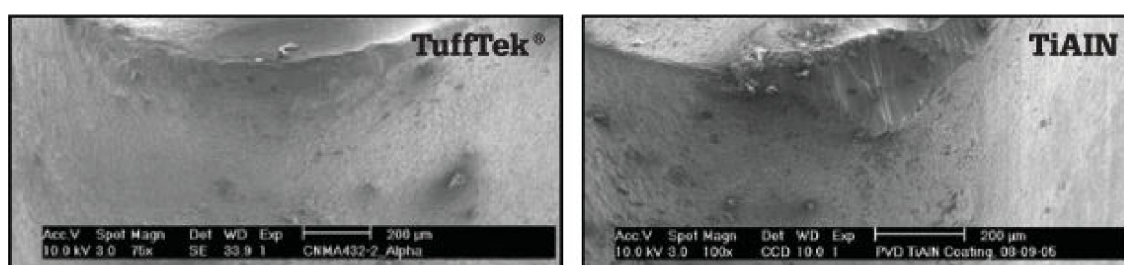


Obr. 1.34 Závislost opotřebení VB na času obrábění standardních povlakovaných řezných destiček a destiček deponovaných vrstvou KNB⁴

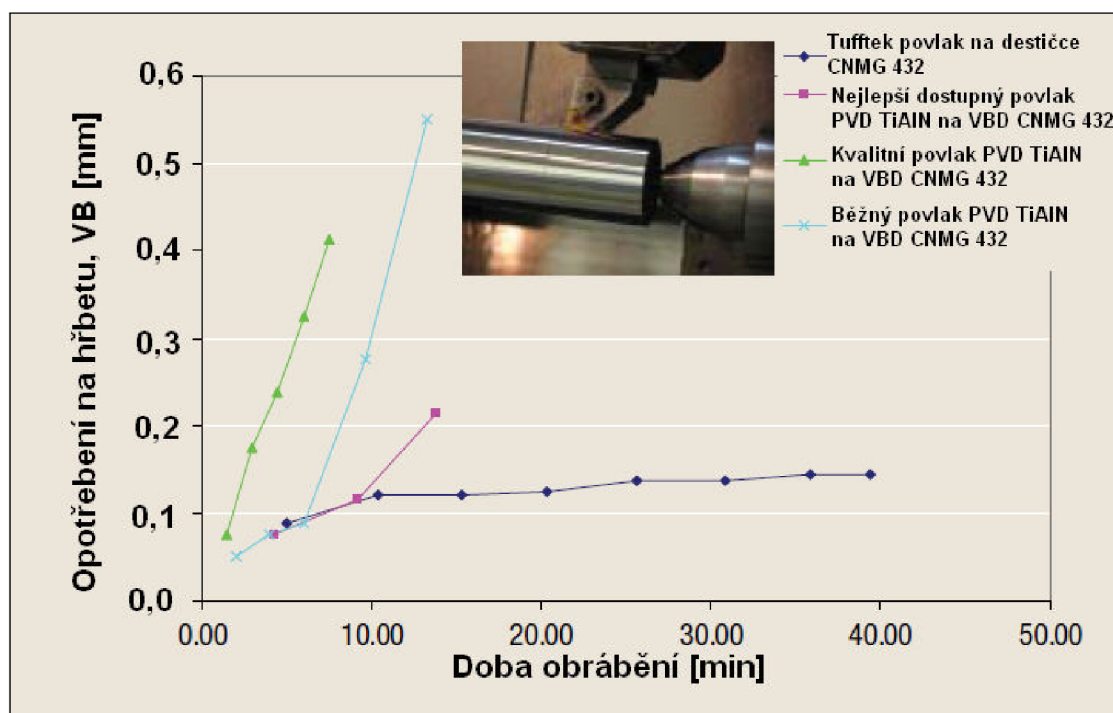
Jediným komerčně produkovaným povlakem z KNB je kompozitní povlak TuffTek[®]. Jedná se o tenkou vrstvu KNB nanesenou na vrstvě TiAlN. Vynikající výsledky experimentálních zkoušek dávají za pravdu názoru, že jde o „Svatý grál“ mezi povlaky. Čas teprve ukáže, zdali je takovýto povlak výhodný pro strojírenské firmy, a jestli jeho výhody předčí zvýšené náklady na proces povlakování³⁹.



Obr. 1.35 Mikrostruktura povlaku TuffTek[®]⁴



Obr. 1.36 Detail opotřebení povlaku TuffTek® a běžného TiAlN povlaku po obrábění za stejných řezných podmínek ¹¹



Obr. 1.37 Srovnání opotřebení různých druhů povlaků při soustružení materiálu 34 CrNiMo 6 za stejných řezných podmínek ¹¹

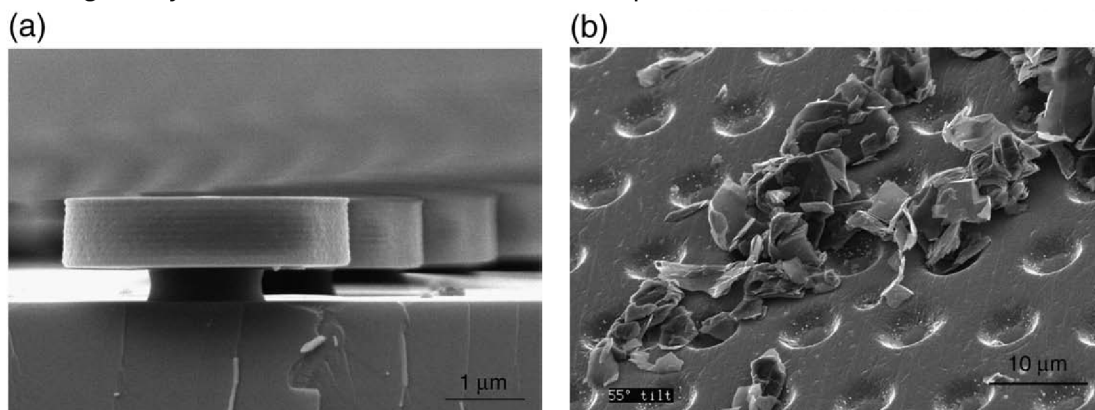
• Povlak TiN s mikrozásobníky maziva

Tribologické vrstvy, které jsou užívány pro zlepšení tření a ořezuvzdornosti vzájemně ovlivňovaných ploch, mohou být v rozsahu od měkkých lubrikačních filmů až po tvrdé inertní vrstvy. Pevná maziva jsou používána ve vakuu a vesmírných aplikacích, či v extrémních podmínkách, kde by se kapalná maziva mohla zmrazit nebo odtékat. Jsou šetrná k životnímu prostředí. Odolnost samotných tuhých maziv proti opotřebení, při působení tvrdých povrchů, je omezená. Proto jsou vrstvy kombinující tuhá maziva s tvrdou fází vynikajícím produktem, charakteristickým nízkým třením a dobrou odolností proti opotřebení ⁵².

Výzkum se zabývá mnoha alternativami, z nichž např. vícevrstvý režim struktury povlaku, střídající tvrdé a měkké vrstvy, je relativně jednoduchý pro výrobu. Takto vyrobený vícevrstvý povrch MoS₂/kov dokázal zlepšení ořezuvzdornosti a zároveň lomové houževnatosti. Problémem vrstev střídajících tvrdou a kluznou fází je ovšem zhoršení adhezních vlastností na měkkých vrstvách, které mohou způsobit odlupování povlaku. Efektivní morfologií je

vrstva tvrdého povlaku s ostrůvky měkké fáze, kolmými na povrch substrátu, která je mechanicky stabilnější než vícevrstvá technologie (obr. 1.25)⁵².

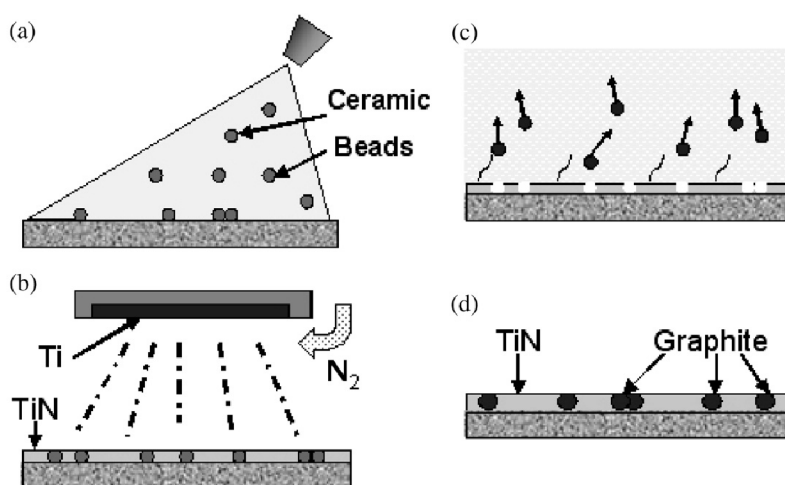
Pro tvorbu ostrůvků se s dobrými výsledky využívá laserové technologie. Použití fotolitografie je taktéž objektem výzkumu. Tímto způsobem jsou vytvořeny pole fotoresistentních ostrůvků o průměru okolo 2 μm , vzdálených přibližně 7 μm od sebe (obr. 1.38). Následně se takto upravený substrát povlakuje vrstvou tvrdé fáze. Pomocí ultrazvuku se odstraní ostrůvky a na jejich místě vzniknou v povlaku díry, které jsou zaplněny pevným mazivem. Proveditelnost fotolitografie je ovšem omezená substrátem apod.⁵²



Obr. 1.38 a) Fotoresistentní ostrůvky na substrátu
b) Povrch po povlakování, utváření děr a aplikaci grafitu¹⁸

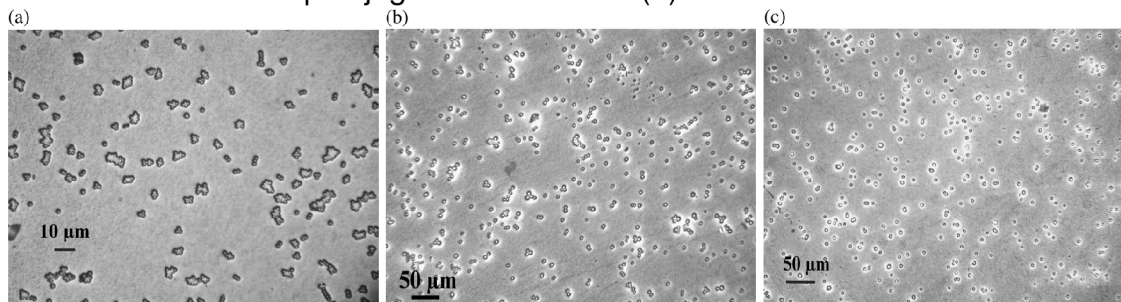
Dalším způsobem, jak vytvořit ve vrstvě povlaku mikrozásobníky pro maziva, je rozprášení mikročásteček (korálek velikosti 1,5 \div 10 μm) na povrch substrátu. Tento způsob je ekonomicky výhodnější. Následné povlakování a odstranění korálek je obdobné, jako u technologie za použití fotolitografie. K výrobě se využívají keramické korálky, které dobře snášejí vysoké teploty při deponování vrstvy TiN⁵².

Předmětem výzkumu jsou tribologické testy, zkoumající výhody a nevýhody mikrozásobníků plných grafitu nebo naprašováním deponovaného amorfního uhlíku⁵².

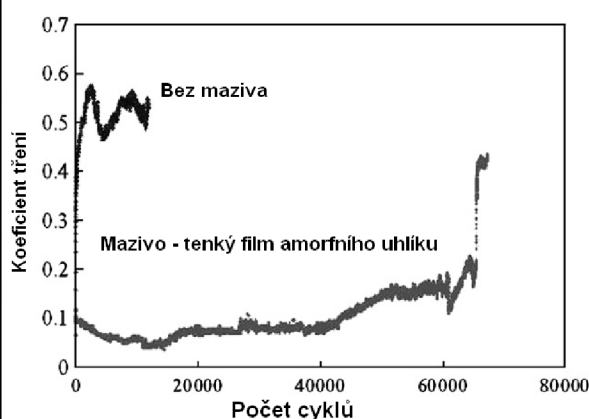


Obr. 1.39 Schéma přípravy povlaku TiN s mikrozásobníky tuhého maziva⁵²

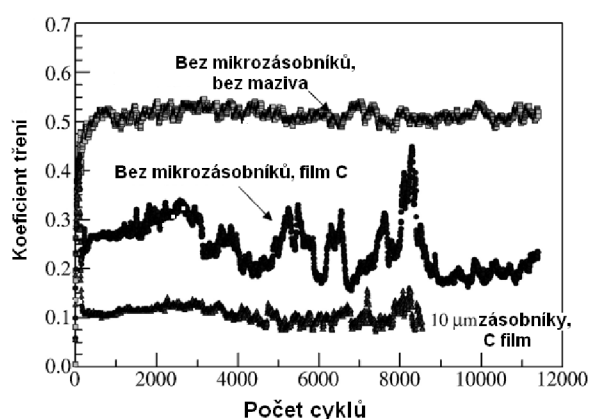
Jednotlivé fáze přípravy povlaku TiN s mikrozásobníky tuhého maziva jsou zobrazeny na obrázku 1.39. V první fázi probíhá nástřik keramických korálků obr. 1.39(a), poté se povrch vysušuje, až korálky ulpí na povrchu substrátu. Následuje depozice TiN povlaku PVD reaktivním napařováním ve vysokém vakuu, viz. obr. 1.39(b). Deponovaná vrstva musí být tenčí, než polovina průměru keramického korálku, aby bylo možné jednoduché odstranění těchto částic v následujícím kroku. Vyjmutí probíhá ultrazvukovou vibrací obr. 1.39(c) asi jednu minutu. Po odstranění korálku zbudou v povlaku volná místa, která se následně zaplňují grafitem obr. 1.39(d) ⁵².



Obr. 1.40 Plocha substrátu po depozici povlaku TiN a po odstranění keramických korálků pomocí ultrazvukových vibrací. Příklady použití různých velikostí korálků (a) 1,5 µm, (b) 5 µm, (c) 10 µm ⁵²



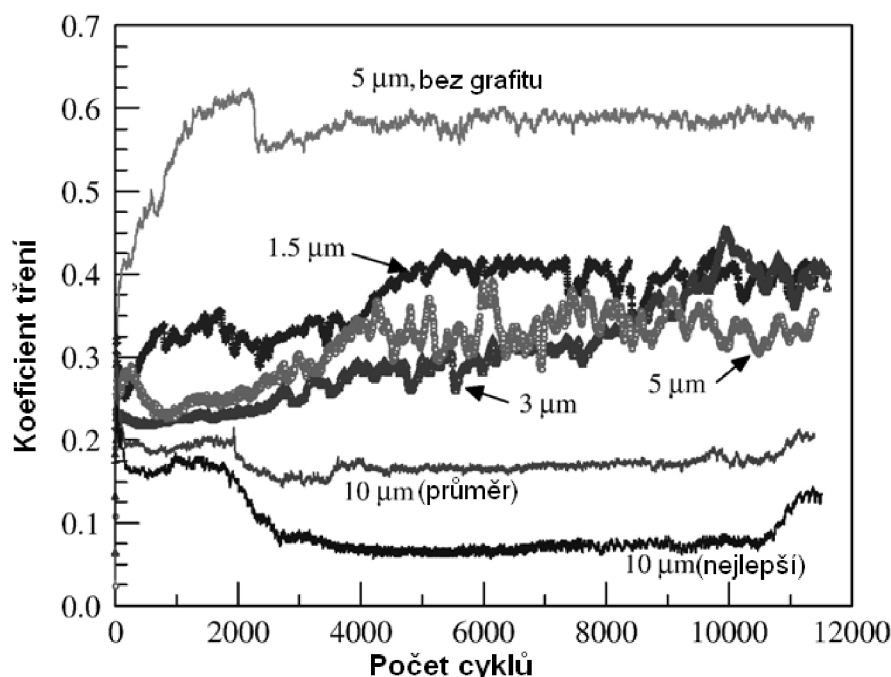
Obr. 1.41 Třecí vlastnosti povlaku TiN s mikrozásobníky maziva o velikosti 10 µm, naneseném PVD napařováním ⁵²



Obr. 1.42 Výsledky testu Pin – on – Disc za použití vrstvy amorfního uhlíku jako tuhého maziva ⁵²

Tvrdotst takto připravené vrstvy je okolo 19 GPa. Tribologické vlastnosti jsou uvedeny na obrázcích 1.41, 1.42 a 1.43. Bez kluzné vrstvy je přítomnost mikrozásobníků v TiN povlaku nežádoucí, degraduje mechanickou integritu povlaku, která vede k rychlému porušení. S přítomností maziva ve formě grafitu jsou třecí vlastnosti vrstvy v rozsahu od úrovně podobné samostatnému povlaku TiN, až k úrovni samostatného grafitu ⁵².

Tribologické testy prokázaly podstatné zlepšení kluzných vlastností povlaku TiN za přítomnosti zásobníku maziva o rozměrech 10 µm. Dostatečnou hustotou a vhodným rozmístěním mikrozásobníků dochází k dalšímu zlepšení koeficientu tření ⁵².



Obr. 1.43 Třecí vlastnosti samolubrikačního povlaku v závislosti na průměru mikrozásobníků maziva⁵²

1.3.7 Závěrečná kontrola



Kontrola kvality

Kontrola jakosti je posledním procesem před expedicí slinutých karbidů. Kontroluje se správná velikost, tvar, kvalita povlaku a fyzikální vlastnosti vyrobených součástí⁴⁰.

1.4 Fyzikální vlastnosti slinutých karbidů

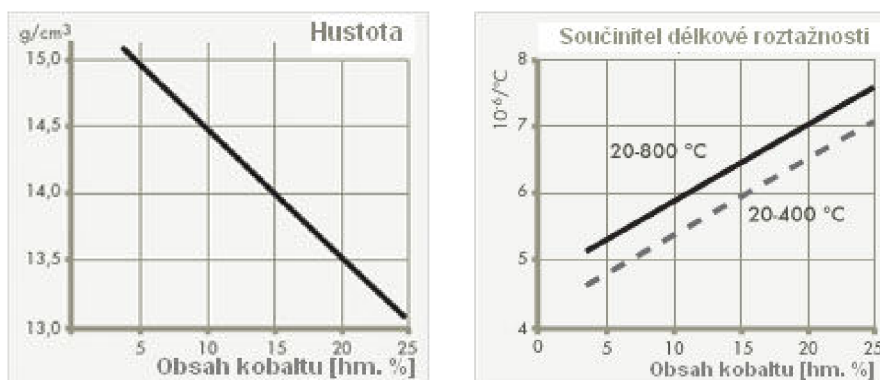
Fyzikální vlastnosti slinutých karbidů se mohou značně lišit. Závisí na použitém složení substrátu, struktuře, zrnitosti, jeho zpracování apod.

1.4.1 Fyzikální vlastnosti slinutých karbidů typu WC – Co

- **Měrná hmotnost** – u tohoto typu slinutého karbidu je poměrně vysoká, díky velké měrné hmotnosti karbidu wolframu. Pohybuje se v rozmezí 12,3 až 15,2 g·cm⁻³ (obr. 1.25). Skutečná měrná hmotnost se nepatrně liší od teoretické, vzhledem k zbytkové pórovitosti slinutého karbidu²¹.

- **Tepelná vodivost** – je jen málo závislá na obsahu kobaltového pojiva ve slinutém karbidu, klesá s rostoucí teplotou a rostoucí velikostí zrna. Obvykle v rozmezí 50 až 105 W·m⁻¹·K⁻¹, což je 2 až 3krát vyšší než u HSS ocelí^{21,40}.

- **Součinitel délkové roztažnosti** – závisí na obsahu kobaltu. Čím je větší obsah kobaltu, tím je větší součinitel délkové roztažnosti (obr. 1.44). Hodnoty jsou nižší než u oceli, obvykle udávány v rozmezí 3,4 ÷ 7,1 [10⁻⁶ K⁻¹]²¹.



Obr. 1.44 Závislost měrné hmotnosti (hustoty) a součinitele délkové roztažnosti pro dva rozdílné teplotní intervaly na hmotnostním procentu obsahu Co ⁴⁰

- **Měrný odpor** – slinuté karbidy se vyznačují poměrně nízkou hodnotou měrného odporu. Typická hodnota je $20 \mu\Omega \text{ cm}^{40}$.
- **Elektrická vodivost** – je v důsledku nízké hodnoty měrného odporu poměrně dobrá. Slinuté karbidy dosahují okolo 10 % vodivosti čisté mědi. ⁴⁰

1.4.2 Fyzikální vlastnosti slinutých karbidů typu WC – TiC - Co

- **Měrná hmotnost** – vzhledem k nižší měrné hmotnosti TiC je nižší, než u slinutých karbidů předchozího typu. Závisí opět na obsahu kobaltu a dalších příměsí. Udává se v širokém rozsahu hodnot ($5,2 \div 14,7 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$) ²¹.
- **Tepelná vodivost** – je nižší než u systému WC – Co a klesá s rostoucím obsahem TiC. Při vysokém obsahu karbidu titanu mohou mít slinuté karbidy typu WC – TiC – Co dokonce nižší tepelnou vodivost než HSS oceli. V tabulkách výrobců lze nalézt hodnoty v rozmezí $15 \text{ až } 100 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. ²¹
- **Součinitel délkové roztažnosti** – mírně roste s rostoucím obsahem TiC, proto je vzhledem k předchozímu typu vyšší. Rozsah hodnot je udáván mezi $5,5 \div 7,9 [10^{-6} \text{ K}^{-1}]$ ²¹.
- **Měrný odpor** – klesá s rostoucím obsahem TiC. Rozsah hodnot ($20 \div 85 \mu\Omega \text{ cm}$). ²¹
- **Elektrická vodivost** – s rostoucím obsahem TiC se nepatrně zlepšuje oproti elektrické vodivosti slinutých karbidů typu WC – Co.

Magnetické vlastnosti slinutých karbidů jsou závislé na množství feromagnetické složky (kobaltu) v substrátu a na zrnitosti karbidické fáze.

Fyzikální vlastnosti dalších typů slinutých karbidů se mohou značně lišit v závislosti na složení - obsahu jednotlivých karbidických fází a pojiva v substrátu. Proto je těžké je konkretizovat.

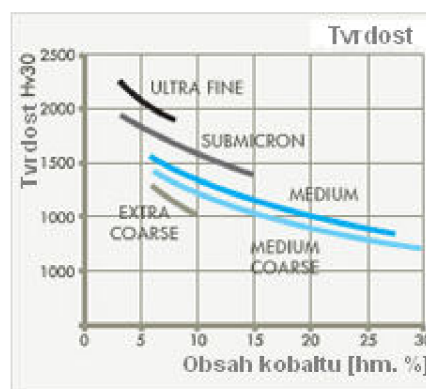
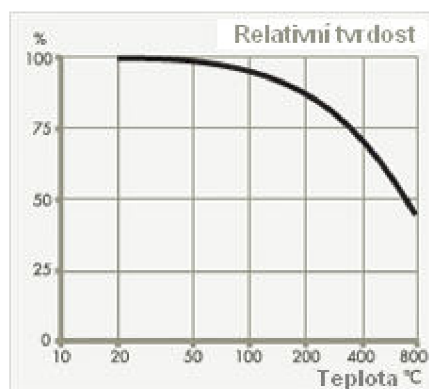
1.5 Mechanické vlastnosti slinutých karbidů

1.5.1 Mechanické vlastnosti slinutých karbidů typu WC – Co

- **Tvrđost** – závisí především na obsahu kobaltu a velikosti zrna karbidické fáze (obr. 1.45). Tvrđost vyráběných slinutých karbidů se pohybuje v rozmezí 780 ÷ 2125 HV. Jelikož jsou slinuté karbidy převážně využívány pro vysokorychlostní obrábění, kde je v místě řezu vysoká teplota, je nutné, aby si slinutý karbid zachovával tvrđost za tepla. Slinuté karbidy nejjemnějších struktur si zachovávají velmi dobrou tvrđost až do 800 °C.

Tab.1.4 Klasifikace zrnitosti slinutých karbidů typu WC – Co podle firmy Sandvik Coromant²²

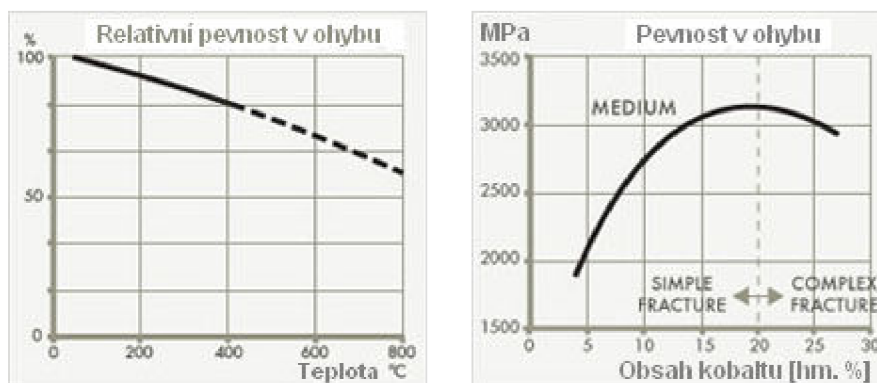
Označení	Překlad	Střední velikost zrn WC [μm]
Nano Series	Nanometrická	0,1 ÷ 0,3
Ultra Fine	Ultrajemná	0,3 ÷ 0,5
Extra Fine	Zvlášť jemná	0,5 ÷ 0,9
Fine	Jemná	1,0 ÷ 1,3
Medium	Střední	1,4 ÷ 2,0
Medium Coarse	Středně hrubá	2,1 ÷ 3,4
Coarse	Hrubá	3,5 ÷ 4,9
Extra Coarse	Zvlášť hrubá	5,0 ÷ 7,9
S - Grades	Superhrubá	8,0 ÷ 14



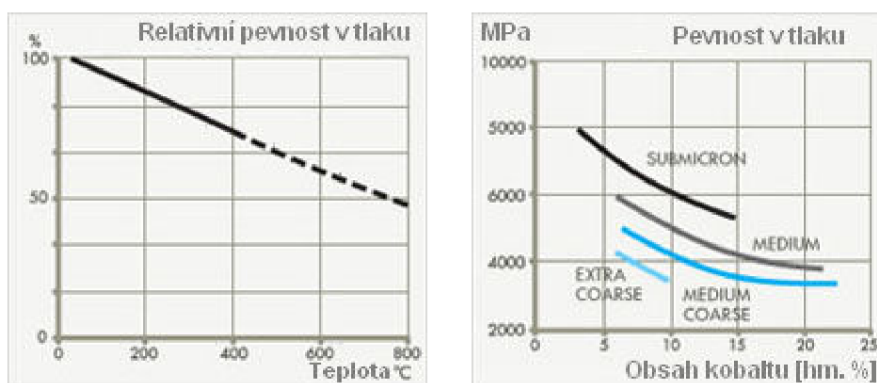
Obr. 1.45 Závislost relativní tvrđosti na teplotě a závislost tvrđosti na hmotnostním procentu obsahu kobaltu pro rozdílné zrnitosti slinutých karbidů viz. tab. 1.4⁴⁰

- **Pevnost v ohybu** – roste s rostoucím obsahem kobaltu. Maximální hodnota pevnosti v ohybu závisí na velikosti zrn karbidu wolframu. Stejně jako tvrđost, klesá pevnost v ohybu s rostoucí teplotou (obr. 1.46). Pomocí izostatické lisování za vysokých teplot, lze ohybovou pevnost zvýšit. Nově vyráběné materiály mohou dosahovat pevnosti v ohybu v rozsahu 2000 ÷ 4700 MPa²¹.

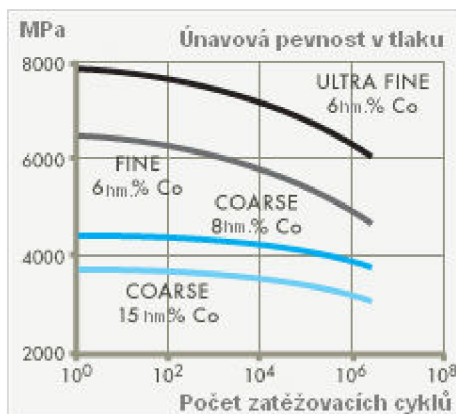
- **Pevnost v tlaku** – opět závisí na obsahu Co a velikosti zrna karbidické fáze. Pevnost tlaku klesá s rostoucím obsahem kobaltu, rostoucí velikosti zrna WC a rostoucí teplotou. Rozsah hodnot je 3100 ÷ 8000 MPa²¹.



Obr. 1.46 Závislost relativní pevnosti v ohybu na teplotě a závislost pevnosti v ohybu na hmotnostním procentu obsahu kobaltu ⁴⁰



Obr. 1.47 Závislost relativní pevnosti v tlaku na teplotě a závislost pevnosti v tlaku na hmotnostním procentu obsahu kobaltu, pro rozdílné zrnitosti slinutých karbidů viz. tab. 1.4 ⁴⁰



Obr. 1.48 Závislost únavové pevnosti na počtu zatěžovacích cyklů, pro rozdílné zrnitosti slinutých karbidů viz. tab. 1.4 ⁴⁰

- **Pevnost v tahu** – je obtížně měřitelná, jelikož jsou slinuté karbidy materiály s nízkou tažností a vysokou křehkostí. Obecně lze říci, že hodnota pevnosti v tahu dosahuje zhruba poloviny hodnoty pevnosti v ohybu ²¹.

- **Modul pružnosti v tahu a smyku** – jsou ve srovnání s HSS oceli vyšší. S rostoucím množstvím kobaltu a zvětšujícím se zrnem karbidické fáze jejich hodnota klesá. Modul pružnosti v tahu je uváděn v rozmezí 440 ÷ 670 GPa a modul pružnosti ve smyku mezi 170 ÷ 270 GPa ²¹.

• **Lomová houževnatost** (K_{IC}) – je definována jako kritická hodnota součinitele intenzity napětí v okamžiku nestabilního šíření trhliny a je mírou odolnosti tělesa s definovanou trhlinou proti křehkému porušení. S rostoucím obsahem kobaltu a velikostí zrna WC roste i lomová houževnatost (obr. 1.49). Do teplot 500 ÷ 700 °C, je K_{IC} konstantní, poté prudce narůstá²¹.

Hodnotu K_{IC} je možné stanovit z veličin naměřených při Vickersově zkoušce tvrdosti podle vzorce 1.1²¹.

$$\text{Lomová houževnatost }^{21}: \quad K_{IC} = \frac{0,203 \cdot H_V \cdot \left(\frac{u}{2}\right)^{\frac{1}{2}}}{\left(\frac{c}{u}\right)^{\frac{3}{2}}} \left[\text{MPa} \cdot \text{m}^{\frac{1}{2}} \right] \quad (1.1)$$

H_V [MPa]

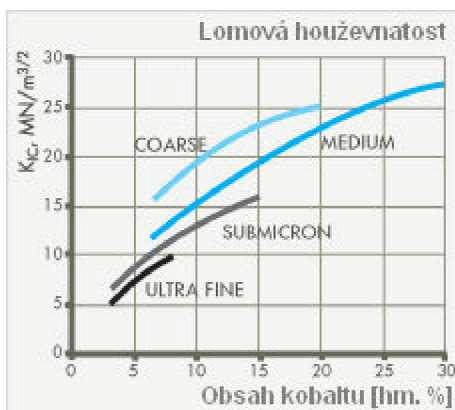
tvrdost

u [m]

délka úhlopříčky vtisku

c [m]

celková délka centrální trhliny



Obr. 1.49 Závislost lomové houževnatosti na hmotnostním procentu obsahu kobaltu, pro rozdílné zrnitosti slinutých karbidů viz. tab. 1.4⁴⁰

1.5.2 Mechanické vlastnosti slinutých karbidů typu WC – TiC – Co

• **Tvrđost** – je vyšší než u slinutých karbidů typu WC – Co, pokud jsou srovnávány materiály s přibližně stejným hmotnostním obsahem kobaltu. Tvrđost roste s rostoucím obsahem TiC a klesá s rostoucím obsahem Co a rostoucí teplotou²¹.

• **Pevnost v ohybu** – s rostoucím obsahem TiC při konstantním hmotnostním obsahu kobaltu klesá. S rostoucí teplotou klesá pevnost ohybu u slinutých karbidů typu WC – TiC – Co rychleji u materiálů s nižším obsahem TiC. Při srovnatelném množství Co je ohybová pevnost SK WC – TiC – Co nižší, než u předchozího typu²¹.

• **Pevnost v tlaku** – klesá s rostoucím obsahem Co a TiC. Udávané hodnoty jsou v rozmezí 3500 ÷ 5600 MPa²¹.

• **Modul pružnosti v tahu** – taktéž klesá s rostoucím obsahem Co a TiC. Modul pružnosti v tahu je nižší než u SK typu WC – Co²¹.

• **Lomová houževnatost** – je při shodném obsahu kobaltu a stejné velikosti zrna, ve srovnání s předchozím typem, nižší²¹.

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

- **Tvrdość** – je srovnatelná jako u předchozích dvou typů. Platí zde také obdobné závislosti na obsahu kobaltu, karbidu titanu a teplotě. Změnou obsahu TaC.NbC se tvrdość mění jen zanedbatelně ²¹.
- **Pevność v ohybu** – klesá s rostoucím obsahem TaC.NbC a rostoucí teplotou. Roste naopak s rostoucím obsahem kobaltu. Celkově je pevnost v ohybu srovnatelná s předchozími typy slinutých karbidů ²¹.
- **Pevność v tlaku** – je srovnatelná s pevností v tlaku slinutých karbidů typů WC – Co a WC – TiC – Co. Platí zde i stejné závislosti na teplotě a obsahu pojiva ²¹.
- **Modul pružnosti v tahu** – s rostoucím obsahem pojivové fáze klesá. Hodnoty odpovídají hodnotám modulu pružnosti v tahu u slinutých karbidů typu WC – Ti – Co ²¹.

Mechanické vlastnosti slinutých karbidů jsou rozhodující vlivy pro jejich použití. Každá z vlastností má svůj nezanedbatelný význam. V dnešní době je stále větší požadavek na výborné mechanické vlastnosti za vysokých teplot. Z uvedených hodnot vyplývá, že slinuté karbidy, jakožto nástrojový materiál, zaujímá širokou oblast mechanických vlastností a tudíž je použitelný ve velkém spektru aplikací.

1.6 Vlastnosti povlaků slinutých karbidů

V sortimentu firem zabývajících se řeznými nástroji je obrovské množství druhů povlaků, které mají značně rozdílné vlastnosti. Druh povlaku, jeho tloušťka a metoda povlakování jsou hlavními faktory ovlivňující fyzikální, mechanické a chemické vlastnosti povlakovaných slinutých karbidů. Odolnost povlakované vrstvy proti opotřebení je závislá hlavně na typu povlaku. Abrasivní opotřebení je ovlivňováno tvrdostí povlakované vrstvy. Tepelné opotřebení thermochemickou stabilitou povlaku. Obecné srovnání vlastností základních povlakovacích materiálů je v tabulce 1.5.

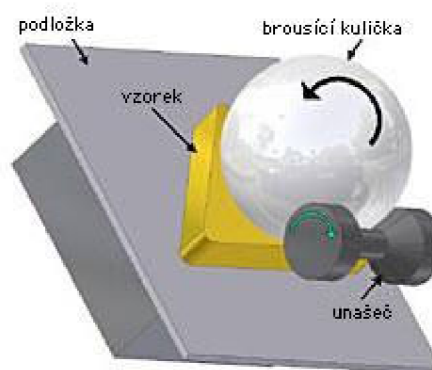
Tab.1.5 Srovnání chemických a mechanických vlastností základních povlakovacích materiálů ²¹

Hodnocení	Chemická stabilita	Odolnost proti oxidaci	Tvrdość	Tvrdość za tepla
Nejlepší	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	TiC	Al ₂ O ₃
↑	TiAlN	TiAlN	TiAlN	TiAlN
	TiN	TiN	TiCN	TiN
	TiCN	TiCN	Al ₂ O ₃	TiCN
Nejhorší	TiC	TiC	TiN	TiC

Nejdůležitější vlastností povlaků je zachování tvrdosti za vysokých teplot, jelikož se povlakované nástroje ze slinutých karbidů využívají při intenzivních řezných podmínkách, kde v některých místech nástroje dosahuje teplota přes 1000 °C.

Obecně se udává několik základních vlastností povlaků slinutých karbidů:

- **Tvrdość** – je u povlaků slinutých karbidů udávána HV nebo také GPa. Měří se tzv. mikrotvrdość, mikrotvrdoměry (nanoindentory) (obr. 1.50), aby zkušební hrot nepronikl příliš hluboko do povlaku. Mezi nejtvrďší povlakované vrstvy patří diamantové nebo KBN povlaky s tvrdostí až 90 GPa.
- **Tloušťka** – je rozličná pro každou aplikaci a je jednou z nejdůležitějších charakteristik povlaku. Pohybuje se v rozmezí $1 \div 10 \mu\text{m}$. Tloušťka na rovinných plochách slinutého karbidu se měří pomocí kalotestru (obr. 1.50).



Obr. 1.50 Nanoindentor a schéma kalotestru ^{34, 45}

- **Drsnost** – ovlivňuje řezné síly, které zvyšují tepelné a mechanické namáhání nástroje. Větší drsnost je způsobena mikročásticemi, které vznikají během procesu povlakování. Drsnost povlaků je udávána v rozmezí hodnot $R_a 0,05 \mu\text{m}$ až $R_a 0,25 \mu\text{m}$ ⁴⁸.

- **Adheze – koheze systému tenká vrstva – substrát** – je jedním z důležitých parametrů povlaku charakterizující vlastnosti celého systému. Zjišťuje se pomocí dvou metod – tzv. Mercedes test (vnikací test) a Scratch test (vrypová zkouška) (obr. 1.51). Pro zajištění kvalitní adheze vrstvy k substrátu by měla být naměřena hodnota minimálně 60 N ^{34, 48}.



Obr. 1.51 Scratch tester a zařízení pro provádění testů „PIC – on – DISC“ (tribometr) ³⁴

- **Kluzné vlastnosti** – jsou důležité z hlediska tepelného zatížení nástroje během obrábění. Snížením frikčních sil, vlivem povlaku, se výrazně

omezuje tepelné zatížení řezného nástroje. Pro měření kluzných vlastností se využívá metoda „PIN – on – DISC“ (obr. 1.51). V poslední době se vyvíjejí povlaky, které mají vynikající kluzné vlastnosti^{34, 48}.

- **Odolnost vůči oxidaci** – je dalším ze způsobů opotřebení břitů řezného nástroje. Může být povrchová nebo hloubková, kde může dojít k destrukci povlaku. K měření odolnosti proti oxidaci se používá gravimetrická metoda, při které se hodnotí změna hmotnosti povlaku účinkem vzdušného kyslíku, v závislosti na teplotě⁴⁸.

- **Chemická stabilita** – je schopnost vrstvy odolávat chemickým reakcím s obráběným materiálem, zejména za vysokých teplot. Chemická stabilita se může měnit vzhledem k obráběnému materiálu a zvoleným řezným podmínkám. Diamantové vrstvy jsou díky své chemické stabilitě naprosto nevyhovující pro obrábění ocelí, ale vynikající v obrábění neželezných materiálů⁴⁸.

- **Tepelná stabilita** – je důležitou vlastností pro určování optimálních řezných podmínek povlakovaných slinutých karbidů. Mezi povlaky s nejvyšší tepelnou stabilitou je možné zařadit vrstvy na bázi CrAlN a nanokrystalické nanokompozity⁴⁸.

2 SLINUTÉ KARBIDY V SORTIMENTU VÝROBY NEJVÝZNAMNĚJŠÍCH DOMÁCÍCH A SVĚTOVÝCH PRODUCENTŮ NÁSTROJŮ A NÁSTROJOVÝCH MATERIÁLŮ

K analýze sortimentu řezných nástrojů byly vybrány, jedna česká firma – Pramet Tools a dvě světově významné firmy - Sandvik Coromant a Widia. Z široké nabídky řezných nástrojů byly porovnávány doporučené řezné podmínky materiálů určených pro soustružnické aplikace.

2.1 Sortiment společnosti PRAMET TOOLS

Výroba slinutých karbidů ve společnosti Pramet Tools má dlouhou historii. Vychází z tradice výroby slinutých karbidů v bývalém Československu od 30 let. V roce 1951 zahájila firma výrobu v Šumperku. Dlouhá tradice a nabitě zkušenosti umožnili firmě Pramet udržet si výhradní postavení, v daném sortimentu, na tuzemském trhu.

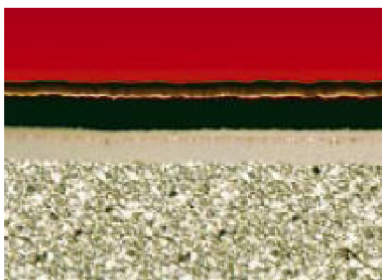
V roce 1999 došlo k propojení společnosti Pramet Tools s finančně silným zahraničním partnerem firmou SECO tools. Díky tomu došlo k rozvoji výrobního sortimentu a celé firmy. Od roku 2000 firma díky, vlastnímu vývoji, kompletně inovovala výrobní sortiment obráběcích nástrojů. V dnešní době hraje významnou roli i na světovém trhu. Stále více poboček a větší prodejní síť po celém světě přinášejí velký díl do celkového obrátu firmy. V roce 2010 se společnost Pramet Tools umístila mezi 100 obdivovanými firmami České republiky v řebříčku CZECH TOP 100.

Jako všichni výrobci i firma Pramet tools rozděluje vyráběné nástrojové materiály podle druhu obrábění (tváření). V nabídce je možno nalézt speciální materiály pro soustružení, frézování, vrtání, tváření a polotovary. Ty jsou dále rozděleny do materiálových řad, kde je několik konkrétních druhů materiálů.

2.1.1 Materiály pro soustružení ze slinutých karbidů ³⁸

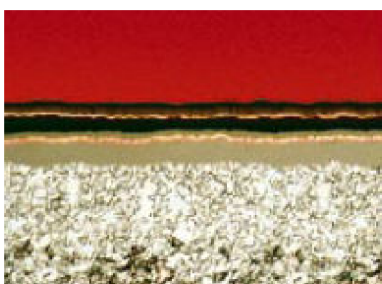
➤ Řada materiálů 6000

• Mikrostruktura materiálu 6605 (K05 ÷ K15)



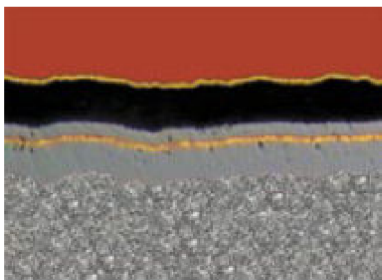
- nejotěruvzdornější materiál řady 6000,
- substrát bez kubických karbidů,
- duální povlak nanesený kombinací metod MTCVD a PVD s nosnou vrstvou Al_2O_3 ,
- pro dokončovací až hrubovací soustružení kontinuálním řezem,
- vysoké řezné rychlosti (suché obrábění).

• Mikrostruktura materiálu 6615 (P10 ÷ P25, K05 ÷ K20)



- funkčně gradientní substrát s relativně nízkým obsahem kobaltu,
- duální povlak nanesený kombinací metod MTCVD a PVD s nosnou vrstvou TiCN,
- pro dokončovací až hrubovací soustružení,
- kontinuální a podmíněně přerušovaný řez,
- vyšší řezné rychlosti.

• **Mikrostruktura materiálu 6620 (K10 ÷ K25)**



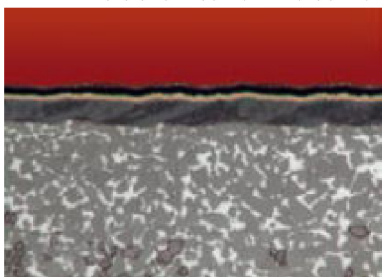
- substrát bez kubických karbidů,
- silný povlak s nosnou vrstvou Al_2O_3 nanesený metodou MTCVD,
- pro dokončovací až hrubovací soustružení,
- kontinuální řez,
- střední a vyšší řezné rychlosti.

• **Mikrostruktura materiálu 6630 (P15 ÷ P35, M10 ÷ M30)**



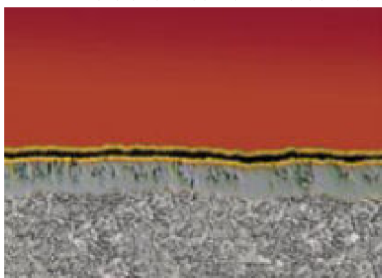
- nejuniverzálnější materiál řady 6000,
- funkčně gradientní substrát,
- středně silný povlak s nosnou vrstvou TiCN nanesený metodou MTCVD,
- pro dokončovací až hrubovací soustružení,
- kontinuální řez i přerušovaný řez,
- střední a podmíněně vyšší řezné rychlosti.

• **Mikrostruktura materiálu 6635 (P20 ÷ P40, M15 ÷ M35)**



- funkčně gradientní substrát s relativně vysokým obsahem kobaltu,
- tenký povlak nanesený metodou MTCVD,
- pro nepříznivé záběrové podmínky a přerušovaný řez,
- nižší až střední řezné rychlosti,
- střední a hlavně vyšší průřezy třísek.

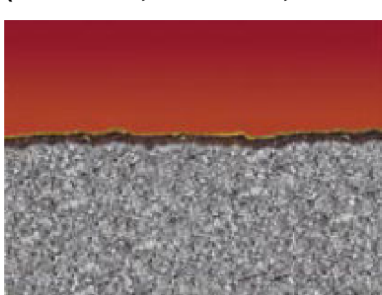
• **Mikrostruktura materiálu 6640 (P20 ÷ P40, M20 ÷ M35)**



- substrát bez kubických karbidů,
- tenký povlak s nosnou vrstvou TiCN nanesený metodou MTCVD,
- zejména pro polohrubovací a hrubovací soustružení,
- pro přerušovaný řez a nepříznivé záběrové podmínky,
- nižší až střední řezné rychlosti.

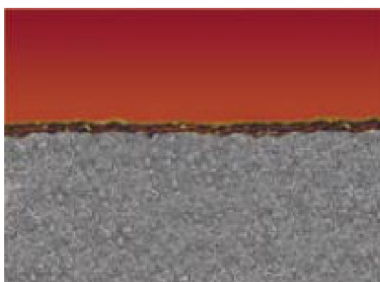
➤ **Řada materiálů 8000**

• **Mikrostruktura materiálu 8016 (materiál použitelný i pro frézování) (K05 ÷ K25, N05 ÷ N25, H05 ÷ H15)**



- nejotěruvzdornější materiál řady 8000,
- submikrometrový substrát bez kubických karbidů s nízkým obsahem kobaltu,
- nanostrukturální povlak nanesený metodou PVD,
- pro operace charakterizované vysokou teplotou zátěží,
- stabilní záběrové podmínky,
- malé až střední průřezy třísek,
- vysoké řezné rychlosti (suché obrábění).

• **Mikrostruktura materiálu 8030 (P25 ÷ P40, M20 ÷ M35, K20 ÷ K40)**



- submikrometrový substrát bez kubických karbidů,
- nanostrukturní povlak nanesený metodou PVD,
- kombinuje dobrou otěruvzdornost spolu s dobrou provozní spolehlivostí,
- horší záběrové podmínky,
- střední řezné rychlosti.

• **Mikrostruktura materiálu 8040 (P30 ÷ P50, M20 ÷ M40, K20 ÷ K40)**



- nejhouževnatější materiál řady 8000,
- submikrometrový substrát bez kubických karbidů s vysokým obsahem kobaltu,
- nanostrukturní povlak nanesený metodou PVD,
- pro operace charakterizované vysokou mechanickou zátěží bříty,
- nestabilní záběrové podmínky,
- nízké až střední řezné rychlosti.

➤ **Řada materiálů 9000**

• **Mikrostruktura materiálu 9210 (P10 ÷ P25)**



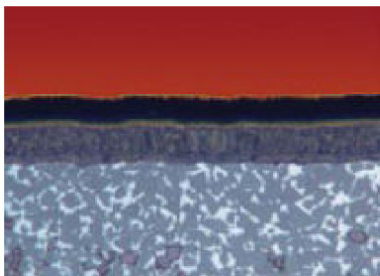
- nejotěruvzdornější materiál řady 92XX,
- funkčně gradientní substrát s relativně nízkým obsahem kobaltu,
- silný povlak s nosnou vrstvou Al_2O_3 nanesený metodou MTCVD,
- speciální úprava po povlakování,
- dokončovací až hrubovací soustružení,
- kontinuální a podmíněně přerušovaný řez,
- vyšší řezné rychlosti.

• **Mikrostruktura materiálu 9230 (P10 ÷ P35, M10 ÷ M30)**



- nejuniverzálnější materiál řady 9000,
- funkčně gradientní substrát,
- moderní středně silný speciální MTCVD povlak,
- speciální úprava po povlakování,
- dokončovací až hrubovací soustružení,
- kontinuální i přerušovaný řez,
- střední a vyšší řezné rychlosti.

• **Mikrostruktura materiálu 9235 (P15 ÷ P40, M15 ÷ M35)**



- funkčně gradientní substrát s relativně vysokým obsahem kobaltu,
- středně silný speciální MTCVD povlak,
- speciální úprava po povlakování,
- hrubovací až dokončovací soustružení,
- přerušovaný i kontinuální řez,
- střední řezné rychlosti.

➤ **Nepovlakované materiály**

• **Mikrostruktura materiálu HF7 (K10 ÷ K25, N10 ÷ N30)**

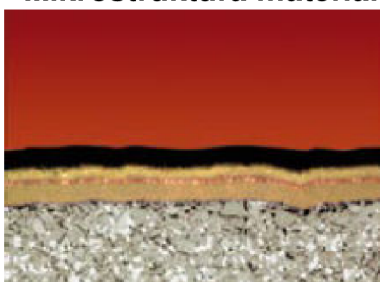


- submikrometrový materiál bez kubických karbidů s nízkým obsahem kobaltu,
- stabilní záběrové podmínky,
- malé až střední průřezy třísek.

2.1.2 Materiály pro frézování ze slinutých karbidů³⁷

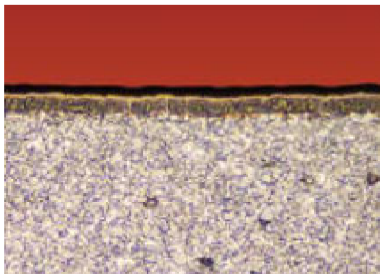
➤ **Řada materiálů 2200**

• **Mikrostruktura materiálu 2215 (P10 ÷ P20, K10 ÷ K20)**



- substrát bez kubických karbidů s nízkým obsahem kobaltu,
- tenký povlak nanesený metodou MTCVD,
- zejména pro VBD s úhlem břítu blízkým 90 °,
- střední až vyšší průřezy třísek,
- vysoké řezné rychlosti,
- suché obrábění.

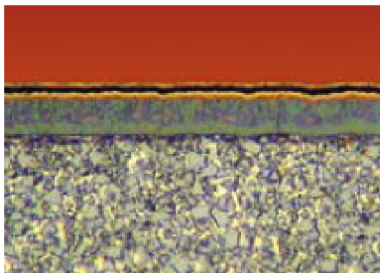
• **Mikrostruktura materiálu 2230 (P15 ÷ P30)**



- substrát bez kubických karbidů s vyšším obsahem kobaltu,
- tenký povlak nanesený metodou MTCVD,
- střední až vyšší průřezy třísek,
- střední řezné rychlosti,
- suché obrábění.

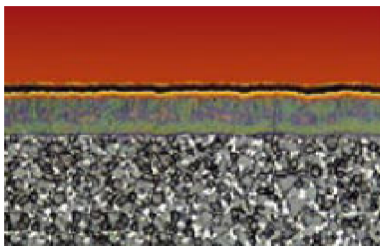
➤ **Řada materiálů 5000**

• **Mikrostruktura materiálu 5026 (P15 ÷ P30, K15 ÷ K30)**



- substrát bez kubických karbidů,
- tenký povlak nanesený metodou MTCVD,
- zejména pro VBD s úhlem břítu blízkým 90 °,
- střední až vyšší průřezy třísek,
- vysoké řezné rychlosti (bez možnosti aplikace řezných kapalin),
- pro dobré záběrové podmínky.

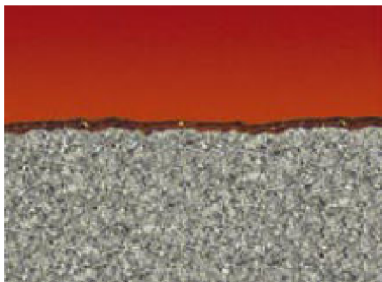
• **Mikrostruktura materiálu 5040 (P25 ÷ P45)**



- substrát s kubickými karbidy,
- tenký povlak nanesený metodou MTCVD,
- určen pro kopírovací frézování,
- střední průřezy třísek,
- nižší až střední řezné rychlosti
- méně příznivé záběrové podmínky.

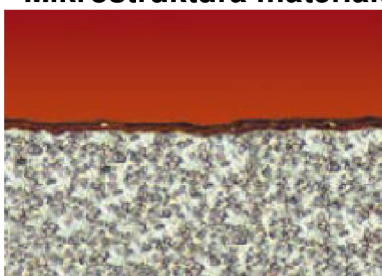
➤ **Řada materiálů 7000**

• **Mikrostruktura materiálu 7010 (K05 ÷ K25, N05 ÷ N25, H05 ÷ H15)**



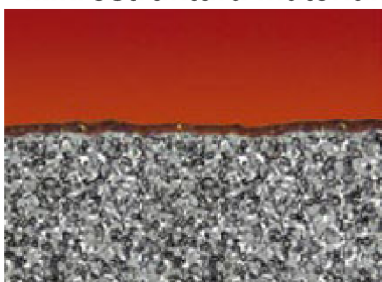
- jemnozrný substrát bez kubických karbidů s velmi nízkým obsahem kobaltu,
- multivrstvý nanostrukturní povlak s vysokým obsahem Al nanesený metodou PVD,
- pro operace charakterizované vysokou tepelnou zátěží,
- malé až střední průřezy třísek,
- vysoké řezné rychlosti,
- stabilní záběrové podmínky.

• **Mikrostruktura materiálu 7025 (P20 ÷ P40)**



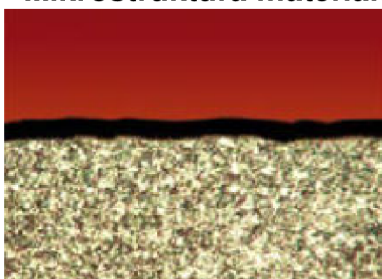
- substrát s vysokým obsahem kubických karbidů
- multivrstvý nanostrukturní povlak s vysokým obsahem Al nanesený metodou PVD,
- střední a vyšší posuvy,
- střední až vysoké řezné rychlosti,
- stabilní záběrové podmínky.

• **Mikrostruktura materiálu 7040 (M15 ÷ M35, K15 ÷ K35)**



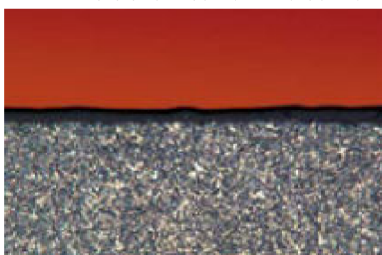
- substrát bez kubických karbidů
- multivrstvý nanostrukturní povlak s vysokým obsahem Al nanesený metodou PVD,
- kombinuje dobrou otěruvzdornost spolu s dobrou provozní spolehlivostí,
- střední řezné rychlosti,
- horší záběrové podmínky.

• **Mikrostruktura materiálu 7205 (K01 ÷ K15, H01 ÷ H10)**



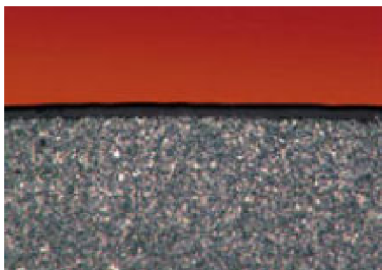
- ultrasubmikrometrový substrát bez kubických karbidů s velmi nízkým obsahem kobaltu,
- vysoká tvrdost při zachování ohybové pevnosti,
- velmi dobrá odolnost proti mechanickému opotřebení,
- PVD povlak nového typu se zvýšenou odolností, proti oxidaci a unikátními kluznými vlastnostmi,
- vysoké řezné rychlosti,
- nízké až střední průřezy třísek,
- stabilní záběrové podmínky.

• **Mikrostruktura materiálu 7215 (K05 ÷ K25, H05 ÷ H15)**



- submikrometrový substrát bez kubických karbidů s nízkým obsahem kobaltu,
- nový gradientní povlak nanesený metodou PVD,
- zvýšená odolnost vůči oxidaci,
- unikátní kluzné vlastnosti,
- střední a vyšší řezné rychlosti,
- malé až střední průřezy třísek.

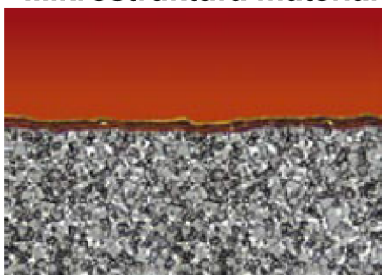
• **Mikrostruktura materiálu 7230 (P25 ÷ P40, K20 ÷ K35)**



- submikrometrový substrát bez kubických karbidů s větším obsahem kobaltu,
- nový gradientní povlak nanesený metodou PVD,
- zvýšená odolnost vůči oxidaci,
- unikátní kluzné vlastnosti,
- střední řezné rychlosti,
- nižší a střední průřezy třísek,
- horší záběrové podmínky.

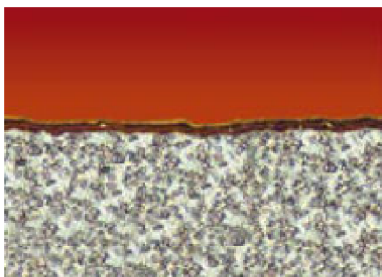
➤ **Řada materiálů 8000**

• **Mikrostruktura materiálu 8026 (P15 ÷ P35, K15 ÷ K35)**



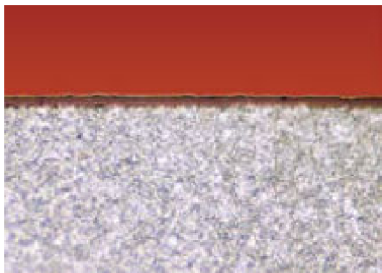
- substrát bez kubických karbidů,
- nanostrukturní povlak nanesený metodou PVD,
- kombinuje dobrou otěruvzdornost spolu s dobrou provozní spolehlivostí,
- střední řezné rychlosti,
- horší záběrové podmínky.

• **Mikrostruktura materiálu 8026T (P20 ÷ P40)**



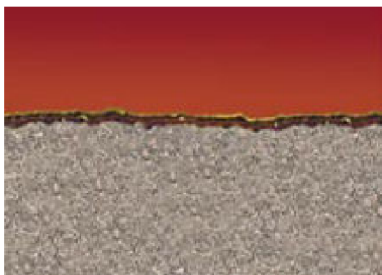
- substrát s vysokým obsahem kubických karbidů,
- nanostrukturní povlak nanesený metodou PVD,
- střední a vyšší posuvy,
- střední až vysoké řezné rychlosti,
- stabilní záběrové podmínky.

• **Mikrostruktura materiálu 8230 (P20 ÷ P40, M20 ÷ M35, K20 ÷ K40)**



- vysoce univerzální řezný materiál,
- submikrometrový substrát bez kubických karbidů,
- nanostrukturní tenký povlak nanesený metodou PVD s vysokým obsahem Al,
- kombinuje dobrou otěruvzdornost spolu s dobrou provozní spolehlivostí,
- střední řezné rychlosti,
- pro nestabilní záběrové podmínky.

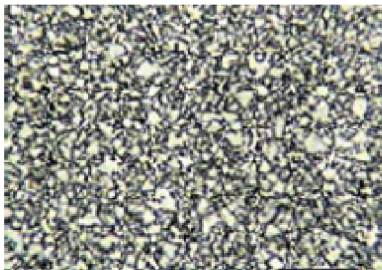
• **Mikrostruktura materiálu 8240 (P25 ÷ P50, M20 ÷ M40, S20 ÷ S30)**



- submikrometrový substrát bez kubických karbidů s vysokým obsahem kobaltu,
- nanostrukturní tenký povlak nanesený metodou PVD s vysokým obsahem Al,
- pro operace charakterizované vysokou mechanickou zátěží břitů,
- nízké až střední řezné rychlosti,
- nestabilní záběrové podmínky.

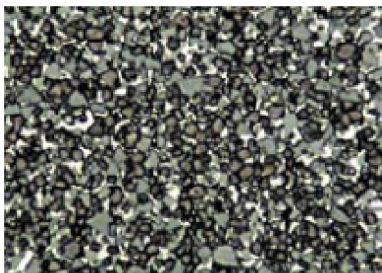
➤ **Nepovlakované materiály**

• **Mikrostruktura materiálu H10 (K15 ÷ K30)**



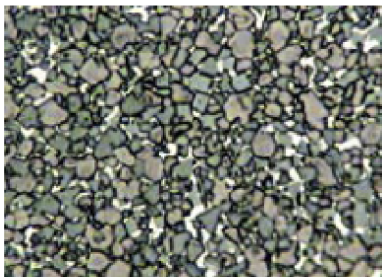
- materiál bez kubických karbidů s nízkým obsahem kobaltu,
- malé až střední průřezy třísek,
- stabilní záběrové podmínky.

• **Mikrostruktura materiálu S26 (P15 ÷ P30)**



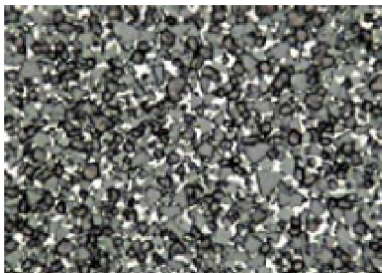
- materiál s vysokým obsahem kubických karbidů,
- střední a vyšší posuvy,
- střední řezné rychlosti,
- stabilní záběrové podmínky.

• **Mikrostruktura materiálu S30 (P20 ÷ P35)**



- materiál s kubickými karbidy,
- střední a vyšší posuvy,
- nízké řezné rychlosti,
- nestabilní záběrové podmínky.

• **Mikrostruktura materiálu S45 (P30 ÷ P45, M30 ÷ M40)**



- materiál s vysokým obsahem kobaltu a kubickými karbidy,
- střední a vyšší posuvy,
- nízké řezné rychlosti,
- nestabilní záběrové podmínky.

Pozn. V závorce za označením materiálu je uvedena oblast jeho hlavního použití dle ISO

2.1.3 Doporučené řezné podmínky materiálů pro soustružení

Doporučené řezné rychlosti jsou hodnotami počátečními, určujícími základní úroveň řezných rychlostí pro danou operaci a pro trvanlivost břitu 15 respektive 45 minut. Vzorec 2.1 uvádí přepočítání řezné rychlosti doplněný o korekční součinitele (viz příloha č.1 a 2).

$$\text{Přepočítání řezné rychlosti}^{38}: v_c = v_{15} \cdot k_{vx} \cdot k_{vT} \cdot k_{vHB} \cdot (k_{vN}) \quad (2.1)$$

Tab.2.1 Doporučené řezné podmínky pro obrábění materiálů skupiny P (dle ISO)*, materiálovou řadou 6000 společnosti Pramet Tools³⁸

Typ operace	Posuv na otáčku f [mm]	Šířka záběru ostří a _p [mm]	Materiál						Trvanlivost	
			6605	6615	6620	6630	6635	6640		
			P10 ÷ P20	P10 ÷ P25	P10 ÷ P20	P15 ÷ P35	P20 ÷ P40	P20 ÷ P40		
P	<i>Jemné soustružení</i>	0,05 ÷ 0,10	0,5	-	-	-	-	-	-	V_{15} [m·min ⁻¹]
	<i>Dokončovací soustružení</i>	0,10 ÷ 0,20	1,5	305 ÷ 480	280 ÷ 370	280 ÷ 390	255 ÷ 330	215 ÷ 250	185 ÷ 275	
	<i>Polohrubovací soustružení</i>	0,20 ÷ 0,40	2,5	230 ÷ 360	230 ÷ 330	190 ÷ 335	185 ÷ 300	145 ÷ 225	135 ÷ 215	
	<i>Hrubovací soustružení</i>	0,40 ÷ 0,80	5,0	170 ÷ 270	185 ÷ 265	135 ÷ 220	135 ÷ 215	110 ÷ 155	110 ÷ 160	
	<i>Těžké hrubovací soustružení</i>	0,80 ÷ 1,30	12,0	-	-	-	85 ÷ 110	75 ÷ 100	70 ÷ 90	

Tab.2.2 Doporučené řezné podmínky pro obrábění materiálů skupiny P (dle ISO)*, materiálovými řadami 8000 a 9000 společnosti Pramet Tools³⁸

Typ operace	Posuv na otáčku f [mm]	Šířka záběru ostří a _p [mm]	Materiál						Trvanlivost	
			8016	8030	8040	9210	9230	9235		
			P05 ÷ P20	P25 ÷ P40	P30 ÷ P50	P10 ÷ P25	P10 ÷ P35	P15 ÷ P40		
P	<i>Jemné soustružení</i>	0,05 ÷ 0,10	0,5	250 ÷ 410	210 ÷ 275	-	-	-	-	V_{15} [m·min ⁻¹]
	<i>Dokončovací soustružení</i>	0,10 ÷ 0,20	1,5	-	200 ÷ 265	-	285 ÷ 370	260 ÷ 355	230 ÷ 300	
	<i>Polohrubovací soustružení</i>	0,20 ÷ 0,40	2,5	-	150 ÷ 245	95 ÷ 180	195 ÷ 340	195 ÷ 305	190 ÷ 270	
	<i>Hrubovací soustružení</i>	0,40 ÷ 0,80	5,0	-	115 ÷ 170	65 ÷ 115	140 ÷ 225	155 ÷ 225	165 ÷ 220	
	<i>Těžké hrubovací soustružení</i>	0,80 ÷ 1,30	12,0	-	65 ÷ 85	30 ÷ 45	105 ÷ 150	90 ÷ 115	110 ÷ 130	

Pozn.: - hlavní oblast použití - další použití - podmíněně použití

Tab.2.3 Doporučené řezné podmínky pro obrábění materiálů skupiny M (dle ISO)**, materiálovými řadami 6000 a 8000 společnosti Pramet Tools³⁸

M	Typ operace	Posuv na otáčku f [mm]	Šířka záběru ostří a _p [mm]	Materiál						Trvanlivost
				6630	6635	6640	8016	8030	8040	
				M10 ÷ M30	M15 ÷ M35	M20 ÷ M35	M05 ÷ M20	M20 ÷ M35	M20 ÷ M40	
M	<i>Jemné soustružení</i>	0,05 ÷ 0,10	0,5	-	-	197 ÷ 280	100 ÷ 150	95 ÷ 140	-	V ₁₅ [m·min ⁻¹]
	<i>Dokončovací soustružení</i>	0,10 ÷ 0,20	1,5	155 ÷ 200	135 ÷ 175	170 ÷ 225	110 ÷ 150	90 ÷ 125	75 ÷ 120	
	<i>Polohrubovací soustružení</i>	0,20 ÷ 0,40	2,5	110 ÷ 180	90 ÷ 155	75 ÷ 165	-	60 ÷ 110	55 ÷ 90	
	<i>Hrubovací soustružení</i>	0,40 ÷ 0,80	5,0	80 ÷ 130	65 ÷ 95	40 ÷ 90	-	45 ÷ 70	40 ÷ 65	
	<i>Těžké hrubovací soustružení</i>	0,80 ÷ 1,30	12,0	50 ÷ 65	45 ÷ 60	10 ÷ 25	-	20 ÷ 35	25 ÷ 35	V ₄₅

Tab.2.4 Doporučené řezné podmínky pro obrábění materiálů skupiny M (dle ISO)**, materiálovou řadou 9000 společnosti Pramet Tools³⁸

M	Typ operace	Posuv na otáčku f [mm]	Šířka záběru ostří a _p [mm]	Materiál						Trvanlivost
				9210	9230	9235				
				M10 ÷ M20	M10 ÷ M30	M15 ÷ M35				
M	<i>Jemné soustružení</i>	0,05 ÷ 0,10	0,5	-	-	-				V ₁₅ [m·min ⁻¹]
	<i>Dokončovací soustružení</i>	0,10 ÷ 0,20	1,5	170 ÷ 225	155 ÷ 215	135 ÷ 180				
	<i>Polohrubovací soustružení</i>	0,20 ÷ 0,40	2,5	120 ÷ 205	115 ÷ 185	115 ÷ 160				
	<i>Hrubovací soustružení</i>	0,40 ÷ 0,80	5,0	85 ÷ 135	90 ÷ 135	100 ÷ 130				
	<i>Těžké hrubovací soustružení</i>	0,80 ÷ 1,30	12,0	-	55 ÷ 65	65 ÷ 75				V ₄₅

Pozn.: - hlavní oblast použití - další použití - podmíněné použití

* - obráběný materiál: nezušlechťená nízkolegovaná ocel (legury ≤ 5 %), tvrdost HB 180

** - obráběný materiál: nezušlechťená, korozivzdorná, feritická/martenzitická ocel, tvrdost HB 180 - 210

Tab.2.5 Doporučené řezné podmínky pro obrábění materiálů skupiny K (dle ISO)*, materiálovou řadou 6000 společnosti Pramet Tools³⁸

K	Typ operace	Posuv na otáčku f [mm]	Šířka záběru ostří a _p [mm]	Materiál						Trvanlivost
				6605	6615	6620	6630	6635	6640	
				K05 ÷ K15	K05 ÷ K20	K10 ÷ K25	K20 ÷ K30	K15 ÷ K35	K25 ÷ K40	
K	<i>Jemné soustružení</i>	0,05 + 0,10	0,5	-	-	-	-	-	-	V ₁₅ [m·min ⁻¹]
	<i>Dokončovací soustružení</i>	0,10 + 0,20	1,5	290 ÷ 455	265 ÷ 350	255 ÷ 375	230 ÷ 290	195 ÷ 225	155 ÷ 220	
	<i>Polohrubovací soustružení</i>	0,20 + 0,40	2,5	220 ÷ 345	215 ÷ 315	200 ÷ 300	165 ÷ 275	130 ÷ 205	100 ÷ 185	
	<i>Hrubovací soustružení</i>	0,40 + 0,80	5,0	160 ÷ 255	175 ÷ 255	175 ÷ 235	120 ÷ 185	100 ÷ 140	70 ÷ 115	
	<i>Těžké hrubovací soustružení</i>	0,80 + 1,30	12,0	-	-	-	65 ÷ 85	-	30 ÷ 45	V ₄₅

Tab.2.6 Doporučené řezné podmínky pro obrábění materiálů skupiny K (dle ISO)*, materiálovými řadami 8000 a 9000 společnosti Pramet Tools³⁸

K	Typ operace	Posuv na otáčku f [mm]	Šířka záběru ostří a _p [mm]	Materiál						Trvanlivost
				8016	8030	8040	9210	9230	9235	
				K05 ÷ K25	K20 ÷ K40	K20 ÷ K40	K05 ÷ K20	K20 ÷ K35	K20 ÷ K35	
K	<i>Jemné soustružení</i>	0,05 + 0,10	0,5	200 ÷ 285	120 ÷ 160	-	-	-	-	V ₁₅ [m·min ⁻¹]
	<i>Dokončovací soustružení</i>	0,10 + 0,20	1,5	-	-	-	255 ÷ 340	245 ÷ 340	215 ÷ 285	
	<i>Polohrubovací soustružení</i>	0,20 + 0,40	2,5	-	-	95 ÷ 150	180 ÷ 300	185 ÷ 290	180 ÷ 255	
	<i>Hrubovací soustružení</i>	0,40 + 0,80	5,0	-	-	60 ÷ 95	140 ÷ 205	145 ÷ 215	160 ÷ 210	
	<i>Těžké hrubovací soustružení</i>	0,80 + 1,30	12,0	-	-	25 ÷ 40	100 ÷ 140	85 ÷ 110	105 ÷ 120	V ₄₅

Pozn.: - hlavní oblast použití - další použití - podmíněné použití
 * - obráběný materiál: šedá litina s vysokou pevností v tahu, tvrdost HB 220 - 240

Tab.2.7 Doporučené řezné podmínky pro obrábění materiálů skupiny N (dle ISO),
materiálovou řadou 8000 a nepovlakovanými SK HF7 společnosti Pramet Tools³⁸

N	Typ operace	Posuv na otáčku f [mm]	Šířka záběru ostří a _p [mm]	Materiál						Trvanlivost V ₁₅ [m·min ⁻¹]
				8016	8030	HF7	8016	8030	HF7	
				N05 ÷ N25		N10 ÷ N30	N05 ÷ N25		N10 ÷ N30	
					N15 ÷ N30			N15 ÷ N30		
			Slitiny Al tvářené, tepelně zpracované HB = 100			Slitiny Cu – mosaz HB = 90				
	<i>Dokončovací soustružení</i>	0,10 ÷ 0,20	1,5	750 ÷ 900	360 ÷ 650	600 ÷ 700	400 ÷ 500	140 ÷ 250	300 ÷ 400	
	<i>Polohrubovací soustružení</i>	0,20 ÷ 0,40	2,5	550 ÷ 750	320 ÷ 450	400 ÷ 550	300 ÷ 400	100 ÷ 150	260 ÷ 350	
	<i>Hrubovací soustružení</i>	0,40 ÷ 0,80	5,0	300 ÷ 450	-	300 ÷ 400	260 ÷ 300	-	220 ÷ 260	

Pozn.: ■ - hlavní oblast použití ■ - další použití ■ - podmíněné použití

Tab.2.8 Doporučené řezné podmínky pro obrábění materiálů skupiny S (dle ISO)*,
materiálovými řadami 6000, 8000 a 9000 společnosti Pramet Tools³⁸

S	Typ operace	Posuv na otáčku f [mm]	Šířka záběru ostří a _p [mm]	Materiál						Trvanlivost V ₁₅ [m·min ⁻¹]
				6630	6640	8030	8040	9230	9235	
						S15 ÷ S25	S20 ÷ S30	S20 ÷ S30		
				S15 ÷ S25	S20 ÷ S30			S15 ÷ S25	S20 ÷ S30	
	<i>Jemné soustružení</i>	0,05 ÷ 0,10	0,5	-	-	-	-	-	-	
	<i>Dokončovací soustružení</i>	0,10 ÷ 0,20	1,5	70 ÷ 90	40 ÷ 75	40 ÷ 60	33 ÷ 55	75 ÷ 105	65 ÷ 90	
	<i>Polohrubovací soustružení</i>	0,20 ÷ 0,40	2,5	60 ÷ 80	40 ÷ 60	25 ÷ 45	23 ÷ 40	60 ÷ 90	60 ÷ 80	
	<i>Hrubovací soustružení</i>	0,40 ÷ 0,80	5,0	40 ÷ 65	30 ÷ 50	23 ÷ 40	18 ÷ 35	45 ÷ 65	50 ÷ 65	

Pozn.: ■ - hlavní oblast použití ■ - další použití ■ - podmíněné použití

* - obráběný materiál: žáruvzdorné superslitiny, žíhané nebo homogenizačně žíhané,
na bázi niklu, tvrdost HB 250

Tab.2.9 Doporučené řezné podmínky pro obrábění materiálů skupiny H (dle ISO)*, materiálovými řadami 6000 a 8000 společnosti Pramet Tools³⁸

H	Typ operace	Posuv na otáčku f [mm]	Šířka záběru ostří a _p [mm]	Materiál						Trvanlivost
				6605	6620	8016	8030			
				H05 ÷ H15	H05 ÷ H15	H05 ÷ H15	H15 ÷ H25			
	Jemné soustružení	0,05 ÷ 0,10	0,5	-	-	-	-			V ₁₅ [m·min ⁻¹]
	Dokončovací soustružení	0,10 ÷ 0,20	1,5	60 ÷ 95	42 ÷ 70	42 ÷ 70	38 ÷ 60			
	Polohrubovací soustružení	0,20 ÷ 0,40	2,5	50 ÷ 70	38 ÷ 50	38 ÷ 50	28 ÷ 45			
	Hrubovací soustružení	0,40 ÷ 0,80	5,0	-	-	-	-			

Pozn.: ■ - hlavní oblast použití ■ - další použití ■ - podmíněné použití
 * - obráběný materiál: tvrzená ocel (kalená a popuštěná), tvrdost 55 - 60 HRC

2.2 Sortiment firmy SANDVIK COROMANT

Firma Sandvik Coromant je největším světovým výrobcem nástrojů na obrábění. Je zastoupena ve 130 zemích světa, s hlavním sídlem ve Švédsku. Zaměstnává více než 8000 lidí. Sandvik Coromant investuje velké množství prostředků do výzkumu a vývoje, ze kterých každým rokem vzejde mnoho nových produktů, či inovací. Sortiment značky čítá okolo 25 000 výrobků, používajících se v širokém spektru průmyslových odvětví.

Založení společnosti se datuje do roku 1862, ale výroba slinutých karbidů byla zahájena až v roce 1942. Od té doby došlo k obrovskému vývoji a v současnosti firma nabízí velké množství různých druhů povlakovaných i nepovlakovaných slinutých karbidů.

Stejně jako u společnosti Pramet Tools jsou nástrojové materiály rozděleny podle oblasti použití. Největší skupinu tvoří materiály pro soustružení a frézování, dále pak pro vrtání, vyvrtávání a vystružování.

2.2.1 Materiály pro soustružení ze slinutých karbidů^{41, 42, 43, 44}

➤ Řada materiálů GC1000

• Mikrostruktura materiálu GC1005 (S10 ÷ S25)

- nejotěruvzdornější materiál řady 1000,
- tvrdý, jemnozrnný substrát s dobrou odolností proti plastické deformaci,
- tenký povlak (Ti, Al) N + TiN nanesený metodou PVD,
- pro operace charakterizované vysokou teplenou zátěží,
- pro dokončovací obrábění korozivzdorných ocelí,
- vysoké řezné rychlosti.

**• Mikrostruktura materiálu GC1025 (materiál použitelný i pro frézování)
(M10 ÷ M25, S10 ÷ S20)**

- ultrajemnozrný substrát,
- tenký povlak (Ti, Al) N + TiN nanesený metodou PVD,
- dobrá odolnost proti tepelným rázům,
- pro kontinuální i pro přerušovaný řez,
- pro dokončovací obrábění korozivzdorných ocelí s požadavkem na úzké tolerance, při vysokých nárocích na kvalitu povrchu nebo ostrý řez,
- vyšší řezné rychlosti.

➤ Řada materiálů GC1100**• Mikrostruktura materiálu GC1105 (S05 ÷ S20)**

- tvrdý, jemnozrný substrát s dobrou odolností proti plastické deformaci, s obsahem kobaltu 6%,
- vysoká tvrdost za vysokých teplot,
- tenký povlak (Ti, Al) N nanesený metodou PVD,
- pro dokončovací obrábění korozivzdorných ocelí,
- vysoké řezné rychlosti.

• Mikrostruktura materiálu GC1115 (M05 ÷ M25, S05 ÷ S25)

- submikrometrový substrát,
- tenký povlak Al_2O_3 nanesený metodou PVD,
- pro dokončovací obrábění korozivzdorných ocelí,
- střední a vyšší řezné rychlosti.

• Mikrostruktura materiálu GC1125 (M10 ÷ M30)

- submikrometrový substrát,
- vysoká houževnatost břitu,
- tenký povlak Al_2O_3 nanesený metodou PVD,
- pro dokončovací obrábění všech druhů korozivzdorných ocelí,
- pro kontinuální i pro lehce přerušovaný řez,
- střední až nízké řezné rychlosti.

➤ Řada materiálů GC1500**• Mikrostruktura materiálu GC1515 (P05 ÷ P25)**

- submikrometrový substrát,
- středně silný povlak $Ti(C, N) + Al_2O_3 + TiN$ nanesený metodou MT - CVD,
- dobrá odolnost proti tepelným rázům,
- pro dokončovací obrábění nízkouhlíkových až nízkolegovaných ocelí,
- kontinuální i pro lehce přerušovaný řez,
- střední až nízké řezné rychlosti.

➤ Řada materiálů GC2000**• Mikrostruktura materiálu GC2015 (M05 ÷ M25)**

- nejotěruvzdornější materiál řady 2000
- funkčně gradientní substrát, umožňující práci za vysokých teplot,
- tenký povlak $Ti(C, N) + Al_2O_3 + TiN$ nanesený metodou MT - CVD,
- pro dokončovací a hrubovací obrábění korozivzdorných ocelí,
- nepřerušovaný řez,
- střední až vysoké řezné rychlosti.

• Mikrostruktura materiálu GC2025 (M15 ÷ M35)

- substrát střední zrnitosti,
- tenký povlak Ti(C, N) + Al₂O₃ + TiN nanesený metodou MT - CVD,
- dobrá odolnost proti tepelným a mechanickým rázům,
- pro kontinuální i pro přerušovaný řez,
- pro hrubovací a polohrubovací obrábění korozivzdorných ocelí,
- střední řezné rychlosti.

• Mikrostruktura materiálu GC2035 (M25 ÷ M40)

- substrát střední zrnitosti,
- tenký povlak (Ti, Al) N + TiN nanesený metodou PVD,
- vysoká odolnost proti tepelným rázům,
- pro rychle přerušovaný řez,
- pro polohrubovací až hrubovací obrábění korozivzdorných ocelí,
- malé až střední řezné rychlosti.

• Mikrostruktura materiálu GC235 (M25 ÷ M40)

- houževnatý substrát střední zrnitosti zajišťuje extrémní spolehlivost bříty,
- tenký povlak Ti (C, N) + TiN nanesený metodou CVD,
- pro těžké přerušované řezy,
- pro hrubovací obrábění korozivzdorných ocelí,
- nízké až střední řezné rychlosti.

➤ Řada materiálů GC3000**• Mikrostruktura materiálu GC3005 (P01 ÷ P25, K01 ÷ K20)**

- tvrdý substrát střední zrnitosti,
- vysoká tvrdost za velmi vysokých teplot,
- středně silný povlak Ti(C, N) + Al₂O₃ + TiN nanesený metodou MT - CVD,
- pro dokončovací až hrubovací obrábění litiny,
- pro vyšší řezné rychlosti.

➤ Řada materiálů GC3200**• Mikrostruktura materiálu GC3205 (K01 ÷ K15)**

- velmi tvrdý, jemnozrný substrát,
- silný, hladký povlak Ti(C, N) + Al₂O₃ + TiN nanesený metodou MT - CVD,
- pro vysokorychlostní obrábění šedé litiny,
- vysoké řezné rychlosti.

• Mikrostruktura materiálu GC3210 (K01 ÷ K20)

- velmi tvrdý, jemnozrný substrát,
- silný, hladký povlak Ti(C, N) + Al₂O₃ + TiN nanesený metodou MT - CVD,
- pro vysokorychlostní obrábění tvárné litiny,
- vysoké řezné rychlosti.

• Mikrostruktura materiálu GC3215 (K01 ÷ K25)

- tvrdý substrát střední zrnitosti,
- středně silný, hladký a opotřebením odolný povlak Ti(C, N) + Al₂O₃ + TiN nanesený metodou MT - CVD,
- pro kontinuální i přerušovaný řez,
- pro hrubovací obrábění litin,
- malé a střední řezné rychlosti.

➤ **Řada materiálů GC4200**

• **Mikrostruktura materiálu GC4205 (P01 ÷ P15)**

- funkčně gradientní substrát, umožňující práci za vysokých teplot,
- silný, hladký povlak Ti(C, N) + Al₂O₃ + TiN nanesený metodou MT – CVD,
- pro hrubovací a polohrubovací obrábění ocelí,
- obrábění za mokra i za sucha,
- pro vyšší řezné rychlosti.

• **Mikrostruktura materiálu GC4215 (P01 ÷ P30)**

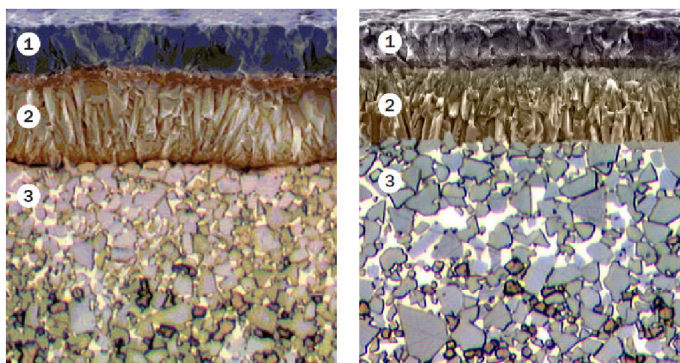
- funkčně gradientní substrát, umožňující práci za vysokých teplot,
- silný, hladký povlak Ti(C, N) + Al₂O₃ + TiN nanesený metodou MT – CVD,
- pro kontinuální i přerušovaný řez,
- pro dokončovací a hrubovací obrábění ocelí nebo ocelolitin,
- obrábění za mokra i za sucha,
- pro vyšší řezné rychlosti.

• **Mikrostruktura materiálu GC4225 (P10 ÷ P35)**

- funkčně gradientní substrát, umožňující práci za vysokých teplot,
- silný, hladký povlak Ti(C, N) + Al₂O₃ + TiN nanesený metodou MT – CVD,
- pro kontinuální i přerušovaný řez,
- pro dokončovací až hrubovací obrábění ocelí nebo ocelolitin,
- velké průřezy třísky,
- pro střední řezné rychlosti.

• **Mikrostruktura materiálu GC4235 (P20 ÷ P45)**

- funkčně gradientní substrát, umožňující práci za vysokých teplot,
- silný, hladký povlak Ti(C, N) + Al₂O₃ + TiN nanesený metodou MT – CVD,
- pro kontinuální i přerušovaný řez,
- pro hrubovací soustružení ocelí a ocelových odlitků za nepříznivých podmínek
- velké průřezy třísky,
- pro malé až střední řezné rychlosti.



Obr. 2.1 Mikrostruktura materiálu GC4225 a GC4235 firmy Sandvik Coromant ⁴³:

- 1) vrstva Al₂O₃
- 2) vrstva TiCN
- 3) funkčně gradientní substrát

• **Mikrostruktura materiálu S05F (S05 ÷ S15)**

- velmi tvrdý jemnozrnný substrát,
- tenký povlak Ti(C, N) + Al₂O₃ + TiN nanesený metodou MT – CVD,
- pro dokončování HRSA při vysokých řezných rychlostech,
- pro dlouhotrvající spojité řezy při nižších řezných rychlostech.

➤ ***Materiály povlakované supertvrdými povlaky***

• **Mikrostruktura materiálu CD1810 (N01 ÷ N15)**

- materiál střední zrnitosti,
- diamantový povlak nanesený metodou CVD,
- pro dokončování až hrubování neželezných kovů,
- vysoká kvalita obrobeneho povrchu.

➤ ***Nepovlakované materiály***

• **Mikrostruktura materiálu H10 (materiál použitelný i pro frézování) (N01 ÷ N25)**

- tvrdý jemnozrnný materiál,
- vynikající odolnost proti otěru a ostrost břitu,
- pro hrubovací až dokončovací soustružení slitin hliníku.

• **Mikrostruktura materiálu H10A (S01 ÷ S20)**

- jemnozrnný materiál,
- kombinace dobré odolnosti proti otěru s houževnatostí,
- pro střední až těžké soustružení tepelně odolných ocelí a titanových slitin.

• **Mikrostruktura materiálu H10F (materiál i pro frézování) (S25 ÷ S30)**

- jemnozrnný materiál,
- odolnost proti tepelným rázům a tvorbě vrubů,
- kontinuální i přerušované řezy,
- pro soustružení tepelně odolných superslitin nebo slitin titanu,
- velmi nízké rezní rychlosti.

• **Mikrostruktura materiálu H13A (materiál i pro frézování) (N10 ÷ N20)**

- materiál střední zrnitosti,
- kombinace dobré odolnosti proti otěru s houževnatostí,
- pro střední až těžké soustružení odolných ocelí a titanových slitin.

2.2.2 Materiály pro frézování ze slinutých karbidů ^{41, 42, 44}

➤ ***Řada materiálů GC1000***

• **Mikrostruktura materiálu GC1010 (H05 ÷ H25)**

- submikrometrový substrát,
- tenký povlak (Ti, Al) N nanesený metodou PVD,
- vysoká tepelná odolnost,
- široké spektrum operací, od hrubování až po dokončování,
- pro dlouhé doby řezu.

• **Mikrostruktura materiálu GC1020 (K15 ÷ K35)**

- tvrdý substrát střední zrnitosti,
- tenký povlak (Ti, Al) N nanesený metodou PVD,
- polohrubování až hrubování šedé a tvárné litiny,
- pro obrábění za mokra,
- střední až vysoké rezní rychlosti.

• **Mikrostruktura materiálu GC1030 (P25 ÷ P50, M10 ÷ M20, S10 ÷ S20, H10 ÷ H20)**

- jemnozrnný substrát,
- tenký povlak (Ti, Al) N + TiN nanesený metodou PVD,
- pro aplikace vyžadující houževnatost,
- při nestabilních podmínkách
- pro materiály snadno ulpívající na břitu.

➤ **Řada materiálů GC2000**

• **Mikrostruktura materiálu GC2030 (M15 ÷ M35, S15 ÷ S35)**

- tvrdý substrát střední zrnitosti,
- tenký povlak (Ti, Al) N + TiN nanesený metodou PVD,
- pro frézování korozivzdorných ocelí,
- pro polodokončovací až lehké hrubovací operace v tepelně odolných superslitinách,
- nízké řezné rychlosti.

• **Mikrostruktura materiálu GC2040 (M20 ÷ M40, S20 ÷ S40)**

- substrát střední zrnitosti,
- tenký povlak Ti(C, N) + Al₂O₃ + TiN nanesený metodou MT – CVD,
- pro frézování korozivzdorných ocelí a žáruvzdorných slitin,
- střední řezné rychlosti,
- materiál vhodný i pro malé série z různorodých materiálů.

➤ **Řada materiálů GC3000**

• **Mikrostruktura materiálu GC3040 (K20 ÷ K40)**

- houževnatý substrát střední zrnitosti,
- středně silný povlak Ti(C, N) + Al₂O₃ nanesený metodou MT - CVD,
- pro frézování tvárné litiny za mokra, nebo litin s vysokou pevností v tahu,
- nízké až střední řezné rychlosti.

• **Mikrostruktura materiálu GC3220 (K05 ÷ K25)**

- substrát střední zrnitosti,
- silný, hladký povlak Ti(C, N) + Al₂O₃ + TiN nanesený metodou MT – CVD,
- pro střední obrábění až hrubování šedé litiny, zejména za sucha,
- střední až vysoké řezné rychlosti.

➤ **Řada materiálů GC4200**

• **Mikrostruktura materiálu GC4220 (P05 ÷ P25, H15 ÷ H30)**

- tvrdý substrát střední zrnitosti,
- středně silný povlak Ti(C, N) + Al₂O₃ + TiN nanesený metodou MT – CVD,
- optimalizováno pro nejvyšší produktivitu frézování ocelí,
- odolává vysokým teplotám v místě řezu,
- obrábění zasucha,
- střední až vyšší průřezy třísek,
- vysoké řezné rychlosti.

• **Mikrostruktura materiálu GC4230 (P10 ÷ P40)**

- substrát střední zrnitosti,
- středně silný povlak Ti(C, N) + Al₂O₃ + TiN nanesený metodou MT – CVD,
- pro lehké až těžké frézování nelegovaných a nízkolegovaných ocelí,
- frézování za mokra i za sucha,
- univerzální materiál pro obrábění s velmi dobrou rovnováhou mezi spolehlivostí bříty a produktivitou.

• **Mikrostruktura materiálu GC4240 (P30 ÷ P50)**

- houževnatý substrát střední zrnitosti,
- středně silný povlak Ti(C, N) + Al₂O₃ + TiN nanesený metodou MT – CVD,
- pro frézování ocelí náročných na houževnatost,
- frézování za mokra i za sucha.

➤ **Řada materiálů K**

• **Mikrostruktura materiálu K15W (K10 ÷ K25)**

- jemnozrný substrát,
- tenký povlak Ti(C, N) + Al₂O₃ + TiN nanesený metodou MT – CVD,
- pro frézování šedé litiny za mokra,
- střední řezné rychlosti.

• **Mikrostruktura materiálu K20W (K15 ÷ K35)**

- substrát střední zrnitosti,
- tenký povlak Ti(C, N) + Al₂O₃ + TiN nanesený metodou MT – CVD,
- pro střední až hrubovací frézování šedé litiny zamokra,
- nízké až střední řezné rychlosti.

• **Mikrostruktura materiálu K20D (K10 ÷ K30)**

- substrát střední zrnitosti,
- silný vícevrstvý povlak Ti(C, N) + Al₂O₃ nanesený metodou MT - CVD,
- pro střední až hrubovací frézování litiny, obvykle bez přívodu kapaliny,
- vysoké řezné rychlosti.

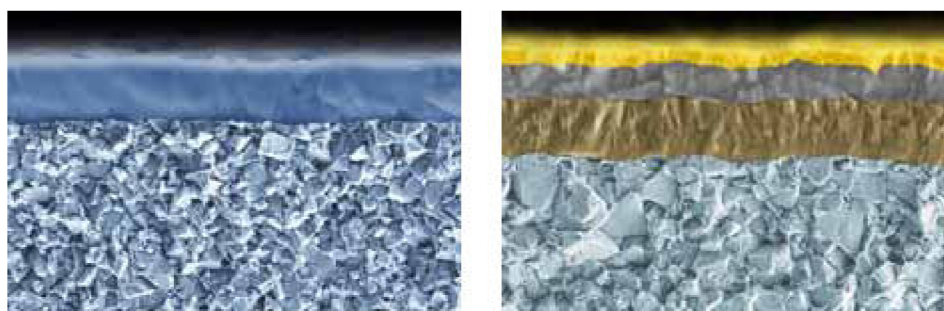
➤ **Nejnovější řada materiálů S**

• **Mikrostruktura materiálu S30T (S05 ÷ S25)**

- submikrometrový substrát,
- tenký povlak Al₂O₃ nanesený metodou PVD,
- ostré břity odolné proti únavě a vylamování mikročásti ostří,
- pro frézování titanu za mokra,
- střední až vyšší řezné rychlosti.

• **Mikrostruktura materiálu S40T (S15 ÷ S40)**

- houževnatý substrát střední zrnitosti,
- tenký povlak Ti(C, N) + Al₂O₃ + TiN nanesený metodou MT – CVD,
- vyšší spolehlivost za nestabilních podmínek,
- pro frézování titanu za mokra,
- nižší řezné rychlosti.



Obr. 2.2 Mikrostruktura materiálů S30T a S40T firmy Sandvik Coromant ⁴¹

Pozn. V závorce za označením materiálu je uvedena oblast jeho hlavního použití dle ISO

2.2.3 Doporučené řezné podmínky materiálů pro soustružení

Doporučené řezné rychlosti jsou hodnotami počátečními, určujícími základní úroveň řezných rychlostí pro danou operaci, obráběný materiál a pro trvanlivost břitu 15 minut. Dále je nutné je upravit podle druhu, tvrdosti obráběného materiálu, stavu stroje a typu operace, pro kterou je materiál použit.

Tab.2.10 Doporučené řezné podmínky pro obrábění materiálů skupiny P (dle ISO)*, materiálovými řadami 1000, 1100, 1500 a 2000 firmy Sandvik Coromant ⁴²

P	Typ operace	Posuv na otáčku f [mm]	Šířka záběru ostří a _p [mm]	Materiál						Trvanlivost V ₁₅ [m·min ⁻¹]
				GC 1025	GC 1125	GC 1515	GC 1525	GC 2015	GC 2025	
				P10 ÷ P35	P10 ÷ P30	P10 ÷ P30	P05 ÷ P25	P20 ÷ P30	P25 ÷ P40	
P	Jemné soustružení	0,05 + 0,10	0,5	-	-	-	185 ÷ 375	-	-	
	Dokončovací soustružení	0,10 + 0,20	1,5	225 ÷ 250	225 ÷ 250	200 ÷ 295	145 ÷ 320	350 ÷ 395	195 ÷ 220	
	Polohrubovací soustružení	0,20 + 0,40	2,5	200 ÷ 225	200 ÷ 225	125 ÷ 200	-	265 ÷ 350	145 ÷ 195	
	Hrubovací soustružení	0,40 + 0,80	5,0	-	-	-	-	190 ÷ 265	100 ÷ 145	

Tab.2.11 Doporučené řezné podmínky pro obrábění materiálů skupiny P (dle ISO)*, materiálem GC235 a materiálovými řadami 3000 a 4200 firmy Sandvik Coromant ⁴²

P	Typ operace	Posuv na otáčku f [mm]	Šířka záběru ostří a _p [mm]	Materiál						Trvanlivost V ₁₅ [m·min ⁻¹]
				GC 235	GC 3005	GC 4205	GC 4215	GC 4225	GC 4235	
				P30 ÷ P50	P01 ÷ P25	P01 ÷ P15	P01 ÷ P30	P10 ÷ P35	P20 ÷ P45	
P	Jemné soustružení	0,05 + 0,10	0,5	-	-	-	-	-	-	
	Dokončovací soustružení	0,10 + 0,20	1,5	140 ÷ 155	435 ÷ 500	540 ÷ 610	145 ÷ 320	350 ÷ 395	195 ÷ 220	
	Polohrubovací soustružení	0,20 + 0,40	2,5	110 ÷ 140	335 ÷ 435	410 ÷ 540	-	265 ÷ 350	145 ÷ 195	
	Hrubovací soustružení	0,40 + 0,80	5,0	70 ÷ 110	-	285 ÷ 410	110 ÷ 140	190 ÷ 265	100 ÷ 145	

Pozn.: ■ - hlavní oblast použití ■ - další použití ■ - podmíněné použití
* - obráběný materiál: nezušlechtěná nízkolegovaná ocel (legury ≤ 5 %), tvrdost HB 180

Tab.2.12 Doporučené řezné podmínky pro obrábění materiálů skupiny M (dle ISO)*, materiálovými řadami 1000, 1100 a 1500 firmy Sandvik Coromant ⁴²

M	Typ operace	Posuv na otáčku f [mm]	Šířka záběru ostří a _p [mm]	Materiál						Trvanlivost V ₁₅ [m·min ⁻¹]
				GC 1005	GC 1025	GC 1105	GC 1125	GC 1515	GC 1525	
					M10 ÷ M25		M10 ÷ M30			
				M05 ÷ M20		M05 ÷ M20		M10 ÷ M25	M05 ÷ M15	
Jemné soustružení	0,05 ÷ 0,10	0,5	-	-	-	-	-	-		
Dokončovací soustružení	0,10 ÷ 0,20	1,5	305 ÷ 380	215 ÷ 280	305 ÷ 380	215 ÷ 280	235 ÷ 305	240 ÷ 290		
Polohrubovací soustružení	0,20 ÷ 0,40	2,5	200 ÷ 305	135 ÷ 215	200 ÷ 305	135 ÷ 215	145 ÷ 235	-		
Hrubovací soustružení	0,40 ÷ 0,80	5,0	-	-	-	-	-	-		

Tab.2.13 Doporučené řezné podmínky pro obrábění materiálů skupiny M (dle ISO)*, materiálem GC235 a materiálovými řadami 2000 a 4200 firmy Sandvik Coromant ⁴²

M	Typ operace	Posuv na otáčku f [mm]	Šířka záběru ostří a _p [mm]	Materiál						Trvanlivost V ₁₅ [m·min ⁻¹]
				GC 2015	GC 2025	GC 2035	GC 235	GC 4225	GC 4225	
				M05 ÷ M25	M15 ÷ M35	M25 ÷ M40	M25 ÷ M40			
								M05 ÷ M25	M15 ÷ M30	
Jemné soustružení	0,05 ÷ 0,10	0,5	-	-	-	-	-	-		
Dokončovací soustružení	0,10 ÷ 0,20	1,5	-	-	-	-	-	-		
Polohrubovací soustružení	0,20 ÷ 0,40	2,5	220 ÷ 260	175 ÷ 230	160 ÷ 180	110 ÷ 130	235 ÷ 280	200 ÷ 235		
Hrubovací soustružení	0,40 ÷ 0,80	5,0	185 ÷ 220	105 ÷ 175	110 ÷ 160	70 ÷ 110	195 ÷ 235	170 ÷ 200		

Pozn.: - hlavní oblast použití - další použití - podmíněné použití

* - obráběný materiál: nezušlechtná, korozivzdorná, feritická/martenzitická ocel, tvrdost HB 200

Tab.2.14 Doporučené řezné podmínky pro obrábění materiálů skupiny K (dle ISO)*, materiálem GC3005 a materiálovou řadou 3200 firmy Sandvik Coromant⁴²

K	Typ operace	Posuv na otáčku f [mm]	Šířka záběru ostří a _p [mm]	Materiál						Trvanlivost
				GC 3005	GC 3205	GC 3210	GC 3215			
				K01 ÷ K20	K01 ÷ K15	K01 ÷ K20	K01 ÷ K25			
K	<i>Jemné soustružení</i>	0,05 + 0,10	0,5	-	-	-	-			V ₁₅ [m·min ⁻¹]
	<i>Dokončovací soustružení</i>	0,10 + 0,20	1,5	-	-	-	-			
	<i>Polohrubovací soustružení</i>	0,20 + 0,40	2,5	225 ÷ 260	350 ÷ 425	290 ÷ 355	200 ÷ 240			
	<i>Hrubovací soustružení</i>	0,40 + 0,80	5,0	180 ÷ 225	285 ÷ 350	210 ÷ 290	145 ÷ 200			

Tab.2.15 Doporučené řezné podmínky pro obrábění materiálů skupiny K (dle ISO)*, materiálovou řadou 4200 a nepovlakovaným materiálem H13A firmy Sandvik Coromant⁴²

K	Typ operace	Posuv na otáčku f [mm]	Šířka záběru ostří a _p [mm]	Materiál						Trvanlivost
				GC 4205	GC 4215	GC 4225	H13A			
				K05 ÷ K15	K10 ÷ K25	K10 ÷ K35	K10 ÷ K30			
K	<i>Jemné soustružení</i>	0,05 + 0,10	0,5	-	-	-	-			V ₁₅ [m·min ⁻¹]
	<i>Dokončovací soustružení</i>	0,10 + 0,20	1,5	-	-	-	125 ÷ 140			
	<i>Polohrubovací soustružení</i>	0,20 + 0,40	2,5	275 ÷ 320	245 ÷ 285	175 ÷ 235	105 ÷ 125			
	<i>Hrubovací soustružení</i>	0,40 + 0,80	5,0	210 ÷ 275	200 ÷ 245	105 ÷ 175	80 ÷ 105			

Pozn.: - hlavní oblast použití - další použití - podmíněné použití

* - obráběný materiál: šedá litina s vysokou pevností v tahu, tvrdost HB 220

Tab.2.16 Doporučené řezné podmínky pro obrábění materiálů skupiny N (dle ISO), nepovlakovanými materiály H10 a H13A a materiálem GC1125 firmy Sandvik Coromant ⁴²

N	Typ operace	f Posuv na otáčku [mm]	Šířka záběru ostří a _p [mm]	Materiál						Trvanlivost V ₁₅ [m·min ⁻¹]
				H10	H13A	GC 1125	H10	H13A	GC 1125	
				N01 ÷ N25			N01 ÷ N25			
					N05 ÷ N25	N15 ÷ N30		N05 ÷ N25	N15 ÷ N30	
			Slitiny Al tvářené, tepelně zpracované HB = 100			Slitiny Cu – mosaz HB = 90				
	<i>Dokončovací soustružení</i>	0,10 ÷ 0,20	1,5	2350÷2650	2250÷2550	350 ÷ 400	585 ÷ 675	520 ÷ 600	140 ÷ 160	
	<i>Polohrubovací soustružení</i>	0,20 ÷ 0,40	2,5	1650÷2350	1600÷2250	245 ÷ 350	410 ÷ 585	365 ÷ 520	90 ÷ 140	
	<i>Hrubovací soustružení</i>	0,40 ÷ 0,80	5,0	250 ÷ 1650	240 ÷ 1600	38 ÷ 245	65 ÷ 410	55 ÷ 365	15 ÷ 90	

Pozn.: ■ - hlavní oblast použití ■ - další použití ■ - podmíněné použití

Tab.2.17 Doporučené řezné podmínky pro obrábění materiálů skupiny H (dle ISO)*, nepovlakovaným materiálem H13A a materiálovou řadou 4200 firmy Sandvik Coromant ⁴²

H	Typ operace	f Posuv na otáčku f [mm]	Šířka záběru ostří a _p [mm]	Materiál						Trvanlivost V ₁₅ [m·min ⁻¹]
				H13A	GC 4205	GC 4215				
				H15 ÷ H25	H05 ÷ H20	H05 ÷ H25				
	<i>Jemné soustružení</i>	0,05 ÷ 0,10	0,5	-	-	-				
	<i>Dokončovací soustružení</i>	0,10 ÷ 0,20	1,5	24 ÷ 31	40 ÷ 48	36 ÷ 45				
	<i>Polohrubovací soustružení</i>	0,20 ÷ 0,40	2,5	14 ÷ 24	26 ÷ 40	24 ÷ 36				
	<i>Hrubovací soustružení</i>	0,40 ÷ 0,80	5,0	8 ÷ 14	15 ÷ 26	12 ÷ 24				

Pozn.: ■ - hlavní oblast použití ■ - další použití ■ - podmíněné použití

* - obráběný materiál: tvrzená ocel (kalená a popuštěná), tvrdost HRC 55

Tab.2.18 Doporučené řezné podmínky pro obrábění materiálů skupiny S (dle ISO)*, materiálem S05F a materiálovými řadami 1000 a 1100 firmy Sandvik Coromant ⁴²

S	Typ operace	Posuv na otáčku f [mm]	Šířka záběru ostří a _p [mm]	Materiál						Trvanlivost
				S05F	GC 1005	GC 1025	GC 1105	GC 1125		
				S05 ÷ S15	S10 ÷ S25	S10 ÷ S25	S05 ÷ S20			
								S20 ÷ S30		
S	Jemné soustružení	0,05 ÷ 0,10	0,5	-	-	-	-	-	V ₁₅ [m·min ⁻¹]	
	Dokončovací soustružení	0,10 ÷ 0,20	1,5	85 ÷ 100	70 ÷ 90	40 ÷ 45	70 ÷ 90	35 ÷ 45		
	Polohrubovací soustružení	0,20 ÷ 0,40	2,5	55 ÷ 85	40 ÷ 70	30 ÷ 40	40 ÷ 70	28 ÷ 35		
	Hrubovací soustružení	0,40 ÷ 0,80	5,0	-	10 ÷ 40	10 ÷ 30	10 ÷ 40	10 ÷ 28		

Tab.2.19 Doporučené řezné podmínky pro obrábění materiálů skupiny S (dle ISO)*, nepovlakovanými materiály firmy Sandvik Coromant ⁴²

S	Typ operace	Posuv na otáčku f [mm]	Šířka záběru ostří a _p [mm]	Materiál						Trvanlivost
				H10A	H10F	H13A				
				S01 ÷ S20	S10 ÷ S30	S10 ÷ S30				
S	Jemné soustružení	0,05 ÷ 0,10	0,5	-	-	-			V ₁₅ [m·min ⁻¹]	
	Dokončovací soustružení	0,10 ÷ 0,20	1,5	48 ÷ 55	35 ÷ 40	45 ÷ 50				
	Polohrubovací soustružení	0,20 ÷ 0,40	2,5	36 ÷ 48	25 ÷ 35	35 ÷ 45				
	Hrubovací soustružení	0,40 ÷ 0,80	5,0	28 ÷ 36	10 ÷ 25	15 ÷ 35				

Pozn.: ■ - hlavní oblast použití ■ - další použití ■ - podmíněné použití
 * - obráběný materiál: žáruvzdorné superslitiny, žíhané nebo homogenizačně žíhané, na bázi niklu, tvrdost HB 250

2.3 Sortiment firmy WIDIA

Firma Widia je nejstarším výrobcem slinutého karbidu na světě. Je zastoupena ve více než 50 zemích. Ve své osmdesátileté historii získala několik prvenství, která ji posunula na nejvyšší úroveň ve výrobě nástrojů pro obrábění. Jako první na světě obdržela v roce 1962 patent na povlakované, vyměnitelné břitové destičky ze slinutého karbidu. Zavedla Zirkoncarbonitrid (ZrCN) jako řezný materiál pro výrazné snížení tření a zvýšení houževnatosti, a vyvinula kompozitní povlaky.

Firma Widia nabízí kompletní program nejnáročnějších, standardních a modifikovaných řešení – vyvinutých tak, aby vyhovovali specifickým požadavkům všeobecného strojírenství. Produkce všech vyráběných materiálů je zařazena do několika kategorií (soustružení, frézování, vrtání apod.), kterými se zabývají samostatné divize.

2.3.1 Materiály pro soustružení ze slinutých karbidů^{27, 29}

➤ **Řada materiálů 5000**

• **Mikrostruktura materiálu TN5015 (K10 ÷ K20)**

- vícevrstvý povlak TiN – TiCN – Al₂O₃ – ZrCn nanesený metodou MT – CVD/CVD,
- jemné a střední soustružení,
- pro všechny druhy litin.

• **Mikrostruktura materiálu TN5020 (K15 ÷ K25)**

- vícevrstvý povlak TiN – TiCN – Al₂O₃ nanesený metodou CVD,
- jemné a střední soustružení,
- pro všechny druhy litin.

➤ **Řada materiálů 6000**

• **Mikrostruktura materiálu TN6010 (S05 ÷ S15)**

- multivrstvý povlak TiAlN nanesený metodou PVD,
- jemné soustružení,
- pro těžkoobrobitelné slitiny.

• **Mikrostruktura materiálu TN6025 (S15 ÷ S30)**

- multivrstvý povlak TiAlN nanesený metodou PVD,
- jemné a střední soustružení,
- pro těžkoobrobitelné slitiny.

➤ **Řada materiálů 7000**

• **Mikrostruktura materiálu TN7005 (P01 ÷ P10)**

- vícevrstvý povlak TiN – TiCN – Al₂O₃ – ZrCn nanesený metodou MT – CVD/CVD,
- extrémní odolnost proti opotřebení,
- pro jemné soustružení,
- nepřerušovaný řez,
- pro všechny typy ocelí a tvárné litiny.

• Mikrostruktura materiálu TN7010 (P05 ÷ P15)

- vícevrstvý povlak TiN – TiCN – Al₂O₃ – ZrCn nanesený metodou MT – CVD/CVD,
- vysoká odolnost proti opotřebení,
- jemné a střední soustružení,
- pro všechny typy ocelí a tvárné litiny.

• Mikrostruktura materiálu TN7015 (P10 ÷ P20)

- vícevrstvý povlak TiN – TiCN – Al₂O₃ – ZrCn nanesený metodou MT – CVD/CVD,
- dobrá kombinace odolnosti proti opotřebení a houževnatosti,
- jemné a střední soustružení,
- pro všechny typy ocelí a tvárné litiny.

• Mikrostruktura materiálu TN7025 (P15 ÷ P30, M15 ÷ M30)

- vícevrstvý povlak TiN – TiCN – Al₂O₃ – ZrCn nanesený metodou MT – CVD/CVD,
- vysoká odolnost proti opotřebení,
- jemné a střední soustružení,
- pro všechny typy ocelí a tvárné litiny.

• Mikrostruktura materiálu TN7035 (P30 ÷ P40)

- vícevrstvý povlak TiN – TiCN – Al₂O₃ – ZrCn nanesený metodou MT – CVD/CVD,
- extrémně houževnatý materiál,
- těžké soustružení,
- pro všechny typy ocelí a tvárné litiny.

➤ Řada materiálů 8000**• Mikrostruktura materiálu TN8025 (M20 ÷ M30)**

- vícevrstvý povlak TiN – TiCN – Al₂O₃ – ZrCn nanesený metodou MT – CVD/CVD,
- dobrá kombinace odolnosti proti opotřebení a houževnatosti,
- jemné a střední soustružení,
- pro austenitické, korozivzdorné oceli.

• Mikrostruktura materiálu HCK10 (N05 ÷ N15)

- jemnozrný substrát,
- povlak TiAlN – Al₂O₃ nanesený metodou PVD,
- jemné a střední soustružení,
- pro hliníkové slitiny.

➤ Nepovlakované materiály**• Mikrostruktura materiálu HWK10 (N05 ÷ N15)**

- jemnozrný materiál,
- vysoká stabilita ostří,
- jemné soustružení,
- pro neželezné kovy a nekovy.

• Mikrostruktura materiálu HWK15 (N10 ÷ N20)

- jemnozrnný materiál,
- vysoká stabilita ostří,
- jemné a střední soustružení,
- pro neželezné kovy a nekovy.

**• Mikrostruktura materiálu THM (materiál použitelný i pro frézování)
(K10 ÷ K20, N10 ÷ N20, S10 ÷ S20, H10 ÷ H20)**

- materiál střední zrnitosti,
- mimořádná kombinace tvrdosti, odolnosti proti opotřebení, stability ostří a houževnatosti,
- jemné a střední soustružení,
- pro litiny, všechny neželezné kovy a nekovové materiály, i za nepříznivých podmínek.

**• Mikrostruktura materiálu TTM (materiál použitelný i pro frézování)
(P20 ÷ P30, M20 ÷ M30)**

- materiál střední zrnitosti,
- střední soustružení,
- pro všechny typy ocelí a tvárné litiny.

**• Mikrostruktura materiálu TTR (materiál použitelný i pro frézování)
(P30 ÷ P40)**

- materiál střední zrnitosti,
- jemné a střední soustružení,
- pro všechny typy ocelí a tvárné litiny,
- použití za nepříznivých podmínek,
- pro nízké řezné rychlosti.

• Mikrostruktura materiálu TTX (P05 ÷ P15, M05 ÷ M15)

- materiál střední zrnitosti,
- vysoká odolnost proti opotřebení,
- jemné soustružení,
- použití za nepříznivých podmínek.

➤ Nejnovější řada materiálů 5100**• Mikrostruktura materiálu TN5105 (K01 ÷ K15)**

- vysoká odolnost proti opotřebení kombinovaná s dobrou houževnatostí a vysokou pevností břitu,
- ideální pro obrábění šedé litiny,
- pro použití s nebo bez procesní kapaliny.

• Mikrostruktura materiálu TN5120 (K10 ÷ K30)

- vysoká odolnost proti opotřebení kombinovaná s dobrou houževnatostí a vysokou pevností břitu,
- ideální pro obrábění tvárné litiny,
- pro použití s nebo bez procesní kapaliny.

➤ Nejnovější řada materiálů 7100**• Mikrostruktura materiálu TN7110 (P01 ÷ P15)**

- vícevrstvý povlak,
- ideální pro dokončovací soustružení oceli,
- pro použití s nebo bez procesní kapaliny,
- kontinuální řez.

• Mikrostruktura materiálu TN7115 (P05 ÷ P20)

- vícevrstvý povlak,
- univerzální použití pro všechny dokončovací až lehce hrubovací operace,
- pro použití s nebo bez procesní kapaliny,
- kontinuální i přerušovaný řez.

• Mikrostruktura materiálu TN7125 (P20 ÷ P30)

- vícevrstvý povlak,
- ideální pro střední až lehce hrubovací soustružení oceli,
- pro použití s nebo bez procesní kapaliny,
- kontinuální i přerušovaný řez.

• Mikrostruktura materiálu TN7135 (P30 ÷ P40)

- vícevrstvý povlak,
- ideální pro hrubovací a těžce hrubovací soustružení oceli,
- pro použití s nebo bez procesní kapaliny,
- kontinuální i přerušovaný řez.



Obr. 2.3 VBD z materiálů TN 5105 a TN 5120 firmy Widia ²⁷

2.3.2 Materiály pro frézování ze slinutých karbidů ^{28, 29}**➤ Řada materiálů 2500****• Mikrostruktura materiálu TN2505 (P01 ÷ P10, K01 ÷ K10, H01 ÷ H10)**

- tenký povlak TiAlN nanesený metodou PVD,
- dokončovací frézování,
- pro frézování litiny a oceli za sucha.

• Mikrostruktura materiálu TN2510 (P05 ÷ P15, K05 ÷ K15, H05 ÷ H15)

- kompozitní povlak TiN – TiCN – (ZrO₂ – Al₂O₃ – TiOx) nanesený metodou MT – CVD/CVD,
- střední až těžké obrábění za sucha,
- pro kalené oceli, stelly nebo litiny, s tvrdostí do 64 HRC,
- frézování jemnozrné litiny při zvýšených rezných rychlostech.

• Mikrostruktura materiálu TN2525 (P15 ÷ P25, H15 ÷ H25)

- tenký povlak TiAlN nanesený metodou PVD,
- lehké a střední obrábění za sucha,
- pro kalené oceli a tvrzené litiny, 50 – 65 HRC.

➤ Řada materiálů 5500**• Mikrostruktura materiálu TN5505 (K01 ÷ K10)**

- vícevrstvý povlak TiN – TiCN – Al₂O₃ nanesený metodou MT – CVD/CVD,
- lehké obrábění za sucha,
- vysoké řezné rychlosti za příznivých podmínek.

• Mikrostruktura materiálu TN5515 (K10 ÷ K20)

- vícevrstvý povlak TiN – TiCN – Al₂O₃ nanesený metodou MT – CVD/CVD,
- lehké a střední obrábění za sucha,
- pro všechny druhy litin.

• Mikrostruktura materiálu TN5520 (K15 ÷ K25)

- vícevrstvý povlak TiN – TiCN – Al₂O₃ nanesený metodou MT – CVD/CVD,
- lehké a střední obrábění za sucha,
- pro všechny druhy litin.

➤ Řada materiálů 6400**• Mikrostruktura materiálu TN6405 (K01 ÷ K10)**

- vícevrstvý povlak TiAlN nanesený metodou PVD,
- lehké a střední obrábění,
- pro frézování šedé a tvárné litiny za i bez použití procesní kapaliny.

• Mikrostruktura materiálu TN6425 (M20 ÷ M30, S15 ÷ S25)

- vícevrstvý povlak TiCN nanesený metodou PVD,
- lehké a střední obrábění,
- pro frézování nerezové oceli a žárupevných slitin za i bez použití procesní kapaliny.

• Mikrostruktura materiálu TN6430 (P25 ÷ P35)

- vícevrstvý povlak TiAlN – TiN nanesený metodou PVD,
- střední až těžké obrábění oceli za i bez použití procesní kapaliny.

➤ Řada materiálů 6500**• Mikrostruktura materiálu TN6501 (N01 ÷ N05)**

- velmi jemný substrát,
- povlak TiB₂ nanesený metodou PVD,
- lehké obrábění,
- frézování za i bez použití procesní kapaliny,
- pro hliníkové a hořčíkové slitiny.

• Mikrostruktura materiálu TN6502 (N01 ÷ N10)

- povlak TiB₂ nanesený metodou PVD,
- lehké obrábění,
- pro frézování hliníku a hořčíkových slitin za i bez použití procesní kapaliny.

• Mikrostruktura materiálu TN6505 (P05 ÷ P15)

- nanostrukturní povlak TiAlN – TiN nanesený metodou PVD,
- lehké obrábění,
- pro frézování oceli za sucha.

- **Mikrostruktura materiálu TN6510 (K05 ÷ K15)**
 - multivrstvý, nanostrukturní povlak TiAlN nanesený metodou PVD,
 - lehké obrábění,
 - pro frézování všech druhů litin za sucha.
- **Mikrostruktura materiálu TN6520 (K15 ÷ K25)**
 - multivrstvý nanostrukturní povlak TiAlN – TiN nanesený metodou PVD,
 - lehké a střední obrábění,
 - pro frézování všech druhů litin za i bez použití procesní kapaliny.
- **Mikrostruktura materiálu TN6525 (P20 ÷ P30, M20 ÷ M30, K20 ÷ K30)**
 - multivrstvý nanostrukturní povlak TiAlN – TiN nanesený metodou PVD,
 - lehké a střední obrábění,
 - pro frézování všech druhů ocelí a vysoce pevné tvárné litiny za sucha.
- **Mikrostruktura materiálu TN6540 (P35 ÷ P45, M35 ÷ M40, K30 ÷ K40)**
 - multivrstvý nanostrukturní povlak TiAlN – TiN nanesený metodou PVD,
 - střední a těžké obrábění,
 - pro frézování všech druhů ocelí a tvárné litiny za i bez použití procesní kapaliny.
- **Řada materiálů 7500**
- **Mikrostruktura materiálu TN7525 (P10 ÷ P30, M10 ÷ M30)**
 - multivrstvý povlak TiN – TiCN – Al₂O₃ - TiN nanesený metodou MT – CVD/CVD,
 - lehké a střední obrábění,
 - pro frézování všech druhů ocelí a tvárné litiny za sucha.
- **Mikrostruktura materiálu TN7535 (P25 ÷ P40, M20 ÷ M35)**
 - multivrstvý povlak TiN – TiCN – Al₂O₃ nanesený metodou MT – CVD/CVD,
 - střední a těžké obrábění,
 - pro frézování všech druhů ocelí a tvárné litiny za sucha,
 - použitelné i za nepříznivých podmínek.
- **Nepovlakované materiály**
- **Mikrostruktura materiálu THM – F (K01 ÷ K10)**
 - jemnozrný materiál,
 - lehké obrábění,
 - pro frézování neželezných kovů, šedé a temperované litiny za i bez použití procesní kapaliny.
- **Mikrostruktura materiálu THM – U (K01 ÷ K10, N01 ÷ N10)**
 - velmi jemnozrný materiál,
 - vynikající odolnost proti opotřebení a ostrost ostří,
 - lehké a střední obrábění,
 - pro frézování hliníkových slitin s obsahem křemíku do 12 % a slitin hořčíku za i bez použití procesní kapaliny.
- **Mikrostruktura materiálu THR (K20 ÷ K30, N20 ÷ N30, S20 ÷ 30)**
 - materiál střední zrnitosti,
 - střední a těžké obrábění,
 - pro frézování hliníkových litin, neželezných kovů a titanových slitin za i bez použití procesní kapaliny.

Pozn. V závorce za označením materiálu je uvedena oblast jeho hlavního použití dle ISO

2.3.3 Doporučené řezné podmínky materiálů pro soustružení

Doporučené řezné rychlosti jsou hodnotami počátečními, určujícími základní úroveň řezných rychlostí pro danou operaci, obráběný materiál a pro trvanlivost břitu 15 minut. Dále je nutné je upravit podle druhu, tvrdosti obráběného materiálu, stavu stroje a typu operace, pro kterou je materiál použit.

Tab.2.20 Doporučené řezné podmínky pro obrábění materiálů skupiny P (dle ISO)*, materiálovými řadami 6000 a 7000 firmy Widia²⁹

P	Typ operace	Posuv na otáčku f [mm]	Šířka záběru ostří a _p [mm]	Materiál						Trvanlivost
				TN 6010	TN 6025	TN 7005	TN 7010	TN 7015	TN 7025	
				P10 ÷ P35	P10 ÷ P30	P01 ÷ P10	P05 ÷ P15	P10 ÷ P20	P15 ÷ P30	
P	<i>Jemné soustružení</i>	0,05 + 0,10	0,5	-	-	420 ÷ 490	400 ÷ 470	-	-	V ₁₅ [m·min ⁻¹]
	<i>Dokončovací soustružení</i>	0,10 + 0,20	1,5	270 ÷ 390	300 ÷ 350	290 ÷ 420	270 ÷ 400	-	-	
	<i>Polohrubovací soustružení</i>	0,20 + 0,40	2,5	200 ÷ 325	190 ÷ 300		200 ÷ 325	140 ÷ 300	150 ÷ 190	
	<i>Hrubovací soustružení</i>	0,40 + 0,80	5,0	-	-	-	-	90 ÷ 140	115 ÷ 160	

Tab.2.21 Doporučené řezné podmínky pro obrábění materiálů skupiny P (dle ISO)*, materiálovou řadou 7100 firmy Widia²⁷

P	Typ operace	Posuv na otáčku f [mm]	Šířka záběru ostří a _p [mm]	Materiál						Trvanlivost
				TN 7110	TN 7115	TN 7125	TN 7135			
				P01 ÷ P15	P05 ÷ P20	P20 ÷ P30	P30 ÷ P40			
P	<i>Jemné soustružení</i>	0,05 + 0,10	0,5	390 ÷ 470	-	-	-			V ₁₅ [m·min ⁻¹]
	<i>Dokončovací soustružení</i>	0,10 + 0,20	1,5	270 ÷ 390	290 ÷ 365	-	-			
	<i>Polohrubovací soustružení</i>	0,20 + 0,40	2,5	-	140 ÷ 290	150 ÷ 190	-			
	<i>Hrubovací soustružení</i>	0,40 + 0,80	5,0	-	-	115 ÷ 160	95 ÷ 130			

Pozn.: ■ - hlavní oblast použití ■ - další použití ■ - podmíněné použití
* - obráběný materiál: nezušlechtěná nízkolegovaná ocel (legury ≤ 5 %), tvrdost HB 180

Tab.2.22 Doporučené řezné podmínky pro obrábění materiálů skupiny M (dle ISO)*, materiály firmy Widia²⁹

M	Typ operace	Posuv na otáčku f [mm]	Šířka záběru ostří a _p [mm]	Materiál						Trvanlivost
				TN 6010	TN 6025	TN 7015	TN 8025	HWK 35		
							M20 ÷ M30			
				M05 ÷ M15	M20 ÷ M30	M10 ÷ M20		M30 ÷ M40		
M	Jemné soustružení	0,05 ÷ 0,10	0,5	155 ÷ 180	-	-	155 ÷ 180	-	V ₁₅ [m·min ⁻¹]	
	Dokončovací soustružení	0,10 ÷ 0,20	1,5	110 ÷ 155	105 ÷ 145	-	110 ÷ 155	100 ÷ 140		
	Polohrubovací soustružení	0,20 ÷ 0,40	2,5	95 ÷ 110	85 ÷ 105	-	80 ÷ 110	80 ÷ 100		
	Hrubovací soustružení	0,40 ÷ 0,80	5,0	-	-	80 ÷ 110	65 ÷ 105	50 ÷ 80		

Pozn.: - hlavní oblast použití - další použití - podmíněné použití

* - obráběný materiál: nezušlechtná, korozivzdorná, feritická/martenzitická ocel, tvrdost HB 200

Tab.2.23 Doporučené řezné podmínky pro obrábění materiálů skupiny K (dle ISO)*, materiálovými řadami 5000, 5100 a materiálem 6010 firmy Widia^{27, 29}

K	Typ operace	Posuv na otáčku f [mm]	Šířka záběru ostří a _p [mm]	Materiál						Trvanlivost
				TN 5015	TN 5020	TN 6010	TN 5105	TN 5120		
				K10 ÷ K20	K15 ÷ K25		K01 ÷ K15	K10 ÷ K30		
						K05 ÷ K15				
K	Jemné soustružení	0,05 ÷ 0,10	0,5	350 ÷ 445	350 ÷ 445	330 ÷ 430	350 ÷ 460	-	V ₁₅ [m·min ⁻¹]	
	Dokončovací soustružení	0,10 ÷ 0,20	1,5	205 ÷ 350	205 ÷ 350	195 ÷ 330	210 ÷ 350	-		
	Polohrubovací soustružení	0,20 ÷ 0,40	2,5	160 ÷ 275	160 ÷ 275	-	-	160 ÷ 275		
	Hrubovací soustružení	0,40 ÷ 0,80	5,0	140 ÷ 240	140 ÷ 240	-	-	100 ÷ 220		

Pozn.: - hlavní oblast použití - další použití - podmíněné použití

* - obráběný materiál: šedá litina s vysokou pevností v tahu, tvrdost HB 220

Tab.2.24 Doporučené řezné podmínky pro obrábění materiálů skupiny N (dle ISO), nepovlakovanými materiály a materiálovou řadou 6000 firmy Widia ²⁹

N	Typ operace	f Posuv na otáčku [mm]	Šířka záběru ostří a _p [mm]	Materiál						Trvanlivost V ₁₅ [m·min ⁻¹]
				TN 6010	TN 6025	THM *	TN 6010	TN 6025	THM *	
						N10 ÷ N30			N10 ÷ N30	
				N05 ÷ N15	N20 ÷ N30		N05 ÷ N15	N20 ÷ N30		
				Slitiny Al tvářené, tepelně zpracované HB = 100			Slitiny Cu – mosaz HB = 90			
	<i>Dokončovací soustružení</i>	0,10 ÷ 0,20	1,5	1400÷2000	1300÷1800	1450÷2000	530 ÷ 600	430 ÷ 500	460 ÷ 600	
	<i>Polohrubovací soustružení</i>	0,20 ÷ 0,40	2,5	400÷1400	300÷1300	300 ÷ 1450	400 ÷ 530	300 ÷ 430	200 ÷ 460	
	<i>Hrubovací soustružení</i>	0,40 ÷ 0,80	5,0	-	-	-	-	-	-	

Pozn.: ■ - hlavní oblast použití ■ - další použití ■ - podmíněné použití
* - stejné řezné podmínky výrobce doporučuje pro materiály HCK15, HWK10, HWK15

Tab.2.25 Doporučené řezné podmínky pro obrábění materiálů skupiny S (dle ISO)*, materiálovými řadami 6000 a 8000 a nepovlakovanými materiály firmy Widia ²⁹

S	Typ operace	f Posuv na otáčku f [mm]	Šířka záběru ostří a _p [mm]	Materiál						Trvanlivost V ₁₅ [m·min ⁻¹]
				TN 6010	TN 6025	TN 8025	THM	HWK 35		
							S10 ÷ S20			
				S01 ÷ S20	S10 ÷ S30	S10 ÷ S30		S30 ÷ S40		
	<i>Jemné soustružení</i>	0,05 ÷ 0,10	0,5	-	-	-	-	-		
	<i>Dokončovací soustružení</i>	0,10 ÷ 0,20	1,5	34 ÷ 60	31 ÷ 55	34 ÷ 60	31 ÷ 55	22 ÷ 38		
	<i>Polohrubovací soustružení</i>	0,20 ÷ 0,40	2,5	25 ÷ 34	23 ÷ 31	29 ÷ 34	27 ÷ 31	19 ÷ 22		
	<i>Hrubovací soustružení</i>	0,40 ÷ 0,80	5,0	-	-	20 ÷ 29	19 ÷ 27	14 ÷ 19		

Pozn.: ■ - hlavní oblast použití ■ - další použití ■ - podmíněné použití
* - obráběný materiál: žáruvzdorné superslitiny, žíhané nebo homogenizačně žíhané, na bázi niklu, tvrdost HB 250

Firma Widia ve svých informačních materiálech neuvádí doporučené řezné podmínky pro soustružení materiálů skupiny H slinutými karbidy. V katalogu jsou uvedeny pouze doporučené řezné rychlosti pro nástroje z KNB.

2.4 Porovnání doporučených řezných podmínek významných výrobců nástrojových materiálů

Porovnání doporučených řezných podmínek různých výrobců je problematické, jelikož každý výrobce je určuje odlišně a pro různé druhy obráběných materiálů. V následujícím srovnání byly zjišťovány řezné rychlosti pro daný druh materiálu a určité hodnoty posuvu, respektive hloubky záběru ostří.

Tab.2.26 Porovnání doporučených řezných podmínek pro obrábění materiálů skupiny P (dle ISO)*, soustružnickými materiály firem Pramet, Sandvik a Widia ^{27, 29, 38, 42}

P	Typ operace	Posuv na otáčku f [mm]	Šířka záběru ostří a _p [mm]	Materiál						Trvanlivost V ₁₅ [m·min ⁻¹]
				Pramet 6615	Pramet 9230	Sandvik GC 1515	Sandvik GC 4225	Widia TN 6025	Widia TN 7115	
				P10 ÷ P25	P10 ÷ P35	P10 ÷ P30	P10 ÷ P35	P10 ÷ P30	P10 ÷ P30	
	<i>Jemné soustružení</i>	0,05 ÷ 0,10	0,5	-	-	-	-	-	-	
	<i>Dokončovací soustružení</i>	0,10 ÷ 0,20	1,5	280 ÷ 370	260 ÷ 355	200 ÷ 295	350 ÷ 395	300 ÷ 350	290 ÷ 365	
	<i>Polohrubovací soustružení</i>	0,20 ÷ 0,40	2,5	230 ÷ 330	195 ÷ 305	125 ÷ 200	265 ÷ 350	190 ÷ 300	140 ÷ 290	
	<i>Hrubovací soustružení</i>	0,40 ÷ 0,80	5,0	185 ÷ 265	155 ÷ 225	-	190 ÷ 265	-	-	

Pozn.: ■ - hlavní oblast použití ■ - další použití ■ - podmíněné použití
* - obráběný materiál: nezušlechtěná nízkolegovaná ocel (legury ≤ 5 %), tvrdost HB 180

Tab.2.27 Porovnání doporučených řezných podmínek pro obrábění materiálů skupiny M (dle ISO)*, soustružnickými materiály firem Pramet, Sandvik a Widia ^{29, 38, 42}

M	Typ operace	Posuv na otáčku f [mm]	Šířka záběru ostří a _p [mm]	Materiál						Trvanlivost V ₁₅ [m·min ⁻¹]
				Pramet 6640	Pramet 8030	Sandvik GC 1125	Sandvik GC 2025	Widia TN 6025	Widia TN 8025	
				M20 ÷ M35	M20 ÷ M35	M10 ÷ M30	M15 ÷ M35	M20 ÷ M30	M20 ÷ M30	
	<i>Jemné Soustružení</i>	0,05 ÷ 0,10	0,5	197 ÷ 280	95 ÷ 140	-	-	-	155 ÷ 180	
	<i>Dokončovací soustružení</i>	0,10 ÷ 0,20	1,5	170 ÷ 225	90 ÷ 125	215 ÷ 280	-	105 ÷ 145	110 ÷ 155	
	<i>Polohrubovací soustružení</i>	0,20 ÷ 0,40	2,5	75 ÷ 165	60 ÷ 110	135 ÷ 215	175 ÷ 230	85 ÷ 105	80 ÷ 110	
	<i>Hrubovací soustružení</i>	0,40 ÷ 0,80	5,0	40 ÷ 90	45 ÷ 70	-	105 ÷ 175	-	65 ÷ 105	

Pozn.: ■ - hlavní oblast použití ■ - další použití ■ - podmíněné použití
* - obráběný materiál: nezušlechtěná, korozivzdorná, feritická/martenzitická ocel, tvrdost HB 200

Tab.2.28 Porovnání doporučených řezných podmínek pro obrábění materiálů skupiny K (dle ISO)*, soustružnickými materiály firem Pramet, Sandvik a Widia ^{27, 29, 38, 42}

K	Typ operace	Posuv na otáčku f [mm]	Šířka záběru ostří a _p [mm]	Materiál						Trvanlivost V ₁₅ [m·min ⁻¹]
				Pramet 6615	Pramet 9210	Sandvik GC 3005	Sandvik GC 3210	Widia TN 5120	Widia TN 5015	
				K05 ÷ K20		K01 ÷ K20	K01 ÷ K20	K10 ÷ K30	K10 ÷ K20	
					K05 ÷ K20					
	<i>Jemné soustružení</i>	0,05 ÷ 0,10	0,5	-	-	-	-	-	350 ÷ 445	
	<i>Dokončovací soustružení</i>	0,10 ÷ 0,20	1,5	265 ÷ 350	255 ÷ 340	-	-	-	205 ÷ 350	
	<i>Polohrubovací soustružení</i>	0,20 ÷ 0,40	2,5	215 ÷ 315	180 ÷ 300	225 ÷ 260	290 ÷ 355	160 ÷ 275	160 ÷ 275	
	<i>Hrubovací soustružení</i>	0,40 ÷ 0,80	5,0	175 ÷ 255	140 ÷ 205	180 ÷ 225	210 ÷ 290	100 ÷ 220	140 ÷ 240	

Pozn.: ■ - hlavní oblast použití ■ - další použití ■ - podmíněné použití
* - obráběný materiál: šedá litina s vysokou pevností v tahu, tvrdost HB 220

Tab.2.29 Porovnání doporučených řezných podmínek pro obrábění materiálů skupiny N (dle ISO), soustružnickými materiály firem Pramet, Sandvik a Widia ^{29, 38, 42}

N	Typ operace	Posuv na otáčku f [mm]	Šířka záběru ostří a _p [mm]	Materiál						Trvanlivost V ₁₅ [m·min ⁻¹]
				Pramet HF7	Sandvik H10	Widia THM*	Pramet HF7	Sandvik H10	Widia THM*	
				N10 ÷ N30	N01 ÷ N25	N10 ÷ N30	N10 ÷ N30	N01 ÷ N25	N10 ÷ N30	
				Slitiny Al tvářené, tepelně zpracované HB = 100			Slitiny Cu – mosaz HB = 90			
	<i>Dokončovací soustružení</i>	0,10 ÷ 0,20	1,5	600 ÷ 700	2350÷2650	1450+2000	300 ÷ 400	585 ÷ 675	460 ÷ 600	
	<i>Polohrubovací soustružení</i>	0,20 ÷ 0,40	2,5	400 ÷ 550	1650÷2350	300 ÷ 1450	260 ÷ 350	410 ÷ 585	200 ÷ 460	
	<i>Hrubovací soustružení</i>	0,40 ÷ 0,80	5,0	300 ÷ 400	250 ÷ 1650	-	220 ÷ 260	65 ÷ 410	-	

Pozn.: ■ - hlavní oblast použití ■ - další použití ■ - podmíněné použití
* - stejné řezné podmínky výrobce doporučuje pro materiály HCK15, HWK10, HWK15

Tab.2.30 Porovnání doporučených řezných podmínek pro obrábění materiálů skupiny S (dle ISO)*, soustružnickými materiály firem Pramet, Sandvik a Widia^{29, 38, 42}

S	Typ operace	Posuv na otáčku f [mm]	Šířka záběru ostří a _p [mm]	Materiál						Trvanlivost V ₁₅ [m·min ⁻¹]
				Pramet 8030	Pramet 9230	Sandvik GC 1005	Sandvik H13A	Widia TN 8025	Widia THM	
						S10 ÷ S25			S10 ÷ S20	
				S15 ÷ S25			S10 ÷ S30	S10 ÷ S30		
				S15 ÷ S25						
	Jemné soustružení	0,05 ÷ 0,10	0,5	-	-	-	-	-	-	
	Dokončovací soustružení	0,10 ÷ 0,20	1,5	40 ÷ 60	75 ÷ 105	70 ÷ 90	45 ÷ 50	34 ÷ 60	31 ÷ 55	
	Polohrubovací soustružení	0,20 ÷ 0,40	2,5	25 ÷ 45	60 ÷ 90	40 ÷ 70	35 ÷ 45	29 ÷ 34	27 ÷ 31	
	Hrubovací soustružení	0,40 ÷ 0,80	5,0	23 ÷ 40	45 ÷ 65	10 ÷ 40	15 ÷ 35	20 ÷ 29	19 ÷ 27	

Pozn.: ■ - hlavní oblast použití ■ - další použití ■ - podmíněné použití

* - obráběný materiál: ■ - žáruvzdorné superslitiny, žíhané nebo homogenizačně žíhané, na bázi niklu, tvrdost HB 250

Tab.2.31 Porovnání doporučených řezných podmínek pro obrábění materiálů skupiny H (dle ISO)*, soustružnickými materiály firem Pramet a Sandvik^{38, 42}

H	Typ operace	Posuv na otáčku f [mm]	Šířka záběru ostří a _p [mm]	Materiál						Trvanlivost V ₁₅ [m·min ⁻¹]
				Pramet 6605	Pramet 6620	Pramet 8016	Sandvik H13A	Sandvik GC 4205	Sandvik GC 4215	
						H05 ÷ H15				
				H05 ÷ H15	H05 ÷ H15		H15 ÷ H25	H05 ÷ H20	H05 ÷ H25	
	Jemné soustružení	0,05 ÷ 0,10	0,5	-	-	-	-	-	-	
	Dokončovací soustružení	0,10 ÷ 0,20	1,5	60 ÷ 95	42 ÷ 70	42 ÷ 70	24 ÷ 31	40 ÷ 48	36 ÷ 45	
	Polohrubovací soustružení	0,20 ÷ 0,40	2,5	50 ÷ 70	38 ÷ 50	38 ÷ 50	14 ÷ 24	26 ÷ 40	24 ÷ 36	
	Hrubovací soustružení	0,40 ÷ 0,80	5,0	-	-	-	8 ÷ 14	15 ÷ 26	12 ÷ 24	

Pozn.: ■ - hlavní oblast použití ■ - další použití ■ - podmíněné použití

* - obráběný materiál: ■ - tvrdá ocel (kalená a popuštěná), tvrdost HRC 55

Z tabulky 2.26, je patrné, že pro soustružení materiálů skupiny P (dle ISO) s hlavní oblastí použití P10 ÷ P25 (P35) jsou nástrojové materiály všech porovnávaných výrobců srovnatelné ($v_{cmax} = 350 \div 395 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$). Nejvyšší doporučené řezné rychlosti jsou předepsány u materiálu GC4225 firmy Sandvik Coromant. Při posuvu 0,1 mm na otáčku a hloubky záběru ostří 1,5 mm se udává $v_c = 395 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Pro srovnání byl vybrán obráběný materiál – nezušlechťená, nízkolegovaná ocel s tvrdostí 180 HB.

Pro polohrubovací soustružení materiálu skupiny M (dle ISO) ve srovnání (tab. 2.27) opět nejlépe dopadl materiál firmy Sandvik Coromant. Materiál GC2025 poměrně vysoko převyšuje materiály ostatních firem. V rozmezí posuvů od 0,2 až 0,4 mm na otáčku a hodnoty $a_p = 2,5 \text{ mm}$ je doporučená řezná rychlost tohoto materiálu $v_c = 175 \div 230 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Hodnoty předepsané například pro materiál 6640 firmy Pramet se pohybují v rozmezí $v_c = 75 \div 165 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Pro srovnání byl vybrán obráběný materiál – nezušlechťená, korozivzdorná ocel s tvrdostí 200 HB.

U polohrubovacího soustružení litin (skupina K, dle ISO) nejsou rozdíly mezi výrobci tak výrazné viz. tab. 2.28. Nejvyšší doporučené řezné rychlosti pro posuvy od 0,2 až 0,4 mm na otáčku a hodnoty $a_p = 2,5 \text{ mm}$, v rozmezí $v_c = 290 \div 355 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, udává ve svých katalozích švédský výrobce Sandvik Coromant pro materiál s označením GC3210. Pro srovnání byl vybrán obráběný materiál – šedá litina s vysokou pevností v tahu a s tvrdostí 220 HB.

Srovnání řezných materiálů skupiny N (dle ISO) uvádí tabulka 2.29. Opět nejvyšší hodnoty řezné rychlosti doporučuje firma Sandvik Coromant pro nepovlakovaný materiál s označením H10. Řezná rychlost pro dokončování tepelně zpracované hliníkové slitiny s tvrdostí 100 HB je v rozmezí $v_c = 2350 \div 2650 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ a pro dokončovací soustružení mosazi s tvrdostí 90 HB, $v_c = 585 \div 675 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Poměrně nízké hodnoty udává český výrobce Pramet Tools.

Naopak pro dokončovací soustružení žíhaných, žáruvzdorných superslitin na bázi niklu s tvrdostí 250 HB, doporučuje Pramet Tools nejvyšší řezné rychlosti z porovnávaných firem viz. tab. 2.30. Pro materiál s označením 9210 jsou v rozmezí $v_c = 75 \div 105 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$.

V tabulce 2.31 je porovnání nástrojových materiálů, pro obrábění skupiny H (dle ISO), pouze dvou výrobců. Pro tuto skupinu firma Widia neuvádí doporučené řezné podmínky nástrojových materiálů ze slinutého karbidu. Při posuzování zbývajících dvou firem bylo zjištěno, že pro dokončovací soustružení doporučuje český výrobce pro své materiály vyšší řezné rychlosti, než firma Sandvik Coromant. U materiálu s označením 6605 je řezná rychlost dokončovacího soustružení uváděna v rozmezí $v_c = 60 \div 95 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$.

V dnešní době se výrobci řezných nástrojů, při určování řezných podmínek, zaměřují na softwarovou podporu. Zákazník si pak může zadat přesný typ operace do výpočtového modulu a software mu následně nabídne vhodný typ nástrojového materiálu a vypočtené doporučené řezné podmínky. Tento postup vynechává zdoluhavé hledání v katalozích, ale naopak přináší komplikace při komplexním porovnávání vyráběných nástrojových materiálů.

3 HODNOCENÍ ŘEZIVOSTI NÁSTROJE

Řezivost nástroje je charakterizována jako vlastnost, která mu umožňuje efektivní způsob odebrání třísky z obráběného materiálu. Tuto vlastnost ovlivňuje řada faktorů – druh operace, geometrie nástroje, řezné podmínky atd., především ale fyzikální a mechanické vlastnosti nástroje. Řezivost není vlastností absolutní, může se měnit s různým druhem obráběného materiálu, tzn. že materiál s vynikající řezivostí pro soustružení běžné oceli, bude mít velmi slabou řezivost např. kalené oceli²⁵.

Kritériem hodnocení řezivosti je $T - v_c$ závislost, kterou formuloval Fredrick Taylor na přelomu 19. až 20. století¹.

$T - v_c$ závislost²⁵:

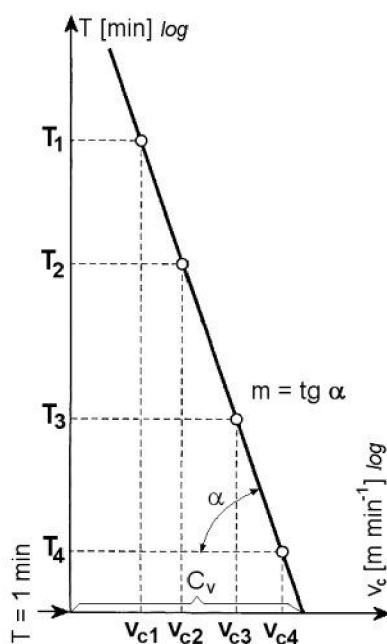
$$T = \frac{C_T}{v_c^m} \quad [\text{min}] \quad \text{častěji ve tvaru: } v_c = \frac{C_v}{T^{\frac{1}{m}}} \quad [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (3.1,3,2)$$

T [min]	trvanlivost
C_T [-]	konstanta, řádově $10^9 \div 10^{13}$
C_v [-]	konstanta, $C_v = C_T^{1/m}$, řádově pouze $10^2 \div 10^3$
v_c [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]	řezná rychlost
m [-]	exponent

Obecně má lepší řezivost ten nástrojový materiál, který v Taylorově vztahu vykazuje vyšší hodnotu konstanty C_v a nižší hodnotu exponentu m .

Tab.3.1 Hodnoty exponentu m pro různé nástrojové materiály²⁵

Materiál	Nástrojové oceli	Rychlořezné oceli	Slinuté karbidy	Řezná keramika
m [-]	10 ÷ 8 (až 6)	8 ÷ 5 (až 3)	5,0 ÷ 2,5 (až 2)	2,5 ÷ 1,5 (až 1,2)
α [-]	84 ÷ 83	83 ÷ 79	79 ÷ 68	68 ÷ 56



Obr. 3.1 $T - v_c$ závislost²⁵

Postup stanovení základní $T - v_c$ závislosti pro konkrétní obráběcí nástroj a obráběný materiál vychází z definice trvanlivosti, za ostatních konstantních řezných podmínek. Proces obrábění je následně sledován při minimálně čtyřech různých řezných rychlostech, přičemž je sledován časový nárůst opotřebení nástroje²⁵.

Nejčastěji používaným kritériem opotřebení je šířka fazetky opotřebení na hřbetě (**VB**). Hodnota VB se předem stanoví a následně se z časových křivek VB odečtou hodnoty trvanlivosti T_1, T_2, T_3 a T_4 , které odpovídají vybraným řezným rychlostem v_{c1}, v_{c2}, v_{c3} a v_{c4} . Body o souřadnicích $v_{c1} - T_1, v_{c2} - T_2, v_{c3} - T_3$ a $v_{c4} - T_4$ se vynesou do diagramu s logaritmickými souřadnicemi T a v_c . Spojnice těchto bodů vytvoří přímkou, která odpovídá zvolené hodnotě opotřebení VB (obr. 3.1)²⁵.

V praxi se často využívají rozšířené vztahy pro $T - v_c$ závislost. Výrobci řezných nástrojů uvádějí hodnotu řezné rychlosti při konstantní trvanlivosti nástroje tzv. v_{c15} – řezná rychlost při trvanlivosti $T = 15$ min.

Rozšířená $T - v_c$ závislost²⁵:

$$v_{cT} = \frac{C_{vT}}{a_p^{x_v} \cdot f^{y_v}} \quad [m \cdot \min^{-1}] \quad \text{nebo:} \quad v_c = \frac{C_{v1}}{T^{\frac{1}{m}} \cdot a_p^{x_v} \cdot f^{y_v}} \quad [m \cdot \min^{-1}] \quad (3.3,3,4)$$

v_{cT}	$[m \cdot \min^{-1}]$	řezná rychlost při konstantní trvanlivosti T
C_{vT}	[-]	konstanta
a_p	[mm]	šířka záběru ostří
f	[mm]	posuv na otáčku
X_v	[-]	exponent, vyjadřující vliv šířky záběru ostří
y_v	[-]	exponent, vyjadřující vliv posuvu na otáčku
C_{v1}	[-]	konstanta
v_c	$[m \cdot \min^{-1}]$	řezná rychlost
T	[min]	trvanlivost
m	[-]	exponent

Výhodou těchto rozšířených vztahů je menší počet omezujících parametrů, ovšem na úkor většího rozsahu zkoušek, potřebných pro jejich konkrétní stanovení²⁵.

3.1 Opotřebení břitu nástroje

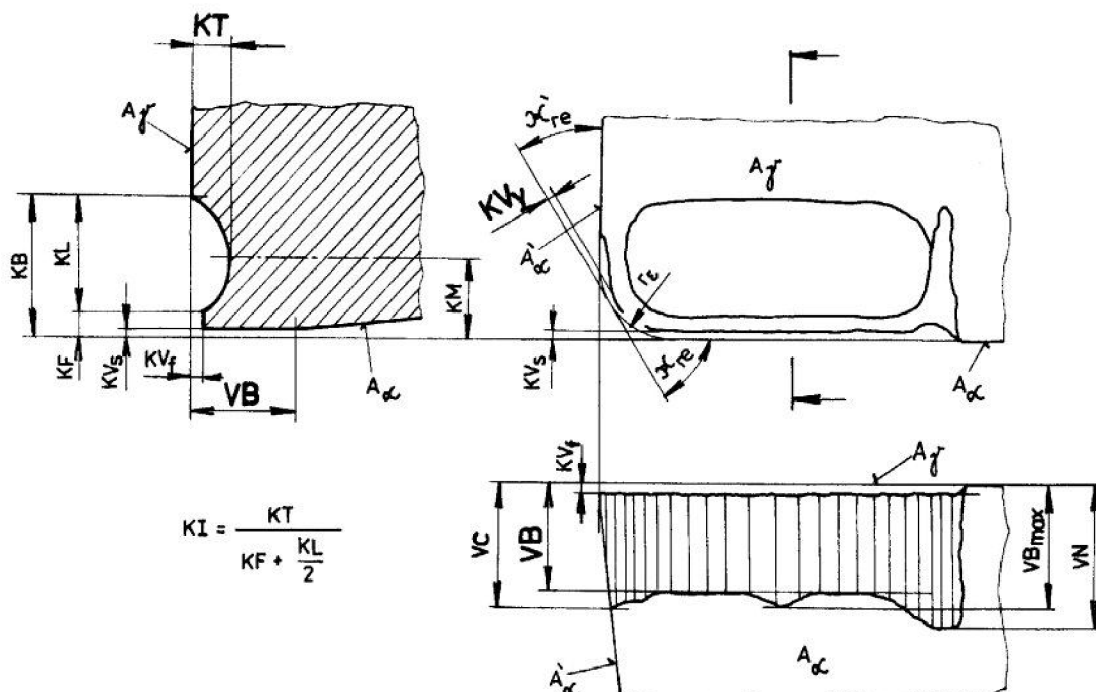
Opotřebení je nejdůležitějším faktorem při stanovování trvanlivosti řezného nástroje a je běžným důsledkem styku dvou relativně pohybujících se povrchů. Opotřebení řezného nástroje je způsobeno kontaktem hlavního, vedlejšího hřbetu a špičky nástroje s obrobkem, nebo čela nástroje s odcházející třískou. Základní mechanismy opotřebení jsou uvedeny v tabulce 3.2²⁵.

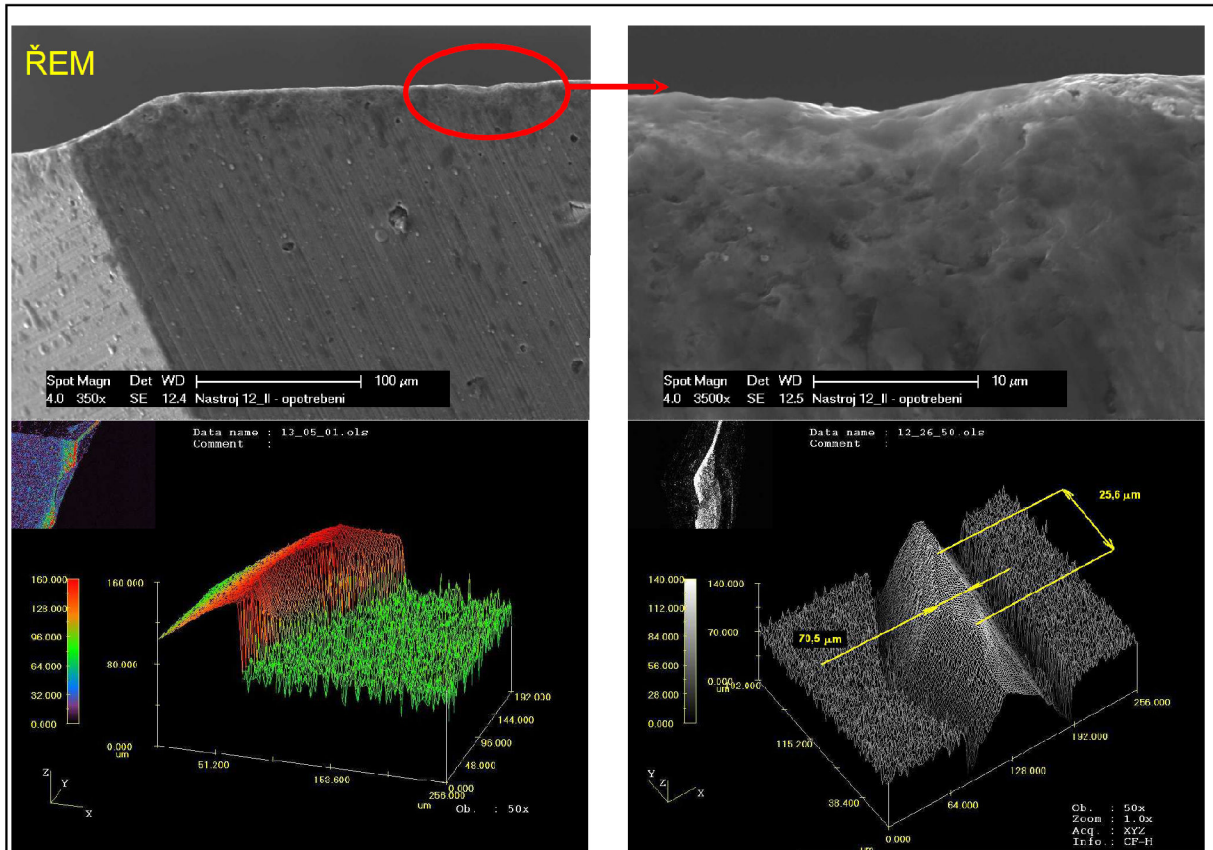
Tab.3.2 Základní mechanismy opotřebení ²⁵

abraze	Brusný ořer vlivem tvrdých mikročástic obráběného materiálu i mikročástic uvolněných z nástroje.
adheze	Vznik a okamžité následné porušování mikrosvarových spojů na stýkajících se vrcholcích nerovností čela a třísky, v důsledku vysokých teplot, tlaků, chemické příbuznosti materiálů a kovově čistých styčných povrchů.
difúze	Migrace atomů z obráběného do nástrojového materiálu a naopak, a z ní vyplývající vytváření nežádoucích chemických sloučenin ve struktuře nástroje.
oxidace	Vznik chemických sloučenin na povrchu nástroje v důsledku přítomnosti kyslíku v okolním prostředí.
plastická deformace	Důsledek vysokého mechanického zatížení, kumulovaného v čase. Může se ve svém nejnepříznivějším důsledku projevit ve formě tzv. lavinového opotřebení.
křehký lom	Důsledek vysokého mechanického zatížení, například přerušovaný řez, nehomogenity, vměstky v obráběném materiálu, atd.

Působení jednotlivých mechanismů na celkovém opotřebení a jejich podíl se s vzrůstající teplotou zvyšuje, krom adheze. Vliv na opotřebení mají také hodnoty řezné rychlosti, posuvové rychlosti a minimálně šířky záběru ostří ²⁵.

Opotřebení se může projevit v různých formách, viz. příloha 3, které jsou kvantifikovány pomocí kritérií opotřebení (obr. 3.2). Nejdůležitějšími a nejčastěji užívanými kritérii jsou šířka fazetky opotřebení na hřbetě – **VB**, hloubka výmolu na čele – **KT** a radiální opotřebení špičky nástroje – **KV**. Existují různé metody měření těchto kritérií. Mezi nejmodernější patří vyhodnocování opotřebení pomocí konfokálního mikroskopu (obr.3.3) ²⁵.

Obr. 3.2 Kritéria opotřebení řezného nástroje ²⁵



Obr. 3.3 Analýza opotřebení řezného nástroje pomocí konfokálního mikroskopu ³¹

ZÁVĚR

Technologický obor obrábění prošel dlouhým vývojem a díky mnohým inovacím je na dnešní vysoké úrovni. Stále vyšším požadavkům spotřebitelů bylo nutné vyhovět. Vysoké produktivity výroby lze dosáhnout vhodně zvoleným řezným materiálem. Výzkum v oblasti nástrojových materiálů, a hlavně jejich povrchových uprav, je značně rozsáhlý. Zabývá se jim mnoho vědeckých týmů po celém světě. Každý rok je podáno velké množství patentových přihlášek na nové druhy řezných materiálů, respektive jejich povlaky a metody povlakování. Patentové přihlášky inovativních geometrií nástrojů jsou pouze v mizivém procentu, i když stejně jako druh materiálu, mohou významně ovlivnit jeho řezivost.

Diplomová práce je zaměřena na nejpoužívanější nástrojový materiál slinuté karbidy a charakterizuje jejich vývoj. Zabývá se základním rozdělením slinutých karbidů podle normy ISO 513, nejnovějšími trendy výroby slinutých karbidů, metodami povlakování, úpravami před povlakováním a moderními typy povlaků. Zmiňuje se o použití KNB k povlakování nástrojů ze slinutých karbidů. I když tento povlak ještě není komerčně příliš rozšířen, jeho vlastnosti jsou pro výrobce nástrojů velkým příslibem do budoucna. Popisuje základní fyzikální a mechanické vlastnosti nepovlakovaných a povlakovaných slinutých karbidů.

Cílem této diplomové práce bylo porovnání nástrojových materiálů nejvýznamnějších světových producentů obráběcích nástrojů z hlediska jejich doporučovaných řezných podmínek. Do výběru byly zařazeny tyto dvě zahraniční firmy Sandvik Coromant, Widia a jedna česká společnost Pramet Tools. Pramet Tools je největším českým výrobcem nástrojů pro obrábění a na našem trhu nemá konkurenci. Firma Sandvik Coromant je nejvýznamnějším světovým producentem a její vlastní výzkumný tým udává trendy vývoje. Firma Widia stála na počátku zrodu slinutých karbidů jako řezného materiálu, a vlastní mnoho prvenství v oboru.

Ve srovnání jsou použity nejnovější katalogy všech výrobců, a aby výsledky vypovídaly co nejvíce o rozdílech mezi jednotlivými řeznými materiály, byly utvořeny tabulky doporučených řezných rychlostí pro soustružení stejných druhů materiálů každé ze skupin P, M, K, N, S, H, dle ISO.

S výsledků analýzy katalogů těchto výrobců vyplývá, že firma Sandvik Coromant doporučuje nejvyšší řezné rychlosti ze všech porovnávaných firem, u svých speciálních soustružnických materiálů na obrábění skupin P, M, K, N, z čehož může plynout její výhradní postavení na světovém trhu. Česká společnost Pramet Tools nikterak nezaostává, ba dokonce u skupin materiálů S a H doporučuje nejvyšší řezné rychlosti pro své druhy soustružnických materiálů.

Pozornost výrobců se začíná pomalu zaměřovat i na obrábění nových druhů materiálů, jako jsou superslitiny, kompozitní materiály, titanové slitiny apod., u kterých stávající druhy nástrojových materiálů nejsou zcela vhodné (dostatečně výkonné), a které se v čím dál větší míře začínají využívat ve všech oblastech průmyslu.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. *Příručka obrábění - Kniha pro praktiky*. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, 1997. 857 s. Přel. z: *Modern Metal Cuttign - A Practical Handbook*. ISBN 91-97 22 99-4-6.
2. *Academic information* [online]. 2010 [cit. 22. března 2010]. Dostupné na World Wide Web: <http://python.rice.edu/~arb/Courses/chem360_06.htm>.
3. *Anti Microbial Aluminium Surface* [online]. 2010 [cit. 22. března 2010]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.thinfilmsblog.com/2007/11/tribological-coatings-from-monolithic-to.html>>.
4. BEWILOGUA, K., KEUNECKE, M., WEBER, M., *Hard and superhard coatings for tribological applications*. Fraunhofer Institute for Surface Engineering and Thin Films (IST), Braunschweig, Germany [online]. 2006 [cit. 22. března 2010]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.miics.net/2006/download/21bewi.pdf>>.
5. BOCANEGRA-BERNAL, M. H. Hot Isostatic Pressing (HIP) technology and its applications to metals and ceramics. *JOURNAL OF MATERIALS SCIENCE*. 39/2004, s. 6399 - 6420. ISSN 0022-2461.
6. BROOKES, K., How gradient hardmetals function. *Metal Powder Report*. Volume 62, April 2007, s. 19 - 25. ISSN 0026-0657.
7. CEMECON AG, Würselen, Germany, *DLC coating* [online]. 2010 [cit. 2. března 2010]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.cemecon.de/e4375/e4897/e5017/e5141/e5375/e5384/e5390/2007-03-22_153808_cr_cr_ger.jpg>.
8. CERATIZIT S. A., Mamer, Luxemburg. *Main Catalogue*. [online]. [cit. 26. května 2010]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.ceratizit.com/4170_DEA_HTML.php>.
9. CHABRETOU, V., MISSIAEN, J. M., Analysis of the evolution of the grain size distribution in WC – Co sintered materials with random set models. *Materials Science and Engineering A*. 328/2002, s. 291 - 296. ISSN 0921-5093.
10. CHONG, Y. M., ZHANG, W. J., YANG, Y., YE, Q., BELLO, LEE, S. T., Deposition of cubic boron nitride films on diamond-coated WC:Co inserts. *Diamond and Related Materials*. 18/2009, s. 1387 - 1392. ISSN 0925-9635.
11. COLECTIVE OF AUTHORS - JIANG, W., REED, B., RENEGAR, H., GOFORTH, C., MALSHE, P. A., CVD diamond and cBN coating. *Finer Points*. fall/2009, s. 1 - 32. ISSN 1090-0896.
12. CONICITY TECHNOLOGIES, Latrobe, Pensylvania USA, *Getting a Better Edge* [online]. 2010 [cit. 22. března 2010]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.conicity.com/ctart.htm>>.
13. ČSN ISO 513. *Klasifikace a použití tvrdých řezných materiálů k obrábění kovů určeným ostřím – Označování skupin a podskupin použití*. Český normalizační institut. Praha. 02/2006.

14. DIEFFENBACHER GmbH + Co.KG., Eppingen, Germany. *Isomat CIP - Anlage*. [online]. [cit. 29. dubna 2010]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.dieffenbacher.de/fileadmin/bilder/Sonstiges/Broschueren_PDFs/Umformtechnik/Isostatik/DB_isomat_de.pdf>.
15. DIEFFENBACHER GmbH + Co.KG., Eppingen, Germany. *Isomat HIP – Heiisostatische Pressanlage*. [online]. [cit. 29. dubna 2010]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.dieffenbacher.de/fileadmin/bilder/Sonstiges/Broschueren_PDFs/Umformtechnik/Isostatik/DB_isostar_de.pdf>.
16. EKROTH, M., FRYKHOLM, R., LINDHÖLM, M., ANDRÉN, H. – O., ÁGREN, J., Gradient zones in WC - Ti(C,N) – Co - based cemented carbides: experimental study and computer simulations. *Acta Materialia*. Volume 48, January 2000, s. 2177 - 2185. ISSN 1359-6454.
17. FRYKHOLM, R. *Development of composition gradients in cemented carbides*. Thesis for the degree of doctor of philosophy. Department of Experimental Physics Chalmers University of Technology and Göteborg University, Göteborg, Sweden, 2001. 46 p. ISBN 91-7291-097-6.
18. GULERYUZ, C. G., KRZANOWSKI, J. E. Mechanisms of self-lubrication in patterned TiN coatings containing solid lubricant microreservoirs. *Surface & Coatings Technology*. 202/2008, s. 2023 - 2032. ISSN 0257-8972.
19. HIROCHIKU ASIA CO.,LTD, Bankog, Thailand, *Vacuum Furnace* [online]. 2008 [cit. 22. března 2010]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.hirochiku.co.jp/english/products/shinsozai_15.html&usg=__tA7CW81ecwuTilV3migaMh0NrBA=&h=308&w=393&sz=16&hl=en&start=228&um=1&itbs=1&tbnid=6v2CMurjR8_E4M:&tbnh=97&tbnw=124&prev=/images%3Fq%3Dvacuum%2Bsintering%2Bfurnace%26start%3D216%26um%3D1%26hl%3Den%26client%3Dfirefox-a%26sa%3DN%26rls%3Dorg.mozilla:cs:official%26ndsp%3D18%26tbs%3Disch:1>.
20. HOLUBÁŘ, P., ZINDULKA, O., JÍLEK, M., Měření vlastností povlaků na nástrojích. *MM Průmyslové spektrum*. Duben 2010, s. 36. ISSN 1212-2572.
21. HUMÁR, A. *Materiály pro řezné nástroje*. Praha : MM publishing, s. r. o., 2008. 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
22. HUMÁR, A., PÍŠKA, M. Materiály pro řezné nástroje. *MM Průmyslové spektrum – speciální vydání*. Zář 2004, s. 84 - 96. ISSN 1212-2572.
23. HUMÁR, A. Prášková metalurgie a její využití. *MM Průmyslové spektrum*. 11/2008, s. 52. ISSN 1212-2572.
24. HUMÁR, A. *Slinuté karbidy a řezná keramika pro obrábění*. 1. vydání. Brno: CCB spol. s. r. o., 1995. 265 s. ISBN 80-85825-10-4.
25. HUMÁR, A. Technologie obrábění – 1. část. Studijní opory. VUT – FSI v Brně, ÚST, Obor technologie obrábění. 2003. [online]. [cit. 23. května 2010]. Dostupné na World Wide Web: <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf>.
26. HÜTTINGER Elektronik GmbH + Co. KG, Freiburg, Germany, *Dünne Schichten schnell erzeugen* [online]. 2010 [cit. 22. března 2010]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.huettinger.com/index.php?id=1145&0>>.

27. KENNAMETAL INC., Latrobe, PA U. S. A. *Widia Advances 2009 Catalog*. [online]. [cit. 6. května 2010]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.widia.com/widia/en/downloads_main.jhtml;jsessionid=0NQWE B2Z3CRFVLAUCYPCFEVMCQFBIYIV0>.
28. KENNAMETAL INC., Latrobe, PA U. S. A. *Widia Indexable Milling and Holemaking Catalog*. [online]. [cit. 26. května 2010]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.widia.com/widia/en/downloads_main.jhtml;jsessionid=0NQWE B2Z3CRFVLAUCYPCFEVMCQFBIYIV0>.
29. KENNAMETAL INC., Latrobe, PA U. S. A. *Widia Master Products Catalog*. [online]. [cit. 12. ledna 2010]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.widia.com/widia/en/downloads_main.jhtml;jsessionid=0NQWE B2Z3CRFVLAUCYPCFEVMCQFBIYIV0>.
30. KOCMAN, K. *Speciální technologie obrábění*. Druhé přepracované a doplněné vydání. Brno: PC – DIR Real, s. r. o. 1998, 213 s. ISBN 80-214-1187-2.
31. KRÍŽ, A., *Hodnocení vlastností system tenká vrstva - substrát*. Západočeská univerzita v Plzni, ATeam – materiálový výzkum. [online]. [cit. 26. května 2010]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.ateam.zcu.cz/tenke_vrstvy_sma.pdf>.
32. KRÍŽ, A., *Prášková metalurgie*. Západočeská univerzita v Plzni, ATeam – materiálový výzkum. [online]. [cit. 30. dubna 2010]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.ateam.zcu.cz/praskova_metalurgie.pdf>.
33. KRÍŽ, A., *Prášková metalurgie*. Západočeská univerzita v Plzni. [online]. [cit. 16. května 2010]. Dostupné na World Wide Web: <<http://tzs.kmm.zcu.cz/prasek.pdf>>.
34. KRÍŽ, A., *Tenké vrstvy*. Západočeská univerzita v Plzni, ATeam – materiálový výzkum. [online]. [cit. 2. května 2010]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.ateam.zcu.cz/tenke_vrstvy_sma.pdf>.
35. LENGAUER, W., DREYER, K., Tailoring hardness and toughness gradients in functional gradient hardmetals (FGHMs). *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials*. 24/2006, s. 155 - 161. ISSN 0263-4368.
36. PODANÝ P., KRÍŽ, A., *PŘEDDEPOZIČNÍ PROCESY PŘI VÝROBĚ TENKÝCH VRSTEV*. Západočeská univerzita v Plzni, ATeam – materiálový výzkum. [online]. [cit. 6. května 2010]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.ateam.zcu.cz/podany_metal06.pdf>.
37. PRAMET TOOLS S. R. O., Šumperk, Česká Republika. *Frézování 2010*. [online]. [cit. 13. dubna 2010]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.pramet.com/indexc1b6.html?menu=down1>>.
38. PRAMET TOOLS S. R. O., Šumperk, Česká Republika. *Soustružení 2010*. [online]. [cit. 26. března 2010]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.pramet.com/indexc1b6.html?menu=down1>>.
39. RICHTER, A., Coating's Holy Grail. *Cutting Tool Engineering*. Issue 10, Volume 60, October 2008, s. 46 - 53. ISSN 0011-4189.
40. SANDVIK AB, Sandviken, Sweden, *All about Cemented Carbide* [online]. 2008 [cit. 26. května 2010]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.allaboutcementedcarbide.com>>.

41. SANDVIK AB, Sandviken, Sweden. *Catalogue supplement 10.1*. [online]. [cit. 12. dubna 2010]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.sandvik.coromant.com/sandvik/3300/Coromant/Internet/SE03570.NSF>>.
42. SANDVIK AB, Sandviken, Sweden. *Main Catalogue 2009*. [online]. [cit. 26. ledna 2010]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.sandvik.coromant.com/sandvik/3300/Coromant/Internet/SE03570.NSF>>.
43. SANDVIK AB, Sandviken, Sweden. *Steel turning star*. [online]. [cit. 26. ledna 2010]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.sandvik.coromant.com/sandvik/3300/Coromant/Internet/SE03570.NSF>>.
44. SANDVIK AB, Sandviken, Sweden. *Technical guide 2010*. [online]. [cit. 26. ledna 2010]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.sandvik.coromant.com/sandvik/3300/Coromant/Internet/SE03570.NSF>>.
45. SHM, Šumperk, Česká Republika, *Měření jednotlivých vlastností vrstev* [online]. 2007 [cit. 22. března 2010]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.shm-cz.cz/cs/technicke-informace/mereni>>.
46. SHM, Šumperk, Česká Republika, *PVD povlaky* [online]. 2007 [cit. 15. března 2010]. Dostupné na World Wide Web: <<http://shm-cz.cz/cs/produkty/pvd-povlaky/>>.
47. SHM, Šumperk, Česká Republika, *PVD technologie SHM* [online]. 2007 [cit. 1. března 2010]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.shm-cz.cz/cs/technicke-informace/pvd-technologie-shm>>.
48. ŠÍMA, M., HOLUBÁŘ, P., ZINDULKA, O., JÍLEK, M., Měření vlastností povlaků na nástrojích. *MM Průmyslové spektrum*. Červen 2004, s. 30. ISSN 1212-2572.
49. T. A. V., Caravaggio, Italy, *Vacuum Furnaces* [online]. 2008 [cit. 22. března 2010]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.tav-vacuumfurnaces.com/?gclid=CN2UsryQr6ECFQgEZgodhWPn-A>>.
50. *Tribological Coatings, Past, Present and Future* [online]. 2007 [cit. 20. dubna 2010]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.thinfilmsblog.com/2007/11/tribological-coatings-from-monolithic-to.html>>.
51. ZHANG LI, WANG YUAN - JIE, YU XIAN - WANG, CHEN SHU, XIONG XIANG - JUN, Crack propagation characteristic and toughness of functionally graded WC–Co cemented carbide. *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials*. 26/2008, s. 295 - 300. ISSN 0263-4368.
52. ZIMMERMAN, J. H., GULERYUZ, C. G., KRZANOWSKI, J. E. Fabrication and tribological properties of titanium nitride coatings incorporating solid lubricant microreservoirs. *Surface & Coatings Technology*. 202/2008, s. 2023 - 2032. ISSN 0257-8972.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
APT	[-]	Roztok parawolframanu amonného
CACVD	[-]	Chemické nanášení povlaků s lavinovým plazmatickým výbojem
CIP	[-]	Izostatické lisování za studena
C_T	[-]	Konstanta
C_v	[-]	Konstanta
C_{v1}	[-]	Konstanta
C_{vT}	[-]	Konstanta
CVD	[-]	Chemické nanášení povlaků
EB - PVD	[-]	Odpařování elektronovým paprskem
FGM	[-]	Funkčně gradientní materiály
HB	[-]	Tvrdost podle Brinella
HC	[-]	Povlakované slinuté karbidy.
HF	[-]	Slinuté karbidy s obsahem primárního WC, pojivem Co a zrnitostí menší než 1 μm ,
HFCVD	[-]	Chemické nanášení povlaků se žhavicím vláknem
HIP	[-]	Izostatické lisování za tepla
HIPIMS	[-]	Magnetonové naprašování vysokovýkonnými impulzy
HRA	[-]	Tvrdost podle Rockwella
HSS	[-]	Rychlořezné oceli
HV	[-]	Tvrdost podle Vickerse
H_v	[MPa]	Tvrdost
HW	[-]	Slinuté karbidy s obsahem primárního WC, pojivem Co a zrnitostí větší než 1 μm ,
IBAD	[-]	Naprašování iontovým paprskem
KBN	[-]	Kubický nitrid boru
K_{IC}	[MPa·m ^{1/2}]	Lomová houževnatost
LICVD	[-]	Laserem indukované chemické nanášení povlaků
LPCVD	[-]	Nízkotlaké chemické nanášení povlaků
MSD	[-]	Magnetonové naprašování
MTCVD	[-]	Chemické nanášení povlaků za středních teplot
MWP - CVD	[-]	Mikrovlňné plazmatické chemické nanášení povlaků
PACVD	[-]	Plazmaticky aktivované chemické nanášení povlaků
PCVD	[-]	Plazmaticky aktivované chemické nanášení povlaků

PDGDSD	[-]	Naprašování doutnavým výbojem rovinné elektrody
PECVD	[-]	Plazmaticky aktivované chemické nanášení povlaků
PLD	[-]	Pulzní laserem indukované odpařování
PVD	[-]	Fyzikální nanášení povlaků
Ra	[μm]	Drsnost
RFD	[-]	Radiofrekvenční naprašování
RTP	[-]	Prášek připravený ke slisování
SK	[-]	Slinutý karbid
T	[min]	Trvanlivost
a_p	[mm]	Šířka záběru ostří
c	[m]	Celková délka centrální trhliny
f	[mm]	Posuv na otáčku
fcc	[-]	Kubická mřížka
hcp	[-]	Hexagonální mřížka
k_{VHB}	[-]	Korekce na tvrdost obrobku
k_{VN}	[-]	Korekce na materiál
k_{VT}	[-]	Korekce na trvanlivost
k_{VX}	[-]	Krekční součinitel
m	[-]	Exponent
u	[m]	Délka úhlopříčky vtisku
v_{15}	[$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]	Řezná rychlost při trvanlivosti T = 15 min
v_c	[$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]	Řezná rychlost
v_{cT}	[$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]	Řezná rychlost při konstantní trvanlivosti T
x_v	[-]	Exponent, vyjadřující vliv šířky záběru ostří
y_v	[-]	Exponent, vyjadřující vliv posuvu na otáčku

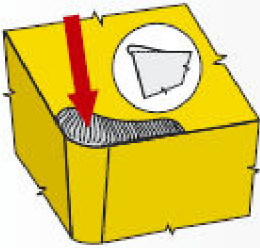

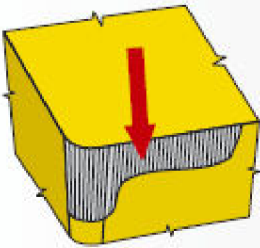

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Korekční součinitele pro přepočítání doporučených řezných podmínek při obrábění materiálů P, M, K (dle ISO), řeznými materiály firmy Pramet Tools.
- Příloha 2 Korekční součinitele pro přepočítání doporučených řezných podmínek při obrábění materiálů S, N, H (dle ISO), řeznými materiály firmy Pramet Tools.
- Příloha 3 Formy opotřebení řezného nástroje a možná opatření k zabránění těchto jevů – 6 stran.

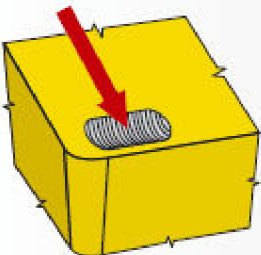
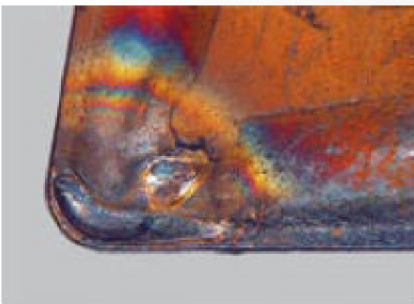
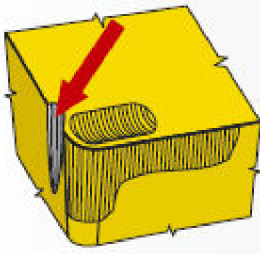
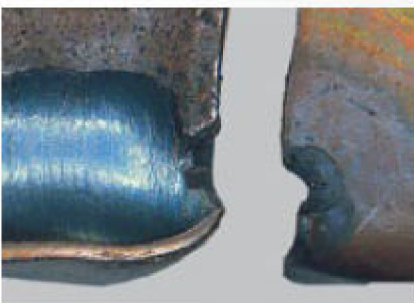
Příloha 2 - Korekční součinitele pro přepočítání doporučených řezných podmínek při obrábění materiálů S, N, H (dle ISO), řeznými materiály firmy Pramet Tools.

N		S				H			
Slitiny Al, Cu Zliatiny Al, Cu		žáruvzdorné a žárupevné slitiny Ni, Co, Fe a Ti žiaruvzdorné a žiarupevné zliatiny Ni, Co, Fe a Ti				zušlechtnuté oceli, tvrzená litina zušľachtené ocele, tvrdená liatina			
Korekční součinitel k_{vx} Korekčný súčiniteľ k_{vx}		Korekční součinitel k_{vx} Korekčný súčiniteľ k_{vx}				Korekční součinitel k_{vx} Korekčný súčiniteľ k_{vx}			
kůra výkovku a odlítku kóra výkovku a odliatku	0,70-0,80	kůra výkovku a odlítku kóra výkovku a odliatku	0,70-0,80	kůra výkovku a odlítku kóra výkovku a odliatku	0,70-0,80	kůra výkovku a odlítku kóra výkovku a odliatku	0,70-0,80	kůra výkovku a odlítku kóra výkovku a odliatku	0,70-0,80
vnitřní soustružení vnútorné sústruženie	0,75-0,85	vnitřní soustružení vnútorné sústruženie	0,75-0,85	vnitřní soustružení vnútorné sústruženie	0,75-0,85	vnitřní soustružení vnútorné sústruženie	0,75-0,85	vnitřní soustružení vnútorné sústruženie	0,75-0,85
přerušovaný řez preušovaný rez	0,80-0,90	přerušovaný řez preušovaný rez	0,80-0,90	přerušovaný řez preušovaný rez	0,80-0,90	přerušovaný řez preušovaný rez	0,80-0,90	přerušovaný řez preušovaný rez	0,80-0,90
dobrý stav stroje dobrý stav stroja	1,05-1,20	dobrý stav stroje dobrý stav stroja	1,05-1,20	dobrý stav stroje dobrý stav stroja	1,05-1,20	dobrý stav stroje dobrý stav stroja	1,05-1,20	dobrý stav stroje dobrý stav stroja	1,05-1,20
špatný stav stroje zlý stav stroja	0,85-0,95	špatný stav stroje zlý stav stroja	0,85-0,95	špatný stav stroje zlý stav stroja	0,85-0,95	špatný stav stroje zlý stav stroja	0,85-0,95	špatný stav stroje zlý stav stroja	0,85-0,95
		Korekce na trvanlivost k_{vt} Korekcia na trvanlivosť k_{vt}				Korekce na materiál Korekcia na materiál			
Slitiny Al / Zliatiny Al		T_{min}	k_{vt}	T_{min}	k_{vt}	materiál	tvrdost	6620, 8016, 8030	PKBN
materiál	k_{vN}	10	1,10	30	0,84	z ušl. oceli zušľ. ocele	HRC 55-60	1,0	1,0
slitiny Al tvárné nevytvrzené HB 60 zliatiny Al tvárné nevytvrzené HB 60	2,6	15	1,00	45	0,76	tvrdá litina tvrdená liatina	Hsh 55-70	0,5	1,0
slitiny Al tvárné vytvrzené HB 100 zliatiny Al tvárné vytvrzené HB 100	1,0	20	0,93	60	0,71	Hsh 70-80	-	0,7	
slitiny Al lité nevytvrzené HB 75 zliatiny Al lité nevytvrzené HB 75	0,9	Korekce na DRUH SLITINY k_{vN} Korekcia na DRUH ZLIATINY k_{vN}							
slitiny Al lité vytvrzené HB 90 zliatiny Al lité vytvrzené HB 90	0,6		k_{vN}		k_{vN}				
slitiny Al lité nevytvrzené HB 130 >12%Si zliatiny Al lité nevytvrzené HB 130 >12%Si	PKD	Ti	2,3	Ni	1,0				
		Fe	1,25	Co	0,7				
Slitiny Cu / Zliatiny Cu		Korekce na tvrdost obrobku Korekcia na tvrdosť obrobku				Korekce na tvrdost a pevnost obrobku Korekcia na tvrdosť a pevnosť obrobku			
materiál	k_{vN}	Ni [HB]	k_{vHB}	Co [HB]	k_{vHB}	Fe [HB]	k_{vHB}	Tl [Rm]	k_{Rm}
automatová mosaz (>1%Pb) automatová mosadz (>1%Pb)	1,8	230	1,05	200	1,30	180	1,05	450	2,50
mosaz HB 90 mosadz HB 90	1,0	250	1,00	250	1,14	200	1,00	900	1,00
bronz elektrolitický Cu	0,7	280	0,92	300	1,00	240	0,90	1100	0,90
		320	0,84	320	0,95	280	0,83		
		350	0,79						

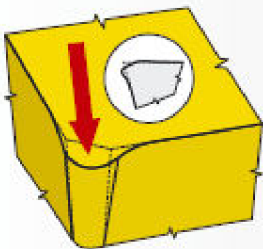
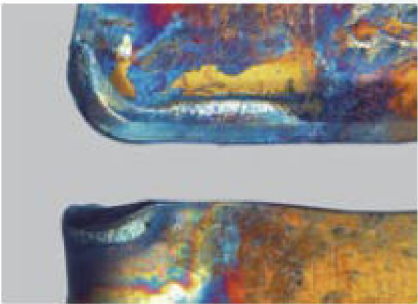
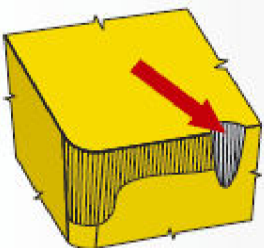

Příloha 3 – Formy opotřebení řezného nástroje a možná opatření k zabránění těchto jevů ³⁵.

obrázek / obrázok	TVORBA NÁRŮSTKU
	<p>Popis a příčiny:</p> <p>Jedná se o nalepování obráběného materiálu na břit nástroje. Nárůstek má charakter návaru na břitu. Při jeho odtrhávání může dojít ke křehkému porušení břitu nástroje. Tento jev je dále charakterizován snížením jakosti obráběného povrchu.</p>
	<p>Opatření:</p> <ul style="list-style-type: none"> - změnit (zvýšit) řeznou rychlost - změnit (zvýšit) posuv - aplikovat povlakované typy slinutých karbidů - použít jinou řeznou geometrii - použít chladicí emulzi s vyšším protinárůstkovým účinkem (pokud není k dispozici, upustit od chlazení)
obrázek / obrázok	OPOTŘEBENÍ HŘBETU
	<p>Popis a příčiny:</p> <p>Otěr hřbetu je jedním z hlavních kritérií charakterizujících trvanlivost VBD. Vzniká v důsledku styku nástroje a obráběného materiálu v průběhu řezného procesu. Jeho velikost (intenzitu) lze pouze snížit.</p>
	<p>Opatření:</p> <ul style="list-style-type: none"> - použít otěruvzdornější typ slinutého karbidu - snížit řeznou rychlost - zvýšit posuv (v případě, že posuv je menší než 0,1 mm.ot⁻¹) - použít chladicí emulzi resp. zvýšit intenzitu chlazení

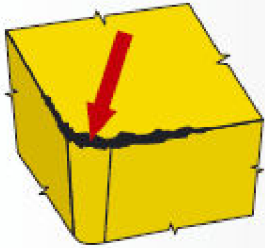

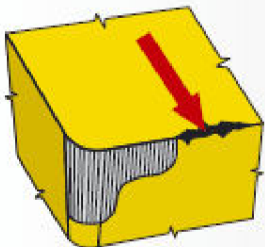

Pokračování přílohy 3 - Formy opotřebení řezného nástroje a možná opatření k zabránění těchto jevů ³⁵.

obrázek / obrázok	VÝMOL NA ČELE
	<p>Popis a příčiny:</p> <p>Výmol na čele je typ opotřebení, které se nejvýrazněji projevuje u VBD s rovným čelem, jeho výskyt není však omezen pouze na tento typ destiček. Při obrábění měkkých materiálů vzniká výmol širší a mělčí, u tvrdých materiálů naopak výmol úzký a hluboký.</p>
	<p>Opatření:</p> <ul style="list-style-type: none"> - použít otěruvzdornější typ slinutého karbidu - použít povlakovaný typ, zejména (MT) CVD - snížit řeznou rychlost - použít jiný (pozitivnější) typ řezné geometrie - použít chladicí emulzi resp. zvýšit intenzitu chlazení
obrázek / obrázok	OXIDAČNÍ RÝHA NA VEDLEJŠÍM BŘITU
	<p>Popis a příčiny:</p> <p>Oxidační rýha na vedlejším břitu - je jedním z nejvýznamějších kritérií limitujících životnost VBD. Setkáváme se s ní zejména u soustružení. Propojení oxidační rýhy s výmolem na čele se jednoznačně projeví na zvýšení drsnosti povrchu obrobku, dojde k jevu, který je slangově nazýván jako "chlupacení".</p>
	<p>Opatření:</p> <ul style="list-style-type: none"> - použít povlakovaný resp. otěruvzdornější typ slinutého karbidu, dovolují-li to podmínky, použít VBD s povlakem obsahující Al_2O_3 - použít chladicí emulzi resp. zvýšit intenzitu chlazení - snížit řeznou rychlost

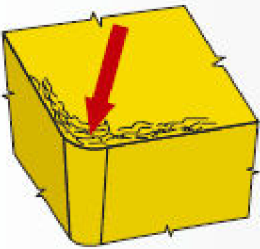

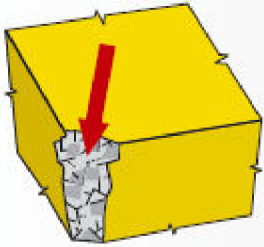

Pokračování přílohy 3 - Formy opotřebení řezného nástroje a možná opatření k zabránění těchto jevů ³⁵.

obrázek / obrázok	PLASTICKÁ DEFORMACE ŠPIČKY
	<p>Popis a příčiny: Plastická deformace špičky - důvodem tohoto typu opotřebení je přetížení břitu v důsledku vysokých řezných teplot (tedy vysokých rychlostí a posuvů).</p>
	<p>Opatření:</p> <ul style="list-style-type: none"> - použít otěruvzdornější typ slinutého karbidu - snížit řeznou rychlost - snížit posuv - použít chladicí emulzi resp. zvýšit intenzitu chlazení - použít VBD s větším poloměrem zaoblení špičky - použít VBD s větším úhlem špičky
obrázek / obrázok	VRUBOVÉ OPOTŘEBENÍ NA HLAVNÍM BŘITU
	<p>Popis a příčiny: Vrubové opotřebení na hlavním břitu - vzniká v oblasti styku břitu nástroje s povrchem obrobku. Je zapříčiněno převážně zpevněním povrchových vrstev obrobku a otřepy. Tento typ opotřebení se vyskytuje zejména u nerezavějících austenitických ocelí.</p>
	<p>Opatření:</p> <ul style="list-style-type: none"> - použít povlakovaný resp. otěruvzdornější typ slinutého karbidu, dovolují-li to podmínky, použít VBD s povlakem obsahující Al_2O_3 - zvolit nástroj s menším úhlem nastavení - nerovnoměrně rozdělit tlisků

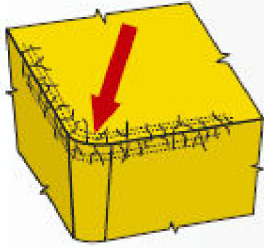
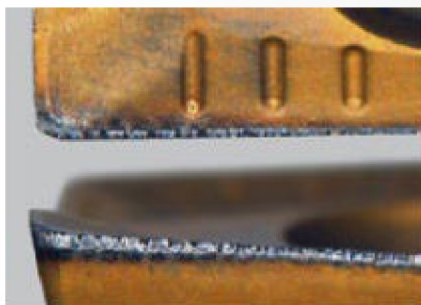
Pokračování přílohy 3 - Formy opotřebení řezného nástroje a možná opatření k zabránění těchto jevů ³⁵.

obrázek / obrázok	KŘEHKÉ PORUŠOVÁNÍ ŘEZNÉ HRANY
	<p>Popis a příčiny:</p> <p>Křehké porušování řezné hrany (mikrovyštipování) - ve většině případů se vyskytuje v kombinaci s jiným typem opotřebení, je samostatně obtížně identifikovatelné. Jeho příčinou bývá zejména nízká tuhost soustavy stroj-nástroj-obrobek nebo „tvrdé utváření“.</p>
	<p>Opatření:</p> <ul style="list-style-type: none"> - použít houževnatější typ slinutého karbidu - zvolit méně intenzivní řezné podmínky - použít jinou řeznou geometrii - při najíždění do záběru zmenšit posuv
obrázek / obrázok	PORUŠOVÁNÍ ŘEZNÉ HRANY (MIMO ZÁBĚR)
	<p>Popis a příčiny:</p> <p>Porušování řezné hrany (mimo záběr) - jeho příčinou je nevhodné utváření třísky, která při svém odchodu naráží na břit a ten mechanicky poškozuje.</p>
	<p>Opatření:</p> <ul style="list-style-type: none"> - změnit posuv - zvolit nástroj s jiným úhlem nastavení - použít jinou řeznou geometrii (jiný utvařič) - použít houževnatější typ slinutého karbidu

Pokračování přílohy 3 – Formy opotřebení řezného nástroje a možná opatření k zabránění těchto jevů ³⁵.

obrázek / obrázok	ÚNAVOVÉ TRHLINY PODÉL HŘBETU
	<p>Popis a příčiny: Vznikají v důsledku dynamického zatížení oblasti těsně za břitem.</p>
	<p>Opatření:</p> <ul style="list-style-type: none"> - použít houževnatější typ slinutého karbidu - změnit způsob najíždění a vyjíždění nástroje - změnit záběrové podmínky - použít jiný typ řezné geometrie resp. VBD s jinou úpravou řezné hrany (...T, ...S, ...K, ...P) - změnit posuv
obrázek / obrázok	DESTRUKCE BŘITU RESP. ŠPIČKY NÁSTROJE
	<p>Popis a příčiny: Destrukce břitu resp. špičky nástroje - příčiny tohoto jevu mohou být různé a jsou závislé na materiálu nástroje i materiálu obrobku, stavu a zejména tuhosti soustavy stroj-nástroj-obrobek, vliv má i velikost a typ opotřebení a záběrové podmínky.</p>
	<p>Opatření:</p> <ul style="list-style-type: none"> - použít houževnatější typ slinutého karbidu - zvolit méně intenzivní řezné podmínky (snížit posuv i hloubku) - použít VBD s větším poloměrem zaoblení špičky - použít VBD s větším úhlem špičky - použít jinou řeznou geometrii (jiný utvařeč) - stabilizovat řeznou hranu (břit) - při najíždění do záběru zmenšit posuv

Pokračování přílohy 3 – Formy opotřebení řezného nástroje a možná opatření k zabránění těchto jevů ³⁵.

obrázek / obrázok	HŘEBENOVITÉ TRHLINY
 A 3D schematic diagram of a cutting tool, colored yellow. A red arrow points to a notch or groove on the cutting edge, illustrating the location of a ridge crack.	<p>Popis a příčiny: Hřebenovité trhliny - tento jev je důsledkem dynamického tepelného zatížení při přerušovaném řezu.</p>
 Two photographs of cutting tools. The top photo shows a close-up of a tool edge with several vertical cracks. The bottom photo shows a similar tool edge with a different crack pattern.	<p>Opatření:</p> <ul style="list-style-type: none">- upustit od chlazení kapalinou (možno použít vzduch z důvodů odstanění třísek z místa řezu)- zvolit houževnatější materiál VBD- snížit řeznou rychlost