

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie



Studium CVD povlaků používaných pro řezné nástroje
Study of CVD Coatings Used for Cutting Tools

Student:

Libor Čížek

Vedoucí bakalářské práce:

Doc. Ing. Podjuklová Jitka, CSc.

Ostrava 2013

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Zadání bakalářské práce

Student: **Libor Čížek**

Studijní program: B2341 Strojírenství

Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie

Téma: **Studium CVD povlaků používaných pro řezné nástroje**
Study of CVD Coatings Used for Cutting Tools

Zásady pro vypracování:

1. Prostudujte princip povlakování metodou CVD.
2. Prostudujte aplikační oblasti CVD povlaků a jejich vlastnosti.
3. Navrhněte metodiku experimentálních prací.
4. Proved'te experimentální práce a jejich vyhodnocení.
5. Zpracujte technickou zprávu včetně ekonomického zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

MOHYLA, M. *Technologie povrchových úprav kovů*. Učební texty VŠB – TU Ostrava, 2006. 3. vydání. 156 s. ISBN 80-248-1217-7.

BURAKOWSKI, T., WIERZCHONĀ, T.: *Surface Engineering of Materials*. CRC Press LLC, 1999. 592 s. ISBN 0-8493-8225-4.

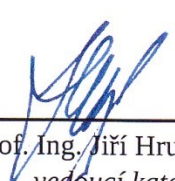
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.**


Datum zadání: 14.12.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013





prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 20.5.2013

.....


Podpis studenta

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Dále prohlašuji, že:

- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3)
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB – TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše)
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 20.5.2013

.....


Podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:

Libor Čížek

Trvalé bydliště autora práce:

Palackého 1669/4
78701 Šumperk

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Anotace Bakalářské práce:

Čížek, L. Studium CVD povlaků používaných v oblasti řezných nástrojů ze slinutého karbidu, jejich vlastnosti a aplikační oblasti: VSB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, katedra mechanické technologie, 2013

Bakalářská práce, vedoucí: Doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.

Ve své bakalářské práci se zabývám jedním z typů tenkých povlaků, a to CVD povlaky (Chemical Vapor Deposition), v oblasti řezných nástrojů. Tyto nástroje jsou ve většině případů vyměnitelné břitové destičky ze slinutého karbidu, používané při soustružení a frézování. V úvodu se seznámíme s historií povlakování, dále pak se slinutým karbidem a poté se zaměříme na princip této metody, typy a popis jednotlivých povlaků, jejich vlastnosti a aplikační oblasti. V praktické části jsem porovnával vlastnosti tří vzorků destiček s CVD povlakem, bylo analyzováno složení, tloušťka jednotlivých vrstev, adheze povlaku a měřena jeho tvrdost. Na konec byly destičky podrobeny testu trvanlivosti při frézování. Nejlépe vyšel vzorek č. 3. Výsledky jsou uvedeny v závěru této práce.

Annotation of thesis:

Cizek, L. Study of CVD coatings used for cutting tools carbide, properties and application areas: VSB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical, Department of Mechanical Technology,

Thesis, leader: Doc. Ing. Jitka Podjuklova, CSc.

In my thesis I focus on one type of thin coatings, CVD (Chemical Vapor Deposition), in the area of cutting tools. These tools are in most cases inserts from sintered carbide used in turning and milling. In the introduction, we get familiar with history of coating and sintered carbide, then we focus on principle of this method and description of coatings types, their properties and application areas. In the practical part, I compared properties of three samples with CVD. Composition and thickness of each layer, adhesion resistance of coating to thermal cracks were analysed and its hardness was measured. At the end inserts were subjected to the durability test in milling. Description, documentation and results are listed at the end of this work.

Obsah

Seznam použitých zkratk

ÚVOD	9
1. HISTORIE POVLAKOVÁNÍ	10
2. SLINUTÉ KARBIDY	11
2.1 Výroba prášků	11
2.2 Lisování polotovarů	11
2.3 Slinování	12
2.4 Konečná úprava	12
2.5 Dělení karbidů	12
3. PRINCIP CVD POVLAKOVÁNÍ	13
3.1 Plazmaticky aktivovaná metoda CVD	14
3.2 Middle temperature CVD metoda	15
3.3 Výhody a nevýhody povlaků aplikovaných CVD metodou	15
4. ROZDĚLENÍ POVLAKŮ	16
4.1 Povlaky 1. Generace	16
4.2 Povlaky 2. Generace	16
4.3 Povlaky 3. Generace	16
4.4 Povlaky 4. Generace	17
5. VLASTNOSTI VRSTEV CVD POVLAKŮ	18
5.1 TiC	18
5.2 TiN	18
5.3 TiCN	18
5.4 Al ₂ O ₃	18
6. VLASTNOSTI POVLAKŮ	19
6.1 Složení	19
6.2 Tloušťka povlaku	20
6.3 Tvrdost	21
6.4 Adheze	23
6.5 Trvanlivost	24
6.6 Tepelné hřebenové trhliny	24
6.7 Drsnost	25
6.8 Mikrotvrdost	26

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

6.9 Odolnost proti oxidaci	26
7. NÁVRH METODIKY EXPERIMENTÁLNÍCH PRACÍ	27
8. EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ	28
8.1 Chemická analýza	28
8.2 Měření tloušťky povlaku	30
8.3 Měření tvrdosti	32
8.4 Zkouška adheze	33
8.5 Zkouška trvanlivosti	34
8.6 Zkouška hřebenových tepelných trhlin	35
ZÁVĚR	37
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	38

Seznam použitých zkratk

CVD	Chemical Vapour Deposition - Chemické napařování
PVD	Physical Vapour Deposition – Fyzikální napařování
R_p	největší výška výstupků profilu
R_v	největší hloubka prohlubní profilu
R_z	největší výška profilu
SK	slinutý karbid
VBD	vyměnitelná břitová destička

Úvod

V dnešní době, kdy strojírenství a průmysl jsou na rozkvětu a vyvíjí se nové metody a materiály, je většina firem vybavená moderními technologiemi a stroji jako jsou různá CNC centra a automatizované linky. Tyto stroje jsou ve většině případů řízeny počítači a dochází u nich k automatickému nastavování nástrojů, chlazení a pořadí operací. Jako důsledek této moderny je tudíž velmi velká pozornost kladená na výběr nástrojů, které by měli být z ideálního hlediska vysoce kvalitní, spolehlivé a co se týče ceny, přístupné a efektivní. Vývoj a výzkum kvalifikovaných a vědeckých pracovníků přetváří tyto ideální podmínky k realitě. Pokud by vývoj těchto nástrojů neprobíhal, docházelo by v dnešní době k rychlému opotřebení nástrojů, což by mělo veliký dopad na produktivitu práce způsobené prostojí, zmetkovitostí a ztrátami investic vložených do výroby. Proto je velmi důležité sladit výrobní podmínky, stroje a nástroje tak, aby se naopak produktivita zvyšovala, zmetkovitost klesala a firma byla schopná konkurovat na trhu. Ve výrobě lze vyšší produktivitu získat zvýšením řezných rychlostí, vhodným posuvem a hloubkou řezu. Při soustružení, frézování či vrtání dochází ke tření mezi obrobkem a nástroji jehož následek je koncentrace vysokých teplot na nástroji zejména na řezných hranách. Tato koncentrace tepla je jednou z hlavních příčin opotřebení. Aby se toto opotřebení minimalizovalo a zvýšila se životnost nástrojů, používá se příznivá povrchová úprava v podobě tvrdých otěruvzdorných povlaků. V dnešní době se jako nástroje používají VBD (vyměnitelné břitové destičky) na které se využívají převážně dvě technologie povlakování. První metodou je PVD (Physical Vapour Deposition). Je to metoda fyzikálního napařování, která byla původně vyvinuta pro povlakování rychlořezných ocelí. V dnešní době se ovšem velmi využívá i k aplikaci na VBD. Druhou metodou je CVD (Chemical Vapour Deposition). Chemické napařování z plynné fáze. Tyto metody utváří vrstvu povlaku na nástrojích, čímž zvyšují jejich fyzikální i chemické vlastnosti, dále zlepšují jejich tvrdost a otěruvzdornost. Toto má za následek zvýšení životnosti nástroje a tím i zvýšení produktivity práce. Tato práce se zaměřuje na metodu CVD povlakování.

1. Historie povlakování

V historii vývoje nástrojů pro řezání byla vždy snaha vyvinout lepší otěruvzdornost obohacením o částice jakékoliv tvrdé látky. Již v 50. letech dvacátého století bylo použito tvrdokovových částic, které byly nanášeny pomocí elektrod na ocelové nástroje. V roce 1953 bylo poprvé popsáno vylučování nitridu titanu (TiN) a karbidu titanu (TiC) na ocel a to za pomoci chemické reakce při zvýšené teplotě. Avšak tyto vrstvy byly velmi křehké a v roce 1957 bylo popsáno, že lze tento nedostatek potlačit snížením tloušťky vrstvy. Ovšem v tomto období ještě nebylo zjištěno, že plnou výhodu těchto povlaků lze využít pouze tehdy, když je podkladový materiál z tvrdokovu a je tlakově velmi odolný. [1]

V 60. letech se objevily na trhu vyměnitelné destičky označené „laminated tips = laminované destičky“, měly velmi tlusté vrstvy tvrdokovu TiC-Ta(Nb)C s nižším obsahem Co na jádru houževnatějšího tvrdokovu. Tyto velké vrstvy 0,3 až 0,6 mm zapříčinily, že řezné hrany byly velmi citlivé na vydrolování. [1]

V letech 1967 – 1969 přišel rozhodující průlom, zjištěním, že stačí několik tisícín milimetru tloušťky povlaku vrstvy TiC naneseného na tlakově pevnou tvrdokovovou podložku, aby se výrazně zlepšily užité vlastnosti zejména při obrábění ocelových a litinových obrobků. [1]

Od počátku 70. let se povlakování stále vyvíjelo. Byly zavedeny vícefunkční vrstvy z různých tvrdých látek. Každá z těchto látek má podle svých vlastností a umístění v celkovém povlaku určitou funkci. Tímto rozdělením na více vrstev došlo ke zlepšení houževnatosti a užitečných vlastností nejen povlaku ale i nástroje jako celku. [4]

2. Slinuté karbidy (SK)

Slinuté karbidy jsou nejčastěji používaným materiálem pro výrobu VBD, na které se tyto povlaky aplikují. Vyrábí se pomocí práškové metalurgie. Jde o dvoufázové, nebo vícefázové materiály tvořené vysoce tvrdými částicemi karbidu v kovové vazbě. Nejčastěji používané jsou karbid titanu, karbid wolframu a karbid tantalu, ke kterým se přidává pojivo jako například cobalt, molybden a nebo nikl. Karbidy jsou nositele tvrdosti a pojivo, které se používá, způsobuje, že je materiál houževnatější. Používají se většinou pro řezné nástroje, kde je velice důležitá vysoká tvrdost, otěruvzdornost a to až do teplot 900 °C, ale také spolehlivost a výdrž. [2]

Výroba karbidů se skládá ze čtyř operací, výroba prášků, lisování polotovarů, sli- nování a na závěr broušení a povlakování.

2.1. Výroba prášků

Při výrobě slinutých karbidů, ale i jiných materiálů pomocí práškové metalurgie se používají prášky kovů, jejich sloučenin ale také prášky nekovových materiálů jako je například uhlík. Téměř ze všech kovů a jejich sloučenin lze získávat prášky a to dvěma základními metodami. Podstatou mechanické metody, je rozprašování tekutého kovu, nebo mletí polotovarů na jemný prášek. K tomu se využívá především kladívkových, kulových a vířivých mlýnů. Fytikálně-chemická metoda využívá redukce oxidů, štěpení karbonylů anebo chemického slučování s nekovy. [3]

2.2. Lisování polotovarů

„Směs práškových karbidů a pojícího kovu lze formovat lisováním ve formovacích li- sech (tato metoda je užívána nejčastěji, zejména při výrobě vyměnitelných břitových destiček), izostatickým lisováním za studena (CIP - Cold Isostatic Pressing), hydrosta- tickým lisováním, vytlačováním přes trysku požadovaného tvaru nebo litím či vstřiková- ním do pomocných forem.“ [4] Hlavním účelem lisování je dát směsi přibližný tvar a hustotu výrobku, který požadujeme.

2.3. Slinování (spékání, sintrování)

Je operace, která následuje po lisování. Vylisované těleso je dáno do slinovací pece, kde za řízených podmínek dochází k ohřívání a následnému ochlazení výrobku. Toto je prováděno za přítomnosti vodíku, ve vakuu, nebo smíšené atmosféře vodík-dusík. Po dokončení slinování je požadovaný materiál zcela zhutněn a vykazuje požadované fyzikální, chemické a mechanické vlastnosti. Slinování může být rozděleno do dvou operací a to na předslinování a poté samotné slinování. Teplota slinování výlisků bývá většinou 0,8 násobek teploty tavení. Doba slinování většinou bývá 2 až 3 hodiny. [4]

2.4. Konečná úprava: broušení a povlakování

Svoji konečnou podobu získávají VBD dvěma způsoby. Vylisováním což znamená, že byly velmi přesně vylisovány a byly u nich vytvořeny tvary utvařečů a fazetek. Broušením, díky němuž získávají destičky svůj konečný tvar. V dnešní době je kladen veliký důraz na přesnost VBD a proto na závěr mohou být ještě dolešťovány. Požadovanou odolnost proti opotřebení získávají povlakováním. [2]

2.5. Dělení karbidů

Hrubozrnné karbidy: Prášek, ze kterých se vyrábí, je tvořen hrubozrnnými částicemi. Na rozdíl od jemnozrnných karbidů je zde větší podíl pojiva, které ovlivňuje chemické a mechanické vlastnosti. Destičky z tohoto karbidu jsou vhodné pro větší průřezy třísky a hrubování.

Jemnozrnné karbidy: Jsou tvořeny jemnozrnnými částicemi a obsahují daleko méně pojiva. Jemnozrnné karbidy nejsou tak houževnaté, ale mají vysokou odolnost vůči opotřebení. Používají se převážně pro destičky na dokončovací operace a menší průřezy třísky. [2]

3. Princip CVD povlakování

Při povlakování CVD metodou dochází k chemickým procesům, založených na reakci plynných chemických sloučenin v plazmě, která se tvoří v bezprostřední blízkosti povrchu VBD ze slinutého karbidu, a následném uložení produktů heterogenní reakce na tomto povrchu. Základní požadavek při této reakci je přítomnost stabilní, těžké kovové sloučeniny ve výchozích plynech. Tato sloučenina se v důsledku energie rozkládá a produkty rozkladu jsou ukládány na povrch ohřátého povlakovaného materiálu, kde působí jako katalyzátor. Aby tato reakce proběhla, musí být přítomen i nekovový reaktivní plyn. [4]

CVD probíhá za vysokých teplot (900-1100 °C). Metody CVD se dělí na:

Klasické techniky: Atmosférické techniky AP CVD

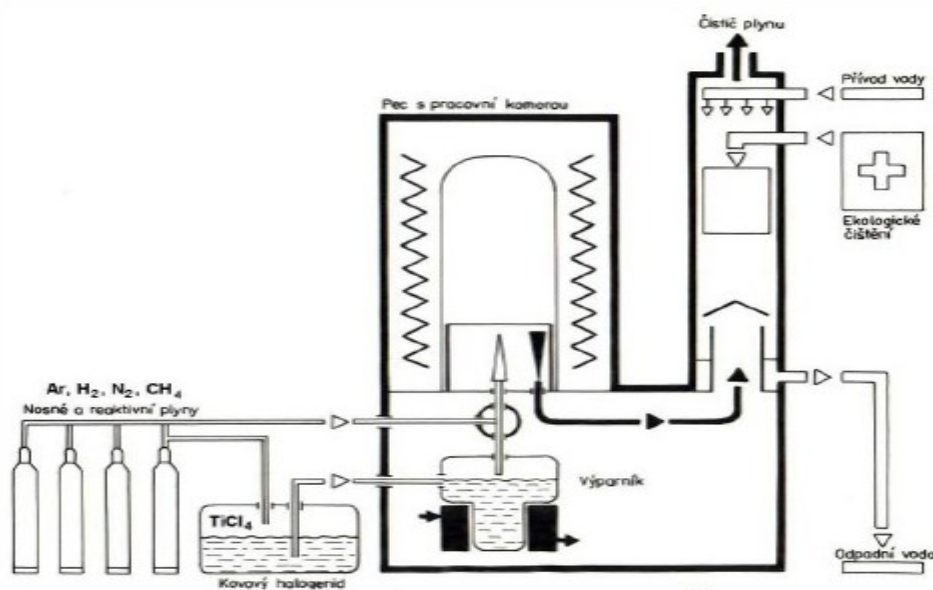
Nízkotlaké techniky LP CVD

Moderní techniky: Plazmaticky aktivovaná metoda PACVD

Techniky používající metaloorganické sloučeniny MOCVD

Metoda využívající nižších pracovních teplot MTCVD

Tyto moderní techniky mohou být aktivovány plazmou, mikrovlnami, elektronově, nebo laserem. [5]



Obr. 1 - Schéma CVD povlakovacího zařízení [1]

3.1. Plazmaticky aktivovaná metoda CVD

Velikou změnu ve vytváření kvalitních tenkých otěruvzdorných vrstev přinesla metoda CVD plazmaticky aktivovaná (PACVD, PCVD), PECVD – Plasma Enhanced CVD, MWPCVD – Micro Wave Plasma CVD). Od klasické metody CVD ji můžeme odlišit nižšími pracovními teplotami, které se pohybují okolo 600 °C. Pomocí ionizace dochází ke zvýšení energie plynné atmosféry a k aktivaci v plazmatickém výboji. Plazmu lze vytvořit pomocí vnějšího elektrického napájecího zdroje, nebo reaktivním plynem. Za nejvýhodnější elektrické napájení je považována pulzní metoda. Spočívá v přivedení vysokého stejnosměrného napětí na katodu ve formě pečlivě řízeného sledu pulzů. Těmito pulzy je plazma zapálena, bez vzniku elektrických oblouků. Při PACVD můžeme vytvořit povlak s požadovanými parametry, protože můžeme řídit výšku napětí pulzů, jejich délky a přestávky mezi nimi. Jelikož tato metoda probíhá za nižších teplot, nedochází k nadměrnému ohřevu substrátu. [6]

Povlaky PACVD se vyznačují velmi nízkým koeficientem tření, mají zvýšenou odolnost proti tepelné únavě. Při povlakování nedochází k žádné změně v mikrostruktuře a rozměrech a umožňuje povlakovat rozměrnější kusy až do hmotnosti 1250 kg. Životnost nástrojů je několikanásobně vyšší, nepotřebují vysoké vakuum, takže odplynění použitého zařízení je snazší a rychlejší. Zařízení PACVD nepotřebuje rotační části. Uvnitř komory dochází k nucené cirkulaci plynu, jejímž důsledkem je vylučování homogenního povlaku i na tvarově složitých nástrojích s dutinami. [7]

Zařízení na povlakování metodou PACVD umožňuje iontové čištění povrchu, nitridaci a nanesení povlaku.

Iontové čištění povrchu: kladně nabitě ionty dopadají na záporně nabitý povrch substrátu vysokou kinetickou energií, čímž dochází k vyrážení nečistot z povrchu substrátu.

Plazmová nitridace povrchu: provádí se pro zlepšení adheze mezi základním materiálem a povlakem. V případě speciálních aplikací lze provádět i hloubkovou nitridaci.

Nanesení povlaku: v plazmě vznikají kladně nabitě ionty titanu a nitridu. Tyto ionty se vylučují na záporně nabitém substrátu. Řízením procesu povlakování vznikají vrstvy v požadovaném složení a se žádoucími vlastnostmi. [7]

3.2. Middle temperature CVD metoda – MTCVD

MTCVD je další metodou, která je založena na principu snížení pracovních teplot nanášení povlaků. Pohybují se v rozmezí 700 – 850 °C. Na rozdíl od konveční metody CVD, kde se používá methan (zdroj uhlíku) a čistý dusík, MTCVD jako vstupní sloučeninu využívá acetonitril. Ten je ovšem velice toxický a vysoce hořlavý. Obě tyto metody CVD i MTCVD využívají jako zdroj titanu, chlorid titaničitý. Při této metodě dochází až k třikrát rychlejšímu růstu vrstvy TiCN než u klasické vysokoteplotní CVD. Díky vysoké reaktivitě $TiCl_4 - CH_3CN$ se podkladový slinutý karbid nepodílí na ovlivňování povlaku - „*difúze uhlíku z podkladu do povlaku je zanedbatelná, a proto je prakticky vyloučen vznik křehkého eta-karbidu mezi povlakem a podkladem.*” Hlavní výhodou MTCVD je nižší reakční teplota. Díky ní nedochází ke snížení houževnatosti podkladového SK. VBD povlakované touto metodou jsou odolnější proti mechanickým rázům a můžeme u nich použít vyšší posuvové rychlosti. [8]

3.3. Výhody a nevýhody povlaků aplikovaných CVD metodou

Výhody aplikací CVD :

- stabilita povlaku při vysokých teplotách
- vysoká hustota povlaku
- homogenita vrstev pokrývajících substrát SK
- velmi dobrá přilnavost vrstev k substrátu
- rovnoměrná tloušťka povlaku na celém povrchu substrátu a to i při složitějších tvarech nástrojů
- lze vytvářet i složité několikanásobné vrstvy povlaku
- lze vytvořit ekonomicky výhodné silné vrstvy
- nástroj lze povlakovat ze všech stran, důsledkem je vysoký pracovní tlak plynné směsi
- provozní náklady aplikace povlaků jsou relativně nízké [4]

Nevýhody aplikací CVD:

- vysoké teploty aplikace povlaků, které mohou nepříznivě ovlivnit substrát i samotný povlak
- některé typy vrstev povlaků nelze touto metodou vytvářet
- nelze povlakovat ostré hrany nástrojů

- energetická náročnost je velmi vysoká
- cyklus povlakování je velmi zdlouhavý
- plynné směsi používané při povlakování nejsou ekologicky výhodné
- v povlacích vznikají velká tahová napětí, která jsou jiná než u podkladového SK [4]

4. Rozdělení povlaků

4.1. Povlaky 1. Generace:

Jsou povlaky tvořené pouze jednou vrstvou. K tomuto účelu se výhradě používal TiC. Tloušťka vrstvy byla kolem 6 μm . U těchto povlaků docházelo k častému vydrolování vrstvy při obrábění a tím znehodnocování nástroje. Příčinou byla nesoudržnost povlaku s podkladovým materiálem a to špatnou technologií výroby. V dnešní době se tyto povlaky již nepoužívají. [4]

4.2. Povlaky 2. Generace:

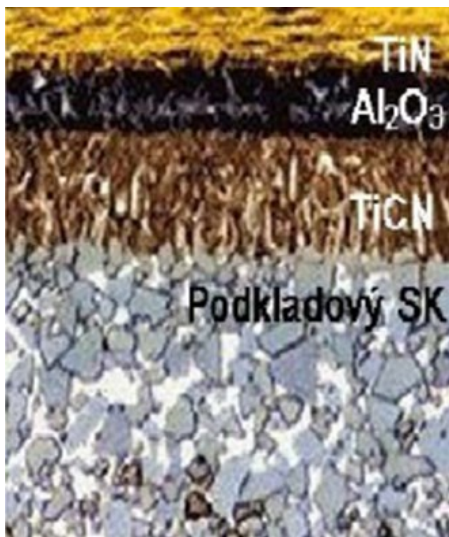
Jde stejně jako u povlaků první generace o jednovrstvý povlak. Technologie výroby byla zdokonalena a to umožnilo použít větší tloušťku vrstvy 7 až 10 μm , aniž by docházelo k odlupování vrstvy při obrábění. Jako vrstva se u této generace používá TiC, TiCN nebo TiN. Tato generace povlaků se dnes již taky nevyužívá. [4]

4.3. Povlaky 3. Generace:

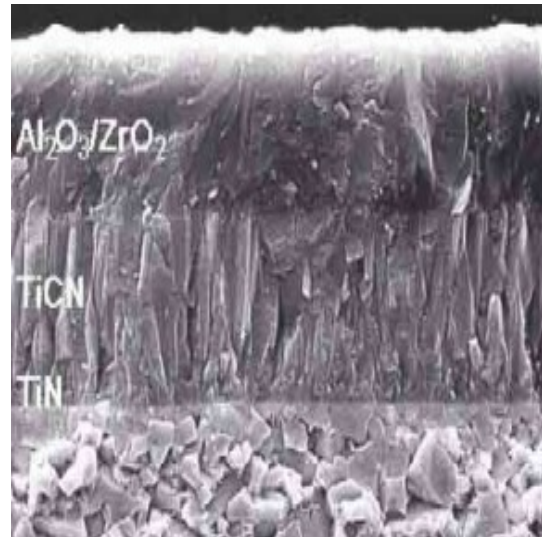
Jde o povlak tvořený dvěma, třemi i více vrstvami. Tyto vrstvy jsou na sebe postupně kladeny a přechody mezi nimi jsou ostře ohraničeny. Pořadí vrstev povlaku záleží na jejich vlastnostech. Na podkladový materiál se jako první nanáší vrstvy, které mají velmi dobrou přilnavost. Jako poslední nanášíme vrstvy, které jsou velmi tvrdé, otěruvzdorné a mají velkou odolnost proti oxidaci za vyšších teplot. Nejčastěji používané povlaky v pořadí vrstev jsou např. TiCN - Al_2O_3 - TiN povlak znázorněn na obr. 2, TiC - Al_2O_3 , TiC - Al_2O_3 - TiN, TiC - TiCN - TiN, TiN - TiCN - Al_2O_3 povlak znázorněn na obr. 3. [4]

4.4. Povlaky 4. Generace:

Jde o speciální povlaky skládající se z multivrstev. Jeden povlak může mít i 10 a více vrstev. Materiál stejný jako u vrstev třetí generace, ale řadíme zde i povlaky diamantové, nanokompozitní, supermřížkové a povlaky kubického nitridu boru. Na obr. 3 a 4 jsou zobrazeny multivrstvé povlaky. [4]



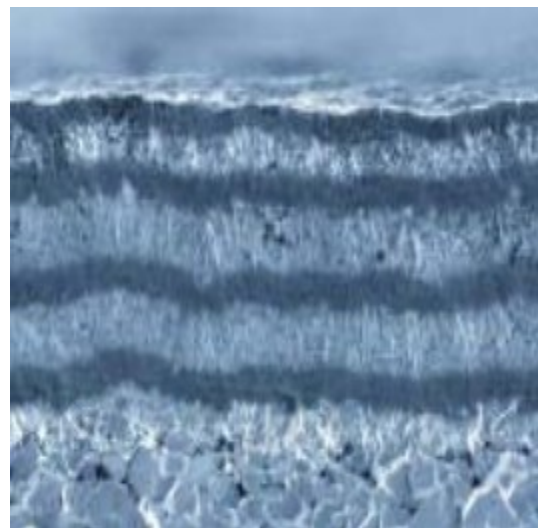
Obr. 2 - povlak TiCN - Al₂O₃ - TiN [8]



Obr. 3 - povlak s povrchovou vrstvou Al₂O₃



Obr. 4 - multivrstvý povlak TiN/TiCN [8]



Obr. 5 - multivrstvý povlak TiCN/ Al₂O₃

5. Vlastnosti vrstev CVD povlaků

5.1. TiC

Má velmi vysokou tvrdost, používá se jako ochrana proti opotřebení hřbetu. Na rozdíl od Al_2O_3 nebo TiN dochází u TiC k většímu difuznímu opotřebení, snižuje se houževnatost a pevnost v ohybu, opotřebení je ale nižší než u podkladového SK. U povlakované VBD s TiC povlakem se používají vyšší řezné rychlosti oproti nepovlakovaným VBD. [9]

5.2. TiN

Patří mezi jedny z nejtvrděších látek. Má vyšší tepelnou vodivost než TiC, proto je vhodnější při použití za vyšších teplot, je odolnější vůči teplotním šokům. [9]

5.3. TiCN

Tato vrstva se uplatňuje především pro účely hrubování. Má velmi dobré kluzné vlastnosti a je charakteristická svou tvrdostí. Kombinace prvků zlepšuje vlastnosti vrstvy a ukazuje směr vyvíjení nových a nových vrstev. [9]

5.4. Al_2O_3

Tato vrstva je velmi stabilní vůči odírání a má necitlivost na oxidativní působení otěru, ale velmi špatnou přilnavost, horší strukturu zrna a sklon k vydrolování. [9]

Podle typu povlaku určíme výsledné vlastnosti VBD. Al_2O_3 vykazuje větší odolnost proti opotřebení za vyšších teplot a řezných rychlostí než TiC, ale pokud je rychlost nižší dochází k většímu abraznímu opotřebení, kde má větší trvanlivost vrstva TiC. Na obr. 6 je porovnání některých vrstev CVD povlaků. [4]

Hodnocení	Chemická stabilita	Odolnost proti oxidaci	Tvrdost	Tvrdost za tepla
↑ Nejlepší	Al_2O_3	Al_2O_3	TiC	Al_2O_3
	TiAlN	TiAlN	TiAlN	TiAlN
	TiN	TiN	TiCN	TiN
	TiCN	TiCN	Al_2O_3	TiCN
	Nejhorší	TiC	TiC	TiN

Obr. 6 - porovnání vlastností některých povlaků [8]

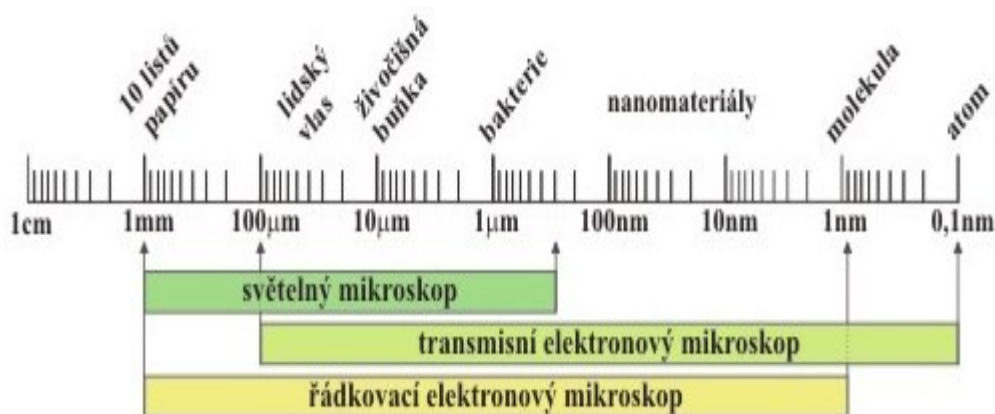
6. Vlastnosti povlaků

K nejdůležitějším faktorům, které ovlivňují chemické, fyzikální a mechanické vlastnosti povlakovaných SK patří, metody povlakování, kvalita podkladového substrátu, složení a tloušťka povlaku, jeho tvrdost a adheze. Drsnost povrchu povlaku je velmi důležitá při stanovení řezného výkonu povlakované VBD. [4]

6.1. Složení

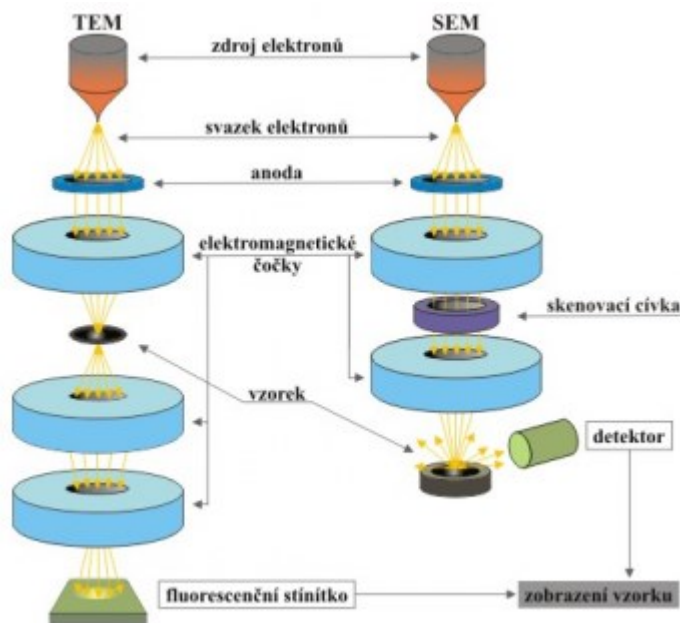
V dnešní době neexistuje žádný dokonalý materiál, který by se dal použít jako jediný pro výrobu řezných nástrojů, proto tyto nástroje vznikají pomocí různých technologií spojováním různých prvků a hledáním a testováním poměru složení. Pro různé účely a různé materiály se vyrábí specifické nástroje s určitým složením, které se dále mohou upravovat jako například břitové destičky ze slinutého karbidu povlakováním. [10]

Skenovací elektronová mikroskopie. Pro zjištění složení materiálu se v praxi využívá skenovací elektronová (rastrovací) mikroskopie. Elektronové mikroskopy jsou optické přístroje, které ale využívají elektrony urychlené elektrickým polem a místo optických čoček, čočky elektromagnetické. Toto vše je prováděno ve vakuu, aby nedocházelo k interakci elektronů s okolní atmosférou. Elektronové záření má podstatně kratší vlnovou délku než viditelné světlo, tím se dosahuje daleko většího rozlišení než u optických mikroskopů. Na obr. 7 je znázorněna typická velikost objektů, které lze elektronovým mikroskopem sledovat. [11]



Obr. 7 – srovnání rozsahu viditelnosti velikosti objektů elektronovým a světelným mikroskopem [11]

Zjednodušeně se dají elektronové mikroskopy rozdělit do dvou kategorií. Řádkovací elektronové mikroskopy SEM (scanning electron microscope) a transmisní elektronové mikroskopy TEM (transmission electron microscope). Schéma soustavy obou mikroskopů na obr. 8. [11]



Obr. 8 – schematické znázornění principu obou elektronových mikroskopů [11]

6.2. Tloušťka povlaku

Při stanovení řezných sil při obrábění hraje tloušťka povlaku velmi významnou roli v trvanlivosti nástroje. Pro různé technologické operace v obrábění se využívá různých tlouštěk povlaků. Pro zjištění tloušťky povlaku využívá metalografie. [6]

Metalografie - měří se tloušťka vrstev na břitech nástrojů. Metoda je založena na leštění vybrané části břitu a pomocí světelného mikroskopu se měří tloušťka povlaku. [6]

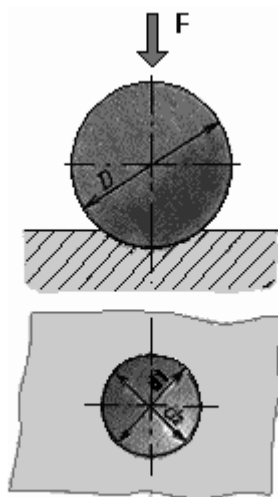
Tloušťku měříme pomocí světelného optického mikroskopu. Kovy nejsou propustné pro světlo, proto ke znázornění obrazu využíváme odraženého světelného paprsku od materiálu. Optické mikroskopy nejsou tak kvalitní a s takovým rozsahem zobrazování jako mikroskopy elektronové, ale pro některé účely jako je zmíněné měření tloušťky vrstev na ostří povlakovaných nástrojů jsou dostačující. V dnešní době je v metalografii využíváno jako zdroje místo světelného, laserový paprsek. [12]

6.3. Tvrdost

Je definována jako odolnost materiálu proti vniknutí cizího tělesa. Z fyzikálního hlediska není definována jako veličina, protože závisí na celé řadě vlastností materiálu. U CVD dochází k zušlechťování na požadovanou tvrdost až po procesu povlakování. K měření tvrdosti nám slouží tři základní zkušební metody. [6]

Tvrdost podle Brinella

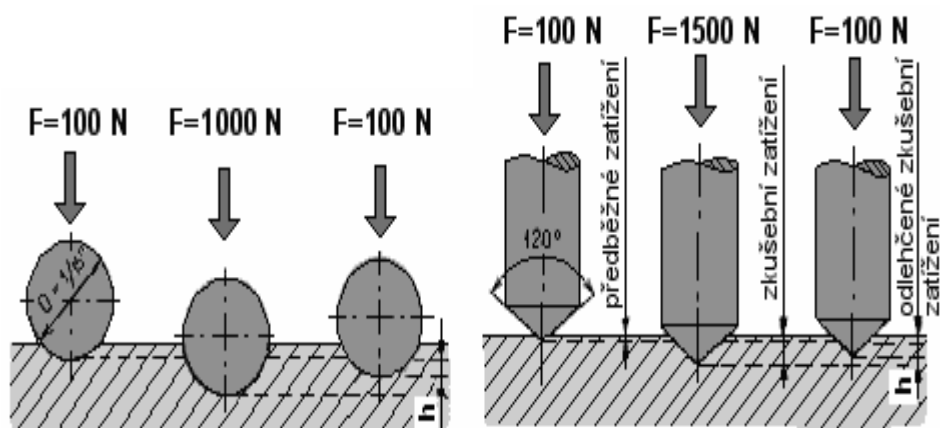
Tvrdost se měří pomocí kalené ocelové kuličky, která je silou vlačována kolmo k povrchu zkoušeného materiálu po určitou dobu trvání. Po odlehčení se měří hloubka průniku. Měření se provádí minimálně dvakrát a pomocí aritmetického průměru se stanoví výsledek. K měření se používají kuličky o průměrech 1, 2.5, 5 a 10mm, kde závisí na tloušťce zkoušeného materiálu. Schématický obrázek zkoušky na obr. 9. [13]



Obr. 9 - zkouška podle Brinella [13]

Tvrdost podle Rockwella

Metoda spočívá v zatlačování ocelové kuličky nebo diamantového kužele do materiálu. Dochází ke dvěma zatížením, předběžnému a celkovému, kde se zjišťují rozdíly hloubky vtisků. Předběžné zatížení určuje nerovnosti povrchu materiálu, po kterém následuje hlavní zatížení, které určuje vtisk, podle kterého se určuje tvrdost. Předběžné zatížení je 100N a zkušební je 1000N u ocelové kuličky a 1500N u diamantového kužele. Celkové zatížení na požadovanou sílu trvá 3 až 6 sekund. Obě metody jsou schématicky znázorněny na obr. 10. [14]

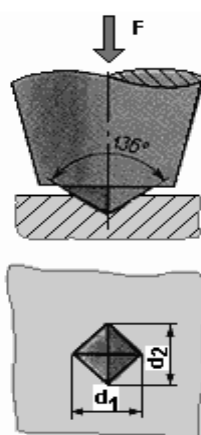


Obr. 10 - zkouška podle Rockwella (vlevo ocelová kulička, vpravo diamantový kužel)

[14]

Tvrdość podle Vickerse

Zkouška spočívá ve vlačování diamantového pravidelného čtyřbokého jehlanu kolmo do materiálu. Tento jehlan má dán svůj vrcholový úhel mezi protilehlými stěnami. Měří se délka obou uhlopříček vtisku. Síla zatížení se pohybuje od 10N do 1000N po dobu od 10 do 180sekund. Schématický obrázek zkoušky na obr. 11. [15]



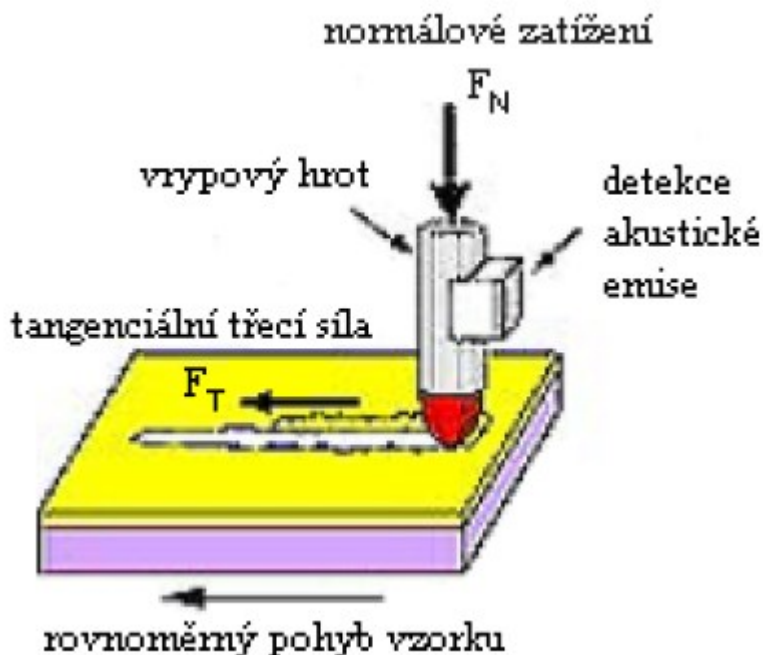
Obr. 11 - zkouška podle Vickerse [15]

6.4. Adheze

Je to vlastnost, ve které jde o přilnavost jakékoliv vrstvy k podkladovému materiálu. Aby došlo k maximálnímu využití povlakovaných vrstev musí být zajištěna velmi dobrá adheze. Toto je ovlivněno přípravou materiálu před samotným nanášením povlaků a to důkladným vyčištěním od nečistot různého druhu. Mezi hlavní zkušební metody adheze povlaků se používá vrypový test (scratch test). [6]

Scratch test

Je to nejpoužívanější test na zjištění adheze povlaků. Základem zkoušky je diamantový hrot, kterým je zatížen povlakovaný materiál. Při zatížení se hrot přímočaře pohybuje po povrchu povlaku. Síla zatížení je na počátku cca 10N a zvyšuje se až na 120N. Pokud zkušební zatížení dosáhne určité meze, dojde k porušení vrstvy povlaku, který se začne odlupovat. Nejmenší zatížení, při kterém k tomuto jevu dojde, se nazývá kritické zatížení. Podle tohoto zatížení určíme míru adheze povlaku k substrátu. Schématický obrázek zkoušky na obr. 12. [16]



Obr. 12 - Scratch test [16]

6.5. Trvanlivost

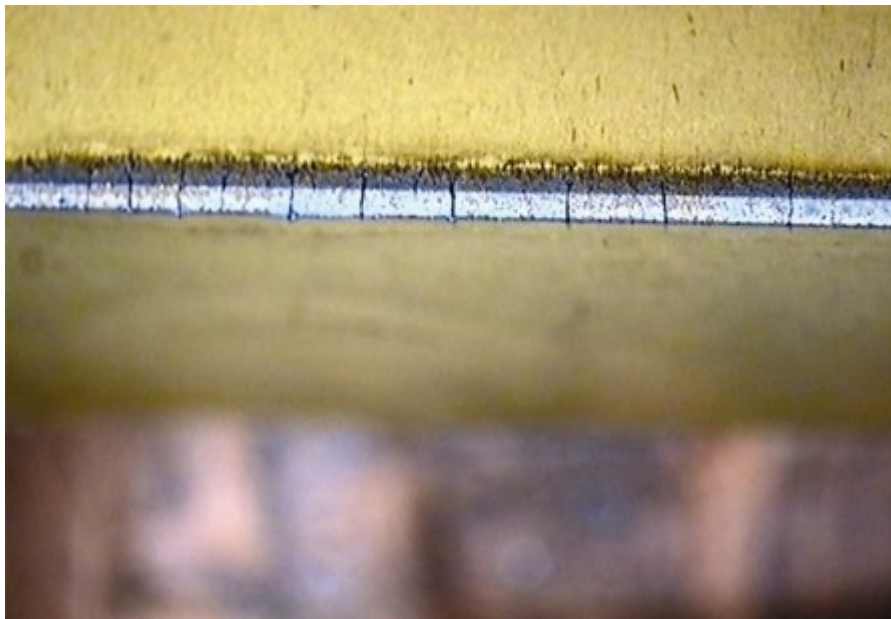
Je doba, po kterou dokáže nástroj vykonávat práci, aniž by se poškodil tak, že by nebylo možno pokračovat ve vykonávání operace z důvodů zmetkovitosti obrobků. Metody zkoušení trvanlivosti řezných nástrojů jsou dvě, krátkodobé a dlouhodobé. [17]

Krátkodobé zkoušky: Metoda A. S. Kondratova – touto metodou se měří intenzita opotřebení břitu při různých řezných rychlostech. Principem je, že čím vyšší je řezná rychlost, tím úměrně roste i intenzita opotřebení břitu nástroje. Mezi hlavní výhody zkoušky je poměrně krátký čas provedení a nižší náklady zkoušky. Zkouška se provádí v určitých časově stejných úsecích při konstantním posuvu, zvyšují se pouze řezné rychlosti. Pro každou řeznou rychlost se změří opotřebení na hřbetu nástroje a vypočte se intenzita opotřebení. [17]

Dlouhodobé zkoušky: Při těchto zkouškách se snažíme co nejvíce přiblížit obrábění v praxi. Sleduje se opotřebení břitu nástroje, které je závislé na čase vykonané práce. Výsledky se zavádí a vyhodnocují v grafech. [17]

6.6. Tepelné hřebenové trhliny

Příčiny vzniku tepelných hřebenových trhlin jsou změny teplotních cyklů (rychlé změny teplot ostří), tepelné zatížení (rozdíl mezi teplými a chladnými zónami) a mechanické zatížení. Hřebenové trhliny vznikají při přerušovaném soustružení a frézování. Tvoří se po celé délce břitu, kdy může dojít i k odlamování a následnému drobení břitu destičky. Hlavní věcí je rozpoznat tepelné trhliny dříve než dojde k vyštipování břitu. Možné způsoby minimalizace vzniku hřebenových trhlin je použití účinnějšího chlazení, nebo použití houževnatějšího řezného materiálu, snížení posuvu a řezné rychlosti. Ukázka trhlin na obr. 13. [18]



Obr. 13 - tepelné hřebenové trhliny [18]

Mezi další vlastnosti patří:

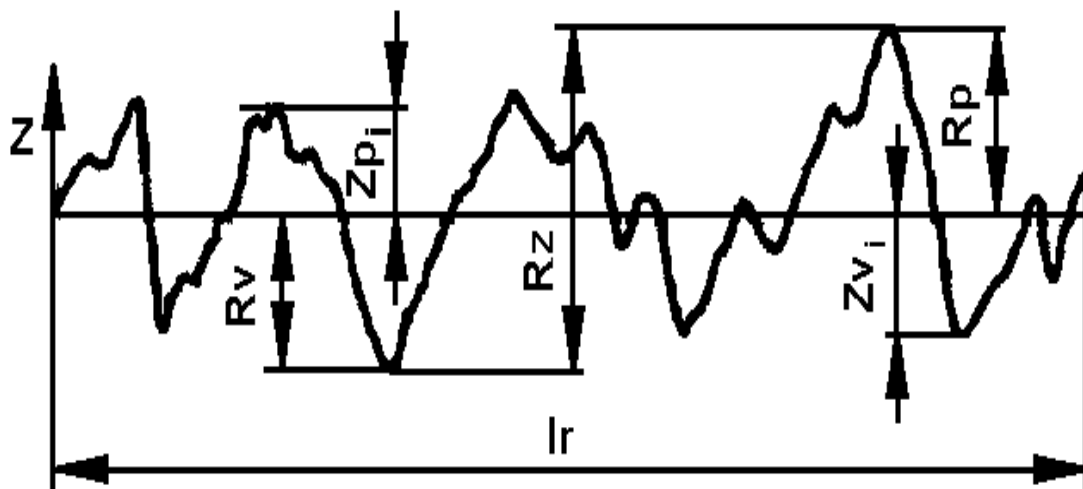
6.7. Drsnost

Jsou to nerovnosti na malých vzdálenostech. Jejich vznik ovlivňuje technologie přípravy před povlakováním, samotný proces povlakování a kvalita nanesených vrstev. Čím je drsnost povrchu povlakované VBD větší, tím jsou mechanické vlastnosti horší. Vyšší drsnost zvětšuje řezné síly, to má za následek větší tepelné namáhání břitu nástroje a zhoršení mechanických vlastností. Základem je tento jev minimalizovat, proto se upravují technologie nanášení vrstev, popřípadě se po povlakování nástroje dolešťují. [6]

Podle vzdálenosti jednotlivých nerovností členíme strukturu povrchu na jednotlivé složky. „*Struktura povrchu je členěna na jednotlivé složky podle rozteče příslušných nerovností. Jde o složku s nejmenší roztečí tvořící drsnost povrchu, dále složku nazvanou vlnitost a složku s největší roztečí nerovnosti určenou základním profilem.*” [6] Parametry znázorněny na obr. 14.

Norma ČSN EN ISO4287 definuje tyto geometrické parametry:

- **R** drsnost povrchu
- **W** vlnitost povrchu
- **P** základní profil

Obr. 14 - Parametry R_v , R_p , R_z [6]

6.8. Mikrotvrdost

U zkoušek prováděných na měření mikrotvrdosti se používá velmi malých zatížení. U tenkých vrstev, které jsou na VBD nanášeny, se pohybuje tloušťka povlaků v mikrometrech, proto jsou zatížení malá, jinak by došlo k ovlivnění zkoušky podkladovým materiálem. Tato zkušební zatížení se pohybují kolem desítek milinewtonu. Hranice mezi mikro a makrotvrdostí se uvádí kolem 19,8 N. Pro zkoušky mikrotvrdosti se využívá pouze metod, kdy do povlaku vniká diamantový hrot. Měření vtisků se provádí pomocí mikrotvrdoměrů, které jsou založeny na principu Vickersovy metody. Tyto mikrotvrdoměry současně měří i hloubku pronikání do vrstvy s přesností nm. Tvrdost vrstvy se uvádí v Gpa. [6]

6.9. Odolnost proti oxidaci

Při oxidaci dochází k postupnému samovolnému znehodnocování materiálu. Příčinou tohoto znehodnocování je chemické, nebo fyzikálně-chemické působení okolního prostředí na materiál. Tato porušení mohou mít vliv jak na vzhled materiálu, tak i na mechanické, fyzikální a chemické vlastnosti. [6]

7. Návrh metodiky experimentálních prací

Pro mou experimentální práci byly vybrány tři druhy vyměnitelných břitových destiček s CVD povlakem. Destičky byly označeny jako vzorky č. 1, č. 2 a č. 3. Na obrázku č. 15 jsou zobrazeny destičky s jednotlivými povlaky.



Obr. 15 - vyměnitelné břitové destičky, zleva vzorek č. 1, č. 2 a č. 3

V metodice experimentálních prací byly použity na VBD tyto zkoušky:

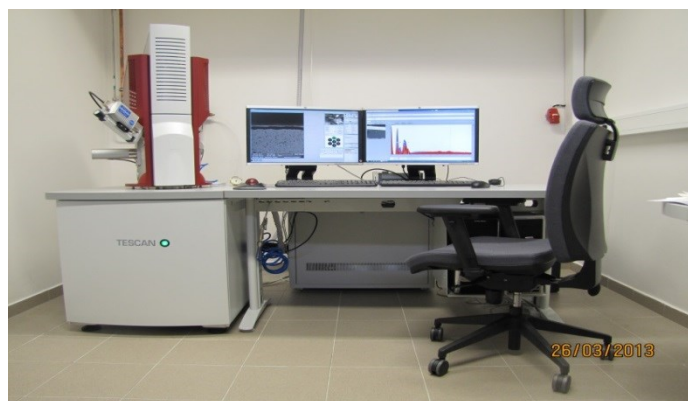
- Chemická analýza povlaků pomocí skenovacího elektronového mikroskopu (SEM)
- Měření tloušťky povlaků pomocí optického mikroskopu
- Měření tvrdosti dle ČSN 42 0374
- Zkouška adheze dle ČSN EN ISO 11644
- Zkouška trvanlivosti
- Zkouška hřebenových tepelných trhlin

8. Experimentální měření

8.1. Chemická analýza povlaků

Pro experimentální měření byly použity vyměnitelné břitové destičky označené jako vzorky č. 1, č. 2 a č. 3. Destičky byly vyleštěny do zrcadlového lesku na leštičce PHOENIX 4000. Nejprve byly broušeny na diamantovém kotouči o zrnitosti 250 μm při otáčkách 200 rpm s přitlakem 70 bar po dobu 3 min. Poté byly vzorky broušeny na litinovém kotouči s diamantovým práškem o zrnitosti 15 μm a s petrolejem při otáčkách 400 rpm s přitlakem 70 bar po dobu 10 min. Následně byly vzorky leštěny na kotouči TexMet s diamantovým práškem o zrnitosti 7 μm při otáčkách 400 rpm s přitlakem 70 bar po dobu 10 min. Nakonec byly vzorky doleštěny na kotouči TexMet s diamantovým práškem o zrnitosti 1 μm při otáčkách 400 rpm s přitlakem 70 bar po dobu 10 min. Při všech krocích byly vzorky chlazeny vodou. Mezi jednotlivými kroky byly vzorky očištěny kartáčem a omyty horkou vodou. Po posledním kroku byly destičky očištěny benzínem.

Snímky jednotlivých povlaků byly pořízeny na skenovacím elektronovém mikroskopu MIRA3 LMH firmy Tescan. Mikroskop je vybaven autoemisní katodou určenou pro snímání preparátů ve vysokém rozlišení. Ke snímání bylo použito zvětšení 7590, při pracovní vzdálenosti přibližně 7 mm a urychlovacím napětí svazku 5 kV. Obraz byl detekován pomocí detektoru sekundárních elektronů a detektoru odražených elektronů. Složení povlaků bylo stanoveno prvkovou analýzou pomocí EDX analyzátoru. Mikroskop je zobrazen na obr. 16.



Obr. 16 – Skenovací elektronový mikroskop

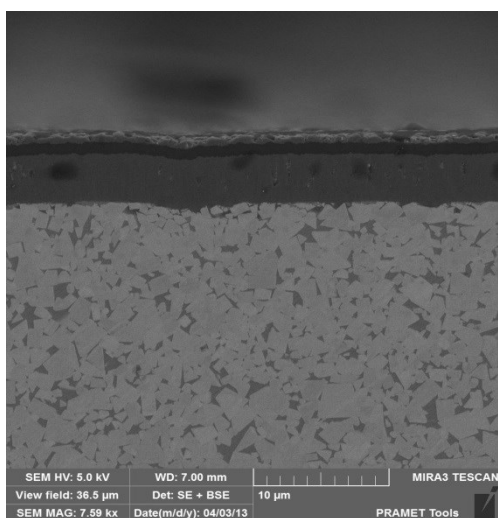
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vzorek č. 1: Substrát, TiN, TiCN, TiN, Al₂O₃, TiN

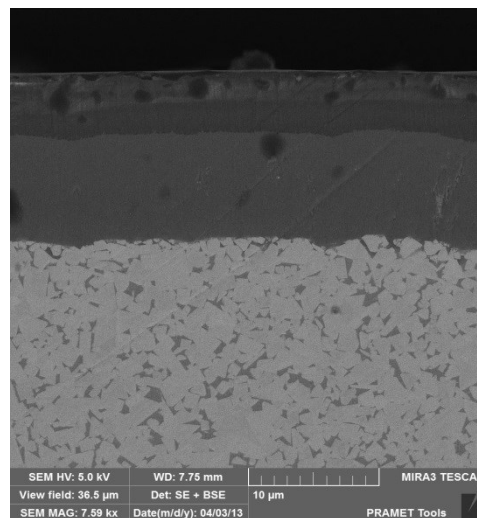
Vzorek č. 2: Substrát, TiN, TiCN, Al₂O₃

Vzorek č. 3: Substrát, TiN, TiCN, Al₂O₃

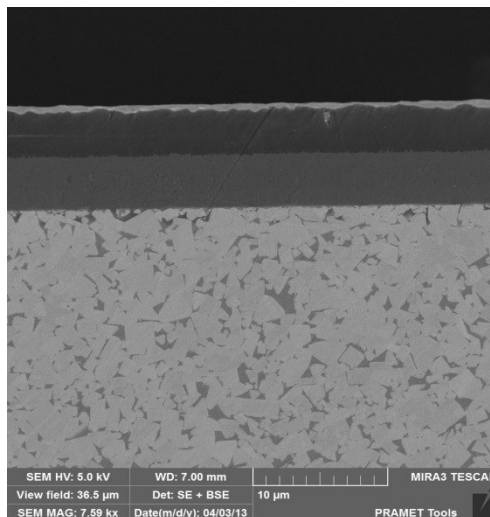
Na obrázcích 17, 18, 19 jsou snímky jednotlivých povlaků zobrazených pomocí SEM.



Obr. 17 – vzorek č. 1



Obr. 18 – vzorek č. 2



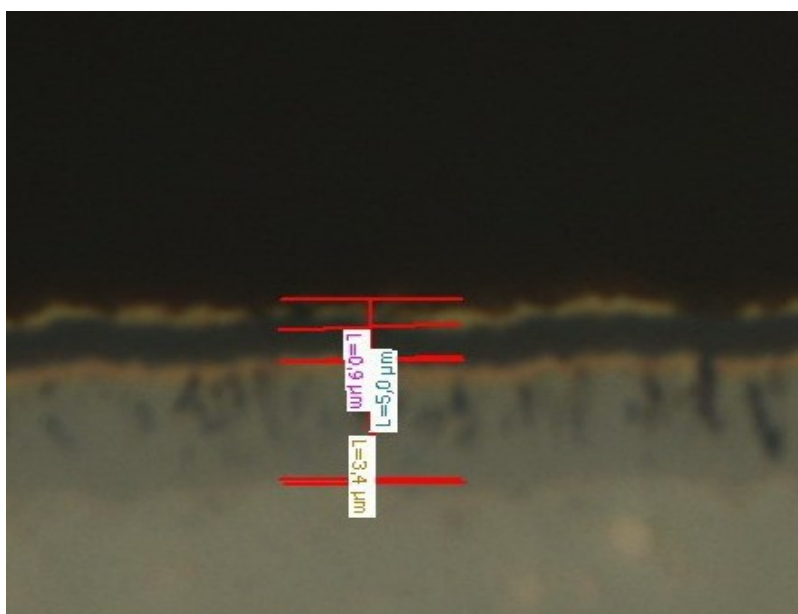
Obr. 19 – vzorek č. 3

8.2. Měření tloušťky povlaku

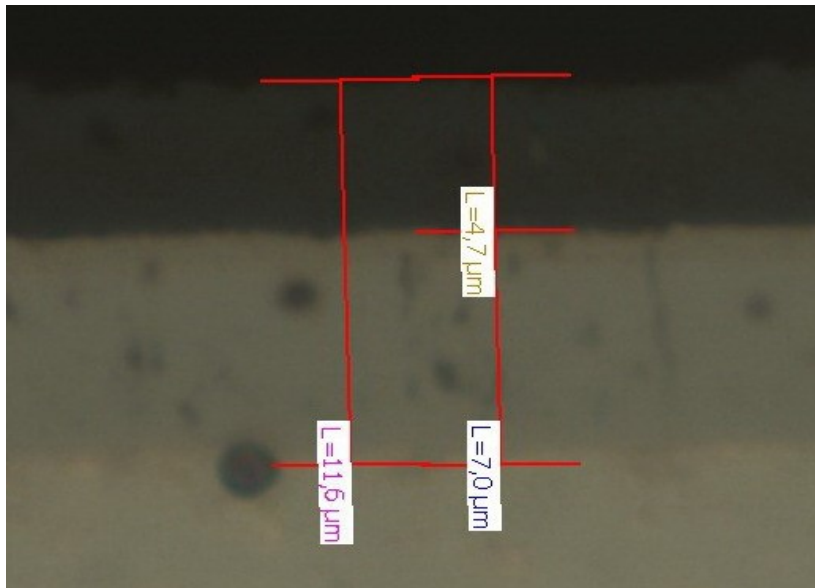
Vzorky byly měřeny na optickém mikroskopu Neophot 30, měřeno bylo při zvětšení 1000 x. Před měřením byly vzorky očištěny benzínem. Bylo provedeno celkem šest měření na každé břitové destičce. Pravý kraj, střed a levý kraj na čele VBD, a totéž bylo měřeno i na dosedací ploše destičky. Hodnoty měření jsou v tabulce č. 1. Na obrázcích 20, 21 a 22 jsou snímky z měření destiček.

Tab. 1 – hodnoty měření tloušťky

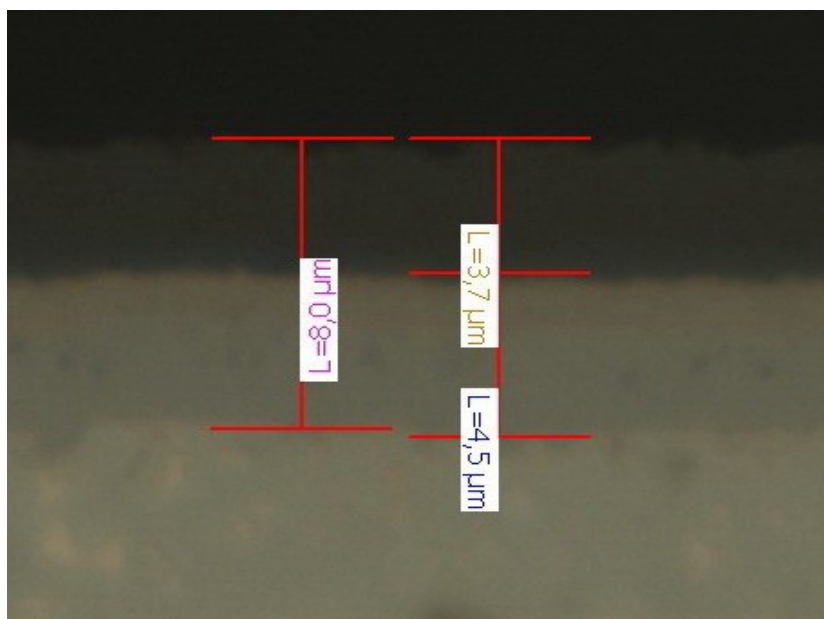
		tloušťka povlaků na čele [μm]			tloušťka povlaků na dosedací ploše [μm]		
		pravý kraj	střed	levý kraj	pravý kraj	střed	levý kraj
vzorek č. 1	vrchní vrstva	2,9	3,4	3,5	3,8	3,5	3,7
	spodní vrstva	1,5	0,9	1,5	1,2	0,9	1,2
	celková vrstva	5,1	5	5,5	6,1	5,1	5,2
vzorek č. 2	vrchní vrstva	4,3	4,7	5,1	4,5	4,4	5,3
	spodní vrstva	7,6	7	7	7	6,9	7,7
	celková vrstva	11,1	11,6	12	11,2	11,2	12,9
vzorek č. 3	vrchní vrstva	4,5	3,7	4,5	3,7	3,2	4,2
	spodní vrstva	4,5	4,5	4,6	4,8	4,3	5
	celková vrstva	9	8	9,1	8	7,7	8,7



Obr. 20 – tloušťka povlaku střed, čelo - vzorek č. 1



Obr. 21 - tloušťka povlaku střed, čelo - vzorek č. 2



Obr. 22 - tloušťka povlaku střed, čelo - vzorek č. 3

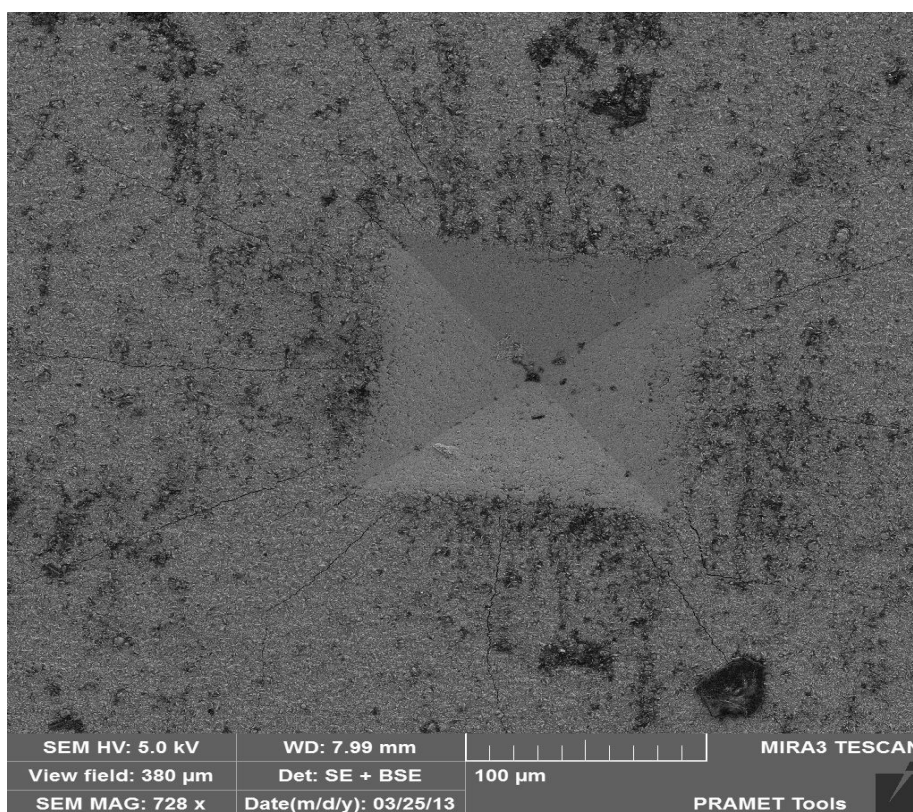
Měření nám ukázalo, že vzorek č. 1 měl celkovou tloušťku CVD povlaku mezi 5 až 6 μm. Vzorek č. 2 měl největší celkovou tloušťku, která se pohybovala mezi 11 až 12 μm a vzorek č. 3 mezi 8 až 9 μm.

8.3. Měření tvrdosti

Tvrdost byla měřena na tvrdoměru firmy Frank s diamantovým tělesem ve tvaru pravidelného čtyřbokého jehlanu se čtvercovou základnou a vrcholovým úhlem 136° , při zatížení 294 N s délkou vtisku 10 s. Naměřené hodnoty průměru délek úhlopříček jsou v tabulce č. 2. Ukázka vtisku na obr. Č 23. Snímky byly po měření foceny pomocí skenovacího elektronického mikroskopu.

Tab. 2 – průměr délek úhlopříček

vzorek	1. měření [μm]	2. měření [μm]	3. měření [μm]
č.1	136,9	137,0	137,5
č.2	140,1	140,0	143,3
č.3	124,6	126,7	125,1



Obr. 23 – obrázek vtisku při měření tvrdosti

Tvrдость podle Vickerse vypočítáme ze vztahu $HV = 0.189 * \frac{F}{u^2}$, kde F je síla zatížení a u je rozdíl délky uhlopříček. V tabulce č. 3 jsou doplněny hodnoty tvrdosti podle Vickerse.

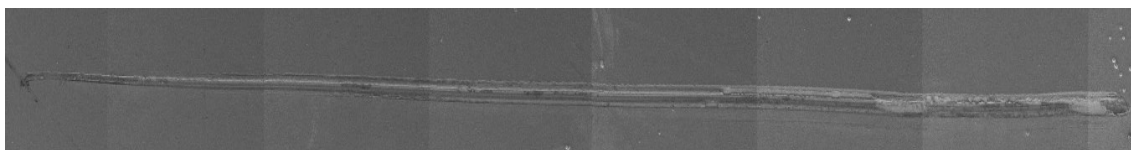
Tab. 3 – hodnoty měření tvrdosti

Vzorky	zatížení [N]	průměr délek úhlopříček [μm]	Tvrđost [HV]
vzorek č. 1	294	137,1	2956
vzorek č. 2	294	141,1	2791
vzorek č. 3	294	125,5	3528

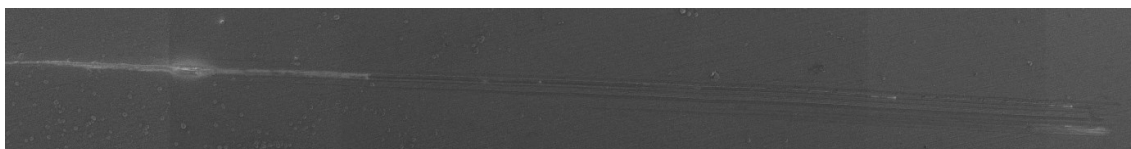
Nejtvrdší byl povlak vzorku č. 3, jeho hodnota dosáhla tvrdosti 3528 HV. Na druhém místě potom povlak vzorku č. 1 a poslední povlak vzorku č. 2.

8.4. Zkouška adheze

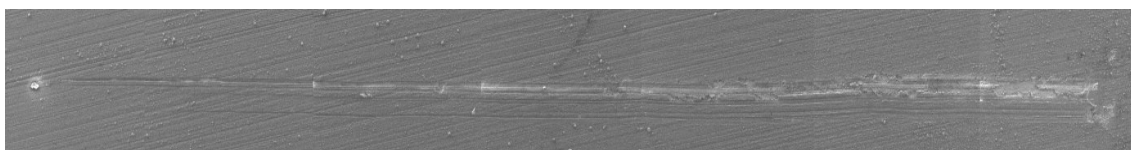
Scratch test byl proveden na scratch testeru firmy MEZ Náchod při zátěžné síle 10-80 N. Snímky jednotlivých vrypů byly pořízeny na skenovacím elektronovém mikroskopu MIRA3 LMH firmy Tescan. Ke snímání bylo použito zvětšení 239, při pracovní vzdálenosti přibližně 6 mm a urychlovacím napětí svazku 5 kV. Obraz byl detekován pomocí detektoru sekundárních elektronů a detektoru odražených elektronů. Vrypy byly focené po částech a složeny do jednoho snímku, pomocí programu GIMP Portable. Snímky vzorků jsou na obrázcích 24 až 26.



Obr. 24 – Scratch test vzorek č. 1



Obr. 25 – Scratch test vzorek č. 2



Obr. 26 – Scratch test vzorek č. 3

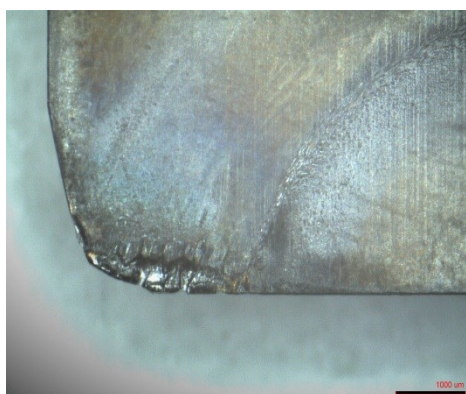
Po vyhodnocení snímků pořízených pomocí skenovacího elektronového mikroskopu dosáhl nejlepší adheze povlak vzorku č. 3 a nejhůře povlak vzorku č. 1.

8.5. Zkouška trvanlivosti

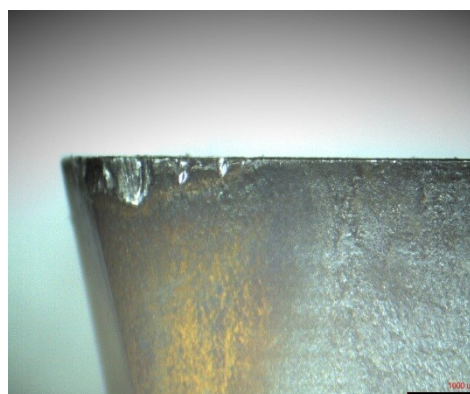
Zkouška trvanlivosti byla provedena při frézování. Frézovaný materiál byla standartní ocel 12 050. Ze zkoušky nejlépe dopadl vzorek VBD s CVD povlakem č. 3, který vykazoval největší trvanlivost. Nejhůře pak vzorek č. 1. U VBD vzorku č.3 a č.2 došlo k menšímu vyštípnutí hlavního břitu okolo příčných trhlin. Na VBD vzorku č.1 se vytvořil výmol na čele i příčné trhliny. V tabulce č. 4 je doba trvanlivosti a řezivost jednotlivých vzorků. Vzorek č. 3 dosáhl 100% řezivost, také vzorek č. 2 vykazoval velmi dobrou řezivost 93%. Nejmenší řezivost měl vzorek č. 1 a to pouze 62%. U vzorků 2 a 3 je jako vrchní vrstva CVD povlaku použito Al_2O_3 . Snímky opotřeбенí jednotlivých VBD po ukončení testu trvanlivosti na obrázcích 27 až 32.

Tab. 4 – výsledky zkoušky trvanlivosti při frézování

vzorky	vzorek	T [min]	průměr [min]	řezivost
vzorek č. 1	C1	45,8	45,4	62%
	C2	45		
vzorek č. 2	B1	68,6	68,6	93%
	B2	68,6		
Vzorek č. 3	A1	78,4	73,5	100%
	A2	68,6		



Obr. 27 – vzorek č. 1 čelo po 49 min.



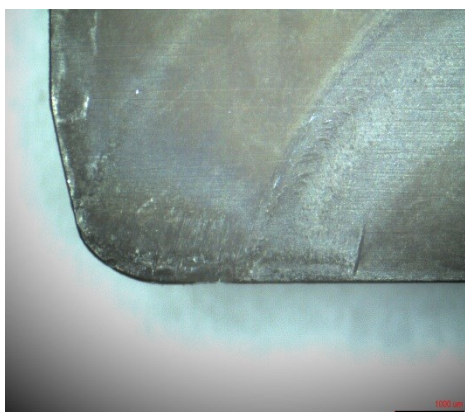
Obr. 28 – vzorek č. 1 hřbet po 49 min.



Obr. 29 – vzorek č. 2 čelo po 69 min.



Obr. 30 – vzorek č. 2 hřbet po 69 min.



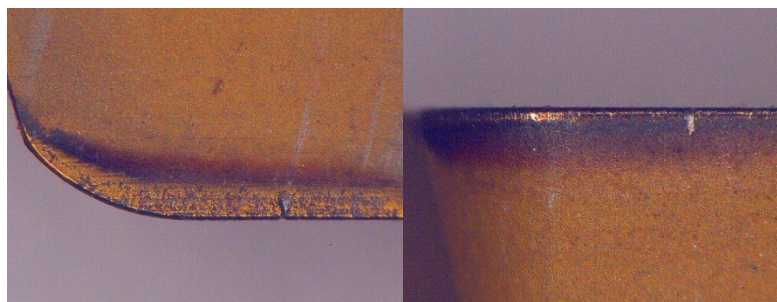
Obr. 31 – vzorek č. 3 čelo po 78 min.



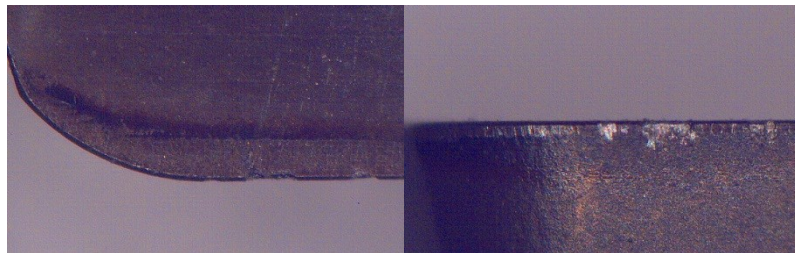
Obr. 32 – vzorek č. 3 hřbet po 78 min.

8.6. Zkouška hřbenových tepelných trhlin

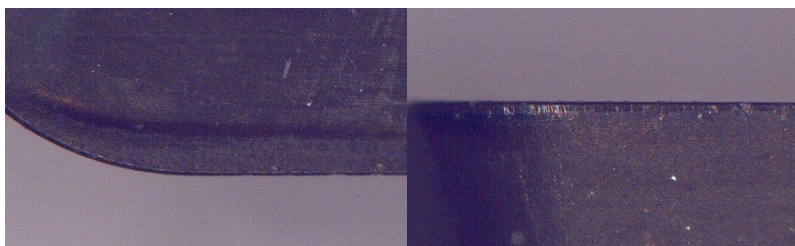
Zkouška byla provedena při frézování. Při 1319 otáčkách za minutu byly provedeny dva průjezdy. Čistý čas obrábění při prvním průjezdu činil 2,5 minuty a při druhém průjezdu 5 minut. Na obr. 33 až 35 jsou snímky trhlin po prvním průjezdu jednotlivých vzorků a na obr. 36 až 38 po druhém průjezdu.



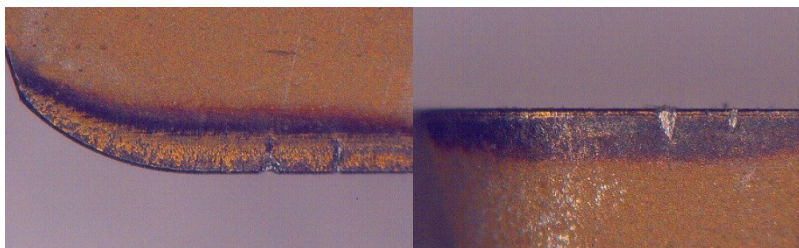
Obr. 33 – Tepelné hřbenové trhliny vzorku č. 1 po prvním průjezdu



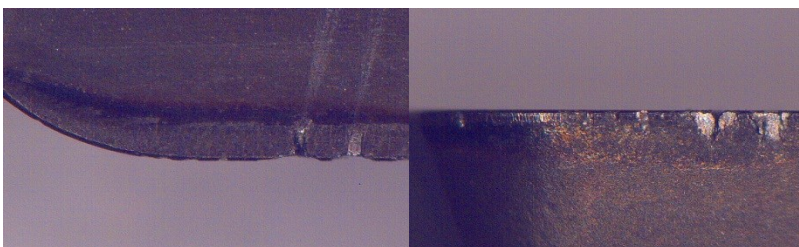
Obr. 34 – Tepelné hřebenové trhliny vzorku č. 2 po prvním průřezu



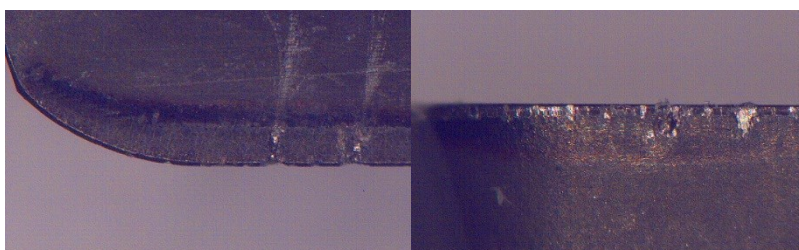
Obr. 35 – Tepelné hřebenové trhliny vzorku č. 3 po prvním průřezu



Obr. 36 – Tepelné hřebenové trhliny vzorku č. 1 po druhém průřezu



Obr. 37 – Tepelné hřebenové trhliny vzorku č. 2 po druhém průřezu



Obr. 38 – Tepelné hřebenové trhliny vzorku č. 2 po druhém průřezu

Po prvním průřezu dopadl nejlépe vzorek č. 3 a nejhůře vzorek č. 2. Po druhém průřezu jsou znatelné trhliny na všech vzorcích, ale nejhůře je na tom stále vzorek č. 2.

Závěr

Ve své Bakalářské práci se zabývám jednou z metod nanášení tenkých povlaků a to metodou CVD v oblasti řezných nástrojů. V teoretické části jsem prostudoval historii povlakování, seznámil se s hlavním podkladovým materiálem používaným k nanášení tenkých vrstev. Dále jsem prostudoval jednotlivé metody nanášení CVD a látky z kterých se skládají jednotlivé vrstvy těchto povlaků. V závěru teoretické části jsem studoval vlastnosti povlaků zaměřené především na oblast frézování.

Ve své experimentální práci jsem porovnával tři vzorky vyměnitelných břitových destiček s CVD povlakem. Vzorky byly označený pořadovými čísly 1 až 3. První byla analýza CVD povlaku provedená na skenovacím elektronovém mikroskopu. V ní bylo zjištěno, že poslední vrstvou je u vzorku č. 1 TiN a u vzorků č. 2 a 3 shodně Al_2O_3 . Druhá analýza experimentální práce byla tloušťka povlaku jednotlivých destiček. U vzorku č. 1 dosahovala tloušťka vrstvy kolem 6 μm . U vzorku č. 2 12 μm a vzorku č. 3 9 μm . Další zkouškou bylo měření tvrdosti podle Vickerse. Po měření bylo zjištěno, že nejtvrdší je povlak vzorku č. 3, který dosahoval tvrdost HV 3528. Nejhůře dopadl povlak vzorku č. 2. Další analýzou byl scratch test na zjištění adheze povlaků. Při tomto testu bylo zjištěno, že nejlepší adhezi měl vzorek č. 3 a nejhorší vzorek č. 1. Jedna z nejdůležitějších zkoušek mé experimentální práce byla zkouška trvanlivosti. Při ní bylo zjištěno, že vzorek č. 3 dosahoval 100% řezivosti. Vzorek č. 2 s řezivostí 93% dopadl také dobře, ale vzorek č. 1 s 62% byl nejhorší. Poslední byla analýza hřebenových tepelných trhlin. I při této zkoušce nejlépe dopadl vzorek č. 3. Nejhůře pak dopadl vzorek č. 2.

Po analýze všech zkoušek provedených na VBD lze konstatovat, že nejlepší vlastnosti dosáhla vyměnitelná břitová destička s povlakem vzorku č. 3 ve složení: substrát, TiN, TiCN, Al_2O_3 .

Seznam použité literatury:

1. Příkryl, Radek.: *Studie povlaků PVD a CVD a jejich aplikace v praxi*, Katedra Mechanické technologie, Fakult strojní VŠB- Technická univerzita Ostrava, 2011, 35s. Bakalářská práce, vedoucí: Podjuklová J.
2. *Výroba VBD a druhy povlaků*, [online]. [cit. 10. Března 2013]. Dostupný na World Wide web: <http://www.taegutec.cz/innotool/prirucka_obrabení_331.pdf>.
3. *Prášková metalurgie*, [online]. [cit. 10. Března 2013]. Dostupný na World Wide Web: <http://www.ateam.ic.cz/praskova_metalurgie.pdf>.
4. HUMÁR, A. *Materiály pro řezné nástroje*. 1. Vyd. Praha: MM publishing, 2008 235 s. ISBN 978-800-254-2250-2
5. *Supertvrdé povlaky vyrobené s použitím CVD a PA CVD metody*, [online]. [cit. 23. Března 2013]. Dostupný z: <http://integrita.zcu.cz/download/skola1/liberec_kmt_prez3.pdf>.
6. Burešová, Eva.: *Studium vlastností povlaků aplikované na obráběcí nástroje*, Katedra Mechanické technologie, Fakult strojní VŠB- Technická univerzita Ostrava, 2012, 50s. Bakalářská práce, vedoucí: Podjuklová J.
7. *Povlakování nástrojů metodou PACVD*, [online]. [cit. 25. Března 2013]. Dostupný na World Wide Web: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/povlakovani-nastroju-metodou-pacvd.html>>.
8. *Nové trendy vývoje tenkých vrstev vytvořených PVD a CVD technologií v aplikaci na řezné nástroje*, [online]. [cit. 30. Března 2013]. Dostupný na World Wide Web: <http://www.ateam.zcu.cz/Nove_trendy.pdf>.
9. *Struktura a složení*, [online]. [cit. 21. Dubna 2013]. Dostupný na World Wide Web: <http://www.kmm.zcu.cz/Blahova/CDPOU/content/data/cviceni_7.pdf>.

10. *Nástrojové materiály*, [online]. [cit. 2. Dubna 2013]. Dostupné z: <u12134.fsid.cvut.cz/podklady/ON/2013_1_Nastrojove_materialy.pdf>.
11. *Elektronovým mikroskopem do nitra materiálů aneb jak vypadá jejich struktura*, [online]. [cit. 21. Dubna 2013]. Dostupný na World Wide Web: <<http://www.fzu.cz/popularizace/elektronovym-mikroskopem-do-nitra-materialu-aneb-jak-vypada-jejich-struktura>>.
12. *Vývoj mikroskopů*, [online]. [cit. 21. Dubna 2013]. Dostupný na World Wide Web: <http://www.ateam.zcu.cz/download/historie_mikroskopie.pdf>.
13. *Zkouška tvrdosti dle Brinella*, [online]. [cit. 2. Dubna 2013]. Dostupný na World Wide Web: <<http://www.converter.cz/jednotky/tvrdest-brinell.htm>>.
14. *Zkouška tvrdosti dle Rockwella*, [online]. [cit. 2. Dubna 2013]. Dostupný na World Wide Web: <<http://www.converter.cz/jednotky/tvrdest-rockwell.htm>>.
15. *Zkouška tvrdosti dle Vickerse*, [online]. [cit. 2. Dubna 2013]. Dostupný na World Wide Web: <<http://www.converter.cz/jednotky/tvrdest-vickers.htm>>.
16. *Základní parametry povlaků*, [online]. [cit. 8. Dubna 2013]. Dostupné z: <http://fyzika.fs.cvut.cz/subjects/fzmt/seminars/cviceni_3b.pdf>.
17. *Zkoušky trvanlivosti ostří řezných nástrojů*, [online]. [cit. 21. Dubna 2013]. Dostupný na World Wide Web: <<http://www.ateam.zcu.cz/trvanlivost.html>>.
18. *Příručka pro technology*, [online]. [cit. 21. Dubna 2013]. Dostupný na World Wide Web: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/prirucka-pro-technology-opotrebeni-se-nevyhneme.html>>.