

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301R016 Strojírenská technologie - technologie
obrábění

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vliv mikrogeometrie cermetových řezných nástrojů na proces obrábění

Autor: **Michal Morávek**

Vedoucí práce: **Ing. Ivana Česáková**

Akademický rok 2013/2014

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Michal MORÁVEK**
Osobní číslo: **S12B0003P**
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Strojírenská technologie-technologie obrábění**
Název tématu: **Vliv mikrogeometrie cermetových řezných nástrojů na proces obrábění**
Zadávající katedra: **Katedra technologie obrábění**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Úvod
2. Rozbor současného stavu
3. Návrh vlastního řešení
4. Závěr

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne:

.....
podpis autora

Autorská práva

Podle zákona o právu autorském. Č.35/1965 Sb. (175/1996 Sb. ČR) § 17 a Zákona o vysokých školách č. 111/1998 Sb. je využití a společenské uplatnění výsledků bakalářské práce, včetně uváděných vědeckých a výrobně-technických poznatků nebo jakékoliv nakládání s nimi možné na základě autorské smlouvy za souhlasu autora a Fakulty strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Poděkování

Na tomto místě bych chtěl především poděkovat Ing. Ivaně Česákové za vedení této bakalářské práce, výbornou spolupráci a rady, které mi během zpracování práce předala.

Dále Ing. Miroslavu Zetkovi, Ph.D. za spolupráci a práci konzultanta ve všech ohledech.

Katedře KTO ZČU v Plzni za přípravu během studia.

Poděkování patří rovněž mé rodině za podporu během studia, trpělivost a tvorbu potřebného zázemí.

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Morávek	Jméno Michal	
STUDIJNÍ OBOR	Strojírenská technologie – technologie obrábění		
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Česáková	Jméno Ivana	
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST – KTO		
DRUH PRÁCE	DIPLLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Vliv mikrogeometrie cermetových řezných nástrojů na proces obrábění		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KTO	ROK ODEVZD.	2014
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	41	TEXTOVÁ ČÁST	41	GRAFICKÁ ČÁST	0
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Bakalářská práce řeší vliv mikrogeometrie cermetových řezných nástrojů na proces obrábění těžkoobrobitelných materiálů. V bakalářské práci jsou popsány jednotlivé parametry mikrogeometrie řezných nástrojů, možnosti úpravy mikrogeometrie a možnosti měření mikrogeometrie řezných nástrojů.
KLÍČOVÁ SLOVA	Řezný nástroj, cermet, mikrogeometrie bříty, poloměr zaoblení, pískování, omílání, frézování, drsnost řezné hrany

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Morávek	Name Michal	
FIELD OF STUDY	Manufacturing Processes - Technology of Metal Cutting		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Česáková	Name Ivana	
INSTITUTION	ZČU - FST – KTO		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	The Influence of Cermet Cutting Tools Microgeometry to Machining Process		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machining Technology	SUBMITTED IN	2014
----------------	------------------------	-------------------	----------------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	41	TEXT PART	41	GRAPHICAL PART	0
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	This bachelor thesis deal with the influence of cermet cutting tools Microgeometry to machining process of hard machinable materials. Individual parameters of cutting tools Microgeometry, options of modifications Microgeometry and options of measurement Microgeometry are described in this bachelor thesis.
KEY WORDS	Cutting tool, cermet, Microgeometry of edge, radius of edge, sanding, tumbling, milling, roughness of cutting edge

Obsah

Přehled použitých zkratk	9
1. Úvod	11
1.1 Cíle bakalářské práce	11
2. Rozbor současného stavu	12
2.1 Cermet	12
2.2 Vlastnosti cermetů	13
2.2.1 Fyzikální vlastnosti	13
Měrná hmotnost	13
Tepelná vodivost	13
2.2.2 Mechanické vlastnosti	14
Tvrdost	14
Houževnatost	14
2.3 Mikrogeometrie nástroje	15
2.4 Technologické úpravy mikrogeometrie bříty	16
2.4.1 Omílání	16
2.4.2 Pískování	18
2.4.3 Kartáčování	19
2.4.4 Obrábění pomocí laserového paprsku	19
2.4.5 Současné poznatky o mikrogeometrii nástrojů	19
2.5 Hodnotící parametry mikrogeometrie	20
2.5.1. Poloměr zaoblení	20
2.5.2. K – faktor	20
2.5.3. Teoretická drsnost ostří	22
2.5.4. Utvařeče třísky	22
Geometrie utvařečů	23
2.5.5. Fazetky	24
2.6 Způsoby měření mikrogeometrie	25
2.6.1. Měření mikrogeometrie dotykovou metodou	25
2.6.2. Měření mikrogeometrie bezdotykovou metodou	26
2.7 Výroba cermetových VBD	27
2.7.1. Metoda broušení	27

Příprava prášků.....	27
Formování směsi	27
Proces slinování.....	28
2.7.2. Metoda lisování.....	28
Lisování – vysokoteplotní izostatické lisování	28
Dokončovací operace	29
2.8 Aplikace cermetů.....	29
2.8.1. Použití cermetových VBD	30
2.8.2. Frézování cermetovými nástroji.....	31
2.8.3. Soustružení cermetovými nástroji.....	31
2.8.4. Vrtání cermetovými nástroji.....	31
2.9 Materiály pro obrábění cermetů	32
2.10 Depozice cermetů.....	32
2.10.1 Metoda CVD	34
2.10.2 Metoda PVD.....	35
2.10.3 Metoda PACVD	36
3. Návrh vlastního řešení.....	38
3.1 Návrh experimentu	39
3.1.1. První fáze experimentu.....	39
3.1.2. Druhá fáze experimentu	40
3.1.3. Třetí fáze experimentu	40
3.1.4. Charakteristika obráběného materiálu.....	41
3.1.5. Navržené řezné podmínky.....	41
3.1.6. Charakteristika obráběcího stroje.....	41
4. Závěr.....	42
Použitá literatura	43
Seznam obrázků	47

Přehled použitých zkratk

SiC	karbid křemíku
Al ₂ O ₃	oxid hlinitý
Co ₂	oxid uhličitý
Mo ₂ C	karbid molybdenu
TiCN	karbonitrid titanu
TiC	karbid titanu
TiN	nitrid titanu
Ni	nikl
Co	kobalt
Mo	molybden
NbC	karbid niobu
TaC	karbid tantalu
WC	karbid wolframu
Al	hliník
N	dusík
TiAlN	nitrid titan – hliníku
AlTiN	nitrid hliník - titanu
TiAlSiN	nitrid titan – hliník – křemíku
CrN	nitrid chromu
CrCN	karbonitrid chromu
ZrN	nitrid zinku
VBD	vyměnitelná břitová destička
RO	rychlěžná ocel
SK	slinutý karbid

PVD		Physical Vapour Deposition (nanášení tenkých vrstev fyzikální metodou)
CVD		Chemical Vapour Deposition (nanášení tenkých vrstev chemickou metodou)
PACVD		Plasma Aktiv Chemical Vapour Deposition (nanášení tenkých vrstev chemickou metodou pomocí plasmy)
HRC		značení tvrdosti dle Rockwela
S_γ	[μm]	velikost zaoblení na čele
S_α	[μm]	velikost zaoblení na hřbetu
\bar{S}	[μm]	střední velikost zaoblení břitu
TaNbC		karbid tantal – niobu
HV		značení tvrdosti dle Vickerse
v_c	[m/min]	řezná rychlost

1. Úvod [1], [6]

Tématem této bakalářské práce je Vliv mikrogeometrie cermetových řezných nástroj na proces obrábění. Strojírenský průmysl patří mezi nejrozšířenější odvětví na celém světě a je charakteristický stále zvyšujícími se požadavky na kvalitu strojních součástí. Neustále se kladou vyšší nároky na tvarovou a rozměrovou přesnost a na jakost povrchu, zároveň se kladou požadavky na snížení celkových výrobních časů a nákladů. Mezi požadavky také patří výroba strojních součástí z kvalitnějších materiálů, než tomu bývalo v dřívější době. Ohled se bere především na zvýšenou pevnost a tvrdost materiálů. S rostoucími požadavky na kvalitu a přesnost součástí rostou nároky na obráběcí stroje, kvalitu pracovníků a v neposlední řadě na řezné nástroje.

Moderní řezné nástroje se využívají například pro obrábění nástrojové oceli, tedy oceli třídy 19. Tato ocel slouží k výrobě nástrojů pro protlačovací, tažné a lisovací operace a v neposlední řadě pro výrobu zápusťek a forem. Tyto součásti a nástroje se vyrábějí z těžkoobrobitelných materiálů, které bylo možno v dřívější době obrábět pouze cestou nekonvenčního, tzv. beztrískového obrábění, ale neustálý vývoj řezných nástrojů přinesl pokrok i do obrábění konvenčního. Při použití moderních řezných materiálů, mezi které patří například cermet, je možno obrábět těžkoobrobitelné materiály i bez některých operací jako je např. hrubování a tím dosáhnout nižších výrobních časů a zvýšit tak produktivitu výroby.

Při obrábění těžkoobrobitelných materiálů je nutné používat moderní řezné nástroje s vhodnou geometrií břitu, jelikož její špatné zvolení snižuje efektivitu výroby a životnost samotného nástroje. V současné době směřuje trend ke zkoumání mikrogeometrie břitu, konkrétně na tvar a kvalitu řezné hrany, která má velký vliv na řezivost nástroje a tím spojenou efektivitu a hospodárnost výroby. Řezný nástroj prochází během výroby několika procesy a při dokončovacích procesech, tím je myšleno např. broušení, dochází k poškození řezné hrany vlivem vytržení zrn brusným kotoučem, proto jsou na nástrojích prováděny různé technologické úpravy břitu za účelem zvýšení kvality řezné hrany a tím i zvýšené trvanlivosti. Vhodnou volbou technologie pro úpravu mikrogeometrie lze zvýšit řezivost nástroje až několikanásobně.

Další možností pro úpravu mikrogeometrie břitu je možnost depozice tenkých vrstev. Touto úpravou mikrogeometrie břitu se docílí vyšší životnosti nástroje a lepších řezných vlastností nástroje, což se pozitivně projeví na hospodárnosti výroby.

1.1 Cíle bakalářské práce

Cílem této bakalářské práce je zjistit a popsat jednotlivé parametry mikrogeometrie, jednotlivé množnosti úpravy mikrogeometrie cermetových nástrojů a možnost depozice tenkých vrstev na základní substrát cermetového řezného nástroje. Zároveň si tato práce klade za cíl na základě získaných poznatků navrhnout podmínky experimentu pro frézování oceli 19436.4 cermetovými řeznými nástroji, včetně podmínek obrábění.

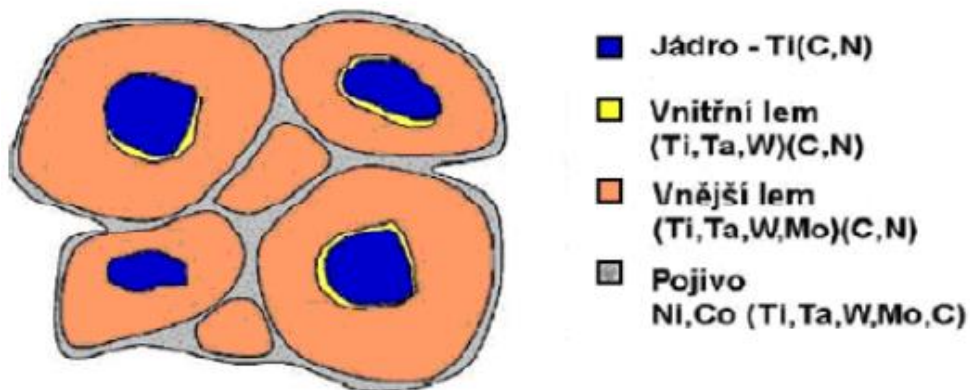
2. Rozbor současného stavu [6]

V současné době se na českém i světovém trhu objevuje celá řada řezných materiálů a je poměrně malá šance, že se v blízké době dočkáme objevení zcela nového řezného materiálu. Vzhledem k této situaci dochází vědeckými týmy k neustálé inovaci již známých řezných materiálů. Vědecké výzkumy se zabývají především řeznými procesy, aby bylo možno obrábět stále se zvyšujícími řeznými rychlostmi při vysoké stabilitě řezné hrany a při vysoké trvanlivosti řezných materiálů. V případě stejného řezného procesu s identickými řeznými vlastnostmi je trvanlivost nástroje ovlivněna vlastnostmi řezného materiálu, makrogeometrií a mikrogeometrií nástroje, popřípadě vlastnostmi deponované vrstvy.

2.1 Cermet [1], [4], [5], [28]

Cermet je materiál vyrobený pomocí práškové metalurgie obdobně jako slinutý karbid. Název cermet byl odvozen z prvních písmen slov **CER**amics“ (keramika) a „**MET**al“ (kov), představuje tedy tvrdé keramické částice s kovovým pojivem.

Nejdůležitějším prvkem, který tvoří základ cermetu a vyjadřuje jeho tvrdost je titan a to ve formě karbidu titanu (TiC), nitridu titanu (TiN) nebo karbonidridu titanu (TiCN). Dalšími přidanými (sekundárními) karbidy jsou často karbidy tantalu TaC, niobu NbC, molybdenu Mo₂C a malé množství karbidu wolframu WC. Jako pojivo, které zaručuje houževnatost cermetů, se používá nikl (Ni), který může být doplněn o kobalt (Co) či molybden (Mo).



Obr. 2-1 Mikrostruktura cermetu [28]

2.2 Vlastnosti cermetů [1], [4], [5]

Fyzikální a mechanické vlastnosti cermetů mají různé hodnoty v závislosti na množství a druhu primárních, respektive sekundárních karbidů a na množství a složení pojiva.

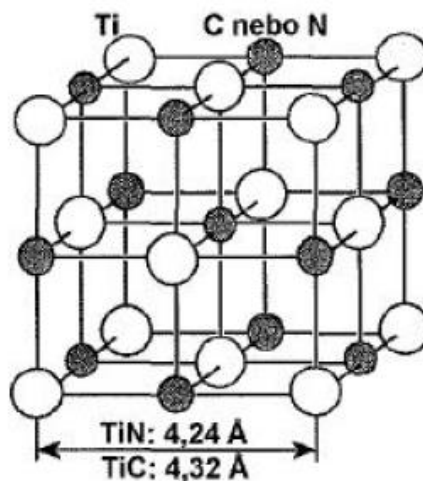
2.2.1 Fyzikální vlastnosti [1], [4], [5]

Měrná hmotnost

Cermety mají obecně nízkou měrnou hmotnost, která je ve srovnání se slinutými karbidy zhruba poloviční, což je způsobeno tím, že cermety obsahují pouze malé množství těžkého karbidu wolframu (WC). Průměrné hodnoty měrných hmotností se pohybují v závislosti na obsahu sekundárních karbidů a pojiva v rozmezí 5 - 7,5 g/cm³.

Tepelná vodivost

Cermety se vyznačují nízkou tepelnou vodivostí, což způsobuje jejich křehkost. Tepelná vodivost je ovlivněna obsahem TiC a TiN ve struktuře cermetu. Důležitou roli hraje mřížkový parametr, TiC má ve srovnání s TiN větší mřížkový parametr a má tedy nižší tepelnou vodivost a tím i nižší odolnost proti teplotním šokům. Nízká tepelná vodivost může při náhlé změně teploty způsobit vznik trhlin, změna teploty může být způsobena např. teplotním šokem při přerušovaném řezu, kterým je charakteristická operace frézování.

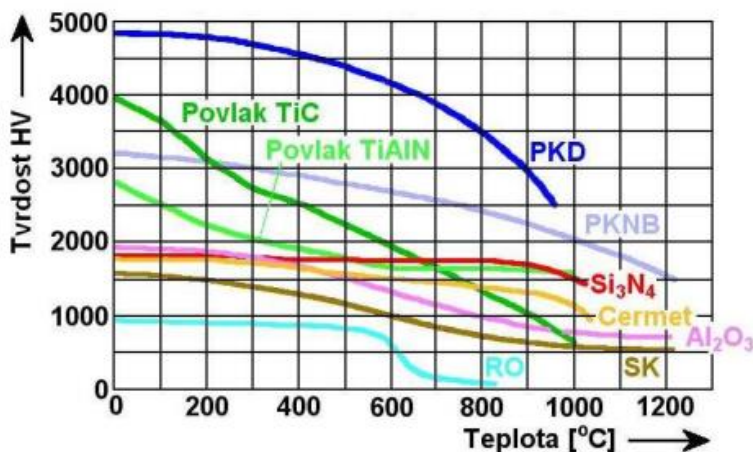


Obr. 2-2 Mřížka TiC, TiN [1]

2.2.2 Mechanické vlastnosti [1], [4], [5]

Tvrďost

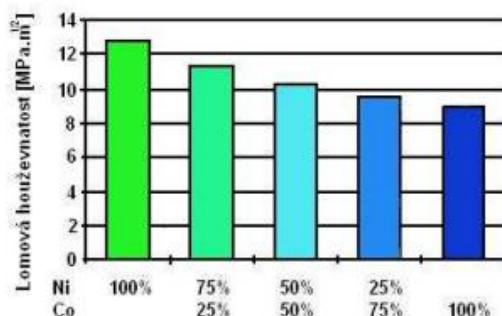
Tvrďost je ovlivněna obsahem TiC, TiN a ostatních karbidů v základní struktuře cermetového substrátu. Se zvyšujícím se obsahem dusíku se tvrdost cermetů snižuje, tedy i se zvyšujícím se obsahem TiN tvrdost cermetu klesá. Tvrďost obdobně jako u ostatních rezných materiálů klesá se zvyšující se teplotou, což je možno vidět na obr. 2-12.



Obr. 2-3 Závislost tvrdosti rezných materiálů na teplotě [5]

Houževnatost

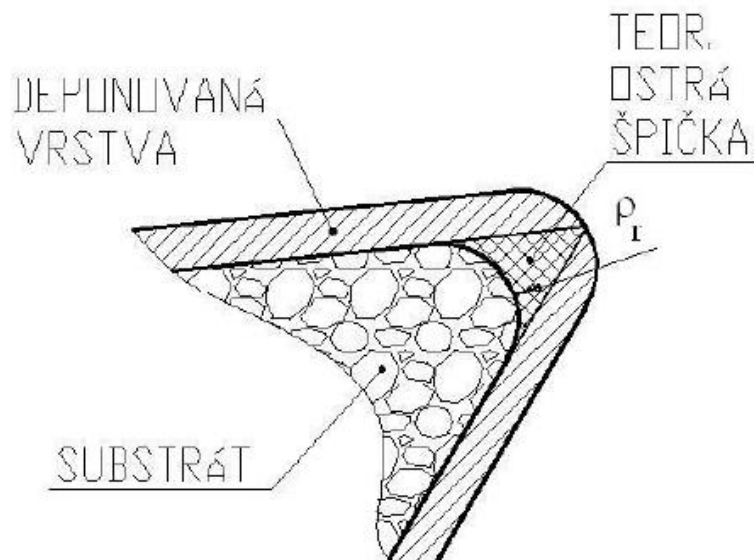
Mezi hlavní nevýhody cermetů patří nízká houževnatost, která zapříčiňuje křehkost a vyštipování zrn z břitu při rázovém zatížení, proto nejsou cermety vhodné pro obrábění s přerušovaným řezem. Houževnatost je ovlivněna množstvím TiN v základní struktuře cermetového substrátu (se zvyšujícím se obsahem TiN roste i houževnatost) a složením pojiva, především poměru Ni/Co (se zvyšujícím se obsahem Co v pojivu houževnatost klesá).



Obr. 2-4 Závislost houževnatosti na obsahu pojiva [5]

2.3 Mikrogeometrie nástroje [1], [2], [3]

V dnešní době je kladen neustále větší důraz na úpravu mikrogeometrie břitu. V důsledku tohoto vývoje a následné úpravy dochází ke zvyšování trvanlivosti řezného nástroje a k zvýšené odolnosti proti působení vyšších teplot, dále dochází také ke snižování velikosti řezných sil a k zlepšené drsnosti obráběného materiálu. Mikrogeometrii nástroje si můžeme představit jako útvary v řádech mikrometrů, které se nacházejí na řezné hraně nástroje. Mikrogeometrie nástroje je určitým způsobem ovlivněna samotným řezným materiálem v tom smyslu, jak je možno tento řezný materiál vybrousit do tzv. teoreticky ostré špičky. Mikrogeometrie je také ovlivněna tenkou deponovanou vrstvou, která při dobré adhezi dokonale kopíruje povrch nástroje. Problém s depozicí může nastat na řezné hraně nástroje, kde vznikají ostré hrany s mnoha nerovnostmi, které jsou způsobené vytrháváním karbidických zrn z pojiva brusným kotoučem.



Obr. 2-5 Břit po úpravě mikrogeometrie a depozice vrstvy [1]

2.4 Technologické úpravy mikrogeometrie břitu [1], [2], [13], [18], [19], [22], [23]

Úpravy mikrogeometrie břitu se neustále inovují a rozšiřují o stále nové technologie. Mezi nejběžněji používané technologie patří omílání, pískování a kartáčování. V současné době se začínají objevovat i nekonvenční úpravy jako je úprava břitu pomocí laserového paprsku.

2.4.1 Omílání [1], [2], [18], [19], [23]

Jedná se o metodu, která se řadí mezi mechanické úpravy nástrojů. Tato metoda se používá pro úpravu povrchu a tvaru především u osových nástrojů. Dá se říci, že tato metoda je svojí podstatou blízká metodě broušení.

Úprava mikrogeometrie nástroje pomocí metody omílání má zásadní vliv na dobrou adhezi nanášených tenkých vrstev na základní substrát řezného nástroje.

Během úpravy mikrogeometrie jsou nástroje upnuty v omílacím stroji pomocí rychloupínacích pneumatických upínačů. Během procesu úpravy dochází k relativnímu pohybu mezi granulátem a upnutým nástrojem a tím dochází k definovatelnému zaoblení hrany. Cyklus probíhá v poměrně krátkém čase 2 – 20 minut v závislosti na upnutém nástroji. Nástroje jsou upnuty tak, že je zabráněno jejich dotyku, a tedy i poškození. Veškeré obráběcí parametry stroje, jako jsou otáčky vřeten nebo hloubka ponoření, lze libovolně nastavit a měnit.

Metodou omílání dochází především k eliminaci defektů na řezné hraně a k odstranění stop po broušení. Dochází také k odstranění makročásteček a tím k zvýšené tvrdosti nástroje po úpravě.

Podle různých způsobů vyvození relativního pohybu mezi granulátem (médiem) a upnutým nástrojem je možno rozdělit metody omílání na:

- Odstředivé
- Vibrační
- Proudové
- Vlečné

Odstředivý a vibrační typ omílání se pro úpravu nástrojů prakticky nepoužívá. Nejvíce používanou metodou je metoda vlečného omílání, neboť při této metodě nedochází ke kontaktu jednotlivých nástrojů, což není možné u proudové metody omílání zajistit.



Obr. 2-6 Stroj pro vlečné omílání [25]

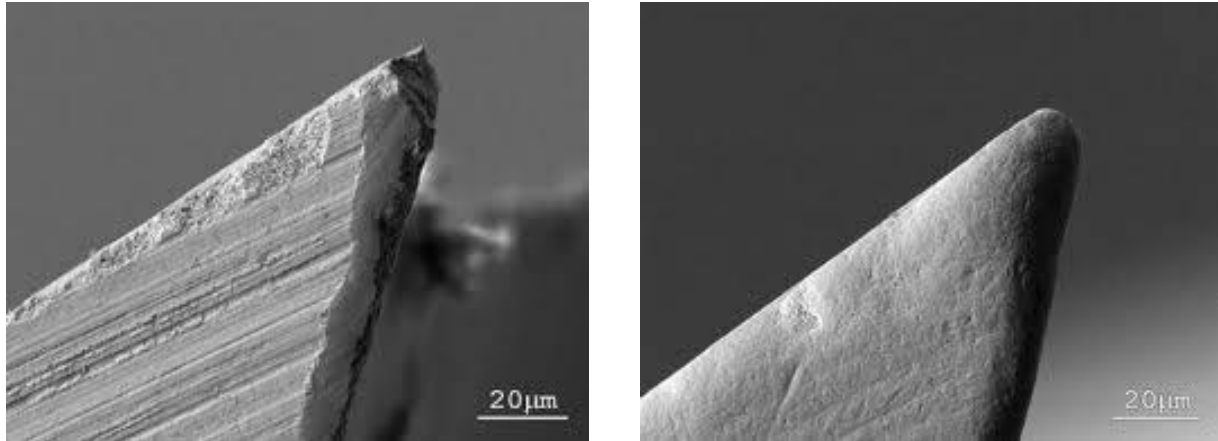
Správný výběr média je důležitým parametrem, který rozhoduje o kvalitě nástroje po úpravě a o čase potřebném na proces omílání. Média můžeme dělit na brousící a leštící (menší zrnitost média).

Druhy média:

- TZM médium – polyurethanová tělíska definovatelného tvaru doplněná o abrazivní prášek SIC
- M médium – médium z mletých kukuřičných obálek o velikosti zrna 0,8 – 1,3 mm, použití pro finální dokončení nástrojů (lesklý efekt)
- QZW médium – médium z bílého korundu, není tak častý při úpravě cermetů
- HSC médium - médium tvořeno drcenými ořechovými skořápkami, velikost zrna 0,2 – 5mm



Obr. 2-7 HSC médium (vlevo), TZM médium (vpravo) [19]



Obr. 2-8 Ukázka břitu před omíláním a po omílání [1]

2.4.2 Pískování [1], [2], [22], [23]

Při této metodě dochází k zaoblování břitu pomocí soustředěného paprsku abraziva, které je unášeno inertním plynem. Dále lze touto metodou docílit odstranění nežádoucích nečistot, které zůstávají v pórech nástroje nebo na jeho povrchu. Povrch nástroje je po této úpravě v lepší kvalitě a zajišťuje lepší adhezi deponované tenké vrstvy. Částice abraziva mají přibližně 10 – 50 µm a jsou poháněny malou tryskou zaručující rychlost v rozmezí 150 -300 m/s. Jako zrna abraziva se nejčastěji používají oxid hlinitý (korund) – Al_2O_3 nebo karbid křemíku SiC.

Tvar a povrch funkčních částí břitu, stejně tak jako použitá technologie broušení jsou důležitými vlastnostmi, na základě kterých se stanovují jednotlivé parametry abraziva a samotného procesu. Mezi tyto parametry patří:

- rychlost částic
- hustota a velikost částic
- doba pískování
- úhel pískování
- použité nosné médium

Jako nosné médium pro urychlení zrn abraziva se používá voda nebo vzduch. Pískování se může používat mokré nebo suché. Mokré pískování se od suchého pískování liší tím, že na povrch nástroje je tryskáno abrazivo společně s vodou. Úprava povrchu mokrým pískováním je efektivnější než pískováním suchým, neboť směs vody a abraziva vede k dokonalému vyčištění povrchu nástroje bez nebezpečí zvýšení drsnosti povrchu a při zaručení definovatelného zaoblení břitu. Lépe vyčištěný povrch má následně lepší adhezi nanášených vrstev.

2.4.3 Kartáčování [18]

Tato metoda se řadí mezi mechanické metody úpravy řezné hrany. Princip metody je založen na rotaci plastových kartáčových vláken se zabudovaným brusivem přímo ve vláknech. Jako nosné brusivo se používá převážně diamantová pasta.

Zvyšováním velikosti zrn brusiva se zhoršuje drsnost povrchu upravovaného nástroje. Drsnost povrchu nástroje také závisí na tvrdosti samotných vláken. Vedle mnoha, jako jsou např. krátká doba úpravy, má tato metoda také velmi podstatnou nevýhodu spočívající v nalepování vláken na samotný nástroj. Nalepený plast se velmi těžko běžnými způsoby odstraňuje, proto není tato metoda vhodná pro následné povlakování, neboť by docházelo k odlupování a špatné adhezi nanášené vrstvy vlivem neočištěného povrchu.

2.4.4 Obrábění pomocí laserového paprsku [1], [2]

Úprava povrchu pomocí laserového paprsku je založena na tepelném bezkontaktním procesu a je možno tuto úpravu použít pro celou řadu materiálů. Laserový paprsek bývá zaostřován na místo, kde chceme odebrat nežádoucí materiál a v tomto místě dochází k natavování a k následnému odstranění materiálu z povrchu.

Parametry řezné hrany lze ovlivnit výkonem a především polohou laseru vzhledem k povrchu upravovaného nástroje. Používají se 2 základní typy laserů: plynový CO₂ a pevnolátkový. Pro úpravu cermetových řezných nástrojů není tato metoda příliš vhodná, neboť při metodě dochází k tepelnému ovlivnění řezného nástroje ještě před samotným obráběcím procesem a tím se snižuje trvanlivost nástroje.

2.4.5 Současné poznatky o mikrogeometrii nástrojů [13]

Úpravy mikrogeometrie cermetových řezných nástrojů zatím nejsou běžnou záležitostí. Na základě experimentů prováděných katedrou KTO nebo různými firmami bylo zjištěno, že vyměnitelné břitové destičky pouze broušené dosahují srovnatelné trvanlivosti jako destičky, jejichž mikrogeometrie byla upravená metodou pískování nebo omílání. Upravenými destičkami lze oproti destičkám pouze broušeným však dosáhnout lepší kvality obrobeneho povrchu. Na základě těchto výsledků se neustále klade otázka, zda má úprava mikrogeometrie u cermetových řezných nástrojů smysl, nicméně úprava mikrogeometrie má pozitivní vliv na adhezi nanášených vrstev.

Úpravu mikrogeometrie lze provádět i po nanášení deponované vrstvy. Při úpravě mikrogeometrie po nanášení deponované vrstvy dochází k snižování drsnosti a k odstraňování makročásteček z povrchu. Je však nutné pečlivě volit dobu úpravy a typ nosného média, aby nedošlo k poškození nanášeného povrchu.

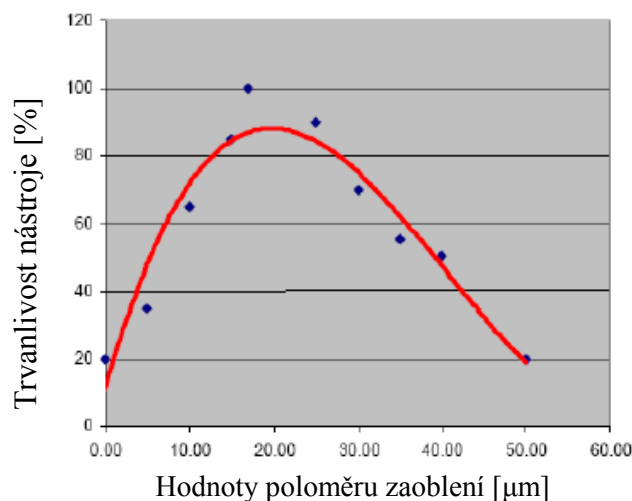
2.5 Hodnotící parametry mikrogeometrie [3], [13], [19], [27]

Mezi základní hodnotící parametry patří poloměr zaoblení, teoretická drsnost ostří, drsnost funkčních ploch a K – faktor.

2.5.1. Poloměr zaoblení [1], [3], [35]

Nejvíce sledovaným parametrem při hodnocení mikrogeometrie břitu je poloměr zaoblení, který je závislý na druhu řezného materiálu, především na jeho mikrostruktuře a velikosti zrn. Poloměr zaoblení je také závislý na použité technologii pro úpravu břitu.

Během předchozích experimentů prováděných katedrou KTO bylo zjištěno, že při úpravě mikrogeometrie cermetových nástrojů samotným broušením vznikají větší poloměry zaoblení při broušení kotouči s jemnějšími zrny, naopak při použití kotoučů s hrubšími zrny dostáváme menší poloměry zaoblení, avšak tento poznatek nebyl nadále sledován, tudíž ho nelze se 100% pravděpodobností potvrdit. Poloměr zaoblení ve značné míře ovlivňuje životnost nástroje a úzce souvisí s tzv. rovnoměrností zaoblení (K – faktor). Experimenty provedenými katedrou KTO bylo zjištěno, že optimální poloměr zaoblení je v rozmezí hodnot 10 – 20 μm , podobné výsledky ukazuje i obrázek 2-9, na kterém je vidět výrazný rozdíl trvanlivosti nástroje v závislosti na poloměru zaoblení. Výsledky na obrázku 2-9 byly pořízeny německou firmou OTEC Präzisionsfinish GmbH, která se zabývá úpravami mikrogeometrie.



Obr. 2-9 Závislost životnosti nástroje na poloměru zaoblení [35]

2.5.2. K – faktor [3], [19]

K – faktor je parametr, který vyjadřuje symetričnost (rovnoměrnost) břitu. Jedná se o bezrozměrový parametr, který je dán podílem hodnot S_γ a S_a . Tyto hodnoty vyjadřují vzdálenost počátku zaoblení břitu k tzv. teoretické špičce nástroje. A jejich hodnota je v μm .

S_γ – vzdálenost na čele nástroje

S_α – vzdálenost na hřbetě nástroje

$$K = \frac{S_\gamma}{S_\alpha} \quad [-] \quad [1]$$

Na nástroji mohou nastat 3 případy zaoblení břitu:

$$K = 1 \quad ; \quad K < 1 \quad ; \quad K > 1$$

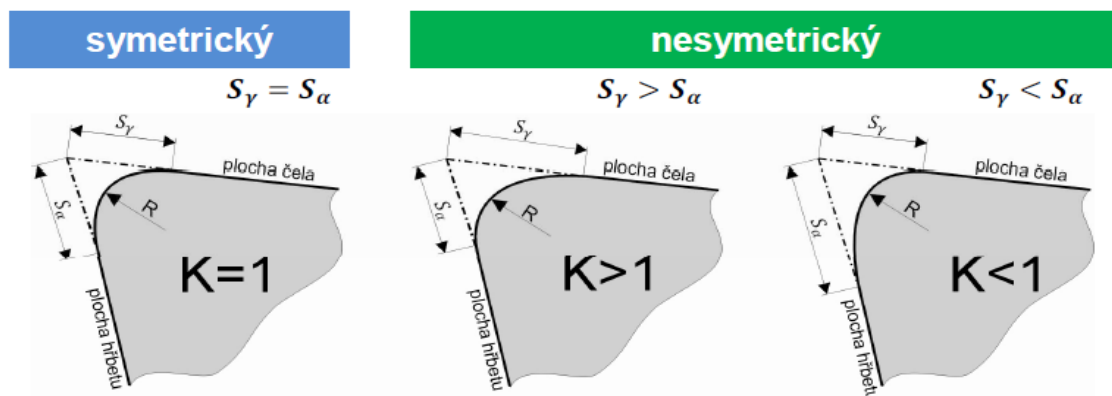
Pokud je $K=1$ jsou vzdálenosti S_γ a S_α stejné a vyjadřuje to, že břit je upraven rovnoměrně, tzv. symetrické ostří. Z nějakého důvodu může být střed poloměru posunut buď k ploše čela, nebo k ploše hřbetu. Pokud $S_\gamma < S_\alpha$, pak střed zaoblení více zasahuje na plochu hřbetu a $K < 1$, v opačném případě, kdy $S_\gamma > S_\alpha$, zasahuje střed zaoblení více na plochu čela a $K > 1$.

Symetrické zaoblení břitu je popsáno „průměrnou velikostí zaoblení břitu \bar{S} “, které je dáno středním aritmetickým průměrem.

$$\bar{S} = (S_\gamma + S_\alpha)/2 \quad [\mu\text{m}] \quad [2]$$

K – faktor je závislý na nástroji podle způsobu obrábění, na vlastnostech substrátu a také na tom, zda se jedná o přerušovaný či nepřerušovaný řez. Dále bylo postupným vývojem zjištěno, že K – faktor má vliv na teplotní, respektive silové zatížení nástroje.

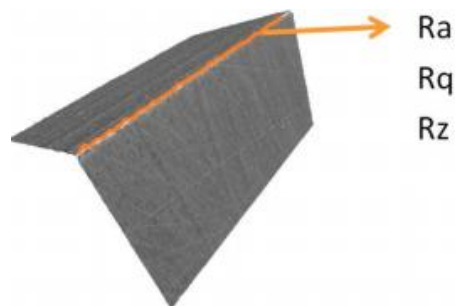
Při úpravě mikogeometrie břitu cermetových řezných nástrojů je snaha docílit stavu, kdy $K < 1$, tato snaha vede k zpevnění břitu, což dovoluje obrábět tvrdé materiály, ke kterým byly řezné nástroje z cermetu předurčeny.



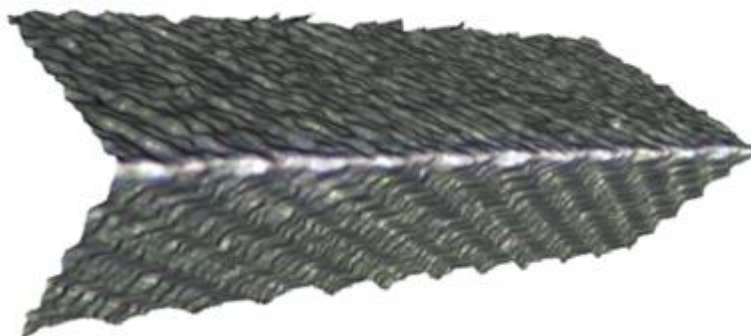
Obr. 2-10 Varianty K – faktoru [19]

2.5.3. Teoretická drsnost ostří [3]

Drsnost řezné hrany, tzv. "chipping" vyjadřuje stav řezné hrany po úpravě mikrogeometrie břítu. Parametr drsnosti řezné hrany je závislý na použité technologii pro úpravu mikrogeometrie a na řezném materiálu, zejména na jeho mikrostruktuře a velikosti zrn. Velký vliv na chipping má samotná metoda broušení, především to, v jakém směru jdou stopy od brusného kotouče. Zatím nebyl proveden žádný konkrétní výzkum, který by poukazyval na správný směr broušení. Měření drsnosti řezné hrany lze dosáhnout jednak parametrů drsnosti, ale také parametrů profilu.



Obr. 2-11 Drsnost na ostří (parametry R_a , R_q , R_z) [3]



Obr. 2-12 Šikmý směr stop od brusného kotouče [31]

2.5.4. Utvářeče třísky [13], [27], [33], [34]

Jelikož se cermetové řezné nástroje využívají v kombinaci s negativní geometrií, která způsobuje horší odvod třísek z místa řezu, je vhodné mít na nástroji utvářeče třísek, které nám zaručí lepší lámavost třísky a její lepší odvod z místa řezu. Hlavní funkcí utvářečů je utvářet třísky ve správné velikosti a tak, aby jejich odvod z místa řezu byl snadný a formování nebylo náročné. Správně vytvořená tříška nesmí být ani příliš dlouhá ani příliš krátká. Krátké třísky zkracují trvanlivost nástroje, neboť způsobují vyštipování zrn z břítu. Dlouhé třísky nejsou

taktéž vhodné, neboť negativně ovlivňují produktivitu obráběcího procesu (poškození obrobku, problémy s odvodem třísky atd.).

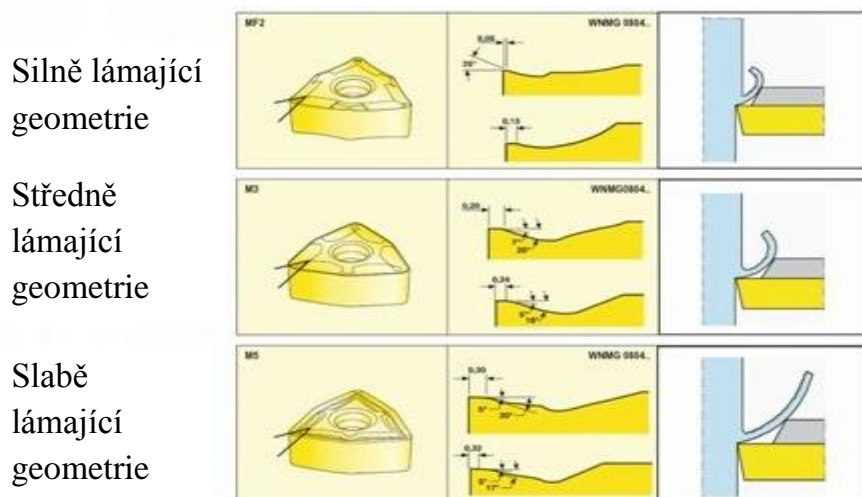


Obr. 2-13 Vyměnitelné břitové destičky s utvářeči třísek [26]

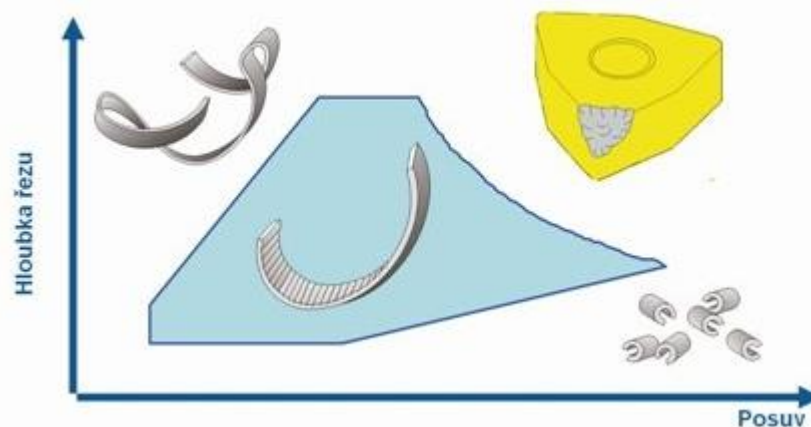
Geometrie utvářečů

Geometrie utvářečů nám udává, jak bude probíhat proces formování. Rozeznáváme 3 druhy geometrie utvářečů:

- Silně lámající geometrie
- Středně lámající geometrie
- Měkce lámající geometrie



Obr. 2-14 Druhy geometrie utvářečů třísek [13]



Obr. 2-15 Utvořená tříška v závislosti na velikosti posuvu a hloubce řezu [27]

Při použití nástrojů s utvářeči třísek jsou odstraněny potíže s možnými přestávkami vlivem nutnosti odstranění nevhodně utvořené třísky, zároveň se správnou volbou utvářečů třísek snižuje tepelné zatížení nástroje, čímž se zvyšuje trvanlivost.

Pro cermetové řezné nástroje se využívají utvářeče silně lámající geometrie, které deformují a lámou třísku v momentě, kdy je utvořena. Nevýhodou těchto utvářečů je, že jsou používány při malých hloubkách řezu a malých posuvech, nicméně cermetové řezné nástroje se používají právě při těchto podmínkách, tudíž tato nevýhoda nehraje pro cermetové řezné nástroje prakticky žádnou roli.

V současné době se využívají utvářeče na cermetových destičkách určených pro soustružení a frézování. Těmito utvářeči se zabývají např. japonské firmy Toshiba Tungaloy a Kyocera a rakouská firma Ceratizit. [13], [33], [34]

2.5.5. Fazetky [13]

Geometrie fazetek tvoří přechodovou oblast mezi geometrií břitu a geometrií utvářečů třísek. Fazetky na nástrojích nám zaručují plynulejší odchod třísky z místa řezu a lepší stabilitu řezné hrany. Fazetky lze navrhovat s proměnlivou šířkou, což vede k širokému rozsahu utváření třísky při různých řezných podmínkách. Správným návrhem rádiusu fazetky lze snížit hodnoty složek řezné síly působící na nástroj, což se pozitivně projevuje na menším opotřebením nástroje.

Dobrou volbou geometrie fazetky lze zvýšit životnost řezného nástroje a tím i produktivitu obrábění.

Možnost použití fazetky na cermetových VBD závisí ve velké míře na samotné geometrii uložení destičky v použitém tělese, a to především na tom, zda je destička uložena negativně či neutrálně. V případě, že je destička s neutrální geometrií uložena v lůžku s negativní geometrií, není třeba vybrušovat na destičce fazetku, neboť destička má sama o sobě

zpevněný břit negativním uložením a fazetka tedy není nutná. V případě destiček, které jsou uloženy v lůžku neutrálně, se používají destičky s běžnými fazetkami, sloužící k zpevnění břitu, zvýšené trvanlivosti samotné destičky a k lepšímu odvodu třísky z místa řezu.



Obr. 2-16 VBD z cermetu od firmy Ceratizit s fazetkou (vlevo), bez fazetky (vpravo) [38], [39]

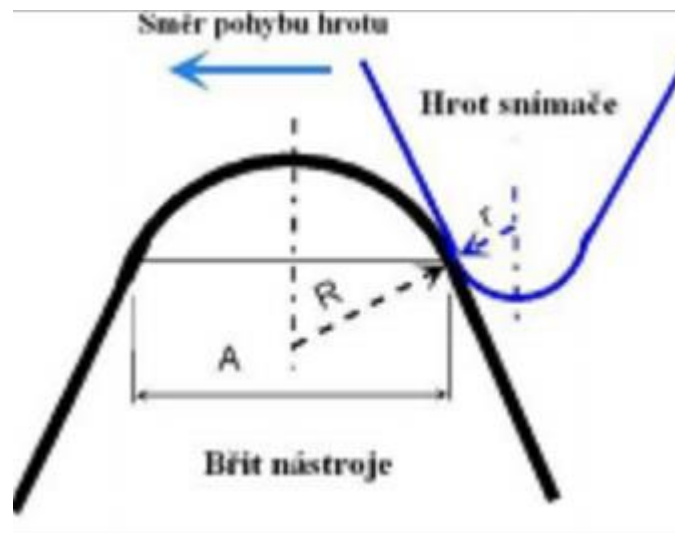
2.6 Způsoby měření mikrogeometrie [3]

Význam mikrogeometrie řezných nástrojů má stále větší vliv na proces obrábění a na samotný nástroj. Nejjednodušším způsobem, jak ověřit správnost mikrogeometrie je přeměření jednotlivých parametrů pomocí měřících přístrojů. Měření mikrogeometrie se provádí na nových, ale i na opotřebovaných nástrojích, abychom byli schopni určit, jak se změnila mikrogeometrie nástroje během procesu obrábění a jestli nedochází k příliš velkému opotřebování na čele či hřbetě nástroje. Měřící přístroje lze podle principu metody rozdělit na dotykové a bezdotykové.

2.6.1. Měření mikrogeometrie dotykovou metodou [3]

Většina měřících zařízení využívajících dotykovou nejsou přímo určené pro měření mikrogeometrie nástroje, ale jsou často konstruovány jako tzv. profilometry. Při měření povrchu se používá diamantový hrot připevněný na speciálním rameni. Hrot pojíždí po měřeném povrchu, jenž je následně převeden na digitální data pomocí příslušného softwaru. Dalšími přístroji pro měření dotykovou metodou jsou tzv. drsnoměry. Tyto přístroje také využívají snímání povrchu pomocí pohybujícího se hrotu a umožňují měření i špatně dostupných míst. Snímací hrot má menší poloměr zaoblení a menší vrcholový úhel než diamantový hrot u profilometrů, měření je tedy citlivější na drobné nerovnosti.

Nevýhodou dotykové metody je fakt, že při měření nerovnosti opačnou stranou kuželového hrotu může docházet k jistým nesrovnalostem naměřených hodnot. Nevýhodou je taktéž omezená dostupnost k špatně přístupným místům. Výhodou je především rychlost metody.



Obr. 2-17 Měření břitu pomocí diamantového hrotu [3]

2.6.2. Měření mikrogeometrie bezdotykovou metodou [3]

Nejběžnější způsob měření mikrogeometrie nástroje bezdotykovou metodou je založen na principu optického vertikálního skenování povrchu měřicí hlavou. Měřicí hlava může mít více objektivů, které se liší rozdílnou ohniskovou vzdáleností.

Jednou z možností je použití konfokálního mikroskopu, který má rychlé a snadné ovládání. Konfokální mikroskop pracuje na principu vysoce přesného 3D měření v reálném čase. Výsledky měření jsou velmi závislé na obsluze, neboť vyhodnocování je prováděno manuálně. Další možnosti měření pomocí bezdotykové metody jsou speciální přístroje určené právě pro měření mikrogeometrie nástroje. Výhodou těchto přístrojů je to, že nástroj lze naskenovat a poté rozdělit mnoha řezy v definovatelných bodech a vzdálenostech. Poté je možno změřit jednotlivé parametry v různých místech a porovnat mezi sebou. Nevýhodou těchto přístrojů je delší doba, která je nutná k naskenování nástroje. Skenovat lze v různých kvalitách, což výrazně ovlivňuje dobu skenování. Bezdotykové měření 3D přístroji nám zajišťuje poměrně rychle hodnoty, týkající se poloměru zaoblení a drsnosti povrchu. Pro lepší představu lze doplnit 3D modelem, který lze nechat softwarem vytvořit.

Bezdotyková metoda má oproti metodě dotykové tu výhodu, že nezanechává na nástroji mechanické poškození prostřednictvím mikro vrypů.

2.7 Výroba cermetových VBD [6], [24]

Cermetové VBD lze vyrábět dvěma různými způsoby:

- Broušením
- Lisováním

2.7.1. Metoda broušení [6], [24]

Touto metodou jsou vyráběny i monolitní cermetové nástroje. Metoda spočívá ve výrobě VBD z polotovaru, který se nazývá „roubík“. Roubík je při výrobě VBD rozdělen na menší části, které připomínají tvarem výsledný tvar požadované destičky. Tyto rozdělené polotovary jsou následně broušeny diamantovými kotouči na požadované rozměry, zároveň jsou broušeny tak, aby bylo dosaženo požadované geometrie. Při broušení vznikají vysoké teploty a nastává tedy problém se vznikem vysokých řezných sil a možnosti vzniku trhlin. Vysoké řezné síly způsobují větší opotřebení diamantového kotouče. S ohledem na tyto problémy je nutné správně zvolit podmínky broušení, jako jsou optimální řezná rychlost, správná volba brusného kotouče z hlediska zrnitosti nebo optimální poloha obrobku.

Broušení je až poslední operací, které předchází příprava samotného prášku, formování a proces slinování, teprve poté nastává samotná metoda broušení.

Příprava prášků

Přípravu prášku lze provádět buď chemickým, nebo fyzikálním způsobem, avšak vždy s ohledem na požadovanou čistotu prášku a hospodárnost procesu. Chemický způsob výroby prášku se provádí buď metodou chemické redukce, nebo rozpouštěním. Fyzikální způsob spočívá v mletí, drcení nebo rozprašování kapalného kovu, popřípadě kondenzace z plynné fáze. Prášek se následně čistí a poté následuje jeho sušení.

Formování směsi

Formování je možno realizovat různými metodami, kterými jsou např. vytlačování do požadovaného tvaru, vstřikování do forem nebo formování pomocí formovacích lisů. Formovací směsi mají obvykle nízkou plasticitu, proto se do nich přidává látka zvyšující plasticitu, což vede k zlepšeným vlastnostem směsi. Nejpoužívanějšími látkami, zvyšující plasticitu a zároveň tekutost jsou parafín nebo kaučuk.

Proces slinování

Zformované těleso se vloží do slinovací pece, kde dochází k ohřevu a následnému zchlazení. Atmosféru v peci může tvořit dusík, vodík, nebo může proces slinování probíhat ve vakuu. Po vyjmutí tělesa ze slinovací pece dostáváme roubík s požadovanými mechanickými vlastnostmi a požadovaného chemického složení. Tvar polotovaru se během slinování nemění, dochází pouze k zmenšení rozměru vlivem smrštění přibližně o 20%. Slinování probíhá při teplotě asi 60 – 80% homologické teploty. Homologickou teplotu lze spočítat jako poměr provozní teploty a teploty tavení.

Metoda broušení je v současné době méně realizována, neboť má své nevýhody, které spočívají ve ztrátě schopnosti úběru vlivem postupného opotřebování a zanášení kotouče. Zanášení kotouče je způsobeno ulpívajícími částicemi cermetu vlivem zvýšeného tlaku mezi diamantovým kotoučem a samotným cermetovým nástrojem.

2.7.2. Metoda lisování [6]

Metoda má oproti metodě broušení tu výhodu, že VBD není tepelně ovlivněna vlivem broušení. Broušení se používá pouze pro úpravu geometrie, nikoli pro získání základního tvaru.

Metoda je rozdělena do 5 - ti základních kroků:

- Příprava prášku
- Formování
- Proces slinování
- Lisování
- Dokončovací operace

Příprava prášku, formování a proces slinování je stejný jako v kapitole 2.7.1 a tudíž nebude dále popisován.

Lisování – vysokoteplotní izostatické lisování

Během procesu působí vysoký tlak plynu (Helium nebo Argon) ze všech stran rovnoměrně na VBD při současně vysokých teplotách. Tlak plynu v nádobě, ve které je proces lisování realizován, se neustále zvyšuje, až je docílenou požadované hodnoty. Po procesu lisování má výsledná destička vyšší odolnost proti únavě a vyšší houževnatost, což je způsobeno působením vysokého tlaku během procesu.

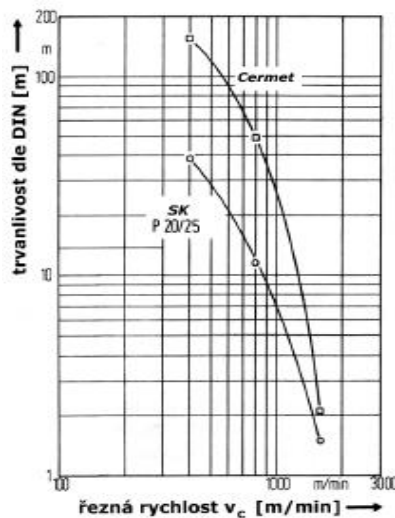
Dokončovací operace

Dokončovací úprava se provádí pouze v případech, kdy potřebujeme na destičce vytvořit fazetky, utvařeče třísek nebo přesně rovinné plochy. Úprava se provádí pomocí diamantových brusných kotoučů.

2.8 Aplikace cermetů [1], [5], [14], [15], [16], [17], [20], [21]

Cermety se většinou používají při vyšších řezných rychlostech, malých posuvech a hloubkách řezu. Obráběním pomocí cermetů dosáhneme vysoké přesnosti rozměrů součástí a dobré kvality obráběného povrchu. Jelikož cermetové nástroje dosahují vysoké trvanlivosti a ostrosti břitu, lze je používat při hromadné nebo sériové výrobě, kde potřebujeme zkrátit nežádoucí časy související s častou výměnou nástroje. Vzhledem k vysoké chemické stabilitě a tvrdosti cermetových řezných nástrojů za vysokých teplot lze tyto nástroje používat při vysokorychlostním obrábění, tzv. HSC obrábění.

Zvýšením podílu houževnatého pojiva v základní struktuře cermetové substrátu je možné frézování austenitických a korozivzdorných ocelí.



Obr. 2-18 Porovnání cermetu a SK z hlediska trvanlivosti v závislosti na řezné rychlosti [29]

V dnešní době je cermet využíván převážně ve formě vyměnitelných břitových destiček (VBD), ale stále se také vyrábějí i monolitní cermetové nástroje, těch je ve srovnání s VBD menší množství. Jedná se především o nástroje menších rozměrů nebo speciální nástroje, jako jsou cermetové výstružníky.

Vystružování je dokončovací operace při výrobě otvorů. Jelikož se jedná o závěrečnou operaci je vyžadována tvarová a rozměrová přesnost, což je při použití cermetových výstružníků zaručeno, stejně jako vysoká kvalita obrobeného povrchu. Při použití cermetových výstružníků lze až několikanásobně zvýšit řeznou rychlost oproti výstružníkům

ze slinutého karbidu nebo rychlořezné oceli. Při vysoké řezné rychlosti však nastává problém se značným zahříváním řezné části výstružníku, proto je nezbytné zajistit přívod chladícího média a jeho rozdělení do každé zubové mezery. Vlivem chlazení se výstružník opotřebovává velmi pomalu, což vede k dosahování vysoké stálosti rozměrů děr během celé trvanlivosti bříty. U vystružených otvorů se hodnotí především válcovitost a drsnost.

V České republice jsou hlavními výrobci cermetových výstružníků firmy Gühring a Ham-final. Na základě experimentů prováděných těmito firmami lze říci, že trvanlivost cermetových výstružníků je při správně zvolených řezných podmínkách přibližně 40m vystružené díry.

Cermetové výstružníky se vyrábějí převážně jako monolitní nástroje, ale je možno se setkat i s výstružníky s pájenými destičkami.



Obr. 2-19 Cermetový výstružník od firmy Ham final [37]

2.8.1. Použití cermetových VBD [1], [5]

VBD vyrobené z cermetu dokážou obrábět při vysokých řezných rychlostech při zachování vysoké přesnosti rozměrů po celou dobu trvanlivosti bříty. Cermetové VBD slouží k obrábění na čisto nebo pro operace středního frézování, soustružení a vrtání. Dále lze použít VBD z cermetu pro řezání závitů, vždy však záleží na druhu obráběného materiálu. Při správně použitých řezných podmínkách lze dosáhnout výborných výsledků a vysoké produktivity. Cermetové VBD se také používají pro obrábění materiálů, které usnadňují vznik nárůstku. V současné době mají cermet zastoupení u prakticky všech výrobců nástrojů.



Obr. 2-20 Cermetová vyměnitelná břitová destička [1]

2.8.2. Frézování cermetovými nástroji [1]

Frézování pomocí nástrojů vyrobených z cermetu zatím nepřekonal frézování jinými druhy řezných materiálů, neboť frézování se vyznačuje přerušovaným řezem, charakteristickým tepelnými a rázovými šoky, kterým většina cermetových nástrojů není schopna odolat. Neustálým vývojem se však cermetové řezné materiály zdokonalují a byly vyvinuty druhy, které jsou určeny právě pro přerušované obrábění.

Při frézování s cermetovými řeznými nástroji lze použít řezné rychlosti až 600 m/min, což je výrazně vyšší hodnota než při frézování nástroji ze slinutého karbidu (SK) nebo rychlořezné oceli (RO).



Obr. 2-21 Fréza s vyměnitelnými břitovými destičkami [30]

2.8.3. Soustružení cermetovými nástroji [1], [20]

Soustružení je nejběžnější operace v praxi, kde je možno se setkat s cermetovými řeznými nástroji. Nejčastějšími problémy při dokončovacím soustružení je tvorba nárůstku na břitu destičky a její opotřebení, neboť opotřebení na hřbetu destičky se negativně projevuje na kvalitě výsledného povrchu. Tomuto lze částečně zabránit při dokončovacím soustružení cermetovými řeznými nástroji. Jednou z firem, která nabízí cermetové řezné nástroje pro soustružení je japonská firma Tungaloy. Současné cermety od této firmy jsou mnohem pevnější a lépe odolávají opotřebení než jejich předchůdci.

2.8.4. Vrtání cermetovými nástroji [1], [21]

Vrtání je v praxi jednou z nejčastějších technologických operací a je neustálá snaha začlenit cermetové řezné nástroje i do této technologické operace. Cermety patří mezi progresivní řezné materiály a vrtání otvorů pomocí nich vede k zvýšené přesnosti obrábění, a jelikož lze použít vyšší řezné rychlosti, dochází k zlepšení výkonu a k úspoře času. Pro úspěšné nasazení cermetových řezných nástrojů v oblasti vrtání je nutné zajistit odpovídající řezné podmínky a vyhovující strojní zařízení. Cena cermetových řezných nástrojů pro vrtání je oproti běžným

vrtákům vyšší, což je způsobeno především náročnějšími technologiemi, které je nutno provést pro jejich výrobu.

2.9 Materiály pro obrábění cermety [1], [5], [6]

Cermetovými řeznými nástroji je možno obrábět velké množství materiálů. Jedna ze skupin, kde našly cermetové řezné nástroje uplatnění je obrábění těžkoobrobitelných materiálů. Mezi těžkoobrobitelné materiály patří slitiny na bázi niklu (Ni) a titanu (Ti), korozivzdorné a nástrojové oceli, které se těžko obrábí především z hlediska nízké trvanlivosti břitu řezného nástroje. Velká intenzita opotřebení břitu se poté přímoúměrně projevuje na kvalitě obrobeného povrchu. Současnou snahou při obrábění těžkoobrobitelných materiálů je nahrazení málo produktivních výrobních operací, jako je např. broušení, produktivnější metodou frézování.

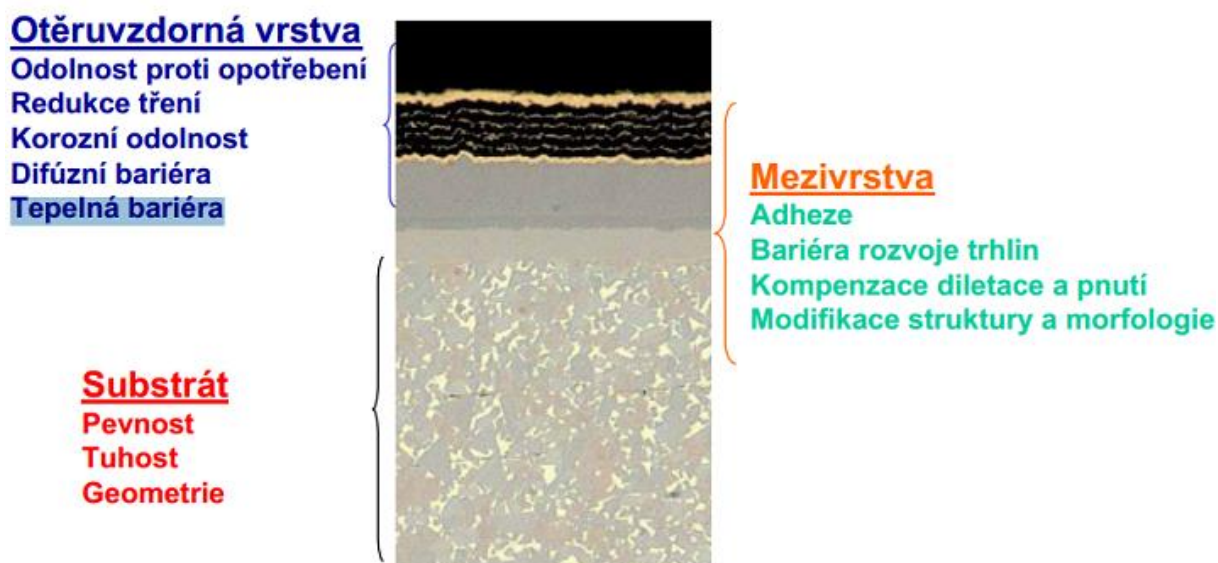
Cermety se využívají pro obrábění zápustek a forem. Formy a zápustky se vyrábí z vysoce legovaných nástrojových ocelí, jejichž pevnost v zušlechtném stavu překračuje 1800 MPa při tvrdosti okolo 55 HRC. Běžný způsob, jak obrábět tyto materiály spočívá ve frézování obrobku v žíhaném stavu, poté následují výrobní operace, jako jsou např. broušení či leštění k dosažení předepsané drsnosti povrchu a předepsané geometrii tvaru. Tyto operace, při použití cermetových řezných nástrojů, lze z velké části odstranit, neboť již samotné obrábění cermetovými nástroji nám vytvoří povrch v požadované kvalitě.

2.10 Depozice cermetů [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [18]

Možnost povlakování řezných nástrojů tenkými vrstvami je známa již několik let. Tenkými vrstvami nanesenými na substrát řezného materiálu lze docílit zvýšené efektivity samotného procesu obrábění, a to z hlediska odvodu tepla z místa řezu, zvýšené trvanlivosti nástroje, zlepšené jakosti obrobeného povrchu a snížením hodnot řezných sil působících na nástroj.

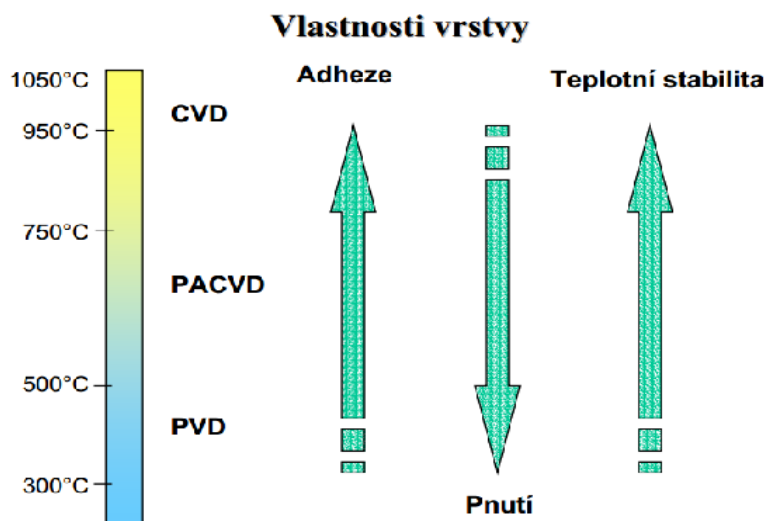
Pro cermetové řezné nástroje je deponování tenkými vrstvami výhodné především z toho hlediska, že nanesená vrstva zčásti eliminuje nedostatky cermetového nástroje při procesu obrábění. Nanesením tenké vrstvy má řezný nástroj lepší vlastnosti. Zvyšuje se odolnost proti opotřebení a tepelným šokům a dochází k zlepšené jakosti obrobeného povrchu. Při nanesení deponované vrstvy na řezný nástroj z cermetu můžeme také použít větší posuvy a tím zvýšit ekonomičnost výroby. Velkou výhodou nanesení tenké vrstvy je již zmíněná ochrana cermetového substrátu před teplotními rázy, které vznikají během přerušovaného řezu, který je pro frézovací operace charakteristický. Výhoda nanesení tenké vrstvy spočívá také v tom, že zvyšuje houževnatost cermetu.

Mezi povlak a základní substrát bývá někdy nanášena tzv. mezivrstva, jenž má za úkol rozdělit namáhání, které vzniká mezi základním substrátem a samotným povlakem. Mezivrstva má obvykle tloušťku 2 – 15 μm .



Obr. 2-22 Řez nástroje s deponovanou vrstvou [6]

Základními metodami depozice tenkých vrstev na řezné nástroje jsou metody CVD (Chemical Vapour Deposition), metoda PVD (Physical Vapour Deposition) a metoda PACVD (Plasma assisted Chemical Vapour Deposition). Jednotlivé metody se od sebe liší jak samotným procesem provedení, teplotou při které je vrstva nanášena, tak také vlastnostmi vznikající deponované vrstvy. Rozdíl vlastností je vidět na obr. č. 2-11.



Obr. 2-23 Vlastnosti deponované vrstvy pro jednotlivé metody [8]

2.10.1 Metoda CVD [6], [8], [10]

Metoda CVD je metoda založena na chemickém procesu rozkládání plynů při vysokých teplotách. Následnou chemickou reakcí vzniká na povrchu substrátu tenká vrstva. Hodnoty teplot se nejčastěji pohybují v rozmezí 900 – 1200°C.

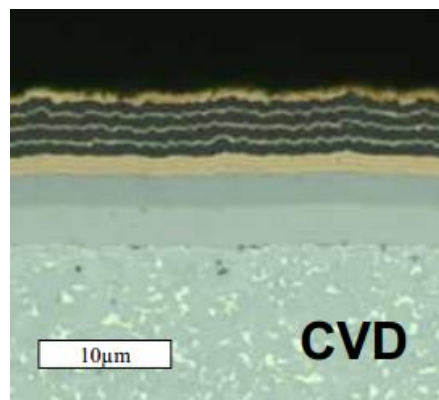
Jednou z výhod této metody je výtečná adheze (přilnavost) nanesené tenké vrstvy na základní substrát. Ve srovnání s metodou PVD má tato metoda výhodu v tom, že nanesená vrstva má větší tloušťku a zaručí nám tedy vyšší trvanlivost nástroje. Touto metodou lze také nanášet multivrstvy, které nám zvyšují využitelnost.

Největší nevýhodou metody CVD je, že probíhá za vyšších teplot než ostatní metody, při čemž může dojít k ovlivnění základního cermetového substrátu. Nevýhodou metody je také to, že v nanesené vrstvě vznikají a následně působí zbytková tahová napětí, která způsobují rozdílný koeficient tepelné roztažnosti. Problémem může také být dlouhý pracovní cyklus (8 – 10 hodin), spojený s vysokou energetickou náročností

Povlak můžeme vytvořit 4 různými variantami:

- Tepelně indukovaná
- Plazmaticky aktivovaná
- Elektronově indukovaná
- Fotonově indukovaná

Jak již bylo řečeno v předchozím textu, lze pomocí této metody nanášet na základní substrát tzv. multivrstvy, které mohou být kombinací karbidů, nitridů, karbonitridů či některých oxidů. Na obr. č. 2-12 je vidět nanesení multivrstvy, která může být v různých kombinacích, např. $TiC+TiN+TiCN+Al_2O_3$ nebo $TiCN + Al_2O_3+TiN$.



Obr. 2-24 Multivrstva nanesená metodou CVD [8]

Nejběžnějšími vrstvami, které jsou nanášeny metodou CVD jsou vrstvy TiC, TiN, TiCN a Al_2O_3 v různých kombinacích.

2.10.2 Metoda PVD [6], [8], [9], [12], [18]

Metoda PVD je fyzikální metoda depozice nástrojů, která je známá již řadu let a zabírá velký podíl na trhu. Proces probíhá při relativně nízkých teplotách 150 – 600°C v prostředí vysokého vakua (0,1 – 1Pa)

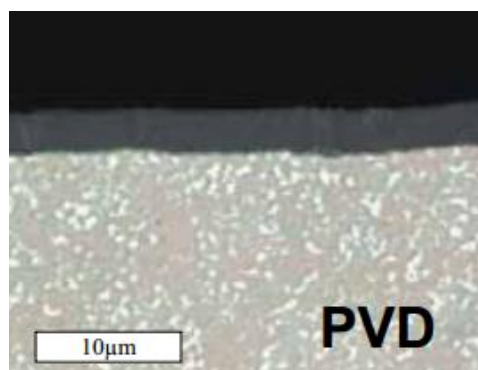
Povlak lze na nástroj nanést dvěma způsoby:

- Napařování – materiál určený pro depozici je odpařován
- Naprašování – povrch nástroje je bombardován ionty prvků, které tvoří tenkou vrstvu (např. Ti, Al)

Při obou těchto procesech je do prostředí vpuštěn aktivní plyn (např. dusík (N)), který chemicky reaguje s kovovými výpary za vzniku chemické sloučeniny, která tvoří deponovanou vrstvu na nástroji.

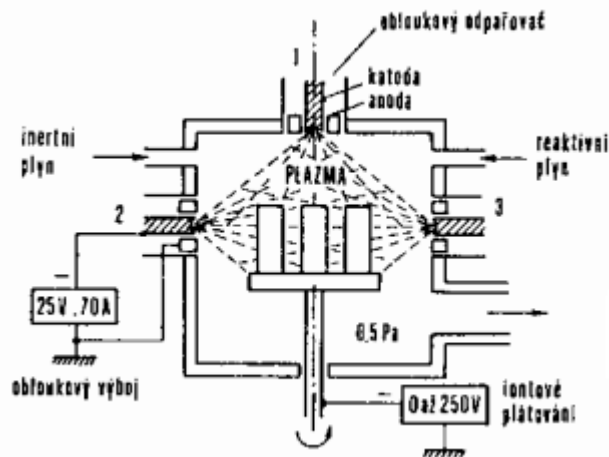
Výhodou metody PVD je její velká univerzálnost a produktivita, neboť proces povlakování touto metodou není časově náročný. Jedná se o nejekologičtější metodu, neboť při procesu deponování není použit žádný nebezpečný či toxický prvek. Touto metodou lze povlakovat i ostré hrany, což u metody CVD není vhodné. Výsledný povlak má nízký koeficient tření, což se pozitivně projevuje na hodnotách složek řezné síly působící na nástroj. Výhodou této metody je také možnost kombinování vlastností dvou různých typů povlaků a tím docílit požadovaného zvýšení trvanlivosti nástroje.

Nevýhodou je, že nástroje určené pro deponování metodou PVD se musí neustále rovnoměrně pohybovat, aby došlo k správnému nanesení a rozvrstvení deponované vrstvy. Jednou z nevýhod je také to, že v případě použití metody PVD jsme schopni nanést pouze tenkou vrstvu deponovaného povlaku (přibližně 5 μm), což má za následek nižší trvanlivost než u metody CVD. V naneseném povlaku se vyskytují zbytková tlaková napětí.



Obr. 2-25 Nanesená vrstva pomocí metody PVD [8]

Nejběžnější vrstvami, které jsou nanášeny metodou PVD jsou vrstvy TiN, TiAlN, AlTiN, TiAlSiN, CrN, CrCN, CrAlSiN, TiCN, ZrN.



Obr. 2-26 Schematické znázornění zařízení pro povlakování pomocí obloukového odpařování katody [8]

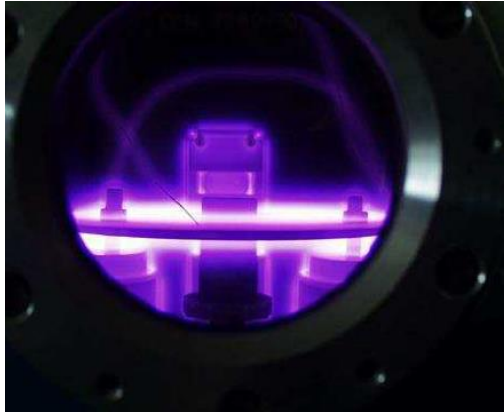
Během předchozích experimentů prováděných katedrou KTO bylo zjištěno, že při zachování stejné úpravy mikrogeometrie (úprava mokrého pískování) a přibližně stejných poloměrů zaoblení, lze nanesením tenké otěruvzdorné vrstvy CrAlSiN zvýšit trvanlivost samotného nástroje až o polovinu. Na základě tohoto poznatku lze říci, že nanesením vhodného povlaku metodou PVD, se zvýší trvanlivost nástroje a tedy i produktivita výroby. [6]

2.10.3 Metoda PACVD [6], [11]

Jedná se o metodu povlakování řezných nástrojů technologií obdobnou metodě CVD, avšak plazmou aktivovanou. Rozdíl mezi oběma metodami (PACVD a CVD) je především ve velikosti teplot, při kterých proces deponování probíhá. Při metodě PACVD je teplota v rozmezí 450 – 550 °C, což je přibližně o 600°C méně než u metody CVD. Proces probíhá v prostředí o tlaku přibližně 200 Pa. Nástroje jsou při této metodě deponovány tenkou vrstvou až po zušlechtnění na požadovanou tvrdost. Metoda PACVD je relativně rychlá (přibližně 2 – 3 μm za 3 hodiny).

Výhodou této metody je, že během povlakování nedochází ke změnám rozměrů. Výsledný povlak na řezném nástroji vykazuje extrémně nízký koeficient tření, což se projevuje zvýšenou trvanlivostí nástroje a menšími hodnotami řezných sil působících na nástroj.

Pro cermetové řezné nástroje se tato metoda používá k nanesení tzv. multivrstev, neboť je méně časově náročná než metoda CVD. Při výzkumech prováděných na cermetových řezných nástrojích s vrstvou nanosenou pomocí metody PACVD bylo zjištěno, že tyto tenké vrstvy výrazně zvyšují životnost cermetového řezného nástroje.



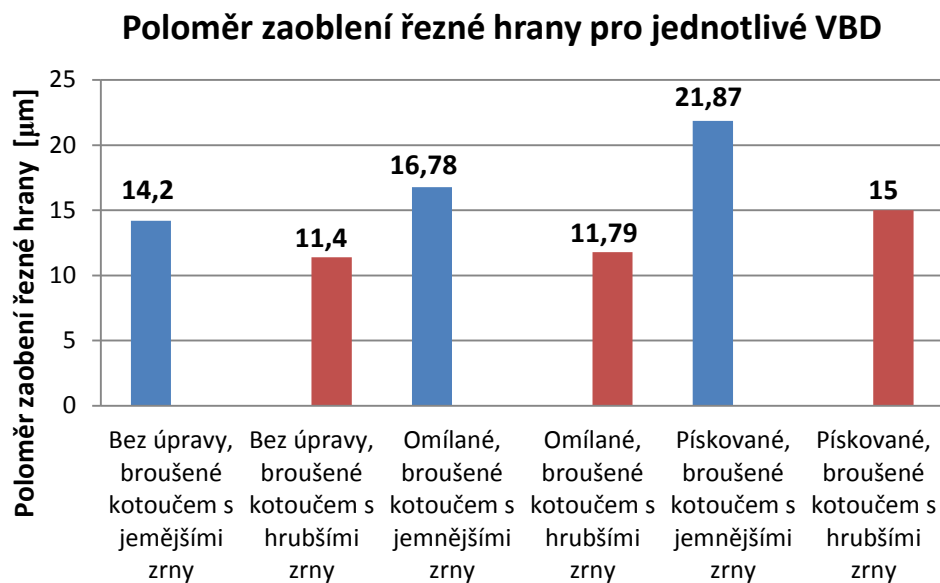
Obr. 2-27 Pohled do zařízení při povlakování metodou PACVD [6]

Jak již bylo řečeno v předchozím textu nejvíce používanou metodou pro cermetové řezné nástroje je metoda PVD, metoda CVD není pro cermetové nástroje příliš vhodná, neboť probíhá za vysokých teplot, které narušují strukturu základního substrátu. [6], [12], [32]

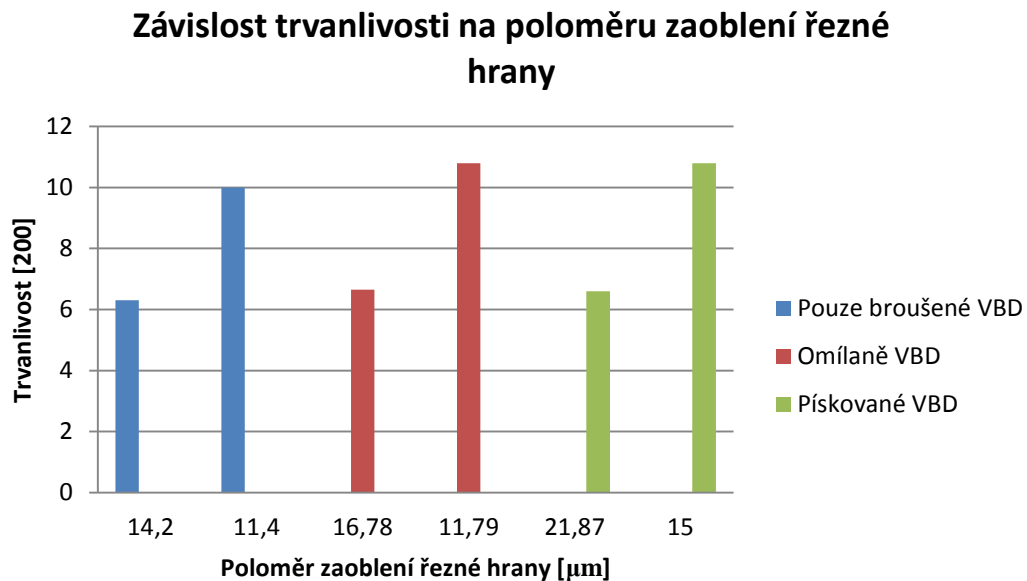
3. Návrh vlastního řešení [1], [6]

Na základě rešeršní činnosti bylo docíleno poznatků, které budou sloužit k provedení experimentu. Základním cílem experimentu, který bude prováděn v rámci diplomové práce, je zjištění vlivu úprav mikrogeometrie na cermetových břitových destičkách s ohledem na komplexní řezivost nástroje. Součástí experimentu bude také porovnání s dalšími řeznými nástroji, které jsou vhodné pro obrábění těžkoobrobitelných materiálů. Během experimentu se bude zkoumat vliv úprav mikrogeometrie na vyměnitelných břitových destičkách z cermetu s ohledem na trvanlivost, drsnost obrobeného povrchu a velikosti řezných sil během obrábění. Experiment bude zaměřen na operaci sousledného frézování.

Experiment bude vycházet z diplomové práce pana Josefa Hodánka z roku 2010/2011, která se zabývala vlivem úprav mikrogeometrie cermetových destiček s ohledem na řezivost nástroje. Během tohoto experimentu byly testovány destičky ve 3 variantách, a to destičky pouze broušené, pískované a omílané. Testované VBD byly z cermetu s označením TCN 54 od rakouské firmy Ceratizit. Průměr VBD byl 12,025 mm, úhel čela a hřbetu byl roven nule. VBD dosahovaly po úpravě různých poloměrů zaoblení a v závislosti na poloměru zaoblení byla zjištěna různá trvanlivost VBD.



Obr. 3-1 Různé hodnoty poloměrů zaoblení pro jednotlivé metody úpravy mikrogeometrie [1]



Obr. 3-2 Závislost trvanlivosti na různých hodnotách poloměru zaoblení [1]

3.1 Návrh experimentu [1]

Během experimentu bude zkoumán vliv směru stop po broušení na úpravy mikrogeometrie a na samotný řezný proces. Dále budou zkoumány vlivy jednotlivých úprav mikrogeometrie, různé metody depozice tenkých vrstev a následně jednotlivé typy vrstev s ohledem na komplexní řezivost cermetového řezného nástroje. V experimentu se bude také zkoumat samotný vliv výroby destičky, tedy jestli byla vyrobena metodou broušení nebo metodou lisování.

Experiment bude rozdělen na 3 fáze:

3.1.1. První fáze experimentu [1]

V první fázi experimentu bude zkoumána cermetová destička vyrobená metodou broušení z cermetu s označením TCN 54 od rakouské firmy Ceratizit. Destička má kruhový tvar o průměru 12,025 mm a tloušťka destičky je 4,7 mm. Úhel čela a hřbetu je v případě těchto destiček roven nule. Pro tuto destičku budou vybrány na základě rešeršní činnosti a předchozích experimentů provedených na katedře KTO optimální parametry mikrogeometrie a bude vytipována vhodná metoda depozice a následně vhodný typ tenké otěruvzdorné vrstvy, popřípadě bude vybrána i dokončovací úprava. Výběr parametrů a úprav bude probíhat v tomto pořadí:

- Nalezení optimálního poloměru zaoblení „r“ z hodnot: 5, 7, 10, 12, 15, 17 [μm]

- Pro vybraný poloměr zaoblení „r“ vybrat vhodnou hodnotu K – faktoru, přičemž podmínkou je, aby $K < 1$, což je pro obrábění cermetovými nástroji podstatné
- Následné vytipování vhodné metody depozice a samotné depoziční vrstvy
- Rozhodnout o možnosti dokončovací úpravy, jako je např. leštění

Destička před provedením těchto úprav, tedy pouze po fázi broušení, bude následně sloužit jako etalon ostatním destičkám, které budou s touto destičkou porovnávány.

3.1.2. Druhá fáze experimentu

V této fázi experimentu bude zkoumána destička z cermetu TCM 10 od rakouské firmy Ceratizit. TCM 10 je cermet, který v současné době nabízí firma Ceratizit jako náhradu za cermet s označením TCN 54. Cermet TCM 10 obsahuje přibližně 63% TiCN a 10% TaNbC. Obsah pojiva tvoří 12,2%. Tvrdost cermetu podle Vickerse je 1620 HV. VBD je vyrobena metodou lisování a má kruhový tvar. Destička je dále vyrobena tak, aby lépe seděla v lůžku nástroje, do kterého je upevněna pomocí upínacího šroubu. Průměr destičky je 12 mm a průměr pro upínací šroub je 4,40 mm. Tloušťka destičky je 4,76 mm. Na destičce jsou vybroušeny utvařeče třísek pro lepší lámavost a odvod třísky z místa řezu.



Obr. 3-3 Kruhová destička z cermetu s označením TCM 10 [36]

3.1.3. Třetí fáze experimentu

V této fázi experimentu, která je současně fází poslední, budou testovány řezné materiály, které jsou schopny podobně jak cermet obrábět těžkoobrobitelný materiál, respektive nástrojovou ocel v zušlechtném stavu. Jednou z možných alternativ je použít keramiku s označením LX11 od japonské firmy Toshiba Tungaloy. Jedná se o oxidickou keramiku, tedy keramiku na bázi Al_2O_3 , jenž má jemnou mikrostrukturu tvořenou TiCN. Tvrdost této keramiky je 94 HRA.

Nicméně volba možných řezných materiálů proto tuto část experimentu je stále ve fázi hledání.

3.1.4. Charakteristika obráběného materiálu [1], [6]

Jako materiál pro zkoumání destiček byla zvolena nástrojová ocel 19436.4 (EN ISO X210Cr12). Jedná se o vysocelegovanou ledeburitickou chromovou ocel v zušlechtěném stavu s vysokým obsahem uhlíku. Ocel je vhodná pro práci za studena a má vysokou odolnost proti opotřebení. Po zakalení a následném popuštění je možno dosáhnout hodnoty tvrdosti až 64 HRC. Podle obrobiteľnosti patří ocel do třídy 9b. Ocel je určena pro výrobu forem, zápustek, razníků, nástrojů pro protlačování nebo pro střížné a lisovací nástroje. Chemické složení oceli 19436: 1,9 – 2% C, 11 – 12% Cr, 0,15 – 0,45% Mn, 0,1 – 0,4% Si, 0,03% P a 0,03% S.

V případě potřeby se může experiment provádět na materiálu 19437.4, 19552.4 nebo 19572.

3.1.5. Navržené řezné podmínky

Jak již bylo napsáno v předchozím textu, bude etalonem destička vyrobená metodou broušení a dále neupravována. Na základě krátkodobých zkoušek podle A.S. Kondratova bude navržena řezná rychlost v_c a podle toho budou navrženy řezné podmínky pro dlouhodobé zkoušky.

3.1.6. Charakteristika obráběcího stroje [1], [6]

Testování destiček bude probíhat na vertikálním obráběcím centru od firmy Kovosvit s označením MCV 750 A, které je součástí vybavení halových laboratoří katedry KTO. Tento obráběcí stroj umožňuje frézovací, vrtací a vyvrtávací operace. Řídicím systémem tohoto stroje je systém Heidenhein TNC 426. Výkon vřetena je 16 kW a stroj nabízí rozsah otáček vřetena 20 – 13000 min^{-1} . Pracovní posuv je možno realizovat v rozmezí 1 – 15000 mm/min.

Experiment pro moji diplomovou práci bude prováděn v halových laboratořích ZČU katedry KTO.

4. Závěr

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo zjistit a popsat jednotlivé parametry mikrogeometrie a jednotlivé úpravy mikrogeometrie cermetových nástrojů včetně zjištění možnosti depozice tenkých vrstev na substrát cermetového nástroje. Úpravy mikrogeometrie cermetových nástrojů se zatím příliš neprovádí a jsou stále otázkou výzkumu a vývoje. Pokud se však na cermetových nástrojích provede úprava mikrogeometrie, vede to k snížení řezných sil během obrábění a ke zkvalitnění řezné hrany, což vede k zvýšené trvanlivosti, neboť řezná hrana pouze po broušení vykazuje jisté povrchové nepravidelnosti, které jsou způsobeny vytržením zrn brusným kotoučem. Úpravy mikrogeometrie u cermetových vyměnitelných destiček také ovlivňují následnou adhezi tenkých otěruvzdorných vrstev. Je zřejmé, že depozice tenkých vrstev je lepší u destiček, jejichž mikrogeometrie bude upravena metodou omílání nebo pískování, protože řezná hrana upravená pouze broušením vykazuje mnoho defektů, což vede k špatné adhezi samotné vrstvy nebo možnosti snadnějšího odlupování vrstvy od základního substrátu cermetu. Nanesením tenkých vrstev na cermetové nástroje se zvyšuje odolnost proti opotřebení a tepelným šokům a taktéž se zlepšuje jakost obrobeneho povrchu a houževnatost samotného cermetu.

Vedlejším cílem této bakalářské práce bylo navrhnout podmínky a možné řešení úprav mikrogeometrie nástrojů pro frézování nástrojové oceli 19436.4 cermetovými VBD. Tato ocel patří do skupiny těžkoobrobitelných materiálů a svými vlastnostmi klade vysoké nároky na řezné nástroje. Cílem vlastního experimentu, který bude prováděn v rámci diplomové práce, je nalezení vhodné úpravy mikrogeometrie cermetových VBD s ohledem na komplexní kvalitu samotné destičky a následně tyto výsledky porovnat s výsledky naměřenými při obrábění totožného materiálu destičkami z jiného řezného materiálu. Cílem experimentu bude také zjištění optimálního směru stop po brusném kotouči, neboť směr stop po broušení ovlivňuje teoretickou drsnost na ostří, tzv. chipping a není stále zjištěno, jaký směr je optimální.

Pro experiment byly vybrány kruhové břitové destičky, jejichž velká výhoda spočívá v možnosti použití „více hran“. Nulová geometrie cermetových kruhových destiček bez utvařečů třísek umožňuje jejich oboustranné použití.

Obrábění řeznými nástroji s cermetovými VBD stále vyžaduje vyřešení několika problémů, které je nutno správně zoptimalizovat, aby bylo obrábění těmito nástroji ještě více produktivní a ekonomické.

Použitá literatura

- [1] Hodánek, J. Vliv povrchových úprav cermetových VBD na řezivost nástroje při obrábění kalených nástrojových ocelí. Diplomová práce. ZČU FST KTO. Plzeň 2010
- [2] Malý, J. Úprava a měření mikrogeometrie břitu nástroje. Bakalářská práce. ZČU FST KTO. Plzeň 2011
- [3] Česáková, I. Zetek M., Diagnostika stavu řezného břitu po mikroúpravách. ZČU FST KTO. Plzeň 2011
- [4] Humár, A. Materiály pro řezné nástroje. MM Publishing, s.r.o. Praha 2008. ISBN 978-80-254-2250-2
- [5] Vaněček, S. Cermety a jejich efektivní využití. Diplomová práce. FSI VUT v Brně. Brno 2009
- [6] Bůžek, P., Vliv tenkých vrstev a úpravy mikrogeometrie břitu cermetových VBD na frézování zápusťkové oceli. Diplomová práce. ZČU FST KTO. Plzeň 2011
- [7] Česáková, I., Zetek M., Řehoř, J., Sklenička, J., Rajšpís, V. Vliv vrstvy na trvanlivost a silové zatížení cermetového nástroje. ZČU FST KTO. Plzeň 2009
- [8] ATeam. Tenké vrstvy vytvořené PVD a CVD technologií v aplikaci na řezné nástroje. ZČU FST Katedra materiálů a strojírenské metalurgie. Plzeň 2006. Dostupné z: <http://www.ateam.ic.cz/seminar.pdf>
- [9] Wikipedia. PVD. Článek dostupný z: http://en.wikipedia.org/wiki/Physical_vapor_deposition
- [10] Wikipedia. CVD. Článek dostupný z: http://en.wikipedia.org/wiki/Chemical_vapor_deposition
- [11] Hanousek, P. Cermety a jejich efektivní využití. Diplomová práce. FSI VUT v Brně. Brno 2011
- [12] Chiara, R., Guglielmi, E. PVD coatings of cermet inserts for milling applications. Surface and coatings Technology 86-87 (1996) 735-738. Torino. Italy 1996
- [13] Patrick de Vos, Příručka pro technology: Proces obrábění kovů – vliv mikrogeometrie. MM Průmyslové spektrum. 2012 v rubrice Výroba/Obrábění. Článek dostupný z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/prirucka-pro-technology-proces-obrabeni-kovu-vliv-geometrie.html>

[14] Hladík, P., Fiala, S. Cermetové výstružníky. MM Průmyslové spektrum. 2004 v rubrice Trendy Obrábění. Článek dostupný z:

<http://www.mmspektrum.com/clanek/cermetove-vystruzniky.html>

[15] Plánička, F. Výstružníky ze špičkových materiálů zvyšující produktivitu. MM Průmyslové spektrum. 2007 v rubrice Trendy Obrábění. Článek dostupný z:

<http://www.mmspektrum.com/clanek/vystruzniky-ze-spickovych-materialu-zvysuji-produktivitu.html>

[16] Kouřil, K. Unikátní vystružovací nástroje. MM Průmyslové spektrum. 2011 v rubrice Výroba/Obrábění. Článek dostupný z:

<http://www.mmspektrum.com/clanek/unikatni-vystruzovaci-nastroje.html>

[17] Maršíček, R. Nová geometrie utvařeče břitových destiček. MM průmyslové spektrum. 2004 v rubrice Trendy/Obrábění. Článek dostupný z:

<http://www.mmspektrum.com/clanek/nova-geometrie-utvarece-britovych-desticek.html>

[18] Šíma, M., Janků, R. Mechanická úprava monolitních nástrojů před PVD povlaky. 2007 v rubrice Trendy/Povrchové úpravy. Článek dostupný z:

http://www.shm-cz.cz/wp-content/uploads/2013/03/2007_04.pdf

[19] Švarc, V. Preparace břitu monolitních fréz pomocí vlečného omílání. Diplomová práce. ZČU FST KTO. Plzeň 2013

[20] Karkoš, M. Dokončovací soustružení s použitím cermetových nástrojů. MM průmyslové spektrum. 2010 v rubrice Trendy/Obrábění. Článek dostupný z:

<http://www.mmspektrum.com/clanek/dokoncovaci-soustruzeni-s-pouzitim-cermetovych-materialu.html>

[21] Výkonné vrtací nástroje – vysoká produktivita obrábění. MM průmyslové spektrum. 2002 v rubrice Výroba/Obrábění. Článek dostupný z:

<http://www.mmspektrum.com/clanek/vykonne-vrtaci-nastroje-vysoka-produktivita-obrabeni-2-2.html>

[22] Cemecon. Úprava mikrogeometrie ostří. Dostupné z:

<http://www.cemecon.cz/technologie/uprava-mikrogeometrie-ostri.aspx>

[23] SHM Šumperk. PVD povlaky a služby – Úpravy nástrojů. Dostupné z:

<http://www.shm-cz.cz/pvd-povlaky-a-sluzby/upravy-nastroju/>

[24] Tagliabue, F. Diamond grinding of cermets. Materials nad Design. Volume 12, Issue 4, August 1991

[25] OTEC PRÄZISIONSFINISH GMBH. Dostupné z:

<http://www.otec.de/>

[26] Maixner, V. Nové nástroje a rezné materiály. MM průmyslové spektrum. 2008 v rubrice Trendy/Obrábění. Článek dostupný z:

<http://www.mmspektrum.com/clanek/nove-nastroje-a-rezne-materialy.html>

[27] Patrick de Vos. Příručka pro technology – Jak rozpoznat správné utváření třísek. MM průmyslové spektrum. 2012 v rubrice Výroba/Obrábění. Článek dostupný z:

<http://www.mmspektrum.com/clanek/prirucka-pro-technology-jak-rozpoznat-spravne-utvareni-trisek.html>

[28] NING, L., CHENGLIANG, H., YUDONG, X., SHENG, CH., MIN, S., JIANPING, F. Microstructures and mechanical properties of nanoTiN modified TiC based cermets for the milling tools, In Materials Science and Engineering A 382, Elsevier V. B., 2004

[29] ZČU FST KTO. Řezné materiály. Prezentace

[30] Tejkalová, A. Novinky v sortimentu nástrojů pro rok 2012. Seco Tools. MM průmyslové spektrum. 2012 v rubrice Trendy/Obrábění. Článek dostupný z:

<http://www.mmspektrum.com/clanek/novinky-v-sortimentu-nastroju-pro-rok-2012.html>

[31] Zetek, M., Česáková I. Možnosti hodnocení povrchu Laboratoř experimentálního obrábění, Regionální technologický institut. Plzeň 2014

[32] Prengel, H.G., Santhanam, A.T., Penich, R.M., Jindal, P.C., Wendt, K.H. Advanced PVD-TiAlN coatings on carbide and cermet cutting tools. Surface and Coatings Technology, 1997

[33] Kyocera. For roughing of steel PH/PX chipbreaker. Dostupné z:

http://www.kyocera-componentes.com.br/catalogo/fy2009/fy2009_ca55_quebra_cavaco_ph.pdf

[34] Toshiba Tungaloy. The ultimate chipbreakers for medium to heavy steel turning.

Dostupné z:

<http://www.tungaloy.co.jp/common/products/pdf/400.pdf>

[35] OTEC PRÄZISIONSFINISH GMBH. Význam úpravy břitů – zaoblování ostří a leštění rezných nástrojů. Prezentace

[36] Toolingcenter. Main Catalogue. Dostupné z:

<https://www.toolingcenter.com/EN/product/Main%20catalogue/Milling/Inserts/WNT%20systems/Form%20R/RP-9X%2010T3/CARBIDE%20MILLING%20INSERT%20RPHX%2010T3MOSN%20CWN31%20050483200>

[37] Kouřil, K. Vystružování přesných děr v hydraulických komponentech. MM průmyslové spektrum. 2010 v rubrice Trendy/Obrábění. Obrázek dostupný z:

<http://www.mmspektrum.com/clanek/vystruzovani-presnych-der-v-hydraulickych-komponentech.html>

[38] Toolingcenter. Main Catalogue. Dostupné z:

<https://www.toolingcenter-india.com/EN/product/Main%20catalogue/Milling/Inserts/WNT%20systems/Form%20X%20%20wiper%20insert/XDHW%201204/CARBIDE%20MILLING%20INSERT%20XDHW%201204AESN%20CWN31%2050449200>

[39] Toolingcenter. Main Catalogue. Dostupné z:

<https://www.toolingcenter.com/EN/product/Main%20catalogue/Milling/Inserts/WNT%20systems/Form%20S/SD-9-9%200903/CERMET%20INSERT%20SDHW%200903AESN%20CWC10%2050428898>

Seznam obrázků

- Obr. 2-1 Mikrostruktura cermetu
Obr. 2-2 Mřížka TiC, TiN
Obr. 2-3 Závislost tvrdosti řezných materiálů na teplotě
Obr. 2-4 Závislost houževnatosti na obsahu pojiva
Obr. 2-5 Břit po úpravě mikrogeometrie a depozice vrstvy
Obr. 2-6 Stroj pro vlečné omílání
Obr. 2-7 HSC médium (vlevo), TZM médium (vpravo)
Obr. 2-8 Ukázka břitu před omíláním a po omílání
Obr. 2-9 Závislost životnosti nástroje na poloměru zaoblení
Obr. 2-10 Varianty K – faktoru
Obr. 2-11 Drsnost na ostří (parametry R_a , R_q , R_z)
Obr. 2-12 Šikmý směr stop od brusného kotouče
Obr. 2-13 Vyměnitelné břitové destičky s utvářeči třísek
Obr. 2-14 Druhy geometrie utvářečů třísek
Obr. 2-15 Utvořená tříška v závislosti na velikosti posuvu a hloubce řezu
Obr. 2-16 VBD z cermetu od firmy Ceratizit s fazetkou (vlevo), bez fazetky (vpravo)
Obr. 2-17 Měření břitu pomocí diamantového hrotu
Obr. 2-18 Porovnání cermetu a SK z hlediska trvanlivosti v závislosti na řezné rychlosti
Obr. 2-19 Cermetový výstružník od firmy Ham final
Obr. 2-20 Cermetová vyměnitelná břitová destička
Obr. 2-21 Fréza s vyměnitelnými břitovými destičkami
Obr. 2-22 Řez nástroje s deponovanou vrstvou
Obr. 2-23 Vlastnosti deponované vrstvy pro jednotlivé metody
Obr. 2-24 Multivrstva nanesená metodou CVD
Obr. 2-25 Nanesená vrstva pomocí metody
Obr. 2-26 Schematické znázornění zařízení pro povlakování pomocí obloukového odpařování katody
Obr. 2-27 Pohled do zařízení při povlakování metodou PACVD
Obr. 3-1 Různé hodnoty poloměrů zaoblení pro jednotlivé metody úpravy mikrogeometrie
Obr. 3-2 Závislost trvanlivosti na různých hodnotách poloměru zaoblení
Obr. 3-3 Kruhová destička z cermetu s označením TCM 10