



VÝROBA ŘEZNÝCH NÁSTROJŮ S OTĚRUVZDORNÝMI TENKÝMI VRSTVAMI

Ing. Josef Fajt, CSc.

PILSEN TOOLS s.r.o., Tylova 57, 316 00 Plzeň, tel.: +420 378 134 005, e-mail:

fajt@pilsentools.cz

ANNOTATION

The paper is devoted by evaluation influence of production and thin film on quality and durability of cutting edge on hobbing cutters and pull broachers, that are produced by PILSEN TOOLS.

Based on comparing characteristics of film from different producers and technologies, their utilization on specific produced tool is being optimised. The main attention is on evaluation adhesive cohesive behaviour, elastic plastic behaviour, thickness and chemical composition.

1. ÚVOD

Ve firmě PILSEN TOOLS s.r.o. je Divize Náradí pokračovatelem tradice výroby speciálního řezného, ale i upínacího a kontrolního náradí, měřidel, přípravků a forem po společnosti ŠKODA Náradí.

Jako výrobce chce a musí mít své výrobky kvalitní, správných rozměrů, cenově výhodné, ale u řezných nástrojů také odolné vůči opotřebení a tím konkurenceschopné! Proto se snaží vyrábět nástroj z optimálního řezného materiálu, provést správné tepelné zpracování v případě nástrojových a rychlořezných ocelí, užít vhodnou geometrii a nejlepší naostření nástroje.

Technologie povrchových úprav nanášením tenkých vrstev byla v plzeňském podniku zkoumána a aplikována již koncem 80.ých let, kdy zde byla realizována postupně 2 tuzemská zařízení pro PVD technologie ZIP 12 a NNO 150. Vlastním výzkumem byly specifikovány podmínky pro maximální využití vlastností tenkých vrstev na nástrojích, vyráběných v podniku i nakupovaných bez povrchových úprav. Byla dosahována vyšší trvanlivost nástrojů zvláště potřebná pro obrábění špatně obrobitelných materiálů, ale i pro úsporu nákladů na řezné i tvářecí nástroje [1].

Protože však vývoj technologie nanášení tenkých vrstev postupoval velmi rychle kupředu, nebylo možné pružně aplikovat nové poznatky na stávajících zařízeních a také proto, že začaly být dostupné externí služby různých dodavatelů povlaků, došlo postupně k útlumu vlastního vývoje i realizace. Ukázalo se, že v současném konkurenčním prostředí dodavatelů tenkých vrstev na našem trhu to bylo nevyhnutelné.

V současné době se průmyslová praxe zaměřuje na zvyšování kvality povrchových vrstev materiálů z různých pohledů v závislosti na reálném procesu namáhání povrchu materiálů definovaného konkrétními podmínkami z praxe. Vzhledem k velmi malým tloušťkám povrchových vrstev ovšem tyto tenkovrstvé materiály nejsou samonosné a i jejich tvorba je silně závislá na vlastnostech a chování základního materiálu pod povrchovou vrstvou. Proto také technologie povrchových vrstev je závislá silně i na charakteristikách základního materiálu, výrobku, vzhledem ke kterému je nutno optimalizovat technologické procesy povrchových úprav. Rozvíjí se celá řada technologií povrchových úprav, které jsou vůči sobě vzájemně konkurenční, ale každá z nich má i rozdílné předpoklady pro povrchovou úpravu

konkrétního materiálu, výrobku, ale i konkrétních reálných podmínek namáhání. Podle druhu aplikace, provozních podmínek a vlastností základního materiálu se volí aplikace různých technologických procesů např. PVD a PA CVD, příp. CVD technologií povlakování.

Firma PILSEN TOOLS spolupracuje snad se všemi tuzemskými výrobci tenkých vrstev, ale i s některými zahraničními a snahou je najít pro své nástroje optimální realizaci tenkých vrstev.

2. ZADÁNÍ A NÁVRH NÁSTROJE

Velký objem požadavků zákazníků představuje výroba speciálního řezného (výkresového) nářadí určeného pro speciální aplikace, eventuelně nestandardní technologické operace. Proto je nářadí konstruováno na míru /odvalovací frézy, protahovací trny, nástroje na díry i závity, frézy a nože, nástroje s vyměnitelnými destičkami, apod./.

Protože řezný nástroj je ve firmě konstruován pro určitého zákazníka a je určen převážně na konkrétní práci – obrábění specifikovaného obrobku, je možno a mnohdy dokonce nutno zvolit na jeho výrobu odpovídající řezný materiál s odpovídajícími vlastnostmi, často vysoce legovaný, či ocel vyrobenou pomocí práškové metalurgie. Obráběné kovy a slitiny se neustále vylepšují a jejich obrobiteľnosť je stále náročnejší. Současně je snaha vyrábět stále rychleji, vyššími řeznými rychlostmi, s vyšší produktivitou.



Obr. 1. Odvalovací frézy



Obr. 2. Protahovací trny

Proti tomu je požadavek uživatele nástroje na jeho vysokou odolnost proti opotřebení – trvanlivost. Protože ta už nemusí být zaručena jen vlastní kvalitou vyrobeného nástroje, přistupuje na pomoc funkce tenké vrstvy. Někteří výrobci nechávají na uživateli, zda si dodatečně nástroj napovlakuje, či ne. Firma PILSEN TOOLS má zájem, aby nástroje pracovaly co nejkvalitněji a proto jim pomáhá i s volbou optimální tenké vrstvy i s její realizací před předáním nástroje. Samozřejmostí je doporučení konkrétní vrstvy podle technologické operace a obráběného materiálu. Pro volbu správné vrstvy musí předcházet komplexní poznání celého procesu výroby nástroje, ale i vlastností vrstev jednotlivých výrobců.

3. VLIVY NA KVALITU NÁSTROJE A OTĚRUVZDORNÉ VRSTVY

A/ Nástroj:

Řezivost a opotřebení nástroje ovlivňuje navržená geometrie nástroje, která definuje utváření třísky. Volba řezného materiálu, jeho optimální tepelné zpracování a geometrie břitu

hrají přitom hlavní roli. Při posuzování různých vlivů technologií výroby řezných i jiných nástrojů se často soustřeďuje pozornost pouze na tyto nejznámější parametry. Opomíjené zůstávají vlivy různých mezioperačních úprav nástrojů, případně vedlejší vlivy samotných technologií výroby nástrojů. Vybroušení nástroje, resp. technologie broušení, zahrnující stroj, brusný nástroj, chladicí kapalinu a způsob broušení, může ovlivnit kvalitu samotného nástroje. Struktura a nerovnost ostří má podstatný vliv na trvanlivost nástroje. K tomu přistupuje zhotovená drsnost na povrchu břitu v podélném, či příčném směru. Někdy nastane nepříznivé vytažení ostří při použití nevhodné technologie /brusného kotouče/ k naostření ocelového nástroje. Toto ostří nesmí na nástroji zůstat, zvláště pokud se má povlakovat!

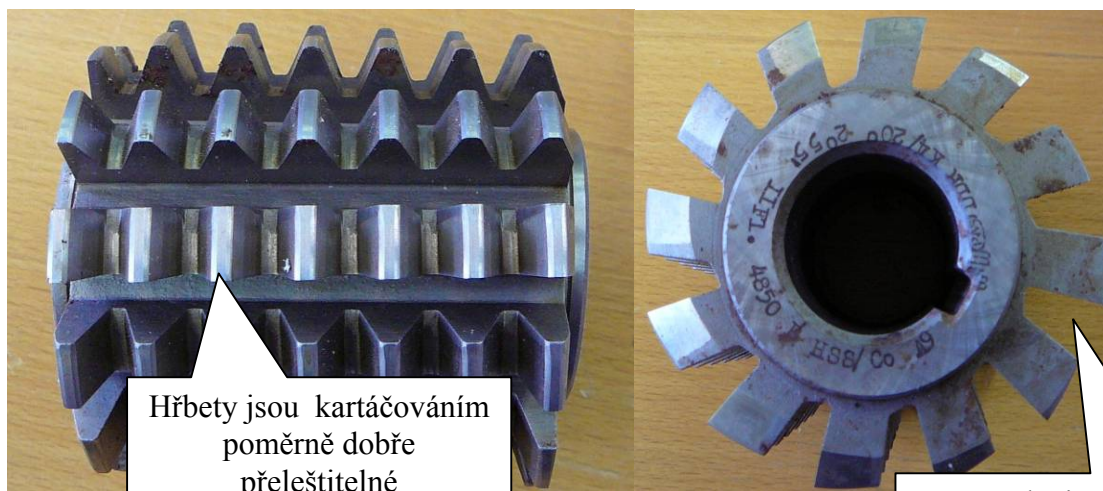
Další oblastí přípravy povrchu je při ostření a výrobě nástrojů využití CBN brusného kotouče. Při ostření odvalovacích fréz začali ve firmě PILSEN TOOLS využívat CBN kotouče s cílem zvýšit kvalitu povrchu jako základ pro kvalitní přilnavost vrstvy a tím trvanlivosti nástroje u zákazníka.

Kvalita břitu a broušených ploch je z pohledu povlakování velmi důležitá pro dobrou adhezi vrstvy. Pokud má břit či povrch ostré nerovnosti, dochází na nich k odlupování vrstev. Tento negativní jev lze eliminovat mechanickou úpravou břitů a povrchů. U HSS materiálů jde o prakticky běžné odjehlení. Ruční odjehlení pomocí pilníků nebo různých tkanin s abrazivou je však značně individuální technologie s vysokým kolísáním reprodukovatelnosti.

Do okruhu mechanických úprav nástrojů patří metoda mikroúprav břitů. Úprava či „pouprava“ je zpravidla know-how výrobců nástrojů a není veřejně známá. Tuto problematiku řeší různé firmy rozdílným způsobem. Od jednoduchého mechanického leštění, přes leštění CNC pískováním až po omílání. Nerovnosti břitů a ostré přerušované hrany – nerovnoměrnosti břitů účinně odstraní omílání v omílacích zařízeních s vhodně voleným granulátem a abrazivem, příp. otryskání. Jde prakticky o standardní metodu v jiných oborech, případně při výrobě omezeného sortimentu nástrojů.

Snížení otěru a řezné síly přináší také leštění nástroje. Jednoduché a cenově dostupné je leštění kartáčováním. Odvalovací frézy jsou velmi specifické z důvodu ohromné škály různých rozměrů, ale i velké různorodosti profilů. Je zde široké spektrum od relativně rozměrově malých nástrojů až po mohutné nástroje o hmotnosti v desítkách kilogramů. Postup pro leštění je tedy pro různé skupiny naprosto odlišný.

Při leštění kartáčováním se u HSS nástrojů poměrně dobře odstraní zbytkový otřep vzniklý ostřením. Velké otřepy vzniklé agresivním ostřením, tj. velkým posuvem a velkým úběrem, se lešticími kartáči neodstraní.



Hřbety jsou kartáčováním poměrně dobře přešetitelné

Drážka je příliš hluboká - nelze čelo efektivně vykartáčovat

B/ Otěruvzdorná vrstva:

Pro uvažované nástroje z rychlořezné nástrojové oceli připadá v úvahu využití metod povlakování PVD, příp. nízkoteplotních PA CVD metod, vzhledem k teplotám procesu nanášení vrstev, aby nedošlo k degradaci základního tepelně zpracovaného nástroje!

V dnešní době je nabízeno široké spektrum PVD vrstev, které se s vývojem nových technologií a požadavků trhu neustále rozšiřuje. Použití a způsob opotřebenosti nástroje zásadním způsobem ovlivňují volbu povlaku s ohledem na jeho fyzikální a chemické vlastnosti. Dobře použitá PVD vrstva výrazně zvyšuje užité vlastnosti nástroje. Mezi základní fyzikální vlastnosti vrstev patří tvrdost, tloušťka, drsnost, adheze a kluzné vlastnosti. Nejdůležitějšími chemickými vlastnostmi jsou odolnost vůči oxidaci, chemická a tepelná stabilita.

Porovnání klasických vrstev TiN bylo provedeno na jednom druhu základního materiálu a různých optimalizovaných vrstev na jednotlivých zařízeních pro dosažení nejpříjemnějších výsledků tenkých vrstev TiAlN nebo AlTiN.

V případě nanášení PVD vrstev je výsledná drsnost ovlivněna jak kvalitou opracování nástroje, tak povlakem. Při měření drsnosti se neuvažují vady povrchu, tj. náhodné, ojediněle se vyskytující a nepravidelné nerovnosti (rysky, trhlinky, důlky apod.), které vznikají v důsledku vad materiálu, poškození aj.

Zdrojem zvýšené drsnosti vrstev jsou makročástice, které vznikají během technologického procesu povlakování. Drsnost povlaku zvyšuje řezné síly, a tak dochází k tepelnému a mechanickému namáhání břitů nástrojů. Tento negativní jev se většina výrobců vrstev snaží minimalizovat úpravou technologie povlakování, popř. dodatečnou úpravou nástrojů po povlakování. Leštění po povlakování má za úkol odstranit případné makročástice po povlakování a snížit celkovou drsnost funkčních ploch a břitů. Většinou se používá ruční leštění pomocí tkanin s abrazivem, případně kartáčování nebo omílání. Tato úprava usnadní zaběhnutí nástroje a může značně ovlivnit jeho životnost a kvalitu obrobku hned v počátku činnosti nástroje.

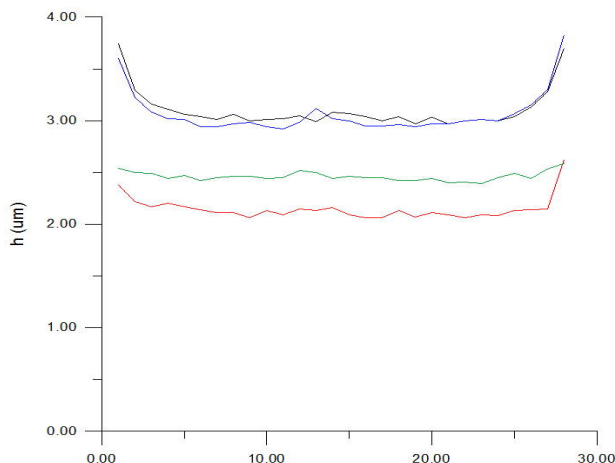
Z pohledu povlakování má mikroúprava břitů zásadní vliv na dobrou adhezi vrstev. Výsledný efekt se projeví jak v dobré adhezi PVD vrstvy na břitech nástroje, tak i ve výsledném výkonu či životnosti nástroje. Metoda mikroúpravy břitů se může provádět i po aplikaci PVD vrstvy. Bez dokonalé přípravy nástroje před povlakováním nelze připravit kvalitní povlak.

Vlivem povlakování – nanesením vrstvy na plochy ostří a radius ostří – dochází ke změně geometrie řezné části nástroje. Vliv má nanesená tloušťka, ale i deposiční technologie.

Z hlediska praktické aplikace je volba tloušťky povlaku na břitech řezných nástrojů jednou z nejdůležitějších charakteristik. Ta může v konečném důsledku ovlivňovat jak trvanlivost nástroje, tak i velikost řezné síly během obrábění. Zjednodušeně řečeno – tloušťka povlaku musí být opravdu „ušita na míru“ předpokládanému použití obráběcího nástroje. Např. optimální vrstva na jemnobřítých nástrojích /závitníky, protahovací trny/ může být kolem 1 až 2 μm a je výrazně nižší než u odvalovacích fréz, kde tloušťka vrstvy na břitu nástroje může být např. i 8 μm . Tloušťka vrstvy na břitu nástroje se výrazně liší od tloušťky vrstvy na rovných nebo válcových plochách. Současně je ovlivňována průměrem nástroje a způsobem naplnění povlakovací komory.

Velmi užitečným aparátem výzkumu je rtg. fluorescenční analýza pro nedestruktivní hodnocení tenkých vrstev, ale i pro doplňující velmi důležité hodnocení. Dle našeho zadání byly na ZČU hodnoceny přes celý vzorek o ϕ 30 mm profily tloušťky tenkých vrstev TiAlN od různých dodavatelů. Tyto profily ukazují velmi zajímavé a důležité informace a to, že tenké vrstvy na okrajích vzorků jsou jiné ve většině případů /kromě technologie znázorněné zelenou křivkou – viz obr. 3, kde systém má nejhomonější tloušťku/. Tato silnější vrstva

na hraně ostří není přínosem pro zvýšení trvanlivosti, ale naopak v tomto místě hrozí destrukce vrstvy. Proto, při znalosti této vlastnosti, musí výrobce nástroje s tímto počítat a předejít odloupení vrstvy úpravou geometrie, zvl. odpovídající úpravou velikosti rádiusu ostří.

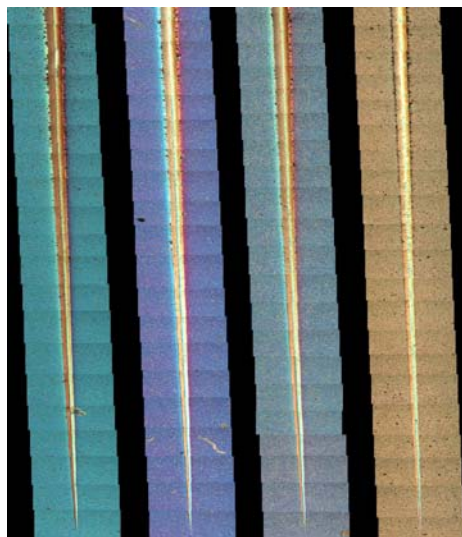


Obr. 3. Tloušťky tenkých vrstev TiAlN přes délku vzorků, zjištěné rtg. fluorescenční analýzou

V dnešní době převládají stále se zvyšující požadavky na „výkonnost“ deponovaných vrstev. Potřeba obrábět materiály se zhoršenou obrobiteľností, posun k vysokorychlostnímu obrábění za sucha, zvyšování životnosti nástrojů či konstrukčních dílů, to vše klade nároky na kvalitu vrstev – povlaků. Mezi základní vlastnosti vrstev patří mikrotvrdost, teplotní odolnost a koeficient tření. Tyto vlastnosti jsou charakteristické pro každou vrstvu a většina povlakovacích center je uvádí ve svých technických a propagačních materiálech. Nejsou to však jen tyto parametry, o kterých mluvíme v souvislosti s vrstvami. Velice často se v souvislosti s vrstvami hovoří také o houževnatosti, adhezi, odolnosti proti oxidaci atd.

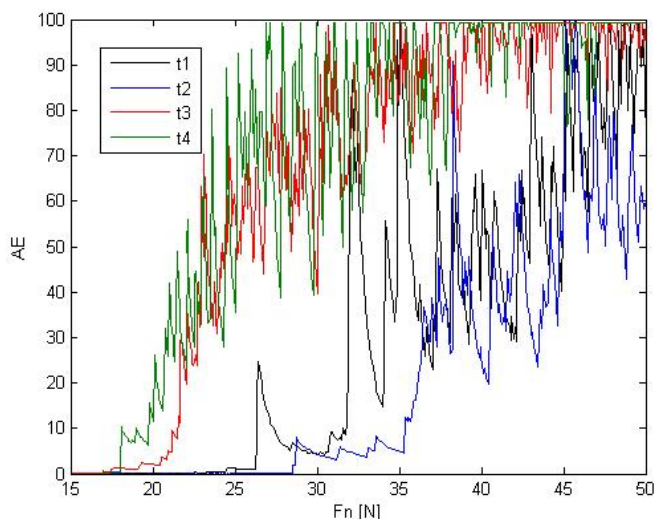
Každá aplikace, ve které pracují povlakované nástroje je svým způsobem specifická. Rozdíly jsou např. v řezných parametrech (rychlost, posuv), mazání, v obráběných materiálech, materiálech substrátů (nástrojů), v geometriích nástrojů, v teplotách procesů atd. Ve většině případů je proto kladen důraz na kombinace uvedených vlastností vrstev. Velice často se vyskytují požadavky na tvrdé a současně kluzké (nízký koeficient tření) vrstvy. Tato kombinace se velmi často používá u lisování nebo při povlakování komponentů pro automobilový průmysl.

Vybrané vzorky systémů tenká vrstva – základní materiál podrobujeme ve spolupráci se ZČU hodnocení vrypovou indentační zkouškou na scratch testeru z důvodů vyhodnocení rozdílného chování povrchů systémů při vrypové indentační zkoušce, zachycení rozdílu v charakteru porušení, iniciace porušení a jejího šíření a odolnosti proti vrypové indentaci. Použitý indentor je standardní diamantový indentor Rockwellova typu s poloměrem zakřivení špičky indentoru 0.2 /0,5/ mm. V průběhu vrypové zkoušky byla zaznamenávána závislost signálu akustické emise snímaného z držáčku indentoru a závislost poměru tečné a normálové síly, kdy signál tečné síly je snímán ze speciálního stolku pro uchycení vzorků. Po provedení vrypové indentace byla zdokumentována morfologie porušení vrypem pomocí světelného mikroskopu se zvýrazněním morfologie porušení pomocí polarizovaného světla a Nomarského diferenciálního kontrastu [2].



Obr.4. Vrypová indentační zkouška

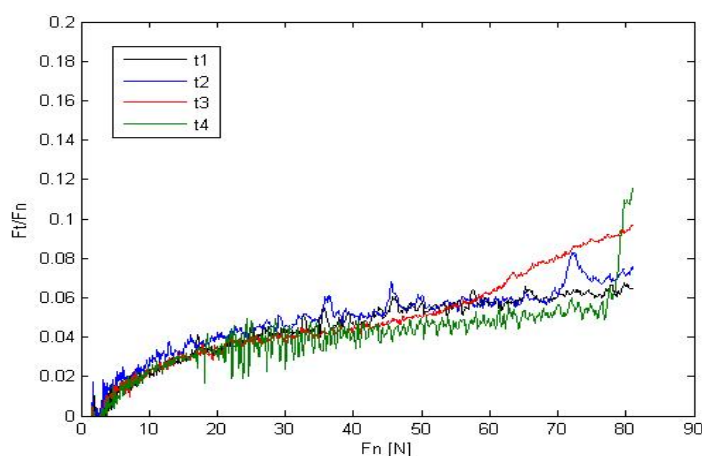
Nejdříve se objevuje porušení na vzorku t4 na dně vrypu. Dále se objevuje porušení na vzorku t1, které je ovšem náhodného charakteru, neboť expanze porušení dále nepokračuje. U vzorku t4 pokračuje při vyšších normálových silách vznik porušení na dně vrypu. Na rozdíl od ostatních vzorků se ovšem méně projevuje plastická deformace povrchu vrypem v okolí vrypu vytlačněním povrchových vrstev na okraj vrypu. Tato deformace u ostatních vzorků je podobná. Vzorky t1, t2 a t3 ukazují postupné a pozvolné odebrání vrstvy na dně vrypu. Nejdolnější se jeví systém t3.



Obr.5. Průběh akustické emise

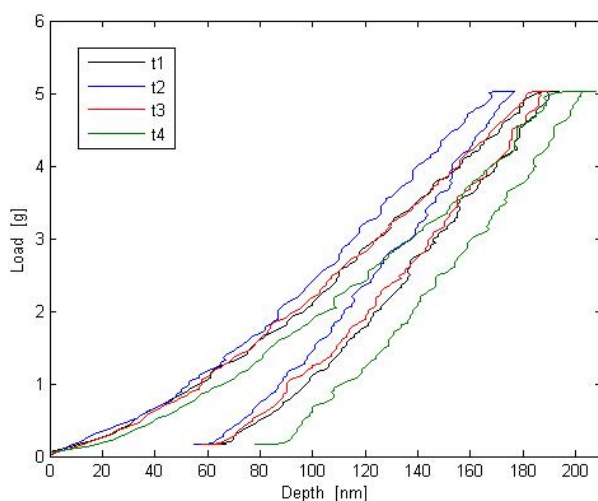
Zde je souhrn průběhů signálu akustické emise v závislosti na velikosti působící normálové síly. Velmi drobný zákmit akustické emise je zprvu zachycen na vzorku t1, výraznější pak na vzorku t4. První pravidelné zákmity na průběhu akustické emise jsou patrné na vzorku t2, následně na vzorku t1 a pak na vzorku t4. Nejpozdější růst signálu akustické emise je patrný na vzorku t3. Na vzorku t3 je patrný nejvýraznější růst signálu akustické emise od prvních projevů křehkého praskání povrchových vrstev. Průběh na vzorku t4 nejdříve ukazuje růst a pak kolem hodnoty 38 N je zachyceno minimum, což odpovídá proniknutí do větší hloubky a tím se neprojeví pnutí od indentoru tolik na povrchu a nedojde k uvolnění signálu akustické

emise křehkým prasknutím povrchové vrstvy. Růst akustické emise na vzorcích t1 a t2 je podobný. V souladu s morfologií porušení i zde vychází nejodolnější systém t3.



Obr.6. Průběh koeficientu tření z poměru tečné a normálové síly

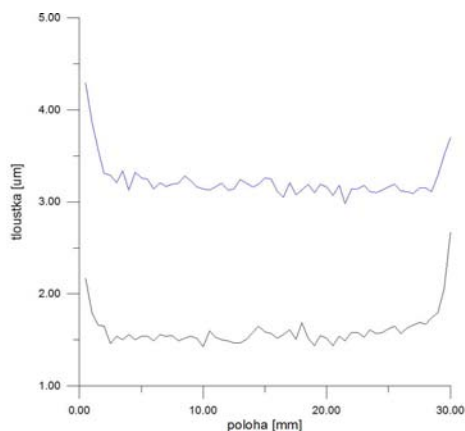
Souhrn průběhů poměru tečné a normálové síly ukazují nejnižší třecí koeficient na vzorku t3 ovšem kolem hodnoty 53 N normálového zatížení dochází k silnějšímu růstu, který je dán větším proniknutím do hloubky materiálového systému vlivem většího porušení povrchové vrstvy na dně vrypu. Vzorek t4 je v tomto případě z hlediska tření na druhém místě se zákmity na průběhu. Strmější růst je na vzorku t4 zachycen až později kolem hodnoty 60 N a růst je menší než na vzorku t3, což je dáno menší šířkou vrypu a tudíž větším zpevněním povrchu proti pronikání indentoru do hloubky při vrypové indentaci. Vzorky t1 a t2 jsou srovnatelné.



Obr.7. Indentační křivky

Z těchto průběhů indentačních křivek s maximálním zatížením 5 g je patrné, že nejvyšší nanotvrdoost vykazuje systém 2, dále jsou srovnatelné systémy 1 a 3. Nejnižší nanotvrdoost lze přisoudit systému 4. S přibývajícím vlivem tenké vrstvy s poklesem velikosti maximálního zatížení je patrný rostoucí podíl elastické deformace proti plastické deformaci a snižování vlivu jemných propadnutí vlivem nižší přilnavosti.

Pro vytvoření „kvalitní“ vrstvy pro danou aplikaci je možné optimalizovat procesní parametry - tlak (průtok plynů) a napětí, které má záporný potenciál. Oba tyto parametry mají vliv na velikost makročástic, a tím také na výslednou drsnost povlakovaného povrchu.



Obr.8. Tloušťka vrstvy ovlivněná předpětím při deposici

Zde je profil na vzorcích, lišících se předpětím při deposici. Profil na obou vzorcích je podobný, opět je nárůst na okraji vzorku. Vzorky se liší výrazně tloušťkou tenké vrstvy. Předpětí pravděpodobně ovlivnilo poměr mezi odprašováním a deposicí.

Výše popsané vlastnosti povlaků a jejich měření jsou z hlediska praktického používání povlakovaných nástrojů nejdůležitější. S jejich pomocí lze poměrně spolehlivě určit optimální řezné podmínky a naopak, pro danou řeznou aplikaci nastavit optimální vlastnosti povlaků.

4. POZNATKY Z PRAKTICKÝCH ZKOUŠEK ŘEZIVOSTI A TRVANLIVOSTI

Přestože se dnes pro posouzení vlastností systému tenká vrstva substrát používají různé laboratorní metody, praktická zkouška řezáním (zkouška řezivosti) si stále udržuje svou nenahraditelnost. Zkouška trvanlivosti zachycuje v nejširším měřítku vliv mechanických a fyzikálních vlastností jednotlivých subjektů, účastníků se řezného procesu.

Navíc během řezného procesu vzniká a průběžně narůstá opotřebení funkčních ploch nástroje, které způsobuje změnu koeficientu tření k horšímu a dochází tak k dalšímu zvýšení řezné teploty.

Pro zvýšení trvanlivosti vyráběných odvalovacích fréz i protahovacích trnů s nanesenými tenkými vrstvami provádí PILSEN TOOLS posuzování vytípaných typů vrstev od různých dodavatelů ve vazbě na řezný a obráběný materiál, technologii výroby. Snahou je i zachytit trend s minimalizací mazání a využít povlaky pro obrábění bez mazacích kapalin.

Příklady ověřovacích zkoušek a souhrn dosažených výsledků [3]:

A) Ověření trvanlivosti leštěné odvalovací frézy $m = 8 \times 20^\circ$ ON 222520

Obráběný materiál obrobitelnosti 12b-13b, mazání řezný olej, vrstva TiN.

Závěr: Lepší drsnost povrchu než neleštěným nástrojem, využít zvl. při obrábění na čisto, trvanlivost nástroje vyšší min. o 25% proti neleštěné, stejně povlakované.

B) Povlakovaná a nepovlakovaná odvalovací fréza $m = 12 \times 25^\circ$

Obráběný materiál: Ocel 17CrNiMo6, mazání řezný olej.

Závěr: Povlak TiAlN zvýšil trvanlivost nástroje min. o 50 % proti nepovlakované.

C) Odvalovací frézy modul $m = 5 \times 20^\circ$ ON 222520

Obráběný materiál obrobitelnosti 13b, mazáno řez. olejem, druh tenké vrstvy dle obr. 9:

Závěr: Fréza s vrstvou TiCN nižší trvanlivost, proti ostatním.



Obr. 9. Odvalovací frézy s různými typy povlaků

D) Frézy $m=18$ s vrstvami TiAlN od různých výrobců /viz následný obr./

Obráběná ocel pevnosti 900 Mpa, mazáno řezným olejem

Závěr: 1. fréza po $\frac{3}{4}$ kola opotřebena, 2. fréza opotřebena po $1 \frac{1}{4}$ kola



5. ZÁVĚR:

Vývoj tenkých otěruvzdorných PVD povlaků se nyní nachází v etapě, kdy se již staly neoddelitelnou součástí praxe, především v oblasti strojírenství, zároveň ale stále ještě překvapují výzkumné pracovníky novými vlastnostmi a možnostmi uplatnění. Pro výrobce nástrojů je poznání celého procesu značnou výhodou, z které má ale na konci největší užitek hlavně uživatel.

Tento projekt byl realizován za finanční podpory z prostředků státního rozpočtu prostřednictvím MPO, FT-TA4/082.



6. LITERATURA

- [1] Fajt, J.: *Zvýšení ořezuvzdornosti nástrojů nanášením tvrdých povlaků*. Disertační práce, KTO FST ZČU, 1992
- [2] Jiřík, P., Macháčková, K., Novák, M., Palubjaková, J., Štěpánek, I.: *Hodnocení mechanických vlastností a chování systémů tenká vrstva-substrát od různých dodavatelů zejména s vrstvami TiN a TiAlN*. Výzkumná zpráva k projektu FT-TA4/082, 2008
- [3] Fajt, J.: *Záznamy z ověřovacích zkoušek nástrojů – firemní výzkum. zpráva v rámci projektu FT-TA4/082*, 2008

