

VLIV TEPELNÝCH VLASTNOSTÍ TENKÝCH VRSTEV NA TŘÍSKOVÉ OBRÁBĚNÍ TVRDÝCH TĚŽKO OBRÁBĚLÝCH OCELÍ

Ing. Petr Beneš¹, Doc. Dr. Ing. Antonín Kříž¹, Ing. Jiří Martan PhD.²

¹ Katedra materiálů a strojírenské metalurgie, Fakulta strojní, ZČU, Univerzitní 22, Plzeň, 306 14, ČR, 377 638 315, pbenes@kmm.zcu.cz

¹ Katedra materiálů a strojírenské metalurgie, Fakulta strojní, ZČU, Univerzitní 22, Plzeň, 306 14, ČR, 377 638 315, kriz@kmm.zcu.cz

² Katedra fyziky, Fakulta aplikovaných věd, ZČU, Univerzitní 22, Plzeň, 306 14, ČR, jmartan@kfy.zcu.cz

Anotace

Tepebné vlastnosti tenkých vrstev deponovaných na obráběcí nástroje mají velký vliv na průběh řezného procesu. Z podstaty řezného procesu jako fyzikálně-mechanického děje vyplývá, že zde dochází k přeměně vstupní energie na energii vynaloženou na tvorbu třísky a tím i k obrobení samotného obrobku. Při tomto procesu dochází k přeměně vstupní energie na energii tepelnou. Obecně platí, že na tvorbu tepla na břitu nástroje se spotřebuje až 90% vstupní mechanické energie. Na přerozdělení tepelných toků mezi třískou, obrobkem a nástrojem se významnou měrou podílí vrstvy deponované na obráběcí nástroj. Velký vliv mají především jejich některé tepelné vlastnosti jako jsou povrchová tepelná vodivost, tepelná difuzivita apod. Dosud nevyřešeným problémem zůstává volba správné metodiky pro měření tepelných toků odehrávajících se v místě řezu.

Klíčová slova

PVD vrstvy, tepelné vlastnosti PVD vrstev, obrábění těžkoobrobitelných nástrojů

ÚVOD

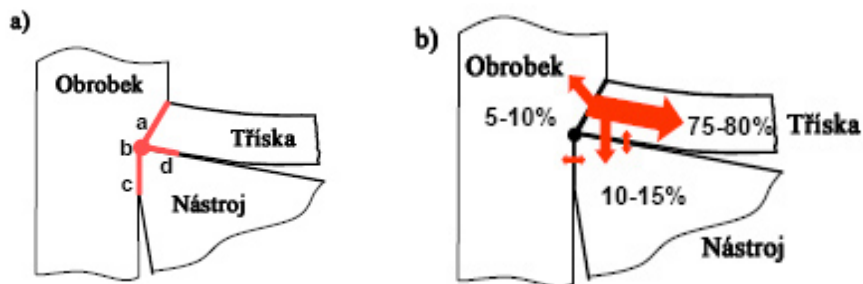
Od počátku 80. let, kdy se komerčně začaly častěji používat tenké vrstvy vyrobené metodami CVD, nebo PVD, se výzkum systematicky zaměřoval na zkoumání jejich vlastností a omezení vyplývající z jejich vnitřní stavby. Od této doby do současnosti se problematice tenkých vrstev věnuje značné množství publikací, výzkumných prací a článků v odborných periodikách. Je však více než zarážející, že problematice teplotní odolnosti, teplotní degradaci a celkových tepelných vlastností tenkých vrstev se věnuje jen málo odborných publikací. Na základě provedené dlouhodobé rešerše lze uvést, že vlastnostem vrstev za normální teploty se věnuje odhadem 90% odborných publikací, zbylých 10% je věnováno problematice chování tenkých vrstev za zvýšených teplot. Jestliže si uvědomíme, že největší rozšíření tenkých vrstev došlo právě u aplikací, které jsou vystaveny, ať již primárně, nebo dodatečně teplotnímu zatížení, potom tato informační nevyváženost nabývá na závažnosti.

Z podstaty řezného procesu jako fyzikálně-mechanického děje vyplývá, že zde dochází k přeměně vstupní energie na energii vynaloženou na vytvoření třísky a tím i k obrobení daného obrobku. Samotný úběr materiálu se při řezném procesu realizuje lokálním překročením kohezní pevnosti mezi deformovaným a nedeformovaným materiálem. Tento jev má svůj původ ve štěpení atomových vazeb a je tudíž doprovázen uvolňováním značného množství tepla [1]. Další významné množství tepla vzniká při tření třísky s čelem nástroje v důsledku existence mikronerovností, které jsou na obou plochách vždy v různé míře přítomny. Mikronerovnosti zvyšují adhezi mezi odcházející třískou a povrchem nástroje, čímž dojde k nárůstu třecí energie, kterou je nutné následně překonat zvýšením vstupní energie vnesenou do procesu obrábění. To má za následek, že na tvorbu tepla na břitu nástroje se spotřebuje více než 90% vstupní mechanické energie [1].

Je známo, že na čele břitu nástroje může být za daných podmínek obrábění a druhu obráběného materiálu dosaženo teploty až 1000°C. Rozdělení teplotního pole v místě řezu je především dáno součinitelem tepelné vodivosti, tepelnou efuzivitou řezného materiálu, resp. vrstvy, kterou je daný řezný nástroj deponován a také tepelnou vodivostí obráběného materiálu. Některé typy obráběných materiálů se vyznačují nízkou tepelnou vodivostí, která má za následek zvýšení teploty v místě řezu. Např. při obrábění materiálu Inconel 718, který má oproti jiným materiálům malou tepelnou vodivost ($\lambda = 11,4 \text{ W/m.K}$), bylo zjištěno, že teplota může vzrůst od 900°C při rychlosti obrábění 30 m/min až na 1300°C při rychlosti obrábění 300 m/min. [2]. Tato vysoká teplota představuje velký problém pro všechny typy materiálů nástrojů - pro oxidické či nitridové vrstvy, tak i pro keramické nástroje, které mají obecně vysokou odolnost vůči vysokým teplotám a teplotním šokům.

Na obr.1 je schématické znázornění zdrojů tepla a teplotních toků uplatňujících se při třískovém obrábění. Z tohoto obrázku je patrné, že největší podíl tepla se odvádí do třísky. Čím více bude vrstva deponovaná na nástroji zabraňovat přestupu tepla do nástroje, tím více tepla se bude odvádět do třísky. Pro obráběcí proces je tedy nezbytné používat takové typy vrstev, které budou plnit funkci teplotní bariéry. Otázkou ale je, zda tenká vrstva o tloušťce několika mikrometrů může vůbec fyzikálně a termomechanicky plnit funkci teplotní bariéry a zabraňovat tak přestupu tepla do nástroje. Je třeba si uvědomit, že vrstvy TBC (thermal barrier coating), které se používají jako účinná teplotní bariéra, mají tloušťku řádově 10krát až 1000krát větší než mají klasické PVD vrstvy. Tloušťka TBC vrstev se, dle způsobu jejich vytváření, pohybuje v rozmezí od 100 μm do 1 mm. Pokud má tenká PVD vrstva plnit funkci teplotní bariéry je nutné, aby měla dostatečně velkou tepelnou difuzivitu a velkou povrchovou tepelnou vodivost, což zaručí odvod tepla z nástroje do třísky nebo obrobku a tím i menší přestup tepla do nástroje. Není však dosud jasné, zda je tato podmínka, s ohledem na malou tloušťku PVD vrstev, dostačující k tomu, aby nedošlo k přestupu tepla do nástroje po celou dobu setrvání nástroje v řezu (řádově v sekundách).

Z toho vyplývá, že pro zamezení nárůstu teploty a tím i následného teplotního přetěžování obráběcího nástroje je také nezbytné zaručit plynulý odvod třísek z místa řezu. Třísky se bude odvádět z místa řezu lépe pokud se použije obráběcího nástroje deponovaného vrstvou s nízkým koeficientem tření.



Obr.1. a) - zdroje tepla při obrábění a) oblast stříhu, b) oblast řezu, c) oblast tření hřbetu nástroje, d) oblast tření čela nástroje; b – tepelné toky uplatňované při obrábění v systému obrobek – třísky-nástroj [3].

EXPERIMENTÁLNÍ METODY MĚŘENÍ TEPLoty PŘI PROCESU OBRÁBĚNÍ

Experimentální metody měření teplot vznikajících při procesu třískového obrábění jsou pro problematiku zjišťování tepelných vlastností a teplotní degradace tenkých vrstev velice důležité. Na rozdíl od numerických a analytických modelů lze experimentálními metodami, dle použité metody, zjistit rychle a bez použití zjednodušujících předpokladů teplotní podmínky v oblasti řezu. V oblasti obráběcích aplikací je však nevýhodou experimentálních metod nemožnost zjistit přesné teplotní podmínky odehrávající se v mikroobjemu místa kontaktu nástroje s obrobkem, což vyplývá z technických omezení

experimentálních měřících metod. I přes tento nedostatek poskytují experimentální metody měření teplot cenné poznatky o teplotních podmínkách v měřené oblasti.

Experimentální metody měření teploty lze rozdělit na:

- Přímé měření teploty
- Nepřímé měření teploty

Přímé metody lze rozdělit na:

- Kontaktní metody
- Bezkontaktní metody

Mezi přímé metody bezkontaktní metody lze zařadit měření pomocí IR senzorů a termokamery. Výhoda měření pomocí termokamery spočívá v rychlém získání mapy rozložení teplotního povrchového pole a to jak obrobku, tak i třísky a nástroje. Nevýhodou měření teplot pomocí termokamery spočívá v možném ovlivnění výsledků rušivými vlivy, jako je optický odraz od lesklých materiálů, nevhodně použité osvětlení apod. Další nevýhodou měření teplot pomocí termokamery je nemožnost zaznamenat rychlé teplotní změny, které mohou v některých aplikacích nastat.

Přímé kontaktní měření teploty zahrnuje především měření teploty pomocí termočlánků. Tento způsob měření teploty je zvláště citlivý na způsob provedení, neboť přesnost výsledků získaných touto metodou je silně závislá na metodice měření. Snahou je měřit teplotu co nejbližší k místu zdroje tepla, což je zvláště u obráběcích aplikacích dosti problematické. Tento problém se dosud nepodařilo uspokojivě vyřešit.

Zvláštní druh měření teploty představují nepřímé metody, kdy se teplota vyskytující v oblasti řezu odvodí z metalurgických změn obrobeného materiálu, nejčastěji třísky. K materiálu třísky se přistupuje jako k tepelně zpracovanému materiálu, kdy je známa její výchozí struktura a dále je znám účinek teplotního působení (resp. teploty) na danou strukturu. Tento nepřímý způsob měření teploty je časově náročný a často vyžaduje provedení dalších zkušebních experimentů z důvodu přesného určení vlivu teploty na daný materiál. Tímto způsobem měření ale lze současně zachytit vliv teploty na strukturu obráběného materiálu a rovněž lze získat další informace o deformaci třísky a procesech doprovázející její vznik.

EXPERIMENT

Pro studium tepelných vlastností bylo použito 3 typů PVD vrstev a to vrstev TiN, TiAlN a TiAlSiN. Tyto vrstvy byly pro potřebu praktických obráběcích testů nadeponovány na soustružnickou kosočtvercovou břitovou destičkou typu Toshiba s pozitivní geometrií a s utvařečem třísek. Substrátem břitových destiček byl materiál ISO K20 – slinutý karbid. Jako obráběný materiál byla použita nástrojová ocel ČSN 19 452.6. Tato ocel byla vybrána záměrně, neboť se v praxi velmi často používá na výrobu zápustek a forem tj. pro výrobu dílů, které se v širokém měřítku třískově obrábí. Dalším důvodem jejího použití je dosažení, díky tepelnému zušlechtní, poměrně vysoké tvrdosti (min. 55HRC – max. až 64HRC) a to v celém průřezu. Tvrdost obráběného materiálu byla 55 HRC.

Tloušťka vrstev byla změřena pomocí kalotestu: TiN–0,9 μm , TiAlN– 1,8 μm , TiAlSiN – 3,2 μm .

Jelikož jedním z cílů bylo ozřejmit důsledky tvorby oxidických filmů vzniklých na povrchu vrstev v důsledku jejich teplotního ohřevu, byly některé VBD s nadeponovanou vrstvou TiAlN podrobeny tepelnému ohřevu. Tepelné zatížení vrstev bylo provedeno v peci s normální atmosférou při definované teplotě 400°C a 800°C. Vzorek byl na 15 min vložen do předehřáté pece v níž byla požadovaná teplota, poté byl vyjmut a ochlazen volně na vzduchu. Vrstva TiN nebyla, vzhledem ke své nízké teplotní odolnosti, podrobena ohřevu, ale sloužila jako etalonový vzorek.

VÝSLEDKY

V průběhu procesu soustružení s použitím řezných destiček deponovaných PVD vrstvami TiN, TiAlN a TiAlSiN byly v jednotlivých etapách obrábění odebrány vzniklé třísky. Přehled vzniklých třísek je uveden v tab.1.

Tab.1. Charakter třísek vytvořených soustružením různými systémy tenká vrstva – substrát.

| Vrstvy | Fáze náběru třísek (1 – počáteční fáze obrábění, 2 – střední fáze obrábění, 3 – koncová fáze obrábění) | | |
|---------------|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 |
| TiN | článkovitá tříška obloukovitá dělená dle ISO: 6.2. barva zlato-fialová | plynulá tříška stužková smotaná dle ISO: 1.3. barva zlato-fialová | plynulá tříška stužková smotaná dle ISO: 1.3. barva světle modrá |
| TiAlSiN | plynulá tříška stužková smotaná dle ISO: 1.3. barva zlatá | plynulá tříška vinutá smotaná dle ISO: 2.3. barva zlatá | plynulá tříška stužková smotaná dle ISO: 1.3. barva světle modrá |
| TiAlN | článkovitá tříška obloukovitá dělená dle ISO: 6.2. barva zlatá | článkovitá tříška obloukovitá spojená dle ISO: 6.1. barva zlato-fialová | plynulá tříška vlnitá šroubovitá smotaná, dle ISO: 4.3. barva zlato-fialová |
| TiAlN - 400°C | článkovitá tříška vlnitá šroubovitá krátká, dle ISO: 4.2. barva zlato-fialová | článkovitá tříška vlnitá šroubovitá krátká, dle ISO: 4.2. barva fialová | plynulá tříška vinutá smotaná dle ISO: 2.3. barva fialová |
| TiAlN - 800°C | článkovitá tříška vlnitá šroubovitá krátká, dle ISO: 4.2. barva zlato-fialová | plynulá tříška vlnitá šroubovitá smotaná, dle ISO: 4.3. barva fialová | plynulá tříška vlnitá šroubovitá smotaná, dle ISO: 4.3. barva tmavě fialová |

Ze sledovaného tvaru třísek vyplývá, že v průběhu obrábění se jejich tvar, velikost i celistvost výrazně lišila. Zpočátku, kdy byl nástroj ještě bez jakéhokoliv opotřebení byla tříška krátká, článkovitá, zatímco ke konci trvanlivosti břitové destičky byla nedělená a bylo ji nutné během obrábění odvádět tak, aby bylo možné měřit teplotu v místě řezu a nedocházelo k jejímu namotání na rotující části. Mezi jednotlivými vrstvami byly také pozorovány rozdíly ve tvaru třísky. Tyto rozdíly mohou spočívat v odlišné trvanlivosti nástroje tj. ve stavu břitu (třísky byly vždy odebrány ve stejném časovém okamžiku). Nadměrné opotřebení břitu se prokazatelně projevilo na změně morfologie třísky. Na tvaru třísky se vedle opotřebení může projevit vliv nadeponované vrstvy, především její tribologické vlastnosti a také vznik oxidických filmů. Avšak jak bylo zjištěno z tribologických experimentů koeficienty tření zkoumaných typů vrstev se lišily jen velmi nepatrně. U vrstvy TiN byl koeficient tření 0,7 a po teplotním zatížení na 400°C vzrostl na hodnotu 0,8. U vrstvy TiAlSiN byl při normální teplotě koeficient tření 0,82 a u teplotně zatíženého stavu (400°C) se koeficient tření ustálil na 0,6. U vrstvy TiAlN byl při 20°C 0,85; při 400°C 0,6 a při 800°C 0,65. Tyto rozdíly jsou o to menší, jestliže se přihlédne k jejich průběhu, kdy je značný rozdíl mezi počátkem a ustáleným stavem. Je tedy zjevné, že na charakter a tvar třísek se velkou měrou podílí rozložení tepelných toků mezi nástrojem, obrobkem a třískou. Čím více bude vrstva zabraňovat prostupu tepla do nástroje, tím více tepla bude přecházet do třísky. Tento tepelný přechod směrem do třísky lze pozorovat na vzniku zóny dynamické rekrystalizace, která je patrná z příčného řezu třísky (obr.2a,b,c). Zónu dynamické rekrystalizace lze pozorovat jako zónu s hrubým zrnem (obr.2b,c). Čím více se tepla odvede do třísky, tím širší se vytvoří v kontaktní oblasti třísky zóna dynamické rekrystalizace. Z tloušťky zóny dynamické rekrystalizace lze

tedy nepřímo odvodit množství tepla, které přešlo z kontaktní řezné oblasti do třísky. Změřené hodnoty pro jednotlivé systémy tenká vrstva – substrát jsou uvedeny v grafu (obr.3). V první fázi soustružení (fáze 1) nevykazovaly břitové destičky žádné známky opotřebení, proto změřené hodnoty šířek zón dynamické rekrytalizace odpovídají skutečně předanému teplu pocházejícího ze systému tenká vrstva – tříska. V průběhu řezného procesu (fáze 2 a 3) došlo u vrstev TiAlN 400°C ($t = 30$ s) a TiAlN ($t = 30$ s) 800°C k jejich degradaci, takže teplotní toky probíhaly pouze v soustavě substrát – tříska, čímž došlo k určitému zkreslení výsledků.

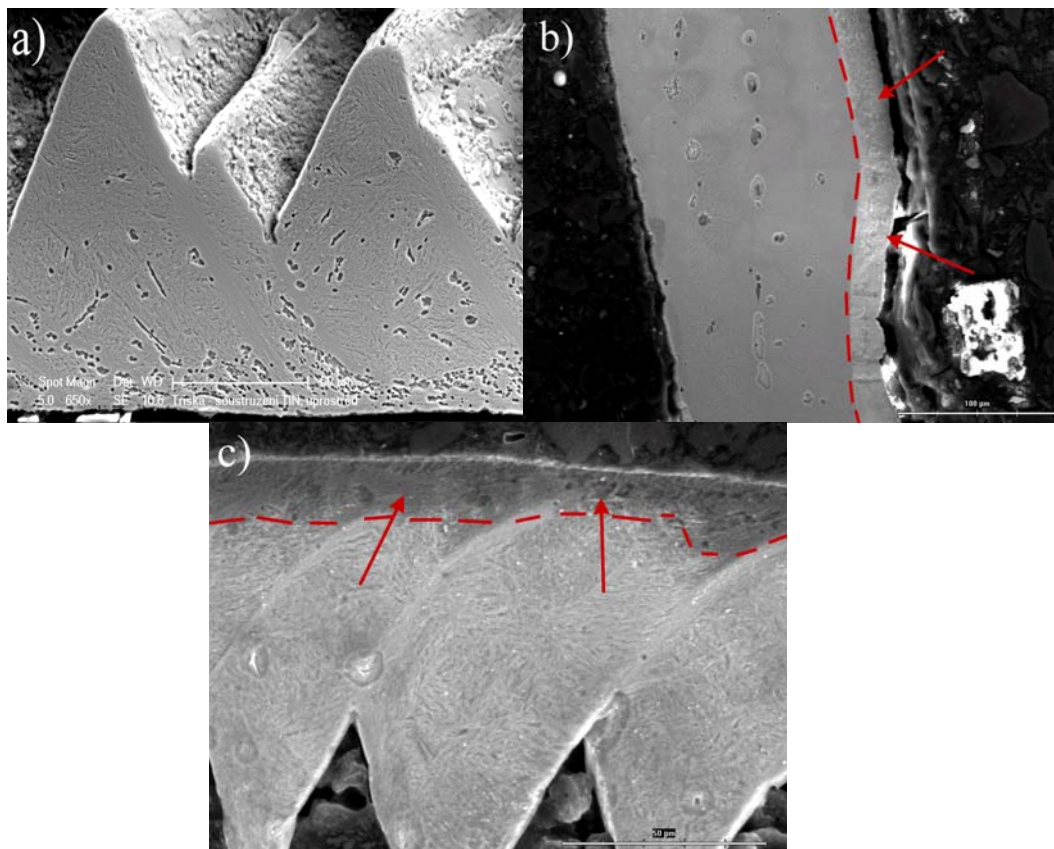
Jak je patrné z obr.3 v první fázi obrábění byla největší šířka rekrytalizační zóny naměřena u vzorku s vrstvou TiAlN zahřáté v peci na teplotu 400°C. Taktéž tloušťka rekrytalizační zóny u vzorku s vrstvou TiAlN zahřáté na teplotu 800°C byla oproti ostatním vzorkům větší. Vysoké hodnoty šířek rekrytalizačních zón jsou způsobeny tvorbou oxidických filmů Al_2O_3 na povrchu teplotně zatížených vrstev TiAlN. Oxidické filmy na bázi Al_2O_3 , které se vytváří v důsledku teplotního ohřevu (ať již externího, nebo během obrábění) na povrchu řezné destičky s deponovanou TiAlN vrstvou, se vyznačují nízkou tepelnou vodivostí, čímž vytváří dokonalou tepelnou bariéru. V důsledku nízké tepelné vodivosti Al_2O_3 oxidických filmů přechází větší množství tepla do třísky a následně se třískou odvádí pryč z místa řezu, takže dochází ke snížení tepelného namáhání obráběcího nástroje. Tento zvýšený přestup tepla do třísky se projeví na zvýšení tloušťky rekrytalizační zóny.

S postupem času obrábění (fáze 2 a 3, obr.3) dochází k logickému zvyšování tloušťky rekrytalizační zóny třísek pro případ obrábění destičkami s nadeponovanými vrstvami TiN, TiAlN (teplotně nezatížených) a TiAlSiN. Toto zvyšování je způsobeno s postupným růstem povrchové teploty řezných destiček v závislosti na čase obrábění. V konečné fázi obrábění (fáze 3) je patrný zvýšený přechod tepla do třísky u destičky s vrstvou TiAlSiN. Tento nárůst je způsoben tepelně indukovanou tvorbou komplexních oxidických filmů TiO_2 , Al_2O_3 , SiO_2 na povrchu vrstvy TiAlSiN, které také působí jako vysoce účinná tepelná bariéra. U teplotně nezatížené vrstvy TiAlN dochází také v průběhu řezného procesu k nárůstu tloušťky rekrytalizační zóny třísky, což je způsobeno tvorbou oxidického filmu Al_2O_3 v průběhu obrábění a také její vyšší odolností vůči opotřebení v porovnání s teplotně zatíženou vrstvou. K poklesu tloušťky u vrstvy TiAlN teplotně zatížené na 400°C uprostřed a na konci testu (fáze 2 a 3) dochází vlivem opotřebení vrstvy, neboť v důsledku ztráty vrstvy dochází k přerozdělení tepelných toků již pouze mezi substrátem a třískou. Z poklesu šířky zóny je tedy zřejmé, že většina tepla přechází do řezné destičky. Taktéž z nerostoucího průběhu tloušťky rekrytalizační zóny u vrstvy TiAlN zahřáté na teplotu 800°C lze usuzovat, že vlivem její předčasné degradace docházelo k přednostnímu přestupu tepla do řezné destičky.

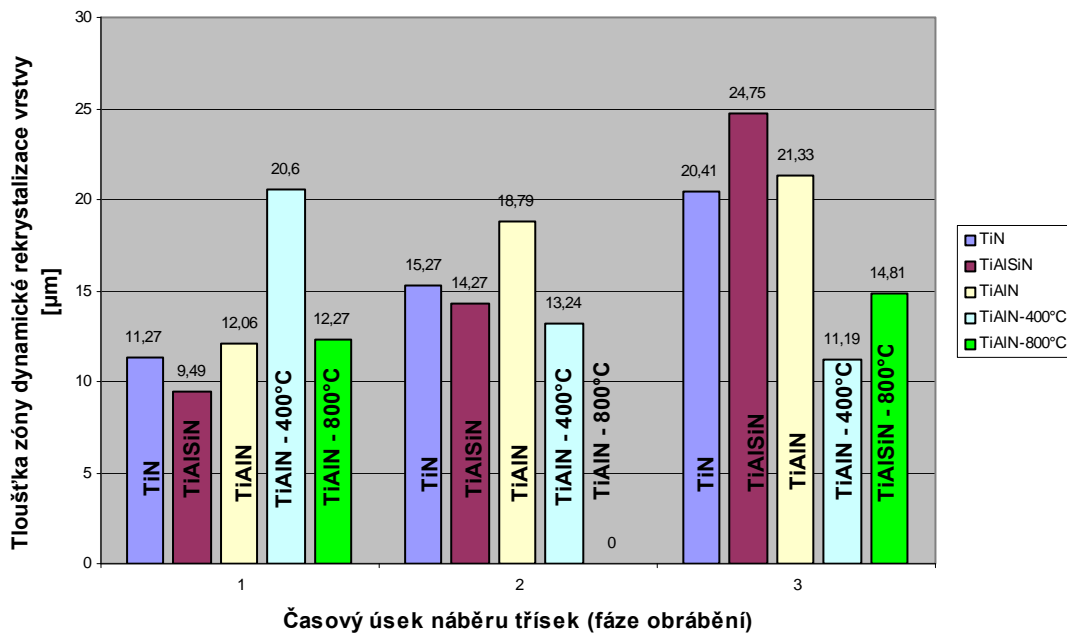
V rámci experimentu byla taktéž prováděna měření tepelné vodivosti zkoumaných typů vrstev založena na pulzní fototeplotní radiometrii. Při tomto měření bylo použito dvou odlišných IR detektorů a ohřevu pulzním laserem. Tento způsob měření tepelných vlastností umožňuje souběžné měření tepelné vodivosti a objemové tepelné kapacity tenkých vrstev. Zjištěné hodnoty jsou uvedeny v tab.2. Z této tabulky je patrné, že hodnoty koeficientu tepelné vodivosti (resp. efuzivity) nejsou v korelaci s výše uvedenými experimentálně zjištěnými tepelnými vlastnostmi vrstev. Důvod tohoto nesouladu však není znám. Jednou z možných vysvětlení je přítomnost oxidických filmů na povrchu ohřátých vrstev, které jsou vzhledem ke své malé tloušťce (řádově desítky nm) touto měřicí aparaturou nezjistitelné, které ale mají určité specifické teplotní vlastnosti (chování).

Tab 2. Naměřené hodnoty některých tepelných veličin u zkoumaných typů PVD vrstev.

| Vzorek | Efuzivita [$\text{J.m}^{-1/2}.\text{s}^{-1/2}.\text{K}^{-1}$] | Koeficient tepelné vodivosti [$\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$] | Objemová tepelná kapacita [$*10^{-6} \text{J.m}^{-3}.\text{K}^{-1}$] |
|-------------|--|--|---|
| TiN | 2170 | 1.5 | 3.13 |
| TiAlN | 3010 | 4.5 | 2.01 |
| TiAlN 400°C | 2934 | 3 | 2,87 |
| TiAlN 800°C | 2570 | 2,3 | 2,87 |
| TiAlSiN | 3000 | 3 | 3 |



Obr. 2. Příčný řez třiskami vytvořenými soustružením řeznou destičkou deponovanou vrstvou
a) TiN, b) TiAlN, c) TiAlSiN s vyznačením oblastí dynamické rekrystalizace.



Obr.3. Naměřené tloušťky zón dynamické rekystalizace třísek vytvořených různými systémy tenká vrstva – substrát.

ZÁVĚR

Tepelné vlastnosti tenkých PVD či CVD vrstev jsou velice důležitým aspektem, který se často opomíjí. Tepelné vlastnosti těchto vrstev zcela zásadně ovlivňují podmínky procesu obrábění, neboť se podílí na přerozdělení tepelných toků vzniklých v kontaktní oblasti řezu. Znalost tepelných vlastností tenkých vrstev je tedy nezbytným předpokladem pro optimální využití jejich aplikačních možností. Je však nutné si uvědomit, že tepelné vlastnosti systému tenká vrstva – substrát nejsou ovlivněny pouze tepelnými vlastnostmi samotné vrstvy, ale také tepelnými vlastnostmi tenkých oxidických filmů, které se na povrchu tepelně zatížené vrstvy vždy vytváří. Tepelné vlastnosti oxidických filmů nejsou v současné době zcela známy a to v důsledku jejich malé tloušťky, špatné detekovatelnosti a značné chemické heterogenitě. Z tohoto důvodu lze skutečné tepelné vlastnosti zkoumat pomocí některých nepřímých metod. Jednou z nich je metoda založená na sledování metalografických změn v tříске v důsledku přestupu tepla z oblasti řezu. Množství tepla přecházející do třísky je v přímé závislosti na velikosti zóny dynamické rekystalizace, což je oblast materiálu, která byla tepelně ovlivněna. Jelikož zóna dynamické rekystalizace je charakteristická zhrublým zrnem, lze ji jednoduše rozpoznat a kvantifikovat mikroskopickým pozorováním.

Z měření založených na zjišťování tloušťky zóny dynamické rekystalizace u třísek vytvořených řeznými destičkami s různými vrstvami byl prokázán vliv oxidických filmů na celkové tepelné vlastnosti systému tenká vrstva-substrát, resp. na přerozdělení tepelných toků. Oxidické filmy působí prokazatelně jako účinná tepelná bariéra zabraňující pronikání tepla do substrátu – řezného nástroje. V důsledku toho lze jako substrát použít materiály, které nemusí mít tak vysokou odolnost vůči vysokým teplotám a tepelným šokům. Nejúčinnější tepelnou bariéru vytváří komplexní smíšené oxidické filmy vytvářející se např. na vrstvě TiAlSiN. Dále z experimentů vyplynulo, že životnost oxidického filmu závisí na podmínkách jeho vzniku. Oxidické filmy, které byly na povrchu vrstvy vytvořeny uměle, tj. tepelným zatížením

vrstvy nejsou odolné proti opotřebení, neboť dochází k jejich brzké delaminaci spolu s podkladovou vrstvou. Naproti tomu při vzniku oxidického filmu v důsledku ohřevu vrstvy teplem uvolňujícím se během obrábění, vykazuje tento oxidický film vysokou adhezi k podkladové vrstvě a také jeho odolnost vůči opotřebení je značně vyšší.

Souběžně prováděna měření zaměřená na zjišťování hodnot některých termodynamických veličin, tj. koeficientu tepelné vodivosti, efuzivity a objemové tepelné kapacity neprokázala soulad mezi takto získanými hodnotami a praktickými účinky tepelných vlastností vrstev. Z tohoto důvodu budou probíhat další měření, jejichž úkolem bude zjistit vliv teplotně indukovaných oxidických filmů na celkové tepelné vlastnosti systému tenká PVD vrstva – substrát, neboť je pravděpodobné, že role těchto oxidických filmů není zanedbatelná.

Tento článek vznikl za finančního přispění FST – ZČU v Plzni v rámci řešení interního projektu, řešením projektu FI-IM4/226 a také z prostředků výzkumného projektu 202/07/P027 Grantové agentury České republiky.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Kříž, A., Komplexní vlastnosti řezných nástrojů s tenkými vrstvami nitridů kovů. Habilitační práce. ZČU Plzeň, 2004.
- [2] Sharman, A.R.C., Hughes, J.I., Ridgway, K., An analysis of the residual stresses generated in Inconel 718 when turning. *Journal of Materials Processing Technology*. Elsevier Science B.V., 2006, č.173, s.359 – 367.
- [3] Klocke, F., *Cutting materials, tools and coolant for machining with geometrically defined cutting edges – part 2*. WZL Fraunhofer IPT, s.38.

