

# Vliv tepelných vlastností tenkých vrstev na třískové obrábění tvrdých těžkoobrobitelných ocelí

P.Beneš<sup>1</sup>

A.Kříž<sup>1</sup>

J.Martan<sup>2</sup>

<sup>1</sup> – Katedra materiálu a strojírenské metalurgie, Fakulta strojní, Západočeská univerzita

<sup>2</sup> – Katedra fyziky, Fakulta aplikovaných věd, Západočeská univerzita

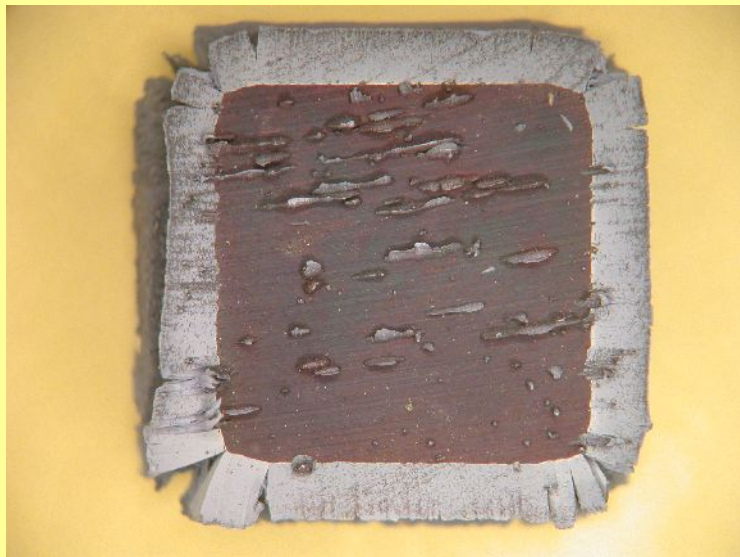
# Tenké otěruvzdorné PVD vrstvy

- Z rešerše odborných publikací :
  - 90% vlastnostmi vrstev za normální teploty
  - 10% vlastnostmi vrstev za normální teploty !!!

Použití PVD vrstev: vesměs aplikace s výskytem vyšších teplot !!!

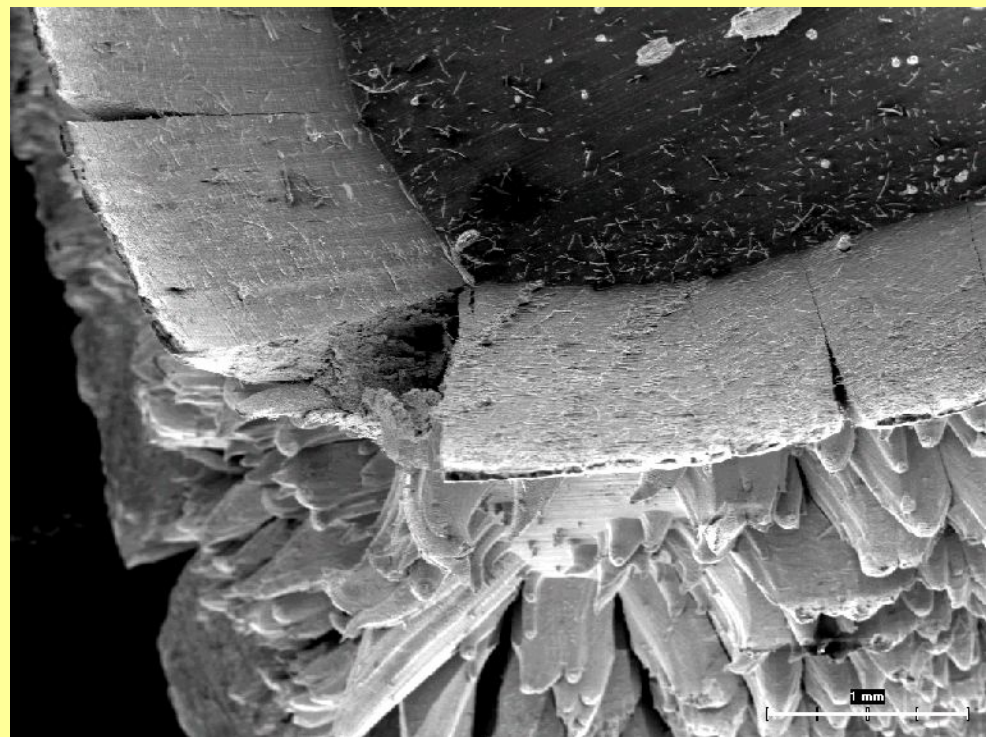
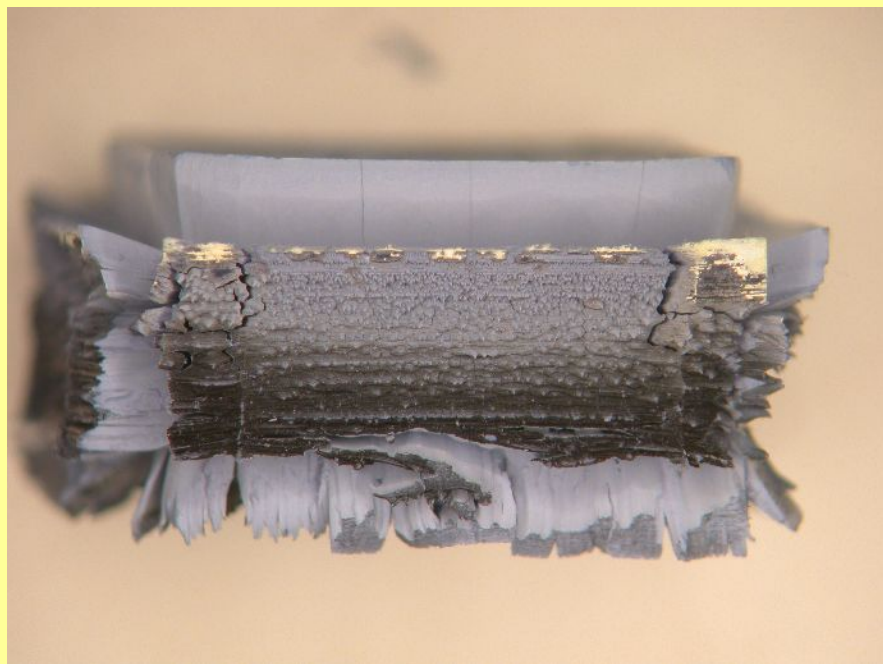
Na čele břitu může  
být dosaženo dle  
podmínek obrábění  
až 1000°C !!!





Substrát K20 – vrstva TiAlN

700°C – 30 min.



# PVD x TBC (thermal barrier coatings)

PVD

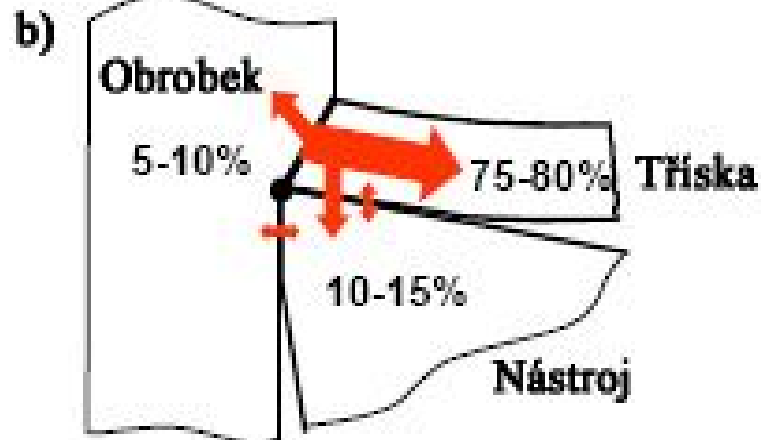
- 0,5 – max.10  $\mu\text{m}$

TBC

- 100  $\mu\text{m}$  – 1 mm

Je tato tloušťka dostačující, aby zabraňovala přestupu tepla do nástroje? (po celou dobu obrábění – řádově desítky sekund)

Tepelná bariéra – nízká tepelná difuzivita, nízká tepelná vodivost...



# Experimentální metody měření teploty při procesu obrábění

- Přímé měření teploty
- Nepřímé měření teploty

- Bezkontaktní metody (IR senzory, termokamera)
- Kontaktní metody (termočlánky)

Odvození teploty z metalurgických změn v materiálu (třísce)

- Bezkontaktní metody (IR senzory, termokamera):

+ rychlém získání mapy rozložení teplotního povrchového pole obrobku, třísky a nástroje

- rušivé vlivy (optický odraz od lesklých ploch, použité osvětlení...)

- Kontaktní metody (termočlánky):

- citlivý na způsob provedení (metodika měření) – dosud uspokojivě nevyřešeno

- Odvození teploty z metalurgických změn v materiálu:




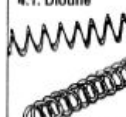
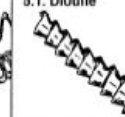
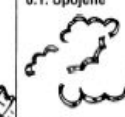

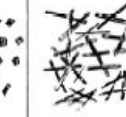



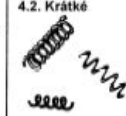

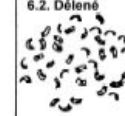
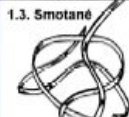

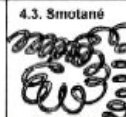
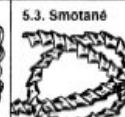
+ lze zachytit i jiné jevy (vliv teploty na strukturu obráběného materiálu, deformace třísky a procesech jejího vzniku)

- časově velice náročné měření

- nutnost velkého množství experimentů

- bylo použito 3 typů PVD vrstev – TiN, TiAlN, TiAlSiN
- pro potřebu praktických obráběcích testů nadeponovány na soustružnickou kosočtvercovou břitovou destičkou (substrát slinutý karbid – ISO K20) typu Toshiba s pozitivní geometrií a s utvařečem třísek
- obráběný materiál - nástrojová ocel ČSN 19 452.6 (55 HRC)
- destičky s vrstvou TiAlN byly podrobeny ohřevu v peci s norm. atmosférou při teplotách 400, 800°C po dobu 15 min.

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

1. Stužkové * třísky	2. Vlnité * třísky	3. Spirálové * třísky	4. Vlnité šroubovitě třísky	5. Kuželovité * šroubovitě třísky	6. Obloukovité ♦ třísky	7. Elementární třísky	8. Jehlovité třísky
1.1. Dlouhé 	2.1. Dlouhé 	3.1. Ploché 	4.1. Dlouhé 	5.1. Dlouhé 	6.1. Spojené 		
1.2. Krátké 	2.2. Krátké 	3.2. Kuželovité 	4.2. Krátké 	5.2. Krátké 	6.2. Dělené 		
1.3. Smotané 	2.3. Smotané 		4.3. Smotané 	5.3. Smotané 			

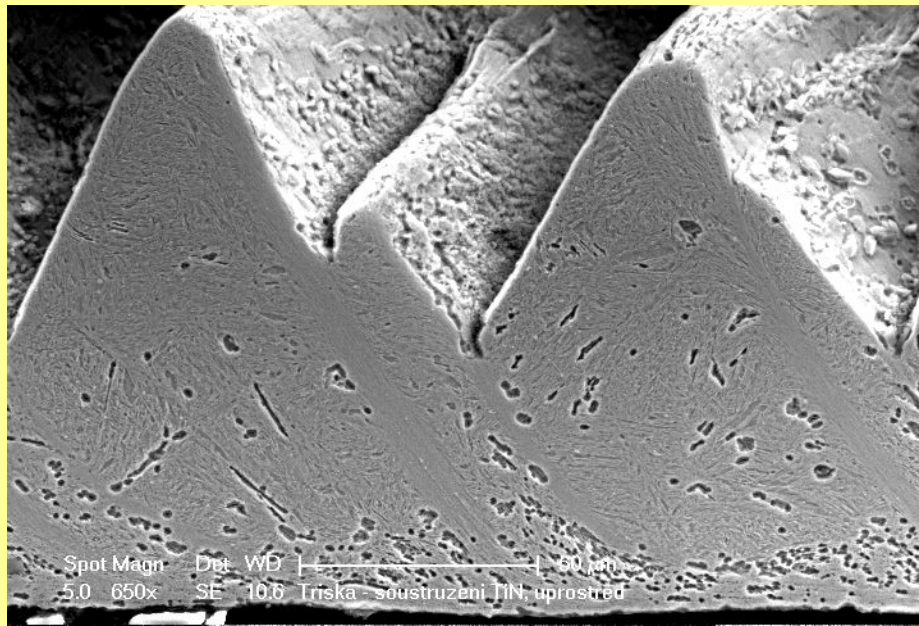
- Na tvaru třísky se vedle opotřebení může projevit vliv nadeponované vrstvy, především její tribologické vlastnosti a také vznik oxidických filmů



- jak bylo zjištěno z tribologických experimentů koeficienty tření zkoumaných typů vrstev se lišily jen velmi nepatrně

TiN – 0,7; TiAlSiN – 0,82; TiAlN 20°C - 0,85; TiAlN 400°C – 0,6 ; TiAlN 800°C- 0,65

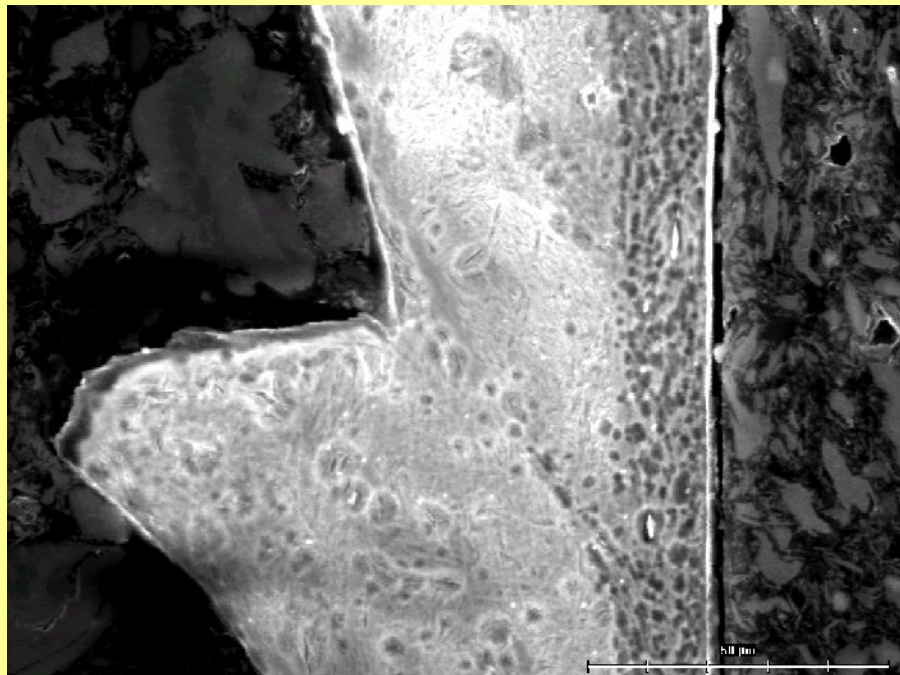
- Na charakter a tvar třísek se velkou měrou podílí rozložení tepelných toků mezi nástrojem, obrobkem a třískou.
- Čím více bude vrstva zabraňovat prostupu tepla do nástroje, tím více tepla bude přecházet do třísky. Tento tepelný přechod směrem do třísky lze pozorovat na vzniku zóny dynamické rekrystalizace (zóna s hrubým zrnem), která je patrná z příčného řezu třísky.
- Čím více se tepla odvede => tím širší se vytvoří v kontaktní oblasti třísky zóna dynamické rekrystalizace
- Z tloušťky zóny dynamické rekrystalizace lze tedy nepřímou odvodit množství tepla, které přešlo z kontaktní rezné oblasti do třísky



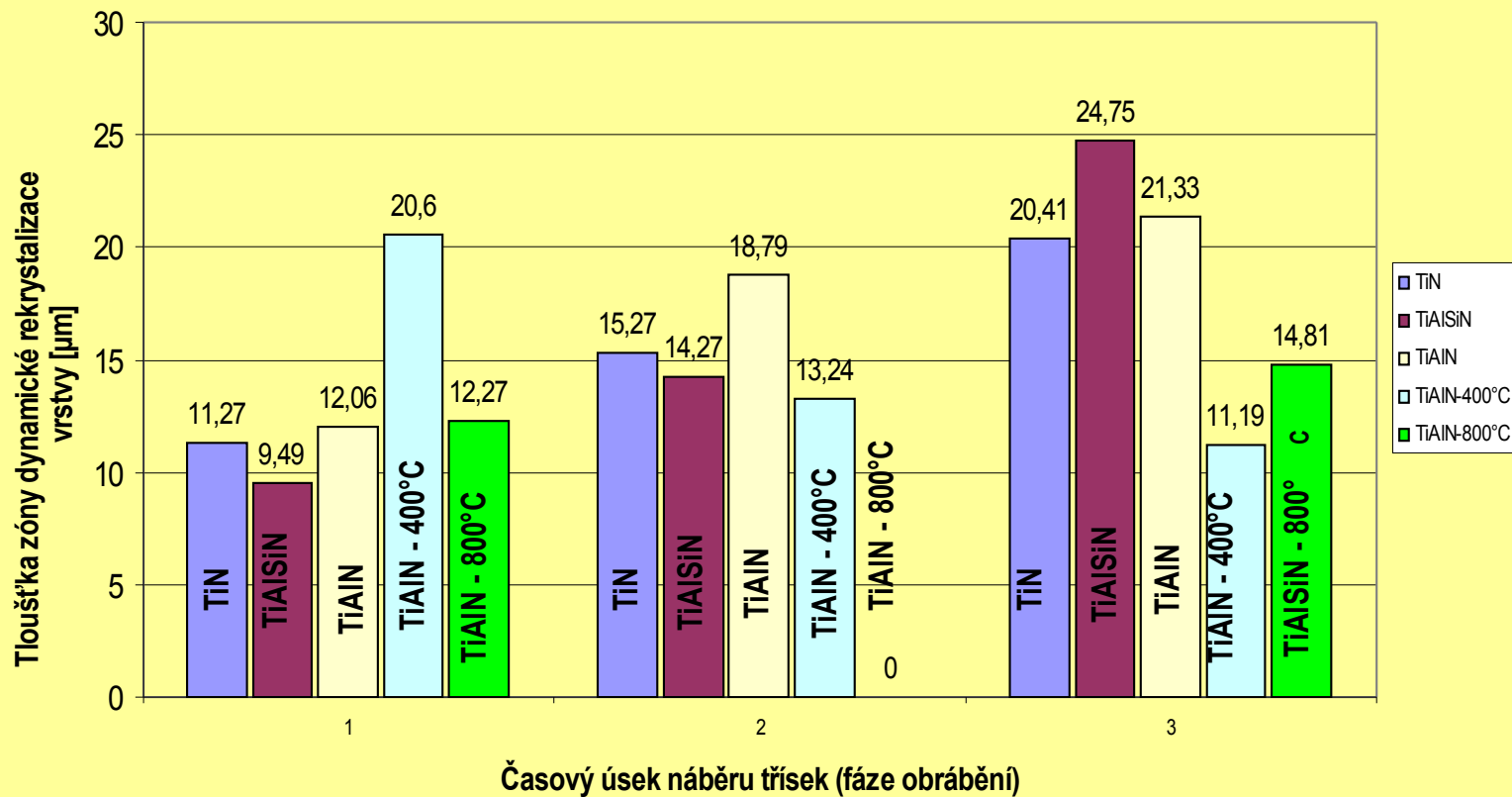
TiN



TiAlN



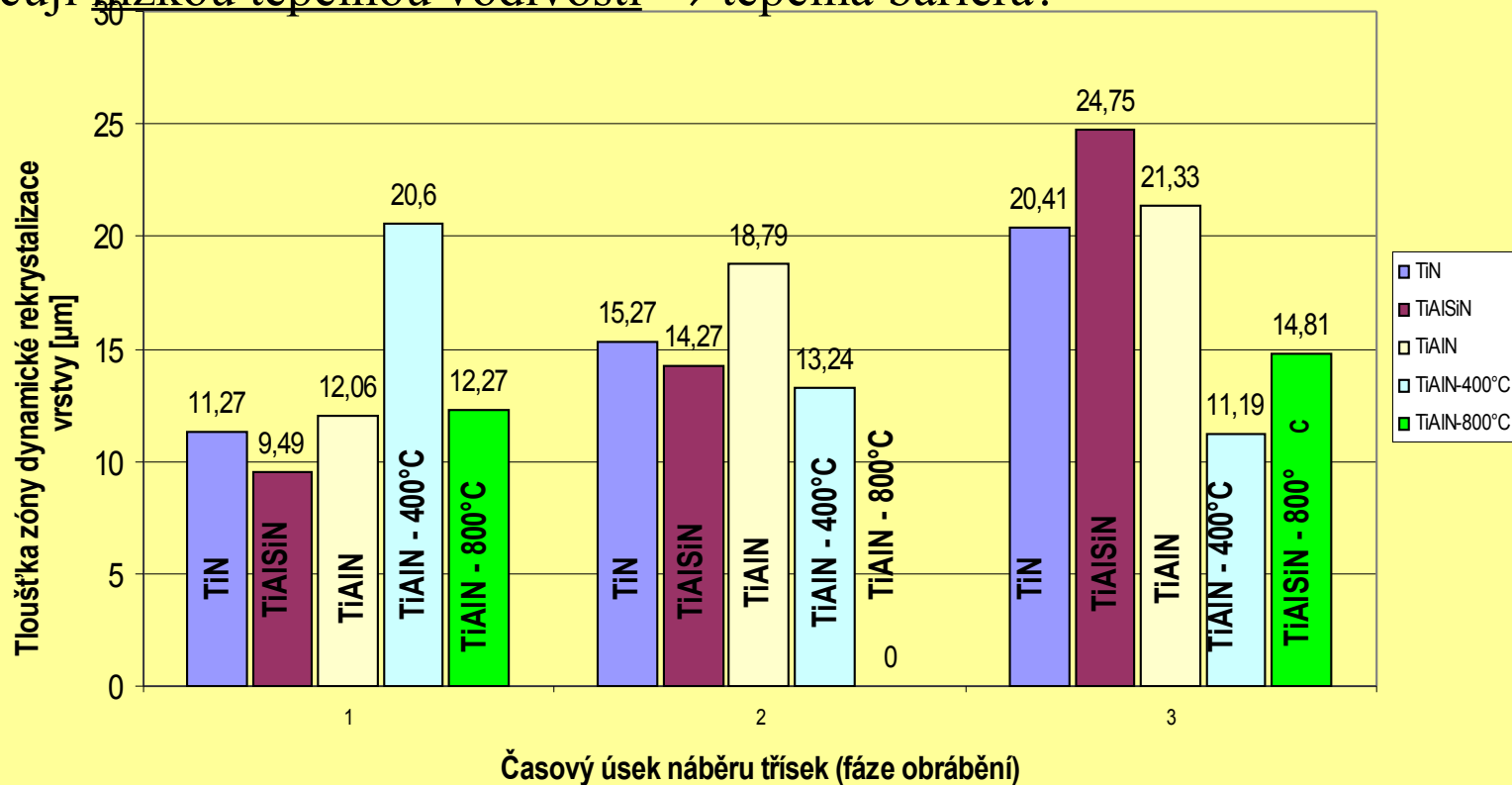
TiAlSiN



Naměřené tloušťky zón dynamické rekrytalizace třísek vytvořených různými systémy tenká vrstva – substrát.

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 – tříška. 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 - teplotní toky probíhaly pouze v soustavě substrát – tříška, čímž došlo k určitému zkreslení výsledků

Vysoké hodnoty šířek rekrystalizačních zón jsou způsobeny tvorbou oxidických filmů  $\text{Al}_2\text{O}_3$  na povrchu teplotně zatížených vrstev TiAlN. Oxidické filmy na bázi  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , které se vytváří v důsledku teplotního ohřevu se pravděpodobně vyznačují nízkou tepelnou vodivostí  $\Rightarrow$  tepelná bariéra?



K poklesu tloušťky u vrstvy TiAlN teplotně zatíženě na  $400^\circ\text{C}$  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.

Byla taktéž prováděna měření tepelné vodivosti zkoumaných typů vrstev založena na pulzní fototeplotní radiometrii - umožňuje souběžné měření tepelné vodivosti a objemové tepelné kapacity tenkých vrstev

Vzorek	Efuzivita [ $\text{J}\cdot\text{m}^{-1/2}\cdot\text{s}^{-1/2}\cdot\text{K}^{-1}$ ]	Koeficient tepelné vodivosti [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ]	Objemová tepelná kapacita [* $10^{-6}\text{ J}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{K}^{-1}$ ]
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

Hodnoty koeficientu tepelné vodivosti (resp.efuzivity) nejsou v korelaci s výše uvedenými experimentálně zjištěnými tepelnými vlastnostmi vrstev

⇒ 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) ???

# ZÁVĚR

- Tepelné vlastnosti tenkých PVD či CVD vrstev jsou velice důležitým aspektem, který se často opomíjí, neboť se podílí na přerozdělení tepelných toků a tím i na tepelném zatížení obráběcího nástroje.
- Jsou důležité nejen tepelné vlastnosti samotné vrstvy, ale i oxidických filmů, které se na jejím povrchu vždy vytvoří (v důsledku tepelného ohřevu).
- Tepelné vlastnosti oxidických filmů nejsou v současné době zcela známy a to v důsledku jejich malé tloušťky, špatné detekovatelnosti a značné chemické heterogenitě.
- 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.

Děkuji za pozornost

Přednáška je k dispozici na [www.ateam.cz](http://www.ateam.cz)