

Zkoušky povlaků řezných nástrojů ze slinutého karbidu při frézování ocelí

Ing. Pavel Zeman Ph.D.¹⁾, Ing. Ondřej Zindulka²⁾

¹⁾ VCSVTT, ČVUT v Praze, Horská 3, 12800 Praha 2, tel: 605205923, p.zeman@rcmt.cvut.cz

²⁾ SHM, s.r.o.; Průmyslová 3, 78701, Šumperk, zindulka@shm-cz.cz

Použití pouze laboratorních metod (tvrdost, složení, frikční vlastnosti, apod.) při vývoji povlaků řezných nástrojů je v současnosti již nedostatečné. Získané informace jsou mnohdy nerelevantní se skutečnými výkony při nasazení. Z pohledu systematického porovnání jsou komplikované i terénní zkoušky u zákazníků, které jsou mnohdy ovlivněny příliš velkým množstvím parametrů. Nezbytným doplňkem obou zmíněných přístupů je testování povlaků řeznou zkouškou v laboratorních podmínkách.

Cílem spolupráce firmy SHM Šumperk a Výzkumného centra VCSVTT bylo vytvořit efektivní postup řezných zkoušek pro vývoj povlaků simulující různé formy zatížení a opotřebení břitu nástroje, které poskytnou informace o základních vlastnostech různých typů povlaků v řezném procesu. Metodika zkoušek byla aplikována při frézování různých typů ocelí v širokém spektru řezných podmínek. Pro testy povlaků byly zvoleny těžší podmínky obrábění s cílem posunout trvanlivosti břitu k hodnotám pod 25 minut obrábění. Obráběnými materiály byly oceli se špatnou či zhoršenou obrobiteľností (ČSN 17349, ČSN 17255, ČSN 19436, Hardox 400, Hardox 500).

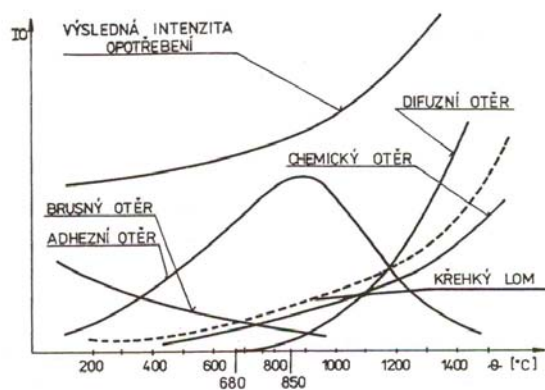
Klíčová slova: frézování, povlaky řezných nástrojů, trvanlivost břitu

1 Úvod

Široké spektrum dnes používaných řezných materiálů, geometrií břitů, povlaků a jejich nejrůznějších modifikací s sebou ve výsledku nese také široké spektrum základních vlastností řezných nástrojů. Nedílnou součástí testování moderních řezných materiálů a povlaků tak jsou kromě zkoušek pro určení fyzikálních, mechanických a chemických vlastností i „provozní“ testy. Vedle výzkumu velikosti silového zatížení břitu v důsledku obrábění či výsledné jakosti obrobeného povrchu jsou to především testy trvanlivosti břitu nástroje. Pro testování řezných nástrojů by přitom měly být voleny takové pracovní a řezné podmínky, které umožňují rychlé a účinné testování nástrojů tak, aby cena vynaložená na testy (stroj, materiál a doba zkoušek) nepřevýšila jejich vypovídací hodnotu. V praxi se proto často přistupuje k metodě testování nástrojů při zvýšených podmínkách v porovnání s podmínkami při kterých jsou nástroje v praxi běžně nasazovány. Volbou řezných podmínek je však na druhé straně nezbytné zachovat vypovídající hodnotu jednotlivých testů.

Trvanlivost břitu je jednou z nejdůležitějších vlastností řezného nástroje. Doba po kterou nástroj obrábí, aniž by opotřebení jeho břitu překročilo hodnotu kritéria opotřebení je podstatná pro optimální využití nástroje z hlediska minimálních nákladů na výrobu, či maximální produktivity výroby. Trvanlivost břitu určitého nástroje je přitom silně závislá na mnoha faktorech. Ať se již jedná o materiál, který daným nástrojem obrábíme, řezné podmínky a pracovní dráhy nástroje, řezné prostředí nebo stroj, je třeba vhodně zvolit kombinaci podmínek pro dosažení požadovaných vlastností řezné operace. V praktických operacích se vyskytují omezení, která potřebnou zkoušku trvanlivosti břitu definují jednoznačněji. Budeme-li při určování podoby zkoušek vycházet z praktických zkušeností dodavatelů nástrojů, kteří jsou v mnoha případech postaveni do situace, že na zvoleném stroji je třeba vyrobit daný kus, můžeme omezit podobu zkoušek trvanlivosti břitu pouze na správnou volbu nástroje (materiálu, geometrie, povlaku), řezných podmínek a řezného prostředí. I tak volba těchto charakteristik výrazně ovlivňuje, jakými mechanismy a jakou intenzitou se bude opotřebení břitu realizovat.

Zaměříme-li se na materiál nástroje z povlakovaného nebo nepovlakovaného slinutého karbidu, mohou se dle [1] vyskytnout tyto mechanismy opotřebení bříty: abraze (včetně vyštipování větších částí bříty), adheze, difuze a křehký lom. Dle [2] můžeme při vyšších teplotách očekávat ještě chemický otěr a plastickou deformaci bříty. Jednotlivé mechanismy opotřebení se přitom v závislosti velikosti teploty řezání navzájem prolínají - (viz obr.1).



Hlavním cílem provedených experimentů bylo stanovit podmínky zkoušek pro zachycení různých mechanismů opotřebení. Konkrétně bylo třeba specifikovat účinek změny řezných podmínek na chování nástroje z povlakovaného slinutého karbidu při obrábění ocelí se zhoršenou a špatnou obrobiteľností při různých režimech obrábění.

2 Experimentální část práce

Obr. 1: Typická závislost intenzity opotřebení bříty na teplotě řezání [2].

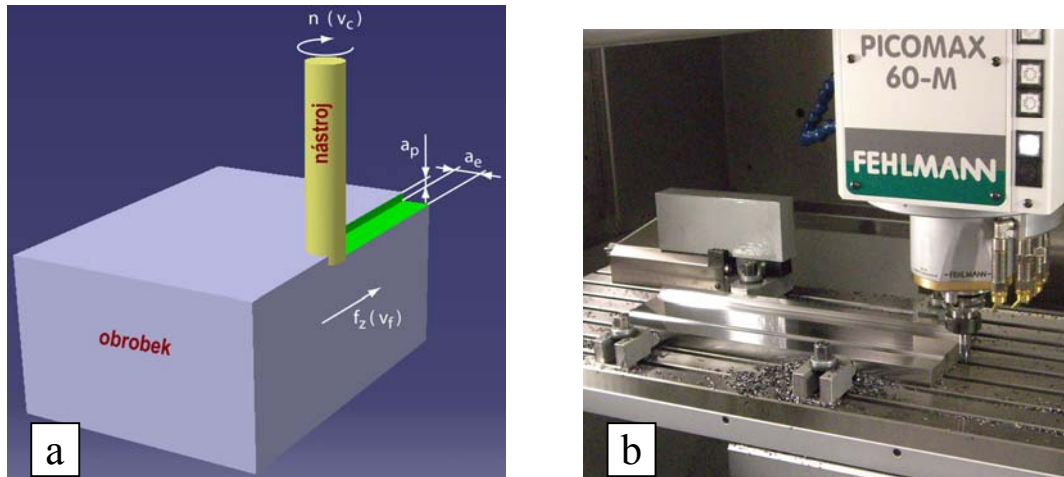
Zkoušky trvanlivosti bříty byly rozvrženy do dvou hlavních etap:

- **zkoušky při nízkých teplotách řezání** – suché obrábění nebo obrábění s intenzivním chlazením místa řezu při nízkých, resp. středních řezných rychlostech.
- **zkoušky při vysokých teplotách řezání** – obrábění bez chlazení při vysokých řezných rychlostech.

První část zkoušek trvanlivosti bříty byla realizována v podmínkách nižších teplot řezání. Pro navození podmínek nízké řezné teploty, byly připraveny dva různé přístupy pro volbu pracovních a řezných podmínek – a) obrábění nízkými řeznými rychlostmi, tj. na spodní hranici použití pro danou kombinaci řezného materiálu a materiálu obrobku; b) intenzivním chlazením místa řezu při středně velkých řezných rychlostech. Druhá zvolená metodika potom sledovala chování řezných nástrojů v podmínkách vysokých teplot řezání.

Experimenty byly provedeny při sousledném frézování polotovarů ČSN 17349, ČSN 17255, ČSN 19436, Hardox 400 a Hardox 500, a to na stroji Fehlmann Picomax 60-M (obr.2a, b). Řezné podmínky byly proměnné. Nástrojem byla stopková dvoubřitá monolitní fréza o průměru 10 mm vyrobená ze slinutého karbidu. Nástroj byl opatřen povlakem AlTiN v některé ze tří testovaných modifikací dle poměru Al:Ti – označováno dále jako povlak A, B nebo C. Nástroje použité pro zkoušky se lišily pouze v typu naneseného povlaku.

Opotřebení nástrojů bylo vyhodnocováno na hlavním hřbetě bříty prostřednictvím parametrů VB (střední rozměr plošky opotřebení na hřbetě) a VBmax (maximální rozměr plošky opotřebení na hřbetě), a to v souladu s [3].



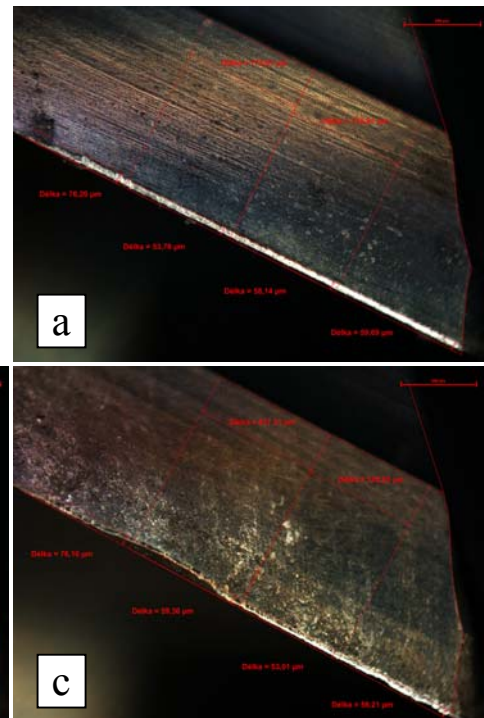
Obr. 2: (a) Podoba řezné operace; (b) reálná podoba experimentu.

3 Výs

Zkoušky opotřebení břítu při nízkých teplotách řezání

Pro realizaci zkoušek dle tohoto přístupu byla zvolena řezná rychlost $v_c=100$ m/min, posuv na zub (f_z) 0,04 mm a hloubky řezu – axiální (a_p) 3 mm, radiální (a_e) 7 mm.

Při nižších řezných rychlostech a při obrábění **bez chlazení** mělo být v opotřebení břitů řezných nástrojů patrné opotřebení výhradně vlivem adhezního a především abrazivního otěru. Z obr.3 a obr.4 je patrné, že při této rychlosti je působení abraze a adheze mezi materiálem nástroje (s povlakem A) a obrobkem velmi omezené pro všechny obráběné materiály i po 25 minutách obrábění. Pouze při obrábění

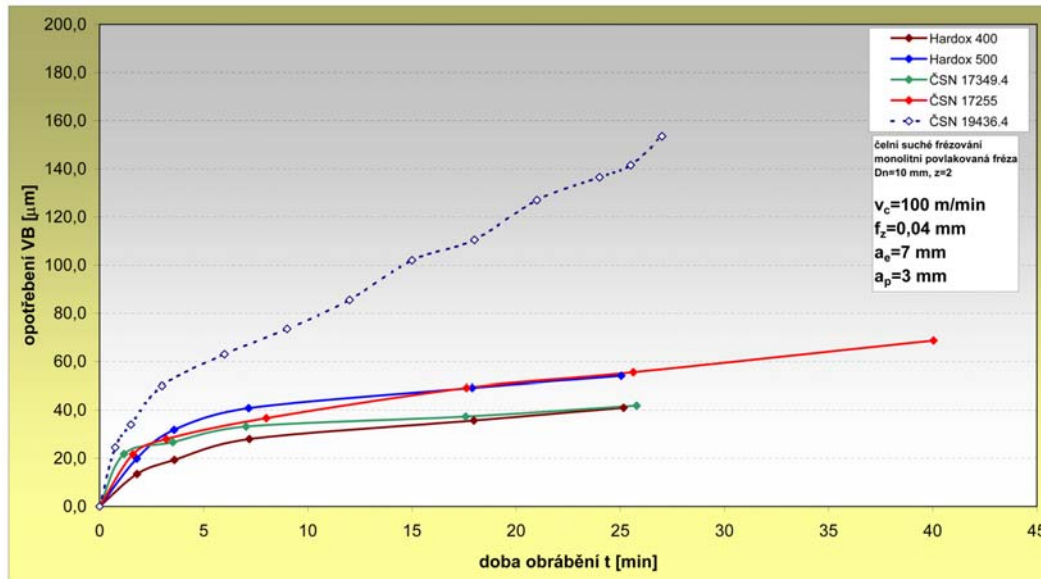


Obr. 3: Stav břítu nástrojů s povlakem A po 25 minutách obrábění pro: (a) Hardox 400; (b) ČSN 17349; (c) ČSN 17255.

($v_c=100$ m/min, $f_z=0,04$ mm, $a_p=3$ mm, $a_e=7$ mm; bez chlazení).

oceli ČSN 17255 docházelo k výraznějšímu

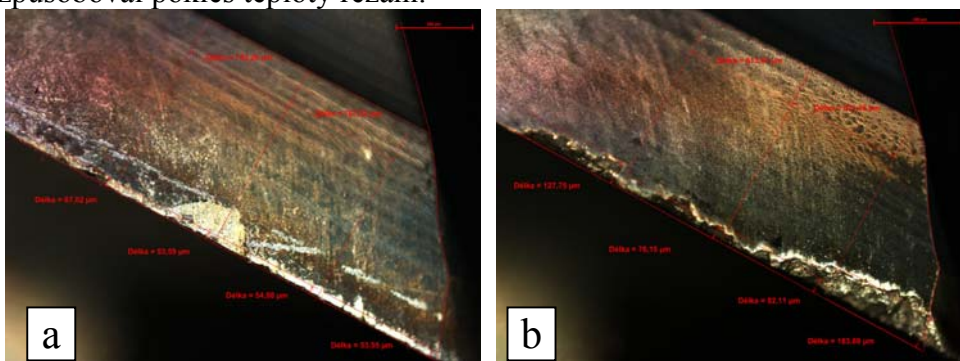
projevu abrazivního otěru v místě styku nástroje s obrobeným povrchem. To charakterizuje materiál se sklonem ke zpevňování povrchové vrstvy plochy řezu. Nízká intenzita opotřebení je patrná i z porovnání výsledků trvanlivosti břítu s etalonovým materiálem ČSN 19346 (kalený na 60 HRC). Intenzita abraze logicky rostla s rostoucí tvrdostí obráběného materiálu.

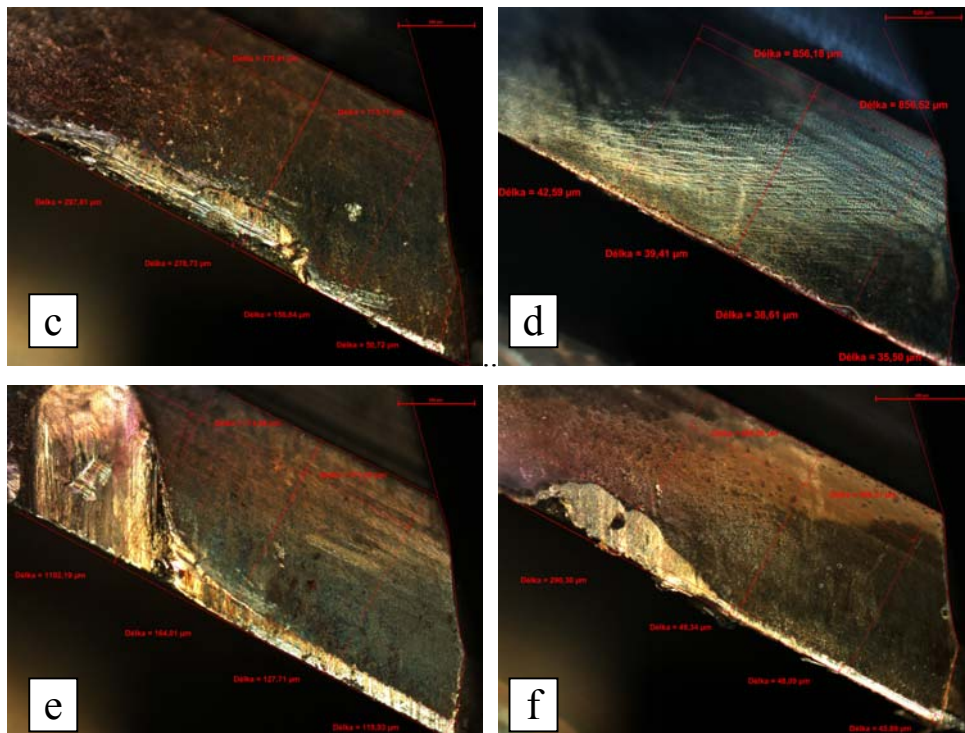


Obr. 4: Závislost opotřebení na hřebětě VB na době obrábění pro nízkou řeznou rychlost.

Část přístupu při vyhodnocování trvanlivosti břitu nástrojů při nízkých řezných rychlostech spočívala také ve snížení teploty řezání v důsledku intenzivního chlazení řezného procesu při středních řezných rychlostech ($v_c=180$ m/min). Podmínky byly identické s předchozím případem pouze s tím rozdílem, že důsledky zvýšené řezné rychlosti na zvýšení teploty řezání byly kompenzovány povodňovým chlazením místa řezu olejovou emulzí o koncentraci 5%. Obráběným materiálem zde byla ocel ČSN 17255. Testovány byly tři modifikace povlaků A, B a C.

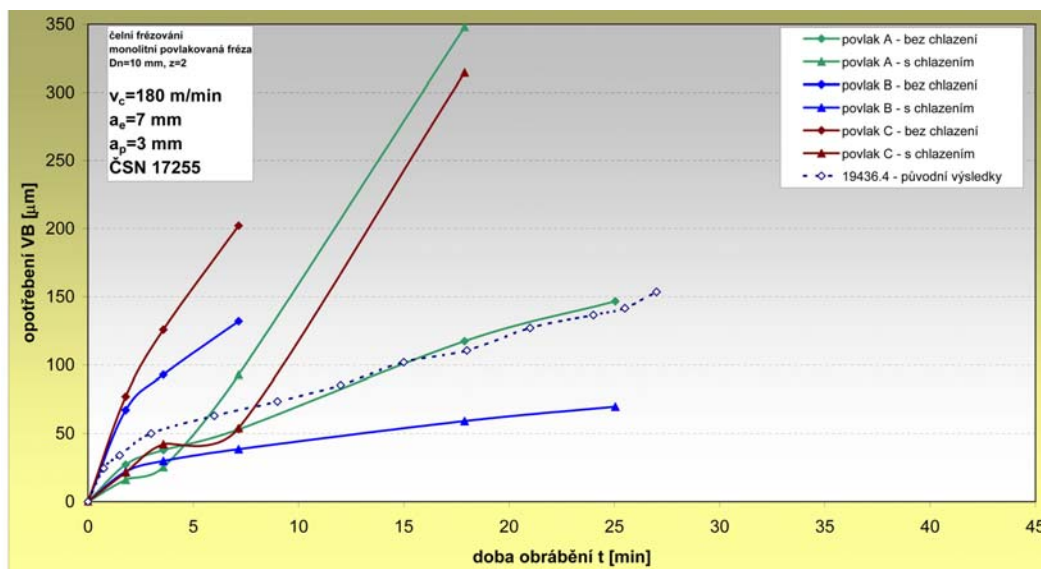
Z obr.5 je patrné porovnání vlivu snížení teploty řezu procesní kapalinou v porovnání se suchým obráběním za stejných podmínek. Při obrábění za poměrně těžkých zátěžových podmínek **bez chlazení** došlo pro povlak A zvýšením rychlosti na **180 m/min** k výraznému nárůstu intenzity opotřebení břitu oproti 100 m/min (obr.3, obr.5a, obr.6). Opotřebení břitů bylo u všech povlaků realizováno především abrazí a adhezí. Pro povlaky A a B bylo rovnoměrné opotřebení po celé délce kontaktu hřebetu břitu a obráběného materiálu, kdy byl pozitivní vliv povlaku na snížení opotřebení břitu zaznamenán především pro povlak A. V případě **chlazení řezného procesu** (snížení teploty řezání) však zde docházelo k vyštípování materiálu břitu v důsledku lokálního přetížení břitu nástroje. Poměr Ti:Al pro povlak B vedl při snížení teploty řezání k nízké intenzitě opotřebení. Docházelo sice také k vyštípování břitu, ovšem s výrazně menší intenzitou než pro povlak A. Povlak v modifikaci C dokázal ochránit břit nejméně, a to především v místě obrobeného povrchu předchozími operacemi. Při obrábění s chlazením se intenzita opotřebení v uvedeném místě výrazně snížila což jistě způsoboval pokles teploty řezání.





Obr. 5: Stav břítu nástrojů po 8 minutách obrábění materiálu ČSN 17255 s povlakem A po 25 minutách obrábění pro:

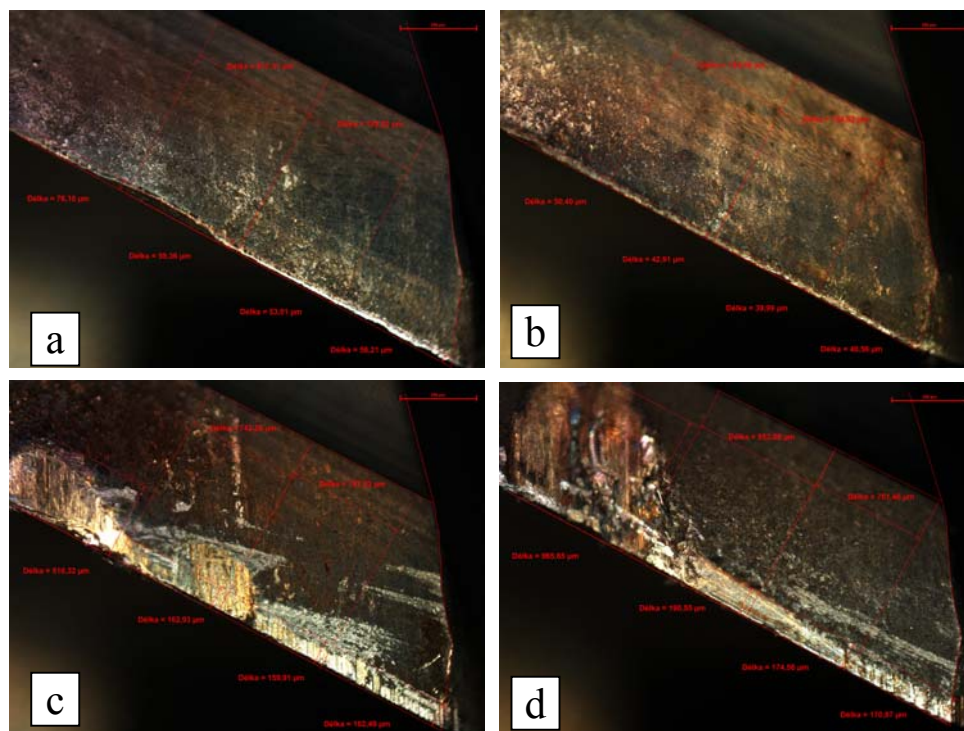
(a) povlak A bez chlazení; (b) povlak A s chlazením; (c) povlak B bez chlazení; (d) povlak B s chlazením; (e) povlak C bez chlazení; (f) povlak C s chlazením. ($v_c=180$ m/min, $f_z=0,04$ mm, $a_p=3$ mm, $a_e=7$ mm).



Obr. 6: Závislost opotřebení na hřbětě VB na době obrábění pro střední řeznou rychlost.

Působení teploty řezání na mechanismus opotřebení břítu je v detailu patrný z obr.7, který ukazuje stav břítu povlaku A po 25 minutách obrábění pro 100, 130, 180 a 250 m/min při obrábění bez chlazení. Do 130 m/min (při relativně nízkých teplotách) bylo sledováno opotřebení s velmi malou intenzitou především abazivního otěru. Adheze materiálu na povlaku a obnaženém nástrojovém materiálu se sice začala projevovat už při 130 m/min, ale naplno se projevila až při 180 m/min. Při 250 m/min se intenzivní opotřebení soustředilo především do míst v oblasti kontaktu břítu nástroje s obrobeným povrchem. Je to důsledek

obrábění zpevněné povrchové vrstvy při teplotách výrazně podporujících především opotřebení formou adheze obnaženého řezného materiálu.



Obr. 7: Stav břítu nástrojů s povlakem A po 25 minutách obrábění pro: (a) 100 m/min; (b) 130 m/min; (c) 180 m/min; (d) 250 m/min.

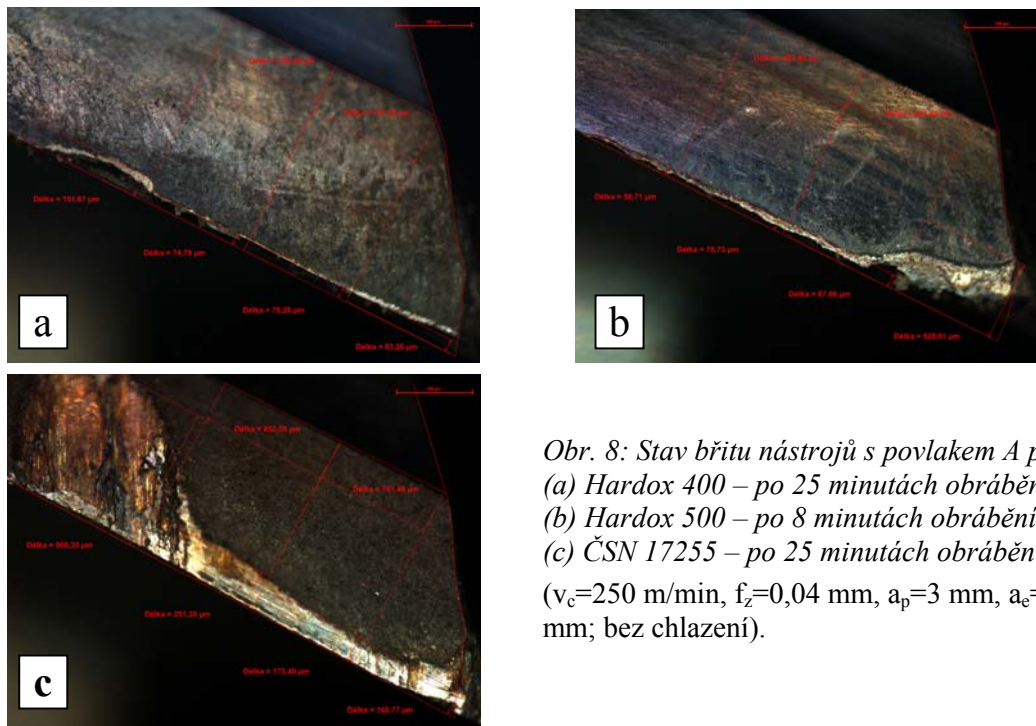
Chlazení místa řezu snížilo teplotu řezání, a zcela jednoznačně také adhezni obráběného materiálu k povlaku a řeznému materiálu. Chlazení místa řezu ale naopak vedlo k intenzivnější vyštipování a abrazivnímu otěru břítu. Záleželo proto pouze na konkrétním složení povlaku (poměru Ti:Al), zda vedlo snížení teploty řezání v konečném důsledku k zvýšení trvanlivosti břítu či naopak.

Zkoušky opotřebení břítu při vysokých teplotách

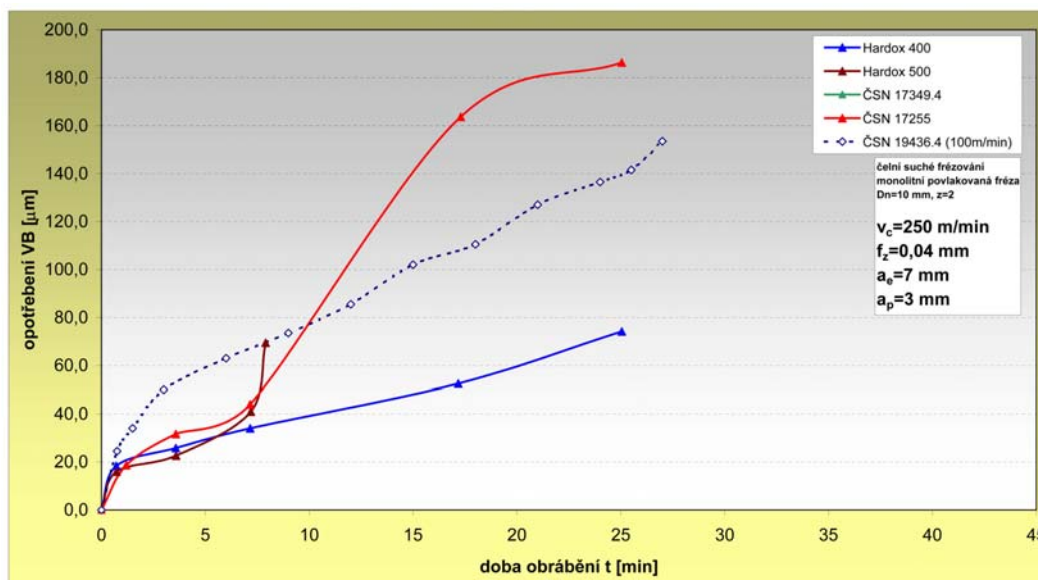
Druhým hlavním bodem zkoušek bylo navození podmínek vysokého tepelného zatížení břítu nástroje (obr.8). Pro frézování **bez chlazení** zde byla použita řezná rychlost $v_c=250$ m/min. Konstantní zůstaly další podmínky obrábění: $f_z=0,04$ mm, $a_p=3$ mm, $a_e=7$ mm.

Při uvedené řezné rychlosti byl vliv materiálu obrobku na opotřebení břítu mnohem výraznější než pro nízkou rychlost. V opotřebení břítu se projevil sklon materiálu ČSN 17255 k adhezii a zpevnění povrchové vrstvy plochy řezu (obr.8c).

Na rozdíl od opotřebení nástroje při obrábění tvrdých materiálů (ČSN 19436 – 60 HRC, Hardox 500 – cca 50 HRC) nebylo u ocelí s menší tvrdostí (pod 40 HRC) sledováno tak intenzivní opotřebení v místě špičky břítu výhradně vlivem jeho tepelně-mechanického přetěžování (obr.8b – po 8 minutách obrábění). U houževnatějších materiálů bylo při těžkých podmínkách obrábění dosahováno rozličných průběhů opotřebení nástrojů (obr.9), a to dle sklonu obráběného materiálu k adhezii a zpevnování.



Obr. 8: Stav břitu nástrojů s povlakem A pro:
(a) Hardox 400 – po 25 minutách obrábění;
(b) Hardox 500 – po 8 minutách obrábění;
(c) ČSN 17255 – po 25 minutách obrábění.
($v_c=250$ m/min, $f_z=0,04$ mm, $a_p=3$ mm, $a_e=7$ mm; bez chlazení).



Obr. 9: Závislost opotřebení na hřbětě VB na době obrábění pro vysokou řeznou rychlost.

4 Závěr

Pro výchozí podmínky zkoušek řezných vlastností povlaků byly s ohledem na omezující podmínky (stroj, nástroj, materiál obrobku) vybrány dva hlavní postupy rychlého testování trvanlivosti břitu – 1) při nízkých řezných rychlostech (v přirozeném i umělém prostředí); 2) testování při vysokých řezných rychlostech. Změna teploty řezání byla přitom ovlivňována řeznou rychlostí.

Hlavní výsledky testovaných povlaků na bázi AlTiN (s třemi různými poměry Al:Ti) ukázaly, že i pouhá změna poměru těchto prvků vede nejen k velmi odlišným intenzitám opotřebení břitu, ale také k různým mechanismům opotřebení. Nízká teplota řezání měla u testovaných kombinací obráběný materiál-povlak za následek především abrazivní opotřebení. Při postupném zvyšování teploty v místě řezu bylo zaznamenáno výrazné zvýšení

intenzity opotřebení adhezi materiálů nástroje a obrobku mezi řeznými rychlostmi 130 až 180 m/min, která do 250 m/min dále progresivně narůstala.

Podobný vliv má také obráběný materiál. Sklon materiálu k adhezi a zpevnění povrchové vrstvy vedl k výraznému opotřebení břitu především v místě jeho kontaktu s dřívě obrobeným povrchem. Nástroje při obrábění takových ocelí (jako je např. ČSN 17255) jsou však méně náchylné k opotřebení v oblasti špičky břitu, které bylo zaznamenáno při obrábění materiálů s tvrdostí od 50 HRC (ČSN 19346, Hardox 500). Obrábění materiálů s menší tvrdostí a s menšími sklony k adhezi a zpevnění povrchové vrstvy (ČSN 17349, Hardox 400) naopak vedlo k minimálnímu opotřebení břitů nástrojů u všech modifikací povlaků i při velkých zatíženích břitů.

Bylo zjištěno, že procesní kapalina omezila adhezi materiálu k povlaku a obnaženému substrátu, vedla ovšem k intenzivnějšímu vyštipování břitu. Přesto u dvou ze tří testovaných povlaků byla procesní kapalinou trvanlivost břitu prodloužena.

5 Literatura

- [1] ARMAREGO, E.J.A.; BROWN, R.H. The machining of metals. Prentice-Hall, New Jersey, 1969. 437s..
- [2] MÁDL, J. *Teorie obrábění*, Praha : ČVUT, 1989. 156 s. Fakulta strojní.
- [3] ČSN ISO 8688-2: Testovanie trvanlivosti pri frézovaní, Časť 2: Čelné frézovanie, 1993.

