INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Název projektu: **Automatizace výrobních procesů ve strojírenství a řemeslech**
Registrační číslo: **CZ.1.07/1.1.30/01.0038**
Příjemce: **SPŠ strojnická a SOŠ profesora Švejcara Plzeň, Klatovská 10**

Monitorovací indikátor: **06.43.10 Počet nově vytvořených/inovovaných produktů**

Akce: **Přednáška, KA 5** Číslo přednášky: **3**
Téma: **APLIKACE TENKÝCH VRSTEV NA OBRÁBĚCÍCH NÁSTROJÍCH**
Lektor: **Ing. Jiří Hodač**
Třída/y: **3 ME, 3 ST, 3 MSA, a 3 ZK**
Datum konání: **17. 5. 2012**
Místo konání: **sborovna školy**
Čas: **2. a 3. vyučovací hodina (8.55-10.35)**

Anotace

The present paper provides an analysis of causes of short life of blades with thin films used for shearing rubber composites with woven reinforcing material. It gives a detailed description of thin films used on the blades in routine applications. The paper seeks solutions and suggests appropriate thermochemical treatment, protective coatings and suitable blade geometry.

Úvod

Článek se věnuje řešení problému, který se objevil v praxi v průmyslovém podniku. Problémem je velmi nízká životnost nožů z nástrojové oceli, které dělí pryžový kompozit zpevněný výpletem. O původu nožů nejsou dostupné bližší informace. O jejich výrobě, ani o materiálu ze kterého jsou zhotoveny. Analýzami jsou hledána silná a slabá místa nožů již v praxi použitých. Článek navrhuje možná zlepšení užitných vlastností nožů pomocí povrchových úprav a změny geometrie nožů.

Obrobek

Obrobkem děleným sledovanými noži jsou pryžové hadice pro vedení vysokotlakých kapalin. Pro lepší odolnost proti vnitřnímu přetlaku a udržení tvarové stability jsou hadice vybaveny vyztužujícím výpletem. Základní hmotou vyráběných hadic je syntetická pryž EPDM (Ethylene Propylene Diene Monomer rubber = Etylen-propylen-dien kaučuk) [1][2]

Analyzované nože z provozu

Všechny analýzy probíhaly na 3 nožích broušených a opatřených ochrannými PVD vrstvami z obou stran. Jedná se o různé nože, které byly používány v praxi pro dělení pryžových hadic s výztuží a byly z výroby vyřazeny pro vysoký stupeň opotřebení. Nože byly pracovně označeny písmeny „K“, „P“ a „V“. Viz. obr. 1, 2 a 3.

Tento projekt je spolufinancován Evropskou unií a státním rozpočtem České republiky

Obr. 1 a 2– Vlevo vzorek „K“ – Nůž s rovným ostřím a kombinovanou ochrannou vrstvou TiN a DLC. Vpravo vzorek „P“ – Nůž s obloukovitým ostří a deponovanou vrstvou DLC.

Obr. 3 – Vzorek „V“ – Nůž s obloukovitým ostří a deponovanou vrstvou TiN.

Všechny zkoumané nože jsou vyrobeny z oceli DIN 17350 (č. 1.3343), dle původní české normy se jedná o ocel 19830, tj. molybden-wolframová rychlořezná nástrojová ocel se sorbitickou strukturou, kde se vyskutují vedle karbidů oblasti se zbytkovým austenitem. [3]

Řezné podmínky a prostředí

Zkoumané nástroje jsou používány pro dělení souvislého pásu gumové hadice s výztuží. Konkrétně se jedná o dělení – rotační sekání. Při práci je nůž chlazen a mazán vodou přiváděnou do oblasti řezu. Vzniká zde korozní prostředí, kterému je nůž neustále vystaven. Proti korozi je nůž chráněn PVD vrstvou, která chrání pouze boky nože. Je to důsledek častého přebrušování nože, při kterém dochází k úplnému odstranění „ochranné povrchové vrstvy“ z břitu nástroje.

Tento projekt je spolufinancován Evropskou unií a státním rozpočtem České republiky

Povrchové úpravy nožů

Veškerá interakce a z ní vyplývající procesy mezi nástrojem a obrobkem probíhá prostřednictvím povrchů. Proto je obecně kladen velký důraz na jakost povrchů případně jejich dodatečné zkvalitnění pomocí chemicko-tepelného zpracování, mechanického zpracování a depozic tenkých vrstev. Povrchové úpravy nástrojů se používají pro zvýšení životnosti nástrojů či dílčí zlepšení jejich vlastností.

V současné době se na nástrojích používají nejčastěji nadeponované vrstvy metodou CVD, PVD popř. jejich variantami. Zkoumané vrstvy byly vytvořeny pomocí metody PVD (bližší specifikace technologie nebyla uživatelem sdělena).

Zkoumané vrstvy na nožích

DLC (Diamond Like Carbon = diamantu podobný uhlík) je vrstva, která svými sp3 vazbami a z toho vyplývajícími vlastnostmi připomíná přírodní diamant. Je vysoce tvrdá s výbornými kluznými vlastnostmi. Je charakteristická svojí černou barvou. Její tepelná odolnost se pohybuje do 350°C.

TiN (titan nitridová vrstva) je tvrdá, biokompatibilní a vysoce korozně odolná vrstva. Její tepelná odolnost je do 600°C, má však až čtyřnásobný součinitel tření v porovnání s DLC vrstvou. Má typickou zlatou barvu.[4]

Měření kalotest

Metoda kalotest se používá převážně pro zjišťování tlouštěk tenkých povrchových vrstev. Průměrná hodnota provedených měření je uvedena v tab. 1.

Nůž	Průměrná tloušťka vrstvy (µm)	Rozdíl v opotřebení stran (µm)	Průměrná tloušťka vrstvy (µm)	Směrodatná odchylka (µm)
„K“	1,8	0,38	1,80	0,25
„V“	0,38	0,27	0,37	0,13
„P“	1,35	0,36	1,30	0,29

Tab. 1 – Tabulka naměřených hodnot kalotestu

Tento projekt je spolufinancován Evropskou unií a státním rozpočtem České republiky

Měření drsnosti povrchu

Drsnost povrchu nástrojů má velký význam pro přilnavost deponovaných vrstev. Také je ukazatelem vnesené deformace po obrábění a v neposlední řadě ovlivňuje třecí vlastnosti soustavy nůž – obrobek.

Drsnost byla měřena na všech nožích pomocí bezdotykové metody měření na konfokálním mikroskopu a vypočtena příslušným softwarem.

Nůž	SRa
„K“	1,29
„V“	0,76
„P“	0,83

Tab. 2 – Průměrná plošná drsnost byla vypočtená z 5 měření na různých místech povrchu.

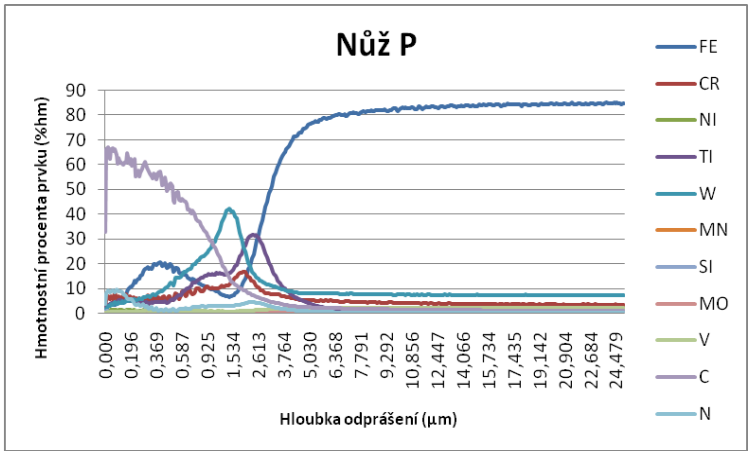
Z naměřených hodnot jednoznačně vyplývá, že největší drsnost povrchu je u nože „K“. K takto vysoké drsnosti pravděpodobně přispělo odlupování části DLC vrstvy, které se viditelně projevovalo pouze u tohoto nože.

Relativně vysoká drsnost povrchu všech nožů může mít negativní vliv na životnost ochranných vrstev, umožňuje ulpívání pryže v nerovnostech a snazší start korozních a lomových procesů.

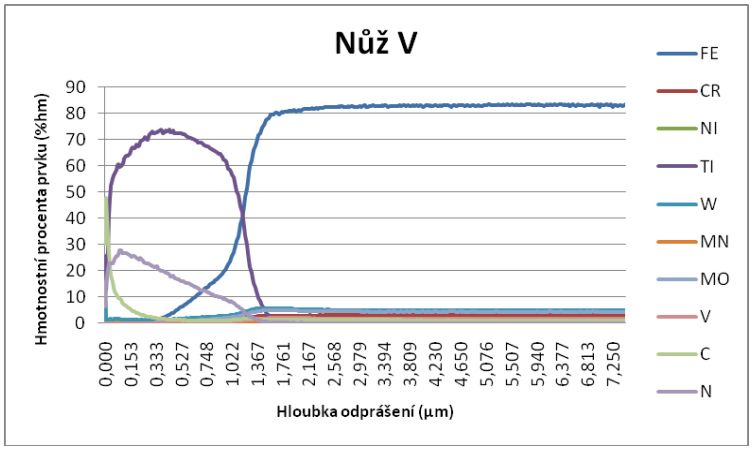
Analýza GD-OES

GD-OES (Glow Discharge Optical Emission Spectroscopy = doutnavým výbojem buzená optická emisní spektroskopie). Slouží ke kvalitativnímu a kvantitativnímu stanovení chemického složení kovových i nekovových prvků v pevných vodivých vzorcích. Koncentrační profily jednotlivých nožů viz. graf 1, 2 a 3.

Tento projekt je spolufinancován Evropskou unií a státním rozpočtem České republiky

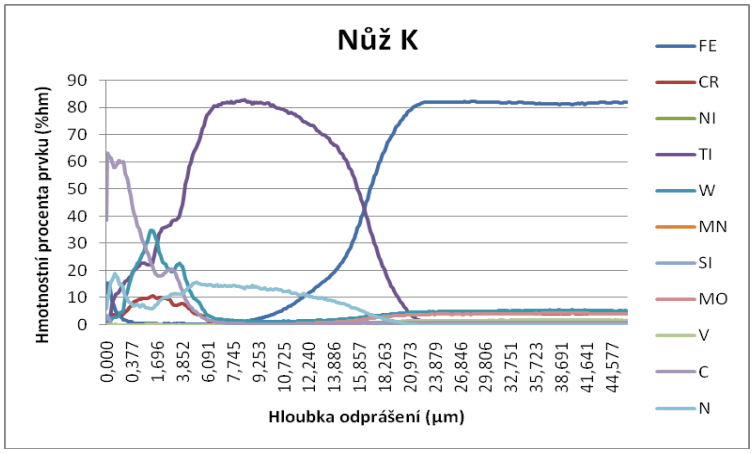


Graf 1 - Z koncentračního profilu je patrná nadeponovaná povrchová vrstva na bázi uhlíku (pravděpodobněse jedná o vrstvu DLC) pojená mezivrstvou W-Ti-Cr na ocelovou matrici.



Graf 2 - Z koncentračního profilu je patrná Vrstva Ti-N na substrátu z oceli. Zvýšené množství uhlíku na povrchu je pravděpodobně způsobeno přítomností zbytků po rotačním sekání pryžového kompozitu.

Tento projekt je spolufinancován Evropskou unií a státním rozpočtem České republiky



Graf 3 – Z koncentračního profilu lze usuzovat na vrstvu DLC na povrchu, pod ní se nachází tenká přechodová vrstva W-Ti-Cr a silnější vrstva TiN na substrátu.

Chemické složení vrstev deponovaných na nožích				
Nůž	Matrice	1. vrstva	2. vrstva	3. vrstva
„K“	DIN S 6-5-2	DLC	W-Ti-Cr-Co	TiN
„V“	DIN S 6-5-2	TiN	-	-
„P“	DIN S 6-5-2	DLC	W-Ti-Cr-Co	-

Tab. 3 – Výsledky měření chemického složení povrchových vrstev na nožích.

Nůž „K“ a „P“ mají atypickou mezivrstvu složenou ze širokého spektra prvků včetně kobaltu. Jelikož se kobalt v těchto vrstvách vůbec neužívá, lze předpokládat, že se jedná o znečištění vzniklé při předdepozičním iontovém bombardu nástrojů ze slinutých karbidů, se kterými byly zřejmě nože hromadně deponovány.

Měření metodou „PIN-on-DISC“

Tribologické měření bylo provedeno ve všech případech bez tzv. „ofuku“ a bez přítomnosti mazadel a je rozděleno do tří částí. První se zabývalo zjištěním důsledků vzájemného třecího kontaktu různých materiálů a povrchu nože. Byly vybrány 3 různé materiály pro „PIN“ tělísko. „PIN“ tělískem byla kulička z PVC (alternativa k pryži z provozu), oceli DIN 100Cr6 a karbidu wolframu (WC). Z důvodu zcela rozdílných

Tento projekt je spolufinancován Evropskou unií a státním rozpočtem České republiky

vlastností „PIN“ tělísek byly i počty cyklů při vytváření tribologické stopy rozdílné. Zátěž „PIN“ tělíska byla zvolena 9,8N.

Druhé měření bylo zaměřeno na zjištění odolnosti jednotlivých ochranných vrstev. Pro měření bylo zvoleno odolné„PIN“ tělísko z kuličky karbidu wolframu (WC) a zátěž „PIN“ tělíska byla navýšena na 24,5N a počet cyklů na 30 000 pro zvýraznění důsledků opotřebení.

Třetí měření mělo za účel zjistit, zda dojde ke zhoršení vlastností vrstev v důsledku vystavení koroznímu prostředí. Nože byly před tímto testem vystaveny po 6 dní koroznímu prostředí vodních par. Parametry měření zůstaly stejné jako v předchozím měření.

Nůž	Materiál kuličky	Zátěž (N)	Počet cyklů	Šířka drážky (µm)	Obroušení kuličky (průměr v µm)
„K“	WC	9,8	20000	390	368
	DIN 100 Cr 6	9,8	1000	x	610
	PVC	9,8	100	x	1900
„V“	WC	9,8	20000	439	458
	DIN 100 Cr 6	9,8	1000	485	544
	PVC	9,8	100	x	2036
„P“	WC	9,8	20000	121	396
	DIN 100 Cr 6	9,8	1000	95	554
	PVC	9,8	100	x	1966

Tab. 4 - Tabulka parametrů a hodnot z prvního měření. Šířka stopy označená „x“ je na místech, kde se nepodařilo stopu spolehlivě najít nebo měla příliš nerovnoměrný charakter.

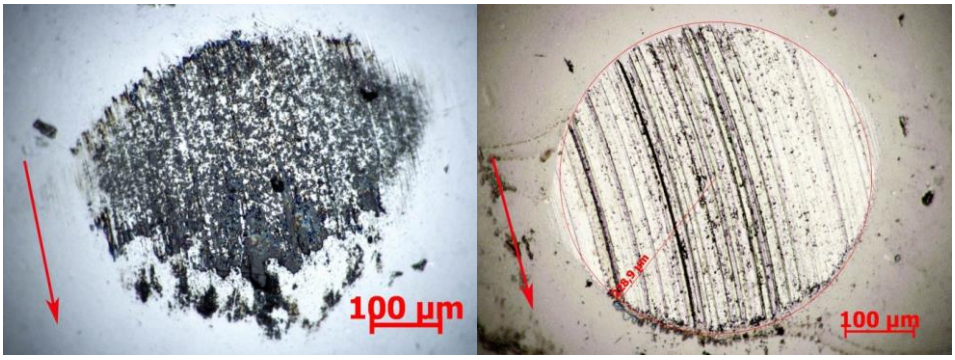
První měření prokázalo, že tření polymeru o povrch nevytváří měřitelnou stopu. Dochází k opotřebení „PIN“ tělíska a jeho „rozmazávání“ po povrchu nože. Vrstvy výborně odolávaly i „PIN“ tělísku z oceli DIN 100Cr6. Vytvořená stopa, byla pravděpodobně tvořena zbytky „PIN“ tělíska nikoli destrukcí vrstvy. „PIN“ z WC vytvořil zřetelnou pravidelnou stopu s patrným poškozením vrstvy.

Nůž	Materiál kuličky	Zátěž (N)	Počet cyklů	Šířka drážky (µm)	Obroušení kuličky (průměr v µm)
K	WC	24,5	30000	164	458

	WC+koroze	24,5	30000	264	529
V	WC	24,5	30000	553	618
	WC+koroze	24,5	30000	609	661
P	WC	24,5	30000	146	436
	WC+koroze	24,5	30000	210	417

Tab. 5 - Tabulka parametrů a hodnot druhého a třetího měření. Hodnoty šířky drážky jasně ukazují zhoršení odolnosti vrstvy proti opotřebení způsobeného zatlačovaným „PIN“ tělískem v korozním prostředí.

Měření opotřebení kuličky jasně ukázalo odlišný charakter chování vrstev při styku s “PIN“ tělískem. DLC vrstvy vytvářely na povrchu „PIN“ tělíska eliptické opotřebení, zatímco TiN vrstva vytvářela téměř dokonalé kruhovité opotřebení. Viz. Obr. 4 a 5. Tento rozdíl je pravděpodobně dán profilem vznikající stopy. Zatímco DLC vrstva se vytlačuje do stran a opisuje tak tvar kuličky, TiN vrstva se rovnoměrně opotřebovává a profil drážky má rýhované ale „ploché“ dno, viz. obr. 6 až 7.



Obr. 4 a 5 - Vlevo obrázek typického opotřebení eliptického tvaru z prvního měření WC kulička po kontaktu s nožem „K“ (vrstva DLC). Vpravo téměř dokonale kruhovité obroušení kuličky z WC po kontaktu s nožem „V“ (vrstva TiN) také z prvního měření. Šipka vyznačuje směr pohybu kuličky po povrchu nože.

U dvou ze tří měření je větší opotřebení „PIN“ tělíska na korodovaných vzorcích. Pravděpodobně vznikající oxidy vytváří silnější abrazivní opotřebení. Měření potvrdilo vyšší

Tento projekt je spolufinancován Evropskou unií a státním rozpočtem České republiky

odolnost DLC vrstev proti otěru, zatímco vrstva TiN vykázala nejmenší zhoršení vlastností v korozním prostředí oproti nekoroznímu.

Měření profilu drážek

U druhého a třetího měření bylo zařazeno proměření vzniklých tribologických stop na konfokálním mikroskopu. Sledován byl charakter opotřebení a hloubka průniku „PIN“ tělíska či způsobené deformace.

Obr. 6 a 7 – Profily drážek vytvořených „PIN“ tělískem ve zkoumaných vrstvách. Nahoře zvrásnění povrchu na noži „V“ s vrstvou TiN, dole miskovitý tvar drážky na noži „K“ s vrstvou DLC.

Nůž	„K“-normální	„K“-korodovaný	„P“-normální	„P“-korodovaný	„V“-normální	„V“-korodovaný
Hloubka drážky (µm)	10,7	11,0	12,3	12,7	17,3	14,7

Tab. 6 – Tabulka naměřených hodnot hloubky tribologické stopy vytvořené v ochranných povlacích nožů.

Z prvního měření jasně vyplynulo, že „PIN“ tělísko z PVC a oceli DIN 100Cr6 se silně opotřebovávalo, zatímco vrstva zůstala nepoškozená. Zejména pak PVC tělísko se

Tento projekt je spolufinancován Evropskou unií a státním rozpočtem České republiky

„rozmazávalo“ po povrchu nože a jeho zbytky vyplňovaly všechny dutiny a ulpívaly na nerovnostech povrchu. PVC je stejně jako pryž materiál s dlouhými polymerními řetězci a lze proto předpokládat, že „PIN“ tělísko z PVC mělo na vrstvu stejný vliv jako v praxi obráběná pryž.

Z druhého a třetího měření je patrné mírné zhoršování odolnosti ochranných vrstev v korozním prostředí. U nože „V“ v normálním stavu byla naměřena větší hloubka drážky po „PIN“ tělísku než u korodovaného vzorku. Ovšem hodnota hloubky drážky v normálním stavu byla zvýšena o atypickou rýhu uprostřed drážky. Profily vytvořených drážek se navzájem lišily, zejména svým charakterem, což odpovídá rozdílným povrchovým systémům.

Celkově lze konstatovat, že nože s DLC vrstvami lépe odolávaly tvrdému „PIN“ tělísku díky vysoké tvrdosti a výborným kluzným vlastnostem. Zatímco u vrstvy TiN na noži „V“ bylo změřeno menší zhoršení odolnosti vrstvy v korozním prostředí a je tedy vhodnější pro korozní prostředí.

Zhodnocení výsledků provedených měření

Na zkoumaných nožích byla naměřena vysoká drsnost povrchu, která vede k ulpívání pryže a zhoršení frikčních vlastností povrchu nože. U obou DLC vrstev byla zjištěna přítomnost mezivrstvy složené z mnoha prvků včetně kobaltu, což je považováno za chybu snižující životnost vrstev. U tribologických měření byla zjištěna větší odolnost DLC vrstev, přesto je pravděpodobné, že vrstva TiN bude v provozu vzhledem ke koroznímu prostředí a měkkému obrobku vykazovat delší životnost.

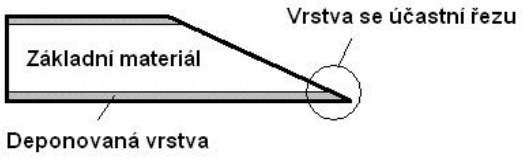
Doporučení pro provozovatele nožů

Geometrie nožů

Nože používané v provozu byly pravidelně přebrušovány z obou stran, což mělo za důsledek jen částečné využití kladných vlastností deponovaných vrstev.

Pro správnou funkci nožů a smysluplnosti deponovaných vrstev je doporučeno brousit nože vždy jen z jedné strany. Důvodem je využití výborných vlastností deponovaných vrstev a jejich přítomnost na samotném ostří nože.

Tento projekt je spolufinancován Evropskou unií a státním rozpočtem České republiky



Obr. 8 – Schématický obrázek výhodnosti jednostranného broušení ostří

Úpravy povrchu

Nože určené pro řezání pryže se nacházejí v korozním prostředí a nejsou vystaveny výraznějšímu abrazivnímu opotřebení. Hlavní úlohou deponovaných vrstev je tedy ochrana proti korozi, zvýšení meze únavy a snížení tření a nalepování při kontaktu s pryží.

Pro tento účel byla doporučena duplexní vrstva nitrid-chromnitrid. Tato vrstva je propojena s matricí pronikajícími nitridy, které zvyšují adhezi vrstvy k matrici. Nitridy zvyšují tvrdost povrchové vrstvy nože a zároveň zvyšují její korozivzdornost a mez únavy. Chromnitridová vrstva je výhodná také pro její dobré třecí vlastnosti vzhledem k pryži.

Alternativou může být samotné nitridování, které zlepší dílčí vlastnosti, avšak nezajistí noži tak kvalitní korozní ochranu. Hlavním přínosem nitridované vrstvy je zvýšení tvrdosti, otěruvzdornosti, meze únavy, korozivzdornosti a snížení třecího koeficientu. [5]

Literatura:

[1] FRANTA, I. A KOL.: *Gumárenská technologie I − Gumárenské suroviny*, SNTL, Praha, 1979

[2] SUBSTECH: *EPDM* [online], <http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=elastomer_ethylene-propylene_epdm>, cit. dne 1.5.2011

[3] FREMUNT P., KREJČÍK J., PODRÁBSKÝ T., *Nástrojové oceli*, 1994

[4] LISS: *Typy povlaků* [online], <http://www.liss.cz/?page=products&i=kopz2i380m8jhuf5uz906xd5lhqkmfwf>, cit. dne 5.2.2011

[5] JURČI PETR, Metal 2009: Chemicko-tepelné zpracování ledeburitických nástrojových ocelí pro práci za studena [online], <http://www.metal2011.com/data/metal2009/sbornik/Lists/Papers/048.pdf>, cit. dne 6.2.2011 ,ČVUT, Praha, 2009