VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Odbor obrábění

Ing. Leoš BUMBÁLEK, PhD.

VLIV STRUKTURY OPRACOVANÉ PLOCHY NA TŘENÍ A OPOTŘEBENÍ KERAMICKÝCH MATERIÁLŮ NANESENÝCH ŽÁROVÝM NÁSTŘIKEM

STRUCTURE INFLUANCE OF MACHINED SURFACE ON FRICTION AND WEAR OF CERAMIC MATERIALS APPLIED BY THERMAL SPRAYING

TEZE HABILITAČNÍ PRÁCE

Brno 2002

KLÍČOVÁ SLOVA

keramické materiály, tření, opotřebení, žárový nástřik, drsnost povrchu

KEY WORDS

ceramic materials, friction, wear, thermal spraying, surface roughness

Práce je uložena:

Vysoké učení technické v Brně
Fakulta strojního inženýrství
Technická 2
616 69 Brno

© 2002 L. Bumbálek
ISBN 80-214-2121-5
ISSN 1213-418X

O B S A H

Představení autora 4

1 ÚVOD 5

2 ZAMĚŘENÍ A CÍL PRÁCE 5

3 MECHANIZMUS TŘENÍ A OPOTŘEBENÍ 7

4 VLASTNOSTI POVRCHOVÉ VRSTVY A JEJICH VZTAH K OPOTŘEBENÍ 8

5 VÝZNAM JAKOSTI POVRCHOVÉ VRSTVY 11

6 KERAMICKÉ MATERIÁLY 12

7 EXPERIMENT A VYHODNOCENÍ 14

7.1 TŘECÍ ZKOUŠKY KERAMICKÝCH NÁSTŘIKŮ 15

7.2 SOUČINITEL TŘENÍ 16

8 ZÁVĚR 17

LITERATURA 19

ABSTRACT 21

PŘEDSTAVENÍ AUTORA

Ing. Leoš Bumbálek, PhD., přednáší a pracuje jako odborný asistent odboru řízení jakosti a metrologie na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě strojního inženýrství, Ústavu strojírenské technologie.

Narodil se 2. 8. 1952 v Brně. V roce 1970 byl přijat na Fakultu strojní VUT v Brně. Po absolvování pětiletého studia v roce 1975 úspěšně složil státní závěrečnou zkoušku a obhájil diplomovou práci na téma „Rozbor vlivu velikosti kriteria opotřebení pro stanovení součinitele obrobitelnosti strojírenských materiálů“.

Po ukončení studia nastoupil do n. p. TOS Kuřim do vývoje a výzkumu technologie. V roce 1981 nastoupil zaměstnání v Ústavu racionalizace při GŘ Zbrojovka, kde pracoval v odboru racionalizace práce a podílel se na tvorbě a zpracování celostátních norem a normativů pro strojírenskou praxi.

V roce 1984 přešel na funkci vedoucího pracovníka pro ekonomiku a normování práce v ekonomickém úseku GŘ Agrozet Brno. V průběhu této praxe byl autorem celé řady výzkumných zpráv v oblasti technologie (TOS Kuřim), řešitelem a spoluřešitelem celostátních norem a normativů v oblasti strojírenské výroby – CNN Brusky vodorovné BPH, CNN Technická kontrola, CNN Vrtání, CNN NC frézky (GŘ Zbrojovka). Dále absolvoval řadu kurzů dalšího zvyšování kvalifikace – kurz Vybavení NC strojů nářadím, kurz normování práce apod. V průběhu zaměstnání v n. p. TOS Kuřim externě vyučoval předmět Strojírenská technologie na katedře obrábění Fakulty strojní VUT v Brně.

V roce 1990 byl na základě konkurzního řízení přijat na místo odborného asistenta na Ústav strojírenské technologie FS VUT v Brně. V průběhu zaměstnání na fakultě vyučoval řadu předmětů: strojírenská technologie, speciální technologie obrábění, speciální technologie výroby, strojírenská metrologie, jakost a metrologie, ročníkový projekt, technologie obrábění, spolehlivost strojírenské výroby.

V letech 1993 až 1999 absolvoval externí doktorské studium na Ústavu strojírenské technologie. V roce 1998 složil státní doktorskou zkoušku a v roce 1999 obhájil disertační práci na téma „Vytváření nového povrchu a jeho význam pro funkční vlastnosti součástí vyrobených z ocelí a titanových slitin“. V rámci doktorského studia v roce 1994 absolvoval stáž ve Velké Británii na Technické univerzitě v Loughborough.

V rámci pedagogické činnosti je členem komise pro obhajoby diplomových prací a státní závěrečné zkoušky na Ústavu strojírenské technologie. Je vedoucím diplomových prací studentů specializace strojírenská technologie a strojírenská metrologie.

V oblasti vědecké činnosti je zaměřen na hodnocení struktury povrchu a na hodnocení zbytkových napětí v povrchové vrstvě po dokončovacích operacích. Je autorem nebo spoluautorem řady článků jak na národním (8), tak i na mezinárodním (9) fóru, na vědeckých konferencích a seminářích (celkem 34 výzkumných prací). Podílel se na tvorbě video programů v oblasti strojírenské metrologie. V současné době je řešitelem grantů GA ČR 101/02/0802 a 101/02/0770, dále je spoluřešitelem Výzkumného záměru CZ MSM 262100003.

1 ÚVOD

Keramické materiály se staly velmi důležitými v moderní průmyslové technologii. Trvale roste počet součástí, které jsou vyrobeny z těchto nových materiálů, a to z důvodů jejich vlastností, jako je vysoká odolnost proti opotřebení, vysoká pevnost při zvýšených teplotách, vysoká tvrdost apod. V případě přesných součástí se i u keramických materiálů soustřeďuje pozornost na dosahování vysoké jakosti. Mezi dokončovacími operacemi se nejvíce uplatňuje broušení, a to diamantovými brousicími kotouči.

Řada prací z tohoto oboru bývá zaměřena na hodnocení parametrů obrábění, ale stále chybí dostatek informací o interakcích keramického materiálu a materiálu brusiva, které výrazně ovlivňují povrchovou vrstvu obrobku.

Vlastnosti keramických materiálů se od sebe výrazně liší. To klade značné nároky na technologii, která musí mít k dispozici dostatek podkladů o těchto materiálech i o možnostech jejich opracování. Je proto velmi účelné shromažďovat podklady, ze kterých je možné čerpat potřebné informace pro sestavování postupů pro opracování a dokončování keramických materiálů a pro zabezpečení požadované jakosti funkčních ploch.

V řadě technických odvětví se keramické materiály využívají jako materiály třecí. To proto, že splňují náročné požadavky na některé třecí uzly, jako je např. vyšší měrný tlak, delší životnost, provoz bez mazání nebo vyšší pracovní teploty.

Aplikace nových třecích keramických materiálů slinovaných nebo nanášených žárovým nástřikem patří do oblasti označované jako moderní pokroková technologie. Tato technologie představuje totiž klíč k řešení problémů, které vycházejí ze zavádění nových výrobků a zařízení, jež často musí pracovat v extrémních podmínkách zatěžování.

Technologický pokrok se potom projeví v tom, že nedochází ke zpoždění při zavádění nových materiálů a metod a také v tom, že se rozšiřují poznatky získané základním výzkumem. Odborný zájem je proto soustředěn na zjišťování vztahu mezi vlastnostmi dokončeného povrchu a třecími charakteristikami, jako je opotřebení, součinitel tření, odolnost proti korozi apod. Na tyto práce musí navazovat zpracování optimalizačních podmínek, za kterých je vytvářen nový povrch tak, aby splňoval všechny funkční požadavky, pro které je určen.

2 ZAMĚŘENÍ A CÍL PRÁCE

V technické praxi je možné najít řadu příkladů, kdy na zařízeních dochází ke styku dvou ploch součástí, které přitom vykonávají vzájemný pohyb. Tento pohyb je definován kinematikou těchto součástí a může být přímočarý, rotační nebo kombinovaný. Problematikou vzájemných styků dvou pohybujících se ploch s ohledem na tření a opotřebení se zabývá vědní obor ***tribologie***, který sleduje, jak se budou tyto plochy chovat při tomto relativním pohybu.

Při řešení vztahů dvou pohybujících se ploch je nutné vzít v úvahu nejen podmínky zatížení takové dvojice, ale i vlastnosti třecích ploch, jejich jakost a jak se budou vlastnosti těchto ploch vzájemně ovlivňovat. Přitom je ale nutné tyto plochy posuzovat společně a ne odděleně. Vycházet se proto musí z fyzikálních a mechanických vlastností třecích ploch, z jejich chemické reaktivity

s prostředím a pochopitelně i z jakosti těchto ploch, tzn. z jejich rozměrové, tvarové přesnosti a struktury povrchu.

Otázkám vlivu jakosti opracovaných funkčních ploch na tření a opotřebení není zatím věnována taková pozornost, jako např. problémům mazání. Velice málo pak tření a opotřebení keramických materiálů nanášených žárovými nástřiky, které se velmi dobře uplatňují na součástech, které pracují v extrémních podmínkách zatěžování, nebo po opravách.

Význam znalosti funkčních ploch třecí dvojice je možné vidět i v tom, že vede k predikci jejich spolehlivosti a životnosti. Zásadní úlohu přitom sehrávají vlastnosti povrchové vrstvy. Jejich znalost ukazuje na nové cesty, jak řešit problémy odolnosti funkčních ploch proti opotřebení.

Při studiu vlastností povrchové vrstvy se jedná vždy o podmínky dynamického procesu a také o to, jak povrchová vrstva reaguje s prostředím, ve kterém plní své funkční požadavky. Důležitou úlohu přitom sehrává zatížení součásti a změny v povrchové vrstvě, které přitom nastávají.

Všichni tito činitelé jsou těsně svázáni s technologickými výrobními procesy, které jsou uplatňovány při jejich výrobě a hlavně při jejich dokončení. Proto se jeví jako prospěšné provádět komplexní analýzu technologických operací, které se podílejí na vytváření funkční plochy součástí. Na základě této analýzy je přitom možné předpokládat chování funkčních ploch součástí při jejich zatížení. Jedná se o sledování **integrity** povrchu.

Vztah mezi jakostí povrchu a funkčními požadavky důležitých ploch není zatím obecně dobře chápán. To proto, že nejsou dobře definovány údaje o funkci plochy, které by měly být vyjadřovány v pojmech a parametrech výrobních procesů. Je totiž nutné znát, jak specifikovat např. odolnost posuzované plochy proti namáhání nebo proti opotřebení. To nelze provést potud, dokud nebude známo, které parametry jakosti povrchu ovlivňují mechanizmus opotřebení a jak sledovat a hodnotit tyto vlivy. Pokud to známo bude, bylo by možné definovat povrch jakostními charakteristikami, které popíší plochu v pojmech odpovídajících funkčním požadavkům. Z hlediska tření a opotřebení se jedná o údaje o textuře povrchu a změny v povrchové vrstvě. Mezi tyto údaje patří především profil povrchu a vlnitost povrchu, zbytková napětí a vlastnosti povrchové vrstvy.

Předložená práce si vytkla za cíl přispět k upřesnění vztahů mezi jakostí povrchu a funkčními požadavky povrchů určených jako povrchy třecí. Tyto povrchy budou připraveny jako keramické vrstvy nanesené žárovým nástřikem. Při zpracovávání potřebných vztahů bude poukázáno na některé zákonitosti tření a budou posouzeny změny na plochách, které byly dokončeny obráběním.

Cílem práce je provést analýzu a vyhodnocení podmínek tření mezi keramickými materiály nanesenými žárovými nástřiky, dokončenými broušením a i jiným materiálem tvořícím třecí uzel. Při sledování procesu tření a opotřebení vycházet z fyzikální podstaty různých teorií tření a jejich porovnání, s ohledem na podmínky tření keramických materiálů. Změny, které nastanou během zkoušek, hodnotit ze změn profilu povrchu, součinitele tření a opotřebení protikusu.

3 MECHANIZMUS TŘENÍ A OPOTŘEBENÍ

Opotřebení lze definovat jako nežádoucí oddělování materiálu v důsledku mechanického působení, které se projevuje v různých formách. V technické praxi je možné se setkat s následujícími druhy opotřebení:

- atomární opotřebení,
- adhezní opotřebení,
- abrazivní opotřebení,
- pitting,
- zadírání,
- vibrační koroze (fretting),
- kavitační opotřebení.

Při hodnocení ***atomárního opotřebení*** je třeba vidět, že opotřebení probíhá v oblasti rozměrů atomů a je vysvětlováno jako interakce atomových sil mezi dvěma plochami, které jsou ve styku, což později vede k jejich poškození. Takovéto opotřebení probíhá velmi pomalu, oddělené množství materiálu je ale větší než odpovídá rozměrům atomů.

Adhezní opotřebení vzniká tehdy, když se dva kovy po sobě posouvají bez přítomnosti abrazivních částic. Tato dvojice materiálů je ale obklopena atmosférou, která s nimi může také reagovat svým chemickým účinkem. Zplodiny otěru, jsou-li zoxidovány, mohou potom působit svým abrazivním účinkem.

Abrazivní opotřebení je důležitou formou opotřebení a je charakterizováno poškozením třecích ploch tvrdším materiálem, který se nachází mezi třecími plochami. Tato forma opotřebení je charakterizována rovněž rychlostí opotřebení, která je úměrná času. Odolnost proti opotřebení není jen jednoduchou vlastností materiálu, ale funkcí změn vlastností materiálu se zatížením. Jako příklad může posloužit chování manganové oceli, jejíž vysoká odolnost proti opotřebení je dána také způsobem, jak tento materiál zpevňuje.

Pitting je opotřebení, které se projevuje vytvářením relativně hlubokých důlků a ne oddělováním materiálu. Tato forma porušení je způsobena řadou příčin. Nejběžnější příčinou je ta, že plocha je zatížena Hertzovým tlakem, který působí při styku kuličky s kroužkem ložiska, při styku zubů ozubených kol, při styku vačky a zvedátka apod. Pitting se může objevit i na plochách, kde není kluzný pohyb, tj. i při čistém odvalu. Jeho podstatou je mechanická únava, která je ale kvantitativně rozdílná. Výskyt pittingu je nepředvídatelný. Poněvadž ale podmínky zatěžování jsou definovány, je třeba pro zvolený materiál zajistit vysoké smykové napětí, a to tepelným zpracováním stykové plochy třecích ploch. Důležitou otázkou související s pittingem je to, zda začíná v materiálu v místě maximálního smykového napětí nebo na povrchu. Existují ale náznaky, že oba způsoby porušení mohou nastat současně, a to podle vzájemného pohybu třecí dvojice.

Opotřebení vzniká tam, kde dochází k vzájemnému pohybu dvou součástí. Rychlost opotřebení, tj. rychlost oddělování materiálu, se mění podle podmínek tření. I když opotřebení je všeobecně považováno za nežádoucí, může být někdy účelné. Je tomu tak např. při zaběhávání. Opotřebení se dá měřit na mikroskopu a podle rozměru opotřebené plochy se dá vypočítat i množství odděleného materiálu. Tato měření se provádí po provedení zkoušek. Existují ale metody, které sledují opotřebení plynule během zkoušky. Dotykový hrot, který pojíždí po sledované ploše, mění svoji polohu s opotřebením a toto se registruje.

Na strojních součástech, které jsou ve vzájemném pohybu, se vyskytuje stav, který je označován jako ***zadírání***. Zadírání je ve své podstatě vytváření kovových vazeb v důsledku plastické deformace výstupků nerovností pohybujících se ploch. Tento způsob spojování je možné srovnat se svařováním kovů, ale liší se především v kinematice vytváření kovových vazeb. Proces zadírání se objevuje nejen při tření kluzných dvojic, ale i při tváření nebo obrábění. Náchylnost k zadírání je totiž určována plastickými vlastnostmi materiálu. Zadírání je ale bezdifuzní proces spojování krystalických mřížek deformovaných těles. Čisté zadírání se projevuje jen při teplotách nižších než teplota rekrystalizace. Přitom hraje důležitou úlohu i deformační rychlost, protože ovlivňuje mechanické vlastnosti materiálu. Přídavná objemová deformace může difuzní proces zpomalit.

4 VLASTNOSTI POVRCHOVÉ VRSTVY A JEJICH VZTAH K OPOTŘEBENÍ

Jakost povrchu v sobě zahrnuje pojmy o fyzikálních, chemických a geometrických vlastnostech poměrně tenkých povrchových vrstev funkčních ploch, stejně jako stavy napjatosti v nich, a to stavy vzniklé jak při jejich výrobě, tak i při vlastní funkci.

Tření strojních součástí je doprovázeno opotřebením, které vede k soustavnému obnovování třecí plochy v důsledku odnášení částic materiálu. Opotřebení je možné definovat podle různých teorií:

- teorie mikrosvarů (adhezní), kterou zpracovali autoři Bowden a Tabor (1962, [39]),
- teorie molekulárně-mechanické (adhezně-mechanické), kterou vypracoval Kragelskij et. al. (1964 [40]).

Podle ***mikrosvarové teorie*** vyvolávají síly v místech styku výstupků drsnosti povrchu plastické deformace, které zvyšují skutečnou plochy styku do té míry, pokud unese dané zatížení Q . Vlivem těchto sil dochází v místech dotyku k lokálním kovovým spojením (mikrosvarům). Mají-li mikrosvary svou smykovou pevnost danou smykovým napětím τ_s, potom třecí síla F_S, která způsobí usmyknutí mikrosvarového spojení, se vypočítá ze vztahu

$$F_S = S_o \,.\, \tau_s \,, \qquad [\,N\,] \qquad (1)$$

kde S_o je skutečná plocha styku nerovností při zatížení Q a síla vyvozující plastickou deformaci F_{pl}.

$$S_o = \frac{Q}{F_{pl}}; \qquad [\,mm^2\,] \qquad (2)$$

potom

$$F_S = \frac{Q.\tau_s}{F_{pl.}} \qquad [\,N\,] \qquad (3)$$

Vedle třecí síly může při pohybu těles působit ještě síla F_R, která překonává odpor materiálu proti vzájemnému pohybu výstupků nebo tvrdých (oddělených) částic materiálů, které se nacházejí mezi třecími plochami.

$$F_R = \text{konst.}\frac{1}{F_{pl}} \qquad (4)$$

Tato síla je při daném zatížení (vyjadřuje ji konstanta) tím menší, čím větší je hodnota síly $F_{pl.}$ a tedy čím vyšší je tvrdost třecích ploch.

Obecná třecí síla F_T se určí ze vztahu

$$F_T = F_S + F_R \,. \qquad [\,N\,] \qquad (5)$$

Při styku dvou stejných materiálů platí za nepřítomnosti tvrdých částic mezi třecími plochami vztah:

$$F_S \gg F_R \,.$$

Podle toho, jaká je smyková pevnost obou těles tvořících kluznou dvojici, tj. jsou-li známy hodnoty smykového napětí měkčího materiálu τ_{SM} a hodnoty smykového napětí tvrdšího materiálu τ_{ST} a smykového napětí mikrosvaru τ_{SS}, mohou nastat následující případy:

a) $\tau_{SS} < \tau_{SM} < \tau_{ST}$
Tření a opotřebení je velmi malé (cín po oceli).

b) $\tau_{SM} < \tau_{SS} < \tau_{ST}$
Oddělují se výstupky měkčího kovu a ulpívají na povrchu tvrdšího materiálu (olovo po oceli).

c) $\tau_{SM} < \tau_{SS} \geq \tau_{ST}$
Oddělují se výstupky měkčího kovu a ulpívají na povrchu tvrdšího materiálu, ale čas od času se oddělí i výstupky kovu tvrdšího (měď o oceli).

d) $\tau_{SS} < \tau_{ST} \neq \tau_{SM}$
Vytvořené spoje jsou pevnější a k oddělování dochází v malé vzdálenosti od místa dotyku. Tento případ je nejméně vhodný jak z hlediska tření, tak i opotřebení (dva stejné materiály).

Pomocí této teorie je možné vysvětlit účinek povrchových filmů ve formě kysličníku nebo absorbovaných vrstev. Kysličníkové vrstvy na narušovaných výstupcích tvoří kovové můstky, které mají menší adhezi a menší smykové napětí než spoje zcela čistých kovů. O pevnosti oddělení spojových výstupků nerovností rozhodují vlastnosti měkčího kovu a síla potřebná k oddělení $F_S = S_o \,.\, \tau_S$. Je-li ale kovový spoj vytvořen na menší ploše $S_1 = \alpha \,.\, S_o$ (α – je součinitel dokonalosti styku), je síla nutná k oddělení výstupku rovná hodnotě $F_S \,.\alpha \,.\, S_0 .\, \tau_S$. a na ploše zbytku plochy, která má velikost $(1\text{-}\alpha)S_0$, je spoj méně pevný. Jestliže pevnost na mezi kluzu měkčího materiálu bude τ_{SS}, kdy $\tau_{SS} < \tau_{SM}$, potom je celková třecí síla

$$F_T = S\,[\;\alpha\;\tau_{SM} + (1\text{-}\alpha)\,\tau_{SS}\;]\;[\,N\,] \qquad (6)$$

Původní teorie Bowden-Tabora zaznamenala ve své době řadu změn v názorech na podstatu tření a opotřebení. Přesto mnoho problémů zůstalo nevyřešených. Především v tom, jaké hodnoty smykových napětí dosazovat do uváděných vztahů, nebo jakým způsobem se projeví účinek smykových napětí působících současně s normálovými napětími na skutečnou plochu dotyku.

Na základě mikrosvarové teorie se ale podařilo vysvětlit účinek povrchových filmů, vliv mikroposuvů na hodnoty třecí síly apod. Je nutné ale poznamenat, že mikrosvarová teorie přeceňuje

vliv adhezních sil, nerespektuje vzájemné mechanické, opakované působení kovových povrchů. Také klasifikace druhů opotřebení i různých typů poškození troucích se povrchů je značně obtížná.

Podle ***molekulárně mechanické teorie*** se tření rozvíjí v mikroobjemech, které vznikají v pásmu dotyku dvou pevných látek. Také proces opotřebení probíhá v mikroobjemech. Autorem těchto teorií je Kragelskij (1964).

Kragelskij nazývá spojem vzniklým třením jen ty vazby dvou povrchů, které se vytvářejí, tj. vznikají a ruší se, jen při současném působení normálových a tečných sil. Podle Kragelského mikrosvary, jak je definoval Bowden a Tabor, nejsou třecími spoji.

Při analýze tření a opotřebení je nutné sledovat tři časově navazující etapy:

- vytváření třecího spojení a vzájemné působení povrchů;
- existenci třecího spojení, která je určena změnami probíhajícími na vrcholech nerovnosti ploch, které se dotýkají, jsou deformovány a ohřívají se;
- narušení třecího spojení a rozrušení povrchů.

Tření podle této teorie má dvojí molekulárně-mechanickou podstatu. Je určeno překonáváním adhezního spojení mezi dvěma povrchy a objemovou deformací materiálu. Povrch je obvykle pokryt povlaky, které jsou tvořeny vrstvami kysličníků, absorbovanými plyny, mazivem apod.

Adhezní teorie vychází z toho, že na opracované ploše existuje mnoho výstupků nerovnosti, kdy výstupky jedné plochy se pohybují po výstupcích plochy druhé při jejich vzájemném kluzném pohybu. Během tohoto pohybu dochází k porušení absorbovaných vrstev a tak vzniká možnost kovového styku a následného spojení (svaření). Při dalším pohybu jsou některé „svarové“ spoje tak pevné, že nastává porušení měkčího materiálu a vytváří se polokulové částice opotřebení. Tato teorie je podepřena vzájemnými korelacemi mezi experimentálními jevy a matematickým modelem.

Delaminační teorie je založena na mechanizmu působení zatěžovacích sil a na chování materiálu v blízkosti povrchu (Suh, N. P., 1973). Teorie delaminační uvažují i účinek podpovrchové mikrostruktury a vliv tečné složky zatížení. Stav napětí pod povrchem, vyvolaný normálovým a tečným zatížením, je brán jako významný pro vytvoření částic otěru. Dále tato teorie uvádí, že opotřebení kovů je způsobeno dalšími zvláštními mechanizmy, které působí buď postupně nebo nezávisle.

Rozdíl mezi adhezní teorií a teorií delaminační při hodnocení opotřebení lze ukázat při vysvětlování základních projevů opotřebení. Rozdíly, které se zde objevují, umožňují hodnotit vztahy mezi funkčními požadavky sledované plochy a její jakostí. Jedním z významných prvků delaminační teorie je respektování vlivu normálového a tečného zatížení na opotřebení. Adhezní teorie tyto aspekty zanedbává. Obě složky zatížení totiž ovlivňují deformaci, vznik trhliny i její šíření. Jestliže je na povrchu sledované plochy uvažováno pouze normálové zatížení, je hydrostatické napětí vždy tlakové. Je-li navíc vyvoláno i tečné zatížení, vznikne v každém stykovém místě oblast, ve které je hydrostatické napětí i tahové. Tahové napětí kolmé k povrchu je na povrchu rovno nule a dosahuje svého maxima v konečné vzdálenosti od povrchu. Tato vzdálenost se zvětšuje s růstem součinitele tření.

Vliv tečného zatížení na vznik trhliny je velký. Trhliny zřejmě nukleují na kterémkoliv místě některého elementu matrice v okamžiku, kdy součet hydrostatického napětí a napětí normálového dosahuje v místě styku kritické hodnoty (Argon, A. S., Sofoglu, R., 1975).

5 VÝZNAM JAKOSTI POVRCHU PRO FUNKCI SOUČÁSTI

Povrch součásti je velice významný nejen z hlediska jeho uspořádání, ale i z hlediska jeho praktických aplikací. Je známo, že povrch má výrazný vliv na tření, opotřebení, odrazivost, přestup tepla, proudění apod. Co však není ale běžné, je kvantifikace charakteristik povrchu z hlediska uvedených funkcí. I když dnes existují zařízení pro měření profilu nerovnosti povrchu, je nutné mít k dispozici další údaje, které by umožnily predikci, zda funkční plocha odpovídá požadavkům konstruktéra. Ideální postup je takový, že se ověří vlastní funkce, pro kterou je součást navržena. Z hlediska tření to např. znamená, že by se měl ověřit součinitel tření pro dané zatížení a rychlost. To by ale vyžadovalo zkušební zařízení konstruované s ohledem na možné využití. Tento postup je ale málo ekonomický. To znamená, že „přímé“ funkční zkoušky jsou nepraktické. Proto se provádí „nepřímé“ověřování. Je to relativně snadnější a dají se používat obecná zařízení. To ale znamená, že je třeba hledat vztah mezi geometrickými parametry sledované plochy a její funkcí. Při uplatňování této metodiky je nutné počítat s tím, že zjištěné vztahy mezi sledovanými parametry a funkcí nemusí být tak přesvědčivé. Pokrok v rozvoji měřicích metod a uplatňování analýzy náhodných procesů umožňují lépe rozumět funkčním závislostem a jejich vyjádření pomocí vhodných charakteristik.

Postup, jak uvažovat a řešit parametry kontaktu skutečných ploch a jejich oddělení, je možné znázornit následovně:

Zatížení
Obecný tvar povrchů
Jmenovitá plocha - rozložení tlaku
Počet doteků
Jejich rozložení - počet vrcholů
- počet prohlubní
- souřadnice nerovností
Plastická deformace
(Index plasticity)
Skutečná plocha styku
Oddělení povrchů
Funkce

Využívání znalostí o profilu povrchu je důležitým technicko-ekonomickým úkolem, jehož aktuálnost se zvyšuje s požadavky na přesnost, hospodárnost a spolehlivost jednotlivých konstrukčních systémů. Objevují se ale i další požadavky na úplnější popis struktury nově vytvořeného povrchu. To proto, že řešení vztahů mezi povrchem a jeho funkcí nelze zabezpečit jen na základě znalostí parametrů profilu povrchu.

6 KERAMICKÉ MATERIÁLY

Mezi významné oblasti, kde se využívají keramické materiály, patří strojírenství, elektrotechnika a medicína. eramické materiály se uplatňují jako materiály konstrukční, protože mají dostatečnou tvrdost, odolnost proti vysokým teplotám, jsou odolné proti korozi, mají i nízký součinitel tření a jsou neslučitelné s biologickými tkáněmi. Pro jejich dobré vlastnosti dochází proto k většímu uplatnění keramických materiálů a často nahrazují i klasické materiály.

Zvláštní skupinu keramických materiálů tvoří materiály nanášené žárovými nástřiky. Tyto materiály se úspěšně využívají nejen při výrobě nových součástí, ale i při opravách součástí opotřebených a poškozených. Keramické materiály nanesené žárovými nástřiky mají jiné vlastnosti než keramika vyrobená slinováním. Přesto je tato metoda hodně rozšířena, proto je třeba věnovat pozornost takto vytvořeným povrchům, a to nejen z hlediska jejich chování při funkci. Proto je tato práce zaměřena na chování keramických materiálů nanesených žárovými nástřiky při tření a opotřebení jako jednu z možných funkcí, které jsou tyto materiály vystaveny.

Oxidická keramika se využívá jak pro velkorozměrné výrobky, tak i pro výrobky vysoce přesné.

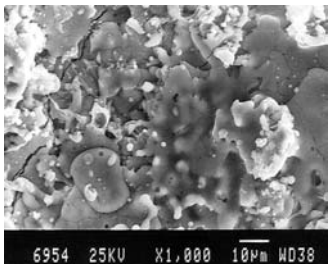
Neoxidická keramika, která je tvořena karbidem křemíku, nitridem křemíku a sialonem, je velmi náročná na výrobu, má ale vynikající vlastnosti a dá se použít pro třecí uzly a součásti vystavené vysokým teplotám nebo při výrobě integrovaných obvodů.

Další oblastí uplatňování keramiky představuje *biokeramika.* Jedná se o materiál, který musí být biokompatibilní, tzn., že tento materiál plní funkci ve fyziologickém prostředí. Tak např. čistý Al_2O_3 + MgO dobře odolává živému organizmu a nemá žádný chemický účinek na živou tkáň.

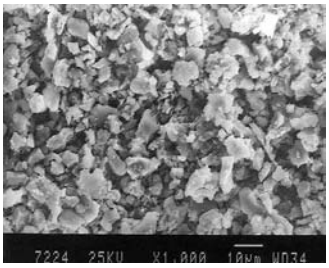
Žárové nástřiky se používají pro povrchovou úpravu součástí a umožňují prodloužit životnost nových i opravovaných strojních součástí. Přídavné materiály na bázi keramické mají vynikající vlastnosti, jako je odolnost proti otěru nebo tepelně izolační vlastnosti. Do této skupiny přídavných materiálů je možné zařadit nejen materiály oxidické, ale i materiály neoxidické, případně sloučeniny, jako jsou karbidy, nitridy, boridy. Častou přísadou oxidické keramiky bývají tzv. stabilizátory, jako jsou TiO_2, MgO, CaO, které stabilizují určitou fázi těchto základních materiálů.

Při hodnocení procesu broušení keramických materiálů je možné využít i tvaru třísky, která je oddělena brousicím kotoučem. Tyto třísky budou mít jiný tvar než třísky vzniklé při broušení oceli. To proto, že při broušení keramických materiálů dochází k oddělení materiálu mikrokřehkým porušením, bez výrazného procesu plastické deformace.

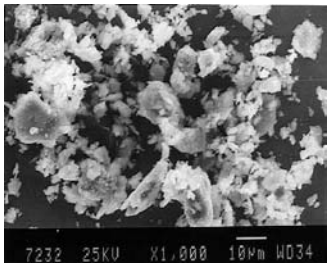
Podle teorie broušení (Maslov, 1979) probíhá proces oddělování třísky ve třech fázích, kdy zrno brousicího materiálu tře po povrchu a při dosažení minimální hloubky dojde ke vnikání brousicího zrna do materiálu a jeho oddělení ve tvaru třísek. Třísky, jako produkt deformace odřezávané vrstvy, se dají využít i pro hodnocení nového povrchu.



Obr. 3 Povrch nástřiku Al_2O_3+13%TiO_2



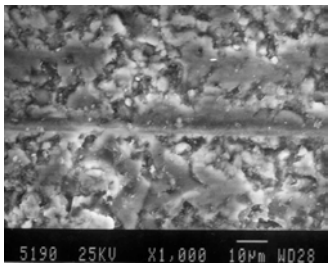
Obr. 4 Třísky při broušení nástřiku Al_2O_3+13%TiO_2; kotouč DIA



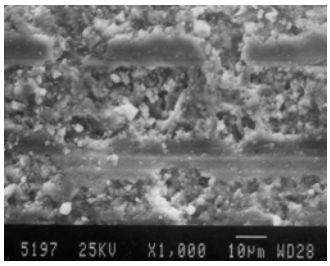
Obr. 5 Třísky při broušení nástřiku Al_2O_3+13%TiO_2; kotouč KNB

U kotouče KNB se projevují podstatné rozdíly ve tvaru třísek. Jedná se např. o rozdílnou velikost jednotlivých částic. Získané snímky ukazují, že rovnoměrné třísky s ostrými hranami odpovídají křehkolomovému porušení broušeného materiálu, což je proces energeticky méně náročný než proces, při kterém dochází k oddělení třísek mechanizmem interkrystalického porušení. Tento mechanizmus oddělení se výrazně projevil u kotoučů SiC a KNB při broušení keramiky typu Al_2O_3 + TiO_2 (příklady povrchu a třísek jsou uvedeny na obr. 3–5).

Textura broušeného povrchu keramického nástřiku např. Al_2O_3 + 13% TiO_2 vykazuje pouze při použití kotouče SiC místa s charakterem plastické deformace. Povrchy dokončené kotouči KNB a DIA ukazují na křehké porušení při vytváření nového povrchu (obr. 6, 7).



Obr. 6 Povrch nástřiku Al_2O_3+13%TiO_2 po broušení kotoučem KNB, v_k=30 m.s^{-1}



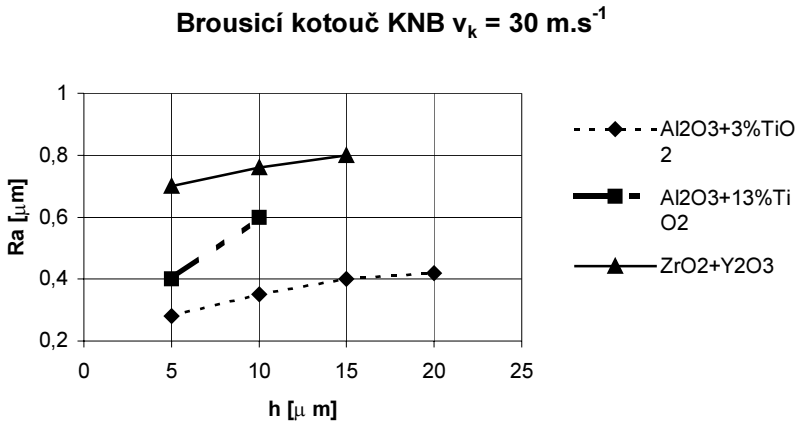
Obr. 7 Povrch nástřiku Al_2O_3+13%TiO_2 po broušení kotoučem DIA, v_k=30 m.s^{-1}

Znovu se prokázalo, že homogenita žárových nástřiků sehrává významnou úlohu při vytváření nového povrchu. Trhliny, tj. jejich velikost i počet, výrazně ovlivňují deformační chování broušeného materiálu a bude proto nutné se v další práci zabývat možnostmi ovlivňování podmínek pro vytváření příznivějších stavů povrchové vrstvy

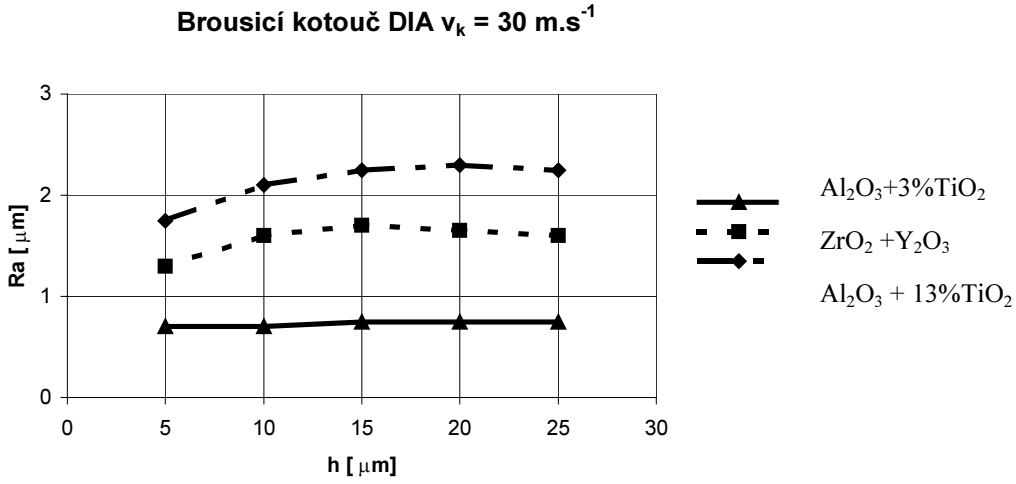
7 EXPERIMENT A JEHO VYHODNOCENÍ

Vliv podmínek broušení na parametry profilu povrchu keramických materiálů je podobný jako při broušení ocelí. Výška profilu povrchu se zlepšuje při menších hloubkách řezu, při vyšší obvodové rychlosti brousicího kotouče a při menší rychlosti obrobku. Tato výška profilu bude ale více ovlivňována vlastnostmi broušeného materiálu. To se výrazně projeví především u keramických materiálů nanesených žárovým nástřikem.

Měření profilu nerovnosti broušených povrchů bylo provedeno ve směru kolmém na stopy broušení a ve směru podélném, a to při jedné hodnotě přísuvu, tj. 0,01 mm. Získané výsledky ukazují, že změna profilu nerovností není tak výrazná a pohybovala se při použití jednoho typu brousicího kotouče v rozsahu dvou tříd, tj. 0,4 až 0,8 μm nebo 0,8 až 1,6 μm. Při zkouškách broušení keramických nástřiků byla hodnocena i změna profilu nerovnosti v závislosti na hloubce přísuvu. Zvětšování hloubky přísuvu znamená mírný nárůst parametru Ra, a to podle velikosti obvodové rychlosti brousicího kotouče. Tento nárůst je malý u kotoučů diamantových a u kotoučů KNB.



Obr. 8 Závislost změny drsnosti povrchu na hloubce přísuvu pro kotouč KNB



Obr. 9 Závislost změny drsnosti povrchu na hloubce přísuvu pro kotouč DIA

Průběhy sil při broušení kotouči SiC a KNB ukazují, že radiální složka řezné síly rostla a po určitém čase došlo zřejmě k vylomení stávajícího zrna a složka řezné síly poklesla. Kotouče diamantové oddělují zřejmě materiál rovnoměrně a k poklesu sil nedochází.

Zkoušky broušením provedené na keramických materiálech nanesených žárovým nástřikem ukázaly, že proces odřezávání těchto materiálů probíhá jako mikrokřehké porušení, jehož průběh je ovlivněn především vlastnostmi těchto materiálů. Je to jejich porozita, trhliny, případně jiné poruchy v povrchové vrstvě.

Sám proces nanášení žárovým nástřikem vyvolává změny vlastností nanesené vrstvy. Tyto změny se projevují změnou vzhledu i textury obrobeného povrchu. Je proto nutné provádět kontrolu vlastností nanesené keramické vrstvy po nástřiku. Nebude-li tato kontrola důkladná, mohou se poruchy povrchové vrstvy projevit tak, že negativně ovlivní exploatační vlastnosti součástí upravených tímto nástřikem. Z hlediska použitých brousicích kotoučů se jeví jako nejvýhodnější kotouče diamantové. I když v některých případech by bylo možné doporučit kotouče jiné.

1.1 TŘECÍ ZKOUŠKY KERAMICKÝCH NÁSTŘIKŮ

V řadě technických odvětví se keramické materiály využívají jako materiály třecí. To proto, že splňují náročné požadavky, jako je např. vyšší měrný tlak, delší životnost, provoz bez mazání nebo vyšší provozní teploty. Trvanlivost a funkční způsobilost třecích systémů je totiž podmíněna nejen jejich geometrickými parametry, ale i vhodným třecím materiálem.

Aplikace nových třecích keramických materiálů slinovaných nebo nanášených žárovým nástřikem patří do oblasti moderních, pokrokových technologií, které jsou klíčem pro řešení náročných funkčních požadavků. Technologický pokrok se projevuje v tom, že nedochází ke zpoždění při zavádění těchto metod a také v tom, že jsou získávány a rozšiřovány poznatky základního i aplikovaného výzkumu.

Pro zkoušky tření byly zvoleny třecí dvojice tvořené válcem, na který byla nanesena keramika žárovým nástřikem a kuličkou z materiálu Al_2O_3.

Materiály nanesené žárovým nástřikem:
Al_2O_3,
Al_2O_3 + 3% TiO_2,
Al_2O_3 + 13% TiO_2,
$ZrO_2 + Y_2O_3$.

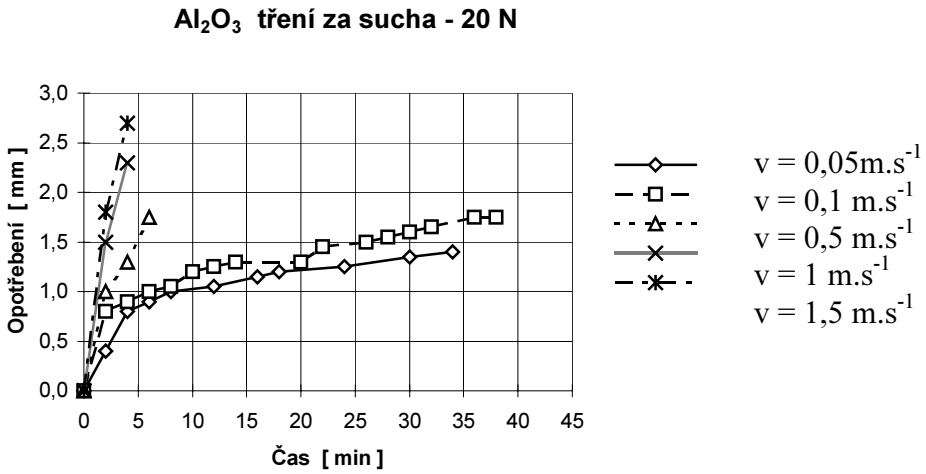
Rozsahy naměřených hodnot profilu nerovnosti povrchu se pohybovaly:

Ra = 0,52 až 1,66 μm
Rz = 4,11 až 10,61 μm

Parametry nosné křivky

Rpk = 0,40 - 2,02 μm
Rvk = 1,11 - 3,03 μm

Povrchy byly dokončeny diamantovým kotoučem DIA-Z-100/80 při obvodové rychlosti kotouče v_k = 20 a 30 m.s^{-1}.



Obr. 10 Průběh opotřebení keramiky Al_2O_3 - Al_2O_3 při tření za sucha; přítlačná síla 20 N

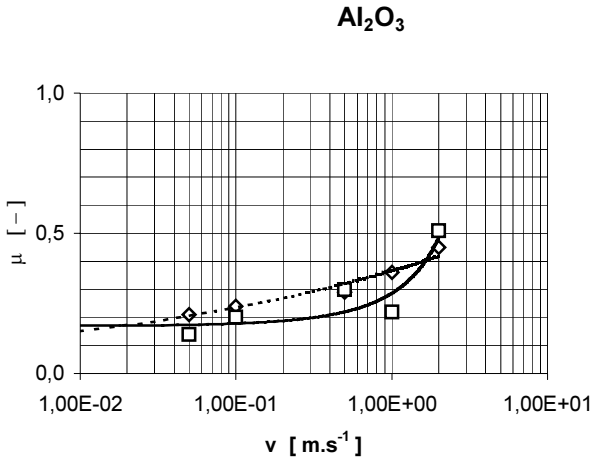
Kluzné dvojice Al_2O_3 - Al_2O_3 vykazovala při rychlostech 0,05 a 0,1 m.s^{-1} dobré výsledky při zatížení 10 i 20 N. Podobně lze hodnotit i třecí dvojici Al_2O_3 + 3% TiO_2-Al_2O_3 (obr. 10).

Třecí dvojice Al_2O_3 + 13% TiO_2-Al_2O_3 vykazovala již větší opotřebení i při malém zatížení. Při zatížení 20 N jsou podmínky zkoušek již nevhodné. Stejně nevhodné výsledky vykazovala třecí dvojice ZrO_2 + Y_2O_3-Al_2O_3 při zatížení 10 a 20 N. Jako nejlepší se ukázala třecí dvojice Al_2O_3 - Al_2O_3 a Al_2O_3 - 3% TiO_2 při obou zkoušených zatěžovacích silách. Kluzné dvojice Al_2O_3 + 13% TiO_2 - Al_2O_3 a ZrO_2 + Y_2O_3 - Al_2O_3 měly nárůst opotřebení i při malých rychlostech značně vyšší.

1.2 SOUČINITEL TŘENÍ

U keramických materiálů s iontovou vazbou (ZrO_2, Al_2O_3) se projevuje dost proměnlivý vliv na součinitel tření. Tak např. pro třecí dvojici Al_2O_3 při kluzné rychlosti v < 0,5 m.s^{-1} je součinitel tření menší než 0,2 (obr. 11). U kluzné dvojice např. Al_2O_3 + 13% TiO_2 se hodnoty součinitele tření s kluznou rychlostí prakticky nemění a zůstávají na hodnotě 0,5. Podobný průběh je zaznamenán i u kluzné dvojice ZrO_2 + Y_2O_3.

Výsledky třecích zkoušek ukazují, že vhodnou volbou třecí dvojice může být získán tribologický systém, který bude pracovat v podmínkách suchého tření v intervalu kluzných rychlostí < 0,5 - 2 > m.s^{-1}. I když jsou keramické materiály náchylné k zadírání a hodnoty opotřebení jsou vyšší, může keramická třecí dvojice úspěšně soutěžit i s jinými kovovými i nekovovými materiály v použitých tribologických systémech.



Obr. 11 Průběh součinitele tření u kluzné dvojice Al_2O_3 - Al_2O_3

Vliv teploty třecí dvojice na opotřebení a součinitel třecí sledovány nebyly. Je ale možné uvést, že její vliv na opotřebení se bude měnit s druhem keramického materiálu. V literatuře se uvádí, že vliv teploty na opotřebení je velmi silný u keramiky Al_2O_3 a keramiky Si_3N_4, slabý je ale u keramiky typu SiC. Podobně by bylo možné hodnotit i vliv kluzné rychlosti na opotřebení a součinitel tření.

8 ZÁVĚR

Práce je zaměřena na hodnocení vlastností povrchové vrstvy, keramických materiálů nanesených žárovým nástřikem. Toto hodnocení je provedeno tak, že jsou posouzeny vlastnosti povrchové vrstvy nástřiku po broušení různými druhy brousicích kotoučů. Jako kritérium hodnocení byly zvoleny parametry profilu nerovnosti povrchu, který vznikl po broušení.

Dále byly vlastnosti nově vytvořeného povrchu hodnoceny při tření kluzné dvojice, která byla tvořena žárovým nástřikem a dalším keramickým materiálem. Při těchto zkouškách bylo sledováno opotřebení a součinitel tření za podmínek změny přítlačného tlaku a kluzné rychlosti.

Aby bylo možné posoudit komplexně zvolený třecí systém, bylo třeba rozebrat názory na mechanizmus tření a opotřebení, stejně jako zhodnotit význam jakosti povrchu. V této části zprávy jsou zhodnoceny podmínky styku dvou ploch, plasticita nerovnosti povrchu a jejich vztah k procesu tření a opotřebení. Současně byly zhodnoceny i vlastnosti keramických materiálů, a to z hlediska mechanizmu vytváření nového povrchu, který sehrává rozhodující úlohu při tření kluzné dvojice.

Pro splnění těchto cílů byly vybrány žárové nástřiky typu: Al_2O_3 + 3% TiO_2;
Al_2O_3 + 13% TiO_2; ZrO_2 + Y_2O_3. Jako protikus třecích zkoušek byla zvolena kulička z materiálu Al_2O_3.

Při provedených zkouškách byly dosaženy následující výsledky:

- Bylo zjištěno, že proces oddělování keramického materiálu při broušení probíhá jako mikrokřehké porušení, jehož průběh je ovlivněn především strukturně-mechanickými a fyzikálními vlastnostmi keramiky. Je to jejich porozita, trhliny a jiné poruchy v povrchové vrstvě.

- I když se při broušení chová keramický materiál jako křehký, může se i zde projevit plastická deformace. Plastické chování keramiky je ovlivněno poruchami, defekty materiálu a pracovními podmínkami opracování. Významnou pomůckou při posuzování deformačního chování keramických materiálů při broušení se může stát frekvenční analýza profilu nerovnosti povrchu vzniklého po broušení.

- Z hlediska použitých kotoučů pro broušení se jeví jako nejlepší kotouče diamantové, i když v některých případech je možné použít i kotouče jiné. U diamantových kotoučů byly naměřeny maximální hodnoty poměrného obrusu.

- Řezné síly při broušení rostou v závislosti na přísuvu a také v závislosti na čase. Poměrně stálý průběh mají složky řezné síly při broušení diamantovými kotouči.

- U sledovaných třecích dvojic se ukázalo, že lze najít volbou třecí dvojice vhodný tribologický systém, který může pracovat v podmínkách suchého tření v intervalu kluzné rychlosti 0,5 až 2 $m.s^{-1}$.
Keramické materiály mohou dosáhnout hodnoty P.v okolo 20 [$N.mm^{-2}.m.s^{-1}$] při dlouhodobém provozu bez mazání, při teplotě 20 ^{o}C.

- Jako nejlepší se ukázala třecí dvojice Al_2O_3 a Al_2O_3 + 3%TiO_2 při obou zkoušených zatíženích. Kluzné dvojice Al_2O_3 +13%TiO_2 a ZrO_2 + Y_2O_3 vykazovaly poměrně vyšší nárůst opotřebení i při malých rychlostech zatížení.

- Hodnoty součinitele tření u zkoušených dvojic se pohybovaly okolo hodnoty 0,5. Pouze třecí dvojice Al_2O_3 + 3% TiO_2 - Al_2O_3 vykazují při malých kluzných rychlostech jisté odchylky.

- U keramických materiálů s iontovou vazbou se projevuje dost proměnlivý vliv na součinitel tření. Příčinou může být absorbce vlhkosti z okolního prostředí a tím její vliv na součinitel tření.

Přínos této práce je možno vidět v komplexním hodnocení chování při tření kluzné dvojice tvořené žárovým nástřikem a dalším keramickým materiálem. Pro další postup výzkumu v této oblasti byl obecně posouzen zvolený třecí systém, rozebrány názory na mechanizmus tření a opotřebení, včetně významu jakosti povrchu.

Pro řešení problémů v oblasti keramických nástřiků a jejich opracování s ohledem na budoucí funkci je dále třeba:

- Zpracovat vhodnou metodiku pro klasifikaci vrstev nanesených žárovým nástřikem.

- Podrobněji rozebrat mechanizmus oddělování částic broušeného materiálu s ohledem na dosažitelnou jakost povrchové vrstvy.

- Ověřit možnost využití pásového broušení keramických nástřiků, především u tvarových ploch.

- Využít frekvenčních charakteristik při hodnocení profilu nerovnosti dokončeného povrchu.

- Zpracovat typologii povrchů při broušení keramických materiálů nanesených žárovými nástřiky a dokončených různými brousicími kotouči a doporučení pro jejich funkční uplatnění.

LITERATURA

[1] WECK, M. – HENNES, N. – SCHULZ, A.: 2001, Dynamic Behaviour of Cylindrycal Traverse Griding Processes, Annal of the CIRP, vol. 38/2, pp. 213–216.

[2] KITAJIMMA, K., et al.: 1992, Study on mechanism of ceramics griding, CIRP, vol. 41/1.

[3] FREI, H. – GRATHWOL, G.: 1993, Microstructure and strength of advanced ceramics after machining, Ceramics International, vol. 19, Iss. 2, pp. 93–104.

[4] MAYER, J. E. – FANG, G. P.: 1995, Effect grinding parameters on surface finish ground ceramics, CIRP, vol. 44/1, pp. 279–282.

[5] INASAKI, I.: 1988, Sped – Stroke Grinding of Advanced Ceramics, CIRP, vol. 37/1, pp. 299–302.

[6] TÖNSHOFF, H. K. – PETERS, J. – INASAKI, I. – PAUL, T.: 1992, Modelling and simulation of Grinding Processes, CIRP, vol. 41/2, pp. 677–688.

[7] ZHANE, B. – TREVOR, D. – HOWES, T. D.: 1995, Subsurface Evaluation of Grinding Ceramics, CIRP, vol. 44/1, pp. 263–266.

[8] ZHANE, B. – HOWES,T. D.: 1994, Material Removal Mechanism on Grinding Ceramics, CIRP, vol. 43/1, pp. 305–308.

[9] INASAKI, I.: 1987, Grinding of Hard and Brittle Materials, CIRP, vol. 36/2, pp.1–9.

[10] KOMANDURI, R.: 1996, On Material Removal Mechanisms in Finishing of Advanced Ceramics and Glasses, Annals of the CIRP, vol. 45/1, pp. 509–514.

[11] INASAKI, I.,: 1986, High efficienting grinding of advanced ceramics, CIRP , vol. 35/1, pp. 211–214.

[12] MASLOV, J. N.: 1979, Teorie broušení kovů, SNTL, Praha.

[13] CZICHOS, H. – WOYDT, M.: 1988, Entwichlungtenzeuren tribotechnischer Werkstoffe für den Fahrzeugban Automobil-technische Zeischrift, Teil I, Heft 5, str. 237–240; Teil II, Heft 7, str. 415–421.

[1] FLEISCHER, G.: 1990, On the tribologocal evaluation of ceramic friction matings, sborník Intertribo 90, ČSVTS Bratislava, str. 38–41.

[15] OTMINOWSKI, T.: 1990, Tribological properties of ceramic layers obtained by plazma spraing,sborník Intertribo 90, ČSVTS Bratislava, str. 10–12.

[16] BUMBÁLEK, B. – NOVÁK, Z. – VALA, P.: 1989, Hodnocení drsnosti povrchu keramických nástřiků po broušení, VZ, VÚ 070 Brno.

[17] BUMBÁLEK, B. – NOVÁK, Z. – VALA, P.: 1989, Broušení keramických materiálů nanesených plazmovým nástřikem, VZ, VÚ 070 Brno.

[18] SUH, N. P.: 1973, The delamination theorie of weld, WEAR, vol. 25.

[19] SUH, N. P. – SRIDHARAN, P.: 1975, Relationship between the coefficient and the wear rate of metals, WEAR, vol. 34.

[20] JOHANMIR, S. – SUH, N. P. – ABRAHAMSON, E. P.: 1975, The delamination theory of weld and the weld of composite metal surface, WEAR, vol. 32.

[21] SUH, N. P. – TAKAAKI NAGAO: 1976, Implication of wear theories on surface quality and functional requirements, CIRP, vol. 25/2.

[22] WARNECKE, G. – WIMMER, J.: 1995, Stock removal and wear in deef high – performance ceramics, Ceramics, IDR 3/95, str. 125–132.

[23] MEHLHOSE, J. – SCHNEEWEISS, K.: 1996, Wietschaftliches Schleifen von Siliciumnitrid, Teil I, Werkzeuganswahl, Keramikbearbeitung, IDR 1/96, str. 21–25.

[24] BOWDEN, F. P. – TABOR, D.: 1964, The friction and lubrications of solids, University Press, London.

[25] BARWELL, F. T.: 1968, Tribological applications of surfaces, Intern.conference „Properties and metrology of surface“, Oxford.

[26] CZICHOS, H.: 1977, Systems analysis data sheet for friction and wear tests, WEAR, vol. 41, pp. 45– 55.

[27] WHITEHOUSE, D. J.: 1994, Handbook of Surface Metrology, Taylor – Hobson, Great Britain, Bookcraft Ltd., Bath.

ABSTRACT

The specialised work solves the relation of two moving surfaces, where it is necessary to consider not only the loading conditions of such a couple, their quality and also how they will interact the properties of these surfaces.

Hereat it is however necessary to judge those surfaces together and not apart. It comes out from physical and mechanical properties of friction surfaces, from their chemical reactivity with environment and of course also from the quality of these surfaces, this means from their dimensional accuracy, form accuracy and from surface structure. Importance of the knowledge of functional friction surfaces couple it is possible to see in that, how guides to prediction of their reliability and service life. The grand problem hereat play the properties of subsurface layer. Their knowledge indicate the new approach how to solve the problems of wear resistance of functional surfaces.

The presented work made the aim to contribute to specification of relations between the surface quality and surface functional requirements designated as friction surfaces. These surfaces were prepared as ceramic layers coated by plasma spraying. The content of the work is stressed to the analysis and evaluation of friction conditions between the ceramic materials coated by plasma spraying, which were finished by grinding.

For the solution of the aims there were selected the following materials:
Al_2O_3 + 3%TiO_2, Al_2O_3 + 13%TiO_2, ZrO_2 + Y_2O_3. As counterpart was selected the ball from Al_2O_3.

The acquired results:

- the process of grinding of ceramic materials proceeds as micro brittle degradation whose development is influenced by the porosity, cracks and defects in subsurface layer,
- also during grinding of ceramic materials which behave as brittle, there appears the plastic deformation,
- the best grinding wheels are the diamond wheels. In some cases it is possible to use also the other kinds of grinding wheels,
- the cutting forces increase in relation to the feed and also in the relation to the time of cutting,
- the tests demonstrated that there is possible to find a suitable friction couple, which can work in conditions of dry friction in the range of sliding velocity 0,5 – 2,0 $m.sec^{-1}$.