

ABRASIVE AND CAVITATION DETERIORATION OF THIN LAYERS OF EUCOR CERAMICS

ABRAZIVNÍ A KAVITAČNÍ OPOTŘEBENÍ TENKÝCH VRSTEV KERAMIKY EUCOR

Františka Pešlová¹, Přemysl Janíček², Josef Filípek³, Vladimír Fuis²

Abstract: The authors present the results of measuring the abrasive and cavitation deterioration of EUCOR ceramics plasmatic coating. Three methods were used for determination of the resistance against abrasive deterioration: method of rotating sample in rotating abrasive, method of abrasive cloth and method of rotating sample in rotating abrasive in cylindrical grinding container. The nature of cavitation deterioration process and amount of cavitative deterioration of EUCOR ceramics coating were examined using ultrasound disintegrator. In first case the sample was cavitated in water, in second case in sulfuric acid.

Keywords: abrasive deterioration, cavitation deterioration, EUCOR ceramics plasmatic coating, rotating sample method, abrasive cloth method, resistance against abrasive deterioration, water and sulfuric acid cavitation environment.

1. Úvod

Korundo-baddeleyitový materiál vzniká tavením křemičitanu zirkončitého (ZrSiO_4) a oxidu hlinitého (Al_2O_3), případně dalších přísad ve vhodném poměru v elektrické obloukové peci. Předpokládá se aplikačního využití plazmatických nástřiků EUCOR-u, což je podmíněno znalostmi o jejich vlastnostech a chování. Tyto znalosti jsou nutné pro výpočtové modelování deformačně-napětových stavů zatížených těles, u nichž jsou použity plazmatické nástřiky EUCOR-u, pro posuzování degradačních procesů v nástřicích a pro posuzování jejich mezních stavů. To byl důvod, proč bylo přistoupeno ke komplexnímu zjišťování vlastností a chování EUCOR-ových plazmatických nástřiků s využitím soudobé progresivní měřicí a výpočtové techniky. Tento příspěvek se zabývá jednou součástí výzkumu, a to určováním abrazivního a kavitačního opotřebení nástřiků.

2. Určování abrazivního opotřebení

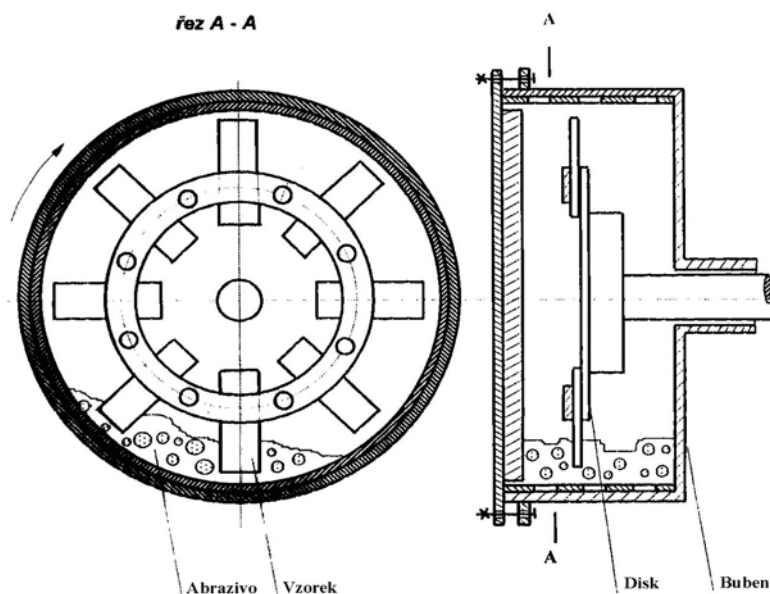
2.1 Metoda rotujícího vzorku v rotujícím abrazivu

Princip této metody spočívá v tom, že zkušební vzorek rotuje v prostoru naplněném abrazivem, jehož složky vykonávají vůči povrchu vzorku náhodný pohyb. Metoda byla realizována na zařízení Bond, jehož schéma je na obr. 1. Zařízení se skládá z letmo uloženého rotujícího hřídele (možnost změny otáček), na jehož převislém konci je disk, na který lze uchytit 8 vzorků ve tvaru destiček (75 x 40 x volný rozměr do cca 15 mm), a to tak, že podélná osa symetrie vzorku má radiální směr. Příruba se vzorky se nachází v prostoru uzavřeném rotujícím bubnem, který rotuje ve stejném smyslu s diskem, ale menšími otáčkami.

¹ Prof. Ing. Františka Pešlová, CSc., 00420 0465 533006, Katedra dopravní techniky, Dopravní fakulta J. Pernera, Univerzita Pardubice, Slovanská 452, Česká Třebová, Česká republika

² Prof. Ing. Přemysl Janíček, DrSc., Ing. Vladimír, PhD., 00420 5 41142807, Ústav mechaniky těles FSI VUT v Brně, Technická 2, 616 69, Brno, Česká republika, janicek@umtn.fme.vutbr.cz, fuis@cis.vutbr.cz.

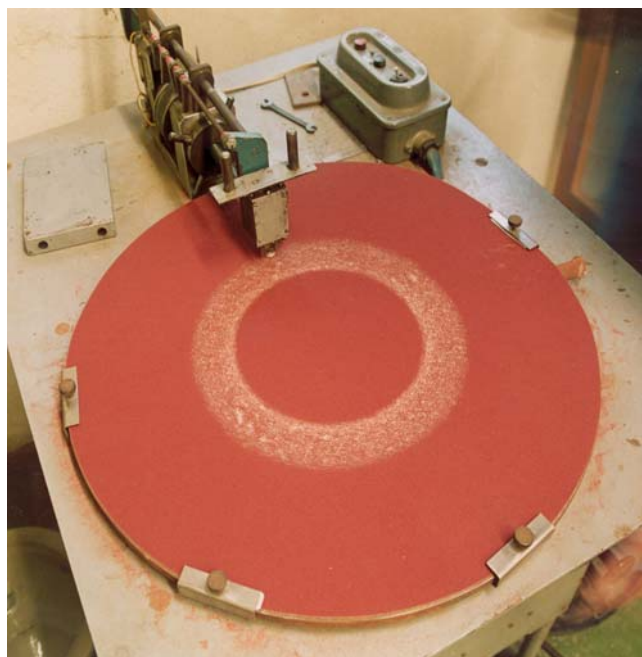
³ Doc. Ing. Josef Filípek, CSc., 00420 5 45132123, Ústav základů techniky, AF-MZLU v Brně, Zemědělská 1, Brno.



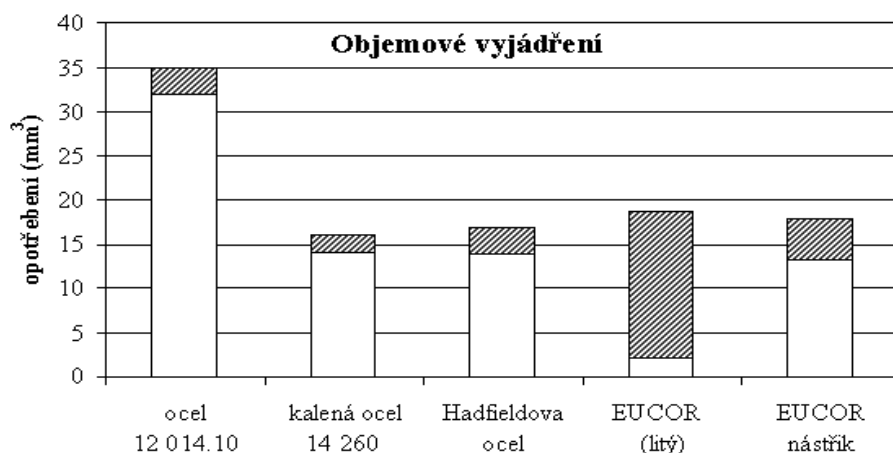
Obr. 1 Schéma zkušebního zařízení BOND pro zjišťování abrazivní odolnosti materiálů

kruhu o průměru 10 mm) je neustále ve styku s nepoužitým brusným plátnem. Velikost přitlačného měrného tlaku byla $0,32 \text{ N.mm}^{-2}$. Hmotnostní úbytek vzorku se určoval po proběhnutí 50 m třecí dráhy. Na obr. 2 je pohled na zkušební zařízení pro metodu brusného plátna a na obr. 3 jsou výsledky měření. Souhrnně lze konstatovat:

- 1) Litý EUCOR vykazuje výrazně vyšší rozptyl naměřených hodnot než nástřik EUCOR-u. Je to v souladu s předpokladem, že plazmatický nástřik EUCOR-u má větší strukturní homogenitu než jeho litá struktura.
- 2) Poměrná odolnost vůči abrazivnímu opotřebení nástřiku EUCOR-u (hodnota 4,6) je srovnatelná s nejnižšími naměřenými hodnotami u litého EUCOR-u (hodnoty mezi 4,3 až 4,6).
- 3) Plazmatický nástřik EUCOR-u má větší poměrnou odolnost vůči abrazivnímu opotřebení (hodnota 4,6) než Hadfieldova ocel (hodnota 2).



Obr. 2 Zkušební zařízení pro metodu brusného plátna



Obr. 3 Výsledky měření abrazivního opotřebení na brusném plátně

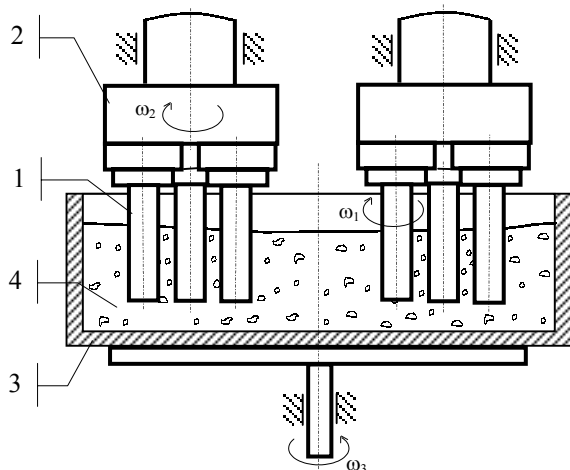
Vzdálenost mezi hranou vzorku a rotujícím bubnem je 10 mm. Použití Bondova přístroje pro určování abrazivního opotřebení tenkých vrstev je nevhodné, protože během krátké doby dochází k výraznému opotřebení hran vzorku až na základní materiál.

2.2 Metoda brusného plátna

Podstata a metodika je dána normou ČSN 01 5084. Na rovnoměrně se otáčející vodorovné desce (průměr 480 mm) je upevněno brusné plátno (korundový kepr). Zkušební vzorek, který je pak závažím přitlačován k brusnému plátnu, se během zkoušky posouvá od středu k okraji brusného plátna, takže jeho aktivní část (plocha

2.3 Metoda rotujícího vzorku v rotujícím abrazivu v bubnové brousící nádobě

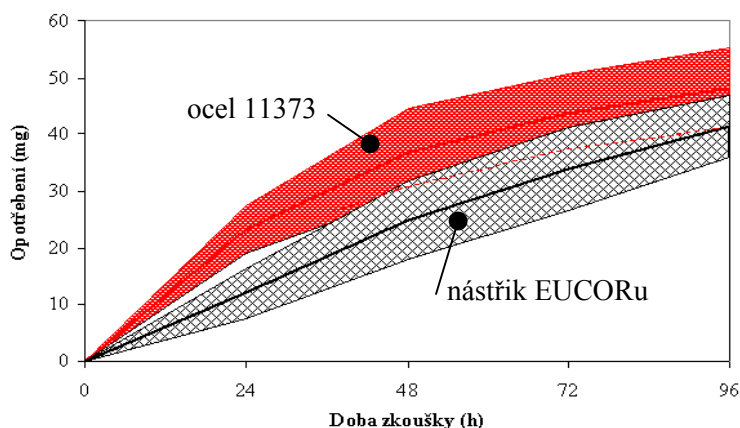
Schéma přístroje pro zjišťování abrazivního opotřebení volným abrazivem v bubnové brousící nádobě je na obr. 4. Zkušební vzorky, jejichž tvar je zřejmý z obr. 5, se vloží do brousící nádoby a zjišťují se hmotnostní úbytky vzorků při abrazi hnědým umělým korundem v závislosti na čase. Etalonem byla ocel 11 373. Výsledky zkoušek jsou na obr. 6. Lze konstatovat, že abrazivní opotřebení oceli 11 373 je cca o 18% větší než u plazmatického nástřiku EUCOR-u, a to po 96-ti hodinách zkoušek.



Obr. 4 Schéma zkušebního zařízení s bubnovou brousící nádobou



Obr. 5. Pohled na zkušební vzorky s plazmatickým nástřikem EUCOR-u.



Obr. 6 Konfidenční pásy středních hodnot hmotnostních úbytků na hladině významnosti 0,05

3. Určování kavitačního opotřebení

3.1 Charakteristika kavitačního zařízení

Kavitace a kavitační porušování, jako jeden z degradačních procesů materiálu, jsou stále aktuální problematikou jak v oblasti technické praxe tak i technické vědy. Vzhledem ke složitosti matematického popisu procesu kavitačního porušování je v současnosti experimentální vyšetřování tohoto procesu nejpoužívanější a současně i nejefektivnější metodou. Lze ho považovat za **experimentální simulační modelování**, protože v laboratorních podmínkách se simulují procesy kavitace vedoucí ke kavitačnímu porušování.

Jestliže se experimentálně řeší přímý kavitační problém, pak se experimentálně vyšetřují důsledky kavitace na těleso, u něhož je známá struktura materiálu a způsob vyvození kavitace na jeho povrchu. Cílem tohoto experimentálního modelování je zpravidla určení relativní kavitační odolnosti příslušného materiálu vůči kavitačnímu porušování. Aby se zkrátila doba experimentu na zkušebních kavitačních zařízeních, experimentální objekt (zkušební tělíska) se kavitačně aktivuje v podmínkách zvýšené „intenzity kavitace“ než jaká vzniká za provozu hydraulických technických objektů. Zde byla použita zředěná kyselina sírová.

Nejpoužívanějším kritériem pro hodnocení chování materiálu v procesu kavitačního porušování je **časová závislost hmotnostního úbytku „dm“ materiálu z povrchu tělesa** vyšetřovaná pro konkrétní způsob vybuzení kavitace a pro konkrétní typ materiálu. Při experimentálním modelování je vlastní proces kavitace i proces kavitačního porušování vlastně „černou skřínkou“, protože jsou experimentátorovi „skryty“ a na to, co v této černé skřínce probíhá, se usuzuje pouze z následných analýz kavitačního porušení, konkrétně z analýz *metalografických* (posuzování změn struktury), *fraktografických* (posuzování charakteru trhlin a lomových ploch) a *mechanických* (tvrdost, zpevnění, elastické a pevnostní parametry materiálu).

Zařízením na určování kavitačního opotřebení byl ultrazvukový dezintegrátor, jehož funkcí je generovat ultrazvukové pole, které kavitačním procesem rozrušuje materiály, jsou-li tyto vloženy do tohoto pole. Ultrazvukový dezintegrátor je elektromechanickou soustavou, jejímiž prvky jsou:

- *elektronický zdroj střídavého napětí* o kmitočtu 20 kHz,
- *elektromechanický měnič*, který je zdrojem mechanických kmitů,
- *transformátor amplitudy* (koncentrátor), jehož funkcí je transformace (zesílení) kmitů měniče. Tato jeho vlastnost je dána jeho tvarem. Měnič je schopný kmitat s maximální amplitudou 40 μm . Vhodným koncentrátorem můžeme dosáhnout amplitudu až 180 μm .
- *ochranná skříň* (obr. 7), která zabraňuje vyzařování ultrazvukového pole, jež generuje měnič a částečně pohlcuje parazitní zvuky, vyvolané kavitačním šumem.



Obr. 7 Pohled na umístění vzorku ve zkušebním zařízení

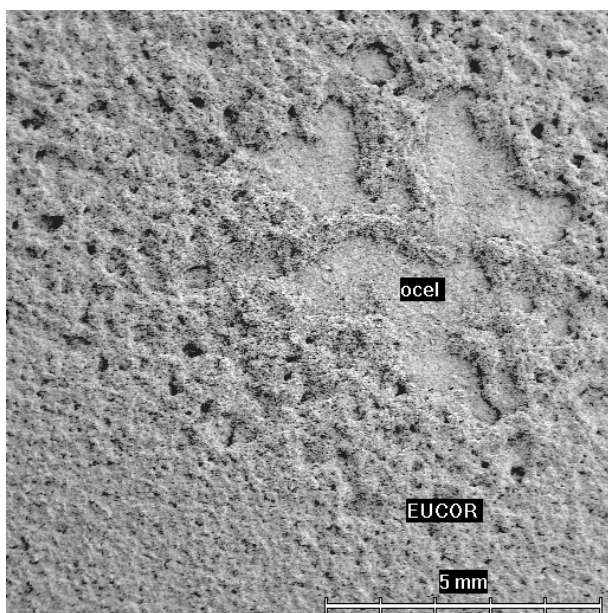
Zvyšování amplitudy nad 180 μm je prakticky nemožné, protože by byla překročena dynamická pevnost použitého materiálu a koncentrátor by se porušil. Velká amplituda nemusí vždy vést k nejlepším pracovním výsledkům, protože při ozařování kapaliny dojde k odtržení kapaliny od pracovní (čelní) plochy koncentrátoru. Mezi koncentrátorem a kapalinou se vytvoří vrstvička plynů, která zabraňuje ultrazvukovému vlnění, vytvořit silné kavitační pole v celém objemu kapaliny.

Technické údaje zařízení:

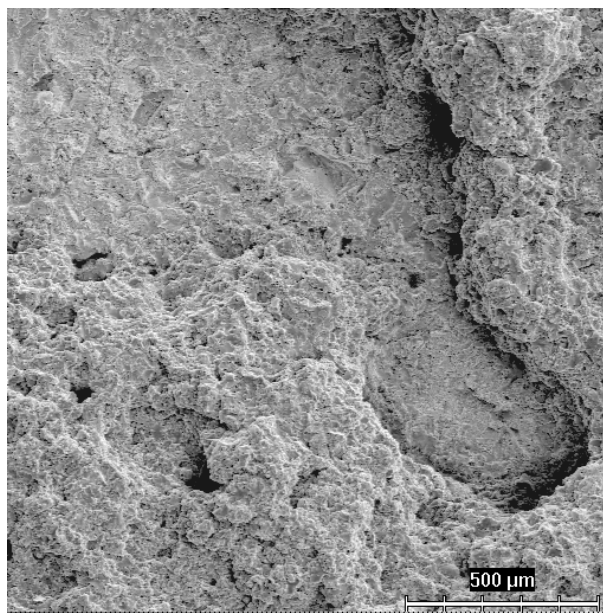
pracovní kmitočet	20 kHz
maximální dosažitelná amplituda (závislá na použitém koncentrátoru).....	180 μm
napájení	220 V
příkon	600 W
jištění tavná pojistka	tavná pojistka 4 A

3.2 Výsledky kavitačních zkoušek

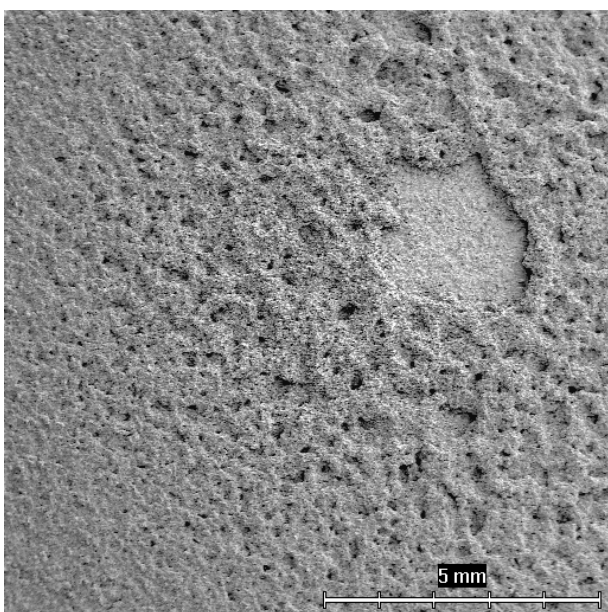
Ověřovací zkoušky kavitačního opotřebení plazmatických nástřiků keramiky EUCOR se realizovaly ve dvou různých médiích, a to ve vodě a ve zředěné kyselině sírové. Ilustrativní ukázky mikrostruktur keramiky v procesu kavitování v obou uvedených médiích jsou uvedeny na obr. 8 až obr. 15. Komplexní analýza výsledků kavitačních procesů bude možná až po realizaci statisticky významného množství vzorků. V tomto stadiu prací lze konstatovat tyto skutečnosti. Struktury keramických nástřiků jsou tvořené z jemných částic křemičitanu zirkoničitého a oxidu hlinitého. V procesu kavitace dochází k postupnému uvolňování jednotlivých zrn. V současné době nelze s určitostí říci, která z těchto částic bude přednostně působit jako



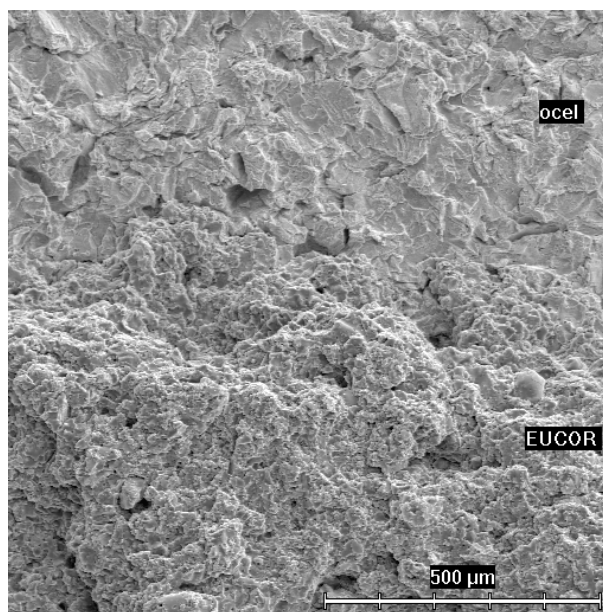
Obr. 8 Pohled na kavitační opotřebení keramického nástřiku EUCORu – kavitováno v H_2O



Obr. 9 Detail obr. 8



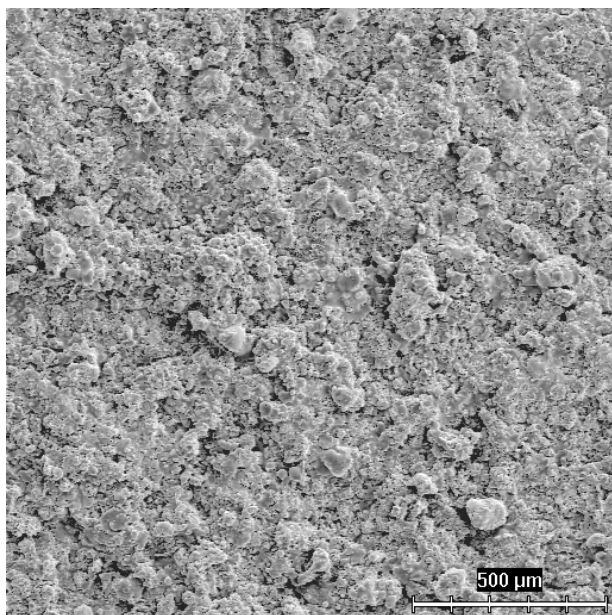
Obr. 10 Pohled na kavitační opotřebení keramického nástřiku EUCORu – kavitováno v H_2SO_4



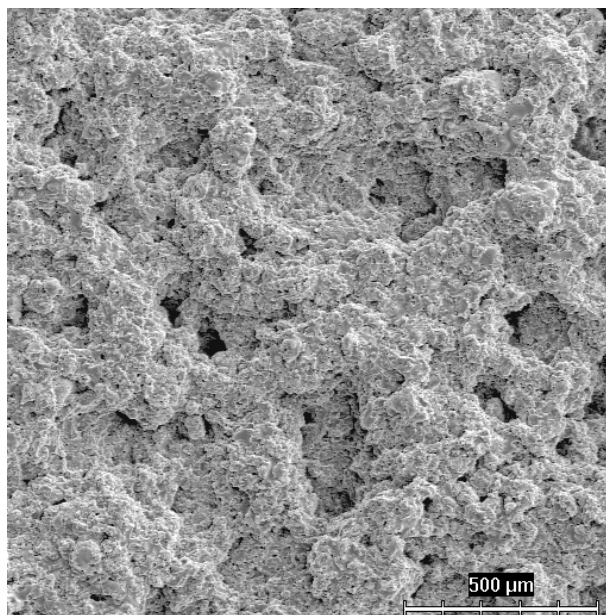
Obr. 11 Detail obr. 10

iniciátor porušení. Vzniklé kavitační krátery mají ostrá a členitá rozhraní, která se dalším působením ultrazvukových vln nekontrolovatelně rozpadají. Nastane-li porušení vrstvy do větších hloubek, je napadnutý i kovový materiál. Potom dochází k erozně-koroznímu opotřebení, které synergicky urychluje celý kavitační proces. V dalším by se již nejednalo pouze o problematiku odolnosti keramického nástřiku proti kavitaci, ale o celkovou degradaci nástřikem upraveného povrchu materiálu.

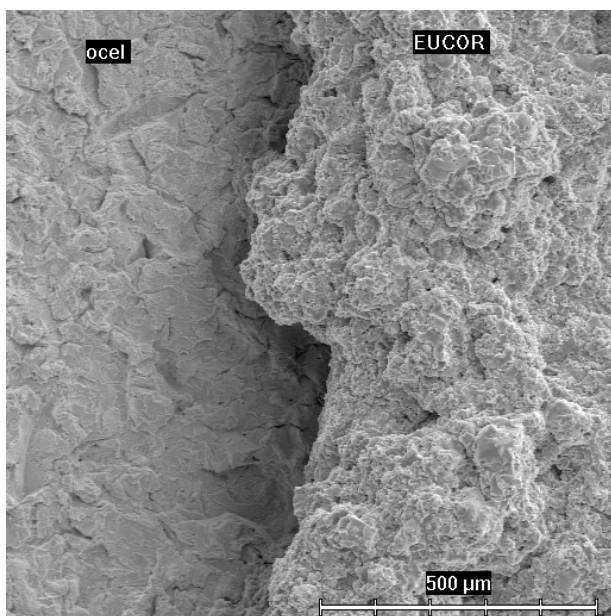
Dále lze konstatovat, že v ovlivnění struktury keramiky kavitačním procesem při kavitování v H_2O a v H_2SO_4 nebyly pozorovány zásadní rozdíly. Stejně tak i doby kavitace do prvního obnažení kovového podkladu vzorku se pro obě použítá média významně nelišily. Na základě těchto skutečností lze konstatovat, že keramika EUCOR je málo citlivá na agresivitu prostředí, v němž dochází ke kavitačním procesům.



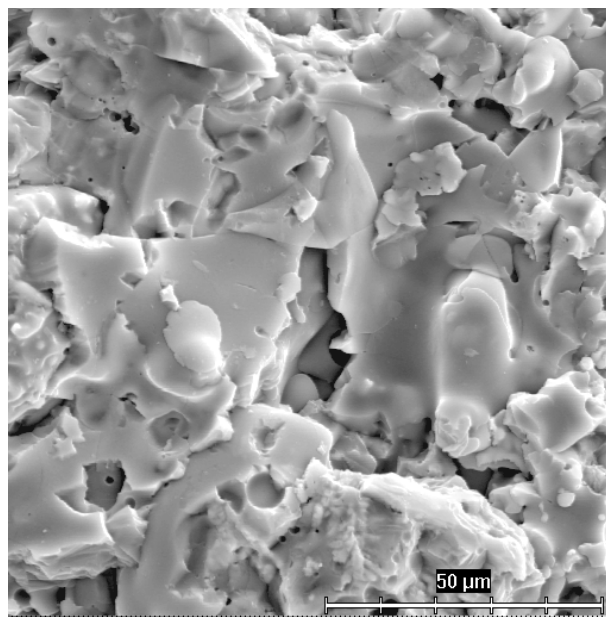
Obr. 12 Struktura plazmatického nástřiku keramiky EUCOR před kavitací



Obr. 13 Iniciační kavitace poškození plazmatického nástřiku keramiky EUCOR



Obr. 14 Detail povrchu vzorku po skončení kavitace – vlevo základní kov (ocel), vpravo zbylá nakavitovaná část keramiky



Obr. 15 Detail nakavitované struktury plazmatického nástřiku keramiky EUCOR

4. Závěr

Určování abrazivního opotřebení keramických nástřiků na Bondově zkušebním zařízení je nerealizovatelné (vysoká abraze hran vzorků). Metoda brusného plátna prokázala, že rozptyly abrazivních úbytků u keramického nástřiku EUCOR-u jsou výrazně menší než u litého EUCOR-u. Plazmatický nástřik EUCOR-u má větší poměrnou odolnost vůči abrazivnímu opotřebení než Hadfieldova ocel. Byly realizovány vstupní experimenty pro určování kavitace opotřebení plazmatického nástřiku EUCOR-u. Mechanismus kavitace opotřebení i doby do nakavitování k základnímu materiálu jsou obdobné pro kavitování v H_2O i ve zředěné H_2SO_4 . Lze tedy říci, že kavitace proces je nezávislý na agresivitě kapalného média.

Práce byla podporována Výzkumným záměrem MŠMT č. CEZ:322/98:262100001.