



Tehničko rešenje

Autori tehničkog rešenja:

prof. dr Tatjana Volkov-Husović¹, dr Marija Vuksanović², dr Maja Gajić-Kvašček², dr Nataša Tomić³, prof. dr Radmila Jančić Heinemann¹, Velibor Andrić², dr Sanja Martinović⁴, dr Milica Vlahović⁴

¹ Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd

² Univerzitet u Beogradu, Institut za nuklearne nauke Vinča, Laboratorija za hemijsku dinamiku i permanentno obrazovanje, 060, Akreditovana laboratorija za ispitivanje, Beograd

³ Inovacioni centar Tehnološko-metalurškog fakulteta, Beograd

⁴ Univerzitet u Beogradu, Institut za hemiju, tehnologiju i metalurgiju, Beograd

Naziv tehničkog rešenja:

Nova metoda za sintezu keramičkih materijala i nedestruktivnu karakterizaciju površinskih oštećenja usled izlaganja kavitaciji

Novo tehničko rešenje (metoda) primenjeno na nacionalnom nivou

Ključne reči:

Vatrostalni keramički materijali, Kavitacija, Analiza slike, Prepoznavanje oblika

Za koga je rešenje rađeno:

MALBEX WBI DOO, Beograd, Srbija

Godina kada je rešenje kompletirano:

2019.

Godina kada je rešenje počelo da se primenjuje i od koga:

2019., MALBEX WBI DOO, Beograd, Srbija

Oblast nauke:

Tehničko-tehnološke nauke

Naučna disciplina na koju se tehničko rešenje odnosi:

Materijali i hemijske tehnologije

Oblast i naučna disciplina na koju se tehničko rešenje odnosi

Grupa materijala čija temperatura omekšavanja nije niža od 1853K (1580°C) spada u vatrostalne materijale. Osnovna svojstva koja treba da imaju vatrostalni materijali su:

- da budu postojani pri zagrevanju,
- da im se ne menja zapremina,
- da ne dolazi do promene oblika pod opterećenjem,
- da zadrže dobra mehanička svojstva na visokim temperaturama i pod dejstvom gasova, prašine itd.

Sinteza materijala odgovarajućih svojstava koji će na najbolji mogući način odgovoriti zahtevu stabilnosti svojstava prilikom eksploatacije u posebnim uslovima je uvek od presudnog značaja. Ocena kvaliteta materijala nije ništa manje značajna za odluku o njihovoj primeni i oceni njihovog ponašanja u određenim uslovima. Zbog toga su procesi sinteze materijala, karakterizacije njihovih svojstava i predikcija ponašanja u specifičnim uslovima eksploatacije uzajamno povezani. Sinteza vatrostalnih keramičkih materijala otpornih na kavitaciona oštećenja, karakterizacija njihovih svojstava i svojstava površine i predikcija ponašanja (u smislu broja, veličine i karakteristika nastalih oštećenja) imaju značajnu industrijsku primenu, pogotovo kada se sintetišu novi materijali poboljšanih svojstava i kada karakterizacija takvih materijala odgovara zahtevima najsavremenijih industrijskih koncepata.

Tehničko rešenje pripada oblasti tehničko-tehnoloških nauka; koriste se keramički vatrostalni materijali izloženi kavitaciji. Prema Međunarodnoj klasifikaciji патената (MKP) oznaka oblasti tehnike na koju se tehničko rešenje odnosi je: **C04-keramika; vatrostalni materijali; F27-peći; sušnice; visoke peći; retortne peći; G06T 1/40-obrađivanje podataka o slici; G06N 5/04-metode zaključaka.**

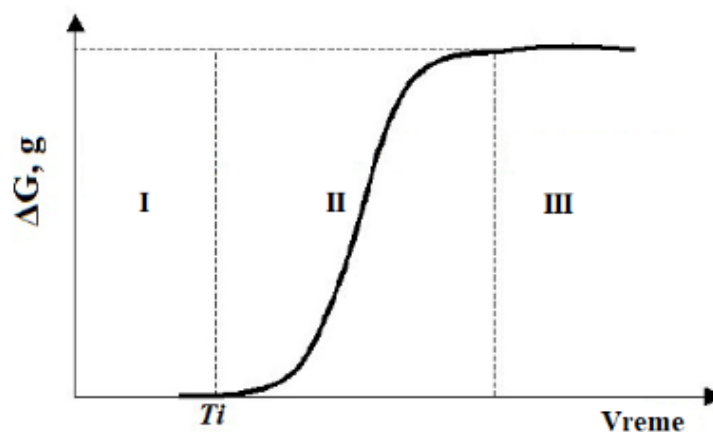
Problem koji se tehničkim rešenjem rešava

Predloženo tehničko rešenje se odnosi na postupke:

- sinteze vatrostalnih keramičkih materijala,
- karakterizacije njihovih svojstava prilikom eksploatacije u uslovima dejstva kavitacije i
- predikcije ponašanja materijala u otežanim uslovima eksploatacije.

Tehnički problem predstavljen u ovom tehničkom rešenju definiše se kao karakterizacija stepena površinskog oštećenja vatrostalnih keramičkih materijala usled izloženosti kavitaciji, definisanje i praćenje morfologije nastalih oštećenja sa ciljem predikcije ponašanja u otežanim uslovima eksploatacije. Ovako definisan problem potrebno je rešiti primenom nedestruktivnih metoda. Predložen je novi postupak koji se sastoji iz dve faze: prva faza se odnosi na primenu tehnika analize slike za izdvajanje oštećenja uzoraka koji su izloženi kavitaciji i definisanje njihovih morfoloških karakteristika, a druga faza je karakterizacija stepena oštećenja i prepoznavanje stadijuma kvitacije na osnovu utvrđenih morfoloških karakteristika korišćenjem metoda prepoznavanja oblika.

Kavitaciona erozija se tradicionalno prati merenjem gubitka mase, jer se stvaraju površinska oštećenja koja rezultiraju u smanjenju mase polaznog materijala. Degradacija površine se povećava sa povećanjem vremena izlaganja kavitaciji, pa se udeo oštećene površine smatra još jednim pokazateljem kvaliteta materijala u odnosu na kavitacionu rezistenciju. Uobičajeni izgled kavitacione krive gubitka mase dat je na slici 1. Postoje tri perioda karakteristična za krivu kavitacije (gubitak mase u toku vremena kavitacionog dejstava): period inkubacije, period ubrzanog gubitka mase i period usporenog gubitka mase. U period inkubacije gubitak mase je sporiji, dok se u drugom periodu gubitak mase naglo povećava, a time i površinsko oštećenje. U stacionarnom periodu (period III), brzina erozije je usporenija, ali se oštećenja i dalje spajaju i stvaraju velike šupljine na površini koja je izložena dejstvu kavitacije.

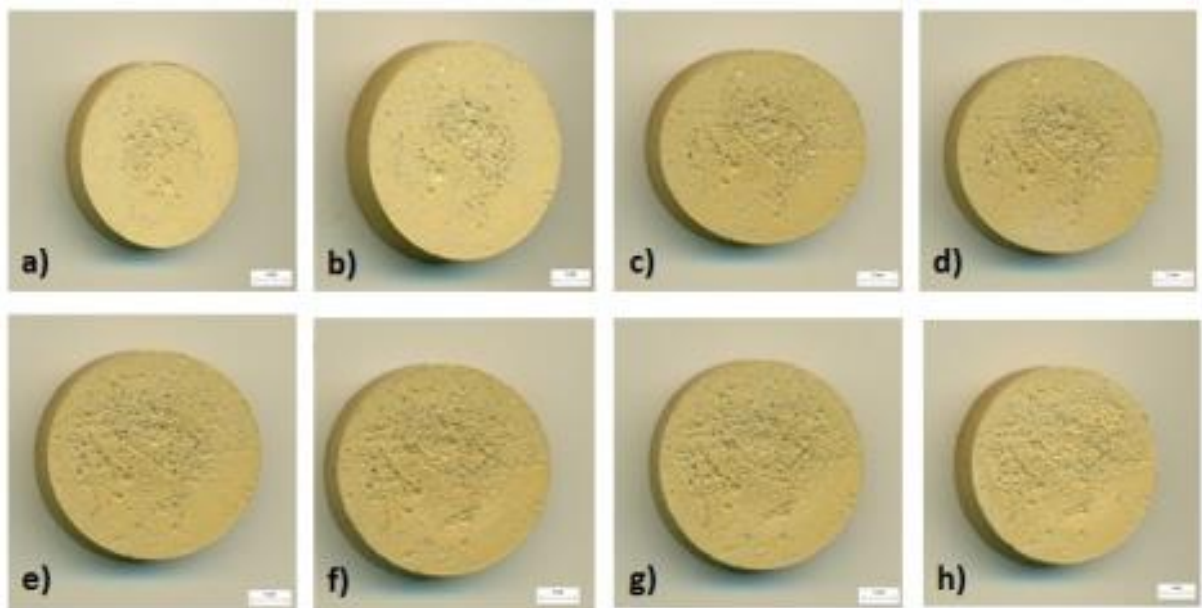


Slika 1 Karakteristična kriva kavitacionog razaranja: I) inkubacioni period, II) period ubrzanog razaranja i III) period usporenog razaranja

Kavitaciona erozija se javlja kada dodje do dejstva fluida, najčešće tečnosti koja se kreće nekom brzinom, na materijal. Najčešći primeri za uslove u kojima se sreće kavitacija, odnosno delovi uređaja koji su izloženi dejstvu kavitacije su lopatice

turbina, pumpe, cevodovi i dimovodi. U hemijskom i metalurškom inženjerstvu najčešće dejstvo dimnih gasova može prouzrokovati pojave koje možemo opisati i definisati preko kavitacije. Takođe, delovi peći i uređaja gde dolazi do cirkulacije različitih fluida, su takođe izloženi dejstvu kavitacije. Često su ovi delovi uređaja izrađeni od različitih vrsta vatrostalnih materijala, pa je zbog toga i ispitivanje i praćenje ponašanja ove vrete materijala u uslovima kavitacije veoma značajno [2-7].

U otežanim uslovima eksploatacije tradicionalne metode karakterizacije (preko gubitka mase) i predikcije ponašanja u uslovima postojanja oštećenja (procena oštećenosti od strane operatera) počinju da budu izuzetno neefikasne i neprimenjive. Zbog toga se ukazala potreba da se uspostave nove metode za poboljšanje pomenutih. Autori ovog tehničkog rešenja predlažu rešenje problema-novu metodu-kroz nedestruktivnu karakterizaciju svojstava i predikciju ponašanja materijala izloženih kavitaciji, korišćenjem metoda analize slike i prepoznavanja oblika. U svrhu realizacije ovog rešenja sintetisani su uzorci vatrostalnih keramičkih materijala na sledeći način. Polazne sirovine za pripremu uzoraka su šamot, boksit i glina. Uzorci su cilindričnog oblika prečnika 30,0 mm i visine 9,0 mm, presovani na 36 MPa i termički tretirani na 1200 °C, dva sata. Ovako pripremljeni uzorci (prikazani na slici 2) izloženi su dejstvu kavitacije, a njihova svojstva su ispitana na tradicionalni način-praćenjem gubitka mase, kao i novom metodom nedestruktivne karakterizacije.



Slika 2 Izgled uzoraka izloženih kavitaciji: a) posle 3 min, b) posle 9 min, c) posle 18 min, d) posle 24 min, e) posle 30 min, f) posle 36 min, g) posle 42 min i h) posle 60 min

Sušтина predloženog tehničkog rešenja je da se dosadašnja metoda procene oštećenja materijala izloženih dejstvu kavitacije preko gubitka mase unapredi novim postupkom koji će omogućiti konzistentnost karakterizacije u uslovima kada je nemoguće primeniti tradicionalni metod i kada je neophodno karakterizaciju izvršiti na nedestruktivan način. Predložena nova metoda omogućava dodatni kvalitet karakterizacije, jer se na osnovu definisane morfologije oštećenja uzoraka izloženih kavitaciji može predvideti ponašanje materijala, tako što je moguće odrediti prelazak jedne faze kavitacione krive (gubitak mase – vreme kavitacije) u drugu fazu. Na ovaj način je moguće na jednostavniji način sintetisati materijale zadatih svojstava i predvideti njihovo ponašanje u otežanim uslovima eksploatacije.

Stanje rešenosti problema u svetu

Vatrostalni materijali su materijali koji su izloženi visokim temperaturama. Površinska zaštita tih materijala i svojstva površine kad je podvrgnuta protoku gasova ili tečnosti mnogo je manje proučena i studije koje razmatraju odgovor keramičkih materijala na kavitaciju počele su mnogo kasnije za razliku od metalnih materijala. Svojstva i primena keramičkih vatrostalnih materijala zavise od strukture materijala: faznog sastava, oblika, količine i rasporeda pora, a uočen je uticaj tih parametara na kavitaciju. Mehanička svojstva kao što su pritisna, savojna i zatezna čvrstoća zavise od raspodele veličine čestica sirovine, poroznosti i drugih parametara proizvodnog procesa [1].

Kavitacija predstavlja nestacionaran proces stvaranja, rasta i kondenzacije mehura unutar tečnosti [2, 3], što dovodi do oštećenja površine i gubitka materijala usled stvaranja pritiska u tečnosti. Veličina pritiska u tečnosti vezana je za početak kavitacije. To znači da kada pritisak dostigne vrednost isparavanja tečnosti na određenoj temperaturi, dolazi do pojave stvaranja mehura i taj trenutak se smatra početkom kavitacije. Pad pritiska ili ubrzanje struje tečnosti može dovesti do smanjenja pritiska tečnosti. Struja tečnosti nosi sa sobom mehure pare i kada dođu u polje povećanog pritiska mehuri pare ne mogu da opstanu i dolazi do njihove kondenzacije (implozije) [4]. Kavitaciona erozija može se pojaviti na površinama metala, nemetala i na vatrostalnoj keramici [5-7]. Svojstva površine i oštećenja nastala na površini ispitivana su tehnikama mikroskopije i ograničena su na opis i elementarna merenja koja su uglavnom usmerena na karakterizaciju veličine zrna materijala [8].

Analiza slike je razvijena zajedno sa matematičkom morfologijom [9, 10], a primena predloženih algoritama postala je izvodljiva zbog povećane brzine računara. Deskriptivne kategorije u slikama kao što su tekstura, oblik pora, oblik i veličina

zrna i udaljenosti posmatranih karakteristika u strukturi mogu se povezati sa parametrima koji su definisani pomoću merljivih karakteristika na slikama [11]. Ovi trendovi nisu bili ograničeni samo na jednu oblast nauke i primenjeni su u analizi satelitskih snimaka kao i u analizi mikrostrukture materijala ili u biologiji koja se bavi oblicima i strukturama životinja i biljaka i namenjena je analizi oblika objekata [12].

U nauci o materijalima, posebno u metalurgiji praha, morfologija čestica se koristi za posmatranje njihovog ponašanja u multipartikularnom sistemu i definiše mnoga fizička i hemijska svojstva koja zavise od geometrije. Farmaceutska industrija, na primer, koreliše faktor oblika čestica sa mogućnošću formiranja tableta u smislu lakoće punjenja i sabijanja [13]. Većina faktora oblika za prahove definisani su na dvodimenzionalnim projekcijama čestica dobijenih pomoću mikroskopije. Ovi parametri su proučavani, a njihova definicija je poboljšana raspoloživošću procedura u analizi slike koju je bilo lako definisati pomoću softvera koji je danas dostupan. Analiza slike se takođe koristi u studijama kompleksnih mikrostrukture gde je karakterizacija pora neophodna [14]. Analogno tim parametrima, studije površine vatrostalnih materijala koji su izloženi kavitaciji poboljšani su primenom analize slike u tim studijama [15].

Cilj analize slike jeste da pruži kvantitativni opis slike ili prepoznavanje oblika, što je korisno ako su morfološke karakteristike objekata povezane sa njihovim svojstvima. Materijali različitog sastava pokazuju različito ponašanje pod dejstvom kavitacije, što se moglo potvrditi i primenom analize slike na ispitivanje morfoloških karakteristika oštećenja [15]. Analiza slike omogućava da se površinska oštećenja prate i pruža mnogo više podataka o tome šta se menja u unutrašnjosti uzorka i kako se na površinu uzorka reflektuju promene koje se dešavaju usled izlaganja uzorka kavitaciji. Na ovaj način je moguće dobiti detaljniji uvid u promene površinskih oštećenja i uspostaviti nove postupke njegove karakterizacije.

Kavitaciona erozija proizvodi gubitak mase i degradaciju površine i proučavana je gubitkom mase i posmatranjem i vizuelizacijom oštećenja površine uzoraka i njihovom karakterizacijom izračunavanjem parametara koji opisuje morfologiju oštećenja. Dinamika degradacije površine je u korelaciji sa gubitkom mase i pokazano je da se u metalnim uzorcima promena od početne faze kavitacionog razaranja odlikuje promenom veličine i oblika površinskih oštećenja [16, 17]. Veličina i oblik površinskih oštećenja mogu dati informacije o napretku procesa kavitacije i mogu se proučavati u vezi sa uništavanjem uzorka. Pokazano je da obrasci površinskih oštećenja utiču na ponašanje materijala [15]. Različite tehnike prepoznavanja oblika efikasno su primenjeni za opisivanje različitih procesa i korelaciju svojstava materijala sa nekim procesnim ili strukturnim parametrima [18-21].

U ovom radu analizirane su morfološke karakteristike oštećenja pomoću alata za analizu slike. Cilj ovog rada bio je istražiti mogućnost praćenja prelaza jedne faze kavitacije u drugu kroz praćenje morfoloških promena oštećenja keramičkih materijala koji su izloženi kavitaciji pomoću alata za analizu slike i prepoznavanja oblika.

Opis tehničkog rešenja

Priprema materijala

Polazne sirovine za pripremu uzoraka su šamot, boksit i glina. Polazne komponente za pripremu uzoraka proizvedene su u fabrici „Šamot” iz Arandjelovca a njihov sastav dat je u Tabeli 1.

Tabela 1 Hemijski sastav polaznih komponenti za pripremu uzoraka

Komponente	Boksit	Šamot	Glinica
	%	%	%
Gubitak žarenja	14,59	-	7,29
SiO ₂	17,72	65,35	60,59
Al ₂ O ₃	60,71	26,67	24,73
TiO ₂	2,56	1,40	1,30
Fe ₂ O ₃	3,54	1,58	1,47
CaO	0,28	0,38	0,36
MgO	0,60	1,05	0,98
Na ₂ O	-	0,60	0,56
K ₂ O	-	2,96	2,75

Smeša je homogenizovana 2 h u plastičnim bocama sa valjcima a zatim je sušena u sušnici 24 h i nakon toga presovana u kalupu. Svi uzorci su cilindri prečnika 30,0 mm i visine 9,0 mm presovani na pritisku od 36 MPa i dva sata termički tretirani na 1200 °C.

Laboratorijko ispitivanje kavitacije izvršeno je prema proceduri opisanoj u ASTM G32 standardu [22] sa ultrazvučnim vibracionim kavitacionim testom sa stacionarnim uzorkom. Kavitaciono razaranje uzoraka izvodi se pri sledećim parametrima:

- frekvencija mehaničkih vibracija je 20 ± 0.5 kHz
- amplituda mehaničkih vibracija na vrhu koncentratora je 50 μ m
- rastojanje između uzorka i koncentratora uređaja je 0,5 mm

- test je izveden sa protokom vode od 5 do 10 ml/s
- temperatura vode u kupatilu je $25 \pm 1^\circ\text{C}$.

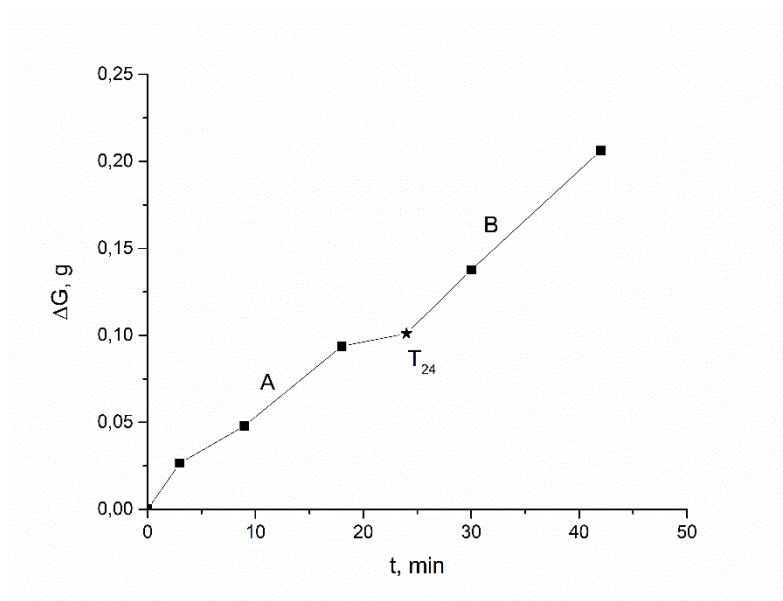
Nakon izlaganja kavitaciji, posle određenog vremenskog perioda, uzorci su sušeni i mereni na analitičkoj vagi sa tačnošću od $\pm 0,1$ mg. Gubitak mase uzoraka tokom kavitacije meren je u redovnim vremenskim intervalima, a rezultati su prikazani na slici 3. Trend naglih promena u gubitku mase u keramičkim uzorcima primećen je posle 24 minuta izlaganja kavitaciji (ovaj trenutak je označen kao trenutak prelaska u drugi period kavitacije i vidno je istaknut na slici 3).

Procena stepena oštećenja na materijalu vršena je i analizom slike oštećene površine sa ciljem:

- praćenja prelaska jednog perioda kavitacije u drugi
- karakterizacije morfologije površinskih oštećenja nastalih izlaganjem uzoraka kavitaciji.

Kavitaciona erozija

Pored promene mase uzoraka, bilo je od velikog značaja pratiti šta se dešava sa veličinom i morfologijom uočenih oštećenja površine. Sadašnje stanje tehnike u analizi slike pomogulo je akviziciju i kvantifikaciju parametara kojima se morfološke karakteristike oštećenja mogu opisati na kvantitativan način.

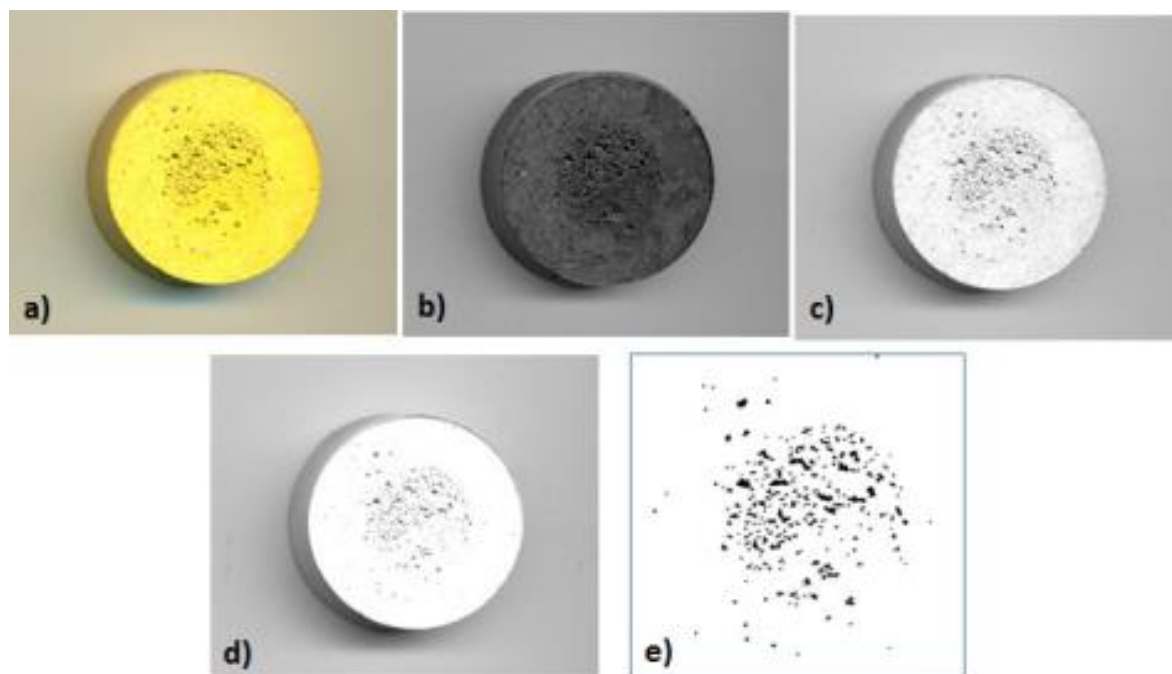


Slika 3 Gubitak mase tokom kavitacije

Postupak identifikacije oštećenja metodom analize slike

Pripremljeni uzorci keramičkih materijala izlagani su kavitaciji i posle određenog vremenskog perioda izvršeno je merenje njihove mase, a površina je snimana na skeneru da bi se dobile slike velike rezolucije (600 dpi) i da bi se uzorci snimili pod istim uslovima. Slike su analizirane softverom za analizu slike *Image Pro Plus* (Media Cybernetics, Rockville, MD, 2006) da bi se izdvojila oštećenja sa površine uzoraka. Izdvajanje oštećenja koje je nastalo dejstvom kavitacije zavisi od iskustva eksperimentatora čime je postalo neophodno ustanoviti način za kvantifikaciju stepena oštećenja. Prvi koraci u kvantifikovanju oštećenja je razdvajanje oštećene i neoštećene površine uzoraka. Step en oštećenja je korelisan sa promenom svojstava materijala čime se pokazalo da su oštećenja proporcionalna degradaciji materijala.

Slike sadrže informacije o boji, a boja se može analizirati separacijom boja tako da se dobiju slike koje imaju crveni, plavi i zeleni nivo a prikazane su kao sive slike. Ovo omogućava lakše izdvajanje oštećenja površine uzoraka. Originalna slika uzorka sa plavim, zelenim i crvenim kanalom i izdvojenim oštećenjem iz originalne slike prikazana je na slici 4.



Slika 4 Prikaz uzorka posle kavitacije: a) originalna slika, b) plavi kanal, c) zeleni kanal, d) crveni kanal i e) izdvojena oštećenja sa originalne slike

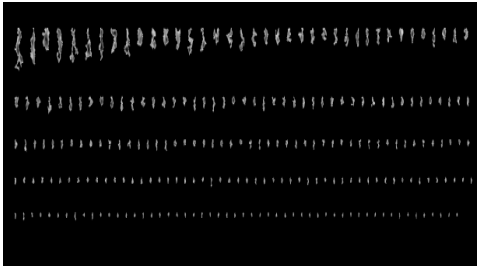
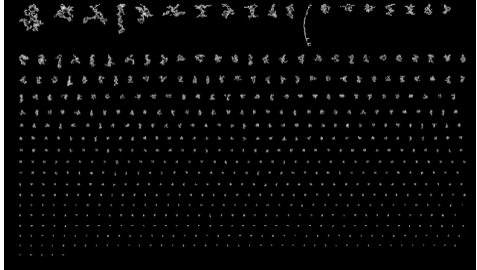
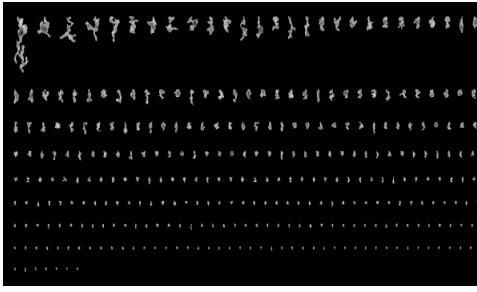
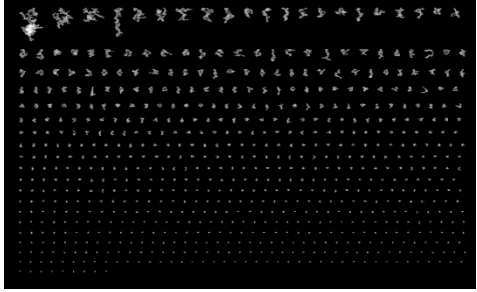
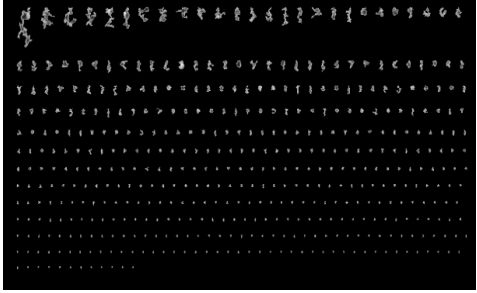
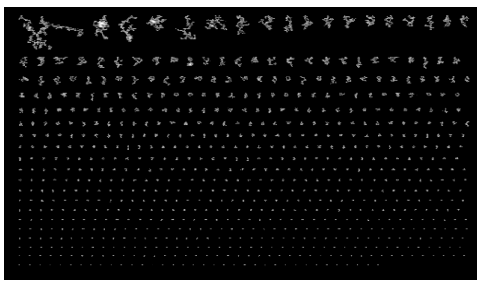
Podaci dobijeni sa crvenog kanala prikazuju najbolje izdvajanje oštećenja na površini uzoraka izloženih kavitaciji. Slike crvenog kanala se mogu tretirati kao slike

sivog nivoa, a oštećenja se mogu izabrati na osnovu intenziteta piksela. Ovaj korak je od velikog značaja da bi se održali isti kriterijumi za izbor površinskih oštećenja. Analizom slike se ekstrahuje veliki broj malih tamnih mrlja koje u stvarnosti nisu oštećenja nastala pod dejstvom kavitacije, pa su opcije filtriranja uključene da bi se eliminisali mali defekti iz dalje analize. Oštećenja su izvučena kroz izbor najtamnijih nivoa slike. Drugi parameter koji je u određenom rasponu u stvarnim oštećenjima je fraktalna dimenzija (*fractal dimension*) i samo oštećenja koja imaju fraktalnu dimenziju u opsegu od 1 do 2 ostaju u selekciji. Ovo je standard koji je predložen od samog softvera. Sve slike uzoraka koje su dobijene posle različitog vremena izlaganja kavitaciji tretirane su na isti način kako bi se održala objektivnost postupka selekcije. Softver za analizu slike (Image Pro Plus) omogućava karakterizaciju svakog objekta, a parametri koji su korišćeni za analizu slike su: *area*, *aspect ratio*, *axis (major)*, *axis (minor)*, *diameter (max)*, *diameter (min)*, *diameter (mean)*, *perimeter*, *perimeter 2*, *perimeter 3*, *roundness*, *fractal dimension*, *box width* i *box height*.

Nakon obrade slike površinskih oštećenja posle određenog vremena izlaganja kavitaciji na gore objašnjen način, za dalju analizu su izdvojena oštećenja sa vrednošću parametra *area* u opsegu od 0,1 do 2. Izabrana oštećenja su karakterisana sa 15 parametara, a njihove vrednosti su grupisane u odnosu na vreme izlaganja kavitaciji. Dodatno grupisanje je primenjeno za formiranje dva skupa podataka. Skup podataka, označen kao A, sadržao je vrednosti morfoloških parametara za oštećenja koja su nastala tokom prvih 24 minuta izlaganja kavitaciji. Drugi skup podataka, označen kao B, formiran je za periode dužeg izlaganja kavitaciji (od 24 do 42 minuta). Ovo određeno grupisanje je izvršeno sa ciljem da se definiše vreme faznog prelaza i da se povežu morfološke karakteristike sa gubitkom mase. Oštećenja izdvojena gore opisanim postupkom prikazani su u Tabeli 2.

Cilj ove analize bio je da se primeni jednosmerna analiza varijanse (ANOVA) i Tukijeva post hoc višestruka poređenja sa nivoom značajnosti od 0,05 da bi se utvrdilo da li postoje statistički značajne razlike između srednjih vrednosti izračunatih morfoloških parametara posle izlaganja kavitaciji. Analiza glavnih komponenti (PCA) je korišćena za ispitivanje strukture skupova podataka, a time i mogućnosti klasifikacije zasnovane na maksimalnoj varijansi među grupama. Podaci u skupovima podataka su autoskalirani pre PCA analize. Dodatna mogućnost klasifikacije je ispitana redukcijom dimenzija na bazi matrica rasejanja početnih skupova podataka. ANOVA i PCA su izvršene pomoću IBM SPSS Statistics 19 programskog paketa (IBM SPSS Statistics, Chicago, IL, 2009), dok je za redukciju dimenzija zasnovanu na matricama rasejanja korišćen MATLAB - verzija R2017a, Math Works, Inc. 2017 programski paket.

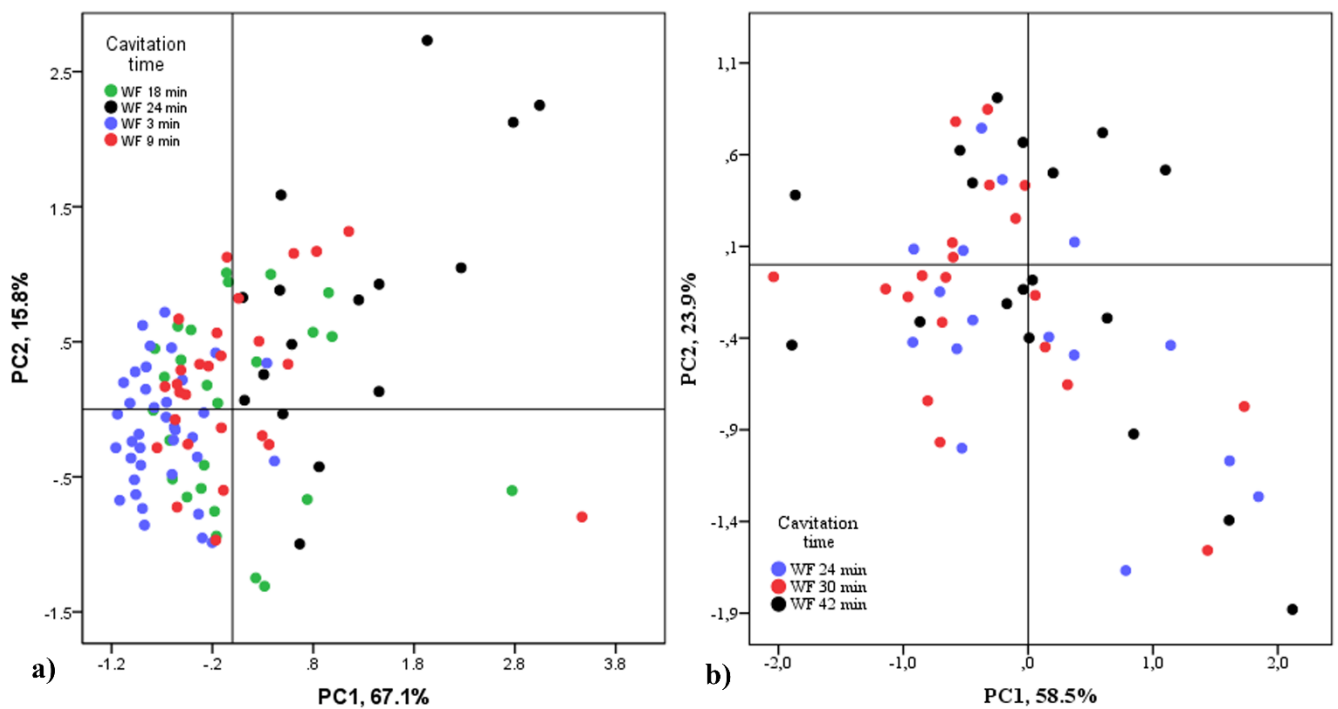
Tabela 2 Objekti odabrani pomoću analize slike za vatrostatne materijale nakon određenog vremena izlaganja uzoraka kavitaciji

Vreme	Površinska oštećenja	Vreme	Površinska oštećenja
3 min		24 min	
9 min		30 min	
18 min		42 min	

Postupak karakterizacije materijala metodom glavnih komponenti (PCA-hemometrijskom analizom)

ANOVA analiza izvršena na skupu podataka A pokazala je da postoji statistički značajno podstupanje od srednje vrednosti (sa nivoom pouzdanosti od 95%) za sve izračunate parametre kojima je opisana morfologija oštećenja tokom prvih 24 minuta izlaganja kavitaciji (Tabela 3). Detaljnije informacije o ovim razlikama pružaju višestruka poređenja putem Tukijevog post hoc testa. Pokazano je da su se parametri, koji su izračunati za oštećenja koja su nastala nakon 24 minuta kavitacije, razlikovala od oštećenja sa istim parametrima izračunatih za prethodno razvijena oštećenja. *Fractal dimension* i *diameter (min)* su parametri koji se ne mogu smatrati različitim, sa nivoom pouzdanosti od 95%, osim za oštećenja koja su

nastala posle 3 i 24 minuta. Ovaj rezultat se dobro slaže sa mehanizmom kavitacione erozije, jer favorizuje sferičnost oštećenja i njihov prečnik se vremenom povećava. Takođe, odsustvo razlike u *fractal dimension* i *diameter (min)* izračunato nakon 3, 9 i 18 minuta ilustruje uniformnost procesa. U segmentu A gubitka mase, kao što je prikazano na slici 3, kavitacija širi oštećenja jer se značajna razlika parametara *area* može uočiti nakon 18 i 24 minuta bez povećanja broja oštećenja površine u rasponu od 0,1 do 2 mm. Da bi se vizualizovali gornji nalazi, PCA analiza izvršena je na setu podataka A. Prve tri glavne komponente opisuju 88,4% ukupne varijanse, što omogućava dobru sliku strukture podataka u redukovanom prostoru maksimalne varijanse. Grafički prikaz ovog skupa podataka (Slika 5a) pokazuje da se morfologija oštećenja menja tokom vremena.



Slika 5 Prikaz uzorka posle kavitacije: a) originalna slika, b) plavi kanal, c) zeleni kanal, d) crveni kanal i e) izdvojena oštećenja sa originalne slike

Razlike u morfologiji su uočene nakon 24 minuta izlaganja uzoraka kavitaciji u odnosu na početak procesa, što je u skladu sa prethodnim nalazima. Morfologija oštećenja se menja između 3 i 9 minuta (informativni parametri za ovaj zaključak su *perimeter*, *perimeter 2* i *perimeter 3*, koji pokazuju postojanje malih promene u veličini oštećenja opisanu kroz visoke vrednosti parametara *Loadings* prikazanih u tabeli 4). U narednih 9 minuta kavitacije može se primetiti da morfologija ostaje stabilna jer je *density (max)* jedini parameter koji se značano razlikuje u ovom period.

Tabela 3 Vrednosti opterećenja u prostoru maksimalne varijanse za A i B skupove podataka

		Data set A					Data set B				
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	p-value	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p-value
Area	Between Groups	5,733	3	1,911	19,894	0,000	0,235	2	0,117	0,539	0,586
	Within Groups	10,182	106	0,096			11,986	55	0,218		
	Total	15,915	109				12,221	57			
Aspect	Between Groups	39,714	3	13,238	3,980	0,010	11,944	2	5,972	0,882	0,420
	Within Groups	352,581	106	3,326			372,454	55	6,772		
	Total	392,295	109				384,399	57			
Axis (major)	Between Groups	19,523	3	6,508	16,655	0,000	0,816	2	0,408	0,556	0,577
	Within Groups	41,417	106	0,391			40,381	55	0,734		
	Total	60,939	109				41,197	57			
Axis (minor)	Between Groups	1,619	3	0,540	12,189	0,000	0,076	2	0,038	0,367	0,695
	Within Groups	4,692	106	0,044			5,683	55	0,103		
	Total	6,310	109				5,759	57			
Diameter (max)	Between Groups	22,759	3	7,586	18,447	0,000	0,842	2	0,421	0,551	0,579
	Within Groups	43,594	106	0,411			41,991	55	0,763		
	Total	66,354	109				42,833	57			
Diameter (min)	Between Groups	0,317	3	0,106	6,420	0,000	0,079	2	0,040	1,532	0,225
	Within Groups	1,745	106	0,016			1,422	55	0,026		
	Total	2,061	109				1,501	57			
Diameter (mean)	Between Groups	5,327	3	1,776	21,161	0,000	0,268	2	0,134	0,985	0,380
	Within Groups	8,895	106	0,084			7,485	55	0,136		
	Total	14,223	109				7,753	57			
Perimeter	Between Groups	370,399	3	123,466	21,525	0,000	20,699	2	10,349	0,852	0,432
	Within Groups	608,024	106	5,736			668,124	55	12,148		
	Total	978,423	109				688,823	57			

Nastavak table 3

Roundness	Between Groups	284,940	3	94,980	16,243	0,000	30,093	2	15,046	1,373	0,262
	Within Groups	619,819	106	5,847			602,925	55	10,962		
	Total	904,760	109				633,018	57			
Perimeter 2	Between Groups	613,499	3	204,500	24,893	0,000	34,160	2	17,080	0,878	0,422
	Within Groups	870,794	106	8,215			1070,521	55	19,464		
	Total	1484,293	109				1104,681	57			
Fractal Dimension	Between Groups	0,057	3	0,019	7,174	0,000	0,015	2	0,008	1,642	0,203
	Within Groups	0,278	106	0,003			0,253	55	0,005		
	Total	0,335	109				0,269	57			
Box Width	Between Groups	4,324	3	1,441	18,302	0,000	0,235	2	0,117	0,635	0,534
	Within Groups	8,347	106	0,079			10,177	55	0,185		
	Total	12,670	109				10,412	57			
Box Height	Between Groups	26,492	3	8,831	18,933	0,000	0,986	2	0,493	0,599	0,553
	Within Groups	49,442	106	0,466			45,302	55	0,824		
	Total	75,935	109				46,288	57			
Density (max)	Between Groups	14555,811	3	4851,937	158,385	0,000	257,228	2	128,614	1,080	0,347
	Within Groups	3247,180	106	30,634			6549,272	55	119,078		
	Total	17802,991	109				6806,500	57			
Perimeter 3	Between Groups	443,426	3	147,809	22,703	0,000	23,295	2	11,648	0,836	0,439
	Within Groups	690,126	106	6,511			766,352	55	13,934		
	Total	1133,552	109				789,647	57			

Nadalje, oštećenja menjaju svoju veličinu (opisanu korišćenjem *perimeter*, *perimeter 2* i *perimeter 3*) kao rezultat erozije i ovi parametri su najinformativniji za varijansu u grupi oštećenja koja se dobijaju posle 24 minuta izlaganja uzoraka kavitaciji. Pored ova tri parametra (koji imaju najveće vrednosti parametra *Loadings*)

box height, diameter (max), diameter (mean), area i axis (major) imaju visoke vrednosti ovog parametra po PC1 osi i mogu se smatrati parametrima koji sadrže informacije o početnoj strukturi skupa podataka.

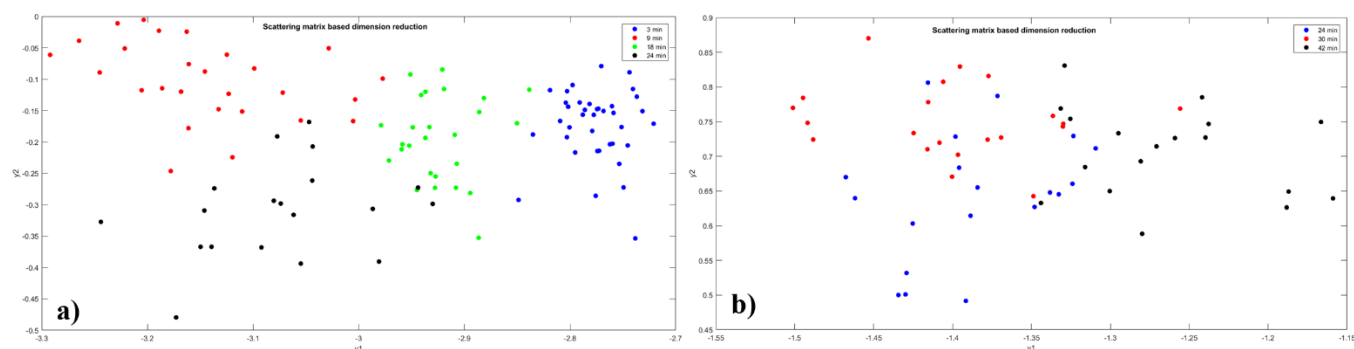
Tabela 4 Vrednosti parametra *Loadings* za PCA analizu

	Skup podataka A		Skup podataka B	
	Loading values		Loading values	
	PC1	PC2	PC1	PC2
Area	.925	.210	.903	-.287
Aspect	.391	-.866	.216	.905
Axis (major)	.902	-.387	.775	.583
Axis (minor)	.699	.661	.642	-.732
Diameter (max)	.934	-.324	.845	.493
Diameter (min)	.526	.000	.385	.235
Diameter (srednji)	.929	-.267	.846	.441
Perimeter	.986	.052	.981	-.115
Roundness	.872	-.224	.812	.222
Perimeter 2	.979	.110	.970	-.185
Fractal dimension	.497	.562	.478	-.680
Box Width	.795	.537	.719	-.631
Box Height	.946	-.299	.855	.483
Density (max)	.552	.215	.568	-.323
Perimeter 3	.985	.079	.977	-.142

Ovi rezultati ukazuju da u fazi A kavitacione erozije prikazane na slici 3, morfologija oštećenja je takva da se može zaključiti da nije nastala širenjem oštećenja po površini uzorka, već je došlo do razvoja defekata prema dubini uzorka. Ovaj način destrukcije površine može dovesti do koncentracije napona ako se materijal podvrgne termičkom naprezanju, koji je često slučaj sa vatrostalnim materijalima. Parametri *aspect, axis (minor), fractal dimension i box width* povećavaju grupnu nekoherentnost čime se može objasniti širenje zona oštećenih kavitacijom.

Prepoznavanje oblika korišćenjem još jedne tehnike za redukciju dimenzija-zasnovane na matricama rasejanja, je efikasano kao tehnika sa nagledanjem u opisivanju razlika koje smo unapred uočili na kavitacionoj krivoj, slika 3. Ova metoda primenjena na skup A, pokazala je da se morfologija oštećenja vremenom menja na način da su njihovi parametri dovoljni da prepoznaju vreme izlaganja kavitaciji sa minimalnom greškom. Na slici 6a može se primetiti da se grupna koherentnost može sačuvati redukcijom dimenzija. Štaviše, izuzimajući parameter koji remete ovu grupnu koherentnost (izračunato je da su to parametri *aspect, axis*

(*minor*), *fractal dimension* i *box width*) povećava se vizuelizacija razlika nastalih oštećenja kako kavitaciona erozija napreduje.



Slika 6 Prikaz uzorka posle kavitacije: a) originalna slika, b) plavi kanal, c) zeleni kanal, d) crveni kanal i e) izdvojena oštećenja sa originalne slike

ANOVA analiza izvršena na skupu podataka B pokazuje da ne postoji statistički značajna razlika između srednjih vrednosti parametara odabranih za opisivanje morfologije oštećenja tokom segmenta B definisanog na grafiku gubitka mase (tabela 3 i slika 3). Analiza PCA koja je izvršena na skupu podataka B pokazuje da prve tri glavne komponente opisuju 89,3% ukupne varijanse, što omogućava gotovo odličan uvid u strukturu početnog skupa podataka. Grafički prikaz ovog skupa podataka (Slika 5b) u prostoru maksimalne varijanse pokazuje velike sličnosti u morfologiji oštećenja u vremenu i izrazitoj grupnoj nekoherentnosti (što se može objasniti varijansom parametara *aspect*, *axis (minor)*, *fractal dimension* i *box width*, koja u ovom slučaju imaju veće vrednosti parametra *Loadings* nego u prethodnom slučaju, tabela 3).

Redukcija dimenzija zasnovana na matricama rasejanja skupa B potvrdila je gore ustanovljen zaključak. Prema slici 6b može se zaključiti da nije moguće prepoznati vreme izlaganja kavitaciji bez pogrešne klasifikacije u segmentu B kavitacione krive (slika 3), što se može objasniti povećanjem površine oštećenja koja je rezultat spajanja (koalescencijom) prethodno oštećenih površina, odnosno dugotrajne erozije.

Komercijalizacija tehničkog rešenja

Predložena nova metoda karakterizacije površinskih oštećenja vatrostalnih keramičkih materijala nastalih usled kavitacije primenom alata analize slike i prepoznavanja oblika omogućava da se prepoza momenat prelaska iz jedne faze kavitacije u drugu. Dobro razvijenim tehnikama u eksperimentalnom segmentu

omogućeno je da se odredi uticaj procesnih parametara čijim se preciznim odabirom postiže gore navedeni zahtev.

Predložena metoda omogućava da se pomoću dobro razvijenih eksperimentalnih modela izvrši procena kvaliteta određenog materijala kada se eksploatiše u kavitacionim uslovima. Ovo je moguće definisanim morfološkim karakteristikama nastalih oštećenja.

Predložena metoda omogućava da se karakterizacija materijala čija je površina oštećena usled kavitacije karakteriše na potpuno nedestruktivan način. Karakterizacijom morfologije pojedinačnih oštećenja moguće je odrediti stepen oštećenja čitavog materijala i to ne samo površinskih, već i dubinskih. Zato je ova metoda do sada najefikasnije sredstvo kojim se eliminiše uticaj operatora u standardnom postupku i kojim je omogućeno karakterisanje oštećenja površine u teško dostupnim sistemima.

Komercijalizacija predloženog tehničkog rešenja, odnosno primena nove metode nedestruktivne karakterizacije površinskih oštećenja keramičkih materijala nastalih dejstvom kavitacije, je dokumentovana kroz ZAHTEV ZA SINTEZU KERAMIČKIH MATERIJALA I NEDESTRUKTIVNU KARAKTERIZACIJU POVRŠINSKIH OŠTEĆENJA USLED IZLAGANJA KAVITACIJI, koji je MALBEX WBI DOO, BEOGRAD uputio Tehnološko-metalurškom fakultetu, Univerziteta u Beogradu (za prof. dr Tatjanu Volkov-Husović) 22.05.2019., UGOVOR O NAUČNOJ I POSLOVNO-TEHNIČKOJ SARADNJI br. 1368/1 od 26.06.2019., kao i potvrdom o kupovini ovog tehničkog rešenja od 05.07.2018. godine. Sva navedena dokumenta odnose se na Ugovor zaključen između Tehnološko-metalurškog fakulteta, Univerziteta u Beogradu i MALBEX WBI DOO, BEOGRAD. Sva navedena dokumenta su sastavni deo ovog dokumenta i nalaze se u PRILOGU.

Apstrakt

Ovim istraživanjem ustanovljena je nova metoda karakterizacije površinskih oštećenja vatrostalnih keramičkih materijala primenom alata analize slike i prepoznavanja oblika. Eksperimentalni rezultati omogućili su da se razviju pouzdane metode za procenu prelaska jedne faze u drugu keramičkih materijala koji su izloženi dejstvu kavitacije. Pored toga nova metoda omogućava da se standardni postupak procene prelaza jedne faze u drugu na osnovu izgleda oštećenja izvrši na ponovljiv način, bez uticaja operatora. Šta više, predložena metoda je nedestruktivna i primenjiva u uslovima kada je vizuelna inspekcija jedini dostupan način. U toku razvoja ovog rešenja rezultati su publikovani u radu kategorije M21a, ref. [23].

Literatura

- [1] S. Watano, K. Miyanami, Image processing for on-line monitoring of granule size distribution and shape in fluidized bed granulation, *Powder Technology*, (1995), Vol.83, pp. 55-60.
- [2] F.G. Hammit, *Cavitation and Multiphase Flow Phenomena*, McGraw-Hill, New York, 1980.
- [3] T. Okada, Y. Iwai, S. Hattory, N. Tanimura, Relation Between Impact Load and the Damage Produced by Cavitation Bubble Collapse, *Wear*, (1995), Vol.184, pp. 231 – 239.
- [4] http://www.cdcorrosion.com/mode_corrosion/corrosion_erosion_gb.htm.
- [5] S. Martinovic, M. Vlahovic, Z. Stevic, T. Volkov Husovic, Influence of sintering temperature on low level laser (LLL) destruction of low cement high alumina refractory concrete, *Engineering Structures*, (2015), Vol.99, pp. 462–467.
- [6] Z. Pedzich, R. Jasionowski, M. Ziabka, *Journal of the European Ceramic Society*, (2014), Vol.34, pp. 3351–3356.
- [7] <https://en.wikipedia.org/wiki/Cavitation>
- [8] W. J. Tomlinson, N. Kalitsounakis, G. Vekinis, Cavitation erosion of aluminas, *Ceramics International* (1999), Vol.25, pp. 331- 338.
- [9] M. Ponsa, H. Viviera, V. Delcour, J. Authelin, L. Paille`res-Hubert, Morphological analysis of pharmaceutical powders, *Powder Technology* (2002), Vol.128, pp. 276–286.
- [10] F. Y. Shih, *Image Processing and Mathematical Morphology*, Taylor & Francis Group, 2009.
- [11] J. Serra, *Image Analysis and Mathematical Morphology*, Academic Press, New York, 1982.
- [12] G. T. Bartoo, Y. Kim, R. M. Haralick, D. Noehlin, S. Mark Sumi, Mathematical morphology techniques for image processing applications in biomedical imaging, *Medical Imaging II*, (1988), Vol.914, pp. 466 – 475.
- [13] E. M. Alander, M. S. Uusi-Penttila, A. C. Rasmuson, Characterization of paracetamol agglomerates by image analysis and strength measurement, *Powder Technology*, (2003), Vol.130, pp. 298– 306.
- [14] A. Drah, N. Z. Tomić, Z. Veličić, A. D. Marinković, R. Jančić-Heinemann, Highly ordered macroporous γ -alumina prepared by a modified sol-gel method with a PMMA microsphere template for enhanced Pb^{2+} , Ni^{2+} and Cd^{2+} removal, *Ceramics International*, (2017), Vol.43, pp. 13817-13827.
- [15] M. M. Dimitrijevic, M. Dojcinovic, A. B. Devecersk, R. M. Jancic-Heinemann, T. D. Volkov-Husovic, The Use of Image Analysis for Determination of Surface

Deterioration Level of Improved Alumina Based Materials Subjected to Cavitation, *Science of Sintering*, (2013), Vol.45, pp. 97-105.

[16] M. Dojcinović, T. Volkov-Husovic, Cavitation damage of the medium carbon steel: Implementation of image analysis, *Materials Letters*, (2008), Vol.62, pp. 953-956.

[17] M. M. Dimitrijević, B. Medjo, R. Jančić - Heinemann, M. Rakin, T. Volkov - Husović, Experimental and numerical analysis of thermal shock damages to alumina-based ceramic disk samples, *Materials & Design*, (2013), Vol.50, pp. 1011 – 1018.

[18] M. M. Dimitrijević, M. D. Gajić - Kvašček, R. M. Jančić Heinemann, D. V. Mitraković, Influence of preparation conditions of alumina-based refractory on the morphological parameters of surface defects, *International Journal of Applied Ceramic Technology*, (2015), Vol.12, pp. 598-607

[19] U. Ugur, Application of ANOVA to image analysis results of talc particles produced by different milling, *Powder Technology*, (2008), Vol.188, pp. 133–138.

[20] A. Terzić, L. Pezo, Lj. Andrić, Chemometric analysis of the influence of mechanical activation on the mica quality parameters, *Ceramics International*, (2015), Vol.41, pp. 8894–8903.

[21] A. Terzić, L. Pezo, V.V. Mitić, Optimization of drying through analytical modelling: clays as bonding agents in refractory materials, *Ceramics International*, (2016), Vol.42, pp. 6301–6311.

[22] Standard Method of Vibratory Cavitation Erosion Test, G32-92, Annual Book of ASTM Standards, Vol. 03.02. Philadelphia: ASTM; 1992.

[23] M. M. Vuksanović, M. Gajić-Kvašček, M. Dojcinović, T. Volkov Husović, R. Jančić Heinemann, New surface characterization tools for alumina based refractory material exposed to cavitation - image analysis and pattern recognition approach, *Materials Characterization*, (2018), Vol.144, pp. 113–119.

Lista ranije prihvaćenih tehničkih rešenja

Lista ranije prihvaćenih tehničkih rešenja za svakog autora u periodu od 2010. do 2018. godine:

1. Radmila Jančić-Heinemann, Dejan Trifunović, Srđan Tadić, Marija Dimitrijević, „**Metoda za optimizovanje procesa mešanja prahova**“, Projekat TR19038 „Razvoj opreme i procesa dobijanja polimernih kompozitnih materijala sa unapred definisanim funkcionalnim svojstvima“, 2010.

2. Radmila Jančić-Heinemann, Dejan Trifunović, Srđan Tadić, Marija Dimitrijević, „**Primena analize slike za analizu mikrostrukture uzoraka za izradu materijala za prenos obrtnog momenta**“, Projekat TR19038 „Razvoj opreme i procesa dobijanja polimernih kompozitnih materijala sa unapred definisanim funkcionalnim svojstvima“, 2010.
3. Aleksić, R., Živković, I., Jančić-Heinemann, R., Mitraković, D., Stojanović, D., Uskoković, P., Radojević, V., Dimitrijević, M. „**Metoda analize morfologije oštećenja balističkih polimernih kompozitnih materijala**“, Projekat MPNRS „Razvoj opreme i procesa dobijanja polimernih kompozitnih materijala sa unapred definisanim funkcionalnim svojstvima“, Evidencioni broj 34011, Korisnik ULTRATEX, doo, Šabac, 2011.
4. Aleksić, R., Tomić, N., Jančić-Heinemann, R., Radojević, V., Stojanović, D., Kojović, A., Uskoković, P., Živković, I., Dimitrijević, M. „**Nanomodifikovani premazi optičkih vlakana za primene u uslovima visokih temperatura i velikih mehaničkih naprezanja**“, Projekat MPNRS „Razvoj opreme i procesa dobijanja polimernih kompozitnih materijala sa unapred definisanim funkcionalnim svojstvima“, Evidencioni broj 34011, Korisnik PPT Namenska, Trstenik, 2013.
5. Aleksić, R., Stojanović, D., Obradović, V., Živković, I., Uskoković, P., Radojević, V., Jančić-Heinemann, R., Zrilić, M., Trifunović, D. „**Balistički hibridni termoplastični kompoziti ojačani nanočesticama silike**“, Projekat MPNRS „Razvoj opreme i procesa dobijanja polimernih kompozitnih materijala sa unapred definisanim funkcionalnim svojstvima“, Evidencioni broj 34011, Korisnik ULTRATEX, doo, Šabac, 2013.
6. Aleksić, R., Tomić, N., Jančić-Heinemann, R., Radojević, V., Stojanović, D., Kojović, A., Uskoković, P., Živković, I., Stajić-Trošić, J., Perišić, S. „**Alat za izradu kompozitnog preprega stakleno vlakno-polimer ekstruzijom**“, Projekat MPNRS „Razvoj opreme i procesa dobijanja polimernih kompozitnih materijala sa unapred definisanim funkcionalnim svojstvima“, Evidencioni broj 34011, Korisnik PPT Namenska, Trstenik, 2014.
7. Aleksić, R., Tomić, N., Jančić-Heinemann, R., Radojević, V., Stojanović, D., Petrović, M., Uskoković, P., Živković, I., Perišić, S. „**Razvoj tehnologije izrade kompozitnih štapova na bazi otpadnih polimera pultruzijom**“, Projekat MPNRS „Razvoj opreme i procesa dobijanja polimernih kompozitnih materijala sa unapred definisanim funkcionalnim svojstvima“, Evidencioni broj 34011, Korisnik PPT Namenska, Trstenik, 2014.
8. Radmila Jančić-Heinemann, Marija Vuksanović, Nataša Tomić, Miloš Petrović, Pavle Spasojević, Marina Radišić, Vesna Radojević, Dejan Trifunović,

- Aleksandar Marinković, „**Kompozitni materijali na bazi PMMA modifikovan dimetil itakonom sa poboljšanom žilavosti i smanjenom količinom zaostalog monomera**“. Projekat ev.br. TR34011, „Razvoj opreme i procesa dobijanja polimernih kompozitnih materijala sa unapred definisanim funkcionalnim svojstvima“ finansiranog od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, 2018, korisnik Interhem company doo, Beograd, Srbija.
9. M. Gajić-Kvašček, R. Jančić Heinemann, M. Vuksanović, N. Tomić, T. Volkov-Husović, Velimir Andrić, „**Nova metoda karakterizacije površinskih termičkih oštećenja vatrostalnih keramičkih materijala primenom hemometrijskih i alata analize slike**“, Projekat ev.br TR37021, „Ispitivanje i verifikacija metoda za multidisciplinarnu forenzičku analizu u funkciji neoproliferacije oružja za masovno uništenje“ finansiranog od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, 2018, korisnik Vatrostalna-Inženjering D.O.O., Beograd, Srbija.
10. Aleksandar Marinković, Nataša Tomić, Marija Vuksanović, Maja Đolić, Zlate Veličković, Milutin Milosavljević, „**Optimizacija tehnološkog postupka dobijanja stabilne disperzije kalcijum karbonata za potrebe papirne industrije**“. Tehničko rešenje predstavlja rezultat realizacije projekta „Definisanje novog Tehnološkog postupka sinteze Bakar(II)-hidroksida u industrijskim uslovima za potrebe HI Župa Kruševac“ finansiranog od strane Fonda za Inovacionu delatnost RS br 427 (18.04.2018.) i Župa doo br. 341/1 (19.04.2018.). Korisnik je „Župa“ DOO, Kruševac, Srbija.
11. Tatjana Volkov Husović, „**Određivanje dinamičkog modula elastičnosti vatrostalnih materijala**“. Tehničko rešenje predstavlja rezultat realizacije projekta „Razvoj tehnoloških postupaka dobijanja, upotrebe i karakterizacije keramičkih i kompozitnih termoizolacionih materijala“. Za period 2002-2004. Godine korisnik je bila Atlantida doo. Prototip, nova metoda, softver, M85.
12. Tatjana Volkov Husović, „**Predviđanje termostabilnosti vatrostalnog materijala korišćenjem parametara otpornosti**“. Tehničko rešenje predstavlja rezultat realizacije projekta „Razvoj tehnoloških postupaka dobijanja, upotrebe i karakterizacije keramičkih i kompozitnih termoizolacionih materijala“. Za period 2002-2004. Godine korisnik je bila Atlantida doo. Prototip, nova metoda, softver, M85.
13. Tatjana Volkov Husović, „**Predviđanje termostabilnosti vatrostalnog materijala korišćenjem temperaturske razlike**“. Tehničko rešenje predstavlja rezultat realizacije projekta „Razvoj tehnoloških postupaka

dobijanja, upotrebe i karakterizacije keramičkih i kompozitnih termoizolacionih materijala“. Za period 2002-2004. Godine korisnik je bila Atlantida doo. Prototip, nova metoda, softver, M85.

14. Tatjana Volkov Husović, „**Primena ultrazvučne metode za praćenje promene čvrstoće uzoraka izloženog termošoku**“. Tehničko rešenje predstavlja rezultat realizacije projekta „Razvoj tehnoloških postupaka dobijanja, upotrebe i karakterizacije keramičkih i kompozitnih termoizolacionih materijala“. Za period 2002-2004. Godine korisnik je bila Atlantida doo. Prototip, nova metoda, softver, M85.
15. Tatjana Volkov Husović, „**Predviđanje ponašanja materijala na osnovu analize slike**“. Tehničko rešenje predstavlja rezultat realizacije projekta „Razvoj tehnoloških postupaka dobijanja, upotrebe i karakterizacije keramičkih i kompozitnih termoizolacionih materijala“. Za period 2002-2004. Godine korisnik je bila Atlantida doo. Prototip, nova metoda, softver, M85.
16. Tatjana Volkov Husović, „**Povezivanje mehaničkih osobina i prenosa toplote kod predviđanja termostabilnosti**“. Tehničko rešenje predstavlja rezultat realizacije projekta „Razvoj tehnoloških postupaka dobijanja, upotrebe i karakterizacije keramičkih i kompozitnih termoizolacionih materijala“. Za period 2002-2004. Godine korisnik je bila Atlantida doo. Prototip, nova metoda, softver, M85.
17. Aleksandra Nešić, Maja Kokunešoski, Tatjana Volkov Husović, „**Nova metoda kvantifikacije sorpcije boja u vodenim rastvorima**“ koja je ostvarena kroz saradnju projekata TR43009 и III 45012.