Analiza promjene parametara hrapavosti u ovisnosti o različitim uvjetima erozije česticama

Školnik, Luka

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:832796

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Luka Školnik

Zagreb, 2019.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentori:

Prof. dr. sc. Suzana Jakovljević, dipl. ing.
Dr. sc. Ivan Kumić

Student:

Luka Školnik

Zagreb, 2019.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentorima, prof. dr.sc. Suzani Jakovljević i dr.sc. Ivanu Kumiću na uloženom trudu i vedrom duhu, kako u nastavi tako i u ovom radu, te na ukazanoj prilici i pruženoj pomoći.

Također se zahvaljujem obitelji što mi je omogućila studiranje te djevojci i svim prijateljima koji su dosadašnje studiranje učinili laganim kao šetnjom u parku.

Luka Školnik

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE
Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Luka Školnik** Mat. br.: 0035201957

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Analiza promjene parametara hrapavosti u ovisnosti o različitim uvjetima erozije česticama**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Analysis of the roughness parameters change in dependance of different particles erosion conditions**

Opis zadatka:

Istraživanja u području inženjerstva površina i tribologije u najvećem broju slučajeva barem dio pozornosti usmjeravaju na analizu hrapavosti površina od interesa. Sama hrapavost prepoznata je kao jedan od glavnih utjecajnih čimbenika, kako na tribološke i tribokemijske pojave, tako i na mehanizme kojima se odvijaju modificiranja površina te prevlačenje površina tankim slojevima. Osim navedenoga, hrapavost utječe i na brojna druga pojedinačna svojstva poput kvašenja ili biokompatibilnosti. Hrapavost je najčešće evaluirana preko parametra R_a, međutim taj pokazatelj (ukoliko se promatra zasebno) katkad se smije uzeti tek kao indikacija neke promjene na površini. Čak i u tom slučaju nije posve sigurno da se, primjerice, uz naizgled nepromijenjen parametar R_a nije odvila promjena drugih parametara hrapavosti na analiziranoj površini. U literaturi je moguće pronaći podatke o kvaliteti površine koja se postiže različitim metodama obrade, ali svi ti podaci su isključivo vezani uz parametar R_a.
U kontekstu opisanog problema, cilj ovoga rada jest pokušati utvrditi i analizirati promjene šireg spektra amplitudnih parametara hrapavost u ovisnosti o različitim uvjetima pripreme površina erozijom suhim česticama. Na odabranim uzorcima inicijalno visoko poliranih površina provest će se analiza promjene parametara hrapavosti R_a, R_z, R_v i R_p te morfološke promjene na površinama izloženim djelovanju erozije u različitim uvjetima.

Zadatak zadan:
29. studenog 2018.

Rok predaje rada:
1. rok: 22. veljače 2019.
2. rok (izvanredni): 28. lipnja 2019.
3. rok: 20. rujna 2019.

Predviđeni datumi obrane:
1. rok: 25.2. - 1.3. 2019.
2. rok (izvanredni): 2.7. 2019.
3. rok: 23.9. - 27.9. 2019.

Zadatak zadao:
Prof.dr.sc. Suzana Jakovljević

Dr.sc. Ivan Kumić

Predsjednik Povjerenstva:
Prof.dr.sc. Branko Bauer

SADRŽAJ

SADRŽAJ I
POPIS SLIKA II
POPIS TABLICA III
POPIS OZNAKA IV
SAŽETAK V
SUMMARY VI
1. UVOD 1
2. HRAPAVOST TEHNIČKIH POVRŠINA 2
2.1. Osnovni pojmovi i parametri hrapavosti 2
2.2. Amplitudni parametri 3
3. EROZIJA ČESTICAMA 5
3.1. Vrste erozije 5
3.2. Karakteristike erodenta 7
4. EKSPERIMENTALNI DIO 9
4.1. Metalografska priprema uzoraka 9
4.2. Erozijsko ispitivanje 11
4.3. Mjerenja i analiza promjena u masi uzoraka 13
4.4. Mjerenje amplitudnih parametara hrapavosti 15
5. ZAKLJUČAK 22
LITERATURA 23
PRILOZI 24

POPIS SLIKA

Slika 1. Primjeri profila jednakog parametra hrapavosti R_a [1] 1
Slika 2. Komponente profila [2] 2
Slika 3. Amplitudni parametar hrapavosti R_a [4] 3
Slika 4. Amplitudni parametri hrapavosti R_p i R_v [4] 4
Slika 5. Amplitudni parametar hrapavosti R_z [4] 4
Slika 6. Jedinični događaj erozije česticama [5] 5
Slika 7. Udarna i abrazivna erozija [5] 5
Slika 8. Ovisnost brzine erozije o kutu udara [5] 6
Slika 9. Zrnca silicij oksidnog pijeska (pijesak 1) snimljena SEM-om 7
Slika 10. Zrnca silicij oksidnog pijeska (pijesak 2) snimljena SEM-om 8
Slika 11. Pneumet press uređaj za vruće zalijevanje uzoraka 9
Slika 12. Uzorci u polimernoj masi 10
Slika 13. Ultrazvučna kupka 11
Slika 14. Uređaj za ispitivanje erozije česticama 12
Slika 15. Shema držača uzoraka [9] 13
Slika 16. Ohaus Analitička vaga 14
Slika 17. Dijagramski prikaz gubitaka mase 15
Slika 18. Perthometer S8P, uređaj za mjerenje hrapavosti 16
Slika 19. Ruka uređaja s ticalom 17
Slika 20. Zapis rezultata uređaja Perthometer S8P na uzorku 1 17
Slika 21. Profil hrapavosti površine uređaja Perthometer S8P na uzorku 1 18
Slika 22. Rezultati mjerenja parametra R_a 20
Slika 23. Rezultati mjerenja parametra R_z 20
Slika 24. Omjer parametara R_p/R_v 21

POPIS TABLICA

Tablica 1. Mehanička svojstva legure Ti6Al4V [7] 6
Tablica 2. Usporedba tvrdoća erodenta i materijala uzorka [7, 8] 8
Tablica 3. Gubitak mase uzoraka usljed erozije pijeskom 1. 14
Tablica 4. Gubitak mase uzoraka usljed erozije pijeskom 2. 14
Tablica 5. Stanje hrapavosti uzoraka prije erozije 18
Tablica 6. Stanje hrapavosti uzoraka nakon 15 minuta erozije 19
Tablica 7. Stanje hrapavosti uzoraka nakon 30 minuta erozije 19

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
R_a	μm	Srednje aritmetičko odstupanje profila
R_z	μm	Srednja visina neravnina
R_p	μm	Najveća visina vrha profila
R_v	μm	Najniža dubina dola profila
R_{max}	μm	Najveća visina profila
m	kg	Masa

SAŽETAK

Hrapavost u kontekstu stanja tehničke površine je od iznimne važnosti u mnogim granama strojarstva, no u praksi kao i literaturi često se svodi samo na parametar hrapavosti Ra. Promjena parametra hrapavosti R_a ne daju punu sliku o svim promjenama tehničke površine, te je upravo analiza promjene šireg spektra amplitudnih parametara hrapavosti u ovisnosti o različitim uvjetima erozije česticama tema ovog završnog rada.

Erozijsko ispitivanje se provelo na uzorcima legure titanija Ti6Al4V koji su prethodno visokopolirani, s dvije vrste pijeska, 2 x 15 minuta. Na početku i nakon svakih 15 min mjerila se promjena mase na 8 uzoraka te amplitudni parametri hrapavosti na 4 uzorka.

Rezultati gubitaka mase nakon prvih 15 minuta udarnog erozijskog ispitivanja pokazuju da pri eroziji pijeskom kod kojeg su oštrija zrnca (pijesak 2) dolazi do većeg trošenja, odnosno većih gubitaka mase. Razlika gubitaka mase između dva pijeska još je veća narednih 15 minuta.

Nakon ispitivanja erozijom dolazi do povećanja parametara hrapavosti R_a i R_z proporcionalno s vremenom erozije te dolazi do promjene omjera parametara R_p/R_v.

Ključne riječi: hrapavost, legura titanija Ti6Al4V, erozija česticama

SUMMARY

Abstract

Roughness, in the context of a state of the technical surface, is extremely important for many branches of mechanical engineering. However, in practice and literature it is often described by just the roughness parameter Ra. Change of the roughness parameter Ra doesn't provide a full picture of all the changes on the technical surface. Therefore, the theme of this final paper is change analysis of a wider range of amplitude parameters depending on the different conditons of particle erosion.

Erosion testing was carried out on samples of titanium alloy Ti6A14V previously highly polished with two types of sand, 2x15 minutes. The change in mass of all 8 samples and the amplitude roughness parameters of 4 samples were measured at the beginning and after every 15 minutes.

Results of mass loss after the first 15 minutes of percussive erosion testing show that sand with sharper grain (sand 2) causes greater wear and mass loss. The difference between sands is even greater after the next 15 minutes.

After erosion testing, roughness parameters Ra and Rz increase in proportion to erosion time and the ratio of roughness parameters R_p/R_v is changed.

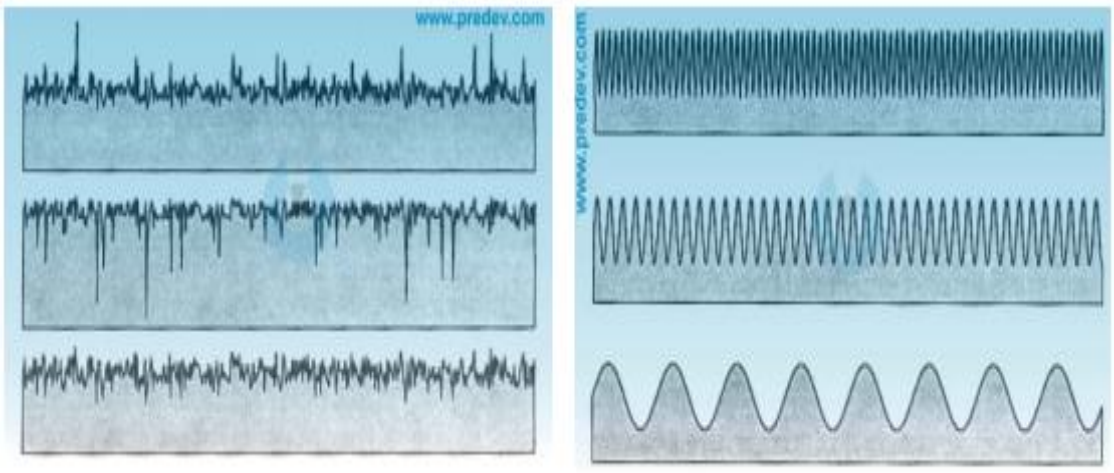
Key words: roughness, titanium alloy Ti6Al4V, particle erosion

1. UVOD

Hrapavost površine indirektno je povezana s mehaničkim svojstvima i time je jedan od glavnih faktora koje se mora uzimati u obzir u mnogim procesima u strojarstvu kao što su osiguranje kvalitete, proračuni vijeka trajanja pa sve do prevlačenja površina. Inicijalna površinska hrapavost nastaje kao posljedica proizvodnog procesa, odnosno kako bi se postigla određena hrapavost treba se uzeti u obzir najpovoljniji proces i metoda obrade za zadani slučaj.

Površinska hrapavost se opisuje preko svojih parametara od kojih je najzastupljeniji amplitudni parametar srednje aritmetičko odstupanje profila (R_a). No parametar R_a, samostalno ne govori puno o stanju površine. To se može vidjeti na slici 1. gdje su prikazani profili koji svi imaju jednaku vrijednost parametra R_a, a potpuno su različiti [1].

Važno je napomenuti da je površinska hrapavost promjenjiva. Naime, u eksploataciji se javljaju različiti mehanizmi i uvjeti koji na nju mogu utjecati. Jedan od uvjeta koji se može pojaviti u eksploataciji je i erozijsko trošenje. Kako bi se ispitao utjecaj vanjskih čimbenika na parametre hrapavosti u ovom radu će se pokušati ustvrditi utjecaj različitih uvjeta erozije česticama na veći broj amplitudnih parametara hrapavosti.



Slika 1. Primjeri profila jednakog parametra hrapavosti R_a [1]

2. HRAPAVOST TEHNIČKIH POVRŠINA

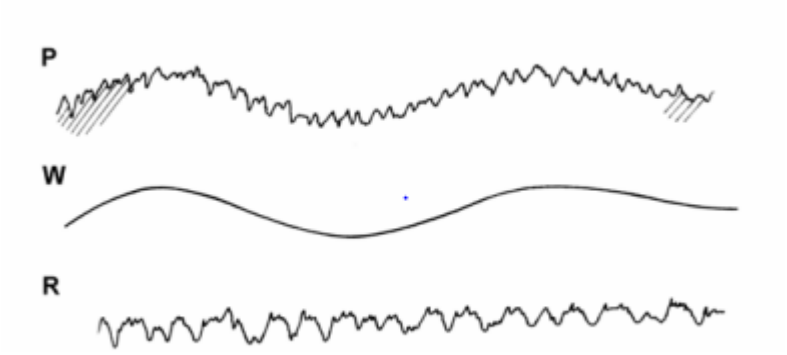
Tehničkim površinama smatramo one površine dobivene određenom vrstom obrade te one koje će morati ispunjavati neke eksploatacijske zahtjeve. Parametar tehničkih površina kojim će se baviti u ovom radu je hrapavost. U tom kontekstu hrapavost je sveukupnost mikrogeometrijskih nepravilnosti na površini predmeta [2].

Veličina hrapavosti tehničkih površina može utjecati na [2]:

- Smanjenje dinamičke izdržljivosti
- Pojačano trenje i trošenje
- Smanjenje prijeklopa kod steznih spojeva, a time i smanjenje nosivosti
- Ubrzanje korozije
- Tribološke pojave
- Mehanizme prevlačenja površina

2.1. Osnovni pojmovi i parametri hrapavosti

2D sustavi ispitivanja hrapavosti temelje se na mjerenju dvodimenzionalnog profila na kojem se računaju parametri hrapavosti. Mjerni uređaj snima primarni profil (P) koji uključuje 3 komponente profila: odstupanje od oblika, valovitost (W) i hrapavost (R) [3].



Slika 2. Komponente profila [2]

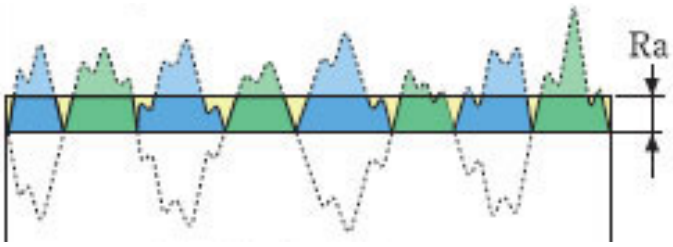
Parametre hrapavosti dijelimo na [3]:

- Amplitudne -opisuju varijacije po visini profila
- Uzdužne - opisuju varijacije uzduž profila
- Hibridne - opisuju varijacije kombinacijom amplitudnih i uzdužnih parametara
- Krivuljne i srodne - opisuju varijacije na krivuljama dobivenim iz uzdužnih i amplitudnih karakteristika profila

2.2. Amplitudni parametri

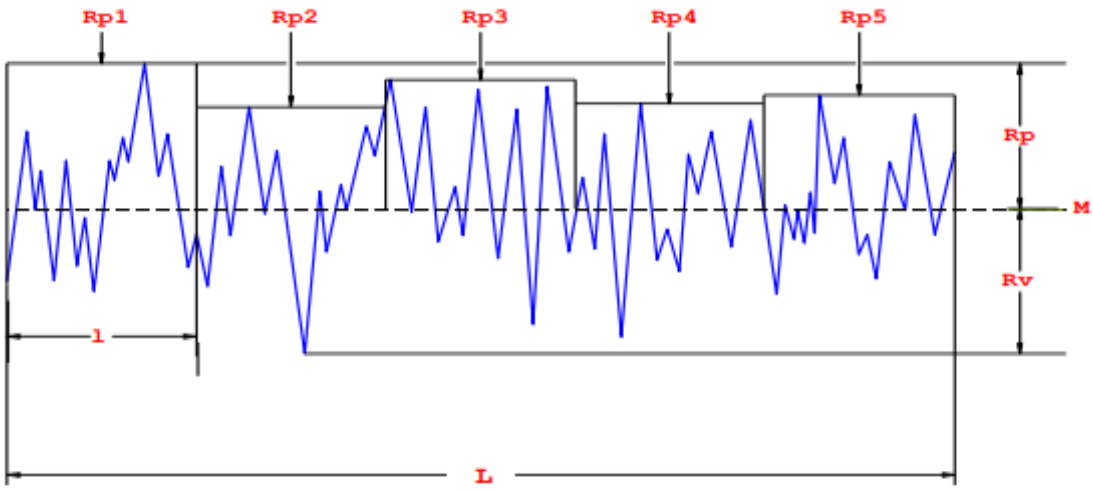
Varijacije po visini profila su obuhvaćene amplitudnim parametrima hrapavosti, a oni najvažniji za ovaj rad su R_a, R_z, R_p, R_v i R_{max}.

R_a ili srednje aritmetičko odstupanje profila je parametar koji se najčešće koristi i određuje se na referentnoj duljini. Predstavlja aritmetičku sredinu apsolutnih odstupanja profila hrapavosti od srednje liniji [4]. Ako se svi dolovi zaokrenu oko osi x, Ra je lako zamisliti kao srednju vrijednost svih vrhova (Slika 3).



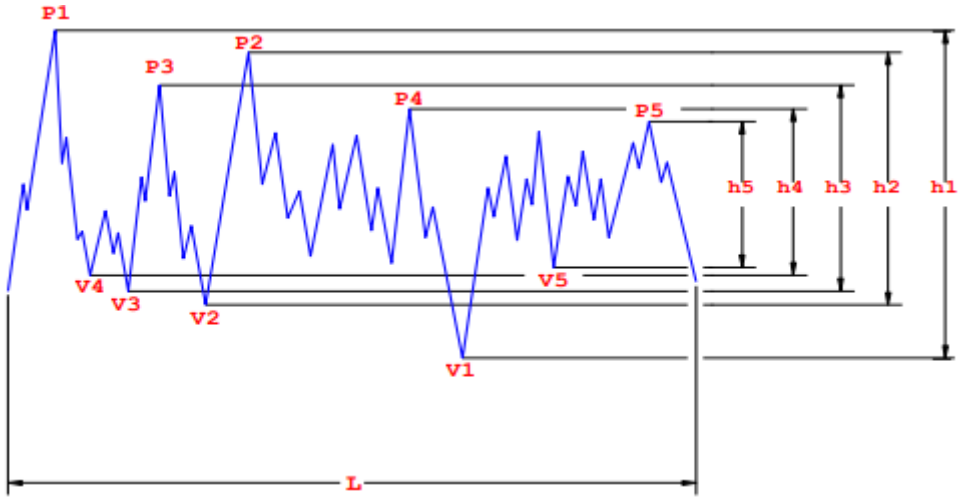
Slika 3. Amplitudni parametar hrapavosti R_a [4]

R_p predstavlja najveću visinu vrha profila na duljini vrednovanja, a R_v najveću dubinu dola profila na duljini vrednovanja [4]. Njihov primjer se može vidjeti na slici 4.



Slika 4. Amplitudni parametri hrapavosti R_p i R_v [4]

Parametar R_z ili srednja visina neravnina jest prosječna vrijednost između pet najviših vrhova profila i pet najnižih dolova profila na duljini vrednovanja [4,6,10].

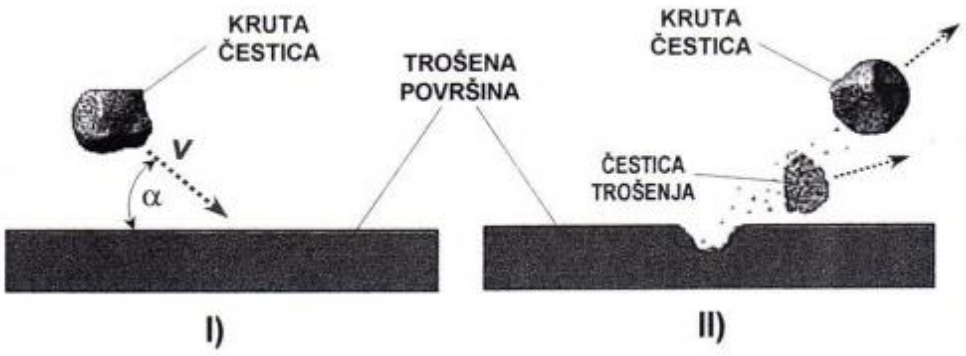


Slika 5. Amplitudni parametar hrapavosti R_z [4]

R_{max} je parametar koji predstavlja vertikalnu udaljenost između najvišeg vrha i najnižeg dola profila unutar duljine vrednovanja [4,6,10]. Primjera radi, na slici 5. bi to bila najveća vertikalna udaljenost označena s $h1$.

3. EROZIJA ČESTICAMA

Erozija je trošenje materijala nastalo interakcijom samo površine i čestica erodenta [6]. Shematski prikaz jediničnog događaja udara čestice o površinu pri eroziji prikazan je na slici 6.

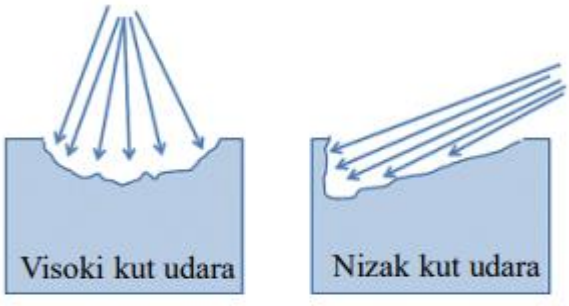


Slika 6. Jedinični događaj erozije česticama [5]

Iz slike se može vidjeti da erozija ovisi o brzini i o kutu upada čestica. Pošto do udara čestica dolazi pri nekoj brzini jasno je da će doći i do prijenosa kinetičke energije u površinu uzorka.

3.1. Vrste erozije

Sam prijenos energije ovisi najviše o kutu upada čestica. Kut upada čestica može iznositi između 0° i 90°. Na slici 7 su prikazane udarna i abrazivna erozija, pri višim kutovima udara (lijevo) prevladava udarna erozija, a pri nižim kutovima (desno) abrazivna.



Slika 7. Udarna i abrazivna erozija [5]

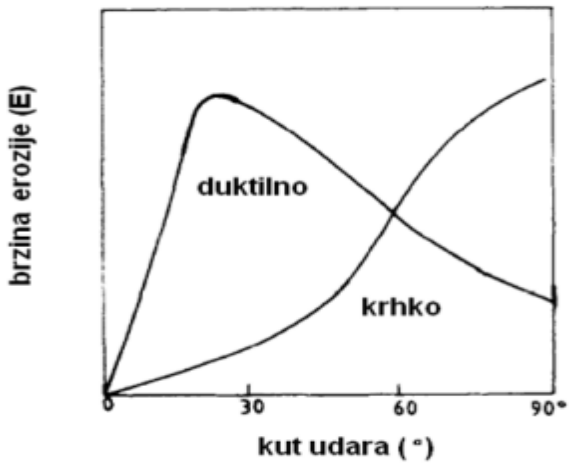
Pri manjim kutovima upada najveći dio kinetičke energije izaziva efekt brazdanja površine. Za brazdanje površine ključni su plastična deformacija i rezanje materijala te će brazdanje biti najizraženije kod mekših i duktilnih materijala.

Pri višim kutovima upada gdje čestice upadaju na površinu materijala gotovo okomito najveći dio kinetičke energije se prenosi u obliku udarnih opterećenja. Takvom opterećenju najpodložniji su tvrdi i krhki materijali. [6]

Ovisnost brzine erozije o kutu udara je značajno određena vrstom erodiranog materijala. Materijal ispitnih uzoraka u ovom radu jest legura titanija Ti6Al4V kojoj su neka mehanička svojstva prikazana u tablici. 1.

Tablica 1. Mehanička svojstva legure Ti6Al4V [7]

Vlačna čvrstoća	860 Mpa
Modul elastičnosti	113,8 Gpa
Tvrdoća prema Vickersu	349
Istezljivost	10 %
Kontrakcija	35 %
Udarni rad loma	17 J

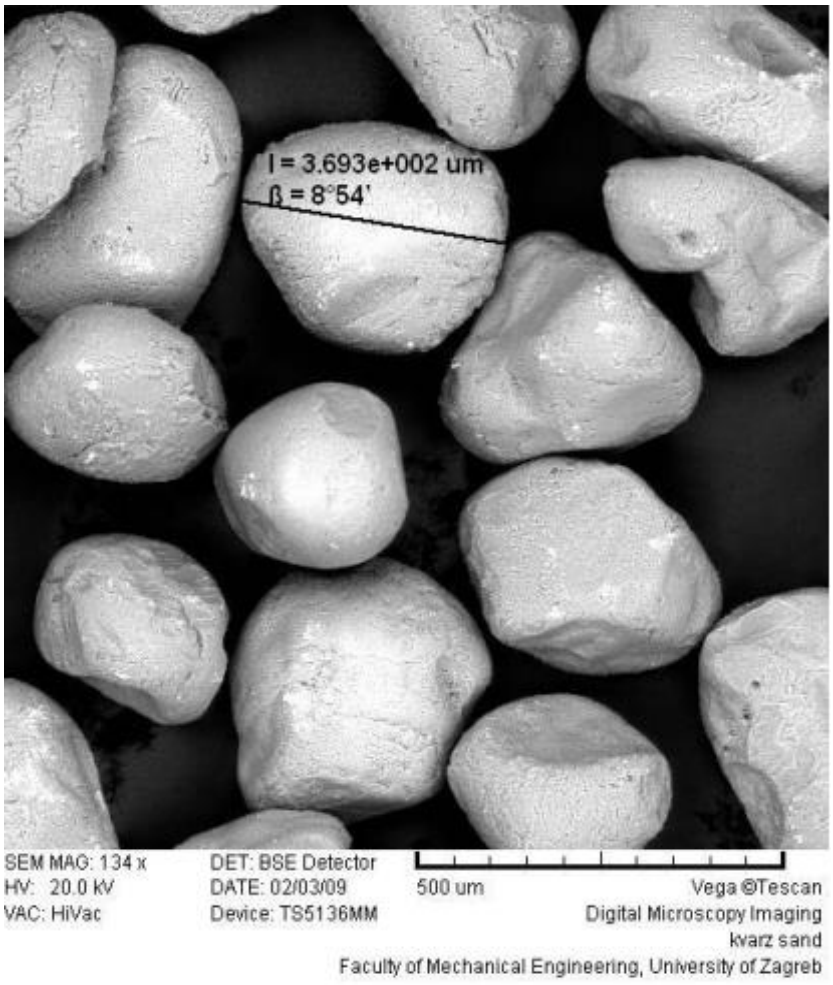


Slika 8. Ovisnost brzine erozije o kutu udara [5]

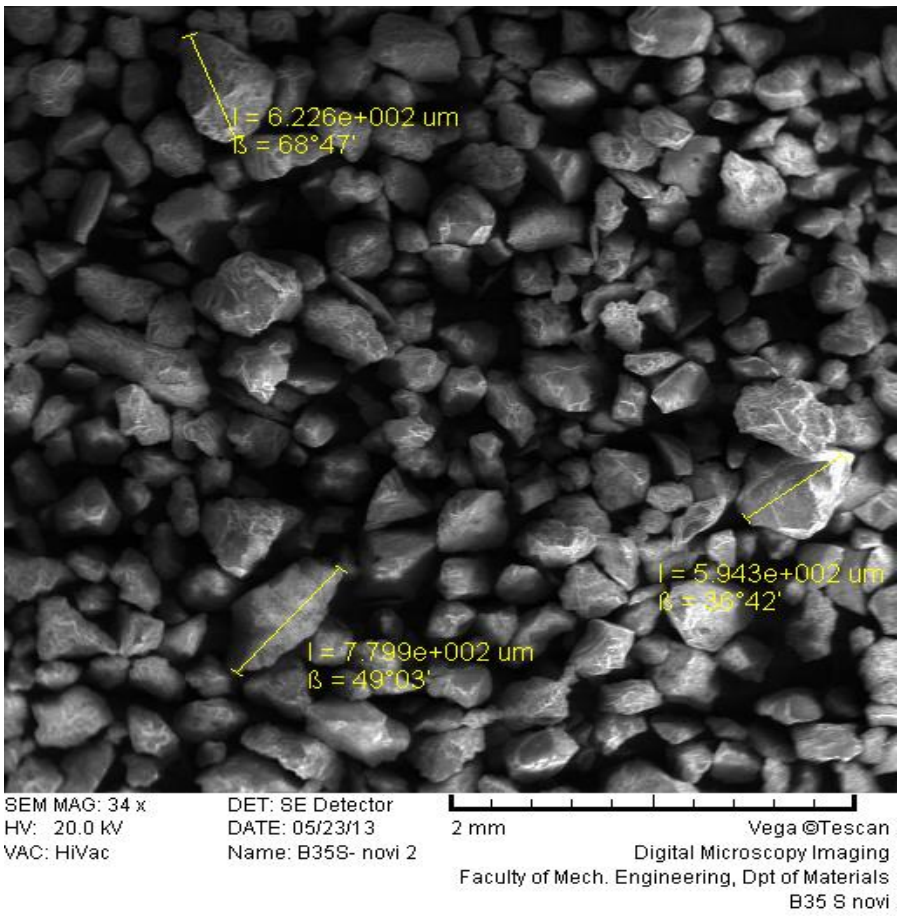
Za primjer na slici 8. legura Ti6Al4V pripada duktilnijim materijalima, a kut pri kojem su mjerenja u ovom radu provedena iznosi 90°. Tada je jasno, iz ranije spomenutih vrsta erozije, da je riječ o izlaganju duktilnog materijala udarnoj eroziji.

3.2. Karakteristike erodenta

Osim kuta upada na eroziju utječu i neke druge karakteristike čestica erodenta. Među njima su najvažnije: veličina, oblik i tvrdoća čestica. U ovom radu je kao erodent korišten pijesak. Ispitivanja su provedena s dvije vrste silicij oksidnog pijeska koji su prikazani na slikama 9 i 10. Zrnca pijeska snimljena su na skenirajućem elektronskom mikroskopu (SEM) Tescan Vega 5136 mm u Laboratoriju za materijalografiju na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu. Iz slika je vidljivo da je pijesak prikazan na slici 9. obliji, a pijesak prikazan na slici 10 ima izraženije oštre uglove. Za potrebe ovog rada pijesak sa slike 9. će biti zvan pijesak 1, a pijesak sa slike 10 pijesak 2.



Slika 9. Zrnca silicij oksidnog pijeska (pijesak 1) snimljena SEM-om



Slika 10. Zrnca silicij oksidnog pijeska (pijesak 2) snimljena SEM-om

Nadalje, tvrdoća erodenta mnogo je veća od tvrdoće materijala uzoraka. Pregled tvrdoća prikazan je u tablici 2.

Tablica 2. Usporedba tvrdoća erodenta i materijala uzorka [7, 8]

	Tvrdoća po Vickersu
Ti-6Al-4V	≈ 350
Silicij oksidni pijesak	≈ 1120

4. EKSPERIMENTALNI DIO

Sastavni dijelovi eksperimentalnog dijela rada su sljedeći:

- Metalografska priprema uzoraka
- Erozijsko ispitivanje
- Mjerenja i analiza promjena u masi uzoraka
- Mjerenja i analiza amplitudnih parametara hrapavosti

4.1. Metalografska priprema uzoraka

Priprema ispitnih uzoraka započela je zalijevanjem u polimernu masu. Uzorci se zalijevaju u polimernu masu kako bi poprimili oblik praktičan za daljnje rukovanje. Uređaj za vruće zalijevanje uzoraka Pneumet press može se vidjeti na slici 10, a uzorci nakon zalijevanja su prikazani na slici 12.



Slika 11. Pneumet press uređaj za vruće zalijevanje uzoraka



Slika 12. Uzorci u polimernoj masi

Nakon zalijevanja uzoraka slijedi postupak brušenja. Brušenje se provodi kako bi se uklonile bilo kakve nečistoće ili nepravilnosti na površini uzoraka te kako bi se postigla referentna površina na uzorku. Na rotirajućoj plohi uređaja za brušenje se izmjenjuju brusni papiri različite finoće, počevši od 1200, 2400 do završne finoće 4000. Svakim brusnim papirom brušeno je oko 1 minutu, pri 300 okretaja po minuti. Nakon završene svake faze brušenja uzorci se ispiru vodom prije nego što se prelazi na brusni papir veće finoće. Zatim slijedi poliranje dijamantnom pastom u kojoj se nalaze čestice veličine 3 do 1 μm. Poliranjem se postiže vrlo glatka površina zrcalnog sjaja.

Poslije obavljene pripreme uzorke je bilo potrebno oprezno izvaditi iz polimerne mase kako bi se kasnije mogli namjestiti na držače uređaja za ispitivanje erozije. Prije početka samog ispitivanja i nakon završene svake faze ispitivanja uzorci su očišćeni u ultrazvučnoj kupci (slika 13) 90 sekundi i nakon toga ih osušiti. Takav postupak čišćenja uklanja i najsitnije čestice nečistoće iz površine i osigurava najpreciznije moguće mjerenje mase uzoraka.



Slika 13. Ultrazvučna kupka

4.2. Erozijsko ispitivanje

Ispitivanje se provelo na uzorcima označenim brojevima od 1 do 8. Uzorci od 1 do 4 erodirani su pijeskom 1, a uzorci od 5 do 8 pijeskom 2. Provela su se dva ciklusa erozije uzoraka po 15 minuta. Na početku i nakon svakih 15 minuta na svim uzorcima je mjerena promjena mase, a hrapavost je mjerena na uzorcima 1,3,5 i 7.

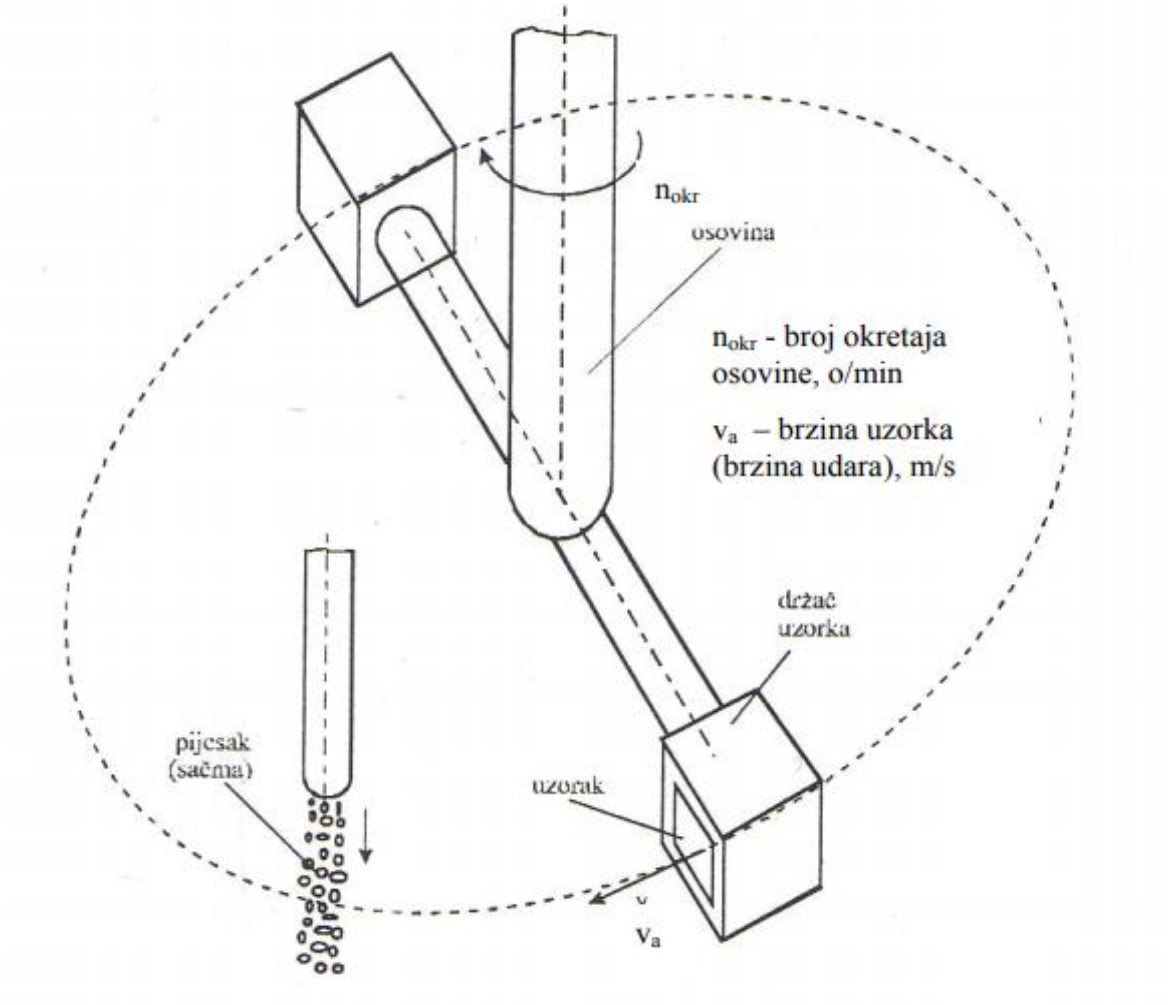
Uređaj na kojem se provodilo navedeno ispitivanje erozije česticama nalazi se u Laboratoriju za tribologiju, Fakulteta strojarstva i brodogradnje, u Zagrebu. Uređaj se sastoji od kućišta elektromotora (1), lijevka erodenta (2), držača uzoraka (3) i zaštitnog bubnja s odvodom erodenta (4) . Detaljno je prikazan na slici 14.



Slika 14. Uređaj za ispitivanje erozije česticama

Elektromotor pogoni osovinu držača uzoraka koji se nalaze unutar zaštitnog bubnja, a shematski prikaz vrtnje držača prikazan je na slici 15. Rotacijom držača uzoraka oko centralne osi dolazi do naleta izložene površine uzoraka na ravninu toka erodenta. Držači se mogu namjestiti na različite kutove upada erodenta, a ispitivanja za potrebe ovog rada provedena su pri kutu od 90 ° kada je udarna erozija najizraženija.

Također, važno je održavati stalni i jednoliki dovod erodenta, a to se postiže pomoću lijevka koji vodi u zaštitni bubanj. Zaštitni bubanj se učvršćuje na kukice, a diže se i spušta preko sustava utega.



Slika 15. Shema držača uzoraka [9]

Nakon provedenog ispitivanja i čišćenja uzoraka već vizualnim pregledom se mogla ustanoviti razlika u izgledu površina uzoraka između dvije vrste pijeska..

4.3. Mjerenja i analiza promjena u masi uzoraka

Mehanizmi udarnog erozijskog djelovanja detaljno objašnjeni u poglavlju 3. dovode do trošenja i gubitka mase uzoraka. Masa uzoraka mjerena je u početnom stanju te nakon 15 i 30 minuta erozije na Ohaus analitičkoj vagi (slika 16). Rezultati gubitaka mase na 8 uzoraka vidljivi su u tablicama 3 i 4.



Slika 16. Ohaus Analitička vaga

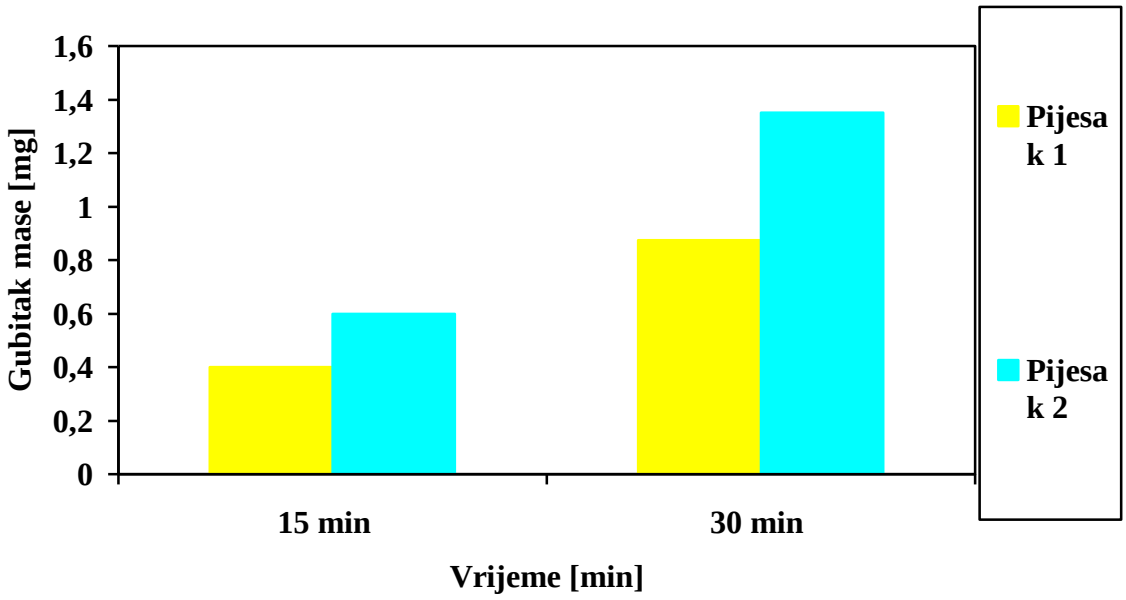
Tablica 3. Gubitak mase uzoraka usljed erozije pijeskom 1.

Broj uzorka	Δ m [mg]	
	0-15 min	0-30 min
1	0,4	1
2	0,3	0,8
3	0,5	0,8
4	0,4	0,9

Tablica 4. Gubitak mase uzoraka usljed erozije pijeskom 2.

Broj uzorka	Δ m [mg]	
	0-15 min	0-30 min
5	0,7	1,3
6	0,5	1,4
7	0,6	1,2
8	0,6	1,5

Iz tablica 3 i 4 vidljivo je da pri eroziji česticama pijeskom 2 dolazi do većeg gubitka mase uzoraka. Gubitak mase za pijesak oštrijih zrnaca još je izraženiji nakon 30 minuta erozije pa je za pretpostaviti da prilikom udara oštrih zrnaca dolazi do njihovog povećanog urezivanja u površinu, odnosno brazdanja iako je riječ o udarnoj eroziji. Razlika gubitaka mase između dvije vrste pijeska vidljiva je na dijagramskom prikazu na slici 15. U dijagramu su prikazane srednje vrijednosti za pijesak 1 žutom bojom i pijesak 2 plavom bojom.



Slika 17. Dijagramski prikaz gubitaka mase

4.4. Mjerenje amplitudnih parametara hrapavosti

Amplitudni parametri hrapavosti uzoraka mjereni su u Laboratoriju za precizna mjerenja duljina na Zavodu za kvalitetu Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu, na uređaju Perthometer S8P prikazanom na slici 16. Mjereni su na uzorcima 1,3,5 i 7.



Slika 18. Perthometer S8P, uređaj za mjerenje hrapavosti

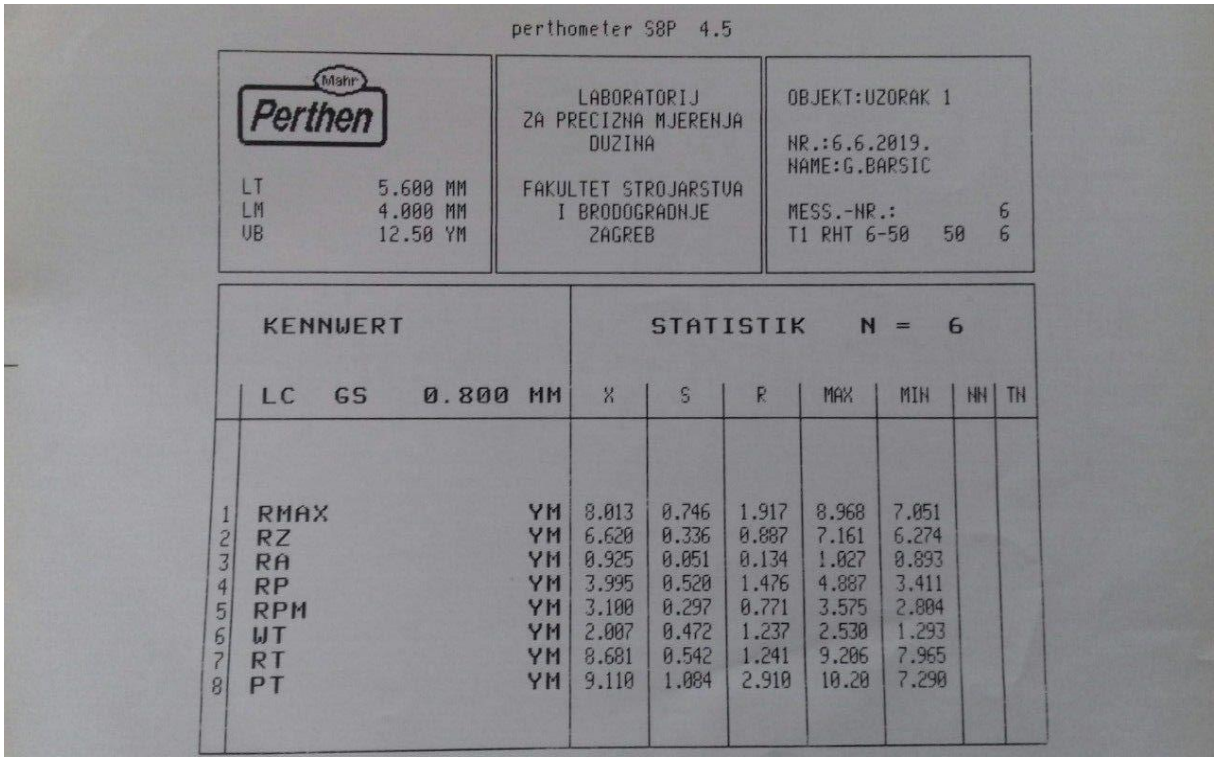
Sva ispitivanja su obavljena u skladu s normom ISO 4287 iz 1997. godine, a uvjeti mjerenja dobiveni iz Laboratorija za precizna mjerenja duljina za uređaj Perthometer S8P glase:

- Gaussov filter, granična vrijednost $\lambda c = 0,8$ mm
- Vođenje nožicom
- Radijus ticala $r = 5$ µm
- Duljina ispitivanja $lt = 5,6$ mm
- Duljina vrednovanja $ln = 4,0$ mm
- Mjerna sila 1,3 mN

Uređaj funkcionira na način da ruka uređaja vodi ticalo po površini ostavljajući uvijek jednaki trag i mjereći jednaku duljinu vrednovanja. Ruka s ticalom na površini uzorka vidljiva je na slici 19. Vertikalni pomaci igle predstavljaju signale koje računalo interpretira i piše zapise prikazane na slikama 20 i 21.



Slika 19. Ruka uređaja s ticalom



perthometer S8P 4.5

Mahr Perthen

LT 5.600 MM
LM 4.000 MM
VB 12.50 YM

LABORATORIJ
ZA PRECIZNA MJERENJA
DUZINA

FAKULTET STROJARSTVA
I BRODOGRADNJE
ZAGREB

OBJEKT:UZORAK 1

NR.:6.6.2019.
NAME:G.BARSIC

MESS.-NR.: 6
T1 RHT 6-50 50 6

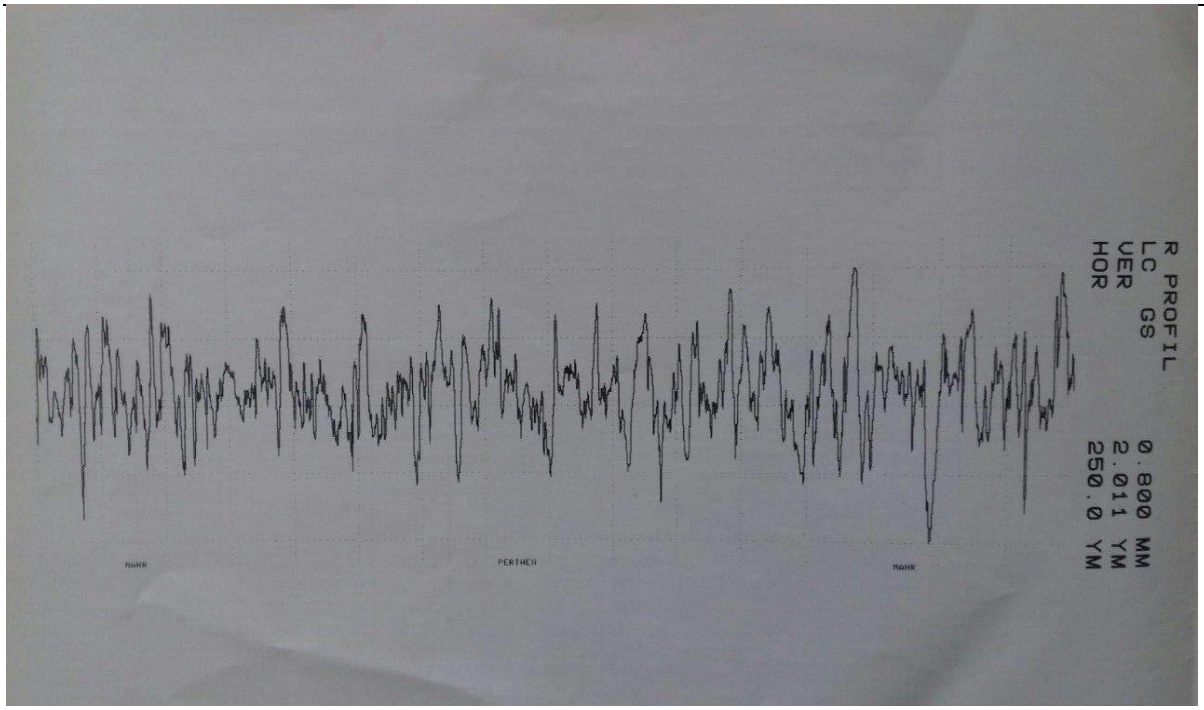
KENNWERT

LC GS 0.800 MM

STATISTIK N = 6

			X	S	R	MAX	MIN	NN	TN
1	RMAX	YM	8.013	0.746	1.917	8.968	7.051		
2	RZ	YM	6.620	0.336	0.887	7.161	6.274		
3	RA	YM	0.925	0.051	0.134	1.027	0.893		
4	RP	YM	3.995	0.520	1.476	4.887	3.411		
5	RPM	YM	3.100	0.297	0.771	3.575	2.804		
6	WT	YM	2.007	0.472	1.237	2.530	1.293		
7	RT	YM	8.681	0.542	1.241	9.206	7.965		
8	PT	YM	9.110	1.084	2.910	10.20	7.290		

Slika 20. Zapis rezultata uređaja Perthometer S8P na uzorku 1



Slika 21. Profil hrapavosti površine uređaja Perthometer S8P na uzorku 1

Na slici 20. očitava se duljina mjerenja i duljina vrednovanja te amplitudni parametri hrapavosti koji su detaljno objašnjeni u 2. poglavlju ovog rada. Na slici 21. prikazan je primjer profila površine uzorka 1 snimljenog na uređaju Perthometer S8P.

Na osnovu zapisa (slika 20) za uzorke 1,3,5 i 7 sastavljena je tablica 5 koja odgovara početnom stanju prije erozije česticama. Stanju uzoraka nakon 15 minuta erozije i nakon 30 minuta erozije odgovaraju tablice 6 i 7.

Tablica 5. Stanje hrapavosti uzoraka prije erozije

Broj uzorka	R_a **[µm]**	R_z**[µm]**	R_{max}**[µm]**	R_p**[µm]**	R_v**[µm]**
1	0,045	0,429	0,578	0,399	0,179
3	0,060	0,481	0,618	0,378	0,240
5	0,046	0,398	0,518	0,295	0,223
7	0,044	0,411	0,570	0,378	0,192

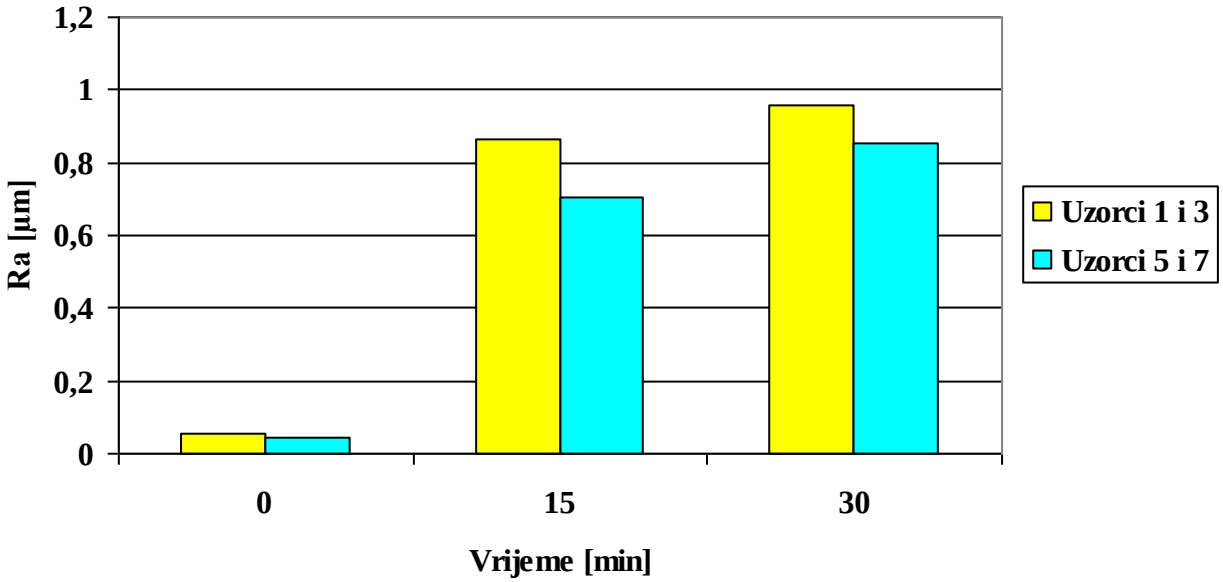
Tablica 6. Stanje hrapavosti uzoraka nakon 15 minuta erozije

Broj uzorka	R_a**[µm]**	R_z**[µm]**	R_{max}**[µm]**	R_p**[µm]**	R_v**[µm]**
1	0,868	6,104	7,605	3,578	4,027
3	0,865	5,901	7,009	3,420	3,589
5	0,698	5,209	5,998	2,636	3,362
7	0,706	5,351	6,762	3,256	3,506

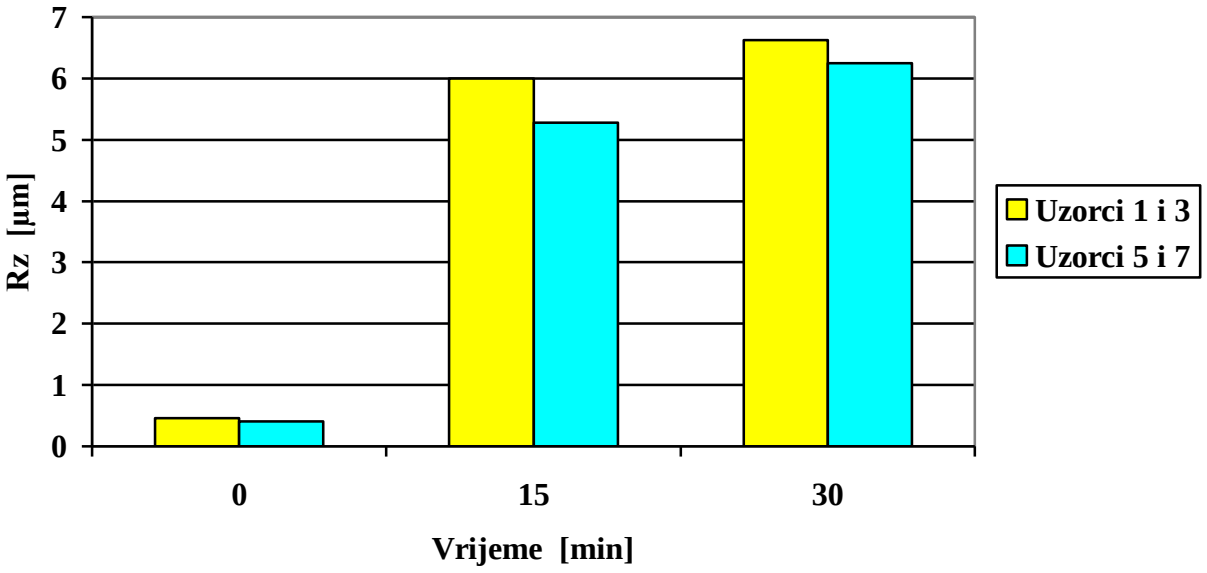
Tablica 7. Stanje hrapavosti uzoraka nakon 30 minuta erozije

Broj uzorka	R_a**[µm]**	R_z**[µm]**	R_{max}**[µm]**	R_p**[µm]**	R_v**[µm]**
1	0,925	6,620	8,013	3,995	4,018
3	0,992	6,631	8,566	3,845	4,721
5	0,785	6,194	8,223	3,278	4,945
7	0,918	6,294	8,002	4,033	3,969

Važno je naglasiti kako parametar R_v nije dobiven mjerenjem, već računanjem preko parametra R_p i parametra R_{max} u kojem su zajedno povezani. Naime, kako je objašnjeno u poglavlju 2.2, R_{max} predstavlja vertikalnu udaljenost najvišeg vrha (R_p) i najdubljeg dola (R_v). Podaci iz navedenih tablica grafički su prikazani na sljedećim slikama. Na slikama 22. i 23. za svaku vrstu pijeska je izračunata prosječna vrijednost dva uzorka.



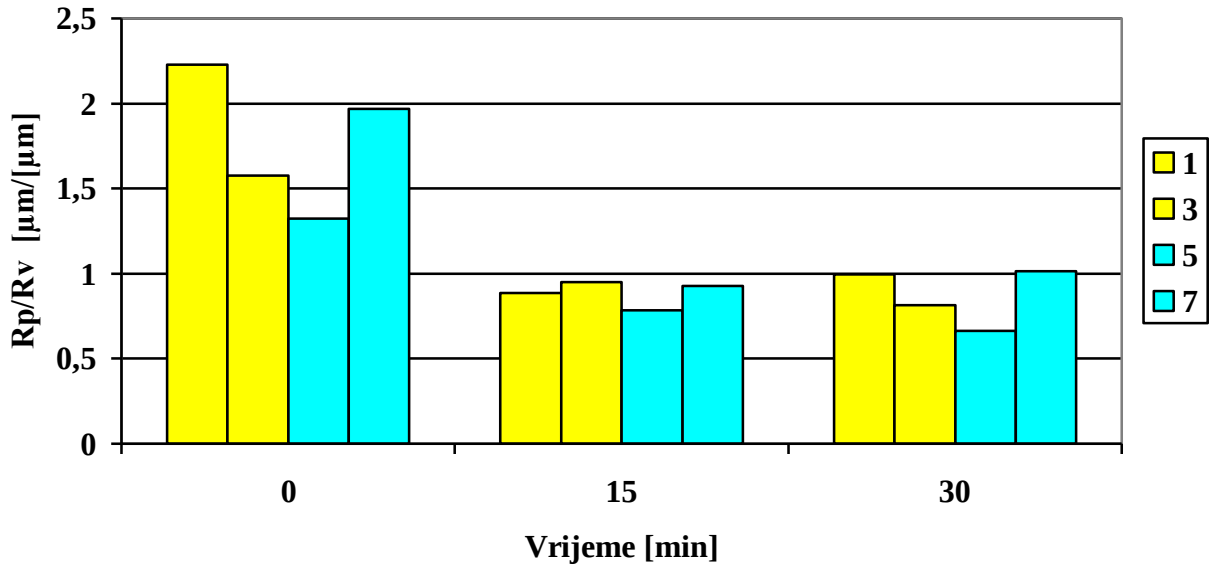
Slika 22. Rezultati mjerenja parametra R_a



Slika 23. Rezultati mjerenja parametra R_z

Iz slika 22 i 23 vidljiva je razlika između početnog stanja i stanja nakon erozije. Niska hrapavost u početku se može pripisati brušenju i poliranju u više faza. Nadalje može se zaključiti da erozija pijeskom 1 za posljedicu ima veće srednje aritmetičko odstupanje profila (R_a) i veću srednju visinu neravnina (R_z) nego erozija pijeskom 2.

Prema podacima iz tablica 5-7 se može vidjeti da parametar R_{max} sve više raste što je dulje trajala erozija česticama kod oba pijeska, odnosno visoki vrhovi i niski dolovi će postojati sve izraženiji na profilu. No važno je hoće li R_{max} rasti u stranu vrhova ili dolova. Zato se uvodi omjer parametara R_p/R_v koji se može vidjet na slici 24.



Slika 24. Omjer parametara R_p/R_v

Omjer će biti veći od 1 ukoliko je R_p izraženiji od R_v -a, odnosno vrhovi profila od dolova. Čim se omjer približava broju 1 ili pada ispod njega, naglasak prelazi na dolove. Vidi se da su u stanju hrapavosti prije erozije naglašeni vrhovi (R_p), a za uzorak 1 čak i do preko 2 puta. Nakon 15 minuta erozije postiže se stanje u kojem su svim uzorcima dolovi veći od vrhova, što se uglavnom i zadržalo nakon 30 minuta erozije. U radu je ispitivanje provedeno na manjem broju uzoraka pa se ne može sa sigurnošću donijeti zaključak kako se mijenja omjer R_p/R_v od 15. do 30 min. erozije jer se na nekim uzorcima smanjio, a na nekim povećao. Međutim saznanje da se R_p/R_v može povećati i smanjiti otvara zanimljivo pitanje o ostalim utjecajnim čimbenicima koji djeluju na stvaranje vrhova odnosno dolova pri eroziji.

Ovaj rad je potvrdio neke pretpostavke [6, 10, 11] o ponašanju amplitudnih parametara hrapavosti pri eroziji, prvenstveno rast srednjeg aritmetičkog odstupanja profila i srednje visine neravnina proporcionalno s vremenom. Također se ustvrdilo da će profili koji imaju naglasak na vrhovima nakon erozije česticama izgubiti taj naglasak te će odnos vrhova i dolova biti puno izjednačeniji.

5. ZAKLJUČAK

Nakon provedenog erozijskog ispitivanja te mjerenja gubitaka mase i hrapavosti površine Ti-6Al-4V može se zaključiti sljedeće:

- Veći je gubitak mase prilikom erozijskog ispitivanja pijeskom sa oštrijim zrncima (pijeskom 2).
- Srednja visina neravnina i srednje aritmetičko odstupanje profila, odnosno R_z i R_a proporcionalno su se povećavali s vremenom erozije.
- Povećanje amplitudnih parametara hrapavosti izraženije je kod pijeska 1.
- Nakon pripreme metalografskih uzoraka brušenjem i poliranjem, odnos između vrhova i dolova profila odnosno parametara R_p/R_v je bio naglašen na stranu vrhova odnosno R_p -a. Nakon prvih 15 minuta erozijskog ispitivanja postiglo se stanje hrapavosti površine u kojem su na svim uzorcima bili naglašeni dolovi.

LITERATURA

[1] https://www.predev.com

[2] https://www.fsb.unizg.hr/elemstroj/pdf/design/2007/hrapavost_tehnickih_povrsina.pdf

[3] Biserka Runje, Predavanja iz kolegija Teorija i tehnika mjerenja, Zagreb 2014

[4] https://www.predev.com/pdffiles/surface_roughness_terminology_and_parameters.pdf

[5] Grilec Jakovljević Marić, Tribologija u strojarstvu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb 2017

[6] I. Kumić, Otpornost na eroziju česticama aluminij oksidne i aluminij nitridne keramike, Zageb 2009

[7] http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=MTP641

[8] https://www.memsnet.org/material/silicondioxidesio2bulk/

[9] V. Ivušić, Tribologija, Fakultet strojarstva i brodogradnje; Zagreb

[10] M. Sakoman, Tribološka svojstva kompozitne Al2O3-ZrO2 keramike, Zagreb 2014

[11] N. Khayatan H. M. Ghasemi M. Abedini, Study of Erosion–Corrosion and Corrosion Behavior of Commercially Pure-Ti During Slurry Erosion

PRILOZI

I. CD-R disc