

SPECIFICNOSTI OBRADJE ABRAZIVNIM VODENIM MLAZOM

Dr Bogdan NEDIC, mr Jelena BARALIC

Kategorizacija rada: STRUČNI RAD
 Recenzent: Prof. dr Ljubodrag Djordjević
 Rad primljen: 21.09.2007.

Adresa:
 Mašinski fakultet
 Kragujevac

Rezime: *Obrada vodenim abrazivnim mlazom idealna za rezanje različitih materijala, tako da sve više zamenjuje obrade plazmom i laserom, stim da ima širu primenu jer se vodenim abrazivnim mlazom mogu obrađivati gotovo svi metalni i nemetalni materijali, male i velike tvrdoce.*

U radu je analiziran uticaj parametara režima obrade na kvalitet obrađene površine.

Ključne reci: *vodeni mlaz, abraziv, kvalitet površine*

„Kada je sve što imate čekić, sve ostalo Vam izgleda kao ekser“. Ova izreka objašnjava naš tradicionalni pogled na mašinsku obradu, gde je alat izrađen od tvrdog materijala i obavezno ima reznu ivicu. Pre više od 50 godina pojavila se nova metoda obrade gde je alat bio sasvim drugačiji u odnosu na naša uobičajena shvatanja, a ranih 70-tih prošlog veka proizvedena je prva mašina za obradu ovom metodom. Ova metoda je obrada vodenim mlazom, a sam alat je vodeni mlaz. Ranih 80-tih prošlog veka, ova, već postojeća metoda je unapređena tako što je u vodeni mlaz dodan abraziv. Na ovaj način je stvorena obrada abrazivnim vodenim mlazom.

1. UVOD

Svi veliki pronalasci su obično rezultat spajanja više nezavisnih istraživanja. To je bio slučaj i sa obradom abrazivnim vodenim mlazom. Prvi patent za korišćenje vodenog mlaza u nekoj proizvodnji pojavio se u Rusiji 1936. godine. Zaposleni u rudnicima uglja u Ukrajini su koristili vodeni mlaz za ispiranje uglja iz raznetih stena. Kasnije su fokusirani vodeni mlaz koristili i za kopanje rupa u stenama za postavljanje eksploziva u rudnicima. 1950-tih i 1960-tih sve veća potreba za rudom uranijuma je oživela interes za ovu metodu za iskopavanje rude. Osnovni problem kod iskopavanja uranijuma je bila radioaktivnost ove rude, pa je taj problem prevaziđen tako što se umesto klasičnih metoda koristila metoda iskopavanja vodenim mlazom. Istovremeno je započeto i konstruisanje savremenijih mašina za kopanje rude, pa su se one kasnije koristile i za kopanje podzemnih skladišta.

U isto vreme u SAD je Dr Norman Franc (koji se smatra tvorcem obrade vodenim mlazom) započeo proučavanje korišćenja mlaza vode pod visokim pritiskom kao reznog alata. Obzirom da je Dr Franc bio inženjer šumarstva, on je vodeni mlaz koristio za secenje drveta. Najveći problem koji je Dr Franc imao je bilo postizanje visokog pritiska i njegovo održavanje na konstantnom nivou.

Ranih 1990-tih, Dr Džon Olsen je započeo istraživanje koncepta obrade vodenim mlazom i obrade abrazivnim vodenim mlazom. Najveću pažnju je posvetio konstruisanju, unapređenju i pro-

izvodnji pumpi visokog pritiska za potrebe obrade abrazivnim vodenim mlazom. Takođe Dr Olsen je razvio i prvi specijalizovani softver za kontrolu procesa obrade vodenim mlazom.

2. TIPOVI OBRADJE VODENIM MLAZOM

Postoje dva tipa obrade vodenim mlazom. Prvi tip koristi čist vodeni mlaz i razvijen je sredinom 70-tih godina prošlog veka. Ovaj tip se najčešće zove obrada čistim vodenim mlazom (PWJ-pure waterjet). Njegova uobičajena primena je u papirnoj industriji, prehrambenoj industriji i slicno.

Drugi tip se javlja u ranim 90-tim prošlog veka. Za razliku od prethodnog tipa za obradu se koristi vodeni mlaz sa dodatkom abraziva. Ova vrsta obrade omogućava znatno širu oblast primene. Ovaj tip obrade se naziva obrada abrazivnim vodenim mlazom (AWJ-abrasive waterjet).

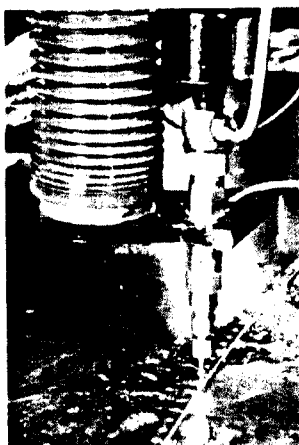
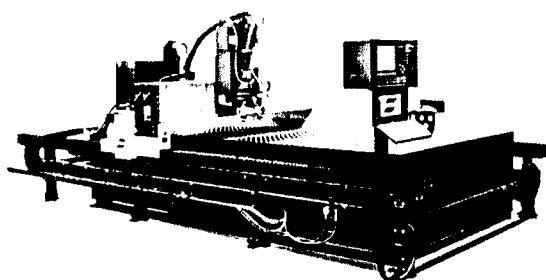
Obrada abrazivnim vodenim mlazom pripada grupi nekonvencionalnih postupaka obrade, i već duže vreme se koristi u industriji. Najčešće operacije koje se ovom vrstom obrade mogu izvoditi su: secenje, poliranje površina, čišćenje površina itd. U svim slučajevima mehanizam obrade se zasniva na eroziji.

Velika prednost ovog postupka obrade je činjenica da u zoni obrade ne dolazi do značajnog porasta temperature, tako da je naročito pogodna za obradu krutih materijala (staklo, keramika, kamen itd.) i kompozitnih materijala.

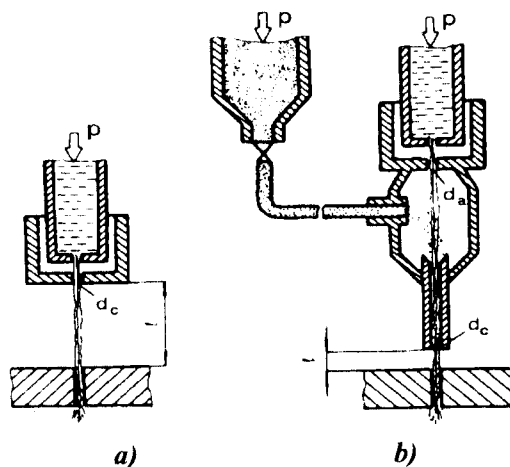
Na slici 1 prikazana je instalacija za obradu abrazivnim vodenim mlazom.

Savremene instalacije za obradu abrazivnim vodenim mlazom rade sa pritiskom vode i preko

4000 bar, pri čemu vodeni mlaz dostiže brzine i do 900 m/s. Šematski prikaz obrade vodenim mlazom bez abraziva dat je na slici 2 a).



Slika 1. Mašina i mlaznica za obradu abrazivnim vodenim mlazom



Slika 2. Šematski prikaz obrade vodenim mlazom bez abraziva a) i sa abrazivom b)

Na slici 2 b) dat šematski prikaz obrade vodenim mlazom sa abrazivom.

I kod jednog i kod drugog tipa obrade vodenim mlazom postoje dve ključne stvari:

- konstantno obezbeđivanje visokog pritiska vode i
- obezbeđivanje konstantne brzine vodenog mlaza i njegove koherentnosti.

Za stvaranje i održavanje visokog pritiska vode mogu se koristiti tri vrste pumpi:

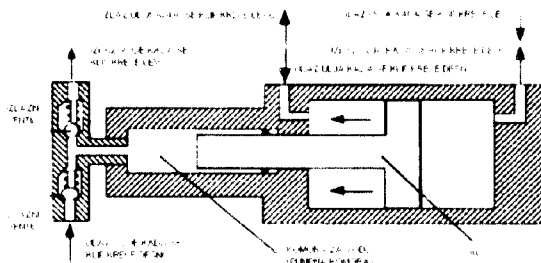
- pumpa sa direktnim prenosom,
- pumpa sa kolenastim vratilom i
- multiplikator.

Danas se zbog svojih karakteristika najčešće koristi multiplikator. Što se tiče ostvarivanja potrebne brzine vodenog mlaza ključnu ulogu imaju mlaznice. Izgled mlaznice zavisi od toga o kom tipu obrade vodenim mlazom se radi. U daljem tekstu će biti detaljnije opisani multiplikatori i mlaznice za obradu abrazivnim vodenim mlazom.

3. MULTIPLIKATOR

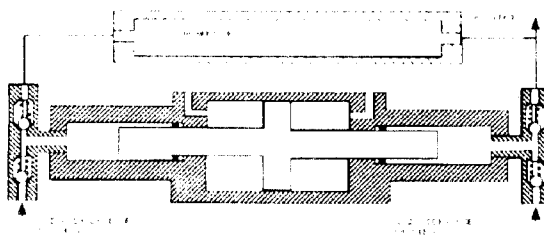
Multiplikatori su tipovi pumpi koji se najčešće koriste kod savremenih mašina za obradu vodenim mlazom, bez obzira o kom tipu obrade se radi (obra-

da čistim vodenim mlazom ili obrada abrazivnim vodenim mlazom). On se obično sastoji od dva cilindra sa različitim unutrašnjim prečnikom. Cilindar sa većim prečnikom obično pogoni hidraulično ulje pod pritiskom od 50-150 bar. Pritisak u drugom cilindru zavisi od razlike u prečnicima cilindara, odnosno od odnosa poprečnih preseka cilindara. Ovaj odnos se obično kreće u granicama od 1:10 do 1:25. Zbog ovakvog odnosa poprečnih preseka cilindara, pritisak vode u drugom cilindru dostiže vrednosti od 4000 bar i više. Na slici 3 je prikazan uprošćen izgled multiplikatora.



Slika 3. Uprošćen prikaz multiplikatora

Da bi se ostvario kvazi-kontinualni rad obično se koriste dva povezana multiplikatora, slika 4



Slika 4. Multiplikator dvostrukog dejstva sa akumulatorom

Kod ovakvog tipa multiplikatora (multiplikatori dvostrukog dejstva) jedinice su direktno povezane i rade naizmenično. Dok jedna jedinica isporučuje vodu pod pritiskom u sistem druga se puni. Zbog stišljivosti vode prvih 15% hoda klipa se koristi za sabijanje vode, i u tom periodu nema isporuke vode pod pritiskom u sistem. Zbog toga dolazi do oscilacija vrednosti pritiska u sistemu. Da bi se ova pojava ublažila koriste se multiplikatori sa akumulatorom. Jedan takav multiplikator prikazan je na slici 4.

4. MLAZNICE

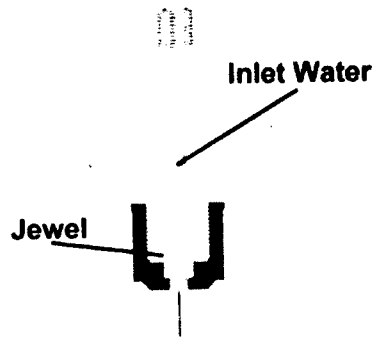
Izgled mlaznice za obradu vodenim mlazom zavisi od tipa obrade, odnosno od toga da li se obrada vrši čistim vodenim mlazom ili abrazivnim vodenim mlazom.

Na slici 5 je prikazana mlaznica za obradu čistim vodenim mlazom. Voda koja dolazi u mlaznicu je najčešće pod pritiskom od 1300-44000 bar. Voda pod ovim pritiskom prolazi kroz dijama-

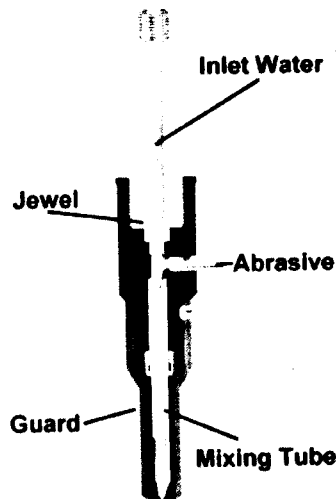
ntsku mlaznicu. Prečnik otvora dijamantske mlaznice se kreće u granicama od 0,18mm do 0,4 mm. Zbog ovako malog prečnika mlaznice mlaz dostiže veoma velike brzine. I pored toga, čistim vodenim mlazom se mogu obradivati samo mekši materijali, pa se ovaj tip obrade koristi uglavnom u papirnoj i prehrambenoj industriji. Na slici 6. je prikazana mlaznica za obradu abrazivnim vodenim mlazom. Kao što se sa slike vidi, ova mlaznica ima složeniju konstrukciju od mlaznice za obradu vodenim mlazom. Voda pod istim pritiscima kao u prethodnom slučaju (od 1300-44000 bar), prolazi kroz dijamantsku mlaznicu prečnika od 0,1840,4 mm. Na ovaj način se stvara vodeni mlaz velike brzine, koji zatim prolazi kroz malu komoru. U ovoj komori se usled Venturijevog efekta stvara vakuum koji je dovoljan da usisa određenu količinu abraziva u nju. Vodeni mlaz ubrzava čestice abraziva i zajedno sa njima prolazi kroz dugačku cilindričnu cev za mešanje. Mešavina vode i abrazivnih čestica izlazi iz cevi za mešanje

kao koherentni mlaz i vrši obradu. U ovom slučaju je veoma bitno da dijamantska mlaznica i cev za mešanje budu dobro centrirane, jer od toga zavisi iz-

gled abrazivnog vodenog mlaza, a samim tim i kvalitet obrade.



Slika 5. Mlaznica za obradu čistim vodenim mlazom



Slika 6. Mlaznica za obradu abrazivnim vodenim mlazom

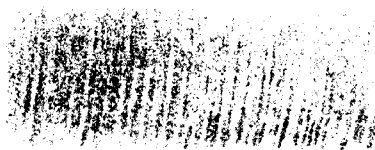
5. KARAKTERISTIKE OBRADENE POVRŠINE ABRAZIVNIM VODENIM MLAZOM

Osnovne karakteristike površine obradene abrazivnim vodenim mlazom su :

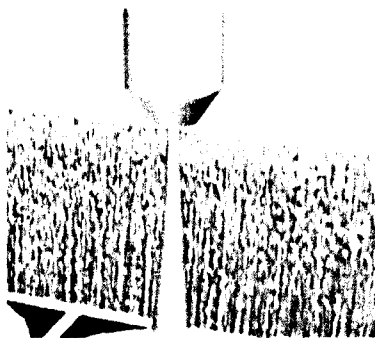
- širina reza
- konicnost reza i
- hrapavost obradene površine.

Sve ove karakteristike ukazuju na kvalitet obradene površine. U ovom radu, najveća pažnja je posvećena kvalitetu obradene površine. Kao glavni parametar za ocenu kvaliteta obradene površine odabrana je srednja visina neravnina Rz, i procena je promena vrednosti ovog parametra u zavisnosti od pojedinih parametara koji definišu obradu abrazivnim vodenim mlazom.

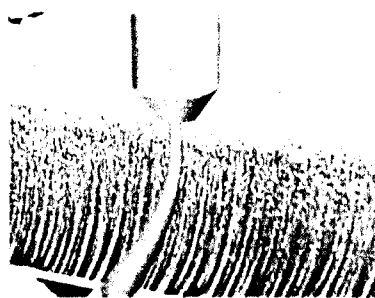
Karakterističan izgled površina obradenih abrazivnim vodenim mlazom prikazan je na slikama 7 i 8. Na slici 9 prikazana je topografija površina u zavisnosti od dubine reza.



Slika 7. Izgled površine obradene abrazivnim vodenim mlazom



a) Visok kvalitet obradene površine sa malim brzinama kretanja predmeta i manjom produktivnošću rezanja

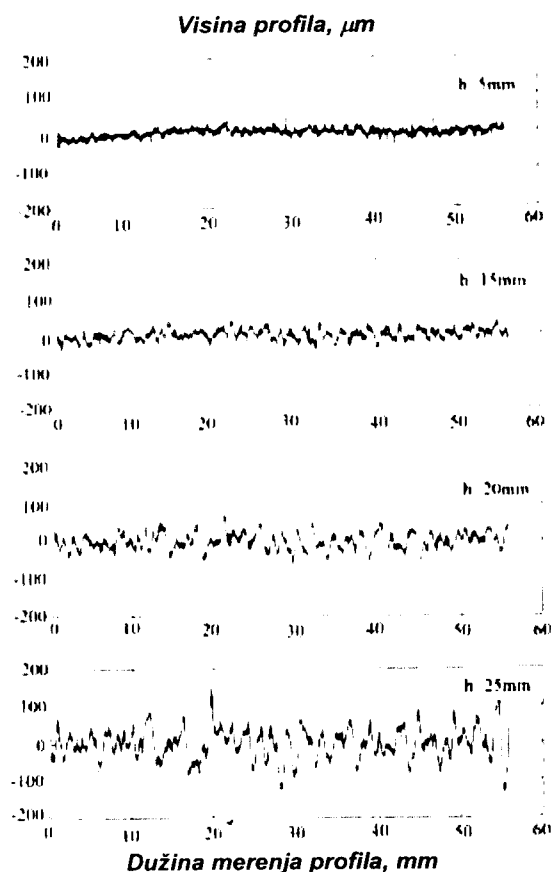


b) Nizak kvalitet obradene površine na izlasku mlaza pri velikim brzinama kretanja predmeta i velikom produktivnošću rezanja

Slika 8. Uticaj brzine kretanja predmeta obrade na kvalitet obradene površine

Sa slika 7 i 8 se jasno vidi da se karakteristike obradene površine menjaju u zavisnosti od brzine kretanja predmeta obrade, a sa slike 9 se može zaključiti o postojanju velike razlike u visini neravnina u zavisnosti od udaljenosti od površine materijala koji se obrađuje, odnosno od dubine re-

za. Hrapavosti, odnosno visine neravnina profila su znatno manje na manjim dubinama reza, odnosno veci kvalitet obrade je na ulasku mlaza u materijal nego na vecim dubine reza, odnosno na izlasku mlaza iz materijala.



Slika 9. Profil obrađene površine u zavisnosti od dubine reza - h

Međutim, brzina kretanja predmeta obrade u dubina reza nisu jedini parametri koji utiču na karakteristike obrađene površine. Karakteristike obrađene površine zavise od niza parametara, kao što je radni pritisak vode, vrsta abraziva koja se koristi, udaljenost mlaznice od površine predmeta obrade, protok abraziva, materijal predmeta obrade itd.

6. UTICAJ PARAMETARA OBRADNE ABRAZIVNIM VODENIM MLAZOM NA KVALITET OBRADENE POVRŠINE

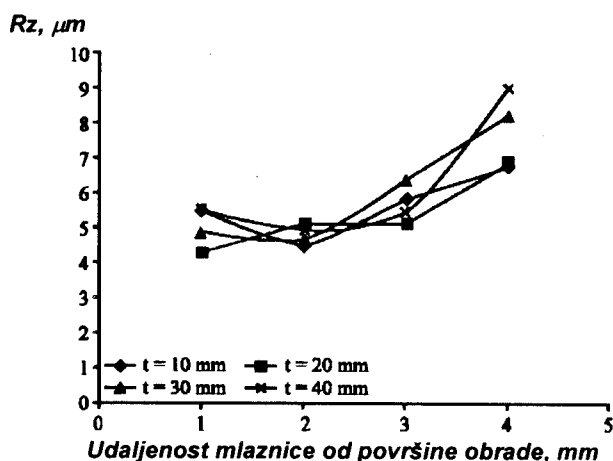
Uticaj parametara obrade abrazivnim vodenim mlazom na kvalitet obrađene površine je značajan i u okviru ovog rada razmatran je kroz ispitivanja uticaja:

- udaljenosti mlaznice od obrađivane površine,
- pomoćne brzina (brzine kretanja predmeta obrade) i
- radnog pritiska vode

na srednju visinu neravnina Rz .

Materijal koji je korišćen za ispitivanje je aluminijum sa sledecim karakteristikama: zatezna cvrstoca 90 MPa; modul elasticnosti 69 GPa i gustina 2.71 g/cm^3 . Kao abrazivno sredstvo je korišćen aluminijum-silikat, finoce 80.

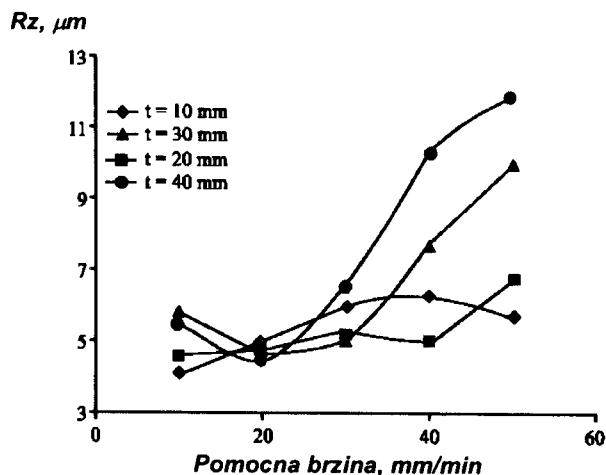
Na slici 10 je prikazan uticaj udaljenosti mlaznice od površine obrade na hrapavost obrađene površine, na različitim dubinama reza. Uočava se da sa porastom udaljenosti mlaznice od površine predmeta obrade raste i parametar hrapavost obrađene površine Rz . Takode uočava se da parametar Rz naglo raste kada se mlaznica udalji od obrađivane površine više od 3 mm, tako da hrapavost postaje velika nezavisno od dubine reza. Takode, može se zaključiti da smanjivanje rastojanja mlaznice od površine predmeta ispod 2 mm ne dovodi do smanjenja hrapavosti. To znaci da postoji optimalno rastojanje mlaznice od predmeta obrade, koje je u ovom slucaju oko 2 mm.



Slika 10. Uticaj udaljenosti mlaznice od površine obrade na hrapavost obrađivane površine, t - dubina reza

Na slici 11 je prikazan uticaj pomocne brzine na parametar hrapavosti obrađene površine Rz , na razlicitim dubinama reza. Sa dijagrama se vidi da se sa povecanjem pomocne brzine povecava i Rz . Za vrednosti pomocne brzine od 10 mm/min, Rz je duplo manje nego za vrednosti pomocne brzine od 50 mm/min, na istoj dubini reza. Može se zakljuciti

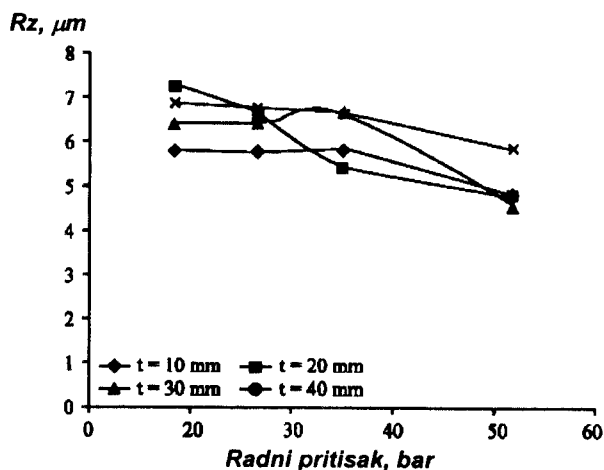
da sa povecanjem pomocne brzine hrapavost na vecim dubinama reza znacajno raste, a da u oblastima manjih brzina pomocnog kretanja kvalitet po dubini reza je približno konstantan. Takođe, smanjenjem brzine pomocnog kretanja ispod 20 mm/min, u ovom slucaju ne dovodi do povecanja kvaliteta obrađene površine.



Slika 11. Uticaj pomocne brzine na hrapavost obrađivane površine, t - dubina reza

na slici 12 je prikazan uticaj radnog pritiska vode na parametar hrapavosti obrađene površine Rz . Može se uociti da za vece vrednosti radnog pritiska vode, parametar Rz ima manje vrednosti, odnosno, hrapavost obrađene površine je manja. Ova pojava je rezultat cinjenice da se sa poveca-

njem pritiska vode krti kristali abraziva lome na manje, finije kristale, a finiji kristali abraziva daju finiju obradu odnosno manju hrapavost obrađene površine. I na ovom dijagramu se primecuje da je hrapavost obrađene površine veća na većim dubinama reza.



Slika 12. Uticaj radnog pritiska vode na hrapavost obrađivane površine, t - dubina reza

7. PREDNOSTI I NEDOSTACI OBRADE ABRAZIVNIM VODENIM MLAZOM

Kada je u pitanju obrada abrazivnim vodenim mlazom, mnogo je više prednosti nago nedostataka. Neke od prednosti su:

1. Veoma brza priprema (podešavanje i programiranje) mašine
2. Nije potrebno stezanje-držanje materijala za obradu
3. Moguce je izraditi gotovo sve 2D oblike
4. Nema zagrevanja materijala u zoni obrade
5. Moguce je obraditi gotovo sve vrste materijala
6. Veoma nizak nivo zagađenja okoline itd.

Nedostaci obrade abrazivnim vodenim mlazom su:

- Buka koja se razvija prilikom obrade (do 100db)
- Obradena površina je uvek mat.

Kao što vidimo, kada je u pitanju obrada abrazivnim vodenim mlazom, mnogo je više prednosti nego nedostataka. Zbog toga se danas sve češće u industriji susrećemo sa ovom vrstom obrade.

8. ZAKLJUČAK

Analizama dijagrama uticaja parametara rezanja vodenim abrazivnim mlazom na kvalitet obradene površine može se zaključiti da je kvalitet površine razlicit po dubini reza i da na to najveći uticaj ima brzina pomocnog kretanja, odnosno brzina kretanja predmeta obrade.

Takode, uocava se da povecanje udaljenosti mlaznice od površine predmeta obrade dovodi do povecanja hrapavosti obradene površine, stim da njegovim smanjenjem ispod određenih vrednosti može dovesti i rasta visina neravnina, odnosno do pogoršanja kvaliteta obradene površine.

Sa povecanjem radnog pritiska vode dolazi do fragmentacije kristala abraziva na manje delove pri čemu se dobija i finija obrada. Zbog toga se sa po-

vecanjem radnog pritiska vode dobija bolji kvalitet obradene površine, odnosno manja hrapavost.

Medutim, prilikom izbora parametara koji definišu obradu abrazivnim vodenim mlazom treba obratiti pažnju i na proizvodnost, odnosno na ekonomičnost primene izabranih režima obrade, jer mala pomocna brzina rezanja i veliki radni pritisci vode ne rezultuju ekonomičnim režimom obrade. Definisane parametara obrade abrazivnim vodenim mlazom treba da predstavlja optimalni odnos između proizvodnosti i kvaliteta obradene površine.

9. LITERATURA

- Trajkovski S., Dudeski LJ., Nekonvencionalni metodi na obrabotka, Univerzitet „Sv. Kiril i Metodij“, Skopje, 1999.
- Lazic M., Nekonvencionalni postupci obrade, Naučna knjiga, Kragujevac, 1990.
- Nedic B., Barac J. Obrada abrazivnim vodenim mlazom i kvalitet obradene površine. Serbiantrib 07. Kragujevac, 2007.
- Sarvan M., Obrada metala rezanjem i mašine alatke, Novi svet, Priština, 1997.
- Khan A.A., Munajat N., Tajudin H., A Study on Abrasive Water Jet Machining of Aluminum with Garnet Abrasives, Journal of Applied Sciences 5(9): 1650-1654, 2005
- Uhlmann E., Veit R., Hilse M., Schalte S. Removal of Welded Hardfacings by Abrasive Water Jet Machining, Technische Universität Berlin, 1998.
- Hunt D.C., Burnham C.D., Kim T.J., Surface Finish Characterization in Machining Advanced Ceramics by Abrasive Waterjet, University of Rhode Island, Kingston, 2003.
- Momber A.W., Kovacevic R. Principles of Abrasive Waterjet Machining. Springer London, 1998.

SPECIFIC OF ABRASIVE WATER JET MACHINING

Summary: The abrasive waterjet system is an ideal machine for the cutting of various materials and is extremely versatile compared to alternative machinery such as lasers and plasmas. Waterjet cutting is performed with "pure water" for the cutting of - foam, package products, gaskets, gibson board, carpet, food, rubber, and many other soft materials. The addition of abrasive (garnet) to the water stream provides the ability to cut - steel, stainless, copper, aluminum, granite, marble, laminated glass.

In the papers presented quality surface of abrasive water jet machining.

Key words: water jet, abrasive, surface quality
