

UTICAJ TVRDOĆE MATERIJALA PREDMETA OBRADNE NA KVALITET OBRADENE POVRŠINE ABRAZIVNIM VODENIM MLAZOM

INFLUENCE OF MATERIAL HARDNESS ON SURFACE QUALITY MACHINED WITH ABRASIVE WATERJET

Prof.emeritus dr. Safet Brdarević
Univerzitet
Zenica

Ajdin Jeleč dipl.pr.ing.
Politehnički fakultet
Zenica

REZIME

Postupak obrade abrazivnim vodenim mlazom je zasnovan na korištenju kinetičke energije koja u kombinaciji sa posmičnim kretanjem abrazivnog vodenog malaza utiče na kvalitet obrađene površine. Osnovu ovog postupka rezanja čini međusobni kontakt abrazivnih čestica sadržanih u vodenom mlazu i materijala predmeta obrade. Vremenski interval prethodno navedene interakcije koji je u direktnoj zavisnosti od tvrdoće materijala predmeta obrade znatno utiče na kvalitet obrađene površine. Promjenom tvrdoće materijala predmeta obrade se proporcionalno mijenja dužina vremenskog intervala prethodno navedene interakcije. Povećanjem brzine posmičnog kretanja abrazivnog vodenog mlaza se smanjuje navedeni interval što utiče na povećanje hrapavosti površine.

Ključne riječi: abrazivni vodeni mlaz, hrapavost, tvrdoća, tragovi abrazivnih čestica

ABSTRACT

Abrasive waterjet machining is based on usage of kinetic energy which in combination with traverse movement of abrasive waterjet affects the quality of the machined surface. Base for this machining process is the interaction between abrasive particles contained inside waterjet and workpiece material. Time interval of mentioned interaction that effects the quality of the machined surface is directly correlated with workpiece material hardness. With change of workpiece material hardness the need for longer time interval for previously mentioned interaction proportionally changes. Increasement in abrasive waterjet traverse speed the time interval decreases which effects the surface roughness increasement.

Keywords: abrasive waterjet, roughness, hardness, traces of abrasive particles

1. UVOD

Postupak obrade abrazivnim vodenim mlazom kao jedan od nekonvencionalnih postupaka obrade je zasnovan na korištenju kinetičke energije vodenog mlaza. Korištenje kinetičke energije je uslovljeno postizanjem visokog pritiska koji djeluje na površinu predmeta obrade. S ciljem povećanja opterećenja na površinu predmeta obrade u vodeni mlaz su dodane abrazivne čestice koje se turbulentno kreću po obodu vodenog mlaza povećavajući mu kinetičku energiju.

Djelovanje opterećenja na površinu predmeta obrade rezultira nastankom unutrašnjeg opterećenja koje prouzrokuje razdvajanje kristalne rešetke u pravcu djelovanja mlaza-nastanak

reza. Nakon nastanka početnog reza neophodno je utvrditi vrijednosti relevantnih parametara s ciljem postizanja rezultata procesa obrade kao što su preciznost, zakošenje ivica ili kvalitet obrađene površine. Parametri relevantni za postizanje visoke tačnosti uz osiguranje visokog kvaliteta obrađene površine su:

- kinetička energija abrazivnog vodenog mlaza i
- brzina posmičnog kretanja rezne glave.

1.1. Kinetička energija abrazivnog vodenog mlaza

Kinetička energija jeste parametar ovog postupka obrade koji je definisan procesom nastanka vodenog mlaza visokog pritiska i prolaska istog kroz različite dijelove sistema za rezanje abrazivnim vodenim mlazom. Postupak proizvodnje vodenog mlaza u osnovi počinje u hidrauličnim pumpama koje na osnovu primjene radilica ili aktuatora povlače vodu koja se nalazi u rezervoaru. Povlačenjem vode radnim klipovima povezanih sa radilicom ili velikim pokretnim klipom aktuatora se naizmjeničnim kretanjem istih povećava pritisak nastalog vodenog mlaza. Tako nastao vodeni mlaz se usmjerava u pravcu rezne glave koja predstavlja segment u kojem se dodatno povećava pritisak vodenog mlaza. Potreba za visokom preciznošću procesa rezanja predmeta obrade većih debljina je rezultirala dodatnim povećanjem pritiska usljed prolaska abrazivnog vodenog mlaza kroz otvore različitih dijelova rezne glave. Pošto vodeni mlaz već posjeduje znatnu kinetičku energiju prilikom prolaska kroz reznu glavu, prvenstveno komoru za miješanje, omogućeno je upuštanje abrazivnih čestica u vodeni mlaz. U kontaktu sa vodenim mlazom abrazivne čestice preuzimaju određeni dio kinetičke energije vodenog mlaza i počinju se turbulentno kretati po obodu vodenog mlaza, ubrzavajući se i povećavaju kinetičku energiju tako nastalog abrazivnog vodenog mlaza. Dobivenom kinetičkom energijom abrazivni vodeni mlaz djeluje na površinu predmeta obrade uz odnošenje materijala predmeta obrade kao osnovnog principa nastanka reza. Također je neophodno navesti da proces erodiranja materijala predmeta obrade znatno utiče na ograničenja prolaska abrazivnog vodenog mlaza kroz predmete obrade velikih debljina bez pojave zakošenja abrazivnog vodenog mlaza i pojave tragova kretanja abrazivnih čestica. Prethodno navedene pojave su jedan od razloga zašto se velika pažnja posvećuje održavanju konstantne kinetičke energije abrazivnog vodenog mlaza pri izrazito velikim vrijednostima pritiska koji djeluju na predmet obrade.

1.2. Posmično kretanje abrazivnog vodenog mlaza

Pošto abrazivni vodeni mlaz nije statičan u pogledu njegovog posmičnog kretanja kroz materijal predmeta obrade s ciljem postizanja željene geometrije reza, neophodno je u razmatranje uzeti i brzinu posmičnog kretanja abrazivnog vodenog mlaza. Značaj razmatranja posmičnog kretanja je vidljiv kroz mogućnosti slabljenja kinetičke energije abrazivnih čestica prilikom posmičnog kretanja abrazivnog vodenog mlaza. Navedeno smanjenje kinetičke energije je u velikoj zavisnosti od mogućnosti pojave zakošenja abrazivnog vodenog mlaza koje nastaje usljed unutrašnjih sila u materijalu koje se suprotstavljaju opterećenju nastalom kretanjem abrazivnog vodenog mlaza. Nastanak unutrašnjih sila koje se suprotstavljaju kretanju abrazivnog vodenog mlaza su u direktnoj povezanosti sa tvrdoćom materijala koji će se rezati ovim nekonvencionalnim postupkom obrade.

Posmičnim kretanjem abrazivnog vodenog mlaza se definiše vremenski interval u kojem abrazivne čestice, tačnije ivice abrazivnih čestica koje su kod ovog postupka obrade okarakterisane kao rezne ivice, mogu erodirati materijal predmeta obrade. Povećanjem brzine posmičnog kretanja abrazivnog vodenog mlaza se aproksimativno smanjuje vremenski interval u kojem abrazivne čestice mogu erodirati materijal predmeta obrade što rezultira povećanjem hrapavosti obrađene površine. Naravno i kod ovog parametra procesa rezanja abrazivnim vodenim mlazom tvrdoća materijala predmeta obrade ima veliki uticaj na povećanje ili

smanjenje hrapavosti obrađene površine. Uticaj tvrdoće materijala se može definisati kroz uslovljenu neophodnost da u kratkom vremenskom periodu veliki broj reznih ivica dolazi u kontakt sa materijalom predmeta obrade, i zbog toga je očekivati da je zahtjev za većim brojem ostvarenih kontakata između reznih ivica i materijala predmeta obrade veći kod tvrdih materijala u odnosu na mekše materijale. U cilju utvrđivanja uticaja smanjenja ostvarenih kontakata između reznih ivica i materijala predmeta obrade kod metala različitih tvrdoća, i definisanja potencijalnih uticaja na povećanje hrapavosti obrađene površine urađena je eksperimentalna analiza koja će biti predstavljena u narednom dijelu ovog rada.

2. EKSPERIMENTALNA ANALIZA

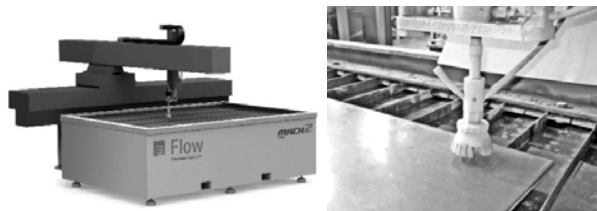
Osnovni cilj eksperimentalne analize jeste utvrđivanje uticaja tvrdoće materijala predmeta obrade u kombinaciji sa povećanjem brzine posmičnog kretanja abrazivnog vodenog mlaza na povećanje hrapavosti obrađene površine. U svrhu postizanja navedenog cilja eksperimentalna analiza je podijeljena na nekoliko dijelova:

- rezanje predmeta obrade ovim nekonvencionalnim postupkom obrade uz povećanje brzine posmičnog kretanja abrazivnog vodenog mlaza,
- mjerenje hrapavosti dobivenih površina u svrhu definisanja zavisnosti hrapavosti površina od brzine posmičnog kretanja abrazivnog vodenog mlaza i
- mjerenje tvrdoće materijala predmeta obrade u svrhu definisanja zavisnosti hrapavosti površine od tvrdoće materijala predmeta obrade.

2.1. Rezanje predmeta obrade ovim nekonvencionalnim postupkom obrade uz povećanje brzine posmičnog kretanja abrazivnog vodenog mlaza

Za realizovanje eksperimentalne analize korištena je mašina Mach serije 2 model 2031b proizvođača Flow. Osnovne specifikacije karakteristične za seriju 2 i model 2031b su: površina rezanja 2 x 3,10 x 0,18 m, postignuta preciznost pri temperaturi od $20^0 \pm 3^0 C$ jeste 0,127 mm po 1 m, pri istoj temperaturi se postiže ponovljivost od 0,0635 mm. Za nastanak vodenog mlaza visokog pritiska se koristi hidraulična pumpa JetPlex™ sa maksimalnim ostvarivim pritiskom od 380 MPa [1].

Za kreiranje abrazivnog vodenog mlaza korišten je abrazivni material Garnet 85 (proizvođač SUPER garnet). Fluidna dizna korištena u eksperimentu jeste safirna fluidna dizna, a fokusna cijev jeste QBIC 30plus (proizvođač FLOW). Ugao rezanja predmeta obrade iznosi 90^0 .



Slika 1. Postupak rezanja uzoraka , mašina Flow Mach 2 model 2031b [3]

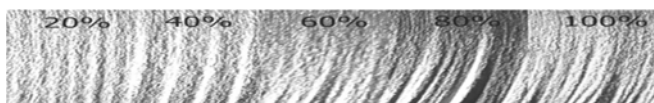
Postupak rezanja abrazivnim vodenim mlazom je realizovan na 3 uzorka za svaki od materijala naznačenih u tabeli 1.

Tabela 1. Materijali i dimenzije uzoraka korištenih u eksperimentalnoj analizi

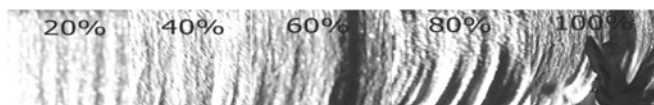
Materijal uzorka	Dimenzije uzorka
Aluminijum AlMg5	490x240x200 mm
Ugljenični čelik St 37-2 (DIN 17100)	690x240x120 mm
Inox 1.4301	490x240x60 mm

U svrhu utvrđivanja uticaja brzine posmičnog kretanja abrazivnog vodenog mlaza na hrapavost obrađene površine, brzina kretanja rezne glave je postepeno povećavana u skladu sa mogućnostima mašine koja je korištena za rezanje. Brzine kretanja rezne glave je kod korištene mašine definisana u postocima jer brzina kojom se abrazivni vodeni mlaz kreće kroz materijal predmeta obrade zavisi od debljine i tvrdoće materijala. U ovoj ekperimentalnoj analizi je brzina kretanja rezne glave postepeno povećavana u intervalu od (20-100)%.

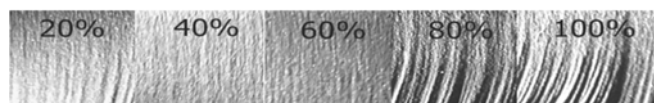
Navedeno kretanje rezne glave je rezultiralo posmičnim kretanjem abrazivnog vodenog mlaza koje je proizvelo površine uzoraka koje su predstavljene na slikama 2,3 i 4.



Slika 2. Izgled obrađene površine aluminijuma pri različitim brzinama posmičnog kretanja rezne glave



Slika 3. Izgled obrađene površine inoxa pri različitim brzinama posmičnog kretanja rezne glave



Slika 4. Izgled obrađene površine ugljeničnog čelika St 37-2 pri različitim brzinama posmičnog kretanja rezne glave

2.2. Mjerenje hrapavosti dobivenih površina u svrhu definisanja zavisnosti hrapavosti površina od brzine posmičnog kretanja abrazivnog vodenog mlaza

Mjerenje hrapavosti površine je izvršeno pomoću uređaja Perthometer M1 koji je namjenjen za mjerenje hrapavosti po ISO (Ra, Rz i Pc) ili JIS standardima (Ra, Rz i Ry). Maksimalni raspon mjerenja iznosi 150 μ m i maksimalna dužina traga 17,5 mm.



Slika 5. Postupak mjerenja hrapavosti površine na uređaju Perthometer M1[3].

Primjenom navedenog uređaja su dobivene vrijednosti hrapavosti površine koje su prikazane u tabeli 2.

Tabela 2. Vrijednosti izmjerene hrapavosti obrađenih površina za uzorke od aluminijuma, ugljeničnog čelika i inoxa.

Aluminijum					
Brzina posmičnog kretanja rezne glave	20%	40%	60%	80%	100%
Ra [μm]	4,651	5,975	4,748	4,912	4,879
Rz [μm]	25,1	34,5	29,5	26,4	29,4
Rmax [μm]	27	47,3	34,3	31,6	36,4
Pc [pik po cm]	85	75	108	95	108
Ugljenični čelik St 37-2					
Ra [μm]	3,466	3,5	2,905	3,953	3,42
Rz [μm]	21,8	21,6	18,9	23,3	23,2
Rmax [μm]	36,7	27,8	22,1	31,5	28,5
Pc [pik po cm]	95	118	123	100	120
Inox					
Ra [μm]	3,306	3,885	3,737	5,87	4,635
Rz [μm]	20	25,7	19,9	35,1	25,8
Rmax [μm]	27,4	43,5	25,6	43,5	30,4
Pc [pik po cm]	98	100	63	73	60

2.3. Mjerenje tvrdoće materijala predmeta obrade u svrhu definisanja zavisnosti hrapavosti površine od tvrdoće materijala predmeta obrade.

Ispitivanje tvrdoće materijala predmeta obrade je izvršeno prema Brinellu koristeći čeličnu kuglicu na uzorcima koji su izrađeni od različitih materijala s ciljem utvrđivanja uticaja tvrdoće materijala na nastanak tragova prouzrokovanih abrazivnim česticama.

Tabela 3. Vrijednosti izmjerene tvrdoće uzoraka od aluminijuma, ugljeničnog čelika i inoxa.

Aluminijum					
Rbr. otiska	1	2	3		
Srednja vrijednost izmjerenih dijagonala	4,44	4,44	4,44		
Vrijednost tvrdoće HB	61	61	61		
Uslovi ispitivanja	10/1000	10/1000	10/1000		
Ugljenični čelik St 37-2					
Rbr. otiska	1	2	3	4	5
Srednja vrijednost izmjerenih dijagonala	2,75	2,74	2,73	2,74	2,73
Vrijednost tvrdoće HB	116	117	118	117	118
Uslovi ispitivanja	5/750	5/750	5/750	5/750	5/750
Inox					
Rbr. otiska	1	2	3	4	5
Srednja vrijednost izmjerenih dijagonala	2,14	2,11	2,14	2,14	2,15
Vrijednost tvrdoće HB	198	204	198	198	197
Uslovi ispitivanja	5/750	5/750	5/750	5/750	5/750



Slika 6. Otisci na ispitanim površinama prilikom mjerenja tvrdoće

3. ZAKLJUČAK

Ispitivanjem površina uzoraka koje su obrađene pri različitim brzinama kretanja rezne glave a koje su definisale vrijednosti posmičnog kretanja abrazivnog vodenog mlaza prilikom kretanja istog kroz materijal predmeta obrade. Već kod vizuelne kontrole obrađenih površina je vidljivo povećanje hrapavosti obrađene površine sa povećanjem brzine posmičnog kretanja abrazivnog vodenog mlaza. Razlog za intenziviranje tragova nastalih na obrađenim površinama usljed kretanja abrazivnih čestica jeste nedovoljna vrijednost vremenskog intervala koja je neophodna da abrazivne čestice pravilno erodiraju materijal predmeta obrade. Navedeni vremenski interval se smanjuje usljed povećanja brzine posmičnog kretanja abrazivnog mlaza što je vidljivo kroz nastanak tragova na obrađenoj površini. U svrhu detaljnijeg praćenja povećanja intenziteta tragova kretanja abrazivnih čestica izvršena su mjerenja obrađenih površina u zoni inicijacije koja su dokazala da se sa povećanjem brzine posmičnog kretanja abrazivnog vodenog mlaza povećava i hrapavost obrađene površine.

Pošto tvrdoća materijala predmeta obrade definiše neophodnost za vremenskim intervalom koji će biti dovoljan da abrazivne čestice pravilno prođu kroz materijal izmjerene su tvrdoće materijala od kojih su napravljeni uzorci. Ispitivanje tvrdoće prema Brinellu je pokazalo da tvrdoća materijala predmeta obrade utiče na intenzitet pojave tragova kretanja abrazivnog vodenog mlaza. Na osnovu tabele 2. je vidljivo povećanje intenziteta prethodno navedenih tragova kod mekših materijala što je direktno uticalo na povećanje hrapavosti, također je neophodno uzeti u obzir da je ispitivanje vršeno na uzorcima malih debljina.

4. REFERENCE

- [1] <http://www.flowasia.com/waterjet-products.cfm-id=857.htm>;
- [2] Brdarević, S.; Jeleč, A.: Surface roughness in abrasive waterjet cutting, 19th International research/expert conference, Trends in the development of machinery and associated technology-TMT 2015, 22-23 July 2015, Barcelona, Spain,
- [3] Brdarević, S.; Jeleč, A.: Surface roughness in abrasive waterjet cutting, 9th Research/Expert Conference with International Participation- Quality 2015, 10-13 June 2015, Neum, Bosnia and Herzegovina,
- [4] Brdarević, S.; Jeleč, A.: Problemi i aktivnosti održavanja stroja za obradu abrazivnim vodenim mlazom, 22. međunarodno savjetovanje-Održavanje 2016, 16-18 svibanj, Šibenik, Hrvatska
- [5] Brdarević, S.; Jeleč, A.: Nekonvencionalni postupci obrade- univerzitetski udžbenik, Mašinski fakultet Zenica, Politehnički fakultet Zenica, 2016, Zenica, Bosna i Hercegovina,
- [6] Faculty of Mechanical Engineering, University of Kragujevac, 19-21 May 2010, Kragujevac, Serbia; Ed. Arsovski S.; Lazić, M.; Stefanović, M.; ISBN: 978-86-86663-49-8, pp. 343-350,
- [7] Wierogge, G.: Zerspanung der Eisenwerkstoffe, Verlag Stahleisen m.b.H. Düsseldorf, 1970,
- [8] Aswathy K. and Govindan P.: „Modeling of abrasive water jet machining process“, International Journal of Recent advances in Mechanical Engineering 3. August 2015,
- [9] Lebar Andrej and Junkar Michael (16 September 2004): „Simulation of abrasive water jet cutting process: Part 1. Unit event approach“, Faculty of Mechanical Engineering, University of Ljubljana, Askerceva 6, 1000 Ljubljana, Slovenia,
- [10] Belić, I. „Nekonvencionalni postupci obrade- obrada usmjerenom energijom“, 2010, Beograd.