

ALATI ZA OBRADU KOD VISOKOBRZINSKIH OBRADA

Skvaža M.¹, Botak Z.¹

¹Veleučilište u Varaždinu, Varaždin, Hrvatska

Sažetak: Rastuća kompleksnost i smanjenje vijeka trajanja proizvoda karakteristični su za suvremenu proizvodnju. Proizvodnja treba biti brza i kvalitetna, uz što manje troškova. Kako bi se maksimalno iskoristili svi kapaciteti moderne tehnologije, razvoju strojeva mora slijediti i odgovarajući razvoj reznih alata. Pravilni izbor tehnološki i geometrijski pogodnog alata za obradu može bitno smanjiti ukupne troškove po jedinici proizvoda.

U radu su prikazane osnovne značajke materijala za izradu alata koji se koriste u suvremenoj proizvodnji.

Ključne riječi: visokobrzinska obrada, materijal alata, rezni materijal

Abstract: Growing complexity and shortening of a product's lifespan are characteristic of modern production. Production needs to be fast and of quality, with expenses reduced as much as possible. In order to use the maximum of all capacities of modern technology, the machine development needs to be followed by the adequate development of cutting tools. Total cost per product unit can be reduced by choosing the right tools technologically and geometrically suitable for processing.

This paper presents the basic characteristics of the material used for making of the tools used in modern production.

Key words: high-speed processing, tool material, cutting material

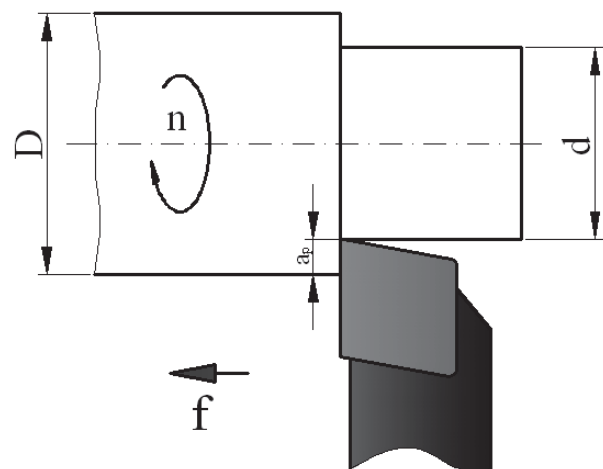
1. UVOD

Današnji trendovi razvitka traže povećanje konkurentnosti kroz kvalitetu proizvoda uz što manje troškove proizvodnje, a to se postiže boljom organizacijom, optimiranjem postojeće proizvodne tehnologije te primjenom novih tehnologija kao što je visokobrzinska obrada. Za praktičnu primjenu ove vrste obrade metala potrebna su određena konstrukcijska rješenja i prilagođavanje alatnog stroja, alata i procesa rezanja. Da bi rezultati obrade bili na željenoj razini, treba obratiti pozornost na sam alat; njegov oblik, materijal oštrice, na rezu geometriju i držače. Primjenom novih materijala za izradu alata, poboljšavanjem reznih svojstava i prilagođavanjem potrebama proizvodnje, oni su postali pristupačniji za širu upotrebu. Brojnim laboratorijskim ispitivanjima

određena je optimalna geometrija kao i osnovni parametri obrade kojih se treba pridržavati prilikom korištenja alata.

2. POVIJESNI RAZVOJ VISOKOBRZINSKE OBRADNE

Zahvaljujući neprekidnom razvoju i poboljšanju alatnih strojeva, kao i materijala iz kojih se izrađuju alati, neprekidno se povećava i brzina rezanja. Od prvih alata izrađenih od visokougličnih čelika pa do današnjih, super tvrdih alatnih materijala, brzine rezanja su se povećale gotovo 100 puta [1].



Slika 2.1. Tokarenje

Brzina rezanja se kod tokarenja (slika 2.1.) izračuna prema formuli:

$$v_c = \frac{D \cdot \pi \cdot n}{60000} \quad (1)$$

gdje je:

v_c [m/min] - brzina rezanja

D [mm] - promjer obratka

n [min⁻¹] - broj okretaja obratka

Svaki materijal reznih alata ima odgovarajuću maksimalnu upotrebljivu brzinu rezanja, pa su tako maksimalne brzine rezanja v_{cmax} za:

- tvrdi metal $v_{cmax} = 30-50$ m/min

- alatnu keramiku $v_{cmax} = 200-300$ m/min

Prekoračenjem maksimalne brzine rezanja (reznog materijal gubi svoja svojstva, a time i sposobnost rezanja. Ova zakonitost vrijedi za konvencionalne brzine rezanja za koje se primjenjuje Taylorova jednadžba postojanosti alata, a može se prikazati formulom [2]:

$$v_c \cdot T^m = C_v \quad (2)$$

gdje je:

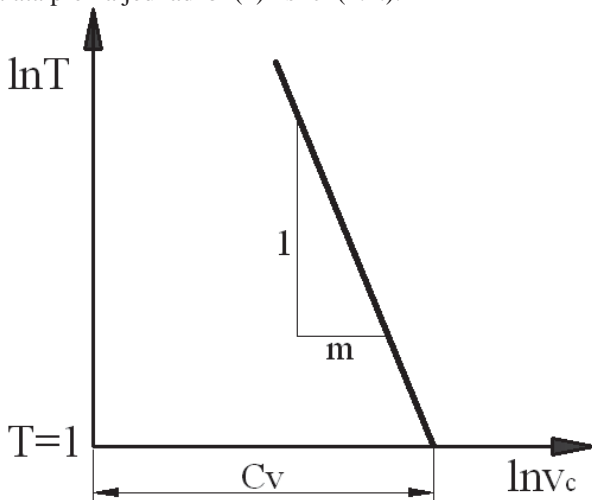
v_c [m/min] – brzina rezanja

C_v [] – Taylorova konstanta (ovisi o materijalu obratka i alata, posmaku i dubini rezanja)

m [] – eksponent postojanosti

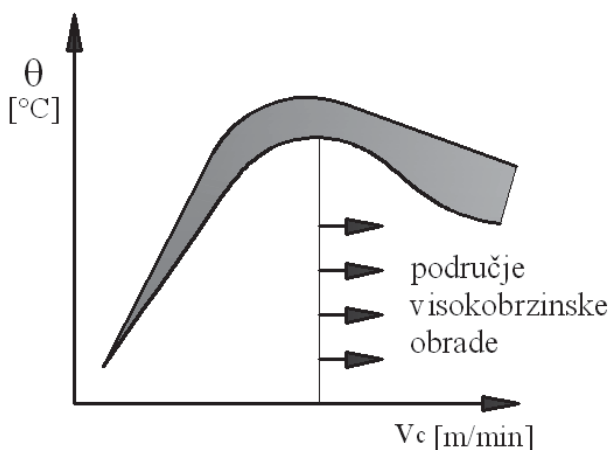
T [min] – postojanost alata

Povećanjem brzine rezanja smanjuje se vijek trajanja alata prema jednadžbi (2) i slici (2.2.).



Slika 2.2. Ovisnost postojanosti alata o brzini rezanja

Ključni trenutak za razvoj visokobrzinske obrade je bila spoznaja da se temperatura obrade ne povećava proporcionalno s povećanjem brzine rezanja (slika 2.3.).



Slika 2.3. Ovisnost topline o brzini rezanja nastale rezanjem

Ova pojava je pobudila interes znanstvenika za daljnja istraživanja što se tiče povećanja brzine obrade.

Dvadesetih godina prošlog stoljeća njemački istraživač Carl J. Salomon ispitivao je primjenu velikih brzina rezanja kod glodanja fosforne bronce te je došao do ključnih spoznaja za daljnji razvoj visokobrzinske obrade. U svojem eksperimentu je obrađivao fosfornu bronzom brzinom rezanja $v_c = 45$ m/min i posmičnom brzinom $v_f = 228$ mm/min. Dobio je strugotinu plave boje, a samo glodalo se vrlo brzo uništilo. Povećanjem brzine rezanja na $v_c = 1600$ m/min i posmaka na približno $v_f = 2200$ mm/min, obradak i alat ostali su sasvim hladni.

Istraživanja su pokazala da se kod visokih brzina obrade postiže najbolja moguća obrađivana površina pri optimalnoj brzini rezanja za svaki materijal. Npr. za aluminij optimalna brzina rezanja kod visokobrzinske obrade iznosi približno 30500 m/min.

Kod prekoračenja kritične brzine rezanja, mehanizam nastajanja strugotine nije isti kao i kod konvencionalnih obrada.

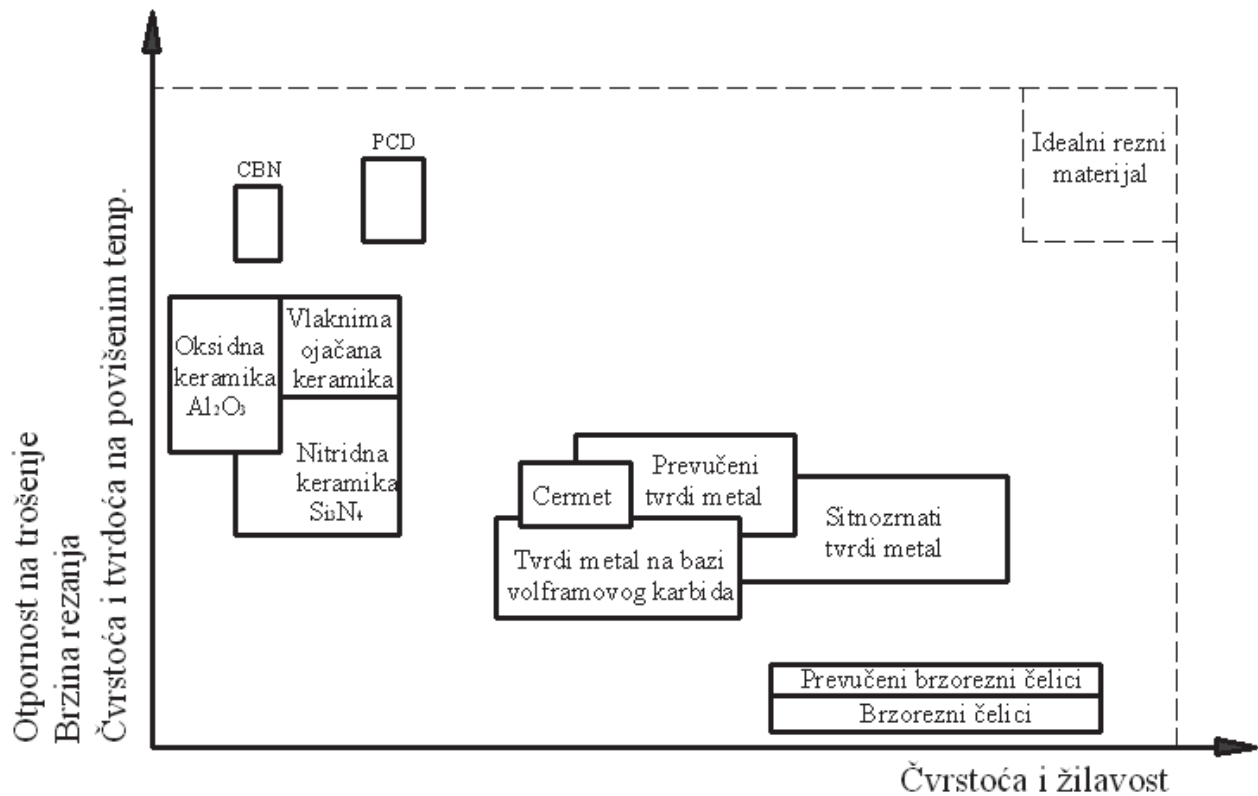
Umjesto uobičajenog plastičnog tečenja, dolazi do lokalnog smicanja i krtoog loma materijala obratka, što iziskuje manje utrošenog rada na plastičnu deformaciju. Količina nastale topline u zoni rezanja je manja, a time se smanjuje i temperatura rezanja. Zbog visokih brzina rezanja, materijal obratka ne stigne teći pa je nastala količina topline puno manja. Mala količina nastale topline u zoni rezanja se najvećim dijelom (oko 90%) odvodi strugotinom. Pošto je dodir strugotine prednjom površinom reznog alata vrlo kratak, toplina „nema vremena“ prijeći sa strugotine na alat.

3. MATERIJALI ZA IZRADU ALATA

Do današnjeg dana još uvijek nije pronađen idealan materijal za izradu reznih alata koji bi zadovoljavao sve postavljene zahtjeve. Istodobno treba udovoljiti otpornosti na trošenje, velikim brzinama rezanja, otpornosti na povišene temperature, čvrstoći i tvrdoći, a ujedno mora materijal biti i dovoljno žilav kako ne bi došlo do loma prilikom uporabe.

Na slici 3.1. prikazana su svojstva materijala reznih alata u usporedbi s idealnim materijalom. Iz slike se vidi kako materijali s nekim izraženim dobrim svojstvom imaju slabija druga poželjna svojstva [4]. Tako na primjer super tvrdi materijali imaju veliku otpornost na trošenje i povišene temperature, veliku tvrdoću, no s druge strane su vrlo malo žilavi. Jednako vrijedi i obratno: materijali koji su žilavi nemaju dovoljnu tvrdoću, otpornost na trošenje, pri povišenim temperaturama gube svojstva i nisu pogodni za visokobrzinsku obradu.

Zbog toga se za izradu reznog alata koristi više različitih materijala, ovisno o namjeni, da se dobije što bolji omjer između tvrdoće, otpornosti na trošenje i žilavosti.



Slika 3.1. Svojstva materijala za izradu alata

U praksi se uglavnom mogu pronaći alati iz sljedećih materijala:

- Tehnička keramika
 - Kubični bor – nitrid (CBN)
 - Oksidna keramika
 - Whisker
 - Tvrđi metali
 - Keramičke prevlake
- Polikristalni dijamant (PCD)

3.1. Tehnička keramika

Keramički materijali su anorganski materijali sastavljeni iz metalnih i nemetalnih elemenata spojenih ionskim i/ili kovalentnim vezama. Kemijski sastav se mijenja od jednostavnih spojeva pa do smjesa mnogih kompleksnih faza.

Postupak dobivanja tehničke keramike sličan je postupku dobivanja ostalih vrsta keramike kao što je porculan. Osnovna sirovina je prah koji mora biti visoke čistoće, a dobiva se primjenom sljedećih postupaka:

- Atomizacijom
- Mehaničkim drobljenjem
- Kemijskom redukcijom
- Elektrolitičkim taloženjem

Dobiveni prah se dalje prerađuje u gotovi keramički proizvod kroz četiri faze [3].

U prvoj fazi se priprema sirovina, utvrđuje se sastav pojedinih komponenata u smjesi i komponente se međusobno miješaju. U drugoj fazi se jednim od postupaka prešanja (suho, hladno izostatičko, injekcijsko) oblikuje sirovac. U trećoj fazi se izvodi sinteriranje, gdje uz visoku temperaturu i tlak dolazi do spajanja čestica praha reakcijama u čvrstom stanju.

Ovisno o temperaturi, djeluju adhezija te površinska i volumna difuzija. Konačan rezultat sinteriranja je postizanje maksimalno moguće gustoće (smanjenje poroznosti) i upotrebljivih mehaničkih svojstava keramičkog izratka. Završna obrada se izvodi nekim od postupaka fine obrade, brušenjem, honanjem, lepanjem ili poliranjem [5].

Prednosti upotrebe keramike :

- visoka tvrdoća, tlačna i savojna čvrstoća
- veća krutost od metalnih materijala
- niska toplinska i električna vodljivost
- veća otpornost na trošenje
- kemijska postojanost prema različitim medijima
- niža toplinska rastezljivost u odnosu na metale
- dugoročnija i sigurnija opskrba sirovinama

Nedostaci upotrebe keramike:

- mala žilavost – visoka krutost
- niska otpornost na toplinski šok
- niska vlačna čvrstoća
- visoki troškovi sirovina i postupka oblikovanja

3.1.1. Kubični bor nitrid – CBN

Bor-nitrid se može nalaziti u obliku heksagonalnih kristala kao grafit ili u obliku kubnih kristala kao dijamant. Tvrdoću ovog sinteriranog materijala premašuje jedino tvrdoća dijamanta. Otporan je na trošenje, na povišene temperature (više od 1000 °C) i ima prihvatljivu čvrstoću. Daljnjom obradom se dodavanjem volframovog karbida uz visoki pritisak i visoke temperature dobiva tzv. polikristalični kubični bor nitrid PCBN. O postotku osnovnog CBN ovisi upotrebljivost alata za pojedinu obradu.

Karakteristike primjene ovog materijala kod izrade reznog alata:

- pogodan je za visokobrzinsku obradu sinteriranih tvrdih materijala, kaljenog čelika, lijevanog željeza i aluminijevih super legura
- smanjuje vrijeme izrade, a time i troškove jer je pogodan za visokobrzinsku obradu
- postiže dobru kvalitetu površine nakon obrade pa nije potrebno brušenje
- mogućnost obrade bez korištenja sredstava za hlađenje i podmazivanje

Nedostaci :

- mala žilavost - velika krtoš
- mala otpornost na toplinski umor
- visoki troškovi sirovina i postupka oblikovanja [6]

3.1.2. Oksidna keramika

Osnova je aluminij sa dodacima oksida titana, magnezija, cirkonija ili karbida silicija, koji matrici aluminija poboljšavaju svojstva. Oksidna veziva su relativno krhka pa obrada na alatnom stroju mora biti bez vibracija. Veća žilavost se postiže usitnjavanjem zrnaca praha i dodavanjem cirkonijevog oksida. Sinteriranje se odvija kod temperatura 1600 °C i pritiska 27 MPa. Ovim se postupkom dobiva dobra zbijenost (gustoća) čestica i velika tvrdoća.

Oksidna keramika se prije svega koristi za grubu i finu obradu kod tokarenja, za obradu sivog i nodularnog lijeva te kod kontinuirane i visokobrzinske obrade bez upotrebe sredstava za hlađenje.

Stabilna je na temperaturama većim od 2200 °C, za razliku od karbida s metalnim vezivom koji gube svojstva na temperaturama većim od 500 °C.

Vlačna čvrstoća se ovisno o sastavu kreće od 700 do 800 N/mm².

3.1.3. Whisker

„Whisker“ (engl. whisker – vlas, dlaka) su fino zrnati kristali silicij karbida koji se nalaze u armiranoj keramici. Naziv potječe iz oblika jer se, gledano mikroskopom, vide tanke niti kojima je armiran osnovni materijal.

Kristali silicij karbida su promjera jednog mikrometra i duljine do sto mikrometara, isprepleteni u aluminijskoj matrici. Jako su otporni na istezanje i uvelike doprinose otpornosti na lom, a vlačna čvrstoća doseže 800–900 N/mm² [6].

3.1.4. Tvrđi metali

Mogu se svrstati u skupinu neoksidne keramike, ali se zbog izraženih metalnih svojstava svrstavaju u zasebnu skupinu pod nazivom „tvrđi metali“. Sastoje se od visokog udjela karbida volframa (WC), titana (TiC) i tantala (TaC) koji su najčešće međusobno povezani kobaltom.

Karbidi su nositelji tvrdoće i otpornosti na trošenje, dok vezivni materijal osigurava žilavost. Dobivaju se vezivanjem volfram karbida na temperaturama od 2500 °C, a zatim vezivanjem s kobaltom i sinteriranjem na temperaturama od oko 1500 °C.

Dobra svojstva tvrdih metala:

- visoko talište
- visoka tvrdoća i otpornost na trošenje

- visoki modul elastičnosti, visoka tlačna čvrstoća i čvrstoća na povišenim temperaturama
- otpornost na toplinske šokove
- otpornost na koroziju
- visoka toplinska i električna vodljivost

Tvrđi metali iz kojih se izrađuju rezni alati podijeljeni su u tri skupine:

- tvrđi metali grupe **K** (90% WC, 0...4% TiC ili TaC, ostalo kobalt) prikladni za obradu materijala s kratkom strugotinom – lijevovi na bazi željeza, kamen, drvo i tvrđi polimerni materijali. Kod obrade čelika stvaraju se naljepci i izjednost na oštreci alata.
- tvrđi metali grupe **M** za obradu svih materijala (80...85% WC i do 10% TiC ili TaC, a ostalo kobalt), a kod obrade čelika upotrebljavaju se do srednjih brzina obrade.
- tvrđi metali grupe **P** imaju do 43% TiC i TaC. Prikladni su za obradu metala, pri čemu obično nastaje kontinuirana strugotina.

3.1.5. Keramičke prevlake

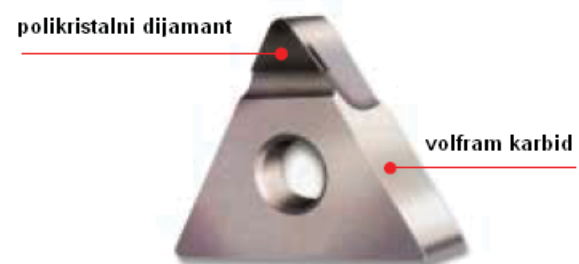
Kako bi se povećala otpornost na trošenje potrebna kod VBO, a istodobno postigla i dobra žilavost, na rezne bridove alata od tvrdog metala nanosi se tanki sloj TiC, titan nitrida (TiN), titan karbonitruda (TiCN), aluminij oksida (Al₂O₃) ili neke druge prevlake. Slojevi debljine 5 do 15 μm se nanose kemijskom reakcijom iz plinovite faze CVD (Chemical Vapour Deposition) ili djelovanjem iona u elektrostatičkom polju PVD (Physical Vapour Deposition).

Iako se ispočetka činilo da će se ovom vrstom materijala uspjeti napraviti neka vrsta univerzalnog alata za obradu širokog spektra materijala, to se ipak nije dogodilo.

Praktična upotreba je pokazala da keramičke prevlake nisu pogodne za obradu nekih materijala kao što su aluminij, legure magnezija i titana te visokolegirane niklove legure.

3.2. Polikristalni dijamant – PCD

Polikristalni dijamant se razlikuje od prirodnog dijamanta po tome što je sastavljen iz nepravilno usmjerenih sitnih kristala i manje je tvrdoće od prirodnog. Proizvodi se sinteriranjem iz kalibriranih odabranih dijamantnih čestica koje su mikrometerske veličine. Sinteriranje se obavlja uz pomoć katalizatora (obično je to kobalt), pri temperaturama od 1400 °C i vrlo visokim pritiscima. Postiže maksimalnu tvrdoću od 7000 do 10000 HV.



Slika 3.2. Rezna pločica iz PCD-a [5]

Alat izrađen od PCD-a pogodan je za obradu:

- aluminija i aluminijevih legura
 - magnezija i njegovih legura
 - bakra i njegovih legura
 - cinka i njegovih legura
 - plemenitih metala (zlato, srebro, platina)
 - titana i legura titana
 - nemetalnih materijala, tvrde gume, duromera, drva
- Nije pogodan za obradu čelika i lijevanog željeza.

4. ZAKLJUČAK

Iako je tehnologija dobivanja materijala na visokoj razini i postoje dobri materijali za izradu alata, još se uvijek nije približilo svojstvima idealnog reznog materijala. Iz tog razloga se nastoje što bolje iskoristiti dobra svojstva postojećeg materijala, a negativna svojstva se pokušavaju eliminirati ili se pokušava umanjiti njihov štetni utjecaj na postupak obrade.

Ovisno o vrsti obrađivanog materijala bira se i rezni alat. Za obradu čelika, željeznih lijevova, vrlo tvrdih legura i sličnih materijala koristi se alat izrađen od kubičnog bor nitrida ili keramičkih prevlaka, dok se npr. za obradu aluminija i njegovih legura, polimera i drva koristi alat izrađen od polikristalnog dijamanta. Uz pravilan izbor materijala dobra rezna svojstva nekog alata mogu se povećati i izborom pravilne geometrije rezne oštrice. Kod obrade tvrdih materijala prvi će izbor biti alat s većim kutom klina, a sama pločica bez provrta da bi se osigurala dovoljna krutost i čvrstoća, a time spriječilo oštećenje alata. Kod obrade obojenih metala i njihovih legura kut vrha alata i kut klina su manji, a brzine rezanja su mnogo veće da se spriječi naljepljivanje materijala obratka na oštricu alata.

Sve dok se ne razviju novi načini obrade odvajanjem čestica ili sve dok se ne pronađu vrsniji materijali za izradu alata, preostaje mogućnost da se teškoće kod obrade smanje prije svega pravilnim izborom materijala i geometrije reznog alata, ovisno o materijalu obratka.

5. LITERATURA

- [1] Bajić, D. Obrada visokim brzinama. Sveučilište u Splitu, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje.
- [2] Čuš, F. Visokohitrostno rezanje in posebni postopki obdelav. Univerza v Mariboru : Maribor, 2004.
- [3] Filetin, T.; Kovačiček, F.; Indof, J. Svojstva i primjena materijala. Fakultet strojarstva i brodogradnje : Zagreb, 2006.
- [4] Schmitz, T.; Davies, M. The Dynamics of High-Speed Machining : ASPE tutorial, listopad 2003.
- [5] <http://www.coromant.sandvik.com/hr>, listopad 2009.
- [6] <http://www.cutting-tool.americanmachinist.com>, listopad 2009.
- [7] Skvaža, M. Alati za obradu kod visokobrzinskih obrada ; završni rad. Veleučilište u Varaždinu, 2009.

Autori:

1. Marijan Skvaža, ing.
2. Zlatko Botak, dipl.ing.

Veleučilište u Varaždinu
Križanićeva 33
42000 Varaždin