

UTJECAJ GEOMETRIJE REZNE OŠTRICE NA VIJEK TRAJANJA SVRDLA

INFLUENCE OF GEOMETRY OF CUTTING EDGE TO DRILL LIFE

Ivan Trupković, Zlatko Botak

Stručni članak

Sažetak: Geometrija rezne oštrice spiralnog svrdla može biti različitog oblika, a pri obradi odvajanjem čestica može imati odlučujući utjecaj na uspješnost obrade. Karakteristike materijala iz kojih se najčešće izrađuju svrdla i postupak njihove izrade utječu na njihovu produktivnost i ekonomičnost. U eksperimentalnom dijelu rada prikazani su rezultati obrade za nekoliko svrdla, izrađenih iz odgovarajućih materijala i različitih oblika čelone oštrice.

Ključne riječi: bušenje, geometrija oštrice, izrada svrdla, materijal alata

Professional paper

Abstract: Helical drill can have several different cutting edge geometries, which can have a decisive influence on the success of treatment in machining. The characteristics of the drill materials are mentioned, and the process of making drills is described. In the experimental part of the paper the results of treatment for a number of drills, made of suitable materials and various forms of frontal blade, are presented.

Key words: drilling, drill geometry, drill manufacturing, tool material

1. UVOD

Rezni alati su sredstva za rad koja dolaze u direktni dodir s materijalom, oblikuju ga i utječu na njegov završni izgled obradom odvajanjem čestica ili deformiranjem.

Rezni alati mogu biti:

- Alati za sječenje koji u izravnom dodiru razdvajaju materijal pomoću oštrice u obliku klina, bez odvajanja čestica (noževi na škarama, žigovi i matrice štanci);
- Alati za odvajanje koji u izravnom dodiru režu materijal odvajanjem čestica pomoću oštrice u obliku klina (tokarski nož, glodalo, svrdlo);
- Alati za odnošenje bez izravnog dodira materijala i rezne oštrice, koji obrađuju materijal odnošenjem čestica korištenjem energije (elektroda za obradu elektroerozijom).

Oštrica reznog alata za vrijeme obrade razara međusobnu povezanost čestica materijala, prilikom čega je izložena mehaničkom, toplinskom i kemijskom djelovanju, odnosno trošenju. Postojanost i vijek trajanja oštrice ovise o materijalu alata i obratka, režimima rada, a najviše o brzini rezanja. Alat se sastoji od reznog dijela koji omogućava proces obrade (klin) i držala cilindričnog ili konusnog oblika, koje služi za stezanje na alatni stroj te prijenos vrtnje i sila rezanja.

2. SVRDLA

Svrdla su alati koji se upotrebljavaju za bušenje i proširivanje otvora i provrta, a dijele se na spiralna, ravna, s pločicama od tvrdog metala, zabušivače, specijalne izvedbe, te noževe i motke za bušenje.

Spiralna ili navojna svrdla izrađena su iz okruglog čelika, sa žljebovima jednolikog uspona urezanim u tijelu valjka. Na vrhu svrdla nalazi se šiljak s izbrušenim plohama, koje zajedno sa čelnim plohama žlijeba tvore glavne rezne oštrice. Osnovne osobine radnog dijela spiralnog svrdla su konusni radni vrh i dva spiralna žlijeba za odvod čestica i dovod tekućine za hlađenje. Tijelo radnog dijela svrdla izvodi se konusno od vrha prema držalu u omjeru 1:1000, odnosno 0,1 mm na svakih 100 mm duljine oštrice. Time se smanjuje trenje dijela alata koji ne reže i materijala te sprečava zaribavanje alata u materijalu. Jezgra alata povećava se prema dršci, odnosno produljuje se poprečna oštrica zbog povećanja čvrstoće alata. Držalo svrdla može biti cilindričnog ili konusnog oblika.

Svrdla s pločicama od tvrdog metala upotrebljavaju se za obradu materijala koji ne zahtijevaju veliki kut uspona spirale. Najviše se koriste u slučajevima kad se alat iz brzoreznog čelika mnogo troši ili potpuno zataji. Kroz vrh oštrice običnog spiralnog svrdla izgleda se utor za ugradnju pločice iz tvrdog metala, koja se nakon namještanja tvrdo zalemi.

Ravna ili plosnata svrdla koriste se za bušenje provrta manjih od 1 mm, ili velikih provrta za koje ne postoje spiralna svrdla dovoljne veličine. Najčešće se izrađuju kovanjem iz brzoreznih čelika. Rezne oštrice

izbrušene su pod određenim kutom, a moguć je rad u oba smjera. Upotrebljavaju se za obradu plitkih rupa i krhkih materijala (lijevanog željeza, bronce, mjedi), a neki modeli mogu imati i žljebove za lomljenje strugotine.

Zabušivačima se izrađuju središnji uvrti za centralno podupiranje dugačkih vretena, osovina i vratila. Imaju šiljak na oba kraja i režu po čitavoj dužini bočne površine. Zabušivači sa središnjim kutom 60° upotrebljavaju se za obratke masa do 100 kg i manje sile rezanja, a oni sa središnjim kutom 90° za obratke masa većih od 100 kg.

U specijalne izvedbe svrdla spadaju spiralna svrdla s dovođenjem ulja, produžena spiralna svrdla, svrdla za duboke provrte, šuplja svrdla i svrdla za završnu obradu [1].

Bušenje je operacija koja se izvodi kružnim i translatornim gibanjem svrdla, gdje alat vrtnjom pod pritiskom prodire u materijal i reže ga uz stvaranje krupnije ili sitnije strugotine. Pri bušenju većih provrta potrebno je provesti predbušenje, kako bi se smanjila aksijalna sila bušenja. Promjer predbušenog provrta približno je jednak polovini nazivnog promjera, tj. prilikom bušenja provrta 30 mm potrebno je predbušiti svrdlom promjera 15 mm. Provrt izbušen svrdlom često nema zadovaljavajuću geometrijsku točnost i kvalitetu površine (N12-N8), a to se može poboljšati naknadnom obradom razvrtavanjem.

2.1. Materijali za izradu svrdla

Ovisno o namjeni, tj. materijalu obrade, bira se i materijal iz kojeg se izrađuje svrdlo.

Ugljični alatni čelici podnose male brzine rezanja, a oštrica može izdržati temperaturu do 250°C . Rijetko se koriste za rezne alate u strojnoj obradi.

Niskolegirani alatni čelici sadrže do 1,2 % ugljika i do 10 % legirajućih elemenata, kao što su Cr, Mn i drugi. Oštrica može izdržati temperaturu do 350°C . Koriste se uglavnom za ručne rezne alate i djelomično za svrdla [2].

Brzorezni čelik, HS ili HSS (engl. High Speed Steel) vrsta je alatnog čelika predviđenog za rad u uvjetima povišene i visoke temperature rezne oštrice, tj. za rezanje velikim brzinama. Najčešće su brzorezni čelici tokom rada izloženi lokalnom zagrijavanju do $\approx 600^\circ\text{C}$ (ponekad i 1000°C), trošenju, te udarnom djelovanju obratka na alat. Kemijski sastav ove skupine čelika karakterizira povišeni udio ugljika (0,7-1,3%) i legiranje jakim tvorcima karbida poput kroma, volframa, vanadija i molibdena. Povišeni udio ugljika utječe na stvaranje karbida, koji su postojani i pri povišenim temperaturama.

Sinterirani karbidi se u današnje vrijeme najviše koriste za proizvodnju reznih alata. Isporučuju se kao pločice u obliku trokuta, kvadrata, pravokutnika i drugih geometrijskih oblika, s formiranom oštricom i reznim kutovima. Na držače se pričvršćuju tvrdim lemljenjem ili mehaničkim putem. Pločica pričvršćena lemljenjem može izdržati temperaturu do 900°C , a nakon zatupljenja oštri se brusnim pločama iz silicijeva karbida. Pločice pričvršćene mehanički izdrže radnu temperaturu do 1100°C . Nakon zatupljenja obično se ne bruse, već samo zaokreću tako da sljedeća oštrica dođe u radni položaj. Sinterirani karbidi ne podnose udarce, veliki presjek

strugotine i male brzine rezanja. Zbog velikih brzina rezanja, učinak rezanja im je razmjerno velik, a kvaliteta obrađene površine dobra [2].

Sinterirane tvrde kovine razvijene su u Njemačkoj (Krupp, 1926.) pod nazivom Widia (njem. wie Diamant; kao dijamant) i znatno su utjecale na razvoj tehnika obrade. Sastoje se od metalnih karbida kao nosioca tvrdoće (WC, TiC i TaC, pa i NbC) te Co, a i Ni i/ili Mo kao veziva. Proizvodnja tvrdih metala sastoji se od prešanja (tlačenja) prašaka karbida i veziva te sinteriranja (toplinske obrade), za što se upotrebljavaju preše i alati za sabijanje praha. Alati su konstruirani prema željenom obliku tvrdog metala, a nakon sinteriranja izvodi se brušenje dijamantnim brusevima [3]. Tvrdoća im doseže vrijednosti 1300 do 1800 HV , a pri temperaturi od 1000°C smanji se samo za 10%. Sinterirane tvrde kovine s TiC su i pri 700°C tvrde od brzoreznog čelika pri sobnoj temperaturi.

Rezna keramika se kao alat za obradu primjenjuje u novije vrijeme. Izrađuje se u obliku pločica, slično kao i sinterirani karbidi, a na držač se pričvršćuje samo mehanički. Oštrica može izdržati radnu temperaturu do 1250°C , ima veliku tvrdoću, a nakon zatupljenja svih oštrica pločica se baca. Pločice su osjetljive na promjenu temperature, udarce i vibracije, a podnose velike brzine rezanja ($300 - 400\text{ m/min}$) [2].

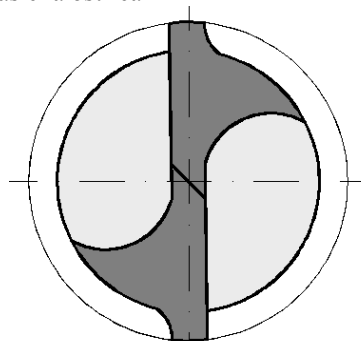
Dijamant je čisti ugljik s kubičnom kristalnom rešetkom. Najtvrdi je rezni materijal i najotporniji prema trošenju. Nedostaci su mu osjetljivost na udarce i niska tlačna čvrstoća. Postojan je samo do temperature 600°C , a iznad 800°C izgara. U upotrebi su prirodni monokristalni dijamant (za finu obradu), te prirodni i umjetni polikristalni dijamant (PCD). Dijamantni alati pogodni su za obradu aluminijskih slitina, titana, bakra i bakrenih slitina, zlata, srebra, umjetnih materijala, tvrde gume, grafita, keramike, stakla, kamena i azbesta [4].

2.2. Geometrija oštrice svrdla

Dužina rezne oštrice alata i ukupna dužina alata ovise o standardu prema kojem je izrađen. Kod standardne izvedbe je radna dužina svrdla najčešće $3xd$, $4xd$, $5xd$, $8xd$ ili $12xd$ (d – promjer svrdla). Kod specijalnih izvedbi je radna dužina najčešće: dubina bušenja + 4 mm.

Geometrija alata prilagođava se materijalu koji se obrađuje, a vrh rezne oštrice može poprimiti nekoliko različitih oblika.

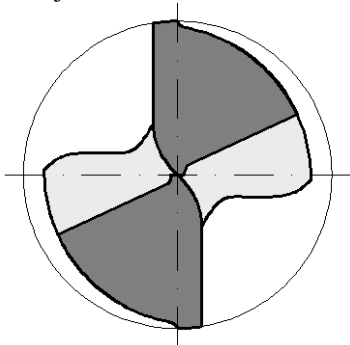
- Klasična oštrica



Slika 1. Klasična oštrica svrdla

Oštrica ovog tipa uglavnom se koristi kod svrdla malih promjera (do 1,5 mm), za mekane čelike, aluminij i njegove legure, drvo i plastiku. Nije postojana na trošenje.

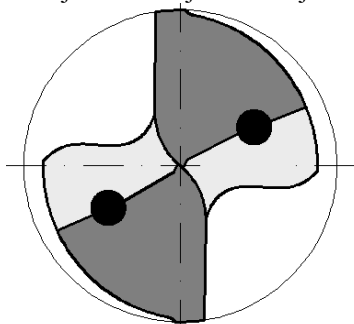
- S korekcija



Slika 2. S korekcija čeonu oštrice svrdla

Čeona oštrica ima mali radijus, a pogodna je za obradu ugljičnog čelika, sivog lijeva, lijevanog željeza i legiranog čelika čvrstoće do 1000 N/mm². Kvaliteta obrade provrta je visoka. Konus (pomlađivanje) je 0,2/100 mm. Brzina rezanja $v_c = 60-100$ m/min bez hlađenja i 70-120 m/min s hlađenjem, posmak $f \approx 0,025 \times d$, mm/okr.

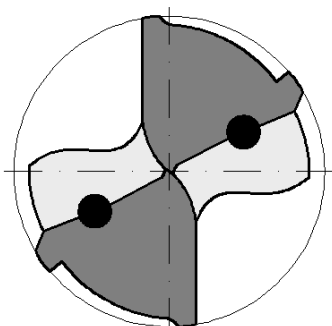
- S korekcija s unutarnjim hlađenjem



Slika 3. S korekcija s unutarnjim hlađenjem čeonu oštrice svrdla

Kod S korekcije se čeonu oštrica svrdla hladi kroz alat, tj. unutarnjim hlađenjem. Koristi se za obradu ugljičnog čelika, sivog lijeva, lijevanog željeza i legiranog čelika čvrstoće do 1000 N/mm². Kvaliteta obrade provrta je visoka. Brzina rezanja $v_c = 60-100$ m/min bez hlađenja i 70-120 m/min s hlađenjem, posmak $f \approx 0,025 \times d$, mm/okr.

- S korekcija s dvostrukim vođenjem



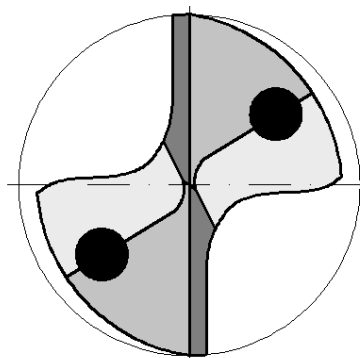
Slika 4. S korekcija čeonu oštrice svrdla s dvostrukim vođenjem

Koristi se prilikom obrade ugljičnog čelika, sivog lijeva, lijevanog željeza i legiranog čelika čvrstoće do 1000 N/mm², te za povećane zahtjeve glede kvalitete obrađene površine (ravnost, tolerancija). U dobrim uvjetima postiže kvalitetu obrađene površine N8, dok je u vrlo dobrim uvjetima moguće postići N7. Brzina rezanja $v_c = 60-100$ m/min bez hlađenja i 70-120 m/min s hlađenjem, posmak $f \approx 0,025 \times d$, mm/okr.

- S korekcija s lomačem strugotine

Geometrija svrdla potpuno je ista kao i kod obične „S korekcije“, samo što je kod ovog svrdla fazeta čeonu oštrice prerezana na nekoliko mjesta kako bi se strugotina lomila. Takav oblik čeonu oštrice koristi se kod žilavih materijala.

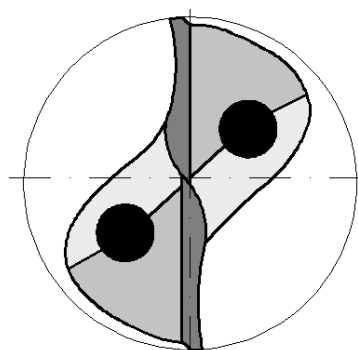
- Oštrica s dvije čeonu fazete



Slika 5. Čeonu oštrica svrdla s dvije čeonu fazete

Koristi se za obradu nehrđajućeg čelika, sivog lijeva, legiranih čelika čvrstoće preko 1000 N/mm², legura titana i legura nikla. Čeonu oštrica ima dva kuta, što povećava vijek trajanja alata, a izvedena je s velikim radijusom. Brzina rezanja $v_c = 20-50$ m/min bez hlađenja i 25-60 m/min s hlađenjem, posmak $f \approx 0,0080-0,02 \times d$, mm/okr (ovisno o čvrstoći materijala koji se obrađuje).

- S korekcija za obradu lakih metala



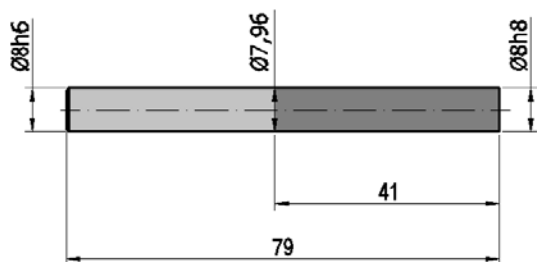
Slika 6. S korekcija čeonu oštrice svrdla za obradu lakih metala

Koristi se za obradu lakih metala (aluminij, magnezij i njihove legure). Prednost joj je velika točnost provrta (ravnost i tolerancija) kao i visoka kvaliteta obrade. Oštrica je slična čeonu oštrici s dvije fazete, ali je radijus povećan. Brzina rezanja $v_c = 150-350$ m/min, a posmak $f \approx 0,03-0,06 \times d$, mm/okr (ovisno o čvrstoći materijala koji se obrađuje).

3. IZRADA SVRDLA

Za materijal svrdla upotrijebljena je šipka $\phi 8h6$ iz tvrdog metala P01, pogodnog za bušenje velikim brzinama rezanja. Radni dio svrdla je izrađen prema standardu DIN 6537, a stezni dio prema DIN 6535 HA. Dužina radnog dijela za svrdlo promjera $\phi 8$ mm iznosi 41 mm, ukupna dužina 79 mm, a max. dubina bušenja je 36 mm. Rezni dio izrađuje se u toleranciji h8, a cilindrična drška u toleranciji h6.

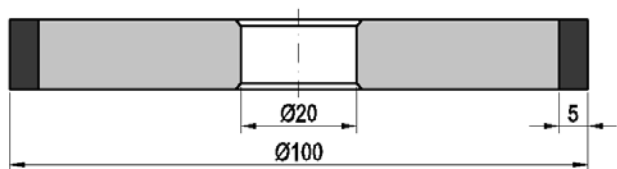
Pošto je polazni materijal već brušen na toleranciju h6, nije potrebno obrađivati dršku. Brusi se samo konus radnog dijela 1:1000, što na dužini od 41 mm iznosi 0,041 mm.



Slika 7. Brušenja konusa na radnom djelu svrdla

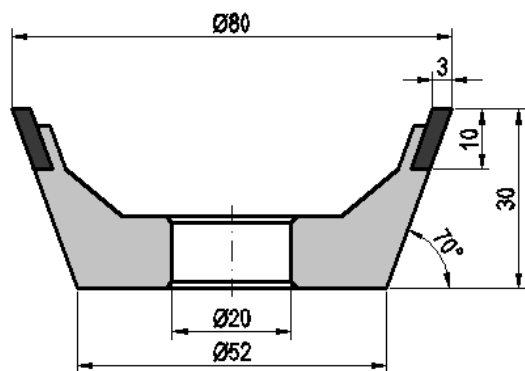
Nakon brušenja konusa radnog dijela na kružnoj brusilici, slijedi završno brušenje reznih oštrica svrdla na CNC alatnoj brusilici. Dijamantnim brusevima izrađuju se spiralni utori, natražna faza i čeone oštrice svrdla. Hlađenje obradka i dijamantnog brusa vrši se uljem, radi dobivanja što bolje kvalitete obrađene površine.

Za brušenje su dovoljna dva tipa dijamantnih bruseva. Brus oznake 1A1 (slika 8) služi za brušenje spiralnih utora, brušenje natražne faze te za urezivanje čela ili brušenje zašiljka.



Slika 8. Brusna ploča 1A1

Za izradu čeone oštrice koristi se brus oznake 11V9 (slika 9).



Slika 9. Brusna ploča 11V9

4. TESTIRANJE SVRDLA

Za potrebe testiranja izrađeno je pet svrdla promjera 8 mm. Šesto svrdlo je standardno svrdlo izrađeno iz brzoreznog čelika (HSS - High Speed Steel). HSS svrdlo koristi se samo za usporedbu kvalitete bušenja i kvalitete obrade. Svrdla iz tvrdog metala imaju 3 različite geometrije rezne oštrice, a označena su nazivima „Uzorak 1“ do „Uzorak 5“ (tabela 1).

Tabela 1. Svrdla za ispitivanje

Naziv	Geometrija oštrice	Metalna prevlaka
Uzorak HSS	klasična	nema
Uzorak 1	S korekcija	nema
Uzorak 2	S korekcija s 2 fazete	nema
Uzorak 3	S korekcija s 2 fazete	TiN
Uzorak 4	S korekcija s 2 fazete	TiAlN
Uzorak 5	S korekcija s 2 fazete i dvostrukim vođenjem	nema

Svrdla su testirana na klasičnoj alatnoj glodalici Prvomajska ALG 100, na materijalu oznake Ck 45 (Č1531). Izabran je broj okretaja svrdla 1020 min^{-1} i posmak $f=0,15 \text{ mm/okr}$. Bušenje je izvršeno uz hlađenje emulzijom Fuchs ecocool 5000. To je djelomično sintetička, biostabilna, emulgirajuća tekućina za tešku i normalnu i tešku obradu čelika, lijevanog željeza, obojenih metala i aluminija. Ne sadrži klor, cink ni sumpor. Preporučeni omjer koncentracije je 3-5%.

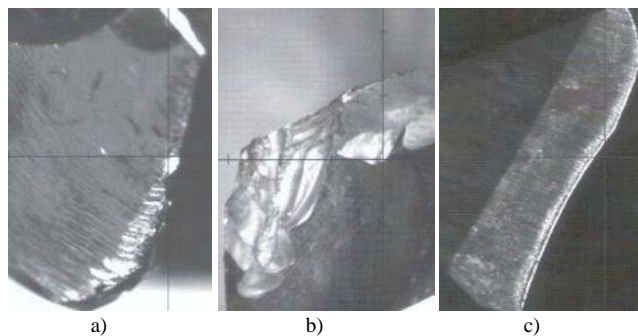
Oštećenje svrdla periodično se prati na optičkom uređaju ZOLLER Smarcheck CNC, čija preciznost iznosi $\pm 0.001 \text{ mm}$.

Prilikom testiranja svrdla praćene su promjene na reznoj oštrici nakon svakih 10 izbušenih rupa, a rezultati su prikazani u tabeli 2.

Tabela 2. Rezultati testiranja svrdla

Uzorak	Broj rupa			Lom strugotine	Napomena
	10	20	30		
HSS	8 -	-	-	srednje dobro	oštećena rezna oštrica
1	•	13 -	-	dobro	lom rezne oštrice
2	•	•	•	dobro	nema oštećenja
3	•	•	•	dobro	nema oštećenja
4	•	•	•	dobro	nema oštećenja
5	•	•	•	dobro	nema oštećenja

Nakon izvršenih testiranja pristupilo se detaljnom pregledu rezne oštrice svakog svrdla.



Slika 10. Oštrice svrdla nakon testiranja

Svrdlo iz brzoreznog čelika (slika 10a) nije moglo podnijeti visoke režime obrade, te je njime izbušeno samo 8 rupa. Prilikom bušenja svrdlom Uzorak 1 (slika 10b) došlo je do kolizije alata i radnog komada, pri čemu se rezna oštrica alata oštetila. Razlog kolizije je ljudska pogreška,

Svrdlo pod nazivom Uzorak 2 se kod testiranja pokazalo najboljim. Strugotina je bila jednolikog oblika i jednoliko lomljena, a odvođenje strugotine je najbolje u usporedbi s ostalim svrdlima.

Svrdla Uzorak 3 i Uzorak 4 imala su jednaku geometriju rezne oštrice, s tim da su na njih nanosene tvrdometalne prevlake. Nakon izbušenih 30 provrta na svrdlima nije bilo vidljivih oštećenja rezne oštrice.

Prilikom testiranja svrdla Uzorak 5 primijećeno je slabije odvođenje strugotine, a oblik strugotine bio je dobar, kao i stanje rezne oštrice nakon izbušenih 30 rupa. Izgled rezne oštrice svrdla Uzorak 2, Uzorak 3, Uzorak 4 i Uzorak 5 bio je veoma sličan i prikazan je na slici 10c.

5. ZAKLJUČAK

Iz rezultata testiranja vidljivo je da svrdlo izrađeno iz HSS materijala ne može parirati svrdlu iz tvrdog metala pri obradi čelika. Prednost mu je jedino u relativno niskoj cijeni od 20-tak kn, dok se cijena svrdla iz tvrdog metala istog promjera kreće u granicama 250 - 350 kn, ovisno o proizvođaču. Veliku ulogu prilikom eksploatacije ima i tvrdometalna prevlaka. Alat s prevlakom može biti 1-7 puta učinkovitiji, brzina rezanja može biti veća i do 90%, a potrošnja električne energije smanjiti se i do 70%. Kvaliteta obrađene površine također je bolja kod svrdla s prevlakom.

Provedeno testiranje upotpunjuje činjenicu da je rezna oštrica s tzv. S korekcijom daleko bolja od klasične oštrice.

Problem kod testiranja bio je u stroju, jer klasična glodalica ALG-100 ima masu od svega nekoliko stotina kilograma, pa veliki problem kod bušenja stvaraju vibracije, koje mogu prouzročiti oštećenja ili lom alata.

Testiranjem različitih geometrija rezne oštrice u realnim uvjetima proizvodnje, moguće je proizvesti kvalitetan i konkurentan proizvod za tržište, a eventualni nedostaci mogu se ukloniti u ranoj fazi izrade. Nakon što se proizvede tehnološki kvalitetan proizvod, kreće se u daljnja poboljšanja, a to su uglavnom smanjenja vremena izrade.

6. LITERATURA

- [1] http://hr.wikipedia.org/wiki/Rezni_alat
(Dostupno:19.01.2014.)
- [2] Matošević, M.: Tehnologija obrade i montaže, UM, Nova Gradiška, 2001.
- [3] Hrgović, D.: Tehnički materijali 2, Školska knjiga Zagreb, 2001.
- [4] Kraut, B.: Strojarski priručnik, Sajema, Zagreb, prosinac 2009.
- [5] Rebec, B.: Rezni alati, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 1988.

Kontakt autora:

mr.sc. Zlatko Botak
Sveučilište Sjever
104. brigade 1
42000 Varaždin
042/493-339
zbotak@unin.hr