

DEFINIRANJE OBLIKA I GEOMETRIJE SVRDALA ZA BUŠENJE NEHOMOGENIH METALA

DEFINING FORM AND GEOMETRY OF DRILLS FOR UNHOMOGENEOUS METALS DRILLING

Ivan SEUČEK¹⁾, Vlatko RUGLE²⁾, Branko GRIZELJ³⁾

Ključne riječi: svrdlo, zavareni spoj, geometrija svrdla, glavna oštrica svrdla

Key words: drill, welded joint, drill geometry, drill lip

Sažetak: U ovom radu definirani su oblici reznog dijela svrdla za bušenje zavarenih spojeva kao i ostalih nehomogenih metala. Kod bušenja zavarenog spoja problem je što tvrdoća u poprečnom presjeku varira do i preko sto posto te su radijalne komponente rezanja veoma različita te dolazi do loma svrdla, zbog čega neminovno treba bušiti svrdalom s tvrdo lemljenom pločicom na vrlo žilav užlijebljeni držać pločice.

Abstract: In this article are defined forms of cutting parts of drills for drilling welded joints same as others hard machinability unhomogeneous metals. By drilling welded joint appears high different between radial cutting components on the main edges because of exist very deference in hardness over hundred per cent measured in cross section of welded joints, and that cause fracture of the grooved tip holder. Because of mentioned grooved holder must be very tough.

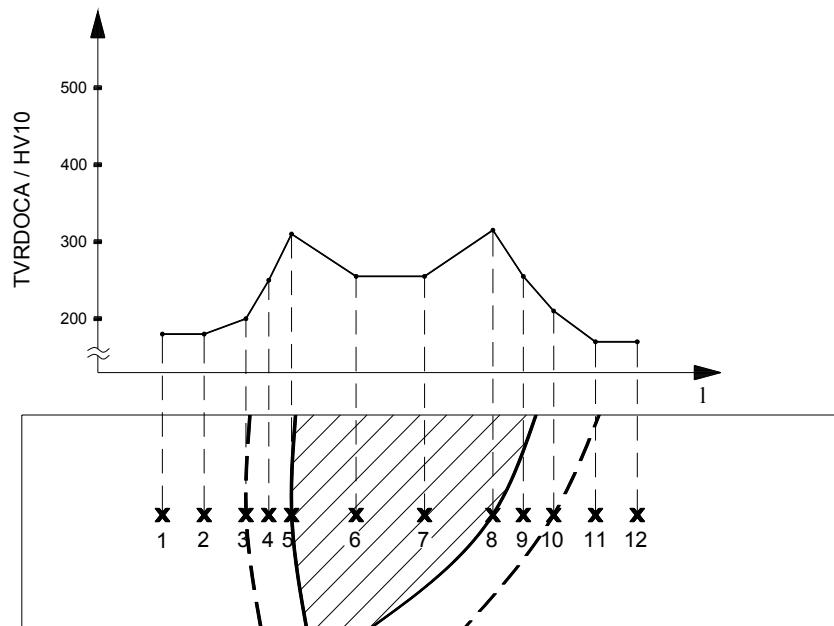
¹⁾ University of Zagreb - FSB, I. Lucića 5, 10000 Zagreb

²⁾ Đuro Đaković Montaža d.d., 35000 Slavonski Brod

³⁾ Mechanical engineering faculty - SFSB, Trg I. Brlić-Mažuranić 2, 35000 Slavonski Brod

1. UVOD

Pri konstruiranju strojeva, uređaja i naprava čija se kućišta zavaruju konstruktor mora izbjegavati da provrti namijenjeni za različite funkcije ne prolaze kroz zavarene spojeve kao i da ne "zahvaćaju" iste. Naime, kao što je rečeno tvrdoća zavarenog spoja može biti veća do i preko sto posto od osnovnog metala, što ovisi od brzine hlađenja. Na slici 1., prikazano je povećanje tvrdoće zavarenog spoja u poprečnom presjeku u odnosu na osnovni materijal, za kratko vrijeme hlađenja (5 s) s 800 na 500°C [1]. Struktura u području stapanja osnovnog metala i elektrode je bainit-martenzit dok je struktura nastala taljenjem elektrode bainit-ferit. Naročito nepovoljna komponenta strukture je martenzit koji se ne može strojno obrađivati s alatima iz alatnog i brzoreznog čelika, jer kod strojne obrade potrebna je minimalna razlika 20 HRc između obradivanih materijala i materijala alata. Osim toga pri zavarivanju mijenja se i tekstura što značajno utječe na mehanička svojstva i kvalitetu zavara, te i na strojnu obradu koja se izvodi nakon neminovnog žarenja radi smanjenja zaostalih naprezanja i dobivanja povoljnije teksture.



Slika 1. Prikaz tvrdoće po poprečnom presjeku zavara mikrolegiranog HSLA čelika [1].

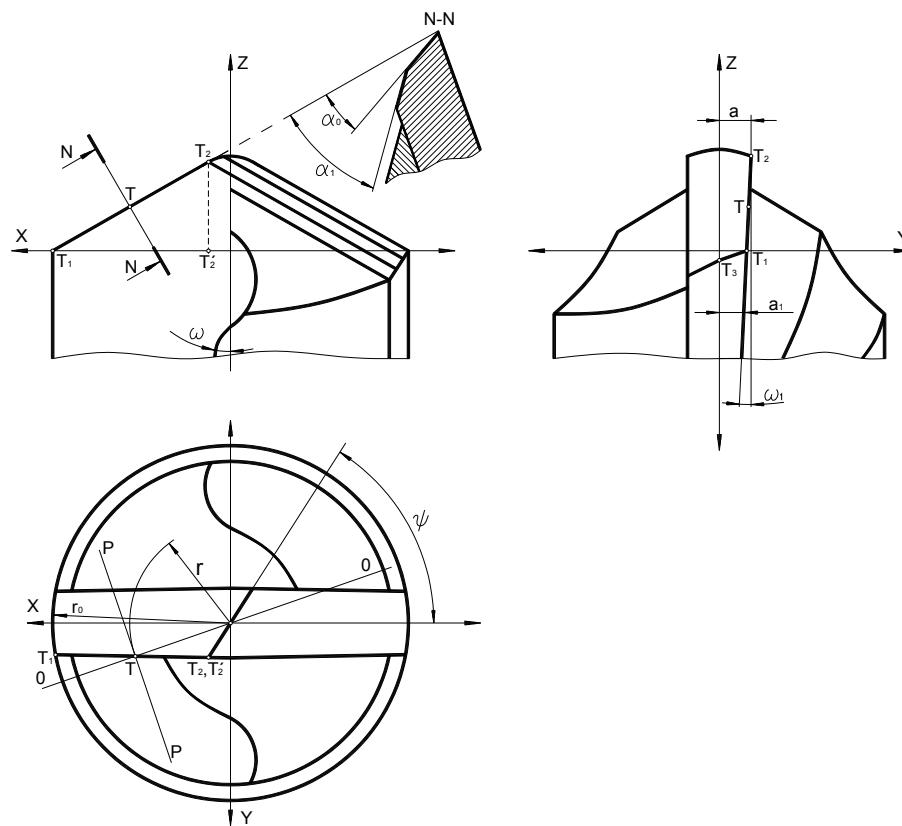
U praksi se događa da pri rekonstrukciji ili dogradnji strojeva i uređaja (čija su kućišta zavarena), da bi preinake bile funkcionalne treba bušiti rupu koja obuhvaća dijelom ili u potpunosti zavar. Obzirom na nehomogenost strukture, teksture i značajno povećane tvrdoće operacija bušenja je najteža od svih operacija strojne obrade. Srvdlo treba imati vrlo žilav užlijebeni držač na kojeg se tvrdo zalemi pločica od tvrdog metala, naime tijekom bušenja zbog nehomogenosti zavara povećaju se sve tri komponente rezanja koje su intermitirajuće, jer dok oštice režu tvrdi zavar od osnovnog materijala, obodna, aksijalna i radijalna komponenta rezanja porastu tj., ciklički se mijenjaju. Dok jedna oštica reže zavar druga reže osnovni materijal, te postoji velika razlika u veličini radijalnih komponenti te dolazi do savijanja svrdla, javljaju se vibracije, a bušena rupa značajno odstupa od kružnosti. Zbog navedenog ne koriste se svrdla cijela iz tvrdog metala jer bi pukla tijekom obrade. Kut žlijeba svrdla ovisi od obradivanih materijala od kojeg zavisi i oblik strugotine. Ako je kut zavojnog žlijeba veći tada je odvod strugotine koja je proizašla iz zavarenog spoja bolji jer je ista lomljena i sitnija, dok je uglavnom strugotina od osnovnog materijala zavojna i duža te se lakše odvodi iz rupe, te

je povoljniji manji kut žlijeba, što rezultira većom torzionom krutošću svrdla.

Režimi bušenja su ograničeni s krutošću svrdla, te generiranom toplinom pri rezanju, jer najviša temperatura je na periferiji svrdla zbog najveće brzine rezanja, te u području poprečne oštice gdje je prednji kut značajno negativan, gdje su uvjeti rezanja vrlo nepovoljni, te ista treba biti značajno niža od temperature tvrdog lemljenja pločice.

2. DEFINIRANJE OBLIKA I GEOMETRIJE PLOČICE SVRDLA

Svrdla s pločicama od tvrdog metala uglavnom imaju dvostruko ravninski oštrenu stražnju površinu tako da se četiri ravnine u prostoru sijeku i čine poprečnu oštricu Prednju površinu čini ravnina koja je oštrena pod kutom ω_1 , u odnosu na ravninu koja prolazi kroz os svrdla. Kut ω_1 i kut zavojnog žlijeba svrdla ω ovise o tvrdoći, čvrstoći, žilavosti obrađenog materijala i oblika strugotine koja nastaje pri bušenju. Za obradu teško obradivih ljevova i plastičnih masa uglavnom se koriste pločice označke K dok za obradu teže i teško obradivih čelika kao i u ovom slučaju označke M.



Slika 2. Prikaz oblika, geometrije i parametara reznog dijela svrdla.

Parametri vezani za svrdlo a koji su bitni kod analize geometrije svrdla (a označeni na slici 2.) su:

r_0 - polumjer svrdla

φ - kut vrha svrdla

α_0 - kut nagiba primarne stražnje ravnine

α_1 - kut nagiba sekundarne stražnje ravnine

ω_1 - kut prednje površine pločice

ω - kut spiralnog žlijeba

a - polovina debljine pločice od tvrdog metala na vrhu svrdla mjerena u točki T_2

a_1 - udaljenost vrha na obodu odnosno točke T_1 od ravnine $Y = 0$.

Prednji kut je definiran kao kut između presječnica osnovne ravnine i ravnine mjerena te ravnine mjerena i ravnine u kojoj leži prednja površina. U osnovnoj ravnini O-O leži točka glavnog brida T i os svrdla. Ravnina mjerena N-N je ravnina čija normala leži u glavnom bridu svrdla.

Koordinate točaka su:

$$T_1(\sqrt{r_0^2 - (a - a_1)^2}; a - a_1; 0), \quad T_2(0; a; \sqrt{\frac{r_0^2 - a^2}{\tan \varphi}}) \text{ i } T(X_T; Y_T; Z_T).$$

Jednadžba ravnine u kojoj leži prednja površina koja je nagnuta u odnosu na os Z pod kutom ω_1 a paralelna je s osi X glasi:

$$Z - \frac{\sqrt{r_0^2 - a^2}}{\tan \varphi} = \cot \omega_1 (Y - a)$$

odnosno:

$$Y \cdot \cot \omega_1 - Z - a \cdot \cot \omega_1 + \frac{\sqrt{r_0^2 - a^2}}{\tan \varphi} = 0$$

Koefficijenti smjera ravnine u kojoj leži prednja površina su:

$$A_1 = 0, \quad B_1 = \cot \omega_1, \quad C_1 = -1$$

Jednadžba pravca koji prolazi točkama T_1 i T_2 glasi:

$$Y = -\frac{a_1}{\sqrt{r_0^2 - (a - a_1)^2}} \cdot X + a.$$

Jednadžba kružnice s radijusom r na kojoj leži projekcija točke T na ravnini XY glasi:

$$X^2 + Y^2 = r^2.$$

Uvrsti li se Y iz jednadžbe pravca u jednadžbu kružnice dobije se kvadratna jednadžba čije jedno rješenje glasi:

$$X_1 = X_T = \frac{\frac{a \cdot a_1}{\sqrt{r_0^2 - (a - a_1)^2}} + \sqrt{\frac{a^2 \cdot a_1^2}{r_0^2 - (a - a_1)^2} - (1 + \frac{a_1}{r_0^2 - (a - a_1)^2})(a^2 - r^2)}}{1 + \frac{a_1^2}{r_0^2 - (a - a_1)^2}}$$

a isto predstavlja apscisu točke kroz koju prolazi osnovna ravnina O-O.

S obzirom da je osnovna ravnina okomita na ravninu XY njena jednadžba glasi:

$$Y = \sqrt{\frac{r^2}{X_T^2} - 1} \cdot X$$

odnosno implicirano

$$\sqrt{\frac{r^2}{X_T^2} - 1} \cdot X - Y = 0$$

te su koeficijenti osnovne ravnine

$$A = \sqrt{\frac{r^2}{X_T^2} - 1}, \quad B = -1, \quad C = 0.$$

Jednadžba pravca u kojem leži glavna oštrica a isto prolazi točkama T_1 i T_2 glasi

$$\frac{X - \sqrt{r_0^2 - (a - a_1)^2}}{-\sqrt{r_0^2 - (a - a_1)^2}} = \frac{Y - a + a_1}{a_1} = \frac{Z}{\sqrt{r_0^2 - \frac{a^2}{\operatorname{tg}\varphi}}}$$

te su koeficijent smjera gornjeg pravca:

$$l_1 = -\sqrt{r_0^2 - (a - a_1)^2}, \quad m = a_1, \quad n = \frac{\sqrt{r_0^2 - a^2}}{\operatorname{tg}\varphi}.$$

S obzirom da normala na ravninu mjerena prolazi glavninom oštricom svrdla onda koeficijenti ravnine mjerena glase:

$$A_2 = l_1 = -\sqrt{r_0^2 - (a - a_1)^2}, \quad B_2 = m = a_1, \quad C_2 = n = \frac{\sqrt{r_0^2 - a^2}}{\operatorname{tg}\varphi}.$$

Koeficijenti smjera presječnice između osnovne ravnine i ravnine mjerena su:

$$l_2 = \begin{vmatrix} B_2 & C_2 \\ B & C \end{vmatrix} = \frac{\sqrt{r_0^2 - a^2}}{\operatorname{tg}\varphi},$$

$$m_2 = \begin{vmatrix} C_2 & A_2 \\ C & A \end{vmatrix} = \frac{\sqrt{r_0^2 - a^2}}{\operatorname{tg}\varphi} \cdot \sqrt{\frac{r^2}{X_T^2} - 1},$$

$$n_2 = \begin{vmatrix} A^2 & B^2 \\ A & B \end{vmatrix} = \sqrt{r_0^2 - (a - a_1)^2} - a_1 \sqrt{\frac{r_2^2}{X_T^2} - 1}.$$

Koeficijenti smjera presječnice između ravnine u kojoj leži prednja površina i ravnine mjerena glase:

$$l_1 = \begin{vmatrix} B_1 & C_1 \\ B_2 & C_2 \end{vmatrix} = \frac{\sqrt{r_0^2 - a^2}}{\operatorname{tg}\omega_1 \cdot \operatorname{tg}\varphi} + a_1,$$

$$m_1 = \begin{vmatrix} A_1 & B_1 \\ A_2 & B_2 \end{vmatrix} = \sqrt{r_0^2 - (a - a_1)^2},$$

$$n_1 = \begin{vmatrix} A_1 & B_1 \\ A_2 & B_2 \end{vmatrix} = \frac{\sqrt{r_0^2 - (a - a_1)^2}}{\operatorname{tg}\omega_1}$$

Iz poznatih koeficijenata smjera presječnica nađe se prednji kut γ po izrazu:

$$\gamma = \arccos \frac{l_1 l_2 + m_1 m_2 + n_1 n_2}{\sqrt{(l_1^2 + m_1^2 + n_1^2) \cdot (l_2^2 + m_2^2 + n_2^2)}} \quad (1)$$

Ravnina P-P u kojoj se mjeri stražnji kut svrdla je okomita na osnovnu ravninu i prolazi proizvoljno odabranom točkom T na glavnoj oštrici. Obzirom na to koeficijenti ravnine mjerena glase:

$$A_3 = \frac{X_T}{Y_T} = \frac{X_T}{-\frac{a_1}{\sqrt{r_0^2 - (a - a_1)}} \cdot X_T + a}, \quad B_3 = 1, \quad C_3 = 0.$$

Točka T_3 ima koordinate $(\sqrt{r_0^2 - a_1^2}; 0; -a_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha_0)$.

Ravnina u kojoj leži stražnja površina a s time u istoj leže i točke T_1, T_2, T_3 nađu se iz determinante:

$$\begin{vmatrix} X - \sqrt{r_0^2 - (a - a_1)^2} & Y - a + a_1, & Z \\ -\sqrt{r_0^2 - (a - a_1)^2} & a_1 & \frac{\sqrt{r_0^2 - a^2}}{\operatorname{tg} \varphi} \\ \sqrt{r_0^2 - a_1^2} - \sqrt{r_0^2 - (a - a_1)^2} & a_1 - a & -a_1 \operatorname{tg} \alpha_0 \end{vmatrix} = 0$$

Koeficijenti ravnine glase:

$$A_4 = -a_1^2 \operatorname{tg} \alpha_0 - (a_1 - a) \frac{\sqrt{r_0^2 - a^2}}{\operatorname{tg} \varphi}$$

$$B_4 = -a_1 \operatorname{tg} \alpha_0 \sqrt{r_0^2 - (a - a_1)^2} + \frac{\sqrt{r_0^2 - a^2}}{\operatorname{tg} \varphi} (\sqrt{r_0^2 - a^2} - \sqrt{r_0^2 - (a - a_1)^2}).$$

Koeficijent smjera presječnica između stražnje površine i ravnine mjerena su

$$l_3 = \begin{vmatrix} B_3 & C_3 \\ B_4 & C_4 \end{vmatrix}, \quad m_3 = \begin{vmatrix} C_3 & A_3 \\ C_4 & A_4 \end{vmatrix}, \quad n_3 = \begin{vmatrix} A_3 & B_3 \\ A_4 & B_4 \end{vmatrix}.$$

Stražnji kut α je presječnica i ravnine okomite na osnovnu ravninu, na primjer radi jednostavnog računa ravnine $Z = 1$ čiji su koeficijenti $A_5 = 0, B_5 = 0, C_5 = 1$ te slijedi da je:

$$\alpha = \arcsin \frac{n_3}{\sqrt{l_3^2 + m_3^2 + n_3^2}}. \quad (2)$$

3. DEFINIRANJE POVOLJNIJEG OBLIKA REZNOG DIJELA SVRDLA

Poznato je da se prednji kut smanjuje od periferije prema središtu svrdla, i već na glavnoj oštici postaje negativan. Analizom izraza za prednji kut [1] proizlazi da se ako produžetak glavne oštice tangira cilindar kojeg čini jezgra svrdla, prednji kut se povećava sa smanjenjem promjera jezgre te su iz tog razloga, kao što se sa slike vidi, glavne oštice izvedene pod kutom ε u odnosu na ravninu $y = 0$ [2].

Dakle, kod ovako izvedenih oštica prednji kut se značajno manje smanjuje prema središtu svrdla i na manjem promjeru postaje negativan, što poboljšava uvjete rezanja. Na dužini $(0,3r_0 + |X_{T3}|)$ glavna oštica poprima kružni oblik polumjera r_z (od točke T_2 do T_3) pa se skrati dužina poprečne oštice, čime se smanjuje aksijalna sila bušenja te mehaničko i toplinsko opterećenje iste.

Utjecaj parametara svrdla na geometriju oštice su:

r_0 - polumjer svrdla

φ - polovina kuta vrha svrdla

a - ordinate točke T_1

a_1 - ordinate točke T_2

ε - kut između projekcije glavne oštice u ravninu xy i ravnine $y=0$

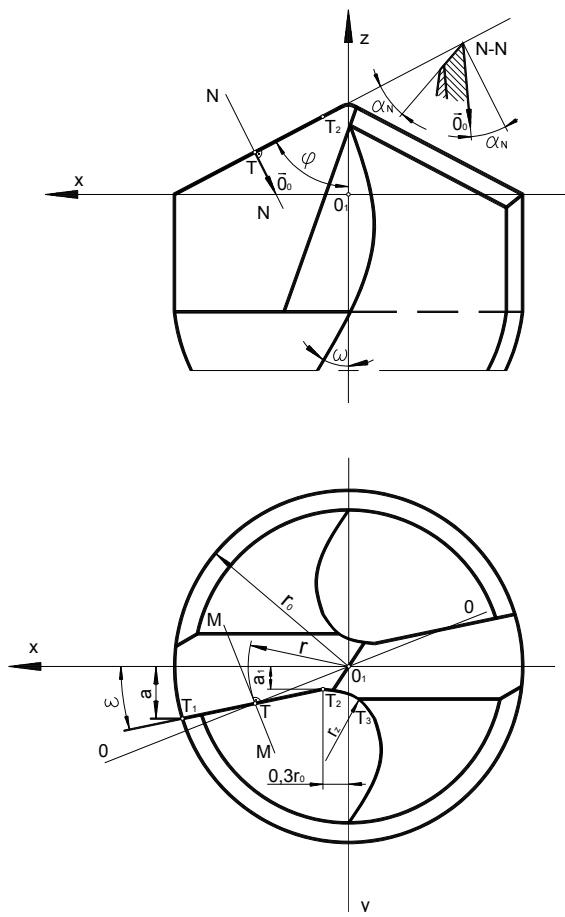
r_z - polumjer zakrivljenosti dijela glavne oštice

ω - kut uspona spirale

γ_N - prednji kut mjerjen u ravnini N-N

α_N - stražnji kut mjerjen u ravnini N-N

Stražnje površine svrdla su dijelovi ravnina koje u svom presjeku sadrže poprečnu oštricu. Prednja površina je također dio ravnine, te da se može izvršiti analiza geometrija treba naći jednadžbe navedenih ravnina, kao i jednadžbe osnovne ravnine 0-0 i ravnine mjerena M-M za bilo koju točku T na oštrici odnosno polumjeru r .



Slika 3. Prikaz oblika, geometrije i parametara rezognog dijela svrdla.

Za iznalaženje jednadžbe prednje površine u točki T postavi se jedinični vektor $\vec{0}_0$ čiji kosinusi smjera glase:

$$\cos \alpha_j = -\cos\left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right) \cos \gamma_N, \quad \cos \beta_j = -\sin \gamma_N, \quad \cos \gamma_j = -\sin\left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right) \cos_N.$$

S obzirom da u prednjoj površini leže točke T_1 i T_2 čije su koordinate:

$T_1(\sqrt{r_0^2 - a^2}, a, 0)$, $T_2(0, 3r_0, a_1, \frac{\sqrt{r_0^2 - a^2} - 0,3r_0}{\tan \varphi})$ te pomoću determinante koja glasi:

$$\begin{vmatrix} x - x_{T_1} & y - y_{T_1} & z - z_{T_1} \\ x_{T_2} - x_{T_1} & y_{T_2} - y_{T_1} & z_{T_2} - z_{T_1} \\ \cos \alpha_j & \cos \beta_j & \cos \gamma_j \end{vmatrix} = 0$$

Moguće je naći jednadžbu prednje površine. Nakon uvršavanja koordinata točaka i kosinusa smjerova u determinantu te rješavanjem iste dobije se jednadžba prednje površine čiji koeficijenti smjera glase:

$$A_1 = -(a_1 - a) \frac{\sin(\frac{\pi}{2} - \varphi) \cos \gamma_N}{\tan \varphi} + \frac{(\sqrt{r_0^2 - a^2} - 0,3r_0) \cos \gamma_N}{\tan \varphi}$$

$$B_1 = (0,3r_0 - \sqrt{r_0^2 - a^2}) \cos \gamma_N \frac{\sin(\frac{\pi}{2} - \varphi) + \cos(\frac{\pi}{2} - \varphi)}{\tan \varphi}$$

$$C_1 = (-(0,3r_0 - \sqrt{r_0^2 - a^2}) + (a_1 - a) \cos(\frac{\pi}{2} - \varphi)) \cos \gamma_N.$$

Koefficijent smjera osnovne ravnine 0-0 glase: $A_3 = \tan \varepsilon$, $B_3 = -1$, $C_3 = 0$.

Analogno postupkom nađe se jednadžba stražnje površine i jednadžba ravnine mjerena odnosno njihovih koefficijenata smjera. Označe li se koefficijenti smjera stražnje površine s A_2 , B_4 , C_4 onda koefficijent smjera njihovih presječnika su:

- presječnice između prednje površine i ravnine mjerena

$$l_1 = \begin{vmatrix} B_1 C_1 \\ B_4 C_4 \end{vmatrix}, \quad m_1 = \begin{vmatrix} C_1 A_1 \\ C_4 A_4 \end{vmatrix}, \quad n_1 = \begin{vmatrix} A_1 B_1 \\ A_4 B_4 \end{vmatrix},$$

- presječnice između prednje površine i osnovne ravnine

$$l_2 = \begin{vmatrix} B_1 C_1 \\ B_3 C_3 \end{vmatrix}, \quad m_2 = \begin{vmatrix} C_1 A_1 \\ C_3 A_3 \end{vmatrix}, \quad n_2 = \begin{vmatrix} A_1 B_1 \\ A_3 B_3 \end{vmatrix},$$

- presječnica između stražnje površine i ravnine mjerena

$$l_3 = \begin{vmatrix} B_2 C_2 \\ B_4 C_4 \end{vmatrix}, \quad m_3 = \begin{vmatrix} C_2 A_2 \\ C_4 A_4 \end{vmatrix}, \quad n_3 = \begin{vmatrix} A_2 B_2 \\ A_4 B_4 \end{vmatrix}.$$

Prednji kut prema ISO standardu je kut između presječnice prednje površine s ravninom mjerena i presječnice prednje površine s osnovnom ravninom te glasi:

$$\gamma = \arccos \frac{l_1 l_2 + m_1 m_2 + n_1 n_2}{\sqrt{(l_1^2 + m_1^2 + n_1^2)(l_2^2 + m_2^2 + n_2^2)}} \quad (3)$$

Stražnji kut je kut između presječnice stražnje površine s ravninom mjerena i normale na osnovnu ravninu u promatranoj točki. S obzirom da je normala osnovne ravnine paralelna s ravninom $z = \text{konstanta}$, onda najjednostavniji izraz se dobije ako se uzme referentna ravnina $z = 1$ te izraz za stražnji kut glasi:

$$\alpha = \arcsin \frac{n_3}{\sqrt{l_3^2 + m_3^2 + n_3^2}}. \quad (4)$$

4. ZAKLJUČAK

Izračuna li se prednji kut izvedenim izrazima (1) i (3) vidljivo je da se isti smanjuje od točke glavne oštice na obodu svrdla ka središtu te postoje negativan na nekom radijusu. Dotična veličina radijusa se nađe iz jednadžbe dobivene izjednačavanjem brojnika i nazivnika izraza za prednji kut. S povećanjem promjera jezgre 2a svrdla prednji kut se smanjuje dok s povećanjem kuta ω_1 i kuta vrha φ isti se povećava. Na stražnji kut najznačajnije utječe kut α_0 tako da porastom istog stražnji kut raste. S povećanjem kuta vrha φ kut α se smanjuje dok s povećanjem promjera jezgre isti se povećava. Parametre svrdla $\varphi, \alpha_0, \alpha_1, \omega_1, \omega$, a i a_1 treba odabratи takve da se dobiju najpovoljniji uvjeti rezanja i krutosti vrha svrdla s ciljem što duže postojanosti alata i većih režima obrade.

CONCLUSION

From derived expressions (1) and (3) for calculating rake angle is evident that rake angle decrease from periphery towards center of drill and on the certain radius became negative. That radius we can find by equalization numerator and denominator of upper mentioned expressions. By increase chisel diameter $2a$ rake angle well decrease, but with increase angle of front surface and top angle rake angle is increasing. On clearance angle the most influence has primary angle of back surface and increasing the same increase clearance angle. All parameters of drill form and geometry have to be optimization to get the best cutting condition and drill top rigidity and longer durability.

5. LITERATURE

- [1] Dunder, M., Ivandić, Ž., Samardžić, I., "Selection of Arc Welding Parameters of Micro Alloyed HSLA Steel", Časopis METALURGIJA, 47,4,2008, 325-330.
- [2] Klimov, V., Spravočnik instrumentalčika konstruktora, Mašinostroenie, Moskva ,1994.
- [3] Witihov, J., Die Hartmetallwerkzeuge in der spanobhebenden Formung, C. H. Verlag, München 1991.