UDK 621.833.383

Valjasti polži ZI

JOŽE PUHAR

Po standardu JUS M.C1.014 (1971) je oblika zobnih bokov polža odvisna od načina obdelave, tj. od oblike, lege in gibanja rezalnega orodja. Orodje mora torej imeti takšen profil, da bo zobni profil izdelka — polža ustrezal profilu, definiranem v standardu. V njem je za valjasti polž ZI definirano: Prerez zobnega boka polža z ravnino pravokotno na njegovo os je evolventa osnovnega kroga polža. Nadalje za aksialni profil: Aksialni profil polža ima obliko nalahno konveksne krivulje. To je za oblikovanje rezalnega orodja seveda premalo.

Članek zajema zato matematično določanje bočnice in s tem zobnega profila v treh različnih prereznih ravninah. Dve ravnini sta izbrani tako, da sta zajeta profila, ki ju standard omenja. Za preverjanje enačb je bil v splošnem laboratoriju Fakultete za strojništvo izdelan model — polž in prerezan v ustreznih ravninah, da ga je bilo mogoče kontrolirati.

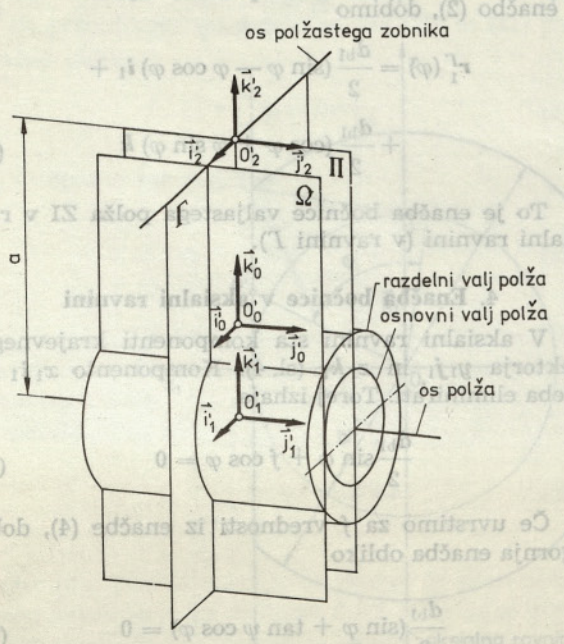
1. Ravnine za opredelitev profilov polža

Kinematični ploskvi polžaste dvojice se dotikata v kinematičnem polu $0_0'$. Slika 1 v dimetrični projekciji prikazuje koordinatni ploskvi in dotikalno ploskev, ki so tu prerezane ravnine.

Ravnina Π je glavna ravnina, ki gre skozi tri koordinatna izhodišča $0_2'$ $0_0'$ in $0_1'$. Hkrati se ujema z aksialno ravnino polža, saj gre skozi os polža.

Ravnina Γ je radialna ravnina, ki je pravokotna na os polža in gre skozi os polžastega zobnika.

Ravnina Ω pa je tangencialna ravnina, ki se dotika osnovnega valja polža in je vzporedna z njegovo aksialno ravnino.



Sl. 1. *Koordinatni ploskvi in dotikalna ploskev polžaste dvojice v dimetrični projekciji*
a — osna razdalja

2. Enačba evolventne vijačne ploskve

Krajevni vektor $\boldsymbol{r}_1$* ima začetno točko v izhodišču sistema 0_1, končno točko pa v točki P na boku zoba (= evolventni vijačni ploskvi). Krajevni vektor $\boldsymbol{r}_1$ lahko v prostoru razstavimo na vsoto vektorjev, ki so vzporedni z vektorskimi enotami $\boldsymbol{i}_1, \boldsymbol{j}_1, \boldsymbol{k}_1$,

$$\boldsymbol{r}_1 = x_1 \boldsymbol{i}_1 + y_1 \boldsymbol{j}_1 + z_1 \boldsymbol{k}_1 \tag{1}$$

x_1, y_1, z_1 so pravokotne koordinate in jih je za točko P na tvornici mogoče posneti s slike 2 kot funkcije parametrov φ in f. φ je kot med vektorsko enoto $\boldsymbol{k}_1$ in prerezno ravnino skozi dotikališče T tvornice z vijačnico na osnovnem valju in os polža, f pa je projekcija tvornice na ravnino vektorskih enot $\boldsymbol{i}_1$, $\boldsymbol{k}_1$.

Če uvrstimo vrednosti komponent x_1, y_1, z_1 v enačbo (1), dobi enačba krajevnega vektorja za točko P na evolventni vijačni ploskvi obliko

$$\boldsymbol{r}_1(\varphi, f) = \left(\frac{d_{b1}}{2} \sin\varphi + f\cos\varphi\right)\boldsymbol{i}_1 + \\ + \tan\gamma_b \left(\frac{d_{b1}}{2}\varphi + f\right)\boldsymbol{j}_1 + \\ + \left(\frac{d_{b1}}{2}\cos\varphi - f\sin\varphi\right)\boldsymbol{k}_1 \tag{2}$$

V zgornji enačbi pomenijo:

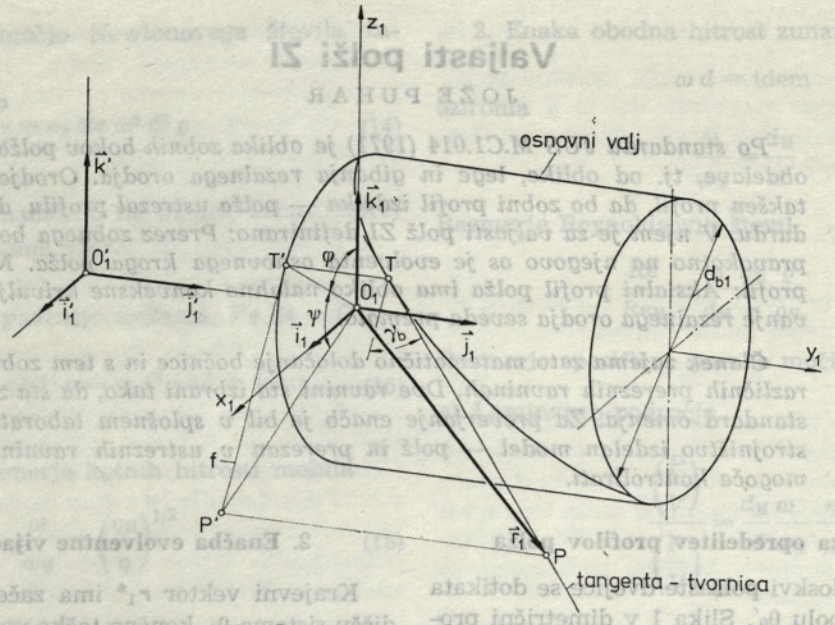
d_{b1} — premer osnovnega valja polža ZI,

φ — kotni parameter — vrtilni kot — spremenljivko,

f — parameter — spremenljivko in

γ_b — kot vijačnice na osnovnem valju polža ZI.

* Vektorji so označeni v tisku kurzivno debelo ($\boldsymbol{r}$), v risbah pa z znakom nad črko ($\vec{r}$).



Sl. 2. *Geometrijske razmere za enačbo krajevnega vektorja za točko P na evolventni vijačni ploskvi*

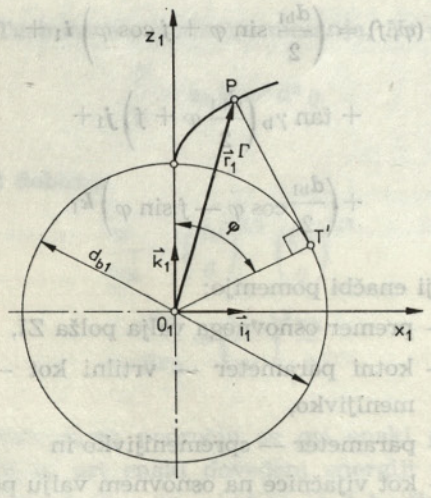
3. Enačba bočnice v radialni ravnini

V radialni ravnini sta komponenti krajevnega vektorja $x_1 \boldsymbol{i}_1$ in $z_1 \boldsymbol{k}_1$ (sl. 3). Zato je treba v sistemu eliminirati komponento $y_1 \boldsymbol{j}_1$; torej

$$\tan \gamma_b \left(\frac{d_{b1}}{2} \varphi + f \right) = 0 \tag{3}$$

S tem postaneta obe spremenljivki odvisni druga od druge in se da f izraziti s parametrom — spremenljivko ψ

$$f = \frac{d_{b1}}{2} \tan \psi \tag{4}$$



Sl. 3. *Bočnica valjastega polža ZI v radialni ravnini (v ravnini Γ)*

Tako dobi enačba (3) obliko

$$\frac{d_{b1}}{2} \tan \gamma_b (\varphi + \tan \psi) = 0 \tag{5}$$

Iz zgornje enačbe dobimo, da je

$$\tan \psi = -\varphi \tag{6}$$

Če uvrstimo vrednosti iz enačb (3), (4) in (6) v enačbo (2), dobimo

$$\boldsymbol{r}_1^{\Gamma}(\varphi) = \frac{d_{b1}}{2} (\sin \varphi - \varphi \cos \varphi) \boldsymbol{i}_1 + \frac{d_{b1}}{2} (\cos \varphi + \varphi \sin \varphi) \boldsymbol{k} \tag{7}$$

To je enačba bočnice valjastega polža ZI v radialni ravnini (v ravnini Γ).

4. Enačba bočnice v aksialni ravnini

V aksialni ravnini sta komponenti krajevnega vektorja $y_1 \boldsymbol{j}_1$ in $z_1 \boldsymbol{k}_1$ (sl. 4). Komponento $x_1 \boldsymbol{i}_1$ je treba eliminirati. Torej izhaja

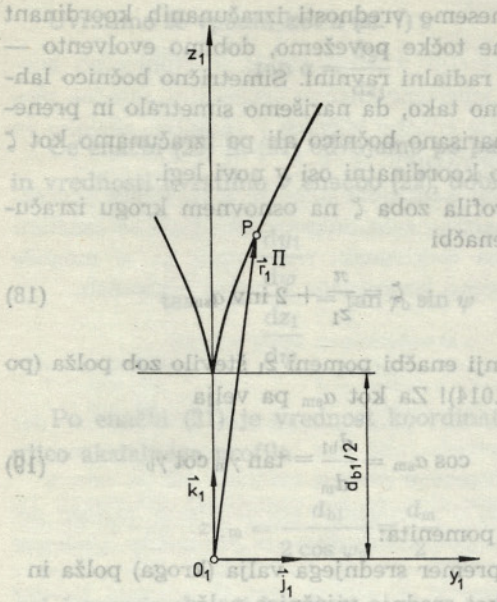
$$\frac{d_{b1}}{2} \sin \varphi + f \cos \varphi = 0 \tag{8}$$

Če uvrstimo za f vrednosti iz enačbe (4), dobi zgornja enačba obliko

$$\frac{d_{b1}}{2} (\sin \varphi + \tan \psi \cos \varphi) = 0 \tag{9}$$

Tako dobimo, da je

$$\varphi = -\psi \tag{10}$$



Sl. 4. *Bočnica valjastega polža ZI v aksialni ravnini (v ravnini Π)*

Če vrednosti iz enačb (8), (4) in (10) uvrstimo v enačbo (2), dobimo

$$\boldsymbol{r}_1^{\Pi}(\psi) = \frac{d_{b1}}{2} \tan\gamma_b (\tan\psi - \psi)\, \boldsymbol{j}_1 + \frac{d_{b1}}{2\cos\psi}\, \boldsymbol{k}_1 \qquad (11)$$

To je enačba bočnice valjastega polža ZI v aksialni ravnini (v ravnini *Π*). V njej je še samo ena spremenljivka — parameter ψ. Po definiciji evolventne funkcije lahko pišemo $\tan\psi - \psi = \text{inv}\,\psi$.

S tem pa dobi enačba (11) dokončno obliko

$$\boldsymbol{r}_1^{\Pi}(\psi) = \frac{d_{b1}}{2} \tan\gamma_b \,\text{inv}\,\psi\, \boldsymbol{j}_1 + \frac{d_{b1}}{2\cos\psi}\, \boldsymbol{k}_1 \qquad (12)$$

Krajišče krivulje — bočnice je na osnovni premici in ima koordinata $z_1 = d_{b1}/2$, saj sta tu $\psi = 0$ in $y_1 = 0$. Za negativno vrednost spremenljivke ψ je tudi y_1 negativen, medtem ko z_1 ostane pozitiven. Krivulji sta torej simetrični glede na koordinatno os z_1.

5. Enačba bočnice v tangencialni ravnini

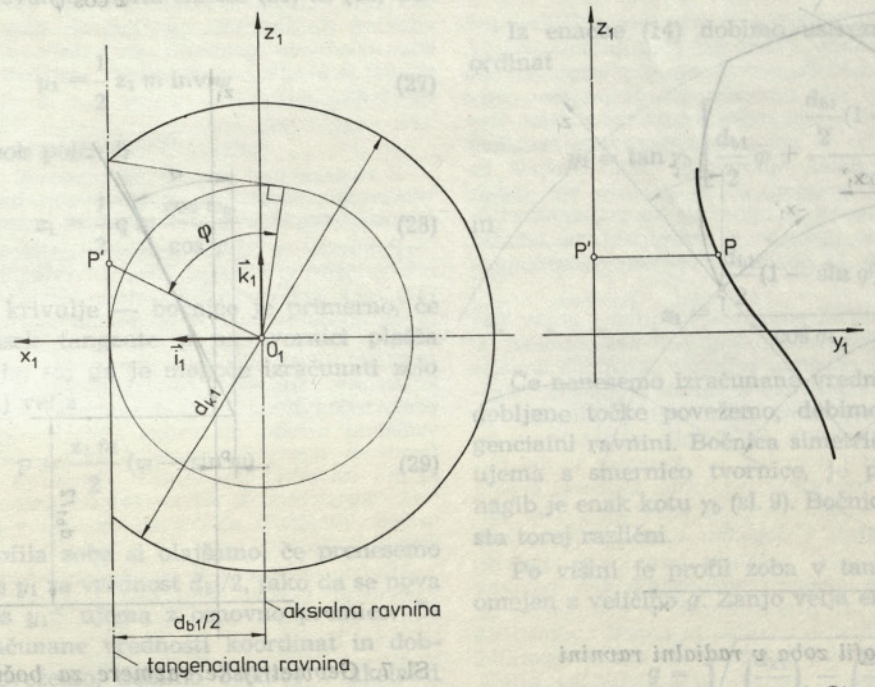
Razdalja med aksialno in tangencialno ravnino je enaka polovici premera osnovnega valja (sl. 5) in je kar vrednost koordinate x_1.

S slike 2 povzemamo, da je

$$f = \frac{\frac{d_{b1}}{2}(1 - \sin\varphi)}{\cos\varphi} \qquad (13)$$

Če zgornje vrednosti uvrstimo v enačbo (2), dobimo enačbo bočnice valjastega polža ZI v tangencialni ravnini (v ravnini Ω)

$$\boldsymbol{r}_1^{\Omega}(\varphi) = \frac{d_{b1}}{2}\boldsymbol{i}_1 + \tan\gamma_b \left[\frac{d_{b1}}{2}\varphi + \frac{\frac{d_{b1}}{2}(1 - \sin\varphi)}{\cos\varphi}\right]\boldsymbol{j}_1 + \frac{\frac{d_{b1}}{2}(1 - \sin\varphi)}{\cos\varphi}\, \boldsymbol{k}_1 \qquad (14)$$



Sl. 5. *Bočnica valjastega polža v tangencialni ravnini (v ravnini Ω)*

Pri spremenljivki $\varphi = 90^0$ je koordinata $z_1 = 0$. Pri $\varphi > 90^0$ ima z_1 negativno vrednost, medtem ko ostane y_1 še naprej pozitiven. Krivulja je torej simetrična glede na prevojno točko.

6. Profil zoba

6.1. *Profil zoba v radialni ravnini*

Iz enačbe (7) dobimo ustrezni vrednosti koordinat

$$x_1 = \frac{d_{b1}}{2}(\sin\varphi - \varphi\cos\varphi) \tag{15}$$

in

$$z_1 = \frac{d_{b1}}{2}(\cos\varphi + \varphi\sin\varphi) \tag{16}$$

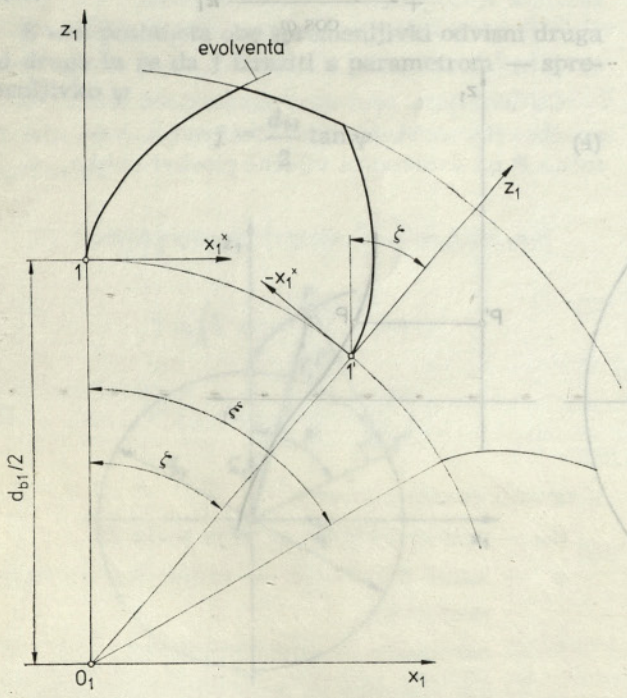
To sta enačbi evolvente v parametrični obliki[1].

Polarni kot φ se spreminja z zveznico točke $d_y/2$ s središčem. Tako je

$$\varphi = \frac{\sqrt{d_y^2 - d_{b1}^2}}{d_{b1}} \tag{17}$$

Za različne vrednosti $d_y/2$ (stopnjevano poljubno) je treba izračunati pripadajoče polarne kote φ in jih uvrstiti v enačbi (15) in (16).

Risanje profila zoba si olajšamo, če prenesemo koordinatno os x_1 za vrednost $d_{b1}/2$, tako da je novo izhodišče hkrati krajišče evolvente na osnovnem krogu (sl. 6).



Sl. 6. *Profil zoba v radialni ravnini*

Če nanesemo vrednosti izračunanih koordinant in dobljene točke povežemo, dobimo evolvento — bočnico v radialni ravnini. Simetrično bočnico lahko narišemo tako, da narišemo simetralo in prenesemo že narisano bočnico ali pa izračunamo kot ζ in vrišemo koordinatni osi v novi legi.

Kot profila zoba ζ na osnovnem krogu izračunamo po enačbi

$$\zeta = \frac{\pi}{z_1} + 2\,\mathrm{inv}\,\alpha_{sm} \tag{18}$$

V zgornji enačbi pomeni z_1 število zob polža (po JUS M.C1.014)! Za kot α_{sm} pa velja

$$\cos\alpha_{sm} = \frac{d_{b1}}{d_m} = \tan\gamma_m \cot\gamma_b \tag{19}$$

pri čemer pomenita:

d_m — premer srednjega valja (kroga) polža in

γ_m — kot srednje vijačnice polža.

Po višini pa profil omejuje krožni lok s polmerom temenskega kroga $d_{k1}/2$.

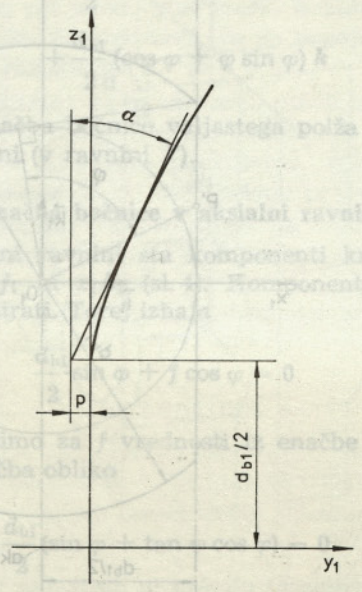
6.2. *Profil zoba v aksialni ravnini*

Iz enačbe (12) sta ustrezni vrednosti koordinat

$$y_1 = \frac{d_{b1}}{2}\tan\gamma_b\,\mathrm{inv}\,\psi \tag{20}$$

in

$$z_1 = \frac{d_{b1}}{2\cos\psi} \tag{21}$$



Sl. 7. *Geometrijske razmere za bočnico v aksialni ravnini*

[1] Zato tak polž imenujejo tudi evolventni polž.

Uvrstimo še vpadni kot α (sl. 7) s

$$\tan \alpha = \frac{dy_1}{dz_1} \tag{22}$$

Če enačbi (20) in (21) odvajamo po parametru ψ in vrednosti uvrstimo v enačbo (22), dobimo

$$\tan \alpha = \frac{\dfrac{dy_1}{d\psi}}{\dfrac{dz_1}{d\psi}} = \tan \gamma_b \sin \psi \tag{23}$$

Po enačbi (21) je vrednost koordinate za srednjico aksialnega profila

$$z_{1,m} = \frac{d_{b1}}{2 \cos \psi_m} = \frac{d_m}{2} \tag{24}$$

pri čemer je slednji kvocient

$$\frac{d_m}{2} = \frac{1}{2} m q \tag{25}$$

V zgornji enačbi pomeni q značilnico polža.

Tako je iz enačbe (24) z upoštevanjem enačbe (25) parameter ψ_m določen z enačbo

$$\cos \psi_m = \frac{d_{b1}}{m q} \tag{26}$$

Po preoblikovanju dobita enačbi (20) in (21) dokončno obliko

$$y_1 = \frac{1}{2} z_1 m \operatorname{inv} \psi \tag{27}$$

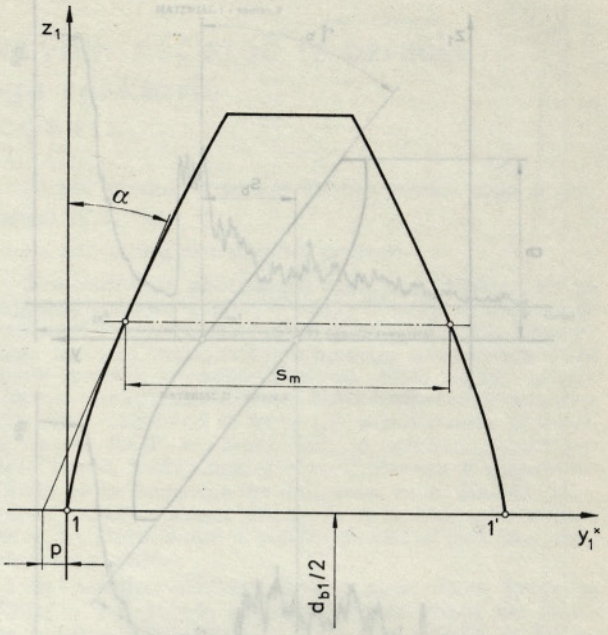
(z_1 — število zob polža !)

$$z_1 = \frac{1}{2} q m \frac{\cos \psi_m}{\cos \psi} \tag{28}$$

Za risanje krivulje — bočnice je primerno, če uporabimo odsek tangente p na tvornici plašča osnovnega valja, saj ga je mogoče izračunati zelo preprosto. Zanj velja

$$p = \frac{z_1 m}{2} (\psi - \sin \psi) \tag{29}$$

Risanje profila zoba si olajšamo, če prenesemo koordinatno os y_1 za vrednost $d_{b1}/2$, tako da se nova koordinatna os $y_1^{\times}$ ujema z osnovno premico. Če nanesemo izračunane vrednosti koordinat in dobljene točke povežemo, dobimo bočnico v aksialni ravnini (sl. 8).



Sl. 8. *Profil zoba v aksialni ravnini*
s_m — debelina zoba na razdelni premici

Simetrično bočnico lahko narišemo tako, da narišemo simetralo in prenesemo že narisano bočnico ali pa določimo točko 1′ in vrišemo — kakor pri radialnem profilu — koordinatni osi v novi legi. Vrednosti za y_1 postanejo negativne.

6.3. *Profil zoba v tangencialni ravnini*

Iz enačbe (14) dobimo ustrezni vrednosti koordinat

$$y_1 = \tan \gamma_b \left[\frac{d_{b1}}{2} \varphi + \frac{\dfrac{d_{b1}}{2}(1 - \sin \varphi)}{\cos \varphi} \right] \tag{30}$$

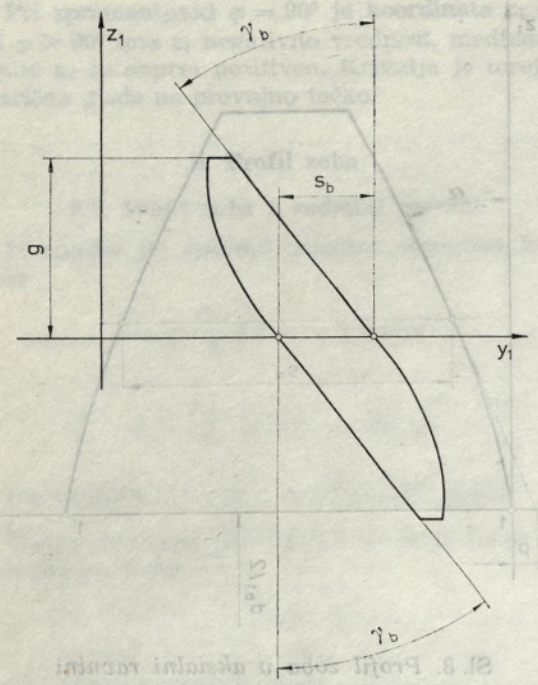
in

$$z_1 = \frac{\dfrac{d_{b1}}{2}(1 - \sin \varphi)}{\cos \varphi} \tag{31}$$

Če nanesemo izračunane vrednosti koordinat in dobljene točke povežemo, dobimo bočnico v tangencialni ravnini. Bočnica simetričnega boka, ki se ujema s smernico tvornice, je premočrtna. Njen nagib je enak kotu γ_b (sl. 9). Bočnici zobnega profila sta torej različni.

Po višini je profil zoba v tangencialni ravnini omejen z veličino g. Zanjo velja enačba

$$g = \sqrt{\left(\frac{d_{k1}}{2}\right)^2 - \left(\frac{d_{b1}}{2}\right)^2} \tag{32}$$



Sl. 9. *Profil zoba v tangencialni ravnini*
s_b — debelina zoba na osnovni premici

7. Sklep

Z geometrijo v prostoru in diferencialno geometrijo so izpeljane enačbe evolventne vijačne ploskve, nadalje enačbe bočnice v radialni, aksialni in tangencialni ravnini.

Preračuni koordinat bočnice v različnih prereznih ravninah so zelo dolgotrajni. Zato so izdelani programi za elektronski računalnik in je mogoče dobiti ustrezne koordinate v nekaj sekundah.

LITERATURA

[1] Bauersfeld, W.: Ein Beitrag zur Theorie der Schneckengetriebe und zur Normung der Schnecken, Deutscher Ingenieur-Verlag, 1950.

[2] Puhar, J.: Proučitev geometrijskih razmer pri evolventnem polžu, Fakulteta za strojništvo Univerze v Ljubljani, 1975.

[3] Thomaa, A. K.: Grundzüge der Verzahnung, Carl Hanser Verlag, 1957.

[4] Standard JUS M.C1.014.

Avtorjev naslov: Jože Puhar, dipl. inž. stroj., Fakulteta za strojništvo Univerze v Ljubljani

UDK 534.2:621.791

Akustična emisija pri varjenju

IVAN POLAJNAR — IGOR GRABEC — VIKTOR PROSENC

Uvod

V tehniki varjenja je posebna pozornost namenjena odkrivanju napak v zvarih in študiju pojavov, ki povzročijo te napake. Čeprav je tehnika ugotavljanja kvalitete zvarov že zelo izpopolnjena, je na tem področju še vedno čutiti pomanjkanje primerne eksperimentalne metode, ki bi omogočala opazovati rast napak. Mišljeno je zlasti opazovanje rasti razpok in spremljanje faznih premen, ki so pogosto vir napak v zvaru. Namen članka je opozoriti na pojav akustične emisije in njeno uporabo v nedestruktivni tehniki preskušanja zvarov, ki obeta, da bo vsaj delno zapolnila to vrzel [1].

Z izrazom akustična emisija označujemo pojav nastanka zvoka zaradi mikroskopskih nestabilnosti v snovi. Med najbolj značilne primere akustične emisije sodi hreščanje pri rasti razpok zaradi mehanske obremenitve ter šumenje snovi pri faznih premenah [2]. Uravnovešenje mehanskih ali faznih nestabilnosti je zelo pogosto sunkovit dogodek, pri katerem se del nakopičene energije spreminja v zvočno. Ustrezni zvočni sunek je mogoče zaznati na meji snovi in s tem posredno dobiti podatek o dogodku v snovi. Ker omenjene nestabilnosti pri varjenju praviloma kvarijo kvaliteto zvara, je možnost zaznavanja teh pojavov posebno zanimiva pri preizkušanjih v tehniki varjenja. Zbiranje podatkov o nastajanju napak z akustično emisijo lahko poteka od zavaritve pa vse do uporabe, kar ponuja možnost za raziskovanje dinamike njihovega nastanka.

Koliko se uresničitvi teh možnosti lahko približamo, smo skušali ugotoviti z nekaj uvodnimi laboratorijskimi raziskavami, pri katerih smo zaznavali akustično emisijo jeklenih varjencev. Opis preizkusov skupaj s pregledom značilnih lastnosti pojava sta jedro tega članka.

Preizkus

Z raziskavami smo želeli ugotoviti predvsem vpliv varilnega postopka in uporabljenega materiala na značilnosti akustične emisije zvara.

Pokazalo se je, da poteka akustična emisija jeklenih varjencev v obliki izrazitih zvočnih izbruhov. Zaradi tega smo uporabili metodo karakterizacije, ki sloni na štetju impulzov, prirejenih izbruhom. Akustično emisijo smo zaznavali s piezoelektričnim tipalom (PZT5A), ki je bilo prek plasti olja sklopljeno s preizkušancem. Ustrezni električni signal smo ojačili in prek nastavljene meje diskriminatorja 1 V priredili vsakemu nihaju ojačenega napetostnega signala uniformiran napetostni impulz. Pogostost teh impulzov, ki jih navadno imenujemo akustična aktivnost, smo nato registrirali v odvisnosti od časa. Podrobneje je metoda merjenja aktivnosti opisana v poprejšnjih objavah [2, 3].

Preizkušanci so bili narejeni iz jekla z zagotovljeno varivostjo Č.1100 (material I) s sestavo: 0,09 % C; 0,15 % Si; 0,53 % Mn; 0,01 % P; 0,02 % S; 0,01 % O_2, ki ima Cek = 0,23 [4], in iz jekla slabše varivosti Nionicral 60 (material II) s sestavo: 0,15 % C; 0,30 % Si; 0,40 % Mn; 1,5 % Cr; 2,5 % Ni; 0,4 % Mo; 0,02 % P; 0,03 % S, ki ma Cek = 9,94.