

YUTRIB'05
9^{ta} JUGOSLIVENSKA KONFERENCIJA O TRIBOLOGIJU
JUN.15-18. 2005
Kragujevac, Srbija i Crna gora

**PLOČASTI NOŽEVI U TEHNOLOGIJI MLEVENJA
MASE (“PULPE”) ZA PROIZVODNJU PAPIRA**

Prof. dr Radomir Slavković, dipl. maš. inž., Tehnički Fakultet, Čačak
Prof. dr Zvonimir Jugović, dipl. maš. inž., Tehnički Fakultet, Čačak
Doc dr Snežana Dragičević dipl.maš.inž., Tehnički Fakultet, Čačak
Ivan Milićević, dipl. maš. inž., asistent-pripravnik, Tehnički Fakultet, Čačak

Rezime

Pločasti noževi kao radni elementi diskastih mlinova za pripremu papirne mase – "pulpe", imaju bitan uticaj na kvalitet celuloznih vlakana papira. U radu je data tehnologija izrade pločastih noževa, kao i osnovne postavke mlevenja vlakana uz osvrt na tribološke karakteristike reznih elemenata. U okviru triboloških karakteristika data je metodologija definisanja specifičnog ivičnog opterećenja reznih elemenata pri mlevení vlakana kao i uticaj rezne geometrije na kvalitet vlakana. Takođe uz projektovanu tehnologiju izrade pločastih noževa, dat je uticaj kako hemijskog sastava tako i režima obrade (brušenja) na mikrostrukturalne karakteristike radne površine.

Ključne reči: pulpa, brušenje, mikrostrukturalne karakteristike.

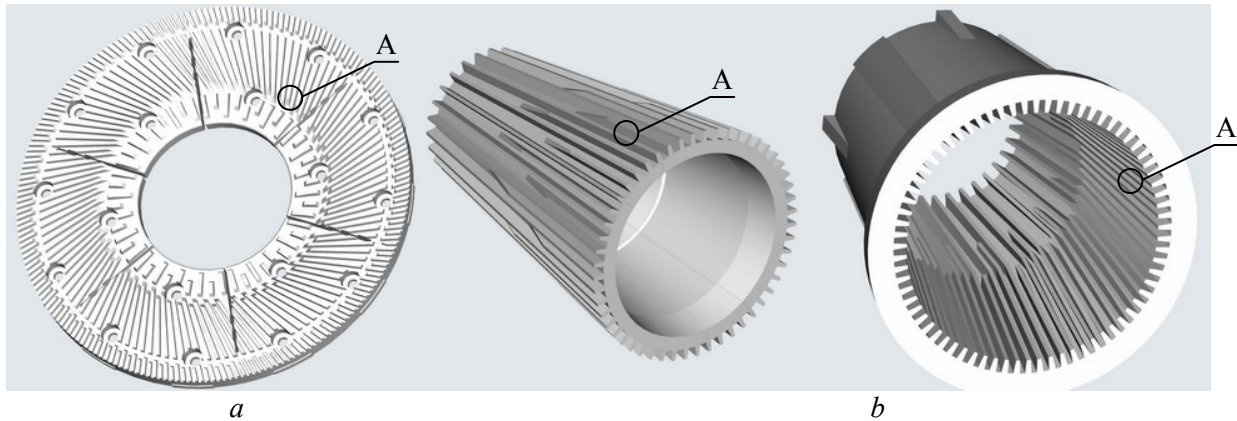
1. UVOD

Mlevenje vlakana u tehnologiji pripreme papirne mase (“pulpe”) diktira mehanička i optička svojstva papira. Ovaj tehnološki proces je jedna od najvažnijih faza mehaničko-hemijske obrade u proizvodnji papira, jer reguliše razvlakljenost papirne mase i udeo dugih i kratkih vlakana u papiru. Uglavnom, cilj mlevenja je da se postigne takav sastav vlakana u frakcionom pogledu, koji od date sirovine daje najbolja svojstva papira. Pored stalnog istraživanja u oblasti specifične potrošnje energije u zemljama koji su veliki proizvođači papira (SAD, Rumunija, Kanada, Francuska, itd.) mnogi istraživači danas intenzivno rade na

pronalaženju najbolje rezne geometrije i najadekvatnijih materijala za proizvodnju reznih elemenata.

Ovakva strategija u tehnologiji proizvodnje papira zahteva i posebnu tehnološku opremu za pripremu papirne mase (“pulpe”). U okviru tehnološke opreme posebna pažnja se poklanja razvoju reznih elemenata za pripremu papirne mase, a čija rezna geometrija kao i tehnološki parametri pripreme “pulpe” zavise od izvora celuloznih vlakana.

U okviru reznih elemenata značajno mesto zauzimaju primarni raspuštači, sekundarni raspuštači (enštiperi), pločasti i konusni noževi, sl. 1.1.



A – prostorna geometrija zuba po reznoj površini (“šara”)

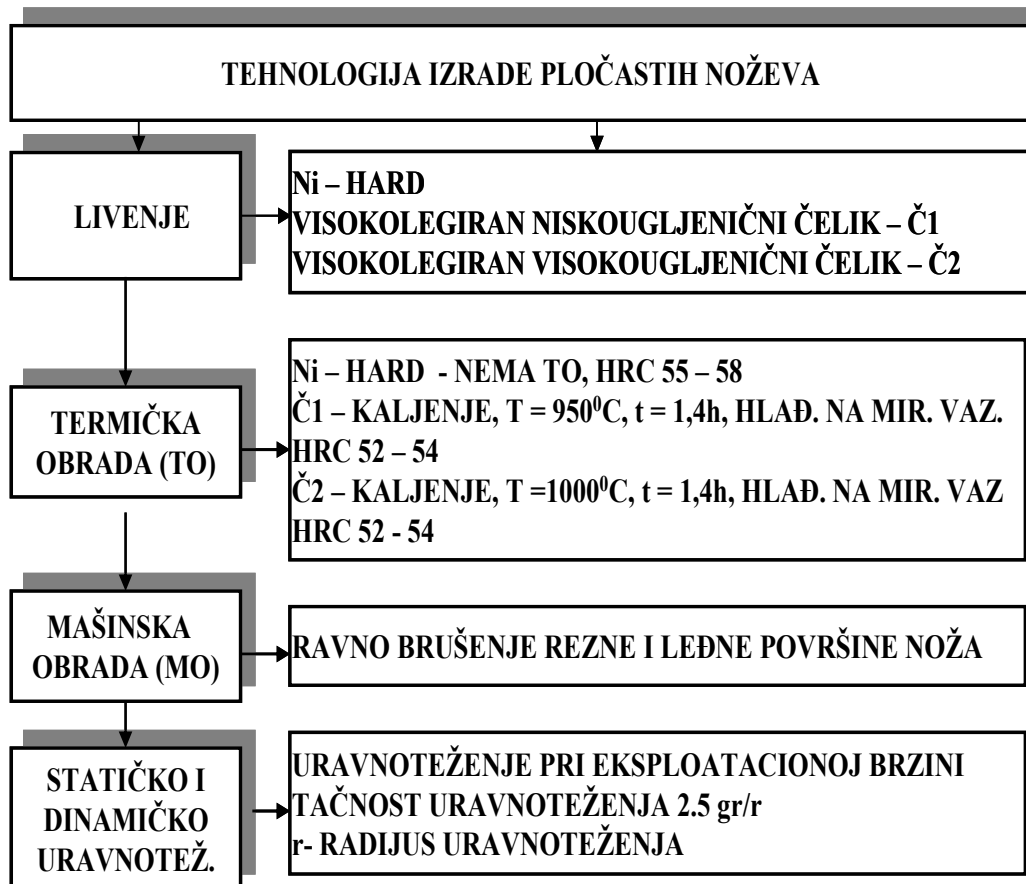
SI. 1.1 – Rezni elementi za pripremu papirne mase (“pulpe”):

- a) disk pločastih noževa 26" “Matroz” - Sremska Mitrovica
- b) rotor i stator konusnih noževa 2R fabrike “Božo Tomić” – Čačak

2. TEHNOLOGIJA IZRADE PLOČASTIH NOŽEVA

Kada se govori o pločastim niževima misli se na noževe date na sl. 1.1. Više ovih noževa (segmenata) čini rezne diskove koji mogu biti statorski i rotorski i kao takvi predstavljaju radne organe mlinova (rifajnera), kojima se vrši mlevenje posebno pripremljene (razvlakljene) mase za proizvodnju papira.

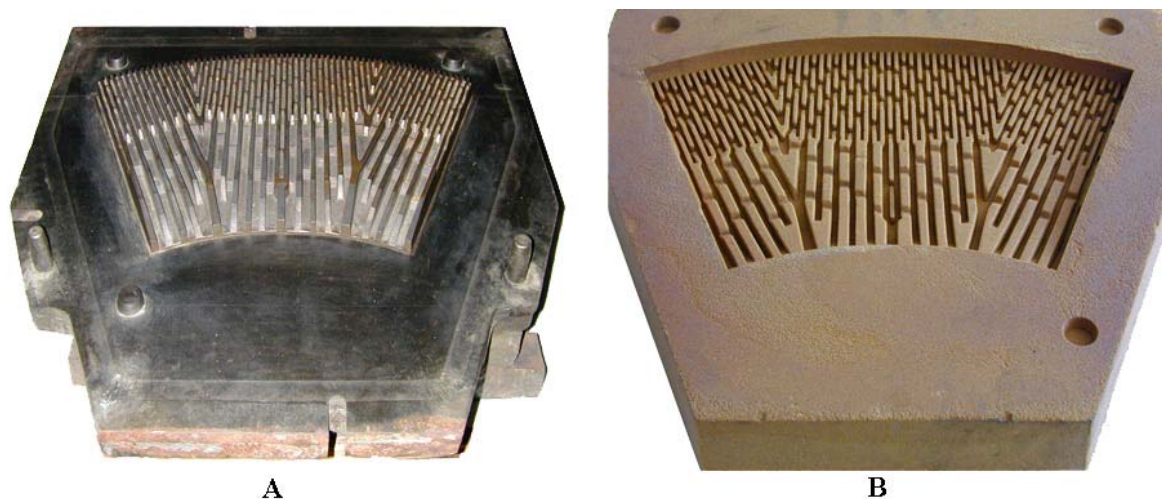
Radne organe karakteriše broj statorskih i rotorskih diskova, broj pločastih noževa na disku, broj obrtaja diska, materijal pločastih noževa i sl. Na slici 2.1 dat je prikaz globalne tehnologije izrade pločastih noževa, prema [1], koja je rezultat istraživanja na osvajanju proizvodnje istih.



SI 2.1 – Globalna tehnologija izrade pločastih noževa

U okviru prikazane tehnologije izrade najkompleksniju ulogu ima tehnologija livenja. Livenje se izvodi u kalupima dobijenim po "Hot-Box" postupku, odnosno kalupi se dobijaju uduvavanjem i pečenjem obloženog peska

(kvarcni pesak sa 4% smole) na temperaturi 300-400 °C u metalnim alatima. Izgled alata za oblikovanje kalupa koji formira reznu površinu, kao i izgled pečenog kalupa dat je na slici 2.2.

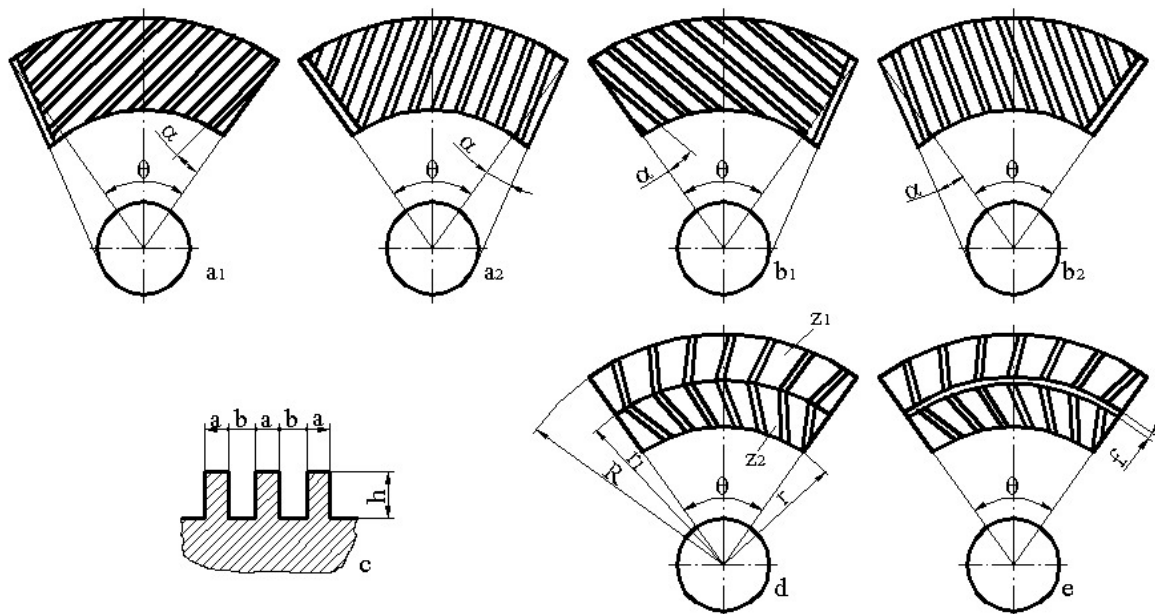


Sl. 2.2 – Alat za pečenje livačkog kalupa po "Hot-Box" postoioku (A) i kalup (B)

3. GEOMETRIJSKA IDENTIFIKACIJA PLOČASTIH NOŽEVA

Geometrijska identifikacija zasniva se na definisanju statičke i dinamičke geometrije

kako statorskih, tako i rotorskih noževa, prema slici 3.1:



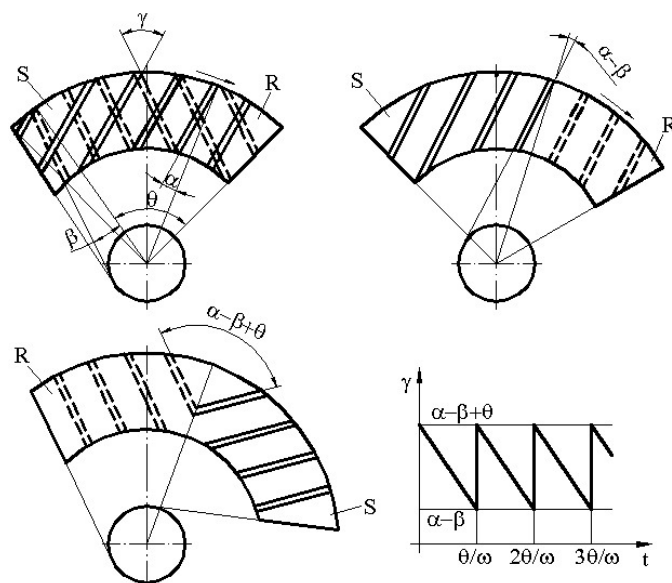
Sl 3.1 – Osnovne veličine statičke geometrije pločastih noževa: a_1, a_2 – ulazni nož; b_1, b_2 – izlazni nož; c – geometrija zuba; d, e – radne zone noža (r_1, r, θ - zona 1; R, r_1, θ - zona 2)

Osnovne statičke veličine su: smer zuba noža (ulazni-desni i izlazni-levi smer), broj zuba statorskog i rotorskog noža (z_S, z_R), ugao sektora (θ_S, θ_R), ugao zuba statorskog i rotorskog noža (α, β), širina zuba i međuzublja statorskog i rotorskog noža (a_S, b_S, a_R, b_R), visina zuba (h_S, h_R) i radne zone pločastog noža međusobno odvojene kružnim žlebom širine f .

Ulaznim nožem se smatra nož kod koga je desna strana sektora ograničena celim zubom, a kod izlaznog noža leva strana sektora je ograničena celim zubom. Radne zone se uvode u

reznju geometriju radi ujednačavanja protoka mase i izvode se sa ili bez međuzleba.

Osnovne dinamičke veličine: Sa dinamičke tačke gledišta, kod pločastih noževa bitno je definisati ugao sečiva $\gamma(t)$ koji je funkcija položaja rotora u odnosu na stator. Za slučaj iste statičke geometrije rotora i statora na slici 3.2, za rotor ulazni i stator ulazni, data je metodologija definisanja ugla rezanja u zavisnosti od uglova sečenja α i β i ugla sektora θ dijagramskim prikazom.



SI 3.2 – Metodologija definisanja ugla rezanja pločastih noževa

Zavisnostima 3.1 i 3.2 prema [2], date su dinamičke veličine, odnosno ugao sečenja $\gamma(t)$ i efektivni ugao sečenja $\gamma_e(t)$.

$$\gamma(t) = \alpha - \beta + (k+1)\theta - \omega t \quad (3.1)$$

$$\left(\frac{k\theta}{\omega} \right), \left(\frac{(k+1)\theta}{\omega} \right); k=0,1,2,\dots$$

$$\gamma_e(t) = \frac{\omega}{2\pi} \int \gamma(t) dt \quad (3.2)$$

4. OSNOVNE POSTAVKE MLEVENJA

Na osnovu [3], pri mlevenju vlakana definiše se veličina koja izražava intenzitet i učestanost dejstva zuba noža na vlakna. Ova veličina je specifično ivično opterećenje SEL (*Specific Edge Load*), dato zavisnošću 4.1. Naziv označava da rad ivica noža ima dominantnu ulogu u obradi vlakana.

$$SEL = P/L_S \text{ [J/m]} \quad (4.1)$$

$$L_S = z_R \cdot z_S \cdot l \cdot n / 60 \text{ [m/s]} \quad (4.2)$$

gde je:

Treba imati u vidu da je teorijski moguće izvesti pločaste noževe sa raznim kombinacijama (ulazni, izlazni, statička geometrija) pa pored uticaja po α i β mogu nastati i drugi uticaji i to znatno otežava proces definisanja ugla sečenja $\gamma(t)$.

z_R, z_S – broj zuba rotora i statora;

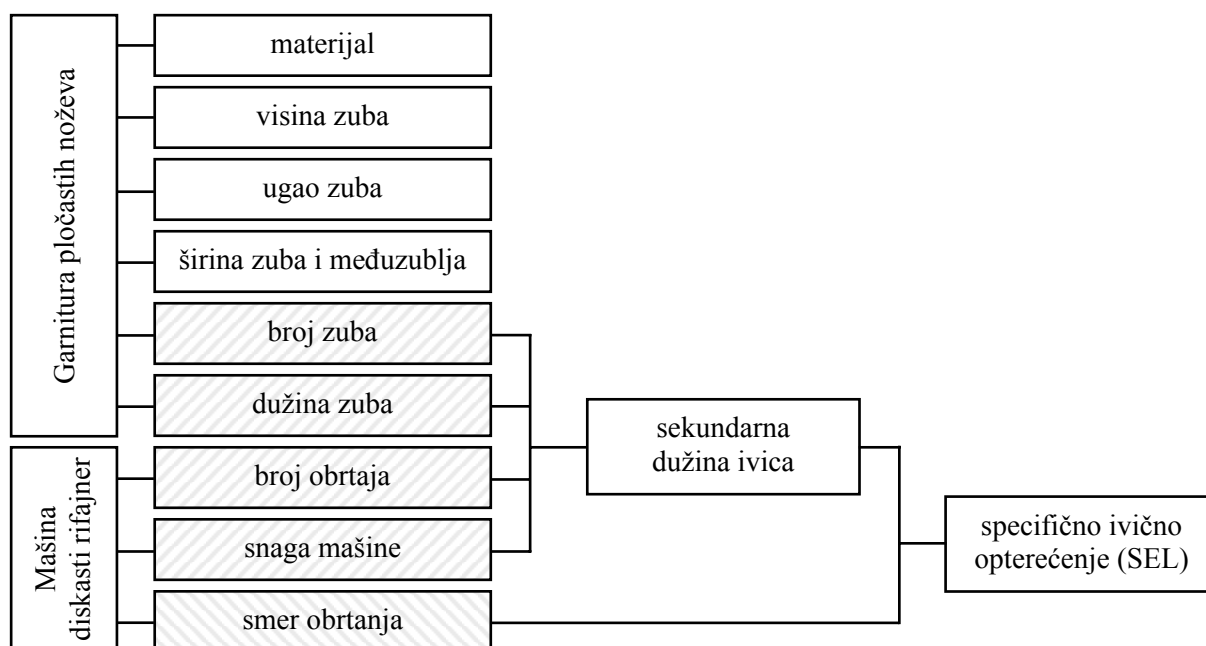
l [m] – dužina zuba noža;

n [o/min] – broj obrtaja diska;

P [W] – snaga mlevenja;

L_S [m] – sekundarna dužina reznih ivica noža.

Na slici 3.3 pregledno su dati svi faktori koji utiču na definisanje specifičnog ivičnog opterećenja (SEL).



Sl. 3.3 – Faktori uticaja na specifično ivično opterećenje pri mlevenju vlakana

U poslednjih desetak godina vršeni su pokušaji da se u teoriju mlevenja uključe i drugi uticaji preko specifičnog ivičnog opterećenja, C-faktora i teorije tačke ukrštanja zuba. Ova teorija

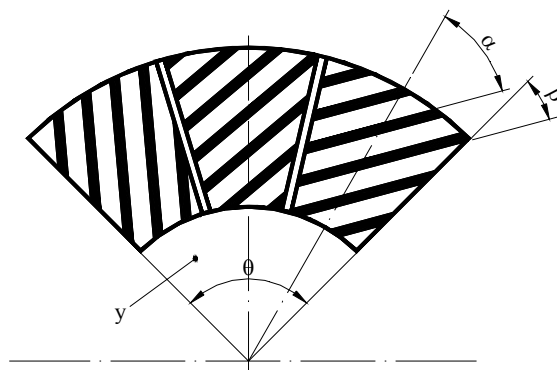
nije našla prolaz u praksi zbog specifične matematičke teorije i velikog broja ulaznih parametara.

5. UTICAJ PARAMETARA NA REZULTATE MLEVENJA

5.1. Uticaj ugla zuba kao statičke veličine

Pri istom specifičnom ivičnom opterećenju veći ugao zuba noža vodi ka "masnijem" mlevenju (odvodnjavanje kroz sloj vlakana sporije), a manji ugao noža vodi ka "posnijem" mlevenju (odvodnjavanje kroz sloj vlakana brže). Međutim, i dan danas proizvođači papira imaju problema sa definisanjem parametara za pojačanje intenziteta mlevenja. Da bi se stvarni uticaji ugla zuba jednostavno odredio i integrisao u jednu veličinu, moraju se

uvesti pretpostavke da je geometrija zuba pločastih noževa konstantna. Zub pločastog noža sa većim uglom, ukršta se sa više spregnutih zuba. (Garnitura pločastih noževa sa uglom zuba od 30° ima približno tri puta više tačaka ukrštanja od garniture sa uglom nagiba zuba od 10°). Na slici 5.1 prikazana je metodologija definisanja ugla zuba pločastog noža.



Sl. 5.1 – Metodologija definisanja ugla nagiba zuba pločastog noža

Disk garniture sastoji se iz segmenata (pločastih noževa) koji imaju isti ugao θ . Na svakome disku raspoređeno je više sektora (y) koji imaju međusobno jednak izgled noža. Srednji ugao zuba α definisan je radijusom koji prolazi kroz sredinu sektora i dat je zavisnošću (5.1). U praksi, meri se ugao β između radijusa na desnom kraju sektora i odgovarajućeg zuba.

$$\alpha = \beta + \frac{\theta}{2y} \quad (5.1)$$

Ovako prikazan ugao α je pozitivan. Zbir srednjih uglova zuba rotora i statora u prvom približenju definiše ugao sečiva γ . Pod pretpostavkom da se radi o identičnoj geometriji

rotora i statora ugao sečiva dat je formulom:

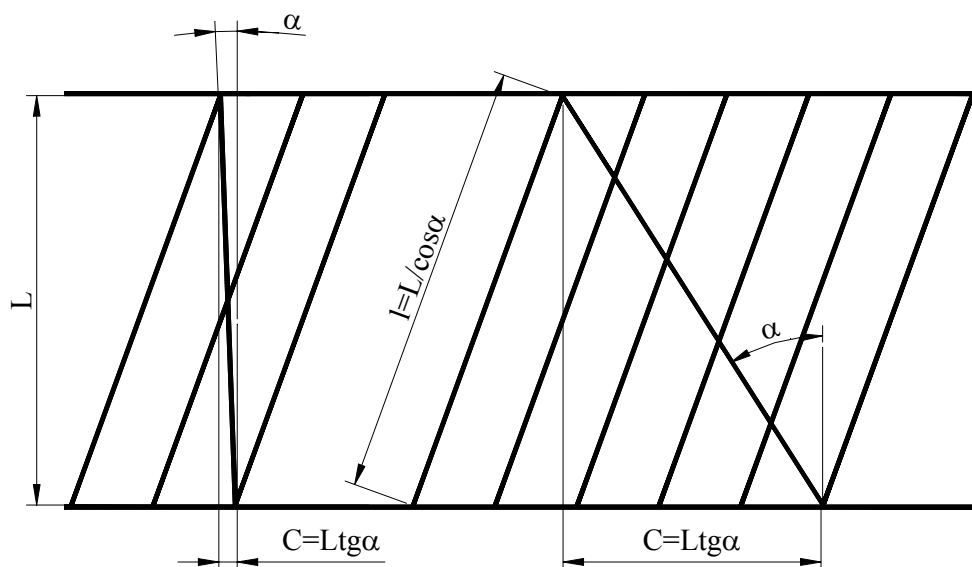
$$\gamma = 2\alpha \quad (5.2)$$

Kao što je prikazano na slici 5.1, pločasti nož sa tri sektora ima različite dužine zuba. Iz tog razloga uzima se da noževi nisu na ploči, već na cilindru prema slici 5.2, i dužine zuba su iste. Mera L odgovara razlici između spoljašnjeg i unutrašnjeg poluprečnika diska.

Veličina C_R predstavlja pokazatelj ukrštanja noža rotora sa nožem statora i data je zavisnošću:

$$C_R = L \cdot \text{tg } \alpha_R \quad (5.3)$$

gde je α_R srednji ugao zuba rotora.



Sl. 5.2- Metodologija definisanja pokazatelja ukrštanja zuba rotora i statora pločastih noževa

Za statorski nož važi sledeća zavisnost:

$$C_S = L \cdot \text{tg } \alpha_S \quad (5.4)$$

gde je α_S srednji ugao zuba statora.

Sekundarna dužina ivica zuba sada se dopunjava zavisnostima (5.3) i (5.4) i daje izraz (5.5) za $L_{S\gamma}$, a imajući u vidu dužinu zuba l .

$$L_{S\gamma} = L_{Ss} \cdot \text{tg } \alpha_S + L_{Rs} \cdot \text{tg } \alpha_R \quad [\text{m/s}] \quad (5.5)$$

gde su: L_{Ss} , L_{Rs} – sekundarne dužine

ivice diska statora i rotora i iz praktičnih razloga izvode se za kompletnu garnituru.

Pod uslovom iste rezne geometrije, sekundarna dužina rezne ivice zuba i specifično ivično opterećenje dato je zavisnostima (5.6) i (5.7):

$$L_{S\gamma} = L_S \cdot 2 \text{tg } \alpha \quad (5.6)$$

$$\text{SEL}_{\gamma} = P / L_{S\gamma} \quad [\text{J/m}] \quad (5.7)$$

5.2 Uticaj geometrije zuba i međuzublja

Posle integrisanja uticaja ugla zuba u definisanje specifičnog ivičnog opterećenja, vrlo bitan korak je integrisanje uticaja širine zuba i međuzublja, takođe na specifično ivično opterećenje. Uticaj veličine zuba i međuzublja na rezultate mlevenja je poznat, odnosno pri istom specifičnom ivičnom opterećenju širi rezni zubi vode ka “masnijem” mlevenju, a uža ka

“posnijem”. Uvek promena širine zuba utiče na promenu širine međuzublja. Žlebovi obezbeđuju transport suspenzije vlakana kroz radni prostor i veoma su značajni za izmenu mlevene mase, a samim tim i za obradu vlakana. Što je žleb uža, to je veća šansa da se vlakno zadrži u blizini ivice zuba, koja krati vlakna, dok ih čeone strane (a) uglavnom stanjuju i uzdužno razdvajaju.

Uticaj širine zuba i međuzublja na proces mlevenja uzima se preko veličine k date zavisnošću:

$$k = \frac{a}{a+b} \quad (5.8)$$

Umesto do sada korišćenog specifičnog ivičnog opterećenja uvodi se pojam modifikovanog ivičnog napona MEL prema sledećoj zavisnosti:

$$MEL = \frac{P}{L_{Ss} \operatorname{tg} \alpha_S \cdot k_S + L_{Rs} \operatorname{tg} \alpha_R \cdot k_R} \quad [\text{J/m}] \quad (5.9)$$

U opštem slučaju identičnosti geometrije rotora i statora zavisnost (5.9) data je kao (5.10):

$$MEL = \frac{P}{L_s 2 \operatorname{tg} \alpha \frac{a}{a+b}} \quad [\text{J/m}] \quad (5.10)$$

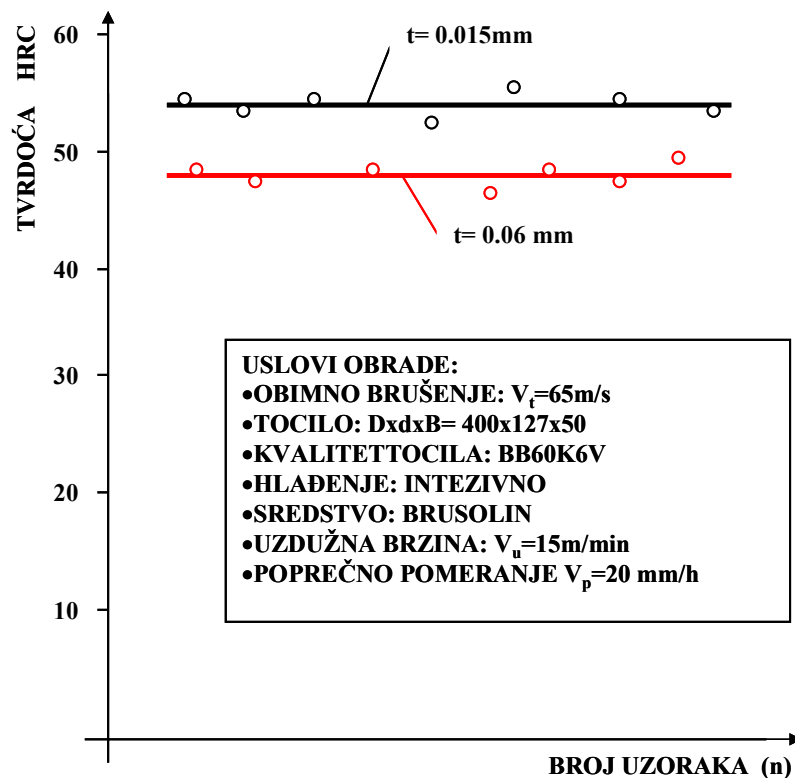
Treba napomenuti da visina zuba takođe utiče na kvalitet mlevenja, odnosno što je veća visina zuba ceđenje mase (odvodnjavanje) je turbulentnije, što može izazvati velike gubitke. Uglavnom, visina zuba se kreće oko (6÷8)mm, što zavisi od proračunske čvrstoće podnožja zubca.

5.3. Uticaj režima rezanja brušenja

Da bi pločasti noževi posle livenja i termičke obrade imali odgovarajuće rezne sposobnosti sa radne i ledne površine izvodi se proces prethodnog i završnog brušenja. Pri procesu brušenja, a posebno pri brušenju radne površine (oštrjenje zuba) treba obratiti pažnju na projektovane režime brušenja [3], (odnosno na kvalitet brusnog točila, uzdužni i poprečni korak radnog stola, količinu i vrstu rashladnog fluida i dubinu rezanja), jer se neadekvatnim režimima

rezanja može uticati kako na mehaničke, tako i na mikrostrukturne karakteristike rezne površine zuba, oštrinu reznih ivica i na pojavu mikro pukotina koje značajno utiču na intenzivnije početno habanje, a ponekad i na krzanje reznih ivica zuba.

Na slici 5.3 dat je uticaj promene dubine rezanja na tvrdoću rezne površine zuba pri nepromenjenim ostalim uslovima obrade.



Sl 5.3 – Uticaj promene dubine rezanja na tvrdoću rezne površine zuba

6. ZAKLJUČAK

Imajući u vidu da mlevenje vlakana u tehnologiji pripreme papirne mase ("pulpe") diktira mehanička i optička svojstva papira, to se pored tehnoloških parametara (tehnologije dobijanja papira) posebna pažnja poklanja tehnologiji izrade reznih elemenata, odnosno pločastih noževa. U okviru rada dat je osvrt na tehnologiju izrade pločastih noževa, statičku i dinamičku identifikaciju geometrije i na neke negativne pojave koje se pojavljuju u tehnologiji završne obrade rezne površine. Tribološki gledano, usled termodinamičkih uslova livenja i veoma teških uslova rezanja (učestali prekidi), neadekvatnim režimima rezanja može doći do

neželjenih efekata, odnosno ne odgovarajuće mikrostrukture i mikropukotina na reznoj površini. Usled toga u procesu rezanja od početka rada mlevene garniture u periodu intenzivnog habanja, dolazi do krzanja, odnosno odvajanja elemenata reznih ivica, čime se utiče na nepravilno rezanje, povećanu buku i vibracije mlina, povećanu potrošnju električne energije i sl. Kao posledica navedenih negativnosti, može se desiti da garnitura za mlevenje tokom celog svog eksploatacionog veka, koji je relativno kratak, radi nepravilno, što daje loše rezultate mlevenja i povećanu potrošnju energije mlina.

7. LITERATURA:

[1] Slavković R., The method technology manufacturing of disc-sharped cutters for paper pulp, Balkan pulp and paper news, Volume V, No 12, ISSN 1450-9482 (2004)

[2] Slavković R., Rnjaković M., Neke karakteristike tehnologije izrade pločastih noževa za mlevenje papirne mase, 29. Jupiter

konferencija sa međunarodnim učešćem, Zbornik radova, Beograd (2003)

[3] Slavković R., Tribološka istraživanja pločastih noževa za papirnu industriju, IX međunarodni simpozijum iz oblasti celuloze, papira, ambalaže i grafike, Zbornik radova, Zlatibor (2003)