

Povećanje učinkovitosti procesa prerade sjemena suncokreta primjenom novih postupaka zaštite za smanjenje intenziteta trošenja dijelova pužnih preša

KUI 20/2004
Prispjelo 28. rujna 2003.
Prihvaćeno 8. prosinca 2003.

V. Marušić, D. Štrucelj* i Ž. Ivandić

Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, Strojarski fakultet u Slavanskom Brodu, Trg I. B. M. 18, HR-35000 Slavonski Brod
*Sveučilište u Zagrebu, Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Pierottijeva 6, HR-10000 Zagreb

Pužne preše za cijedenje ulja očit su, sa stajališta uporabne trajnosti aparata, primjer tribosustava. Zbog abraziva (SiO_2) sadržanog u uljnom sjemenju, trošenje radnih površina ne može se izbjeći, ali se ispravnom tribološkom praksom gubici mogu smanjiti. Na noževima plašta košare ugrađenim u prešu za pretprešanje (tip PP) i prešu za završno prešanje (tip HP) uspoređena je otpornost na trošenje. Površine obrađene cementiranjem uspoređene su s novim postupcima zaštite kao što su boriranje, vanadiranje (tzv. duplex postupak), toplinsko prevlačenje višeslojnim SiC + DLC te plazmatsko naštrecavanje Al_2O_3 i $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{P}$ (naknadno fosfatiran Al_2O_3 sloj). Međusobna usporedba zaštitnih slojeva po radnim poljima preša provedena je na temelju intenziteta trošenja I_t izračunatog iz gubitka mase noževa po jedinici mase prerađenog sjemena suncokreta. Praćen je sastav materijala za prešanje: udjeli ulja, vode i ljuske u sjemenju i mlivu suncokreta prije ulaza u preše te udjeli ulja, vode i SiO_2 u mlivu po radnim poljima oba tipa preša. Utvrđeno je da se s povećanjem istrošenja noževa povisuje udjel preostalog ulja u pogači na izlazu iz preša te da udjel sitnih čestica mliva u isprešanom ulju poraste s početnih 1,5–2 % na 10-tak %, za koliko se i smanjuje preradljivost prešaone. Na primjeru usporedbe cementirani-duplex postupkom vanadirani noževi procijenjeno je smanjenje udjela izravnih troškova po toni prerađenog suncokreta, ali i bitno smanjenje neizravnih troškova – nastalih kao posljedica gubitaka tribološke naravi, kroz uštedu na utrošku energenata, heksana, filtarskih preša, povećanju iskorištenja prerade i smanjenju broja zastoja zbog zamjene istrošenih noževa sa četiri na dva puta godišnje.

Cljučne riječi: Pužne preše, radni dijelovi, zaštitni sloj, učinkovitost cijedenja, sjeme suncokreta

Uvod

U tijeku procesa prešanja sjemena uljarica i cijedenja ulja dolazi do odnošenja čestica metala s površine radnih dijelova pužnih preša. Suncokret, najzastupljeniji među visokouljnim sjemenjem na našem podneblju, u strukturi svoje građe sadrži čestice mikroabraziva (SiO_2) čije se djelovanje na radne površine preša ne može izbjeći.^{1,2} Trošenjem odnesene metalne čestice ostaju u iscijedenom sirovom ulju i/ili u uljnoj pogači i sačmi koja se uglavnom rabi za pripremu stočne hrane. Stupanj preradljivosti, položaj proizvodnje hrane kroz aktualni stav Vlade RH s programom strateškog okrupnjavanja u cilju formiranja jakog proizvođača koji bi se, osim na domaćem, isticao i na Hrvatskoj susjednim tržištima, kao i opći trend zahtjeva za ispravnom – ekološki proizvedenom hranom, nametnuli su potrebu za istraživanjem mogućnosti povećanja učinkovitosti cijedenja ulja kroz povećanje otpornosti trošenju dijelova pužnih preša.

Istraživanje je prihvaćeno od domaćih proizvođača ulja, čime su pored laboratorijskih omogućena i eksperimentalna ispitivanja izravno na pužnim prešama tijekom normalne eksploatacije.

Budući da se u uljarama najčešće primjenjuju postupci cementiranja dijelova preša, ispitivanjem su obuhvaćeni i novi postupci modificiranja površina radi zaštite od trošenja: boriranje, vanadiranje duplex postupkom, toplinsko prevlačenje višeslojnim SiC + DLC te plazmatsko naštrecavanje Al_2O_3 i $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{P}$ (naknadno fosfatiran sloj Al_2O_3).

Ispitivanje tih postupaka zaštite od trošenja, za koje u stručnoj literaturi i postojećoj praksi nije moguće naći primjere primjene na radne dijelove preša, pruža mogućnost njihove međusobne i usporedbe s postojećim rješenjima u tribološkim uvjetima kakvi vladaju u pužnim prešama.

Analiza tehničko-tehnoloških karakteristika pužnih preša i uvid u moguće čimbenike koji utječu na trošenje radnih dijelova preša (tlak, udjeli ulja, vode i ljuske po radnim poljima te ostatak ulja u pogači – sačmi ovisno o tipu preše) treba pružiti i mogućnost primjene rezultata u praksi. To je posebno aktualizirano u kontekstu bitno različitog konceptijskog pristupa preradi uljnog sjemena: predprešanje + ekstrakcija ili samo završno prešanje.

Pregled stanja pogona i postrojenja

Snimanjem postojećeg stanja utvrđeno je sljedeće:

- u Hrvatskoj među uljnim sjemenjem iz kojega se ulje cijedi u pužnim prešama dominira suncokret sa $\approx 65\,000$ tona, u odnosu na $\approx 20\,000$ tona uljane repice i isto toliko tona soje,³

- uvjeti prijama, skladištenja i sušenja uljnog sjemenja takvi su da se svi hibridi i sorte iste vrste biljke međusobno miješaju,

- tehnološka priprema mliva (mehaničko-vlažno-toplinski tretman sjemenja iz kojega se ulje cijedi u pužnim prešama) sastoji se u čišćenju, ljuštenju i mljevenju sjemena te kondicioniranju (izravno i posredno) vodenom parom na temperaturu 90–95 °C (ovisno o tipu preše),

- kod novih hibrida suncokreta izražen je problem ljuštenja, što rezultira povećanim udjelom ljuske u mlivu i ulja u ljusci koje se u tijeku ljuštenja izgubi,

- nakon istrošenja uporabom originalni-uvozni dijelovi preša zamjenjuju se domaćim rješenjima istih geometrijsko-dimenzijskih karakteristika,

- najčešće domaće zamjensko rješenje zaštite dijelova preša od trošenja je cementiranje, ali njime nisu dostignute količine sirovina prerađene originalnim uvoznim dijelovima,

- kriterij otkaza i zamjene dijelova preša zbog istrošenja je povećanje udjela čestica mliva u isprešanom ulju, odnosno prevelik ostatak ulja u pogači na izlazu iz preša.

Odabir reprezentantnih tipova preša

Kao reprezentantne pužne preše za provedbu eksperimentalnih ispitivanja odabrana su oba tipa (u svijetu i kod nas) uporabljenih preša:

- za pretprešanje, tip PP (od engl. pre-pressing for solvent extraction) kod kojih je tehničko-tehnološkom dokumentacijom projektirani ostatak ulja u pogači 18–20 %, i

- za završno prešanje, tip HP (od engl. high pressure) kod kojih je tehničko-tehnološkom dokumentacijom projektirani ostatak ulja u pogači 6–8 %.

Radne dijelove preša čine:

- pužni segmenti, čijim se slaganjem na vratilo formira pužnica koja ima zadatak da transportira mlivo od ulaza prema izlazu iz preše, i

- noževi plašta košare, čijim se slaganjem na jarmove formira cjedilna korpa.

Cijedenje ulja odvija se na račun smanjenja slobodnog obujma između pužnice i plašta košare (cjedilne korpe), slika 1.

Od ulaza prema izlazu iz preše smanjuje se razmak između noževa plašta košare (u daljnjem tekstu samo noževa) i taj razmak ujedno definira tzv. radna polja.



Slika 1 – Izgled otvorene pužne preše s rasporedom radnih dijelova

Fig. 1 – View of the open worn press

Preša za pretprešanje (PP), preradljivosti 40 t d⁻¹ oljuštenog suncokreta ima četiri radna polja. Prvi razmak između noževa iznosi 0,75 mm, drugi 0,50 mm, treći 0,35 mm i četvrti 0,25 mm. Ukupna radna duljina cjedilne korpe iznosi ≈ 1100 mm. Maksimalni radni tlak doseže vrijednost ≈ 250 bara u trećem radnom polju.^{4,5} Brzina vrtnje pužnog vratila iznosi 21 min⁻¹. Nakon izlaska iz preše uljna pogača se melje, kondicionira i upućuje na ekstrakciju, gdje se udjel ulja u sačmi smanjuje na 1–2 %. Trajanje ekstrakcije u izravnoj je ovisnosti o udjelu ulja u pogači.

Preša za završno prešanje (HP), preradljivosti 35 t d⁻¹ oljuštenog suncokreta, ima 7 radnih polja, a razmaci između noževa iznose: u prvom 0,65 mm, u drugom i trećem 0,30 mm, u četvrtom i petom 0,25 mm te u šestom i sedmom 0,15 mm. Ukupna duljina cjedilne korpe (7 duljina noža) iznosi ≈ 1960 mm. Brzina vrtnje pužnog vratila iznosi 35 min⁻¹. Maksimalni radni tlak doseže vrijednosti ≈ 450 bara u trećem na prijelazu u četvrto radno polje.^{6,7} Prema projektnoj dokumentaciji uljna pogača na izlazu iz preše treba imati do 8 % ulja, a služi za pripremu stočne hrane.

Snimanjem stanja odabranih reprezentanata utvrđeno je da su u oba tipa preša posljednjih desetak godina kao domaća rješenja uglavnom uporabljeni dijelovi s cementiranim zaštitnim slojem (dubine cementiranog sloja nakon pougličavanja u granulatu iznosile su 0,5–0,8 mm, ovisno o isporučitelju) te povremeno kod preše za završno prešanje dijelovi s površinski zakaljenim alatnim čelikom za hladni rad. Vlastitim istraživanjem⁸ i praćenjem dostupne stručne literature utvrđeno je da trajnost dijelova (vrijeme uporabe odnosno količina prerađenih sirovina do otkaza) najviše ovisi o kvaliteti zaštitnog sloja dijelova preše,⁹ ali i o kvaliteti sjemena odnosno o pripremljenosti mliva za prešanje.¹⁰ Kvaliteta sjemena suncokreta u mnogome je ovisna o uvjetima neposredno prije i za vrijeme žetve te o vrsti hibrida.¹¹ Podizanjem uljnosti kod hibrida novih selekcija došlo je do promjene tehničko-tehnoloških karakteristika, što je rezultiralo sve tanjom ljuskom koja se teško odvaja od jezgre.¹² Na kvalitetu ljuštenja (projektirani ostatak ljuske u mlivu je 12–14 %), osim vrste hibrida, utječe i podešenost ljuštilica za nadolazeće sjeme, što ukazuje na potrebu permanentne kontrole i prilagodbe "u hod".¹³

Plan istraživanja

Kao dijelovi preša na kojima će biti provedena eksperimentalna ispitivanja zaštitnih slojeva odabrani su noževi plašta košare. Jedan od razloga je taj što je u isto radno polje preše (isti tlak, udjeli ulja i "abraziva") moguće ugraditi veći broj uzoraka-noževa s ispitivanim zaštitnim slojem (ovisno o tipu preše u jedno radno polje montira se 50–70 noževa, a samo 1–2 pužna segmenta), a daleko važniji razlog je činjenica da se radi o primjeni posve novih postupaka zaštite. Prethodnim planom pokusa bilo je predviđeno da u svako radno polje, zajedno s cementiranim noževima u vlasništvu uljara, budu ugrađena po tri uzorka-noža s novim postupcima zaštite. Iako i izravni troškovi izrade noževa s vlastitim varijantnim postupcima zaštite nisu zanemarivi, prosuđeno je da zbog eventualno mogućih neizravnih troškova (neizravni troškovi zbog zastoja u proizvodnji daleko nadmašuju izravne) istraživanja budu provedena na nešto manjem broju uzoraka-noževa: uglavnom ugrađenim u najopterećenija radna polja.

Za pokuse, pored cementiranih slojeva na osnovnom materijalu Č4320 (krom-manganov čelik za cementiranje: $w \approx 0,17\% \text{ C}$; $w \approx 1\% \text{ Cr}$ i $1,1\% \text{ Mn}$) koji će poslužiti kao referentni, odabrani su i novi postupci modificiranja površina kojima se postižu znatno veće površinske tvrdoće nego cementiranjem: boriranje, vanadiranje (duplex postupkom), toplinsko prevlačenje višeslojnim SiC + DLC (silicijev karbid + dijamantu sličan ugljik), te plazmatsko naštrcavanje Al_2O_3 (aluminijev trioksid) i $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{P}$ (nakedno fosfatiran sloj Al_2O_3). Kao osnovni materijal za izradu svih uzoraka-noževa odabran je, kao i za cementiranje, Č4320.

Da bi se izbjegao utjecaj hrapavosti na otpornost trošenju, radne površine svih uzoraka-noževa prije nanošenja zaštitnih slojeva obrađene su brušenjem ($R_a = 0,80 \mu\text{m}$).

Dimenzije noževa preše za predprešanje (PP) bile su $275 \times 18 \times 10 \text{ mm}$, $m \approx 370 \text{ g}$, a noževa preše za završno prešanje (HP) $278 \times 25 \times 10 \text{ mm}$, mase $\approx 580 \text{ g}$. Radna površina noža, izložena kontaktu s mlivom približno je iste veličine u obje preše: 2750 mm^2 u PP odnosno 2780 mm^2 u HP.

Modificiranim planom pokusa prihvaćeno je da u sva četiri radna polja preše za predprešanje (PP) budu ugrađeni po tri cementirana i po tri borirana uzorka-noža te u najopterećenije, treće radno polje još po tri uzorka-noža sa svakim od novih postupaka zaštite od trošenja (ukupno $3 \text{ noža} \times 5 \text{ postupaka} = 15 \text{ noževa}$). U prešu za završno prešanje (HP) ugrađena su u svako od 7 radnih polja po tri cementirana, borirana i duplex postupkom vanadirana uzorka-noža ($3 \times 7 \times 3 = 63 \text{ noža}$).

Pored ispitivanja otpornosti trošenju noževa planom pokusa predviđeno je na oba tipa preša praćenje udjela ulja, vode i ljuške u sjemenu suncokreta te u mlivu na izlazu iz kondicionera, odnosno ostatka ulja u pogači na izlazu iz preša. Radi promjene svojstava mliva od ulaza prema izlazu iz preše predviđena je i povremena kontrola udjela ulja, vode i SiO_2 po svim radnim poljima oba tipa preša.

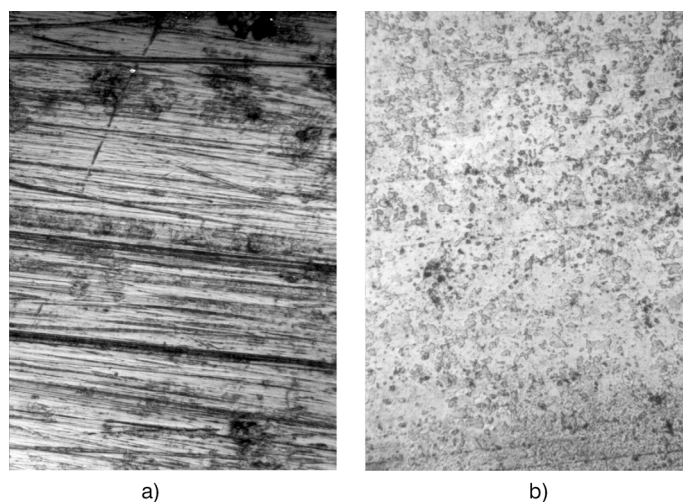
Rezultati eksperimentalnih istraživanja

Intenzitet trošenja noževa u oba tipa preša

Noževi-uzorci ugrađeni su u oba tipa preša na početku iste kampanje prerade suncokreta. Vađenje noževa s varijantnim postupcima zaštite obavljeno je nakon zaustavljanja preša zbog periodičkog remonta i zamjene radnih dijelova kad je od strane djelatnika uljare ocijenjeno da je udjel čestica mliva u iscijeđenom ulju previsok. Mjerenje mase noževa prije ugradnje i nakon uporabe izvršeno je na vagi osjetljivosti $0,01 \text{ g}$. Preša za pretprešanje do zaustavljanja preradila je 2800 tona, a preša za završno prešanje $m = 3500 \text{ tona}$ oljuštenog suncokreta.

S obzirom na to da su preše preradile različite količine sirovina do otkaza-zamjene dijelova, iz gubitka mase noževa (srednja vrijednost tri uzorka) izračunat je intenzitet trošenja I_t izražen u gramima po toni prerađenog oljuštenog suncokreta, tablica 1.

Pregledom radnih površina noževa pod svjetlosnim mikroskopom (povećanje 50 do 500 puta) utvrđeno je da se tragovi abrazijskog trošenja (gotovo paralelne brazde u smjeru relativnog gibanja mlivo-radna površina), tzv. "čista abrazija", uočavaju tamo gdje je abraziv (SiO_2) tvrdi od zaštitnog sloja (cementirani) i osnovnog materijala s kojega je zaštitni sloj odnesen (dio boriranih i Al_2O_3 slojeva), slika 2a. Na radnim površinama gdje je ostao zaštitni sloj tvrdi od mikroabraziva uopće se ne uočavaju tragovi trošenja, površine imaju gotovo polirani izgled uz mjestimično ljuškanje graničnog sloja, tzv. "nulta abrazija", slika 2b.



Slika 2 – Tragovi trošenja radnih površina noževa. Povećanje $200\times$; a – "čista abrazija" (cementirani i dio boriranog i Al_2O_3 sloja), b – "nulta abrazija" (višeslojni SiC+DLC i vanadirani sloj)

Fig. 2 – Characteristic signs of wear on knives after their application, Enlargement $200\times$; a – "pure abrasion" (carburised and part of boron treated and Al_2O_3 layer), b – "null abrasion" (multilayer SiC+DLC and duplex treated vanadium layer)

Kvaliteta sjemena, mliva i pogače

U uljarama se svakodnevno provodi kontrola sjemena suncokreta, uspješnosti ljuštenja i sastava mliva (udjeli ulja, vode i ljuške) na izlazu iz kondicionera prije ulaska u preše. Karakteristični rezultati tih analiza za oba tipa preša u pro-

Tablica 1 – Srednji intenzitet trošenja noževa-uzoraka po radnim poljima preše za predprešanje (PP) i preše za završno prešanje (HP)
 Table 1 – Average wear intensity of samples-knives according to working fields in pre-pressing (PP) and high pressure (HP) presses

Zaštitni sloj Protected layer	Tip preše Type press	Srednji intenzitet trošenja uzoraka-noževa, $I_t / g t^{-1} \times 10^4$ Average wear intensity of samples-knives, $I_t / g t^{-1} \times 10^4$						
		Radno polje Working field						
		I	II	III	IV	V	VI	VII
CEM	PP	3,26	4,43	5,53	3,95	–	–	–
	HP	22,23	27,85	42,57	27,99	23,47	22,07	17,56
BOR	PP	5,50	11,25	16,21	12,46	–	–	–
	HP	24,34	45,20	109,02	41,65	26,23	11,74	5,49
VAN	PP	1,23	2,81	3,11	2,65	–	–	–
	HP	5,34	8,37	14,73	13,71	11,26	10,07	4,00
SiC+DLC	PP	–	1,60	1,71	–	–	–	–
	HP	–	6,25	8,16	–	–	–	–
Al ₂ O ₃	PP	–	4,53	4,96	–	–	–	–
	HP	–	20,23	34,64	–	–	–	–
Al ₂ O ₃ +P	PP	–	2,48	3,11	–	–	–	–
	HP	–	19,15	24,97	–	–	–	–

matranom razdoblju od približno tri i pol mjeseca prikazani su u tablici 2. U istoj su tablici dani i rezultati ispitivanja udjela SiO₂ u mlivu utvrđeni gravimetrijski.¹⁴

Uzorke za utvrđivanje udjela ulja, vode i SiO₂ u mlivu po radnim poljima preše moguće je uzeti kad se preša zaustavi. Pri tome do tada relativno žitko mlivo zbog hlađenja u preši zapekne ("preša zapeče"),¹⁵ što ukazuje na to da je ovaj postupak teško provediv, odnosno skup, zbog troškova zastoja radi odstranjivanja zapečenog mliva s radnih dijelova preše prije ponovnog puštanja u pogon.

Na oba tipa preša u dva su navrata uzeti uzorci mliva po radnim poljima. Prvi put preše su zaustavljene nakon prerađenih oko 1200 tona suncokreta, a drugi put nakon što je u uljarama procijenjeno da je, zbog povećanog ostatka ulja u pogači i prevelike količine sitnih čestica mliva u isprešanom ulju, potrebno provesti periodički remont preše.

Povremenom je kontrolom u obje uljare utvrđeno da se udjel sitnih čestica mliva u isprešanom ulju od 1,5–2 % na početku rada preša s novim radnim dijelovima povećao na 5,5–6 % nakon prerađenih oko 1200 tona suncokreta, da bi neposredno prije periodičkog remonta u PP preši dosegao ≈ 8 %, a u HP preši nešto preko 10 %. Promatranjem se uočava da najveća količina mliva s iscijedenim uljem između noževa prolazi u II. i III. polju kod PP preše, a u III., IV. i nešto manje u V. polju kod HP preše. Istodobno je uočen i porast udjela ulja u pogači na izlazU iz preša: u PP preši ostatak ulja na apsolutnu suhu tvar u pogači na početku rada s novim radnim dijelovima iznosio je između 19,5 i 20 %, a u HP preši oko 8,6 %, da bi se prema kraju

Tablica 2 – Karakteristični sastav sjemena suncokreta i mliva iz kondicionera prije ulaska u pužne preše

Table 2 – Characteristic composition of sunflower seed and ground material from conditioner prior to entrance into the screw presses

Tip preše Type press	Sastojci Components	Sjeme suncokreta, w/% Sunflower seed, w/%	Mlivo iz kondicionera, w/% Ground material from conditioner, w/%
pretprešanje pre-pressing (PP)	ulje na apsolutnu suhu tvar oil (dry matter basis)	46,3	52,7
	voda water	6,2	6,5
	ljuska hull	26,5	15,2
završno prešanje high pressure (HP)	ulje na apsolutnu suhu tvar oil (dry matter basis)	45,5	48,9
	voda water	6,5	1,5
	ljuska hull	26,1	14,9

promatranog razdoblja u PP preši povećao na $\approx 24\%$ a u HP preši na $\approx 11,5\%$.

Rezultati analize SiO_2 u mlivu po radnim poljima obje preše te udjela vode i ulja kako u mlivu tako i pogači (preračunati na apsolutno suhu tvar) prikazani su u tablicama 3 i 4. Udjeli ulja u mlivu ispitani su prema ISO 659,¹⁶ a vode prema ISO 665.¹⁷ Udjel SiO_2 određen je gravimetrijski.

Tablica 3 – Udjel ulja, vode i SiO_2 u mlivu po radnim poljima te u pogači preše za pretprešanje (PP)

Table 3 – Oil, water and SiO_2 fraction in ground material along the working fields of prepressing (PP) press and in the final cake

Radno polje Working fields	Ulje na apsolutno suhu tvar nakon prerađenih tona, w/% Oil (dry matter basis) after processed tons, w/%		$w_{\text{H}_2\text{O}}/\%$	$w_{\text{SiO}_2}/\%$
	1200	2800		
			Nakon prerađenih 2800 t After processed 2800 tons	
I	51,9	52,2	6,5	0,74
II	44,2	44,8	6,6	0,68
III	29,1	30,8	7,9	0,37
IV	24,3	26,1	8,3	0,25
pogača final cake	22,2	24,1	8,5	–

Tablica 4 – Udjel ulja, vode i SiO_2 u mlivu po radnim poljima te u pogači preše za završno prešanje (HP)

Table 4 – Oil, water and SiO_2 fraction in ground material along the working fields of high pressure (HP) press and in the final cake

Radno polje Working fields	Ulje na apsolutno suhu tvar nakon prerađenih tona, w/% Oil (dry matter basis) after processed tons, w/%		$w_{\text{H}_2\text{O}}/\%$	$w_{\text{SiO}_2}/\%$
	1200	3500		
			Nakon prerađenih 2800 t After processed 2800 tons	
I	50,0	50,5	1,8	0,71
II	49,7	49,8	1,9	0,64
III	39,3	43,7	2,6	0,32
IV	27,9	30,3	2,9	0,24
V	21,9	23,7	3,1	0,15
VI	12,6	17,1	3,6	0,17
VII	10,6	14,6	3,8	0,19
pogača final cake	10,2	11,5	3,9	–

Analiza rezultata

Ovisnost otpornosti trošenju noževa o vrsti zaštitnog sloja

Pregledom nakon zaustavljanja i rastavljanja preša uočeno je da su noževi dosta oštećeni, dok se na noževima s varijantnim postupcima zaštite SiC + DLC i onim vanadiranim oštećenja gotovo nisu niti uočavala, vrlo malo na onim s plazmatski naštrcanim Al_2O_3 slojevima te nešto više na vlastitim noževima-uzorcima cementiranim u plinskoj atmosferi. Borirani su noževi, iako puno tvrdi, bili oštećeni istrošenjem čak više nego cementirani noževi u vlasništvu uljara, što potvrđuju i rezultati izračunatog intenziteta trošenja I_t (tablica 1). Iz iste se tablice uočava da je trošenje noževa najveće u III. radnom polju u kojemu tlak doseže svoje najveće vrijednosti. To potvrđuju i rezultati promatranja i praćenja rada preše pri kojemu je uočeno da je u tom dijelu plašta košare najveća količina čestica mliva koja između noževa prolazi s iscijedenim uljem.

Udjel ulja, vode i SiO_2 u mlivu duž pužne zavojnice mijenja se skokovito, u nekoliko stupnjeva (tablice 3 i 4). Najizrazitije su promjene između drugog i trećeg radnog polja kod PP preše odnosno trećeg i četvrtog polja kod HP preše.

Karakteristično je da udjel SiO_2 opada od ulaza prema izlazu iz preša dok se tlak povisuje (a udjel ulja u mlivu se smanjuje). To je najvjerojatnije posljedica njegovog ispiranja iscijedenim uljem u fazi predprešanja dok je mlivo još sipko, za razliku od faze isprešavanja u kojoj je mlivo postalo relativno kompaktno "plastično".

Ako se cementirani sloj (najčešće primjenjivan na noževima oba tipa preša) uzme kao referentni, onda se iz izračunatog intenziteta trošenja noževa u trećem – najopterećenijem radnom polju oba tipa preša uočava do $\approx 2,5$ puta intenzivnije trošenje boriranih slojeva, ali i 15-tak % niže trošenje naštrcanog Al_2O_3 sloja, a naknadno fosfatiranog Al_2O_3 niže za $\approx 80\%$. Noževi s višeslojnim SiC + DLC slojem u preši za pretprešanje tip PP troše se oko tri puta manje, a u preši za završno prešanje tipa HP gotovo pet puta manje. Duplex postupkom vanadirani noževi imali su intenzitet trošenja u III. radnom polju PP preše 1,8 puta manji, a u preši tipa HP ≈ 3 puta manji od cementiranih.

Moguće uštede primjenom noževa otpornijih trošenju

Porast udjela sitnih čestica mliva u isprešanom ulju tijekom rada preša, od 1,5–2 % na početku do 10-tak % neposredno prije periodičkog remonta, posljedica je povećanja razmaka između noževa plašta košare zbog istrošenja radnih površina. S obzirom na to da je u tome mlivu sadržano ulje, ono se nakon taloženja pomiješa sa svježim mlivom i vraća u preše radi cijedenja. Pri tome se znači za količinu istaloženog mliva smanjuje realna preradivost prešaone, od neizbježnih $\approx 2\%$ do već vrlo visokih 10-tak %. Dodatno, s povećanjem udjela mliva u isprešanom ulju povećava se i učestalost začepijavanja filtera, potreba njihovog čišćenja i zamjene zbog oštećivanja, a time i neizravni troškovi zbog zastoja u radu.

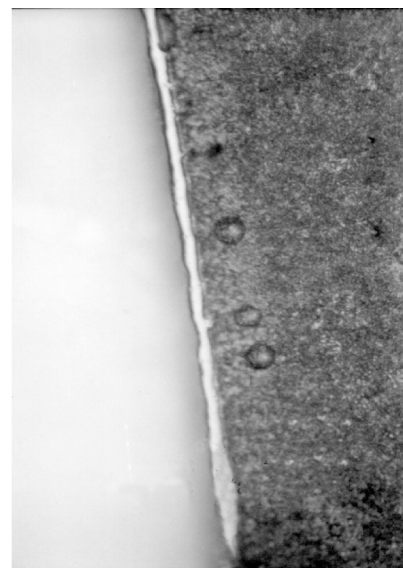
Za uočeno povišenje udjela ulja na apsolutno suhu tvar u pogači, $s \approx 19,5\%$ u PP preši i $\approx 8,6\%$ u HP preši pri radu s novim radnim dijelovima, na $\approx 24,1\%$ u PP preši i $11,5\%$ u HP preši nešto prije remonta, može se reći da je ne samo posljedica trošenja noževa nego još i više dimenzionog istrošenja segmenata koji čine pužnicu. Ipak se može pretpostaviti da u tome niti utjecaj noževa nije zanemariv, što se može dovesti u vezu s promjenom trojektorije gibanja mliva kroz prešu u uvjetima rada s istrošenim noževima.¹⁵ Na to ukazuju i rezultati vlastitih promatranja rada preša: ugradnja novih noževa umjesto istrošenih, uz nastavak rada s djelomično oštećenim pužnim segmentima dovodi do smanjenja za $0,5\%$ ostatka ulja u pogači. Povećanje udjela ulja u pogači pridonosi sporijoj ekstrakciji te većem gubitku otapala (najčešće heksana). Procjena je da 1% veći ostatak ulja u pogači rezultira povećanjem potrošnje heksana za $0,5\%$ po toni uljne pogače.¹¹

Čestice metala odnijete trošenjem s površina radnih dijelova preša, ali vjerojatno i ljuštilica, mlinova čekićara za drobljenje pogače dijelom ostaju u iscijeđenom ulju i/ili u sačmi za stočnu hranu. Zbog prooksidativnog djelovanja u uljama se poklanja dužna pažnja uklanjanju tragova metala iz ulja. Neka istraživanja ukazuju na to da se ukupni gubici rafinacijom ulja kreću oko $5,5\%$.¹⁸ Nažalost, nema detaljnijih istraživanja doprinosa metala tolikom gubitku, ali ako od ukupnog gubitka rafinacijom na posljedice prisustva metala otpada samo 1% , to bi na ukupni godišnji urod suncokreta u Hrvatskoj od oko 65 000 tona, odnosno oko 26 000 tona sirovog ulja, procijenjeni gubitak od samo 1% iznosio oko 260 tona ulja.

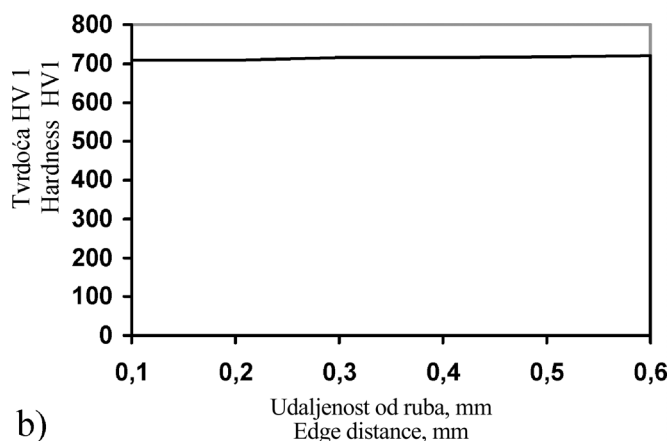
Od ispitanih novih postupaka zaštite dijelova preša višeslojni SiC+DLC zaštitni sloj imao je najveću otpornost trošenju, međutim zbog vrlo visokih troškova opreme za njihovo nanošenje-plazmom potpomognutim postupkom kemijskog prevlačenja iz parne faze (tzv. PACVD postupak) njegova primjena zasad nije realna. S obzirom na raspoloživu instaliranu opremu trenutno je najbliže primjenjivi vanadirani sloj, nanijet na noževe tzv. duplex postupkom: prethodno pouglijčeni Č4320 u plinskoj atmosferi pri $930\text{ }^\circ\text{C}$ 10 h^{-1} , indirektno zakaljen u ulju s $810\text{ }^\circ\text{C}$ 30 min^{-1} i popušten pri $170\text{ }^\circ\text{C}$ 30 min^{-1} na zraku te vanadirani pri $950\text{ }^\circ\text{C}$ 4 h^{-1} i zakaljen gašenjem u vodi.

Mikrostruktura rubne zone vanadiranih noževa, sastavljena od vanadijeva karbida V_8C_7 prikazana je na slici 3a, a izmjerena površinska tvrdoća iznosila je oko 2000 HV0,05. Debljina zaštitnog sloja određena pomoću analizatora slike LECO 2001 iznosila je $\sim 7\text{ }\mu\text{m}$. Tok tvrdoće HV1 na presjeku uzoraka ispod vanadiranog sloja prema jezgri dosta je ujednačen – visoke tvrdoće (isto kao i kod cementiranih noževa), dijagram na slici 3b.

Kako se vanadiranje tzv. duplex postupkom provodi na prethodno cementiranim noževima, to se cijena izrade noževa sa zaštitnim slojem vanadijeva karbida može procijeniti na 50% višu od nabavne cijene cementiranih. Uz samo dvostruko dulju trajnost do otkaza-zamjene zbog istrošenja, procijenjeno učešće izravnih troškova duplex postupkom vanadiranih noževa iznosilo bi $\approx 0,7\text{ EUR}$ po toni prerađenog suncokreta, za razliku od "samo" cementiranih noževa kod kojih ti troškovi iznose oko 1 EUR po toni prerađenog suncokreta. Iz analize izravnih troškova jasno je da te uštede nisu velike, svega 1300 do 1600 EUR-a po



a)



b)

Slika 3 – Vanadirani noževi: a) karakteristična mikrostruktura zaštitnog sloja i podsloja, povećanje 200 \times ; nagriženo 3 % nitalom; b) tok tvrdoće ispod vanadijeva karbida

Fig. 3 – Vanadium treated knives: a) Typical microstructure of the protective layer and the sub-layer. Enlargement 200 \times , 3 % nital etching; b) Hardness flow under vanadium-carbide layer

jednoj preši do zamjene noževa zbog istrošenja. Međutim, ako se mogućem smanjenju izravnih troškova pridodaju uštede na smanjenim gubicima energenata, heksana, filtarskih preša i većem kapacitetu prerade (neizravni troškovi), koji više nego deseterostruko premašuju izravne troškove, onda postaje jasnija prednost primjene zaštitnih slojeva koji produljuju radnu trajnost noževa. Kao dodatnu prednost ovdje treba navesti i smanjenje broja neplaniranih zastoja u radu prešaone s dosadašnjih tri u tijeku kampanje (zbog zamjene istrošenih dijelova preša) na samo jedan planirani-periodički i jedan generalni godišnji remont.

Zaključak

Radi pronalaženja boljih rješenja u ovom su istraživanju primijenjeni neki novi postupci modificiranja površina radi produljenja trajnosti radnih dijelova pužnih preša i uspoređeni s uobičajenim postupcima zaštite.

Analizom radnih površina noževa nakon ispitivanja u prešama utvrđeno je da se kod slojeva tvrdih od mikroabraziva (SiO_2) sadržanog u ljusti suncokreta u prvo vrijeme trošenje odvija po mehanizmu nulte abrazije (višeslojni SiC + DLC i vanadirani), a kasnije zbog umora površine (Al_2O_3 , $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{P}$ i borirani). Nakon što zaštitni sloj bude odnesen, trošenje osnovnog materijala i slojeva mekših od mikroabraziva (cementirani noževi) odvija se po mehanizmu čiste abrazije. Pri tome je jasno izražen utjecaj podsloja koji, osim što treba biti dovoljno tvrda podloga ispod površinskog sloja, svojom građom i dubinom treba omogućiti i otpornost naglom trošenju u uvjetima lokalnog odnošenja zaštitnog sloja. U uvjetima dinamičkog opterećenja pri visokim tlakovima kakvi vladaju u pužnim prešama do punog izražaja dolazi duplex postupkom vanadirani sloj koji osim visoke površinske tvrdoće ima podsloj tvrdoće i dubine sličan zaštitnom sloju kod cementiranih noževa.

Iz 4–6 puta većeg trošenja noževa u preši za završno prešanje od onih ispitanih u preši za pretprešanje, s obzirom na to da je analizom utvrđeni udjel ulja i abraziva duž pužnice oba tipa preša približno isti, može se zaključiti da je povećanje intenziteta trošenja najvećim dijelom posljedica djelovanja tlaka koji je u preši za završno prešanje puno viši (max. 450 bara) od onoga u preši za pretprešanja (max. 250 bara).

Analiza troškova na primjeru usporedbe cementirani – duplex postupkom vanadirani noževi pokazala je da bi se primjenom zaštitnih slojeva otpornijih trošenju ne samo smanjili direktni troškovi kroz nižu participaciju cijene noževa po toni prerađenog suncokreta nego i da su moguće daleko veće uštede na indirektnim troškovima-gubicima tribološke naravi. Te se uštede ogledaju u smanjenoj potrošnji energenata (el. energija, vodena para i heksana u pogonu ekstrakcije), manjim gubicima pri rafinaciji i na filterskim prešama te na koncu kroz smanjenje udjela sitnih čestica mliva u isprešanom ulju, za 5 do 7 % bolje iskorištenje preradljivosti prešaone. Kao dodatnu prednost treba istaknuti i smanjenje broja zastoja u radu prešaone s dosadašnjih četiri tijekom kampanje na samo jedan periodički i jedan generalni godišnji remont zbog zamjene istrošenih dijelova pužnih preša.

Simboli i skraćenice Symbols and abbreviations

m	– masa, t – mass, t
P	– preradljivost, t d^{-1} – production, t d^{-1}
w	– maseni udjel, % – mass fraction, %
PP	– preša za pretprešanje – pre-pressing screw press

HP	– preša za završno prešanje – high pressure
CEM	– cementirani – carburised
BOR	– borirani – borornised
VAN	– vanadirani – vanadised
SiC + DLC	– višeslojni silicijev karbid + dijamantu sličan ugljik – multilayer silicon carbide + diamond like carbon
Al_2O_3	– aluminijev trioksid – aluminium trioxide
$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{P}$	– nakanadno fosfatiran sloj Al_2O_3 – additional phosphatized Al_2O_3 layer
I_t	– intenzitet trošenja $\text{g t}^{-1} \times 10^{-4}$ – wear intensity $\text{g t}^{-1} \times 10^{-4}$

Literatura References

1. M. Singer, *Seife-Öle-Fette-Wächse* **16** (1976) 462.
2. F. H. Schneider, D. Khoo, *Fette-Seifen-Anstrichmittel* **9** (1986) 329.
3. ... Dan polja suncokreta i soje, Profitni centar Sopot-PIK Vinkovci, Koncern Agrokora, 2003.
4. M. Knuth, K. D. Miksche, *Seife-Öle-Fette-Wächse* **14** (1977) 385.
5. Th. Homann, M. Knuth, K. D. Miksche, W. Stern, *Fette-Seifen-Anstrichmittel* **4** (1978) 146.
6. J. A. Ward, *J. Am. Oil Chemists' Soc* **6** (1976) 261.
7. L. H. Tindale, S. R. Fill-Hass, *J. Am. Oil Chemists' Soc* **6** (1976) 265.
8. V. Marušić, Istraživanje mogućnosti produljenja vijeka trajanja dijelova pužnih preša za cijedenje biljnog jestivog ulja, Magistarski rad, FSB Zagreb, 1994.
9. V. Gyula, *Olaj-Szappan-Kozmetik* **2** (1985) 28.
10. S. E. Erdelyi, *Olaj-Szappan-Kozmetik* **3** (1984) 86.
11. Ž. Mašić, V. Bogdan, S. Đurđev, *Uljarstvo* **20** (1) (1983) 41.
12. J. Turkulov, E. Dimić, M. Sotin, *Uljarstvo* **20** (1) (1983) 19.
13. J. Turkulov, E. Dimić, Đ. Karlović, S. Stefanović, *Uljarstvo* **25** (2) (1988) 93.
14. P. Sabioncello, I. Filipović, Laboratorijski priručnik za anorgansku tehničku kemijsku analizu I. opći dio, NK "Juraj Križanić", Zagreb, 1946, str. 29–49.
15. V. V. Beloborodov, Osnovnie processi proizvodstva rastiteljnih masel, Piščevaja promišljenost, Moskva, 1966, str. 219–250.
16. ... ISO 659, 1998, International Standard Oilseeds-Determination of oil contents (Reference method).
17. ... ISO 665, 1977, International Standard of Oilseeds-Determination of Moisture and Volatile Matter Content.
18. I. Mezei, E. Hartig, Z. Manojlović, Zbornik Savjetovanja uljara SFRJ, Beograd 1991. str. 184.

SUMMARY

Increasing the Efficiency of Oilseed Processing through Application of the New Procedure Parts of Screw Presses with Improved Wearing Resistance*V. Marušić, D. Štrucelj* and Ž. Ivandić*

Oil screw presses represent a striking example of tribosystem in which, due to the the abrasive (SiO_2) present in oilseeds, the wearing out cannot be avoided, but by application of appropriate tribological procedures the material losses can be reduced. Knives installed on walls of the yoke in the pre-pressing (type PP) and final pressing device (type HP) were investigated by comparing the wear resistance of the carburised surface layers (usually used in oil mills) and newly introduced protection procedures: boron and vanadium carbide protective layer application (so called duplex procedure), thermal coating of multilayer SiC + DLC and plasma spattering of Al_2O_3 and $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{P}$ (additional phosphatizing of Al_2O_3 layer). The comparison of protective layers along the operational fields of the press was carried out on the basis of wear intensity I_v , calculated from the mass loss of the knives against the mass of processed sunflower seeds.

The amount of the hulls was determined in sunflower seed and in ground material prior to the entrance of the presses. In the kernel and in the hull of the seed, in ground material before pressing and along operational fields of both presses as well as in the cake at the exit of the presses, oil, water and SiO_2 contents, were monitored. It was established that the increase of knife wearing resulted in increasing of residual oil quantities in the final cake (from 19.5 % to 24.1 % in PP and 8.6 % to 11.5 % in HP press). Simultaneously, fine-size particles in crude oil increased from the initial 1.5–2 % up to 10 %, for which amount of the installed capacity of pressing plant was reduced.

After comparison of carburised knives and by duplex procedure vanadium protected ones, not only an estimation of cost reduction for each ton of processed sunflower seed was foreseen, but also the essential decrease of indirect losses (through the reduction of wearing-out of the parts of filter presses for crude oil as well as fuel and hexane consumption) was given. This procedure increased the yield of the installed capacity and reduced the number of standstills, caused by the replacement of worn-out knives, from four to two standstills a year.

Mechanical Engineering Faculty in Slavonski Brod, University of Osijek

**Faculty of Food Technology & Biotechnology, University of Zagreb*

Received September 28, 2003

Accepted December 8, 2003