

UDK 539.4:621.833

Oblika in bočna trdnost posebnega ozobja

JOŽE HLEBANJA — LENKA SRŠEN

1. UVOD

Dobo trajanja zobnikov je mogoče podaljšati s tem, da jim povečamo dimenzije, uporabimo odpornejši material ali pa jih dodatno toplotno obdelamo. Vendar pri zobnikih, katerih dimenzije so že tako velike, npr. v valjarniških gonilih, večanje dimenzij ne prihaja v poštev, niti ni v navadi dodatna obdelava. Tako skušamo zboljšati trdnost zob s spreminjanjem geometrične oblike zobnega boka. Ker je specifični pritisk na dotikalnih površinah odvisen od prileganja bokov, skušamo najti takšno geometrično obliko zobnega boka, da bo prileganje bokov (srednji krivinski polmer) na nevarnih mestih, predvsem na temenu zoba, čimvečje. Pri dosedanjih raziskavah so skušali zboljšati trdnost zob s spremenjeno geometrično obliko zobnih bokov. Namesto evolvente so uporabili ciklične krivulje, ki ustrezajo zakonu ozobja (tj.: normale na zobne boke v vsaki ubirni točki gredo skozi kinematični pol zobniške dvojice).

Dokaz za to so preizkusi z zobniki, obdelanimi z orodjem, ki je imelo poseben profil osnovne zob-

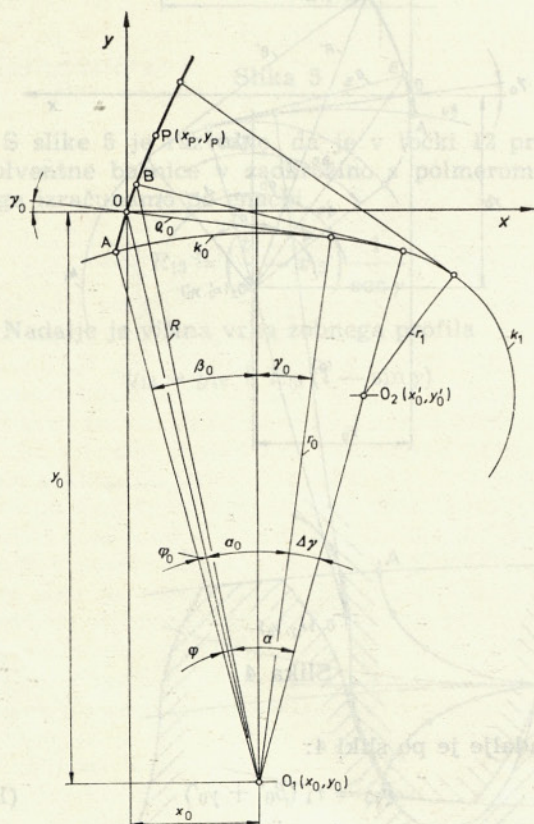
nice [4]. Bočnice zobnih profilov osnovne zobnice so bile podaljšane cikloide, nagnjene za kot $\gamma = 7,5^\circ$ glede na os y [4]. Nekoliko slabše rezultate so dobili pri zobnikih, ozobčanih z orodjem, ki je imelo nekoliko spremenjen profil osnovne zobnice [7]. Bočnice so bile navadno ortocikloide, toda prav tako nagnjene za kot γ . Kaže pa omeniti, da so takšni zobniki — zaradi majhnega profilnega ubiranja — uporabni le, če imajo poševne zobe.

Glede na te raziskave kaže, da bi bilo mogoče samo s primerno spremembo geometrične oblike zobnih bokov doseči večjo nosilnost zob oziroma povečati obremenitev, pri kateri se na zobnih bokih pojavi jamičenje (*pitting*).

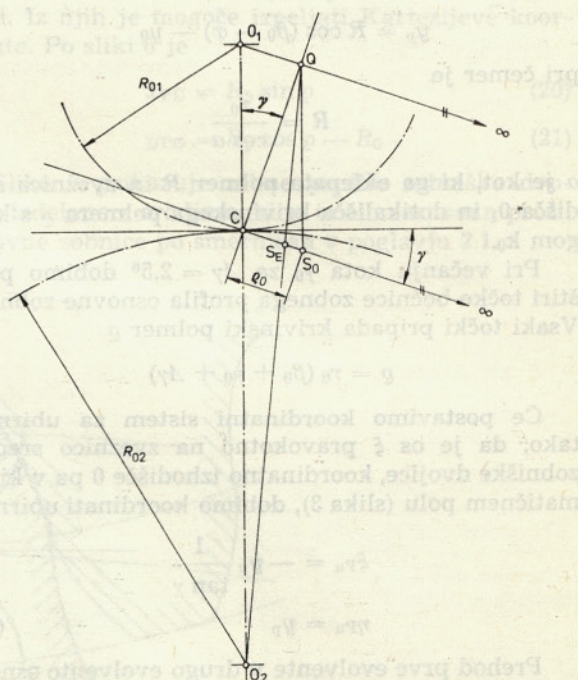
2. OSNOVNA ZOBNICA

2.1. Oblika bočnice

Dobro prileganje zobnih bokov dobimo, če so oblikovani z orodjem, ki ima posebej za to prirejen profil osnovne zobnice. Bočnica zobnega profila osnovne zobnice je sestavljena iz dveh evolvent dveh različnih osnovnih krogov in nagnjena za vnaprej izbrani kot $\gamma = 7,5^\circ$ glede na os y (sl. 1). Ubirnica ni ravna, ampak konkavna, ubiranje dveh zobnih profilov pa konkavno-konveksno.



Slika 1



Slika 2

2.2. Koordinate za bočnico zobnega profila osnovne zobnice

Bočnica profila osnovne zobnice naj bo takšna, da bo središče krivinskega polmera za kinematični pol ubirajoče se bočnice nasprotnega profila v neskončnosti (sl. 2).

Razvijanje v nadaljevanju se nanaša na zobniško dvojico s podatki:

$$\begin{aligned} R_{01} &= 50 \text{ mm} \\ R_{02} &= 110 \text{ mm} \\ z_1 &= 20 \text{ zob} \\ z_2 &= 44 \text{ zob} \\ m &= 5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kakor je razvidno s slike 1, uporabimo prvo evolvento, ki se odvija s kroga k_0 s polmerom $r_0 = R_{01}/2$ šele od točke 0 naprej. Novo krajišče, ki je hkrati kinematični pol in koordinatno izhodišče, je proti izhodnemu v točki A nagnjeno za kot $\gamma_0 = 7,5^\circ$. Točka 0 je glede na točko 0_1 določena s koordinatama x_0 in y_0 .

S slike 1 je razvidna povezava posameznih veličin:

$$\varrho_0 = r_0 (\gamma_0 + \beta_0) \quad (1)$$

$$\alpha_0 = \arctan \frac{\varrho_0}{r_0} \quad (2)$$

$$x_0 = r_0 (\tan \alpha_0 \cos \gamma_0 - \sin \gamma_0) \quad (3)$$

$$y_0 = r_0 (\tan \alpha_0 \sin \gamma_0 + \cos \gamma_0) \quad (4)$$

Koordinate za bočnico profila osnovne zobnice (v območju 0...B):

$$x_p = -R \sin (\beta_0 - \varphi) + x_0 \quad (5)$$

$$y_p = R \cos (\beta_0 - \varphi) - y_0 \quad (6)$$

pri čemer je

$$R = \frac{r_0}{\cos \alpha} \quad (7)$$

α je kot, ki ga oklepata polmer R in zveznica središča 0_1 in dotikališča krivinskega polmera ϱ s krogom k_0 .

Pri večanju kota γ_0 za $\Delta\gamma = 2,5^\circ$ dobimo prve štiri točke bočnice zobnega profila osnovne zobnice. Vsaki točki pripada krivinski polmer ϱ

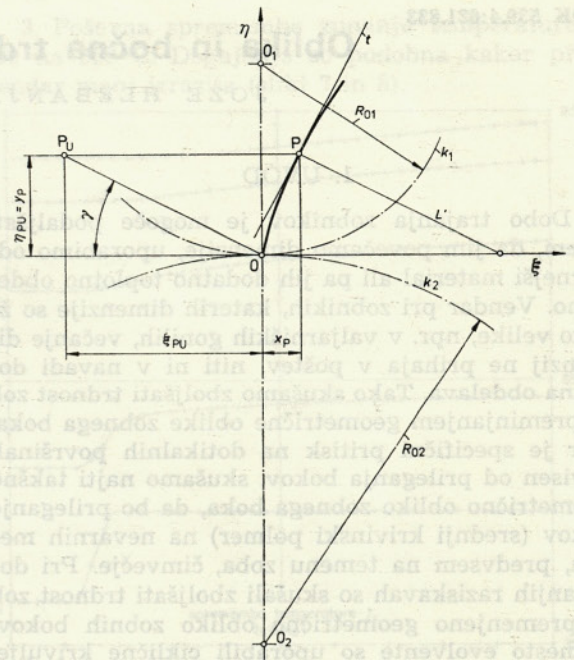
$$\varrho = r_0 (\beta_0 + \gamma_0 + \Delta\gamma) \quad (8)$$

Če postavimo koordinatni sistem za ubirnico tako, da je os ξ pravokotno na zveznico središč zobniške dvojice, koordinatno izhodišče 0 pa v kinematičnem polu (slika 3), dobimo koordinati ubirnice

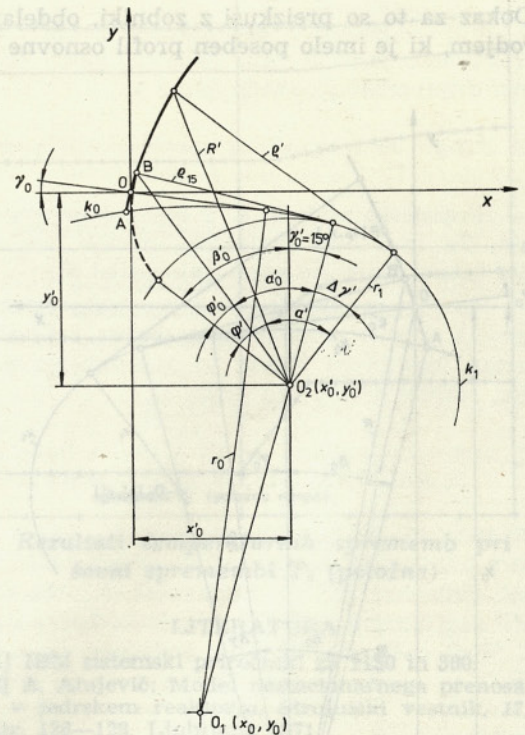
$$\xi_{Pu} = -y_p \frac{1}{\tan \gamma} \quad (9)$$

$$\eta_{Pu} = y_p \quad (10)$$

Prehod prve evolvente v drugo evolvento osnovnega kroga k_1 s polmerom $r_1 = R_{01}/5$ je v točki B. Tako je $\gamma = \gamma_0' = 15^\circ$.



Slika 3



Slika 4

Nadalje je po sliki 4:

$$\varrho_{15} = r_1 (\beta_0' + \gamma_0') \quad (11)$$

$$\alpha_0' = \arctan \frac{\varrho_{15}}{r_1} \quad (12)$$

$$x_0' = (\varrho_{15} \cos \gamma_0' - r_1 \sin \gamma_0') + x_{PB} \quad (13)$$

$$y_0' = (\varrho_{15} \sin \gamma_0' + r_1 \cos \gamma_0') - y_{PB} \quad (14)$$

pri čemer je $R' = r_1 / \cos a'$.

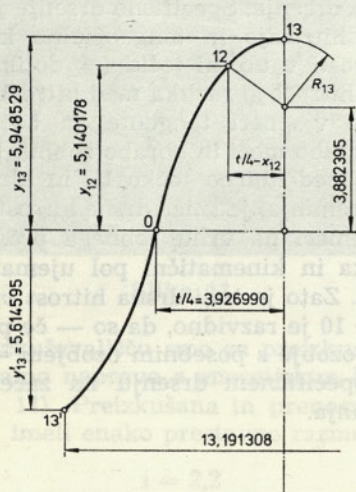
Koordinati bočnice zobnega profila osnovne zobnice v območju od B naprej:

$$x_{P'} = -R' \sin (\beta_0' - \varphi') + x_0' \quad (15)$$

$$y_{P'} = R' \cos (\beta_0' - \varphi') - y_0' \quad (16)$$

Ustrezen krivinski polmer znaša

$$\varrho' = r_1 (\beta_0' + \gamma_0' + \Delta y') \quad (17)$$



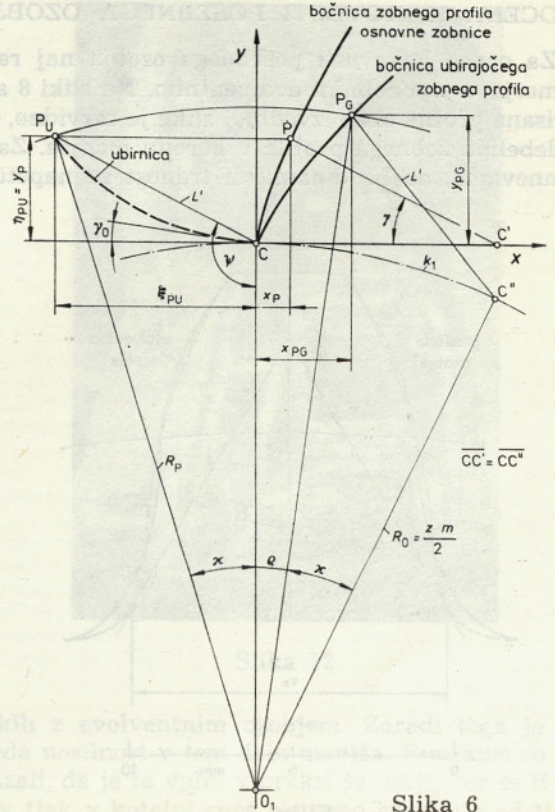
Slika 5

S slike 5 je razvidno, da je v točki 12 prehod evolventne bočnice v zaokrožino s polmerom R_{13} , ki ga izračunamo po enačbi

$$R_{13} = \left(\frac{t}{4} - x_{12} \right) \frac{1}{\cos \gamma} \quad (18)$$

Nadalje je višina vrha zobnega profila

$$y_{13} = y_{12} + R_{13} (1 - \sin \gamma) \quad (19)$$



Slika 6

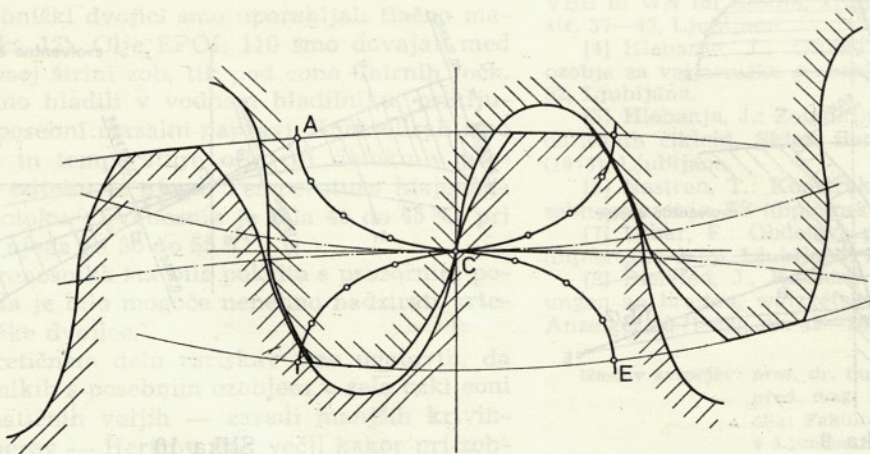
3. KOORDINATI BOČNICE UBIRAJOČEGA SE ZOBNEGA PROFILA

Bočnico ubirajočega se zobnega profila lahko pri dani ubirnici določimo s polarnimi koordinatami. Iz njih je mogoče izpeljati Kartezijeve koordinate. Po sliki 6 je

$$x_{PG} = R_p \sin \varrho \quad (20)$$

$$y_{PG} = R_p \cos \varrho - R_0 \quad (21)$$

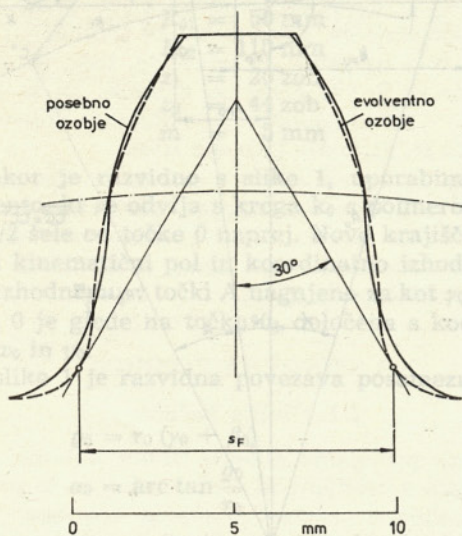
Slika 7 prikazuje zobne profile zobniške dvojice, izdelane z orodjem, ki je imelo zasnovan profil osnovne zobnice po smernicah v poglavju 2.1.



Slika 7

4. OCENA KAKOVOSTI POSEBNEGA OZOBJA

Za oceno kakovosti posebnega ozobja naj rabi primerjavo s podobnim evolventnim. Na sliki 8 sta narisana profila obeh izvedb. S slike je razvidno, da je debelina zobnega profila v korenu manjša. Zato domnevamo, da bo dinamična trdnost za napetost

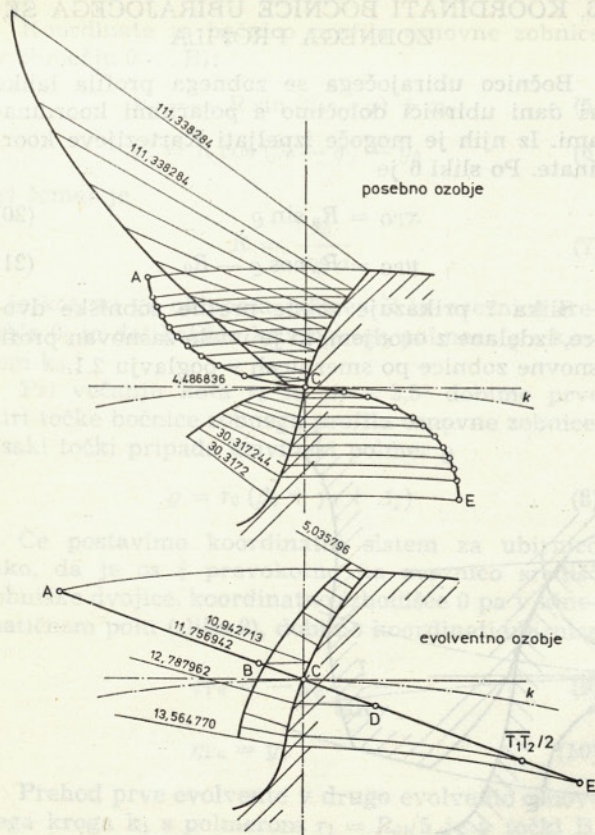


Slika 8

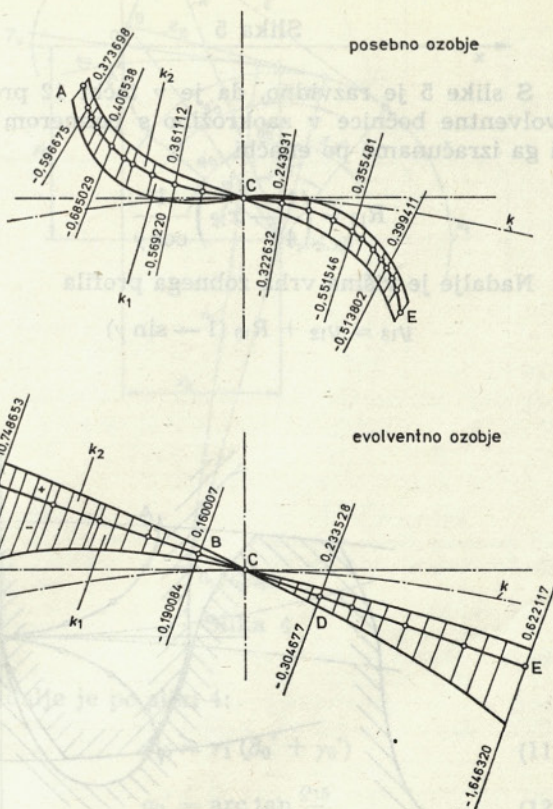
v zobnem korenu zobnika vsaj tolikšna, kakor pri kakovostno izdelanem evolventnem zobniku.

Srednja krivinska polmera v dotikališču sta merilo bočne trdnosti zob. Primerjava med izračunanimi srednjimi krivinskimi polmeri za naš zgled kaže, da so pri posebnem ozobju na začetku in koncu ubiranja zob zobnikov približno 22-krat večji kakor pri evolventnem ozobju (slika 9). Iz omenjenega izhaja, da zobniki s posebnim ozobjem prenašajo večje bočne tlake (Hertzov) kakor evolventni. Pri slednjih je le ozka cona okrog kinematičnih valjev, ki prenese večji bočni tlak.

Drnsne razmere na zobnih bokih so odvisne od specifičnega drsenja. Specifično drsenje je razmerje med drsno hitrostjo in tangencialno komponento obodne hitrosti v ubirni točki (= dotikališču bočnic). Drсна hitrost je razlika med hitrostma dotikališča bočnic v smeri tangente na bočnico in je merilo za izgubo moči in obrabo zobnih bokov. Ker se razdalja med ubirno točko P_n in kinematičnim polom C spreminja, je smer drsne hitrosti na koncu nasprotna smeri na vrhu zobnega profila. Ko se ubirna točka in kinematični pol ujemata, je razdalja $E = 0$. Zato je tudi drsna hitrost $v_{kl} = E \omega = 0$. S slike 10 je razvidno, da so — če primerjamo evolventno ozobje s posebnim ozobjem — največje razlike v specifičnem drsenju na začetku in na koncu ubiranja.



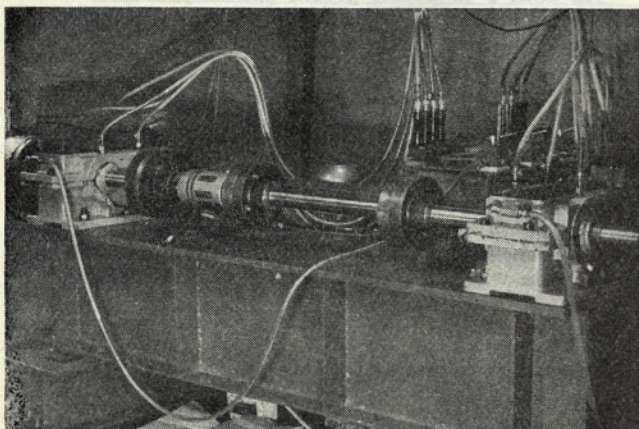
Slika 9



Slika 10

5. PREIZKUSNI DEL RAZISKAV

Računske rezultate smo skušali preveriti s preizkusi. Poglavitna naloga preizkusov je bila spremljati postopno jamičenje na zobnih bokih posebnega in evolventnega ozobja v odvisnosti od obratovalnega časa in obremenitve.



Slika 11

Na preizkuševališču smo za preizkuse uporabili preizkuševalno napravo z energijskim krožnim tokom (slika 11). Preizkušana in prenosna zobniška dvojica sta imeli enako prestavno razmerje

$$i = 2,2$$

Drugi podatki so

$$z_1 = 20 \text{ zob}$$

$$z_2 = 44 \text{ zob}$$

$$a = 160 \text{ mm}$$

ter

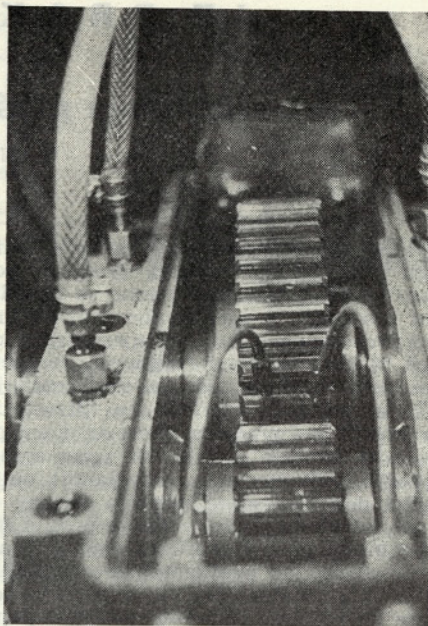
$$\varepsilon_p = 1,13 \text{ — pri posebnem ozobju}$$

$$\varepsilon_p = 1,64 \text{ — pri evolventnem ozobju}$$

Gred s pastorkom je na eni strani zvezana prek gonilnega jermena s pogonskim motorjem z močjo $P = 7,5 \text{ kW}$ pri vrtilni hitrosti $n = 1450 \text{ min}^{-1}$. Med obema zobniškima dvojicama je gred deljena, da je bilo mogoče namestiti napenjalko in dinamometer. Za obe zobniški dvojici smo uporabljali tlačno mazanje (slika 12). Olje EPOL 110 smo dovajali med boke po vsej širini zob, tik pod cono ubirnih točk. Mazivo smo hladili v vodnem hladilniku, priključenem k posebni mazalni napravi. Kontrolirali smo oljni tlak in temperaturo olja pri dotoku v prenosnik in odtoku iz njega. Temperatura hlajenega olja pri dotoku v prenosnik je bila 40 do 45 °C, pri odtoku iz njega pa 50 do 55 °C.

Oba prenosnika sta bila pokrita s prozornim pokrovom, da je bilo mogoče nenehno nadzirati vrtenje zobniške dvojice.

V teoretičnem delu raziskav smo ugotovili, da je na zobnikih s posebnim ozobjem v zelo ozki coni ob kinematičnih valjih — zaradi manjših krivinskih polmerov — Hertzov tlak večji kakor pri zob-



Slika 12

nikih z evolventnim ozobjem. Zaradi tega je seveda nosilnost v tem delu manjša. Preizkusi so pokazali, da je ta vpliv v praksi še večji, ker se Hertzov tlak v kotalni coni bistveno razlikuje od tlaka v coni notranjih ubirnih točk. Opazna je bila razlika v legi območja, kjer nastaja jamičenje. Na zobnikih z evolventnim ozobjem je jamičenje v coni enojnih ubirnih točk pod kinematičnim valjem, na zobnikih s posebnim ozobjem pa v coni med obema enojnima ubirnim točkama. Pri preobremenitvi zobniške dvojice smo zaznali velik vpliv krivinskih polmerov.

LITERATURA

- [1] Sršen, L.: Določitev in raziskave optimalnih parametrov za H-ozobje, FS (magistrsko delo), Ljubljana, 1977.
- [2] Hlebanja, J.: Uporabnost cikličnih krivulj za boke zob pri zobnikih, FS, disertacija, Ljubljana, 1967.
- [3] Hlebanja, J.: Kinematična zveza med ozobji VBB in WN ter ozobja, ki izhajajo iz nje, SV 18 (1972), str. 37—42, Ljubljana.
- [4] Hlebanja, J.: Oblika in nosilnost posebnega ozobja za valjarniške grebenjake, SV 21 (1975), str. 85—92, Ljubljana.
- [5] Hlebanja, J.: Zobniki z boki, ki imajo obliko podaljšanih cikloid, Sklad Borisa Kidriča št. 220/116/69 (1973), Ljubljana.
- [6] Nastran, T.: Konstrukcija in torne razmere posebnega ozobja, FS (diplomsko delo), Ljubljana, 1975.
- [7] Lebar, F.: Obdelava posebne oblike ozobja, FS (diplomsko delo), Ljubljana, 1975.
- [8] Bielefeld, J., Kalhert, W.: Verschleissuntersuchungen an breiten, wälzgefrästen Zahnradern, Industrie Anzeiger 80 (1959), str. 19—26, Essen.

Naslov avtorjev: prof. dr. ing. Jože Hlebanja, dipl. ing.,
pred. mag. Lenka Sršen, dipl. ing.,
oba: Fakulteta za strojništvo Univerze
v Ljubljani