

BRODSKE ELEKTROMAGNETSKE SPOJKE I KOČNICE S LAMELAMA

UDK 621.436 - 578 : 629.12

Stručni rad

Sazetak:

Kroz rad daje se prikaz utjecaja pojedinih parametara na pravilan rad i pouzdanost brodskih elektromagnetskih spojki i kočnica.

Održavanje, mjerenje i kontrola lamela naročito je obrađena, uz razradu uputa i preporuke za ponovnu izradu pojedine vrste lamele.

Ključne riječi:

elektromagnetska lamelna spojka
lamela
spojka
klizni prsten
sinterirana masa

**MARINE ELEKTROMAGNETIC COUPLINGS
AND DISC-BRAKES-APPLICATION, INSTALLA-
TION, MAINTENANCE**

Summary:

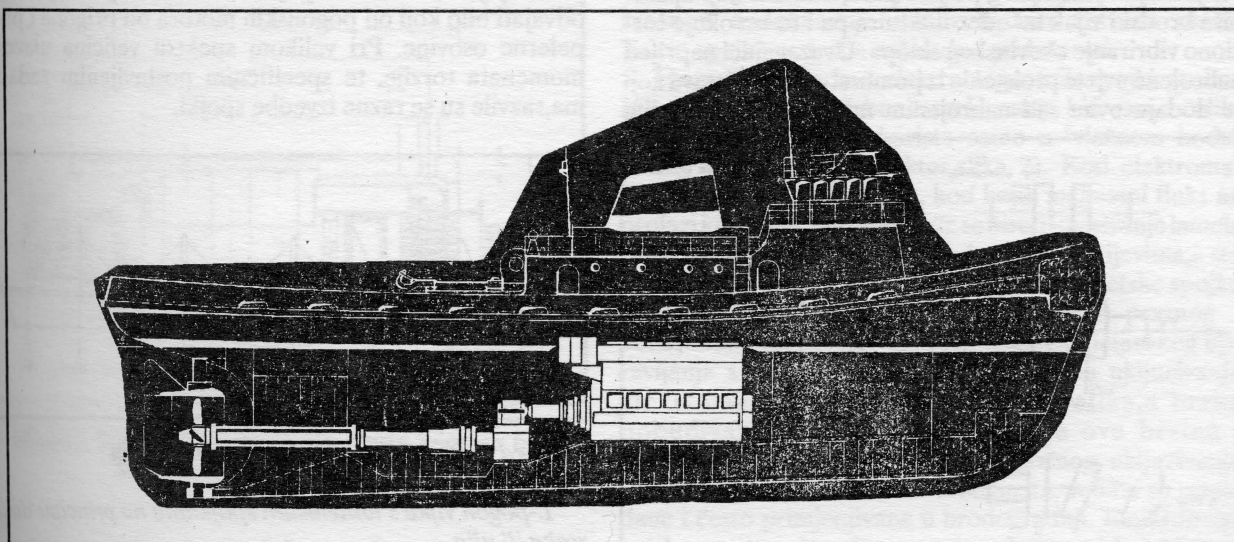
The paper deals with the effects of individual parameters on proper operation and reliability of marine electromagnetic couplings and disc-brakes. In addition to the analysis

of instructions and recommendations of special disc-brake renewal, maintenance, measurement and control of disc have been particularly pointed out.

Key words:

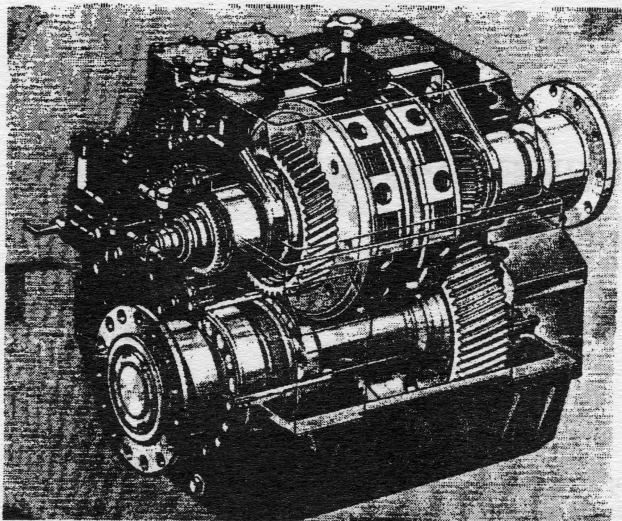
electromagnetic disc coupling
disc
coupling
sliding ring
sintered mass

Propulzijski broj okretaja (brzina vrtnje) vijka redovno je manji, a samo iznimno veći od nominalnog broja okretaja glavnog stroja. To se posebno odnosi na brzohodne i srednjehodne brodske dizel motore, čije se koljenčaste osovine vrte višestruko brže od prikladnoga, pogotovo za propulziju važnog, optimalnog broja okretaja propelerne osovine. To je razlog da se brzohodni i srednjehodni brodski dizel motori ne spajaju tranzmisionom osovinom izravno s vijkom, nego se umeće posredni element, koji zovemo prigon ili u praksi reduktor, (vidjeti slike 1,2). Svrha mu je da komponente snage glavnog stroja transformira tako da čim bolje odgovaraju hidrodinamičkim



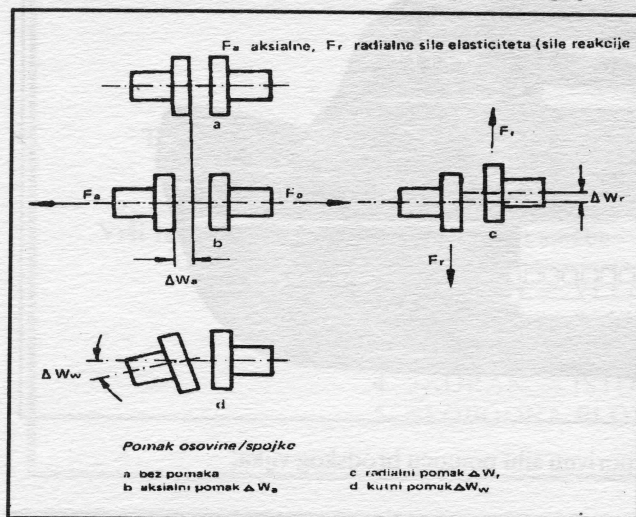
Slika 1. Pogonsko postrojenje broda i pretvorba snage u porivnu silu pomoću brodskog vijka.

* Doc. dr. Ljubo Zirojević, dipl. inž. str., Pomorski fakultet Dubrovnik
** Antun Matić, dipl. inž. str., Pomorski fakultet Dubrovnik

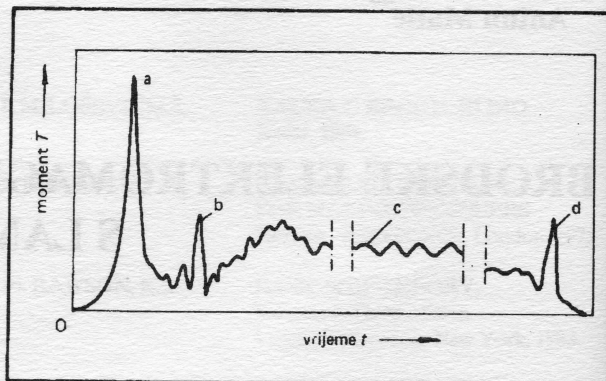


Slika 2. Brodski reduktor za prenos velikih snaga

karakteristikama propulzora, čiji se stupanj iskoristivosti tako približava praktičkom optimumu. Ako prigon predstavlja redukcionni element izvodi se kao zupčanički reduktor, (slika 2.), naziva se reduktor. Vrste prigona koji služe za povećanje brzine vrtnje zovu se multiplikatori i rjeđe dolaze kao posrednici između glavnog stroja i propelera, ali se primjenjuju kod pogona pomoćnih strojeva, za primarno ili sekundarno gonjene osovinske generatore sa svrhom da se poveća brzina okretanja rotora generatora i time smanje njegove dimenzije. Sporohodni brodski dizel motori redovno se izravno spajaju sa propelerom pa je broj okretaja propelerne osovine jednak onom na koljenčastoj osovini. Ponekad se u praksi i kod sporohodnog postrojenja umeće prigon i mijenja broj okretaja izlazne osovine. U radu dizel motora neizbježna su kolebanja sile na osnim koljenima i to dovodi do torzionih vibracija transmissionog sklopa. Zbog nejednolikog pritjecanja i raznolikog polja brzina, moment koji apsorbira brodski vijak također fluktuiraju pa i to uzrokuje torziona vibriranja osovinskog sklopa. Uvažavajući naprijed nabrojene uvjete proistekle iz pomorstvenih svojstava koji se dodaju ovim sad nabrojanim uočava se da pojedini



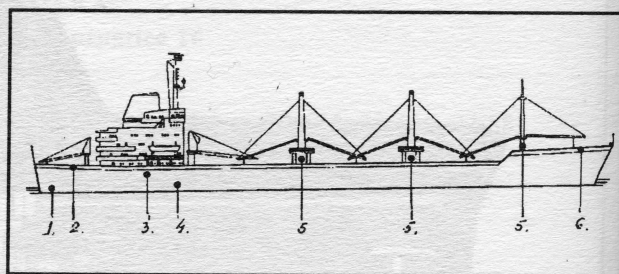
Slika 3. Pomaci osovine odnosno spojki i sile elasticiteta koje spojke moraju podnositi



Slika 4. Primjer promjene momenta torzije u spojki u funkciji vremena

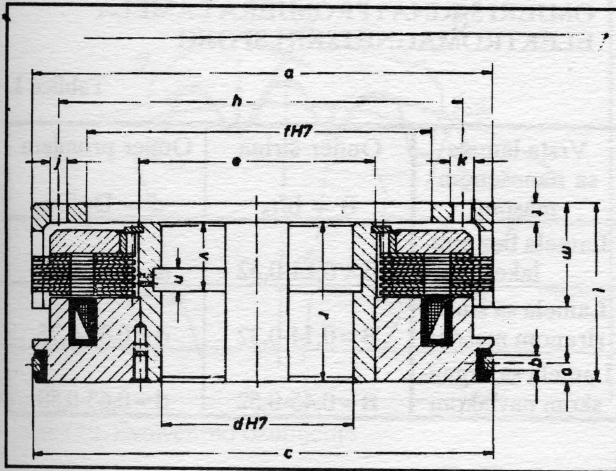
- a upućivanje
- b prolaženje kroz rezonancu
- c postojani pogon
- d zaustavljanje

sklopovi u brodskoj konstrukciji moraju apsorbirati takve pojave. Pored svega ovoga, pogreške pri montaži osovinskog voda, dilatacije zbog temperaturnih razlika kao i defleksije brodske strukture dovode do međusobnih pomaka i ekscentriciteta elemenata transmisije. Osim prenošenja snage (momenta), rješavanje ili ublažavanje navedenih pojava bitni je zadatak spojke. Spojka, s druge strane, olakšava rastavljanje i demontažu elemenata transmissionog sklopa i strojeva, ublažava i smanjuje šumove i prenosi opterećenja porivne sile. Spojka tako preuzima na sebe eventualne ugrađene i pogonske nedostatke i štiti bitne komponente strojnog uređaja, prvenstveno glavni stroj i ranjivi prigon, od udarnih opterećenja i oštećenja. Spojka se postavlja između glavnog stroja i prigona, a ponekad spaja i prigon s propelernom osovinom. Kod jednovijačanog broda s dva ili više pogonskih motora postavljaju se izvrstive spojke tako da se po želji mogu odvajati bilo koji od pogonskih motora od prigona i propelerne osovine. Pri velikom spektru veličina ulaznih momenata torzije, te specifičnim postavljenim zadacima, razvile su se razne izvedbe spojki.

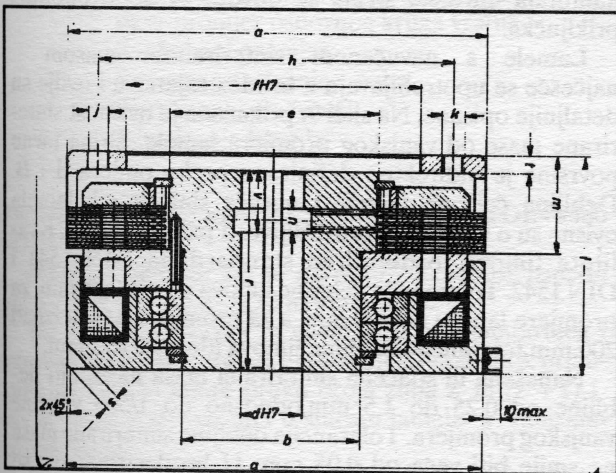


Slika 5. Primjeri primjene spojki na brodu

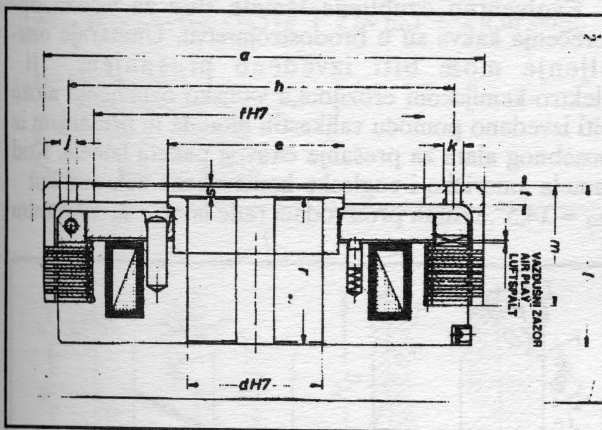
- 1.-pogon vijka s lamelastim spojka na principu tlaka zraka ili ulja
- 2.-povratno kvacilo sa lamelama-lamelasta spojka
- 3.-kompresorski agregat sa elastičnom spojkom
- 4.-pumpni agregati sa mehaničkim spojka
- 5.-vjetrovnik s elektromagnetnim lamelastim kočnicama
- 6.-lamelasta spojka u kočionom mehanizmu.



Slika 6a. Elektromagnetska spojka sa protočnim lamelama i jednim kliznim prstenom

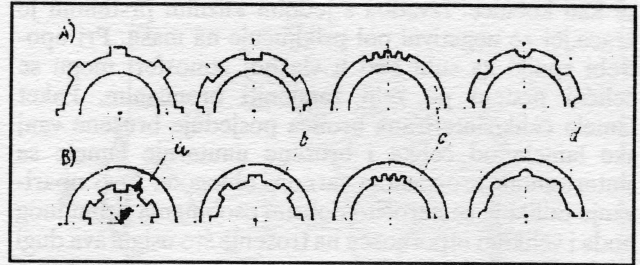


Slika 6b. Elektromagnetska lamelasta spojka



Slika 6c. Elektromagnetska lamelasta kočnica bez kliznog prstena

Ovdje su obrađene elektromagnetske spojke i kočnice s lamelama, primjenjene na plovim objektima. Na slici 3., predstavljeni su pomaci osovina odnosno spojki, zatim aksijalne i radijalne sile elasticiteta koje ove spojke prenose, a slika 4. predstavlja primjer promjene momenta torzije u spojki u funkciji vremena. Primjeri primjene spojki na brodu prikazan i su na slici 5.



Slika 7. Razne izvedbe lamela

- A. Vanjske lamele
B. Unutrašnje lamele

Elektromagnetska lamelasta spojka prikazana je na slici 6.b., elektromagnetska spojka sa protočnim lamelama i jednim kliznim prstenom na slici 6.a. i elektromagnetska lamelasta kočnica bez kliznog prstena na slici 6.c. Elektromagnetske lamelaste spojke mogu biti izvedene za vlažni i suhi hod, s jednim kliznim prstenom, s dva klizna prstena i spojke s prstenastim naplatkom. Svaka elektromagnetska lamelasta spojka, pored unutarnjeg i vanjskog nosača lamela i nosača namotaja, posjeduje unutarnje i vanjske lamele. Slika 7. prikazuje razne izvedbe lamela. Ove spojke izvede se s pravokutnim vanjskim zubima (s lastinim repom), s polukružnim ozubljenjem i evolventnim ozubljenjem, sve s vanjskom i unutarnjom izvedbom.

Po tehnološkom načinu izvedbe lamele mogu biti:

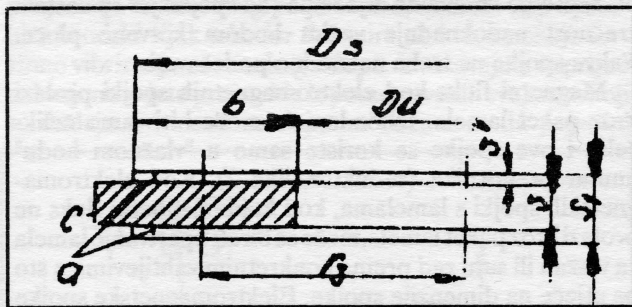
1. Lamele bez dodatne tarne navlake
2. Lamele s navučenom sinteriranom masom
3. Lamele s organskim navlakama
4. Brušene lamele
5. Lamele zlijebljene po debljini s trokutnim profilom, pravokutnim ili zavojnim zlijebom.

Lamele sa sinteriranom masom najčešće su u upotrebi. Trošenje lamela ne utječe na rad spojke jer se nastala zračnost nadoknađuje većim hodom kotvene ploče. Takve spojke ne treba naknadno podešavati.

Magnetni fluks kod elektromagnetskih spojki prolazi kroz paket lamela. Izbor lamele može biti samo čelik-čelik i ove spojke se koriste samo u "vlažnom hod"u. Kod elektromagnetskih spojki s lamelama, kod kojih magnetni fluks ne prolazi kroz paket lamela, može se birati uparivanje lamela za vlažan ili suhi rad prema konkretnim zahtjevima, a što ne utječe na dimenzije spojke. Elektromagnetske spojke i kočnice s lamelama imaju mali moment praznog hoda, veliki broj uključivanja i mogućnost daljinskog upravljanja s jednog ili više mjesta. Brzina uključivanja elektromagnetskih spojki vrlo je velika, a brzim pobuđivanjem magneta moguće je ovu brzinu i povećavati. Zbog pouzdanog rada, točnog uključivanja i prijenosa velikih zakretnih momenata, veoma su pouzdane i često primjenjivane u brodogradnji. Elektromagnetske spojke s lamelama proizvode se sa i bez kliznog prstena. Pogodne su za ugradnju u prenosnike s uljnim podmazivanjem (vlažan hod) pri čemu je uparivanje lamela čelik/čelik, odnosno čelik/sinterirana bronca. Za vanjsku prigradnju (suhi hod) primjenjuje se uparivanje čelik/azbest i čelik/sinterirana bronca. Elektromagnetske spojke s lamelama bez kliznog prstena koriste

se kao kočnice. Izvedba s jednim kliznim prstenom je kraća, jer se negativni pol priključuje na masu. Pri upotrebi spojki za suhi hod u vlažnoj atmosferi mogu se čelični prsteni po želji zamijeniti brončanim. Paket lamela čelik/sinterirana bronca posjeduje brušene vanjske lamele od čelika i brušene unutarnje lamele sa sinteriranom brončanom tarnom oblogom. Ovo uparivanje odlikuje se naročito dobrim osobinama prinudnog hoda i velikom otpornošću na trošenje što osigurava dugi vijek trajanja kod velikih naprezanja i velikog broja uključivanja. Ove lamele posjeduju, zbog spiralnih žljebova na površini lamele, dobru tarnu sposobnost. I kod ugradnje u prenosnike i reduktore s uljnim podmazivanjem, one postižu vrlo brzo potrebni zakretni moment i točnost uključivanja. Paketi lamela čelik/azbest posjeduju brušene unutarnje lamele od čelika i brušene vanjske lamele s azbestnom tarnom oblogom. Ovo uparivanje može se koristiti samo kod suhog hoda, a odlikuje se velikom otpornošću na trošenje i vrlo malim trenjem u praznom hodu. Imaju dobru tarnu sposobnost s brzim povećanjem zakretnog momenta i točnosti uključivanja.

Ove spojke zahtijevaju u radu istosmjernu struju. Ako postoji mogućnost napajanja iz mreže istosmjerne struje potrebno je pomoću predotpora svesti napon na nazivni napon spojke. Kod priključivanja na izmjeničnu struju napajanje se provodi posredstvom suhog selenskog ispravljača odgovarajuće istosmjerne struje. Normalno se spojke grade za napon od 24 V. Ako se traže naročito velike brzine uključivanja, kao kod patrolnih čamaca i brodova, preporučuje se brza uzbuda magneta uključivanjem otpora s dvostrukom ili trostrukom vrijednosti otpora uzbuđenog namotaja. Kad priključni napon prelazi vrijednost od 42 V, potrebno je birati spojke s dva klizna prstena. Kod vlažnog hoda struja se prenosi preko brončanih četkica sa tvrdim kontaktom. Kod suhog hoda struja se prenosi preko ugljenih četkica s mekim konektorom. Ukoliko spojka zahtijeva struju veću od 6 A, potrebno je predvidjeti dvije četkice na jednom



Slika 8. Glavne mjere lamele sa nanešenom sinteriranom masom

- a- tarne presvlaka
- b- širina presvlake
- c- čelična ploča

$$d = \frac{Du}{Ds} \text{ - odnos promjera (omjer); } d = \frac{2 - B}{2 + B}$$

$$B = \frac{b}{rs} \text{ - odnos širina (omjer); } B = 2 \frac{1 - d}{1 + d}$$

- s- debljina čelične ploče
- s₁ - ukupna debljina lamele
- s' - debljina tarne navlake

OMJERI ŠIRINA I PROMJERA LAMELA ELEKTROMAGNETSKIH SPOJKI

Tablica 1.

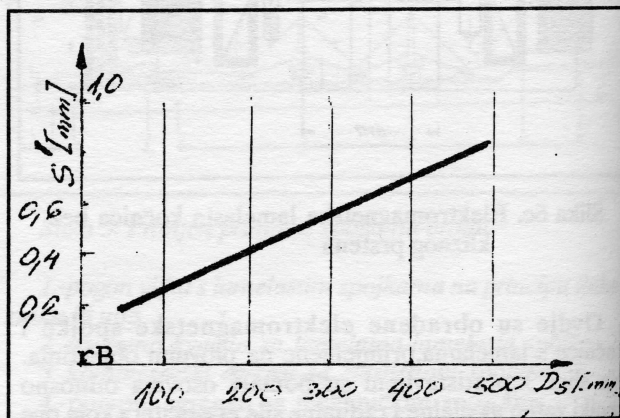
Vrsta lamele sa nanešenom masom	Omjer širina $B = b/r_s$	Omjer promjera $d = Du/D_s$
Lamela bez navlake	$B = 0,14-0,32$	$d = 0,87-0,75$
Lamela sa sinteriranom masom	$B = 0,14-0,32$	$d = 0,87-0,75$
Lamela sa organskom navlakom	$B = 0,45-0,52$	$d = 0,63-0,58$

kliznom prstenu. Dvije četkice su potrebne i u slučaju ako su obodne brzine kliznih prstenova u vlažnom hodu veće od 6 m/s. Kod spojki bez kliznog prstena tijelo namotaja miruje, a struja se dovodi preko dvopolnog priključka.

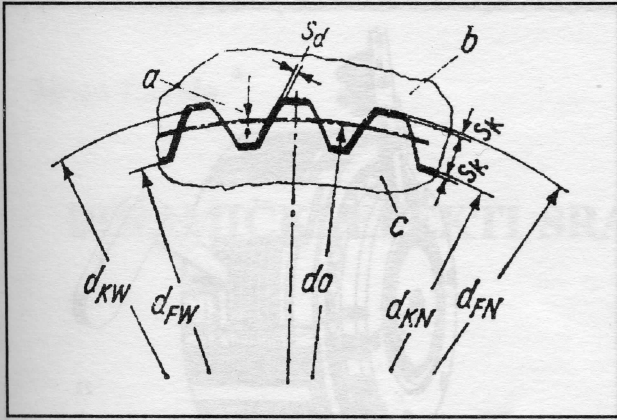
Lamele s navučenom sinteriranom masom najčešće se upotrebljavaju u brodstrojarstvu i ovdje su detaljnije opisane. Na slici 9. prikazana je ovisnost sinterirane mase od vanjskog promjera lamele. Širina tarne površine je indirektno definirana preko omjera d i B. Debljina čeličnih lamela i nosača sinteriranih lamela ovisne su o toplinskoj provodljivosti paketa lamela. Kvaliteta limova je definiran standardima DIN 1541 i DIN 1542. Tolerancije debljine limova idu do 0,05 mm, za promjere lamela do 200 mm, a za promjere lamela iznad 200 mm, tolerancije debljine limova idu do 0,075 mm.

Nanešena ili stlačena sinterirana masa može biti debljine od 0,25 do 1,5 mm, odnosno do 1/500 veličine vanjskog promjera. Tolerancija debljine sinterirane mase ne smije biti veća od 0,05 mm. U brodstrojarstvu se najčešće primjenjuju lamele ozubljene s evolventnim ozubljenjem, slika 10.

Evolventno ozubljene lamele služe za visoka opterećenja kakva su u brodstrojarstvu. Unutarnje ozubljenje može biti izvedeno prešanjem ili elektro-kemijskom erozijom, a vanjsko ozubljenje može biti izvedeno pomoću valjkastih glodala ili prešanjem iz posebnog alata za prešanje čitavog paketa lamela. Kod lamela američke i engleske konstrukcije zahvatni kut $\alpha_0 = 14,5^\circ$, a ostali proizvođači rade lamele sa zahvatnim



Slika 9. Zavisnost debljine sinterirane mase o vanjskom promjeru lamele



Slika 10. Evolventno ozubljenje

b-glavina
c-vratilo
d_{FW}-promjer podnožnog kruga vratila
d_{KN}-promjer osnovnog kruga glavine
d_{KW}-promjer osnovnog kruga vratila
d₀-diobeni promjer
S_d-zračnost stranice zuba
S_k-tjemena zračnost
a-izmicanje letve "x"

kutovima $\alpha_0 = 15^\circ$; $\alpha_0 = 20^\circ$; $\alpha_0 = 30^\circ$, prema DIN 5480 i DIN 5482.

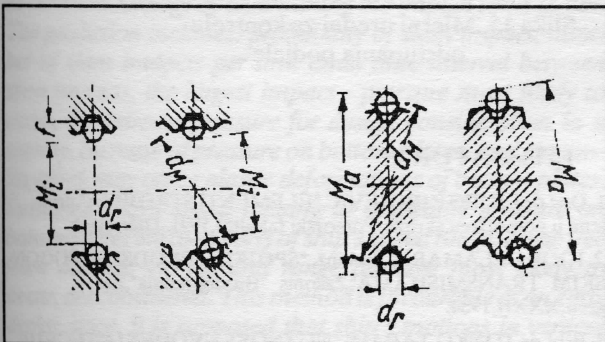
Najčešći zahvatni kut je $\alpha_0 = 15^\circ$. Zračnost između zuba varira od 0,12 do 0,30 modula zuba.

Na slici 11. prikazan je način mjerenja unutaršnjeg i vanjskog ozubljenja lamela preko iglica. Na slici 12. prikazane su veličine mjere preko broja zuba z' ili $(z' + 1)$ i način toga kontroliranja u slučaju lamela s vanjskim ozubljenjem.

Na slici 12. vidljiv je proračun mjerne vrijednosti preko broja zuba Wz' . On se izvodi preko izraza a):

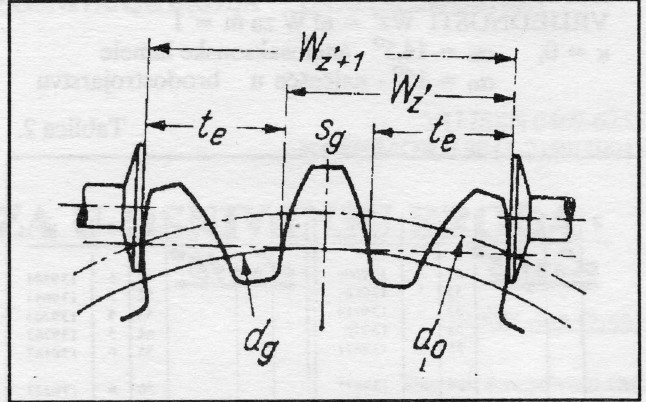
$$Wz' = m \cos \alpha_0 ((z' - 0,5)\pi + z' \operatorname{ev} \alpha_0) + 2 \kappa m \sin \alpha_0$$

m - modul zuba
 α_0 - zahvatni kut
z - broj zuba u lameli
 $\operatorname{ev} \alpha_0 = \tan \alpha_0 - \operatorname{arc} \alpha_0$



Slika 11. Ispitne mjerne vrijednosti evolventnog ozubljenja lamela

d_M-srednji promjer mjere preko iglica
M_a-vanjski promjer mjere preko iglica
M_i-unutarnji promjer mjere preko iglica
f -mjera iglice u dubini zuba.

Slika 12. Veličine mjerenja preko broja zuba z' ili $(z' + 1)$ za vanjsko ozubljenje

d_g-promjer temeljnog kruga lamela
d₀-promjer diobenog kruga lamela
S_g-debljina zuba u temeljnom krugu
t_e-zahvatna podjela
W_{z'}-zubna širina za z' zuba
W_(z'+1)-mjera preko zuba za $(z' + 1)$ zuba.

U tabeli 2. daju se vrijednosti $Wz' = mW$ za modul $m = 1$ mm, bez zračnosti tj. $\kappa = 0$ te za kutove dodirnice $\alpha_0 = 14,5^\circ$ i $\alpha_0 = 15^\circ$

Prema slici 13. daju se sljedeće relacije:

$$W(z' + 1) = Wz' + t_e = Wz' + m \pi \cos \alpha_0 \quad \text{b)}$$

za kut $\alpha_0 = 15^\circ$; $\operatorname{ev} \alpha_0 = \tan \alpha_0 - \operatorname{arc} \alpha_0 = 0,00615$

Vidljivo je da izrazi a.) i b.) vrijede za lamela s vanjskim evolventnim ozubljenjem. Kod mjerenja unutaršnjeg ozubljenja lamela, slika 11., imamo sljedeće omjere:

M_i = d_M k - d_r
k = $\cos(90^\circ/z)$
d_r - promjer rolnice (iglice)
d_M - srednji promjer mjere preko iglica

$$d_M = \frac{d_g}{\cos \alpha_M} \quad ;$$

d_g = d₀ cos α_0
d₀ - podioni promjer lamela
 α_M - kut nalijeganja

$$\operatorname{ev} \alpha_M = \frac{Wz' - (z' + 1) t_e - d_r}{d_g}$$

Održavanje elektromagnetskih spojki također predstavlja odgovarajuću specifičnost.

Na slici 13. predstavljena je rastavljena elektromagnetska lamelasta spojka. Na slici 14. prikazana je kontrola zračnosti među lamelama, a normalna zračnost je od 0,20 do 0,35 mm.

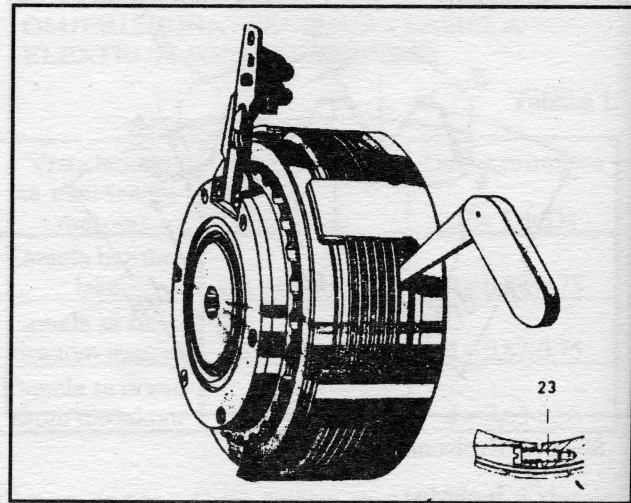
Na slici 15. prikazan je uređaj za mjerenje i kontrolu lamela s vanjskim ozubljenjem.

Čelične lamela ili nosači lamela termički se obrađuju na tvrdoću 40 ± 3 HRC. Čelici za lamela

VRJEDNOSTI $Wz' = m W$ za $m = 1$
 $\kappa = 0$, $\alpha_0 = 14,5^\circ$ - anglosaksonske lamele
 $\alpha_0 = 15^\circ$ - najčešće u brodstrojarstvu

Tablica 2.

Z	Z'	H	Z	Z'	W	Z	Z'	H	Z	Z'	W
$\alpha_0 = 14,5^\circ$						$\alpha_0 = 15^\circ$					
			51	5	139606				51	5	139584
			52	5	139666				52	5	139644
			53	5	139714				53	5	139703
			54	5	13976				54	5	139762
			55	5	139821				55	6	170167
			56	5	139875				56	6	170227
			57	6	170344				57	6	170286
			58	6	170399	8	2	45993	58	6	170345
			59	6	170451	9	2	46053	59	6	170405
			60	6	170505	10	2	46113	60	6	170464
11	2	46213	61	6	170559	11	2	46172	61	6	170524
12	2	46267	62	6	170612	12	2	46231	62	6	170583
13	2	46321	63	6	170666	13	2	46290	63	6	170642
14	2	46374	64	6	170720	14	2	46350	64	6	170702
15	2	46428	65	6	170773	15	2	46409	65	6	170761
16	2	46482	66	6	170827	16	2	46469	66	6	170821
17	2	46535	67	6	170881	17	2	46528	67	7	201225
18	2	46589	68	6	170934	18	2	46587	68	7	201285
19	2	46642	69	7	201401	19	2	46647	69	7	201344
20	2	46697	70	7	201457	20	3	77052	70	7	201404
21	3	77165	71	7	201511	21	3	77111	71	7	201463
22	3	77219	72	7	201564	22	3	77170	72	7	201522
23	3	77273	73	7	201618	23	3	77230	73	7	201582
24	3	77327	74	7	201672	24	3	77289	74	7	201641
25	3	77380	75	7	201725	25	3	77349	75	7	201701
26	3	77434	76	7	201779	26	3	77408	76	7	201760
27	3	77488	77	7	201833	27	3	77467	77	7	201819
28	3	77541	78	7	201886	28	3	77527	78	7	201879
29	3	77595	79	7	201940	29	3	77586	79	8	232284
30	3	77649	80	7	201994	30	3	77646	80	8	232343
31	3	77702	81	8	232463	31	4	108051	81	8	232402
32	3	77756	82	8	232516	32	4	108110	82	8	232462
33	4	108225	83	8	232570	33	4	108169	83	8	232521
34	4	108279	84	8	232624	34	4	108229	84	8	232581
35	4	108332	85	8	232677	35	4	108288	85	8	232640
36	4	108386	86	8	232731	36	4	108348	86	8	232699
37	4	108440	87	8	232785	37	4	108407	87	8	232759
38	4	108493	88	8	232838	38	4	108466	88	8	232818
39	4	108547	89	8	232892	39	4	108526	89	8	232878
40	4	108601	90	8	232946	40	4	108585	90	8	232937
41	4	108654	91	8	232999	41	4	108645	91	9	263342
42	4	108708	92	8	233053	42	4	108704	92	9	263401
43	4	108762	93	8	233107	43	5	139109	93	9	263461
44	4	108815	94	9	263576	44	5	139168	94	9	263520
45	5	139284	95	9	263629	45	5	139228	95	9	263580
46	5	139338	96	9	263683	46	5	139287	96	9	263639
47	5	139392	97	9	263737	47	5	139346	97	9	263698
48	5	139445	98	9	263791	48	5	139406	98	9	263758
49	5	139499	99	9	263844	49	5	139465	99	9	263817
50	5	139553	100	9	263898	50	5	139525	100	9	263877

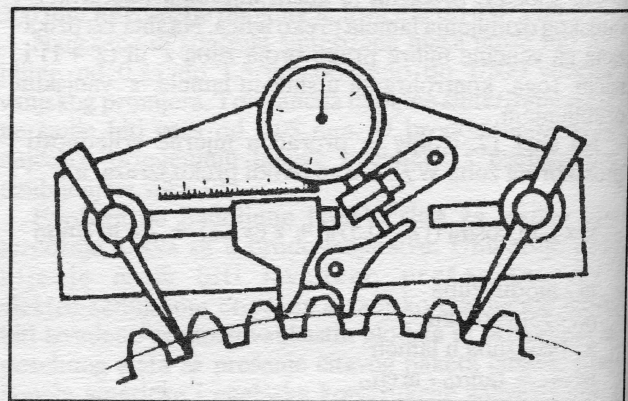


Slika 14. Provjera zračnosti među lamelama (0,20 - 0,35 mm normalna zračnost)

moraju imati manje od 0,2% ugljika, a čelici za nosače lamela najmanje 0,45% ugljika.

Za brušene termički obrađene čelične lamele, kvali teta obrađene površine smije biti najviše $Rt_{max} = 6,3 \mu m$, dok za površine obrađene lepanjem lamela $Rt_{max} = 2,0 \mu m$.

Odgovarajućim održavanjem postojeće konstrukcije, a naročito brodskih spojki, moguće je mnoge pojave unaprijed predvidjeti, planirati preventivne preglede i dovoljno rano preduhitriti oštećenja.



Slika 15. Mjerni uređaj za kontrolu odstupanja podjele

LITERATURA:

1. Doc.dr LJUBO ZIROJEVIĆ, "ELEMENTI STROJEVA", primjena u pomorstvu, skripta, Pomorski fakultet, 1991., Dubrovnik.
2. IGOR BELAMARIĆ, dipl.inž., "SPOJKE U BRODSKIM POGONSKIM TRANSMISIJAMA", časopis "Brodogradnja", Zagreb, XXXII, 1984.
3. Prof.dr TONKO TABAIN, "NUŽNOST UVOĐENJA TEORIJE POMORSTVENOSTI BRODA U NASTAVU NA NAŠIM POMORSKIM FAKULTETIMA", časopis "Naše more", 37(1-2)37, Dubrovnik, 1990.
4. Dr. MARIJAN LJUBETIĆ, "OTPOR I PROPULZIJA BRODA", Hidrodinamika broda, skripta, Pomorski fakultet, 1989., Dubrovnik.
5. DUBBEL, Taschenbuch für den Maschinenbau, 15. Auflage, Springer-Verlag, Berlin, 1986.



Slika 13. Rastavljena elektromagnetska lamelasta spojka