

ostalnih lančanin prijenosa, sastoje u tome što se ovdje ne radi o prijenosu silom, već o prijenosu oblikom (zahvatom). Naravno, za tu svrhu stožaste unutarnje površine lančanika moraju biti ozubljene, kako se vidi iz sl. 390, a i lanci moraju imati specijalni oblik. (Doduše, postoje i PIV-varijatori s lančanim prijenosom silom. Međutim, njihova primjena manje je važna, pa se ovdje ne opisuju, a pod PIV-varijatorima razumijevaju se samo oni s prijenosom oblikom.)

Medusobni položaj ploča lančanika u PIV-varijatorima mora biti takav da uvijek zubi jedne ploče stoje nasuprot uzubinama druge ploče. U članke lanaca ovih varijatora uloženi su paketi poprečnopokretnih lamela, tako da pri svakom slijedećem nalaženju lanca na lančanike nastaju novi paketi zuba, koji onda prenose snagu s lančanika na lanac i obrnuto.

Očito je prednost PIV-varijatora, u usporedbi s remenskim bestepenim varijatorima, što nema proklizavanja. Najviše se grade za prenošenje snaga do 30 KS, ali i za više; za brojeve okretaja $n_1 < 10\,000$ o/min; brzine lanaca $v = 4 \cdot 9$ m/s i prijenosne omjere $i = 3 \cdot 10$. Stupnjevi djelovanja su im $\eta = 0,85 \dots 0,95$.

D. Taubkin

BRTVE I BRTVENJE

Općenito se u strojarstvu pod brtvenjem razumijevaju mjere koje se poduzimaju da bi se spojevi učinili nepropusnim ili barem da bi se njihova propusnost dovoljno smanjila. To može biti potrebno iz različitih razloga (npr. da bi se međusobno odvojili prostori u kojima trebaju vladati različiti tlakovi ili u kojima se nalaze različiti mediji, a koji ne smiju doći u međusobni dodir, da bi se spriječio gubitak nekog medija, ili da bi se zaštitio neki uređaj od onečišćavanja).

U užem smislu pojam brtvenja ograničava se na spojeve koji i nakon montaže ostaju rastavljivi.

Spojevi se katkada mogu brtviti eliminacijom zračnosti među dosjednim površinama njihovih dijelova prikladno finom obradom i stezanjem dovoljno velikim silama. Međutim, u većini slučajeva takav je način brtvenja neekonomičan, a često i neizvediv. Zbog toga se brtvenje najčešće izvodi s pomoću različitih materijala (brtvila) ili od njih izrađenih elemenata (brtava) koji eliminiraju zračnost time što se lako prilagodavaju neravninama dosjednih površina svojim doformiranjem i/ili tzv. puzanjem. Osim osiguranja nepropusnosti, na te materijale postavlja se i niz drugih zahtjeva, već prema uvjetima u kojima oni moraju brtviti. Tako se od njih može tražiti da budu dovoljno sigurni u pogonu, da imaju dovoljnu trajnost, da ne utječu nepovoljno na medij s kojim su u dodiru i, s druge strane, da su otporni prema njegovom kemijskom djelovanju, da im koeficijent toplinskog istezanja ima prikladnu vrijednost, da su postojani na temperaturama pogona, da su otporni prema eroziji, a katkada da imaju prikladna anti-friksijska svojstva. Od nekih se traži da budu i lako obradivi.

Temelji teorije brtvenja. Istjecanje medija kroz prostor između dviju ravnih površina spoja prestaje prije nego se zračnost među njima svede na nulu. Tu pojavu treba pripisati složenom djelovanju apsorpcije medija na tim površinama, međumolekularnih sila u mediju i napona površine kao njihove posljedice, te kapilarnih sila. Zračnost je, pri kojoj se to događa, to manja što je razlika tlakova medija odvojenih spojem veća. Kako je, s druge strane, zračnost među dosjednim površinama spoja bez specijalne obrade zavisna od veličine elastičnih i plastičnih deformacija na njima kao posljedica pritiska kojim su one međusobno stegnute, to znači da za svaki određeni slučaj postoji neki stezni, tzv. *prethodni* ili kritični pritisak koji osigurava brtvenje. Uz navedenu razliku tlakova, taj prethodni pritisak određuju i svojstva materijala i kakvoća obrade brtvenih površina. Taj pritisak treba biti dovoljno velik da uzrokuje puzanje. Budući da su konstrukcijski materijali koji najviše služe u strojogradnji (čelici) vrlo otporni prema toj pojavi, jer imaju razmjerno veliku čvrstoću oblika, prethodni pritisci općenito su vrlo veliki. Ti se pritisci dadu veoma smanjiti ulaganjem brtava od materijala s razmjerno malom čvrstoćom oblika između tih površina. Time se postižu očite prednosti. Ipak, čvrstoća oblika brtava ne smije biti odviše mala, jer inače puzanje može uzrokovati deformacije koje odviše smanjuju trajanje prethodnog pritiska.

Djelotvornost brtvenja zavisi od dimenzija brtvene površine i brtve, od vrste opterećenja brtve i od medija. Općenito plinovi, naročito suhi, zahtijevaju bolje brtvenje nego tekućine.

Materijali za izradu brtava. Glavni izvorni materijali za izradu brtava jesu koža, biljna i sintetska vlakna i njihove preradevine, pluto, vulkanfiber, troskina vuna, azbest, kaučuk, guma, papir, karton i različite plastične mase, grafit i drugi materijali na bazi ugljika, metali itd. U izradi brtava ovi se materijali često kombiniraju međusobno i s drugim materijalima.

Papiri i kartoni općenito su odviše porozni, da bi se mogli upotrijebiti kao samostalna brtvila. Svojevremeno im se poboljšavaju impregnacijom uljima, smolama, kaučukovim lateksom. Manje prikladni impregnanti za tu svrhu jest firnis, jer čini proizvode neelastičnim.

Koža uštavljena kako biljnim tako i kromnim štavilima također je razmjerno porozna. Da bi se učinila nepropusnom za brtvenje, impregnira se voskovima, smolama i tekućim sintetskim impregnantima. Prednosti su joj prilična otpornost prema trošenju, djelovanju masti, benzina, slabim kiselinama i tekućinama koje sadrže sumpor, a za neke svrhe i razmjerno mali koeficijent trenja. Nedostaci kože kao brtvila jesu slaba toplinska postojanost, zbog čega se ne smije upotrijebiti u dodiru s parom, i velika osjetljivost prema lužinama. Najviše se upotrebljava za izradu manžetnih brtava, i to za niske pogonske temperature.

Biljna vlakna (kudjelja, juta, pamuk, drvo vlakno) služe za proizvodnju jeftinih brtava za lakše pogonske uvjete. Pri tome se impregniraju različitim sredstvima (npr. neoprenom).

Pluto se za izradu brtava upotrebljava u prirodnom stanju ili se melje, pa se od dobivenog brašna izrađuju proizvodi vrućim prešanjem s različitim vezivima (npr. proteinskim i sintetskim elastomerima). Glavne prednosti brtava od tih materijala jesu kompresibilnost bez puzanja i otpornost prema djelovanju ulja (do 120 °C; međutim iznad 70 °C pluto postaje plastično), a za stanovite svrhe i razmjerno visoki koeficijent trenja. Nedostaci pluta kao brtvila jesu neotpornost na djelovanje kiselina i lužina, korodivni utjecaj na legure aluminijuma i magnezijuma i na nerđajuće čelike. Osim toga pluto ne podnaša visoku temperaturu. Plutene brtve upotrebljavaju se za brtvenje površina izloženih velikim deformacijama, te među površinama od stakla i keramike.

Pusteni materijali od prirodnih i sintetskih vlakana služe za dobivanje brtava impregnacijom s različitim vezivima koja ih čine nepropusnim. Kemijski i toplinski vrlo otporne brtve dobivaju se od poliesterskih pustinih materijala impregniranih teflonom.

Vulkanfiber služi za proizvodnju brtvila u obliku ploča impregniranih ili obloženih elastomerima. Prednosti brtvila od vulkanfibera jesu razmjerna tvrdoća, savitljivost, žilavost i dobra obradivost. Nedostatak vulkanfibera kao brtvila jest njegova higroskopičnost i bubrenje upijanjem vode.

Troskina vuna može se u nekim slučajevima upotrijebiti kao toplinski vrlo otporno brtvilo. Međutim, njena upotreba za te svrhe vrlo je ograničena njenom vrlo malom mehaničkom otpornošću.

Stakleno predivo impregnirano teflonom je brtvilo koje uz visoku toplinsku ima i potrebnu mehaničku otpornost.

Azbest (v. TE 1, str. 633) nije prikladan za upotrebu kao samostalno brtvilo, jer je porozan, a i mehanička svojstva su mu slaba. Da bi se učinio čvršćim, armira se npr. lanenim (za niže temperature) i bakrenim (za više temperature) nitima. Da bi se učinio nepropusnim impregnira se najčešće elastomerima dobivenim od prirodnih i sintetskih kaučuka. Usprkos navedenim nedostacima, azbest se vrlo mnogo upotrebljava za izradu brtava i brtvila, jer je toplinski vrlo otporan. Najpoznatija azbestna brtvila jesu »it-ploče« (v. TE 1, str. 634), trake, pletenice, a od brtava pleteni prstenovi. Već prema materijalima upotrijebljenim za armiranje i impregnaciju ti su proizvodi postojani do 270 °C.

Brtvilo takve vrste poznato je pod nazivom *klingerit* (po prvom proizvođaču, austrijskoj tvornici R. Klinger). Klingerit u različitim svojim oblicima jest smjesa vlaknastog azbesta (60...90%), gume (8...12%) i nekih mineralnih dodataka, koji se prešaju u obliku ploča. Može podnijeti razmjerno vrlo visoke temperature, pa se upotrebljava za brtvenje spojeva u dodiru sa vlažnom i pregrijanom parom pod tlakom, s vrućom vodom, zatim za

brtvenje spojeva u dodiru s komprimiranim plinovima, derivatima nafte, kiselinama i uljem.

Guma je upotrebljiva kao samostalno brtvilo u velikom broju slučajeva. Glavna je njena odlika što se daje vrlo lako elastično deformirati i time prilagoditi obliku brtvene površine već pod malim pritiscima. Ta i ostala njena mehanička, a i kemijska svojstva zavise od elastomera koji čine njenu temeljnu tvar, i od vrste dodataka, punila i materijala kojima može biti armirana. U pogledu kemijske otpornosti gume kao brtvila, obično se razlikuju tipovi neotporne i otporne gume prema djelovanju derivata nafte. Pod toplinski otpornim gumama podrazumijevaju se otporne na srednje temperature. Naročito su toplinski otporne gume dobivene od silikonskih kaučuka, koje su postojane od -90°C do $+250^{\circ}\text{C}$. I ostala svojstva tih guma izuzetno su povoljna. Osim kao samostalno brtvilo, guma je važna i kao sastojak drugih brtvila. Kako je već navedeno, ona se može inkorporirati u brtvila impregnacijom tih brtvila kaučukom i zatim vulkanizacijom, ali i kao posebna obloga.

Od *plastičnih masa* za izradu brtvila i brtava upotrebljavaju se mase izrađene na bazi termoplasta, najviše polietilena, polivinilklorida, poliamida. Brtve od tih materijala obično se izrađuju prešanjem ili brizganjem. Pri tome im se mehanička svojstva mogu poboljšavati armiranjem metalnim žicama ili tekstilnim predivom. Za primjenu brtvila i brtava od plastičnih masa važno je kakvoj će vrsti opterećenja oni biti izloženi, jer im je čvrstoća veoma zavisna od toga. (Tako im je npr. čvrstoća na izmjenično-promjenljivo savijanje svega $15\cdots 20\%$ od statičke čvrstoće na savijanje, koja se nalazi u granicama $900\cdots 1200\text{ kp/cm}^2$.) Osim toga, čvrstoća im je veoma zavisna i od temperature. Zavisnost njihove deformacije od naprezanja nije linearna. Granica elastičnosti im je ispod 400 kp/cm^2 .

Posebno mjesto među termoplastima za brtve i brtvila zauzima *teflon*. Njegove prednosti su velika kemijska stabilnost i postojanost na niskim i visokim temperaturama. Upotrebljiv je za brtvenje na temperaturama koje vladaju u postrojenjima koja rade s tekućim zrakom i dušikom, kao i u onima s razmjerno visokim temperaturama od $250\cdots 280^{\circ}\text{C}$. Općeniti nedostatak teflona, što se teško obrađuje, dolazi do izražaja i u ovom području primjene. Lakše se obrađuje srodni mu termoplast, tzv. *hostafion*. On ima i bolja mehanička svojstva, ali je njegova kemijska postojanost manja.

Važna svojstva *grafita* kao brtvila jesu njegova toplinska postojanost (do 800°C) i kemijska otpornost, a i dobro antifrizijsko djelovanje. Međutim, njegova ostala mehanička svojstva nisu povoljna. Kao samostalno brtvilo dobro se može upotrijebiti za brtvenje spojeva s malom zračnošću među dosjednim površinama, naročito među navojima.

Od ostalih materijala na bazi ugljika kao brtvila u obzir dolaze proizvodi dobiveni od usitnjenih tvari s velikim sadržajem ugljika i s pomoću različitih veziva (tzv. umjetni ugljeni). Oni imaju znatno veću čvrstoću, a ostala svojstva slična svojstvima grafita. Dosta se upotrebljavaju u izradi tzv. samopodmazivih brtava.

Metali se kao brtvila upotrebljavaju u slučajevima kad već spomenuti materijali ne mogu zadovoljiti zahtjeve koji se na njih postavljaju s obzirom na čvrstoću i postojanost. Glavni je nedostatak metalnih brtvila u usporedbi s ostalima u tome što im je kompresibilnost mnogo manja i što se ne daju lako deformirati. Zato je za brtvenje spojeva, u kojima se upotrebljavaju, potrebno imati ne samo kvalitetnije obrađene dosjedne površine nego treba upotrijebiti i mnogo veće stezne sile.

Već prema uvjetima u kojima brtve moraju djelovati, kao metalna brtvila upotrebljavaju se kositar, olovo, aluminijum, bronca, nikal i njegove legure (monel i nikelon), olovna bronca, lijevano željezo, legirani i nelegirani čelici, pa i srebro, platina, steliti, a i neki sinterovani metali (npr. na bazi bakar-kositar-željezo). Naročita je odlika sinterovanih metala kao brtvila u tome što se mogu učiniti samopodmazivima natapanjem uljem. Nedostatak im je mala čvrstoća.

Vrste brtvenja

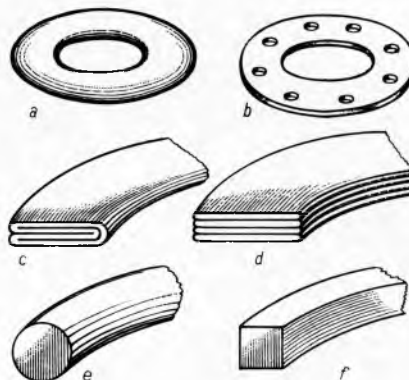
Podjela područja brtvenja može se izvesti s obzirom na to, da li se radi o brtvenju dodirno (dodirnom brtvenju) ili bez toga, da li se radi o brtvenju spojeva s dijelovima koji se nalaze u relativnom mirovanju ili gibanju, ili kombinirajući ta dva načela. Zbog specifičnosti njegove funkcije, posebno je izdvojeno zaštitno brtvenje, pa su u to uključeni i slučajevi primjene dodirnog brtvenja

među pokretnim dijelovima u takve svrhe i, iz istih razloga, još i čitavo područje bezdodirnog brtvenja. Također je posebno izdvojeno i brtvenje mješovita i membranama, iako ono često ima samo zaštitnu funkciju.

Brtvenje među dijelovima koji miruju može se izvesti već navedenim načinom bez brtava, uz prikladnu obradu dosjednih površina koja obuhvaća fino tokarenje, brušenje i lepanje (v. *Alatni strojevi*, TE 1, str. 121, 146, 161). Prednosti takvog načina brtvenja jesu mogućnost čestog rastavljanja i sastavljanja spojeva, pri čemu, kako nema brtve, nema ni mogućnosti njenog oštećivanja, niti opasnosti od međusobnog nepovoljnog djelovanja brtve i medija. Nedostatak ovog načina brtvenja jest potreba velikih steznih sila za sigurnost spoja.

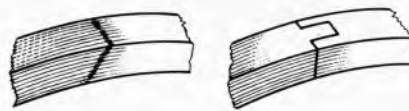
Još jedan način brtvenja među mirujućim dijelovima bez posebno izrađenih brtava jest kitanje. Kitovi koji se pri tome upotrebljavaju kao brtvila mogu biti različitog sastava. Pri tome se često upotrebljavaju i različiti ulošci.

Brtve izrađene za dodirno brtvenje među dijelovima koji miruju mogu se podijeliti na plosnate, profile i brtve za naglavke (kolčake). Zbog naročitih zahtjeva koje moraju zadovoljavati, brtve za visoke tlakove ili vakuume razmatraju se posebno. Sve ove brtve imaju prstenasti oblik. Izrađuju se u komadu ili sastavljaju od traka. Neki oblici tih brtava i brtvila prikazani su na sl. 391.



Sl. 391. Neki oblici prstenastih brtava. a O-prsten, b čelna ploča, c valovita traka, d lamelna traka, e okrugla traka, f kvadratna traka

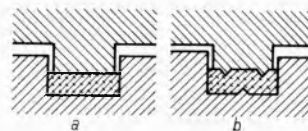
Na sl. 392 dva su načina sastavljanja traka. Upotrebljavaju se za brtvenje rastavljivih spojeva, uglavnom s pomoću priрубica na cijevima, zatim spojeva aparata, rezervoara i sl.



Sl. 392. Neki od načina sastavljanja brtava izrađenih od traka

Brtve plosnatog oblika mogu biti tzv. meke, slojaste i tvrde.

Najčešći materijal *mekih brtava* jest kombinacija azbesta i gume koja može sadržavati i manje količine drugih tvari. Obično su to već spomenuti it-materijali. Za materijal nekih brtava upotrebljava se i guma, kad to dopuštaju pogonske temperature, a traži se dobra prilagodljivost dosjednim površinama. Na sl. 393

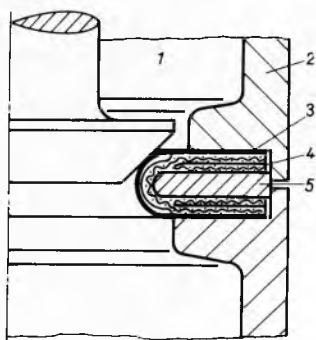


Sl. 393. Neki od načina ugradnje mekih brtava među nepokretne dijelove. a Meka brtva u utoru s glatkim površinama nalijeganja, b u utoru s izbočenjima nalijeganja

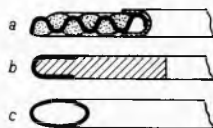
prikazani su normalni način brtvenja (a) mekim brtvama i s uzvišenjima za lokalno povećanje brtvenog pritiska na dosjednim površinama dijelova spoja (b).

Osnovni materijal *slojstih brtava* također je mekan i elastičan, ali one imaju uloške koje ih čine čvršćim, ili obloge koje ih čine kemijski postojanijim. Kombinacije materijala kojima se to postiže vrlo su brojne. Jedna od takvih brtava s metalnom jezgrom i teflonskom oblogom prikazana je na sl. 394. Tzv. kostur

metalnih slojastih brtava, koji treba preuzeti mehanička opterećenja, izrađen je od metala i ispunjen brtvilom. Nekoliko primjera izvedbe tih brtava prikazano je na sl. 395.



Sl. 394. Brtve iz više slojeva za emajlirano kućište s porculanskim zapor-nim konusom. 1 Zaporni konus, 2 kućište, 3 zaštitna obloga od teflona, 4 azbestno pletivo, 5 željezna jezgra

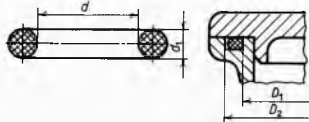


Sl. 395. Nekoliko primjera prstenastih brtava iz mekog materijala s metalnim oblogama: a od valovitih metalnih traka s obostrano nalipljenim elastičnim materijalom te metalnim okvirom, b prsten od mekog materijala s metalnim prstenom na vanjskom obodu, c s jezgrom iz mekog materijala u metalnom prstenu

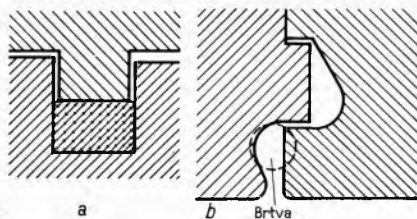
Tvrde plosnate brtve najčešće se izrađuju od metala. Da bi izdržale velike prethodne sile, njihovi materijali moraju imati visoku granicu elastičnosti, ali, s druge strane, oni ne smiju pružati odviše veliki otpor promjeni oblika. Od tih materijala potrebno je spomenuti aluminijum i neke njegove legure, bakar, olovo i čelik. Neki od tih materijala upotrebljavaju se, npr., za brtvenje u postrojenjima koja rade s komprimiranim zrakom pri tlakovima od 250...900 atm, pa i višim.

Profilne brtve su brtve koje se, kad su u neopterećenom stanju, dodiruju s brtvjenim površinama samo na nekoj liniji. Pri upotrebi ovih brtava brtvene površine nastaju istom pri deformacijama koje su posljedice stezanja. Pri tome se razlikuju brtve koje se deformiraju elastično, one koje se deformiraju plastično, kao i one koje se deformiraju pretežno elastično, odnosno plastično. Također se razlikuju meke i tvrde profilne brtve.

Meke profilne brtve (tzv. O-prstenovi) s elastičnim deformacijama imaju oblik prikazan na sl. 396 a. To su prstenovi od gume dobivene od različitih sintetskih kaučuka, već prema zahtjevima koji se postavljaju s obzirom na njihove toplinske postojanosti i prema tlakovima u pogonu. Zbog nestišljivosti gume za ispravnu ugradnju ovih brtava mora biti osiguran dovoljan prostor za deformaciju (sl. 396 b). Utori za njihovu ugradnju mogu imati različite oblike. Neki od njih prikazani su na sl. 397.



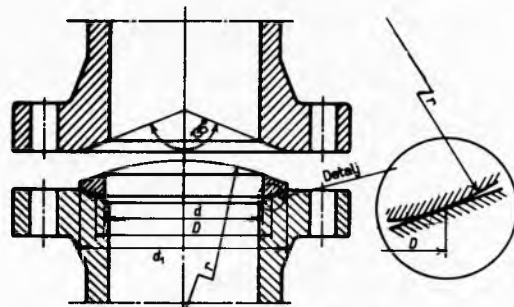
Sl. 396. O-prsten: a prije ugradnje, b ugrađen



Sl. 397. Neki oblici utora za meke profilne brtve: a jednostavni pravokutni, b složeni za vodne turbine većih promjera

Tvrde profilne brtve izrađuju se kao prstenovi od materijala koji pružaju veliki otpor promjeni oblika, već prema pogonskim temperaturama na kojima trebaju brtviti, od bronce, bakra, mjedi, remanita. One brtve svojim, pretežno elastičnim, deformacijama. Presjeci ovih brtava mogu biti kružni, ovalni ili oblika presjeka leće, kao na sl. 398. Prednost takvog brtvenja jest u tome što ono omogućuje izravnavanje netočnosti međusobnih položaja dijelova u spoju i što kuglaste površine leće dopuštaju vibriranje

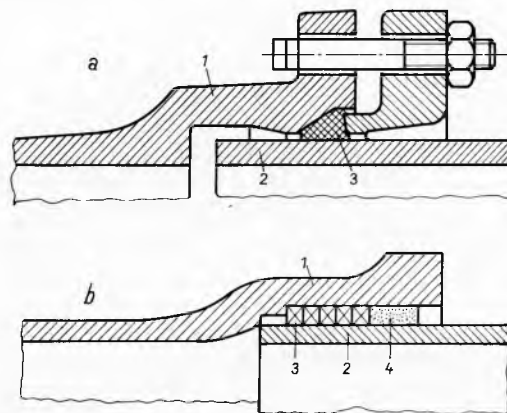
tih dijelova, što je vrlo važno, npr., kod cijevnih vodova parnih lokomotiva.



Sl. 398. Lećasta tvrda profilna brtva

Brtve za naglavke na cijevima razlikuju se već prema tome, da li spoj treba da bude elastičan ili krut.

Za brtvenje *elastičnih spojeva* kod cijevi s naglancima upotrebljavaju se prstenaste gumene brtve, koje se pri montaži utiskuju u kružni prostor između naglavka jedne i ravnog kraja druge cijevi. Jedan primjer takvog elastičnog brtvenja prikazan je na sl. 399 a. Ovo brtvenje dopušta stanovitu kutnu pokretljivost dijelova u spoju i njihove male uzdužne pomake.



Sl. 399. Spoj cijevi s naglavkom. a Spoj zabrtven prstenastom gumenom brtvom, b spoj zabrtven podbijenom brtvom; 1 naglavak, 2 ravni kraj cijevi, 3 prstenasta brtva, odnosno masna pletenica, 4 olovo ili asfalt

Kruto spajanje cijevi s naglancima danas se većinom izvodi kao nerastavljivo (zavarivanjem, lemljenjem, lijepljenjem). Pri tome brtvenje ne dolazi u obzir. Međutim, rastavljivo kruto spajanje naglancima uz primjenu brtvenja zadržalo se u nekim slučajevima. Tako se, npr., vodovodne cijevi od sivog lijeva često brtve tzv. *podbijenim brtvama* (sl. 399 b). One se obično sastoje od jutenih ili kudjeljnih pletenica natopljenim katranom, bitumenom ili lojem, utisnutih među stijenke naglavka i ravnog dijela cijevi, i olova (ili asflata) s kojim su podbijene, odnosno zalivene s vanjske strane, da bi se održale pod pritiskom. Brtve se i plinske cijevi s naglancima s navojem. Za to se upotrebljava brtvilo od kudjeljnog vlakna natopljeno minijumom ili kitom za brtvenje.

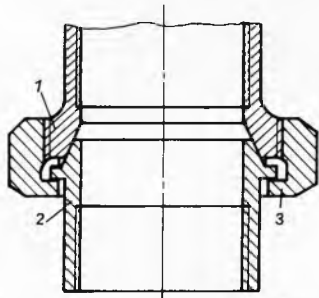
Brtvenje pri visokim tlakovima zahtijeva posebnu tehniku. Može se izvesti na nekoliko načina. Jedan od tih je s pomoću *velikih brtvjenih pritisaka*. To se može postići s pomoću uskih ili stožastih brtvjenih površina kao u primjeru na sl. 400 ili koncentracijom pritiska na određene dijelove brtava, kao u primjeru na sl. 401 a.

Drugi način ovog brtvenja je s pomoću *zatvorenih brtava* kao na sl. 401 b. To su obično prstenovi od mekih metala (aluminijuma, bakra), koji poslije stezanja zatvaraju dijelove spoja sa svih strana. Kako brtva pri tome ne može biti zgnječena, njen materijal puže, pa ispuni čitav brtveni prostor poput tekućine. Za takav način brtvenja mogu se upotrijebiti i gumeni brtveni prstenovi, ako se radi o nižim temperaturama pogona.

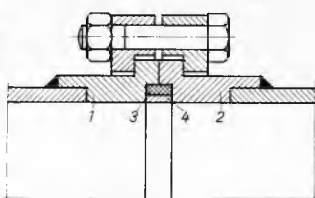
Slijedeći je način brtvenja pri visokim tlakovima taj da se *iskoristi tlak* za postizanje brtvenog pritiska. Jedan od mnogih primjera prikazan je na sl. 402. Tu je brtva, tzv. *delta-prsten* (s presjekom oblika grčkog slova delta). Tlak u cilindru ovdje uzrokuje deformacije brtvenog prstena. Na taj je način moguće, npr., uspješno zabrtviti spoj do tlaka od 700 kp/cm², odnosno od 3500 kp/cm² pri promjerima cilindra od 830 mm, odnosno 200 mm.

Poseban problem kod brtvenja pri visokim tlakovima predstavljaju slučajevi kad treba računati s toplinskim dilatacijama dijelova spoja, kao npr. u spojevima parnih turbina, gdje su temperature pregrijane pare 600 °C i više. Takvi se spojevi brtve prstenovima od krom-molibden čelika, koji dopuštaju stanovitu međusobnu pokretljivost dijelova spoja. Jedan primjer takvog spoja prikazan je na sl. 403. Za slobodnu dilataciju dijelova takvih spojeva treba među njihovim dosjednim površinama postojati zračnost *a*, a isto tako i između njih i rubova brtvenog prstena *b*.

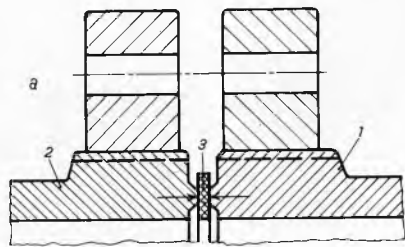
Pri brtvenju pri visokim tlakovima i niskim temperaturama s nemetalnim brtvama pojavljuju se poteškoće uzroko-



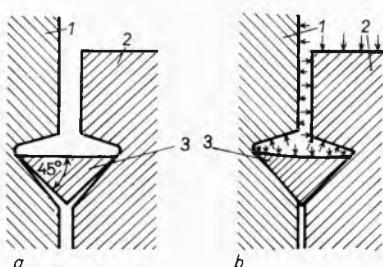
Sl. 400. Spoj visokotlačnog cijevnog voda zabrtven s pomoću stožastih dosjednih površina. 1, 2 Cijevi s ojačanim krajevima (jedan s navojnim krajevima), 3 stezna matica



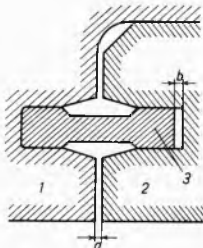
Sl. 404. Brtvenje spoja izloženog djelovanju medija niske temperature i visokog tlaka. 1, 2 Prirubnice dijelova u spoju, 3 gumeni brtveni prsten, 4 potporni metalni prsten



Sl. 401. Visokotlačno brtvenje: *a* koncentracijom pritiska na male površine naliježanja na središnjem dijelu brtve, *b* s pomoću zatvorene brtve; 1, 2 dijelovi u spoju, 3 brtveni prsten u nestegnutom stanju



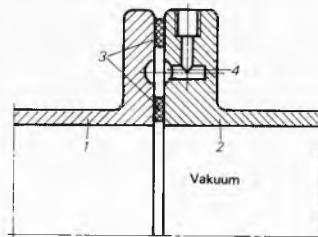
Sl. 402. Spoj cilindra s poklopcem zabrtven delta-prstenom s pomoću tlaka medija: *a* u neopterećenom stanju, *b* u stanju kad djeluje tlak medija; 1 poklopec, 2 cilindar, 3 brtveni prsten



Sl. 403. Brtvenje spoja izloženog djelovanju medija visoke temperature i tlaka. 1, 2 Dijelovi u spoju, 3 brtveni prsten od Cr-Mo čelika

vane njihovim stezanjem. Tada se pribjegava izvedbama poput one prikazane na sl. 404, birajući materijale prirubnica, potpornog prstena i brtve, tako da razlike njihovih koeficijenata toplinskog istezanja, odnosno kontrakcije, podupiru brtveni pritisak.

Brtvenje vakuuma. Cilj brtvenja spojeva aparata i instalacija u kojima vlada vakuum jest da se spriječi štetno prodirane zraka u njih. Za brtvenje vakuuma do oko 98% mogu se upotrijebiti brtvila koja se upotrebljavaju i za brtvenje pri tlakovima iznad atmosferskog, ako su ostali uvjeti jednaki. Pri tome dolaze u obzir plosnate i posebno profilirane brtve od elastičnih materijala. Maksimalno opterećenje gumenih profiliranih brtava za spojeve izložene djelovanju vakuuma, koji se često rastavljaju, ne treba prelaziti 25 kp/cm², dok se inače dopušta do 40 kp/cm², zavisi od kvaliteta gume. Jedan od načina brtvenja pri još nižim tlakovima prikazan je na sl. 405.



Sl. 405. Brtvenje spoja za visoki vakuum s pomoću brtava i brtvene tekućine. 1, 2 Dijelovi u spoju, 3 brtveni prsten, 4 šupljine i kanali s brtvenom tekućinom ili parom

Dirno brtvenje među dijelovima koji se giblju dolazi u obzir za primjenu kako kod pravocrtNOPokretnih elemenata (npr. vretena ventila i zasuna, stapova i stapajca) tako i kod rotirajućih (npr. vratila turbokompresora, centrifugalnih i zupčanih crpki i sl.). To je povezano s klizanjem brtvenih površina jednih po drugima, a time i s pojavom trenja, gubicima pretvaranjem stanovitog dijela mehaničke energije u toplinu te trošenjem materijala elemenata spoja. Zbog toga pri ovom načinu brtvenja podmazivanje je važan činilac.

Kao i pri dodirnom brtvenju općenito, tako i u ovom slučaju potreban je stanoviti brtveni pritisak. S druge strane, da bi se dijelovi zabrtvenog spoja mogli relativno gibati, potrebna je stanovita zračnost među brtvenim površinama. Ona nije ni poznata ni stalna, već se mijenja s vremenom rada spoja. Međutim, da bi spoj bio nepropustan, ona mora biti dovoljno mala da ne dopusti protjecanje medija.

Najstariji način takvog brtvenja jest s pomoću brtvila koja se nabijaju u brtvenice. Osim toga, za dirno brtvenje spojeva elemenata koji se međusobno giblju upotrebljavaju se još i brtveni prstenovi s opružnim djelovanjem te automatske brtve. Također je primjenljivo i brtvenje fluidima.

Brtvenje nabijanjem u brtvenice dolazi u obzir najviše za spojeve dijelova koji se giblju razmjerno sporo. Izvodi se kako s pomoću brtvila od kojih se brtve prave na samome mjestu tako i s pomoću već gotovih brtava. Zajedničko svim tim materijalima jest da oni brtve deformacijama koje nastaju pod utjecajem brtvenog pritiska, zbog čega moraju biti dovoljno meki, pa se u praksi i nazivaju mekim brtvilima. Za tu svrhu uzimaju se nemetalni i metalni materijali. Prvi su ponekad vlakna (prvenstveno azbestna, kudjeljna, pamučna), češće njihove preradevine (prediva, pletiva, tkanine), ali i koža, guma, plastične mase. Meke metali koji se upotrebljavaju za ovaj način brtvenja jesu olovo, bakar, aluminijum, kositar i neke njihove legure. Neki materijali za brtvenje nabijanjem dobivaju se kombiniranjem mekih nemetalnih i metalnih materijala. Posebnu skupinu materijala za ovaj način brtvenja čine grafitne i grafitirane brtve koje služe za izravno nabijanje u brtvenice.

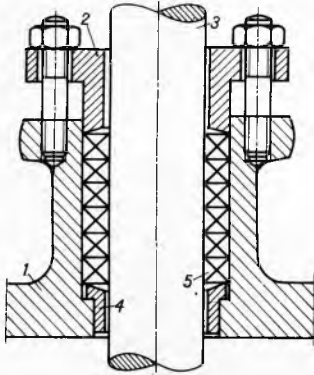


Sl. 406. Azbestna pletenica kvadratnog presjeka

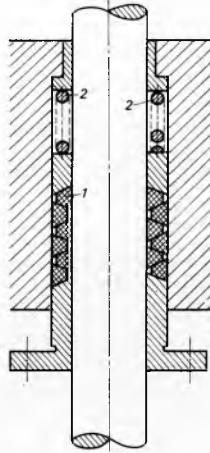
Od *vlaknastih* brtvila za ovu svrhu najviše se upotrebljavaju pletenice s kvadratnim presjekom poput prikazane na sl. 406, ali se često susreću i one s kružnim i pravokutnim presjekom. Već prema namjeni, ova brtvila mogu biti neimpregnirana (suha) ili impregnirana. Najčešće je impregnant mazivo (masne pletenice),

koje ne samo osigurava podmazivanje već i služi kao zaštita od kemijskog djelovanja medija. Osim toga, već prema potrebama impregnanti mogu biti voskovi, elastomeri i druge plastične mase, kao i grafit. Jednostavan način brtvenja ovim materijalima, koji se upotrebljavaju, npr., za vretena ventila, prikazan je na sl. 407.

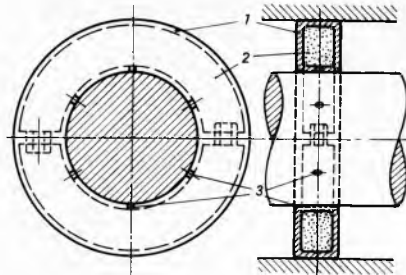
Od *kože, gume i plastičnih masa* izrađuju se prstenaste brtve za nabijanje. Jedan primjer takvog brtvenja prikazan je na sl. 408. Opruga brtvenice u ovom slučaju služi za kompenzaciju nepovoljnog utjecaja toplinske dilatacije dijelova na brtvenje.



Sl. 407. Brtvenica vretena ventila.
1 Brtvenica, 2 jaram, 3 vreteno,
4 vodilica, 5 brtva

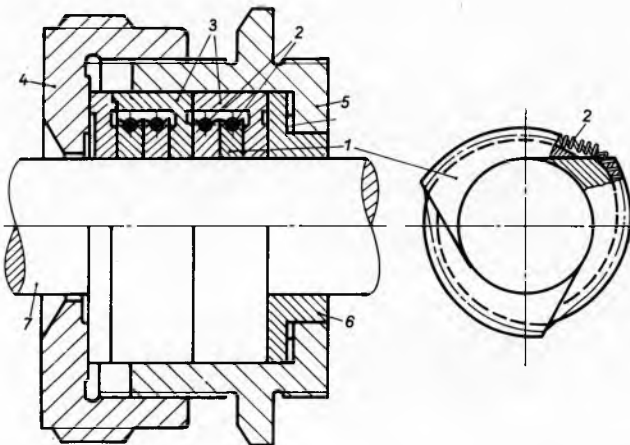


Sl. 408. Brtvenica s teflonskim prstenovima opterećena oprugom. 1 Prstenovi trapeznog presjeka, 2 opruga



Sl. 409. Šuplji metalni brtveni prsten na osovini.
1 Metalni prsten, 2 mazivo, 3 otvori za istjecanje maziva

Od *mekih metalnih* brtvila također se izrađuju brtveni prstenovi. Najzanimljiviji među ovima su tzv. šuplji prstenovi (sl. 409). Ispunjeni su mazivom, obično grafitom, koji istječe na kliznu površinu kroz male otvore pod utjecajem tlaka uzrokovano deformacijom prstena. Takav način podmazivanja zadovoljava u mnogim slučajevima.



Sl. 410. Primjer brtvenja stapajice kliznim prstenovima s oprugama. 1 Trodijelni tangencijalno prorezani prsten s oprugama, 2 opruge, 3 pregrade komora; 4, 5, 6 dijelovi brtvenice, 7 stapajica

Kombinirana meka brtvila za nabijanje izrađena od nemetalnih i metalnih materijala imaju oblik sličan pletenicama od vlaknastih

materijala. Pri tome jezgra od vlaknastog materijala može biti omotana metalnom folijom ili, obrnuto, metalna jezgra vlaknastim materijalom.

Grafitna brtvila za nabijanje sastoje se od čistog pahuljičastog grafitu, u nekim slučajevima s primjesama od mekih metala (npr. granulatom ili strugotinama od olova, legura kositra), ili od vlaknastih materijala. Tzv. grafitne cijevčice za armature vodovoda izrađuju se od azbestne ljeperke, a grafitiraju se samo površinski.

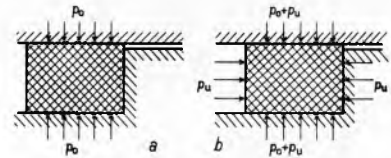
Brtveni prstenovi s opružnim djelovanjem za brtvenje među pokretnim dijelovima upotrebljavaju se za teže pogonske uvjete pri razmjerno velikim brzinama klizanja i višim temperaturama. Za razliku od brtvila za nabijanje, oni brtve prikladnim dosjedom.

Među ove brtve ubrajaju se prstenovi sa spiralnim steznim oprugama za brtvenje stapajica parnih strojeva, plinskih motora, dizel-motora i motora na komprimirani zrak, kompresora. Jedan primjer brtvenja takvim prstenovima prikazan je na sl. 410. Osim ovog primjera brtvenja upotrebljavaju se i jednodijelni, ili prorezani višedijelni prstenovi. Spiralne obuhvatne opruge višedijelnih prstenova ovdje stvaraju prednapon potreban za brtvenje.

Ovi prstenovi izrađuju se od bijele kovine, specijalne bronce, lijevanog željeza, sinterovanih materijala i elektroodnog ugljena. Posljednji se obično ne podmazuju.

Posebna vrsta kliznih brtvenih prstenova s opružnim djelovanjem jesu tzv. stapne opruge ili *stapni prstenovi* (v. *Motorni s unutarnjim izgaranjem i Parni stapni strojevi*).

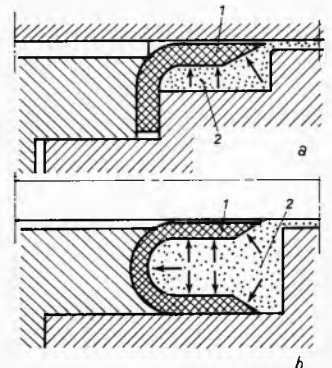
Automatske brtve za dodirno brtvenje među pokretnim dijelovima djeluju slično kao automatske brtve među mirujućim dijelovima. Izrađuju se od elastičnih materijala s nadmjerom s obzirom na prostore u koje se ugrađuju. Zbog toga poslije njihove ugradnje na brtvenim površinama spoja već vlada stanoviti brtveni pritisak (p_0 na sl. 411 a), a kad spoj dospje pod pogonski tlak (p_u na sl. 411 b), brtveni se pritisak povećava na veličinu $p_0 + p_u$. Među ovim brtvama najvažnije su profilirane i manžetne brtve.



Sl. 411. Djelovanje automatske brtve. a Brtva prednapregnuta ugradnjom, b brtva pod djelovanjem tlaka medija

Profilirane (O-) brtve za dodirno brtvenje spojeva pokretnih dijelova upotrebljavaju se za slične svrhe kao i brtveni prstenovi s opružnim djelovanjem. Najčešće su to prstenovi kružnog presjeka od specijalne gume, ali izrađuju se i od različitih kombinacija materijala (npr. od teflona i metala). Gornje granice područja primjene takvih prstenova dosežu i do 400 °C i 1 000 atp. Za uspješno brtvenje ovim brtvama i za njihovu trajnost bitno je da klizne površine budu bez oštećenja i da je osigurano izdašno podmazivanje.

Brtvenje manžetama. Pod manžetnim brtvama razumijevaju se prstenovi od kože, gume, plastičnih masa — s naročitim oblicima presjeka, prema kojima se često i dijele, pa se govori, npr., o jednostrukim, dvostrukim (U-manžetama), u obliku lanca, fazonskim manžetama itd. Općenito se upotrebljavaju za brtvenje pri visokim tlakovima, uglavnom tekućih medija, ali i plinova, uz prikladno podmazivanje, kako među dijelovima koji se giblju pravocrtno tako i među onima koji rotiraju. Pri tome je područje primjene manžeta od normalnih materijala ograničeno na umjerene temperature i brzine klizanja. Zbog automatskog dje-



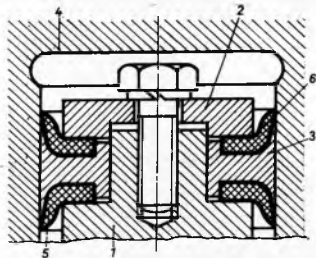
Sl. 412. Princip brtvenog djelovanja manžeta. a Jednostruka manžeta, b dvostruka (U) manžeta; 1 manžeta, 2 medij

lovanja sve se više upotrebljavaju i za brtvenje među mirujućim dijelovima. U novije vrijeme upotrebljavaju se i kao zaštitne brtve.

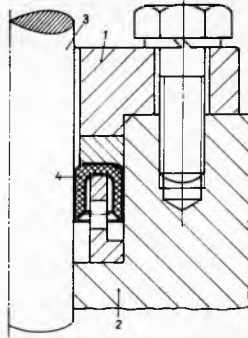
Princip djelovanja manžeta prikazan je na sl. 412. Vidi se da je potporno brtveno djelovanje pogonskog tlaka (strelice) kod brtvenja jednostrukom manžetom usmjereno samo jednostrano (radijalno), a kod dvostruke obostrano (aksijalno i radijalno). Takvo djelovanje tlaka medija može se i negativno odraziti ako su manžete neprikladno stegnute, a njihovi jezici nisu dovoljno priljubljeni na brtvenu površinu. Tada tlak medija, namjesto da ih još bolje priljubi, može ih odći. To se može spriječiti posebnim mjerama (npr. naročitim oblikom jezika, osiguranjem jezika oprugom, pojačanjem U-profila elastičnim materijalom).

Primjer brtvenja fazonskim manžetama pri obostranom djelovanju tlaka medija prikazan je na sl. 413, a s dvostrukom manžetom slobodno smještenom u kućištu na sl. 414.

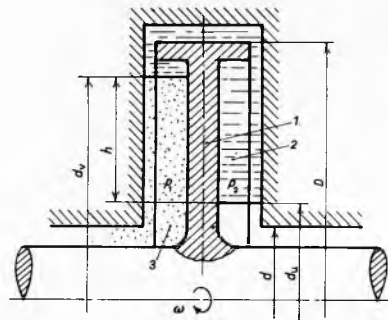
Brtvenje spojeva pokretnih dijelova fluidima ima dosta sličnosti s bezdodirnim brtvenjem, od kojeg se razlikuje samo time što brtveni fluid nije sam medij koji se brtvi, već neki drugi.



Sl. 413. Stap dvoradnog cilindra s brtvama od fazonskih manžeta. 1, 2, 3 Dijelovi stapa, 4 cilindar, 5, 6 fazonske manžete



Sl. 414. Otvor u cilindru za prolaz stapajice zabrtven dvostrukom manžetom. 1, 2 Dijelovi cilindra, 3 stapajica, 4 dvostruka manžeta



Sl. 415. Princip brtvenja između rotirajućeg i mirujućeg elementa s pomoću tekućine. 1 Rotor, 2 brtvena tekućina, 3 medij čije istjecanje treba spriječiti

trebni brtveni tlak nastaje pod utjecajem centrifugalne sile elementa koji se giblje, kako je prikazano na sl. 415. Zbog toga ovo brtvenje dolazi u obzir za primjenu tamo gdje samo jedan dio spoja rotira. Prema postavkama rotacijskog gibanja i hidrauličke, za izračunavanje razlike tlakova Δp koja pri tome može biti zabrtvena stupcem tekućine s visinom h , treba primijeniti izraz

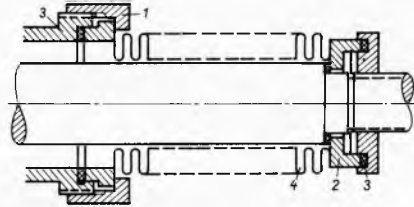
$$\Delta p = p_1 - p_2 \frac{d_v^2 - d_u^2}{8g} \gamma \omega^2,$$

gdje je g ubrzanje Zemljine teže, γ specifična težina brtvene tekućine, ω kutna brzina rotacije, dok su ostale veličine vidljive iz sl. 415. Kad su površine rotora glatke, a sloj brtvene tekućine tanak, namjesto ω u gornji izraz treba staviti $\omega' = \frac{\omega}{2}$. Prednost ovog načina brtvenja je u tome što nema gubitaka brtvene tekućine.

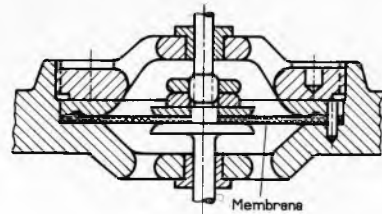
Pri brtvenju fluidima koji se dovode *izvana*, njihov tlak mora biti veći i od tlaka medija čije se protjecanje među brtvenim površinama želi spriječiti, i od atmosferskog tlaka. Pri tome među brtvenim površinama namjesto medija protječe brtvena tekućina, što je povezano s gubicima. Taj se nedostatak može ublažiti

smanjivanjem zračnosti među brtvenim površinama i upotrebom gušćih brtvenih tekućina. Međutim, ovaj način brtvenja ne primjenjuje se sam, nego kao dodatna mjera u nekim slučajevima brtvenja brtvnicama, a brtvilo ujedno smanjuje gubitke brtvene tekućine.

Brtvenje valovitim mijehovima i membranama. Jedan primjer brtvenja *valovitim mijehom* prikazan je na sl. 416. Takvi mijehovi izrađuju se od tombaka (za temperature do 80 °C), duboko vučenog lima (do 400 °C), nerđajućeg čelika (do 600 °C), a i od drugih metala (mijedi, fosforne bronce, srebra, monelmetala).



Sl. 416. Spoj pokretnog i mirujućeg dijela metalnim valovitim mijehom. 1 Pravocrtno-pokretni dio, 2 mirujući dio, 3 nepropusni spoj, 4 mijeh



Sl. 417. Spoj pokretnog i mirujućeg dijela zabrtven gumenom membranom

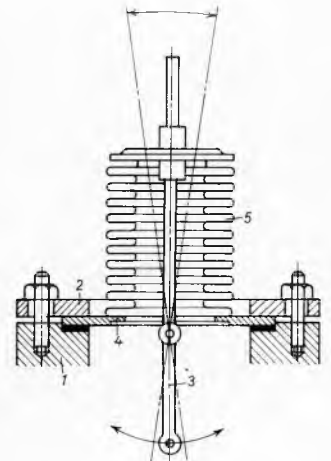
Direktna primjena ovih mijehova ograničena je na slučajeve, kada dijelovi spoja trebaju da se pravocrtno pomiču jedan prema drugome. Ostali njihovi nedostaci su u tome što dopuštaju samo razmjerno mali pomak dijelova i što su dozvoljeni pritisci ograničeni. Prednost im je u tome što, kako nemaju brtve, u njima nema trenja, pa ih ne treba održavati, i što osiguravaju potpunu nepropusnost.

Primjer brtvenja *membranom* prikazan je na sl. 417. Odlike takvog načina brtvenja slične su kao i kod brtvenja mijehovima. Jedan od slučajeva zaštitnog brtvenja mijehom karki se često susreću (npr. zaštitne brtve na ulazu ručice u mjenjače brzina), prikazan je na sl. 418.

Zaštitno brtvenje. Pod zaštitnim brtvenjem razumijeva se ono kojemu je cilj sprečavanje ulaza nečistoća, vode i para u ležaje i kućišta. To područje dijeli se na bezdodirno i dodirno brtvenje.

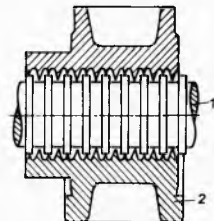
Bezodirno zaštitno brtvenje može se ostvariti prikladnom obradom brtvenih površina, pri čemu je u spojevima pokretnih dijelova potrebno osigurati stanovitu zračnost među njima, koja između brtvenih površina mora biti razmjerno mala. Takav način primjenjuje se kod ležaja koji se podmazuju mašću. Mast popunjava zračnost među brtvenim površinama i sprečava ulaz nečistoća u spoj.

Bolji način ovog brtvenja jest, da se izrade koncentrični utori u brtvenoj površini mirujućeg dijela. U njima se onda stvaraju prstenovi od masti koji dobro štite spoj. Najbolje je da se tim utorima dađe oblik navoja sa smjerom uspona suprotnim smjeru rotacije, koji tada vraćaju mast natrag u ležaj.

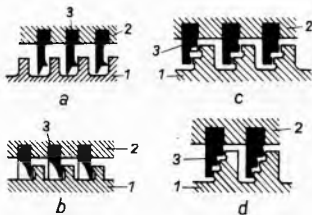


Sl. 418. Otvor za ulaz ručice zabrtven valovitim mijehom. 1 Kućište, 2 stezni prsten, 3 ručica, 4 prirubnica mijeha, 5 mijeh

Još je savršeniji način bezdodirnog brtvenja s pomoću utorâ i izdanaka na rotirajućem i na mirujućem dijelu spoja, koji za diru jedni u druge, ali tako, da se međusobno ne dotiču, stvarajući neku vrstu labirinta. *Labirintne brtvenice* (koje se uglavnom primjenjuju kod brtvenja između obočja i vratila parnih i plinskih turbina, kao i kod njihovih razdjelnih stijena), sastoje se od niza grebena na vratilu i na obočju, koji ulaze jedni među druge, čineći kod toga uzastopna proširenja i suženja, kako to prikazuje sl. 419. Ovdje su grebeni na vratilu izrađeni od punog materijala (ili se na vratilo navuče vitka s urezanim grebenima). Normalne labirintne brtvenice izrađuju se od mjeđi ili od bronce, a za visoke temperature od nikal-čelika ili krom-nikalnog čelika. Postoji mnogo oblika labirintnih brtvenica, koje mogu imati radijalne, aksijalne ili radijalne i aksijalne prigušene raspore (sl. 420). Širina raspore iznosi obično 0,3...0,5 mm, a može se i regulirati.



Sl. 419. Labirintna brtvenica na vratilu parne turbine. 1 Vratilo i greben izrađeni u jednom komadu, 2 dio obočja turbine s labirintima

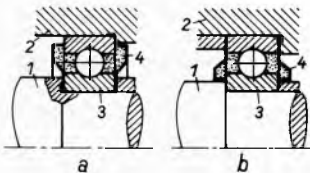


Sl. 420. Nekoliko primjera labirintnih brtvenica: a, b s aksijalnim raspore, c, d s kombiniranim aksijalno-radijalnim raspore; 1 vratilo s grebenima, 2 mirujući dio, 3 posebno ugrađeni labirinti

Labirintno brtvenje zasniva se na principu prigušivanja medija koji prolazi kroz labirinte, mijenjanjem u njima smjera kretanja, tlaka i brzine uslijed promjene presjeka raspore među njima. Brzina prolazećeg medija što nastaje u svakom suženju raspore, poništava se zbog naglog proširenja presjeka i skretanja i zbog stvaranja turbulencije. Kako su otpori kod turbulentnog strujanja skoro dva puta veći nego otpori kod laminarnog strujanja, to su labirintne brtve vrlo pogodne za sprečavanje prolaza plinova i para uz minimalne gubitke. To je i glavni razlog njihove primjene kod turbina radi zaštitnog djelovanja protiv gubitka tlaka i vakuuma.

Dotirno zaštitno brtvenje najjednostavnije se može izvesti s pomoću *pustenih prstenova* trapeznog presjeka (sl. 421). Pošto je takav način brtvenja povezan s trenjem, prstenovi se prije ugradnje natapaju vrućim uljem. Unatoč tome treba računati s trošenjem materijala i češćom izmjenom prstenova. Tamo gdje se očekuje intenzivnije onečišćenje, ugrađuje se više prstenova odvojeno jedan od drugoga ili u brtvenice jedan do drugoga. Zaštita pustenim prstenovima najviše se upotrebljava pri podmazivanju mašću (npr. kod valjnih ležaja skoro svih oblika). Pri podmazivanju uljem pusti se prstenovi upotrebljavaju razmjerno rijetko, jer se brzo natapaju mazivom i počinju ga propuštati.

Kombinirano zaštitno brtvenje s pomoću pustenih prstenova i labirinata primjenljivo je u pogonima u kojima dolazi do jakog prašenja. Pri tome se labirinti moraju napuniti mašću.



Sl. 422. Jednostavni primjeri zaštitnog brtvenja Nilos-prstenovima. a Vanjsko brtvenje, b unutrašnje brtvenje; 1 vratilo, 2 kućište, 3 kotrljajući ležaj, 4 Nilos-prsten

Za dotirno zaštitno brtvenje uspješno se upotrebljavaju i tzv. *Nilos-prstenovi*. Jednostavni primjeri njihove upotrebe za vanjsko i unutrašnje brtvenje prikazani su na sl. 422.

Kako je već navedeno, za dotirno zaštitno brtvenje upotrebljavaju se danas i *manžete*. Taj je način zaštitnog brtvenja najkvalitetniji, pogotovu pri

podmazivanju uljem. Oblici manžeta koji se upotrebljavaju za zaštitno brtvenje vrlo su brojni. Većinom su to manžete s oprugom. Najčešće se izrađuju s metalnim kućištima ili s dijelovima za ukrućenje. Prednosti manžeta s oprugom su u tome što se jednostavno ugrađuju, zauzimaju malo mjesta i uzrokuju malo trenje.

E. Oberšmit

LIT.: *Машиностроение, энциклопедический справочник*, Москва 1948. — S. Gross (prevod D. Taubkin), *Proračunavanje i oblikovanje opruga*, Zagreb 1951. — F. Findeisen, *Nezeitliche Maschinenelemente*, Zürich 1950/53. — E. F. Göbel, *Berechnung und Gestaltung von Gummifedern*, Berlin 1955. — L. Jemtar, *Ozubena kola čelni*, Praha 1956. — W. Tochtermann, *Maschinenelemente*, Berlin-Göttingen-Heidelberg 1956. — B. H. Кудрявцев, *Жубчатые передачи*, Москва, Ленинград 1957. — W. Lindner, *Zahnräder*, Berlin 1957. — W. Pampel, *Kupplungen*, Berlin 1958. — C. B. Серенсен и др., *Вали и оси*, Москва 1959. — A. Neumann, *Schweisstechnisches Handbuch für Konstrukteure*, Berlin 1960. — G. Niemann, *Maschinenelemente*, Berlin-Göttingen-Heidelberg 1960. — Lueger *Lexikon der Technik*, Band 1, Stuttgart 1960. — B. Добровольский и др., *Детали машин*, Москва 1961. — M. F. Spotts, *Design of Machine Elements*, Englewood Cliffs, N. J. 1961. — D. W. Dudley, *Gear Handbook*, New York 1962. — A. Bolek i dr., *Části strojů*, Praha 1963. — K. H. Decker, *Verbindungselemente, Gestaltung und Berechnung*, München 1963. — E. Kickbusch, *Föttinger-Kupplungen und Föttinger-Getriebe*, Berlin 1963. — W. Krumme, *Klingenberg-Spiralkegelräder*, Berlin 1963. — J. E. Shigley, *Mechanical Engineering Design*, New York 1963. — *Справочник машиностроителя*, Москва 1963. — V. L. Dougherty, *A. Vallance, Design of Machine Members*, New York 1964. — B. C. Поляков, И. Д. Барбаш, *Муфты*, Москва, Ленинград 1964. — K. Zirpke, *Zahnräder*, Leipzig 1964. — A. Frischherz, *R. Dornier, Maschinenelemente*, München 1965. — G. Köhler, *H. Rönitz, Maschinenteile*, Stuttgart 1965. — G. Schuermann, *Verbindungselemente*, Leipzig 1966. — R. Bauer, *G. Schneider, H. Kaltosen, Achsen, Wellen, Lager, Kupplungen*, Leipzig 1967. — F. Schmidt, *Berechnung und Gestaltung von Wellen*, Berlin 1967. — *Das Fachwissen des Ingenieurs*, Leipzig 1967. — P. H. Black, O. E. Adams, *Machine Design*, New York 1968. — K. H. Decker, *K. Kabus, Maschinenelemente-Aufgaben*, München 1970. — Г. М. Ицкович и др., *Курсовое проектирование деталей машин*, Москва 1970. — St. Fronius, *Maschinenelemente*, Berlin 1971. — D. Vitas, M. Trbojević, *Mašinski elementi*, Beograd 1971. — K. H. Decker, *Maschinenelemente, Gestaltung und Berechnung*, München 1973. — H. Dubbel, *Taschenbuch für den Maschinenbau*, Berlin-Göttingen-Heidelberg.

E. Oberšmit D. Taubkin

EMAJLIČANJE, tehnički proces pokrivanja metalnih površina *emajlom*, staklastom prevlakom, da bi se zaštitile od korozije i/ili da bi im se poljepšao izgled. Proces se sastoji u tome da se na pogodno pripremljenu metalnu površinu nanese (po pravilu s dodacima) sloj mljevenog stakla (*frite*) i ovaj onda pečenjem fiksira. Glavne su primjene emajljanja u proizvodnji sanitarnih uređaja (kada za kupanje, izljeva, umivaonika i sl.), kućanskih aparata, strojeva i naprava (hladnjakâ, peći, kuhala, štednjakâ, boilerâ i spremnikâ za toplu vodu, strojeva za pranje rublja i suda, itd.), bolničkog, kućanskog i kuhinjskog suda (lonaca, šerpa, tava), natpisnih ploča, industrijskih aparata (kotlova, spremnikâ, cijevnih vodova, naročito u kemijskoj i prehrambenoj industriji), termički napregnutih dijelova strojeva (mlaznica mlaznih motora, ispuha i sl.).

EMAJL

Emajlom se naziva taljenjem dobivena anorganska staklasto čvrsta tvar koja se pečenjem fiksira na metalnu površinu da je zaštiti od kemijskih utjecaja i/ili da joj poljepša izgled.

Staklo, a prema tome i emajl, amorfan je i izotropan čvrst materijal dobiven hlađenjem tekuće taline na takav način da ne nastaje kristalizacija, nego kontinuiran prijelaz od tekućeg stanja (preko plastičnog) u čvrsto stanje. Danas je o strukturi stakla, i pored intenzivnih istraživanja, malo sa sigurnošću poznato. Prema teoriji W. H. Zachariasena (1932), koju je 1933 N. Warren poduporendogrenografskim ispitivanjima, atomi u staklu tvore, poput atomâ u kristalima, suvislu prostornu mrežu, koja se od prostorne mreže kristalâ razlikuje time što je nepravilna. To znači da je «bliski poredak» (koordinacijski brojevi atoma) u staklu i u pripadnom kristalu približno jednak, ali je različit «daleki poredak». (V. *Čvrsto stanje*, TE 3, str. 128.)

Zachariasen je, na osnovi svoje teorije, okside od kojih se može smatrati da je staklo sastavljeno, podijelio na one koji mogu sami tvoriti mrežu («staklotvorne» ili «mrežotvorne»), npr. SiO₂, P₂O₅, B₂O₃; one koji se u gotovu, uglavnom kovalentnim vezama obrazovanu mrežu mogu (po pravilu ionski) ugraditi i time staklu mijenjati svojstva («modifikatori»), npr. Na₂O, K₂O, CaO, BaO; i one koji se, iako sami ne mogu tvoriti mrežu, mogu u mreži kovalentno vezati (i tako djelomično zamijeniti staklotvorne elemente), a mogu se i ionski vezati kao modifikatori (tê je nazvao «intermedijarnim»), npr. Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, NiO, PbO. Za praktične svrhe korisnija je podjela oksida u staklotvorne (najčešće SiO₂, za specijalne svrhe B₂O₃, P₂O₅), taljiva (koja snižuju temperaturu taljenja, npr. Na₂O, K₂O, B₂O₃) i stabilizatore (koji poboljšavaju kemijsku otpornost i/ili sprečavaju kristalizaciju, npr. CaO, MgO, Al₂O₃). Više o tome v. *Staklo*.

Emajli su gotovo svi alkalijsko-borosilikatna stakla, kojima su radi postizanja određenih karakteristika prevlake dodati drugi spojevi. Bijeli emajli, koji tvore većinu tehničkih emajla, predstavljaju mutna (opalna) stakla, tj. oni sadrže sitne kristale, mješurice zraka ili skrtnute kapljice, kojima je indeks loma svjetla različit od indeksa loma osnovne staklene mase. Donedavna se zamučivanje emajla postizalo najčešće čvrstim tvarima dodatim