

Tömítések

Tananyag kiegészítő segédlet
Debrecen, 1997

Összeállította:
Juhász György
főiskolai adjunktus

Készült: Pala Margit sokszorosító üzemében
G/97. segédlet
150 példány (1. kiadás)
32 oldal
Felelős kiadó: Dr. Szabó Tamás

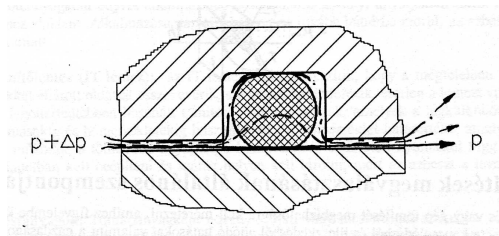
Tartalomjegyzék

DEBRECENI EGYETEM MŰSZAKI FŐISKOLAI KAR.....	1
1. ALAPFOGALMAK.....	4
1.1. A tömítések feladata és rendszerezése.....	4
1.2. A tömítőhatás elérésének módjai.....	4
1.3. A tömítések megválasztásának általános szempontjai.....	5
2. TÖMÍTŐANYAGOK.....	5
2.1. Lágy tömítések.....	5
2.2. Kemény tömítések.....	7
2.3. Kombinált anyagú tömítések.....	7
2.4. Tömítőmasszák.....	7
3. ÉRINTKEZŐ TÖMÍTÉSEK.....	7
3.1. Nyugvó felületek érintkező tömítései.....	7
3.1.1. Karimatömítés.....	8
3.1.2. Hengerfejtömítések.....	11
3.1.3. Csavartömítések.....	12
3.2. Mozgó felületek érintkező tömítései.....	13
3.2.1. O-gyűrű.....	13
3.2.2. Négyzet-gyűrű (Quad-Ring).....	15
3.2.3. Ajakos tömítőgyűrűk.....	15
3.2.4. Dugattyú tömítés.....	16
3.2.5. Lehúzó.....	16
3.2.6. Alaktartó gyűrűs tömítés (rugós fémtömítés).....	17
3.2.7. Radiális tengelytömítő-gyűrűk (rugós tömítőgyűrűk).....	17
3.2.8. Csúszógyűrűs tömítés.....	19
3.2.9. Axiális ajakos tömítés.....	22
3.2.10. V-gyűrűs tömítés.....	23
3.2.11. Tömszelence tömítés.....	23
4. NEM ÉRINTKEZŐ TÖMÍTÉSEK.....	26
4.1. Rés- és labirinttömítések.....	26
4.2. A centrifugális erő hatásán alapuló tömítések.....	27
4.3. Harmónikatömítések.....	27
IRODALOMJEGYZÉK.....	29

1. ALAPFOGALMAK

1.1. A tömítések feladata és rendszerezése

A tömítések olyan szerkezeti kapcsolatok, amelyeknek a feladata, hogy két egymással közvetlenül kapcsolódó tér között az anyagáramlást megakadályozzák vagy mérsékeljék. Az **1. ábra** két tér közötti tömítetlenségi utakat szemlélteti.



1. ábra

A tömítések feladatuk szerint lehetnek: *funkcionális*, *védő*, vagy *biztonsági* tömítések.

- A *funkcionális* tömítések a gépek és berendezések működéséhez elengedhetetlenül szükségesek (pl. hengerfej-tömítés). Tönkremenetelük a gépben működési rendellenességet okoz.
- A *védőtömítések* a gépek, berendezések egyes részeit védik a külső hatásoktól (pl. por, nedvesség) ill. a környezetet védik (pl. a kenőanyag kiszivárgása ellen).
- A *biztonsági* tömítések élet-, baleset- és vagyonbiztonsági szempontból jelentősek, mivel legkisebb hibájuk is veszélyt okozhat (pl. járművek fékberendezéseinek tömítése).

A tömítések csoportosításának másik módja a csatlakozófelületek egymáshoz való viszonya alapján történhet. Eszerint a csatlakozófelületek lehetnek egymáshoz képest *álló* vagy *mozgó* szerkezeti elemek, az elemek pedig sík vagy alakos felületek. A mozgó elemek végezhetnek egymáshoz képest *haladó*, *forgó* vagy *forogva haladó* mozgást.

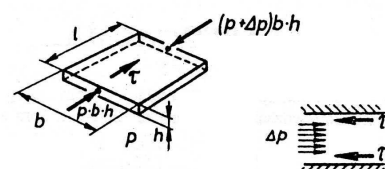
A közeg amelynek a kiáramlását meg kell akadályozni, lehet *gáz* vagy *folyadék* ill. ezekben *lebegő szilárd részecskék*, pl. por.

A tömítések üzemeltetési jellemzőivel az MSZ 11268, a tömítések választékával az MSZ 22107 foglalkozik.

1.2. A tömítőhatás elérésének módjai

- A tömör zárás mechanikus összenyomás útján jön létre. A tömítettség arányos az összeszorítás mértékével (pl. karima tömítések).
- Hengeres felületre rugóval tömítőélt szorítunk (pl. szimmering-gyűrű).
- Forgó tengelyek esetén homlokfelületen két egymáson elcsúszó gyűrű adja a tömítést rugó segítségével (pl. csúszógyűrűs tömítések).
- Nyomáskülönbség hatására a meghatározott alakra készített tömítés rugalmas alakváltozást szenved és ezáltal önműködően tömít (pl. mandzsetta tömítések).
- Hengeres felületek tömítésére szolgál a rugalmas, felhasított fém- vagy műanyaggyűrű (pl. dugattyú gyűrű). Ezek a rugózó hatásuknál fogva szorulnak a tömítendő felületre és biztosítják a tömítettséget.
- Adszorpció hatásával

A tömítőanyagba egy molekularéteg adszorbeál és ez az adszorbeáló molekularéteg az anyag pórusait a közeggel szemben teljesen eltömítheti, ezért lehetséges folyadékra, gázra tökéletes tömítést elérni olyan tömítőanyagokkal is, melyeknek pórusai a tömítendő anyag molekuláinak méretét többszörösen meghaladják. Egy elemi pórus egyensúlyát a **2. ábra** szemlélteti, ahol a nyomáskülönbséggel a folyadék tapadásából adódó nyíróerő tart egyensúlyt.



2. ábra

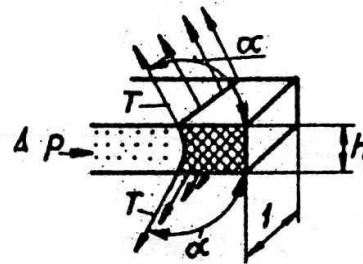
$$bh(p + \Delta p) - bhp = 2bl\tau \quad (1.1)$$

- Kapilláris hatással

A kisméretű pórust kitöltő folyadék - egy nyomáshatárig - még akkor sem áramlik át, ha az adszorbeált réteg vékony. Oka: a felületi feszültség kapilláris irányú összetevői egy határig egyensúlyt tartanak a nyomóerővel. A kapilláris erők és a nyomóerő egyensúlyát a **3. ábra** mutatja: ahol T a kapilláris erő [N/mm].

$$2T \cos \alpha = \Delta p h l \quad (1.2)$$

$$\Delta p = \frac{2T \cos \alpha}{h} \quad (1.3)$$



3. ábra

1.3. A tömítések megválasztásának általános szempontjai

Egy berendezés vagy gép tömítését megbízhatóságra kell méretezni, amihez figyelembe kell venni a környezeti-, az üzemi-, a kapcsolódásból és illeszkedésből adódó hatásokat valamint a gazdaságossági szempontokat. Ezek figyelembevételével kell a tömítés iránti követelményeket előírni.

A tömítés kiválasztásának főbb szempontjai:

- hőmérséklet,
- a tömítendő közeg és a környezet vegyi hatása,
- a tömítendő közeg viszkozitása,
- koptatás,
- sugárzás,
- a nyomásingadozás mértéke,
- a hőmérsékletingadozás mértéke,
- a tömítőfelületek finomsága, stb.

2. TÖMÍTŐANYAGOK

A tömítőfelületek között elhelyezett tömítések fő feladata a tömítő felületek egyenetlenségeinek a kiegyenlítése rugalmas vagy képlékeny alakváltozás útján.

A tömítőanyagokkal szemben támasztott követelmények:

- alakváltozási képesség
- szilárdság
- keménység
- üzemi nyomással történő terhelhetőség
- hőállóság
- vegyi hatásokkal, és átszivárgással szembeni ellenállás

2.1. Lágy tömítések

Elasztomerek, plasztomerek: az elasztomerek és plasztomerek makromolekulás anyagok, amelyeknek különböző lánc hosszúságú molekuláik vannak. A makromolekulás anyagoknak nincs az anyagra jellemző olvadáspontjuk, hanem hevítésre fokozatosan lágyulnak meg. Alacsony hőmérsékleten a makromolekulák nem tudnak a deformáló erő hatására elmozdulni, így az anyag törékeny. A plasztomerek jellegzetes tulajdonsága az elasztomerekkel szemben, hogy szobahőmérsékleten általában ridegek.

Elasztomerek: növényi kaucsuk (NR), poliiizoprén (IR), polibutadién (BR), butadién-sztirol-kaucsuk (SBR), polikloroprén (CR), stb.

Plasztomerek: polivinilklorid (PVC), polietilén (PE), poliamid (Nylon), polietrafluoretilén PTFE), stb

Azbeszt: az azbesztásványból kapott szál as anyag hasonló a növényi, állati vagy szintetikus szálanyagokhoz. A vékony szálak szilárdsága, alakíthatósága és hajlékonysága lehetővé teszi a szövést, így a fonalak és szövetek

előállítását. Az ilyen jellegű szövetek szilárdsága és hajlékonysága ugyan nem éri el a textilekét, de hőállósága és vegyszerállósága lényegesen jobb azoknál. Az azbesztlemezek (szövetek) önmagukban nem alkalmasak tömítési célokra. Még kis nyomás és hőmérsékleti követelmények mellett is szükséges valamilyen kezelés. Legegyszerűbb esetben kötőanyagként enyvet alkalmaznak és különböző ásványi anyagokkal töltik ki. Így kapják az azbesztkaront lemez alakban. Alkalmazása napjainkban egyre inkább háttérbe szorul, az azbeszt emberi egészségre káros hatása miatt.

Azbeszt-gumi tömítőlemez (IT lemez): az IT-lemezeket úgy készítik, hogy a megfelelően bontott azbesztet speciális, adalékokkal ellátott oldattal összekeverik, a masszát kalanderezik, esetleg a lemezt vulkanizálják.

Az IT-lemezek a legelterjedtebben használt tömítések közé tartoznak, amelyek a legkülönbözőbb közegekben egészen nagy nyomásokig és hőmérsékletekig használhatók. A hőmérséklet határértéke, amelyen belül a tömítés kifogástalanul működik, a tömítendő anyagtól, a kompressziós és felületi nyomástól függ. A IT-lemezeket teljesen száraz állapotban kell beépíteni és száraz helyen kell tárolni, mert az azbeszt a levegőből is vesz fel nedvességet.

Textíliák, filc, rostanyagok: Tömítőanyagként növényi, állati vagy mesterséges szálak ill. rostanyagok jöhetnek számításba műszaki szövet formájában. A rostanyagokat a sűrűség csökkentésére, valamint a kedvezőbb tömítőhatás elérése céljából kenőanyagokkal pl. faggyú, viasz, zsír, olaj, grafit stb. kell átíttatni. Gumi és műanyag tömítésekben erősítőanyagként (betétként) szerepelhet a textilanyag, ami a nagyobb nyomások tömítését is lehetővé teszi. A növényi és állati eredetű textíliák alkalmazásának jelentős korlátai vannak elsősorban hőigénybevétel és kémiai ellenállás szempontjából. Így pl. a kender, gyapot és a len kompressziós tömítésként csak 80-90°C-ig jöhet számításba. Ez a határ természetesen változik az ágyazóanyagnak megfelelően. Savak és lúgok esetében a növényi rostanyagok nem alkalmazhatók. A műszálak alkalmazásával (üvegszál, teflonrost) a hőállóság és vegyszerállóság területén lényegesen jobb eredményeket lehet elérni, mint a természetes alapú anyagokkal.

Papír: tömítésre sokféle papírt használnak, legtöbbször impregnáltak. Az impregnáló szer lehet zselatin, olaj, gyanta vagy latex. Gázok tömítésére a nem impregnált papír nem alkalmas még nagymérvű összenyomás mellett sem. A papír porózus szerkezete miatt gázáteresztő.

Legelterjedtebb papírtömítés anyagok:

- vulkánfíber
- prespán
- kéregpapírlemez

Parafa: tömítésre és hőszigetelésre a parafát paratölgyből készítik úgy, hogy apróra tört daráját kötőanyaggal keverik, hőkezelésnek vetik alá, majd préselik. A tömítésre szolgáló parafa kb. 20-25% kötőanyaggal és penészgátló adalékkal készül.

Bőr: a bőr háromdimenziós szálakból álló, rostos szerkezetű anyag, melynek meghatározott hőmérséklettartományban jó szilárdsági, kopásállósági, olajállósági, öregedésszállósági tulajdonságai vannak, de a lég- és folyadékzáróképesége - impregnálatlan állapotban - rossz és csak 4m/s csúszási sebességig használható. További hátránya, hogy rugalmassága kismértékű és a tömítés vastagságát a bőr vastagsága szabja meg. Főleg hidraulikus és pneumatikus berendezésekben, valamint lapostömítésként használták. Jelentősége napjainkban egyre csökken.

Műszén, lágygrafit: a műszén technológiai tulajdonságai a gyártási módszerektől függően a szénkomponensek (grafit, lángkorom, antracit, petrolkoksz stb.) megválasztásával, a keverék granulációjának beállításával, a kötőanyag mennyiségével, valamint a kiégetési hőmérséklet nagyságával és programozásával széles határok között változtathatók.

Előnyei:

- nagyon alacsony és nagyon magas hőmérsékletek tömítésére is alkalmas
- vegyszerállósága nagyon jó
- alkalmas olyan tömítésként, ahol a közeg zsíroldó és a kenés nem oldható meg
- még kenőanyagmentes üzemeltetéskor is kicsi a sűrűlési együtthatója
- szagtalan, íztelen

A kötőanyagmentes lágygrafit 800 °C-ig használható. Legtöbb savnak, lúgnak ellenáll, igen jó hővezető képességű.

2.2. Kemény tömítések

Kemény tömítésként a leggyakrabban alkalmazott tömítőanyagok a fémek. A fémek a tömítéstechnikában igen összetett feladatot látnak el mivel statikus tömítésként, tartóelemként, dinamikus tömítés csúszóelemeként egyaránt használatosak. Mindegyik esetben más és más tulajdonságok merülnek fel. Mivel igen nehéz a fémek jellemzőiről teljes képet adni, ezért csak röviden ismertetjük azokat.

Ólom: lapostömítésként vagy tokostömítésként mint kompressziós tömítést használják (lágyólom). A szorítóerő mértéke relatív nem lehet magas. Vegyszerállósága jó.

Alumínium: akárcsak az ólomnál, az alumíniumnál is csak relatív csekély szorítóerőt szabad alkalmazni. Az alumínium felületén lévő oxidréteg erős savakkal, lúgokkal szemben nem áll ellen. Általában a lágy minőséget használják tömítésre (99%-os tisztaságú alumínium). Ha nagyobb vegyi- és korrózióállóság szükséges, akkor a 99,5%-os tisztaságú minőséget használják. A lemezeket 0,2...5 mm, a szalagokat 0,1...3 mm vastagságú intervallumban gyártják.

Réz: tömítési célra a Cu-C lágy minőséget szokták használni, általában kompressziós tömítésekhez. Vaskarimák közé szerelve nedvesség jelenlétében fennáll a vas-réz elektrolízis veszélye. A hidegen hengerelt lemez 0,1...5 mm intervallumban készül.

Acél, öntöttvas: az acélt a legnagyobb hőmérsékletek és nyomások esetén alkalmazzák. Elsősorban jó szilárdsági tulajdonságai miatt a tömítések széles skáláján lehet felhasználni. Míg az acéltömítések statikus, lapos tömítésként történő alkalmazása esetén elsősorban a szilárdsági tulajdonságok a mérvadóak, addig a dinamikus tömítéseknél (csúszógyűrű) a fémfelületek kopásállósága és keménysége a fő követelmény.

Az öntöttvas grafittartalma miatt önkenő tulajdonságú. Helyes üzemeltetés mellett sima, kemény csúszófelület alakul ki, amelynek kicsi a kopása a kialakult grafitfilm miatt.

Ezüst, platina: az ezüst 650°C-ig használható, jellemző rá a jó vegyszerállóság.

A platina 1300°C-ig használható, ott alkalmazzák, ahol a korrózióállóság szempontjából már semmilyen más fém nem felel meg.

2.3. Kombinált anyagú tömítések

A fémek és lágy tömítőanyagok egyik legelterjedtebb kombinációja a hullámosított fémlemezbe, mint tartóvázba belenyomott azbeszt. Az ilyen tömítést a fém tartóváz anyagától és a tömítőanyagtól függően különböző nyomások, hőmérsékletek és közegek esetén használják. Az anyagkombinációval készült tömítéseknel elsősorban a két anyag előnyös tulajdonságainak ötvözésével olyan tömítés készíthető, amely felülmúlja mindkét alkotó tulajdonságait. Használatukkal olyan tömítési feladat is megoldható, amely egyféle anyaggal nem lenne lehetséges.

2.4. Tömítőmasszák

A tömítőmasszákat csavarmenetek tömítésére, tokostömítéshez, hullámlemeztömítések kitöltőanyagaként és még sok egyéb esetben használjuk. A folyékony tömítőanyagok közül a szilikon bázisúak olyan katalizátort tartalmaznak, amely a levegő nedvességtartalmával érintkezve kivulkanizálódik. Egyes tömítőanyagok a levegőtől elzárva keményednek ki és ezáltal töltik be tömítő funkciójukat.

3. ÉRINTKEZŐ TÖMÍTÉSEK

3.1. Nyugvó felületek érintkező tömítései

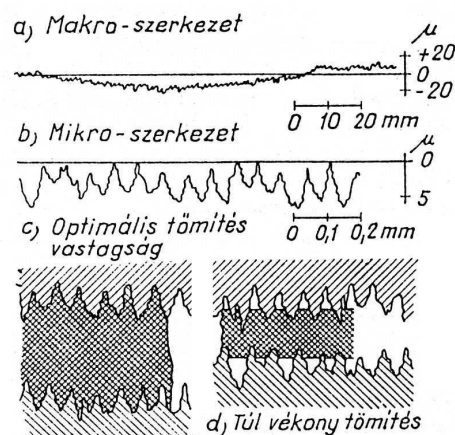
A nyugvó felületek érintkező tömítéseit attól függően, hogy milyen felületen történik a tömítés, *sík (lapos)* vagy *alakos tömítésnek* nevezzük.

A *síktömítések* a kompressziós tömítések közé tartoznak, ami azt jelenti, hogy a tömítést a tömítőanyag mechanikus összenyomásával érjük el. A tömítőerő létrehozása történhet karimás kötéssel, csavarkötéssel vagy tömszelence útján.

A tömítettség kialakításához az szükséges, hogy a tömitendő felületek közötti rést részben vagy teljesen elzárjuk. Folyadékok tömítésekor a folyadékmolekulák - a felületi feszültség, a kapilláris erők és az adszorpciós hatás következtében - zárófilmet képeznek, amely hozzájárul a rés elzárásához. Ebben az esetben nem szükséges a rés teljes lezárása.

Gázközegek esetén viszont szükséges a rés tökéletes elzárása. Nagyon pontos megmunkálás esetén is a tömitendő felületek hibái (felületi és alakhibák) lényegesen nagyobbak, mint a gázmolekulák mérete, ezért a rés lezárása érdekében a tömitőanyagnak kell deformálódnia és a hibákat kiegyenlítenie. Ezt a tömítés megfelelő előfeszítésével (rugalmas és képlékeny deformálásával) biztosíthatjuk. A tökéletes, gázzáró illeszkedéshez tartozó előfeszítés értékét *kritikus előfeszítésnek* nevezzük. Ha az illeszkedés megtörtént, akkor már sokkal kisebb tömítőerő is elegendő egy meghatározott belső nyomás tömítésére, másrészt a tömítettséghez tartozó szorítónyomás a belső nyomással arányos lesz. A kezdeti ún. előszorítóerő az anyagtól, a tömítés méretétől és a felületi érdességtől függ.

A síktömítés leggyakrabban alkalmazott anyagai közé tartozik a gumi és az IT-lemez. A tömítések készítéséhez alkalmazott gumilemezek szabványosítva vannak (MSZ 5553). A megadott irányelvek szerint a szövetbetétes gumit 5 bar, a betét nélküli gumit 1 bar nyomásig lehet használni. Az elasztomerek anyagától és összetételétől függően a hőmérséklet és vegyszerállóságuk eltérő. A gumi lapostömítés vastagsága a felületminőségtől függ. Minél érdesebb a felület, annál vastagabb tömítés szükséges. A tökéletes illeszkedéshez 5-20% összenyomás elég. Túl vastag tömítés alkalmazása nem célszerű, mert túl nagy lesz a deformáció. Ha ellenben a tömítés túl vékony a szélességéhez képest, akkor túl nagy tömítőerő alkalmazása szükséges. Ezért a tömítés vastagságát és geometriai méreteinek arányát célszerű bizonyos határok között felvenni. Ajánlott érték a 3...10 közötti alakítványozó értékének betartása. Az alakítványozó értékét a terhelt és a szabad felület hányadosaként lehet meghatározni. A tömítések optimális vastagságának értékét mutatja a **4. ábra**.



4. ábra

3.1.1. Karimatömítés

A karimatömítések feladata, hogy az oldható kötések csatlakozó felületeinek egyenetlenségeit kiegyenlítsék és közöttük a közeg kiáramlását megakadályozzák. Ezért a tömítésnek jól alakíthatónak és rugalmasnak kell lennie. A megfelelő tömítés kiválasztása érdekében a karimás kötések méretezni kell. A karimakötés méretezésekor a karimák alkotóelemeit (karimák, csavarok és tömítések) mindig egymással összefüggésben kell vizsgálni. A karimatömítések méretezésével a [8], az IT-lemezek kiválasztásával a [11] irodalom részletesen foglalkozik.

A karimatömítéseknél anyagtól függően három tömítésfajtát különböztetünk meg:

- lágy tömítéseket
- fémmel erősített lapostömítések
- fémtömítéseket

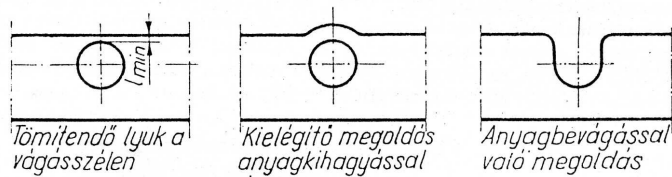
Lágy tömítések

Karimatömítésekhez leggyakrabban az MSZ 1683 szerinti IT-anyagokat használják. Az IT elnevezés a fő összetevők, a gumi és az azbeszt utolsó betűiből származik. Az IT után álló "O" betű az olajállóságra, az "S" betű a sav- és lúgállóságra utal. A hagyományos IT-lemezek azbesztszál erősítésű kivitelben készültek, de napjainkban - az azbeszt az emberi egészségre veszélyes hatása miatt - egyre jobban terjed az azbeszt nélküli kivitel. Az alkalmazási irányelvekre a magyar szabvány részletesen nem terjed ki, így ezekre csak a külföldi szabványokban ill. a gyártócégek által ajánlott értékeket lehet alkalmazni. Ezek szerint a *b* gyűrűségeket ajánlott legalább az *s* vastagság ötszörösére választani. A gyűrűvastagság és a belső átmérő viszonya pedig $s = 0,1\sqrt{d}$ legyen.

A tömítés jó működésének főbb szempontjai:

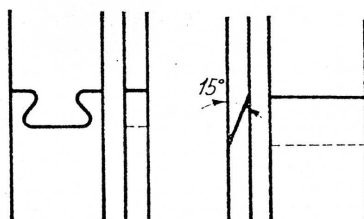
- A tömitőfelületnek megfelelően simának és párhuzamosnak kell lennie.
- A tömitőfelületet tömítés előtt gondosan meg kell tisztítani, olaj, rozsda, régi tömítés maradványa nem lehet rajta.

- A csavarlyukakat nem szabad a tömítés széléhez közel tenni, mert beszereléskor az anyag könnyen beszakadhat. A **5. ábra** azokat a lyukkivágásokhoz ajánlott megoldásokat mutatja, melyekkel csökkenthető a kiszakadás veszélye.



5. ábra

- Nagy átmérőjű készülékkarimáknál, ahol a tömítés nem vágható ki egy lemezből, a tömítést ragasztással az **6. ábra** szerint kell elkészíteni.

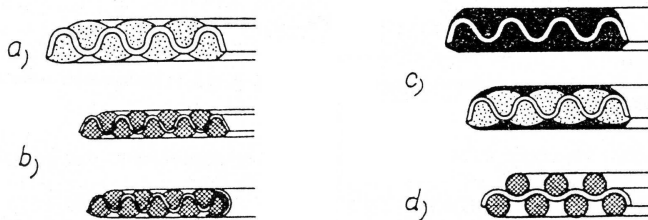


6. ábra

- A tömítés a tömítőtérbe nem lóghat be.
- A csavarokat lépcsőzetesen kell meghúzni a megfelelő szorítóerő eléréséig, majd az első terhelés vagy felmelegedés után újra meg kell húzni őket.
- A kiszertelt tömítést nem szabad újra felhasználni.

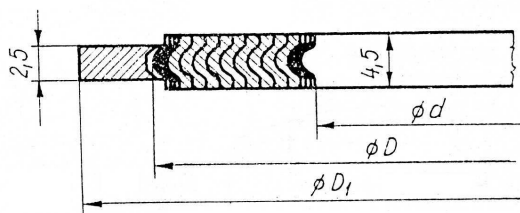
Fémmel erősített lapostömítések

Ezek olyan lágy tömítések, amelyeket fémmel burkolnak vagy merevítenek. A tömítőfelülethez való jó illeszkedésről a lágytömítés gondoskodik. A visszarugózási képességnek nagynak kell lennie, hogy a tömítés minden üzemi tartományban ellássa feladatát. A kombinált tömítések különböző megoldási módjai a **7. ábrán** láthatók, attól függően, hogy milyen tömítőanyagot visznek a hullámlemezre (*a*-grafitos zsinór, *b*-fémbeágyazott zsinór, *c*-grafitpaszta, *d*-gumizsinór).



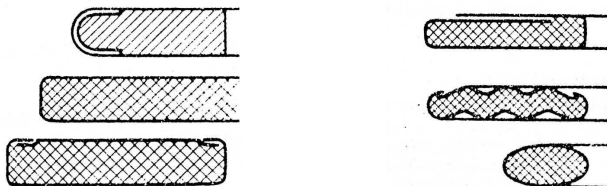
7. ábra

A **8. ábrán** látható a spirál-azbeszt tömítés. Ebben a tömítésben vékony, v-profilú, koncentrikus spirálokban elrendezett acélszalagok (CrNi-acél) között IT-szalag vagy grafit van. A legkedvezőbb rugalmasságot csak meghatározott összenyomástól kezdve éri el. A legnagyobb visszarugózási és regenerálódási képesség érdekében a tömítés szabványos vastagsága mintegy 4,5 mm. Ezt kb. 3,5 mm-re kell elődeformálni. A maximálisan megengedhető összeszorító nyomást 3 mm vastagságnál éri el. A spirál-azbeszt tömítések nagy felületi nyomásuk miatt lényegesen keskenyebbek, mint az IT-anyagú lapos tömítések. Ezért a tömítés központosítására legtöbbször központosító gyűrűvel látják el a spirál-azbeszt-tömítést.



8. ábra

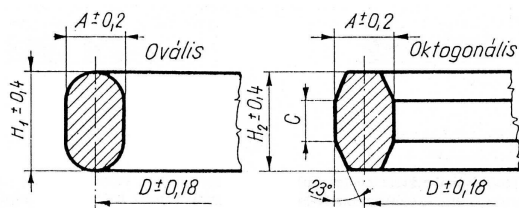
A 9. ábra a fémburkolatú lágyanyag tömítéseket szemlélteti (MSZ 18716, MSZ19154).



9. ábra

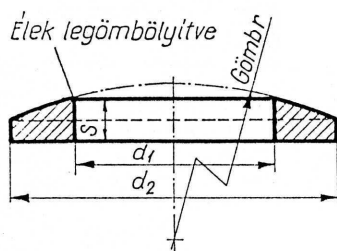
Fémtömítések

A 10. ábra a 10...340 bar nyomásintervallumban használható ún. Ring-Joint karimatömítés ovális és nyolcszögletű formáját mutatja.

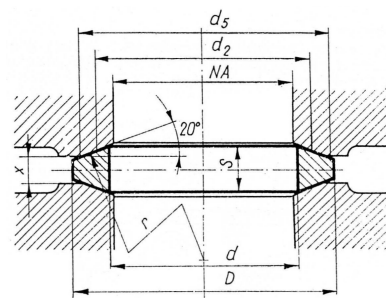
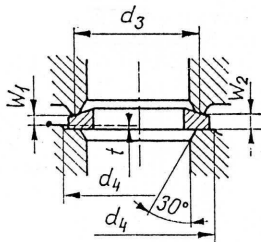


10. ábra

A 11. ábrán a féllencse, a 12. ábrán a lencse-profilú tömítés és tömítőterének kialakítása látható, amelyeket 64...320 bar nyomástartományú karimák tömítésére használnak.

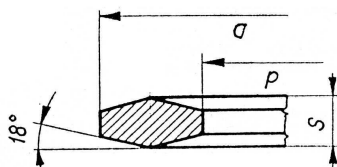


11. ábra



12. ábra

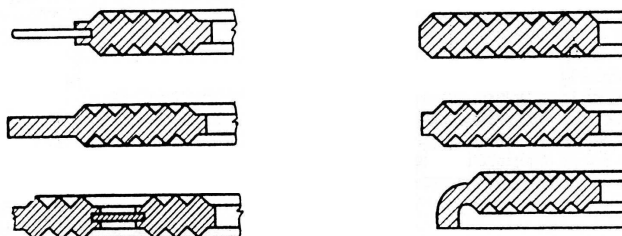
A 13. ábrán a 100...630 bar nyomástartományban használatos hatszögletű profilú gyűrűt ábrázoltuk.



13. ábra

A fésűsfogas tömítések profiljainak megoldási módjai a **14. ábrán** láthatóak. A rugalmas tömítésekkel szemben itt főleg plasztikus deformáció biztosítja a tömítést. Ez azért van, mert az érintkező felület nem kör vagy ovális profilú, hanem élben végződő. Az anyagokra - bár szilárdságuk nagy - a tömitőél mentén már viszonylag kis szorításnál is olyan erő koncentrálódik, amely az anyag plasztikus folyását, és ezzel a tömitőfelület lezárását eredményezi.

A tömítés anyaga lehet lágyvas vagy ötvöztelen acél, korrózió veszélye, és alacsony hőmérséklet esetén pedig alumínium, réz, vagy ólom. A tömítés használata megkívánja, hogy a tömitőfelületek tiszták legyenek, a felület megmunkálási iránya (barázdairány) a karimatengellyel koncentrikus, a fogak a szabványnak megfelelően pontosak legyenek.



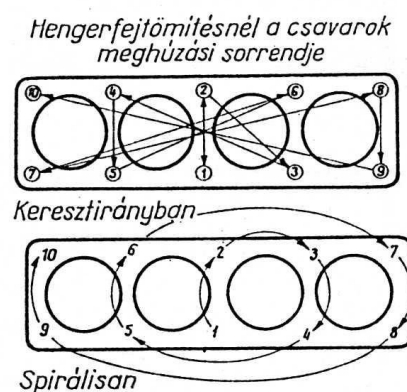
14. ábra

3.1.2. Hengerfejtömítések

Tömítéstechnikailag az egyik legnehezebb feladat a belsőégésű motorok siktömítéseinek a megoldása. Ezek közül is kiemelkedő jelentőségű a hengerfejtömítés **15. ábra**. A hengerfejtömítés feladata a hengertömb és a hengerfej tereinek tömítése egymás és a környezet között.

E feladatoknak a hengerfejtömítés csak bizonyos tulajdonságok birtokában képes megfelelni. Ezek a tulajdonságok a következők:

- a tömitendő közeggel szembeni ellenállóképesség (égéstermek, magas hőmérsékletű hűtőfolyadék, és kenőolaj)
- hosszú élettartam az adott üzemi feltételek mellett
- gyártási pontosság, különösen a vastagsági értékekre vonatkozóan
- nagy nyíró és szakítószilárdság
- összenyomhatóság és visszarúgási képesség



15. ábra

A hengerfejtömítés akkor töltheti be maradéktalanul szerepét, ha a hengertömb és a hengerfej még részeiben is olyan merev kialakítású, hogy elhúzódnás, maradó alakváltozás üzem közben nem következhet be. Ez az elv azonban semmiképpen sem tartható be a könnyűszerkezeti konstrukciók elterjedése folytán, így nem marad más hátra, mint olyan tömítés szerkesztése, amely a szükséges tömitőhatást a hengertömb - tömítés - hengerfej rendszer deformálásakor is képes kifejteni.

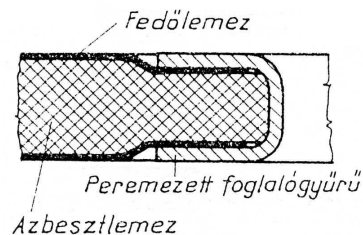
Anyag ill. kialakítás szempontjából alapvetően két csoportba sorolhatjuk a hengerfejtömítéseket.

- egy anyagból készült tömítések
- anyagkombinációból készült tömítések

Az egy anyagból készült tömítések túlnyomórészt fémek, de néha alkalmaznak IT-lemezből készült tömítéseket is. Legegyszerűbb kialakítású a lágy fémlemezből (réz, alumínium) kivágott tömítés. Alkalmazásuk egyre inkább háttérbe szorul az anyagkombinációból készült tömítésekkel szemben.

Az anyagkombinációból készült tömítések az előző csoportnál kedvezőbb tulajdonságúak. Ez könnyen megérthető, ha figyelembe vesszük, hogy a hengerfejtömítések feladata több oldalú, mint azt már korábban tisztáztuk. E feladatok legkedvezőbb megoldása nem valószínűsíthető meg azonos anyagokkal. A kombináció alkalmazásának másik indoka az egyes anyagok tömítéstechnikai előnyeinek kihasználása. A leggyakrabban használt kombináció a fém-azbeszt tömítés, amelynek számos konstrukciója ismeretes. A legegyszerűbb kivitelnél az azbesztlemezt vékony fémlemez védi úgy, hogy a tömitendő áttöréseknél peremzéssel elkészített foglалógyűrű fogja össze a rétegeket (**16. ábra**).

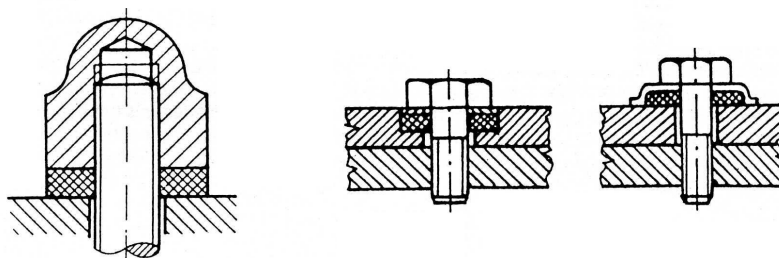
E megoldás előnye, hogy az azbesztanyag védve van a közvetlen mechanikai és közegbehatásoktól (hűtővíz, kenőolaj). A foglалógyűrű feladata a védelem mellett a leszorítóerő egyenletes elosztása, a nagy nyomások tömítésekor pedig, hogy lehetővé tegye a helyi fajlagos leszorítóerő növelését.



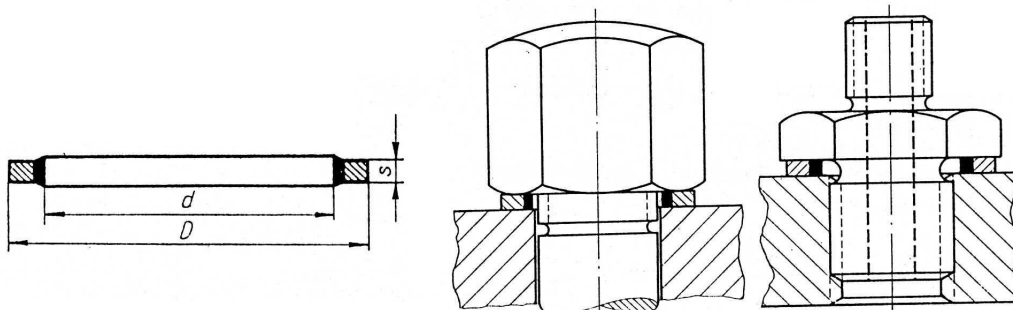
16. ábra

3.1.3. Csavartömítések

A csavarmenetek általános, kötőcsavarként történő felhasználása esetén a menetek között tömítés nem jön létre. Ezért amennyiben a csavarnak tömítési funkciót is el kell látnia, akkor ezt speciális csavartömítésekkel lehet megoldani. Lágy anyagú csavartömítésekre mutat példát a 17. ábra. Anyagkombinációból készült tömítést (USIT-gyűrű) és ezzel készült tömítéseket szemléltet a 18. ábra.



17. ábra



18. ábra

3.1.4. Menettömítések

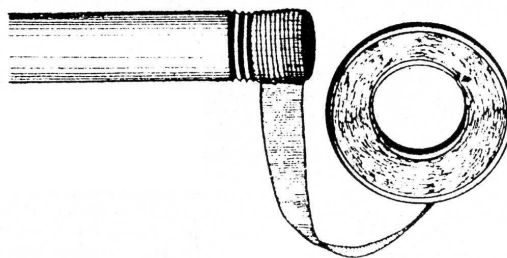
Menettömítések alatt a csavarkötések folyadék és gáz-halmazállapotú anyagokkal szembeni tömítését értjük.

A kapcsolódó meneteknek két fajtáját különböztetjük meg:

- mindkét menet hengeres (A tömítés a menetoldalak és a tömítés befeszülésével jön létre)
- hengeres belső menet és kúpos külső menet (A tömítés a menetek összefeszülése útján jön létre. A tömítőanyag feladata a menteprofilok egyenetlenségeinek kiegyenlítése.)

Tömítési módok

- szilárdanyagú tömítések: kender, teflonszalag stb. Teflonszalagos tömítésre mutat példát a 19. ábra.
- nem kikeményedő, folyékony paszták: zsírok, oldószer tartalmú tömítőpaszták stb.
- kikeményedő, folyékony és pasztaszerű tömítése: folyékony műanyagok, csavarrögzítők.



19. ábra

3.2. Mozgó felületek érintkező tömítései

A mozgó felületek érintkező tömítéseit a tömitendő felületek egymáshoz viszonyított relatív elmozdulása alapján három csoportba sorolhatjuk. Az első csoport, amikor a tömitendő felületek egymáshoz képest egyenesvonalú mozgást végeznek. Ezeket a tömítéseket *egyenesvonalú mozgást végző felületek tömítéseinek* nevezzük és leggyakrabban a pneumatikus és hidraulikus berendezésekben használatosak, de ide tartozik a belsőégű motorok dugattyúinak tömítése is.

A második csoportba tartoznak a *forgó mozgást végző felületek tömítései*, amelyek általában a tengelyek tömítéseinél használatosak. Ezeket a tengelytömítéseket szokták még aszerint is csoportosítani, hogy a felületek *radiálisan* vagy *axiálisan* tömitenek.

Harmadik csoportba tartoznak azok a tömítések, amelyeknél a tömitendő felületek egymáshoz képest *haladó és forgó mozgást* is végeznek. Ebben a csoportba tartozik pl. a tömszelence tömítés. A gyakorlati felhasználás során azonban ezek a csoportok gyakran összerosódnak, mivel vannak olyan tömítés típusok, amelyek többféle tömítési feladat ellátására is alkalmasak (pl. O-gyűrű). Ezért a továbbiakban nem bontjuk meg a tömítéseket a fentebb leírt csoportosítás alapján, hanem minden egyes tömítésfajtánál megemlíjük a legjellemzőbb alkalmazási területeit.

3.2.1. O-gyűrű

Az O-gyűrű (20. ábra) az önműködő tömítések csoportjába tartozik. Beépíthető nyugvó- ill. mozgó felületek tömítéseként. Legnagyobb jelentősége a hidraulikában és pneumatikában van, de használják karima- és csavartömítésekben, tömszelencékben, szelepek és csúszógyűrűk tömítéseiben is. A gyűrű gyártható adott méretsor alapján végtelenített vagy zsinór formában. Az utóbbi esetben a felhasználásnál kell a zsinórt megfelelő méretre vágni és összeragasztani. A végtelenített gyűrűk igen széles mérettartományban készülnek ($\varnothing = 1...800$ mm, $\varnothing d = 1,25...10$ mm). Különböző országokban és különböző gyártók esetén ezek a méretek némileg eltérnek egymástól.

Méretmegadás: O-gyűrű 30x3, NBR, 70 Shore A°

Belső átmérő $\varnothing D = 30$

Gyűrűvastagság: $\varnothing d = 3$

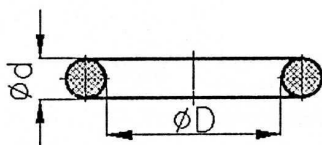
Anyagminőség: NBR (Butadién-Akrilnitril--Kaucsuk)

Keménység* : Shore A°=70

*Elasztomerek keménységmérése

A gumik keménységén felületük benyomódással szembeni ellenállását értjük. A benyomódást szabványos terheléssel és szabványos nyomófejjel végzik. A keménységet számszerűen vagy a benyomódás mélységével (plasztométerek) vagy a benyomódás mélységétől függően megállapodás szerint felvett egységekkel (durométerek) fejezzük ki. Az utóbbi típusba tartozik a Shore-féle készülék, amelyben a nyomónút rugó nyomja ki, s a nyomótű az anyag keménységétől függően nyomódik vissza. A keményebb anyag visszanyomódása nagyobb, tehát nagyobb a Shore-féle keménység. A visszanyomás nagysága szerint 0...100 Shore-fokot különböztetünk meg. Az elasztomer alapú keverékeknek általában a Shore A°-ot használjuk, a keményebb anyagoknál (ebonit, műszén stb.) a Shore C°-ot vagy a Shore D°-ot alkalmazzuk. A skálabeosztás mindenütt 0...100, de a rugóerő és a nyomótű alakja különbözik. A Shore keménységet 2,5 mm-nél vastagabb lemezen szabad csak mérni. A Shore-keménység 30 Sh° alatt ill. 90 Sh° fölött már eléggé bizonytalan eredményt ad.

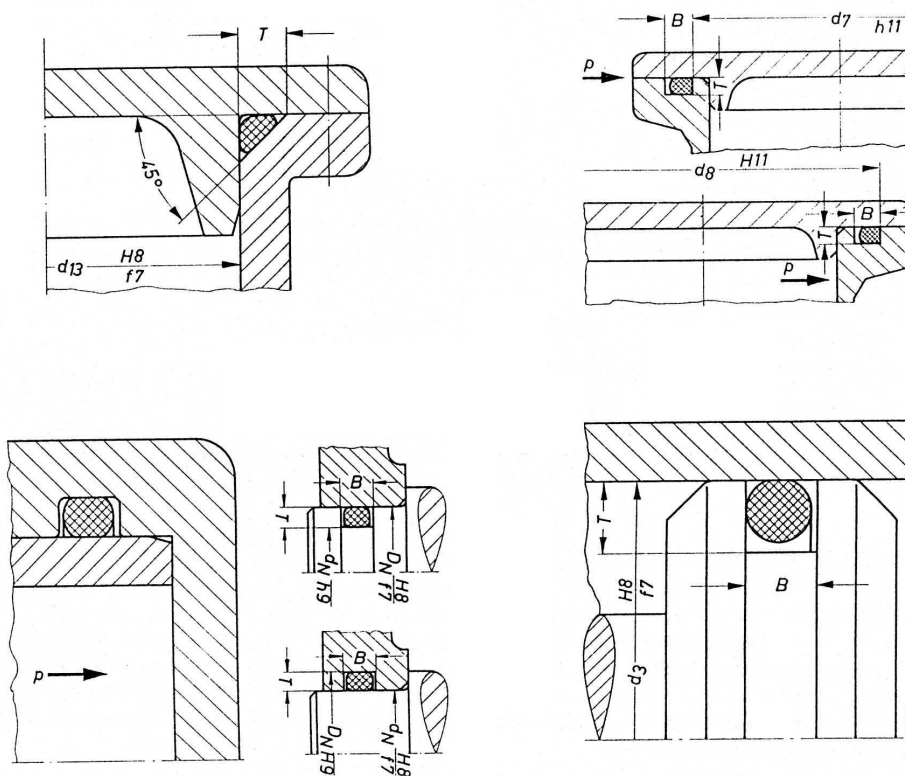
A másik módszerrel (plasztométerek) a nyomófejet előírt ideig terheljük és közvetlenül a benyomódás értékeként fejezzük ki a keménységet. Ebben az esetben a nagyobb érték azt fejezi ki, hogy az anyag lágyabb.



20. ábra

Az O-gyűrűk beépítése és üzemeltetése

Az O-gyűrűk szokásos beépítési módjait a 21. ábra mutatja. A megfelelő tömítés érdekében elengedhetetlen a tömítőprofil deformálása. A szükséges minimális deformáció a beépítési és használati viszonyoktól függ. Értékét a beépítés méretei (horony- és tengelyméretek) és azok tűrései határozzák meg. A deformáció minimális és maximális értékét a tűrésekből adódó határértékek adják meg.



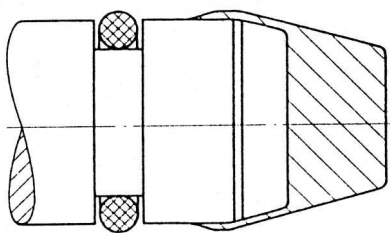
21. ábra

A gyűrű beépítéstől függően az esetek többségében kitágul vagy összenyomódik. A kitágulás és összenyomódás fogalmán az eredeti és a tényleges (beépített) átmérők %-os különbségét értjük. A kitágulás maximális értéke 6%, az összenyomódásé 3% lehet. Ezen belül az O-gyűrű megfelelően működik.

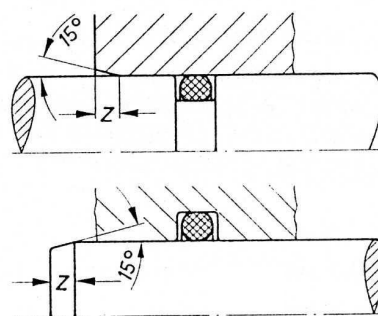
A horony mérete kb. 25%-kal nagyobb, mint a mindenkor O-gyűrű mérete. Erre a hőmérséklet okozta duzzadás vagy az elasztomerek különböző anyagok hatására történő dagadása miatt van szükség.

A megfelelő tömítőhatás és az O-gyűrű élettartama érdekében fontos a tömítendő felületek felületminőségének helyes megválasztása. Mozgó tömítésnél a tömítendő felületek érdessége $Ra=0,2..0,8 \mu m$, statikus tömítésnél $Ra=1,6..3,2 \mu m$.

A beépítési méretekre, azok tűréseire és a felületminőségekre a gyártók pontos előírásokat adnak, amelyek betartása garantálja az O-gyűrűs tömítések jó működését. Be- és kiszerelésnél ügyelni kell arra, hogy a tömítés meg ne sérüljön. Ennek érdekében célszerszámok (22. ábra) használata vagy célszerűen kialakított ház ill. tengely szükséges (23. ábra).



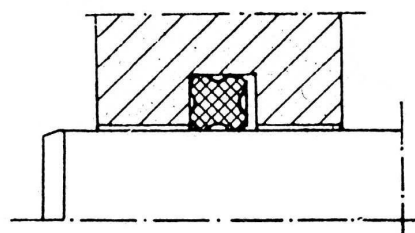
22. ábra



23. ábra

3.2.2. Négyzet-gyűrű (Quad-Ring)

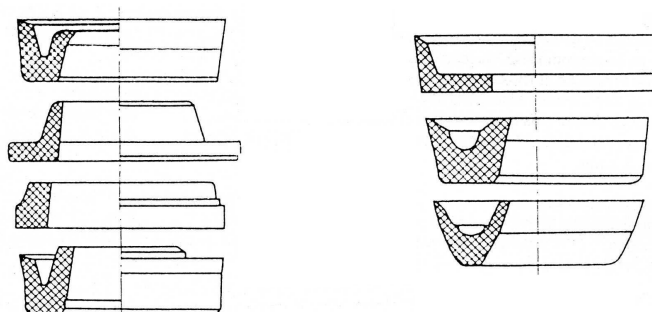
Az O-gyűrű tömítőhatásának fokozására különböző tömör, de a kör keresztmetszettől eltérő szelvényű gyűrűt alakítottak ki. Ezek közül legismertebb az ún. Quad-Ring (**24. ábra**), amelynek négy lekerekített alacsony bordája van. Beépítéskor a bordákból kettő-kettő fekszik fel a horony fenekén ill. a tömítendő felületen. A Quad-Ring tömítőhatása megegyezik az O-gyűrűjével, de terheletlen állapotban, amikor nyomás nem éri még a gyűrűt, a két borda közötti térben hidraulikus közeg van. Működés közben, a nyomás hatására ez a hidraulikus anyag kinyomódik és kenő a súrlódó felületeket. Ezáltal az ilyen kiképzésű gyűrű kopásállóbb lesz, élettartama, üzembiztonsága kedvezőbb lesz, mint az O-gyűrűé.



24. ábra

3.2.3. Ajakos tömítőgyűrűk

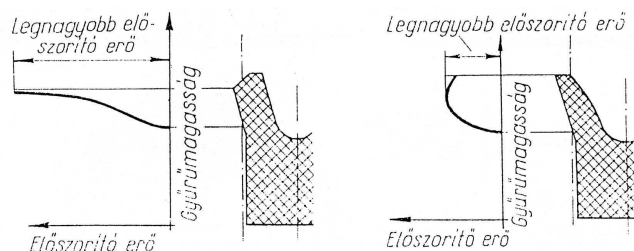
A hidraulikában és pneumatikában, különösen nagyobb nyomásokon széles körben alkalmazzák a különböző kialakítású ajakos tömítőgyűrűket. A fontosabb ajakos tömítőgyűrű típusokat a **25. ábra** mutatja.



25. ábra

Az ajakos tömítőgyűrűk működési módja

A tömítőgyűrűk tömítést adó szorítóereje két összetevőből áll. Egyrészt kialakításuknál fogva túlfedéssel illesztve rugalmas alakváltozást szenved az ajak és az ebből eredő belső feszültség adja az előszorító erőt. Ennek nagysága nagymértékben az ajak kialakításától függ **26. ábra**.



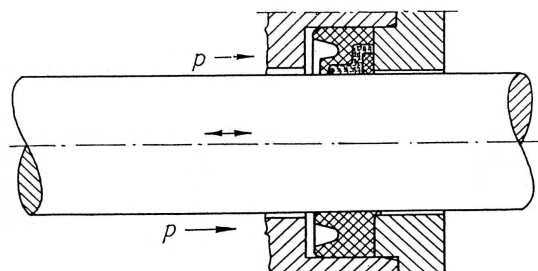
26. ábra

A szorítóerő másik összetevője a belső nyomásból adódik, ami arányos azzal. Amennyiben csökken a belső nyomás, akkor a szorítóerő értéke is csökken.

Az ajakos tömítőgyűrűk kialakításakor ill. az anyag kiválasztásakor figyelembe kell venni a súrlódási veszteségeket is. Az üzemi feltételek alapján kiválasztott anyagok közül mindig azt kell előnyben részesíteni amelyiknek működés közben legkisebb a súrlódási vesztesége.

Több anyagból álló tömítések

A mozgó tömítéseknel gyakran alkalmaznak kombinált anyagú tömítőgyűrűket. A **27. ábrán**, a metszet alsó részén látható, hogy a nyomás hatására miként hatol be az U-gyűrű anyaga a tömítősbe. A felső részen egy olyan U-gyűrű metszete látható, amelynek a tömítés felé támasztógyűrűje van, ami megakadályozza az előbbi káros jelenséget. A szöveterősítés egyben az ajak nagyobb előfeszítését is szolgálja.



27. ábra

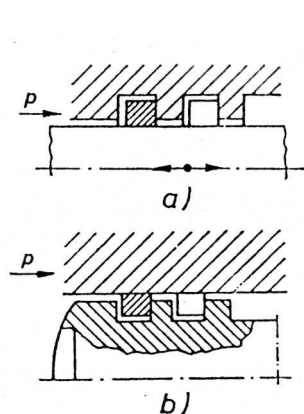
3.2.4. Dugattyú tömítés

Az alaktartó gyűrűtömítések legismertebb típusai a henger- és dugattyúgyűrűk (**28. ábra**). A jó tömítés érdekében a gyűrűnek a falra megfelelő nyomást kell kifejteni. A tömítőnyomást a nagyszilárdságú és rugalmas anyagból készülő gyűrűk előfeszítése révén érik el. A gyűrű felületén a közepes nyomás szokásos értékei:

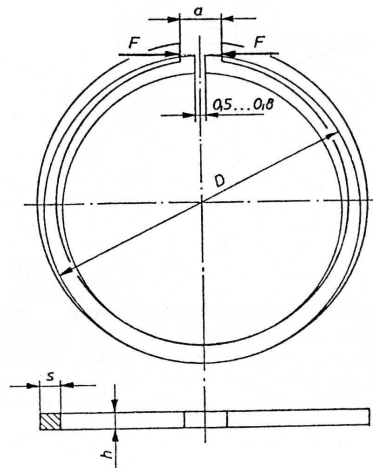
Otto-motornál $p = 10 \dots 15 \text{ N/cm}^2$

Diesel-motornál $p = 15 \dots 25 \text{ N/cm}^2$

A kisebb dugattyúátmérőkhöz a nagyobb felületi nyomások tartoznak. A **29. ábrán** gépjármű dugattyúgyűrű látható.



28. ábra



29. ábra

3.2.5. Lehúzó

A lehúzó az alternáló mozgást végző elemeken (orsó, dugattyúrúd stb.) a gép belsejébe irányuló anyagszállítást akadályozzák meg, azaz védőtömítésként funkcionálnak.

Általánosan ismert alkalmazási területük a hidraulika és a pneumatika, ahol meggátolják az idegen anyagok bejutását a hidraulikus és pneumatikus rendszerbe és így megakadályozzák a tömítések, a dugattyúrúd és a vezetékek idő előtti kopását.

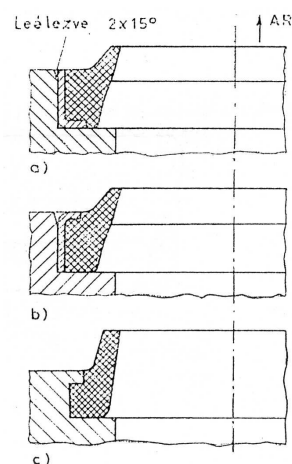
A lehúzó leggyakrabban rugalmas anyagból készült ajakkal távolítja el az idegen anyagokat. A lehúzóhatás elsősorban az előfeszítés nagyságától függ, amelynek akkorának kell lennie, hogy az ajak nem emelkedhet fel, mert akkor az eltávolítandó részecskék becsúsznak az ajak alatt és a lehúzás nem lesz megfelelő.

A lehúzó rugalmas ajakból és fémburkolattal ellátott (**30.a,b ábra**) vagy fémburkolat nélküli részből áll (**30.c ábra**). Az AR a lehúzási irányt mutatja.

Az ajak rendszerint rövid és erős, de alkalmas arra, hogy adott esetben a rúd oldalirányú mozgását kövesse. Az ajkat jól meg kell támasztani, mert különben a lekapart anyagtól kihajolhat.

A lehúzót a megfelelő méretű beépítési helyre besajtolással ill. beragasztással szerelik. A ház furattűrője általában H8. A lehúzóajak a házfuratból nyúljon ki, hogy a lehúzó előtt összegyűlt szennyeződés szabadon le tudjon hullni. A rugalmas ajkú lehúzókat főként laza szerkezetű szennyeződések pl. föld, kavics, murva, por stb., valamint folyadékok és iszapszerű szennyeződések elleni védelemre használják.

A lehúzó anyagát az alkalmazástól függően kell megválasztani, és ebben jelentős szerepet játszik a hőmérséklet is. A lehúzó anyaga általában 70...90 Shore A° keménységű elasztomer.



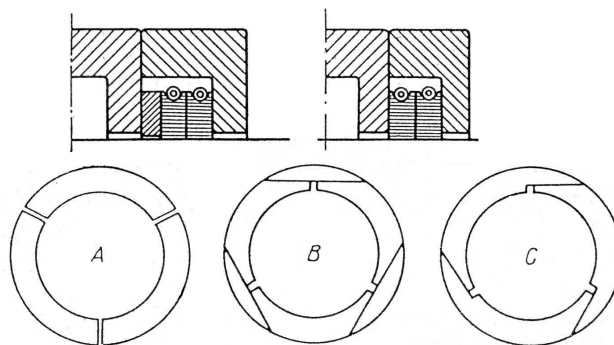
30. ábra

3.2.6. Alaktartó gyűrűs tömítés (rugós fémtömítés)

Az alaktartó gyűrűs tömítések a kemény anyagú radiális tengelytömítések csoportjába tartoznak. A tömítőgyűrűk osztott kivitelben készülnek, melyeket a tengelyre csavarrugó, a homlokfelülethez pedig a tömítendő közeg nyomása szorítja. A gyűrű keresztmetszetét, ill. a felhasítás módjait a **31. ábra** mutatja.

A páronként beépített gyűrűknél ügyelni kell arra, hogy az osztások ne essenek egybe, hanem a gyűrűk egymáshoz képest el legyenek fordítva. A tömítés elve az, hogy a pontos megmunkálás és a kellő mértékű szorítóerő hatására létrejövő rendkívül kis rés nagy ellenállást jelent a kiszivárgó közeg útjában. Ennek a tömítéstípusnak az előnye, hogy alkalmazási hőmérséklettartománya éppen úgy, mint nyomáshatára igen nagy lehet. Fémtömítések esetében a hőmérséklet határ több 100 °C is lehet, a nyomáshatár pedig 130 bar felett van. A rugós fémtömítések készíthetők fehérfémből, bronzból, öntöttvasból, zsugorított fémekből és műszénből.

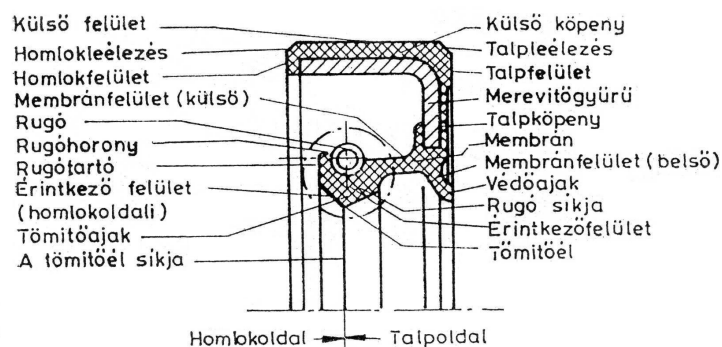
A rugós fémtömítések fő alkalmazási területe elsősorban a kenés nélküli üzemben működő berendezésekben, másrészt vegyipari gépek kimenő tengelytömítéseinél találhatók meg.



31. ábra

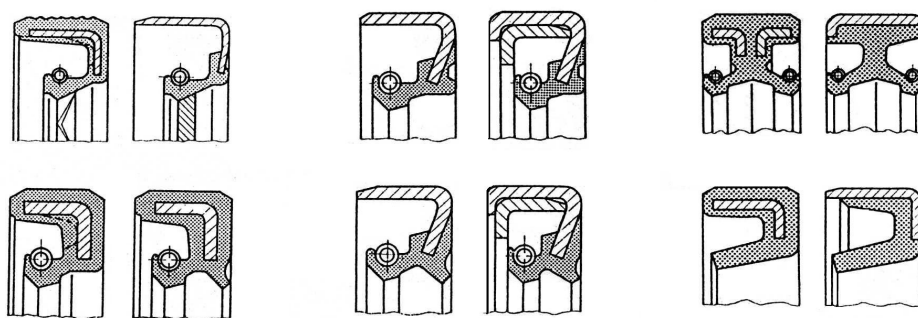
3.2.7. Radiális tengelytömítő-gyűrűk (rugós tömítőgyűrűk)

A radiális tengelytömítő-gyűrű a rugó nélküli mandzsettatömítések továbbfejlesztett változata és a leggyakrabban alkalmazott védőtömítések egyike. A **32. ábra** szabványos kivitelű tömítőgyűrű szerkezetét szemlélteti, feltüntetve az egyes szerkezeti elemek megnevezését.



32. ábra

A tömítésbe rugót építenek be, hogy a tömítőajak nyomását lehetőleg hosszú időn keresztül állandó értéken tartsák. A tömítőajak élben végződik, ezért a rugó által kifejtett szorítóerő csak kicsi lehet. A tömítéseket gyártó cégek sokféle változatát fejlesztették ki a radiális tengelytömítő-gyűrűknek. A különbségek elsősorban a házak és a védőajak kialakításában jelentkeznek. Néhány kialakítási változat látható a 33. ábrán.

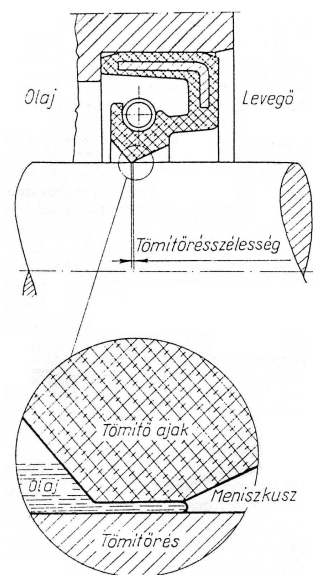


33. ábra

A tömítés mechanizmusa

Tömítőfelületnek nevezzük a tömítőajak és a tengely megfelelő gyűrűfelületét (futófelület). A két tömítőfelület között, tehát az ajakról a tengelyre (és viszont), tömítőerő hat. A tömítőhatás létrehozásához előfeszítéssel meghatározott értékű erőt kell biztosítani. Az előfeszítés a túlfedésből (a tengely és az ajak átmérőkülönbségéből) és a szorítórugó rugóerejéből adódik, de befolyásolja a tömítés nyakhosszúsága, az ajak keresztmetszete és az anyag keménysége. A tömítőnyomás függ még a tömítőrés (34. ábra) szélességétől is.

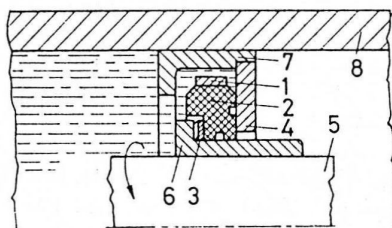
A tengelyfelület felszíni kialakítása, vagyis a köralaktól való makroeltérések (ovalitás, hullámosság), a helyzethibák (ütés, excentricitás), de még az érdesség is befolyást gyakorolnak a tömítési folyamatra. Általában a tömítőfelületek között vegyes súrlódás van, ezért mindkét felület anyagminőségének nagy a jelentősége. Az anyagokat úgy kell kiválasztani, hogy jó siklási tulajdonságuk legyen, mivel a tömítőfelületek között még hidrodinamikai folyadékfilm kialakulásánál is, időszakosan szilárdtest érintkezés van. Ideális esetben a tömítőrésben folyadéksúrlódás van, ami jó tömítőhatást és hosszú élettartamot biztosítana. A fent leírt tengelyhibák és egyéb befolyásoló tényezők miatt ezt az ideális állapotot csak közelíteni lehet. Ennek érdekében a gyártók a különböző hibaértékekre (excentricitás, egytengelyűség, stb.) határértékeket adnak ill. a beépítés feltételeit is előírják, amely garantálja, hogy a tömítés a gyakorlatban is megfelelően működjön. A 35. ábra a radiális tengelytömítő gyűrűk beépítési irányelveit mutatja.



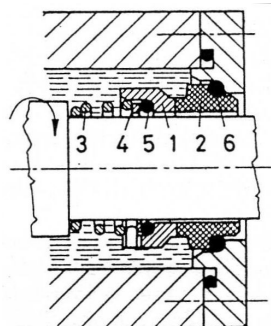
34. ábra

Az ajak levegővel érintkező felületét gyakran csavarvonalyszerűen kiképzett hornyokkal készítik (36. ábra). Ez a visszavezető menet a tömítésen átszivárgó olajmennyiséget a menet kezdetén összegyűjti és forgás közben a tömítőrésben lévő olajfilmhez visszavezeti.

Felosztásuk a funkciótól és gyártótól függően igen sokféle lehet. A fontosabb rendszerezési szempontokat az alábbiakban mutatjuk be. Kialakításuk szerint lehetnek *radiális* (38. ábra) és *axiális* (39. ábra) tömítések. Mivel a felhasználás szempontjából főleg az utóbbi terjedt el, ezért a továbbiakban csak ezekkel a típusokkal foglalkozunk.



38. ábra



39. ábra

A csúszófelületek működési elve alapján megkülönböztetünk *hidrosztatikus*, *hidrodinamik* és a kettő kombinációjával készült *hidrosztatikus-hidrodinamik* csúszógyűrűs homloklaptömítéseket.

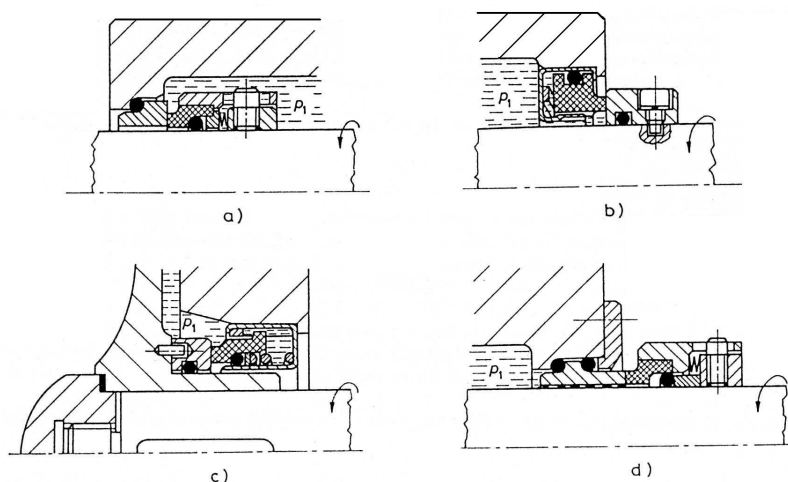
Hidrosztatikus tömítésről akkor beszélünk, ha kenő-, hűtő-, vagy zárófolyadékot juttatnak p nyomással furatonkon vagy körhornyon keresztül a csúszófelületre.

Azokat a tömítéseket, amelyeknek a csúszófelületén olyan kivágásokat készítenek, amelyek a forgás hatására *hidrodinamik* nyomást és kenőfilmet alakítanak ki, hidrodinamik csúszógyűrűs tömítéseknek nevezzük.

Az előbbieken leírt két tömítésfajta egyesítésével alakítható ki a kombinált *hidrosztatikus-hidrodinamik* csúszógyűrűs tömítés.

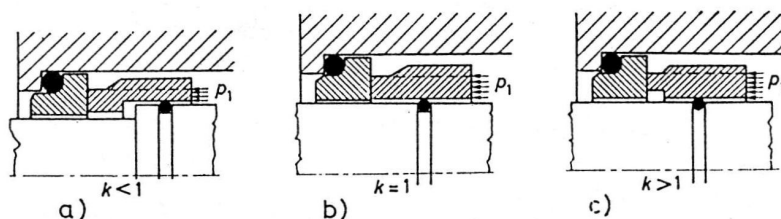
Az axiális csúszógyűrűs tömítéseket *elrendezés szerint* a 40. ábrán látható módon lehet kialakítani.

A csúszógyűrűs tömítések a *terhelési mód szerint* is csoportosíthatók. A p_r tömítőnyomás és a p_l belső nyomás vagy a $k = \frac{A_H}{A}$ hidraulikus terhelési viszony a csúszógyűrűs tömítés további csoportosítására ad lehetőséget. A gyakorlatban a rugóerőt elhanyagolják és csak a hidraulikus terhelési viszony alapján csoportosítanak. Ha $k < 1$ (41a. ábra), akkor a csúszógyűrűs tömítés hidraulikusan tehermentesített, ha $k = 1$ (41b. ábra) vagy $k > 1$ (41c. ábra), akkor a csúszógyűrűs tömítés hidraulikusan terhelt kialakítással készült. A gyakorlatban a legtöbb terhelt tömítésnél $k = 1,1 \dots 1,2$, mivel az ellengyűrű furata mindig nagyobb átmérőjű, mint a tengely. A tehermentesített csúszógyűrűs tömítések általában $k = 0,6 \dots 0,9$ érték figyelembevételével készülnek. A k értékének csökkenésével növekszik a biztonság a túlmelegedéssel szemben, viszont növekszik a tömítőfelületek távolodásának veszélye.



40. ábra

a.) belső elrendezésű forgó tömítés, b.) belső elrendezésű álló tömítés, c.) külső elrendezésű álló tömítés, d.) külső elrendezésű forgó tömítés



41. ábra

Tömítési jellemzők

A csúszógyűrűs tömítések felhasználás szempontjából igen sok jó tulajdonsággal rendelkeznek, ami széles felhasználási lehetőséget biztosít számára. A tömítendő tengelyméret $d = 5 \dots 500$ mm között változhat, a maximális nyomás elérheti az 500 bart., hőmérséklettartománya -200 °C-tól $+450$ °C-ig terjed, a csúszási sebességtartomány akár 100 m/s is lehet.

A csúszófelületek anyagai

A csúszógyűrűs tömítéseknel csak kivételes esetekben alkalmaznak tisztafém anyagpárosítást, mert a felületeket ritkán választja el egymástól hidrodinamikus kenőfilm, és a felületek érintkezésére mindig számítani kell. A fém-fém anyagpárosítás a nagyobb súrlódási tényező, a berágódási veszély és a termikus repedések képződése miatt nem vált be.

Különleges esetekben, pl. erősen abrazív folyadékok tömítésénél, kemény karbidok vagy fémbevonatú csúszófelületeket használnak. Olaj tömítésére grafittartalmú edzett acél - öntöttvas vagy színesfém - anyagpárosítást alkalmaznak. A csúszógyűrűs tömítések leggyakrabban műanyag vagy szénkerámia gyűrűt párosítanak fémoxid- vagy karbidgyűrűvel. A csúszófelületek anyagát az alkalmazási, a gyártási, a technológiai és a gazdaságossági követelmények figyelembevételével választják ki. Különösen fontos az anyagok kopásállósága az üzemi körülmények között. Megbízhatóan ezek az értékek kísérletekkel határozhatók meg. Természetesen ismerni kell az anyagok vegyi ellenállóképességét, fizikai és mechanikai jellemzőit, amelyek alapján a tömítések méretezhetők.

Műanyagok

Néhány esettől eltekintve - amikor különböző töltőanyagokkal (üvegszál, grafit, MoS_2) növelt szilárdságú, hővezető képességű vagy siklási tulajdonságú poliamidot, gumit vagy PTFE-t alkalmaznak - a csúszógyűrűs tömítéseknel főleg a fenolgyanta-alapú duroplasztokat alkalmazzák köpor, azbesztliszt, szövet-, grafit- vagy fehérpor töltettel.

A műanyagok jellemzője a kis rugalmassági modulus és a nagy kopásállóság, ha megfelelő anyagú ellendáron (öntöttvason, krómöntvényen, bronzon vagy kerámián) fut, és ha kenőanyagként vizet használnak. Hátrányosak a nagy hőtágulási együttható, a kis hővezető képesség, amely gyakran kis hőmérsékletre korlátozza az alkalmazhatóságot. A kopásállóságot a technológiai paraméterek - a sajtolási nyomás, hőmérséklet és a hőtartás ideje - nagymértékben befolyásolják.

Gyakran alkalmazzák az öntöttvas-grafit és azbeszttöltésű műgyanta anyagpárosítást jármű-hőszivattyú tömítésére.

Műszén és grafit

A műgyanta kötésű anyagokkal ellentétben állnak a műszén és a grafit, amelyeknél a pórusokat impregnálással tömítik el. Ha a műgyantával impregnált széngyűrűt a megengedett hőmérséklet fölé hevítik, először a műgyanta törik szét. Fémrel impregnált anyagnál pedig először a fém olvad ki. Ilyenkor feltétlenül nagyobb a résvesztés, de a gyűrű szén-, ill. grafitváza továbbra is megmarad. Az alkalmazott alapanyagtól, hevítési hőmérséklettől és időtől függően, különböző fizikai és mechanikai tulajdonságú műszén állíthatók elő. A keményszenek szilárdsága nagy, általában csak köszörüléssel munkálhatók meg, ezzel szemben hővezető képességük rendszerint kicsi. Ezzel ellentétesen viselkedik az elektrografit amelynek szilárdsága kicsi, hővezető képessége viszont lényegesen nagyobb, mint a keményszéné. A széngrafit tulajdonsága a kettő között helyezkedik el.

Nagy terhelésű csúszófelületek anyagául főleg műgyantával impregnált szenet és grafitot alkalmaznak.

Fémek

Igen sok fém csúszógyűrűt alkalmaznak. Az alkalmazási területek és az előállítási költségek miatt főleg impregnált szinter- és öntött fémeket használnak, vegyszer és oxidációállóság érdekében pedig ötvözt, ill. többretegű csúszógyűrűket készítenek. A nikkelötvözetek csak szűk tartományban használhatók, mert horonyképződésre és nagyobb kopásra hajlamosak. A króm, kobalt és ötvözeik, mint a ferrites krómöntvény, a Stellite és más fém-

bevonatok kopásállósága és vegyi ellenálló képessége kiváló. A csúszógyűrűknél alkalmazott fémek szilárdsági értékei egy nagyságrenddel meghaladják a műanyagok vagy a szénkerámia anyagok szilárdságát.

Fémoxidok

A fémoxidokat - a megmunkálási nehézségek ellenére - jó vegyi ellenállóképességük és nagy kopásállóságuk miatt, gyakran alkalmazzák csúszógyűrűk készítésére. A felhasznált anyagok ütésállósága és hőmérséklettűrő képessége általában igen jó. A hővezetési tényező kicsi, és a hőmérséklet növekedésével erősen csökken. Ezen kívül, a hővezetési tényező a porozítás növekedésével szintén csökken. Az Al_2O_3 gyűrűk tömeggyártásban történő előállítása viszonylag olcsó. Az ilyen gyűrűket műgyanta vagy szén csúszógyűrűkkel párosítva elsősorban háztartási gépekben alkalmazzák.

Karbidok

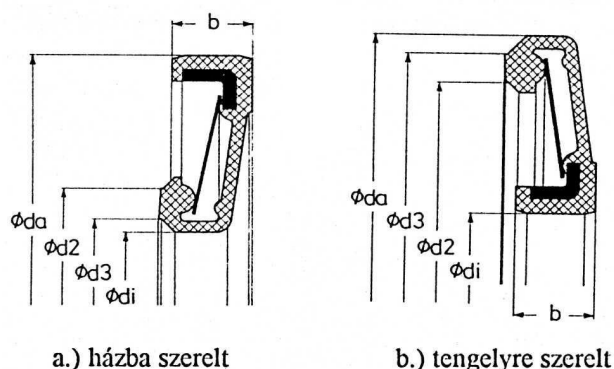
A fémkarbidok keménysége és kopásállósága különösen kedvező. Gyártástechnológiai szempontok miatt általában nem tiszta formában, hanem fémkötéssel (pl. nikkel, kobalt stb.) és gyakran más karbidokkal együtt használják a fémkarbidokat. A hővezetési tényező változása a hőmérséklet függvényében nagymértékben eltérő a különböző karbidoknál. Kémiai korrózió esetén, a különálló karbidot és a kötőanyagot együttesen kell vizsgálni. A wolfram-karbidot legtöbbször kobalt kötőanyaggal készítik, amelyet azonban a kémiailag tiszta víz is korrodál, és már 600°C -on oxidálja. Folyékony oxigén és salétromsav tömítésére nagyon jól beváltak a platina kötésű wolfram-karbidok.

Anyagpárosítás

Az anyagok kiválasztása mellett rendkívül fontos, hogy milyen csúszófelületű anyagokat párosítanak a csúszógyűrűs tömítéseknek. Elsősorban arra kell ügyelni, hogy a párosított anyagok kopásállósága az adott tömítendő közegnél megfelelő legyen, a futófelületeken horonyképződés, hegedések ne forduljanak elő. Nagyon fontos, hogy az anyagpárosítás olyan legyen és a gyűrűket úgy építsék be, hogy a súrlódási hő elvezetődjön anélkül, hogy az anyagok túlhevülne, vagy a résben a kenőfilm károsodna. A jobb hővezető képességű gyűrűt mindig a hőelvezetés irányába eső oldalra kell helyezni. Csúszógyűrűs tömítéseknel előnyös, ha a két csúszóanyag keménysége különböző. Ha idegen szennyeződések jutnak a súrlódó felületek közé, mindig csak a lágyabbat károsítják. Ezt a károsodást a keményebb, ép felület adhéziós kopás útján eltávolítja és a tömítés továbbra is üzemképes. Ha mind a két felület megsérül, jelentős az abrázív kopás és a tömítés általában meghibásodik.

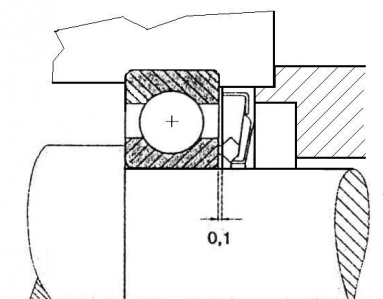
3.2.9. Axiális ajakos tömítés

Az axiális ajakos tömítés nem a tengely palástján tömít, hanem - beépítéstől és típustól függően - vagy a tengelyen vagy a házra kialakított axiális felületen. Az axiális ajakos tömítés felépítése a **42. ábrán** látható. A lágy elastomerből készült ház egy merevítő fémgyűrűre van vulkanizálva. A tömítésen, axiálisan egy kúposan kialakított tömítőél található, melyet egy fém tányérrugó szorít a tömítendő felületre. A tömítés előnye, hogy a tengellyel szemben nem támaszt nagy követelményeket és a radiális hibákra nem érzékeny. Az axiális ajakos tömítés beépítésére látható példa a **43. ábrán**.



43. ábra

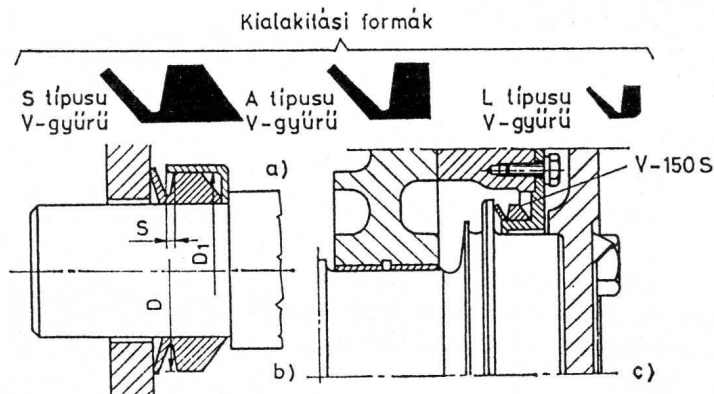
42. ábra



44. ábra

3.2.10. V-gyűrűs tömítés

A V-gyűrűs tömítés a homlokaptömítések csoportjába tartozik. A 43. ábra a V-gyűrűk fő típusait szemlélteti.



43. ábra

- a.) szorítógyűrűs kivitel nagy fordulatszámokhoz, b.) szorítógyűrű nélküli kivitel kisebb fordulatszámokhoz, c.) beépítési példa álló V gyűrűre

Az A és az S kiviteli forma csak a hátoldal kialakításában különböznek egymástól. Az A kiviteli forma axiális irányban kisebb helyigényű mint az S. Az L jelű speciális profilú V-gyűrű pedig labirinttömítésekbe történő beépítésre készült.

A V-gyűrű a felhúzás után, meghatározott méretkülönbség mellett, saját rugalmasságánál fogva szilárdan illeszkedik a tengelyre és azt egyben tömíti is. Az ajak a tömítőfelületen kis nyomással fekszik fel. Az ajak és az agyrész (tartógyűrű) viszonylag rugalmasan kapcsolódik egymáshoz. Nagy kerületi sebességeknél (12...15 m/s) a centrifugális erő miatt a gyűrű szorítóhatása a tengelyen lecsökken és a V-gyűrű meglazulhat. A lelazulás előfeszített (acél, alumínium, vagy más fém) szorítógyűrűvel megakadályozható és így a V-gyűrű 30 m/s kerületi sebességig felhasználható (43.a ábra).

A V-gyűrű viszonylag érzéketlen a tengely helyzethibáira, ezért nagyon ferde tengelyhelyzetnél is alkalmazható. Ilyenkor előnyös a gyűrű axiális megtámasztása. A V-gyűrűs tömítés alkalmazásánál a tengely nagy excentricitása is megengedhető.

3.2.11. Tömszelence tömítés

A tömszelence tömítések az utánállítható tömítőerőt adó tömítések csoportjába tartoznak. A tömítendő tengelyre ható, radiális irányú fajlagos nyomóerőt a tömszelenceüregbe helyezett tömítés axiális irányú összenyomásával keltjük.

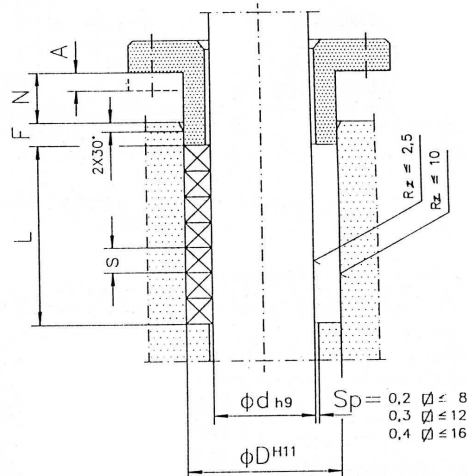
Felhasználási területe a felületek relatív elmozdulása alapján: forgó, haladó ill. forgó+haladó mozgásoknál szokásos.

A tömítőanyag megválasztása elsősorban a tömítendő közeg fajtája és hőmérséklete szerint történik. A tömítőanyagok egy része a kenőanyagot tárolja és üzem közben viszonylag lassan kibocsátja. A tömszelence tömítéseknek általában nagy a súrlódási ellenállásuk és ennél fogva kopásuk is, ezért utánállíthatóságukról gondoskodni kell.

Tömszelence kialakítások

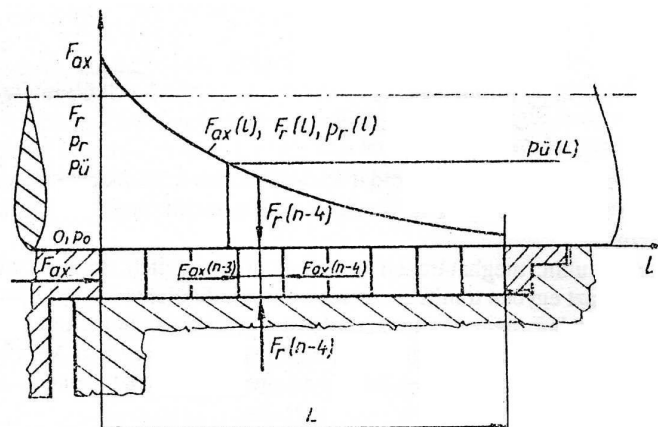
A tömszelencétől megkövetelt maximális üzembiztonság, minimális szivárgás és karbantartásmentesség nemcsak kiváló alapanyagokat, hanem optimális tömítőtereket is követel. Az üreg jellemző méreteit általános esetben szabványok írják elő, de természetesen a szabványtól eltérő üregkialakítások is léteznek, sőt alkalmazási esettől függően számos egyedi megoldás is használatos. A tömítőter optimális kialakítását és jellemző méreteit a 44. ábra szemlélteti.

1. ábra
- 2.



Tömszelence tömítés nyomásviszonyai és méretezése

A tömszelence tömítésnél fontos adat a tömítés hosszúsága (L) amelyet a nyomástól függően írnak elő. A tömszelence nyomásviszonyai a **45. ábrán** látható.



45. ábra

A tömszelence tömítőgyűrűinek axiális irányú beszorítása következtében (F_{ax}) fellépő tömítőerő (F_r) ill. tömítőnyomás (p_r) az " L " hossz mentén az ábrán látható meghatározott geometriai haladvány szerint csökken. Tömítően záró tömszelence tömítés esetén a tömítőgyűrűk addig a hosszig tömítenek amíg az üzemi nyomás egyenlővé válik a tömítőnyomással ($p_u = p_r$). Az e mögött álló tömítőgyűrűk nem vesznek részt a tömítésben, így feleslegessé válnak.

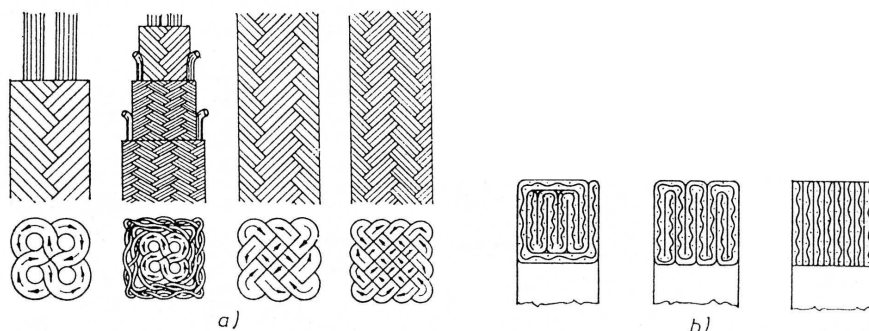
Tömszelencetömítések kialakítása és anyaga

A tömszelence kialakítása elsősorban az alkalmazástól függ. Az alábbiakban a leginkább elterjedt tömszelence-kialakításokra és felhasznált anyagokra mutatunk néhány példát.

A tömítőelemek *kialakításuk szerint* lehetnek:

•Folyamatos zsinórok (lágy anyagú, kemény anyagú).

A lágy anyagú tömítőzsinórok lehetnek különböző impregnált vagy homogén szálanyagokból fonottak. A szálanyag lehet növényi, állati vagy műrost, azbeszt, PTFE stb. (**46.a,b ábra**). Tömszelencetömítések céljára az előbbieken ismertetett lágy tömítéseken túl használatosak kemény gyűrűk is. Ezek fémek és lágy anyagok kombinációjából készülnek.

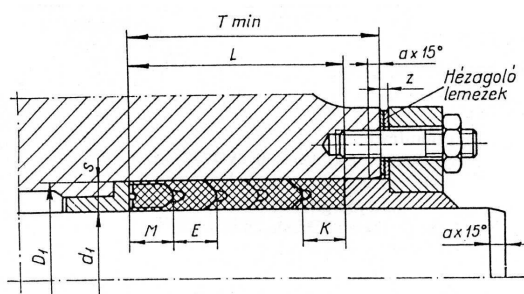


46. ábra

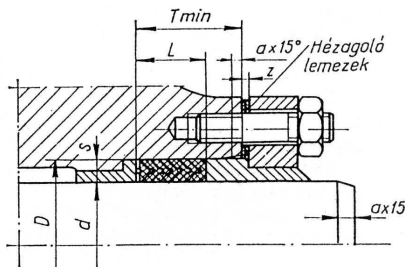
a.) fonott tömszelencetömítések, b.) szöveterősítésű tömszelence tömítőgyűrűk

•Lágy anyagú profilos tömítőgyűrűk

Nagynyomású szerelvényekben, hidraulikus berendezésekben, szivattyúkban elterjedten használják a horonygyűrűs vagy általában gyűrűs tömítőelemekből készült tömítéseket. U-gyűrű tömszelencében való alkalmazását látjuk **47. ábrán**. V-gyűrűk alkalmazására akkor kerül sor, amikor helyszűke miatt rövid üregmélység alakítható ki. A beépítési mód a **48. ábrán** látható. V-gyűrű beépítésekor figyelembe kell venni, hogy nyomás hatására automatikusan nő a tömítettség. Kopás okozta szivárgás esetén ki kell venni egy hézagoló lemezt és a szorítóperemmel után kell állítani a tömítést.



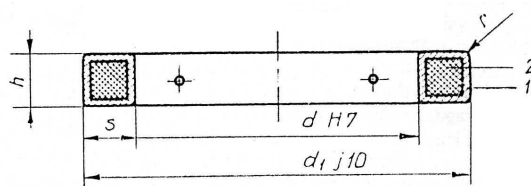
47. ábra



48. ábra

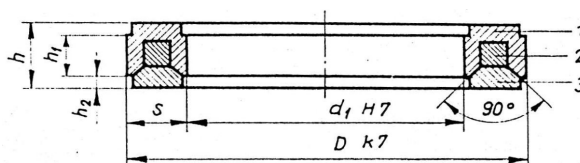
•Zárt gyűrűk egy vagy több részből (49. ábra)

Az 1 ólomötvözetű köpenyben a 2 grafit található, amely kis lyukakon hatolhat át a köpenyben és juthat kenőanyagként a súrlódó felületre.

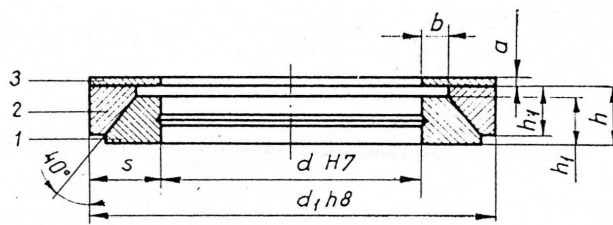


49. ábra

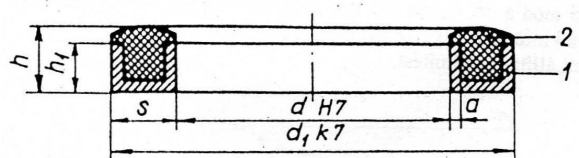
•Horonygyűrűk feszítő- és támasztógyűrűkkel (50. ábra)



Ékbetétes ólomköpenyű gyűrű



Diagonális osztású gyűrűpár ólomból



Nyitott házas keménytömítés

50. ábra

•Morzsolható anyagkeverékből besajtolással készített tömítés.

Tömszelencetömítésekhez nagyobb üzemi hőmérsékleteken és nyomásokon gyakran használnak morzsolts grafitból vagy hosszúszálu azbesztből készült tömítőanyagot. Az utóbbihoz súrlódást csökkentő adalékokat is szoktak keverni. Gyártanak PTFE bázisú tömítőmasszát is, amelybe grafitot kevernek. A rendkívül jó vegyszerállóság és a kedvező hőállóság következtében főleg vegyipari berendezésekben használják ezt a masszát.

4. NEM ÉRINTKEZŐ TÖMÍTÉSEK

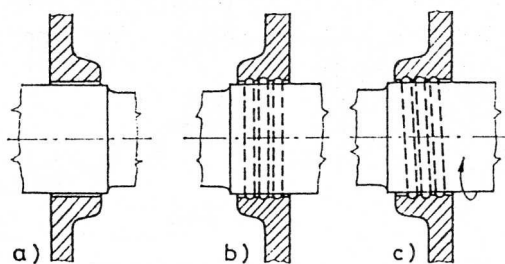
Az érintkezés nélküli tömítéseket főként forgó géprészek tömítésére alkalmazzák, különösen nagy kerületi sebességeknél, amikor az érintkező tömítések súrlódási hőjének elvezetése már nehézségeket okoz. Szerkezeti kialakításaiknál a rés- és a centrifugális erő hatását használják fel. Az érintkezés nélküli tömítések alkalmazását a fordulatszámhatár nem korlátozza. A nem érintkező tömítéseknek két fő csoportját különböztetjük meg, a hidrodinamikai és a hidrosztatikus tömítéseket. A hidrodinamikai tömítések (fojtótömítések) működésének a lényege, hogy a tömitendő közeg nyomása vékony résen átáramolva, a súrlódás és az örvénylés közben lecsökken. Itt természetesen tökéletes zárásról nem beszélhetünk. Kialakítását tekintve ezek a tömítések lehetnek rés-, labirintrés- és labirinttömítések.

4.1. Rés- és labirinttömítések

A réstömítések legegyszerűbb formája az egyszerű réstömítés (**51.a ábra**), amelyet főként zsírkenésű csapágyaknál alkalmaznak. A rés tömítőhatása zsírtöltéssel sokszorosára növelhető.

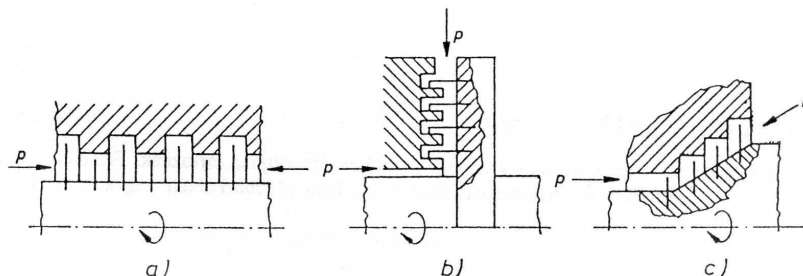
Az *egyszerű réstömítések* általában csak alacsony követelményű (kevésbé szennyeződésveszélyes) helyeken használják. A rés tömítőhatása elsősorban a rés vastagságától függ, de jelentősen befolyásolja azt a rés hosszúsága is. A szűk (kb. 0,1...0,3 mm) résen keresztül az olaj is nehezen jut ki. Az azonos névleges méretű tengelyre és furatra h10, ill. H11 tűrést szoktak előírni. Párhuzamos hornyok, úgynevezett zsírfogó hornyok elhelyezésével (**51.b ábra**) kis zsírpárnákat képeznek ki, amelyek a rés tömítőhatását javítják. A hornyokat **51.c ábra** szerint spirál alakban elhelyezve a résben egy egyirányú szállító hatás alakul ki (visszahordó menet).

A réstömítések általában nagy gyártási pontosságot kívánnak, szokásos kiviteli formáinál csak igen kis tengelyexcentricitás vagy tengelyferdeség engedhető meg. Néha már egészen egyszerű és olcsó szerkezeti megoldások kielégítő védelmet biztosítanak. A tömítésen és az ellendarabon kopás nem keletkezik.



51. ábra

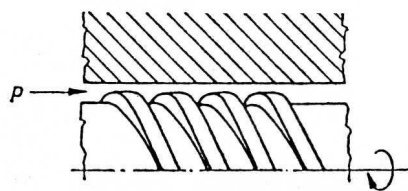
A *labirinttömítésekben* az egymás után kapcsolt fojtási helyek sora együtt dolgozva emészt fel az áramlási sebességből és a nyomáskülönbségből adódó energiát. A rés keresztmetszetének ismétlődő bővítése különösen turbulens áramlásnál eredményes, mivel a veszteséget az örvényképződés okozza. Konstruktív szempontból ezeket a tömítéseket a fésűsen egymásba nyúló tömítőfelületek jellemzik. Ezek lehetnek axiális, radiális és lépcsős kialakításúak (**52. a,b,c ábra**).



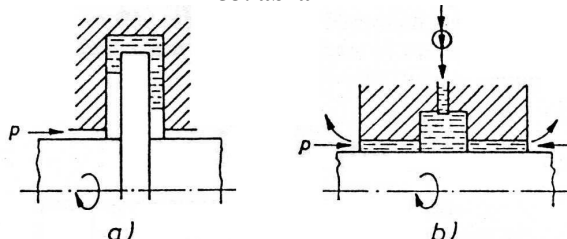
52. ábra

A hidrosztatikus tömítésekre a záró folyadék alkalmazása jellemző. A záró folyadékra ható közegnyomást külső nyomással kell ellensúlyozni. A záró nyomás előállítható visszahordó csavarmentes megoldással (**53. ábra**). Ezzel a tömítéssel kis nyomásoknál teljes tömítettség is elérhető.

A folyadékzárás megoldásnál a tengellyel együtt forgó tárcsa állítja elő a tárcsával együttfutó folyadékzárát (**54.a ábra**). A legújabb megoldásokban a tárcsa helyett lapátos járókereket alkalmaznak erre a célra. Nagyobb nyomáskülönbségek esetén a nyomás záró folyadék-szivattyúval állítható elő (**54.b ábra**).



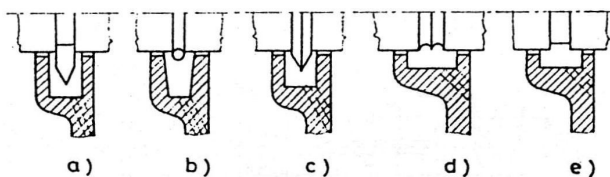
53. ábra



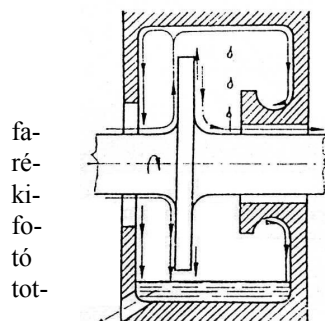
54. ábra

4.2. A centrifugális erő hatásán alapuló tömítések

A centrifugális erő hatásán alapuló érintkezés nélküli tömítések csoportjának nagy előnye, hogy a tömítőhatás kifejtéséhez semmilyen szűk rést nem igényelnek (55. ábra). Az ilyen tömítések sokféle kivitelben készülhetnek: pl. szórógyűrű, szórótárcsa, horony, terelő stb. Gyakran előtömítésként kerülnek alkalmazásra. Feladatuk, hogy csökkentsék a tényleges tömítési helyre jutó tömítendő anyag mennyiségét a tömítés túlterhelésének megakadályozására. A szórógyűrűt általában nem a tengely anyagából munkálják ki, hanem külön húzzák fel a tengelyre különböző rögzítési módokat alkalmazva.



55. ábra



56. ábra

A szórógyűrű hatásmechanizmusa a következő: a ház belsejében levő tömítendő anyag (leggyakrabban olaj) a szabadba akar kijutni. Elérkezik a szórógyűrűhöz, amiről a megnövekedett centrifugális erő hatására leszóródik. Felcsapódva a ház lára az olaj egy része az elvezető furaton keresztül visszafolyik a házba, a másik része azonban eljut a szórógyűrű házának külső falára, innen ismét a tengelyre és jut a szabadba. Az igaz, hogy ez a kiviteli forma lényegesen csökkenti az átjutó lyadékmennyiséget, de teljesen nem zárja le a folyadék útját. A 56. ábrán látható konstrukciós megoldás hatékonyságát a házban elhelyezett gyűjtőhoronnyal javították.

4.3. Harmónikatömítések

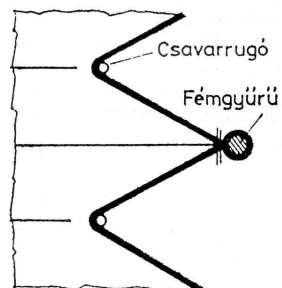
A harmónikatömítések az érintkezés nélküli tömítések csoportjába tartoznak. Feladatuk, hogy mint orsók, csúszóvezetékek, hidraulikus és pneumatikus elemek rugalmas védőburkolatai védjék az elemeket a káros hatásoktól.

A harmónikatömítések rugalmas anyagból készült hengeres, kúpos, kör, ovális, négyszög vagy sokszög keresztmetszetű üreges testek, amelyek zártak vagy nyithatók és (egy adott mértékben) összenyomhatók vagy egymásra hajlíthatók; hajlíthatók és csavarhatók. Formájuk nagyon sokféle, méreteik alig korlátozottak. A kihasználható megnyúlás (lököt) a harmónikatömítés átmérőjétől és a redők számától függ. Adott esetben, nagy löketeknél a térfogatváltozást is figyelembe kell venni (nagy térfogatváltozásra légszűrős kiegyenlítő).

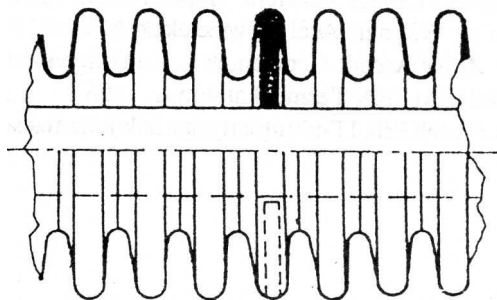
A rögzítés érdekében a harmónikatömítések végeit tetszőleges alakú karmantyús (muffos) vagy karimás csatlakozással alakítják ki.

A harmónikatömítéseket rendszerint túlnyomás nélküli helyeken alkalmazzák, de a harmónika hornyában a külső csúcsainál belül elhelyezett fémgyűrűkkel és a harmónika hornyában a külső felületen lévő fémspirállal erősített kivitelű tömítések kis túlnyomás vagy vákuum esetén is alkalmazhatók 57. ábra.

A harmonikatömítések beépítési szempontjai: a vízszintes helyzetű harmónikatömítések belógásának érdekében csúszótárcsákat vagy felfüggesztő elemeket kell elhelyezni (58. ábra), továbbá elmozduláshatárolóval (szalag, lánc) korlátozni kell a tömítés megnyúlását.



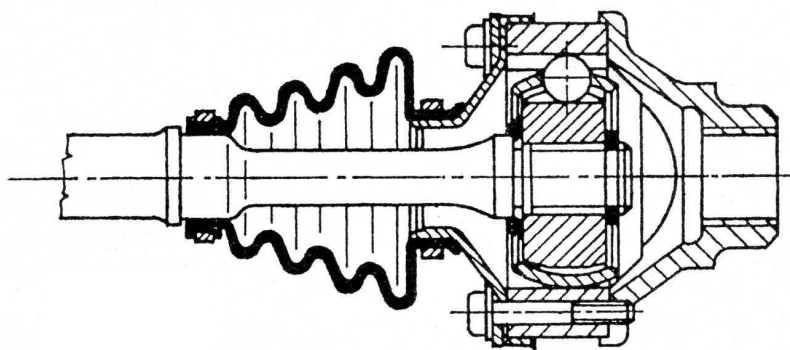
57. ábra



58. ábra

A harmonikatömítés anyaga a felhasználási területtől függően bőr (cserzett bőr, műanyaggal bevont bőr, krómcserzésű bőr), különböző kivitelű azbesztszövet, gumírozott szövet vagy ezek kombinációja.

Egy hátsó tengely harmonikatömítésére mutat példát a 59. ábra.



59. ábra

IRODALOMJEGYZÉK

- [1.] Bisztray Sándor: Tömítések, Segédlet, Budapesti Műszaki Egyetem, 1971
- [2.] Diószegi-Dr. Gyurkovics-Dr. Kósa-Körtvélyesi-Dr. Lehotai-Matskássy-Szabó: Géprajz-Gépelemek II., Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1985
- [3.] Ehrhard Mayer: Axiális csúszógyűrűs tömítések, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1980
- [4.] Font-László-Varga: Tömítések, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1971
- [5.] Juhász György: Csővezetékek és csővezetési elemek, Tananyag kiegészítő segédlet, Debrecen, 1995
- [6.] Karl Trutnovsky: Védőtömítések, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1980
- [7.] Tochtermann-Bodenstein: Gépelemek I., Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1986
- [8.] Walter Wagner: Acél csővezetékek, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1985
- [9.] Dr. Zsáry Árpád: Gépelemek I., Tankönyvkiadó, Budapest, 1989
- [10.] BURGMANN Termékkatalógus, 1996.
- [11.] A KLINGER IT-tömítőanyagainak jellemzése és a tömítések méretezése, Klinger katalógus, 1996