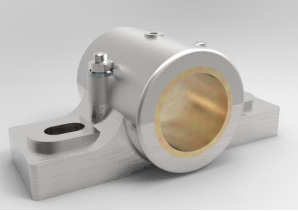


YATAKLAR



Prof. Dr. Ali ORAL

1

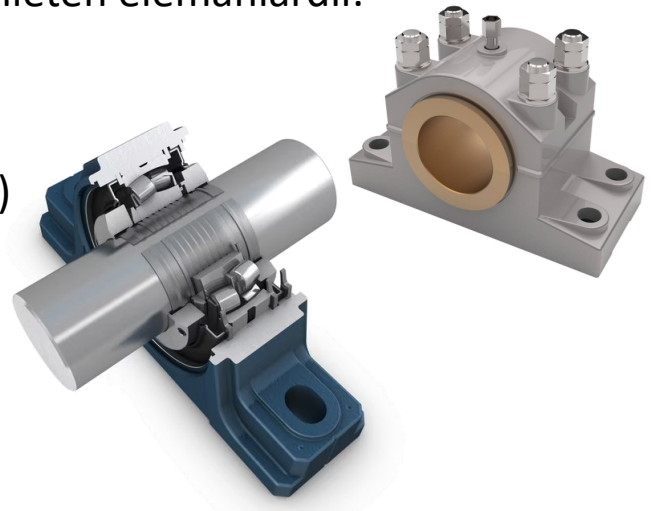
YATAKLAR

YATAKLAR

Yataklar, millere ve dönen akslara desteklik görevi yapan ve bu elemanlara etkiyen kuvvetleri gövdeye ileten elemanlardır.

Konstrüksiyonlarına göre yataklar:

- Kaymalı yataklar,
 - Yuvarlanmalı yataklar (rulmanlar)
 - Hassas cihaz yatakları
- diye üç grupta incelenir.



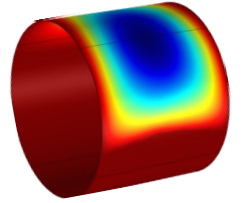
Prof. Dr. Ali ORAL

2

Miller dönen, gövde ise sabit bir elemandır. Biri hareketli diğeri sabit iki katı cismin temas yüzeylerinde sürtünme ve buna bağlı olarak aşınma ve sıcaklık yükselişi meydana gelir.

Makine elemanlarının yaklaşık % 70'inin işe yaramaz hale gelmesinin nedeni aşınmadır.

Sürtünme sonucu meydana gelen enerji kaybının da çok fazla kayıplara yol açtığı bilinmektedir. Bu nedenle yatak konstrüksiyonlarında sürtünmeyi ve aşınmayı en aza indirmek temel ilke olmaktadır.

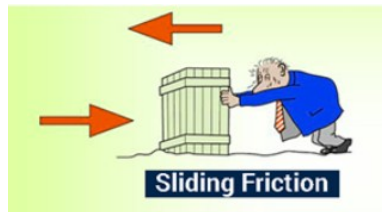


SÜRTÜNME

Genel anlamda sürtünme, temasta olan ve izafi hareket yapan iki cismin temas yüzeylerinin harekete veya hareket ihtimaline karşı gösterdikleri dirençtir.

Temas halindeki parçaların birbirine göre hareketleri:

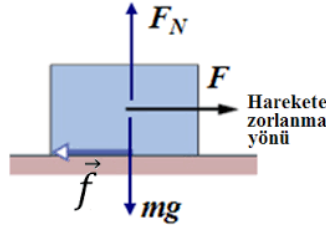
1. Kayma,
2. Yuvarlanma,
3. Kayma-yuvarlanma



şeklinde olabilir. Böylece sürtünme kinematik bakımdan kayma, yuvarlanma veya kayma-yuvarlanma sürtünmesi şeklinde olabilir.

Daha tekerleğin icadından önce çok ağır yükleri silindirik kalas veya taşlar üzerinde kaydırarak taşımak, yuvarlanan silindirleri su ile ıslatarak sürtünmeyi azaltmak bu alanda bildiğimiz ilk öncü faaliyetlerdir. 17. yy. Fransız mühendis Amontons, 18. yy. da Coulomb sürtünme ile ilgili temel kurallar üzerine çalışmışlar ve bugün bildiğimiz

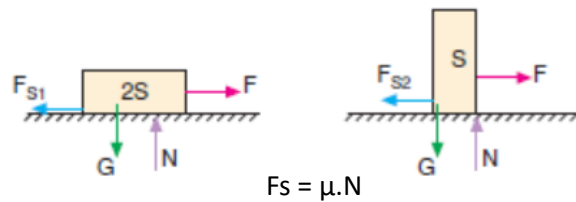
$$F_s = \mu \cdot F_N$$



kuralı 19. yy. dan itibaren Coulomb-Amontons Sürtünme Kanunu olarak genel kabul görmüştür. Bu eşitlikte:

F_s : Sürtünme kuvveti, μ : sürtünme katsayısı ve F_N : normal kuvvet.

Coulomb' a göre:



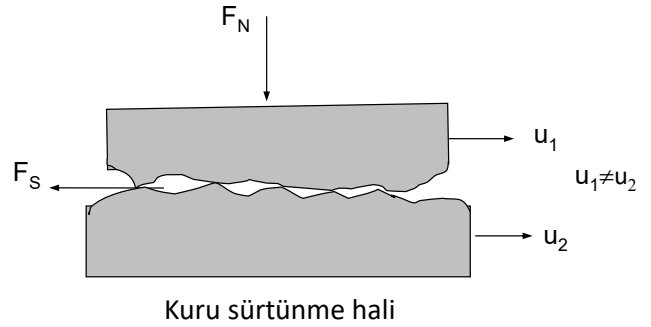
- Sürtünme kuvveti, temas yüzeylerine etkiyen normal kuvvetle doğru orantılıdır.
- Temas yüzeylerinin büyüklüğünün sürtünme kuvvetine etkisi yoktur.
- Hareket halindeki sürtünme kuvveti (dinamik sürtünme), yüzeylerin bağıl hızından bağımsızdır.

Statik sürtünme dinamik sürtünmeden büyüktür. Fakat aradaki fark çok küçük olduğundan ikisi eşit kabul edilir.

I. Kayma hareketinde sürtünme; kuru, yarı sıvı ve sıvı sürtünme şeklinde oluşur.

Kuru sürtünme; temas yüzeyleri arasında bir yağlayıcı maddenin olmaması halinde oluşan sürtünmedir. Kuru sürtünmede sürtünme katsayısı μ :

- a. Malzeme çiftine,
- b. Yüzey pürüzlülüklerine bağlıdır.

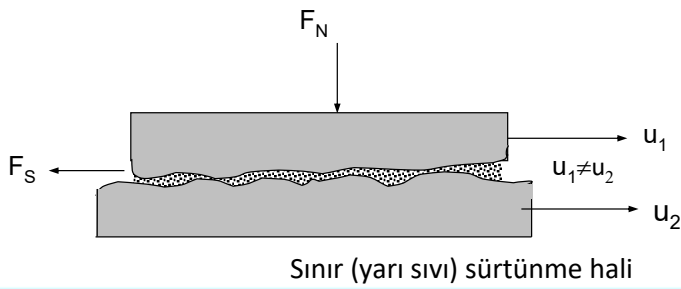


Çok hassas işlenmiş yüzeylerde bile yüzey pürüzlülükleri mevcuttur. Yüzeyler, pürüzlülüklerin tepe noktalarında temas halindedir ve bu temas bölgeleri elemanların gerçek temas yüzeylerine göre çok küçüktür. Bu bölgelerdeki büyük temas basınçları yüzeylerin birbirine yapışmasına (kaynaklaşmasına) sebep olur. Temas yüzeylerini birbirine göre hareket ettirmek bu kaynak noktalarının kesilmesi ile mümkündür. Dolayısıyla kuru sürtünmede sürtünme kuvvetleri bu bölgelerdeki kesme kuvvetlerine bağlıdır.

(çelik malzemeler için; kuru sürtünmede $\mu = 0,07 \sim 0,15$ değerleri arasındadır.)

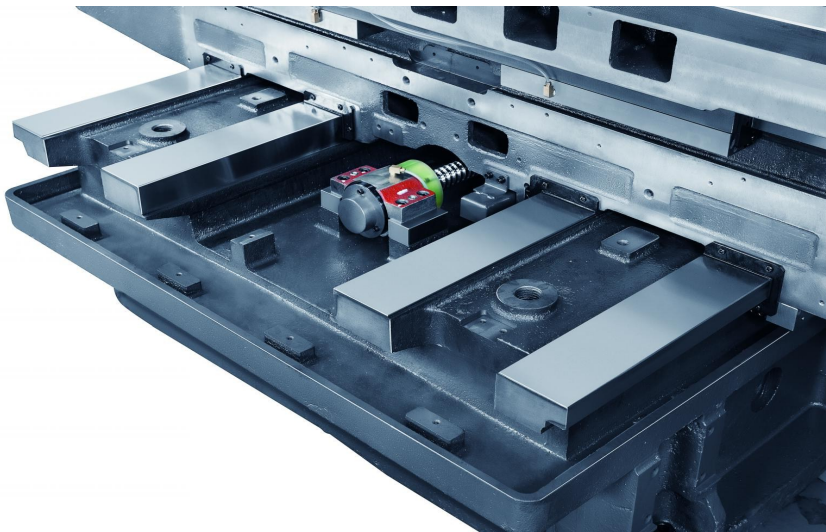
Yarı sıvı sürtünmede; temas yüzeyleri arasına konan yağlayıcı bir maddeye rağmen metalik temasın kesilmediği durumlarda oluşan sürtünme şeklidir. Kayma yüzeylerine sürülen yağ ıslatma kabiliyeti özelliği ile yüzeylere yapışır. Yüzey pürüzlülükleri sırasıyla $Rt1$ ve $Rt2$ ise, yüzeyler arasındaki yağ filmi kalınlığı $h \leq h_{0min} = Rt1 + Rt2$ dır.

(Tezgah kızaklarının yağlama şekli, $\mu = 0,03 \sim 0,1$)



Prof. Dr. Ali ORAL

9



Sıvı sürtünme; temas yüzeyleri arasında yağ filmi kalınlığı yüzey pürüzlülükleri toplamından büyük olduğunda ($h \geq h_{0min} = R_{t1} + R_{t2}$) oluşur. Yüzeyler hiçbir noktada birbirine temas etmezler. Bu durumlarda sürtünmeyi oluşturan faktör büyük ölçüde yağın viskozitesidir.

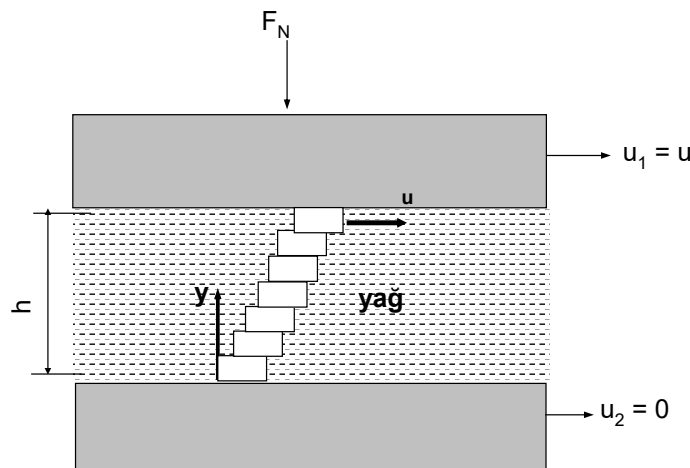
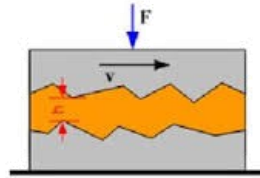
Arasında **h** kalınlığında bir yağ filmi olan iki yüzeyin izafi hareketinde yağ katmanları arasındaki kayma gerilmeleri;

$$\tau = \eta \frac{du}{dy}$$

dır.

Burada:

- τ Yağlayıcının katmanları arasındaki kayma gerilmesi (N/m²)
- η Yağlayıcının (dinamik) viskozitesi (Pa.s)
- u hız (m/s)
- y akış yönüne dik mesafe (m)



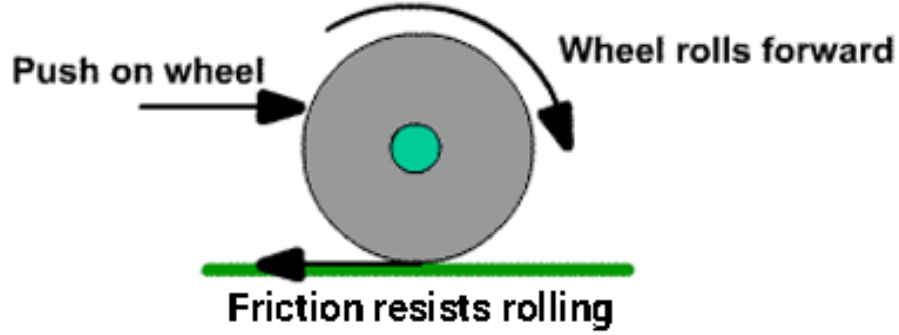
Temas yüzeylerinde oluşan sürtünme direnci yağın viskozitesine ve izafi hıza bağlıdır. Sürtünme kuvveti :

$$F_S = \tau \cdot A = \eta \frac{du}{dy} A$$

olup böylece, sıvı sürtünmede **sürtünme kuvveti temas alanına da bağlı** olduğu görülebilir.

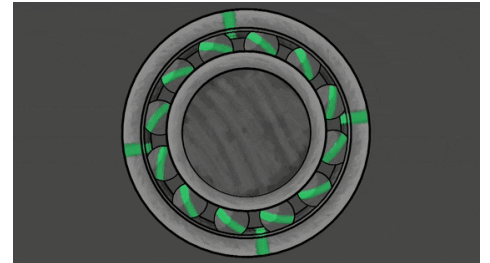
Sıvı sürtünme hali (biri hareketli diğeri sabit iki yüzey arasında akış)

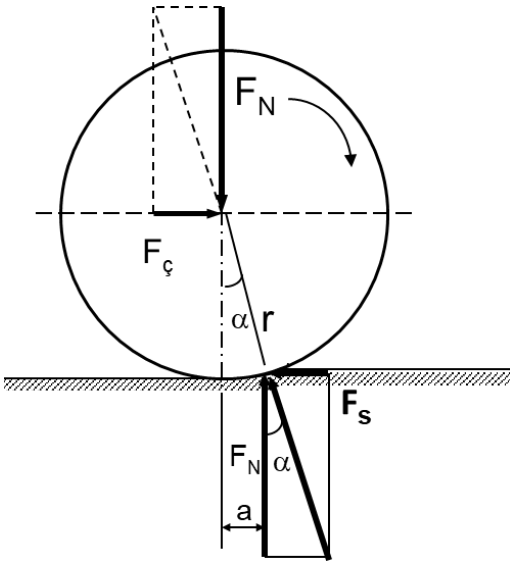
II. Yuvarlanma sürtünmesi:



II. Yuvarlanma sürtünmesi:

Yuvarlanma hareketinde (bir kürenin veya bir silindirin düz bir yüzeyde yuvarlanması halinde) temas yüzeyleri elemanların boyutlarına göre çok küçüktür.



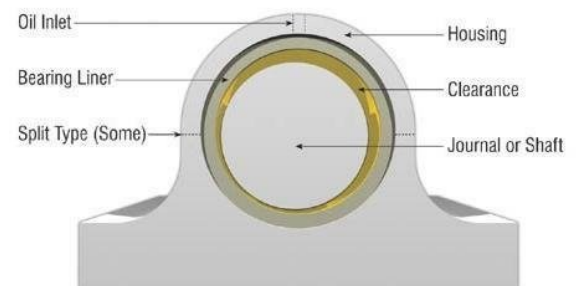
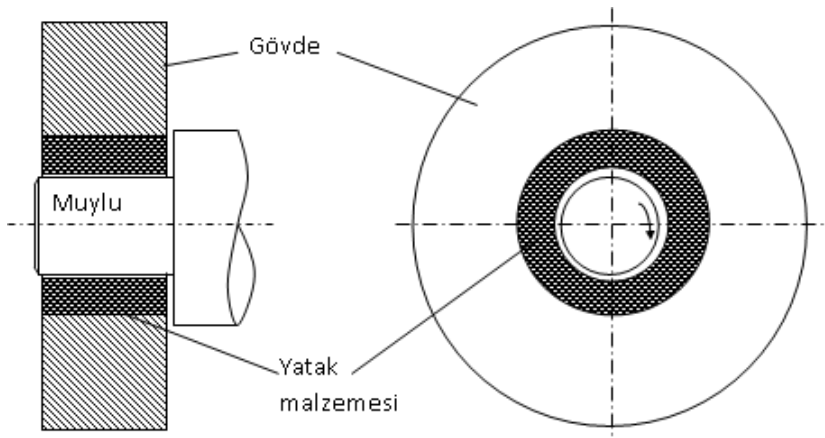


Bu temas hallerinde oluşan sürtünme direnci aşağıdaki modelle açıklanabilir.

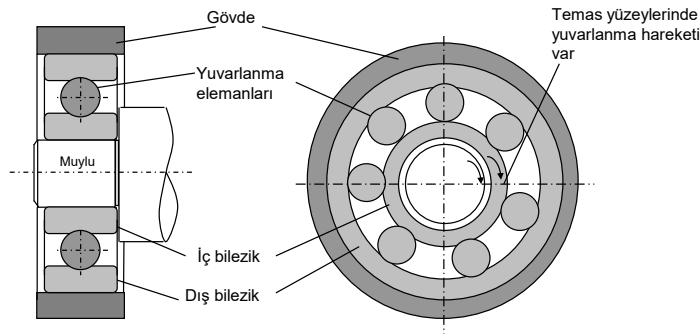
$a \ll r$ olduğundan $\tan \alpha \cong \sin \alpha$ yazılabilir. $\frac{F_S}{F_N} \cong \frac{a}{r}$
buradan $F_S = F_N \frac{a}{r}$ olur.

a ne kadar küçük, başka bir ifadeyle temas yüzeyi ne kadar sert ve az şekil değiştirirse sürtünme direnci o ölçüde küçük olacaktır.

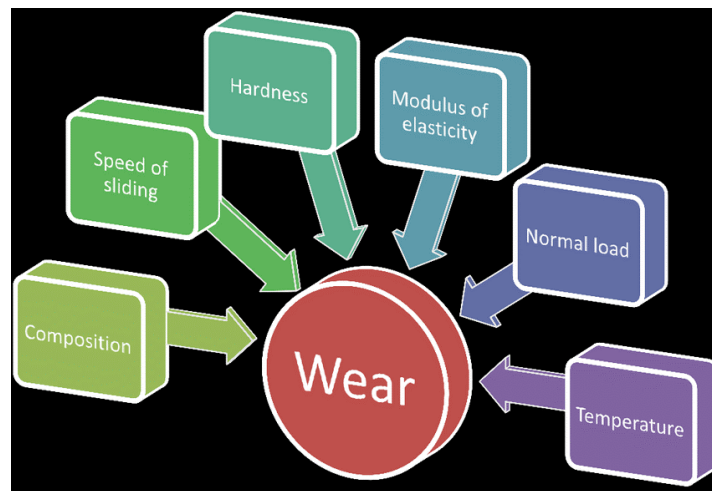
Yukarıdaki teorik incelemelerden edinilen bilgilere göre; temas yüzeyleri arasında kayma hareketi olan katı cisimlerin yüzeylerini birbirinden ayıracak basınçta bir yağlayıcı madde konularsa sürtünme direncinin azaltılması ve aşınmanın önlenmesi mümkün olmaktadır. Kaymalı yatakların yapısı bu fiziksel prensibe dayanmaktadır.



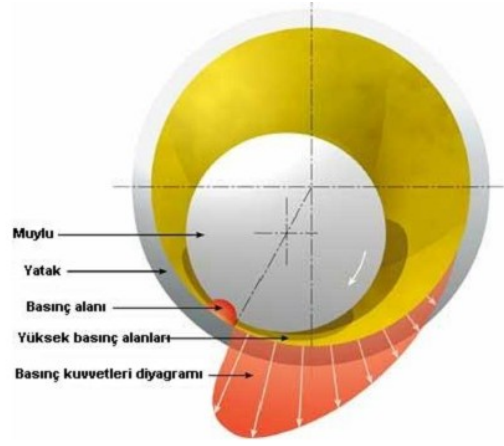
Temas yüzeylerindeki kayma hareketini yuvarlanma hareketine dönüştürebilirsek; sürtünme direncini azaltmak mümkündür. Yuvarlanmalı (rulmanlı) yatakların konstrüksiyonu da bu esasa dayanmaktadır



Kaymalı yatak ve rulmanlı yatak kullanmanın en önemli amaçlarından biri sürtünme dirençlerini düşürerek aşınmayı da azaltmaktır. Aşınmaya neden olan faktörler;



KAYMALI YATAKLAR



Prof. Dr. Ali ORAL

19

KAYMALI YATAKLAR

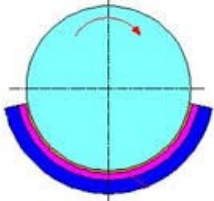
<https://www.youtube.com/watch?v=cN1E8KUvmk>



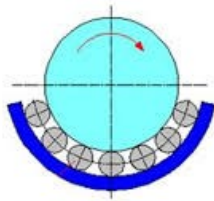
Prof. Dr. Ali ORAL

20

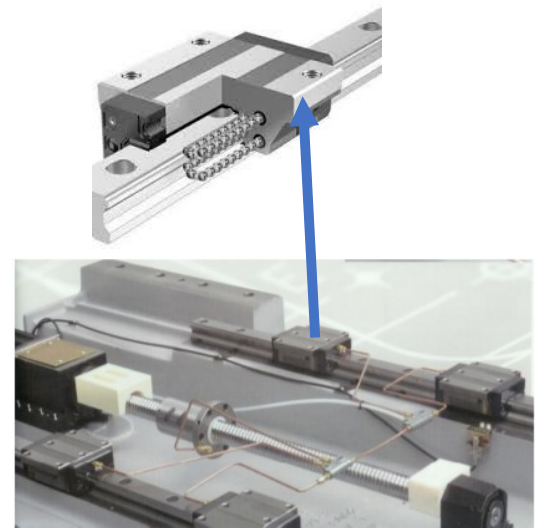
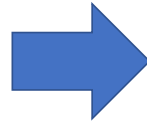
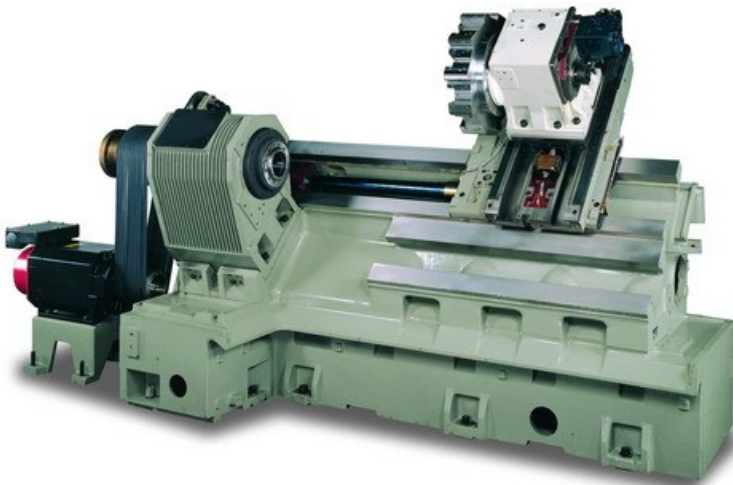
Kaymalı yataklarda, rulmanlı yataklardan farklı olarak yüzeyler arasında kayma hareketi vardır. Kaymalı yataklarda izafi hareketin dönme olması halinde destekleyen elemana yatak, doğrusal olması halinde destekleyen elemana kızak denir.



Kaymalı Yatak



Yuvarlanmalı Yatak



Yatak malzemelerinden istenen özellikler:

- Yağ tarafından iyi ıslatılabilmelidir.
- İyi bir basma ve aşınma mukavemetine sahip olmalı.
- Yatak malzemesi zarf yüzeyine çok iyi bir adeziv bağ ile bağlanabilmeli.
- Sıcaklıkla sertliğini çok fazla kaybetmemelidir.
- Yağsız kalma durumunda bile hemen kaynamamalı.
- Döküm ve talaşlı imalat işçiliği kolay olmalı, düzgün yüzey vermeli.
- Isıyı iyi iletmeli
- Korozyon etkilere dayanıklı olmalı
- Özgül ağırlıkları düşük olmalı.
- Çok pahalı olmamalı.

Malzeme	İçerik (%ağırlık)	Açıklama
Al-Alaşımlı Düşük kalaylı	Al 92 Sn 8	Çok fazla kalay mukavemeti azaltır. Çelik yuvalarda ısıl genleşme problemi var. Sert muylu gerektirir. Yüksek sıcaklıklarda iyidir. Dizel motorlar ve kompresörler
Al-Alaşımlı Yüksek kalaylı	Al 80 Sn 20	Özel olarak imal edilir ve bu şekilde kalayın mukavemeti düşürmesi önlenir. Otomobillerde krank yatakları, uçaklar tipik uygulamaları
WM- kalay bazlı (Babbitt)	Sn 84, Cu 8 Sb 8	Düşük yük taşıma kapasitesi, genellikle bir taşıyıcı zarfa bağlanır (kırılma kuyruğu geçme) kirli ortamlar için uygun. Motorlar
WM- kurşun bazlı (Babbitt)	Pb 75, Sn 10 Sb 15	Yüksek antimon kırılma kuvveti artırır. Diğer WM den ucuzdur. Krank yatakları, transmisyon burçları ve elektrikli aletlerde kullanılır.
Kalay bronzu ve kızıl döküm	91,2 Cu 8,5 Sn, 0,3 P	Yüksek sertlik, iyi yağlama gerektirir. Yüksek sıcaklığa ve korozyona dayanıklı. Arazi araçları, bisiklet yatakları
Kurşun bronzu	Cu 70 Pb 25, Sn 5	Yüksek hız ve büyük yük uygulamaları için uygun. Yumuşak muylularla kullanılabilir. Pompalar, ev aletleri, demiryolu taşıtları
Fosfor bronzu	Cu 80 Sn 10 Pb 10	Yüksek sertlik. İyi darbe dayanımı. Takım tezgahları, pompalar, ev aletlerinde yaygın olarak kullanılan popüler bir malzemedir.
Bakır –kurşun Alaşımı (Döküm)	Cu 75 Pb 25	Ana matris bakırdır. Kurşun yük taşıma kabiliyetini artırır ancak korozyon problemi oluşturur. Ağır yüklü uygulamalar.
Bakır –kurşun Alaşımı (Sinter)	Cu 75 Pb 25	Üç metalli yatak malzemelerinde WM nin alt tabakasını oluşturur. Yüksek sıcaklık ve ağır yüklü uygulamalarda kullanılır.

Polimer Esaslı Kaymalı Yataklar

- PTFE (Teflon): Cam elyaf, karbon elyaf,
- Bronz, MoS₂, çelik takviyeli
- PA (Poliamid): PA 6, PA 66, PA 4.6, PA 12 vb.
- UHMWPE
- POM: Delrin
- PI: Yüksek sıcaklıklar
- PMMA: Yüksek sıcaklıklar
- PEEK:Yüksek sıcaklıklar



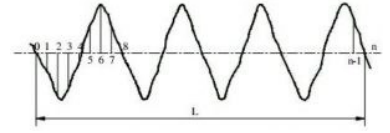
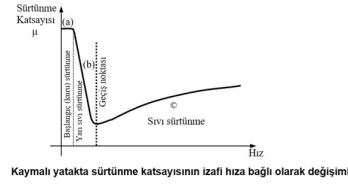
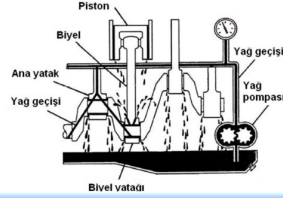
Kaymalı Yatakların Avantajları

- Titreşim, darbe ve gürültü sönümlleme özelliği
- Titreşimlere hassas değil (?)
- Gresle yağlama halinde toza karşı korumalı
- Basit tasarım, iki parçaya ayrılabilir, montajı kolay
- Radyal yönde az yer kaplar
- Büyük çaplarda rulmanlı yataklardan daha ekonomik
- İyi bir yağlama ile çok yüksek hızlara çıkmak mümkün
- Uygun yağlama ile hemen hemen sifıra yakın aşınma



Kaymalı Yatakların Dezavantajları

- Yeterli yağ olmaması durumunda çok hızlı hasar meydana gelir.
- Bazı hallerde pahalı ve kompleks bir yağlama sistemi gerekebilir.
- Yüksek miktarda yağ tüketimi
- Yağ filmi oluşumu için bir zaman gerekli
- Milin yüzey kalitesi çok önemli



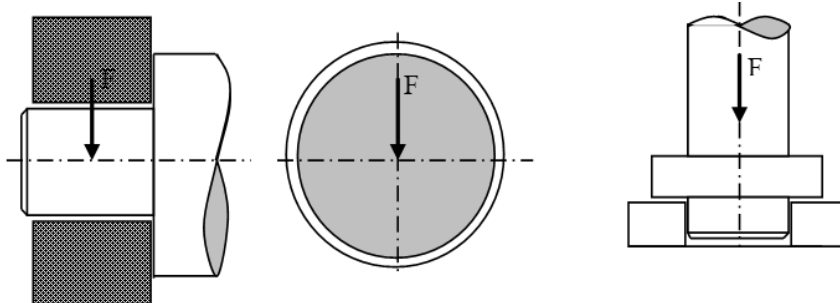
Prof. Dr. Ali ORAL

27

SINIFLANDIRMA

1-Kuvvet doğrultusu ile elemanın izafi hareketleri arasındaki bağıntıya göre;

- A- Radyal kaymalı yataklar
- B- Eksenel kaymalı yataklar

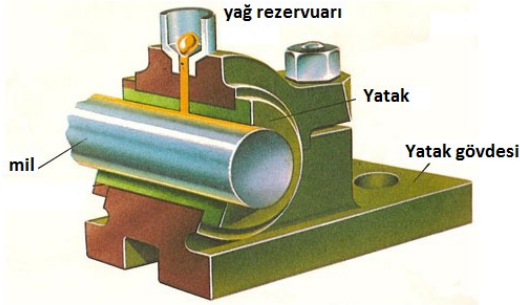


Prof. Dr. Ali ORAL

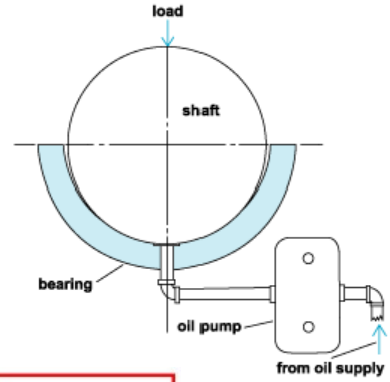
28

2-Yağlama bakımından kaymalı yataklar

- A- Sıvı sürtünmeli Hidrokinamik



Hidrostatik



- B- Sınır sürtünmeli (kuru yataklar da denir)



Prof. Dr. Ali ORAL

29

Kaymalı Yataklar Uygulama Örnekleri

KS PERMAGLIDE kaymalı yataklar için uygulama örnekleri

Malzemelere göre sıralanmış uygulama örnekleri

Sektöre göre sıralanmış uygulama örnekleri

Tarım aracı yapımı, yeraltı inşaatı, inşaat makinesi yapımı

- Beton dağıtım direği
- Direksiyon kollarındaki küresel mafsallı kafası
- Dişli çarklı pompa
- Makas mafsalları
- Patates hasat makinesi direksiyon pimi
- Radyal pistonlu makineler
- Traktörlerdeki çift kavrama
- Çakma ve delme makineleri

Otomasyon teknolojisi

Endüstriyel kamyon teknolojisi, taşıma ekipmanı konstrüksiyonu, depolama teknolojisi

- Forkliftlerdeki yataklama
- Yüksek raf forkliftlerinde kavrama zincirlerinin yataklanması

Endüstri ve proses mühendisliği

- Kısmi valfler
- İş makinesi yapımı

- Dişli çarklı pompa

Endüstriyel işleme teknolojisi



Kaymalı Yataklar için çeşitli standartlar

TS ISO 12302 Kaymalı yataklar - Kalite karakteristikleri - İstatistiksel işlem kontrol (SPC)

TS ISO 12303 Kaymalı yataklar - Kalite karakteristikleri - Makina ve işlem kabiliyetinin hesaplanması

TS ISO 6279 Kaymalı yataklar - Som yataklar için alüminyum alaşımları

TS ISO 4384-2 Kaymalı yataklar - Yatak metallerinin sertlik deneyi - Bölüm 2: Som malzemeler

TS ISO 4384-2 Kaymalı yataklar - Yatak metallerinin sertlik deneyi - Bölüm 2: Som malzemeler

TS ISO 6279 Kaymalı yataklar - Som yataklar için alüminyum alaşımları



Çok daha fazlası için lütfen QR kodunu okutunuz.

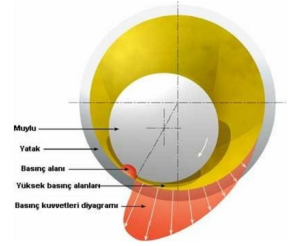
Prof. Dr. Ali ORAL

30

HİDRODİNAMİK KAYMALI YATAKLAR

Hidrodinamik yağlama, yüzeyler arasındaki boşluğun şekline ve izafi hıza bağlı olarak yüzeylerin birbirinden tamamiyla ayrılması için yeter derecede basınca sahip bir yağ tabakası oluşturan yağlama sistemidir.

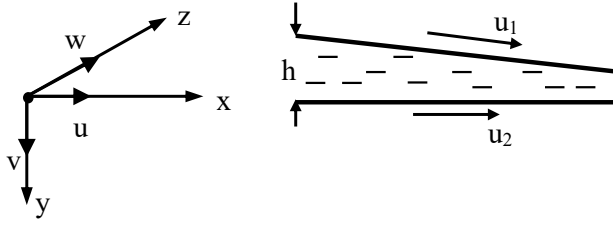
Teorik bakımdan hidrodinamik sıvı sürtünmesinin ve sıvı basıncının incelenmesi viskoz akışkanların “ Navier-Stokes” hareket denklemlerine ve “Süreklilik denklemlerine” dayanır.



Yağlama Mekanizması



Kaymalı yataklarda, izafi hareket yapan yüzeyler arasındaki bir akışkan (yağ) tabakasının çok ince olduğu (Şekil 2) göz önüne alınarak şu kabuller yapılır.



Şekil 2

1. Akışkan laminardır (Düzgündür)
2. y yönündeki basınç değişimi, x ve z yönündeki basınç değişimlerinin yanında ihmal edilir.
3. Viskoz kuvvetler yanında akışkanın eylemsizlik kuvvetleri ve ağırlığı küçük olduğundan ihmal edilir.
4. Akışkan tabakasına etkiyen dış kuvvetler yoktur.
5. Akışkan ile yatak yüzeyleri arasında kayma yoktur.
6. y, x ve z ye oranla çok küçük olduğundan; diğer bütün hız gradyanları $\frac{\partial u}{\partial y}$ ve $\frac{\partial w}{\partial y}$ ile kıyaslandığında, ihmal edilir.

Bu kabullerden sonra Navier- Stokes denklemleri aşağıda yazılı şekilde ifade edilir.

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \eta \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \quad \frac{\partial p}{\partial y} = 0 \quad \frac{\partial p}{\partial z} = \eta \frac{\partial^2 w}{\partial y^2}$$

Akışkanın durumu zamana bağlı olmadığı kabul edilirse; süreklilik denklemi

$$\frac{\partial (pv)}{\partial y} = - \frac{\partial (pu)}{\partial x} - \frac{\partial (pw)}{\partial z}$$

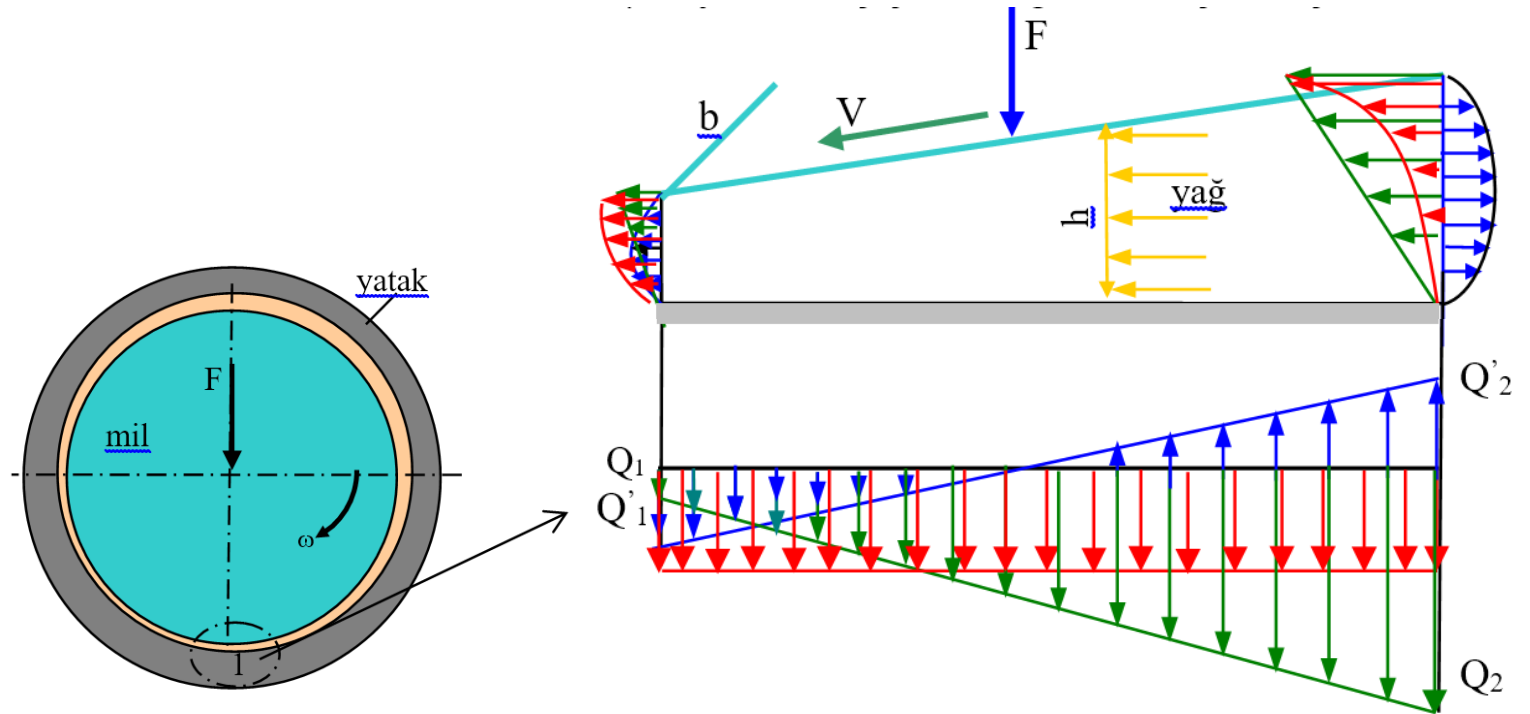
şeklinde yazılabilir.

Bu kabullerden sonra kurulan bu denklemler kaymalı yataklar için

1. Yüzeylerin z doğrultusunda hareket etmediği
 2. Viskozitenin y doğrultusunda değişmediği
 3. Yataklarda $u_2 = 0$ ve $u_1 = \omega \cdot r$ olarak alınıp yağ viskozitesinin de sabit olduğu kabul edilerek
- Hidrodinamik sıvı sürtünmenin genel denklemi

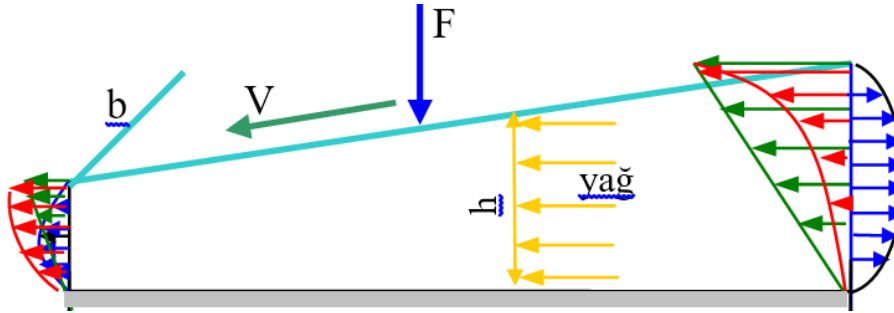
$$\frac{\partial}{\partial x} \left(h^3 \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(h^3 \frac{\partial p}{\partial z} \right) = 6u\eta \frac{\partial h}{\partial x}$$

şeklinde basitleştirilmiş olarak ifade edilir. Bu eşitlik REYNOLDS denklemi adını taşır.



a plakası v hızıyla (bu milin çevre hızıdır) hareket ederken mil yüzeyine yapışmış olan yağlar ara yüzeye pompalanır.

Mil hızına bağlı olarak ara yüzeyin herhangi bir noktasındaki debisi

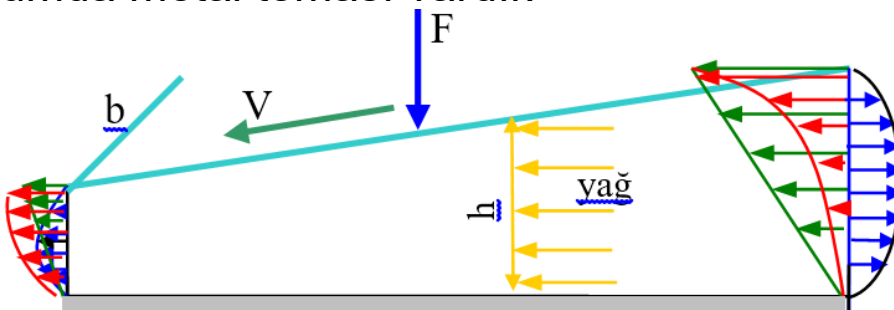


Prof. Dr. Ali ORAL

37

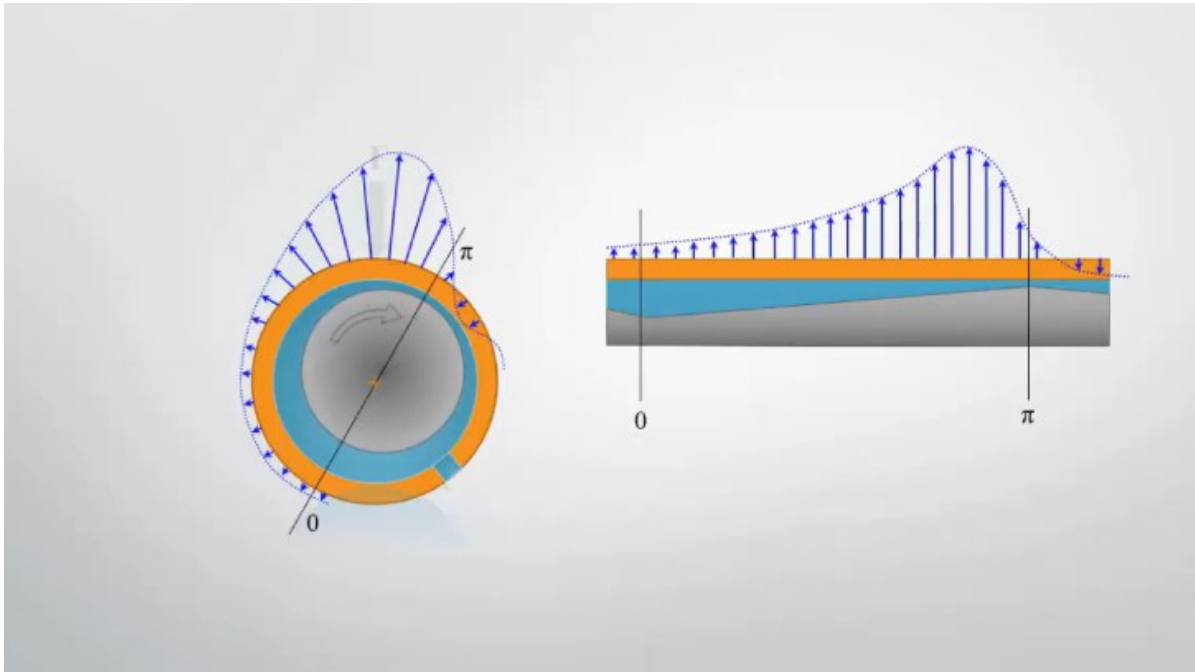
Koşullar (hız ve boşluk); $Q_1 + Q'_1 = Q_2 - Q'_2$ olacak şeklinde oluşturulabilirse, aralıkta sabit debide bir akış sağlanacak, dolayısıyla aralık değişmeyecektir.

Bu aralığın en küçük yüksekliği h , mil ve yatak yüzey pürüzlülüğü toplamından büyük olursa metal-metal teması olmayacak ve sıvı sürtünmesi meydana gelecektir. Ancak, hidrodinamik kaymalı yataklarda hareketsiz durumda metal teması vardır.

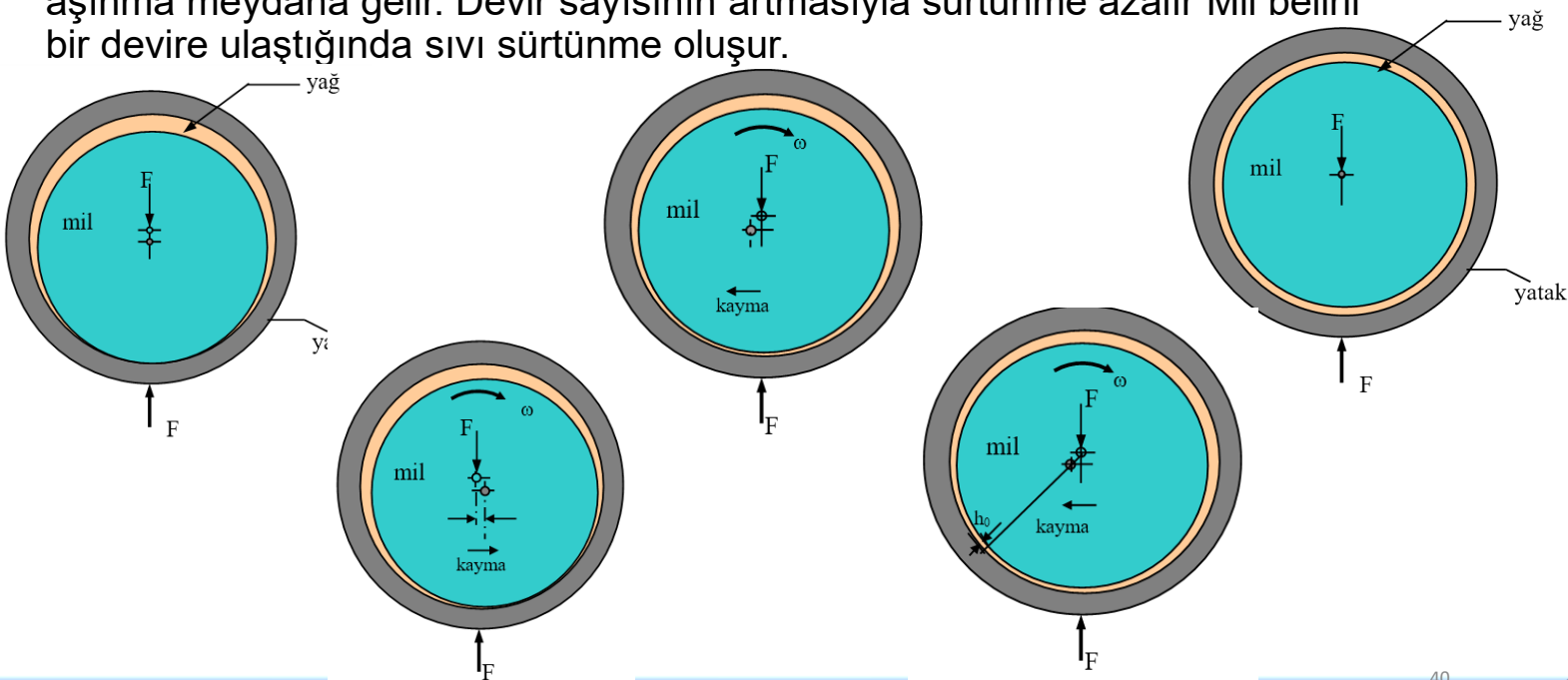


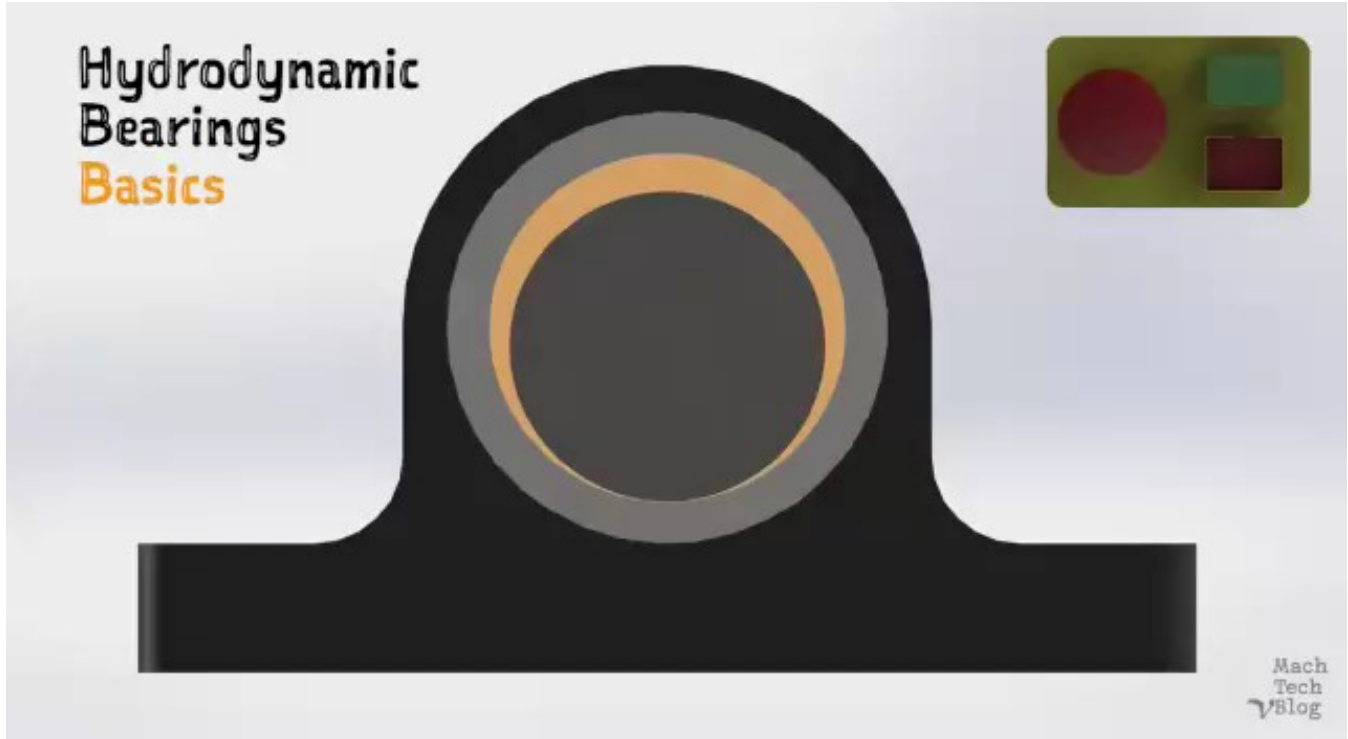
Prof. Dr. Ali ORAL

38



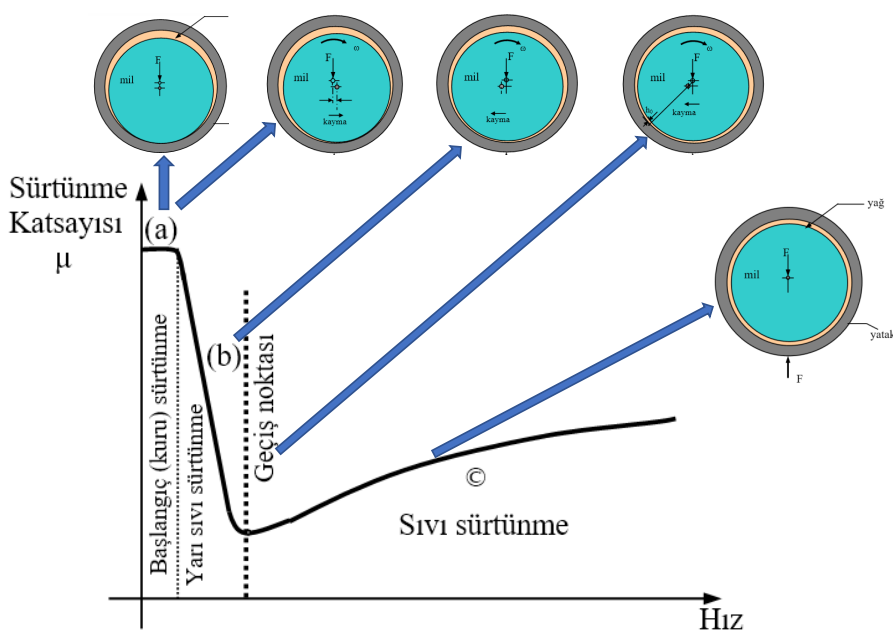
Hareket başlangıcında bu nedenden dolayı sürtünme katsayısı yüksektir ve aşınma meydana gelir. Devir sayısının artmasıyla sürtünme azalır Mil belirli bir devire ulaştığında sıvı sürtünme oluşur.





Prof. Dr. Ali ORAL

41



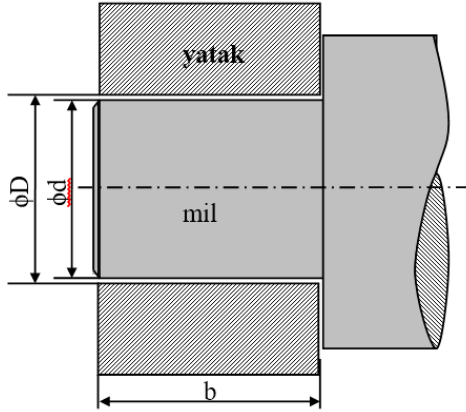
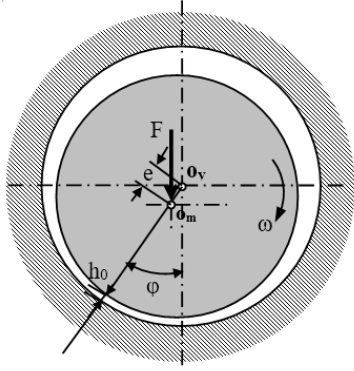
(a) noktası hareketsiz durumdaki sürtünmeyi göstermektedir (kuru sürtünme). (b) bölgesinde yarı sıvı sürtünme vardır. Bu bölgede yağ filmi kalınlığı mil ve yatak yüzey pürüzlülükleri toplamından küçüktür ($h_0 < R_{tm} + R_{ty}$). **Geçiş noktası (bölgesi)**; sıvı sürtünme bölgesine geçiş noktasıdır. Bu noktada yağ filmi kalınlığı yüzey pürüzlülükleri toplamına eşittir.

Kaymalı yatakta sürtünme katsayısının izafi hıza bağlı olarak değişimi

Prof. Dr. Ali ORAL

42

HİDRODİNAMİK RADYAL KAYMALI YATAKLARIN HESABI



Tanımlar:

D : Yatak çapı

d : Mil çapı

b : Yatak genişliği

e : eksantriklik

φ : Sapma açısı

h_0 : Yağ filmi kalınlığı (en küçük)

F : Yatak kuvveti

ω : Mil hızı

$$S = D - d \quad (\text{yatak boşluğu})$$

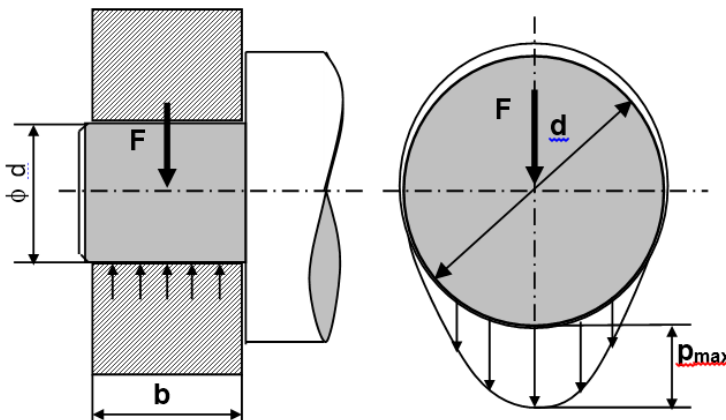
$$\psi = \frac{D - d}{d} = \frac{S}{d} \quad (\text{izafi yatak boşluğu})$$

$$\varepsilon = \frac{e}{S/2} \quad (\text{izafi eksantriklik})$$

Yatak Hesabında Adımlar

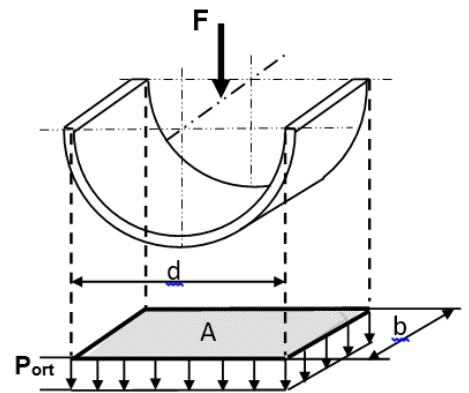
1-Mukavemet Hesabı

Yatak kuvvetinin mil- yatak temas yüzeyinde meydana getirdiği ortalama basınç:



$$p = \frac{F}{b \cdot d} \leq p_{em}$$

b.d : Temas yüzeyinin izdüşümü (|projeksiyon) alanı



- p_{em} : Yatak malzemesi yüzey basıncı emniyet değeri.
- Malzeme çeşidi ve hıza bağlı olarak
- $p_{em} = 5 \dots 20 \text{ N/mm}^2$ arasında olabilir.
- Yatak hesabına başlanırken mil çapı çoğunlukla bilinir.
- Yatak genişliği b çapa bağlı olarak belirlenir.
- $b/d = 0.5 \dots 1.5$ arasında alınması önerilmektedir.
- (En iyi sonucun $b/d = 0.3 \dots 0.7$ arasında alındığı görülmüştür

2-Hidrodinamik Hesaplar

Basınç (Sommerfeld) sayısı adı verilen bir büyüklüğün hesabı yapılır.

Bu sayı: $S_0 = \frac{p \cdot \psi^2}{\eta \cdot \omega}$ eşitliği ile hesaplanır.

Burada:

S_0 : Sommerfeld sayısı

P : Ortalama basınç (N/m^2)

ψ : İzafi yatak boşluğu ($\psi = 0,0005 \dots 0,003$ önerilir)

η : Yağın dinamik viskozitesi ($\eta = 10 \cdot 10^{-3} \dots 50 \cdot 10^{-3} \text{ Pa.s}$)

ω : Milin açısal hızı (1/s)

Seçilen değerlerle yapılan hesapların sonunda $S_0 = 0,5-10$ sağlanırsa; devam edecek hesapların uygun çıkması olasılığını artırır.

Tablo 17.8 Çeşitli İzafi Yatak Boşluğu Değerleri için Mil ve Yatak Toleransları
(DIN 31698)

Arma Çapı	Mil Toleransı [µm] (%o Yatak Boşluğu için)										Mil ve Yatak Arasındaki En Büyük ve En Küçük Boşluk [µm] (%o Yatak Boşluğu için)									
	<	>	0,56	0,8	1,12	1,32	1,6	1,9	2,4	3,15	0,56	0,8	1,12	1,32	1,6	1,9	2,4	3,15	4	5
25	30	-	-	15	23	28	37	45	51	60	-	30	35	44	52	60	73	86	98	110
30	35	-	-	17	27	34	43	48	59	69	-	35	45	52	61	75	86	110	125	140
35	40	-	12	21	33	36	47	58	71	105	30	39	51	63	74	85	98	110	125	140
40	45	-	14	25	34	43	55	67	82	120	31	43	61	70	82	94	109	125	140	155
45	50	-	18	25	40	50	63	77	93	136	35	52	67	76	90	104	120	136	155	170
50	55	-	19	26	43	53	68	84	102	149	40	58	73	83	100	116	134	151	168	185
55	60	-	22	30	48	60	76	93	113	165	43	62	80	92	108	125	143	161	179	197
60	70	-	20	36	57	70	88	109	131	180	53	68	90	102	120	140	160	180	200	220
70	80	-	26	44	60	75	96	118	144	212	58	76	102	124	145	167	193	219	245	271
80	90	-	29	50	67	84	108	133	162	239	66	87	124	141	165	190	219	245	271	297
90	100	-	32	55	78	97	124	152	184	271	72	95	135	154	181	209	241	271	297	323
100	110	-	40	55	89	110	140	171	207	302	77	113	146	167	197	228	264	299	323	347
110	120	-	36	64	100	122	156	190	229	334	93	121	157	180	213	247	286	321	347	373
120	140	-	40	72	113	138	176	215	259	377	105	137	178	204	241	280	324	362	397	431
140	160	-	52	88	136	166	208	253	304	440	117	153	201	231	272	318	360	405	440	475
160	180	-	63	104	158	192	240	291	348	503	128	179	223	257	305	356	413	468	513	558
180	200	-	69	115	175	213	267	324	385	561	144	199	250	288	342	399	463	528	583	638
200	225	-	82	133	207	243	303	366	439	632	157	208	276	318	378	441	514	579	644	709
225	250	-	96	153	229	276	343	414	495	711	171	228	304	351	418	489	570	644	709	774
250	280	-	106	170	255	308	382	462	552	793	190	254	339	392	466	545	636	709	774	849
280	315	-	125	196	291	351	434	523	624	895	209	280	375	435	518	607	709	774	849	924
315	355	-	141	222	329	396	490	590	704	1009	234	315	422	483	583	683	799	909	1009	1109
355	400	-	165	256	376	452	558	671	799	1143	258	349	469	545	651	764	892	1009	1143	1276

Prof. Dr. Ali ORAL

47

a-Yağ filmi kalınlığı

- Çalışma sırasında yatak boşluğuna ve izafi eksantrikliğe bağlı olarak oluşacak h_0 yağ filmi kalınlığı:

$$h_0 = \frac{1}{2} S (1 - \varepsilon)$$

sıvı sürtünmenin olabilmesi için $h_{0min} \geq R_{tM} + R_{tY}$

Mümkünse $h_0 > 1,2 h_{0min}$ olmalıdır.

İzafi eksantriklik ε , yukarıda hesaplanan S_0 ve kabul edilen b/d oranına bağlı olarak düzenlenmiş tablo veya diyagramlardan alınır.

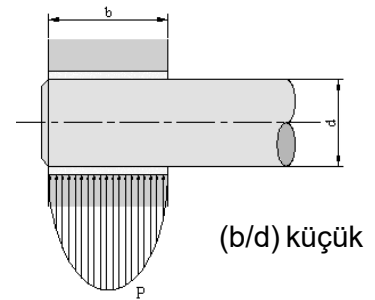
Prof. Dr. Ali ORAL

48

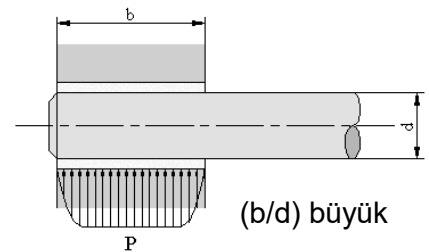
Tablo 17.9 Mil Çapı ve Açısal Hıza Bağlı Olarak Alınması Gereken Minimum Yağ Filmi Kalınlığı h_0 Değerleri [μm] (DIN 31652)

Mil Çapı d [mm]		Milin Dönme Hızı u [m/s]				
		-	1	3	10	30
>	<	1	3	10	30	-
24	63	3	4	5	7	10
63	100	4	5	7	9	12
160	400	6	7	9	11	14
400	1000	8	9	11	13	16
1000	2500	10	12	14	16	18

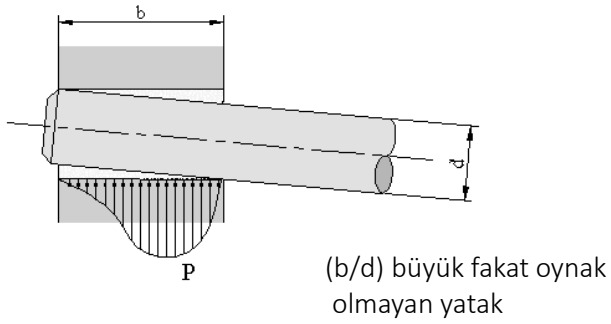
Kaymalı yataklarda (b/d) oranı ne kadar küçükse; yatak kenarlarında taşıyıcı yağ filminin basınç düşmesi o derece hızlı olur. Buna karşılık yağın devri (sirkülasyonu) çok daha hızlı olacağından yatağın soğutulması daha iyi olur. Bu nedenle büyük çevre hızı ile çalışan yataklarda (b/d) oranı küçük olmalıdır.



Bunun tersi olarak düşük çevre hızlarında ve büyük yatak yüklerinde daha geniş alanda taşıyıcı yağ filminin oluşması bakımından (b/d) oranı büyük tutulur. (b/d) oranının büyüklüğü oranında ise yatakta köşe basması meydana gelir.



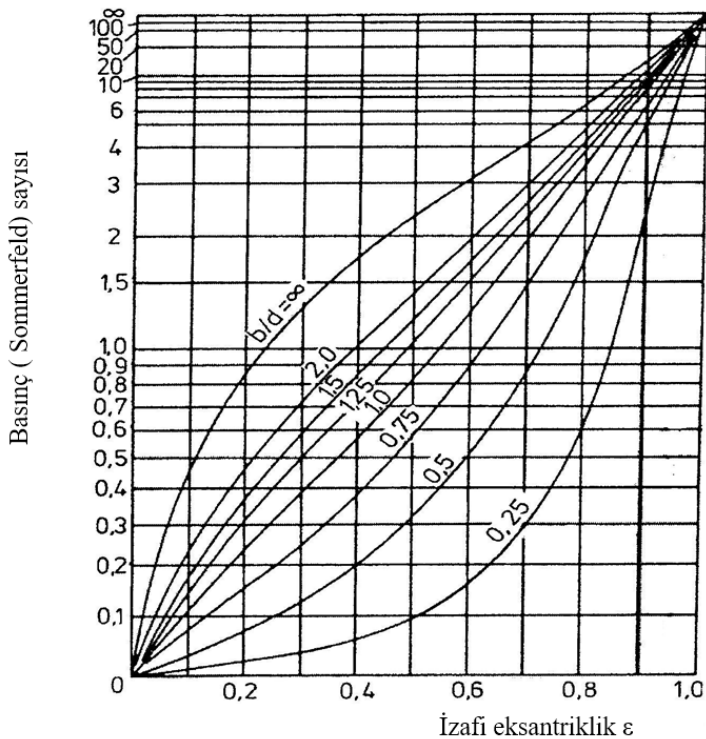
Köşe basmasının meydana geldiği durumlarda muylunun sehim hareketlerine göre ayarlanabilecek yatak şekilleri düşünülmelidir. Kaymalı yataklarda köşe basması meydana geldiği takdirde yatak basıncı şekildeki gibi olur. Bu nedenle basıncın büyük olduğu bölgelerde yağ filmi yırtılabilir ve yatak kenarlarında büyük aşınma meydana gelir. Bu ise yatağın yük taşıyan alanının küçülmesi demektir. Kaymalı yataklarda kullanım yerin göre, önerilen (b/d) değerleri tabloda verilmiştir.



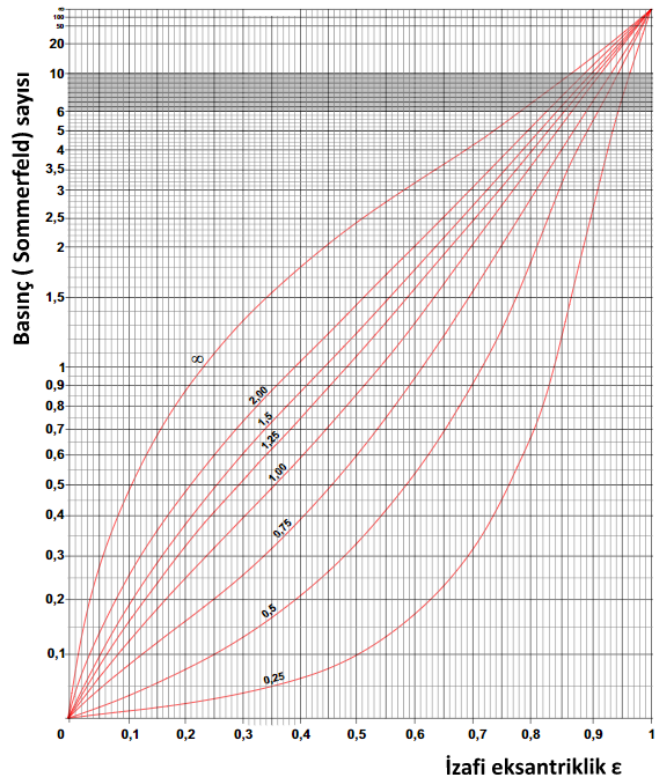
(b/d)	Kullanma yeri	Açıklama
0,5....0,8	Taşıt ve uçak motorları, krank milleri	Mutlak sıvı yağlama, yağlama yağı soğutulur, kısa miller için
0,8....1,2	Genel olarak pompalar, pistonlu buhar makineleri, takım tezgahları, transmisyon milleri	Mutlak sıvı yağlama, küçük ayarlanabildiği durumlar
1,2....1,5	Transmisyon milleri, krenler, vinçler, presler, ziraat makineleri	Küçük çevre hızları, yüksek yatak yükleri, kenar basmaları mutlaka önlenmelidir.

Prof. Dr. Ali ORAL

51



Sommerfeld sayısı ve izafi eksantrikliğin b/d oranına göre değişimleri



Prof. Dr. Ali ORAL

52

b-Geçiş Devir Sayısı

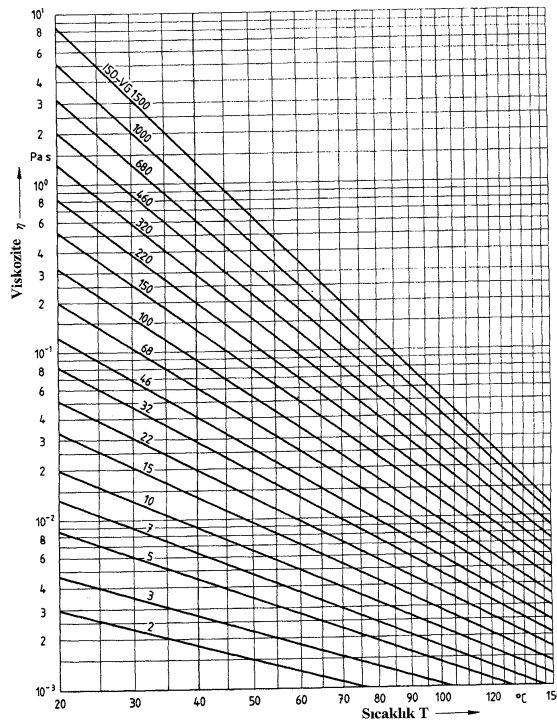
- Bu, milin dönmesiyle oluşmaya başlayan yağ filmi kalınlığının yüzey pürüzlülükleri toplamına eşit olduğu andaki devir sayısıdır.

$$h_0 = h_{0_{\min}} = Rt_M + Rt_Y \quad \text{olduğunda} \quad n = n_g \text{ olur}$$

$$S_0 = \frac{p \psi^2}{\eta \omega} \quad \text{eşitliğinde} \quad \omega = \omega_g \text{ olduğunda} \quad S_0 = S_{0g} \text{ olur}$$

$$\omega_g = \frac{\pi n_g}{30} \quad \text{bağıntısından} \quad n_g = \frac{30}{\pi} \cdot \frac{p \psi^2}{\eta S_{0g}} \quad \text{eşitliği yazılabilir.}$$

$$h_0 = h_{0_{\min}} \text{ iken, izafi eksantriklik } \varepsilon = \varepsilon_g \text{ olur.}$$



Şekil 16.5 (ISO-VG) Endüstriyel Yağların Viskozitelerinin Sıcaklıkla Değişimi
(DIN 51519 , $\rho=900 \text{ kg/m}^3$)

$$h_0 = h_{0\min} = \frac{1}{2} S (1 - \varepsilon_g) \text{ eşitliğinden } \varepsilon_g = 1 - \frac{2h_{0\min}}{S} \text{ değeri bulunur.}$$

Bu ε_g değeri ve kabul edilen b/d oranına göre diyagramdan S_{0g} değeri okunur ve geçiş devir sayısı için yukarıda verilen eşitlikten n_g değeri hesaplanır.

Bu değer, işletme devir sayısı ($n_{i\dot{s}}$) den küçük olmalıdır. Hatta

$$\frac{n_{i\dot{s}}}{n_g} \geq 2,5 \text{ olmalıdır.}$$

Bu koşul sağlanıncaya kadar; gerektiğinde her seferinde başa dönülerek seçilen veya kabul edilen değerler değiştirilmelidir.

c- Yağlama İçin Gerekli Yağ Miktarı

- Yağlama için gerekli yağ miktarı :

hacimsel debi olarak: $\theta_{\text{yağ}} = \frac{1}{4} b u S \text{ mm}^3/\text{s}$

kütlesel debi olarak $m_{\text{yağ}} = \frac{1}{4} b u S \rho \text{ gr/s}$ eşitlikleri ile hesaplanabilir.

Burada:

b : Yatak genişliği [mm], u : Milin çevre hızı [mm/s], S : Yatak boşluğu [mm]

ρ : Yağın öz kütlesi [gr/mm³]

yağlar için bu değer $\rho \approx 0,90 \cdot 10^{-3} \text{ gr/mm}^3$ alınabilir.

3. Yatağın Soğutulması

- Çalışma sırasında sıvı katmanları arasındaki sürtünme ile oluşan ısı yatak sıcaklığının artmasına sebep olur. Yağlayıcı maddenin viskozitesinin artan sıcaklıkla çok fazla değişmemesi gerekir. Bu yüzden yatak sıcaklığını 60 C den daha fazla olması istenmez. Çalışma sırasında açığa çıkan ısı gücü

- $P_s = F \mu u$ [watt] bağıntısı ile hesaplanır. Burada:

- F : Yatak yükü [N], u : Milin çevre hızı [m/s], μ : Sürtünme katsayısı

- Sürtünme katsayısı önceki bölümlerde hesaplanan basınç sayısı S_0 değerine bağlı olarak aşağıda verilen bağıntılarla hesaplanır.

$$S_0 < 1 \text{ ise } \mu = \frac{3 \psi}{S_0}$$

$$S_0 > 1 \text{ ise } \mu = \frac{3 \psi}{\sqrt{S_0}}$$

Yatakta oluşan ısı iki şekilde uzaklaştırılır.

- Konveksiyonla olan soğutma (tabii soğutma)
- Yağ ile oluşan soğutma (cebri soğutma)

Konveksiyonla soğutmada

Yatağın hava ile temas eden dış yüzeyinde ısı iletimiyle çevreye verilen ısı enerjisi:

$$P_K = \alpha (T_y - T_0) A$$

P_K : Konveksiyonla çevreye verilen ısı gücü [W]

α : Isı geçiş katsayısı [W/m².°K]

T_y : Yatak sıcaklığı [°C]

T_0 : Ortam sıcaklığı [°C]

A : Yatak gövdesinin hava ile temas eden dış yüzeyi [m²]

Isı iletim katsayısı

$$\alpha = 7 + 12 \sqrt{w_H}$$

w_H , m/s olarak yatak çevresindeki rüzgar hızı.

$$A \approx (15..20) b \cdot d$$

$\alpha \approx 20 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{K}$ yaklaşık değeri ve ortam sıcaklığı $T_y = 20 ^\circ\text{C}$ alınarak yapılan hesaplama sonunda

$P_K \geq P_S$ ise konveksiyonla soğutmanın mümkün olacağını gösterir.

$$P_K = \alpha (T_y - T_0) A \geq P_S = F \mu u$$

Cebri (Yağla yapılan) Soğutma

- Doğal soğutmanın yeterli olmadığı durumlarda (yağlama için gönderilen yağ yetmiyorsa), yatağa fazladan gönderilen yağın yardımıyla gerekli soğutma yapılır. Bu soğutma:
- $P_Q = m_y \cdot c \cdot (T_T - T_G)$ eşitliği ile hesaplanabilir.
- P_Q : Yağ ile dışarıya verilen ısı gücü [W]
- m_y : Yağ miktarı [gr/s]
- c : Yağın özgül ısısı [J/kg. $^\circ\text{K}$]
- T_G : Yağın yatağa giriş sıcaklığı
- T_T : Yağın yataktan çıkış(terk) sıcaklığı

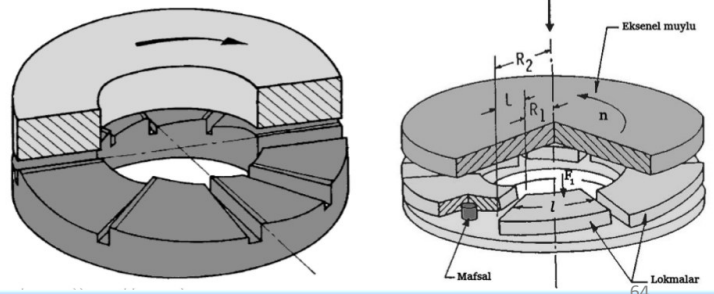
Yağ, yataktan çıkışı ve tekrar yatağa girişi süresince yaklaşık 20...25 °C soğuduğu

(yani, $T_T - T_G = 20..25 \text{ } ^\circ\text{C}$) kabul edilerek ve $c \approx 2000 \text{ J/kg. } ^\circ\text{K}$ alınarak;

$$P_Q \geq P_S \text{ koşulundan gerekli yağ miktarı; } m_y \geq \frac{P_S}{2000.20}$$

Hidrodinamik Eksenel Kaymalı Yataklar

- Uygulama alanları: Su ve buhar türbinleri, türbo kompresör ve gemi şaftları gibi yerlerde eksenel kuvveti almak üzere inşa edilir.
- Hidrodinamik film oluşturulması için gerekli geometrik şartın sağlanması için yüzeylerden biri çok parçadan (yağ kaması) oluşur.
- Burada kullanılan geometriler çok farklı olabilir. Bazı hallerde ise lokma adı verilen ayrı ayrı sabit mafsallı elemanlar da kullanılır (Mitchell yatakları)





Prof. Dr. Ali ORAL

65



Bir hidro-elektrik santralindeki su türbininin eksenel yatağının montajı

Prof. Dr. Ali ORAL

66

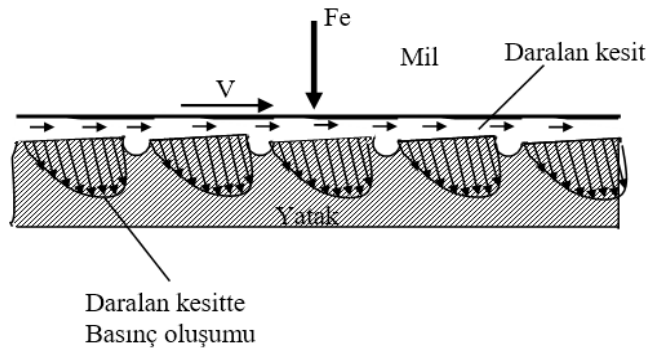
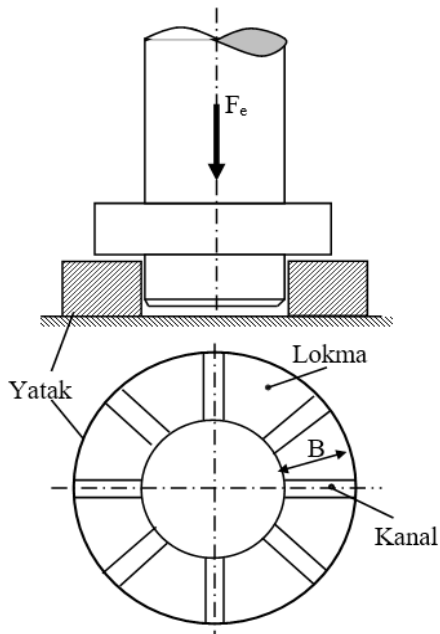


Montaj durumundaki eksenel kaymalı yatak

Prof. Dr. Ali ORAL

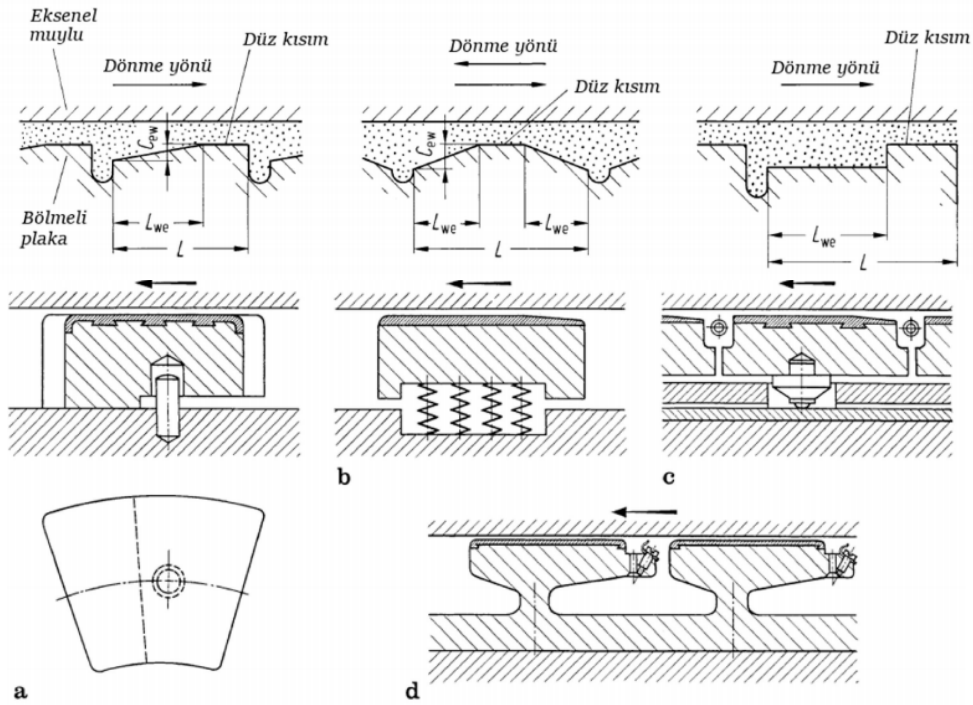
67

Yatak üzerine açılan kanallar vasıtasıyla oluşturulan dar kesitte yağın sıkıştırılması ile oluşan basınç, yağ filmi meydana getirmekte ve eksenel yükleri karşılayabilmektedir.



Prof. Dr. Ali ORAL

68

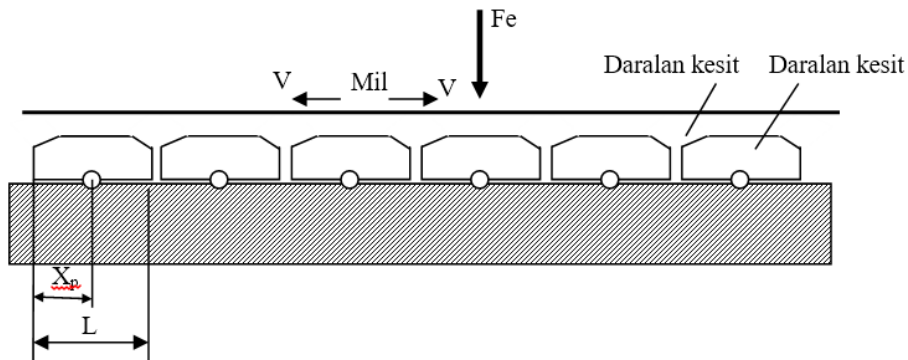


Farklı Eksenel Yatak Konstrüksiyonları

Prof. Dr. Ali ORAL

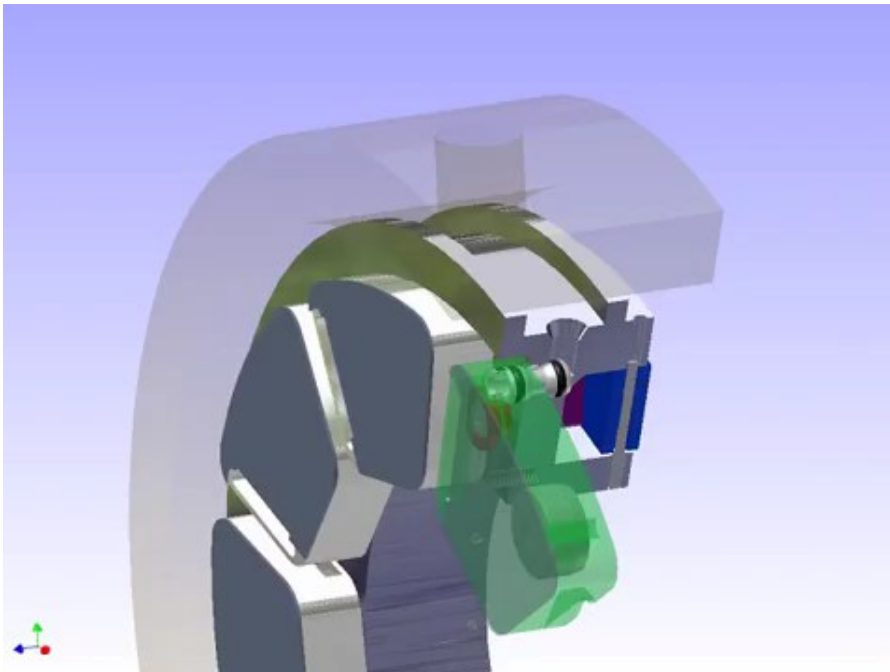
69

Sabit lokmalı yataklar tek yönlü dönüşlerde kullanılmaktadır. Milin iki yönde dönmesi hallerinde ise hareketli lokmalar kullanılarak aynı yöntemle basınç oluşumu sağlanır.



Prof. Dr. Ali ORAL

70



Hidrodinamik Eksenel Yatak konstrüksiyonlarının Hesabı

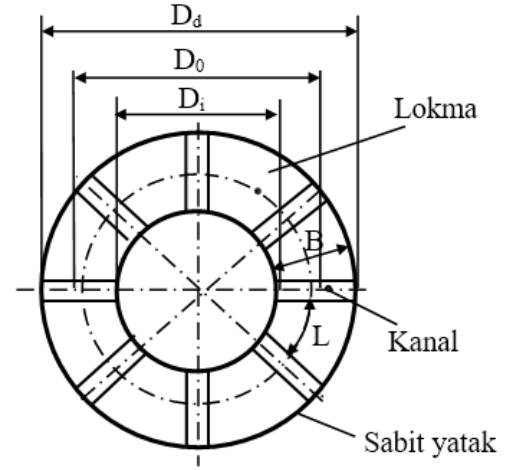
a- Mukavemet Hesabı

Lokmalara gelen ortalama basınç:

$$p = \frac{F}{z \cdot L \cdot B} \leq p_{em}$$

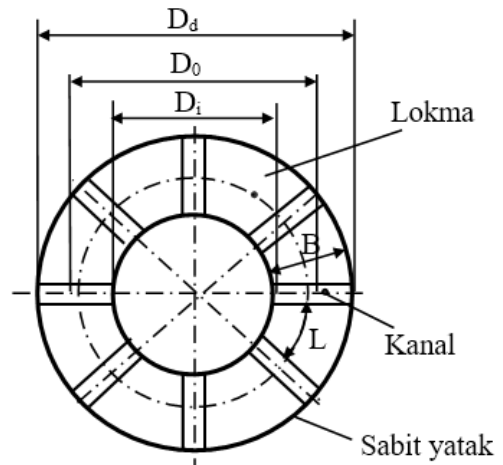
(L.B) bir lokmanın alanı, (z.B.L) ise tüm lokmaların alanıdır.

B/L oranı 0.8 ...1,4 arası tavsiye edilir.



Lokmalar arasındaki kanallardan dolayı oturma yüzeyi ile yatak yüzeyine temas eden mil faturası alını ($\pi \cdot D_0 \cdot B$) arasında farklılık vardır. Bu farklılık doluluk oranı ϕ ile gösterilir.

$$\phi = \frac{z \cdot L \cdot B}{\pi \cdot D_0 \cdot B} = \frac{2 \cdot z \cdot L}{\pi \cdot (D_i + D_d)}$$



- Lokma sayısı (z) genellikle 4...12 arasında bir çift sayı seçilir. Kabul edilen bir doluluk oranı ϕ doluluk oranına bağlı olarak

$$Z = \frac{\pi \cdot D_0 \cdot \phi}{L}$$

bağıntısı ile de hesaplanabilir ve bulunan sayı tam sayıya dönüştürülür.

b- Hidrodinamik Hesap

- Radyal yataklar için karakteristik bir değer olan Sommerfeld sayısına benzer şekilde hidrodinamik eksenel yataklar için de boyutsuz karakteristik bir basınç sayısı k_3 hesaplanır.

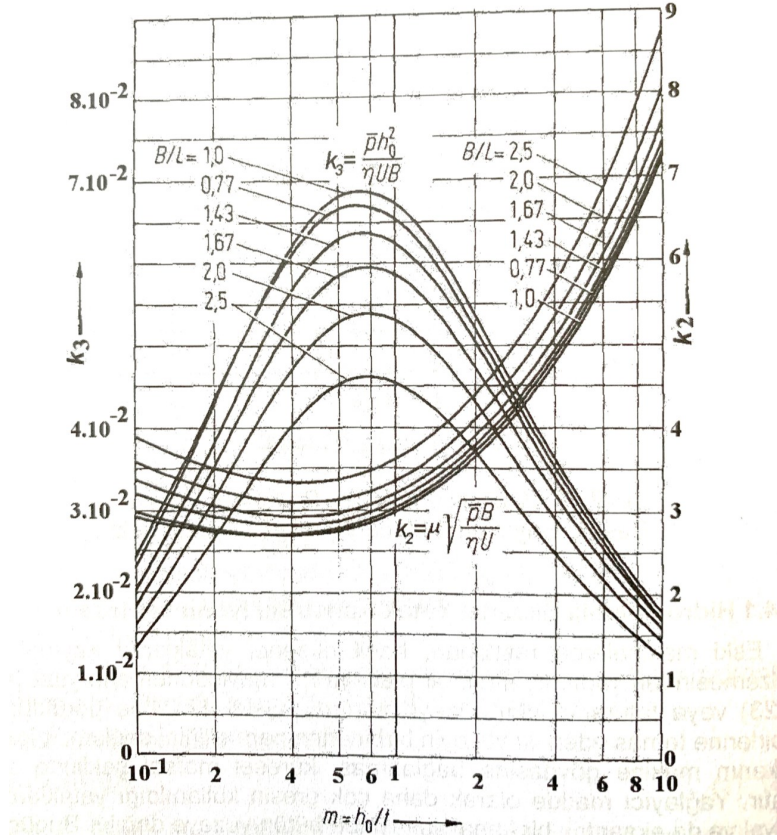
$$k_3 = \frac{p_0 \cdot h_0^2}{\eta \cdot u \cdot B}$$

k_3 : B/L ve lokma eğimine bağlı boyutsuz bu basınç sayısının değeri $1 \cdot 10^{-2} \dots 8 \cdot 10^{-2}$ arasında değişir.

Lokma eğimi $m = h_0/t$,

$t = h_1 - h_0$ h_1 : eğimin en geniş ağzı, –

h_0 : minimum yağ filmi kalınlığı



Prof. Dr. Ali ORAL

77



KAYMALI YATAKLAR



Yağ filmi kalınlığı:

Yük ile minimum yağ film kalınlığı arasındaki ilişki

$$h_0 = \sqrt{\frac{k_3 \cdot z \cdot L \cdot B^2 \cdot u \cdot \eta}{F}}$$

Oluşan yağ filmi kalınlığı $h_0 > h_{0min}$ olmalıdır.

Prof. Dr. Ali ORAL

78

Oluşan yağ filmi kalınlığı $h_0 > h_{0min}$ olmalıdır.

Sürtünme Kayıpları ve Yatağın Soğutulması:

Sürtünme katsayısı:

$$\mu = \sqrt{\frac{k_2^2 \cdot \eta \cdot u}{p \cdot B}} = \sqrt{\frac{k_2^2 \cdot \eta \cdot u \cdot z \cdot L}{F}}$$

k_2 karakteristik sayısı,

$$k_2 = \mu \sqrt{\frac{p \cdot B}{\eta \cdot u}}$$

$k_2 = 1,5 \dots 9$ (Lokma eğimine ve B/L oranına bağlı olarak değişir.)

Sürtünme nedeniyle kaybolan güç:

$$P_s = F_s \cdot u = \mu \cdot F \cdot u$$

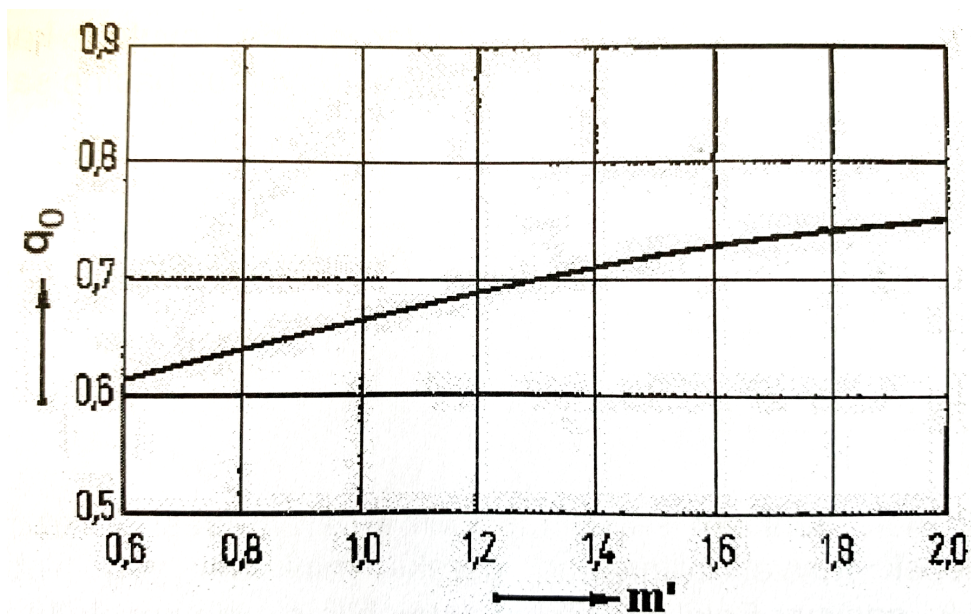
$$P_s = k_2 \sqrt{\eta \cdot u^3 \cdot z \cdot L \cdot F} = k_2 \sqrt{\eta \cdot u^3 \cdot \pi \cdot D_0 \cdot \varphi \cdot F}$$

Bir lokma (lokmalar dikdörtgen kabul edilerek) için debi:

$$\dot{Q} = q_0 \cdot B \cdot u \cdot h_0$$

q_0 : (0,5.....0,9) yardımcı büyüklük, lokma eğimine bağlı.
z adet lokmalı yatak için toplam debi:

$$\dot{Q}_{\text{top}} = q_0 \cdot z \cdot B \cdot u \cdot h_0$$



Şekil 17.29 q_0 Yardımcı Büyüklüğü

Çalışma sırasında tüm ısının yağa geçtiği kabul edilerek, yağda meydana gelen sıcaklık artışı:

$$\Delta T = \frac{P_s}{c \cdot \rho \cdot \dot{Q}_{top}}$$

$$\Delta T = \frac{k_2}{q_0} \sqrt{\frac{\eta \cdot u \cdot L \cdot F}{z \cdot h_0^2 \cdot c^2 \cdot \rho^2 \cdot B^2}}$$

$$\Delta T = \frac{k_2}{q_0 \cdot \sqrt{k_3}} \frac{F}{z \cdot c \cdot \rho \cdot B^2}$$

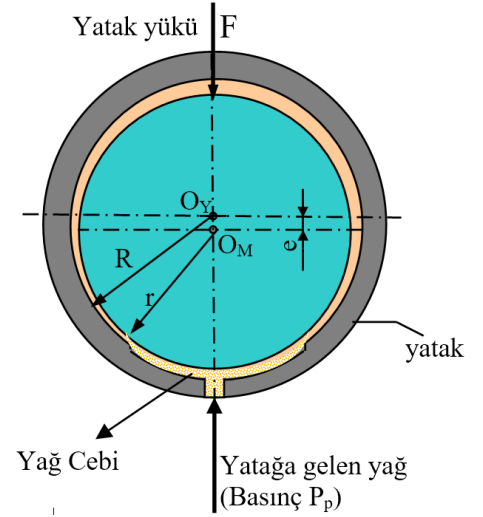
ΔT sıcaklık artışının 20°C 'yi geçmemesi istenir. Sıcaklık fazla çıkarsa yağ debisini artırmak gerekir.

Hidrostatik Kaymalı Yataklar

Milin dönme hızının yeterli yağ filmi oluşturmadığı hallerde, mil ve yatak arasındaki boşluğa dışarıdan yüksek basınçlı yağ göndererek yataklanmanın yapıldığı yataklara hidrostatik yatak denir.

Hidrostatik Radyal Kaymalı Yataklar

Hidrostatik radyal kaymalı yataklarda yatağa gelen yükün yönü biliniyorsa, milin yatağa temas edeceği bölgeye cep açılır ve yatak basınçlı yağla bu cepten beslenir (şekil..) Kuvvetin yönü bilinmiyorsa veya değişken ise çevreye birden fazla cep açılır.



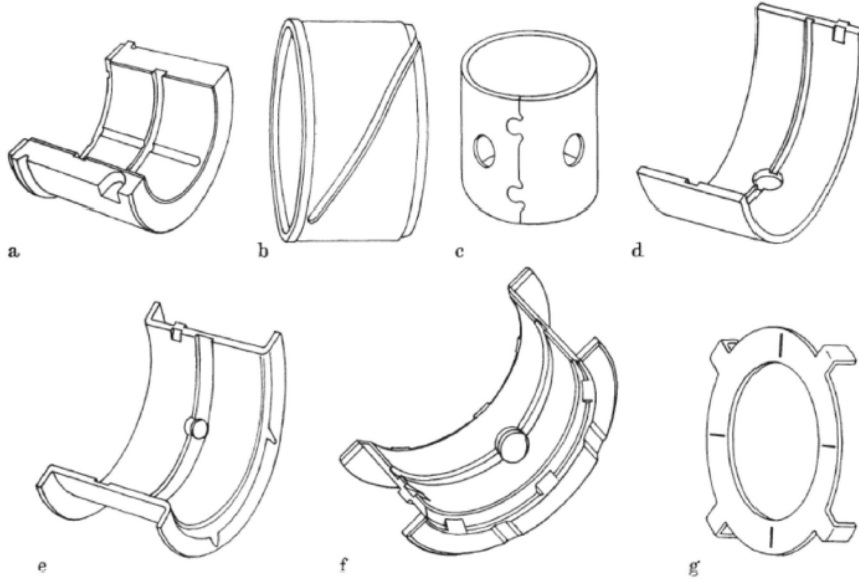
Hidrostatik yataklar-Avantajlar

- 1) Sıfır hızlarda dahi yüzeyler arasında yük taşıyan bir yağ filmi mevcuttur.
- 2) Hidrodinamik yataklara göre çok daha rijittirler. Hassasiyetin önemli olduğu sistemlerde bu durum büyük avantaj sağlar.
- 3) Yağ filmi kalınlığı genellikle büyüktür. Böylece yüzeylerin çok hassas işlenmesi gerekmez.
- 4) Sürekli yağ sirkülasyonu ısınmayı önler.
- 5) Sistem içindeki yağ sürekli olarak filtre edildiği için sisteme toz veya diğer abrazyonların girmesi söz konusu değildir.

Dezavantajları;

- Sistemin boyutları büyük ve karmaşık (pompa, filtre vb. gibi)
- Yağ pompalarının montaj ve bakım maliyetleri yüksek
- Yüksek hızlarda pompanın bozulması halinde yağ filminin tamamen kaybolma riski

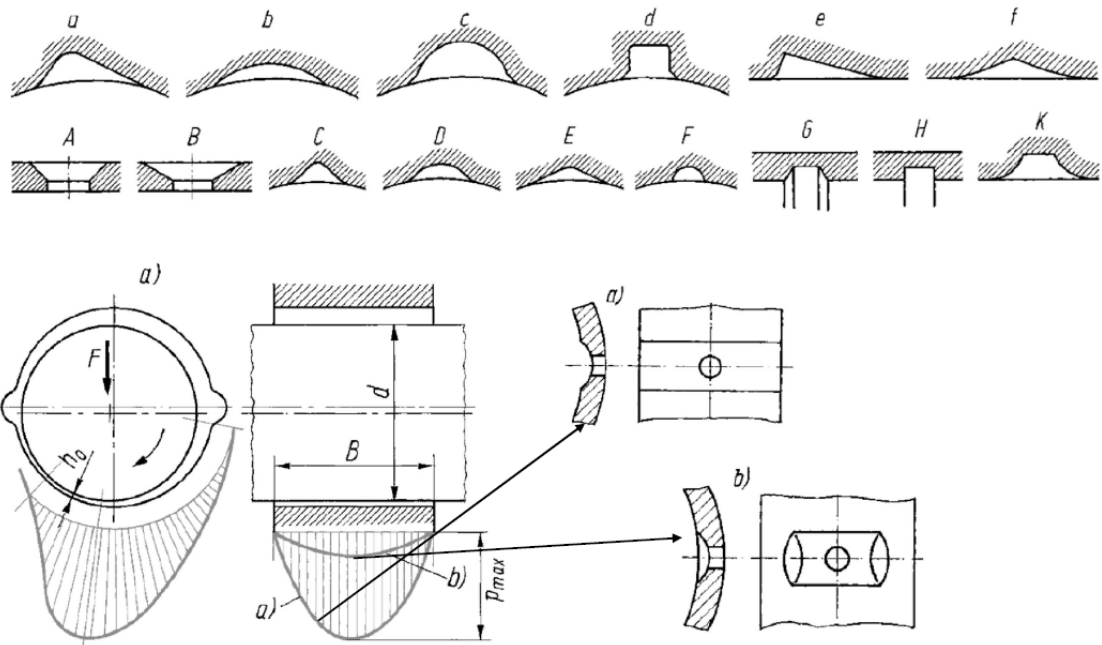
Değişik yatak burcu tasarımları



Prof. Dr. Ali ORAL

87

Yağ cebi ve yağ deliği tasarımları



Prof. Dr. Ali ORAL

88

Radyal yatak için yatak benzerlik sayısı:

$$K_3^* = \frac{F \cdot h^2}{\eta \cdot b \cdot \omega \cdot r^3}$$

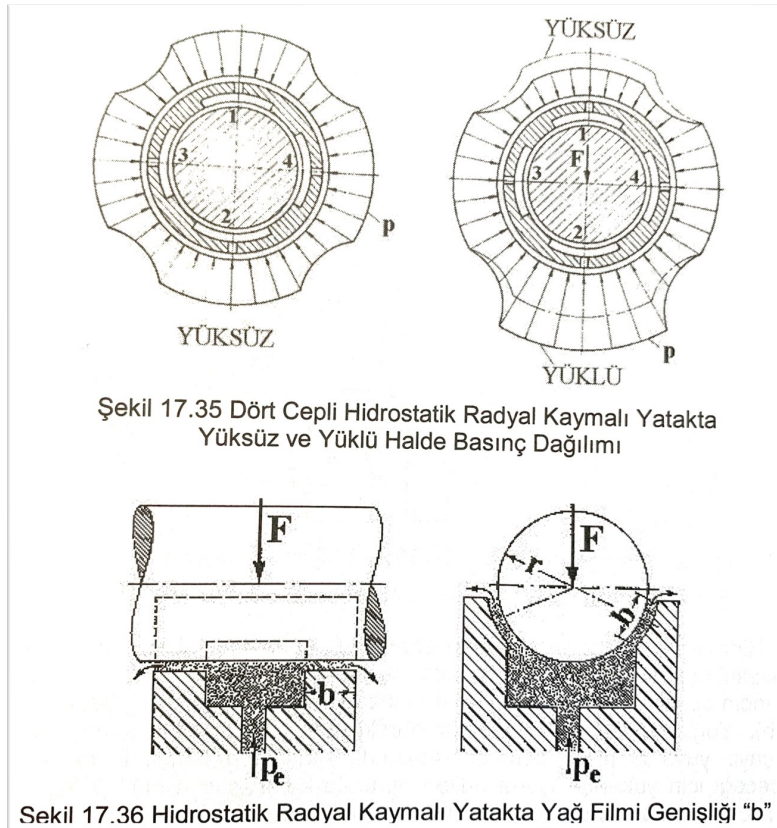
şeklinde tanımlanan bu sayı optimum yatak için değer

$K_3^* = 8$ olarak sağlanmalıdır. b yağ filmi genişliğidir.

Bu durumda sürtünme katsayısı

$$\mu = 0,85 \frac{h_0}{r}$$

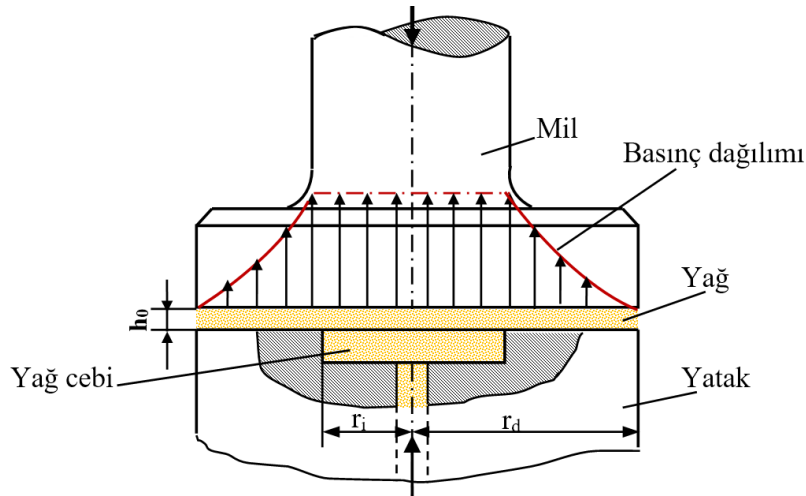
Bu tür uygulamalarda cepli kaymalı yatakların kullanılması uygundur.



Hidrostatik Eksenel Yatak

Hidrostatik eksenel yataklar alçak devirli yüksek yük taşıyan haddehane ruloları, su türbini ve jeneratör yataklarında ve sürtünmenin çok küçük olması istenen yerlerde kullanılır. (441 ton kütleli, 5 m çaplı Hale teleskopu hidrostatik yatakla yataklanarak, yıldızların hareketine göre döndürülürken, sadece 68,6 Nm sürtünme momenti oluşmuştur. Bu momente karşılık gelen sürtünme katsayısı $\mu = 4 \cdot 10^{-4}$ gibi çok küçük bir değerdir. Buna karşılık çok hassas rulmanlarda $\mu = 10^{-3}$ değerindedir)

Hidrostatik eksenel yatakta dikey çalışan millerin ucuna fatura ile çap genişletilmiştir. Aynı çaptaki yatağın ortasında ise basınçlı yağın yatağa gönderildiği kanal ve yağın dağılımını kolaylaştıran bir cep vardır. Cepte pompa tarafından sağlanan basınç cebin dış yarıçapından yatak dış yarıçapına doğru azalır.



Yatak yükü ve basınç arasındaki bağıntı:

$$F = \frac{\pi}{2} \frac{(r_d^2 - r_i^2)}{\ln \frac{r_d}{r_i}} p_e$$

Yatağın işlevini yapabilmesi için gerekli yağ debisi:

$$Q = \frac{F \cdot h_0^3}{3 \cdot \eta \cdot (r_d^2 - r_i^2)}$$

Bu debiyi sağlayacak pompa gücü:

$$P_p = Q \cdot P_e = \frac{2}{3 \cdot \pi} \frac{F^2 \cdot h_0^3 \ln \frac{r_d}{r_i}}{\eta \cdot (r_d^2 - r_i^2) \cdot \eta_p}$$