

Static Loading with Axial Channel for Hydrodynamic Journal Bearing Calculation Method

Hakan Adatepe

Department of Energy Systems Engineering, Faculty of Engineering, Giresun University, 28200, Giresun, Turkey

Abstract

In this study, the calculation method required to transport the load in axial channel lubricated hydrodynamic journal bearings is the yield. Distortion analyzes of existing (designed) bearings can also be carried out with the method presented here, the performance of the bearing can be investigated and used to investigate what can be done to improve the performance of the bearing. The method presented here can be used for two axial grooved bearings to the right and left of the load direction. Alternative oil distribution patterns can also be negotiated. The journal bearing is statically loaded. But in applications where loads and speed change are slow, the calculation method can be used here. This study mainly consists of two parts. In the first part, the operation of a hydrodynamic journal bearing is defined and a method is given for estimating the required dimensions of the bearing and detailed information is given for bearing design parameters. In the second part, a method for the analysis of a journal bearing is given and necessary information is given for the safe operation of the bearing.

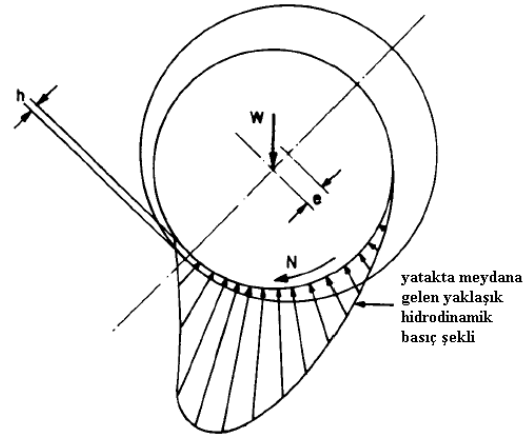
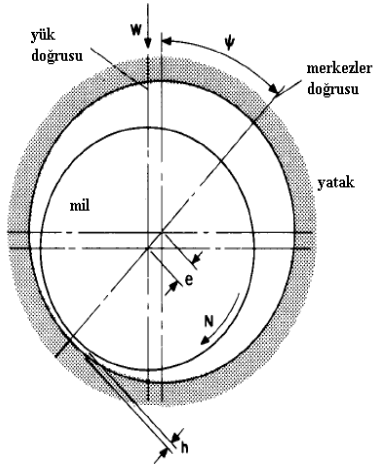
Keywords: Axial Channel, Hydrodynamic Journal Bearing, calculation method

DOI: 10.7176/JIEA/9-3-05

Publication date: May 31st 2019

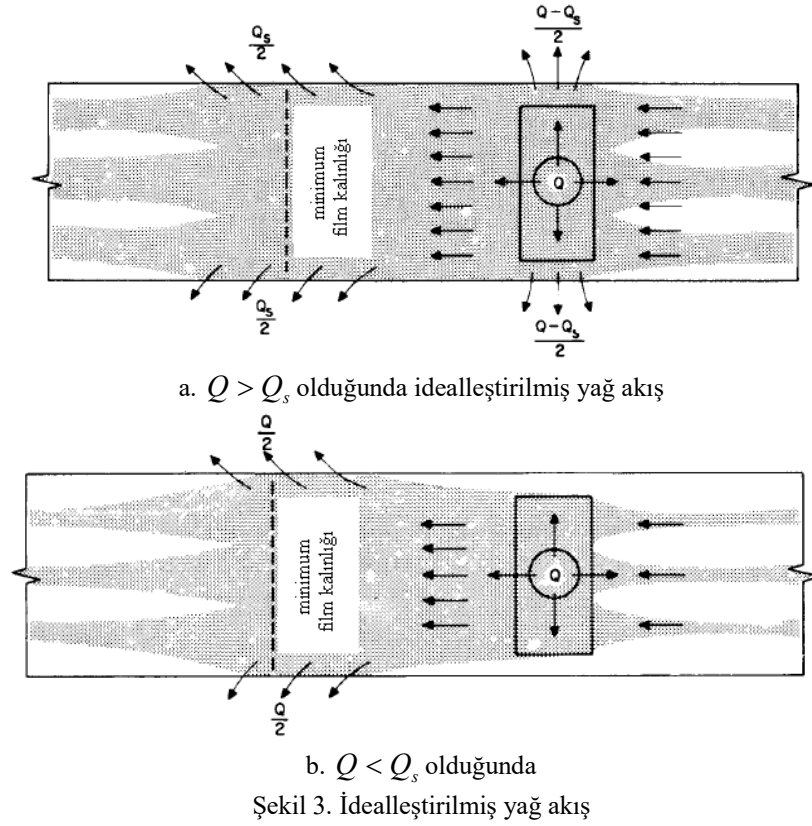
1. Giriş

Bir hidrodinamik kaymalı yatağın çalışması özetle mil kama şeklinde bir boşluk içerisindeki viskoz bir yağlayıcı tarafından desteklenmesi şeklindedir. Mil yatak boşluğu içerisinde taşınan yükün etkisi altında eksantrik bir konum alır. Şekil 3.1 de görüldüğü gibi yük, yağ filminin karşıladığı basınçlar tarafından dengede olana kadar eksantrisite ayarlanır.



Şekil 1. Hidrodinamik radyal kaymalı yatak sistemi

Şekil 2. Bir kaymalı yatakta basınç dağılımı



Yağlanmış yataklar (kaymalı yataklar) genellikle beyaz maden olarak adlandırılan bir malzemeyle kaplanmıştır. Mil ise genellikle karbonlu çelikten imal edilmiştir. Yataklar genellikle kolayca monte edilmesi için çap boyunca ikiye ayrılmaktadır. Bu çalışmadaki yataklara yağ, yük doğrusuna 90° tek aksnel kanal (Şekil 4 deki gibi) veya yük doğrultusunun sağında ve solunda 90° olacak şekilde (Şekil 5 deki gibi) iki aksnel kanaldan verilir. Her iki yağlayıcı kanalları parçalı yataklar için uygundur.



Şekil 4. Yük doğrultusuna dik tek aksnel (a), iki aksnel (b) kanallı yatak

İki aksnel kanallı yatak şekilde de görüldüğü gibi çapın her iki tarafında milin sağ veya sola dönüşü için uygundur.

1. DİZAYN İÇİN GEREKLİ PARAMETRELER

Kaymalı yatakların analizi ve dizaynı için gerekli parametreleri tasarlamak için temel bilgileri şöylece verebiliriz.

Yük ve Hız

Yük W , milin dönme frekansı (devir sayısı) N , sabit yük ve milin sabit devir sayısına döndüğü kabul

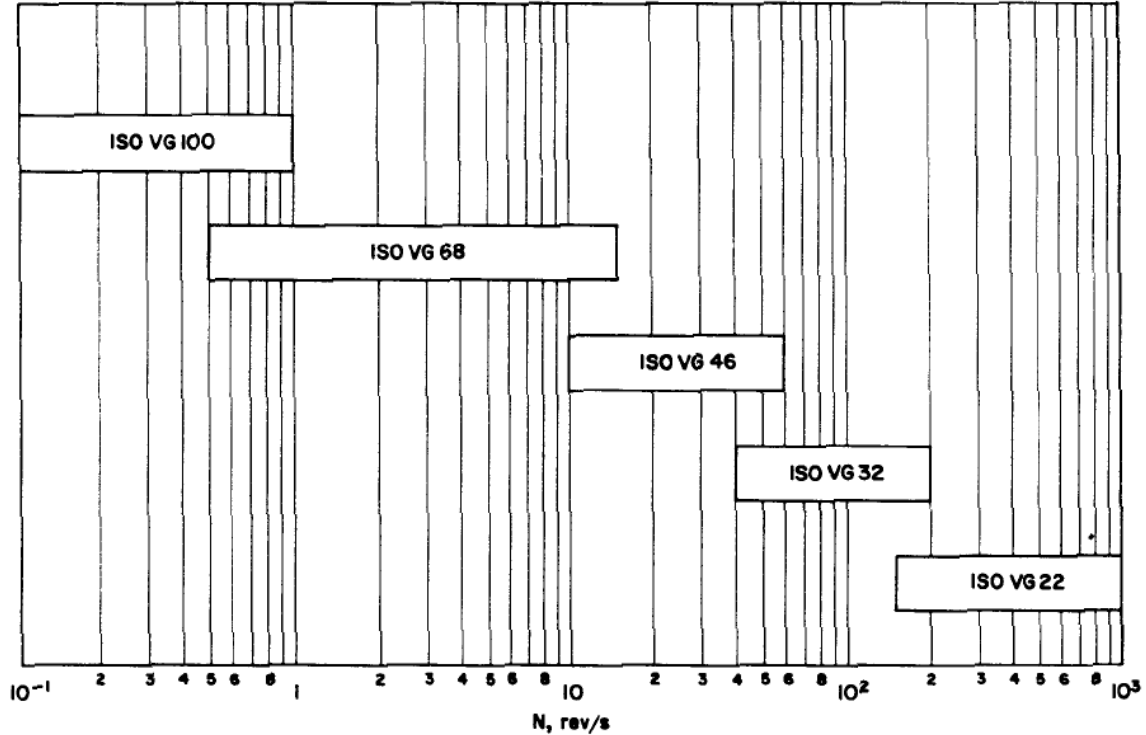
edilir. Kısa sürede hızlanmalarda tolere olabilir belli devir sayısı not edilebilir. Bununla birlikte bazen dizaynsız (off design) yükler ve hızlar çok kötü çalışma şartlarında yükselmeye neden olur. Bu yüzden tüm potansiyel kritik şartlar altında yatakların çalışmasını araştırmak tavsiye edilir. Düşük hızlarda taşınan aşırı yüklerde film kalınlığı kritik olabilir. Aşırı yüklerde ve yüksek hızlarda çalışırken ise sıcaklık kritik olabilir. Başlangıç yükü de önemli bir faktördür.

Çapsal Sınırlamalar

Mil çapı d için genellikle mukavemet veya rijitlik değerleri önceden istenir. Yatak genişliği b için bir değer seçildiğinde b için bölüm 5’de verilen b/d oranları tavsiye edilir. Bazen kullanılacak b/d oranını daha uygun bir değere taşımak için mil çapında bir artışa gereksinim olabilir.

Yağlayıcı

Yağlayıcı bazen diğer yatak parametrelerin uygun tasarım için gerekli olmaktadır. Tasarımcı Şekil 5’de verilen şekle göre sistemde iş görecektir ve kullanılacak mineral yağın seçimini yapar.



Şekil 5. Yağ seçimi için önerilen grafik

Yatağın performansını analiz etmek amacıyla yatağa gönderilen yağın sıcaklığı T_f için bir kabul gereklidir. Çünkü bu değer sıcaklık artışının hesabında kullanılacaktır. Örnek olarak T_f için bu değer yağlı yataklar için $40^{\circ}C$ veya $50^{\circ}C$ labilir. Genel durumlarda yağın besleme basıncı P_f $0.05 MN/m^2$ ve $0.35 MN/m^2$ arasına olması yeterli olacaktır.

2. İLK YATAK DİZAYNI

Bir yatak ilk kez dizayn edileceğinde genellikle yaygın kabuller kullanılarak yaklaşık bir dizaynla işe başlanır.

- (i) Son yatak boyutları ve performansı hesaplanmadan daha kapsamlı iterative dizayn işlemi için iyi bir başlangıç noktası sağlanmalıdır.
- (ii) Emniyetli ideal sınırlamalardan daha düşük olup olmadığı yani bir yatak dizaynını gerçekleştirmek için belirlenen boşluk sınırlamasını karşılayacak şekilde olabilir.

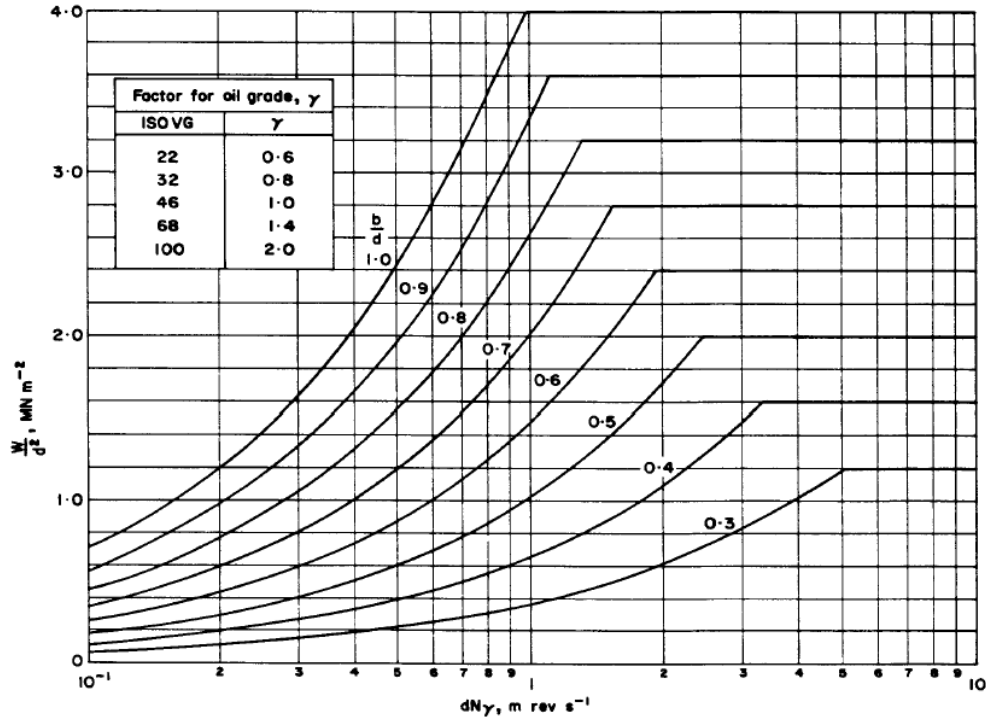
Tasarımcılar genellikle yatakları gerektiğinden büyük tasarlamaya çalışırlar. Fakat yataklar yeterli emniyetli çalışma yükünü karşılayacak şekilde yapılmalıdır. Bazen yatağın boyutu başlangıç yükünü desteklemesi gerektiği zorunlu olarak kabul edilmiştir. Özel dizayn gereksinimleri ve sınırlamalarında örneğin uzay sınırlaması gibi başlangıçtaki yatak boyutlarını yeniden gözden geçirmek gerekebilir. Ön sınırlamalı yatak dizaynının performansında sonraki analizler için yatak boyutlarını yeniden gözden geçirmek (modifiye etmek) gerekebilir.

Gerekli Yatak Boyutu

Gerekli yatak boyutu ya başlangıç gereksinimlerini ya da çalışma gereksinimlerinin karşılayacak şekilde olmalıdır.

Çalışma Durumu ve Sabit Yük

Sabit yük p_{mean} bir yatağın çalışmasında en önemli parametredir. Kaymalı yatakların bazen (yaklaşık $7 \text{ MN} / \text{m}^2$) gibi çok yüksek sabit yüklerde çalışması muhtemeldir. Bu durumda tasarımcı çok dikkatli olmalıdır. Tasarımcı mil ve yatak yüzeyleri arasında yeterli yağ film kalınlığı olup olmadığını teyit etmek ve yüksek yatak sıcaklıklarından kaçınmak zorundadır. Pratikte çoğunlukla yataklara uygulanan yükler doğru olarak bilinmez. Yatakta yük emniyeti sağlanamazsa yataklama kabiliyeti bozulabilir. Bunun sonucu olarak da yatak aşınabilir. Beyaz maden yataklar için sabit yük, yaklaşık $4 \text{ MN} / \text{m}^2$ dan daha fazla olmamalıdır. Çoğu uygulamalarda yeterli bir film kalınlığı oluşabilmesi için sabit yük bu değerden daha az olmak zorundadır. Bundan dolayı müsaade edilen sabit yük Şekil 5.1 de görüldüğü gibi yağlayıcının viskozitesine bağlı olduğu kadar dN 'in değerine de bağlıdır. Bu şekilde gerekli yatak genişliği b , mineral yağ kullanıldığında tasarımın başında tahmin etmede kullanılabilir. Su gibi düşük viskoziteli yağlayıcılar kullanıldığında müsaade edilen sabit yük Şekil 5.1 de kabul edilenden oldukça az olacaktır.



Şekil 6. Grafik için b/d oranı gereklidir

Harekete Başlangıç (Start-up) Gereksinimleri

Yağlayıcı film harekete başlangıçta mil ve yatak yüzeylerini birbirinden ayıracak kadar gelişmemiştir. Genel olarak beyaz maden yatakların sık olan kalkma ve durma (birkaç günde bir) gerekli boyutu belirlemek için başlangıç sabit yük değeri 1.3 MN/m^2 alınabilir. Sık olmayan (bir gün veya daha az) start-stop (harekete geçme) durumlarında tahmin edilen başlangıç yükü olarak 2.5 MN/m^2 alınabilir.

$$b = \frac{W}{dp_{mean}}$$

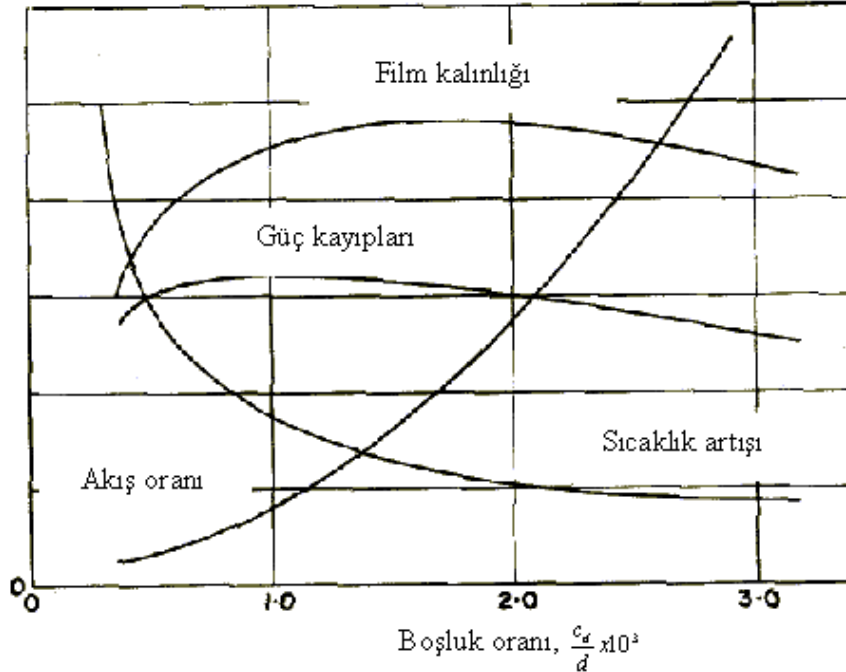
Ön Sınırlamalı Yatak Boyutları

Yatak uzunluğunun tahmin edilen değeri b , hem çalışma durumunu hem de start-up (ilk harekete geçiş) durumunu karşılayacak şekilde seçilmelidir. Tavsiye edilen b/d oranı 1'den daha az olmalıdır. Bu oranın (b/d) büyük olması halinde kenar oturması, mil ve yatak eksenlerinin paralel olmaması problemi ortaya çıkar. Bu değerler tasarımcılar tarafından hesaplanmıştır. Böyle bir problemle karşılaşıldığında mil çapının artırılması tavsiye olunur ve yatak geometrisi yeniden hesaplanmalıdır.

Diğer Yatak Boyutları

Yatak Boşluğu

Yatağın emniyetli bir şekilde çalışabilmesi için yatak boşluğu önemlidir. Yatak boşluğu oranının c_d/c hem küçük hem de büyük değerleri önemlidir. c_d/c nin küçük değerleri yatak sıcaklığının artmasına neden olurken, Şekil 7'de görüldüğü gibi büyük c_d/c oranı ise ortalama yağlayıcı akış oranının azalmasına neden olur.



Şekil 7. Karakteristik film kalınlığının değişim miktarı, güç kayıpları, akış oranı, sıcaklık yükselişinin boşluk oranına göre değişimi

Şekil 7'de deneysel olarak belirlenen boşluk oranlarının çalışma şartları için uygunluğu verilmiştir. Çapsal boşluk imalat esnasındaki toleransa yakın olmalıdır.

Kanal (yiv) Boyutları

Radyal kaymalı yataklarda yağ desteği çoğu uygulamalarda yatak genişliğinin 0.8 ($a/b=0.8$) ve çevresel genişlikte 0.25d olacak şekilde yağlayıcı kanallarıyla sağlanmaktadır. Kanal genişliğinin giriş akışını sınırlamaması amacı ile $20 C_d$ den daha az olmaması tavsiye edilir.

3. PERFORMANS ANALİZLERİ

Bu kısımda var olan dizayn yada yeni dizaynın performans analizi üzerine bilgiler verilecektir. Bir hidrodinamik kaymalı yatağın performansı yatağın boyutlarına, yüke, yağlayıcının efektif viskozitesine, mil ve yatak eksenlerinin çakışıp çakışmamasına bağlıdır. Hesaplama metotları ve yataklar için müsaade edilen film kalınlığı, güç kayıpları, yağlayıcı akış oranları ve yatak sıcaklıkları belirlenecektir. Performans yeterli olmadığı zaman tasarımcı yatağın boyutlarını sınır durumundaki verileri yeniden gözden geçirmelidir. Bir yatak dizayn edildiğinde ilk gerekenler yatağın yeterli minimum film kalınlığı ve kabul edilebilir bir maksimum sıcaklıkta çalışması tavsiye edilir. Dizaynın amacına ulaşması için kabul edilebilir performansı sağlanabilmesi için yatak parametreleri kolayca değiştirilebilir olması gerekmektedir. Bununla birlikte tasarımcılar için mevcut değer aralıkları pratiklik sağlar.

Efektif Viskozite

Bu kısımda performans tahmin metodu için gerekli olan değerler, yatağın yüklü kısmında yağlayıcının efektif dinamik viskozitesi η_e ve yağ besleme kanallarındaki yağlayıcının dinamik viskozitesidir η_g . Bu viskoziteler T_e ve T_g yağlayıcı sıcaklıkları tarafından sınırlanmıştır. Bu yağlayıcı sıcaklıkları başlangıçta kabul edilir ve sonra bir iterative işlem kullanılarak hassaslaştırılır.

Filme yağlayıcının efektif sıcaklığı T_e daima yatak besleme sıcaklığı T_f den yüksek olacaktır. Genellikle düşük hızlarda T_f 10 K ve yüksek hızlarda 30 K sınırını aşmamalıdır. Başlangıçta $T_g = T_e$ alınabilir. Tasarımcı yatağın performansını analiz ederken yağlayıcıya ait sıcaklık-viskozite eğrisine sahip olmalıdır. Dinamik viskoziteler η_e ve η_g uygun yağlayıcı sıcaklıkları T_e ve T_g sonra belirlenmelidir. Şekil 2' de yaygın olarak kullanılan mineral yağlar için sıcaklık-viskozite karakteristikleri görülmektedir.

Eksantrisite Oranı

Eksantrisite oranı ε bir hidrodinamik kaymalı yatağın analizinde temel parametredir. Değeri mil ve yatak eksenleri aynı doğrultuda olan yataklar için boyutsuz yük hesaplandıktan W' sonra Şekil 3'den bulunabilir.

Güç Kayıpları

Güç kayıpları genel tasarımla ilgilidir fakat yatak sıcaklıklarının hesaplanması için de gereklidir. Yatağın güç kayıpları bazı uygulamalarda kritik olabilir. Şekil 4'den seçilen b/d değerleri için güç kayıpları bulunabilir.

Yağlayıcı Akış Oranları

Yağlayıcı akış oranları ısı dengeyi kurmak ve gerekli yağ beslemesini tahmin etmek içindir. Yatak akış oranı Q şöyle verilmektedir.

$$Q = Q_p + \frac{a}{b} Q_s \quad (1)$$

Kanalların açılmal uzunluğu 40 dereceyi aşmamalıdır. Q_p besleme akış oranı şöyle hesaplanabilir.

$$Q'_p = \frac{Q_p \eta_g}{c_d^3 P_f} = 0.026 \left[\frac{\left(1 - 0.2 \frac{a}{b}\right)}{\left(\frac{b}{a} - 1\right)^{0.333}} + \frac{0.007 \Delta \theta}{\left(1 - \frac{a}{b}\right) \left(\frac{b}{d}\right)} \right] F \quad (2)$$

Burada kanal fonksiyonu F , Şekil 5'den bulunabilir. $\frac{a}{b} = 0.8$ olduğunda Q_p daha basit olarak aşağıdaki ifade ile hesaplanır.

$$Q'_p = \frac{Q_p \eta_g}{c_d^3 P_f} = 0.035 \left(1 + 0.026 \frac{\Delta \theta}{b/d} \right) F \quad (3)$$

veya $\Delta \theta = 30^\circ$ için

$$Q'_p = 0.035 \left(1 + \frac{0.078}{b/d} \right) F \quad (4)$$

Boyutsuz idealleştirilmiş yan akış oranı Q'_s Şekil 6 kullanılarak bulunabilir. Boyutsuz sistemde tekrar sirküle eden yağ akışı Q'_r bu değer yatak sıcaklıkları hesaplanırken gereklidir ve Q'_r aşağıdaki ifadeden bulunabilir.

$$Q'_r = \frac{Q_r}{c_d N d b} = 0.8(1 - \varepsilon) \quad (5)$$

Yatak İçerisindeki Sıcaklıklar

Yatağın maksimum sıcaklığı emniyetli çalışmayı sağlayabilmek için gereklidir. Çıkış sıcaklığından yağlayıcının bozulup bozulmadığı kontrol edilebilir. Efektif film sıcaklığı T_e , kanal sıcaklığı T_g ve maksimum yatak sıcaklığı T_{\max} (6), (7) ve (8) eşitliklerinden yağlayıcı akış oranları ve güç kayıplarının tahmin edilen değerleriyle birlikte elde edilir.

$$Q \geq Q_s \text{ için } T_e - T_f = \left(\frac{KH}{\rho C Q} \right) \left(\frac{\phi Q_r + Q}{\phi Q_r + K_s Q_s} \right)$$

$$Q < Q_s \text{ için } T_e - T_f = \left(\frac{KH}{\rho C Q} \right) \left(\frac{\phi Q_r + Q}{\phi Q_r + K_s Q} \right) \quad (6)$$

$$T_g - T_f = \left(\frac{\phi Q_r}{\phi Q_r + Q} \right) (T_e - T_f) \quad (7)$$

$$\text{ve } T_{\max} - T_g = \phi (T_e - T_g) \quad (8)$$

Faktörler aşağıdaki eşitliklerle verilmiştir.

$$\phi = 1 + 2.75 \varepsilon^{0.5} \frac{P_e}{P_e + 10Z} \quad 1 < P_e < 250$$

$$K = \frac{P_e}{P_e + Z} \text{ ve } K_s = \frac{5 - \phi}{4}$$

$$\text{Burada Peclet sayısı } P_e = \frac{Nc_d^2}{\kappa} \text{ ve } Z = \frac{6}{2 - \varepsilon}$$

Mineral yağlar için yaygın olarak $\rho C = 1.7 \cdot 10^6 J / m^3 K$ ve $\kappa = 0.08 \cdot 10^{-6} m^2 / s$

Efektif film sıcaklığı T_e ve kanal sıcaklığı T_g için bir değere sahip olduğunda bu değerler başlangıçta kabul edilen değerlerle karşılaştırılmalıdır. Hesaplanan değerler arasında anlamlı bir fark olduğu zaman hesaplanan ve eski değerlerin aritmetik ortalamasına eşit yeni T_e ve T_g değerleriyle hesap tekrarlanmalıdır. Bu iterasyona T_e ve T_g deki değişim 2K den az olana kadar devam edilmesi tavsiye edilir. Yatak vasıtasıyla yağlayıcı sıcaklığındaki yükselme $(T_{out} - T_f)$ aşağıdaki eşitliğe göre yağlayıcı akış oranı ile ilgilidir.

$$T_{out} - T_f = \frac{KH}{\rho C Q} \quad (9)$$

Alternatif bir yol olarak hesaplanan ve eski değerlerin aritmetik ortalamasına eşit T_e nin yeni değeri olacak fakat eşitlik 6.7 de kabul edilen T_g nin yeni değerine dayanarak yani;

$$(T_g - T_f)_{kabul} = \frac{T_g - T_f}{T_e - T_f} (T_e - T_f)_{kabul} \quad (10)$$

Film Kalınlıkları

Minimum film kalınlığının değeri yatağın kontrol edilebilir emniyetli çalışma şartları için gereklidir. Genelde, belirli bir çalışma durumunda yatağın boyutları arttırıldığında film kalınlığı da artar. Bununla birlikte geniş yataklar, kısa yataklardan daha büyük güç kaybına sahip olacaklardır. Mil eksenini ile yatak eksenini aynı doğrultuda olan bir yatak için minimum film kalınlığı şöyle verilmektedir.

$$h = (1 - \varepsilon) \frac{C_2}{2} \quad (11)$$

Pratikte bazen mil eksenini ile yatak eksenini aynı doğrultuda olmayabilir bu bölümdeki kabuller bu durumun dışındadır. Eksenlerin aynı doğrultuda olmaması birkaç faktörden dolayı olabilir. Bunlardan bir tanesi yük altında milin eğilmesi nedeniyledir [2]. Paralel olmama nedeniyle minimum film kalınlığı yatağın kenarında ve değeri h nin değerinden daha az olacaktır. Tüm durumlarda özellikle büyük bir eksen paralelliğinin olmadığı durumda film kalınlığının değeri azalır ve bu durumlarda h_{edge} film kalınlığı Şekil 8 kullanılarak tahmin edilebilir. h_{edge} nin hesaplanan değeri minimum film kalınlığı kriteriyle karşılaştırılmalıdır. Hesaplanan değer yatak dizaynı için yeterli olmadığı zaman film kalınlığını arttırmak için değişiklik yapmak zorunlu olacaktır. Bu yatak boyutlarında bir miktar artışla veya viskozitesi yüksek bir yağ kullanmakla üstesinden gelinebilir.

4. LİMİT KRİTERLERİ

Bir kaymalı yatağı yeterli bir film kalınlığında emniyetli olarak çalıştırabilmek için mil ve yatak yüzeyleri arasında yatağın ve yağlayıcının sıcaklığının sınırlanan limit değerlerinin muhafaza edilmesi gerekmektedir. Tasarımcı bu yüzden her zaman dizaynında ve kontrollerinde minimum film kalınlığı ve maksimum sıcaklık kriterlerini doğrulayacak şekilde olmalıdır. Güvenirlik en üstün öneme sahip olduğunda maksimum sıcaklık ve minimum film kalınlığı limitlerinde çalışmama tavsiye edilir.

Minimum Film Kalınlığı

Emniyetli müsaade edilebilir film kalınlığı h_s , Şekil 8'de gösterildiği gibi yatağın boyutlarına bağlıdır. Yağlayıcı içerisinde kirletici (toz, pislik, toprak vs. gibi) parçacıkların bulunması yatak yüzeyinin bozulmasına

neden olabilir. Ayrıca yağ filtrasyonunun iyi olmaması yağ içerisinde yabancı parçacıkların artmasına neden olabilir. Yatağın yüzey pürüzlülüğü ve beklenen (umulan) film kalınlığı arasında bir bağ (uyum) olması tavsiye edilir ve bu yüzden dar yatakların, geniş yataklardan daha yüksek standartlarda yüzeyinin işlenmesi tavsiye olunur. Yatak yüzey pürüzlülüğünün herhangi bir aynı hizada olmama durumu dikkate alınmaksızın minimum film kalınlığının 1/20 den daha az olmaması tavsiye edilir.

$$R_a < \frac{1}{20} \quad (12)$$

Maksimum Sıcaklık Kriteri

Yatak malzemesinin akma mukavemeti sıcaklığa bağlıdır. Bazı çalışma şartları altında yatak sıcaklığı yükseliyorken, yatak malzemesinde plastik deformasyon meydana gelir. Bunu hesaba katmak için yatağı her zamanki T_{max} , maksimum yatak sıcaklığında tutmak gerekir. Maksimum müsaade edilebilir yatak sıcaklığı kullanılan malzemenin kalınlığına bağlıdır. Beyaz metalde genellikle maksimum yatak sıcaklığı $120^{\circ}C$ dir. Fakat yatağın normal çalışma esnasında bu sıcaklığa ulaşmayacak şekilde dizaynının yapılmış olması gereklidir. Eğer yüksek sıcaklıklarda çalışılacaksa bir alüminyum kalay veya bakır-kurşun alaşımli yataklar düşünülmesi gerekmektedir. Alüminyum-Kalay, bileşeninin %40'ı kalaydır. $150-160^{\circ}C$ sıcaklıklarda kullanılabilir. Alaşımın gömme kabiliyeti (yağ içerisindeki kirli bileşenleri absorbe etme kabiliyeti) ve boyutsal değişimlere dayanıklılığı hemen hemen beyaz madene eşittir. Bakır-Kurşun alaşımli yataklar $200^{\circ}C$ ve daha yüksek sıcaklıklarda kullanılabilir. İyi bir yağ filtrasyonu gerekmektedir [3]. Genelde bronzlar yüksek yatak sıcaklıklarında kullanılabilir fakat bronzların harekete ilk başlama (start-up) rodaj özelliği çak kötüdür. Bu yüzden normal çalışma şartları boyunca limit yatağın sıcaklığa gelmesini tasarımcılar müsaade etmezler. Yataktan ayrılan yağlayıcının sıcaklığı oksidasyon nedeniyle bozulmadan kaçınılacak şekilde sınırlandırılmalıdır. Atmosferle temasta hidrokarbon yağlar için tavsiye edilen limit sıcaklığı normal yağlayıcı ömrü için $80^{\circ}C$ dir. Çıkış sıcaklığı T_{out} , en kolay şekilde ölçülen sıcaklık olması sebebiyle hesaplamalarda, yatak performansını kontrol etmede bu sıcaklık kullanılır. Bununla birlikte yatağın performansı hakkında karar vermek için bu sıcaklık yeterli değildir fakat uzun bir dönem izleme parametresi olarak kullanılabilir. Örneğin, çıkış sıcaklığı aylarca $70^{\circ}C$ de sabit olmuşken birden $80^{\circ}C$ yükselmesi tavsiye olunmaz.

5. DİĞER DİZAYN FAKTÖRLERİ

Yağlayıcı Desteği

Hidrodinamik kaymalı yataklar için uygun yağlayıcı yük taşıyıcı filmi yeterli miktarda yağ boşluğu vasıtasıyla yağlayıcının sürekli bir akışına izin vermeli ve kabul edilebilir bir limit içerisinde sıcaklık yükselişine müsaade etmelidir. Yağlama sisteminin hem hesaplanan akış oranı Q , hem de kabul edilen besleme basıncı p_f yi besleyecek kapasitede olması tavsiye edilir. Sistem bunu sağlamıyorsa ya oran artırılmalı ya da yatak dizaynı yağlayıcı akış gereksinimlerini azaltacak şekilde daha iyi hale getirilmelidir. Yağlayıcının bazı uygulamalarda ağırlığı önemli olabilir.

Alternatif Besleme Şekilleri

İki alternatif eksenel kanallı besleme düzeni bu çalışmada incelenmiştir. Ayrıca yatağa çevresel kanal ve yatağın yüksüz kısmına tek bir delik delinerek de yağ beslemesi sağlanabilir. Eğer yük doğrultusu değişkense en iyi yağlayıcı besleme şekli [4] genelde merkezde çevresel kanalla sağlanır. Yatak kanalla ikiye bölünmüştür. Ve iki ayrı yatakla yataklanmış gibi analiz edilmek zorundadır.

Yatağın yüksüz yarı kısmı üzerine bir delikle besleme dar yataklar için tatmin edici olabilir. Nispeten yüksek besleme basıncı gereken çoğu durumlarda yeterli bir yağlayıcı akış oranını sağlamak için gerekli olabilir.

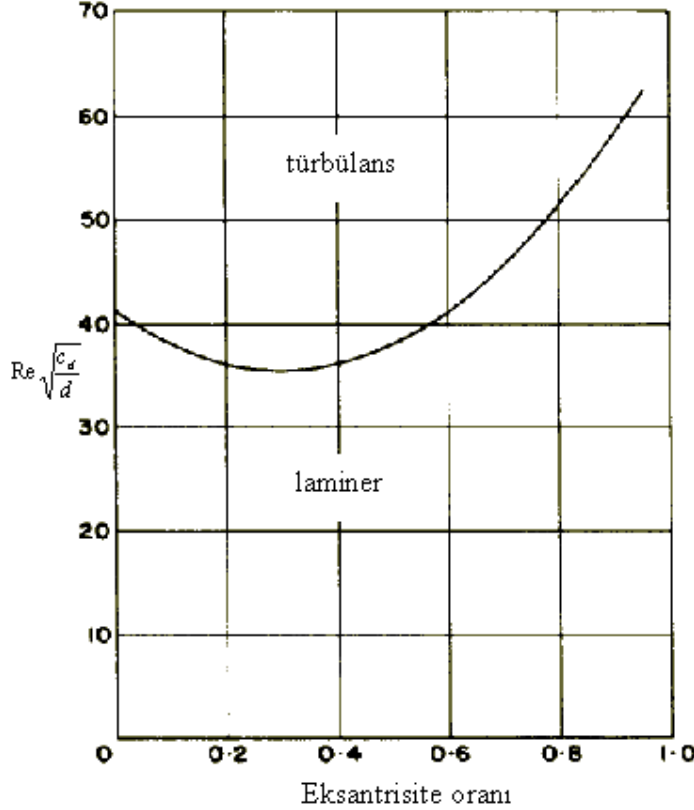
Mil Pozisyonu

Mil merkezinin geometrik yeri önemlidir. Mil merkezinin yeri eksantrisite oranı \mathcal{E} ve konum açısı ψ

nın bilinmesiyle belirlenebilir. Eksantrisite oranı milin radyal boşluk içerisinde izafi hareket miktarını gösterir. Eksantrisite oranı yatağın analizi esnasında tesbit edilmektedir. $\varepsilon = 0$ ise mil yatağın merkezindedir ve $\varepsilon = 1$ olduğunda mil yatak yüzeyine temas etmektedir. Şekil 9'dan ise konum açısı tespit edilebilir.

Laminer Olmayan (Türbülans) Durumlar

Bu çalışmada ele alınan dizayn ve analiz metodları yalnızca yatağın laminer akışlarda çalışması için uygulanabilir. Yatak uygulamalarında genelde bu durum normaldir. Bununla birlikte yüksek hızlarda, yağlayıcının viskozitesinin düşük olduğu (örneğin su gibi) uygulamalarda ve büyük boşluklarda yağ akışları laminer olmayabilir. Laminerden türbülansa (laminer olmayana) geçiş sınırı Şekil 8'de verilmiştir. Laminer olmayan akışta yatağın çalışması durumunda yatağın dizayn ve analizleri [5]'de verilmiştir.



Şekil 8. Türbülanslı akışa geçiş sınırı

Sonuç

Bu çalışmada, eksenel kanallı yağlanmış hidrodinamik kaymalı yataklar için gerekli hesaplama metodu verilmiştir. Burada sunulan metotla, mevcut yatakların bozulma analizleri de yapılabilir, yatağın performansı araştırılabilir ve yatağın performansını yükseltmek için yapılabilecekleri araştırmak için de kullanılabilir. Burada sunulan metot yük doğrultusunun sağında ve solunda iki eksenel kanallı yatak için kullanılabilir. Alternatif yağ dağıtım şekilleri de müzakere edilebilir.

6. KAYNAKLAR

1. Calculation methods for steadily loaded axial groove hydrodynamic journal bearings. Low viscosity process fluid lubrication (To be used in conjunction with Items No. 84031 and 85028) Item No 86008, ESDU International, London, July 1986.
2. The deflections and slopes of shafts or beams of constant or stepped section. Item No. 69017, ESDU International, London, June 1969.

3. Selection of filter rating for lubrication systems. Item No.83030, ESDU International, London, November 1983.
4. Calculation methods for steadily loaded central circumferential groove hydrodynamic journal bearings. Item No.90027, ESDU International, London, November 1990.
5. Calculation methods for steadily loaded axial groove hydrodynamic journal bearings. Superlaminar operation. Item No. 85028, ESDU International, London, November 1985.

SEMBOLLER VE BİRİMLERİ

a	yağlayıcı kanalın aksel uzunluğu	$[m]$
b	yatağın aksel uzunluğu	$[m]$
C	yağlayıcıya ait ısı iletim katsayısı	$[J / kgK]$
c_d	çalışma şartlarındaki radyal boşluk	$[m]$
d	mil çapı	$[m]$
e	mil ve yatak eksenleri aynı hizadaki bir yatak için eksantrisite	$[m]$
F	Q_p nin hesaplanması için gerekli kanal fonksiyonu	
g	ağırlık nedeniyle ivmelenme	$[m / sn^2]$
H	güç kayıpları	$[W]$
H'	boyutsuz güç kaybı	$H' = \left(\frac{H}{\eta_e N^2 d^2 b} \right) \left(\frac{c_d}{d} \right)$
h	mil ve yatak eksenleri aynı hizadaki bir yatak için ele alınan en küçük film kalınlığı	$[m]$
h_{edge}	mil ve yatak eksenleri aynı hizada olmayan bir yatak için ele alınan en küçük film kalınlığı	
h_s	müsaade edilebilir emniyetli film kalınlığı	$[m]$
K	güç kaybı faktörü	
K_s	sıcaklık artışının hesabı için ampirik faktör	
M	yatakla ilgili olan rotor kütlesi	$[kg]$
N	milin dönme frekansı (devir sayısı)	$[rev / s]$
P_e	sıcaklık artışının hesabı için gerekli olan Peclet Sayısı	$P_e = \frac{Nc_d^2}{\kappa}$
p_f	yağın beslenme basıncı	$[N / m^2]$
p_{mean}	belirli yük $p_{mean} = \frac{W}{bd}$	$[N / m^2]$
Q	yatak içerisindeki yağın akış oranı	$[m^3 / s]$
Q_p	kanallardaki yağın besleme basıncı yağın akış oranı	$[m^3 / s]$
Q'_p	kanallardaki yağın boyutsuz besleme basıncı yağın akış oranı	$Q'_p = \frac{Q_p \eta_g}{c_d^3 p_f}$
Q_r	sistemde dolaşan yağın akış oranı	$[m^3 / s]$
Q'_r	sistemde dolaşan boyutsuz yağ akış oranı	$Q'_r = \frac{Q_s}{c_d Nbd}$
Q_s	idealleşmiş yan akış oranı	$[m^3 / s]$

Q'_s	idealleşmiş boyutsuz yan akış oranı	$Q'_s = \frac{Q_s}{c_d N b d}$
Ra	yüzey pürüzlülüğü değeri	$[m]$
Re	yatakta Reynolds sayısı	$Re = \frac{\pi d N c_d \rho}{2 \eta_e}$
T_e	yatağın yüklü kısmındaki yağın efektif sıcaklığı	$[C^\circ]$
T_f	beslenen yağın sıcaklığı	$[C^\circ]$
T_g	kanallardaki yağın sıcaklığı	$[C^\circ]$
T_{max}	maksimum yatak yüzey sıcaklığı	$[C^\circ]$
T_{out}	yataktan çıkan yağın sıcaklığı	$[C^\circ]$
W	yük boyutsuz yük $W' = \left(\frac{W}{\eta_e N b d} \right) \left(\frac{c_d}{d} \right)^2$	$[N]$
w	çevresel doğrultuda ölçülen kanalın genişliği	$[m]$
Z	sıcaklık artışının hesabında kullanılan faktör	
β	mil ve yatak eksenlerinin aynı hizada olmaması kaçıklık	
γ	yağın cinsine göre bir faktör	
δ	yatak genişliği boyunca mil ve yatak eksenlerinin aynı hizada olmaması	$[m]$
$\Delta\theta$	yağ kanalının açısız uzunluğu	$[derece]$
ε	mil ve yatak eksenlerinin aynı hizada bir yatak için eksantrisite oranı	$\varepsilon = 2e / c_d$
η_e	yatakta yüklü kısımdaki yağlayıcının efektif dinamik viskozitesi	$[Ns / m^2]$
η_f	yatakta kanallardaki yağlayıcının dinamik viskozitesi	$[Ns / m^2]$
κ	yağlayıcının ısı geçirgenliği	$[m^2 / s]$
ρ	yağlayıcının yoğunluğu	$[kg / m^3]$
Φ	sıcaklık artışının hesabında kullanılan ampirik faktör	
ψ	konum açısı (merkezler doğrusu ve yük doğrusu arasındaki)	