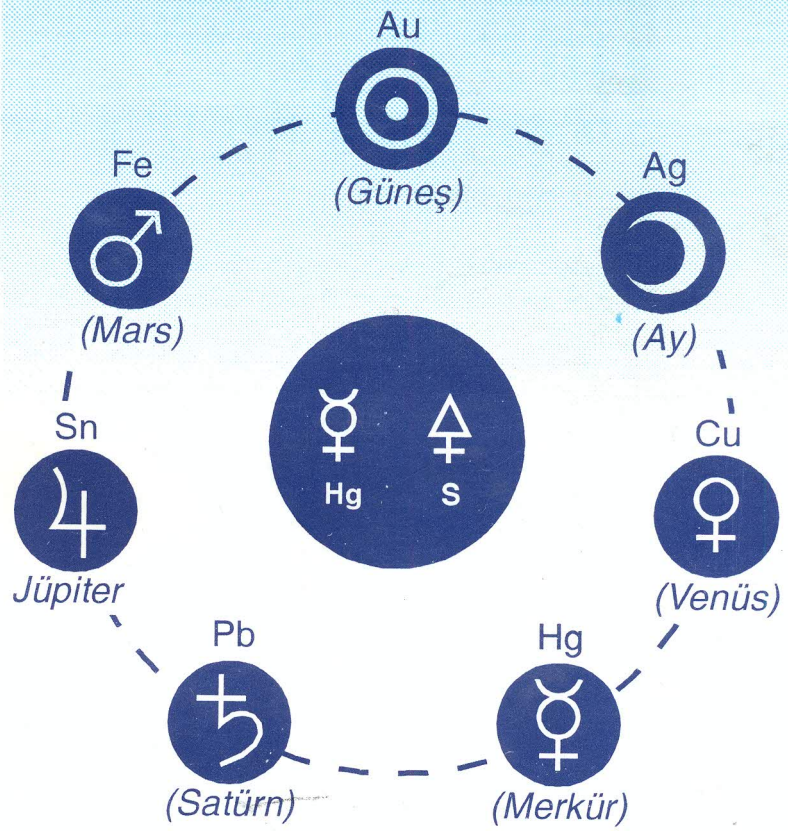
7. DENİZLİ MALZEME SEMPOZYUMU

2 - 3 - 4 NİSAN 1997



BİLDİRİLER

BEITRÄGE

FACHHOCHSCHULE REGENSBURG

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
DENİZLİ

7. DENİZLİ MALZEME SEMPOZYUMU - 2 - 3 - 4 NİSAN 1997
7. DENIZLI WERKSTOFF -TAGUNG - 2. - 3. - 4. APRIL 1997
PAÜ - MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ - ÇAMLIK 20017 DENİZLİ - Tel: 0258. 266 20 06 - Fax: 0258.266 20 12

KURU SÜRTÜNMEDE NORMAL YÜKÜN PARLAMA SICAKLIĞINA ETKİLERİNİN DENEYSEL ANALİZİ

Durmuş ODABAŞ
Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Kayseri

ÖZET

Bu çalışmada pim-ring sistemi için kuru sürtünme şartlarında normal yükün parlama sıcaklığına olan etkileri deneysel olarak analiz edilmiştir.Sürtünme deneyleri oda sıcaklığında 2 m/s'lik hız ve 30-250 N'luk yük aralığında yapılmıştır. Deney süresi 25 dakika olarak alınmıştır. Deneyler esnasında pim ve ring numunelerin hacim sıcaklıkları ve sürtünme katsayısı kaydedilmiştir.Deneylerden sonra aşınan yüzeylerin kayma yönüne dik doğrultuda ortalama yüzey pürüzlülükleri ölçülmüştür. Deneysel değerler pürüzsel temas noktası için geliştirilen teorik parlama sıcaklığı bağıntılarında kullanılarak, parlama sıcaklığı analitik olarak hesaplanmıştır.Oksitsiz ve oksitli durum için parlama sıcaklığının yük ile değişimi sürtünme katsayısı, pürüzsel temas yarıçapı ve ısı yoğunluğunun bileşik etkisine bağlı olduğu tespit edilmiştir. Kuru sürtünmede etkili olan mekanizmalar oksitlenme ve oksidasyon aşınması olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Oksidasyon Aşınması, Pürüzsel Temas Noktası, Parlama Sıcaklığı

THE EXPERIMENTAL ANALYSE OF THE NORMAL LOAD ON THE FLASH TEMPERATURE UNDER DRY FRICTION

ABSTRACT

In this study, the effects of normal load on the flash temperature for pin-on ring system has been analysed experimentally under the dry friction conditions. The friction tests were carried out at the room temperature under a sliding speed of 2 m/s in the load range of 30-250 N. The duration of test was 25 minutes. During the tests, the bulk temperature of pin and ring, and the friction coefficient have been recorded. After the tests the average roughness of worn surfaces was measured in the vertical direction to the sliding speed. By using the experimental results in the developed theories of flash temperature for asperity contact point, the flash temperature was calculated analytically.It was found that the variation of flash temperature with normal load were depended on the complex effects of the friction coefficient, the radius of asperity contact point and heat density.The most important mechanism affected on the flash temeperature have been oxidation and oxidational wear in dry friction.

Key Words : Oxidational Wear, Asperity Contact, Flash Temperature.

1.GİRİŞ

Kayma sürtünmesi esnasında harcanan sürtünme işi ısıya dönüşerek gerçek temas alanlarında ve cıva- rında sıcaklığı büyük oranda artırır.Sıcaklığın artı- şıyla temas yüzeylerinin kimyasal bileşimi, malzeme özellikleri ve yağlama şartları olumsuz yönde etkile- nerek sistemlerin tribolojik davranışları bozulur. Bu nedenle temas yüzeyi ve yüzeyaltı bölgesindeki sıcak- lık dağılımı uzun süredir araştırma konusu olma ö- zelliğini sürdürmektedir.Sıcaklık dağılımının teorik ve deneysel olarak belirlenmesi için geliştirilen tek- nikleri iki ana gruba ayırmak mümkündür :

(1) Deneysel Sıcaklık Ölçme Teknikleri
  (a) Yüzeyaltı termoeleman tekniği [Al Rubey, 1980].
  (b) Dinamik termoeleman tekniği [Furey, 1969].
  (c) Temas termoeleman tekniği
  (d) Kızıl ötesi ışın tekniği [Hoe, Wenn, 1988].
  (e) Metallografik teknik [Wright, Trent, 1973]
  (f) İnce tabakalı transduser tekniği
2) Analitik Çözüm Teknikleri
  (a) Isı kaynağı tekniği: [Archard,1959].
  (b) İntegral dönüşüm teknikleri
  (c) Nümerik Teknikler
    (1) Sonlu farklar tekniği
    (2) Sonlu elemanlar [Kennedy, 1981].

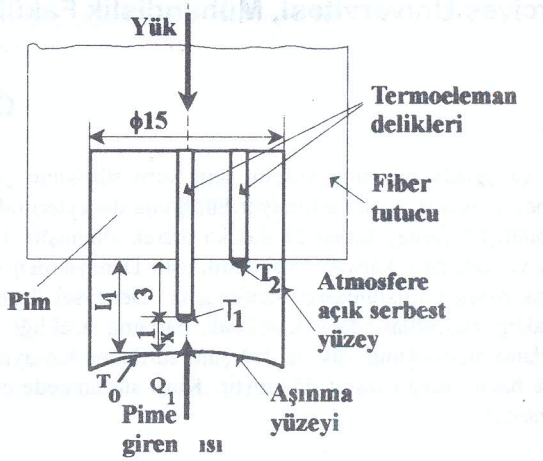
Yukarda verilen sıcaklık ölçme teknikleriyle ancak görünen temas alanının ortalama sıcaklığı ölçüle- bilir. Gerçek temas noktalarındaki ani sıcaklık artış- larını ölçmek mümkün değildir. Isı kaynağı ve integ- ral tekniklerinin uygulanması ise sınır şartlarının bi- linmesine bağlıdır. Sınır şartları içinde en önemlisi sürtünme elemanlarına giren ısı miktarlarıdır.Bunun için deneysel teknikler kullanılmalıdır.Bazı araştır- macılar, kalorimetre ile ısı yoğunluğunu ve yüzeyaltı termoelemanı ile de hacim sıcaklıklarını ölçerek elde edilen deneysel değerler yardımıyla analitik olarak ısı miktarlarını hesapladılar [Dimarogonas, 1977] .

Bu çalışmada deneysel-analitik çözüm yolu ile kuru sürtünmede kararlı sürtünme ve sürekli rejim şartları için parlama sıcaklığının yüke bağlı olarak değişimi araştırılmıştır.

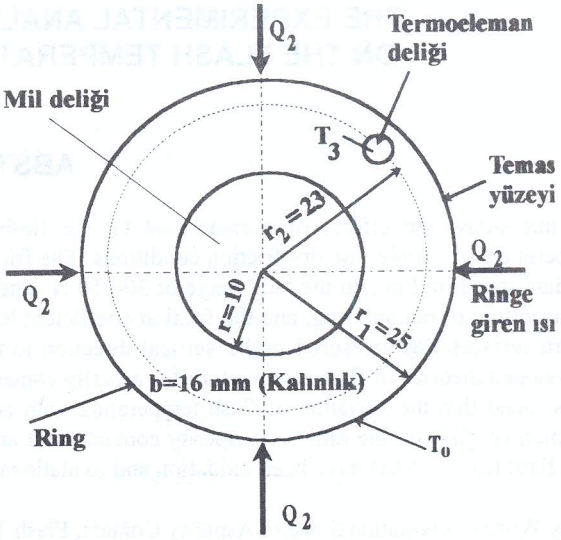
2. DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1. Malzeme

Kuru sürtünme deneylerinde test malzemesi olarak AISI 3315 çeliği, karşı sürtünme malzemesi olarak da AISI 3150 çeliği kullanılmıştır.AISI 3315 çeliği- nin kimyasal analizi % 0.15 C, % 0.7 Mn, % 0.21 Si, % 0.03 P, % 0.8 Cr ve % 3.5 N; AISI 3150 çeliğinin ise % 0.48 C, % 0.85 Mn, % 0.2 Si, % 0.85 Cr ve % 1.25 Ni olarak tespit edilmiştir.Aynı yarı mamul AISI 3315 çelik çubuklardan tornalanarak hazırlanan pim numunelere sadece 870 °C'de 0.5 saat süreyle normalizasyon tavlaması uygulanmıştır.AISI 3150 çeliğinden aynı yolla üretilen ring numunelere ise 880 °C'de 1 saat normalizasyon ısıl işlemi uygulan- dıktan sonra aynı sıcaklıkta ısıtılarak yağda sertleştirilmiştir. Pimlerin ortalama sertliği 260 Hv, ringlerin sertliği ise 750 Hv olarak sağlanmıştır. De- neylerden önce pim ve ringlerin yüzeyleri taşlanarak ilk pürüzlülükleri Ra = 0.5 μm olmuştur. Numune boyutları Şekil-1'de verilmiştir.



(a) Pim ve sıcaklık ölçme noktaları



(b) Ringin boyutları

Şekil-1:Sürtünme elemanlarının geometrisi

Tablo-1: Kararlı sürtünmede pürüzlülük, sürtünme katsayısı ve ısı değerleri

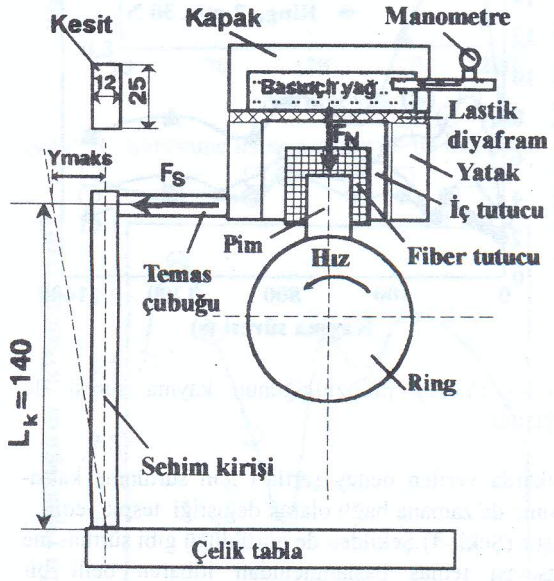
F_N [N]	Ra_1 [μm]	Ra_2 [μm]	μ_k	r_s [μm]	r_e [μm]	A_S [m^2] x10^{-8}	A_{dr} [m^2]x 10^{-8}	Q_S [kWatt]	q_s [$\frac{kWatt}{m^2}$] x10^5	Q_{1s} [Watt]	a
30	9	4	0.46	9	14	1.15	2.9	0.028	9.72	0.495	0.018
50	10	6	0.74	10.5	20.5	1.92	7.35	0.074	10	1.379	0.019
70	12	7	0.58	12.4	21.7	2.69	8.25	0.081	9.8	1.353	0.017
95	15	7	0.44	14.6	23	3.65	8.82	0.084	9.52	1.4	0.017
115	11	5	0.39	10.8	16	4.42	9.68	0.090	9.29	1.59	0.018
140	8	4	0.58	8.3	14.5	5.38	16.5	0.162	9.8	3.33	0.21
160	9	6	0.53	9.8	16.5	6.15	17.4	0.170	9.7	3	0.018
190	10	5	0.59	10	17.6	7.3	22.7	0.224	9.86	4.39	0.20
250	9	3	0.46	8.7	13.7	9.61	24	0.230	9.58	4.5	0.20

2.2. Deney Metodu

Deneysel çalışmalarda mevcut imkanlar ile imal edilen ve bir "kayma sistemi" olan pim-ring deney tesisatı kullanılmıştır.Deney tesisatı ile ilgili ayrıntılı bilgiler kaynak [Odabaş, 1991] ve [Odabaş, Karamış, 1993]'de verilmiştir. Sürtünme deneyleri oda sıcaklığında ve normal atmosfer altında kuru şartlarda, 2 m/s'lik hız ve 30-250 N'luk yük aralığında yapılmıştır. Deney süresi 25 dakika olarak sabit tutulmuştur. Deney sonuçları Tablo-1'de verilmiştir.

Pim numunelere normal yük, bir hidrolik pompa yardımıyla iç numune tutucunun üstünde bulunan hazneye gönderilen basınçlı yağın lastik diyaframı şişirmesi ve tutucuyu kaymalı yatağı içinde itmesi şeklinde uygulanmıştır (Şekil-2).Lastik diyafram ile iç tutucu arasındaki temas yarıçapı d_h = 25 mm'dir. Temas alanı $A_h = \pi d_h^2/4$ ile hesaplanarak, normal yük $F_N = P_h A_h$ ile tespit edilmiştir. Burada P_h manometreden okunan yağ basıncıdır.

Sürtünme katsayısının ölçülmesinde, bir ucu ankastre, diğer ucu serbest olan dikdörtgen kesitli bir kirişin elastik sınır içindeki sehiminden faydalanılmıştır (Şekil-2). Pim numuneyi taşıyan tutucu eleman dönme yönünde esneme özelliğine sahip olduğundan, temas yüzeyinde oluşan sürtünme kuvvetinin sebeb olduğu maksimum sehim, $Y_{maks} = F_s L_k^3/3EI$ denklemiyle hesaplanır.Burada E elastiklik modülü, I atalet momenti ve L_k kirişin etkili boyunu gösterir.Deneyler esnasında sehim değerleri bir deplasman transduseri ile ölçülerek, sürtünme katsayısı belirlenmiştir.Deneyler esnasında ölçülen parametrelerden biri de pimin hacim sıcaklığıdır. Sıcaklığın ölçülmesinde [K] tipi Ni-NiCr termoelemanı kullanılmıştır. Ayrıca deneyler esnasında toplanan aşınma tanecikleri x-diffraction tekniği ile analiz edilerek oksit türleri tespit edilmiştir.

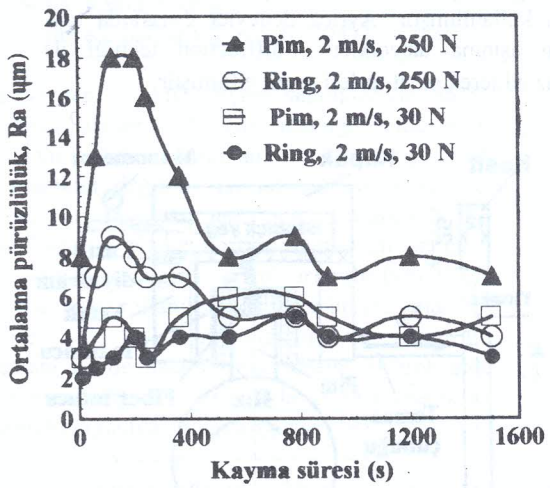


Şekil-2: Yükleme ve sürtünme katsayısını ölçme sistemi

3. DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

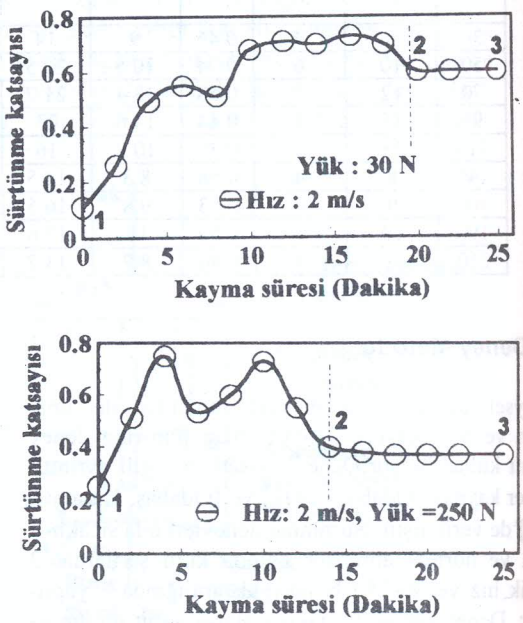
3.1. Yüzey Pürüzlülüğünün Yük İle Değişimi

Bu çalışmada ortalama yüzey pürüzlülüğünün kayma esnasında değişimini belirlemek için 2 m/s'lik hız ve 30 N ve 250 N'luk şartlar için sürtünme deneyleri yapılarak, belli zaman aralıklarında aşınma izlerine dik yönde ortalama pürüzlülük değerleri ölçüldü.Elde edilen Şekil-3'den de görüldüğü gibi ortalama yüzey pürüzlülüğü sürtünmenin başlangıcından itibaren belli bir süreye kadar hızla artarak maksimum olduk- tan sonra azalarak yaklaşık sabit kalmıştır. Maksi- mum pürüzlülük değerine kadar temas metal-metal devam etmiş olup, sürtünme kararsız olarak gerçek- leşmiştir. Kalıcı oksit filminin teşekkülü ile yüzeyler arasındaki temas metal-oksit şekline dönüştüğü için pürüzlülükte bir azalma söz konusudur. Oksit filmi pürüz boşluklarını doldurarak ortalama pürüzlülüğün yaklaşık sabit bir değerde kalmasına neden olmuştur.

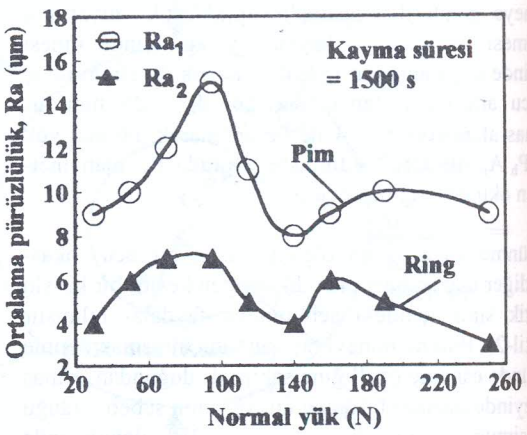


Şekil-3 :Yüzey pürüzlülüğünün kayma süresi ile değişimi

Yukarda verilen deney şartları için sürtünme katsayısının da zamana bağlı olarak değiştiği tespit edilmiştir (Şekil-4).Şekilden de görüldüğü gibi sürtün- me katsayısı temas başlangıcından itibaren belli bir süreye kadar ani artarak, daha sonra azalma göstermekte ve yaklaşık sabit kalmaktadır. Ani artış bölgesine (1-2 bölgesi) " Kararsız sürtünme " ve sabit bölgeye (2-3 bölgesi) de "kararlı sürtünme " bölgesi adı verilebilir [Odabaş, 1996]. O halde kararlı sürtünmede aşınan yüzeylerin sabit bir ortalama pürüzlülüğüne sahip olduğunu ve aynı zamanda kinetik sürtünme katsayılarının da sabit kaldığı söylenebilir

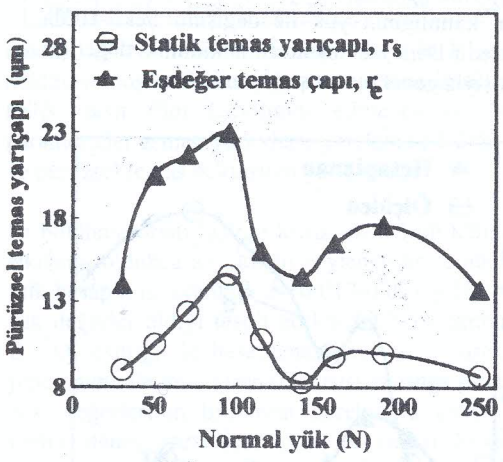


Şekil-4: Sürtünme katsayısının zaman ile değişimi.



Şekil-5 : Yüzey pürüzlülüğünün yük ile değişimi.

Şekil-5 ve 6'da pim ve ringin pürüzlülüğünün ve eşdeğer pürüzsel temas yarıçapının yük ile değişimi görülmektedir. Pim ve ringin ortalama yüzey pürüzlülükleri ve eşdeğer yarıçapı artarak 90 N'luk yükte maksimum olmuştur.Pürüzlülük bu noktadan sonra azalarak 140 N'luk yük noktasında minimum olduktan sonra az da olsa artmıştır. Pürüzlülüğün ve eşdeğer temas yarıçapının maksimum olduğu yük değerine (90 N) kadar yüzeylerde oluşan oksit tabakasının kalınlığı ve mukavemeti düşük olduğundan sürtünme esnasında kırılarak yüzeyler arasında abrasiv aşınmayı teşvik etmiş ve böylece yüzeylerde daha derin aşınma izleri oluşturmuştur. Yükün artışına bağlı olarak yükselen sıcaklığın da etkisiyle oksit tabakasının kalınlığı ve mukavemeti arttığından pürüz boşlukları oksit ile kaplanarak, pürüzlülük azalmıştır.



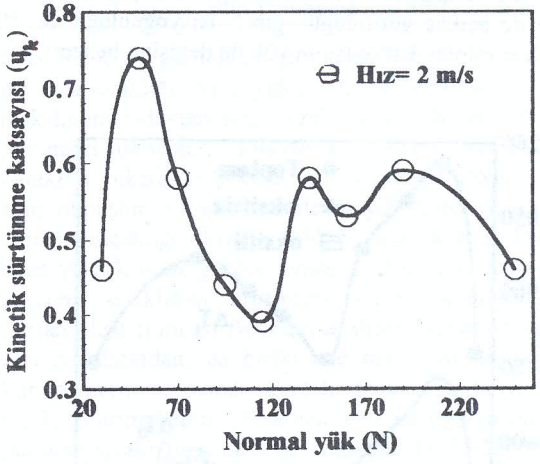
Şekil-6 :Pürüzsel temas yarıçapının yük ile değişimi.

Aşınma partiküllerinin X-Ray Diffraction tekniği ile analizi yapılarak oluşan oksit türleri belirlenmiştir. 30-140 N'luk yük aralığında oluşan oksit türleri Fe_3O_4+Fe_2O_3 karışımı, 160-250 N'luk yük aralığında ise FeO + Fe_3O_4 + Fe_2O_3 oksit karışımları teşekkül ettiği tespit edilmiştir.Bununla beraber parlama sıcaklığının yük ile değişimi için oksitlenme ihmal edilerek ve etkisi hesaba katılarak iki tür analitik hesap yapılmıştır.

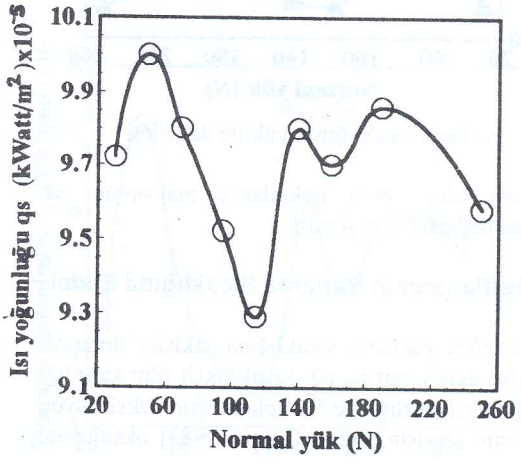
3.2. Parlama Sıcaklığının Yük İle Değişimi

3.2.1. Oksitlenmenin İhmal Edilmesi Durumu

Bu incelemede yüzeylerde hiçbir oksit filmi olmadığı ve temasın tamamen metal-metal olduğu kabul edilmiştir.Parlama sıcaklığının hesabında $Q_s = \mu_k F_N v$ bağıntısıyla hesaplanan sürtünme ısısı kullanılmıştır. Isı yoğunluğu $q_s = Q_S / A_{dr}$ ile ve dinamik sürtünme halindeki gerçek toplam temas alanı ise $A_{dr} = A_{sr}\sqrt{1+\beta\mu_k^2}$ ile hesaplanmıştır.Burada β=25 olarak seçilmiştir.Yukarda verilen eşitliklerden de görüldüğü gibi sürtünme ısısı yük, hız ve kinetik sürtünme katsayısının bir fonksiyonudur.Şekil-7 ve 8'deki eğrilerin şekli birbirinin aynı olup, mukayese edildiklerinde ısı yoğunluğuna etki eden en önemli faktörün sürtünme katsayısı olduğunu söylemek mümkündür. Çünkü heriki şekilden de görüldüğü gibi, sürtünme katsayısı ve ısı yoğunluk değerleri 50 N'luk yükte maksimum, 115 N'luk yük noktasında ise minimum olmuştur.



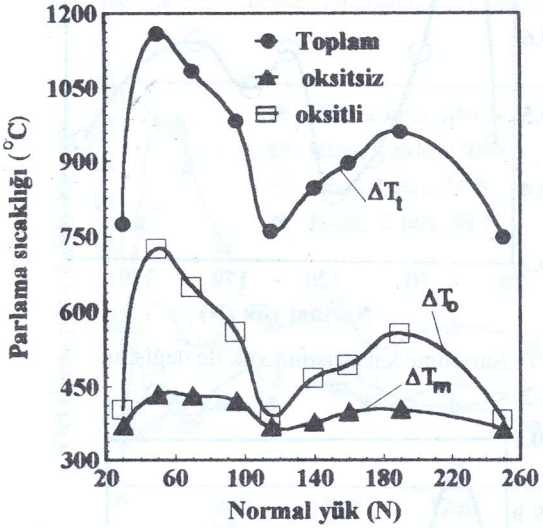
Şekil: 7 : Sürtünme katsayısının yük ile değişimi.



Şekil-8: Isı yoğunluğunun yük ile değişimi.

Parlama sıcaklığının hesabında toplam Q_S ısısının tamamının ayrı ayrı pim veya ringe iletildiği kabul edilerek hesaplanan $N = \pi\, q_s / (\rho\, c_P\, v)$ değerleri kullanılarak, daha önceki teorik çalışmayı anlatan bildiride verilen Şekil-5'deki grafikten $\Delta T_1 / N_1$ ve $\Delta T_2 / N_2$ oranları belirlendi ve buradan ΔT_1 ve ΔT_2 hayali parlama sıcaklıkları hesaplandı. Ortalama parlama sıcaklığı ise $1/\Delta T_m^2 = (1/\Delta T_1^2) + (1/\Delta T_2^2)$ bağıntısı ile hesaplanmıştır.İlgili sonuçlar Tablo-1'de verilmiştir.

Şekil-9'dan da görüldüğü gibi, parlama sıcaklığı 30-115 N'luk yük aralığında, 50 N 'luk noktada maksimum olduktan sonra azalarak 115 N'da minimum olmuştur.Bu farklı değişimi izah edebilmek için sürtünme katsayısı ve eşdeğer pürüzsel temas yarıçapının yük ile değişimini incelemek gerekir. Şekil-7 ve 8'den de açıkca görüldüğü gibi, ısı yoğunluğu ve kinetik sürtünme katsayısının yük ile değişimi benzer



Şekli-9 : Parlama sıcaklığının yük ile değişimi

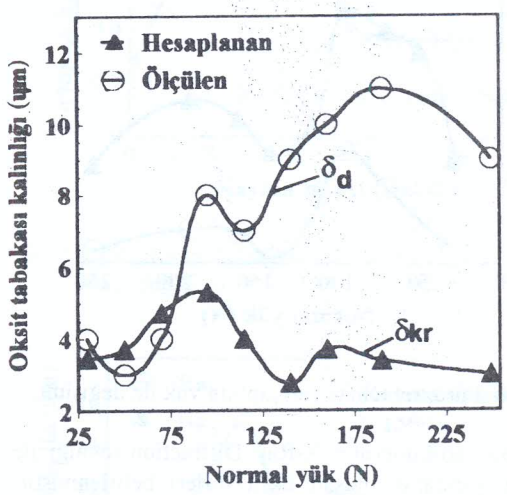
karakaterli olup, aynı noktalarda maksimum ve minimum değerler almışlardır.

3.3. Oksitlenmenin Parlama Sıcaklığına Etkisi

Oksitlenmenin parlama sıcaklığına etkisini anlamak için herbir deney şartına ait kritik oksit film kalınlığı $\delta_{kr}=Br_s[C-Er_s]$ eşitliği ile hesaplanmıştır. Oksidasyon aşınmasının teorisini kuran Quinn [1983] oksitlenme nedeniyle gerçek temas alanların- da dinamik alan büyümesi olmadığını kabul etmiştir. Bu kabulun ışığı altında gerçek temas alanının büyüme faktörü $\beta=0$ olarak alındı ve pürüzsel temas noktasının ortalama temas yarıçapı statik sürtünme için $r_s=2.5 [\sqrt{Ra_1+Ra_2}] / Z_\alpha$ olarak hesaplandı.

Diğer yandan kritik oksit filmi bağıntısındaki katsayılar $B= \pi\lambda_o / 4a\lambda_1$, $C= 0.86$ ve $E = 0.102v [(1-a) / 2\kappa_2]$ olarak hesaplanmıştır.Yüzeyde oluşan oksit tabakasının ortalama ısı iletim katsayısı $\lambda_o=0.366$ Watt/m°K, pim malzemesinin ısı iletim katsayısı $\lambda_1 =$ 29 Watt / m°K ve ring malzemesinin ısıl diffüzite katsayısı $\kappa_2=8x10^{-6}$ m²/s alınarak kullanılmıştır.

Yukarda verilen değerler kullanılarak hesaplanan kritik oksit film kalınlığı ile optik mikroskopla ölçülen oksit film kalınlığının yük ile değişimi Şekil-10'da görülmektedir.Deneysel oksit film kalınlık değerleri yükün artışıyla genel bir artış göstermekte-



Şekil-10 : Oksit tabakasının yük ile değişimi.

dir.Hesapla bulunan teorik değerler ise yükle artarak 95 N'luk yük noktasında maksimum olduktan sonra azalıp 140 N'luk noktada minimum olmuştur. 140-250 N yük aralığında az da olsa bir artma olmuştur. Daha önce Bölüm-3.1'de verilen Şekil-5 ve 6 ile yukardaki Şekil-10 mukayese edildiğinde, teorik oksit film kalınlığı-yük grafiği ile pürüzlülük-yük ve temas

yarıçapı-yük grafiklerinin şekil olarak birbiri- ne benzediği görülür.Her üç grafiğin de maksimum kısmen devam ederek azalmıştır.Isı yoğunluğunun yükle değişim grafinin karakteri Şekil-7'de verilen sürtünme katsayısı-yük grafiği ile aynıdır.

Tablo-2: Peklet sayısı ve parlama sıcaklığının yüke bağlı olarak değişimi.

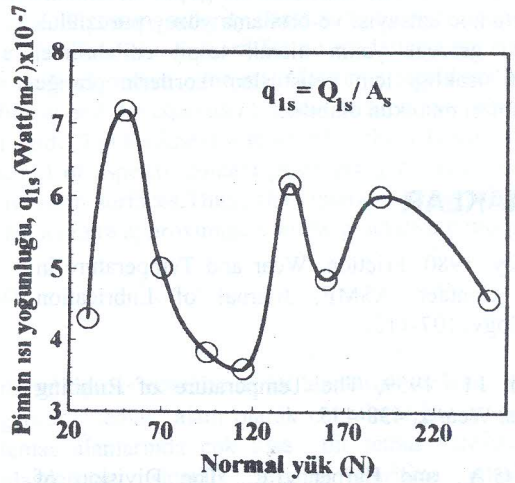
F_N [N]	Pe	N	$\Delta T_1/N_1$	$\Delta T_2/N_2$	ΔT_1 [°C]	ΔT_2 [°C]	ΔT_m [°C]	ΔT_o [°C]	T_1 [°C]	T_2 [°C]	T_3 [°C]	Q_1 [Watt]	Q_2 [kWatt]
30	1.75	850	0.774	0.531	657	451	371	404	267	231	210	61	3.35
50	2.56	880	0.918	0.586	807	515	434	726	343	306	251	69	3.66
70	2.71	858	0.950	0.598	815	511	432	649	410	360	272	86	5.1
95	2.75	832	0.959	0.550	798	497	421	560	485	445	320	103	5.9
115	2	813	0.800	0.535	650	447	368	392	534	469	370	111	6.1
140	1.81	858	0.780	0.550	669	459	378	468	580	523	405	132	6.3
160	2	848	0.800	0.563	768	466	398	494	694	594	460	171	9.3
190	2.2	862	0.842	0.563	725	485	403	556	764	674	500	189	9.4
250	1.71	838	0.770	0.528	645	442	364	383	880	788	593	210	10

noktası 95 N, minimum noktası ise 140 N'luk yük noktası olmuştur.Bu sonuçlardan da anlaşılmaktadır ki kritik oksit film kalınlığını etkileyen en önemli parametreler aşınan yüzeylerin ortalama pürüzlü- lüğü ve pürüzsel temas noktasının yarıçapıdır.

Isı bölünme oranı (a)'nın kritik oksit film kalınlığına etkisinin oldukca az olduğu söylenebilir. Çünkü analitik hesapla ısı oranının a= 0.017-0.021 gibi çok küçük değerler aldığı tespit edilmiştir. Isı oranının a= Q_1/Q_2 eşitliği ile hesaplanabilmesi için sürekli rejimde pime iletimle giren (Q_1) ısısı ve ringe giren (Q_2) ısısı değerlerinin bilinmesi gerekir.Bu çalış- mada herbir deney şartı için pim ve ringin Şekil-1'de görülen noktalarından T_1, T_2 ve T_3 hacim sıcaklıkları ölçülerek, temas yüzeyinin ortalama sıcaklığı $T_o = [T_1 \mathrm{Sinhm} L_1 - T_2 \mathrm{Sinh}(mx)] / \mathrm{Sinhm}\ (L_1.x)$ eşitliği ile analitik olarak hesaplandı [Odabaş,1991].Pime giren ısı $Q_1 = \lambda_1 A_1 (T_1 - T_2) / (L_1 - x)$ ve ringe giren ısı ise $Q_2 = 2\pi\lambda_2 b(T_o-T_3)/\ln(r_1/r_2)$ bağıntıları ile hesaplanmıştır. Sonuçlar Tablo-2'de verilmiştir. Oksitlenme nedeniyle pürüzsel temas noktasında meydana gelen ilave parlama sıcaklığı artışı $\Delta T_{ok} = (Q_{1S}\ \delta_{kr}\ Hv) / (A_s\ \lambda_o\ F_N) = q_{1s}\ \delta_{kr} / \lambda_o$ eşitliğinde de görüldüğü gibi ısı yoğunluğu ve kritik oksit kalınlığının bir fonksiyonudur.Pime giren ısının yoğunluğu $q_{1s} = Q_S [a (1+a)]$ eşitliği ile hesaplanmıştır.

Şekil-11'de pime giren ısı yoğunluğunun yük ile değişimi görülmektedir. Isı yoğunluğu yükle artarak 50 N'luk yükte maksimum olduktan sonra, azalarak 115 N'luk yükte minmum olmuş, daha sonra artmasına

Şekil-9dan da görüldüğü gibi, oksitli hal için ilave parlama sıcaklığı ΔT_{ok} yükle artarak 50 N'luk yükte maksimum olduktan sonra azalarak 115 N'luk yükte minimum olmuştur, dolaysıyla değişim grafiğinin karakteri yukardaki Şekil-5 ve 6 verilen grafikler ile aynı olmuştur. Oksitlenme ile meydana gelen ilave parlama sıcaklığı oksitsiz haldeki sıcaklık artışından daha yüksek olup, gerçek temas noktasındaki toplam parlama sıcaklığını artırmıştır.Temas noktalarında oluşan oksit filmi ısı iletimini azaltarak temas direncini artırdığından, ısı birikimine neden olmakta ve bunun neticesi olarak gerçek temas noktalarının sıcaklığı artmaktadır. Oksitlenmeden ileri gelen ilave parlama sıcaklığına, oksitsiz parlama sıcaklığına ve toplam parlama sıcaklığına etki eden en önemli parametreler ısı yoğunluğu, temas noktası yarıçapı ve kinetik sürtünme katsayısıdır.



Şekil-11: Pimin ısı yoğunluğunun yük ile değişimi

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir :

(1) Temas eden yüzeylerin ilk pürüzlülükleri kararsız sürtünme esnasında bozularak maksimum olmakta ve kararlı sürtünmeye geçtikten sonra azalarak sabit kalmaktadır.

(2) Aşınan yüzeylerin ortalama pürüzlülüğü yüke bağlı olarak oksitlenme başlangıcına kadar artar. Fakat oksitlenme ile azalarak sabit bir değere sahip olmaktadır.

(3) Kararlı sürtünmede kinetik sürtünme katsayısı. oksitlenme nedeniyle yükle ters orantılı olarak azalmaktadır.

(4) Pürüzsel temas noktasının boyutu yüke bağlı olarak oksitlenme başlangıcına kadar artar.Fakat oksitlenme ile azalır.

(5) Oksitli ve gerek oksitsiz hal için parlama sıcaklığının yük ile değişimi sürtünme katsayısı, gerçek temas alanı boyutu ve ısı younluğunun bileşik etkisine bağlıdır.

(6) Oksitlenme pürüzsel temas noktalarında ilave bir parlama sıcaklığı artışı sağlar.Oksitli halde toplam parlama sıcaklığı oksitsiz haldeki parlama sıcaklığının yaklaşık iki katı olmaktadır.

Bu çalışmada genel olarak pürüzlü iki yüzey arasında gerçek temas alanlarında meydana gelen parlama sıcaklığının deneysel-analitik bir analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar sadece pim-ring sistemi için geçerlidir. Pratikte kullanılan triboloik sistemlerin her birinin geometrisine uygun ısı tranfer modelleri geliştirilerek, hem laboartuar ve hem de işletme şartları için sürtünme elemanlarına geçen ısı miktarları, sürtünme katsayısı ve ortalama yüzey pürüzlülük değerleri gerçeğe yakın olarak tespit edilebilirse, parlama sıcaklığı için geliştirilen teorilerin pratiğe uygulanması mümkün olabilir.

KAYNAKLAR

Al Rubey, 1980, Friction, Wear and Temperature in Sliding Contact, ASME, Journal of Lubrication Technology, 107-112.

Archard, J.I., 1959, The Temperature of Rubbing Surfaces, Wear 2, 438-455.

Berry, G.A., and Barber, J.R., The Division of Friction Heat a Guide to The Nature off Sliding Contact, Journal of Tribology, Vol.106, 405-415.

Blok, H., 1963, The Flash Temperature Concept, Wear 6, 483-494.

Dimarogonas, P., 1977, Flow of Friction Heat and Design Temperatures at Sliding Contact, ASME, Vol.113,123-134.

Floquet, A., and Play, D., 1983, Contact Temperature in Dry Bearings : Three Dimensionam theory and Verification, Journal of Lubrication Technology, 243-252.

Furey, M.J., 1969, Surface Temperature in Sliding Contact, ASLE, Transactions, 417-422.

Hou, K., and Wen, S., 1988, Temperature Measurement in Elastohydrodynamic Lubrication Contacts Using an Infared Technique, Tribology International, Vol.21, 287-289.

Kennedy, F.E. J.R., 1981, Surface Temperature in Sliidng Systems a Finite Element Analysis, Journaol of Lubrication Technnology, Vol.103, 97-103.

Wrigth, P.K., and Trent, E.M., Metallographic Methods off Determining Temperatures Gradients in Cutting Tools, Journal of Iron Steel Inst. Vol.211, 364-388.

Quinn, T.F.J., 1983, Review of Oxidational Wear Part-I: The Orijins Of Oxidational Wear, Tribology İnternational, 257-271.

Odabaş, D.,1991,Kuru Sürtünme Şartlarında Termomekanik Faktörlerin AISI 3315 Çeliğinin Aşınma ve Sürtünme Davranışına Etkilerinin Teorik Ve Deneysel Araştırılması,E.Ü.M.F.Doktora Tezi, Kayseri.

Odabaş, D., Karamış, M.B. ve Kahraman, N., 1995, Pim-Disk Sürtünme Sisteminde Temas Yüzeyi Sıcaklığının ve Sürtünme Isısının Teorik ve Deneysel Araştırılması, 6. Denizli Malzeme Sempozyumu 12-14 Nisan, Denizli, 216-225

Odabaş, D., 1996, Kuru Sürtünmede Kayma Hızının AISI 3315 Çeliğinin Sürtünme Ve Aşınma Davranışına Olan Etkilerinin Deneysel Araştırılması, 7.Uluslararası Makina Tasarım Ve İmalat Kongresi, 11-13 Eylül, ODTÜ, Ankara, TÜRKİYE.