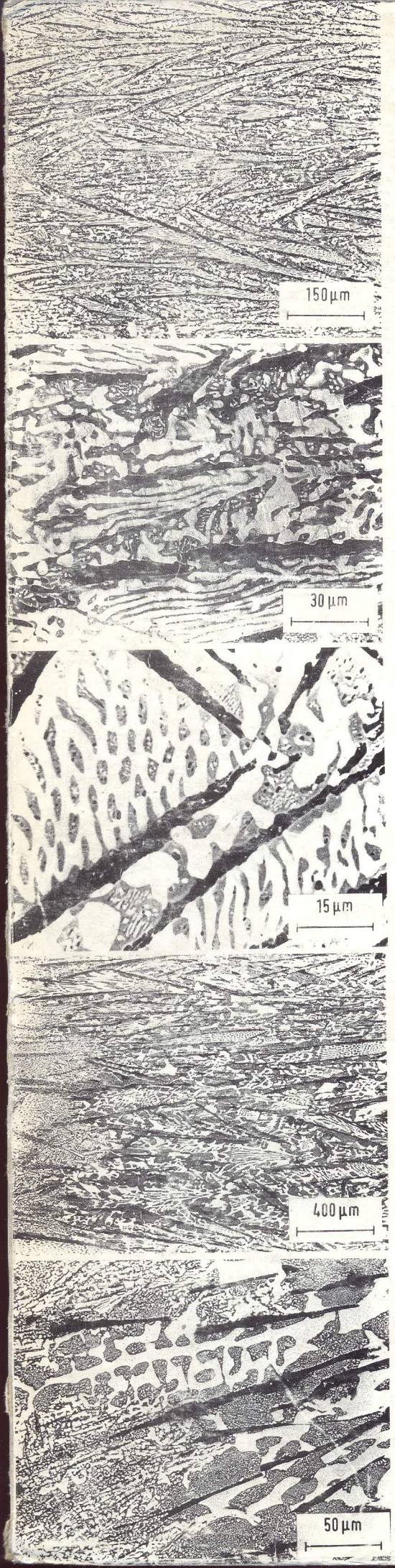
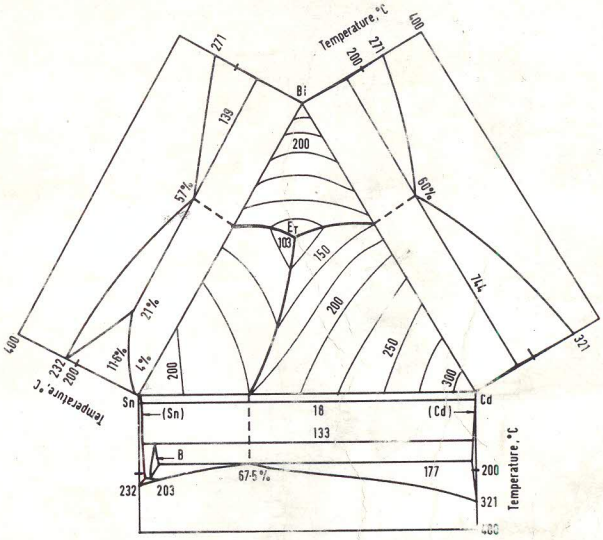


5. Denizli Malzeme Sempozyumu

7 - 8 - 9 Nisan 1993



BİLDİRİLER

CİLT 2

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
DENİZLİ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
Hidrostatik Yüklemeli Yeni Bir Pim-Disk Aşınma Deney Tesisatı Tasarımı ve İmalatı Durmuş ODABAŞ, M. Baki KARAMIŞ	412
Makina Elemanlarının Tribolojik Dizaynı ve Aşınma Etkilerine Dayanıklı Malzeme Seçimi Halis ÇELİK, M. Mustafa YILDIRIM, Yücel GENCER	422
Çelik Alaşımlarında Yüksek Gerilmeli Aşınma Mekanizmasının İncelenmesi Mehmet H. KORKUT, M. Mustafa YILDIRIM	429
Yüksek Karbonlu Çeliklerde Mikroyapı ve Aşınma Karakteristiklerinin Optimizasyonu Zerrin ÖKTEM, Sakin ZEYTİN, Murat TEPECİK, Levon ÇAPAN	438
Karbonlu Çeliklerde Aşınma Mustafa TOPARLI, Sadri ŞEN	448
Nikel ve Demir Esaslı İki Alaşımın Yüksek Sıcaklıklardaki Aşınma Davranışları Halis ÇELİK, Hüseyin ÇİMENOĞLU, E. Sabri KAYALI	454
Yüksek Sıcaklıkta Aşınma Ve Oksidasyona Dayanıklı CrCoNi Süperalaşımında Silisyumun Etkisi Havva KAZDAL, Serdar SEVİK, Ahmet GÜLTEKİN	463
Tribolojik Deney Parametrelerinin "Ball-On-Disc" Metodu ile Optimizasyonu Murat TEPECİK, Hasan ÇEP, Sakin ZEYTİN	470
AISI D3 Kalite Soğuk İş Takım Çeliğinde Aşınma Özelliklerinin Isıl İşlemlerle Değişimi Hasan ÇEP, Sakin ZEYTİN, Murat TEPECİK, Mehmet KOZ	476

5. DENİZLİ MALZEME SEMPOZYUMU
7-8-9 NİSAN 1993

HİDROSTATİK YÜKLEMELİ YENİ BİR PİM-DİSK AŞINMA DENEY TESİSATI TASARIMI VE İMALATI

Durmuş ODABAŞ* M. Baki KARAMIŞ**

ÖZET

Bu çalışmada yeni geliştirilen üniversal bir sürtünme-aşınma deney makinası tanıtılmıştır. Kuru ve yağlamalı sürtünme şartlarında oluşan sürtünme sıcaklığı ve katsayısının ölçülmesine imkan veren ve pim-disk sistemiyle çalışan bu test makinası detaylarıyla açıklanmıştır.

Sürtünme çiftlerinin temas yüzeylerinin ayarlanmasına ve istenilen boyutda pim ve disk numuneler kullanılmasına imkan verecek bir esneklikte olması için test makinasının elemanları çözülebilir şekilde dizayn edilmiştir. Yükleme hidrostatik olduğundan istenilen konumda yük uygulamak ve temas sağlamak mümkündür. Bu test makinası yüksek hız ve yükleme ile kuru sürtünme şartlarında başarıyla kullanılmıştır.

ABSTRACT

In this study, the universal friction-wear test machine designed originally has been presented. With this test machine, that works according to the pin-on disc system, the temperature and coefficient of friction can be determined under dry and lubricated sliding friction conditions.

In order to adjust the contact surfaces of friction pairs and to make possible the using of the pin and disc samples with all dimensions, the members of the test machine have been designed as loosenable. Test loads are applied hydrostaticaly so, it is possible to provide the contact in every positions. This test machine has been used successfully for the metal-metal wear tests at the high speed and heavy loading conditions of dry sliding friction.

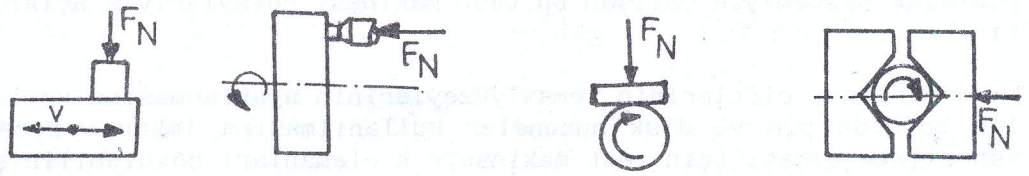
1. GİRİŞ

Pratikte kullanılan tribo-mühendislik sistemlerinin izafi hareket yapan elemanlarının sürtünme ve aşınma özelliklerinin incelenmesinde işletme ve model deney metodları uygulanır /1,2/. İşletme deney metodu, pratik sistem üzerinde ve gerçek çalışma şartlarına göre, sürtünen elemanların belli bir süre aşınmasının gözlenmesi şeklinde uygulanır. Fakat işletme şartlarında meydana gelen küçük değişmeler sonuç-

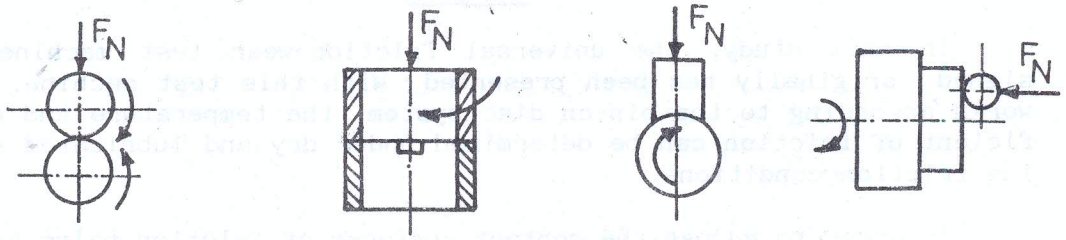
* Yrd. Doç. Dr., Erciyes Üniv., Mühendislik Fakültesi, Kayseri
** Doç. Dr., Erciyes Üniv., Mühendislik Fakültesi, Kayseri.

ları büyük oranda etkileyeceğinden elde edilen neticeler güvenilir olmaz. Diğer yandan bu usul masraflıdır. Bu mahsurları ortadan kaldırmak için birçok model deney metodları geliştirilmiştir. Bunların sayısı yaklaşık 200 civarındadır /2/. Metal-metal aşınması için geliştirilen model deney sistemlerinin temel prensipleri Şekil-1'de toplu olarak verilmiştir.

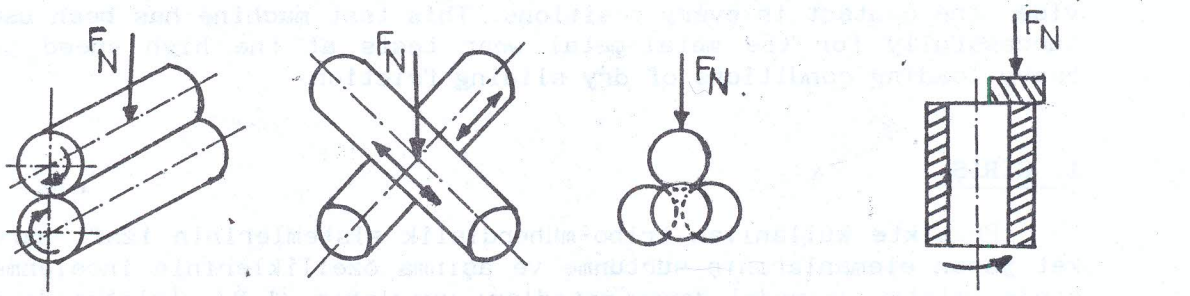
Tribolojide en zor işlemlerden biri hiç şüphesiz pratikte kullanılan mekanik sistemlerin model deney uygulamalarıdır. Çünkü tribolojik olaylar ve parametreler oldukca fazladır. Model deney uygulamalarında, öncelikle pratik sistem için gerekli bilgiler toplanarak deneyler için gerekli olan şartlar özel hallere dönüştürülür. Böylece



a) Gidip-gelme sistemi b) Pim-disk sistemi c) Plaka-silindir sistemi d) Flax sistemi



e) Silindir-silindir sistemi f) Siebel-Kehl sistemi g) Pim-disk sistemi h) Bilya-disk sistemi



i) Amsler sistemi j) Çapraz silindir sistemi k) Dört küre sistemi l) Değiştirilmiş Siebel-Kehl sistemi

Şekil-1: Metal-metal aşınmasında kullanılan temel sistemler /3,4/

pratik sistem ilk adımda tribolojik bir sistem gibi düşünülür. Bir model deney sisteminin seçiminde şu işlemler yapılır /5/ :

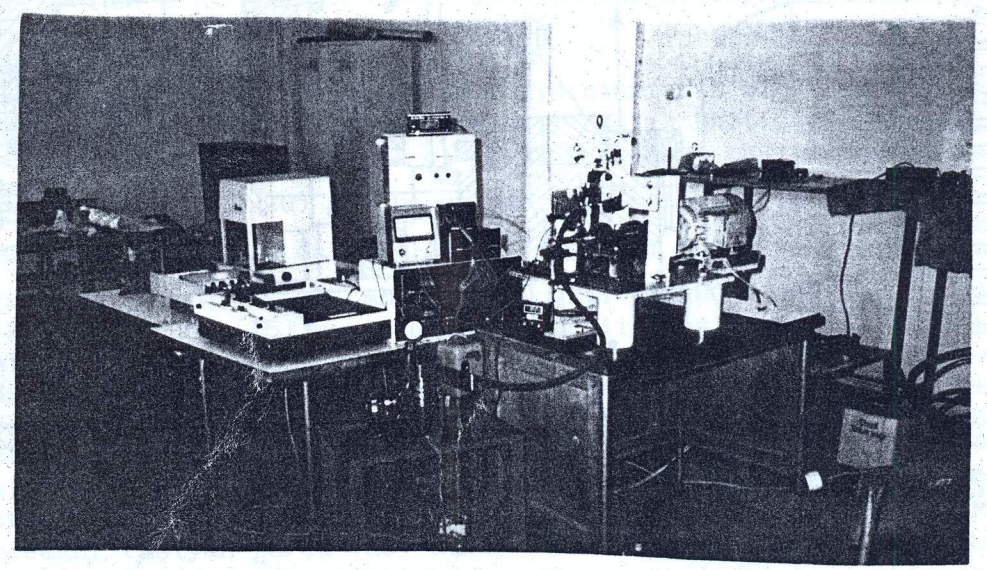
1. Önce sürtünme elemanlarının malzeme özellikleri ve hareket türleri belirlenir.
2. Yaklaşık bir benzeşim kriteri seçilir.
3. Pratik ve model sistemlerin tribolojik özelliklerinde benzerlik sağlanıncaya kadar çalışma şartları değiştirilir.

Bir muylu-yatak sürtünmesinde pratik sisteme benzer deney sistemi, pim-disk ile teşkil edilir ve benzeşim kriteri olarak da sürtünme çiftlerinin yüzeylerinin aşınma şekilleri alınır. Öyleki aşınma şekilleri mikroskopla incelenerek aşınan yüzeyler aynı görünüşe sahip olunçaya kadar işletme değişkenleri ayarlanır ve deneye devam edilir. Böylece tribo-teknik makinaların dizaynında sistem benzeşimi uygulanarak ve uygun sürtünme çifti seçilerek optimum çözüme ulaşılır

Bu çalışmada metal-metal aşınmasında meydana gelen termomekanik faktörlerin araştırılmasına imkan veren yeni bir pim-disk sisteminin dizaynı ve özellikleri anlatılmaktadır.

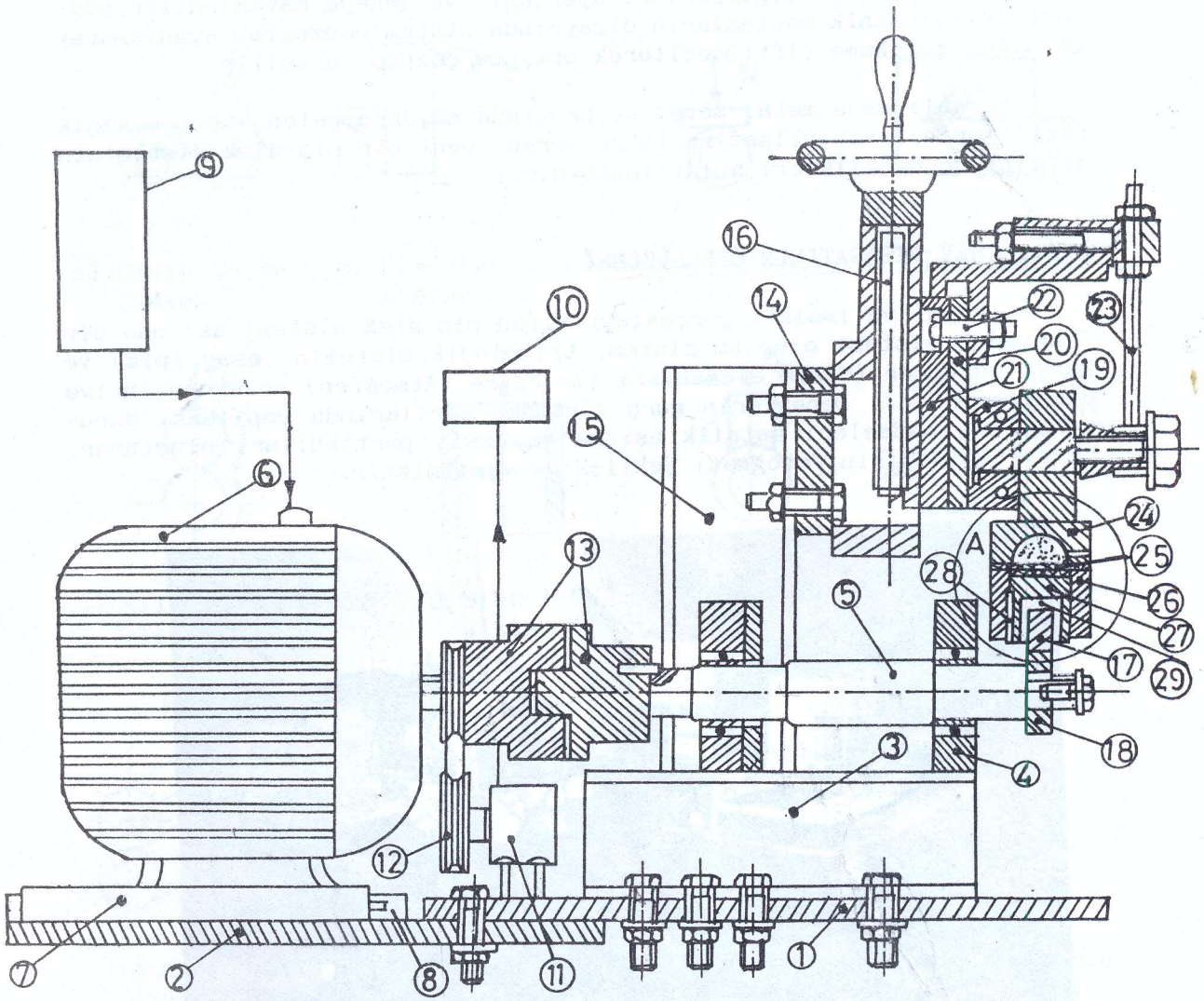
2. DENEY TESİSATININ ÖZELLİKLERİ

Dizaynı ve imalatı gerçekleştirilen pim-disk sistemi aslında bir " kayma " sistemi olup bu sistem, tribolojik sistemin esas (pim) ve karşı sürtünme (disk) elemanları ile çevre (Atmosfer) unsurunu ihtiva etmektedir /6/. Deneylerin kuru sürtünme şartlarında yapılması durumunda ara maddeleri metalik aşınma ve oksit partikülleri oluşturur. Deney tesisatının fotoğrafı Şekil-2'de verilmiştir.



Şekil-2 : Pim-disk sisteminin fotoğraf görüntüsü /6/.

Deney tesisatı, Şekil-3'den de görüldüğü gibi boyutları sırasıyla (500x500x16) mm^3 ve (600x160x20) mm^3 olan iki plakanın cıvatalar ile birbirine bağlanmasından oluşan bir alt tabla üzerine kurulmuştur. (1) nolu plaka üzerine 240 mm uzunluğunda ve (50x80) mm^2 kesitinde U profilinden iki adet yatay taşıyıcı (3) birbirine paralel olacak şekilde yerleştirilmiştir. Bu taşıyıcıların plaka üzerine gelen yüzeylerine iki uçtan kanallar açılarak cıvatalar ile alt plakaya tespit edilmiştir. Cıvata yuvalarının kanal şeklinde yapılmasının esas nedeni pim-disk sisteminde tam yüzey teması sağlamak için gerekli ayar hareketlerini kolayca gerçekleştirmektir. Taşıyıcıların üzerine cıvatalar vasıtasıyla bağlanan iki adet rulmanlı yatak (4) ve muylu çapı



Şekil-3 : Pim-disk deney tesisatının montaj resmi /6/.

ϕ35 mm olan 350 mm boyunda kademeli mil (5) yer almaktadır. Mili taşıyan yatakların sökülebilir olması, yatak altına yerleştirilen lastik conta vs. gibi elemanlar kullanılarak milin yatay paralelliğini ayarlamak imkanı sağlar.

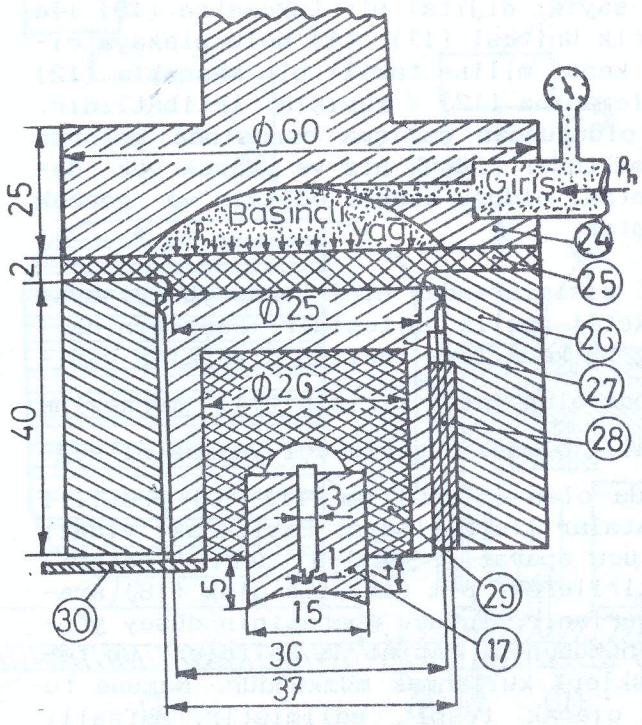
Kademeli milin numuneye takılan kısmının çapı ϕ20 mm olup, üzerinde ϕ4 mm olan bir kama yuvası vardır. Ayrıca muylunun alnındaki deliğe M10 vida dişi açılarak diskin mil üzerine sabitlenmesi sağlanmıştır. Kademeli mil diğer ucundan bir kama ve esnek kavramayla, (2) nolu plaka üzerinde yer alan 10 BG, 2800 d/d karakteristiklerine sahip üç fazlı bir AC asenkron elektrik motoruna (6) irtibatlandırılabilir şekilde dizayn edilmiştir. Bu motor 300 mm boyunda, (40x40) mm^2'lik (L) profilinden iki köşebent (7) üzerine ayaklarından cıvatalar vasıtasıyla bağlanmıştır. Plaka üzerine aynı profil ve boyutta karşı köşebentler (8) yerleştirilerek köşebentler arasında kızaklama hareketi sağlanmış ve böylece elektrik motorunun kademeli mille beraber eksenel yönde hareket etmesine imkan sağlanmıştır. Böylece deney numunelerinin kusursuz bir şekilde teması için ayarlama yapılabilmektedir. Elektrik motorunun hızı kademesiz olarak bir AC hız kontrol ünitesiyle (9) sağlanmaktadır. Böylece sistem doğrudan tahrik edilerek güç kayıpları ve tireşimler önlenmekte ve daha geniş hız aralıklarında çalışma imkanı sağlanmaktadır.

Diğer yandan motorun devir sayısı dijital bir takometre (10) ile ölçülmektedir. Takometrenin tahrik ünitesi (11), (1) nolu plakaya cıvatalar ile tespit edilmiş olup kendi miline takılı bir kasnakla (12) motor mili üzerindeki kavrama elemanına (13) V kayışla irtibatlıdır. Her iki eleman da eşit çaplı olduğundan çalışma esnasında motorun devri takometreye aynen aktarılmaktadır. Düşük hız ve yüksek yük değerlerinde % 10 luk bir devir hatası olduğu tespit edilmiş ve gerçek hız hesapları buna göre yapılmıştır.

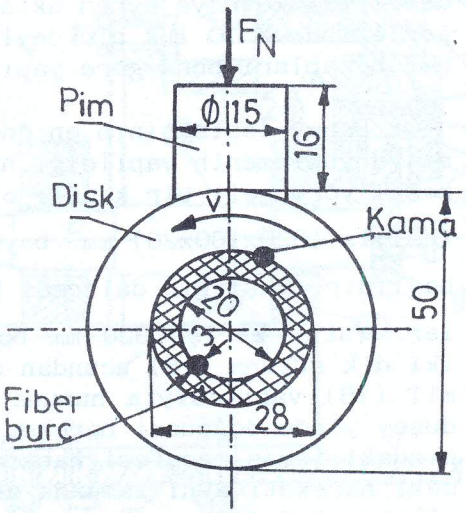
Deney tesisatının en önemli kısımlarından biri temas yüzeyi ayarı ve yüklemenin yapıldığı hareketli başlık ünitesidir. Başlığın dairesel yörüngeli bir kanalı olup, bu kanallara takılan cıvatalar vasıtasıyla (320x100x20) mm^3 boyutunda olan yatay kirişin (14) merkezine bağlıdır. Başlığın dairesel kanallı olması düşeyle açı yapmasını sağlar. Yatay kiriş, 320 mm boyunda olan (50x80) mm^2'lik (U) profilli iki dik sütuna (15) ucundan cıvatalar ile bağlıdır. Başlıkdaki vidalı mil (16) vasıtasıyla numune tutucu aparat (Şekil-3' deki A detayı) düşey yönde doğrusal hareket ettirilerek, pim (17) ile disk (18) arasındaki temas mesafesi kabaca ayarlanır. Tutucu aparatının düşey yöndeki hareketi aynı zamanda disk numunenin çapını da belirler. Bu tesisatta 2.5-100 mm çapındaki diskleri kullanmak mümkündür. Numune tutucu, mafsallı elemana (19) rijit olarak tespit edilmiştir. Mafsallı elemanı taşıyan parça (20) düşey yönde hareket eden kızaklı bir elemana (21) bir cıvata (22) vasıtasıyla merkezinden bağlanmıştır. Fakat mafsallı elemanı taşıyan ünite bu cıvata etrafında dönme hareketi yap-

tığından, tutucunun düşeyle belli bir açı yapması sağlanabilir. Böylece pim ile disk numunenin düşey eksenleri çakıştırılarak temas yayları arasında tam bir çevresel temas sağlanmış olur. Pim ile disk arasındaki yatay eksen paralelliği, numune tutucunun mafsal etrafında ve kademeli milin ekseni doğrultusunda hareket ettirilmesiyle sağlanır. Temas yüzeyleri arasında eksenel paralellik sağlandıktan sonra, mafsallı eleman bir destek çubuğu (23) ile sabitlenir

Numune tutucu iki silindirik elemandan meydana gelmiştir (Şekil-4). Üstteki silindirik eleman (24) basınç haznesini ihtiva eder. Yükleme hidrostatik yapıldığından, yağ bir hidrolik pompayla bu hazneye verilir. Haznedeki yağ hidrostatik basınçla lastik diyaframı (25) esneterek, alt silindirik eleman (26) içindeki kaymalı yataklanmış iç tutucuya (27) basınç kuvveti uygular. İç tutucunun çapı yatağın çapından 1 mm düşüktür. Bu boşluğun verilmesinin esas nedeni sürtünme esnasında numunenin sürtünme kuvveti yönünde esnemesini sağlayarak sürtünme kuvvetinin ölçülmesine imkan vermesidir. İç tutucu, silindirik elemanın iç yüzeyine üstten yarım küresel flanşlı çıkıntısıyla temas eder. Bu flanş bir nevi hareketli mafsal rolü oynayarak iç tutucunun kayma hareketi yönünde esnemesine yardımcı olur. Ayrıca iç tutucunun yatak içinde dönmemesi için bir pim (28) kullanılmıştır. İç tutucunun içine fiber malzemesinden silindirik bir eleman (29) yerleştirilmiştir. Bu elemanın vazifesi ısı izolasyonu sağlayarak pimdeki ek-



Şekil-4 : Yükleme ünitesi (A detayı)

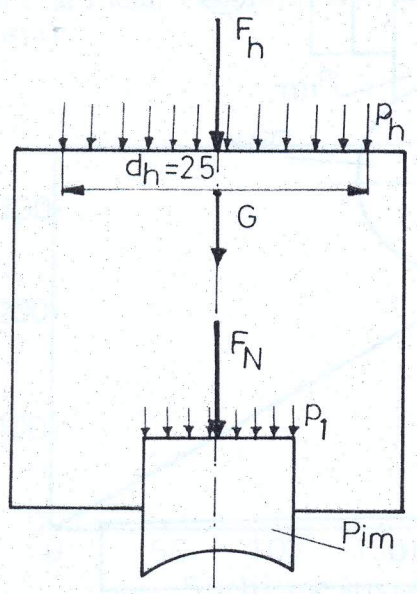


Şekil-5 : Sürtünme elemanlarının boyutları.

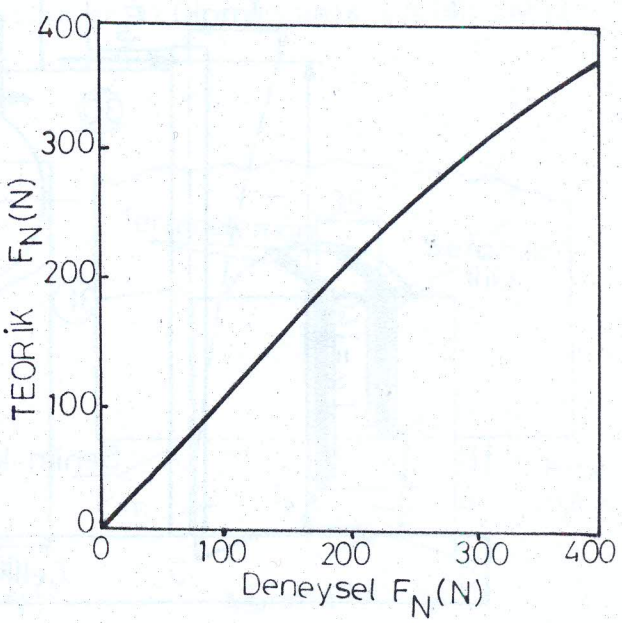
senel ısı iletimini kesip, sistemin daha erken sürede sürekli rejime geçmesini sağlamak ve lastik diyaframı yüksek sıcaklıktan korumaktır. İç tutucunun diskin dönme yönündeki yan yüzeyine (20x3x3) mm^3 boyutunda bir çelik levha (30) kaynatılmıştır. Bu levha bir ucundan sehim kirişine (31) temas ederek, kayma hareketi esnasında meydana gelen sürtünme kuvvetinin etkisini iletir. İç tutucu, normal yükün uygulanması, sürtünme kuvvetinin ve sıcaklığının ölçülmesi gibi üç önemli görevi yerine getirir. Sürtünme elemanlarının geometrisi Şekil-5'te verilmiştir.

3. NORMAL YÜKÜN HESAPLANMASI VE ÖLÇÜLMESİ

Basınç haznesindeki yağın basıncı (p_h), hidrolik pompanın manometresinden okunan basınca eşittir. Lastik diyaframla iç tutucu arasındaki etkili temas çapı d_h=0.025 m'dir. Buna göre etkili temas alanı $A_h = \pi d_h^2/4 = 4.9x10^{-4}$ m^2 olup, iç tutucuya gelen normal basınç kuvveti $F_h = p_h x A_h$ [N] olarak hesaplanır. Şekil-6'dan da görüldüğü gibi pim numuneye gelen teorik normal kuvvet $F_N = G + p_h x A_h$ ifadesiyle hesaplanır. Burada G =3 [N] olup, iç tutucunun numuneyle beraber ağırlığıdır. Deneysel olarak pime gelen hidrostatik yağ basıncı değerle-



Şekil-6: Normal yüklemenin şematik görünüşü

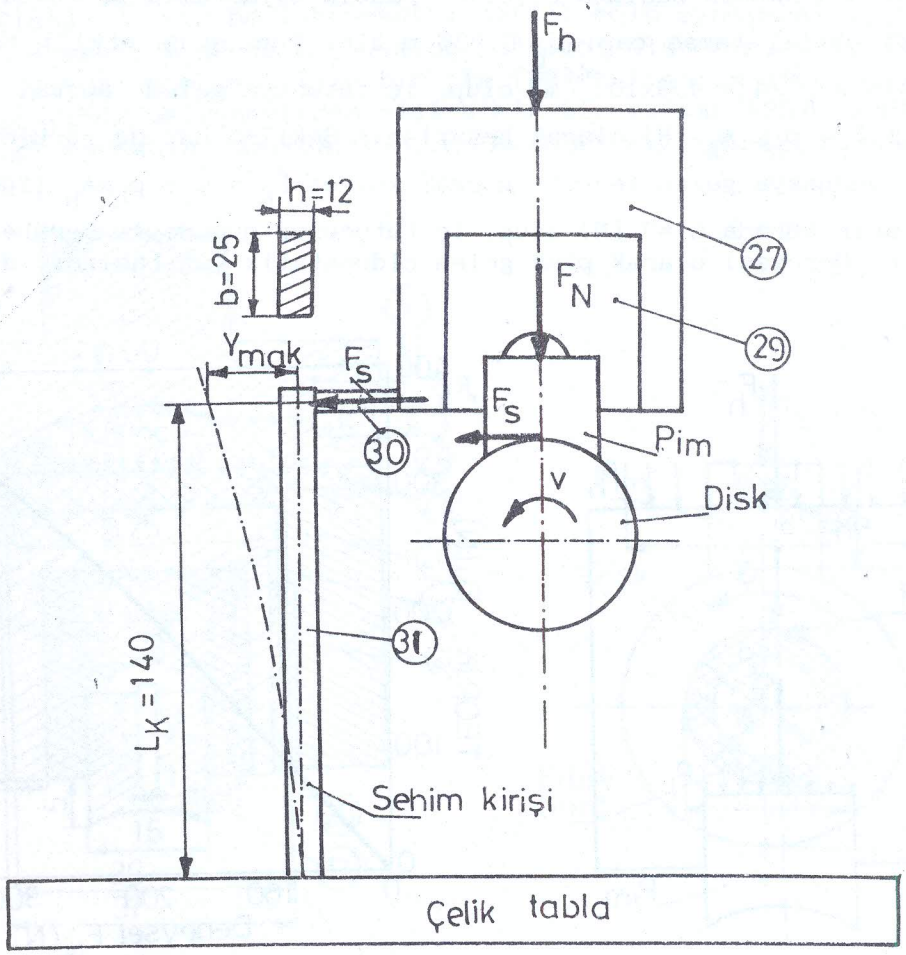


Şekil-7 : Teorik ve deneysel yük arasındaki ilişki /6/.

rinin normal kuvvet olarak karşılığı bir yay dinomametresiyle ölçülerek, Şekil-7'de verilen teorik ve deneysel yük grafiği elde edilmiştir. 0-300 N deneysel yük aralığında teorik yük ile deneysel yük arasında lineer bir değişme söz konusudur. 300 N'dan sonra bu lineerlik bozularak iki yük arasında fark meydana gelir. Buna sebeb, lastik diyaframın genleşmesinden dolayı tutucu ile olan temas alanının biraz artmasıdır.

4. SÜRTÜNME KATSAYISININ HESABI

Sürtünme katsayısının ölçülmesinde bir ucu ankastre, diğer ucu serbest olan dikdörtgen kesitli bir çelik kirişin elastik sınır içindeki sehiminden faydalanılmıştır (Şekil-8). Diskin dönme hareketiyle kirişin serbest ucunda meydana gelen maksimum sehim miktarı $Y_{maks} = F_s x(1_k^3)/ (3\ ExI)$ [m] ifadesi ile hesaplanır [6]. Burada F_s [N] sürtünme kuvveti, 1_k [m] kirişin boyu, E [N/m^2] kiriş malzemesinin elastik-

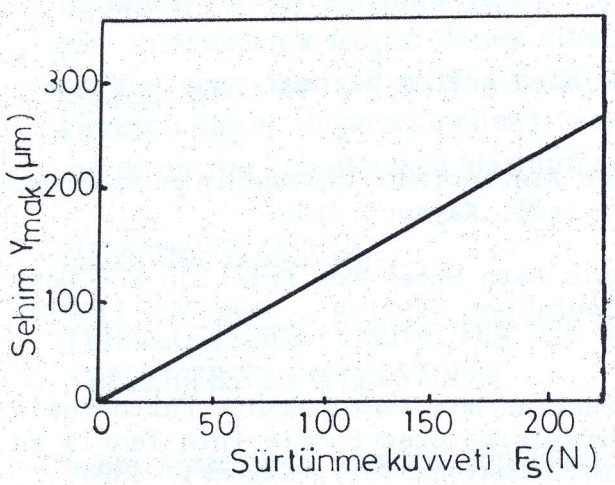


Şekil-8 : Sürtünme katsayısının ölçülmesi.

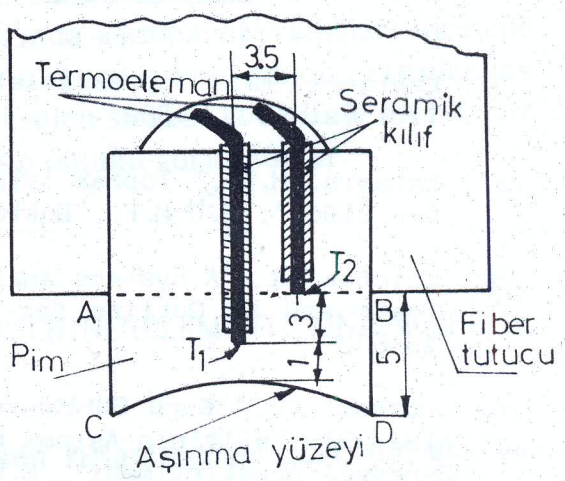
lik modülü ve $I = bxh^3 / 12$ [m^4] kiriş kesitinin atalet momenti olup, $I = 3.5x10^{-9}$ m^4 olarak hesaplanmıştır. $E = 21x10^{10}$ [N/m^2] olarak alındığında, buna göre sürtünme kuvveti $F_s = 80x10^4 x Y_{maks}$ [N] olarak hesaplanır. Kirişin serbest ucundaki sehim bir deplasman transduseriyle ölçülmektedir. Kalınlık mastarlarıyla kalibre edilen transduserin hata katsayısı 1.20 olarak tespit edilmiş ve buna göre okunan sehim değerleri bu katsayı ile çarpılarak, sürtünme katsayısı gerçeğe yakın olarak hesaplanmıştır. Kirişin sehim miktarı ağırlık asma usulüyle tespit edilerek sehim-sürtünme kuvveti diyağramı elde edilmiştir (Şekil-9). Sürtünme katsayısı ise $\mu = F_s / F_N$ eşitliğinden hesaplanır.

5. PİM NUMUNENİN HACİM SICAKLIĞININ ÖLÇÜLMESİ

Pim numunenin aşınan yüzeyine yakın bölgelerdeki hacim sıcaklığının ölçülmesinde termoeleman tekniğinin uygulanması esas alınmıştır. [K] tipi termoeleman kullanılarak aşınan yüzeyden 1 ve 4 mm içteki hacim sıcaklıkları ile pimin atmosfere açık yüzeyinin sıcaklığını ölçmek mümkün olmuştur (Şekil-10). Numune ekseni üzerinde sürtünme yüzeyinden 1 mm iç taraftaki ölçüm noktasına ϕ3 mm çapında bir delikle ulaşılmış ve bu deliğin 2 mm uzağına aynı çaplı ikinci bir delik delinerek yüzeye 4 mm yaklaşılmıştır. Termoelemanların temas uçlarının haricinde numuneye temas etmemesi ve aynı zamanda yüksek sıcaklık şartlarından etkilenmemesi için açılan deliklere seramik tüpler takılmıştır.



Şekil-9: Sehim-sürtünme kuvveti diyağramı



Şekil-10: Pimde sıcaklık ölçme noktaları.

Diskin sıcaklığını ölçmek için diskle beraber bir mafsal etrafında dönen termoeleman kullanılmış, ancak bu elemanın algılama ucunun sürtünme nedeniyle % 10 hata verdiği tespit edilmiştir. Hareketli elemanların sıcaklığının ölçülmesinde temassız tekniklerin kullanılmasının daha uygun olacağı kanaatine varılmıştır.

6. SONUÇLAR

Konstrüksiyonu ve imalatı gerçekleştirilerek malzemelerin aşınma ve sürtünme özelliklerinin araştırılmasında başarı ile kullanılan pim -disk deney tesisatının özellikleri şöyle özetlenebilir : Sistem yüksek kayma hızlarında daha az titreşimle çalışır ve tam yüzey teması sağlar durumdadır. Kaymalı sürtünme yapan kuru ve yağlamalı pratik sistemleri daha iyi karakterize etmesinin yanında, tek yönde kayma hareketi yaptığından, sürtünme kuvveti hareket değişiminden daha az etkilenir. Pim numune sabit olduğundan yüzey altı termoeleman tekniği ile hacim sıcaklığının ölçülmesi kolaylaşır. Sürtünme ısısı ile etkilenen aşınma yüzeyi daha büyük olduğundan metallografik incelemede kolaylık söz konusudur.

KAYNAKLAR

/1/. Odabaş, D.," Ötektoidaltı Çeliklerin Kayma Sürtünmesi Aşınmasında Adhesiv Aşınma Katsayısının Araştırılması", E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri 1987.

/2/. Demirci, A.H.," Ötektoidaltı Alaşımsız Çeliklerin Yeni İmal Edilen Bir Sürtünme-Aşınma Deney Standında Isıl İşlemlere Bağlı Olarak Aşınma Davranışlarının İncelenmesi Ve Optimizasyonu", E.Ü.M.F., Doçentlik Tezi, İzmir, 1982

/3/. Kantarcı, M.S,"Toprak İşletme Aletlerinde Aşınma", Doktora Tezi, İTÜ, İstanbul, 1982.

/4/. Karamış, M.B.," Toprak İşletme Aletlerinde İş Organının Aşınmasının Etüdü", E.Ü.M.F., Doktora tezi, Kayseri, 1985

/5/. Czichos, H.,"A Systems Analysis Data Sheet for Friction and Wear Tests and an Outline for Simulative Testing", Wear 41 (1977), 45-55.

/6/. Odabaş, D.," Kuru Sürtünme Şartlarında Termomekanik Faktörlerin AISI 3315 Çeliğinin Aşınma Davranışına Olan Etkilerinin Teorik Ve Deneysel Araştırılması", E.Ü.M.F. Doktora Tezi, Kayseri, 1991.