

METAL ESASLI MALZEMELERİN MEKANİK TESTLERİ AŞINMA SÜRTÜNME DENEYLERİ

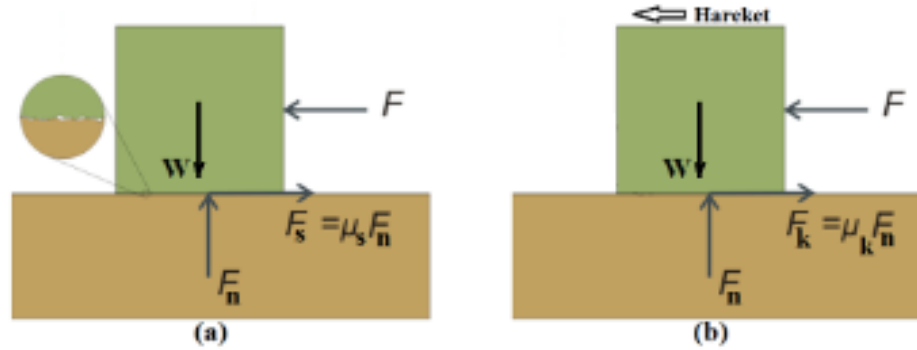
Dr. Öğr. Üyesi Nilhan ÜRKMEZ TAŞKIN

Tasarım ve malzeme seçimi kistaslarının iyi bir şekilde uygulanmasına rağmen günlük hayatımızın farklı alanlarında kullandığımız ve çeşitli malzemelerden yapılmış cihazlarda veya teknolojik uygulamalarda kullanılan makine parçalarında çalışma esnasında oluşan çeşitli hasar tiplerinden dolayı beklenen performansın oldukça altında bir çalışma verimi ile karşılaşabilmektedir. Hasar sebepleri incelendiğinde oluşan hasarların yanlış malzeme seçimi, tasarım ve üretim hataları, hatalı ısıl işlem, beklenmeyen ve uygun olmayan çalışma şartları ve kalite kontrol hatalarından kaynaklandığı anlaşılmaktadır. Makine elemanlarının çalışma verimini düşüren ve üretim maliyetlerini artıran hasar tiplerinden biri de aşınmadır [1]. Geçmişten günümüze artan teknolojiyle birlikte makine elemanlarındaki çalışma toleranslarının oldukça azalması, daha karmaşık ve hassas parçalara ihtiyaç duyulması, havacılık, uzay ve savunma alanlarında düşük hata ile çalışma zorunluluğu sonucunda aşınmadan kaynaklı hasar incelemeleri oldukça önemli bir konuma gelmiştir

2. Sürtünme ve Aşınma

2.1 Sürtünme

İki malzeme birbirleri ile temas halinde olacak şekilde konumlandırılıp malzemelerden biri diğer malzeme üzerinde kaydırılmak istendiğinde uygulanan kaydırma kuvvetine zıt yönde bir sürtünme kuvveti meydana gelmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. (a) Statik sürtünme ve (b) Dinamik sürtünme esnasında cisme etki eden kuvvetler
Kaymayı oluşturan kuvvet (F_s) ile temas yüzeyine etki eden normal kuvvet (F_n) arasında;

$$F_s = \mu_s \cdot F_n \quad (1)$$

bağıntısı mevcuttur. Burada μ_s statik sürtünme katsayısıdır.

Kayma hareketi başladıktan sonra, sürtünme kuvvetinde bir azalma olur ve bu durumda;

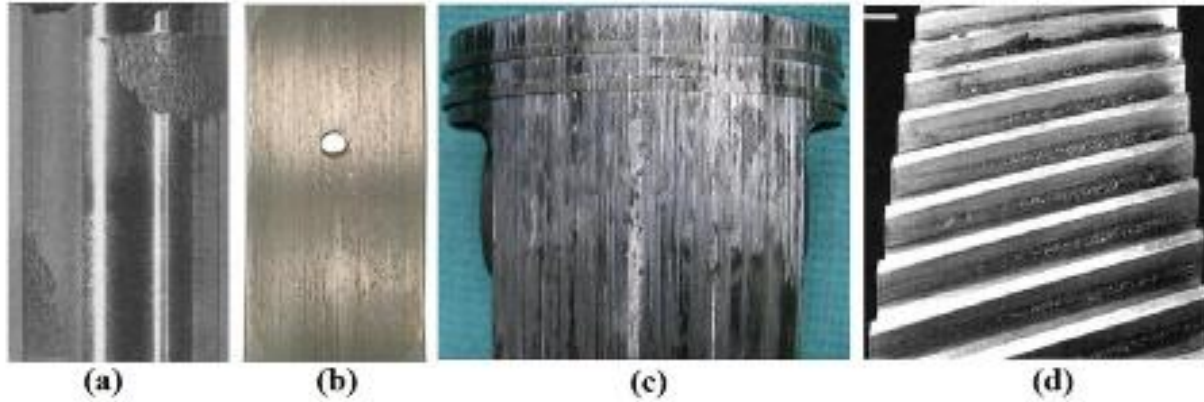
$$F_k = \mu_k \cdot F_n \quad (2)$$

bağıntısı yazılabilir. Burada $\mu_k (<\mu_s)$ kinetik sürtünme katsayısıdır [2].

Temas halindeki yüzeylerde, sürtünme kuvvetleri güç kaybına, aşınma ise çalışma toleranslarının kötüleşmesine sebep olmaktadır. Günlük hayatımıza baktığımızda fren sistemleri gibi sürtünmenin gerekli olduğu durumlar olmasına rağmen aşınma istenmeyen bir hasar türüdür. Ayrıca talaşlı işlem uygulamalarında en asgari sürtünme ile en yüksek aşınma (talaş kaldırma) sağlanarak parça işlenmesi amaçlanmaktadır.

2.2. Aşınma

Aşınma, temas eden yüzeylerden mekanik etkiler sebebiyle mikro parçacıkların ayrılması sonucu malzemede istenilmeyen bir değişikliğin meydana gelmesi olayıdır. Temas halindeki yüzeylerde, sürtünme kuvvetleri güç kaybına neden olmakta, aşınma ise çalışma toleranslarının bozulmasına ve makine parçalarının fonksiyonlarını tam olarak yerine getirmesine engel olmaktadır. Aşınma olayı genellikle; hareket aktarım elemanı olarak kullanılan millerde, kaymalı ve rulmanlı yataklarda, fren balatalarında, motor pistonu ve silindirlerde, dişlilerde ve türbin kanatlarında görülmektedir (Şekil 2). Farklı türdeki mühendislik malzemelerinin ve makine elemanlarının verimli ömürlerine önemli oranda etki eden aşınma kaybı, aşınma ortamı, aşınma mekanizması, malzeme cinsi, yük miktarı, aşınma hızı, sürtünme esnasında oluşan yüzey film özellikleri ve sıcaklık gibi birçok faktöre bağlıdır. Aşınma olayını bir malzeme özelliği olarak düşünmektense olayı bir bütün olarak sistem içinde değerlendirmek gerekir. Bu sisteme tribolojik sistem denilmektedir. Triboloji sürtünme, yağlama ve aşınma olaylarını kapsamaktadır. Tribolojik sistem ise karşılıklı etkileşen elemanlarda hız, termal şartlar ve yükün bileşimiyle meydana gelen aşınma olayını inceler [3].



Şekil 2. Aşınma izleri; (a) mil, (b) yatak, (c) piston, (d) dişli çark [4-7]

Aşınma, diğer hasar tiplerine göre tahmin başarısı daha yüksek ve gerekli önlemlerin alınabileceği bir hasar tipidir. Birbirleri ile temasta olan malzeme yüzeyleri yağlayıcı kullanımı, yüzey sertleştirme ve oksit tabakası oluşturma gibi önemler alınarak korunsalar bile, mekanik yüklemeler ve oluşan ısı etkisi ile yağlayıcı film veya oksit tabakasının bozulması, iki yüzeyin birbiriyle direkt temasına sebep olabilir. Bu temas sonucunda ortaya çıkan sürtünme malzemenin kullanım yerindeki ömrünü ve performansını olumsuz bir şekilde etkiler. Aşınmadan dolayı oluşan hasarlar malzeme çiftinin uygun seçimi, etkin yağlama (Şekil 3a), uygun tasarım, kendinden yağlamalı yatak kullanımı (Şekil 3b) ve filtreleme gibi faktörlerle en aza indirilebilir, fakat kesinlikle önlenemez.



(a)



(b)

Şekil 3. Makine elemanları ve yağlayıcılar [8, 9]

1-Ana Malzemeye Bağlı Faktörler

Malzemenin kristal yapısı, sertliği, elastisite modülü, deformasyon davranışı, yüzey pürüzlülüğü ve boyutu

2- Karşı Malzemeye Bağlı Faktörler ve Aşındırıcının Etkisi

3- Ortam Şartları

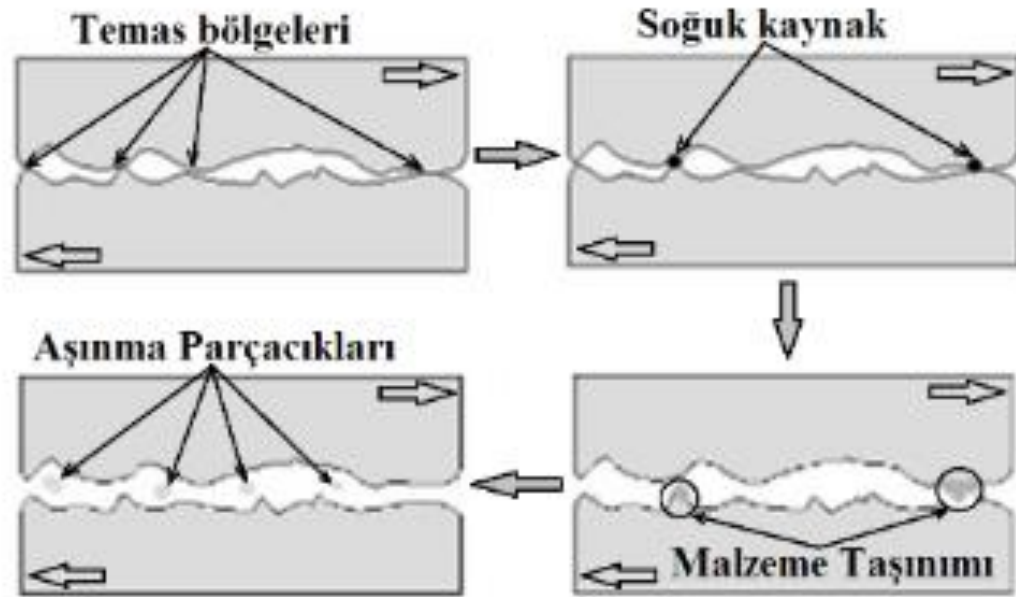
Sıcaklık, Nem, Atmosfer

4-Servis Şartları

Basınç, hız ve kayma yolu [10]

2.3.1. Adhesiv Aşınma

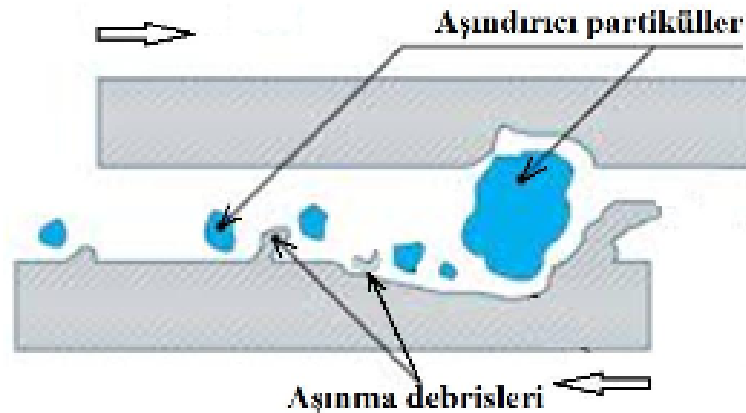
Adhesiv aşınma, birbirleriyle kayma sürtünmesi yapan yüzeylerde soğuk kaynak ya da bölgesel bağlanmalar sonucu bir yüzeyden diğerine malzeme transferi ve daha sonra kayma hareketi sonucunda malzeme kaybı şeklinde gerçekleşmektedir (Şekil 4). Temas halindeki yüzeylerdeki yüzey pürüzlülükleri üzerindeki basıncın bölgesel plastik deformasyona yetecek kadar yükselmesi durumunda küçük pürüz tepelerine çok yüksek basınç etkir. Bu noktalardaki gerilme, pürüzlerin akma sınırını aşınca plastik deformasyon, pürüzlerin birbirini çizmesi ve sıvanıp kaynaklaşma olayları başlar. Kayma hareketi sırasında bu noktalar koparak yenme ve aşınmaya neden olurlar. Bu tip malzeme kaybı adhesiv aşınmayı oluşturur [11]. Adhesiv aşınmaya karşı yüzey sertleştirme yöntemleri ile temas yüzeylerinin sertleştirilmesi ve yağlayıcı kullanımı önerilmektedir.



Şekil 4. Adhesiv Aşınma [11]

2.3.2. Abrasiv Aşınma

Çizilme yâda yırtılma aşınması olarak da adlandırılabilen abrasiv aşınma, birbiri ile eş çalışan malzeme çiftinde hızlı ve büyük oranda hasar oluşturabilecek oldukça önemli bir aşınma türüdür. Bu aşınma türü, malzeme yüzeylerinin kendisinden daha sert olan parçacıklarla basınç altında etkileşmesi ile sert parçacıkların malzeme yüzeylerinden parçacık kaldırılması şeklinde tanımlanabilir (Şekil 5). Bu aşınma türüne yatak malzemesi içersine olumsuz çalışma koşulları nedeniyle giren toz parçacıklarının oluşturduğu aşınma örnek gösterilebilir. Eğer aşınma olayı malzeme çifti arasındaki sertlik farkından meydana geliyorsa iki cisimli aşınma, diğer taraftan ilave aşındırıcı partiküller de aşınmayı etkiliyorsa bu aşınma türü de üç cisimli aşınma olarak tanımlanmaktadır [11].

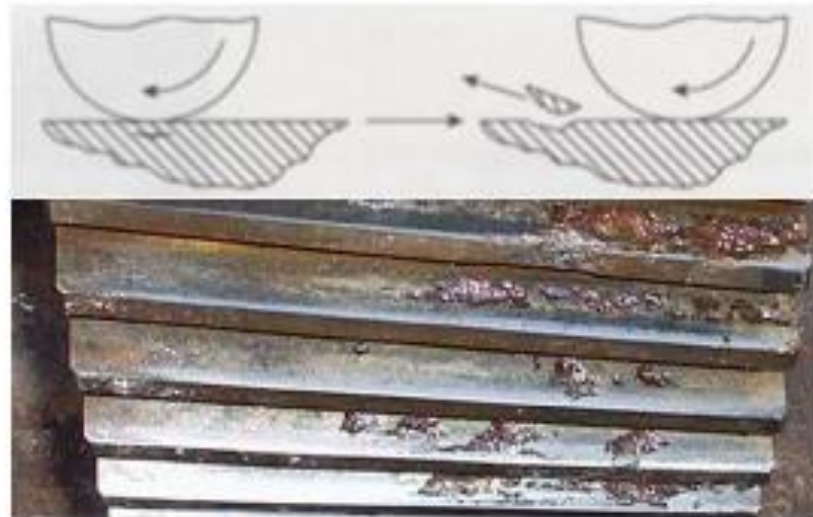


Şekil 5. Abrasiv Aşınma [11]

2.3.3. Yorulma Aşınması

Yorulma (pitting) aşınması, dişli çarklar, rulmanlı yataklar ve kam mekanizmaları gibi birbirleriyle sürekli temas halinde olan yüzeylerde yaygın olarak görülen bir aşınma türüdür

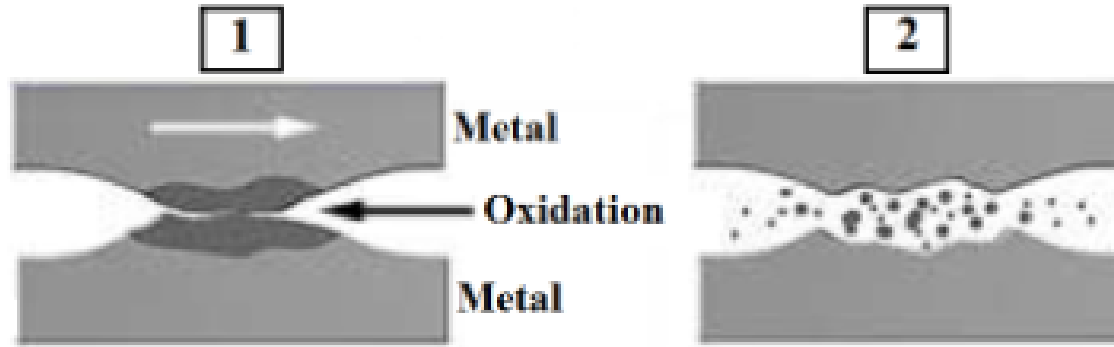
(Şekil 6). Bu tür makine elemanlarında temas alanları çok küçük olduğundan temas yüzeylerinde Hertz basınçları oluşmaktadır. Bu basınçların etkisinde yüzeyin hemen altında kayma gerilmeleri meydana gelmektedir. Kayma gerilmelerinin maksimum olduğu noktada plastik deformasyon oluşmakta ve bu deformasyon zamanla yüzeye ilerleyerek yüzeyde çukurcuklar meydana gelmektedir [12].



Şekil 6. Yorulma Aşınması

2.3.4. Korozyif Aşınma

Aşınan yüzeyler, aynı zamanda korozyif etkilere de maruz kalırsa bu durumda korozyif aşınma oluşmaktadır (Şekil 7). Kimyasal korozyon kendi başına oluşabildiği gibi diğer aşınma türleriyle birlikte oluşabilir. Temas eden yüzeylerde görülen yüzey filmi tarafından oluşturulan kimyasal reaksiyonlar yüzey aşınmasını engellemektedir. Fakat oluşan yüzey filmi kırılgan ve arayüzey bağı zayıfsa ise sürtünme esnasında filmler çatlayarak yüzeyden ayrılır ve aşınma hızı artar [12].



Şekil 7. Korozyif Aşınma

2.3.5. Erozyon Aşınması

Erozyon aşınması, akışkan içersinde bulunan aşındırıcı partiküller, yüksek hızla hareket eden sıvı damlacıkları ve yüksek hızdaki gaz kabarcıkları tarafından oluşturulan bir aşınma türüdür (Şekil 8). Sıvılar ve gazlar akış esnasında temas halinde oldukları parçanın sınır yüzeylerine çarpma etkisi yaparak yüzeyden parçacıklar koparırlar ve girdaplar etkisiyle dalgali yüzey meydana getirirler. Böylece aşınma daha da hızlanır. Genellikle pompalarda, pervanelerde, fanlarda, nozullarda ve boru ve tüplerin dirsek kısımlarında görülmektedir [12, 13].



Şekil 8. Erozyon aşınması türleri

3. Aşınma Kaybı Ölçüm Yöntemleri

3.1. Ağırlık Farkı Metodu

Aşınma kaybı ölçüm yöntemleri arasında en ekonomik yöntem olan ağırlık farkı metodu hassas sonuçlar elde edilmesi sebebiyle en çok kullanılan yöntemdir. Ağırlık kaybı genellikle 10^{-3} veya 10^{-4} hassasiyete sahip teraziler kullanılarak belirlenmektedir. Bu yöntemde aşınma sonucu meydana gelen ağırlık kaybı; aşınma miktarı gram veya miligram olarak ifade edildiğinde sürtünme mesafesine karşılık olarak gr/km veya mgr/km cinsinden, birim alan için hesap edilecekse gr/cm² cinsinden ifade edilmektedir. Aşınma miktarı hacimsel olarak hesaplanmak istendiğinde malzemenin yoğunluğu ve numune üzerine uygulanan yük dikkate alınarak, birim yol ve birim yükleme ağırlığına karşılık gelen hacim kaybı kullanılarak ağırlık kaybı belirlenebilir. Özgül aşınma miktarı aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanabilir [14];

$$W_s = \Delta m / d F_n S = \Delta v / F_n S \quad (3)$$

Burada; W_s : Özgül aşınma miktarı (mm³/Nm), Δm : Ağırlık kaybı (mgr), d : yoğunluk (mgr/mm³), F_n : Uygulanan normal kuvvet (N) ve S : Aşınma mesafesi (m)'ni ifade etmektedir.

3.2. Kalınlık Farkı Metodu

Bu yöntemde aşınma miktarı, aşınma sonucunda meydana gelen boyut değişikliğinin ölçülmesi ve ilk değerler ile karşılaştırılması suretiyle belirlenmektedir. Elde edilen kalınlık farkı değerleri kullanılarak hacimsel kayıp değeri ve dolayısıyla birim hacimdeki aşınma

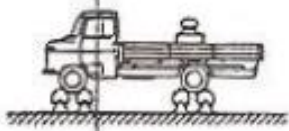
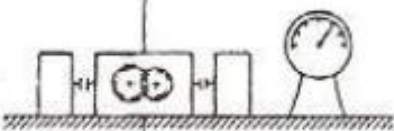
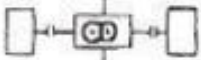
miktarı bulunabilir. Bu yöntemde ölçüm hassasiyetini arttırmak için hassas kalınlık ölçü aletleri (+1 μm duyarlılıkta) ile ölçüm yapılmalıdır [14].

3.3. İz Değişim Metodu

Bu yöntemde, aşınma yüzeyinde plastik deformasyon kullanılarak geometrisi belirli bir iz oluşturulur. Bu izin oluşumu için Brinell veya Vickers sertlik ölçme uçları kullanılır. Deney boyunca oluşturulan iz boyutlarının değişimi mikroskop vasıtasıyla ölçülerek değerlendirilir [14].

4. AŞINMA – SÜRTÜNME DENEY DÜZENEKLERİ

- Tribolojik sistemlerin veya bu sistemleri oluşturan komponentlerin fonksiyon, performans, verim, güvenilirlik veya ömürlerinin değerlendirilmesi,
- Komponentlerin kalite kontrolü,
- Malzeme ve yağlayıcıların tribolojik davranışlarının karakterizasyonu ve
- Temel tribolojik prosesleri, sürtünme kaynaklı enerji kayıplarının veya aşınma kaynaklı malzeme kayıplarının araştırılması

Kate- gori	Test Çeşitleri	Sembol	Kompresör
1	Makine - Saha Testleri		Gerçek uygulama durumunda yapılan testler Örn : Kompresör saha testleri •Pahalı, •Yeterli hassasiyet sağlanamaz, •Zaman alıcı
2	Makine - Tezgah Testleri		Kompresör ömür deneyleri •Nispeten daha ucuz, •Geliştirmek yapmak istenen ayrıntılar için yeterli hassasiyet sağlanamaz, •Zaman alıcı
3	Sistem - Tezgah Testleri		Tribolojik sistemi oluşturan komponentler kullanılır ve sistemin spesifik bir özelliği test edilir.
4	Komponent - Tezgah Testleri		Çalışma koşullarını simüle eden model düzeneklerle çalışmak : •Aşınma – sürtünme deney düzenekleri
5	Model Testler		Laboratuvar şartlarında aşınma - sürtünme mekanizmalarının araştırılması için tasarlanan testler
6	Laboratuvar Testleri		

Makine parçalarının tamamının, belirli bir sistemin veya komponentin saha veya tezgah testleri ile incelenmesi,

- Pahalı ve zaman alıcı olması
- Standart ölçüm yöntemlerinin geliştirilmesindeki zorluklar ve
- Tekrar edilebilirliğin sağlanamaması nedenleri ile

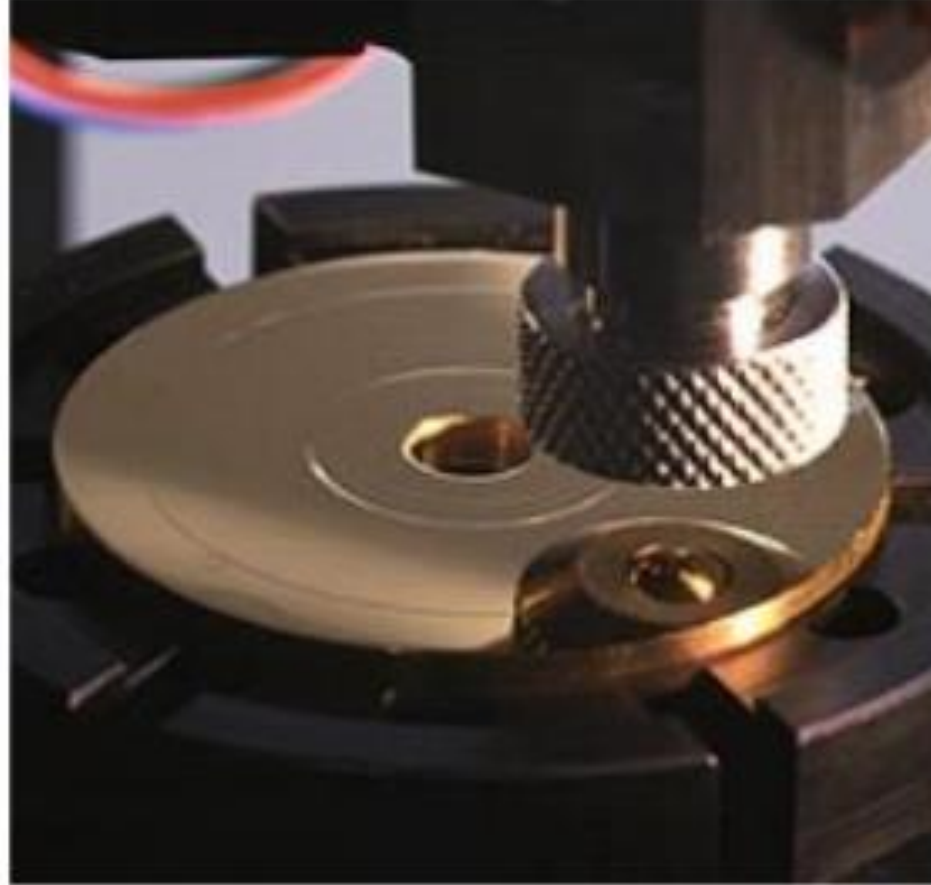
çok fazla tercih edilmemektedir [2].

Özellikle bir sistemin tribolojik özelliklerinin incelenmesine yönelik çalışmalarda, çalışma koşullarının mümkün olduğunca simüle eden, numune hazırlaması ve ölçümü daha hızlı ve pratik olan standart aşınma – sürtünme deney düzenekleri kullanılmaktadır. Aşağıda malzeme ve yağların tribolojik özelliklerinin incelenmesine yönelik çalışmalarda sıklıkla kullanılan aşınma – sürtünme deney düzenekleri özetlenmiştir.

4.1. Pin on Disk Test Cihazı

Bu test yöntemi ile laboratuvar şartlarında kayma aşınması gerçekleştiren malzemelerdeki aşınma miktarını pim ve disk şeklindeki numuneler yardımıyla belirlemek mümkündür. Malzemeler genelde abrasif olmayan şartlarda test edilmektedirler. Cihazın standart deney numuneleri ile kullanılması yoluyla yağlayıcıların performanslarının belirlenmesi de mümkündür. Pin on disk cihazı ayrıca tribolojik bir sistemin yağlama karakteristiklerini belirleyen Stribeck eğrilerinin çıkarılmasında da kullanılan en fazla genel geçerliliğe sahip aşınma – sürtünme deney düzeneğidir [28].

Pin on disk aşınma testi için iki numune gerekmektedir. Bunlardan ilki düz veya küre şeklinde bir yüzeye sahip pim diğeri ise pime dik olarak yerleştirilmiş ve genelde daire şeklinde olan yassı disklerdir. Test pimin veya disk şeklindeki numunenin disk düzlemi boyunca dairesel hareket yapması şeklinde gerçekleşmektedir. Yük genelde pim numunesi üzerinden, sisteme bağlı olan bir kola ağırlık asılması yoluyla uygulanmaktadır. Bunun dışında, hidrolik ve pnömatik yöntemler sayesinde temas bölgesinin daha hassas bir şekilde sabit bir yük altında tutulması sağlanabilmektedir. Pin on disk cihazına ait pim ve disklerin temas geometrileri Şekil 4.2.' de görülmektedir [28].



Şekil 4.2 Pim ve disk numunelerin temas geometrileri

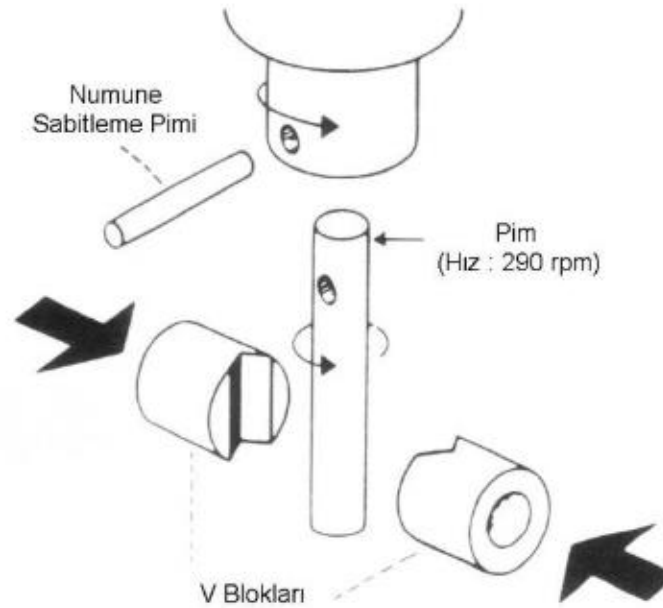
4.2. Pin & V Block Test Cihazı

Bu cihaz, pim ve V bloklarından oluşan test numuneleri ile sıvı yağlayıcıların aşınma özelliklerinin bulunmasında kullanılmaktadır. Yağların ve katkı maddelerinin tribolojik performansının belirlenmesine yönelik olan çalışmalarda, özellikle yüksek viskoziteli yağ örnekleri için daha tekrar edilebilir sonuçlar verdiğini söylemek mümkündür. Bunun yanı sıra, belirli bir yağ örneği içerisinde çalışan test parçalarının sürtünme katsayısı ve aşınma oranı değerlerinin ölçümü için de kullanılmaktadır. Deneylerde kullanılan standart pim ve V bloğu numuneleri Şekil 4.3.'de bulunmaktadır



Şekil 4.3 Pin & V Block test cihazı standart pim ve V bloğu numuneleri |

Deneylerde, dikey olarak yağ haznesinin içersine batırılmış olan pim numunesi, motor yardımı ile iki sabit V bloğu arasında dairesel olarak döndürölür. V bloklarına bir dişli sistemi yardımı ile kontrollöl olarak istenen yük uygulanır ve üzeri ölçekli bir makara sistemi yardımı ile yüköl devamlılığı sağlanır. Aşınmayı ölçmek için yapılan deneylerde, deney sonucu belirli bir deney süresi sonunda yataklar üzerindeki yüköl sabit tutulması için dişli sistemin kaç diş döndölğöl sayılarak belirlenir



Şekil 4.4 Pin & V Block test cihazının çalışma mekanizması

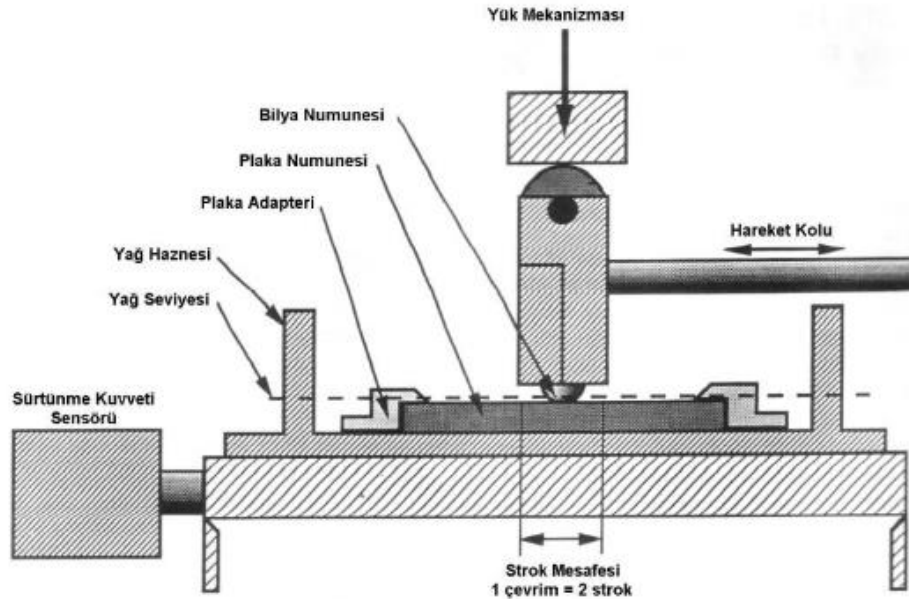
4.3. Ball on Flat Test Cihazı

Bu test yöntemi lineer bir şekilde ileri - geri (reciprocating) hareketi yapan seramik, metal ve diğer malzemelerin kayma aşınmasının bulunmasında kullanılır. Test sırasında hareket yönü periyodik olarak değişmekte ve bu sayede düz bir çizgi boyunca aşınmanın gerçekleşmesi sağlanmaktadır. Yöntem ile asıl hesaplanmak istenen bilye ve plakadaki aşınma hacmidir, bunun yanında kinetik sürtünme katsayısı değeri de hesaplanabilmektedir [33].

Test cihazı, Şekil 4.5.'de görülen yassı yüzeyli test plakası ve onun üzerinde periyodik bir şekilde kayan küresel numuneden oluşmaktadır. Yük yatay bir şekilde monte edilmiş olan plaka üzerine bilye üzerinden dikey bir şekilde uygulanmaktadır.

Gerçekleşen kayma hareketi ileri-geri olduğundan kayma hızı ve hareket yönü sürekli olarak değişmektedir. Bu nedenle, deneyler sabit bir hızda gerçekleşmemektedir

Ball on flat tarzı ileri-geri hareket ile çalışan test cihazları, bir çevrim sırasında aldığı yol (strok) değerine bağlı olarak iki farklı amaç için kullanılabilir. Strok'un 1 mm.nin altında olduğu durumlarda, titreşim nedeniyle oluşan kazımalı veya yorulmalı aşınmayı simüle ederken; 1 mm.nin üzerindeki strok değerlerinde pistonun ileri-geri hareketine benzer kaymalı aşınmayı simüle etmektedir.



Şekil 4.5 Ball on flat test cihazı şematik görünüşü

4.4. Block on Ring Test Cihazı

Bu test cihazı, blok ve halka şeklinde hazırlanabilen her türlü parçanın kayma aşınmasına olan direncinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Deneyler, servis şartlarının daha iyi sağlanabilmesi için pek çok yağlayıcı, sıvı ve gaz ortamında gerçekleştirilebilmektedir. Ayrıca dönme hızı ve yük miktarları da çalışma şartlarına bağlı olarak değiştirilebilmektedir. Deneyler, belirli bir hızda ve devirde dairesel

veya sarkaç hareketi gerçekleştirebilen test halkası üzerine test bloğunun yerleştirilerek, istenilen yük miktarının blok üzerinden y eksenini boyunca temas yüzeyine dik bir şekilde uygulanması yöntemiyle gerçekleştirilmektedir [34]. Deneylerde kullanılan standart blok ve halka numunelerinin görüntüsü Şekil 4.6.'da bulunmaktadır.



Şekil 4.6 Falex Block on Ring cihazı standart blok ve halka numuneleri

KAYNAKÇA

- 1) Chandler, H; Hardness Testing, Second Edition, ASM International, United States of America, 1999.
- 2) Kayalı, E.S.; Ensari, C. ve Dikeç, F.; Metalik malzemelerin mekanik deneyleri, İ.T.Ü. Kimya Metalürji Fa. Ofset Atölyesi, İstanbul, 1990.
- 3) Güleç, Ş. ve Aran, A.; Malzeme bilgisi, Cilt 1, TÜBİTAK Marmara Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Enstitüsü, Gebze, 1988.