3. ULUSAL MAKİNA TASARIM VE İMALAT KONGRESİ

bildiri kitabı

21-23 EYLÜL 1988

editörler:

METİN AKKÖK
TUNA BALKAN
CAN ÇOĞUN
MUSTAFA İ. GÖKLER
AHMET C. KAYA
Y. SAMİM ÜNLÜSOY

MATİMAREN-MATİM
Makina Tasarım ve İmalat Araştırma Merkezi
Makina Tasarım ve İmalat Derneği
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
ORTA DOĞU TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
ANKARA

3. Ulusal Makina Tasarım ve İmalat Kongresi
21-23 Eylül 1988, ODTÜ, ANKARA

ÖTEKTOİDALTI ÇELİKLERİN KAYMA SÜRTÜNMESİNDE ADHESİV AŞINMA KATSAYISININ ARAŞTIRILMASI

M.Baki KARAMIŞ , Durmuş ODABAŞ

Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, KAYSERİ

ÖZET

Bu çalışmada çeşitli makina elemanları yapımında kullanılan ve ısıl işlem görmüş sade karbonlu ötektoidaltı çeliklerin karbon miktarına bağlı olarak adhesiv aşınma katsayısı araştırılmıştır. Çalışma iki safhada yapılmış olup birinci safhada adhesiv aşınma katsayısının malzemedeki karbon miktarı ile değişimi teorik olarak, ikinci safhada ise deneysel olarak tesbit edilmiştir.

Teorik ve deneysel sonuçlar büyük bir uyumluluk ile adhesiv aşınma katsayısının % karbon miktarının artışı ile azaldığını göstermiştir.

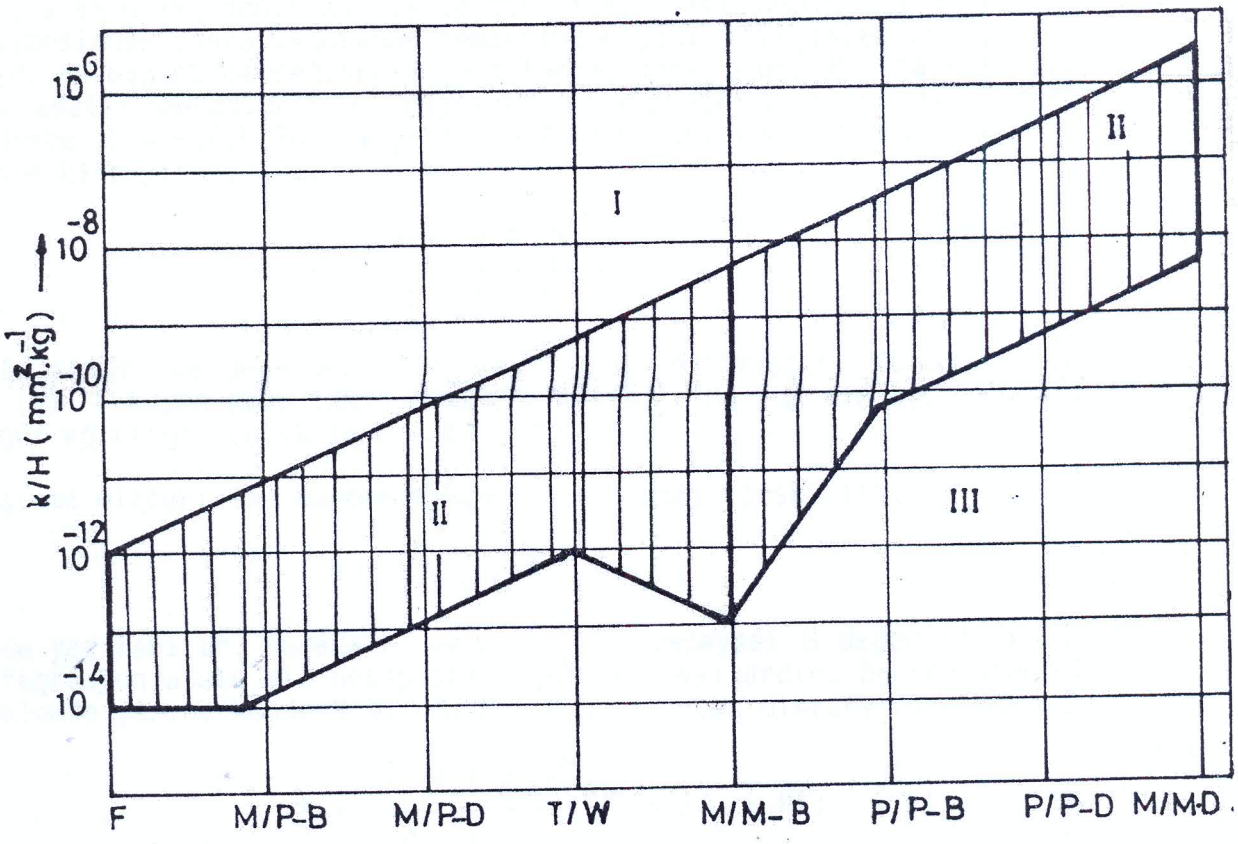
1. GİRİŞ

Günümüzdeki teknik sistemlerdeki araştırmalar sürtünme ve aşınmayı azaltma ve kontrol etme çalışmaları şeklinde yoğunlaşmıştır. Aşınma ve sürtünmenin azaltılmasıyla malzeme kaybı önlenerek boyut hassasiyeti sağlanırken enerji israfıda önlenmiş olur. Mekanik sistemlerin dizaynında enerji kayıplarını minimuma indirmek için uygulanan yağlamalı ve kuru sürtünme esnasında ortaya çıkan aşınma olayının analizi için araştırmaların daha sistematik bir yaklaşımla yapılması gerekir. Böyle bir yaklaşım ise mekanik sistemleri "içinde aşınma, sürtünme ve yağlama olaylarının cereyan ettiği teknik sistem" şeklinde tarif edilen bir tribolojik sistem olarak ele almakla yapılır.

Tribolojik sistemlerin aşınma bakımından optimizasyonunda işletme ve model deneylerinden elde edilen bilgilerin en iyi şekilde değerlendirilmesi gerekir. Bu bilgiler özellikleri önceden bilinen malzemelerin aşınma deneylerinden elde edilir. Çeşitli sürtünme çiftlerinin aşınma deneylerinden elde edilen bilgiler toplanarak ilgili aşınma bağıntıları yardımıyla aşınma katsayısı (k) değerleri hesaplanır. Belirlenen k/H değerleri ile sürtünme çiftleri arasındaki ilişkiyi bir çözüm diyağramı ile gösterebiliriz (Şekil 1) Bu diyağramda kullanılan indisler : M (Metal), P (Plastik), T (Takım), W (İş parçası), D (Kuru sürtünme), B (Sınır yağlama), F (Sıvı film yağlama) anlamlarına gelmektedir.

Diyağramın birinci bölgesi aşınmanın yüksek olduğu ancak uygun çalış-

ma şartları sağlandığı takdirde aşınmanın azaltılmasının mümkün olduğu bölgeyi, II. bölge ise pratikte kullanılan sistemlerin çalışma alanını ve III. bölgede pratikte henüz kullanılmayan bölgeyi gösterir.



Şekil 1. Aşınma katsayısının sürtünme çiftleriyle değişimi [1] .

Bu çalışmada ötektoidaltı çeliklerin adhesiv aşınma katsayılarının % karbon miktarının fonksiyonu olarak teorik bağıntısı kurularak elde edilen teorik sonuçlar ile deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır. Karbon miktarı arttıkça aşınma katsayısının azaldığı tesbit edilmiştir. Bu çalışma ile sade karbonlu ötektoidaltı çeliklerden imal edilecek mekanik sistemlerinaşınmaya göre optimizasyonunda ön görülen aşınma sınırlarını sağlayacak ve uygun karbon miktarı ihtiva eden sade karbonlu çelik malzeme seçimi mümkün olacaktır.

2. ADHESİV AŞINMA KATSAYISININ KARBON MİKTARININ FONKSİYONU OLARAK İFADESİ

Soğuma hızı kritik soğuma hızından daha yüksek tutularak (yani perlit veya beynit dönüşümü tamamen engellenerek) su verme sonucu sağlanan sertlik prensip olarak çeliğin karbon miktarının bir fonksiyonudur [2] . Ayrıca çeliklerde sertliğin karbon miktarının karekökü ile orantılı olarak değiştiği tesbit edilmiştir [3] . O halde sadece çelikler için geçerli olmak üzere sertlik ile karbon miktarı arasındaki değişme genel olarak,

$$H = a + b\sqrt{C_a} \qquad (1)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada H çeliğin sertliği (kg/mm^2), C_a % karbon miktarı, a ve b ise sabit katsayılardır. Yukarıdaki bağıntı çeliklerin sertleştirilmesinden sonra uygulanan temperlenme gibi ısıl işlemler içinde geçerlidir. Bu bağıntıda değişen a ve b katsayıları olur. Bu ifadenin çözümü nümerik analiz metodlarından regrasyon usulü ile yapılır. Genel aşınma eşitliğinde ($V = k.F.L/3H$), V yerine G/γ ve H yerinede (1) nolu ifade konursa aşınma katsayısı ;

$$k = \frac{3\,(a + b\sqrt{C_a})}{\gamma \,.\, F \,.\, L} \,.\, G \qquad (2)$$

olur. Bu ifade ile deneysel k değerleri elde edilmiştir. Burada F normal kuvvet (N), L kayma yolu (km), G aşınma miktarı (mg), γ ise aşınan malzemenin özgül ağırlığı (çelik için 7,8 gr/cm^3) dır.

Aşınma miktarı ile karbon miktarı arasındaki ilişki ise,

$$G = K'/C_a - K'' \qquad (3)$$

şeklinde yazılabilir. Burada K' ve K", C_a ve deneysel G değerleri kullanılarak regrasyon usulü ile hesaplanan sabit katsayılardır. Bu son ifade(2)nolu denklemde yerine konursa aşınma katsayısı karbon miktarı cinsinden ;

$$k = \frac{3\,(a + b\sqrt{C_a})}{\gamma \,.\, F \,.\, L}\,(K'/C_a - K'') \qquad (4)$$

şeklinde yazılabilir. Bu ifade ile teorik k değerleri elde edilmiştir.

3. DENEYLERİN YÜRÜTÜLMESİ

3.1. Malzeme ve Deney Metodu

Sürtünme-aşınma deneylerinde esas sürtünme ve karşı sürtünme elemanı olarak karbon oranları farklı ötektoidaltı çelikler kullanılmıştır. Bu çeliklerin kimyasal analizleri Tablo 1'de verilmiştir. Bütün deneylerde karşı sürtünme elemanı olarak aynı yarı mamul parçadan alınan C60 çeliği kullanılmıştır. Numuneler imalat ve deney kolaylığı bakımından Şekil 2'deki gibi silindirik şekilde hazırlanmıştır. Bütün numuneler deneyden önce normalizasyon işlemine tabi tutulmuşlar, daha sonra sertleştirme ve temperleme işlemleri uygulanarak yüzey sertlikleri ölçülmüştür. Tablo 2'de deney malzemeleri ve ilgili ısıl işlemler verilmiştir.

Numuneler ısıl işleme tabi tutulduktan ve sertlikleri ölçüldükten sonra yüzeyleri taşlanarak deneye alınmışlardır. Deneyler kayma sürtünmesini sağlayan deney tesisatı ile gerçekleştirilmiştir. Bu tesisat esas itibarı ile tribolojik sistemin dört unsurunu ihtiva etmektedir. Ancak deneysel

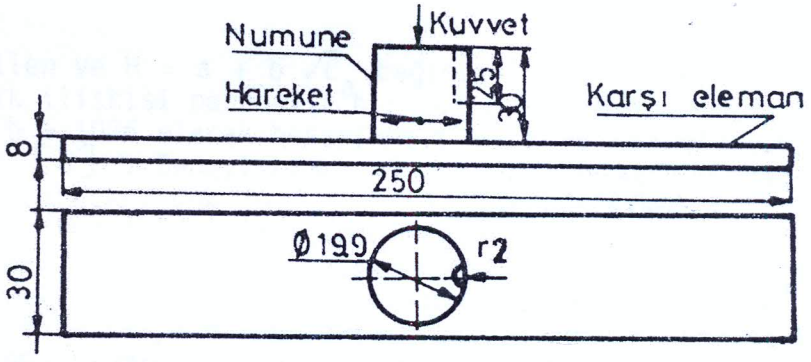
çalışmalarımız yağlamasız olarak ve atmosfere açık ortamda teknik kuru sürtünme şeklinde yapılmıştır. Deney tesisatı hakkındaki ayrıntılı bilgi kaynak [4] te verilmiştir.

Tablo 1. Deney malzemelerinin kimyasal analizleri

Firma	Malzeme Türü	Kimyasal Bileşim (%)									
		C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Al	Cu
MKE	Ç 1020	.20	.46	.26	.015	.033					
	Ç 1030	.30	.63	.18	.033	.045					
	Ç 1050	.45	.78	.26	.023	.033					
	Ç 1060	.59	.66	.24	.030	.034					
Asil Çelik	Ç 1040	.339	.682	.207	.021	.033	.184	.117	.024	.280	.008
	C 60	.564	.724	.295	.020	.027	159	.119	.022	.257	.017

Tablo 2. Numunelere uygulanan ısıl işlem şartları

Numune Türü	Normalizasyon	sertleştirme	Temperleme	Sertlik(Hv 60)
Ç 1020	900°C	880 °C	300°C	260
Ç 1030	890°C	860 °C	300°C	460
Ç 1040	880°C	840°C	300°C	495
Ç 1050	840°C	820 °C	300°C	570
Ç 1060	820°C	800 °C	300 °C	620



Şekil 2. Deney malzemelerinin şekil, boyut, hareket ve yükleme durumları.

Deneyler, kayma yolu (2 km), ortalama kayma hızı (0.3 m/s) ve yükleme basıncı (2.5 kg/cm^2) sabit tutularak sadece % karbon miktarları değiştirilerek yapılmıştır. Deneylerimizde aşınma miktarı ağırlık kaybı olarak tesbit edildiğinden numunelerin ilk ve son ağırlıklarının tartılmasında 0.1 mg hassasiyetli terazi kullanılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlar aşağıdaki Tablo 3 de verilmiştir.

Tablo 3. Ötektoidaltı çeliklerin aşınma miktarları ve aşınma katsayıları

	Ortalama Aşınma Miktarı (mg)	Aşınma Katsayısı (k)	
		Teorik	Deneysel
Ç 1020	271.9	236.10^{-8}	233.10^{-8}
Ç 1030	183.7	173.10^{-8}	212.10^{-8}
Ç 1040	145.5	162.10^{-8}	182.10^{-8}
Ç 1050	59.1	101.10^{-8}	89.10^{-8}
Ç 1060	26.6	61.10^{-8}	48.10^{-8}

4. BULGULAR

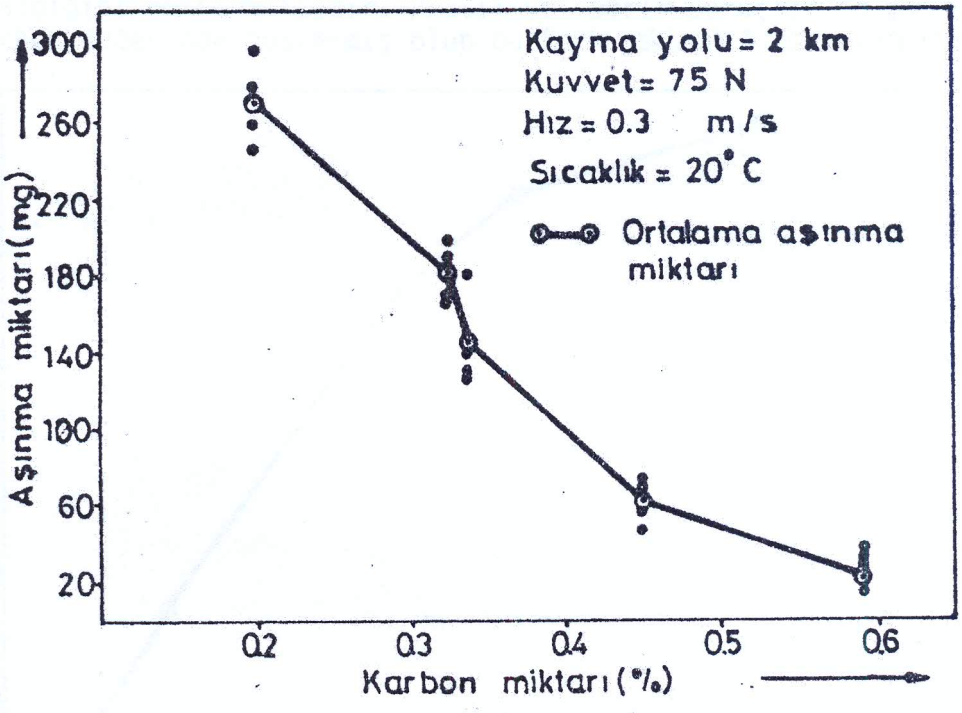
4.1. Aşınmanın Karbon Oranı İle Değişimi

Sade karbonlu çeliklerde sertleşme kabiliyeti karbon oranının bir fonksiyonudur. Isıl işlem sonucu artan sertlikle aşınma miktarı artmaktadır. Çelik/çelik sürtünmesinde aşınma direnci karbon miktarının artması ile artar [5] . Ötektoidaltı çeliklerde karbon oranı arttıkça bünyede perlit miktarı artacağından sertlik de artmaktadır. Sertlik artışının aşınma miktarının azalmasına sebep olan büyük etkisi bilindiğine göre sade karbonlu çeliklerde ısıl işlem yoluyla sertleşme kapasitesinden yararlanma derecesine göre aşınma miktarı azaltılabilir. Burada sertleşme seviyesini belirleyen ve dolayısıyla aşınma direncini iyileştiren aslında karbon oranıdır.

Daha önce verilen ve $H = a + b \sqrt{C_a}$ bağıntısı ile karakterize edilen karbon oranı-sertlik ilişkisi parabolik bir değişim göstermektedir. Bu değişimde a = - 167, b = 1076 olarak hesaplanmış ve % 95 korrelasyon katsayısı hesaplanmıştır [6] . Deneylerimiz göstermiştirki karbon miktarındaki artış ile aşınma miktarı çok hızlı bir azalma göstermektedir. Karbon oranının yaklaşık 3 kat artması ile aşınma miktarı 10.22 kat azalmaktadır (Şekil 3). Bu itibarla sade karbonlu çeliklerdeki karbon oranının aşınmayı azaltma yönünde en etkili faktör olduğu söylenebilmektedir. Ancak karbon oranının % 0.60 dan daha fazla olması hallerinde aşınmadaki azalma hızının yavaşlayacağı şekilden tahmin edilebilmektedir. Aşınma miktarı ve % karbon oranı arasındaki bağıntı $G = K'/C_a - K''$ olarak daha önce verilmiş olup bu bağıntı tablo 3 teki değerler kullanılarak çözüldüğünde $G = 75/C_a - 100$ ifadesi elde edilmiştir. Burada korrelasyon % 95'dir.

4.2. Karbon Oranının Adhesiv Aşınma Katsayısına Etkisi

Sürtünen metal yüzeylerin temas etme ihtimalini temsil eden ve 0 - 1 arasında değerler alan katsayıya adhesiv aşınma katsayısı denmektedir. Çeliklerin adhesiv aşınma mekanizması ile ilgili yapılan bir araştırmada



Şekil 3. Sade karbonlu çeliklerde karbon oranının aşınma miktarına etkisi.

yüzey basıncı malzeme sertliğinin 1/3'ü olana kadar adhesiv aşınma katsayısının sabit kaldığı ancak bu sınır aşıldıktan sonra hızla yükseldiği tesbit edilmiştir [7] . Bu durum plastik deformasyonun başlaması ve temas alanının hızla artması sebebiyle aşınmanın arttığı şeklinde yorumlanmıştır.

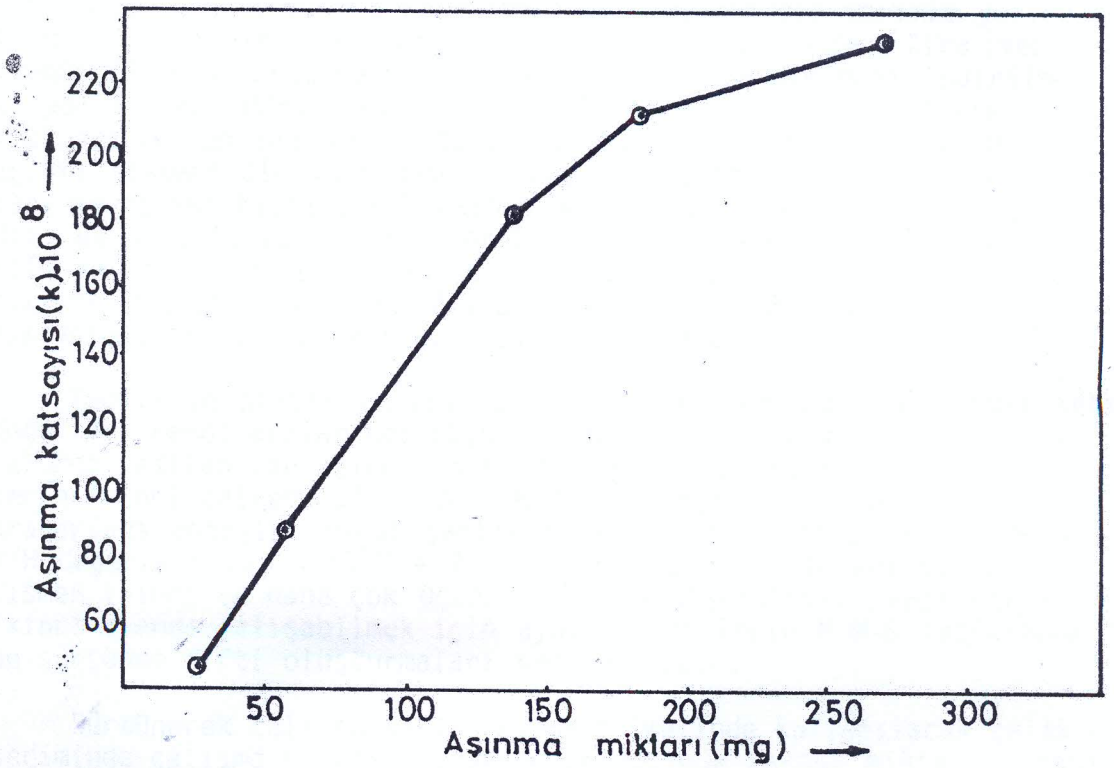
Bu çalışmada tesbit edilen sonuçlara göre aşınma miktarı arttıkça aşınma katsayısıda artmaktadır (Şekil 4). 2 km kayma yolu 75 N kuvvet altında ve değişik karbonlu numuneler ile yapılan denemelerde azalan karbon oranı ve sertliğe karşılık aşınma miktarının hızla arttığı ve denkleme göre k'nın yüksek olması gerektiği gözlenmiştir. Buradan artan aşınma miktarı aşınma katsayısınıda arttırır veya terside doğrudur. Aşınma katsayısının artışı yüzeylerdeki temas ihtimalinin arttırdığını gösterir.

Şekil-4'den de görüldüğü gibi aşınma miktarındaki belli bir artış değerinden sonra aşınma katsayısındaki artış yavaşlamaktadır. Adhesiv aşınma katsayısı karbon miktarının bir fonksiyonu olarak,

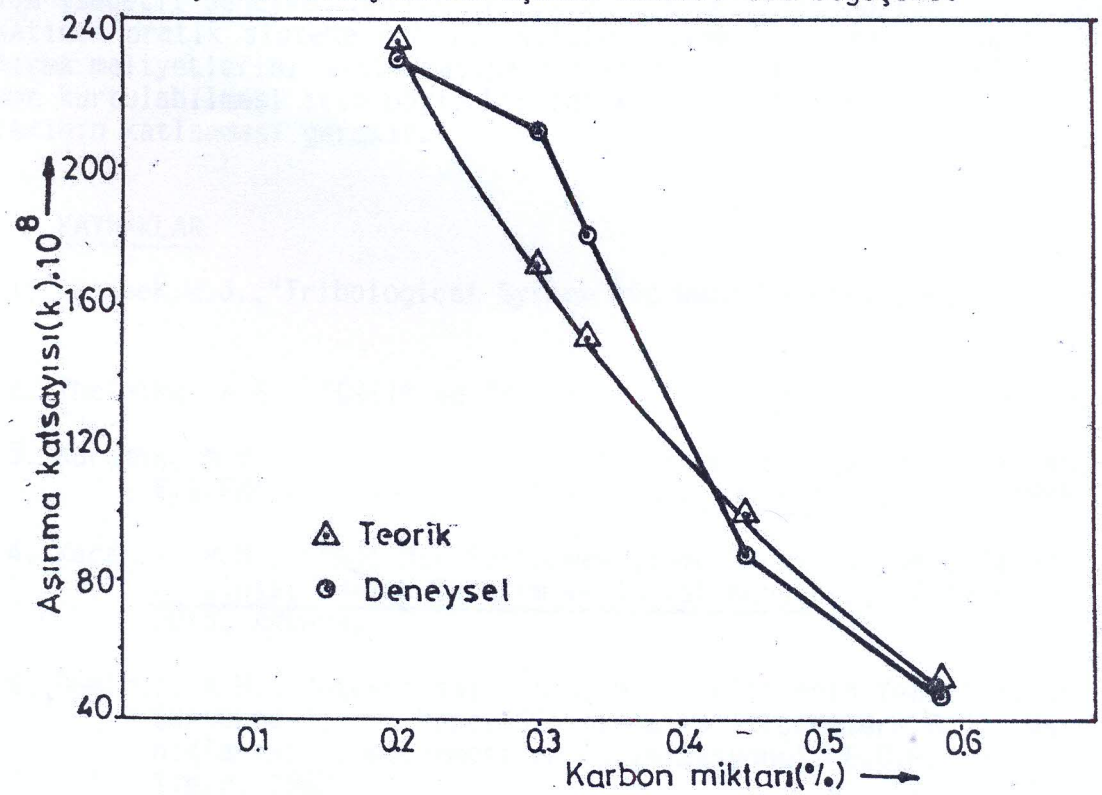
$$k = 10^{-10} . 0{,}274 \; (-167 + 1076 \sqrt{C_a}) \; (75/C_a - 100)$$

şeklinde ifade edilmiş ve elde edilen değerler deneysel sonuçlarla birlikte Şekil-5'de verilmiştir. Bu şekildende izlenebileceği gibi karbon miktarının artışı aşınma katsayısının hızla azalmasına sebep olurken % 0.4 karbon oranında kesişme söz konusudur. Deneysel sonuçlar bu sınıra kadar daha yüksek, bu sınırdan sonra ise teorik sonuçlar daha yüksek aşınma katsayısı vermiştir. Her iki sonuç için başlangıç ve bitiş noktaları arasında oldukça iyi bir uyum sözkonusudur. Teorik ve pratik sonuçlar karbon oranının yaklaşık üç kat artmasına karşılık aşınma katsayısının yaklaşık

4.25 kat azaldığını göstermektedir. Pratik ve teorik sonuçlar en çok farklılığı % 0.3 karbon değerinde göstermiş olup bu fark yaklaşık % 22 civarındadır.



Şekil 4. Aşınma katsayısının aşınma miktarı ile değişimi.



Şekil 5. Aşınma katsayısına karbon miktarının etkisi

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Mekanik sistemlerin fonksiyonlarını yüksek bir verimle yerine getirebilmeleri optimum sürtünme çifti seçimiyle sağlanır. Zira verimi büyük oranda düşüren sürtünme ve aşınma kayıplarının minimuma indirilmesi ancak bu yolla mümkündür. Memleketimizde üretilen ve çeşitli makina elemanları imalinde kullanılan ötektoidaltı çelikler üzerinde orijinal bir sürtünme-aşınma sistemi ile yaptığımız deneyden alınan sonuçlara göre aşınma miktarı ve aşınma katsayısı % karbon miktarına büyük bağımlılık göstermektedir. Bu bağımlılığı açıkca görebilmek için deney parametrelerinden kayma yolu ve hızı ile basınç sabit tutulmuş sadece sertliği belirleyen karbon miktarı değiştirilmiştir. Aşınma miktarı ve aşınma katsayısının karbon miktarının artışıyla ters orantılı olarak azaldığı tesbit edilmiştir.

Teorik ve pratik çalışmalardan elde edilen adhesiv aşınma katsayısı değerleri kendi aralarında büyük bir uyumluluk göstermektedir. 1 nci literatürde rastlanılan aşınma çözüm diyağramında pratikte kullanılan sistemlerin ikinci çalışma alanında M/M-D şartı için k/H değerleri 5.10^{-6} - $7{,}5.10^{-9}$ aralarında değişir. M/M-D şartında yaptığımız deneylerden elde ettiğimiz k/H değerleri ise 9.10^{-9} - 7.10^{-10} aralığında elde edilmiştir. Bu aralık kısmen ikinci ve daha çok üçüncü bölgeye düşmektedir. Pratikte kullanılan ikinci alanda çalışabilmek için aynı malzemelerin M/M-B sağlayacak şekilde sürtünme çifti oluşturmaları sağlanmalıdır.

Sürtünerek çalışan makina elemanı imalinde kullanılacak çelik malzeme seçiminde çalışma şartlarına uygun ve optimum karbon miktarına sahip malzeme geliştirilmesi için bir seri aşınma deneylerinin yapılması gerekir. Tam isabetli deneysel neticeleri alabilmek için ise kullanılan deney tesisatının pratik sisteme çok iyi simule edilmesi zaruridir. Bu durum araştırma maliyetlerini arttırmasına rağmen memleketimizin teknoloji ithalinden kurtulabilmesi için böyle bir fedakarlığa bütün özel ve devlet sektörlerinin katlanması gerekir.

KAYNAKLAR

1. Verbeek,H.J.,"Tribological System and Wear Factors",Wear 56,(1979)81-92

2. Thelning, K.E., "Çelik ve Isıl İşlemi", Bölüm 4, Sayfa 128, 1984.

3. Karamış, M.B., "Toprak İşleme Aletlerinde İş Organının Aşınmasının Etüdü", E.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Kayseri, 1985.

4. Karamış, M.B., "Yeni Bir Sürtünme-Aşınma Deney Düzeneği Tasarımı ve İmali", 2. Ulusal Makina Tasarım ve İmalat Kongresi, 17-19 Eylül 1986, ODTÜ, Ankara.

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