ÖTEKTOİDALTI ÇELİKLERİN İKİ CİSİMLİ KURU ABRASİV AŞINMASINDA KARBON ORANI VE SÜRTÜNME ŞARTLARININ SÜRTÜNME KATSAYISI VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE OLAN ETKİLERİNİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI

Durmuş ODABAŞ

Makina Mühendisliği Bölümü, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, Türkiye.

ÖZET

Bu çalışmada ısıl işlem görmüş ötektoidaltı çeliklerin iki cisimli abrasiv aşınmasında, karbon oranı, aşındırıcı tane boyutu, yük ve kayma hızının sürtünme katsayısı ve aşınan yüzeylerin ortalama pürüzlülüğüne olan etkileri deneysel olarak araştırılmıştır.Abrasiv aşınma deneyleri pim-disk kayma sistemine sahip olan bir parlatma makinasında yapılmıştır.Sürtünme katsayısı karbon oranının artışıyla azalırken, aşındırıcı tane boyutunun artışıyla artmıştır. Normal yük ve kayma hızı sürtünme katsayısını çok az etkilemiştir.Bununla beraber, normalize ısıl işlemine tabii tutulan çeliklere ait sürtünme katsayısı ve ortalama pürüzlülük değerleri sertleştirilmiş ve temperlenmiş çeliklere ait değerlerden daha büyük olmuştur. Sonuç olarak çeliklerde karbon oranının sürtünme katsayısına ve ortalama yüzey pürüzlülüğüne etki eden en önemli faktör olduğu tespit edilmiştir.

ABSTRACT

In this study, the effects of carbon content, abrasive grit size, normal load and sliding speed on the friction coefficient and average roughness of worn surfaces in the two-body abrasive wear of the heat treated hypoeutectoid steels have been investigated experimentally under the dry sliding conditions. Abrasive wear tests were carried out by using a polishing machine having a pin-on disc sliding system.The friction coefficient and average surface roughness increased with increasing the abrasive grit size, but they decreased with increasing the carbon content. The normal load and sliding speed affected very little on the friction coefficient. However, the values of the friction coefficient and average roughness for normalized steels were greater than for quenched and tempered steels. As a result, it was found that the carbon content is the most important factor affected on the friction coefficient and average roughness of worn surfaces.

1. GİRİŞ

DIN 50281'e göre sürtünme "Birbiri üzerinde kayan, yuvarlanan veya kaymalı yuvarlanan elemanların izafi hareketlerini yavaşlatan (dinamik sürtünme) veya engelleyen (statik sürtünme) mekanik direnç " olarak tanımlanmaktadır [1]. Hareketin tersi yönünde hasıl olan direnç kuvvetine ise sürtünme kuvveti adı verilmektedir.Amontons'dan günümüze kadar sürtünme konusunda modern fikirlerin gelişmesine ışık tutan pekçok teorik ve deneysel araştırma yapılmıştır [1-14].İlk mekanik sürtünme teorisini kuran Amontons ve Coulomb [2]'un buldukları temel sürtünme kanunları şunlardır: (1)Katı cisimler arasındaki

sürtünme görünen temas alanından bağımsızdır; (2)Kinetik sürtünme kayma hızından bağımsızdır; (3) Sürtünme kuvveti malzeme çiftine bağlıdır; (4) Sürtünme kuvveti (F_S) ile normal kuvvet (F_N) doğru orantılı olup, aralarında $\mu = F_S/F_N$ şeklinde ifade edilen ve adına sürtünme katsayısı adı verilen sabit bir oran vardır.Coulomb'a göre sürtünmede en önemli faktör pürüzlerin mekanik etkileşmesidir.Buna göre sürtünme rijit, yani deformasyona uğramayan pürüzlerin teması sonucu meydana gelir. Bir pürüzün diğer pürüz üzerindeki hareketi eğik bir düzlem üzerindeki kayma hareketine benzetilerek statik sürtünme katsayısı $\mu = \tan\theta$ olarak ifade edilmiştir.Pürüzlerin taban açısı (θ) arttıkça , sürtünme katsayısının da arttığı deneysel olarak tespit edilmiştir [3,4].

Tabor'a [3] göre katı cisimler arasındaki kuru sürtünmede üç ana faktör rol oynar: (1) Gerçek temas alanı; (2) Temas noktalarında meydana gelen adhezyon bağları; (3) Temas bölgelerindeki malzeme hareketi ve bağların kopma şekli.Tabor'un ortaya koyduğu bu bilgilerin ışığı altında , son zamanlarda sürtünme konusunda yapılan araştırmalar pürüzlülük ve bunların temas mekanizmasındaki rolleri üzerinde yoğunlaşmıştır. En yaygın kullanılan temas modelleri, Greewood-Williamson ve White-Archard mikro temas modelleridir [5,6].Bu modellerde de katılar arasındaki temasın pürüzlü noktalarda, aşırı gerilme yığılması altında plastik deformasyon sonucu meydana geldiği kabul edilmektedir.

Adhezyon teorisine göre temas bölgelerinde oluşan mikro kaynak bağlarının kopması için gereken kuvvet bir sürtünme direnci meydana getirmekte ve bu kuvvet $F_S = A_g.\tau_k$ olarak ifade edilmektedir [2]. Diğer yandan gerçek temas alanı $A_g = F_N/\tau_a = F_N/H$ ile hesaplanmaktadır. Burada τ_k, σ_a ve H sürtünme çiftlerinden yumuşak olan malzemenin kayma mukavemeti, akma mukavemeti ve sertliğidir. Sadece temas noktalarında meydana gelen mikro kaynak bağlarının kopması esnasında meydana gelen sürtünme katsayısına adhezyon sürtünme katsayısı adı verilmekte ve $\mu_a = \tau_k / \sigma_a$ ile ifade edilmektedir [3].

Bilindiği gibi malzemelerin adhesive ve abrasive aşınmasında sürtünme çiftlerinden birinin sertliği diğerinden daha fazla olarak seçilir. Sert yüzeydeki pürüzler yumuşak yüzeyle teması esnasında, mikro kaynak bağları oluşurken , diğer yandan yüzeye bir miktar nüfuz ederek kayma hareketi esnasında bir aşınma izi oluşturmaya çalışırlar.Adhesiv aşınma için sert pürüzlerin, abrasive aşınma için ise sert pürüz veya aşındırıcı tanelerin şekli küresel, konik, üçgen ve kare tabanlı piramit olduğu kabul edilerek, yüzeyler arasındaki toplam sürtünme katsayısı $\mu_t = \mu_a + \mu_p$ şeklinde ifade edilmiştir [2,8,9,10]. Burada μ_p, sert pürüzün veya aşındırıcı tanenin yumuşak yüzey üzerinde aşınma izi oluşturması esnasında meydana gelen sürtünme katsayısını gösterir.

Abrasive aşınma, sert taneciklerin veya daha sert olan malzemenin yüzey pürüzlerinin yumuşak malzeme yüzeyine bir miktar nufuz ederek aşındırılmasıyla meydana gelir. Abrasiv aşınmanın teorik esası son yapılan araştırmalarla aşındırıcı tane ile malzeme yüzeyi arasında meydana geldiği ileri sürülen dört temel fiziksel olaya dayandırılmıştır [7] : (1) Mikro aşınma izi oluşması; (2) Mikro yorulma, (3) Mikro talaş oluşması ve (4) Mikro çatlak oluşması. Mikro aşınma izi oluşmasında aşındırıcı tane malzeme yüzeyine belli bir derinliğe kadar nüfuz ederek, kayma hareketininin de etkisiyle malzemeye yer değiştirterek arkasında bir aşınma izi oluşturur.Kayma hareketinin aynı temas noktalarında tekrarlanması durumunda mikro yorulma çatlakları teşekkül eder.Mikro talaş teşekkülünde ise aşındırıcı taneler bir kesici takım gibi rol oynayarak yüzeyden talaş kaldırırlar. Meydana gelen aşınma kayıbı aşınma izi hacmine eşit olur [3,7,11].Şayet malzemeler gevrek ve üzerine gelen yük de yüksek ise mikro çatlakların oluşması kaçınılmazdır. Sünek malzemelerde mikro aşınma

izi teşekkülü mikroçatlak oluşumu ile birlikte, aşındırıcı tanelerin temas açısı ve sürtünme katsayısına bağlı olarak meydana gelir.

Abrasiv ortamda, malzemelerin sürtünme katsayılarının deneysel araştırılması üzerine pekçok çalışma yapılmıştır [8, 10, 12].Goddart ve Wilman [8], Al, Ag,Cu , Pt gibi metaller üzerinde düşük kayma hızı ve normal yük altında yaptıkları abrasiv aşınma deneyleri sonucunda sürtünme katsayısının aşındırıcı tane boyutundaki artışla yükseldiğini tespit ettiler. Bir başka çalışmada abrasiv aşınmadaki sürtünme katsayısının temas açısının artışıyla artığı tespit edilmiştir [12].

Bu çalışmada değişik ısıl işleme tabi tutulan ötektoid altı çeliklerin iki cisimli abrasiv aşınması şartlarında, karbon oranı, aşındırıcı tane boyutu, yük ve kayma hızı gibi parametrelerin sürtünme katsayısı ve ortalama yüzey pürüzlülüğüne olan etkileri deneysel olarak araştırılmıştır.Zira bu çelikler ziraat, madencilik ve inşaat sektörü gibi abrasiv şartlara haiz ortamlarda çalışan birçok makina elemanının imalinde kullanıldığından, sürtünme davranışlarının bilinmesi tasarım açısından faydalı olacaktır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1. Malzeme Ve Hazırlanması

Sürtünme deneylerinde esas sürtünme elemanı olarak ötektoid altı çelikler, karşı sürtünme elemanı olarak da aşındırıcı taneleri SiC olan su zımparaları kullanılmıştır.Deney numuneleri boyu ve çapı 14 mm olan pimler şeklinde, aynı yarımamul çubuklardan torna tezgahında işlenerek hazırlanmışlardır.Numunelere normalleştirme (20 dakika süreyle), suda sertleştirme (ısıtma süresi 20 dakika) ve temperleme (400 °C'de 60 dakika süreyle) olmak üzere üç tür ısıl işlem uygulandıktan sonra ortalama sertlikleri ölçülmüştür.Deney malzemelerinin kimyasal analizleri ve ısıl işlem şartları Tablo-1'de verilmiştir.

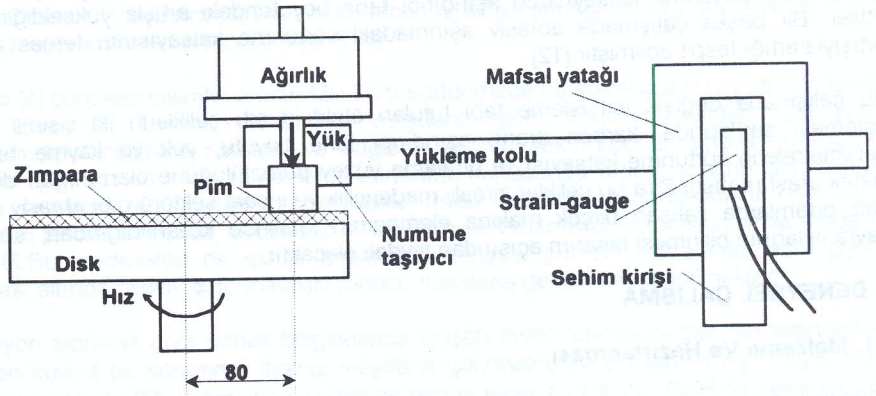
Tablo-1 : Ötektoidaltı çeliklerin kimyasal analizleri ve ısıl işlem şartları

Malzeme						Normalleştirme		Sertleştirme		Temper.
AISI	Kimyasal analiz (%)					Sıcaklık	Sertlik	Sıcaklık	Sertlik	Sertlik
	C	Mn	Si	P	S	(°C)	Hv30	(°C)	Hv30	Hv30
1010	0.11	0.39	0.15	0.018	0.03	930	130	910	260	235
1020	0.23	0.46	0.26	0.015	0.03	910	155	880	400	325
1030	0.30	0.63	0.18	0.03	0.04	890	168	860	550	370
1040	0.42	0.68	0.20	0.02	0.03	880	182	840	710	400
1050	0.49	0.78	0.26	0.02	0.03	870	216	820	790	440
1060	0.56	0.72	0.30	0.02	0.02	850	227	800	860	450

2.2. Deney Methodu

Sürtünme deneylerinde deney tesisatı olarak parlatma ve üniversal aşınma makinalarından faydalanılmıştır.Parlatma makinası kayma sürtünmesine göre çalışan bir pim-disk sistemidir (Şekil-1). Aşındırıcı olarak SiC taneleri ihtiva eden ve çapı 200 mm olan su zımparaları kullanılmıştır.Aşındırıcı tanelerinin ortalama sertliği 2500-2700 kg/mm^2 arasında olan bu zımparaların bağlandığı disk senkron bir elektrik motoru tarafından döndürülmektedir. Kayma hızı bir AC hız kontrol ünitesi tarafından kademesiz olarak ayarlanabilmektedir. Deneylerden önce numunelerin temas yüzeyleri alumina tozları ile parlatılarak ilk ortalama

pürüzlülük değerleri 0.05 μm olarak sağlanmıştır.Sürtünme deneyleri kuru olarak, oda sıcaklığında yapılmıştır.Pim numuneler zımpara üzerinde çapı 160 mm olan bir aşınma yörüngesi üzerinde sürtünmeye zorlanmıştır.Deneyler esnasında sürtünme katsayısındaki değişmeler üniversal aşınma makinasına ait bir strain-gauge sistemiyle kaydedilmiştir. Ayrıca, iğne uçlu bir pürüzlülük cihazı kullanılarak, herbir deneyin sonunda, aşınan yüzeyin aşınma izlerine dik yönündeki ortalama pürüzlülük değerleri ölçülmüştür.



Şekil-1 : Pim-disk abrasiv sürtünme deney sistemi

3. DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

3.1. Sürtünme Katsayısının Kayma Süresi İle Değişimi

Isıl işlem görmüş ötektoidaltı çeliklerin tüm kuru abrasiv sürtünme deneyleri esnasında çizdirilen sürtünme katsayısı-kayma süresi eğrilerinin aynı karaktere sahip olduğu tespit edilmiştir (Şekil-2).Şekilden de görüldüğü gibi ötektoidaltı çeliklerin sürtünme davranışını zamana göre üç bölgeye ayırmak mümkündür :

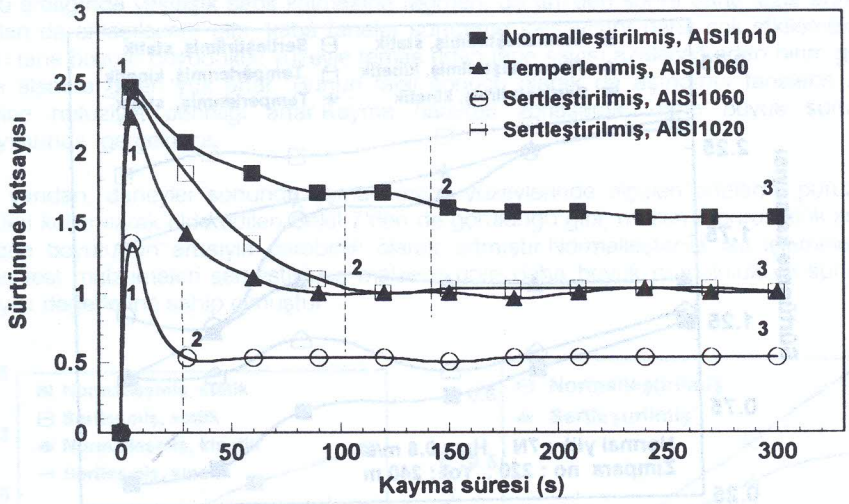
a)Kayma hareketinin başlangıcındaki (t=0) sürtünme (0-1bölgesi) : Ani bir artışla maksimum olan bu sürtünmeye statik sürtünme, katsayısına statik sürtünme katsayısı (μ_s) adı verilir.

b) Kararsız sürtünme (1-2 bölgesi) : Kinetik sürtünme katsayısının azalan yönde değiştiği sürtünme bölgesidir.

c) Kararlı sürtünme (2-3 bölgesi) : Kinetik sürtünme katsayısının (μ_k) yaklaşık olarak sabit kaldığı bölgeye denir.

Kayma hareketinin başlangıcında aşındırıcı tanelerin boyutu maksimum olduğundan metal yüzeyi ile temas eden tane sayısı az olur ve bu yüzden birim temas alanına düşen yük artar. Bunun tabii sonucu olarak tanelerin bir kısmı elastik, bir kısmı plastik olarak metal yüzeyine daha fazla nüfuz eder.Diğer yandan gerçek temas alanları da bir miktar büyür.Aşındırıcı tanelerin metal yüzeyi ile temas alanının ve yüzeylere olan nüfuziyet derinliğinin fazla olması kayma hareketinin başlangıcında metal yüzeyinin daha büyük sürtünme direnci göstermesine neden olur.Bu nedenle statik sürtünme katsayısı daima kinetik sürtünme katsayısından büyük olmuştur.Diğer yandan kayma hareketinin ilerleyen safhasında metal

ve zımpara yüzeyinden bir miktar tanecik kopması olması nedeniyle, aşındırıcı tanelerin boyutları ve aşındırma kabiliyetleri azalır, fakat sürtünmeye iştirak eden tane sayısı artar.Ayrıca kopan bu tanecikler sağlam zımpara tanelerinin arasını da doldurmaya başlar ve yüzeyler arasında yuvarlanma ve ötelenme şeklinde hareket ederler [8,14].Yukarda izah edilen sebeblerden dolayı kararsız sürtünme bölgesinde kinetik sürtünme katsayısı azalma meyili göstermiştir.



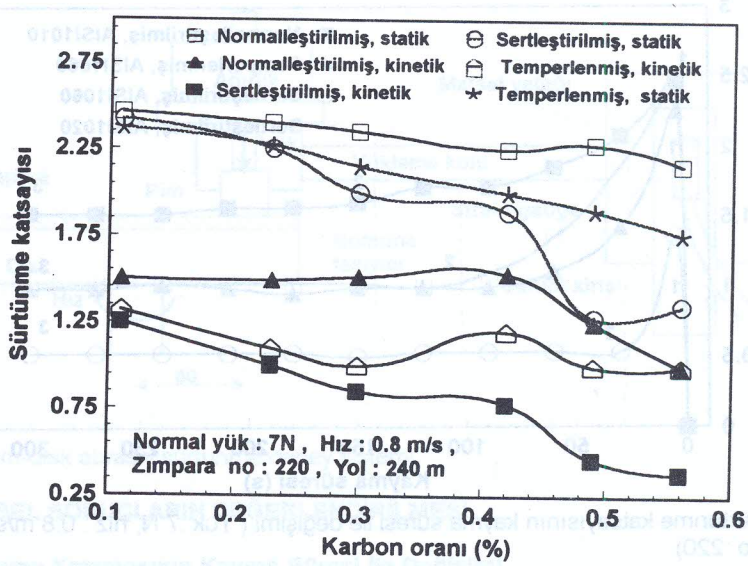
Şekil-2 : Sürtünme katsayısının kayma süresi ile değişimi (Yük :7 N, hız : 0.8 m/s, zımpara no :220)

Kararsız sürtünmenin sonuna doğru aşındırıcı tanelerin boyutu gittikçe küçülerek sabit bir değere ulaşırken, temas yüzeylerinden ayrılan metal ve aşındırıcı tanelerinin miktarı maksimum olur ve aşındırıcı zımpara tanelerinin arasını aşırı şekilde doldurur.Böylece tanelerin aşındırma kabiliyetleri minimuma düşerek, sürtünme kararlı hale gelir ve kinetik sürtünme katsayısı sabit bir değerde kalır.

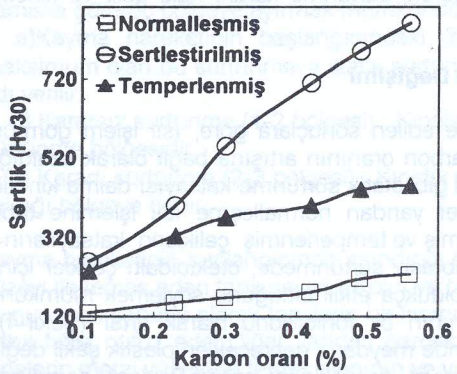
3.2. Sürtünme Katsayısının Karbon Oranı İle Değişimi

İki cisimli abrasiv sürtünme deneylerinden elde edilen sonuçlara göre, ısıl işlem görmüş ötektoidaltı çeliklerin sürtünme katsayılarının karbon oranının artışına bağlı olarak azaldığı tespit edilmiştir (Şekil-3).Şekil'den de görüldüğü gibi statik sürtünme katsayısı daima kinetik sürtünme katsayısından büyük olmuştur. Diğer yandan normalleşme ısıl işlemine tabii tutulan çeliklerin sürtünme katsayıları sertleştirilmiş ve temperlenmiş çeliklerin katsayılarından daha büyük çıkmıştır.Bu sonuçlara göre abrasiv sürtünmede, ötektoidaltı çelikler için, karbon oranının sürtünme katsayısı üzerinde oldukça etkili olduğunu söylemek mümkündür.Bilindiği gibi çeliklerde sertlik karbon oranının bir fonksiyonu olarak artar (Şekil-4). Sertliğin artışı, aşındırıcı tanelerin metal yüzeyinde meydana getirecekleri plastik şekil değişim miktarlarını, dolaysıyle yüzeye olan nufuziyet derinliklerini azaltır.Böylece aşındırıcı taneler, metal yüzeyi üzerinde daha kolay mikro çizik ve talaş kaldırma etkisi yaparak, daha düşük sürtünme katsayılarına sahip kayma hareketlerini gerçekleştirirler.Bu sonuca benzer olarak, metal-metal sürtünmesi üzerinde yapılan bir başka çalışmada, sürtünme katsayısı-

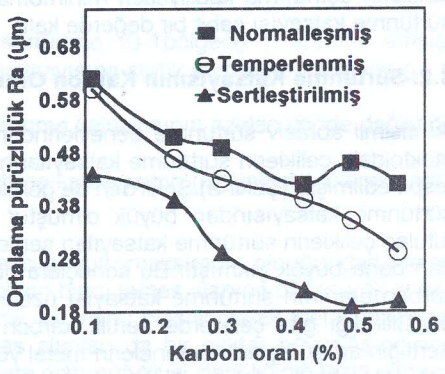
nın sertliğin artışıyla ters orantılı olarak azaldığı tespit edilmiştir [12]. Sürtünme deneyleri sonunda, aşınma izlerine dik yönde ölçülen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri kullanılarak çizilen pürüzlülük-karbon oranı eğrilerinden de görüldüğü gibi, ortalama yüzey pürüzlülüğü karbon oranının artışıyla azalmıştır (Şekil-5). Sertleştirilmiş çeliklerin yüzey pürüzlülük değerleri daha düşük olmaktadır.Bunun başlıca sebebi, daha önce de izah edildiği gibi, aşındırıcı tanelerin metal yüzeyine olan nüfuziyet derinliklerinin sertliğin artışıyla azalmasına bağlanabilir.



Şekil-3 : Abrasiv aşınmada sürtünme katsayısının karbon oranı ile değişimi



Şekil-4 :Sertliğin karbon oranı ile değişimi

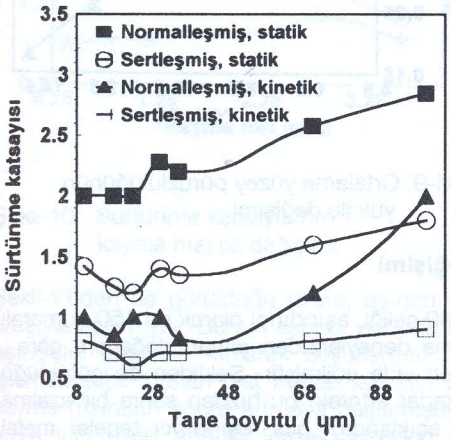


Şekil-5: Yüzey pürüzlülüğünün karbon oranı ile değişimi.

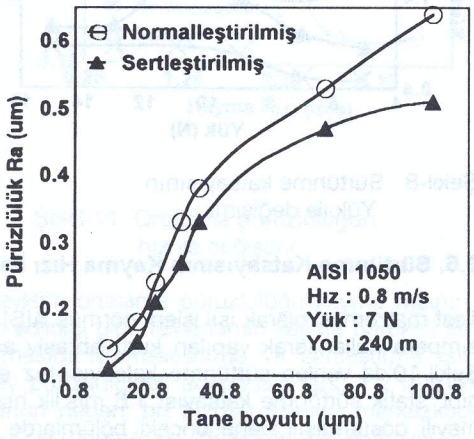
3.3. Sürtünme Katsayısının Aşındırıcı Tane Boyutu İle Değişimi

Aşındırıcı tane boyutunun sürtünme katsayısına olan etkisini tespit etmek için, sürtünme deneyleri, AISI 1050 çeliği kullanılarak 0.8 m/s'lik kayma hızı ve 7 N'luk yükleme şartlarında yapılmıştır.Şekil-6'dan da görüldüğü gibi, sürtünme katsayısı tane boyutunun artışıyla az da olsa bir artış göstermiştir.Sürtünme katsayısındaki bu değişim 10-35 μm arasındaki tane boyutu aralığında yaklaşık sabit kalmasına rağmen, 35 μm'den sonra daha fazla artmıştır. Buradan da anlaşılacağı gibi, kaba taneler sürtünme katsayısını daha çok etkilemektedir. Çünkü tane boyutu büyüdükçe yüzeyle temas eden tane sayısı azalacağından birim gerçek temas alanına gelen yük artar. Bunun tabii sonucu olarak da aşındırıcı tanelerin metal yüzeyine nufuziyet derinliği artar.Kayma hareketi zorlaşarak, daha büyük sürtünme katsayılarında gerçekleşir.

Diğer yandan, deneyler sonunda aşınan metal yüzeylerinde ölçülen ortalama pürüzlülük değerleri kullanılarak elde edilen Şekil-7'den de görüldüğü gibi, ortalama pürüzlülük aşındırıcı tane boyutunun artışıyla parabolik olarak artmıştır.Normalleştirme ısıl işlemine tabii tutulan test malzemeleri sertleştirilmiş malzeye göre daha büyük pürüzlülük ve sürtünme katsayısı değerlerine sahip olmuştur.



Şekil-6: Sürtünme katsayısının tane boyutu ile değişimi.

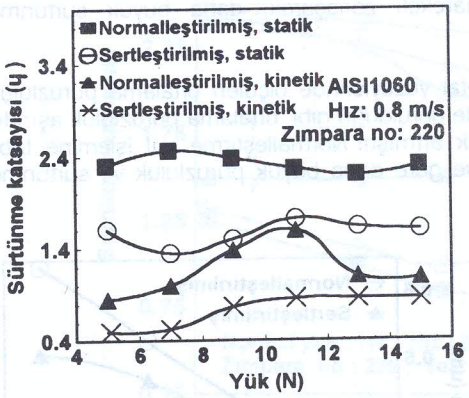


Şekil-7: Yüzey pürüzlülüğünün tane boyutu ile değişimi.

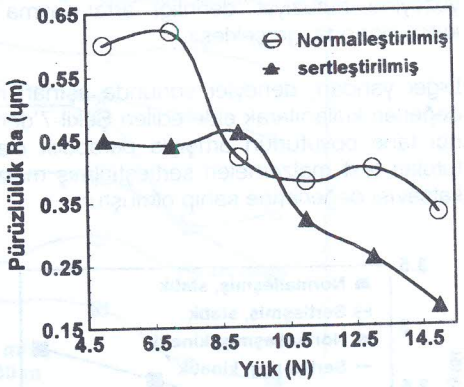
3.4. Sürtünme Katsayısının Yük İle Değişimi

Bu çalışmada ayrıca, ısıl işlem görmüş AISI 1060 çeliği üzerinde yapılan abrasiv sürtünme deneyleri ile sürtünme katsayısının normal yük ile değişimi belirlenmiştir.Şekil-8'de normalleştirme ve sertleştirme ısıl işlemi için statik ve kinetik sürtünme katsayılarının yük ile değişimi görülmektedir. Sürtünme katsayısı normal yükün artışıyla az da olsa 10 N'luk yüke kadar bir artış gösterek sabit bir değere ulaşmıştır.Bu sonuca göre, abrasiv aşınmada sürtünme katsayısının uygulanan yükten çok az etkilendiğini söylemek mümkündür. Değişken yükleme şartlarında da statik sürtünme katsayısı kinetik sürtünme katsayısından daha büyük olmuştur. Bunun başlıca nedeni temas başlangıcında aşındırıcı tanelerin taze zımpara kağıdı üzerindeki ilk yerini ve maksimum boyutunu koruması ve metal yüzeyine

daha derin nufuz etmesi olabilir.Sürtünmenin ilerleyen safhasında aşındırıcı taneler hızla kırılarak ince taneli hale gelirler.Ayrıca bir kısım taneler zımpara yüzeyinden ayrılarak aşınma izine dağılır.Temas yüzeyleri arasında biriken metal ve aşındırıcı taneler yuvarlanma ve ötelenme hareketi ile sürtünmenin azalmasına yardımcı olurlar.Normal yükün artışı ile aşındırıcı taneler daha hızlı kırılarak boyut kayıpları arttığından, aşınan yüzeylerin ortalama pürüzlülüğü yükün artışının tersine azalmıştır (Şekil-9).Daha önceki deneysel sonuçlardan da görüldüğü gibi, normalleştirme ısıl işlemine ait sürtünme katsayısı ve ortalama pürüzlülük değerleri sertleştirme şartından daima büyük olmuştur.Buradan anlaşılmaktadırki abrasiv sürtünmede etkili olan en önemli faktör test malzemesinin sertliğidir.



Şekil-8 : Sürtünme katsayısının Yük ile değişimi.



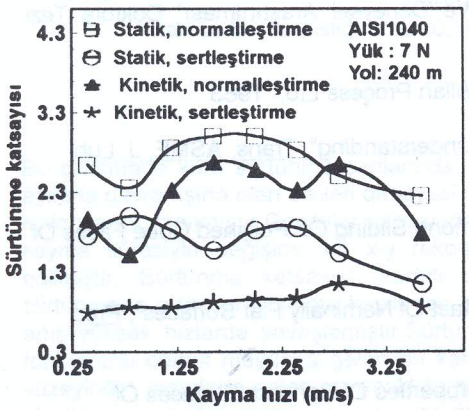
Şekil-9: Ortalama yüzey pürüzlülüğünün yük ile değişimi.

3.5. Sürtünme Katsayısının Kayma Hızı İle Değişimi

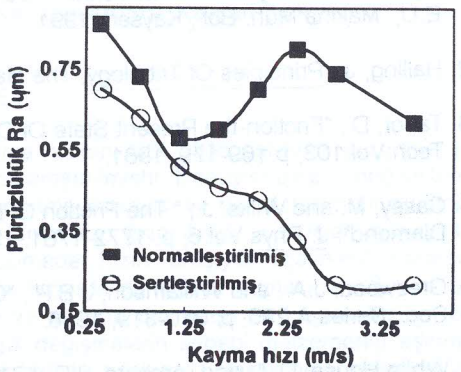
Test malzemesi olarak ısıl işlem görmüş AISI 1040 çeliği, aşındırıcı olarak da 150 numaralı zımpara kullanılarak yapılan kuru abrasiv aşınma deneylerinden alınan değerlere göre , Şekil-10'da verilen sürtünme katsayısı-hız eğrileri elde edilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi, statik sürtünme katsayısı 1.6 m/s'lik hıza kadar artarak, bu hızdan sonra bir azalma meyili göstermiştir.Daha önceki bölümlerde de açıklandığı gibi, aşındırıcı taneler metal yüzeyini plastik olarak şekillendirerek, yüzeyde mikro çizik ve talaş kaldırma etkisi yaparlar.Kayma hızının artması ile aşındırıcı tanenin yüzeyi plastik şekillerdirme hızı artar.Fakat metal yüksek şekil değişim hızına karşı daha büyük kayma direnci gösterir.Bu nedenle aşındırıcı tanenin yüksek kayma hızlarında metal yüzeyi üzerindeki hareketi zorlaşacağından, statik sürtünme katsayısı 1.6 m/s'lik hıza kadar artmıştır.Bu hız noktasından sonra, metal yüzeyinin gösterdiği yüksek şekil değiştirme direnci karşısında aşındırıcı taneler kırılmaya başlayarak ilk boyutlarını kaybettiklerinden sürtünme katsayısında azalma olmuştur.

Şekil-10'dan görüldüğü gibi , kinetik sürtünme katsayısı kayma hızındaki artışa bağlı olarak, 2.4 m/s'lik hıza kadar sabit kalırken, bu noktadan sonra azalmıştır.Sürtünme aynı aşınma yörüngesi üzerinde olduğundan, hızın büyümesi ile temas noktalarının daha fazla tekrarlı temaslar neticesinde aşındırıcı tanelerin kırılma oranları artmış ve neticede tane boyutları

aşırı incelerek sabit bir boyuta düşmüştür..Ayrıca aşındırıcı taneler metal tanecikleriyle de birleşerek yüzeyler arasında dönme ve ötelenme hareketi yaparak sürtünmeyi kolaylaştırmışlardır.Yukarda izah edilen nedenlerden dolayı sürtünme katsayısı sabit kalmıştır. Diğer yandan hızın 2.4 m/s 'yi aşmasıyla merkezkaç kuvvetinin etkisi arttığından, temas yüzeyleri arasındaki taneciklerin bir kısmının atılması sürtünme katsayısında bir azalmaya sebeb olduğu kabul edilebilir.



Şekil-10 : Sürtünme katsayısının kayma hızı ile değişimi.



Şekil-11: Ortalama pürüzlülüğün hız ile değişimi.

Şekil-11'den de görüldüğü üzere, aşınan yüzeylerin ortalama pürüzlülüğü kayma hızının artışıyla azalmıştır. Bunun sebebi yukarda izah edildiği gibi, tekrarlanan kayma hareketi ile aşındırıcı tanelerin kırılarak boyutlarının azalmasıdır.Normalleştirme ve sertleştirme ısıl işlemine tabii tutulan test malzemelerinin yüzey pürüzlülükleri arasındaki fark, 1.2 m/s'lik kayma hızından sonra artmaya başlamıştır.Bunun nedeni bu hızdan itibaren merkezkaç kuvvetinin etkisi artarak temas yüzeyleri arasında dönme ve ötelenme hareketi yapan taneciklerin bir kısmının temas bölgesinden uzaklaştırılması olabilir.

4. SONUÇLAR

Isıl işlem görmüş ötektoidaltı çelikler üzerinde yapılan iki cisimli abrasiv ortamda sürtünme deneylerinden alınan sonuçlar şöyle özetlenebilir :

a) Ötektoidaltı çelikler, abrasiv ortamda, kayma süresine bağlı olarak statik , kararsız ve kararlı olmak üzere üç karakteristik sürtünme davranışı gösterirler.

b) Sürtünme katsayısı karbon oranının artışıyla azalmaktadır..

c) Aşındırıcı tane boyutunun artışıyla statik ve kinetik sürtünme katsayısında az da olsa bir artış olmaktadır.

d) Normal yükün sürtünme katsayısına etkisi daha az olduğundan, sürtünme katsayısı yaklaşık sabit kalmaktadır..

e) Kayma hızının artışına bağlı olarak statik sürtünme katsayısı daha fazla artma meyili gösterirken, kinetik sürtünme katsayısı yaklaşık sabit kalmaktadır..

f) Aşınan yüzeylerin ortalama pürüzlülüğü, karbon oranı, kayma hızı ve yükün artışıyla ters orantılı olarak azalırken, tane boyutunun artışıyla parabolik bir artış göstermektedir..

g) Normalize olmuş çeliklere ait sürtünme katsayısı ve ortalama pürüzlülük değerleri sertleştirme ve temperleme ısıl işlemine tabii tutulan çeliklerden daha yüksek olmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Odabaş, D. " Kuru Sürtünme Şartlarında Termomekanik Faktörlerin AISI 3315 Çeliğinin Aşınma Davranışına Olan Etkilerinin Teorik Ve Deneysel Araştırılması" Doktora Tezi E.Ü, Makina Müh. Böl., Kayseri, 1991.

2. Halling, J., Principles Of Tribology, The Mac Millan Process Ltd, 1983.

3. Tabor, D., "Friction-the Present State Of Our Understanding", Trans. ASME, J. Lub Tech.Vol.103, p.169-179, 1981.

4. Casey, M. and Wilks, J., " The Friction Of Diamond Sliding On Polished Cube Faces Of Diamond", J. Phys.Vol.6, p. 1772-1781, 1973.

5. Greewood, J.A., and Williamson, J.B.P., "Contact Of Nominally Flat Surfaces", Proc. Soc., Series A 295, p. 310-319, 1966.

6. White House, D.J., and Archard, J.F., " The properties Of Random Surfaces Of Significance İn Their Contact", Proc. Soc., p.97-121, London, 1970.

7. Gahr, K.H.Z., Microstructure And Wear Of Metals, Elsevier Science Publisher B.V.,1987.

8. Goddard, J., and Wilman, H., " A Theory Of Friction And Wear During The Abrasion Of Metals", Wear 5, p.114-135, 1962.

9. El-Sherbiny, M., and Salem, F., " The Role Of Surface Roughness İn The Friction Of Sliding Contacts ", Tribology International Vol.17, p.223-227, 1984.

10. Hisakado, T., " On The Mechanism Of Contact Between Solid Surfaces", Bulletin Of The JSME, Vol. 13, No 55, p. 129-139, 1970.

11. Hisakado, T., " The Influence Of Surface Roughness On Abrasive Wear", Wear 4, p.179-190, 1976.

12. Zum Gahr, H.H." Formation Of Wear Debris By The Abrasion Of Metals", Wear 5, p. 114-135, 1962.

13. Mokhtar, M.O.A., Zaki, M., and Shouki, G.S.A. " Effect Of Mechanical Properties On Friction Behaviour Of Metals, Tribology International, p.265-268, 1979.

14. Hisakado, T., Suda, H., and Tsukui, T.,"Effects Of Dislodgement And Size Of Abrasive Grains On Abrasive Wear", Wear 155, p.297-307, 1992.