

ÖSTEMPERLENMİŞ KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRİN AŞINMA DAVRANIŞI ÜZERİNDE PVD YÖNTEMİ İLE TiN KAPLAMANIN ETKİSİ

Faik OKAY¹, Hasan SERT², Kasım HABALI², Ferhat GÜL²

¹Aksaray Üniversitesi Ortaköy Meslek Yüksekokulu, Teknik Programlar, Ortaköy, Aksaray.

²Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Beşevler, Ankara.

¹faikokay@aksaray.edu.tr

(Geliş/Received: 24.12.2009; Kabul/Accepted: 17.05.2010)

ÖZET

Bu çalışmada, östemperlenmiş küresel grafitli dökme demirlerin aşınma davranışı üzerinde fiziksel buhar birikim metodu ile TiN kaplamanın etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, 900°C'de 60 dakika östenitleme, daha sonra 360 °C'de 30 ve 90 dakika östemperleme işlemi uygulanmıştır. Isıl işlemden sonra numunelere PVD yöntemi ile TiN kaplanmıştır. Aşınma testleri, disk üzerinde pim cihazında 20 N, 40 N ve 60 N yükler altında, 1m/s kayma hızında 1800 m kayma mesafesinde gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçlar, ısıl işlem şartlarına bağlı olarak küresel grafitli dökme demirin perlitik yapısının ösferrite dönüştüğünü göstermiştir. Numunelerin aşınması, TiN kaplamanın etkisi ile 3-4 kat azalmıştır.

Anahtar Kelimeler: Adhasif aşınma, östemperlenmiş küresel grafitli dökme demir, TiN kaplama,

EFFECT OF TiN COATING BY PHYSICAL VAPOUR DEPOSITION ON THE WEAR BEHAVIOUR OF AUSTEMPERED DUCTILE IRON

ABSTRACT

In this study, the effect of TiN coating by physical vapour deposition method on wear behaviour of austempered ductile iron was studied. For this purpose, austenitising at 900°C for 60 min and later austempering at 360 °C for 30 and 90 min was applied to the specimens. After heat treatment, the surfaces of these samples were coated TiN by PVD method. Wear tests were performed on pin-on-disc device under loads of 20 N, 40 N and 60 N, at linear sliding speed of 1m/sec and sliding distance of 1800 m. The experimental results show that pearlitic microstructure of ductile iron turned into ausferritic structure depending on heat treatment conditions. The wear of specimen was reduced 3-4 times by the effect of TiN coating.

Key Words: Adhesive wear, austempered ductile iron, TiN coating

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde teknoloji çok hızlı bir şekilde gelişmekte, teknolojinin gereksinimi olan malzemelerin üretimi de buna bağlı olarak gelişmektedir. Bir ürünün imalatına başlamadan önce kullanılacak hammaddenin mühendislik özellikleri; kimyasal bileşim, mukavemeti, tokluğu, işlenebilirliği, çekme, kopma dayanımı vb. özellikleri bakımından iyi bir seçim yapılması gerekir. Günümüz teknolojisinde malzemelerin yüzey özellikleri, modern kaplamalar sayesinde istenilen mühendislik özellikleri kazandırılarak yüksek performanslara ulaşılmaktadır.

Küresel grafitli dökme demirler (KGDD) diğer dökme demir türlerine göre daha yüksek mühendislik özelliklerine sahiptir. Küresel grafitli dökme demirlere uygulanan ısıl işlemler çok çeşitlidir. En yaygın olarak kullanılan ısıl işlem östemperleme ısıl işlemidir. 1970'lerin başlarında uygulanmaya başlanan östemperleme çalışmaları günümüze kadar çok fazla ilgi görmüş ve halen de görülmektedir. Ülkemizde ise yakın dönemde başlamış olan çalışmalar çok yoğun bir şekilde devam etmektedir [1,2]. Döküm endüstrisinde, küresel grafitli dökme demir (KGDD) üretiminde teknik gelişmeler sonucu ve endüstrinin ihtiyaçları doğrultusunda yeni bir yaklaşımla östemperlenmiş küresel grafitli dökme

demirlere geçiş yapılmıştır [3]. Östempelenmiş küresel grafitli dökme demirler (ÖKGDD) dökme demirlerin yeni bir sınıfı ve özellikleri seçilen östempereleme parametrelerine göre değişebilmektedir [4]. Bu malzemenin endüstride yaygın olarak kullanılması önemli sebeplerinden birisi hem dökülmüş halde hem de ısıtma işlemi yapılmış şartlarda kullanıma uygunluğu ve aşınma direncidir [5,6].

Son yıllarda alternatif kaplama teknikleri aranırken 1960'lı yılların sonunda Amerika'da PVD metodu geliştirilmiştir. Bu metot 200-500°C arasında sıcaklıklarda yapıldığı için ısıtma işlemi görmüş takım çeliklerini de kaplama imkânı sağlamıştır. Fakat bu tekniğin laboratuvar aşamasından endüstri kullanıma aşamasına geçmesi ve teknolojik anlamda verimli olabilmesi 1970'li yıllara kadar sürmüştür. Geliştirilmeye çalışılan CVD ve PVD teknolojilerinde 1-10 µm arasında yapılan kaplama ana malzeme tarafından emilmekte ve yüzey artımı pek görülmemektedir. Kaplama yapılmadan önce yüzeyin temizliği ve pürüzlülüğünün en aza indirilmesinin kaplamanın sıhhati açısından son derece önemli bir yeri vardır. Çok temiz ve pürüzsüz bir ana malzemenin hazırlanmasıyla kaplamanın verimi artırılabilir [7].

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL PROCEDURE)

2.1. Deney Numunelerinin Hazırlanması (Preparation of Test Specimens)

Deney numuneleri olarak döküm yolu ile üretilen çubuk şeklindeki numuneler, 35 mm çapında ve 250 mm uzunluğundadır. Ergitme işlemi 600 kg kapasiteli orta frekanslı ergitme tipi indüksiyon ocağı kullanılarak yapılmıştır. Üretilen küresel grafitli dökme demir numunelerin kimyasal bileşimi Tablo 1'de verilmiştir

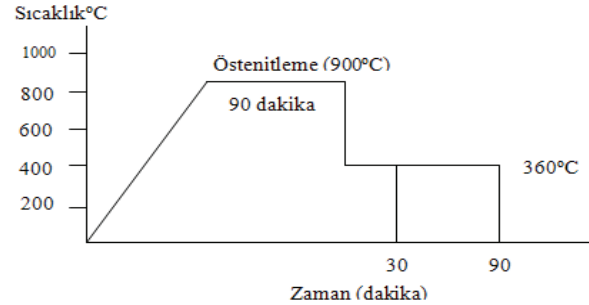
Tablo 1. KGDD numunelerin kimyasal bileşimi (Chemical composition of ductile iron specimen)

% C	% Si	% Mn	% P	% S
3,96	1,74	0,293	0,026	0,018
% Ni	% Cu	% Cr	% Fe	
0,039	0,96	0,042	Kalan	

Döküm işlemi bittikten sonra 35 mm çapında ve 250 mm uzunluğundaki numuneler ASTM G99 standardına uygun bir şekilde tornalama ve taşlama işlemi yapılarak 10 mm çapına ve 40 mm boyuna getirilmiştir. Daha sonra numuneler östempereleme ısıtma işlemine tabi tutulmuştur.

Uygulanan ısıtma işlemi özeti Şekil 1'de gösterilmiştir. Numuneler bütün ısıtma işlemleri boyunca fırın içerisinde daha önce sıcaklık ölçümlerinin yapıldığı aynı yere yerleştirilerek, sıcaklık ~900°C'de ayarlanmıştır. Östempereleme ısıtma işlemleri boyunca numuneler fırın

içerisinde aynı bölgede tutulmuştur. 900°C'de östemperelemeden sonra hızlı bir şekilde tuz banyosuna daldırılan numuneler 30 ve 90 dakika bekletildikten sonra oda sıcaklığında havada soğutulmuştur.

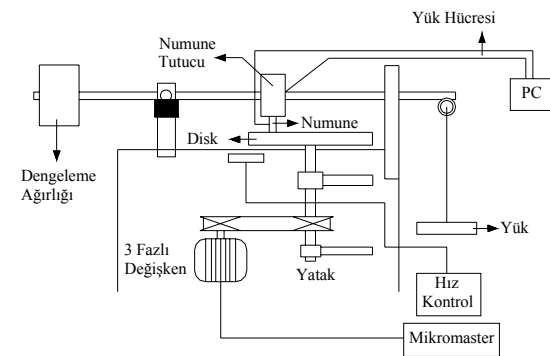


Şekil 1. Deneylerde uygulanan östempereleme ısıtma işlemi. (Austempering heat treatment applied in the experiments)

Döküm durumunda ve östempereleme ısıtma işlemine tabi tutulan ASTM G99 standardındaki numuneler, kaplama öncesi zımparalanıp aseton ile temizlenmiştir. Oksit, kir ve yağların kaplama kalitesine zararlı etkileri giderilmiştir. Daha sonra numuneler PVD yöntemi ile TiN kaplanmıştır. Kaplama parametreleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. TiN Kaplama parametreleri (TiN coating parameters)

Yapılan Kaplama	TiN
Yöntem	Katodik Ark
Kaplama Süresi	45 dakika
BİAS Voltajı	-200V
Ark Akımı	50 A
Basınç(Kaplama Öncesi)	10 ⁻⁵ Torr
Basınç(Kaplama Esnasında)	10 ⁻³ Torr
Kalınlık	2,5-3µ
Kaplama Sıcaklığı	250 °C



Şekil 2. Aşınma cihazının şematik görünümü (The schematic appearance of the wear tester)

Aşınma deneyleri disk üzerinde pim aşınma cihazında gerçekleştirilmiştir. Aşınma deney cihazının şematik görünümü Şekil 2'de verilmiştir. Aşınma düzeneğinde kullanılan aşındırıcı disk 62 HRC sertliğinde AISI 52100 soğuk iş takım çeliğinden imal edilmiştir. Diskin yüzeyi deney öncesi 0,3 µm hassasiyetinde taşlanmış ve her deney için farklı diskler

Tablo 3. Numune kodlama sistemi (The coding system for specimens)

Numune Kodu	Numune Adı
KGDD	Küresel grafitli dökme demir
ÖKGDD 360-30	360 °C ve 30 dakika östemperlenmiş küresel grafitli dökme demir
ÖKGDD 360-90	360 °C ve 90 dakika östemperlenmiş küresel grafitli dökme demir
KGDD TiN	Titanyum Nitrür kaplanmış küresel grafitli dökme demir
ÖKGDD TiN 360-30	360 °C ve 30 dakika östemperlenmiş, Titanyum Nitrür kaplanmış küresel grafitli dökme demir
ÖKGDD TiN 360-90	360 °C ve 90 dakika östemperlenmiş, Titanyum Nitrür kaplanmış küresel grafitli dökme demir

kullanılmıştır. Aşınma deneyleri oda sıcaklığında 1 m/s sabit kayma hızında 20, 40 ve 60 N yükler altında 1800 m kayma mesafesinde gerçekleştirilmiştir. Numuneler deney öncesi ve sonrası aseton ile temizlenerek 0,1 mg hassasiyetinde terazi ile tartılmış, elde edilen fark, aşınma kaybı olarak verilmiştir.

Yapılan çalışmada numune kodlaması, küresel grafitli dökme demirin baş harflerinden, östemperlenmiş küresel grafitli dökme demirin ise östemperleme sıcaklığı ve süresine göre yapılmıştır. Ayrıca kaplama yapılan numuneler için TİN (Titanyum Nitrür) sembolü kullanılmıştır (Tablo 3).

2.2. Deney Verilerinin Bilgisayara Aktarımı (The Transferring Test Data to the Computer)

Çalışma kapsamında yer alan sürtünme kuvveti değerlerinin zamana bağlı olarak değişimini inceleyebilmek için bir takım düzenekler kurulmuştur. Deney düzeneğinde kullanılan yük hücresinin sinyal çıkışının mili volt (mV) seviyesinde olması ve seçilen DAQ (Data Acquisition) kart girişinin volt (V) düzeyinde olması nedeniyle, bir çeşit dönüştürücü olan izole edilmiş gerinim ölçer modülü kullanılmıştır. Kullanılan gerinim ölçerin hassasiyeti $\pm 0,1$ 'dir. DAQ/IO elemanın belirlenmesi amacıyla kullanılan karakteristik özellikleri doğruluk, veri edinme-alma süresi ve oranı, kanal sayısı, kullanım eksikliği, güvenilirlik vb'dir. Sistemde yük hücresinden alınan sinyallerin bilgisayar ortamında okunması ve analizlerinin yapılabilmesi amacıyla çoklu fonksiyon özelliği olan analog ve sayısal I/O kartı "PCL-1710" kullanılmıştır. Kullanılan bu kartın ölçme ve kontrol fonksiyonel özellikleri arasında analog çevrimi, sayısal-analog çevrimi, sayısal girdi, sayısal çıktı ve sayaç gibi teknik özellikleri bulunmaktadır. Kart oldukça düzenli bir şekilde oluşturulmuş 16 adet 12-bit analog giriş kanalı, 2 adet 12-bit analog çıkış kanalı, 16 sayısal giriş ve 16 sayısal çıkış kanalları ile programlanabilir bir zamanlayıcıdan ibarettir. Ayrıca farklı kazanca ihtiyaç duyulan uygulamalarda, maksimum çözünürlük ve uygunluk sağlanabilmektedir [2]. Yük hücresinden gelecek olan veriler, dönüştürücüler, terminal board ve I/O kartı ile

bilgisayara aktarılmıştır. Daha sonra bu veriler depolanarak DASSYLab (Data Acquisition and Software Version 8.0) adlı bir ticari paket program sayesinde veriler analiz edilmiştir. Programın tasarım ekranından gerekli ayarlamalar yapıldıktan sonra verileri almaya başlayacaktır. Programa kaç çeşit veri girilecekse, bu veri sayısınca veri kanalları açılır. Kartın kapasitesinin fazla olması nedeniyle gelen verilerin sayısının ve süresinin ayarlanması gerekir. Aşınma deneyleri süresince saniyede 1 veri alıp her 15 saniyede ortalaması ekranda devamlı görüntülenmiştir. Programa daha önce hesaplanmış olan kuvvet değerleri girilerek sistemin kalibrasyonu sağlanmış olur. Programa bir adet kayıt ve durma butonu eklenmiştir. Kayıt butonuna basarak verilerin bilgisayara kayıt işlemleri yapılmıştır. Verilerin kaydedildiği dosya, programın sistem dosyalarının altında bulunan DATA dosyasıdır. Veriler, text uzantısı halinde metin belgesi olarak kaydedilir. Her deney sonrası bu dosya farklı kaydedilerek her deney parametresi için ayrı dosya açılmış olur. Böylece verilerin depolanması sağlanır. Bu dosyaya tepki kuvveti değerlerinin her dakikadaki ortalamaları yazdırılmıştır.

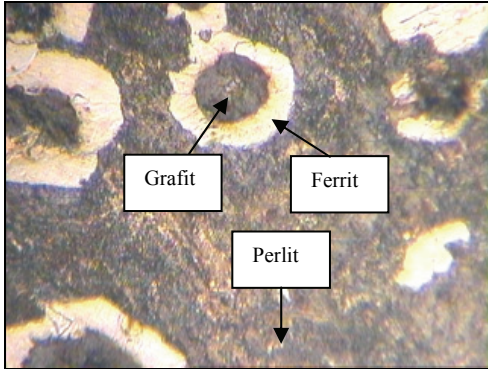
3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

3.1. Mikroyapı ve Mekanik Özellikler (Microstructure and Mechanical Properties)

Bu çalışmada kullanılan küresel grafitli dökme demir malzemelerinin mikroyapıları incelendiğinde, matrisin ferritik ve perlitik matrisin meydana geldiği görülmüştür (Şekil 3). Yapıda küre şeklinde grafitlerin bulunduğu ve yapının % 8-9'unu oluşturduğu tespit edilmiştir.

Döküm yoluyla üretilen numuneler, 900 °C'de 60 dakika östenitleme işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonra numunelere 360 °C'de 30 ve 90 dakika östemperleme ısıl işlemi yapılmıştır. Isıl işlem sonunda östemperlenmiş küresel grafitli dökme demirlerin mikroyapısı incelenmiştir. İnceleme sonunda matrisin ferrit (α), yüksek karbonlu östenitten (γ_{yk}) ve dönüşmemiş östenitten oluştuğu

tespit edilmiştir. Numunelerde oluşan fazların oranı Tablo 4’de verilmiştir.



Şekil 3. Döküm durumu KGDD’in mikroyapısı (Microsture of as-cast ductile iron)

Tablo 4. Numunelerde faz dağılımı (The phase distribution in the specimens)

Numune	KGDD	ÖKGDD 360-30	ÖKGDD 360-90
Faz(%)	%80 - P %11 - F	%70 - Ö.F. %30 - D.Ö.	%86 - Ö.F. %14 - D.Ö.
P=Perlit, F=Ferrit, Ö.F.=Ösferrit, D.Ö.= Dönüşmemiş Östenit			

Östemperleme süresinin artmasıyla yani sürenin 30 dakikadan 90 dakikaya çıkmasıyla yapıda dönüşmemiş östenit alanların azaldığı görülmektedir (Tablo 4). Östemperleme ısıl işleminde östenitleme süresinin 90 dakika seçilmesi ile ilgili yapılan literatür araştırmasında 900 °C östenitlenen numunelerin 30 dakika östenitleme süresinin döküm durumu ferrit matrisin östenite dönüşmesi için yeterli olduğu saptanmıştır [2].

Numunelerin sertlik değerleri incelendiğinde küresel grafitli dökme demirin sertliği 25,5 HRC’dir. 360 °C 90 dakika östemperlenen numunede sertliğin 36,5 HRC’ye ulaştığı saptanmıştır. Bu durum östemperleme ısıl işleminin sertliği artırdığını göstermektedir. Östemperleme süresi azaldıkça sertliğin arttığı görülmektedir. Östemperleme süresinin 30 dakikaya düşmesiyle sertliğin 39,1 HRC’ye çıktığı tespit edilmiştir (Tablo 5). Östemperlenmiş küresel grafitli dökme demir matrisinde bulunan dönüşmemiş östenit alanının östemperleme süresinin azalmasıyla arttığı görülmektedir. 360-30 ÖKGDD bünyesinde dönüşmemiş östenit alanın fazla olması (%30) sertliği artıran bir faktör olduğu söylenebilir. Dönüşmemiş östenit alanının sahip olduğu kararsız yapı nedeniyle düşük östemperleme zamanı numune sertliğini artırmıştır. Bu durum literatür ile de bir paralellik göstermektedir [4].

Mikrosertlik testi neticesinde elde edilen sonuçlar incelendiğinde, küresel grafitli dökme demir numunesinin sertliğinin yüzeyden uzaklaştıkça azaldığı görülmektedir (Tablo 6). Aynı zamanda bu

numune diğer numunelere bakarak en yumuşak malzeme olarak dikkat çekmektedir. Östemperleme ısıl işlemiyle diğer numunelerde sertliğin arttığı görülmektedir. 360 °C 30 dakika östemperlenen numune 90 dakika östemperlenen numuneden daha sert olduğu görülmektedir. Mikrosertlik değerleri normal sertlik değerleri ile de paralellik göstermektedir. Östemperlenmiş numunelerde yüzeyden uzaklık 0,1 mm’den 0,5 mm’ye çıktığında sertliğin arttığı görülmektedir. Bu artışın nedeni östemperleme ısıl işlemi olduğu düşünülmektedir. Uygulanan ısıl işlemle malzemenin dışında bir kabuk gibi sert bir tabakanın oluştuğu söylenebilir. Daha sonra bu numunelerde yüzeyden uzaklık arttıkça sertliğin düştüğü görülmektedir.

Tablo 5. Numunelerin sertlik değerleri (The hardness values of specimens)

Numune	KGDD	ÖKGDD 360-30	ÖKGDD 360-90
Sertlik (HRC)	25,5	39,1	36,5

Tablo 6. Numunelerin mikrosertlik değerleri (The microhardness values of specimens)

Uzaklık (mm)	Mikrosertlik değeri, Hv		
	KGDD	ÖKGDD 360-90	ÖKGDD 360-30
0,1	269	338	378
0,5	257	368	395
1,0	245	358	389
3,0	230	356	389
5,0	210	350	378

Tablo 7. Numunelerin ortalama aşınma kayıpları (The average wear loss of the specimens)

NUMUNELER	Aşınma Kaybı, mg		
	20 N	40 N	60 N
KGDD	7,1	14,2	22,7
ÖKGDD 360-90	3,2	7,4	11,3
ÖKGDD 360-30	2,7	6,1	9,5
KGDD TiN	1,9	3,2	4,9
ÖKGDD TiN 360-90	0,7	2,0	3,4
ÖKGDD TiN 360-30	0,5	1,3	2,2

3.2. Aşınma Deneyi Sonuçları (Wear Test Results)

Pin-on-disk sistemiyle aşınma davranışı incelenen numunelerin ağırlık kayıpları ile ilgili sonuçlar Tablo 7’de verilmiştir. Deney verilerinin elde edilmesinde metal-metal aşındırma tipi kullanılmış olup numuneler deney öncesi 0,1 mg hassasiyetindeki terazide tartılmıştır. Daha sonra deney bitiminde numuneler tekrar tartılarak iki ölçüm arasındaki fark tespit edilmiştir. Elde edilen değerler aşınma kaybı olarak verilmiştir. Aşınma kayıpları incelendiğinde, tüm numunelerde artan yüklerle beraber aşınma kaybının

da arttığı görülmektedir. En fazla aşınma miktarı 60 N yük altında küresel grafitli dökme demirde 22,7 mg olarak ölçülmüştür. Bütün numunelerde uygulanan kuvvetin 20 N'dan 40 N'a çıkmasıyla aşınma kaybının ~% 100 arttığı tespit edilmiştir. Küresel grafitli dökme demirde ve östemperlenmiş küresel grafitli dökme demirde sertliğin artmasıyla aşınma kaybının azaldığı görülmektedir. Yani sertlik arttıkça aşınma kaybı azalmaktadır. Bu durum literatürle bir paralellik göstermektedir [4-9].

Ayrıca hem serleştirilmiş hem de kaplanmış numunelerde aşınma kaybı daha da azalmıştır. 60 N deney yükünde KGDD numunesinde aşınma kaybı 22,7 mg iken ÖKGDD 360-30 numunesinde aşınma kaybı 9,5 mg, ÖKGDD TiN 360-30 numunesinde aşınma kaybı 2,2 mg'a düşmüştür. Sonuçlardan da görüldüğü gibi sertleştirilmiş ve kaplanmış numunelerde aşınma kaybı azalmıştır. Dağ [9], 25 N deney yükünde yaptığı çalışmada sertleştirilmemiş AISI 304 çelik numunede aşınma kaybını 28,4 mg, sertleştirilmiş numunede 11,4 mg ve hem sertleştirilmiş hem de kaplanmış numunede ise bu değer 3,7 mg'a düştüğünü tespit etmiştir.

Aşınma kaybı sonuçları incelendiğinde, östemperlenmiş küresel grafitli dökme demirlerin aşınma direncinin ısıl işlemsiz dökme demirden daha iyi olduğu anlaşılmaktadır. Östemperleme ısıl işlemeyle mikroyapının ösferrite dönüşerek daha kararlı ve daha yüksek dayanım sergilediği söylenebilir. Mikroyapının bu etkisi östemperlenmiş numunelerde aşınma direncinin daha iyi olmasının en önemli nedenidir. Ayrıca ısıl işlemlenmiş numunelerde östemperleme süresinin artmasıyla aşınma miktarının da arttığı görülmektedir. Östemperleme süresi 30 dakika olan numune yapısında bulundurduğu % 30 oranındaki dönüşmemiş östenit miktarıyla 90 dakika östemperlenen numuneye göre daha kararsız bir haldedir. Bu durumda aşınma deneyi sırasında mekanik etki ile dönüşmemiş östenitin martenzite dönüşerek [10], malzemenin sertliğini artırdığı, dolayısıyla aşınma direncini artırdığı görülmektedir.

3.3. Sürtünme Kuvveti Sonuçlarının

Değerlendirilmesi (The evaluation of friction coefficient results)

Deneylerde kullanılan yük hücresi, 2 adet kiriş tipi BB 50 kg LOAD CELL'dir. Yük hücrelerinin çalışma prensibi, özel olarak köprü devresi bağlantıları yapılmış olarak içerisine monte edilmiş gerinim ölçerlerin yük hücresi ucundaki, uygun doğrultuda oluşan yer değiştirmeleri algılaması prensibine dayanır. Aşınma deneyi esnasında numuneye etki eden tepki kuvvetinin ölçülmesi amacıyla geliştirilen gerinim ölçer esaslı yük hücresi numune ile yük hücresi arasında temasın sağlanması amacıyla AISI 1040 malzemesinden yapılmış olan bir vidalı mil kullanılmıştır. Bu mil yük hücresinin yük değerini algılayan deliğe boşluksuz bir şekilde civata-somun

montajı ile birleştirilmiştir. Yük hücresinin kalibrasyonu için 0-60 N arasında değişen yükler uygulanmıştır. Her bir yüke karşılık gelen gerilim değerleri (V) olarak belirlenmiş ve sistemin kalibrasyonu tamamlanmıştır.

Numunenin sürtünme kuvveti sonuçlarının daha iyi anlaşılması bakımından bu bölümde, aşınma deneyi sonuçlarının zamana bağlı değişimi ve diğer numunelerle olan ilişkisi açıklanacaktır. Daha önceden yapılan araştırmalarda, ÖKGDD'lerin sürtünme kuvveti ile ilgili fazla kaynak olmamasından dolayı yapılan çalışmanın literatürdeki bu eksikliği giderici niteliktedir. Numunelere uygulanan yüklere göre sürtünme kuvveti değerleri Tablo 8'de verilmiştir.

Sürtünme kuvveti değerleri incelendiğinde aşınma deneyi sırasında numunenin ısınmasıyla disk üzerinde bir oksit tabakası oluşmaktadır. Bu durum sürtünme kuvvetinin zamana bağımlı olarak artmasında etkin bir rol oynamaktadır. Sürtünme kuvvetinde meydana gelen dalgalanmanın nedenini Çetin, deney sırasında oluşan deformasyon ve adhesif bağın, dayanımı nedeniyle sürtünme kuvvetinin yüksek değerlere ulaşması, ayrıca oluşan bağın kırılmasıyla da düşük değerlere ulaşması şeklinde açıklamıştır [4].

Adhesif aşınmanın temel karakteristik özelliği sürtünme ve temas ile çalışan iki malzemenin arasında bir bağ oluşturmasıdır. Deney esnasında bu iki malzeme birbirine yapışır ve yumuşak malzemeden kopma meydana gelir. İşte bu bağın oluşması için geçen sürede, sürtünme kuvvetinde artışın olduğu görülmektedir. Bu durum tüm numunelerde böyledir. Malzemeden kopmanın meydana geldiği zamanlarda ise kuvvet değerlerinde bir duraklama olduğu ve deney sonuna doğru bir miktar düşüş olduğu görülmektedir.

Kuvvet verileri zamana bağlı olarak incelendiğinde, hepsinde bir miktar artış olduktan sonra bir durağanlaşmanın ve deney sonuna doğru bir düşüşün olduğu görülmüştür. Bu durumun temel nedeni grafit kürelerinin yağlayıcı özelliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Sürtünme kuvvetindeki artışın temel nedeni, önce malzeme ile disk yüzeyi arasında kolay temas olması ve zamanla aşınmanın artması, daha sonra disk yüzeyi aşınan malzemenin etkisiyle yağlanarak aşınmayı önce durdurarak daha sonra ısınmanın etkisiyle azalmasıdır. Zimba ve arkadaşları, ÖKGDD bünyesinde bulunan küresel grafitlerin deney sırasında oluşan deformasyonla numune yüzeyine doğru hareketlendiğini ve bu hareketlenme ile oluşan yollardan grafitin numune ile disk yüzeyi arasında kirliliğe neden olduğunu ifade etmişlerdir [6]. Bu durum numune ile disk arasında bir kirlilik oluşturmakta, iki metalin temasını engellemekte ve yağlayıcı bir özellik göstermektedir.

Tablo 8. Numunelerin sürtünme kuvveti değerleri (The friction coefficient values of the specimen)

20 N yük altındaki numunelerin sürtünme kuvveti değişimi (N)										
Numuneler / Zaman(dak)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
KGDD	3,2	7,5	9,1	9,8	11,0	12,0	12,5	12,9	13,3	13,2
ÖKGDD 360-30	8,2	11,4	13,7	14,3	15,6	15,9	16,5	16,1	15,9	15,7
ÖKGDD 360-90	5,4	9,6	11,7	12,8	13,4	13,9	14,4	14,2	14,1	13,8
KGDD TiN	8,0	10,5	11,6	13,4	15,5	15,2	16,0	16,4	15,9	15,2
ÖKGDD TiN 360-30	6,4	7,8	9,1	10,2	10,7	11,0	11,8	12,5	12,6	11,6
ÖKGDD TiN 360-90	7,1	9,0	10,1	10,9	11,4	11,8	12,7	13,4	12,9	12,7
40 N yük altındaki numunelerin sürtünme kuvveti değişimi (N)										
Numuneler / Zaman(dak)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
KGDD	13,6	16,4	18,3	19,6	20,2	21,0	22,1	22,0	21,9	21,7
ÖKGDD 360-30	17,1	19,2	20,8	21,6	23,0	25,1	26,2	25,9	25,6	25,4
ÖKGDD 360-90	16,2	18,3	20,2	21,0	22,1	23,8	24,6	24,9	24,6	24,4
KGDD TiN	14,2	17,3	19,1	20,6	22,4	23,7	24,6	24,5	24,2	23,6
ÖKGDD TiN 360-30	9,7	12,6	14,5	16,7	18,1	19,2	20,4	21,7	22,0	21,5
ÖKGDD TiN 360-90	12,3	15,1	16,8	19,4	20,6	21,4	22,8	23,7	23,2	22,7
60 N yük altındaki numunelerin sürtünme kuvveti değişimi(N)										
Numuneler / Zaman(dak)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
KGDD	17,8	21,4	23,3	25,4	26,7	28,2	30,0	31,1	30,5	30,4
ÖKGDD 360-30	21,3	24,7	27,4	31,2	33,3	34,4	35,4	34,9	34,6	33,9
ÖKGDD 360-90	19,0	22,8	24,9	26,6	29,7	31,1	33,0	32,8	32,6	31,9
KGDD TiN	17,5	20,6	26,7	26,8	28,4	29,6	31,2	32,8	32,6	30,9
ÖKGDD TiN 360-30	14,2	17,0	19,0	21,1	23,1	24,2	26,5	27,0	26,5	26,0
ÖKGDD TiN 360-90	16,4	18,3	20,9	21,8	24,5	25,7	27,4	28,5	27,6	26,7

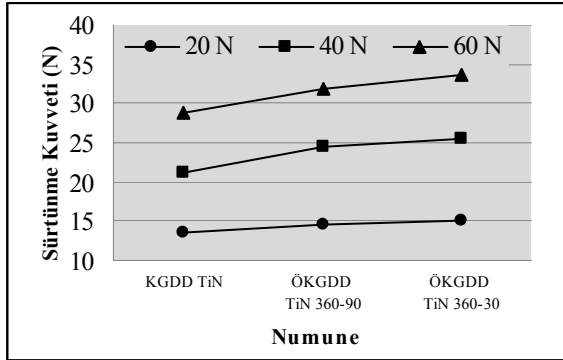
Bütün grafiklerde, sürtünme kuvveti uygulanan yüklere bağlı olarak artmıştır. Bosnjak ve arkadaşları da yaptıkları çalışmada aynı durumun gerçekleştiğini belirlemişlerdir [11].

Deney esnasında zaman bağımlı olarak ölçülen kuvvet değerlerinin ortalaması alınmış olup tüm deney şartlarındaki değişimini inceleyebilmek için grafikler çizilmiştir. Şekil 4 incelendiğinde, uygulanan yükün artmasıyla ortalama kuvvet değerlerinin arttığı görülmektedir. Burada östemperleme ısıl işleminin sürtünme kuvvetini artırdığı görülmektedir. Aynı deney şartlarında malzemenin sertliğine bağlı olarak ortalama kuvvet değerlerinin doğru orantılı olarak arttığı tespit edilmiştir. En yumuşak malzeme olan KGDD malzemesinin uygulanan bütün yüklerde en düşük ortalama kuvvet değerlerini verdiği

belirlenmiştir. En sert malzeme olan ÖKGDD 360–30 numunesinde ise ortalama kuvvet değerinin en yüksek değerlere çıktığı görülmektedir (Tablo 9).

Numunelerin ortalama sürtünme kuvveti incelendiğinde ortalama kuvvet değerlerinin kaplamasız numunelerde olduğu gibi uygulanan yüklerle beraber arttığı görülmüştür (Şekil 5). Ancak burada ortalama kuvvet değerinin kaplama yapılan taban malzemenin sertliği arttıkça düştüğü görülmektedir. Bütün deney şartlarında en yüksek sürtünme kuvveti değeri, taban malzemesi en yumuşak malzeme olan KGDD numunesinde olmuştur. Bu durumun temel nedeninin yapılan TiN kaplama olduğu düşünülmektedir. Yapılan kaplama ile sürtünme katsayısı azalacağı için tepki kuvveti düşmüştür. Kaplamalı numunelerin yüzeyi sertleştiği için aşınma

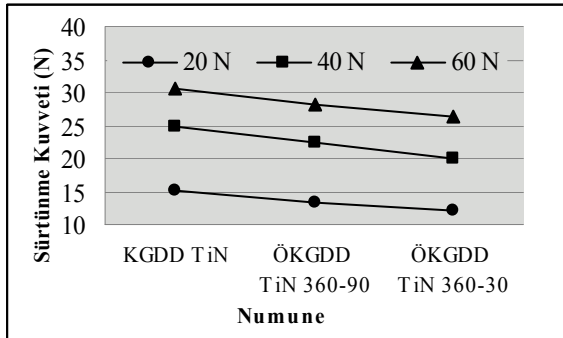
deneyinin başlangıcında malzemede herhangi bir kopma meydana gelmediğinden aşınma az olur. Dolayısıyla malzemenin göstermiş olduğu tepki daha az olmuştur.



Şekil 4. Kaplamasız numunelerde sürtünme kuvvetinin değişimleri (The variations of friction force in uncoated specimens)

Tablo 9. Numunelerin ortalama sürtünme kuvveti değerleri (The average friction coefficient values of the specimen)

NUMUNELER	Sürtünme Kuvveti, (N)		
	20 N	40 N	60 N
KGDD	13,5	21,2	28,8
ÖKGDD 360-90	14,5	24,4	31,8
ÖKGDD 360-30	15,2	25,6	33,6
KGDD TiN	15,2	24,8	30,6
ÖKGDD TiN 360-90	13,2	26,4	28,2
ÖKGDD TiN 360-30	12,2	20,0	26,4



Şekil 5. TiN kaplanmış numunelerde sürtünme kuvvetinin değişimleri (The variations of friction force in TiN coated specimens)

Sertlik, sürtünme kuvveti-aşınma kaybı ilişkisine bakılacak olursa, kaplamasız numunelerde sertlik artarken, aşınma kaybı azalır, sürtünme kuvveti artış göstermektedir. TiN kaplanmış numunelerde ise taban sertliği artarken, aşınma kaybı ve sürtünme kuvveti azalmıştır.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

- Çalışma kapsamında kullanılan döküm durumu numuneler incelendiğinde mikroyapının ferrit,

perlit ve grafit kürelerinden meydana geldiği tespit edilmiştir. Östemperlenmiş küresel grafitli dökme demirde ise mikroyapının grafit küreleri, ferrit (α) ve yüksek karbonlu östenitten (γ_{yk}) meydana geldiği, ısıtılma işlemi ve süresine bağlı olarak dönüşmemiş östenit (DÖ) matris görüldüğü ve bu yapının östemperleme süresiyle azaldığı tespit edilmiştir.

- Numunelerden elde edilen sertlik değerleri incelendiğinde, sertlik değerlerinin östemperleme ısıtılma işlemi sonucunda büyük oranda arttığı görülmüştür.
- Metal-metal aşınma deneylerinde aşınma direncinin numunenin sertliği ile doğru orantılı olarak arttığı tespit edilmiştir
- Metal-metal aşınma deneylerinde uygulanan yükte beraber bütün numunelerde aşınma miktarının arttığı belirlenmiştir.
- Metal-metal aşınma deneylerinde aşınma miktarının yapılan kaplama ile büyük oranda azaldığı görülmektedir. Yapılan kaplama ile numuneler 3,7 ile 5,4 kat arasında aşınmaya karşı dirençli hale gelmişlerdir. Artan yükte beraber kaplamanın etkisinin de arttığı söylenebilir.
- Hem östemperlenip hem de kaplanan numunelerde aşınma kaybı diğer numunelere göre büyük ölçüde azalmıştır.
- Elde edilen sürtünme kuvveti sonuçlarına bakıldığında, kaplamasız numunelerde sürtünme kuvveti değerlerinin sertliğe bağlı olduğu görülmüştür. Yani sertlik değeri arttıkça sürtünme kuvveti değeri de artmıştır.
- Kaplamalı numunelerin sürtünme kuvveti değerlerine bakıldığında ters bir ilişkinin olduğu söylenebilir. Burada kaplamanın etkisi görülmektedir. Taban malzemesi en sert olan malzemede sürtünme kuvvetinin daha az olması yapılan kaplamanın bir sonucudur.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Hasırcı, H., **Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirlerde Alaşım Elementlerinin (Cu ve Ni) ve Östemperleme Süresinin Mikroyapı ve Mekanik Özellikler Üzerine Etkisi**, Yüksek Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2000.
- Mallia, J., Grech, M., Smallman, R.E., Effect of Silicon Content on Transformation Kinetics of Austempered Ductile Iron, **Materials Science and Technology**, Vol. 14: 452-460, 1998.
- Çetin, M., **Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Aşınma Davranışının Geliştirilmesi**, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2005.
- Çetin M., Gül F., Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirin Abrasiv Aşınma Davranışına Östemperleme İşleminde Soğutmanın Etkisi, **Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi**, Cilt 21 No 2, 359-366, 2006.

5. Çetin M., Gül F., Kuru Kayma Şartlarında Matris Yapısının Küresel Grafitli Dökme Demirin Sürtünme Katsayısına ve Pim Sıcaklığına Etkisi, **Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi**, Cilt 22 No 2, 273-280, 2007.
6. Zimba, J., Samandi, M., Yu, D., Chandra, T., Navara, E., Simbi, D.J., Un-Lubricated Sliding Wear Performance of U ADI Under High Contact Stress, **Materials and Design**, Vol. 25, 431 – 438 2004.
7. Sert, H., **PVD ile TiN Kaplanmış Alüminyum Ekstürüzyon Kalıplarının Yüzey Özellikleri ve Aşınma Performanslarının Deneysel İncelenmesi**, Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 1997.
8. Lu, Z., Zhou, Y., Rao, C., Jin, Z., An Investigation of the Abrasive Wear Behavior of Ductile Cast Iron, **Journal of Materials Processing Technology**, Cilt 116, 176-183, 2002.
9. Dağ, M., **PVD Yöntemi ile TiN Kaplanmış AISI 304 Çeliğinin Aşınma Deneyleri ve Yüzey Özelliklerinin İncelenmesi**, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2002.
10. Nofal A.A., Jekova, L. Novel Processing Techniques And Applications of Austempered Ductile Iron (Review) **Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy**, Vol. 44, 3, 213-228, 2009.
11. Bosnjak, B., Verlinden, B., Radulovic, B., “ Dry Sliding Wear of Low Alloyed Austempered Ductile Iron, **Materials Science and Engineering**, Vol. 19, 650-656, 2003.