

## **OSTEMPERLENMİŞ KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRLERDE OSTEMPERLEME SICAKLIĞI VE ZAMANININ İŞLENEBİLİRLİĞE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

**Kadir Kaan KIRCALI<sup>1</sup>, M. Cemal Çakır<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>U.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Görükle 16059 BURSA  
e-posta: [kaankircali@yahoo.com](mailto:kaankircali@yahoo.com)

<sup>2</sup>U.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Görükle 16059 BURSA  
e-posta: [cemal@uludag.ewdu.tr](mailto:cemal@uludag.ewdu.tr)

### **Özet**

KGDD 'lere uygulanan ısıl işlemlerde ısıl işlem parametrelerinin değiştirilmesi ile geniş bir aralıkta değişen mekanik özelliklere sahip küresel grafitli dökme demirler elde edilir. Bu çalışmada gerçekleştirilen deneylerle ostemperleme sıcaklığı ve zamanının malzeme özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. OKGDD 'in işlenebilirliği genel olarak takım ömrü, takım aşınması, kesme kuvvetleri ve yüzey kalitesi kriterlerine göre değerlendirilmiştir. İşlenebilirlik testleri ISO 3685: 1993 (E) standardına bağlı olarak yapılmıştır. Deneylerde altı çift, 300,350 ve 400°C de 1 ve 2 saat ostemperlenmiş OKGDD kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan kesici takımlar CSBNR 2525 M12 takım tutucusuna tespit edilmiş ISO SNMG 120408 (K10) kaplamalı karbür uçlardır. İşlemler sırasında kesme sıvısı kullanılmamıştır. Deneyler sırasında takım ömrü değerlendirmelerinin yanısıra kesme kuvvetleri, serbest yüzey aşınması ve yüzey pürüzlülüğü değerleri ölçülmüş ve farklı içyapılara sahip OKGDD 'lerin işlenebilirlik performansları incelenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** ostemperlenmiş küresel grafitli dökme demir, işlenebilirlik, takım ömrü

### **Abstract**

Heat treating the ductile cast iron produced austempered ductile iron (ADI), which have outstanding mechanical properties that can be varied over a wide range by varying the heat treatment parameters. In the present work a series of test were conducted and the effects of austempering temperature and times onto the material properties was investigated. The machinability of ADI was evaluated by comparing tool life, tool wear rate, cutting forces, and surface finish produced on a job as general criteria. Machinability tests were carried out following ISO 3685: 1993 (E) standard. Six pairs of ductile iron specimens, austempered at 300, 350 and 400° C for 1 and 2 hours were tested. The cutting tools used in the tests were coated carbide inserts, ISO SNMG 120408 (K10), clamped on tool holders CSBNR 2525 M12. No cutting fluid was used during the turning operations. During the experiments cutting forces, flank wear and surface roughness values were measured throughout the tool life and the machining performance of ADI having different structures were compared.

**Keywords:** Austempered ductile irons, machinability, austempering temperature, tool life

## 1. Giriş

KGDD 'in geçmişi döküm endüstrisi için yeni iş olanakları sağlayan bir takım teknik gelişmeden etkilenmiştir ki bunların sonuncusu ostemperlenmiş küresel grafitli dökme demirlerin ortaya çıkışı olmuştur [1]. OKGDD, yüksek mukavemetinin yanı sıra iyi süneklik, aşınma direnci, ve yorulma dayanımı gibi üstün mekanik özelliklere sahip olması nedeniyle otomotiv, demiryolu ve ağır makina sanayinde geniş bir uygulama alanı bulmuştur [2]. Bu malzemelerin talaşlı imalat yöntemine uygunluğu, kısa süreli ısıtma işlemleri, çeliklere göre % 10 daha hafif olmaları, döküm yoluyla son şekle getirilebilme yetenekleri, montaj kolaylıkları bu malzemeleri son zamanlarda çok cazip hale getirmiş, OKGDD malzemeler pek çok alanda başarıyla kullanılmaya başlamış ve pek çok araştırmaya konu olmuştur.

KGDD'in üstün özellikleri sahip olduğu, yüksek karbonlu ostenit ve ferrit içeren eşsiz iç yapısından kaynaklanmaktadır. Çeliklerdeki ferrit ve karbürden ziyade KGDD ostemperlendiğinde iç yapısında ferrit ve karbonca zengin ostenit fazı oluşmaktadır. KGDD'deki yüksek Si miktarı karbür oluşumunu engeller ve dökme demir ostemperlendiğinde çeliktenden farklı olarak iç yapısında yüksek karbonlu ve kararlı ostenit oluşur. Çelik ostemperlendiğinde ise beynit denilen ve içerisinde iyi dağılmış karbür bulunan bir matriks oluşur [3].

KGDD 'lerde alaşım elementleri ve ısıtma işleminin mekanik özellikler üzerine etkisini inceleyen birçok çalışma yapılmıştır [3-9]. Refaey ve Fatahalla [4] OKGDD'lerde ve düşük alaşımlı KGDD 'lerde içyapı ile mekanik özellikler, kırılma tokluğu ve aşınma direnci arasındaki ilişkiyi araştırmıştır. Aranzabal [8] OKGDD 'lerde sıcaklığın içyapı üzerindeki etkisini incelemiştir. Yine bir başka çalışmada Lin [9], Mn, Cu, Ni ve Mo içeren OKGDD numunelerde alaşım elementlerinin iç yapı ve mekanik özellikler üzerine etkisini incelemiştir. OKGDD 'nin dökme demirlerle karşılaştırıldığında sertlik değerlerinin belirgin bir fark göstermediği bununla birlikte darbe dayanımının yaklaşık olarak üç kat daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

Lerner ve Kingsbury [10] sık kullanılan aşınma direnci yüksek alaşımlara karşılık ostemperlenmiş küresel grafitli dökme demirlerin aşınma özelliklerini belirlemiştir. OKGDD' in aşınma direncinin kuru kesme durumunda, perlitik KGDD 'in aşınma direncinin yaklaşık dört katı, kurşun-çinko bronzunun 12 katından fazla ve alüminyum bronzunun yaklaşık 14 katı olduğunu belirlemişlerdir. Zimba [11], alaşımsız OKGDD 'lerde kalıntı ostenit oranının ve sertliğin aşınma direnci üzerine etkisini incelemiştir.

Moncada [12], standart testler kullanarak tornalama sırasında OKGDD 'in işlenebilirliğine etki eden bazı değişkenleri incelemiştir. Araştırmalarında işlenebilirliği, kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği gibi işleme parametreleri ile takım kalitesi ve yavaşma açısı gibi kesici takım parametrelerine göre değerlendirmiştir. Bunların dışında takım geometrisinin, kaplamanın ve soğutma sıvısının da etkilerini incelemiştir.

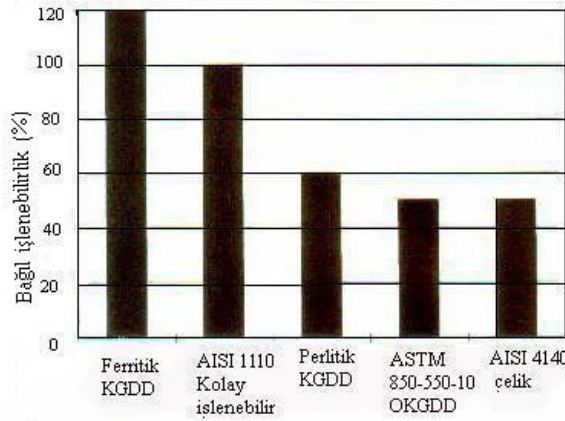
OKGDD 'nin olası uygulamalarını arttırmak için OKGDD işlenebilirliği hakkında elde edilen bilgilerin ne kadar önemli olduğu açıktır. OKGDD 'in işlenebilirliği üzerine, daha doğrusu işlenebilirliğini etkileyen faktörler üzerine çok fazla çalışma yapılmamıştır, ancak az sayıda, yalnızca belirli durumlardaki pratik deneyimi içeren ve belirli standartlara göre elde edilmemiş verileri barındıran çalışmalar mevcuttur [13,14].

Bu çalışmanın amacı çeşitli sıcaklık ve sürelerde ostemperlenmiş KGDD çubuklarda ostemperleme sıcaklık ve süresinin işlenebilirliği üzerine etkilerini incelemektir. OKGDD 'lerin mekanik özelliklerini inceleyen bir çok araştırmacı vardır [15-17]. Özellikle 325-400 °C arasında ostemperlenmiş küresel grafitli dökme demirlere özel ilgi duyulmuştur.

## 2. OKGDD 'İN İŞLENEBİLİRLİĞİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

OKGDD uygun ısı işlemleriyle mekanik özelliklerinin geniş bir alanda çeşitlendirilebildiği bir malzeme grubudur. OKGDD dökümlerinde ostemperleme sıcaklığı mekanik özellikleri belirleyen ana faktördür. Yüksek ostemperleme sıcaklığı (350-400 °C), akma mukavemeti 500 MPa civarı olan sünek, iyi yorulma ve darbe dayanımına sahip OKGDD 'in oluşmasını sağlar. Düşük ısı dönüşüm sıcaklığı, 260 °C, oldukça yüksek akma mukavemeti (1400 MPa), yüksek sertlik ve mükemmel aşınma direnci ve yorulma dayanımına sahip OKGDD oluşturur.

Ostemperleme sıcaklığı belirlendikten sonra, kararlı osferrit fazı oluşurken özelliklerin optimizasyonu için ostemperleme zamanının belirlenmesi gerekmektedir. Kısa ostemperleme sürelerinde, osteniti kararlı hale getirmek için yeterli karbon difüzyonu olamamakta ve oda sıcaklığına soğuma sırasında martenzit oluşmaktadır. Oluşan iç yapı yüksek sertliğe sahip ancak (özellikle düşük sıcaklıklarda) düşük süneklik ve kırılma tokluğuna sahip bir yapıdır [18]. Şekil 1 de OKGDD ile bazı demir esaslı metallerin bağıl işlenebilirlikleri karşılaştırılmıştır.



Şekil 1. Bazı demir esaslı metallerin bağıl işlenebilirliği [18].

## 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 3.1 İş parçası malzemesi

Deney numunesi olarak 90 mm çapında 350 mm uzunluğunda farklı sıcaklık ve zamanlarda ostemperlenmiş KGDD çubuklar kullanılmıştır. Ostemperleme ısı işlemi öncesi malzemenin kimyasal bileşimi Tablo 1 de verilmiştir.

Tablo 1. KGDD'in kimyasal bileşimi

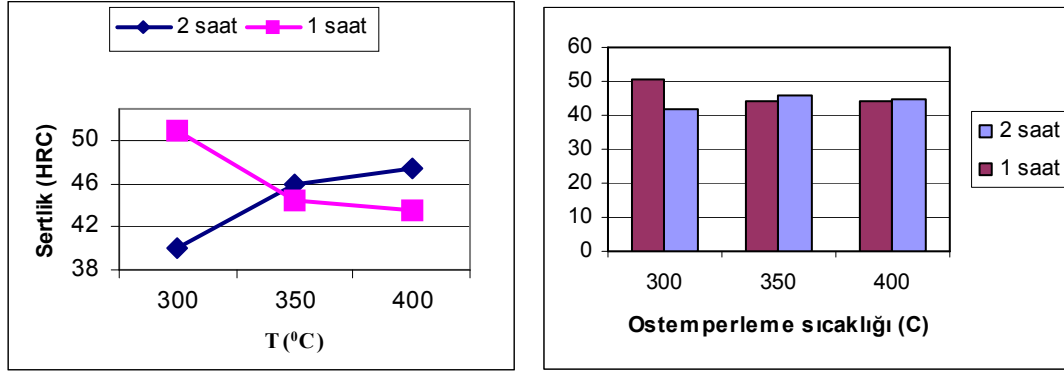
C	Si	Mn	Ni	Cu	P	S	Mo
3.72	1.95	0.198	0.015	0.582	0.0283	0.0093	0.0012

Ostemperleme işlemi öncesi çubuklar iki ucundan kesilerek boy 320 mm ye ayarlanmış ve çap 88 mm olacak şekilde yüzeydeki döküm çapakları alınmıştır. Sertlik ve metalografi testleri ısı işlem görmüş çubuklardan alınan disk şeklindeki numuneler üzerinde yapılmıştır. Ostemperleme sonucu oluşan malzeme grupları ve bunların ölçülen sertlik değerleri Tablo 2 de verilmiştir. Her ostemperleme sıcaklığı ve süresi için bir çift numune olmasının nedeni işlenebilirlik deneyleri kısmında açıklanacaktır.

Tablo 2. Numunelerin ostemperleme süresi ve izotermal dönüşüm sıcaklıklarına göre grupları

GRUP	NUMUNE NO	İZOTERMAL DÖNÜŞÜM SICAKLIĞI (C°)	BEKLETME SÜRESİ (Saat)	SERTLİK (HRC)
A	1	400	1	43,5
	11	400	1	43,7
B	5	400	2	47,5
	7	400	2	47,3
C	8	350	2	46,3
	10	350	2	46
D	15	350	1	44,4
	16	350	1	44,2
E	4	300	1	51
	6	300	1	51,2
F	2	300	2	40
	13	300	2	40
DI	-	-	-	31,8

Ostemperlenmiş numunelerin sertlik değerleri Şekil 2 'de grafik üzerinde gösterilmiştir. Grafikten de görüleceği gibi 2 saat için sıcaklığın artışıyla birlikte sertlik artmaktadır. Bu durum martenzitin hacimsel oranına bağlıdır. 1 saat için sıcaklığın artışıyla sertlik azalmaktadır. 300°C de 2 saat için olan dışında sertlik değerleri birbirine yakın çıkmıştır. Sonuç olarak kalıntı ostenit miktarı numunelerin sertliğini belirlemektedir.



Şekil 2. Ostemperleme sıcaklığına bağlı olarak sertliğin değişimi

### 3.2 İşlenebilirlik Deneyleri

OKGDD 'in işlenebilirliği takım ömrü, takım aşınması, kesme kuvvetleri, ve yüzey kalitesi kriterlerine göre değerlendirilmiş, elde edilen farklı yapılarıdaki OKGDD 'lerin işlenebilirlik deneyleri ISO 3685 standardına göre yapılmıştır.

Bu standart işlem, iş parçasının sabit kesme hızında ( $V_c$ ) tornalanmasını ve belirli bir takım aşınması değeri elde edebilmek için gerekli olan kesme zamanının ( $T_c$ ) belirlenmesini kapsamaktadır. Deneylerde 5,5 kW TOSS torna kullanılmıştır. Klasik bir tezgah olan bu torna tezgahında değişken devir sayıları (sabit kesme hızı) elde edilemediği için, deneylerde benzer

sertliğe ve ebatlara sahip (Ø88x320 mm), aynı sıcaklık ve sürede ostemperlenmiş KGDD çiftleri kullanılmış ve takım ömrünün ikinci çubuğun sonuna ulaşmadan tamamlandığı kabul edilmiştir. Çap ve devir sayısı işlem boyunca değişmediğinden kesme hızı sabittir.

Takım ömrü kriteri için, ISO 3685'e göre üniform bir aşınma dağılımı gösteren sinterlenmiş karbür uçlar için kabul edilen, ortalama değeri 0,3 mm olan serbest yüzey aşınması alınmıştır. Kesme işlemi her 60 mm de bir durdurulmuş ve serbest yüzey aşınması ölçülmüştür. Her işlemde kesme hızı 96,7 m/dak (bu OKGDD 'ler için kabul edilebilir bir kesme hızıdır [19]), ilerleme 0,12 mm/dev ve paso 1 mm alınmıştır.

Deneylerde kullanılan kesici uçlar CSBNR 2525 M12 takım tutucusuna tespit edilmiş ISO SNMG 120408 (K10) kaplamalı karbür uçlardır. İşlemler sırasında kesme sıvısı kullanılmamıştır. Deneyler sırasında takım ömrü boyunca kesme kuvvetleri, serbest yüzey aşınması ve yüzey pürüzlülüğü ölçülmüş ve farklı içyapılara sahip OKGDD 'lerin işlenebilirlik performansı incelenmiştir.

Analizlerde kullanılan kesme kuvveti verileri, AISI 1050 çeliklerinin tornalanmasında kullanılan, üç boyutlu bir dinamometre (Kyowa TD-500) ile ölçtüğü kesme kuvvetlerindeki değişimlerin algılanması için geliştirilen bir takım kırılma tespit sistemi ile elde edilmiştir [20]. Serbest yüzey aşınması Nikon104 mikroskobu, iş parçasının yüzey pürüzlülüğü bir profilometre (Taylor Hobson Talysurf) kullanılarak ölçülmüştür.

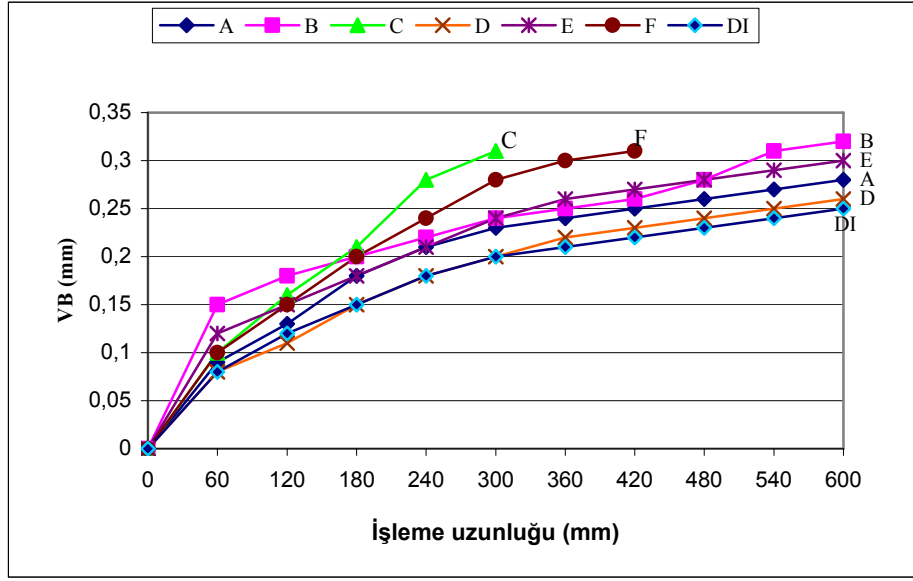
## 4. Sonuç Ve Tartışma

### 4.1 OKGDD numuneler için serbest yüzey aşınması, kesme kuvvetleri ve yüzey kalitesinin karşılaştırılması

Bu çalışmada yapılan işlenebilirlik deneylerinde OKGDD 'in işlenebilirliği takım ömrü, takım aşınması, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü ölçümleri ve bu ölçümlerin karşılaştırılmasıyla değerlendirilmiştir. Kesme işlemi 60 mm lik aralıklarla durdurulmuş ve takım aşınması ölçülmüştür. Takım aşınmasının ilk deney numunesinin sonunda 0.3 mm ortalama serbest yüzey aşınması değerine ulaşmadığı durumlarda deneyin devamında aynı ostemperleme sıcaklığı ve süresine sahip ikinci numune kullanılmıştır. Bu daha önceden açıklandığı üzere sabit kesme hızı için gereklidir. Çubukların uçlarında takımın parçaya girişini kolaylaştırmak için pah kırılmıştır. Şekil 3 farklı OKGDD grupları için işleme süresine karşılık takım aşınma değerlerini göstermektedir.

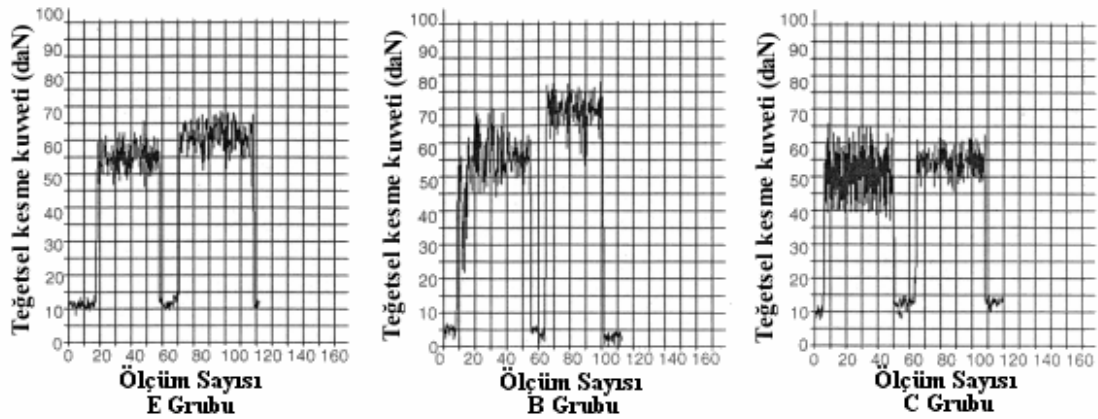
Grafikten de görülebileceği gibi iş parçasının sertliğiyle takım aşınması arasında bir bağlantı vardır. İş parçasının sertliği arttıkça aşınma artmaktadır. Örneğin B grubu malzemenin sertliği A ve D grubu malzemelerin sertliğinden yüksektir, dolayısıyla aşınma değerleri de daha yüksektir. Sertlik ve aşınma arasındaki bu ilişki aşınma tipi (abreziv aşınma) hakkında bize fikir vermektedir. KGDD malzeme gurupları arasında en yumuşak olanıdır, dolayısıyla takım aşınması en az olandır (Bkz. Şekil 3).

Bununla birlikte bazı yapılar için bu tür bir ilişki geçerli değildir. Örneğin C grubu malzemeler B grubundan daha yumuşakken, C grubu malzemedede aşınma daha erken görülmektedir (C grubunun takım ömrü B grubununkinin yaklaşık yarısı kadardır). Aynı durum E ve F grupları içinde geçerlidir. E en sert, F en yumuşak grup olmasına karşın F grubunda takım çok daha çabuk aşınmıştır. F grubu malzemedede kesici kenarda yığılma kenar aşınması gözlenmiştir. Bu oluşum ise kısa takım ömrünün sebebidir. Başlangıç aşınması her grup için grafik üzerinde görülmektedir. Şekil 3 den görüleceği gibi en yüksek aşınma miktarı beklendiği üzere 0,15 mm ile en sert malzeme olan E grubu malzemeye aittir.

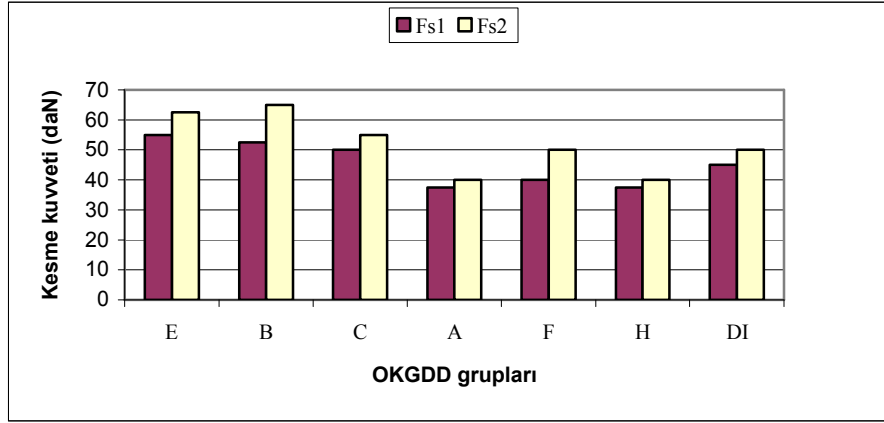


Şekil 3. Deneysel numunelerin zamana göre aşınma miktarları

Kesme kuvvetindeki artış takım aşınmasının göstergesidir. İkinci grup deneylerde OKGDD in işlenebilirliği kesme kuvveti ölçümlerine bağlı olarak araştırılmıştır. Her bir grup için kesme kuvvetleri sürekli ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Bu çalışmada her üç yöndeki kesme kuvveti bileşenleri (teğetsel, radyal ve aksel bileşenler) eşzamanlı olarak 3D bir dinamometre ile ölçülmüş ve kaydedilmiştir, ancak değerlendirmelerde yalnızca teğetsel kuvvet göz önüne alınmıştır. Başlangıçtaki teğetsel ( $F_{S1}$ ) kuvvet ile aşınmanın kritik değer ulaştığı takım ömrünün sonundaki teğetsel kuvvet ( $F_{S2}$ ) değerleri karşılaştırılmıştır. Şekil 4 E, B ve C grupları için zamana bağlı olarak başlangıç ve bitiş kuvvetlerindeki değişimi göstermektedir. Kuvvet değerlerindeki değişim sürekli ölçülmüş ve kaydedilmiştir, ancak şekilde yalnızca başlangıç ve bitiş değerleri gösterilmiştir. C grubundaki dalgalanmalar silindir çubukların punta tarafındaki ucundaki salınımdan dolayı meydana gelmiş ve bu problem daha sonra giderilmiştir. Başlangıç ve bitiş kuvvetlerinin genel karşılaştırılması Şekil 5 de verilmiştir. Gruplar soldan sağa sertliklerine göre azalan sırayla gösterilmiştir. Sertlik arttıkça başlangıç kuvveti artmaktadır.



Şekil 4. Malzeme grupları için başlangıç ve bitiş kuvvetleri-ölçüm sayısı



Şekil 5. Başlangıç ve bitiş kuvvetlerinin karşılaştırılması.

Şekil 5 de gösterilen OKGDD grupları için başlangıç ve bitiş kuvvetleri karşılaştırıldığında en büyük teğetsel kuvvet artışının (%23) B grubu malzemelerde olduğu görülmektedir. B grubu malzemelerin en büyük ikinci sertliğe sahiptir (Bkz. Tablo 2) ve bu durum ikinci numunenin sonunda takım aşınmasını maksimum olmasına neden olmuştur (Bkz. Şekil 3), dolayısıyla bu da beklenen bir sonuçtur. Burada ilginç olan F grubu malzemelerin ikinci en yüksek artışa sahip olmasıdır (%18). Daha önceden belirtildiği gibi F grubu malzeme grubu diğerleri içinde en yumuşak olan gruptur. Bu nedenle kuvvetteki bu yüksek artışın ayrıntılı olarak incelenmesi gerekir.

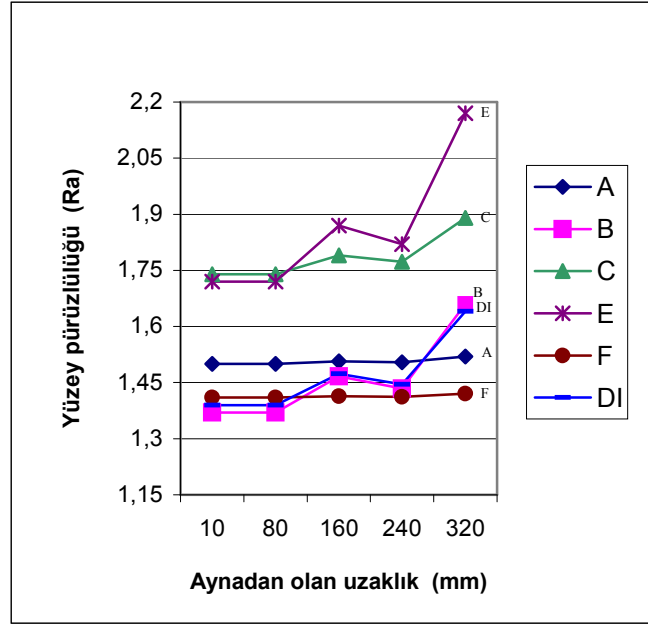
OKGDD 'in işlenebilirliğinin araştırılmasında bundan sonraki işlem olarak bir profilometre ile ilki aynadan 10 mm sonra olmak üzere her 80 mm de bir ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerleri karşılaştırılmıştır. Şekil 6 her bir grubun yüzey kalitesi değerlerini göstermektedir. Grafikte yatay ekseninde aynadan olan uzaklık mm olarak, dikey ekseninde ise Ra yüzey pürüzlülüğü değerleri mikron olarak gösterilmiştir.

Şekil 6 den de görüldüğü gibi yüzey pürüzlülüğü değerleri 1,35 ile 2,17  $\mu$  arasında değişmektedir. Ayna yakınında B grubu malzemelerin en iyi yüzey kalitesine, F grubunun ise ikinci en iyi yüzey kalitesine sahip olduğu görülmektedir. KGDD in B grubu malzeme ile benzer yüzey kalitesine sahip olduğu gözlemlenmiştir. İş parçalarının ağır olması nedeniyle her ne kadar parça diğer ucundan punta ile desteklense de punta kısmında ufak titreşim problemleri meydana gelmekte ve yüzey kalitesini bozmaktadır. Buna bağlı olarak takım aynaya yaklaştıkça daha iyi yüzey kalitesi değerleri elde edilmektedir.

## 5. Sonuç

Bu çalışmada ostemperleme sıcaklığının ve zamanının işlenebilirlik üzerine etkisi incelenmiştir. İç yapı resimlerinde de açıkça görüleceği gibi kalıntı östenit miktarındaki değişim ostemperleme sıcaklığına ve zamanına bağlıdır. Genel olarak ostemperleme zamanının azalmasıyla kalıntı östenit miktarı artış gösterirken sıcaklığın artmasıyla da kalıntı östenit miktarında artış gözlenir.

Yukarıdaki ısıl işlem koşullarında ferrit ve yüksek karbonlu östenit içeren bir iç yapı beklenirken martenzitik bir yapı oluştuğu gözlemlenmiştir. Bu yapının nedeni olarak kritik çap gösterilebilir. Deneyde kullanılan numunelerin çapının 88 mm olması nedeniyle kritik çap aşılmış olabilir ve buna bağlı olarak faz dönüşümü için yeterli ostemperleme zamanı bulunamamış olabilir. Diğer bir deyişle ilk aşama reaksiyonun tamamlanamamış ve düşük karbonlu östenit beyitik ferrit ve yüksek karbonlu östenite dönüşememiştir.



Şekil 6. Aynadan olan uzaklığa bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün değişimi

Farklı sıcaklık ve sürelerde ostemperlenen KGDD çubukların işlenebilirliğinin bulunması için bir takım deneyler yapılmıştır. Öncelikle farklı OKGDD in numunenin işlenmesiyle takım ömürleri araştırılmış iş parçasının sertliğiyle takım aşınması arasında bir ilişki kurulmuştur. İş parçasının sertliği arttıkça takım aşınması artmaktadır. Bu çalışmada, B grubu malzemelerin (400°C de 2 saat ostemperlenmiş KGDD) en çok takım aşınmasına (0,32 mm) ve D grubu malzemelerin (350°C de 1 saat ostemperlenen KGDD) de en az takım aşınmasına (0,26 mm) neden olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, KGDD'in (en düşük sertliğe sahip olan malzeme) en kolay işlenebilen olduğu görülmüştür ( $VB_B = 0,25$  mm).

Buna rağmen bazı malzeme grupları aradaki ilişkiyi bozmuştur. Örneğin C grubu malzemeler (350°C de 2 saat ostemperlenen KGDD) kendisinden daha sert olan B grubundan çok daha hızlı takımı aşındırmıştır (C grubu malzemenin takım ömrü B grubunun yaklaşık yarısı kadardır). Bunun dışında en sert malzeme grubu olan E grubunda (300°C de 1 saat ostemperlenen KGDD) kullanılan kesici uçlar en yumuşak grup olan F grubundaki (300°C de 2 saat ostemperlenen KGDD) uçlardan daha geç aşınmıştır. F grubunun işlenmesinde yığılma kenar aşınması oluşumu gözlemlenmiş ve bu kısa takım ömrünün nedeni olarak gösterilmiştir.

OKGDD 'in işlenebilirliğinin araştırıldığı ikinci grup deneyler kesme kuvvetleri baz alınarak yapılmıştır. Teğetsel kuvvetteki en yüksek artış (%23) ve en yüksek takım aşınması beklendiği üzere en sert ikinci malzeme grubu olan B grubunda gözlemlenmiştir. Teğetsel kuvvetlerdeki ikinci en yüksek artış (%18) beklenmedik şekilde F grubu malzemelerde görülmüştür. Yine yığılma kenar oluşumunun bu artışa neden olduğu ancak daha fazla deneyin yapılmasının bu beklenmedik artışın ve ihlalin nedenlerinin araştırılmasına yardımcı olacağı düşünülmektedir.

300 °C 'de ostemperlenen KGDD 'lerin **en yüksek** (1 saat ostemperlenen) ve **en düşük** sertlik değerlerine (2 saat ostemperlenen) sahip olduğu görülmüştür. Diğer ostemperleme sıcaklıklarında ve sürelerinde 300 °C'de olduğu gibi birbirinden çok farklı yapılar oluşmamıştır. Bu nedenle bu durum için daha fazla inceleme yapılması gerekmektedir.

Son olarak, 1,35 ila 2,17  $\mu$  arasında değişen yüzey pürüzlülüğü değerleri elde edilmiştir. B grubunun ayna tarafında en iyi yüzey kalitesine, F grubunun da en iyi ikinci yüzey kalitesine



sahip olduğu gör÷lmektedir. KGDD 'in B grubuyla, yaklaşık aynı yüzey kalitesine sahip olduğu gör÷lmüştür. İř parçalarının ağır olması nedeniyle, her ne kadar diğer ucundan punta ile desteklense de ufak titreşim problemleri oluşmuş bu da yüzey kalitesinin bozulmasına neden olmuştur.

## KAYNAKÇA

- [1] A. Trudel, M. Gagne. Can. Metali. Quart. 36 (5) (1997) 289-298.
- [2] B. Bosnjak, Radulovic, B. Pop-Toner, V. Asanovic, J. Mater. Eng., Perform. 10 (2) (2001) 203-211.
- [3] S.K. Putatunda, K. Gadicherla, J. Mater. Eng. Perform. 9 (2) (2000) 193-203.
- [4] A. Refaey, N. Fatahalla, J. Mater. Sci. 38 (2003) 351-362.
- [5] M. Delia, M. Alaalam, M. Grech. J. Mater. Eng. Perform. 7 (2) (1998) 265-272.
- [6] S. Yazdani, R. Elliot. Mater. Sci. Technol. 15 (1999) 896-902.
- [7] A. Nazarboland, R. Alliot, Mater. Sci. Technol. 13 (1997) 223-232.
- [8] J. Aranzabal, I. Gutierrez, J. Urcola, Mater. Sci. Technol. 10 (1994) 728-737.
- [9] B.Y. Lin, E.T. Chen, T.S. Lei, Scripta Metali. Mater. 32 (1995) 1363-1367.
- [10] Y.S. Lerner, G.R. Kingsbury, J. Mater. Eng. Perform. 7 (1) (1998) 48-52.
- [11] J. Zimba, M. Samandi, D. Yu, T. Chandra. T. Navara, D.J. Simbi, Mater. Des. 25 (2004) 431-438.
- [12] Moncada, R.H. Spicacci, J.A. Sikora, AFS Trans. 106 (1998) 39-45.
- [13] N.S. Chang, C.C. Grupke, J.M. Tarajos, G.M. Dahi, Machinability evaluation of ductile iron for automotive crankshaft application, in: Proceedings of the 1991 World Conference Austempered Ductile Iron. Bloomingdale, Chicago. 1991, pp. 271-272.
- [14] K.H.W. Seah. S.C. Sharma, Int. J. Mach. Tools Manuf. 35 (10) (1995) 1475-1479.
- [15] P. Blackmore. R. Harding, J. Heat Treating 3 (4) (1984) 310-325.
- [16] T. Shiokawa, The influence of alloying elements and heat treatment condition on the microstructure and mechanical properties of austempered ductile iron, in: Proceedings of the 3rd International Conference on ADI. Bloomingdale, Chicago, 1991, pp. 375-387.
- [17] R.C. Voigt, Cast Met. 2 (1989) 71-93.
- [18] SORELMETAL. Ductile Iron Data for Design Engineer, Ductile Iron Society, 1990, pp. 84-155.
- [19] Machining Data Handbook, 3rd ed., Machinability Data Centre, Cincinnati, USA, 1980.
- [20] M.C. Cakir, Y. Isik, J. Mater. Process. Technol. 159 (2) (2005) 191-198.