

# Farklı Matriks Yapıdaki Alaşımli Küresel Grafitli Dökme Demirin Darbe Özelliklerinin İncelenmesi

**Gülcan Toktaş**

Araş. Gör. Dr.

**Mustafa Tayanç**

Yrd. Doç. Dr.

Makina Müh. Bölümü  
Balıkesir Üniversitesi  
Çağış Kampüsü  
10145 BALIKESİR

*Bu çalışmada, %1.03 Cu, %1.25 Ni ve %0.18 Mo alaşımli perlitik döküm yapılı küresel grafitli dökme demir (KGDD) malzemeye uygulanan homojenleştirme (925°C/7saat) ısıtma işlemi ile öncelikle ferritik matriksli KGDD elde edilmiştir. Ferritik matriks yapılı numuneler 900°C'de 1 saat ostenitlendikten sonra 300°C ve 365°C sıcaklıklarda 1'er saat ostemperlenerek sırasıyla alt ve üst beynitik (osferritik) yapılı KGDD elde edilmiştir. Isıtma işlemleri elde edilen matriks yapıların (ferritik, alt ve üst beynitik) -60°C/+100°C sıcaklık aralığındaki darbe enerjileri, sünek-gevrek geçiş sıcaklıkları ve sertlikleri deneysel olarak belirlenmiştir. Matriks yapıların iç yapıları optik mikroskopta, oda sıcaklığında (+25°C) darbe deneyine tabi tutulan numunelerin kırılma yüzeyleri ise SEM'de incelenmiştir. Matriks yapıların darbe özellikleri birbirleriyle karşılaştırılmış ve sonuç olarak bütün deney sıcaklıklarında en yüksek darbe enerjileri ferritik matrikste elde edilirken, alt beynitik yapının sertliğinin üst beynitik yapıya göre daha düşük ve bütün sıcaklıklardaki darbe enerjilerinin de daha yüksek olduğu görülmüştür.*

*Anahtar Kelimeler: KGDD, Matriks yapısı, Isıtma işlemi, Darbe özellikleri.*

## GİRİŞ

Ostemperlenmiş küresel grafitli dökme demirler (OKGDD); üstün aşınma direnci, yüksek mukavemet/ağırlık oranı ve yorulma dayanımının yanı sıra; düşük maliyet, talaşlı işlenebilirlik ve tasarım esnekliği gibi avantajları ile birçok uygulamalarda çelik malzemelerle mukayese edilebilmektedirler [1]. Dişliler, matkap uçları, pistonlar, krank milleri, fren pabuçları vb. kullanım alanlarının bazılarıdır [2,3].

OKGDD, ostemperleme adı verilen ısıtma işleminin uygulanmasıyla iç yapısında yüksek karbonlu ostenit ( $\gamma_{YK}$ , YK: yüksek karbon), beynitik ferrit ve grafit kürelerinin bulunduğu küresel grafitli dökme demirdir [4]. Bu fazların dışında ostemperleme şartlarına bağlı olarak dönüşmemiş (kalıntı) ostenit ile az miktarda martensit fazı da yapıda bulunabilir [2]. Ostemperleme işleminde, önce KGDD 840-960°C sıcaklıkları arasında ostenitlemeye tabi tutulur. Daha sonra 200-400°C sıcaklık aralığındaki tuz banyosuna hızla daldırılarak 2-4 saat süreyle bu banyoda bekletilir. Böylece perlit oluşumu engellenmiş olur. Son olarak ise KGDD oda sıcaklığına soğutularak ostemperleme işlemi tamamlanmış olur [4].

OKGDD malzemenin mekanik özellikleri üzerinde bugüne değin pek çok inceleme yapılmış

olup, bu çalışmalar çoğunlukla ostemperleme koşullarına ve çekme özellikleri üzerine yoğunlaşmıştır [4]. Ferritik ve perlitik KGDD'lerin düşük sıcaklıklarda mekanik kırılması ile ilgili çalışmalar yapılmış fakat bu konuda OKGDD ile ilgili az sayıda çalışma ve yayın mevcuttur [5]. OKGDD'in otomotiv endüstrisinde, yer kazıma aletlerindeki potansiyel uygulamaları düşünüldüğünde, literatürde bu malzemenin sünek-gevrek geçiş sıcaklığı ve düşük sıcaklıklardaki darbe davranışı ile ilgili yeterli bilgi bulunmadığı görülmektedir [4].

OKGDD'in düşük sıcaklıklardaki darbe özelliklerinin incelendiği kısıtlı çalışmaların birinde, ASTM standardında yer alan OKGDD cinslerinin sadece -60°C, -40°C ve oda sıcaklığındaki darbe enerjileri belirlenmiştir. Çalışmanın sonucunda deney sıcaklığı ve ostemperlenmiş yapıdaki karbonca zengin ostenit ( $\gamma_{YK}$ ) miktarı azaldıkça, OKGDD cinslerinin darbe tokluklarının azaldığı belirtilmiştir [4]. Diğer bir çalışmada ise, DIN 1693 normuna uygun GGG 40-80 sınıfı arasındaki (5 cins) standard küresel grafitli dökme demirlerin değişik ostemperleme sıcaklıklarında (250°C, 300°C, 350°C ve 400°C) ve sürelerinde (7-210 dakika arası) ostemperlenmesi ile elde edilen OKGDD'lerin -60°C / +100°C sıcaklık aralığındaki darbe enerjileri incelenmiş ve darbe enerjisi

değerlerinin ostemperleme sıcaklık ve süresine bağlı olduğu ifade edilmiştir [3]. Ostemperleme zamanına bağlı olarak yapılan bir çalışmada Cu, Ni ve Mo alaşımlı KGDD 320°C ve 400°C ostemperleme sıcaklıklarında 1-5 saat arasındaki değişik sürelerde ostemperlenmiş ve OKGDD'lerin oda sıcaklığında çentiksiz darbe toklukları incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda 320°C'de 2.5 saat ostemperleme ile dökme demir iç yapısında iğnesel ferrit olduğu ve bu oluşumun artan yüksek karbonlu ostenit hacim oranı ile birlikte darbe enerjisini en yüksek değere ulaştırdığı ifade edilmiştir. Bununla birlikte, 400°C'de 5 saat yapılan ostemperleme işlemi ile iç yapıda martensit olduğu ve darbe enerjisinin önemli oranda azaldığı çalışmanın sonuçları arasında verilmiştir [6]. Cu ve Ni alaşımlı OKGDD'de ostemperleme sıcaklığının etkisinin incelendiği literatürde [7] oda sıcaklığında yapılan darbe deneyleri sonucunda 350°C'ye kadar olan ostemperleme sıcaklıklarında ostemperlenen numunelerde darbe enerjilerinin arttığı ve 350°C'den daha yüksek sıcaklıklarda ostemperlenen numunelerde ise darbe enerjilerinin düştüğü belirtilmiştir. Benzer bir sonuç döküm yoluyla elde edilen beynitik KGDD ve OKGDD'ler ile yapılan bir çalışmada da ifade edilmiştir[8]. Düşük alaşımlı, ostemperlenmiş ve geleneksel KGDD'lerin mekanik özelliklerinin karşılaştırıldığı bir çalışmada [9], geleneksel KGDD'in oda sıcaklığındaki çentiksiz darbe dayanımı OKGDD'den 1.8 kat ve düşük alaşımlı KGDD'den 22 kat daha yüksek bulunmuştur.

Bu çalışma; perlitik matriks döküm yapıları KGDD'e homojenleştirme ve ostemperleme işlemleri ile ferritik, alt (ince) ve üst (kaba) beynitik (osferritik) yapılar kazandırmak, bu yapıların sünek-gevrek geçiş sıcaklıklarını, düşük sıcaklıklardaki darbe enerjilerini ve darbeli yüklemdeki kırılma morfolojilerini inceleyerek KGDD'de ostemperlenmiş (beynitik) yapıların darbe özelliklerini ferritik matriksle karşılaştırmak amacıyla yapılmıştır.

## DENEY YÖNTEMİ

### Malzeme Üretimi

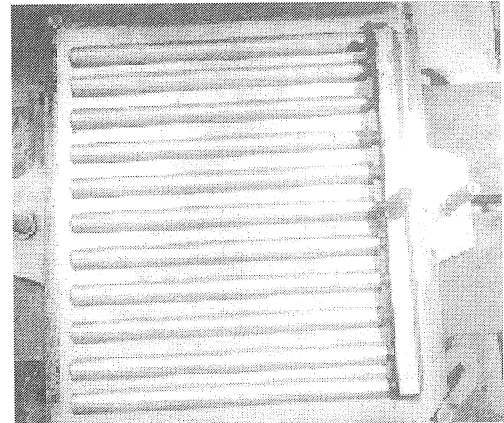
Alaşımlı KGDD malzeme üretimi, 350 kg kapasiteli, orta frekanslı AEG-ELOTHERM marka induksiyon ocağı kullanılarak yapılmıştır. Şarj malzemesi olarak sfero piki, KGDD hurdası, çelik sac, Fe-Si, Fe-Mn, Fe-Mo, Cu ve Ni kullanılmıştır. Homojenliği sağlamak amacıyla 1530°C'de 1-2 dakika bekletilen sıvı metal, 1500°C'de % 1.8 oranında Fe-Si-Mg küreleştirici malzeme kullanılarak flotret yöntemi ile küreleştirme işlemine ve flotret çıkışından vinçli potaya akış esnasında da % 0.28 oranında Fe-Si ile aşılama işlemine tabi tutulmuştur. Şarj malzemesi olarak kullanılan sfero

pikin ve küreleştirici malzemenin kimyasal bileşimleri Tablo 1'de verilmiştir. Ocak içindeki sıvı metalin sıcaklığı daldırma tip ısı çifti ile ölçülmüştür. Kalıplama işlemi, 25 mm çapında ve 400 mm uzunluğunda 11'li çubuklardan oluşan alüminyum metal modelin yaş kum kalıplanmasıyla yapılmıştır (Şekil 1). Aşılama sonrası sıvı metal, aşılama etkisinin kaybolmaması için oluşturulan kalıplara mümkün olan en kısa sürede (5 dakika) dökülmüştür.

Tablo 1. Sfero piki ve küreleştirici malzemenin (Fe-Si-Mg) kimyasal bileşimleri (%).

Sfero piki	Küreleştirici
C : 3.5-4.5	Si : 44.5
Si : 0.61-1	Mg : 6.08
Mn : 0.025-0.05	Ca : 1.27
P : 0.033-0.05	

Döküm sıcaklığı RAYTEK RAYNGER 3i lazer sıcaklık ölçüm cihazı ile 1350°C olarak ölçülmüştür. Dökümler oda sıcaklığına kalıp içinde soğutulmuşlardır. Dökümü yapılan alaşımlı KGDD malzemenin kimyasal bileşimi O.B.L.F marka spektrometre ile elde edilmiş ve bileşim Tablo 2'de verilmiştir.



Şekil 1. Alüminyum metal model.

Tablo 2. Alaşımlı KGDD'in kimyasal bileşimi (%).

C	: 3.73	Mg	: 0.044
Si	: 2.55	Cu	: 1.03
Mn	: 0.3	Ni	: 1.25
P	: 0.045	Mo	: 0.18
S	: 0.023	Cr	: 0.032

### Isıl İşlemler

Dökümün katılaşması esnasında kalıbın geometrisinden ve ortadaki çubukların en dıştaki çubuklardan farklı soğuma hızlarında soğuması

ihtimali nedeniyle bütün numuneler homojenleştirme tavlamaına tabi tutulmuşlardır. Homojenleştirme işlemi, numunelerin 2°C/dak hızla ısınan elektrikli fırında 925°C'de 7 saat bekletilmesi ve 500°C'ye kadar 1°C/dak hızla fırında ve ardından durgun havada soğutulması ile yapılmıştır. Yüksek sıcaklıkta uzun süre bekletme esnasında oluşması muhtemel karbürsüzleşmeyi önlemek için numuneler kendi talaşlarına gömülmüşlerdir.

KGDD'de alt ve üst beynitik yapılar elde etmek amacıyla homojenleştirilmiş numuneler, 900°C'deki nötür banyoda (HS 550) 1 saat ostenitlemeden sonra alt beynit yapısı için 300°C ve üst beynit için 365°C'deki tuz banyosunda (AS 135) 1'er saat ostemperlenmişlerdir. Isıl işlem öncesinde nötür banyoya karbonsuzlaşmayı önleyici tuz ilavesi yapılmış olup, numuneler ostenitleme öncesinde yaklaşık 400°C'ye ısıtılmışlardır.

### İç Yapı İncelemesi

Döküm halindeki ve ısıl işlemleri (homojenleştirme, ostemperleme) dökme demir numune yüzeyleri standard metalografik yöntemlerle hazırlanmış ve dağlama işlemi % 2'lik nital çözeltisi ile yapılmıştır. İç yapı görüntüleri Olympus BH2-UMA marka optik mikroskop yardımıyla elde edilmiştir. Isıl işlemler sonrasındaki dökme demir numunelerin küre özellikleri dağlama işlemi yapılmadan Buehler Omnimet görüntü analiz cihazında incelenmiştir. Oda sıcaklığında kırılan darbe numunelerinin yüzeyleri ise LEO 1455(VP) tipi Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir.

### Sertlik ve Darbe Deneyleri

Sertlik ölçümleri Heckert marka sertlik ölçüm cihazında 187.5 kg yükün 2.5 mm çaplı çelik bilya uç ile 20 saniye süreyle uygulanmasıyla Brinell sertlik olarak ölçülmüştür. Her bir numuneden 5 sertlik ölçümü alınarak, bunların ortalaması alınmıştır.

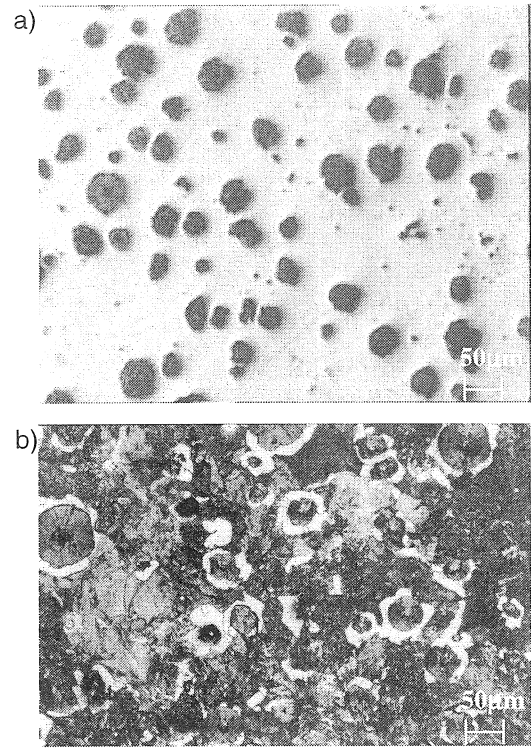
Darbe deneyleri, 10×10×55 mm boyutunda çentiksiz darbe numuneleri kullanılarak 300 J kapasiteli BROOKS marka darbe cihazında ASTM A 327-72 standardına uygun olarak yapılmıştır. Sıfır altı sıcaklık darbe deneylerinde, Lap-Plant marka Refrigerated Immersion Probe, RP-100 model soğutucu kullanılmıştır. Soğutma ortamı (banyosu) olarak % 99 saflıkta etil alkol kullanılmış olup banyo içine daldırılan soğutucu uç ile banyo sıcaklığı -100°C ile +20°C sıcaklık aralığında ±1°C hassasiyetle kontrol edilebilmektedir. Sıfır ve sıfır altındaki darbe deneylerinde numuneler, soğutucu ucun içine daldırıldığı etil alkol banyosunda belirlenen sıcaklıklarda (-60°C, -40°C, -20°C ve 0°C) 0.5 saat bekletilerek istenilen sıcaklığa ulaşmışlardır.

Oda sıcaklığının üstündeki (50°C, 75°C ve 100°C) darbe deneylerinde ise numuneler su içinde bahsedilen sıcaklıklara ısıtılmışlar ve 0.5 saat bekletilerek istenilen sıcaklığa ulaşmışlardır. Her bir sıcaklık şartında 3 adet deney numunesi kullanılmış olup bunların ortalaması alınarak darbe enerjileri belirlenmiştir.

### DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

#### İç Yapı İncelemesi

Döküm halindeki KGDD'in küre ve faz yapısını gösteren iç yapı resimleri Şekil 2'de ve ısıl işlemler sonucunda elde edilen ferritik, alt ve üst beynitik yapıları KGDD'lerin küre özellikleri Tablo 3'te verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi dökümün yapısı, perlitik ana matriks içinde dağılmış grafit kürelerini çevreleyen ince bir ferrit fazından oluşmaktadır.

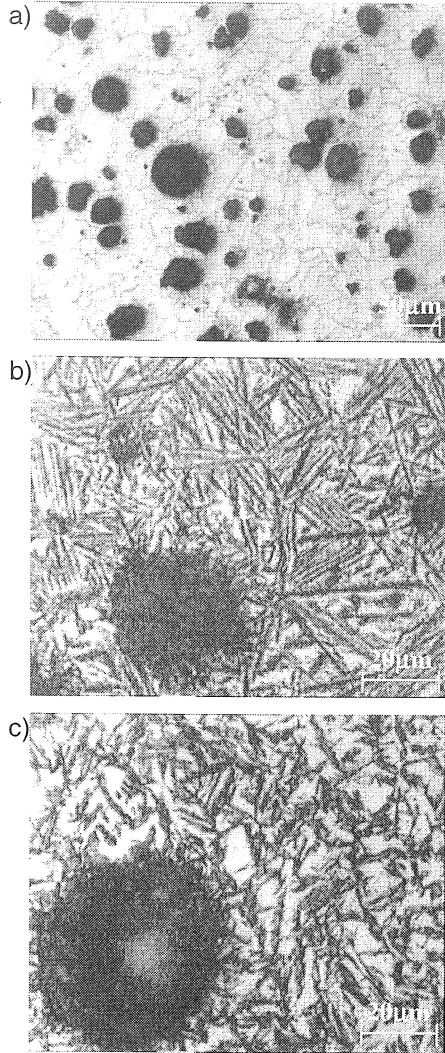


Şekil 2. Döküm halindeki KGDD'in a) dağlanmamış ve b) dağlanmış iç yapısı.

Tablo 3. Ferritik, alt ve üst beynitik yapıları KGDD'lerin küre özellikleri.

Matriks yapı	Küre Sayısı (küre/mm <sup>2</sup> )	Küre alan oranı (%)	Küre çapı (mm)	Küresellik (%)
Ferritik	135.6	9.1	0.032	95.2
Alt beynit	100.6	8.8	0.034	95.2
Üst beynit	155.3	9.6	0.029	96.3

Homojenleştirme ve ostemperleme ısı işlemleri ile elde edilen iç yapı görüntüleri Şekil 3'te verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi perlitik olan döküm yapısı homojenleştirme işlemi ile tamamen ferritik matrikse dönüşmüştür (Şekil 3a). Ostemperlenmiş yapılarda (Şekil 3b ve c) beyaz alanlar karbonca zengin ostenit fazını, koyu alanlar ise ferrit fazını göstermektedir [10,11,12].



Şekil 3. a) Ferritik, b) alt ve c) üst beynitik iç yapılar.

Şekil 3-b' den 300°C'de ostemperlenen KGDD'in iç yapısının iğnesel ferrit içerdiği görülmektedir. Konu ile ilgili daha önceki çalışmalarda [13,14,15], KGDD'in 350°C ostemperleme sıcaklığından daha düşük sıcaklıklarda ostemperlendiğinde yapısında iğnesel (acicular) ferrit oluştuğu, bu yapının mukavemet değerlerini arttırdığı ve alt beynit olarak isimlendirildiği belirtilmiştir. 350°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda yapılan ostemperleme sonucu ise üst (kaba) beynit olarak isimlendirilen yapının oluştuğu

da yine bu çalışmalarda ifade edilmiştir. Buna göre, Şekil 3 b ve c yardımıyla 300°C'de ostemperleme ile alt beynitik ve 365°C'de ise üst beynitik yapıya sahip KGDD elde edildiği söylenebilir.

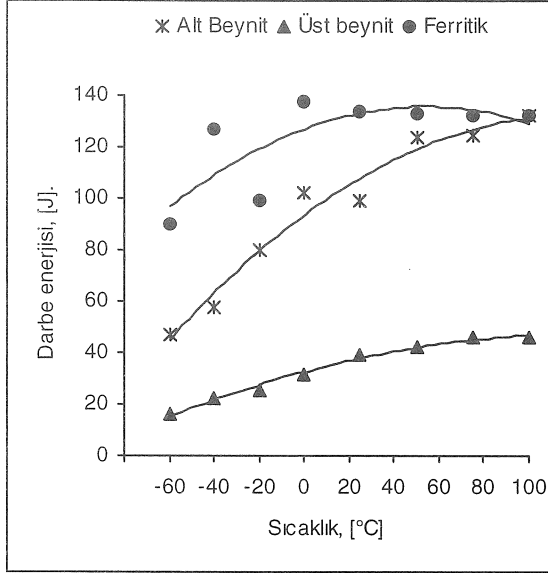
Karbonca zengin ostenit fazını gösteren beyaz alanlar, 365°C'de ostemperlenen üst beynitik yapıda daha fazla görülmektedir. Bunun sebebi, artan ostemperleme sıcaklığı ile ferritten ostenite yayılan karbonun difüzyon hızının artması sonucu yüksek karbonlu ostenit hacim oranının artması ile açıklanabilir [3,16,17].

#### Sertlik ve Darbe Özelliklerinin İncelenmesi

Ferritik, alt ve üst beynitik matriks yapıları KGDD'lerin sertlikleri sırasıyla 175 HB, 272 HB ve 329 HB olarak ölçülmüştür. %3.5 C, %2.73 Si, %0.75 Mn, %0.05 Cr, %0.18 Cu ve %0.04 Mg bileşimindeki KGDD'in 315°C ve 375°C'lerde ostemperlendiği bir çalışmada [18], alt beynitik yapının sertliğinin üst beynitik yapı sertliğinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Yakın ostemperleme sıcaklıklarına rağmen bizim çalışmamızda bu sonucun tersi görülmektedir. Bunun iki nedeni olabilir. Birincisi, Cu ve Ni elementlerinin 350°C'nin altındaki ostemperleme sıcaklıklarında ostemperlenmiş yapıya süneklik sağlaması olabilir [19,20]. İkinci neden ise yüksek ostemperleme sıcaklıklarında beynitik yapının ( $\alpha + \gamma_{K}$ ) oluşmasından sonra ostemperleme işlemine devam edildiğinde karbonca zengin ostenitin zaman ve sıcaklık etkisiyle karbür ve ferrite ayrıştığı ikinci basamak reaksiyonunun meydana gelmesi ve oluşan bu karbürü yapının da tokluğun ve sünekliğin düşmesine neden olması ile açıklanabilir [1,20].

Homojenleştirilmiş ve ostemperlenmiş KGDD'lerin -60°C/+100°C sıcaklıkları arasında yapılan darbe deneyleri sonucunda ferritik ve beynitik yapıların sıcaklık-darbe enerjisi ilişkileri Şekil 4'te verilmiştir. Her üç matrikste de deney sıcaklığının azalması ile birlikte darbe enerjisi değerlerinde azalmalar gözlenmiştir. Matriks yapıların darbe enerjileri göz önüne alındığında, ferritik matriksli KGDD'in bütün deney sıcaklıklarındaki darbe enerjisi değerlerinin ostemperlenmiş (alt ve üst beynitik) yapıların darbe enerjilerinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu sonuç literatür ile uygunluk göstermektedir. Literatürde [4], ASTM standardında belirtilen beş ayrı cins ostemperlenmiş KGDD, ferritik ve perlitik KGDD'lerin -60°C, -40°C ve oda sıcaklığında darbe enerjileri incelenmiş ve ferritik matrikse sahip KGDD'in bütün deney sıcaklıklarındaki darbe enerjilerinin diğer matriksli KGDD'lerden daha yüksek olduğu ifade edilmiştir. Deney sıcaklığının azalmasıyla birlikte (+100°C'den -60°C'ye) darbe enerjilerinde en az düşüş ferritik matrikste elde edilmiştir. Şöyle ki; ferritik matrikste +100°C deney sıcaklığında 132 J olan enerji değeri -60°C'de %

32'lik bir azalma ile 90 J olarak ölçülmüştür. Alt ve üst beynitik yapılar için +100°C ve -60°C deney sıcaklıkları arasındaki darbe enerjilerinin azalma oranları sırasıyla % 64 ve % 65 olarak bulunmuştur. Bu sonuç, ferritik matriksli KGDD'in düşük sıcaklıklarda darbe enerjilerini beynitik matriksli yapılara göre daha fazla koruduğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 4. Ferritik ve beynitik yapıların darbe enerjilerinin sıcaklıkla değişimi.

Bütün deney sıcaklıklarında (-60, -40, -20, 0, 25, 50, 75 ve 100°C) en yüksek darbe enerjileri ferritik matriksli KGDD'de elde edilirken, en düşük enerji değerleri ise üst beynitik yapıda elde edilmiştir. Bu sonuç, matriks yapıların sertlikleri ile uyum içinde olup, sertliği yüksek olan matrikse sahip KGDD'in darbe enerjilerinin düşük olduğu görülmüştür.

Tüm deney sıcaklıklarında alt beynitik KGDD'in darbe enerjisi değerleri üst beynitik yapınkilerden ortalama 2.9 kat daha yüksek bulunmuştur. Literatürde, karbonca zengin ostenit hacim oranı arttıkça darbe tokluğunun arttığı belirtilmektedir [4]. Şekil 3'ten üst beynitik yapıdaki karbonca zengin ostenit fazını gösteren beyaz alanların daha fazla olduğu görülürken, bu yapının bütün deney sıcaklıklarında daha düşük darbe enerjilerine sahip olması, meydana geldiği düşünülen 2. basamak reaksiyonu sonucu oluşan karbürlerin yarattığı gevrekliğin ostenit fazından kaynaklanan sünekliğin etkisinden daha fazla olması ile açıklanabilir.

Üst beynitik yapıda oda sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklarda darbe enerjisi değerlerinin pek fazla değişmediği gözlenirken, alt beynitik yapıda aynı sıcaklıklarda bu değerlerde artışlar

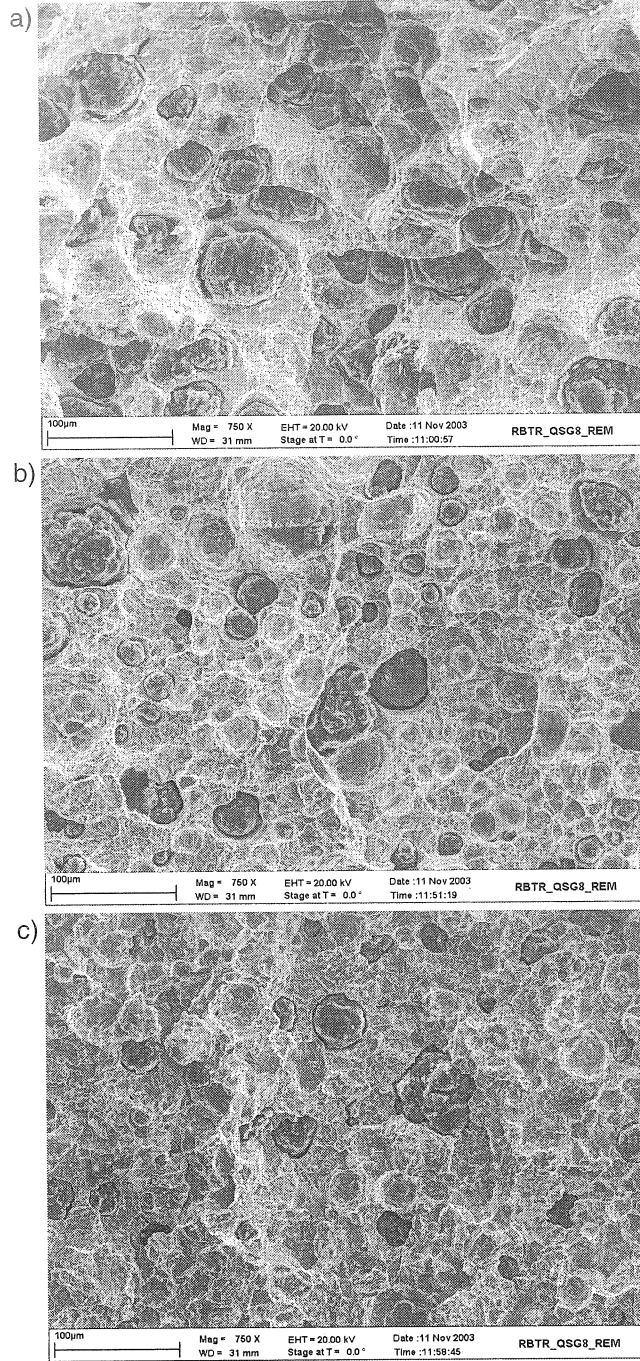
görülmüştür. Alt beynitik yapıda +25°C'de 99 J olan enerji 33 J'lük bir artış ile +100°C'de 132 J değerine artarken, üst beynitik yapıda bu sıcaklıklar arasında sadece 6 J'lük bir artış gözlenmiştir. Bilindiği gibi ostemperlenmiş KGDD'ler iç yapılarında ferrit ve karbonca zengin ostenitin yanında az miktarlarda da olsa kalıntı (dönüşmemiş) ostenit, karbür ve martensit fazlarını da içerirler [21]. Alt beynitik yapıda oda sıcaklığının üzerinde darbe enerjilerinin artışı, ostemperleme sonrası yapıda mevcut martensit fazının temperlenmesi ile açıklanabilir. Bunun yanında, daha yüksek sıcaklıkta (365°C) ostemperlenerek elde edilen üst beynitik yapıda oluşabileceği düşünülen karbürlerin darbe enerjisine olumsuz etkisinin, martensitin temperlenmesi ile oluşacak olumlu etkiden daha fazla olduğu söylenebilir [3].

Isıl işlem görmüş yapıların sünek-gevrek geçiş sıcaklıkları incelendiğinde (Şekil 4) her üç yapıda da azalan deney sıcaklığı ile darbe enerjisi değerlerinde ani azalmalar görülmediğinden, bu yapılardaki (ferritik ve beynitik) KGDD'de geçiş sıcaklık aralığından söz edilebilir. Ferrit fazı hacim merkezli kübik yapıda olduğundan, bu faza sahip demir esaslı malzemelerin sıcaklık düşüşü ile birlikte darbe değerlerinin de ani olarak düştüğü literatürde verilmiştir [22]. -60°C'ye kadar ferritik matriksin darbe enerjisi değerlerinde ani azalma meydana gelmediğinden, bu yapının darbe geçiş sıcaklığının -60°C'den daha düşük sıcaklıklarda olabileceği düşünülebilir.

Geçiş sıcaklık aralığının alt beynitik yapıda 0°C/-40°C arasında, üst beynitik yapıda ise +25°C/-20°C arasında olduğu söylenebilir. Alt beynitik yapının sertliğinin düşük ve tüm sıcaklıklarda darbe enerjisi değerlerinin yüksek olması bu yapıdaki malzemenin üst beynitik yapıya göre daha tok olduğunu göstermekle beraber bu sonuç daha düşük sünek-gevrek geçiş sıcaklık aralığına sahip olması ile de uygunluk göstermektedir.

#### Kırılma Morfolojisi

Oda sıcaklığında (+25°C) kırılan homojenleştirilmiş ve ostemperlenmiş numunelerin yüzeylerinden alınan SEM görüntüleri Şekil 5'te verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi ferritik ve beynitik yapılar karışık tipte (sünek+gevrek) kırılma modu göstermiştir. Ferritik matrikste çukurcuk (dimple) oluşumu ile daha çok sünek kırılmanın gözlenmesi, bu yapının sertliğinin düşük ve darbe enerjilerinin yüksek olması ile uygunluk göstermektedir. 300°C'de ostemperlenen KGDD'in (alt beynitik) kırılma yüzeyinde, sünek kırılma ifadesi olan çukurcuklar (dimples) daha belirgin iken, 365°C'de ostemperlenen yapının (üst beynitik) kırılma yüzeyinde daha çok tanelerarası klivaj kırılma tipi gözlenmiştir. Bu sonuç, 260°C-385°C



Şekil 5. a) Ferritik, b) alt ve c) üst beynitik matrikslerin kırılma yüzeyleri (+25°C'de).

sıcaklıkları arasında 6 farklı sıcaklıkta ostemperlenen KGDD'in kırılma tokluğu ölçümlerinin ardından kırılma mekanizmalarının incelendiği çalışma ile uygunluk göstermektedir [23]. Bahsedilen çalışmada, 260°C, 357°C ve 385°C ostemperleme sıcaklıklarında ostemperlenen yapıların kırılma yüzeylerinin taneler arası klivaj gevrek kırılma gösterdiği, diğer ostemperleme

sıcaklıkları için kırılma yüzeylerinin çukurcuklar ihtiva ettiği ve sünek kırılma gösterdiği belirtilmiştir

## SONUÇLAR

1. Cu, Mo ve Ni alaşımlı perlitik döküm yapıları KGDD'de homojenleştirme işlemi ile elde edilen ferritik yapının, bütün deney

sıcaklıklarında (-60°C/+100°C) daha yüksek darbe enerjisine ve daha düşük darbe geçiş sıcaklığına sahip olduğu görülmüştür.

2. Homojenleştirme işlemi ile ferritik matriks yapısı kazandırılan alaşımlı KGDD'in 900°C'de 1 saat ostenitlenmesini müteakip 300°C'de 1 saat ostemperlenmesi ile dökme demir iç yapısında alt beynitik yapı gözlenirken, 365°C'de 1 saat ostemperlenmesi ile üst beynitik yapı gözlenmiştir.
3. Alaşımlı KGDD'in homojenizasyon işlemi sonrasında 365°C'de 1 saat ostemperlenmesi ile 2. basamak reaksiyonu ( $\gamma_{FK} \rightarrow \alpha + \text{karbür}$ ) bölgesine geçilmiş ve bu durum, oluşan karburlu üst beynitik yapıda sertlik artışına ve darbe enerjilerinin düşmesine neden olmuştur.
4. Alt ve üst beynitik yapıların sertlikleri ve darbe özellikleri birbirleriyle karşılaştırıldığında, alt beynitik yapının sertliğinin ve darbe geçiş sıcaklığının daha düşük ve bütün deney sıcaklıklarındaki darbe enerjilerinin daha yüksek olduğu görülmüştür.
5. Ferritik, alt beynitik ve üst beynitik yapıların oda sıcaklığında kırılmış darbe numunelerinin kırılma yüzeylerinden, her üç matriksin de sünek+gevrek kırılma tipine sahip olduğu, ancak; ferritik ve alt beynitik matrikslerde daha çok sünek, üst beynitik matrikste ise daha çok tanelerarası gevrek kırılmanın olduğu gözlenmiştir.

#### TEŞEKKÜR

Bu çalışmaya destek veren, 6. Bakım Merkezi Komutanlığına (Balıkesir), Sakarya Üniversitesine, Bosch A.Ş.'ye ve yardımlarından dolayı Araş. Gör. Alaaddin TOKTAŞ'a teşekkür ederiz.

#### THE INVESTIGATION OF IMPACT PROPERTIES OF AN ALLOYED DUCTILE IRON WITH VARIOUS MATRIX STRUCTURE

In this study, firstly homogenization heat treatment was applied to 1.3% Cu 1.25% Ni and 0.18% Mo alloyed pearlitic as-cast spheroidal graphite cast iron (SGI) and fully ferritic matrix was obtained in ductile iron. Specimens with ferritic structure were austenitized at 900°C for one hour and then austempered at 300°C and 365°C temperatures for one hour in order to obtain lower and upper bainitic (ausferritic) structures in ductile iron, respectively. Impact energies between -60°C / +100°C, ductile-brittle transition temperatures and hardnesses of matrix structures (ferritic, lower bainitic and upper bainitic) obtained by heat treatments were experimentally investigated. The

microstructures of matrixes were observed by optic microscope and the fracture surfaces of impact specimens fractured at room temperature (+25°C) were also observed by SEM (Scanning Electron Microscopy). Impact properties of matrixes were compared with each other Results showed that the highest impact energies were found for the specimen with ferritic matrix at all experiment temperatures. It was also observed that the hardness of lower bainite was lower and impact energies at all temperatures were higher than the upper bainite.

Keywords: SGI, Matrix structure, Heat treatment, Impact toughness.

#### KAYNAKÇA

1. Achary, J., Tensile Properties of Austempered Ductile Iron Under Thermomechanical Treatment, *Journal of Materials and Performance*, Vol.9(1), (2000), 56-61.
2. Guo, X.L., Su, H.Q., Wu, B.Y. ve Liu, Z.G., Characterization of Microstructural Morphology Of Austempered Ductile Iron by Electron Microscopy, *Microscopy Research and Technique* Vol.40, (1998), 336-340.
3. Özel, A., GGG 40-80 Sınıfı Küresel Grafitli Dökme Demirlerde Ostemperleme Isıl İşleminin Darbe Direnci ve Darbe Geçiş Sıcaklığına Etkisinin İncelenmesi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 1994.
4. Riabov, M.V., Lerner, Y.S. ve Fahmy M.F., Effect of Low Temperatures on Charpy Impact Toughness of Austempered Ductile Irons, *Journal of Materials Engineering and Performance*, Vol.11(5), (2002), 496-503.
5. Fierro, V.E. ve Sikora, J.A., Fractomechanical Properties of As-Cast and Austempered SG Cast Iron Between -40°C and +20°C, *Materials Research*, Vol.5, (2002), No.2.
6. Eric, O., Sidjanin, L., Miskovic, Z., Zec, S. Ve Jovanovic, M.T., Microstructure and Toughness of CuNiMo Austempered Ductile Iron, *Materials Letters*, Vol.58, (2004), 2707-2711.
7. Grech, M. ve Young, J.M., Influence of Austempering Temperature on the Characteristic of Austempered Ductile Iron with Cu and Ni, *AFS Transactions*, Vol.98, (1990), 345-353.
8. Muthukumarasamy, S., Babu, A.J.S. ve Seshan, S., High-Strength Ductile Iron- As Cast Bainitic Ductile Iron and Austempered Ductile Iron, *Indian Foundry Journal*, Vol.35-8, (1992), 23-28.
9. Refaey, A. ve Fatahalla, N., Effect of Microstructure on Properties of ADI and Low

- Alloyed Ductile Iron, *Journal of Materials Science* 38, (2003), 351-362.
10. Putatunda, S.K. ve Gadicherla, P.K., Influence of Austenitizing Temperature on Fracture Toughness of A Low Manganese Austempered Ductile Iron(ADI) with Ferritic As-Cast Structure, *Materials and Engineering* A268, (1999), 15-31.
  11. Putatunda, S.K., Development of Austempered Ductile Cast Iron(ADI) with Simultaneous High Two-Step Austempering Process, *Materials Science and Engineering* A315, (2001), 70-80.
  12. Rao, P.P. ve Putatunda, S.K., Influence of Microstructure on Fracture Toughness of Austempered Ductile Iron, *Metallurgical and Materials Transactions A*, Vol.28, (1997), 1457-1470.
  13. Yaşar, H. The Effect of Cu and Austempering Treatment Parameters on The Impact Toughness and Hardness of Ductile Cast Iron, MSc. Thesis, Middle East Technical University, Ankara, 1994.
  14. Putatunda, S.K. ve Gadicherla, P.K. Effect of Austempering Time on Mechanical Properties of A Low Manganese Austempered Ductile Iron, *Journal of Materials Engineering and Performance*, Vol.9(2), (2000), 193-203.
  15. Hasırcı, H. ve Erdoğan, M., Ostemperlenmiş küresel grafitli dökme demirlerde alaşım elementleri (Cu, Ni) ve ostemperleme süresinin mikroyapı ve darbe dayanımına etkisi, *10. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi Bildiriler Kitabı*, 1011-1025, İstanbul, (2000).
  16. Zimba, J., Simbi, D.J. ve Navara E., Austempered Ductile Iron: An Alternative Material for Earth Moving Componets, *Cement and Concrete Composites*, (2003), 25, 643-649.
  17. Wu, C.Z., Chen, Y.J. ve Shih T.S., Phase Transformation in Austempered Ductile Iron by Microjet Impact, *Materials Characterization*, Vol.48, (2002), 43-54.
  18. Ahmadabadi, M.N., Ghasemi H.M. ve Osia M., Effects of Successive Austempering on The Tribological Behavior of Ductile Cast Iron, *Wear*, Vol.231, (1999), 293-300.
  19. *Ductile Iron Data for Design Engineers*, Sorelmetal Rio Tinto Iron and Titanium Inc., Canada, 1990.
  20. Toktaş, G., Matriks Yapısının Küresel Grafitli Dökme Demirin Yorulma ve Mekanik Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi, BAÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Balıkesir, 2004.
  21. Yescas-Gonzalez, M.A., Modelling the Microstructure and Mechanical Properties of Austempered Ductile Irons, University of Cambridge Department of Materials Science and Metallurgy, Ph.D. Thesis. UK, 2001.
  22. Erdoğan M., *Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri*, cilt 1, 112, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 1998.
  23. Rao, P.P. ve Putatunda, S.K., Investigations on The Fracture Toughness of Austempered Ductile Irons Austenitized At Different Temperatures, *Materials Science and Engineering A*, (2003), 1-14.