

Ark Kaynağı ile Kaynatılan Ferritik Küresel Grafitli Dökme Demirlere Öntav Sıcaklığının Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisi

Necati YALÇIN

ÖZET

Bu çalışmada, ferritik küresel grafitli dökme demirlere 400, 450 ve 500°C öntav sıcaklıklarında uygulanan elektrik ark kaynağı işleminin mikroyapı, çekme dayanımı ve mikrosertlik üzerine etkisi incelenmiştir. Mikroyapı gözlemleri ve mikrosertlik ölçümleri kaynak işlemi uygulanan parçalarda ısı tesiri altında kalan bölge (ITAB) ve kaynak metali ile ana metal arası geçiş bölgelerinde (GB) yapılmıştır. KGDD parçaların ark kaynağı ile birleştirilmesi işleminde nikel-demir esaslı (ENiFe-CI) örtülü elektrod kullanılmıştır. Kaynak işleminden sonra ana malzeme, ITAB, GB ve kaynak metali bölgesinin mikroyapı incelemeleri optik mikroskopla yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre artan öntav sıcaklığı ile ITAB'ın sertlik değerlerinde yükselme olurken aynı bölgenin genişliğinde ise artış olduğu gözlenmiştir. Öntav sıcaklığı arttıkça martenzit oluşumu azalmıştır. Öntav sıcaklıkları çekme değerleri üzerinde etkili olmamıştır fakat % uzama değerleri öntav sıcaklığı arttıkça artmıştır.

Anahtar Kelimeler: Küresel grafitli dökme demir, Öntav sıcaklığı, Ark Kaynağı, Döküm

Effect of Preheat on Ferritic Spheroidal Graphite Cast Iron Joined by the Arc Welding on the Microstructure and Mechanical Properties

ABSTRACT

In this study, the effect of electric arc welding applied to ferritic spheroidal cast irons at 400, 450 and 500°C preheat temperatures on microstructure, tensile strength and microhardness has been investigated. Microstructure observations and microhardness measurements have been achieved in the heat affected zone (HAZ), fusion zone (FZ) and partial fusion zone (PFZ). The Nickel-iron (ENiFe-CI) covered electrode was used in the treatment of arc welding of spheroidal cast iron samples. After welding of samples, microstructure observations of HAZ, PFZ and FZ were performed with optical microscope. According to obtained results, the hardness and wideness of HAZ were increased with increasing preheat temperature. Martensite formation was decreased with increasing preheat temperature. The preheat temperatures have no effect on yield stress but, elongation % was increased with increasing preheat temperature.

Keywords: Spheroidal graphite cast iron, Preheat temperature, Arc Welding, Casting

1. GİRİŞ

Sanayide geniş kullanım alanına sahip küresel grafitli dökme demirlerde (KGDD) meydana gelen aşınma, çatlama ve kırılmaların kaynak yöntemi ile onarımı oldukça yaygındır (1-4). Döküm yöntemi ile parça üretimi birçok avantaj sağlamakla birlikte, bir döküm parçanın diğer bir döküm parça veya başka malzeme ile birleştirilebilmesi gibi esnek parça üretiminde kaynak yöntemi kullanılmaktadır (1,3,4). Kaynaklı birleştirmeler, döküm zamanı ve fazla malzeme kullanımını açısından büyük ekonomik fayda sağlamaktadır. Kaynağın iyi yapılabilmesi kadar yerinde kullanılması ve kaynak yapılacak parçaların orijinaline göre şekillendirilmesi de önem taşımaktadır (5).

Makale 22.01.2008 tarihinde gelmiş, 02.02.2008 tarihinde yayınlanmak üzere kabul edilmiştir.

N. YALÇIN Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü, 06500 Teknikokullar, ANKARA, neyalcin@gazi.edu.tr

Digital Object Identifier 10.2339/2008.11.2.153-159

KGDD'lerin kaynak ile yekpare parça üretimi düşük kaynak edilebilirlik özelliğinden dolayı çelikler kadar kolay değildir. KGDD'lerin tamir veya birleştirme kaynağında kimyasal bileşim (yüksek karbon), soğuma hızını etkileyen kaynak şartları ve matrise bağlı olarak GB ve ITAB'de karbür, martenzit, perlit, ledeburit ve beynit oluşumları meydana gelmektedir. GB ve ITAB'da oluşan sert ve kırılabilir fazlar işlenebilirlik ve mekanik özellikler açısından önemli bir sorun oluşturmaktadır (3,5). Bununla birlikte KGDD'ler diğer dökme demirlere göre daha az fosfor ve kükürt içerdikleri için kaynak işleminde sıcak yırtılma riski daha azdır. ITAB bölgesinde ferritik KGDD'lere göre daha fazla martenzit oluşan perlitik KGDD'lerde aşırı gerilmelerden dolayı kaynak sonrası çatlama ve kırılmalar meydana gelmektedir (5-9).

Bu çalışmada, ferritik matrise sahip KGDD'e 400, 450 ve 500 °C öntav sıcaklıklarında nikel-demir

elektrod kullanılarak yapılan elektrik ark kaynağı işlemlerinde kaynak metali ve ana malzemelerin GB ve ITAB bölgelerinde meydana gelen mikroyapı değişimlerinin mekanik özelliklere etkisi araştırılmıştır. Değişik öntav sıcaklıklarında KGDD'lerin kaynak kabiliyetinin araştırılması ve bu araştırma sonuçlarının uygulamaya geçirilmesi ülkemiz için bir katma değer oluşturacağı düşünülmektedir.

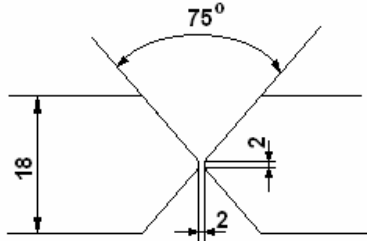
2. MATERYAL VE METOT

Deneylerde Tablo 1'de kimyasal bileşimi verilen 170x80x18 mm ebatlarındaki küresel grafitli dökme demir plakalara X kaynak ağızı açılmıştır, Şekil 1. Kaynak ağızı açılmış plakaların birbirlerine puntalama işlemini takiben her bir numune grubuna sırasıyla 400, 450 ve 500°C sıcaklıklarında öntav işlemi uygulanmıştır. Öntav sırasındaki sıcaklık kontrolü dijital göstergeye bağlı ısıtıcılarla yapılmıştır. Plakaların tamamı 110 amper akım şiddetinde kaynak yapıldı. Öntav sıcaklıklarında ark kaynağı ile birleştirme işleminde kimyasal bileşimi Tablo.2'de verilen 3,25 mm çapında nikel-demir

Tablo.1. Deneylerde kullanılan ferritik küresel grafitli dökme demirin kimyasal bileşimi.

Element	C	Si	Mn	P	S	Cu	Sn	Mg	Fe
% Ağırlık	3.50	3.52	0.504	0.028	0.006	0.018	0.003	0.017	91.99

(ENiFe-CI) kaynak elektrodu kullanılmıştır. Uygulanan öntav sıcaklık etkisinin azalmaması için kaynak işlemi sürekli olarak yapılmıştır. Kaynak yapılan parçalar hava sirkülasyonu olmayan bir ortamda oda sıcaklığına kadar soğumaya bırakılmıştır.



Şekil 1. Küresel grafitli dökme demir plakaların kaynak ağızının şematik gösterimi.

Kaynaksız deney numunelerinin dökümü U bloklardan TS 526 ve çekme deney numuneleri TS 138'e göre hazırlanmıştır. Her bir öntav sıcaklık parametresi için üç adet çekme deneyi numunesi birleştirilen plakalardan çıkarılmıştır. Numunelerin çekme deneyleri 1 mm/dk çekme hızıyla 20 tonluk Amsler marka çekme cihazında yapılmıştır.

Tablo.2. Ark kaynak elektrodunun (ENiFe-CI) kimyasal bileşimi.

Element	C	Fe	Ni
% Ağırlık	1	43	56

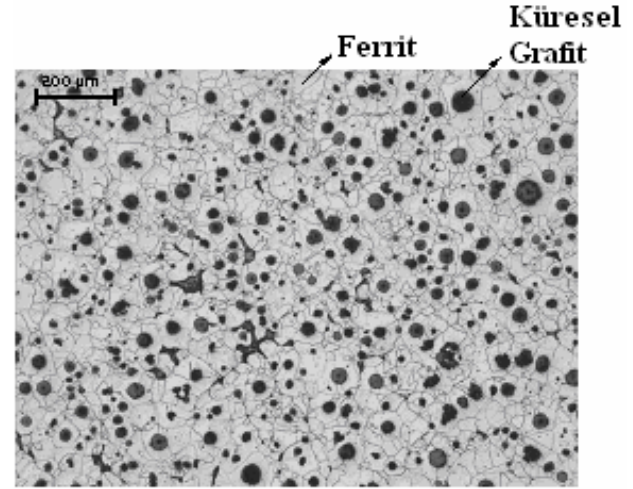
Ana metal, ITAB, GB ve kaynak metaline ait mikroyapı incelemeleri için zımparalama ve parlatma işleminden sonra üç aşamada dağlama işlemi

yaşanmıştır. Birinci aşamada, %2'lik nital ile 15 s dağlama ile ITAB bölgesi, ikinci aşamada %2'lik nital ile 30 s dağlama ile ana metali, ve üçüncü aşamada %4'lük nital ile 30 s dağlama ile kaynak metali bölgelerinin mikroyapı incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Mikroyapıların görüntülenmesinde Leica DFC320 dijital kamera bağlantılı Leica DM4000M optik mikroskop kullanılmıştır. Mikroyapı görüntüleri alınan numunelerin kaynak bölgelerinden 0.25 mm aralıklarla mikrosertlik ölçümleri Shimedzu HMV-2 marka mikrosertlik ölçüm cihazında 500 g yük altında gerçekleştirilmiştir. Ana malzeme, ITAB, GB ve kaynak metali bölgesi mikroyapıları ile mikrosertlik ve çekme testi değerleri birlikte incelenerek aralarındaki ilişkiler irdelenmiştir.

3. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Deneylerde kullanılan ferritik KGDD'in mikroyapısı Şekil 2'de görüldüğü gibi ana yapı ferrit ve ferrit yapı içinde dağılmış küresel grafitlerden oluşmaktadır. Bu yapı ferritik KGDD olarak adlandırılır ve

mikroyapı içerisindeki küre dağılımı 240 küre/mm² ve küre hacim oranı %10.3'tür.



Şekil 2. Ferritik KGDD'in mikroyapısı.

3.1. Öntav Sıcaklıklarının Mikroyapı Üzerine Etkisi

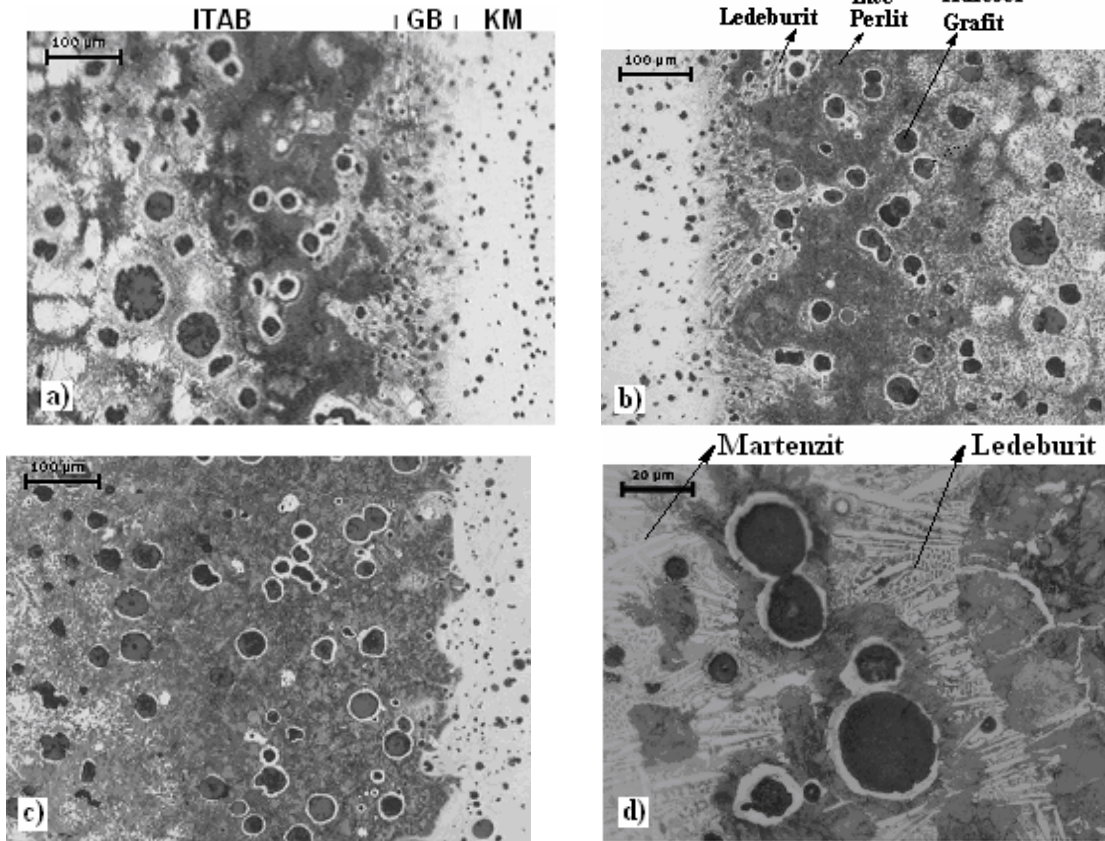
KGDD'in ark kaynağında nikel esaslı elektrodlar kullanılmaktadır. Nikel-demir elektrod (ENiFe-CI) nikel elektroda göre genleşme katsayısı bakımından fazla bir fark olmadığı ve daha ekonomik olduğu için bu çalışmada tercih edilmiştir. Nikel-demir elektrodlar yaklaşık olarak %55 nikel içermektedir. Bu özelliğinden dolayı kaynak sonrası işlenebilirliği kolaydır. Küresel grafitli dökme demirlere 400, 450 ve 500 °C öntav sıcaklıklarında ark kaynağı uygulaması ile ana malzeme ve kaynak metalinde meydana gelen 1) geçiş bölgesi (GB), 2)

ısı tesiri altındaki bölge (ITB) ve 3) kaynak metali (KM) bölgesi detaylı olarak incelenmiştir.

1) Kaynak metali ile ana metal temasının olduğu bölge GB'dir. Kaynak sonrası en hızlı soğumanın ve ilk katılaşmanın meydana geldiği bu bölgede martenzit, demir karbür ve ledeburit (Fe_3C +perlit) teşekkül etmiştir, Şekil 3. Geçiş bölgesinde martenzitik yapı ana malzeme üzerinden kaynak metaline doğru büyüme eğilimindedir, Şekil 3b ve 3d. Bu bölgede genellikle büyük küresel grafitler gözlenmez. Çünkü büyük grafitler sıcaklığın ve hızlı soğumanın etkisiyle parçalanır ve burada oluşan serbest karbon atomları difüzyon mekanizması ile martenzit oluşumunu teşvik eder (10). Tablo 3'de verilen mikrosertlik değerlerinden de görüldüğü üzere en yüksek sertlik bu bölgede oluşmuştur. Ancak, çok yüksek sertlik değerleri parçaların işlenmesinde sorun oluşturmaktadır. Bu sebepten dolayı geçiş bölgesinde martenzit hacim oranının kontrol altında tutulması gerekir.

2) Kaynak sırasında ITAB'da sıcaklık kritik sıcaklık değerinin üzerine (östenitik bölgeye) çıkmaktadır. Bu sıcaklık artışı ile yapı östenite dönüşür ve GB'ne göre daha yavaş soğuma gerçekleşir. GB'den ana metale doğru sıcaklıktaki değişim farklı olduğu için bu bölgede ledeburit, sementit, ince perlit, kaba perlit, martenzit, ferrit ve dönüşmemiş östenit yapıları meydana gelmiştir. Bu fazların oranları GB'den ana metale doğru değişim göstermiştir. Martenzit oluşumu GB'ne yakın bölgelerde yoğunlaşmıştır. Kaynak öncesi öntav ve kaynak sonrası soğuma şartları bu faz oluşumlarını ve oranlarını belirlemektedir (1,5,7,10). Literatürde (5,7,10) ITAB'da beynitik yapının da meydana geldiği belirtilmektedir. Ancak bu çalışmada beynitik yapı oluşmamıştır.

Ferritik KGDD'in kaynak işlemi sonrası kaynak bölgesinde, ana metale göre mikroyapıda değişimler meydana gelmiştir. Genel olarak, ITAB'da ferrit fazının büyük bir kısmı ısı etkisiyle farklı fazlara dönüşmüştür. Bu dönüşüm öntav sıcaklığına bağlı olarak GB ve ITAB



Şekil 3. Kaynak bölgeleri a) 400°C, b) 450°C, c) 500°C öntav sıcaklıklarında elde edilen mikroyapı ve d) 450°C GB ve ITAB.

Tablo 3. Farklı öntav sıcaklıklarında ortalama mikrosertlik değerleri (Hv).

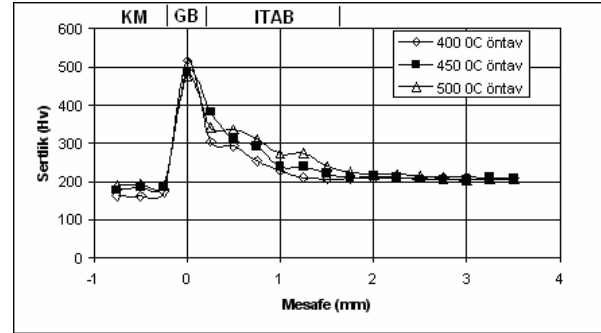
Öntav sıcaklığı (°C)	KM	GB	ITAB
400	162	517	293
450	185	487	309
500	193	476	337

mikroyapısında farklılıklar meydana getirmiştir. GB'de düşük öntav sıcaklığında (400°C) martenzit oluşumla birlikte küresel grafitlerin çevresinde ledeburitik karbür oluştuğu görülmektedir, Şekil 3a. Artan öntav sıcaklığıyla (450°C) martenzitik oluşumun azaldığı ledeburitik oluşumun arttığı (Şekil 3b ve 3d) ve 500°C öntav sıcaklığıyla martenzit ve ledeburit yapının neredeyse kaybolduğu gözlenmiştir, Tablo 4 ve Şekil 3c

GB'ne yakın olan ITAB'nde ferrit fazının neredeyse tamamı ince perlitte dönüşürken GB'den uzaklaştıkça % perlit oranında azalma ve buna ters orantılı olarak ferrit fazında artma görülmektedir. GB'den ana metale doğru yapı ferrit fazının ITAB'da hızlı soğuma şartlarının bir sonucu olarak tane sınırlarında perlitte dönüştüğü görülmektedir. Bu perlitik dönüşüm hacimsel olarak ITAB'dan ana metale doğru azalma eğilimindedir, Şekil 4 ve Tablo 4.

Şekil 4'de görüleceği gibi artan öntav sıcaklığıyla birlikte ITAB genişliği de sırasıyla 700, 800 ve 1300 µm şeklinde artmaktadır. Bu artış mekanizması şu şekilde açıklanabilir. Arttırılan öntav sıcaklığı, kaynak havuzundaki ergime ile oluşan yüksek sıcaklık, parçada daha geniş alanda kritik sıcaklığın (A_1) üzerine

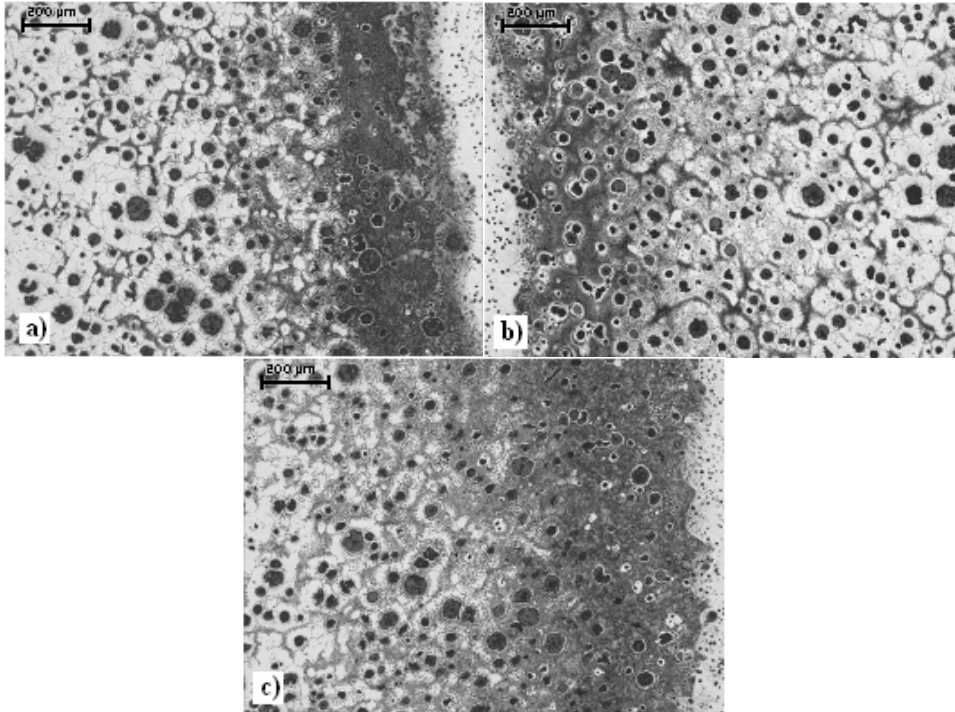
difüzyonunu ve soğuma hızına bağlı olarak perlit, martenzit ve ledeburit oluşumunu teşvik etmektedir (9,10). Mikrosertlik değerleri de yapıdaki değişimin bir göstergesidir, Şekil 5. ITAB'daki ledeburitik oluşum daha çok GB'ye yakın bölgede meydana gelmektedir, Şekil 3(a). Ayrıca bu yapılarla birlikte dönüşmemiş östenit de grafit küreler etrafında ince beyaz halka şeklinde ITAB'da görülmektedir, Şekil 4. Bu yapılar hızlı ergime ve soğumanın yanı sıra küresel grafitten de kaynaklanmaktadır.



Şekil 5. Kaynak metali-GB-ITAB-ana metal arasındaki mikrosertlik dağılım eğrisi.

Tablo 4. GB ve ITAB'daki fazların hacimsel dağılımı.

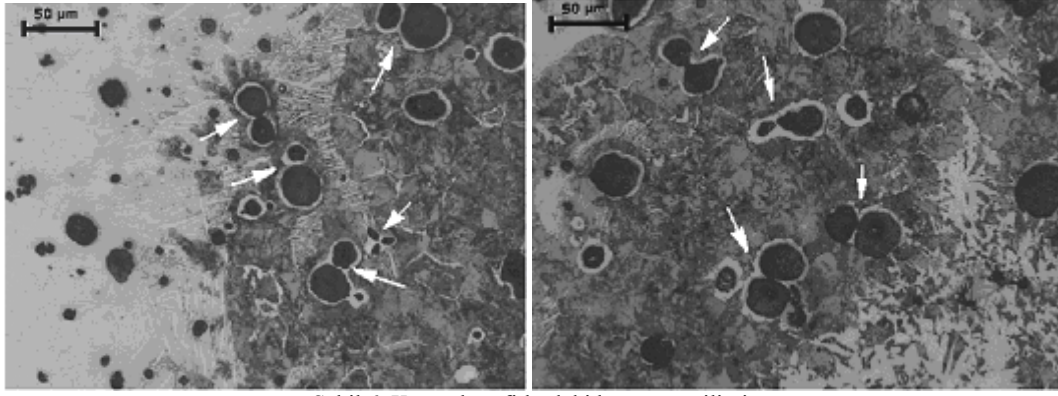
Öntav sıcaklığı (°C)	GB	ITAB
400	%70 ledeburit, %25 martenzit, %5 perlit	%70 perlit, %30 ferrit
450	%80 ledeburit, %5 martenzit, %15 perlit	%65 perlit, %35 ferrit
500	%1 ledeburit, %1 martenzit, %98 perlit	%60 perlit, %40 ferrit



Şekil 4. Öntav sıcaklıklarına göre ITAB genişliği değişimi a) 400°C, b) 450°C ve c) 500°C.

çıkarak kısmi östenitlenmesine neden olmaktadır. Bu sıcaklık artışı küresel grafitlerden ve tane sınırlarında bulunan karbon atomlarının ferrit fazı içerisine doğru

GB ve ITAB farklı öntav sıcaklığıyla değişik yapılanmalar içerisine de girmektedir. GB'de küresel grafitler bozulma eğilimine girerken Şekil 6'da ok ile gösterilen küresel grafitler ITAB'da birleşerek büyüme



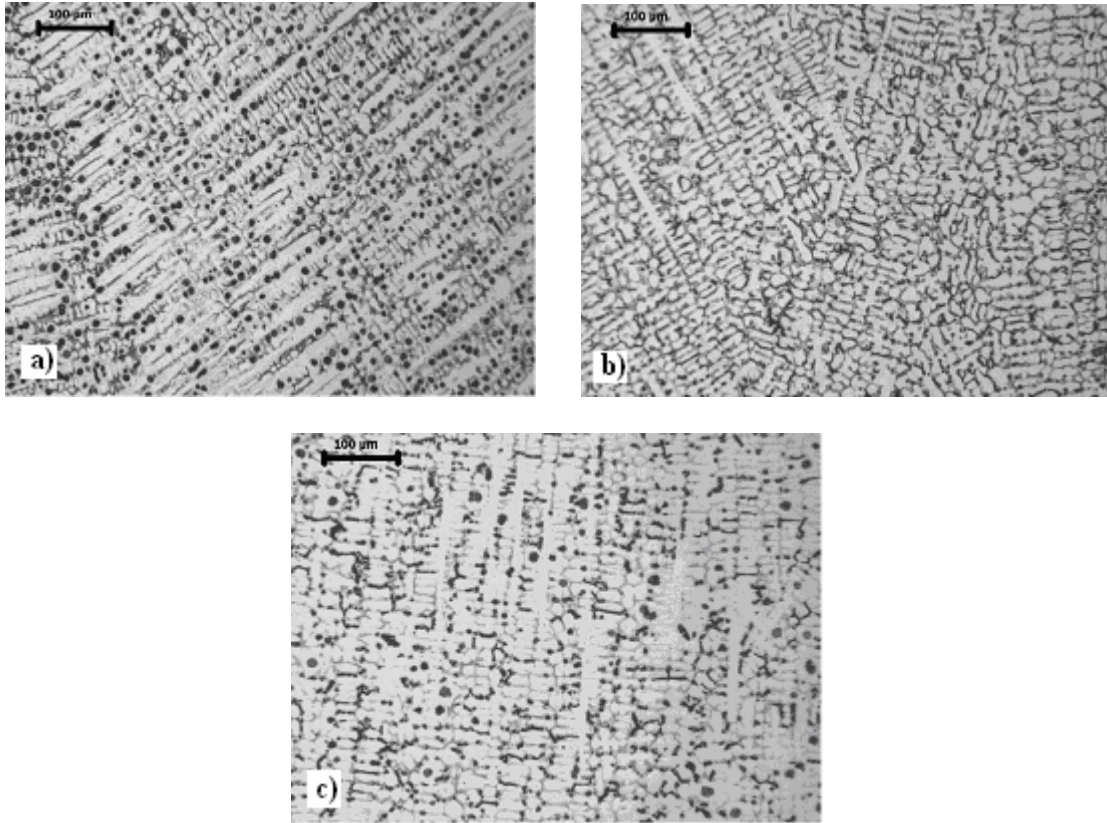
Şekil 6. Küresel grafitlerdeki büyüme eğilimi.

eğilimindedirler. Çünkü yüksek sıcaklık C atomlarının difüzyon hızını arttırmaktadır.

Literatürde (7,10), kaynak işlemi sonrası yavaş ve kontrollü soğuma martenzit oluşumunu engellerken perlit ve beynit oluşumunu teşvik ettiği belirtilmektedir.

gelmiştir. Kaynak metali içerisinde bulunan karbon küçük küreler şeklinde teşekkül etmiştir, Şekil 7.

KM bölgesinde artan öntav sıcaklığı ile tanelerin yapısında belirgin bir değişme görülmemektedir. Ancak, Şekil 7’de verilen KM bölgesi mikroyapı görüntüleri



Şekil 7. Kaynak metali a) 400°C, b) 450°C, c) 500°C öntav sıcaklıklarında elde edilen mikroyapı.

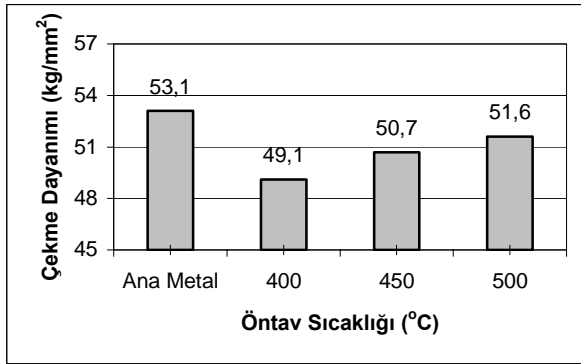
Bu durum ferrit fazı etrafında (tane sınırlarında) ikincil grafit fazı ve birincil grafit (küre grafit) etrafında perlit veya beynitik yapıların büyümesine sebep olduğu vurgulanmıştır.

3) Genel olarak dolgu elektrodu ve ana malzemeden oluşan bölge kaynak metali (KM) bölgesidir. Bu bölgenin mikroyapısı genellikle dendritik yapının hakim olduğu sütunsal tanelerden meydana

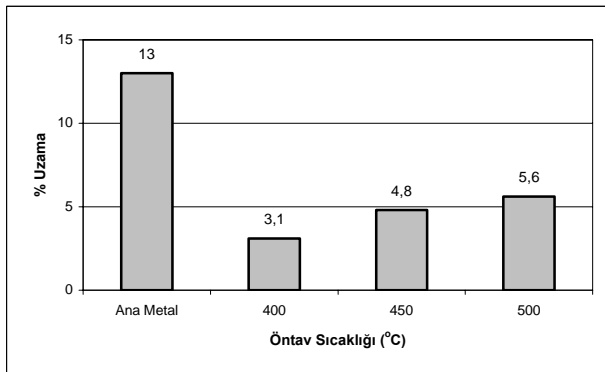
gelen bu büyüme eğiliminde olduğunu göstermektedir. Hücrelerde meydana gelen bu büyüme, oluşması muhtemel gerilmeleri azaltarak dayanım ve uzama değerlerini arttırmıştır, Şekil 8 ve 9.

3.2. Öntav Sıcaklıklarının Mikrosertlik Üzerine Etkisi

Ferritik KGDD'lerin ark kaynağında yüksek öntav sıcaklıkları, KM, GB, ITAB ve ana metal üzerinde mikrosertlik değerleri Şekil 5'te verilmiştir. Uygulanan 400, 450 ve 500 °C öntav sıcaklıklarında mikrosertlik kaynak metalinden geçiş bölgesine doğru artmış ve geçiş bölgesinden ITAB'a doğru azalmıştır. Ana metalde ise yatay bir seyir izlemiştir. Mikrosertlik değerlerindeki bu değişim farklı bölgelerde meydana gelen mikroyapı ile açıklanabilir. GB'nde mikrosertlik değerlerinin yüksek olması bu bölgede oluşan martenzit, ledeburit, perlit ve sementitten kaynaklanmaktadır. Farklı öntav sıcaklıklarının mikrosertlik üzerindeki etkisi şöyle açıklanabilir. Yüksek öntav sıcaklığı kaynak sırasında daha yüksek ısı girdisi ile birlikte parçanın daha geniş alanında sıcaklığın kritik sıcaklığın üzerine çıkmasına neden olmaktadır. Bu durum, kaynak parçasının aynı şartlar için hem daha geç soğumasına hem de ITAB genişliğinin artmasına neden olur. Daha yavaş soğuma şartlarında ledeburit ve martenzit oluşumu azalırken perlit oluşumu artmaktadır (7,10), Tablo 4. Yavaş soğuma geçiş bölgesinde sertlik değerlerinin düşmesine neden olmaktadır, Şekil 5. ITAB'da öntav sıcaklığının atmasıyla mikrosertliğin artması malzemenin yüksek karbon içeriğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Çünkü, yüksek öntav sıcaklıkları östenitleme sıcaklığında daha fazla karbon çözünmesine imkan tanır. Bu durum aynı faz için sertlik artışına neden olur.



Şekil 8. Öntav sıcaklığına bağlı olarak çekme dayanımı değişimi.



Şekil 9. Öntav sıcaklığına bağlı olarak % uzama değişimi.

3.3. Öntav Sıcaklıklarının Çekme Özellikleri Üzerine Etkisi

U blok parçalardan elde edilen ferritik ana malzemenin çekme dayanımı 53.1 kg/mm²'dir. Kaynaklı parçaların çekme deneylerinde kopmaların tamamı kaynak metalinde gerçekleşmiştir. Kopmaların kaynak metalinde meydana gelmesi, kullanılan elektrodun kimyasal yapısı ve sertlik ölçüm değerlerinden de anlaşılacağı gibi kaynak metali bölgesinin en yumuşak bölge olmasından kaynaklanmaktadır. 400, 450 ve 500°C öntav sıcaklıklarında kaynak işlemi sonrası numunelerin çekme değerleri sırasıyla 49.1, 50.7 ve 51.6 kg/mm² (Şekil 8) ve % uzama değerleri 3.1, 4.8 ve 5.6 olarak elde edilmiştir, Şekil 9. Öntav sıcaklığına göre çekme değerlerinde herhangi bir değişim olmazken uzama değerleri öntav sıcaklığı arttıkça artmıştır. El-Banna'ya (10) göre yüksek öntav sıcaklığıyla birlikte kaynak sonrası kontrollü soğuma oluşması muhtemel gerilmeleri engelleyerek malzemenin tokluk ve uzama özelliklerini olumlu yönde etkilemektedir.

KGDD'lerde kaynak kabiliyetine olumlu yönde etki eden bir diğer neden ise öntav sıcaklığının ana metal ile kaynak metali arasındaki sıcaklık farkını düşürerek ITAB bölgesindeki oluşabilecek gerilmeleri azaltmasıdır. Lancaster (5), Voigt ve Loper (7) öntav sıcaklığının artırılmasıyla malzemenin çekme dayanımının arttığını ve GB, ITAB bölgesinde ve kaynak metalinde meydana gelen olumsuz yapılarda azalma olduğunu vurgulamaktadırlar.

4. SONUÇLAR

Ferritik KGDD'lerde öntav sıcaklığının mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisi üzerine yapılan bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

1. Ferritik KGDD'lerde öntav sıcaklığı arttıkça ITAB genişliği artmıştır.
2. Ferritik KGDD'lerde artan öntav sıcaklığı ile geçiş bölgesinde soğuma hızına bağlı olarak oluşan martenzit miktarında azalma meydana gelmiştir. 500°C öntav sıcaklığında martenzit oluşumu gözlenmemiştir
3. Artan öntav sıcaklığıyla kaynak metalinde hücre büyümesi meydana gelmiştir.
4. Öntav sıcaklığının artmasıyla GB'deki sertlik azalmış, KM ve ITAB sertliği artmıştır.
5. Öntav sıcaklığı çekme dayanımı üzerinde etkili olmamıştır.
6. Artan öntav sıcaklığı ile % uzama değerleri artmıştır.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışmaya teorik ve pratik bilgileri ile önemli katkılar sağlayan Prof.Dr. Cemil Çetinkaya'ya teşekkür ederim.

6. KAYNAKLAR

1. Yalçın, N., Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Ark Kaynak Yöntemi İle Kaynak Edilebilirliğinin ve Kaynak Sonrası Mekanik Özelliklerin İncelenmesi, Yüksek Lisan, Ağustos 1999, G.Ü. Fen Bil. Enst., Ankara, 1999.
2. Elliot, R., Cast Iron Technology, BUTTERWORDS, London. 1989.
3. Aras, N., Küresel Grafitli Demir Dökümü, TMMOB, 124-136, Ankara, 1970.
4. Flinn, B., Jones J.E., Frost, R.H., Fatigue Properties of Welds of Nodular Cast Iron and Steel, AFS Transactions, 94, 879-888, 1986.
5. Lancaster, J.F., Metallurgy of Welding, CHAPMAN&HALL, 239-241, London, 1993.
6. ASM Handbook Committee, ASM Handbook (Processing of Casting), 15, 527-533, USA, 1992.
7. Voigt, R.C., Loper, C.R., Welding Metallurgy of Gray and Ductile Cast Iron, AFS Transactions, 94,133-146, 1986.
8. Medana, R., Natale, E., High Strength of Welding of Ductile Iron Castings, AFS Transactions, 94, 611-616, 1986.
9. El-Banna, E.M., Negada, M.S., Abo El-Saadat, M.M., Study of Restoration by Welding of Pearlitic Ductile Iron, Materials Letter, 42, 311-320, 2000.
10. El-Banna, E.M., Effect of Preheat on Welding of Ductile Cast Iron, Materials Letter, 41, 20-26, 1999.