

**KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRLERİN ARK KAYNAK YÖNTEMİ İLE  
KAYNAK EDİLEBİLİRLİĞİNİN VE KAYNAK SONRASI MEKANİK  
ÖZELLİKLERİN İNCELENMESİ**

85915

**Necati YALÇIN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
METAL EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

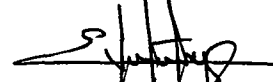
85915

**ULC YÜKSEK ÖĞRETİM KURULU  
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

**Ağustos 1999**

**ANKARA**

Necati YALÇIN tarafından hazırlanan KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRLERİN ARK KAYNAK YÖNTEMİ İLE KAYNAK EDİLEBİLİRLİĞİNİN VE KAYNAK SONRASI MEKANİK ÖZELLİKLERİN İNCELENMESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.



Yrd. Doç. Dr. Cemil ÇETİNKAYA

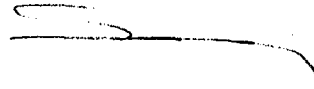
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından Metal Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

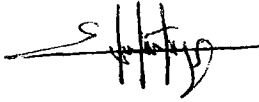
Başkan: Doç. Dr. Mehmet TÜRKER




Üye: Yrd. Doç. Dr. Süleyman TEKELİ



Üye: Yrd. Doç. Dr. Cemil ÇETİNKAYA



Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.



## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	iv
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	v
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. DÖKME DEMİRLERİN KAYNAĞINDA KULLANILAN BİRLEŞTİRME TEKNİKLERİ.....	3
2.1. Giriş.....	3
2.1.1. Döküm kaynağı (sıcak kaynak).....	4
2.1.2. Termit kaynağı (sıcak kaynak).....	5
2.1.3. Gaz eritme (oksi-asetilen) kaynağı.....	5
2.1.4. Elektrik ark kaynağı.....	6
2.1.4.1. Dökme demirlerin soğuk ark kaynağı.....	7
2.1.4.2. Dökme demirlerin yarı sıcak ark kaynağı.....	8
2.1.4.3. Dökme demirlerin sıcak ark kaynağı.....	8
2.1.5. Lehim kaynağı.....	9
3. DÖKME DEMİRLER.....	10
3.1. Giriş.....	10
3.2. Dökme Demir Tipleri.....	10

3.2.1.	Beyaz dökme demir.....	11
3.2.2.	Temper dökme demir.....	12
3.2.3.	Lamel grafitli (gri) dökme demir.....	12
3.2.4.	Küresel grafitli dökme demir.....	13
3.2.5.	Vermiküler dökme demir.....	14
3.2.6.	Alaşımli dökme demir.....	14
4.	<b>KÜRESEL GRAFITLİ DÖKME DEMİRLER.....</b>	<b>16</b>
4.1.	Giriş.....	16
4.2.	Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Kimyasal Bileşimi.....	17
4.2.1.	Karbon (C) .....	17
4.2.2.	Silisyum (Si).....	18
4.2.3.	Magnezyum (Mn).....	18
4.2.4.	Kükürt (S).....	19
4.2.5.	Fosfor (P).....	19
4.2.6.	Magnezyum (Mg).....	19
4.2.7.	Bakır (Cu).....	20
4.3.	KGDD'lerin Sınıflandırılması ve Mekanik Özellikleri.....	20
4.4.	Yüksek Alaşımli KGDD'ler.....	22
4.5.	KGDD'lerin Kaynak Kabiliyeti.....	23
4.5.1.	Kaynak bölgesinin mikro yapı ve özellikleri.....	24
4.5.2.	Kimyasal kompozisyonun tesiri.....	25
4.5.3.	KGDD'lerin ark kaynağı.....	25
4.5.4.	KGDD'lerin oksii- asetilen kaynağı.....	26
4.5.5.	Kaynak edilecek yüzeylerin hazırlanması.....	26
4.5.5.1.	Kaynak ağızlarının açılması.....	26
4.6.	Elektrodlar.....	28
4.6.1.	Erimeyen elektrodlar.....	28

4.6.2.	Eriyen elektrodlar.....	28
4.6.2.1.	Çıplak elektrodlar.....	29
4.6.2.2.	Özlü elektrodlar.....	29
4.6.2.3.	Örtülü elektrodlar.....	30
4.6.3.	KGDD'ler için kullanılan elektrodlar.....	30
4.6.3.1.	Saf nikel elektrodlar (E Ni-Cl).....	31
4.6.3.2.	Ni-Fe elektrodlar (E NiFe-Cl).....	32
4.6.3.3.	Ni-Cu elektrodlar (E NiCu-B).....	32
4.7.	Kaynak Öncesi Ön Isıtma.....	33
5.	KAYNAK METALİ.....	35
5.1.	Epitaksiyel Katılma.....	35
5.2.	Kristal Büyüme ve Segregasyon.....	36
5.3.	Kaynak Metalinde Hüresel ve Dentritik Katılma.....	37
6.	MALZEME VE METOD.....	41
6.1.	Malzeme.....	41
6.2.	Kaynak Metali.....	41
6.2.1.	Nikel-Demir elektrodlarının özellikleri.....	42
6.2.1.1.	Mekanik özellikler.....	42
6.2.1.2.	Akım tipi.....	43
6.2.2.	Nikel-Demir elektrodlarının kullanım alanları.....	43
6.3.	Kaynak Donanımı.....	43
6.4.	Parçaların Kaynağa Hazırlanışı.....	44
6.5.	Mekanik İşlemler.....	45
6.5.1.	Çekme numuneleri.....	45
6.5.2.	Mikro yapı.....	46

6.5.3.	Sertlik deneyi numunesi.....	46
6.6.	Kaynak İşlemi.....	46
6.6.1.	400°C ön tav ile yapılan kaynak işlemi.....	46
6.6.2.	450°C ön tav ile yapılan kaynak işlemi.....	47
6.6.3.	500°C ön tav ile yapılan kaynak işlemi.....	47
7.	DENEY SONUÇLARI.....	48
7.1.	Çekme Deneyi Sonuçları.....	48
7.1.1.	%0.018Cu içeren kaynaklı numunenin deney sonuçları.....	49
7.1.2.	%0.250Cu içeren kaynaklı numunenin deney sonuçları.....	49
7.1.3.	%0.305Cu içeren kaynaklı numunenin deney sonuçları.....	50
7.2.	Sertlik Deneyi.....	53
7.3.	Nufuziyet Sonuçları.....	54
7.4.	%0.018 bakır içeren malzemenin mikro yapısı .....	55
7.4.1.	400° C ön tav sıcaklığındaki sonuçlar.....	56
7.4.2.	450° C ön tav sıcaklığındaki sonuçlar.....	58
7.4.3.	500° C ön tav sıcaklığındaki sonuçlar.....	60
7.5.	%0.250 bakır içeren malzemenin mikro yapısı.....	62
7.5.1.	400° C ön tav sıcaklığındaki sonuçlar.....	62
7.5.2.	450° C ön tav sıcaklığındaki sonuçlar.....	64
7.5.3.	500° C ön tav sıcaklığındaki sonuçlar.....	66
7.6.	%0.305 bakır içeren malzemenin mikro yapısı.....	68
7.6.1.	400° C ön tav sıcaklığındaki sonuçlar.....	69
7.6.2.	450° C ön tav sıcaklığındaki sonuçlar.....	71
7.6.3.	500° C ön tav sıcaklığındaki sonuçlar.....	73
8.	DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	75

8.1.	Çekme Deneyi.....	75
8.2.	Sertlik Deneyi.....	76
8.3.	Nufuziyet.....	76
8.4.	Mikro Yapı.....	76
9.	SÖNÜÇ VE ÖNERİLER.....	78
9.1.	Sonuçlar.....	78
9.2.	Öneriler.....	78
	KAYNAKLAR.....	80
	ÖZGEÇMİŞ.....	84

**KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRLERİN ARK KAYNAK YÖNTEMİ İLE  
KAYNAK EDİLEBİLİRLİĞİNİN VE KAYNAK SONRASI MEKANİK  
ÖZELLİKLERİN İNCELENMESİ**

**(Yüksek Lisans Tezi)**

**Necati YALÇIN**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Ağustos 1999**

**ÖZET**

Endüstride kullanım alanı gittikçe artmakta olan küresel grafitli dökme demirlerin (KGDD) kaynak edilebilirliği ve kaynak sonrası mekanik özelliklerinde meydana gelen değişiklikleri araştırmak amacıyla farklı kimyasal bileşime sahip KGDD numunelerine değişik ön tav sıcaklıkları uygulanarak kaynak edilebilirliği incelenmiştir. Ark kaynağında Askaynak firmasının ürettiği E NiFe-CI örtülü elektrod kullanılmıştır. Kaynak işleminden sonra, mikro yapı (ana malzeme, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB), kaynak metali bölgesi) incelemesi yapılmıştır. Kaynak işlemi sonunda malzemelerin çekme dayanımlarının, değişen ön tav sıcaklıklarına bağlı olarak arttığı, ön tav sıcaklığının artışıyla bölgeler arasındaki sertlik değerlerinde değişme görülmüştür. Ön tav sıcaklığının diğer bir etkisi ise sıcaklık artışına bağlı olarak malzemenin ITAB bölgesindeki sertlik değerlerinin azaldığı buna karşılık kaynak metalinin sertliğinde ise artma olduğu gözlenmiştir.

Bilim Kodu :6261801

Anahtar Kelimeler :Küresel grafitli dökme demir, Kaynak, Mikro yapı, Ön tavlama

Sayfa Adedi :84

Tez Yöneticisi :Yrd. Doç. Dr. Cemil ÇETİNKAYA

**THE WELDABILITY OF DUCTILE CAST IRONS BY USING ARC WELDING  
TECHNIQUE AND INVESTIGATION OF ITS MECHANICAL PROPERTIES  
(Master's Thesis)**

**Necati YALÇIN**

**GAZI UNIVERSITY  
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

**August 1999**

**ABSTRACT**

The use of nodular cast iron is increasing in industrial applications. In this study the weldability and mechanical properties, of welded nodular cast iron were examined. For this reason, in order to investigate properties variations, different nodular cast iron specimens having different composition were welded. Different preheat temperatures were applied to each specimen. When applying arc-welding technique to the specimens E NiFe-CI type coated electrodes were used. After welding microstructures of the main material, heat affected zone (HAZ) and filler metal zones were examined by optical microscopy. As a result of welding process, tensile stress properties were improved by applying different preheating temperatures. By increasing the preheat temperatures local variations of hardness values on HAZ were attained. The hardness values on HAZ were observed to decrease while it was observed to increase in filler metal zone.

Science Code : 6261801

Key Words : Ductile C I Nodular C.I.; Welding, Microstructure, Preheating

Page Number :84

Adviser : Yrd. Doç. Dr. Cemil CETINKAYA

## TEŞEKKÜR

Endüstriye yönelik hazırlanan bu çalışmada yardımını esirgemeyen tez danışmanım Öğretim Üyesi Yrd.Doç.Dr. Cemil ÇETİNKAYA'ya öncelikle teşekkürlerimi arz ederim. Deneylede kullandığımız malzemelerin dökümüne yardımcı olan Alfa Döküm'ün sahibi Doç.Dr. Şemsettin ÖZDEMİR'e, kaynak işlemlerinin yapıldığı Kaynak Eğitimi ABD atelyelerinde çalışma imkanı hazırlayan ABD Başkanı Behçet GÜLENC'e, Arş. Gör. Ahmet DURGUTLU'ya, deney numunelerinin hazırlanması işlemlerinde madeni modelin tüm imkanlarını sağlayan Döküm-Model Eğitimi ABD Başkanı Öğr.Gör. Satılmış YAMAN'a, bütün Ana Bilimdalında görev yapan akedemik ve idari personele, Aktaş EML Döküm Bölümü öğretmenlerine, bu günlere gelmemize maddi manevi emeği geçen hocalarıma ve aileme teşekkürlerimi arz ederim.

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge 4.1.	KGDD'lerin dokularına göre sınıflandırılması.....	22
Çizelge 4.2.	Yüksek alaşımli KGDD'lerin ASTM standartları.....	23
Çizelge 4.3.	Dökme demirlerin ark kaynağında kullanılan elektrodların % alaşım elementleri oranları.....	31
Çizelge 6.1.	Deneylerde kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimleri...	41
Çizelge 6.2.	Ark kaynak elektrodunun kimyasal bileşimi.....	42
Çizelge 7.1.	Çekme deney sonuçları.....	51
Çizelge 7.2.	Sertlik deney sonuçları.....	53



## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil.2.1.	Elektrik ark kaynak donanımı.....	7
Şekil.3.1.	Beyaz dökme demirin mikro yapısı.....	11
Şekil.3.2.	Temper dökme demirin mikro yapısı.....	12
Şekil.3.3.	Gri dökme demirin mikro yapısı.....	13
Şekil.3.4.	KGDD'in mikroyapısı.....	13
Şekil.3.5.	Vermiküler grafitli dökme demirlerin mikro yapısı.....	14
Şekil.4.1.	KGDD'nin mikro yapısı.....	16
Şekil.4.2.	Yüksek karbon miktarından dolayı oluşan karbon yüzmesi.....	18
Şekil.4.3.	Kaynak edilmiş KGDD'nin geçiş bölgesinin mikro yapısı.....	24
Şekil.4.4.	Yüzey tabakası sert ve oksitli olan malzemelere açılan kaynak ağzı.....	27
Şekil.4.5.	Kalın parçalara açılan kaynak ağzları ((a) V-kaynak ağzı, (b) X-kaynak ağzı, (c) U-kaynak ağzı).....	27
Şekil.4.6.	Yeterli kaynak ağzının açılmaması sonucu oluşan çatlama.....	28
Şekil 4.7.	Nikel ve bazik elektrotların sertlik dağılımları.....	33
Şekil.4.8.	Ön ısıtma için yapılmış özel bekler.....	34
Şekil.5.1.	Ergime sınırındaki katı çekirdeğin heterojen olarak katılaşması.....	35
Şekil.5.2.	Döküm ve kaynak metali katılaşmasında serbest enerji değişimi.....	36
Şekil.5.3.	Kararlı katılaşmada kimyasal bileşim ve ergime sıcaklığı değişimi.....	37
Şekil.5.4.	Düzlemsel bir ara yüzeyde yapısal alt soğuma ile yumru büyümesi.....	38
Şekil.5.5.	Düzlemsel büyümenin hücreşel büyümeye dönüşmesi.....	39

Şekil.5.6.	Kaynak metalindeki dentritik yapı.....	39
Şekil.5.7.	Kaynak metalinin katılaşmasında belirli bölgelerde oluşan yapılar.....	40
Şekil.6.1.	Deney düzeneğinin şematik olarak gösterimi.....	44
Şekil 6.2.	Çekme çubuğu.....	45
Şekil.7.1.	Kaynaksız numunelerin çekme deneyi grafikleri; a) %0.018 Cu içeren, b) %0.250 Cu içeren, c) %0.305 Cu içeren.....	48
Şekil.7.2.	% 0.018 Cu içeren numunenin çekme deney grafiği.....	51
Şekil.7.3.	% 0.250 Cu içeren numunenin çekme deney grafiği.....	52
Şekil.7.4.	% 0.305 Cu içeren numunenin çekme deney grafiği.....	52
Şekil.7.5.	Ön ısıtma sıcaklığına bağlı sertlik dağılım grafiği.....	54
Şekil.7.6.	Ana malzemenin mikro yapısı (ferrit ve grafit).....	56
Şekil.7.7.	ITAB bölgesinin mikro yapısı (ferrit, ince ve kaba perlit, grafit).....	56
Şekil.7.8.	Geçiş bölgesinin mikro yapısı (ferrit, ince ve kaba perlit, sementit, grafit).....	57
Şekil.7.9.	Kaynak metali bölgesinin mikro yapısı (ferrit, perlit, grafit)....	57
Şekil.7.10.	Ana malzemenin mikro yapısı (ferrit, perlit ve grafit).....	58
Şekil.7.11.	ITAB bölgesinin mikro yapısı (ferrit, ince ve kaba perlit, grafit).....	58
Şekil.7.12.	Geçiş bölgesinin mikro yapısı (ferrit, ince ve kaba perlit, sementit, grafit).....	59
Şekil.7.13.	Kaynak metali bölgesinin mikro yapısı (ferrit, perlit, grafit)....	59
Şekil.7.14.	Ana malzemenin mikro yapısı (ferrit, perlit ve grafit).....	60
Şekil.7.15.	ITAB bölgesinin mikro yapısı (ferrit, ince ve kaba perlit, grafit).....	60
Şekil.7.16.	Geçiş bölgesinin mikro yapısı (ferrit, ince ve kaba perlit, sementit, grafit).....	61
Şekil.7.17.	Kaynak metali bölgesinin mikro yapısı (ferrit, perlit, grafit)....	61
Şekil.7.18.	Ana malzemenin mikro yapısı (ferrit ve grafit).....	62

Şekil.7.19.	ITAB bölgesinin mikro yapısı (ferrit, ince ve kaba perlit, grafit).....	63
Şekil.7.20.	Geçiş bölgesinin mikro yapısı (ferrit, ince ve kaba perlit, sementit, grafit).....	63
Şekil.7.21.	Kaynak metali bölgesinin mikro yapısı (ferrit, perlit, grafit)....	64
Şekil.7.22.	Ana malzemenin mikro yapısı (ferrit, perlit ve grafit).....	64
Şekil.7.23.	ITAB bölgesinin mikro yapısı (ferrit, ince ve kaba perlit, grafit).....	65
Şekil.7.24.	Geçiş bölgesinin mikro yapısı (ferrit, ince ve kaba perlit, sementit, grafit).....	65
Şekil.7.25.	Kaynak metali bölgesinin mikro yapısı (ferrit, perlit, grafit)....	66
Şekil.7.26.	Ana malzemenin mikro yapısı (ferrit, perlit ve grafit).....	66
Şekil.7.27.	ITAB bölgesinin mikro yapısı (ferrit, ince ve kaba perlit, grafit).....	67
Şekil.7.28.	Geçiş bölgesinin mikro yapısı (ferrit, ince ve kaba perlit, sementit, grafit).....	67
Şekil.7.29.	Kaynak metali bölgesinin mikro yapısı (ferrit, perlit, grafit)....	68
Şekil.7.30.	Ana malzemenin mikro yapısı (ferrit ve grafit).....	69
Şekil.7.31.	ITAB bölgesinin mikro yapısı (ferrit, ince ve kaba perlit, grafit).....	69
Şekil.7.32.	Geçiş bölgesinin mikro yapısı (ferrit, ince ve kaba perlit, sementit, grafit).....	70
Şekil.7.33.	Kaynak metali bölgesinin mikro yapısı (ferrit, perlit, grafit)....	70
Şekil.7.34.	Ana malzemenin mikro yapısı (ferrit, perlit ve grafit).....	71
Şekil.7.35.	ITAB bölgesinin mikro yapısı (ferrit, ince ve kaba perlit, grafit).....	71
Şekil.7.36.	Geçiş bölgesinin mikro yapısı (ferrit, ince ve kaba perlit, sementit, grafit).....	72
Şekil.7.37.	Kaynak metali bölgesinin mikro yapısı (ferrit, perlit, grafit)....	72
Şekil.7.38.	Ana malzemenin mikro yapısı (ferrit, perlit ve grafit).....	73

Şekil.7.39.	ITAB bölgesinin mikro yapısı (ferrit, ince ve kaba perlit, grafit).....	73
Şekil.7.40.	Geçiş bölgesinin mikro yapısı (ferrit, ince ve kaba perlit, sementit, grafit).....	74
Şekil.7.41.	Kaynak metali bölgesinin mikro yapısı (ferrit, perlit, grafit)....	74



## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış, fakat tez metni içerisinde açıklanmamış bazı kısaltmalar açıklamalarıyla birlikte aşağıda sunulmuştur.

<b>Kısaltma</b>	<b>Açıklama</b>
AFS	Amerikan Dökümcüler Birliği
ASTM	Amerikan standartları
C.E.	Karbon Eşdeğerliği
Rc	Rockwell Sertlik Değeri
TSE	Türk Standartları Enstitüsü



## 1.GİRİŞ

Dökme demirler genel olarak demir-karbon-silisyum alaşımlarıdır. İsteğe göre değişik özellikler elde etmek amacıyla dökme demirlere nikel, krom, bakır, kalay, magnezyum, molibden, vb. alaşım elementleri ilave edilmek suretiyle değişik özelliklere sahip alaşımlı dökme demir tipleri oluşturulur. Dökme demirin, düşük ergime sıcaklığına, sıvı halde iyi bir akıcılığa sahip olması ve döküm yoluyla kolay şekillendirilebilmesi nedeniyle kullanım alanı oldukça geniştir [ 1,2,3,4 ] .

Döküm parçaların birleştirilmesinde ve tamir işlemlerinde gün geçtikçe kaynak önemli bir yer almaktadır. Kaynak sayesinde döküm zamanından ve fazla malzeme kullanımından büyük ekonomik fayda sağlanmaktadır. Kaynağın iyi yapılabilmesi kadar yerinde kullanılması ve kaynak yapılacak parçaların bu imal usulüne göre şekillendirilmesi de önem taşımaktadır [ 5,6 ] .

İmal edilen küresel grafitli dökme demirlerin (KGDD) çoğuna kaynak işlemi uygulanabilmektedir. KGDD'lerin kullanım alanı arttıkça, tamir edilebilme yolları aranmakta ve kaynakla tamir ön plana çıkmaktadır. Değişik döküm parçalarını kaynakla birleştirmek suretiyle yekpare dökümler elde edilebilmektedir. Dökme demir parçalar kırılğan olduklarından, kaynak esnasında oluşan yüksek ısı alışverişinden dolayı ITAB de gerilmeler oluşur. Bu gerilmeleri önlemek için, kaynaktan önce bir ön ısıtmaya ihtiyaç duyulur. Ön ısıtma sıcaklığı kaynak tekniğine ve kullanılacak elektroda göre değişir. Uygulanan ön ısıtma sıcaklığının derecesi malzemenin kaynak kabiliyetini artırır. Fakat sıcaklık optimum sınırlar içerisinde olmalıdır. Aksi taktirde istenilen mukavemet ve işlenebilme özellikleri kazandırılmaz [ 5,6,7,8 ] .

KGDD'ler çelikler kadar kolay kaynak yapılamamasına rağmen, uygun kaynak tekniği, uygun elektrod seçimi ve optimum ön ısıtma ile bir KGDD'i diğer bir KGDD'e veya çeliğe kaynakla birleştirmek mümkündür [9].



## 2. DÖKME DEMİRLERİN KAYNAĞINDA KULLANILAN BİRLEŞTİRME TEKNİKLERİ

### 2.1.Giriş

Bütün dökme demir çeşitleri uygun kaynak tekniği kullanıldığı takdirde kaynak yapılabilir. Ancak dökme demirler sınıfına giren beyaz dökme demirler zor kaynak edilirler. Dökme demirler genel olarak çeliğe uygulanan kaynak tekniklerinin büyük bir kısmından yararlanılarak kaynatılabilirler. TİG (Tungsten İnert Gas) ve pek fazla uygulama alanı bulunmamasına rağmen MİG (Metal İnert Gas)-MAG (Metal Active Gas) usulü kaynak ile birleştirme ve tamir işleri yapılır. Ayrıca, elektrocuruf kaynağı da dökme demirlerin birleştirme işleminde kullanılır. En çok oksî-asetilen ile ergitme kaynağı, örtülü elektrod ile elektrik ark kaynak tekniği kullanılarak kaynatılırlar [6,10].

Lazer ışını ile metallerin kaynağı, özellikle küresel grafitli dökme demirlerin kaynağında uygulanmış ve olumlu sonuç vermiştir. Elektron bombardımanı ve plazma yöntemi de teknik olarak uygulanabilir ancak kullanılabilir durumda değildir [11].

Küresel grafitli dökme demirlere uygulanan önemli kaynak teknikleri, oksî-asetilen, elektrik ark kaynağı, MAG ve lehimlemedir[12]. Uygulama şekli (usulü) olarak dökme demir kaynağını ;

1. Soğuk kaynak,
2. Sıcak kaynak,
3. Yarı sıcak kaynak olarak ayırabiliriz [13].

Genel olarak uygulama aşamasında en önemli kaynak teknikleri şu şekilde sıralanabilir.

1. Döküm kaynağı (Sıcak kaynak)
2. Termit kaynağı (Sıcak kaynak)
3. Gaz eritme kaynağı (Oksi-asetilen kaynağı)
  - a. Sıcak kaynak
  - b. Soğuk kaynak
4. Elektrik ark kaynağı
  - a. Soğuk kaynak
  - b. Sıcak kaynak
  - c. Yarı sıcak kaynak
5. Lehim kaynağı

#### **2.1.1.Döküm kaynağı (Sıcak kaynak)**

Kullanım sırasında kırılan döküm parçalarının ve dökümden sonra eksik çıkan yerlerin tamir işlemi bu teknikle yapılmaktadır.

Bu teknikle, kaynak yapılacak parçalar 500-600<sup>0</sup>C de bir ön ısıtmaya tabi tutularak, eksik veya kırık kısım tamamlayıcı bir kalıp içerisine yerleştirilir. Parça birleştirmesine uygun bir sıvı metal kırık yüzey üzerine dökülür. Yüzey sıcaklığının ergime sıcaklığına yükselmesi için, kalıpta bırakılmış olan delikten sıvı metalin tahliyesi sağlanır. Yüzeyde erime tesbit edildiği zaman delik kil bir tampon yardımı ile kapatılır ve normal döküm işlemi yapılarak kalıp sıvı metal ile doldurulur. Döküm işleminden sonra parçanın soğuma hızı çok iyi kontrol edilerek katılaşma sağlanır. Soğuma hızının mümkün olduğu kadar yavaş olması

gerekir [14,15].

### **2.1.2. Termit kaynağı (Sıcak kaynak)**

Döküm kaynağının alternatifi olarak döküm hatalarının ve kırıkların tamirinde bu teknik kullanılır. Dökme demir parça 500-600<sup>0</sup>C de bir ön ısıtmaya tabi tutularak kalıba yerleştirilir. Kaynak için gerekli sıvı metal, termit tozu yardımı ile bir pota içerisinde hazırlanır. Termit tozu; demir oksit ve alüminyum tozlarının karışımına tutucu olarak katılan baryumoksit ve magnezyum talaşından ibarettir. Karışım tutuşturulduğunda egzotermik bir reaksiyon sonucu pota içerisinde ergimiş olan demir ve üzerinde yüzen alüminyum oksitten ibaret olan cüruf elde edilir. Kaynak sonunda beyaz dökme demir elde etmek için, termit tozu veya sıvı metal içersine ferro-silisyum ve kömür tozu (antrasit tozu) ilave edilmelidir. Hazırlanan sıvı metal, döküm kaynağındaki işlem sırası takip edilmek suretiyle kaynak işlemi tamamlanır[15,16].

### **2.1.3. Gaz eritme (oksi-asetilen) kaynağı**

Genellikle yanıcı gaz olarak asetilen kullanıldığı için bu isimle adlandırılır. Asetilen ve oksijen iki ayrı hortum yardımı ile üfleçe iletilir. Üfleçte istenilen oranda karıştırılan bu gazlar üfleçin ağzından kaynak alevi olarak çıkar. Oksi-asetilen kaynağı küçük ve orta büyüklükteki parçaların kaynağında kullanılan bir tekniktir.

Dökme demirlerde kullanılan oksii-asetilen kaynağı, soğuk yada sıcak olarak uygulanabilir. Soğuk kaynak, kaynak sonrası gerilmelerin göz ardı edilebileceği ve kaynaktan sonra kaynak bölgesinden talaş kaldırılması söz konusu olmayan

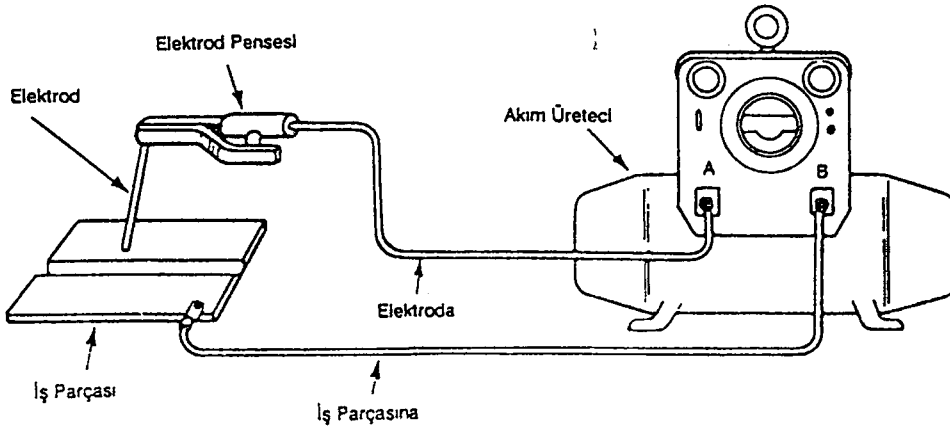
yerlerde uygulanır. Bu da soğuk kaynağın kullanım alanını azaltmaktadır. Dökme demirlerin sıcak kaynağındaki ön ısıtma işlemi ve kaynak sonrası kontrollü soğutma önem kazanmaktadır [6,7].

Parçanın büyüklüğüne ve şekline göre ön ısıtmanın hızı ve süresi değişmektedir. Parçanın büyüklüğü arttıkça ön ısıtma süresi artmakta ve ön ısıtma hızı yavaşlamaktadır. Soğuma süresi ise, genellikle ön ısıtma süresinin iki ila üç katıdır [6,7,14].

Dökme demirler oksitlenmeye karşı hassas olduklarından, karbürleyici (asetileni fazla) alev ile kaynatılmalıdır. Çok az miktardaki oksijen fazlalığı kaynak dikişinin gözenekli olmasına sebep olur [6].

#### **2.1.4. Elektrik ark kaynağı**

Dökme demirlerin elektrik ark kaynağında genellikle çelik kaynağında kullanılan donanımlar kullanılmaktadır. Bütün kaynak yöntemlerinde işlemi gerçekleştirebilmek için bir kaynak enerjisine, bu enerjiyi kaynak bölgesine taşıyacak donanımlara ve kaynak ağzını doldurmak için bir ilave kaynak metaline ihtiyaç vardır [15]. Kaynağın temel elemanları olarak isimlendirdiğimiz bu üç unsur elektrik ark kaynağında, ark, kaynak makinesi ve kaynak elektrodu ile sağlanmaktadır [17]. Şekil.2.1'de elektrik ark donanımının şeması görülmektedir.



Şekil 2.1. Elektrik ark kaynak donanımı

#### 2.1.4.1. Dökme demirlerin soğuk ark kaynağı

Soğuk kaynak, kaynak işleminden önce hiçbir şekilde ön ısıtma yapmaksızın çekilen kaynaktır. Genellikle tamir işlerinde kullanılan bir yöntem olup, sıcak kaynağa nazaran ekonomik olduğu için tercih edilir. Soğuk kaynakta gerilmeler fazla olduğundan aşağıdaki hususlara dikkat etmek gerekir[13].

1. Mümkün olduğunca elektrod çapı 2.5 mm-3.5 mm arasında olmalı, akım şiddeti düşük ve kaynak dikişinin boyu kısa tutulmalıdır,
2. Kaynak dikişi (pasosu) uzunluğu maksimum elektrod çapının 4-5 katı kadar olmalıdır,
3. Kaynak işlemi genellikle doğru akımda ve pozitif kutupta yapılmalıdır,
4. Kaynak bölgesindeki ısı  $70^{\circ}\text{C}$ 'yi geçmemeli ve her pasoda parçanın soğuması beklenmelidir,
5. Her dikiş mutlaka çekiçlenmeli ve çekiçleme işlemi sıcak bölgeden soğuk bölgeye doğru olmalıdır,
6. Birbiri üzerine gelen dikişlerin yönleri  $90^{\circ}\text{C}$  olursa büzülme ve çatlama

minimum olur,

7. Malzeme hava akımının olmadığı yerde, kuru ve sıcak kum içerisinde soğumaya bırakılmalıdır,

#### **2.1.4.2.Yarı sıcak kaynak**

Kaynak edilecek parçanın yaklaşık  $200^{\circ}\text{C}$ - $300^{\circ}\text{C}$ 'de ön ısıtma (ön tav) işlemine tabi tutulmasına yarı sıcak kaynak tekniği denir. Bu işlem kaynak bölgesinde oluşacak gerilmeleri en aza indirir[13].

Bu yöntem ile daha uzun dikişler uygulayarak daha hızlı ve daha az riskli bir kaynak bağlantısı gerçekleştirmek mümkündür. Burada da kaynak dikişi çekişenmelidir. Kaynak metali olarak nikel ve nikel alaşımli elektrodlar tercih edilmelidir. Bu elektrodlarla yapılan çalışmalar iyi sonuç vermektedir [5,8].

#### **2.1.4.3.Sıcak ark kaynağı**

Kaynak edilecek parçaya  $600^{\circ}\text{C}$  civarında ön ısıtma işlemi uygulanır. Kaynaktan sonra oluşabilecek iç gerilmelerin ve dolayısıyla oluşacak çatlamların önüne geçilmiş olur. Dökme demirlerin bu tür kaynağı yorucu ve masraflı olmasıyla beraber iyi sonuçlar alınmaktadır [7,13].

Sıcak kaynakta parçaların aralıksız kaynak edilmeleri gerektiğinden sargısı soyulmuş çelik elektrodlar kullanılır. Sıcak dolgu kaynaklarında döküm kaynak çubuklarının kullanılması kaynakta çabukluluğu ve ekonomiyi sağlar. Elektrodların çıplak olmasından dolayı doğru akım kaynak makinelerini kullanmak gerekir [18].

Birleştirme yerlerinden sıvı metal akmasını önlemek için açıklıklar genişçe kapatılmalıdır. Bu işlem kaynaktan önce itina ile hazırlanmış olmalı ve gerektiğinde etrafı kumla desteklenmelidir. Kaynak metali sıvı durumda iken kalıp çalkalanarak içindeki gazların yüzeye çıkması sağlanır. Katılaştıktan sonra yüzey taşlanır. Kaynak süresince ısının sabit tutulması gerekir. İstenmeyen gerilmeleri önlemek için bir son ısıtma tavsiye edilir. Kaynaktan sonraki soğuma çok yavaş olmalı ve tercihen izole bir sistem kullanılmalıdır [7].

#### **2.1.5. Lehim kaynağı**

Lehimleme, dolgu olarak kullanılan metallerin eritilip, birleştirilmesi istenilen parçaların temas yüzeyleri arasında ince bir tabaka meydana getirip, bağ oluşturacak şekilde katlaşmayı sağlayan bir birleştirme tekniğidir. Dolgu metalinin ergime sıcaklığı, tanımdaki gibi birleştirilecek parçalarınkinden düşük olmalıdır [7].

### **3.DÖKME DEMİRLER**

#### **3.1.Giriş**

Dökme demirler, Demir-Karbon-Silisyum alaşımı olarak tanımlanırlar. Manganez, fosfor ve kükürt alaşım içinde bulunan diğer elementlerdir. Dökme demirin mekanik özelliklerini geliştirmek için nikel, krom, molibden, kalay, bakır, titanyum ve alüminyum katılmaktadır [3,4,19].

Dökme demirler, içerdikleri yüksek miktardaki karbondan dolayı sıvı halde iyi bir akıcılığa sahiptir. Katı halde şekillendirme mümkün olmadığından ancak döküm yoluyla şekillendirilirler [20].

Dökme demirlerin çok geniş bir aralıkta değişen mukavemet, sertlik, korozyon direnci, aşınmaya karşı dayanıklılık, kolay işlenebilme ve bazı tiplerinin titreşim söndürme özelliklerinin bulunması, ekonomik olması döküm sektöründe bu malzemeyi rakipsiz yapmıştır [1,21].

Alaşım elementlerinin oranı, döküm sonrası soğuma hızı ve ısı işlem, dökme demirin bileşiminde bulunan karbonun mikro yapıdaki şeklini belirler. Dökme demirin bileşimindeki karbon, mikro yapıda demir-karbür veya serbest halde grafit olarak bulunur [1,2,20].

#### **3.2.Dökme Demir Tipleri**

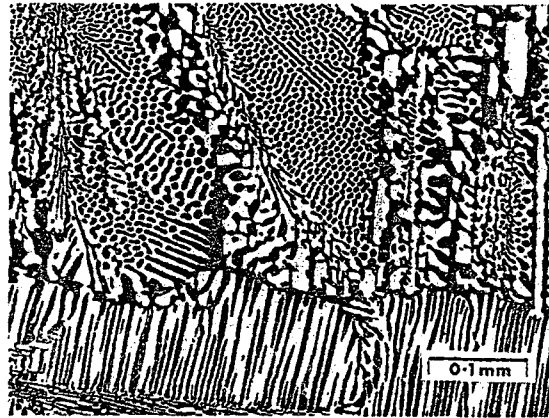
Dökme demir içindeki karbon miktarı %2-4 arasında değişmektedir. Dökme

demir içerisindeki karbon katılaşma sırasında ve mikro yapıda grafit olarak görülür. Grafitin şekli, büyüklüğü ve dağılımı dökme demirin tipini ve özelliklerini belirler [1,2,20].

1. Beyaz dökme demir (White Cast Iron),
2. Temper dökme demir (Malleable C.I.),
3. Lamel grafitli (gri) dökme demir (Gray C.I.),
4. Küresel grafitli (sifero) dökme demir (Nodular/Ductile C.I.),
5. Vermiküler grafitli dökme demir (Compact C.I.),
6. Alaşımli dökme demir (Alloy C.I.) olarak 6 grupta incelenmiştir [20].

### 3.2.1.Beyaz dökme demir

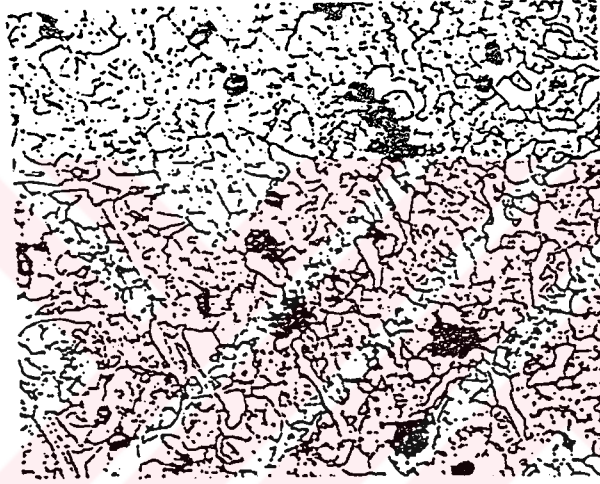
Yapı içerisinde bulunan karbonun büyük bir kısmı katılaşma esnasında sementit ( $Fe_3C$ ) olarak katılaşır. Bu yapı çok sert ve kırılındır. Bu dökme demirin kırılmış yüzeyi gümüşü beyaz renkte olduğundan beyaz dökme demir olarak adlandırılır. Şekil 3.1’de beyaz dökme demirin mikro yapısı görülmektedir [1,20].



Şekil 3.1.Beyaz dökme demirin mikro yapısı[1]

### 3.2.2. Temper dökme demir

Beyaz dökme demir içindeki sementit'in içerdığı karbonun, ısı işlem sonucu grafit şeklinin değişerek topak bir şekil alması ile oluşan dökme demir türüdür. Esas olarak yarı kararlı olan sementitin bozularak Fe ve serbest karbon (grafit) oluşturmasıdır. Şekil 3.2'de temper dökme demirin mikro yapısı görülmektedir [1,20].



Şekil 3.2. Temper dökme demirin mikro yapısı[20]

### 3.2.3. Lamel grafitli (gri) dökme demir

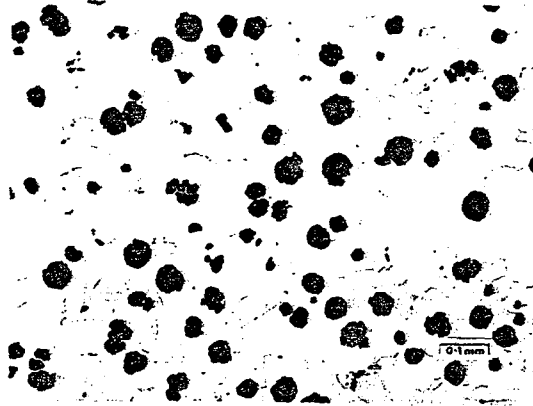
Gri dökme demirler, dökme demirler arasında en fazla kullanım alanına sahip olanlardır. Karakteristik özelliği bünyesinde bulunan grafitin yapraksı yapısıdır. Yapraksı grafit malzemenin yapısındaki sürekliliği bozar ve çatlak başlangıcına sebep olur. Bu durum malzemenin yumuşak ve dayanıksız olmasına neden olur. Şekil 3.3.'de gri dökme demirin yapraksı grafit ve mikro yapısı görülmektedir [1,20].



Şekil 3.3.Gri dökme demirin mikro yapısı[1]

#### 3.2.4.Küresel grafitli dökme demir

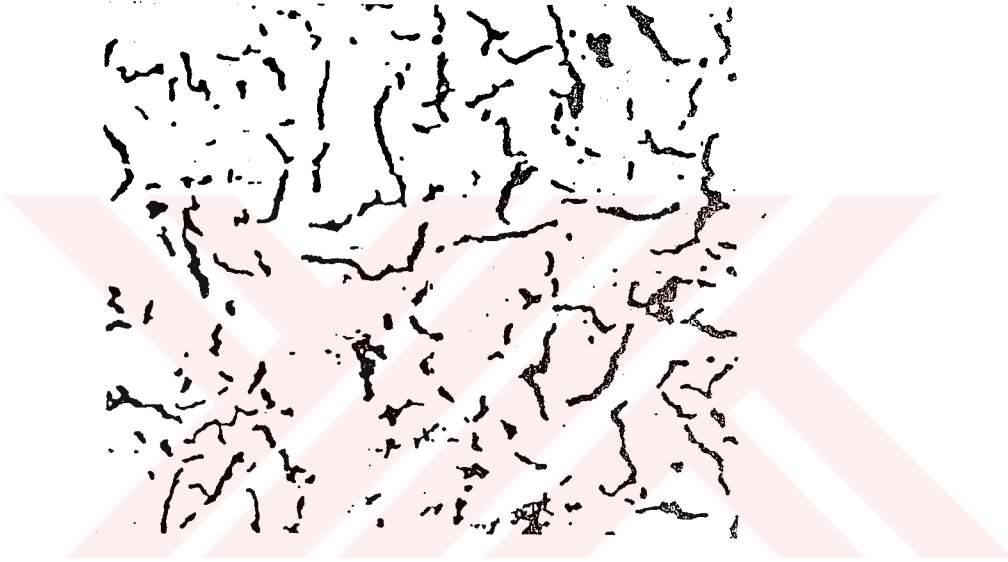
Bu dökme demir, genellikle sünek dökme demir olarak adlandırılır. Üretim sırasında seryum ve magnezyum demire ilave edilir. Bu alaşım elementleri grafitin şeklini lamelden küreye dönüştürür ve böylece çentik etkisi azaltılır. KGDD'lerin içerdiği silisyum miktarı diğer dökme demirlere göre daha fazladır. Bu da çekme dayanımının ve sünekliliğin artmasına neden olur. Şekil 3.4.'te KGDD'in mikro yapısı görülmektedir [8].



Şekil 3.4.KGDD'in mikro yapısı [1]

### 3.2.5. Vermiküler grafitli dökme demir

Vermiküler grafitli dökme demirler, gri ve küresel grafitli dökme demir gibi tipik bir grafit yapısına sahiptir. Vermiküler grafit; kısa, kalın ve yuvarlak uçlu grafit lamellerinden oluşmaktadır. Şekil 3.5.'de vermiküler grafitli dökme demirlerin mikro yapısı görülmektedir [1,20].



Şekil 3.5. Vermiküler grafitli dökme demirlerin mikro yapısı[20]

### 3.2.6. Alaşımli dökme demir

Fiziksel ve mekaniksel özellikleri istenilen düzeye getirmek için ilave edilen element yada elementlerle elde edilen dökme demirdir. İçerisinde bulunan C, Si, Mn, P ve S alaşım ilavesi olarak kabul edilmez [2,20].

Alaşımli Dökme Demir için genellikle Cr, Cu, Mo, Ni ve V kullanılır. Değişik oranlarda katılan bu elementler mikro yapı içerisinde perlitik, beynitik veya

**martensitik yapı oluşturarak dökme demirin korozyon, ısı ve aşınma direncini arttırlar ayrıca mekanik özellikleri geliştirirler [2,20].**

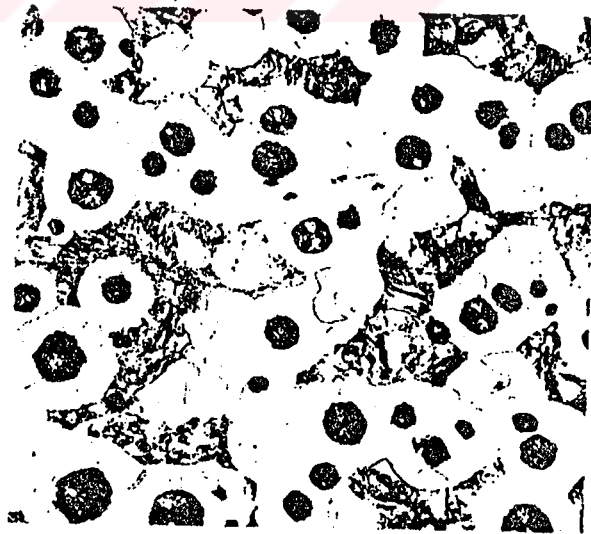


## 4.KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRLER

### 4.1.Giriş

Küresel grafitli dökme demir (KGDD) bir mühendislik malzemesi olarak ilk defa 7/Mayıs/1948 tarihinde Amerikan dökümcüler birliğinin (AFS) bir toplantısında tanıtılmıştır. Özellikleri ve ekonomisi hakkında bilgi yayılması ile kullanımı 1950'lerde ve 1960'larda çok fazla artmıştır [19,20,22].

Dökme demir kırılmandır, KGDD ise diğer dökme demirlerden farklı olarak sünektir. Dökme demirin iyi bilinen dökülebilirlik, işlenebilirlik, yükleme kapasitesi ve üretim özelliklerine ilaveten KGDD'lerde geniş mukavemet aralıkları, aşınma direnci, yorulma direnci, tokluk ve süneklik özellikleri vardır [20,8].



Şekil 4.1.KGDD'nin mikro yapısı[20]

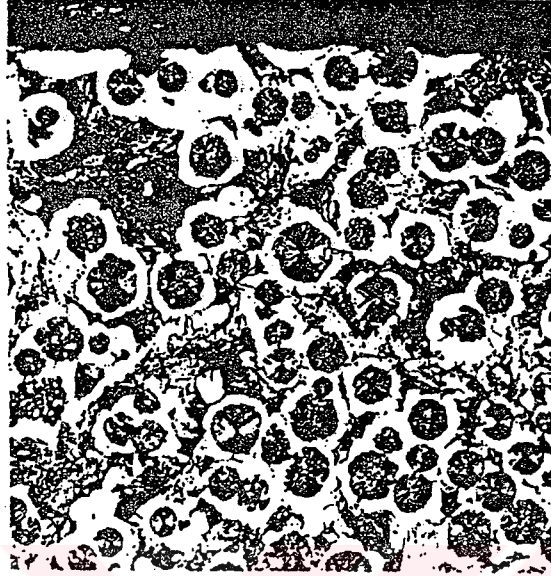
KGDD'de küreselleştirme işleminin gerçekleştirilebilmesi için ergimiş metalin içine magnezyum, seryum, Fe-Si-Mg, Ni-Mg gibi malzemeler ilave edilebilir. Fakat genellikle Mg esaslı alaşımlar kullanılır. Böylece dökme demirin içerisinde bulunan grafitin büyük bir kısmının küre şekline dönüşmesi sağlanır. Sonuçta, KGDD'ler çeliğin sahip olduğu çekme dayanımı ve suneklilik değerlerine ulaşır. Şekil 4.1'de KGDD'nin mikro yapısı görülmektedir [20,21,22].

#### **4.2.Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Kimyasal Bileşimi**

Küresel grafitli dökme demirler, kimyasal bileşim itibariyle karbon, silisyum, mangan, fosfor, kükürt, nikel, bakır, molibden yüzdelerini içerir. Bunlardan en önemlileri karbon eşdeğerliği ve kükürttür. Alaşım elementlerinin KGDD'lerin üzerine birçok etkileri vardır. Bu etkiler sonucunda, KGDD yapısında önemli değişiklikler meydana gelir. Bu elementlerin mikro yapı ve mekanik özelliklere etkileri aşağıda belirtilmiştir [22,23].

##### **4.2.1. Karbon (C)**

Ticari KGDD'lerde karbon oranı %3-4 arasında değişir. Ancak arzu edilen karbon genellikle daha dar limitler içindedir. Grafit kürelerinin sayısı doğrudan karbon %'sine bağlıdır. Bir başka deyimle karbon %'si arttıkça grafit küre sayısı da artar. Karbon oranındaki artış ayrıca akışkanlık ve besleme özelliklerini de iyileştirerek dökülebilirlik kabiliyetini de artırır. Karbon eşdeğerliği  $CE = \%C - 1/3Si = 4.3$ 'den büyük değerler de grafit kürelerinin oluşumu ve büyümesini teşvik eder.  $CE = 4.6$ 'dan daha büyük olan bileşimlerde ve kalın kesitlerde grafit yüzmesine ve karbon segregasyonuna neden olur [21].



Şekil 4.2. Yüksek karbon miktarından dolayı oluşan karbon yüzmesi[20]

#### 4.2.2.Silisyum (Si)

KGDD'lerde, silisyum miktarı normal olarak %1.80-2.80 arasındadır. Silisyum miktarı CE'yi etkilediği için grafitleşme ve karbon segregasyonu üzerinde de önemli rol oynar. Ayrıca mukavemet değerine ve süneklik özelliklerine önemli etkisi vardır. Silisyum'un, perlit yerine ferrit oluşumunu hızlandırması yanında ferrit yapısını sertleştirme ve kırılma dayanımını artırma etkisi vardır [21].

#### 4.2.3.Manganez (Mn)

Önem sırasına göre karbon ve silisyumdan sonra gelen elementtir. Döküm sırasında karbürlerin oluşması için Mn oranını kontrol altında tutmak gerekir.

Silisyum oranının %2.5'den %3.5'e artışı, manganezinde %0.25'ten %0.5'e artmasına olanak tanır. Kalın kesitli döküm parçalarda segregasyon nedeni ile manganez artışı söz konusu değildir [21].

#### **4.2.4.Kükürt (S)**

Kükürt, KGDD'deki grafitleri küreselleştirmek amacı ile ilave edilen Mg miktarının verimini arttırmaktır. Magnezyum ilavesinden sonraki kükürt miktarı yaklaşık %0.015 civarında olmalıdır [21].

#### **4.2.5.Fosfor (P)**

Fosfor, KGDD'de steadit olarak bilinen çok kırılgan bileşiğin oluşmasına yol açar, malzemenin tokluk ve sünekliliğini olumsuz yönde etkiler. Bunun için malzemede mümkün olduğu kadar az bulunmalıdır. Genellikle malzeme içerisinde maksimum %0.05 değerinde sınırlandırılır [21,22].

#### **4.2.6.Magnezyum (Mg)**

İyi bir küresel yapı elde etmek için, ana metal içindeki magnezyum oranının %0.04 olması gerekir. Magnezyum ayrıca, ergimiş metal için bir oksijen ve kükürt giderici olarak rol oynar. Magnezyum, henüz kesin olmayan bir mekanizma ile lamel grafit oluşumunu engelleyerek, grafit şeklinin küre olmasını sağlamaktadır [19].

#### 4.2.7.Bakır (Cu)

Perlit oluşumunu hızlandıran en önemli elementlerden biridir, fakat sementit oluşumuna etki etmez. Yüksek oranlarda ilave edildiğinde çözünmemiş küçük bakır inklüzyonlar oluşturur. Çoğu dökümhanelerde KGDD üretimi için Bakır-Magnezyum alaşımı kullanılmaktadır. Bu durum magnezyum verimini arttırdığı için, grafitin küre şekline dönüşmesine etki etmektedir. Perlit miktarı, %0.1 - %1 arasında değişen bakır oranına bağlı olarak artış göstermektedir.[19]

#### 4.3.KGDD'lerin Sınıflandırılması ve Mühendislik Özellikleri

KGDD'ler çekme dayanımlarına göre TSE 526'da belirtildiği gibi yedi (7) değişik şekilde üretilmektedir. KGDD tipleri aşağıda verilmiştir.

1. DDK 40
2. DDK 50
3. DDK 60
4. DDK 70
5. DDK 80
6. DDK35.3
7. DDK40.3

Buradaki DDK sembolü, küresel grafitli dökme demiri ve rakamlar ise minimum çekme dayanımını ifade etmektedir.

Mühendislik malzemeler içerisinde KGDD'lerin özel bir yeri vardır. Demir esaslı malzemelerin hiçbirinde KGDD'in sahip olduğu mekanik özellikleri ve dökülebilirlik özelliği bir arada bulunamamaktadır [3,21].

KGDD'in işlenebilirliği eşdeğer sertlikteki gri dökme demirden ve eşdeğer mukavemete sahip olan çelikten daha iyidir. Aynı zamanda korozif ortamlarda korozyona karşı direnci gri dökme demirinkine eşit ve karbon çeliğinkinden daha iyidir [21].

Küre şekilli grafitler yapıda yağlayıcı vazifesi görürler. Kullanma süresinde gösterdiği performans, KGDD'den yapılmış krank şaftları, kalıplar, merdanelerin ve dişlilerin aşınmaya karşı göstermiş olduğu dirençler en iyi kalitedeki gri dökme demirinkine eşit ve karbon çeliğinkinden yüksek olduğunu göstermiştir [1,3,20,21].

Ani sıcaklık değişimlerine karşı KGDD'lerin gösterdiği direnç, gri dökme demirden ve çoğu çelikten daha iyidir. Örneğin 760<sup>0</sup>C den soğuk suya daldırılan ince çelik parça muhtemelen çarpılacak, gri dökme demir ise çatlayacaktır. Oysa aynı kesite sahip KGDD parça, sıcaklık değişimini bozulmadan karşılayabilmektedir [21].

Ferritik ana dokulu KGDD'ler yüksek süneklilik ve çentik darbe dayanımının yanında ideal işlenebilme özelliklerine sahiptir. Perlit miktarı arttıkça sertlik artmakta ve çekme dayanımı değerleri de yükselmektedir. Bir çekme deneyi özelliği olan kesit daralması KGDD'ler için genellikle kullanılan bir özellik değildir. Ancak bir fikir vermek için, kesit daralma yüzdesi yaklaşık olarak uzama yüzdesine eşit veya biraz fazla olduğu söylenebilir [21]. Çizelge 4.1'de KGDD'in tiplerine göre mikro yapı (doku) özellikleri verilmiştir.

Çizelge 4.1. KGDD'lerin dokularına göre sınıflandırılması [24]

Tipi	Dokusu
DDK 40	Daha çok ferritik
DDK 50	Ferritik / Perlitik
DDK 60	Perlitik / Ferritik
DDK 70	Daha çok perlitik
DDK 80	Perlitik
DDK 35.3	Ferritik
DDK 40.3	Ferritik

KGDD'lerde kesit kalınlığı, katılaşma esnasındaki soğuma hızını etkilediğinden, bileşime bağlı olarak, ferrit ve perlitin sertliği ve yapıdaki perlit oranı ve tane büyüklüğü değişmektedir. Yüksek mukavemet ve sertlik, dolayısıyla düşük süneklilik, ince perlitik yapı ile elde edilir [21].

#### 4.4. Yüksek Alaşımli KGDD'ler

Grafit küre şeklinde olduğunda, dökme demirin elastik modülünün, çekme mukavemetinin, sünekliliğinin ve darbe drencinin daha yüksek olduğu açıktır. KGDD bileşimine daha fazla silisyum, krom, nikel, molibden ve bakır ilavesiyle elde edilen yüksek alaşımların üretimleri her ne kadar zor ise de özel özellikleri açısından aranan bir malzeme grubu oluştururlar. Bunların başında östenitik KGDD gelmektedir. Oda sıcaklığında östenitin stabilitesini arttıran alaşım elementi nikeldir. Östenitik KGDD'de (Ni-Resist), Ni%18-36 arasında değişmektedir (Çizelge 4.2). Östenitik KGDD'deki krom ise kullanım yerine göre

%1.75-5.5 oranları arasında bulunabilir [1,21,22].

Yüksek alaşımlı KGDD'lerde silisyum oranı arttıkça oksidasyona karşı dirençte artar. Ancak tersine mekanik özellikler ve ısı şokuna karşı direnç azalır. Dolayısıyla optimum özellikler demeti elde etmek için genellikle silisyum oranı %3-4 arasında sınırlandırılır [1,21].

Çizelge 4.2. Yüksek alaşımlı KGDD'lerin ASTM standartları

Özellik	Dökme demir tipi		
	Yüksek silisyumlu ısıya dirençli	Küresel grafitli Ni-resist	Küresel grafitli özel Ni-resist
% Karbon	2.8-3.8	2.90 max	3.00
% Silisyum	2.5-6.0	1.75-3.20	2-3
% Manganez	0.20-0.60	0.80-1.5	1.8-2.4
% Nikel	0-1.5	18-22	21-34
% Krom	-	1.75-2.5	0.5 max.
Sertlik Brinel	140-300	140-180	130-170
Çekme Mukavemeti, kg/mm <sup>2</sup>	42-70	39-48	38-46
Uzama %	0-20	8-20	20-40

#### 4.5.KGDD'lerin Kaynak Kabiliyeti

KGDD'lerin kaynak edilebilirliği gri dökme demire göre daha iyidir. Fakat daha özel kaynak metotları ve dolgu malzemeleri gerektirir. Perlitik KGDD, ferritik KGDD'e göre ITAB da daha fazla martensit oluşturur. Aynı zamanda perlitik KGDD'ler çatlamaya karşı daha fazla eğilim gösterirler. Ayrıca KGDD'ler genel seviyenin altında fosfor ve kükürt içerdikleri için kaynatılacak metalin sıcak yırtılma riskini azaltır [5,10].

KGDD bir çok mühendislik uygulamalarında kullanılmakta ve KGDD parçası bir çelik cisim veya yapı ile kaynak edilebilmektedir. Ancak gerilme ve darbe etkilerine karşı bu tip dizaynlar iyi sonuç vermemektedir [9].

#### 4.5.1.Kaynak bölgesinin yapı ve özellikleri

Hangi kaynak tekniği kullanılırsa kullanılsın, kaynak bölgesi daima erğitilir ve bilahare soğutulur. Bu soğuma her zaman hızlı olduğunda kaynak bölgesinde karbürlü ve martensitik yapılar teşekkül eder. Karbür ve martensit yapılar sertlik değerini arttırır ve kaynak bölgesinde kopma uzamasını azaltır. Kaynak bölgesine ısı işlem uygulanması ile kaynak bölgesindeki karbürlü ve martensitik yapılar ve mekaniksel özellikler esas KGDD özelliklerine yaklaştırılır. Kimyasal kompozisyonun ve kaynak tekniğinin doğru seçilmesi ile sert tabakanın yayıldığı alanı azaltmak mümkündür [6].



Şekil 4.3. Kaynak edilmiş KGDD'nin geçiş bölgesinin mikro yapısı [5]

Kaynak bölgesi serbest grafit ihtiva ettiği gibi, lamel veya küresel grafitler de ihtiva edebilir [5,6]. Şekil 4.3'de verilmiştir.

#### 4.5.2.Kimyasal kompozisyonun tesiri

Kaynak bölgesinin yapı ve özellikleri, kaynak elektrodunun ve kaynak yönteminin seçimine bağlıdır. Kaynak dikişinin mikro yapısı seçilen kaynak elektrodunun (çubuğunun) cinsine ve kaynak yöntemine bağlıdır. Kaynak dikişi ile ısı tesirine maruz kalmayan esas metal arasında bulunan bölgeye geçiş bölgesi (ITAB) adı verilir. Bu bölgenin mikro yapısı kaynak elektrodunun cinsine ve kaynak yöntemine bağlı olmakla beraber, KGDD'in kimyasal kompozisyonuna da bağlıdır. Silisyum geçiş bölgesinin karbür oluşumunu azaltır. Aynı zamanda manganez karbür miktarını artırır ve martensitik yapının yayıldığı alanı genişletir. Döküm parçaların manganez ve fosfor oranları mümkün olduğu kadar en düşük seviyede tutulmalıdır. Bu elementler geçiş bölgesinde yüksek gerilme ve çatlama oluşmasına sebep olurlar[6].

#### 4.5.3.KGDD'in ark kaynağı

Bu kaynak tekniği KGDD'in kaynak işleminde en fazla kullanılmaktadır. Kaynak yapılacak yüzeyler önceden iyice temizlenmeli ve porozite ile cüruf hatalarını ihtiva etmemelidir. Yağ lekeleri, karbon-tetra-klorit veya yakmak sureti ile temizlenmelidir. Kaynak yapılacak yerin geometrik şekli, elektrodun kolayca hareket etmesini engellememelidir. Uç uca kaynak edilecek parçalara; X-kaynak ağzı, U-kaynak ağzı ve V-kaynak ağzı açılarak kaynak işlemi yapılabilir [6, 13, 7].

Oda sıcaklığında ve düşük sıcaklıklarda kaynak edilmiş KGDD'lerde şerit halinde teşekkül eden karbürü martensitik yapılar mevcuttur. Bunu önlemek için kaynak pasosu kısa tutulmalı veya bir ön ısıtma yapılmalıdır [5, 6,10, 11, 25].

Kaynak elektrodları, çelik, demir-nikel alaşımı veya nikel olabilir. Bunlardan %55 Ni-%45 Fe'den oluşan nikel-demir (E NiFe-C1) örtülü kaynak elektrodu, KGDD'lerin kaynak edilmesinde en fazla kullanılan elektroddur [6, 25, 26].

#### **4.5.4.KGDD'lerin oksii-asetilen kaynağı**

Bu yöntemle yapılan kaynakların ITAB genişliğı ark kaynağına göre daha geniştir. Karbür ve martensitik yapıları en aza indirmek için, kaynak edilecek malzeme minimum 300°C kadar ön ısıtmaya tabi tutulmalıdır. Kaynak durumuna, döküm parçanın kalınlığına ve geometrisine göre ihtiyaçlara bağılı olarak 800°C'ye kadar ön ısıtma yapılmaktadır [6].

#### **4.5.5.Kaynak edilecek yüzeylerin hazırlanması**

KGDD'lerin kaynak işleminden önce uygun bir şekilde hazırlanması kaynağın kalitesi açısından önemlidir. Kaynak edilecek kısımda hata var ise giderilmeli, yüzey iyice temizlenmelidir [17, 18].

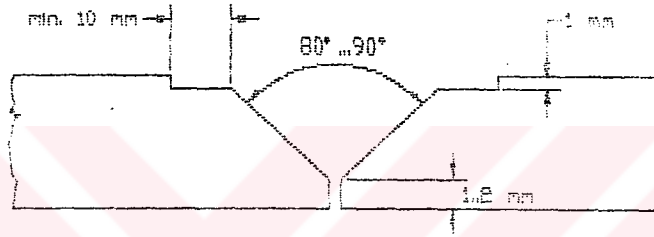
##### **4.5.5.1.Kaynak ağızlarının açılması**

Kaynak edilecek parçalar, çelik malzemelerin kaynağında olduğu gibi, kalınlığı göz önüne alınarak kaynak ağızı çeşitlerinden uygun olanı seçilir. Kaynak ağzının tespiti için aşağıdaki hususlar göz önünde bulundurulmalıdır [27].

1. Kaynak pozisyonu ve elektrodun gerekli derinliğe nüfuz edebilmesinin temin edilip edilmediğı,
2. Kaynak edilecek metal kalınlığı ve kaynağın kaç pasoda biteceğı,
3. Kaynak işleminde kullanılacak elektrodun nüfuziyet derinliğı,

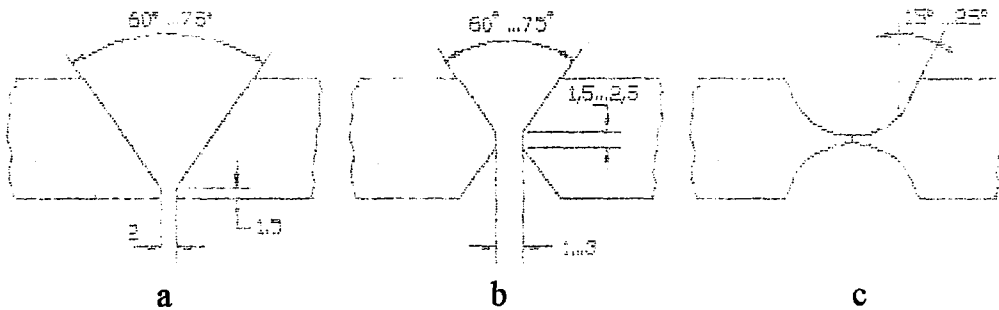
4. Kaynak işlemi sırasında yüksek ısıdan dolayı meydana gelebilecek şekil değişikliklerinin önlenme imkanı,
5. Ana metalin cinsi ve yapısı,

Örneğin; bazı dökme demirlerde katılaşmadan dolayı yüzey tabakası çok serttir. Bu nedenle kaynak ağzının her iki tarafına da 10 mm genişliğinde ve 1 mm derinliğinde taşlamak sureti ile yüzey kabuğundan ve oksitten kaynak çevresi temizlenmiş olur [13].



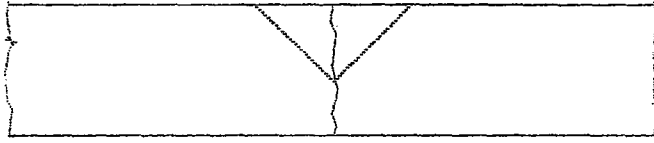
Şekil 4.4. Yüzey tabakası sert ve oksitli olan malzemelere açılan kaynak ağzı [13]

Kaynak ağzının açılması işleminde, torna, freze, vargel, zımpara taşı, oksijen kesici, oluk açma elektrodu ve karbon elektrodu gibi aparat ve makineler kullanılır. Kalın parçalarda, çalışma şartlarına bağlı ve uygun açığa sahip kaynak ağzları kullanılır. Şekil 4.5’de kalın parçalar için açılmış kaynak ağzları görülmektedir [7].



Şekil 4.5. Kalın parçalara açılan kaynak ağzları ( (a) V-kaynak ağzı, (b) X-kaynak ağzı, (c) U-kaynak ağzı ) [7, 15].

Çatlamış dökme demirlerde, kaynak ağzının yeterli ölçüde açılmaması halinde, kaynak esnasında hem çatlak genişler hem de yeterli mukavemet sağlanmamış olur [13].



Şekil.4.6. Yeterli kaynak ağzının açılmaması sonucu oluşan çatlama [13]

#### 4.6. Elektrodlar

Elektrik ark kaynağında kullanılan elektrodların bir grubu sadece ark oluşturmak, diğer bir grubu ise hem ark oluşturmak hem de ilave kaynak metali sağlamak amacı ile üretilirler. Bu bakımdan bir kaynak yönteminde kullanılan elektrodları eriyen ve erimeyen elektrodlar olarak iki ana grup altında toplamak mümkündür [17].

##### 4.6.1. Erimeyen elektrodlar

Bu elektrodlar sadece ark oluşturmak için kullanılırlar. Gerekli hallerde kaynak metali, bir tel çubuk halinde, kaynak bölgesine dışarıdan katılır. Elektrik ark kaynağında bu tip elektrodlar karbon ve tungsten'den yapılırlar [17].

##### 4.6.2. Eriyen elektrodlar

Bu elektrodlar hem arkin oluşmasını hem de eriyerek gerekli kaynak metalini

sağlar. Çubuk şeklindeki bu elektrodlar üç ayrı şekilde üretilirler [17].

1. Çıplak elektrodlar
2. Özlü elektrodlar
3. Örtülü elektrodlar

#### **4.6.2.1.Çıplak elektrodlar**

Bu elektrodlar belirli alaşımlarda hazırlanarak, kangal tel halinde olanları toz altı ve MİG-MAG kaynaklarında kullanılır. Belirli boyutlarda kesilmiş çubuk halinde olanlar ise oksî-asetilen ve TİG kaynağında kullanılır. Çıplak elektrodların bazı dezavantajları vardır [17, 28]. Bunlar;

1. Havadan oksijen ve azot gazlarını absorbe ederler,
2. Kaynak dikişî gevrek ve sert olur,
3. Arkın genişliğı ve bunun getirdiğı hatalar,
4. Ark üflemeşî fazladır,
5. Sadece doğru akımda kullanılırlar.

#### **4.6.2.2.Özlü elektrodlar**

Bu elektrodlar da bir cins örtülü elektroddur. Yalnız bunlar bir boru şeklinde üretilmiş, içlerinde öz diye tabir edilen, arkın stabilizasyonunu (dağılımını) ve kaynak metalinin alaşımlanmasını sağlayan bir madde vardır. Doğru ve alternatif akımla kullanılabilen özlü elektrodlar genellikle MİG-MAG yöntemi için üretilir yapılır [17].

#### 4.6.2.3.Örtülü elektrodlar

İlk defa İsveçli Oscar Kjellberg tarafından bulunan örtülü elektrodlar, çıplak kaynak teli üzerine, sarma, daldırma veya ekstrüzyon ile geçirilmiş bir örtü maddesi mevcuttur. En çok kullanılan yöntem, üretim tekniği ve birçok üstünlüğünden dolayı ekstrüzyon yöntemidir. Elektrod örtüsünün sağladığı yararlar şunlardır;

1. Arkın tutuşmasını ve oluşumunu kolaylaştırır,
2. Kaynağın doğru ve alternatif akımda yapılmasını sağlar,
3. Eriyen metal damlalarının yüzey gerilimine ve viskositesine etki ederek, her türlü kaynak pozisyonunda çalışmayı kolaylaştırır,
4. Koruyucu bir gaz tabakası oluşturarak, kaynak dikişini atmosferin olumsuz etkilerinden korur,
5. Kaynak dikişini cüruflla kapatarak yavaş bir şekilde soğumasını sağlar,
6. Ergimiş kaynak banyosunu deokside eder, gerektiğinde kaynak dikişini alaşımlandırır [17, 28].

Örtülü elektrodlar, örtünün içerdiği ana bileşim cinsine ve cürufların asitlik veya baziklik durumuna göre rutil elektrodlar, asit elektrodlar, bazik elektrodlar, oksit elektrodlar, demir tozu elektrodlar ve derin nüfuziyet elektrodları olarak ayrılırlar [17].

#### 4.6.3.KGDD'ler için kullanılan elektrodlar

Dökme demirler için farklı dolgu elektrodları kullanılmaktadır. Dökme demirin gaz kaynağı ile tamiri için, bir dökme demir dolgu çubuğu (teli) kullanılabilir.

KGDD'ler için dolgu çubuğu uygun değildir. Fakat %55Ni ve %45Fe alaşımından oluşan örtülü elektrodlerden başarılı sonuçlar alınmıştır. Bu elektrodlar nispeten düşük ergime noktası ve düşük çekme gerilmesi avantajlarına sahiptir. ITAB bölgesinde oluşacak sertlikte, kontrollü soğuma sonucu en aza indirilebilir. Günümüzde KGDD'lerin ark kaynağında en çok Nikel ve Ferro-Nikel elektrodları kullanılmaktadır. İşlemenin önemli olmadığı yerlerde bakır alaşımli, bronz veya alüminyum bronzlu elektrodlar kullanılmaktadır [5,6, 25, 29].

KGDD'in kaynağında en çok kullanılan elektrodlar nikel esaslı elektrodlardır. Nikel, grafitleşmeyi teşvik edici bir elementtir. Bundan dolayı sıvı metal içinde çözünmüş olan karbonu tekrar grafit haline dönüştürür. Çizelge 4.3'de dökme demirler için kullanılan örtülü elektrodların alaşım elementleri oranı verilmiştir[29].

Çizelge 4.3. Dökme demirlerin ark kaynağında kullanılan elektrodların % alaşım elementleri oranları

Elektrod	C	Si	Mn	Fe	Ni	Cu
E NiFe-Cl	1	-	-	43	kalan	-
E NiCu-B	0.5	0.4	1	3	kalan	30
E Ni-Cl	1	-	-	-	kalan	-

#### 4.6.3.1. Saf nikel elektrodları (E Ni-Cl)

Bu gruba giren elektrodlar dökme demirlerin birbiriyle ve diğer demir esaslı olan veya olmayan metallerle birleştirilmesinde ve dökme demirlerin onarım

kaynağında kullanılır. Sağlıklı kaynak dikişleri, fosfor içeriği yüksek olmayan küçük ve orta büyüklükteki parçalarda gerçekleştirilen küçük gerilme değerlerine sahip bağlantılarda kullanılır. Saf nikel elektrodlarının mukavim değeri Ni-Fe elektroduna göre daha düşük olduğu için, bu elektrod sadece işlenebilme kabiliyetinin yüksek olması istenilen yerlerde kullanılır [29].

#### **4.6.3.2. Ni-Fe elektrodları (E NiFe-CI)**

Dökme demirlerin onarım kaynaklarında, birbirleriyle birleştirme işlemlerinde, çeliklerle yada demir dışı metallerle birleştirilmesi işlemlerinde kullanılır. Ni-Fe elektrodları, %0.20'den daha fazla fosfor (P) içeren döküm parçaların kaynağında saf nikel elektroda göre daha çok tercih edilir. KGDD'lerin kaynağında en çok tercih edilen elektroddur [5,29].

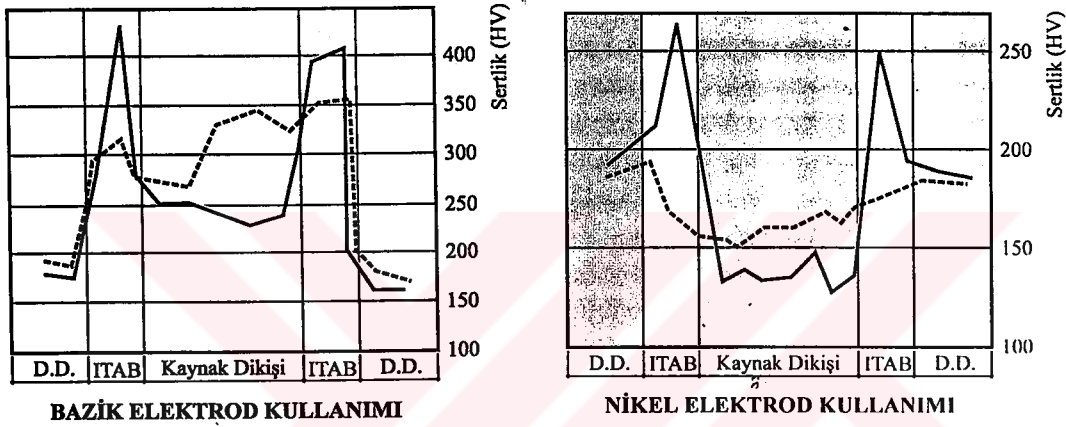
#### **4.6.3.3. Ni-Cu elektrodları (E NiCu-B)**

Ni-Cu elektrodları, Ni-Fe elektrodlarının kullanıldığı uygulama alanlarının çoğunda kullanılır. Buna karşın ana metalde yüksek seyreltme yapmaları durumunda problemlere yol açabileceği için, özellikle düşük nüfuziyet ile gerçekleştirilen uygulamalarda tercih edilir.

Dökme demirin kaynağı sırasında kaynak bölgesindeki soğuma hızı oldukça önemlidir. Yüksek miktarda karbon içeren ve bir demir alaşımı olan dökme demirdeki karbon sıvı halden katı hale geçerken soğuma hızının kontrol altında tutulmaması sonucu, grafit halinde ayrışmadan yapıda sementit halinde kalır. Dolayısıyla kaynak banyosu ve kaynak dikişine komşu olan ITAB normal soğumaya bırakılırsa sert ve kırılgan bir yapı oluşur. Bundan dolayıdır ki ITAB

da çatlamlar meydana gelir [29,30].

Dökme demir kaynağında bazik karakterli yumuşak çelik elektrodlar kullanılabilir. Bazik elektrodlarla ancak sıcak kaynakta iyi neticeler alınabilir. Aşağıdaki grafiklerde de görüldüğü gibi, nikel esaslı elektrod kullanıldığında ITAB'daki sertlik, bazik elektroda göre daha düşük olarak görülmektedir [29].



Şekil 4.7. Nikel ve bazik elektrodların sertlik dağılımları[29]

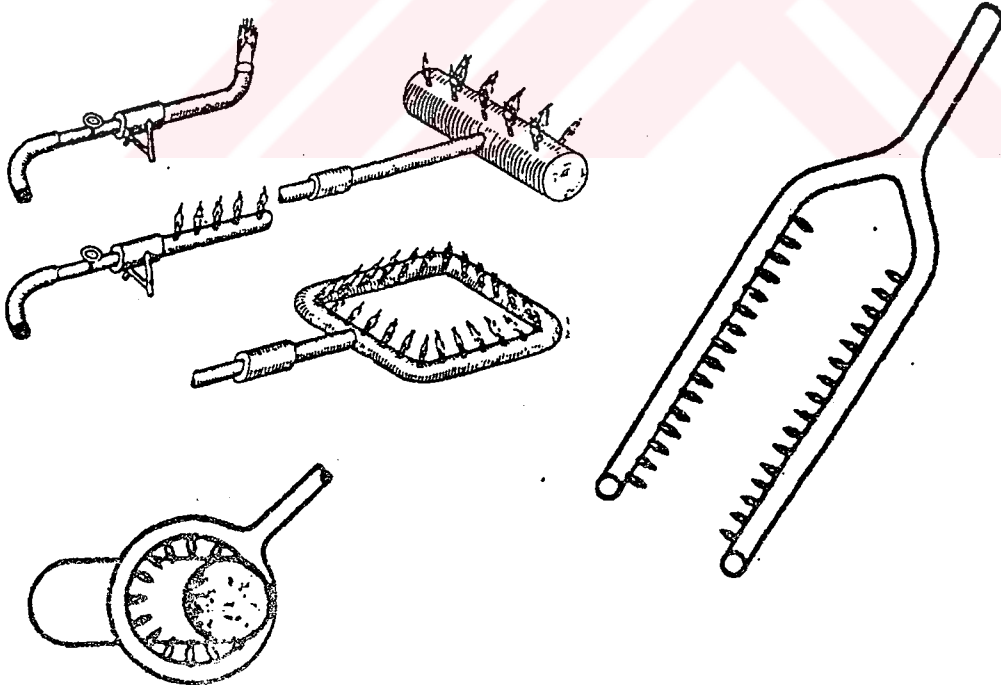
#### 4.7. Kaynak Öncesi Ön ısıtma

Kaynak sonrası soğuma sırasında yüksek karbonlu bölgeler martensite ve düşük karbonlu bölgelerde perlitte dönüşür. KGDD'lerde eriyerek kaynayan bölge bir kompleks yapı içerir. Bu yapı içinde çözünmeyen grafit, martensit, ince perlit ve birazda normal perlit bulunur. Bu gibi yapılar çok sert ve kırılgandırlar. Bu yapıları engellemenin farklı yolları vardır. Bunlardan ön ısıtma yolu kullanıldığında ani ısı geçişi ortadan kalkacağından gerilmeler en aza indirilebilmektedir. KGDD'lerin kaynak işlemlerinden önce 400<sup>0</sup>C-475<sup>0</sup>C arasında yapılmakta ve bu işlem için %55 Ni ve %45 Fe alaşımından oluşan elektrodlar iyi netice vermektedir. Kaynak işleminden sonra soğumanın yavaş olması için kaynatılan malzeme yalıtkan bir ortam içinde soğumaya bırakılması

gerekir. Soğuma süresi tavlama süresinin yaklaşık üç katı kadardır [5,25].

Ön ısıtma genellikle bekler (üfleçler) ve fırınlarla yapılır. Üfleçlerle yapılan ön ısıtma da, parçalar yalıtkan bir malzeme üzerine yerleştirilirler. Üfleç karbürleyici alevde çalıştırılır ve parça üzerinde sürekli hareket ettirilir. Büyük ve değişik şeklindeki parçalar için özel bekler hazırlanır.

Bekler, havagazı, doğal gaz ve likit petrol gazıyla çalışırlar ve oksijen yerine basınçlı havadan yararlanılır. Ayrıca ön ısıtma işlemi için yapılmış fırınlarda yapılan çalışmalarda homojen bir ısı dağılımı sağlanabilmektedir. Ön ısıtma fırınlarında sıvı katı ve gaz yakıtlarda kullanılabilir. Fırınlarda da ısı yalıtımı iyi sağlanmalıdır. Bu fırınlardaki alev direkt olarak parça yüzeyine temas etmemelidir. Şekil 4.8'de ön ısıtma için yapılmış özel bekler görülmektedir.



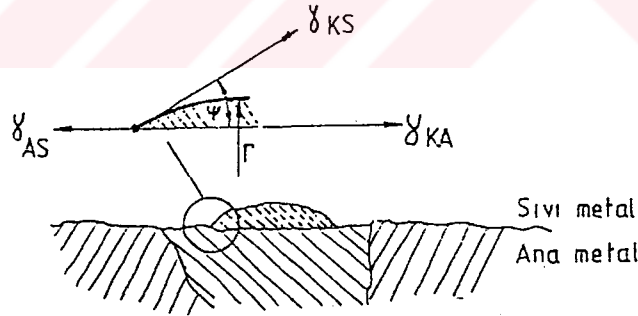
Şekil 4.8.Ön ısıtma için yapılmış özel bekler

## 5.KAYNAK METALİ

### 5.1.Epitaksiyel Katılma

Elektrik ark kaynak yönteminde koruyucu toz, örtü ve gaz, kullanılan tel, kaynak edilen parçaların bileşimi, kaynak geometrisi kaynak metali kimyasal bileşimine etki eden faktörlerdir [31].

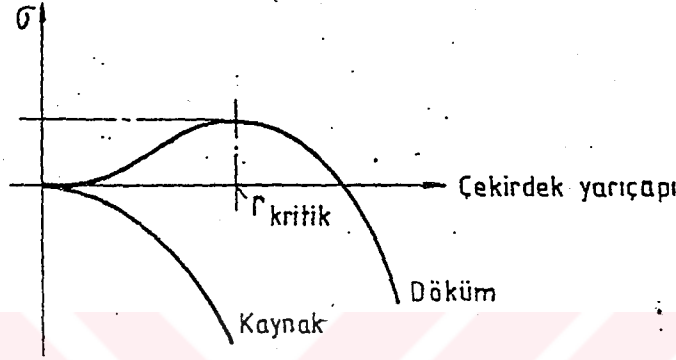
Bütün ergime kaynaklarında ana metalin bir kısmı ergir ve kaynak metali havuzuna katılır. Bu ana metal tanelerinin üzerinde ilk kristalleşmenin olması ile gerçekleşen katılma epitaksiyel katılmadır. Epitaksiyel katılma bir heterojen katılma olup Şekil.5.1’de gösterilmiştir. Ana metalin sıvı metale temas eden yüzeyinde katı bir kristal çekirdeği oluşmuştur. Çekirdeğin geometrik şekli ise farklı yüzey enerjilerine bağlıdır [32].



Şekil 5.1.Ergime sınırındaki katı çekirdeğin heterojen olarak katılması [32]

Döküm parçalarda katılma genellikle kalıp yüzeyindeki muhtelif süreksizliklerden başlar. Sıvı metal ile çekirdek bileşimi büyük fark göstermediğinden ıslatma açısı da büyük olur. Şekil.5.2’de döküm ve kaynak katılmasında kritik çekirdek yarıçapı ile serbest enerji değişimi görülmektedir.

Katılma ile sistemin serbest enerji değişimi azalmaktadır. Kaynak metali epitaksiyel olarak katılaştığından kritik çekirdek yarıçapı yoktur. Dökümlerde ise kritik çekirdek yarıçapına ulaşana kadar sıvı metal aşırı soğuma gösterir ve kritik çekirdek oluşumundan sonra katılma meydana gelir [32].



Şekil 5.2. Döküm ve kaynak metali katılmasında serbest enerji değişimi [32]

## 5.2. Kristal Büyüme ve Segregasyon

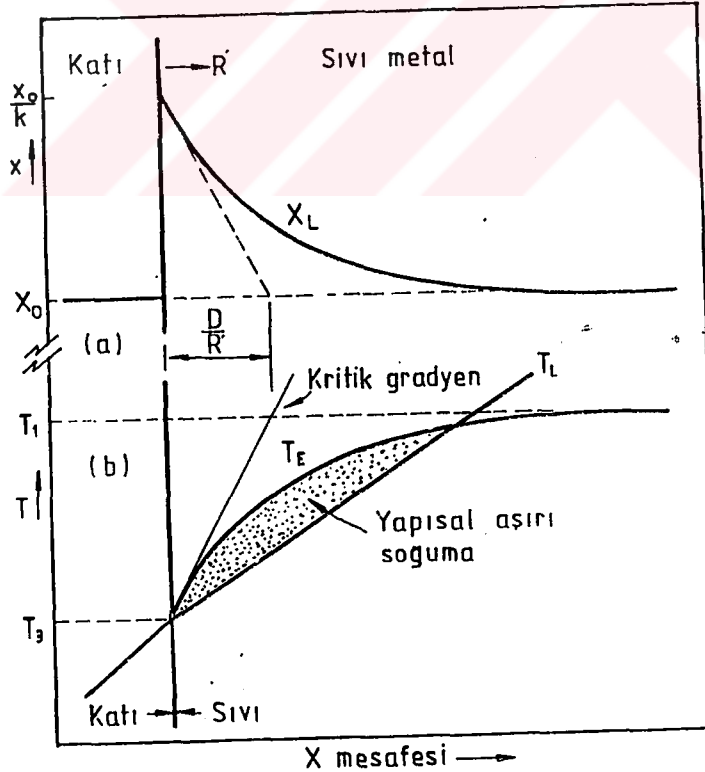
Kaynak metali katılması, en dik sıcaklık gradyanına yaklaşık olarak paralel olan  $\langle 100 \rangle$  doğrultusunda devam etmektedir. Katılma teorisine göre kristal büyüme üç şekilde olur.

1. Katılma tamamen denge şartlarında olur,
2. Katılma bir dengeli proses değildir, katıda yayınma meydana gelmez ve sıvıda mükemmel bir karıştırma vardır,
3. Katılma bir dengeli proses değildir, katıda yayınma meydana gelmez ve sıvıda mükemmel bir karıştırma vardır fakat yayınma işlemleri ile karışma olmaktadır [32].

Kaynak bölgesinde soğuma hızının yüksek olmasından dolayı katılaşmanın denge şartlarında oluşmayacağı için birinci kural kaynak işlemlerinde geçerliliğini yitirmektedir. Katılaşmanın başlangıcında sıvı metalin sıcaklığı yüksek olduğundan büyük bir türbülans ile karışma olmaktadır. Bununla beraber sıvı metalde mükemmel bir karışma olmaktadır. Katılaşma birkaç saniye gibi kısa bir sürede olduğundan katıda yayınma gerçekleşmediği kabul edilir [32].

### 5.3.Kaynak Metalinde Hücresel ve Dendritik Katılaşma

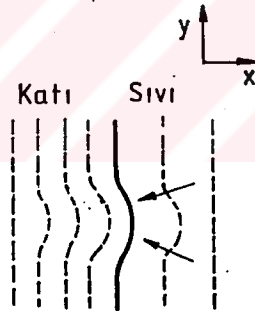
Kaynak metali katılaşmasının başlangıcında türbülans hareketi, son kısımda ise sıvıda yayınmanın etkin olduğu görülür. Kaynak metali katılaşmasında önemli faktör olan sıcaklık gradyanı da  $D/R'$  (Kristal büyüme hızının, sıvıda yayınma katsayısına oranı) azaldıkça düşme gösterir [32].



Şekil 5.3. Kararlı katılaşmada kimyasal bileşim ve ergime sıcaklığı değişimi [32]

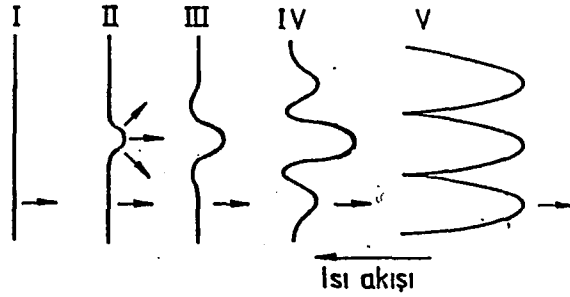
Sıvı haldeki kaynak metali sıcaklığı katılaşma sıcaklığından düşük olursa, sıvı aşırı soğuma eğilimi göstermiş olur. Bu aşırı soğuma, kimyasal bileşim değişikliğinden kaynaklandığı için yapısal alt soğuma adını alır. Yapısal alt soğuma katılaşma mikro yapısını etkilemektedir [32].

Yapısal alt soğuma şartlarında büyüyen bir düzlemsel katı-sıvı ara yüzeyinde görülen küçük bir yumru büyüdüğü kabul edilir (Şekil.5.4). Yumru, normal şartlarda daha sıcak sıvı ile temas ettiğinde tekrardan eriyecektir. Eğer sıvı alt soğuma görmüşse yumru erimeyecektir. Yumrunun ucundaki sıcaklık, düzlemin sıcaklığından daha fazla olmasına rağmen likidüs sıcaklığından daha düşük olduğundan katı halde kalabilmektedir. Eğer sıvıdaki gerçek sıcaklık  $T_E$ 'den büyük olursa yumru tekrardan eriyecektir [32].



Şekil 5.4. Düzlemsel bir ara yüzeyde yapısal alt soğuma ile yumru büyümesi [32]

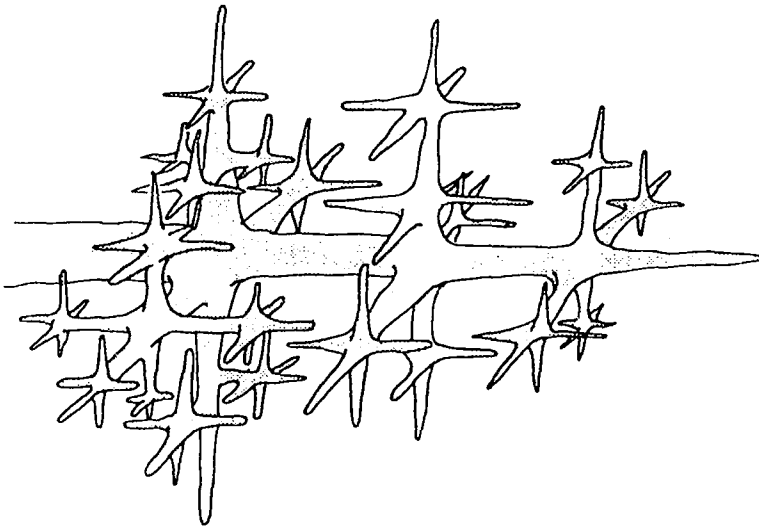
Kaynak metali katılaşmasının başlangıcında  $T_L$  yüksek ve  $\theta$  (kaynak hızı vektörü ile kristal büyüme hızı vektörü arasındaki açı) düşük olduğundan, epitaksiyel büyüme ana metal üzerinden düzlemsel büyüme ile başlar. Daha sonra  $T_L$  ile  $\theta$  azalır ve yapısal alt soğuma gerçekleşir. Bunun sonucu olarak hücreli büyüme meydana gelir [32,33].



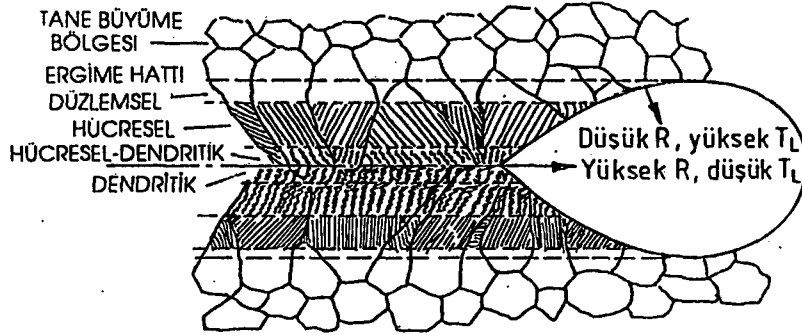
Şekil 5.5. Düzlemsel büyümenin hücresel büyümeye dönüşmesi [32]

Çelikler gibi yüksek ergime sıcaklığı olan ve ısı iletim katsayısı düşük olan metallerde hücresel aralık küçük olur. Kaynak hızının artması hücre aralığının incelmesine yol açar [32].

Hücresel mikro yapılar sıcaklık gradyeninin veya  $\theta$ 'nın belli değerleri için kararlıdır.  $T_L$  veya  $\theta$  azalınca primer hücre duvarı kararsız olur ve şekil.5.6'da görülen dentritik yapı oluşur. Soğuma hızı arttıkça dentritik kollar arasındaki açıklık azalır. Kaynak metalinin dentritik yapısı dökümlere nazaran daha ince olur. Bu nedenle kaynak metalinin tokluğu daha fazladır [32, 34].



Şekil 5.6. Kaynak metalindeki dentritik yapı [35]



Şekil 5.7. Kaynak metalinin katılaşmasında belirli bölgelerde oluşan yapılar [32]

Kaynak metali katılaşmasında muhtelif bölgelerde oluşan yapılar şekil.5.7'de görülmektedir. Çelik kaynak metalindeki katılaşma epitaksiyel olarak başlar ve daha sonra kolonsal hücreler oluşur. Hücrelerin genişliği ITAB'ın tane boyutuna bağlı olarak değişir. İri taneli mikro yapıdan geniş hücresel yapı oluşur ve kaynak merkez çizgisine doğru dentritik yapı meydana gelir [32].

## 6.MALZEME VE METOD

### 6.1. Malzeme

Deney numuneleri, 500 kg kapasiteli indüksiyon ocağı kullanılarak küresel grafitli dökme demirin kum kalıba dökülmesiyle elde edildi. Ana malzemenin deneyleri için TS 526'dan belirlenen U<sub>2</sub> tipi U-bloklar döküldü. Ayrıca kaynak deneyleri için 200x80x20 mm ebatındaki numunelerin kum kalıpları hazırlandı. Kalıplama işleminden sonra 50kg'lık potalar içerisinde değişik oranlarda bakır ilavesi yapıldı. Ayrıca bakır ilavesi yapılmadan da döküm işlemi yapıldı. Böylece üç değişik kompozisyonda KGDD elde edilmiş oldu. Pota içerisinde hazırlanan ergimiş metal kalıp boşluğuna dökülerek mekanik deneylerde kullanılacak parçalar elde edildi. Dökümü yapılan her bileşim için spektro numuneleri alındı. Üretimi yapılan KGDD'lerin kimyasal analizleri KOSGEB laboratuvarlarında yapıldı. Çizelge 6.1'de elde edilen spektral sonuçlara göre KGDD'lerin kimyasal bileşimleri verilmektedir.

Çizelge 6.1. Deneylerde kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimleri (% ağırlık)

Element %	C	Si	Mn	P	S	Mo	Ni	Al	Cu	Sn	Mg	Fe
A Numunesi	3.50	3.83	0.504	0.028	0.006	0.007	0.016	0.013	0.018	0.003	0.017	91.99
B Numunesi	3.58	3.83	0.449	0.027	0.006	0.007	0.016	0.013	0.250	0.003	0.020	91.89
C Numunesi	3.62	3.83	0.449	0.026	0.006	0.007	0.017	0.014	0.305	0.003	0.036	91.71

### 6.2. Kaynak metali

Kaynak metali olarak literatürlerde tercih edilen Ni-Fe kaynak elektrodları kullanılmıştır. Kaynak elektrodları, Askaynak firmasının ürettiği Aspik-55

adındaki ürünü kullanılmıştır. Bu kaynak elektrodunun literatürdeki genel adı nikel-demir elektrodudur. Çizelge 6.2’de deneylerde kullanılan kaynak elektrodunun kimyasal bileşimi verilmiştir.

Çizelge 6.2. Ark kaynak elektrodunun kimyasal bileşimi (% ağırlık)

%Element	C	Fe	Ni
E NiFe-Cl	1	43	56

### 6.2.1. Nikel-Demir elektrodlarının özellikleri

Nikel çekirdeklidir. Her çeşit dökme demirin kaynağında özellikle KGDD’lerin, alaşımlı dökme demirlerin birleştirilmesi işlemlerinde kullanılır. Çok sakın bir yanışı vardır, çok az cüruf oluşturur ve cürufu kolay temizlenir. Kaynak metali kolaylıkla işlenebilir ve dökme demirle renk uyumuna sahiptir. Mekanik özellikleri yüksek olup çatlamaya karşı mükemmel bir dayanım gösterir.

#### 6.2.1.1. Mekanik özellikleri

Akma Dayanımı ( $\text{kg/mm}^2$ ) : 32-36

Çekme Dayanımı ( $\text{kg/mm}^2$ ): 43-47

Uzama (%) : 10

Sertlik (HB) : 160-200

### 6.2.1.2.Akım tipi

Çap (mm)	Boy (mm)	Akım(Amp)
2.50	300	45-80
3.25	300	60-110
4.00	350	90-120

### 6.2.2. Nikel-Demir elektrodlarının kullanım alanları

Kır dökme demir başta olmak üzere, küresel grafitli (sfero) dökme demirlerin ve temper dökme demirlerin birleştirme ve dolgu amaçlı kaynak işlemlerinde kullanılır. Dökme demirlerin, çelik ve paslanmaz çelik gibi metallerle birleştirilmesi işlemleri için idealdir. Diğer yandan işleme ya da döküm hatalarından kaynaklanan boşluk ve gözeneklerin giderilmesinde de kullanılmaktadır.

Dinamik ve şiddetli zorlamalar etkisinde kalan büyük makinelerin gövde ve ayak bölgelerindeki kaynak işlemleri için idealdir. Dökme demirlerin soğuk kaynağında iş parçasının fazla ısınmasını önlemek amacıyla mümkün olan en küçük çaplı elektrodlar seçilmeli ve düşük amper değerlerinde çalışılmalıdır. Kalın parçaların kaynağında ise ön tav işlemi uygulanmalı ve parçaların yavaş soğutulması sağlanmalıdır.

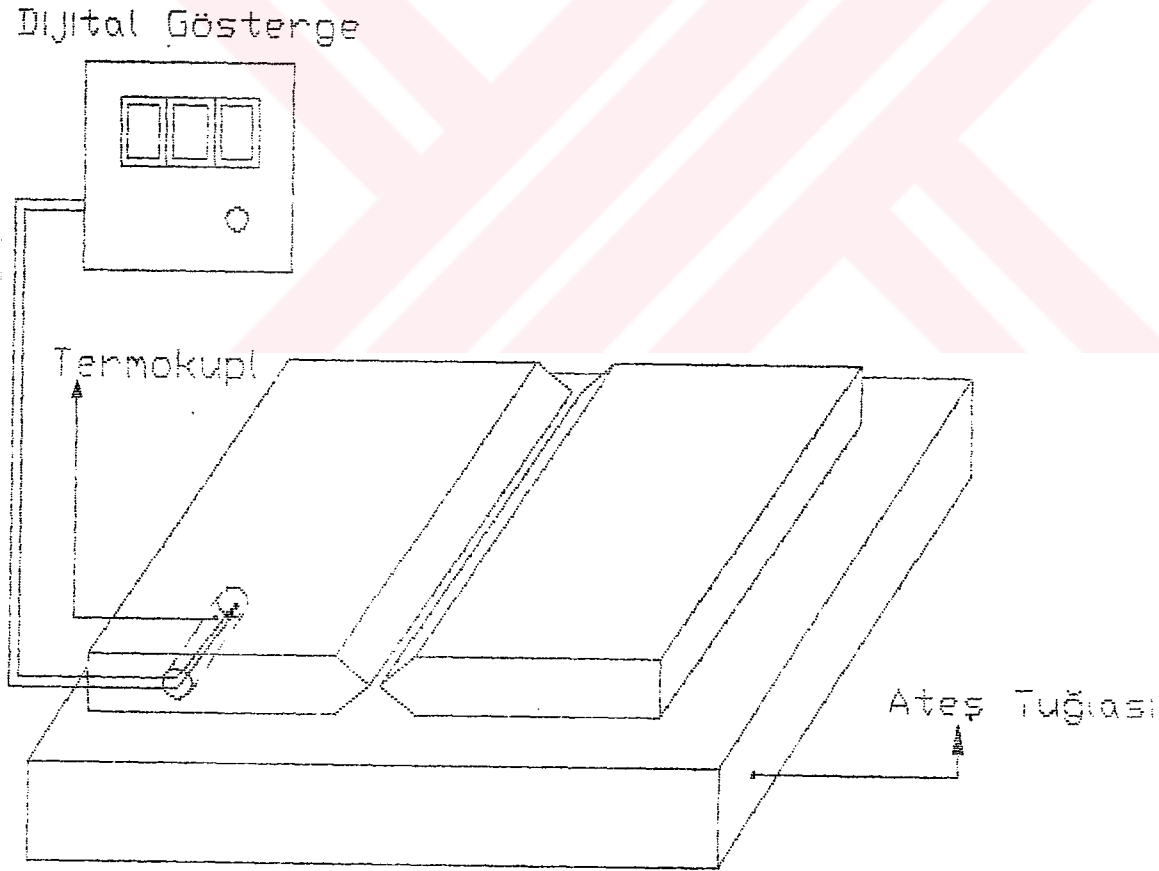
### 6.3. Kaynak donanımı

Numunelerin kaynakılmasında jeneratör tipi kaynak makinesi kullanılarak kaynak işlemi yapıldı. kullanılan makinenin akım kapasitesi ise 60-210 amper

arasındadır. Jeneratörler, doğru akım üreten kaynak makineleridir ve bir kuvvet makinesi tarafından uyarılarak (tahrik edilerek) gerekli elektrik akımını üretirler.

#### 6.4. Parçaların kaynağa hazırlanması

Döküm işleminden sonra parçalar temizlenerek her birine X kaynak ağızları açıldı. X kaynak ağızı açılarak hazırlanan parçalar, yağ, kir ve oksit tabakalarından temizlenerek kaynak yapımına hazır hale getirildi. Ön ısıtma işlemindeki sıcaklığın kontrolü için parçalara termokupl delikleri açıldı. Şekil 6.1'de deney düzeneği şematik olarak görülmektedir.



Şekil 6.1. Deney düzeneğinin şematik olarak gösterimi

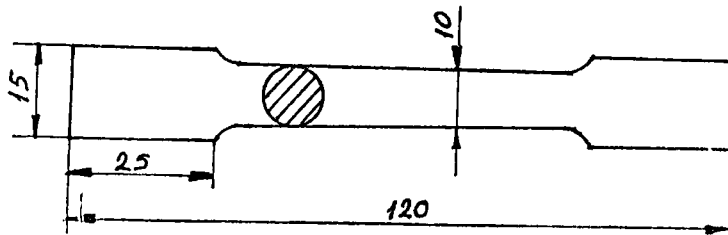
Kaynak öncesi ön tav işlemi için izole bir sistem hazırlanarak, kaynak edilecek parçalar puntalandıktan sonra izole sistem üzerine yerleştirildi. Bekler yardımı ile ön tav işlemi numunelere uygulandı. Ön tav sıcaklığının kontrolü için dijital göstergeli termokupl kullanıldı. Ön tav sıcaklığının etkisinin kaybolmaması için sürekli kaynak işlemi yapıldı. Deneylerde piyasadan elde edilen ve dökme demir kaynağında kullanılan 3.25 mm çapında E NiFe-C1 kaynak elektrodu kullanılmıştır.

### 6.5.Mekanik İşlemler

Kaynatılan parçalardan kaynak bölgesi ortada kalacak şekilde numuneler 20 mm'lik parçalar halinde kesilerek kenarlardaki parçalar atıldı. Bu numunelerden çekme dayanımı, sertlik, nufuziyet ve mikro yapı incelemeleri yapıldı.

#### 6.5.1.Çekme numuneleri

Çekme deneyi için, her bir ön tav sıcaklığından üçer adet 160x20x20 mm ölçülerinde parçalar çıkartılarak çekme çubukları tornada hazırlandı. Çekme çubukları 20 tona kadar ayarlanabilen çekme kapasitesine sahip, grafik çizebilen Amsler marka çekme tezgahında yapıldı. Şekil 6.2'de çekme çubuğu numunesi görülmektedir.



Şekil 6.2.Çekme çubuğu numunesi

### **6.5.2.Mikro yapı**

Kaynak yapılan parçalardan her sıcaklık değeri için 50x20x20 mm ölçülerinde numuneler alındı. Mikro yapı incelemeleri için numuneler sırasıyla 180, 240, 360, 400, 500, 600, 800, 1000 ve 1200 meshlik su zımparalarıyla zımparalandı ve parlatıldı. Parlatılan numuneler % 2'lik nital çözeltisi ile dağlandı. Dağlama, ana malzeme ve ITAB, kaynak metali olarak iki aşamalı yapıldı. Ana malzeme ve ITAB 7 sn, kaynak metali ise 6 dk. dağlandıktan sonra mikro yapı fotoğrafları çekildi. Mikro yapı fotoğrafları aşağıda sırasıyla verilmektedir.

### **6.5.3.Sertlik deneyi numunesi**

Sertlik deneyleri için mikro yapı numuneleri kullanıldı. Sertlik deneyi Rockwell sertlik ölçüm cihazında yapıldı. Cihazda 120<sup>0</sup> açılı elmas uç kullanıldı. Numuneler üzerinde bir eksen boyunca sertlik değişimleri ölçüldü.

## **6.6. Kaynak İşlemi**

200x80x20 mm ebatlarındaki KGDD numuneler, kaynak ağızları arasında 2 mm boşluk kalacak şekilde puntalanarak izole edilmiş zemin üzerine yerleştirildi. İzole sistem; alt zemin ateş tuğlasıyla kapatılmış ve kenarlarda hava akımının kaynak esnasında her hangi bir olumsuz etki meydana getirmemesi için sac levhalarla çevrilmiştir.

### **6.6.1. 400<sup>0</sup> C ön tav ile yapılan kaynak işlemi**

Kaynak yapılacak parça izole sistem içine yerleştirildi. Termokupl sistemi

parçaya bağlandıktan sonra ön tavlama işlemine geçildi. Ön tavlama üfleçler yardımıyla yapıldı. Ön tav sıcaklığı  $410^{\circ}\text{C}$ 'ye ulaştığında ön tavlama işlemi durduruldu ve parçanın  $400^{\circ}\text{C}$ 'ye soğuduğu andan itibaren kaynak işlemine başlandı. Kaynak işlemi parçanın bitimine kadar sürekli olarak devam etti ve ön tav sıcaklığının etkisinin kaybolmaması için parçanın ters tarafı çevrilerek kaynak işlemine devam edildi. Bir parçanın kaynağı için toplam 10 adet kaynak elektrodu kullanıldı. Kaynak işleminin bitiminden sonra parçalar oda sıcaklığında ve hava sirkülasyonunun olmadığı bir ortamda soğumaya bırakıldı.

#### **6.6.2. $450^{\circ}\text{C}$ ön tav ile yapılan kaynak işlemi**

İzole sistem üzerine yerleştirilen parçalar  $400^{\circ}\text{C}$  ön tav ile yapılan kaynak işleminde yapılan işlem sırası aynı şekilde uygulandı. Sadece ön tav işleminde  $460^{\circ}\text{C}$  sıcaklığa yükseltip  $450^{\circ}\text{C}$ 'ye soğutulduktan sonra kaynak işlemi yapılmıştır.

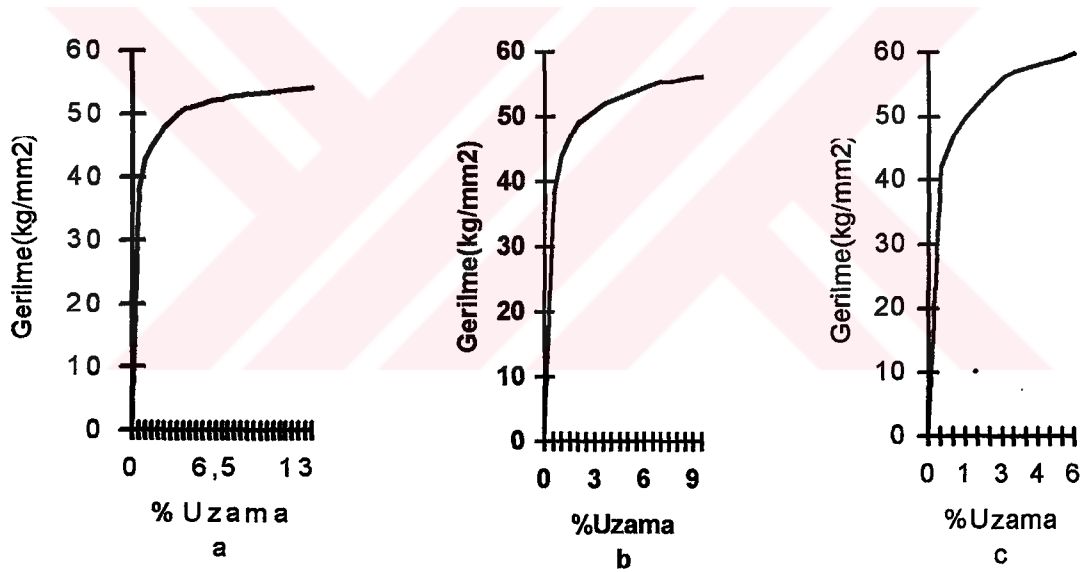
#### **6.6.3. $500^{\circ}\text{C}$ ön tav ile yapılan kaynak işlemi**

İzole sistem üzerine yerleştirilen parçalar  $400^{\circ}\text{C}$  ön tav ile yapılan kaynak işleminde yapılan işlem sırası aynı şekilde uygulandı. Sadece ön tav işleminde  $510^{\circ}\text{C}$  sıcaklığa yükseltip  $500^{\circ}\text{C}$ 'ye soğutulduktan sonra kaynak işlemi yapılmıştır.

## 7. DENEY SONUÇLARI

### 7.1. Çekme Deneyi Sonuçları

Kaynak öncesi KGDD numunelerinin çekme deneyleri yapıldı. Deneylerde her numune için üçer adet hazırlanan çekme deneyi sonuçlarının ortalaması alındı. Buna göre %0.018 Cu içeren numunenin sonucu  $53.12 \text{ kg/mm}^2$ , %0.250 Cu içeren numunenin sonucu  $56.17 \text{ kg/mm}^2$ , %0.305 Cu içeren numunenin sonucu  $59.75 \text{ kg/mm}^2$  olarak bulunmuştur. ....



Şekil 7.1. Kaynaksız numunelerin çekme deneyi grafikleri; a) %0.018 Cu içeren, b) %0.250 Cu içeren, c) %0.305 Cu içeren

### **7.1.1. %0.018 Cu içeren kaynaklı numunenin sonuçları**

%0.018 Cu içeren numunelerin kaynak işlemleri 400<sup>0</sup>C, 450<sup>0</sup>C, 500<sup>0</sup>C ön tav sıcaklıklarında yapılarak sonuçlar elde edildi.

400<sup>0</sup>C ön tav sıcaklığında kaynak edilmiş parçalardan üç adet çekme deneyi numunesi çıkartıldı. Elde edilen deney sonuçları üç çekme deney numunesi ortalaması alınarak 49.17 kg/mm<sup>2</sup> olarak bulunmuştur.

450<sup>0</sup>C ön tav sıcaklığındaki sonuçlarda 400<sup>0</sup>C ön tav sıcaklığında yapılan işlemlerin sırasıyla yapılmasıyla elde edildi. Bu işlemler neticesinde ortalama çekme dayanımı 50.7 kg/mm<sup>2</sup> olarak bulunmuştur.

500<sup>0</sup>C ön tav sıcaklığındaki sonuçlarda 400<sup>0</sup>C ön tav sıcaklığında yapılan işlemlerin sırasıyla yapılmasıyla elde edildi. Bu işlemler neticesinde ortalama çekme dayanımı 51.59 kg/mm<sup>2</sup> olarak bulunmuştur.

### **7.1.2. %0.250 Cu içeren kaynaklı numunenin sonuçları**

%0.250 Cu içeren numunelerin kaynak işlemleri 400<sup>0</sup>C, 450<sup>0</sup>C, 500<sup>0</sup>C ön tav sıcaklıklarında yapılarak sonuçlar elde edildi.

400<sup>0</sup>C ön tav sıcaklığında kaynak edilmiş parçalardan üç adet çekme deneyi numunesi çıkartıldı. Elde edilen deney sonuçları üç çekme deney numunesi ortalaması alınarak 50.57 kg/mm<sup>2</sup> olarak bulunmuştur.

450°C ön tav sıcaklığındaki sonuçlarda 400°C ön tav sıcaklığında yapılan işlemlerin sırasıyla yapılmasıyla elde edildi. Bu işlemler neticesinde ortalama çekme dayanımı 51.84 kg/mm<sup>2</sup> olarak bulunmuştur.

500°C ön tav sıcaklığındaki sonuçlarda 400°C ön tav sıcaklığında yapılan işlemlerin sırasıyla yapılmasıyla elde edildi. Bu işlemler neticesinde ortalama çekme dayanımı 53.8 kg/mm<sup>2</sup> olarak bulunmuştur.

### **7.1.3. %0.305 Cu içeren kaynaklı numunenin sonuçları**

%0.305 Cu içeren numunelerin kaynak işlemleri 400°C, 450°C, 500°C ön tav sıcaklıklarında yapılarak sonuçlar elde edildi.

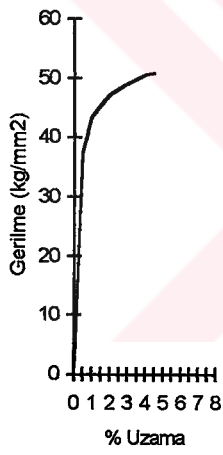
400°C ön tav sıcaklığında kaynak edilmiş parçalardan üç adet çekme deneyi numunesi çıkartıldı. Elde edilen deney sonuçları üç çekme deney numunesi ortalaması alınarak 53.12 kg/mm<sup>2</sup> olarak bulunmuştur.

450°C ön tav sıcaklığındaki sonuçlarda 400°C ön tav sıcaklığında yapılan işlemlerin sırasıyla yapılmasıyla elde edildi. Bu işlemler neticesinde ortalama çekme dayanımı 54.9 kg/mm<sup>2</sup> olarak bulunmuştur.

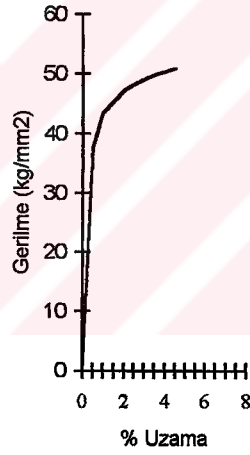
500°C ön tav sıcaklığındaki sonuçlarda 400°C ön tav sıcaklığında yapılan işlemlerin sırasıyla yapılmasıyla elde edildi. Bu işlemler neticesinde ortalama çekme dayanımı 55.92 kg/mm<sup>2</sup> olarak bulunmuştur.

Tablo 7.1. Çekme deney sonuçları

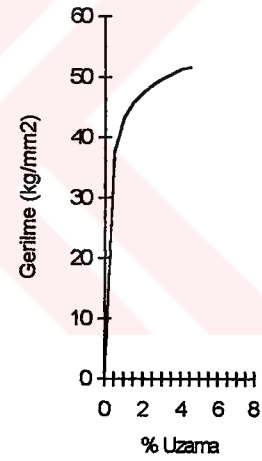
Malzeme	Çekme muk. kg/mm <sup>2</sup> (Kaynaksız)	%Uzama mm	Ön ısıtma sıcaklığı °C	Çekme muk. kg/mm <sup>2</sup> (Kaynaklı)	%Uzama mm	Kopma yeri
A	53.12	14.3	400	49.17	3	Kaynak metali
			450	50.70	4.8	"
			500	51.59	5.6	"
B	56.17	9.6	400	50.57	3.6	"
			450	51.84	4.7	"
			500	53.80	5.8	"
C	59.75	5.7	400	53.12	3.6	"
			450	54.90	4.8	"
			500	55.92	6.4	"



Ön tav Sic. 400°C

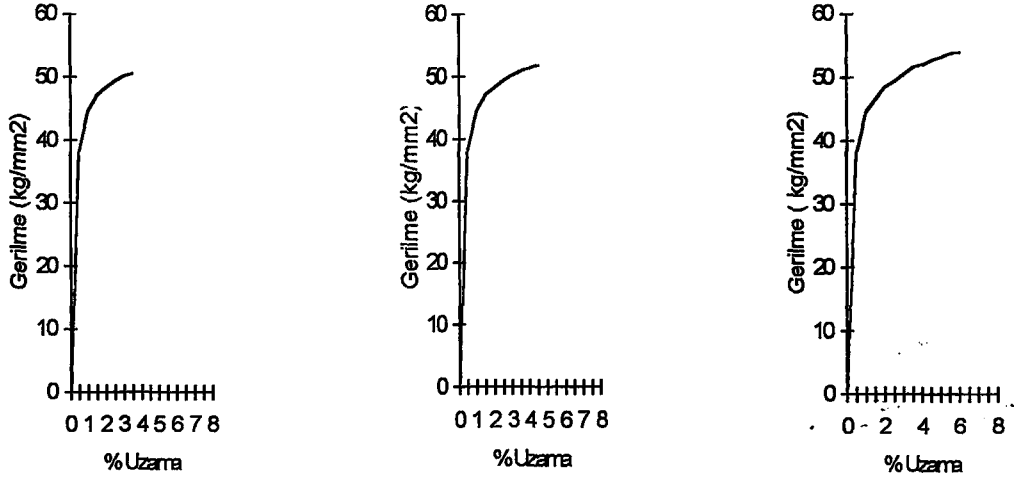


Ön tav Sic. 450°C



Ön tav Sic. 500°C

Şekil 7.2. % 0.018 Cu içeren numunenin çekme deney grafiği.

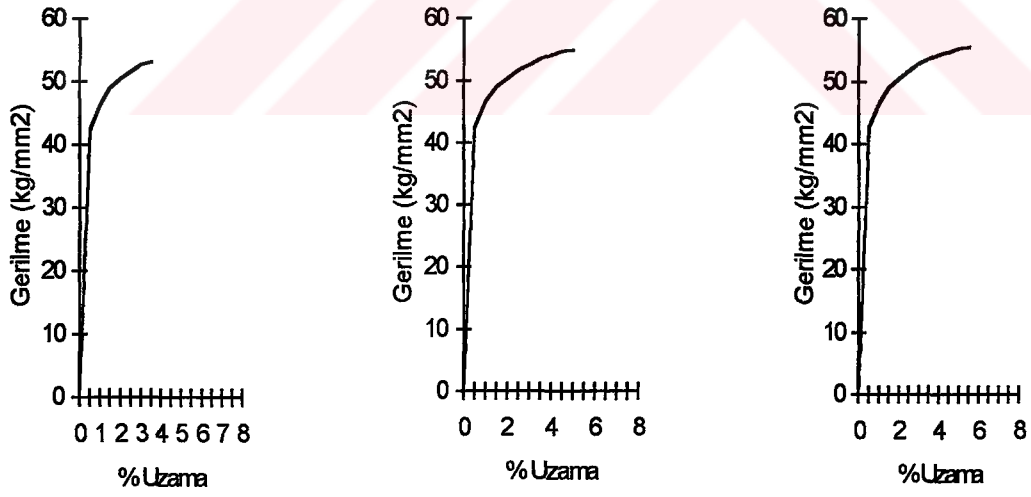


Ön tav Sıc. 400°C

Ön tav Sıc. 450°C

Ön tav Sıc. 500°C

Şekil 7.3. % 0.250 Cu içeren numunenin çekme deney grafiği.



Ön tav Sıc. 400°C

Ön tav Sıc. 450°C

Ön tav Sıc. 500°C

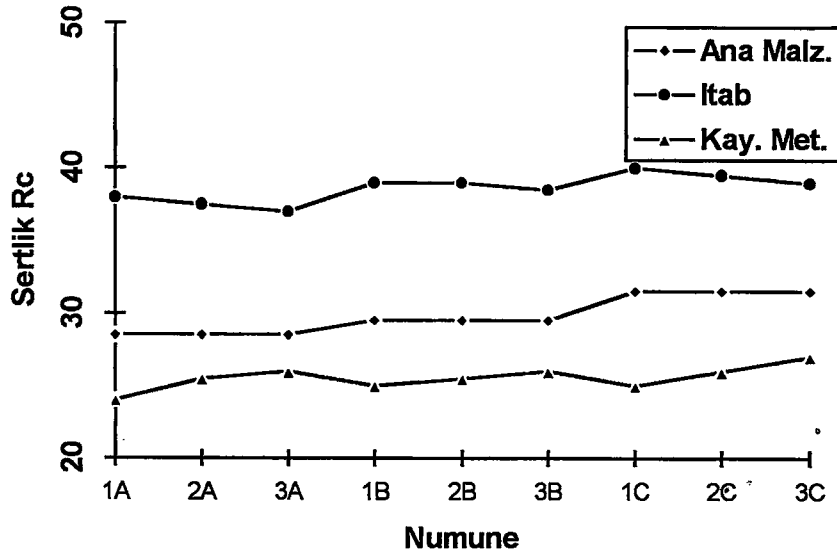
Şekil 7.4. % 0.305 Cu içeren numunenin çekme deney grafiği.

## 7.2. Sertlik Deneyi

Sertlik deneyi için, kaynak edilmiş parçalardan alınan numunelerin yüzeyleri 160-1200  $\mu\text{m}$ 'luk zımparalarla temizlendikten sonra yüzeye polisaj yapıldı. Polisaj yapılan yüzey alkolle temizlendikten sonra %2 nitelle 10 sn dağlandı. Dağlanan yüzeylerin, ana malzeme, ITAB ve kaynak metali bölgeleri üzerinden alınan sertlik değeri Rc olarak bulunmuştur. Tablo 7.2'de ve sertliğe bağlı grafik dağılımı Şekil 7.5'te verilmiştir.

Tablo 7.2. Sertlik deney sonuçları

Malzeme	Ön Isıtma $^{\circ}\text{C}$	Ana Malzeme Rc	ITAB Rc	Kaynak Metali Rc
A	1A 400	28,5	38	24
	2A 450	28,5	37,5	25,5
	3A 500	28,5	37	26
B	1B 400	29,5	39	25
	2B 450	29,5	39	25,5
	3B 500	29,5	38,5	25,7
C	1C 400	31,5	40	25
	2C 450	31,5	39,8	26
	3C 500	31,5	39,4	27



Şekil 7.5. Ön ısıtma sıcaklığına bağlı sertlik dağılım grafiği.

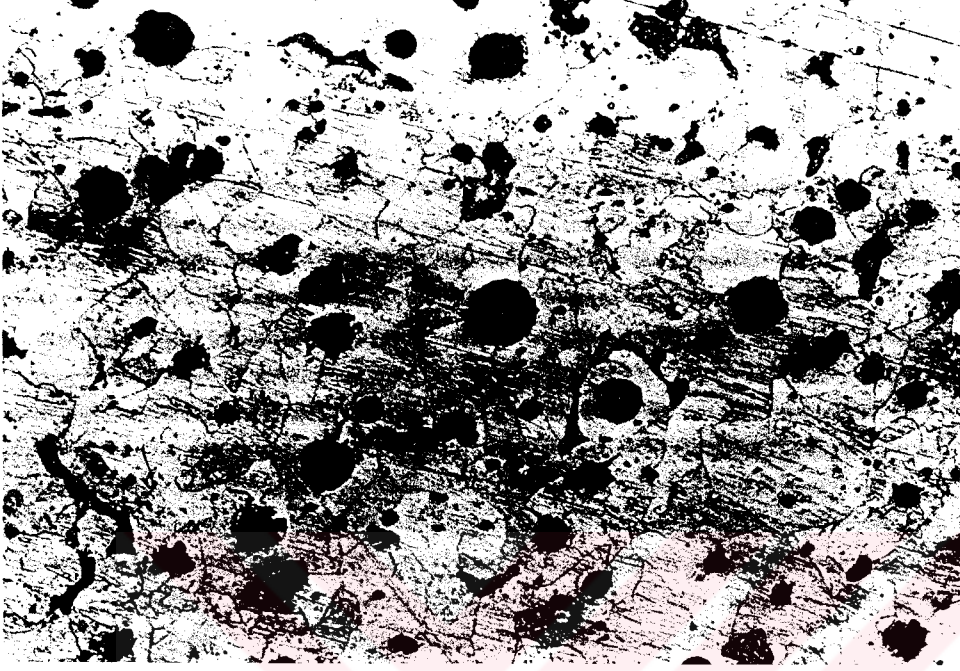
### 7.3. Nufuziyet

Nufuziyet incelemesinde kullanılan numuneler 160-1200 $\mu$ m'luk zımparalarla sırasıyla parlatıldıktan sonra yüzeylere polisaj işlemi yapıldı. Polisaj işleminin ardından yüzeyler alkolle temizlendi. Dağlama işlemi ise %2 nital ile yapıldı. Dağlanan yüzeyler üzerinden nufuziyet derinlikleri ölçüldü. İncelemelerde %0.018 Cu içeren deney numunesinin ön tav sıcaklığı 400<sup>0</sup>C'den, 450<sup>0</sup>C ve 500<sup>0</sup>C'ye çıkartıldığında nufuziyet derinliğinin 1.6-2.2mm arasında değiştiği görüldü. Aynı şekilde %0.250 Cu içeren deney numunesinin ön tav sıcaklığı 400<sup>0</sup>C'den, 450<sup>0</sup>C ve 500<sup>0</sup>C'ye çıkartıldığında nufuziyet derinliğinin 2.2-2.6mm arasında değiştiği ve %0.305 Cu içeren deney numunesinin de ön tav sıcaklığı 400<sup>0</sup>C'den, 450<sup>0</sup>C ve 500<sup>0</sup>C'ye çıkartıldığında nufuziyet derinliğinin 2.4-3.4mm arasında değiştiği görülmüştür.

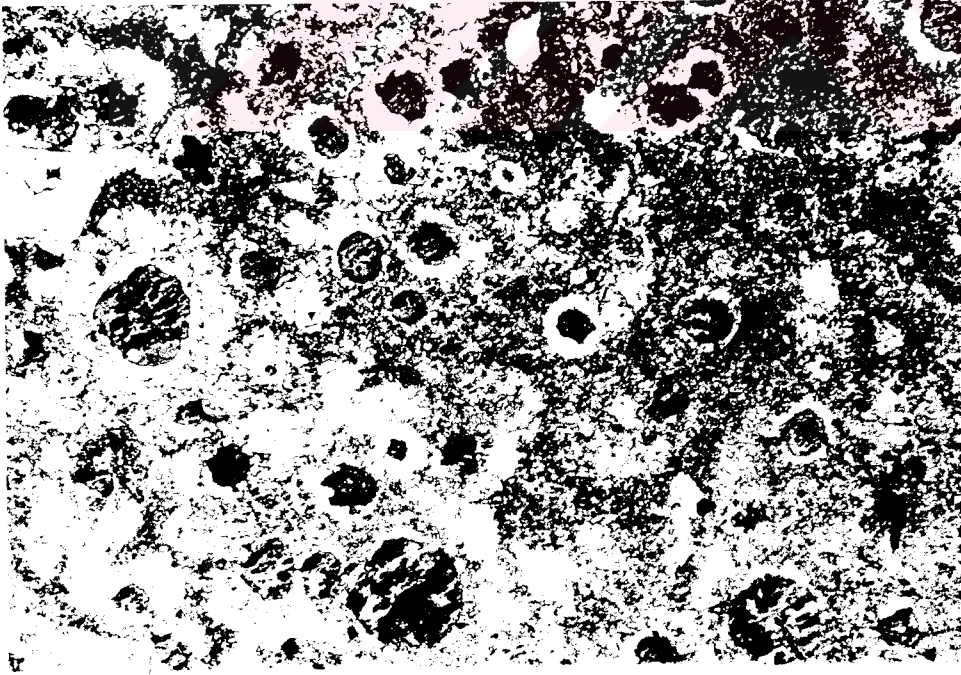
#### 7.4. %0.018 bakır içeren malzemenin mikro yapısı

Denemelere tabi tutulan, % 0,018 Cu içeren ana malzemenin mikro yapısı incelendiğinde (Şekil 7.6) yapının küresel grafit ve ferrit fazından meydana geldiği görülmektedir. Ferrit fazının küresel grafiti sardığı ve az da olsa tane sınırlarında perlitin oluştuğu görülmektedir. Kaynak geçiş bölgelerine ait mikro yapı fotoğraflarında ise ana malzemenin yapısından biraz farklıdır. Yapı ana malzemedan kaynak metaline doğru incelendiğinde yapıda perlit ve ferrit görülmektedir (Şekil 7.7). Geçiş bölgesindeki yapıda sementit ( $Fe_3C$ ) ve kaba perlitik yapı görülmektedir. Diğer bir ifadeyle tipik bir kır dökme demir yapısı görülmektedir (Şekil 7.8). Ayrıca kaynak metali bölgesinde ana malzemedan ergiyerek geçen küresel grafitlerin olduğu görülmektedir. Kaynak metaline ait mikro yapılarında ise kaynak bölgesinin hızlı soğuması sonucu yapının genelinde ferritin dentritik bir halde olduğu bunların arasında yani dentritler arası bölgede ise perlitin koyu renkli dağılmış halde olduğu görülmektedir(Şekil 7.9). Kaynak metalindeki katılaşmanın ana metale yakın olan kısmından kaynak merkezine doğru dentritik katılaşma olarak meydana geldiği görülmektedir.

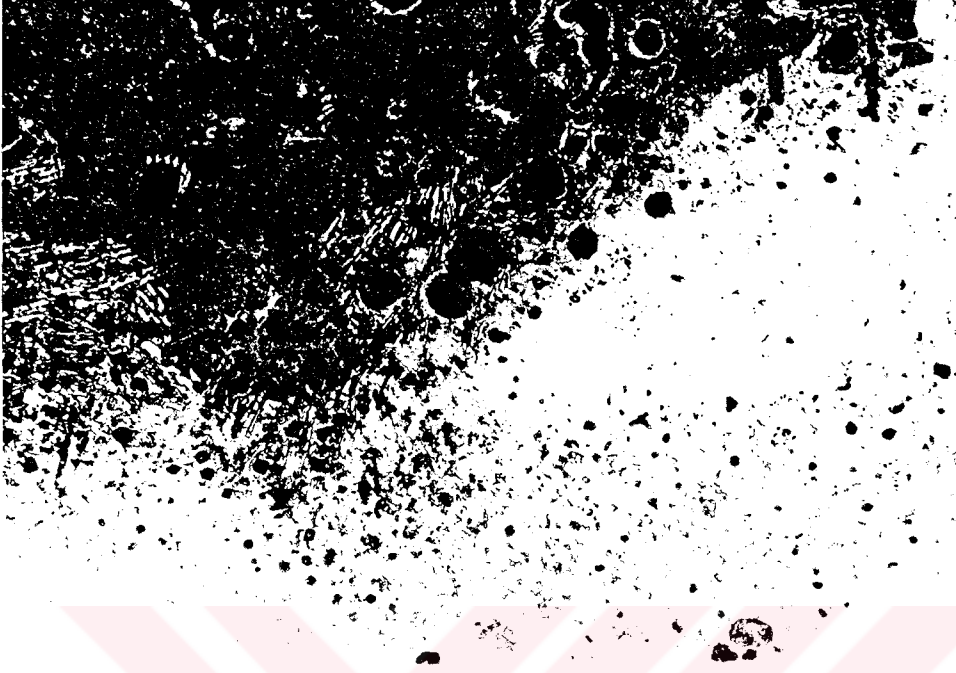
#### 7.4.1. 400°C ön tav sıcaklığındaki sonuçlar



Şekil 7.6. Ana malzemenin mikro yapısı (ferrit ve grafit) X150



Şekil 7.7. ITAB bölgesinin mikro yapısı (ferrit, ince ve kaba perlit, grafit) X150



Şekil 7.8. Geçiş bölgesinin mikro yapısı (ferrit, ince ve kaba perlit, sementit, grafit) X150

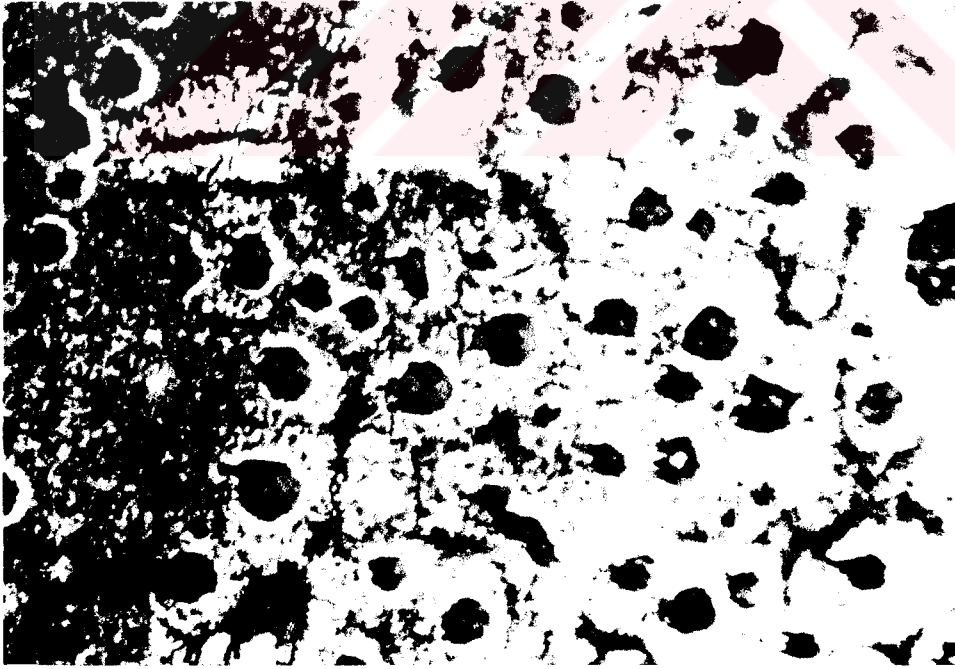


Şekil 7.9. Kaynak metali bölgesinin mikro yapısı (ferrit, perlit, grafit) X75

#### 7.4.2. 450<sup>0</sup>C ön tav sıcaklığındaki sonuçlar



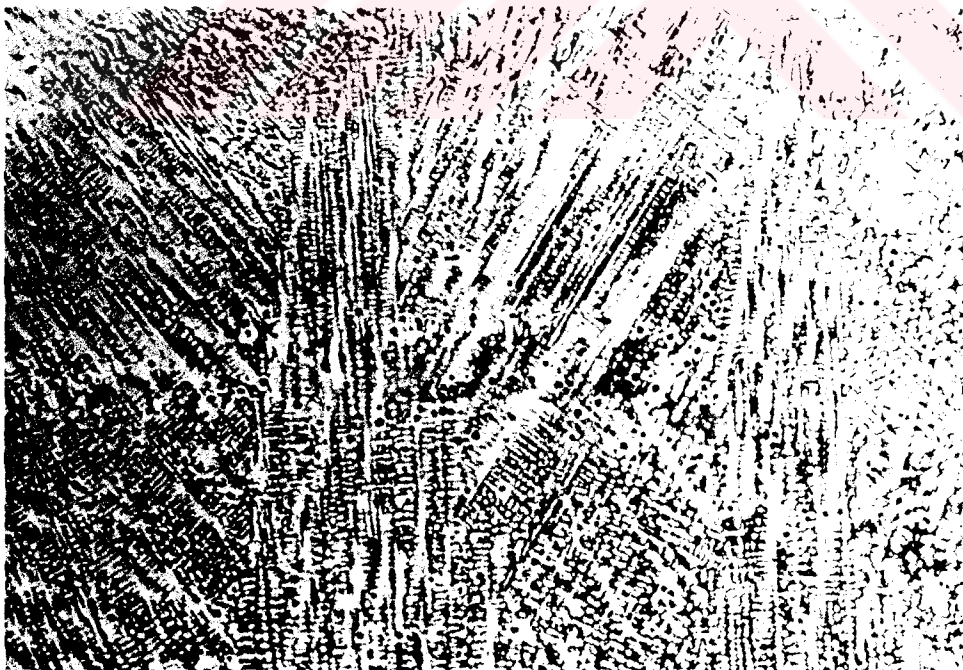
Şekil 7.10. Ana malzemenin mikro yapısı (ferrit, perlit ve grafit) X150



Şekil 7.11. ITAB bölgesinin mikro yapısı (ferrit, ince ve kaba perlit, grafit) X150

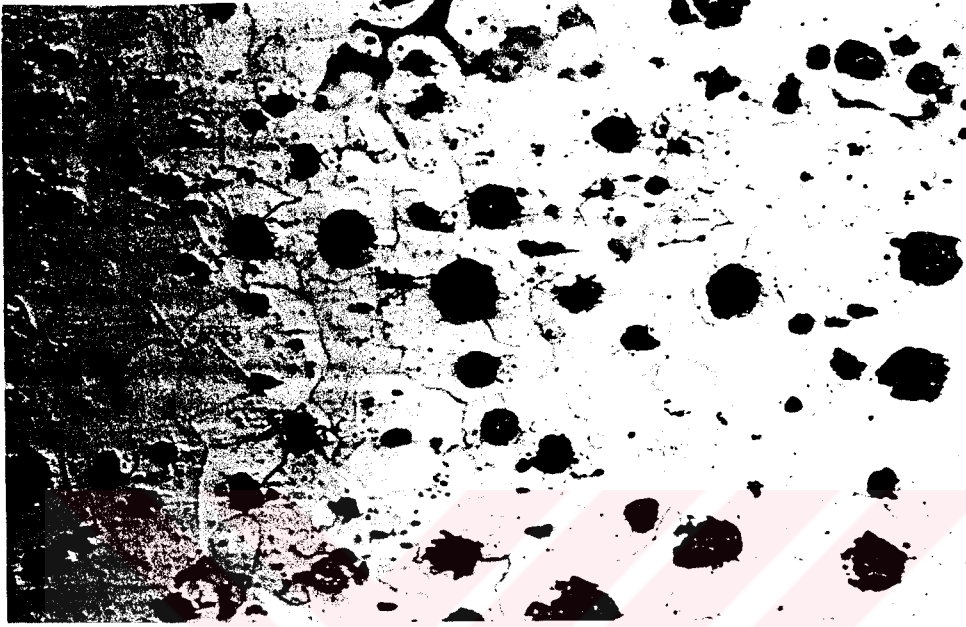


Şekil 7.12. Geçiş bölgesinin mikro yapısı (ferrit, ince ve kaba perlit, sementit, grafit) X150

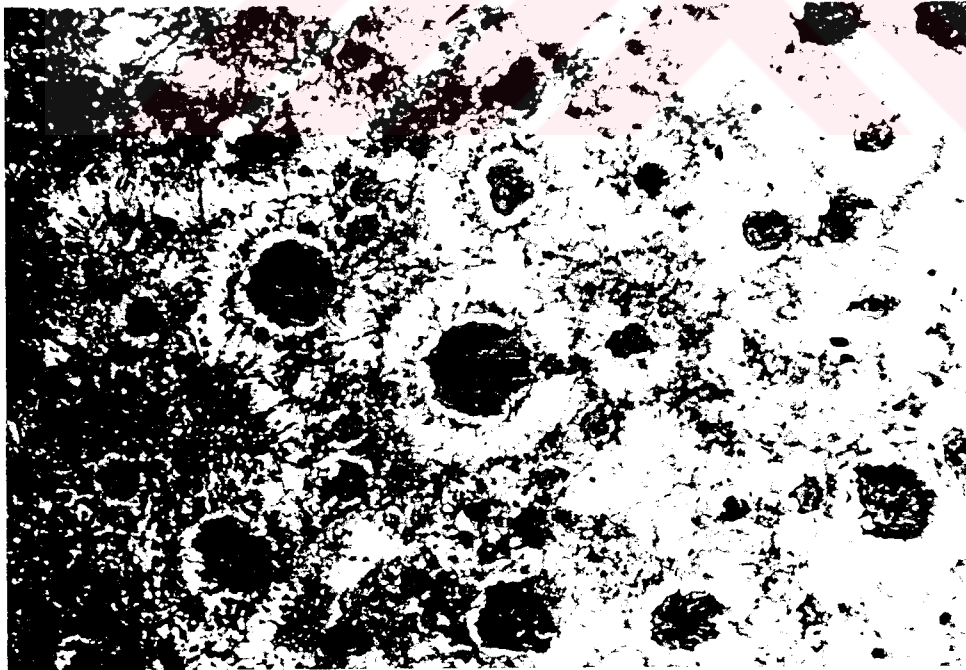


Şekil 7.13. Kaynak metali bölgesinin mikro yapısı (ferrit, perlit, grafit) X75

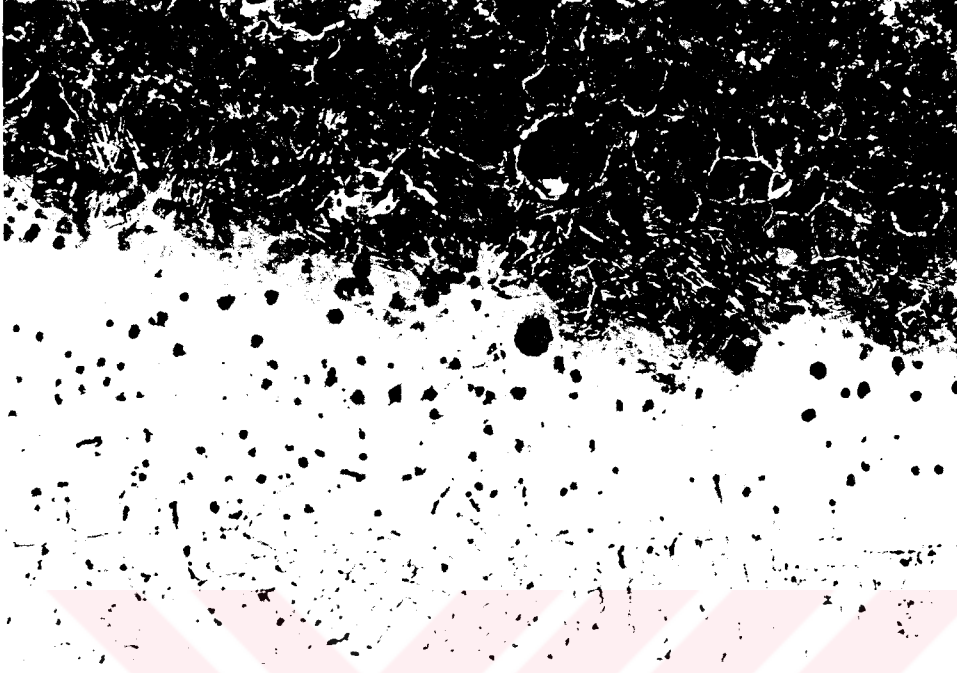
### 7.4.3. 500<sup>0</sup>C ön tav sıcaklığındaki sonuçlar



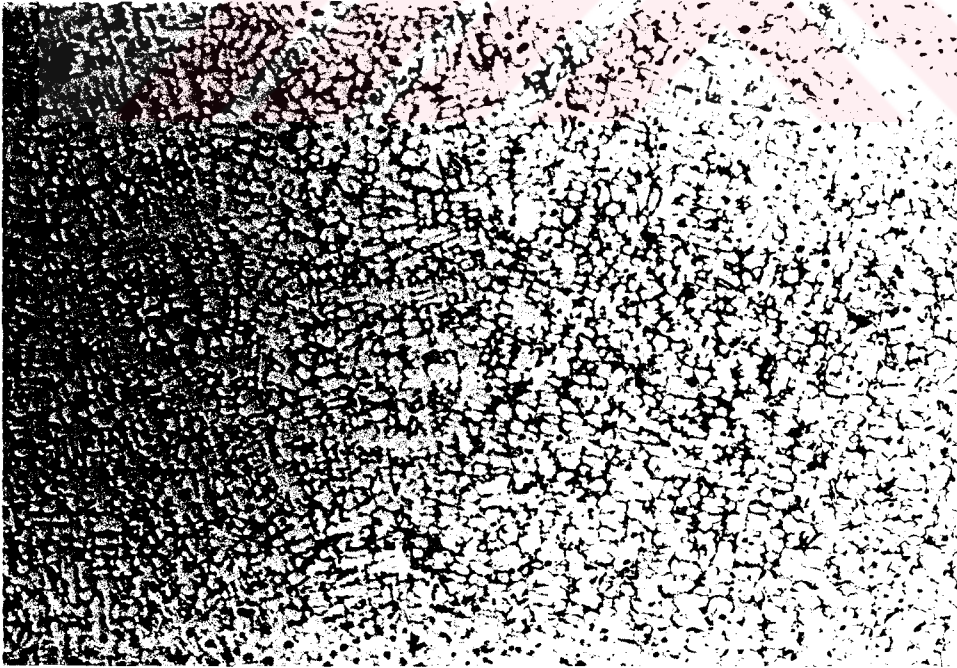
Şekil 7.14. Ana malzemenin mikro yapısı (ferrit, perlit ve grafit) X150



Şekil 7.15. ITAB bölgesinin mikro yapısı (ferrit, ince ve kaba perlit, grafit) X150



Şekil 7.16. Geçiş bölgesinin mikro yapısı (ferrit, ince ve kaba perlit, sementit, grafit) X150



Şekil 7.17. Kaynak metali bölgesinin mikro yapısı (ferrit, perlit, grafit) X75

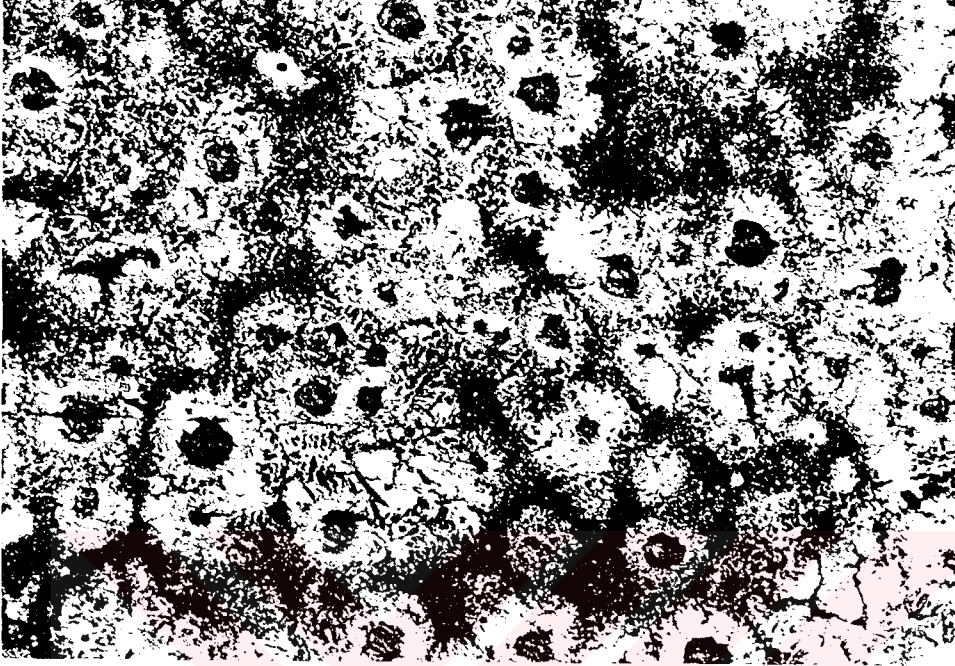
### 7.5. %0.250 bakır içeren malzemenin mikro yapısı

İçerisinde %0,25 Cu bulunan ana malzemenin mikro yapısı perlit, ferrit ve grafitten meydana gelmektedir (Şekil 7.18, 7.22, 7.26). Yapıda perlitin ferrite göre daha az ve perlitin tane sınırlarının belirli bölgelerinde toplandığı görülmektedir. Aynı malzemenin ITAB bölgelerine ait mikro yapılarında da ferrit ve perlit görülmektedir (Şekil 7.19, 7.23, 7.27). Perlitinde ferrit fazının içine doğru dağıldığı görülmektedir. Geçiş bölgesindeki yapıda ise sementit ve kaba perlitin etkin olarak meydana geldiği görülmektedir. Ayrıca küresel grafitlerinde kaynak metali içine doğru geçtiği görülmektedir(Şekil 7.20). Kaynak metali bölgesinin mikro yapı incelemelerinde de dentritik bir katılaşmanın meydana geldiği ve dentritler arasında da küçük küresel grafitlerin oluştuğu görülmektedir (Şekil 7.21).

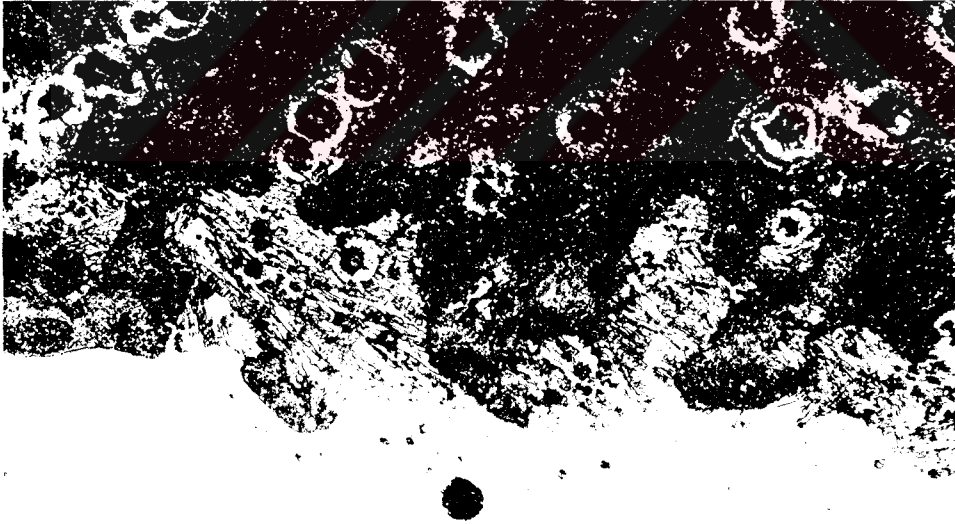
#### 7.5.1. 400<sup>0</sup>C ön tav sıcaklığındaki sonuçlar



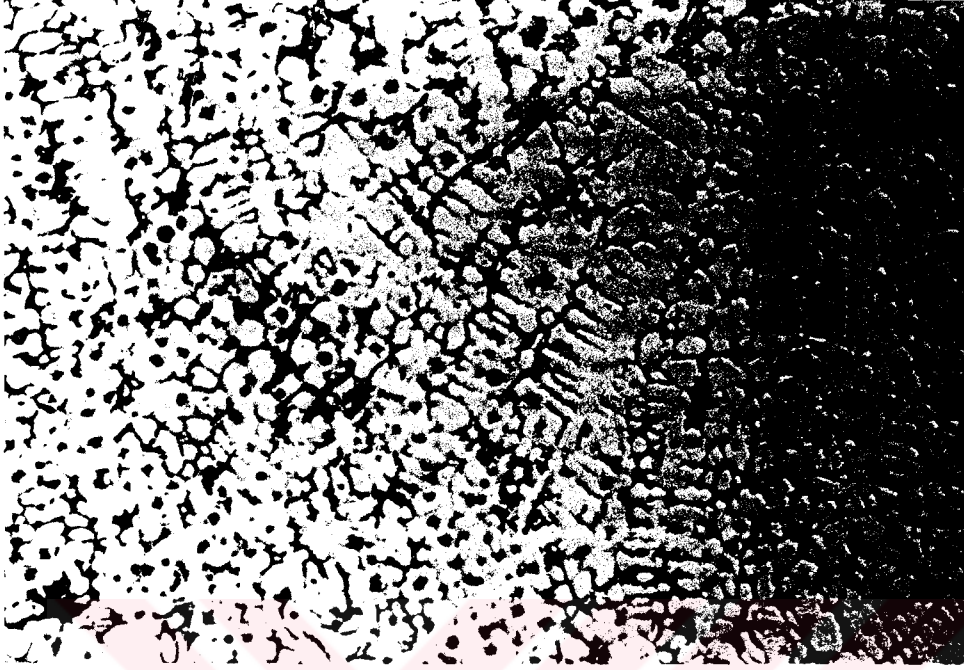
Şekil 7.18. Ana malzemenin mikro yapısı (ferrit ve grafit) X150



Şekil 7.19. ITAB bölgesinin mikro yapısı (ferrit, ince ve kaba perlit, grafit) X150

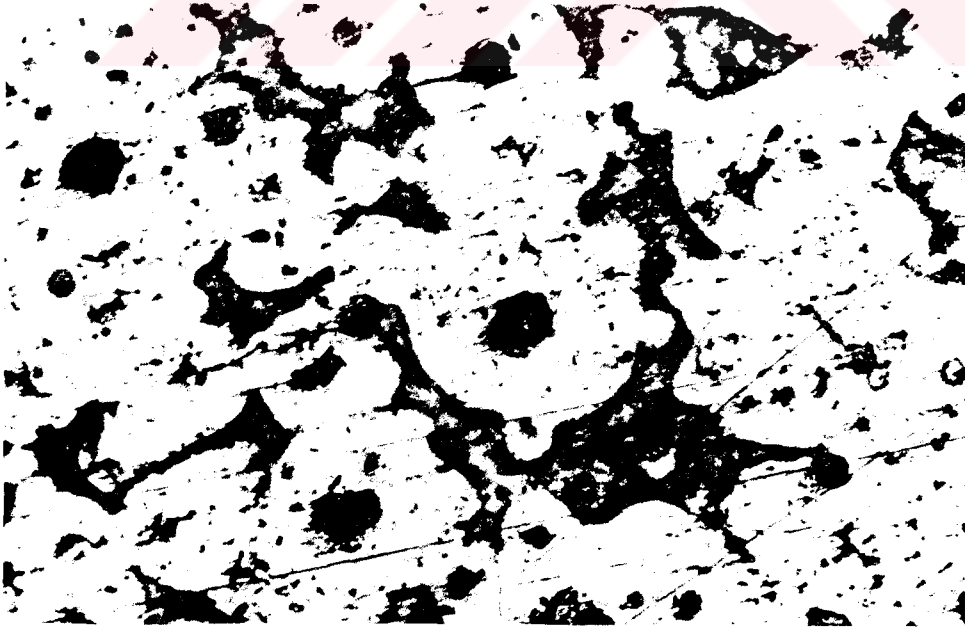


Şekil 7.20. Geçiş bölgesinin mikro yapısı (ferrit, ince ve kaba perlit, sementit, grafit) X150

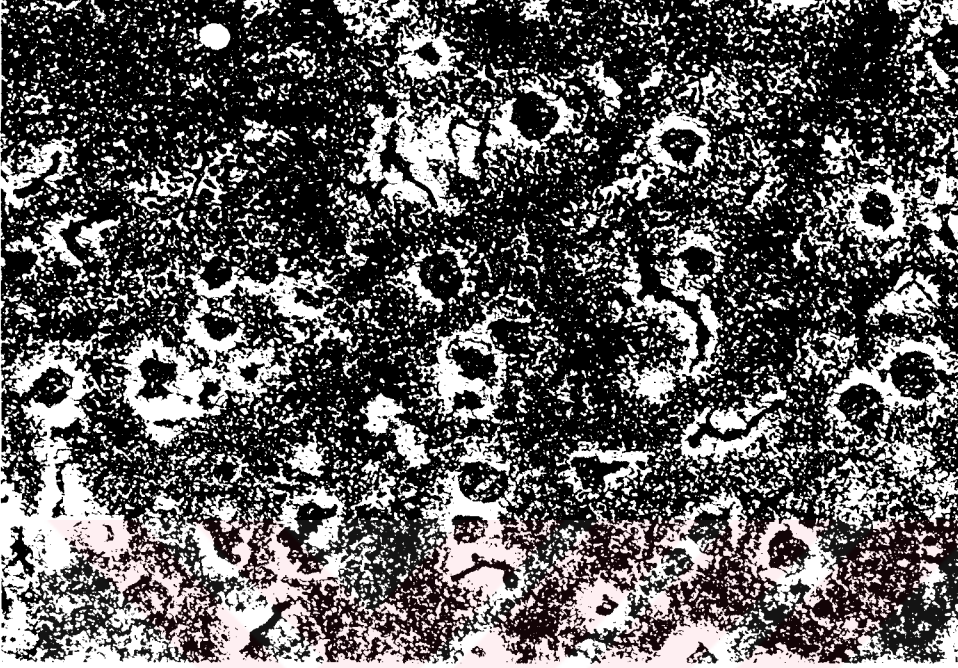


Şekil 7.21. Kaynak metali bölgesinin mikro yapısı (ferrit, perlit, grafit) X150

#### 7.5.2. 450<sup>0</sup>C ön tav sıcaklığındaki sonuçlar



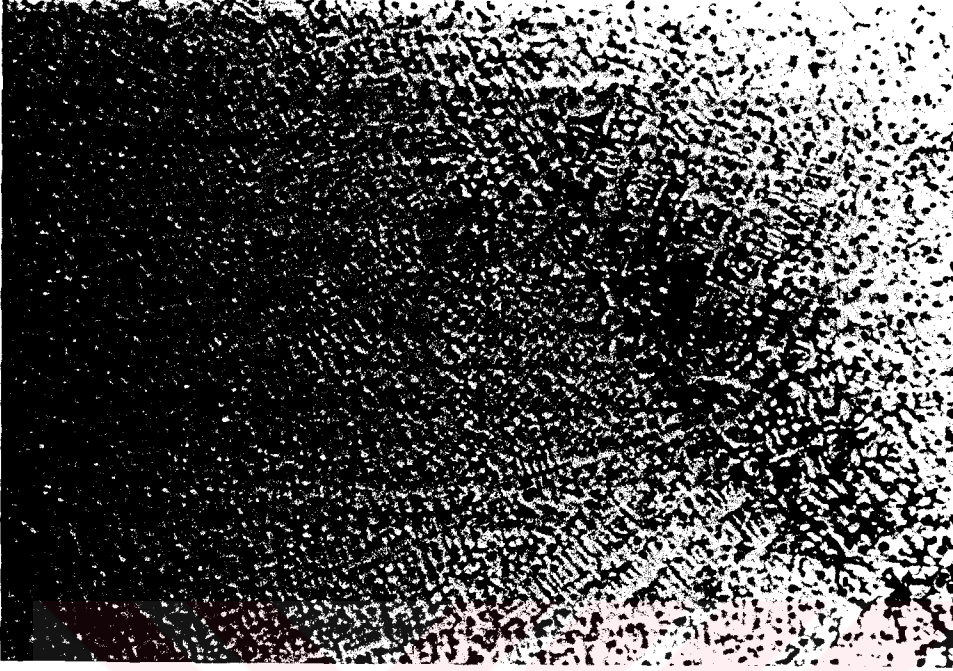
Şekil 7.22. Ana malzemenin mikro yapısı (ferrit, perlit ve grafit) X150



Şekil 7.23. ITAB bölgesinin mikro yapısı (ferrit, ince ve kaba perlit, grafit) X150

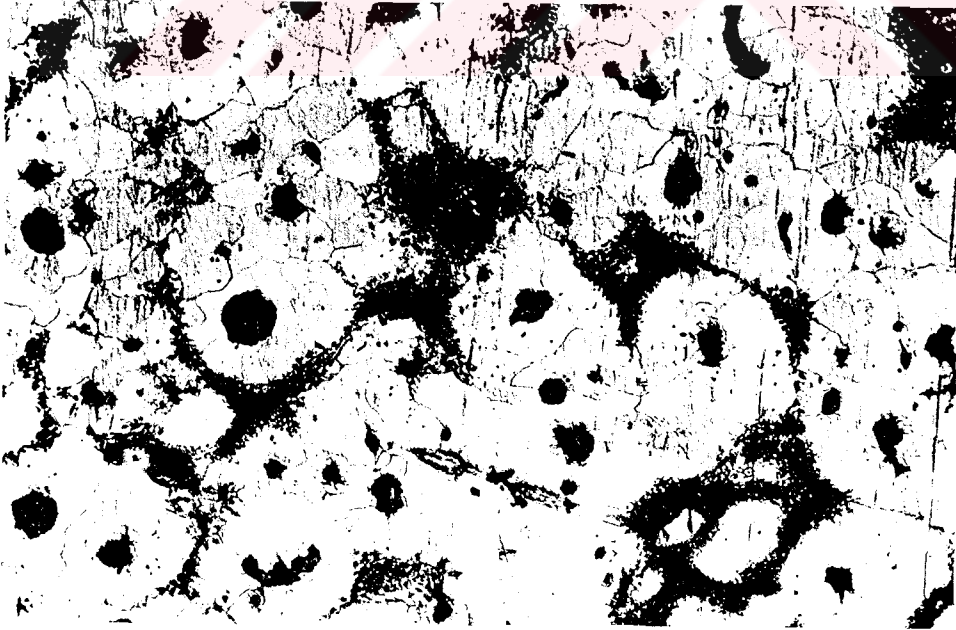


Şekil 7.24. Geçiş bölgesinin mikro yapısı (ferrit, ince ve kaba perlit, sementit, grafit) X150

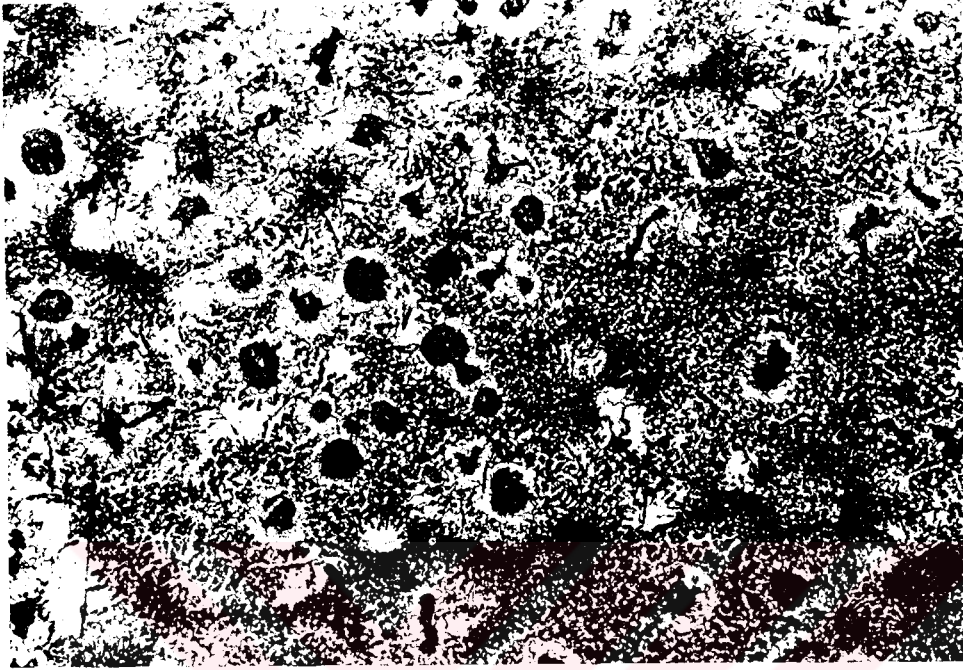


Şekil 7.25. Kaynak metali bölgesinin mikro yapısı (ferrit, perlit, grafit) X75

### 7.5.3. 500°C ön tav sıcaklığındaki sonuçlar



Şekil 7.26. Ana malzemenin mikro yapısı (ferrit, perlit ve grafit) X150



Şekil 7.27. ITAB bölgesinin mikro yapısı (ferrit, ince ve kaba perlit, grafit) X150



Şekil 7.28. Geçiş bölgesinin mikro yapısı (ferrit, ince ve kaba perlit, sementit, grafit) X150

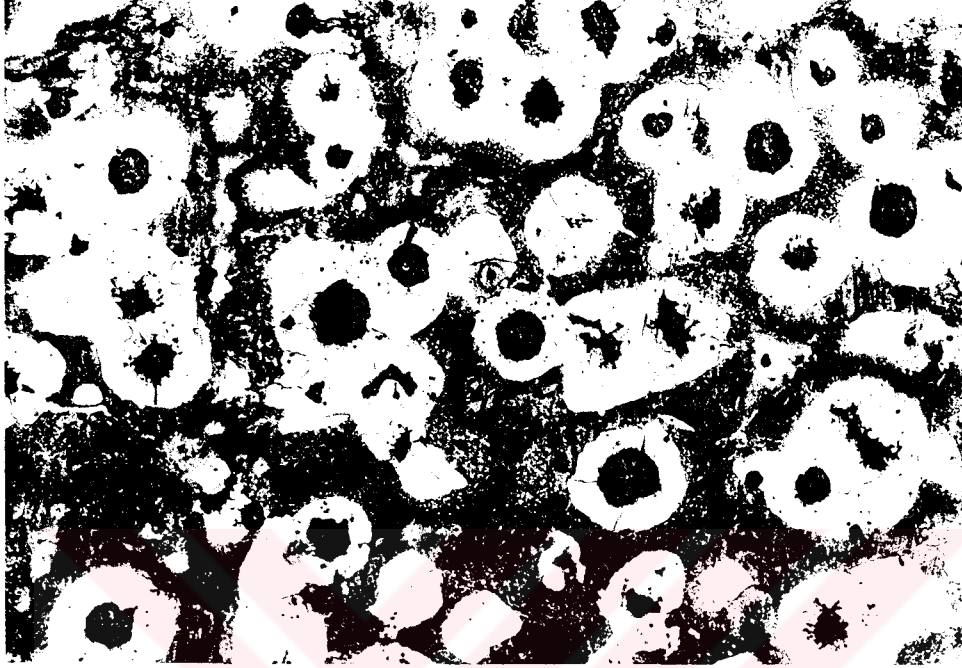


Şekil 7.29. Kaynak metali bölgesinin mikro yapısı (ferrit, perlit, grafit) X75

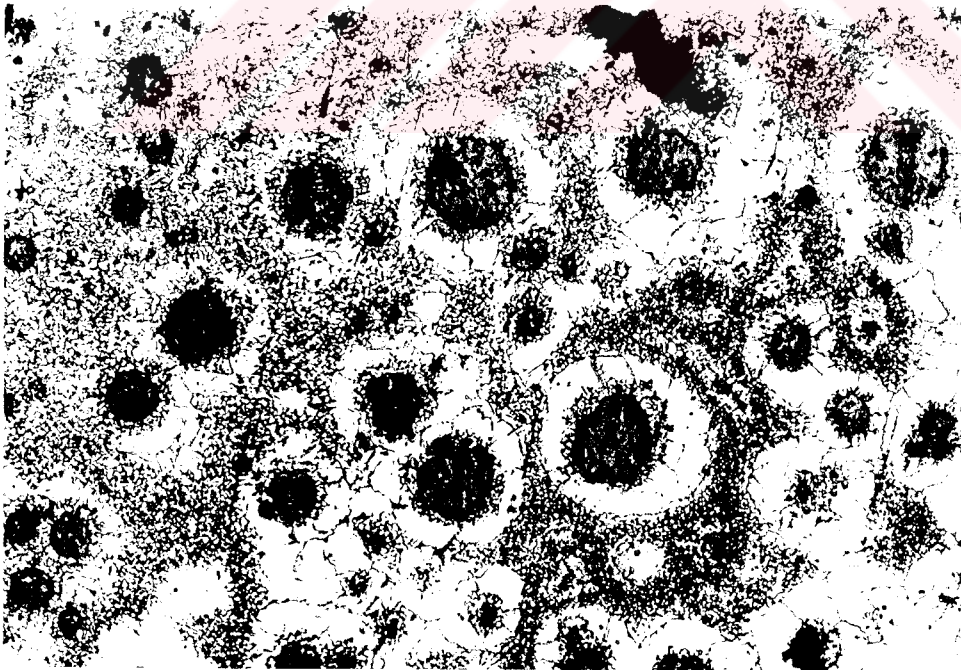
#### 7.6. %0.305 bakır içeren malzemenin mikro yapısı

Malzemenin içerisindeki bakır oranı arttıkça Şekil 7.30'da görüldüğü gibi ana malzemenin içerisindeki perlit oranında artış görülmektedir. Perlitin daha çok ferrit tane sınırlarında yoğunlaştığı ve küresel grafitin çevresinde de ferritin oluştuğu görülmektedir. ITAB bölgelerine ait mikro yapılarına bakıldığında (Şekil 7.31) ise bölüm 7.4.'dekine benzer açıklama yapmamız mümkündür. Geçiş bölgelerinin mikro yapılarına bakıldığında ferrit fazının azaldığı, perlitin de ince ve kaba perlit olarak teşekkül ettiği görülmektedir (Şekil 7.32). Ayrıca sementitin de ( $Fe_3C$ ) bu bölgede meydana geldiği görülmektedir. Ön tav sıcaklığının artışıyla sementit miktarında azalma meydana geldiği de geçiş bölgesine ait mikro yapı fotoğraflarının karşılaştırılmasında açık bir şekilde görülmektedir (Şekil 7.36, 7.40).

### 7.6.1. 400<sup>0</sup>C ön tav sıcaklığındaki sonuçlar



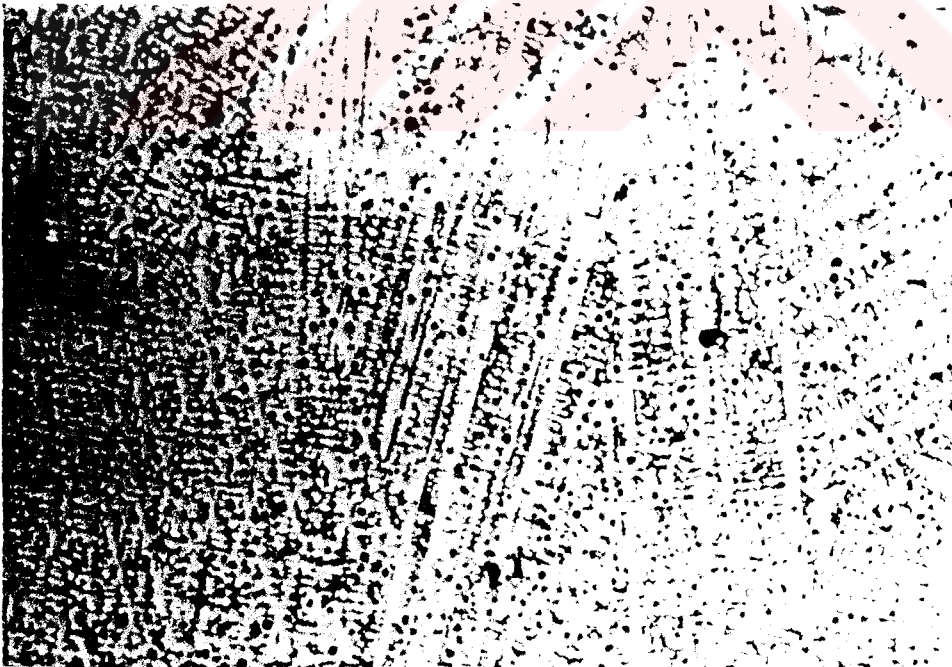
Şekil 7.30. Ana malzemenin mikro yapısı (ferrit ve grafit) X150



Şekil 8.31. ITAB bölgesinin mikro yapısı (ferrit, ince ve kaba perlit, grafit) X150

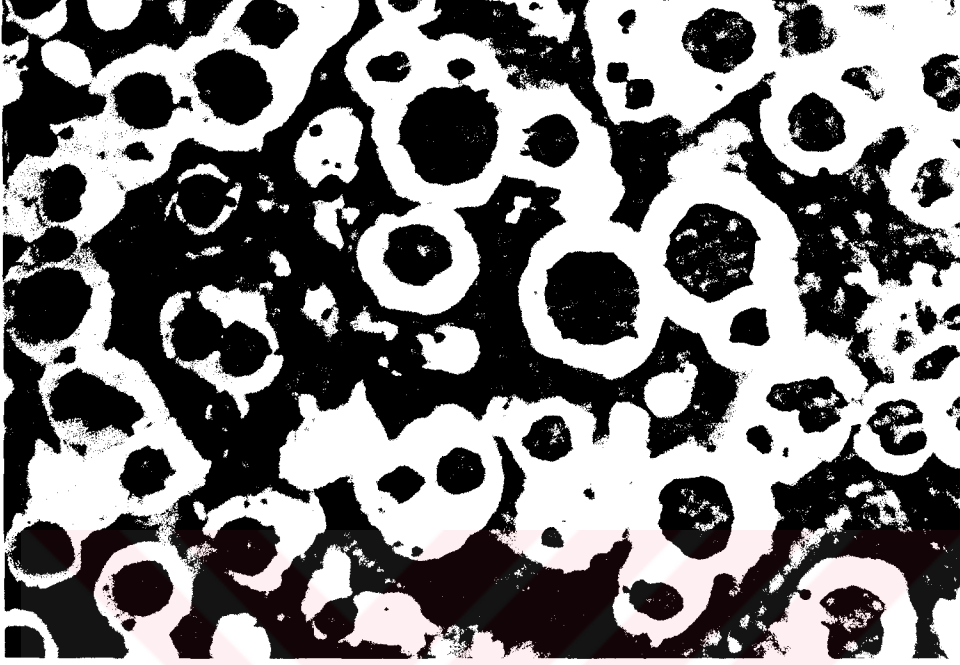


Şekil 7.32. Geçiş bölgesinin mikro yapısı (ferrit, ince ve kaba perlit, sementit, grafit) X150

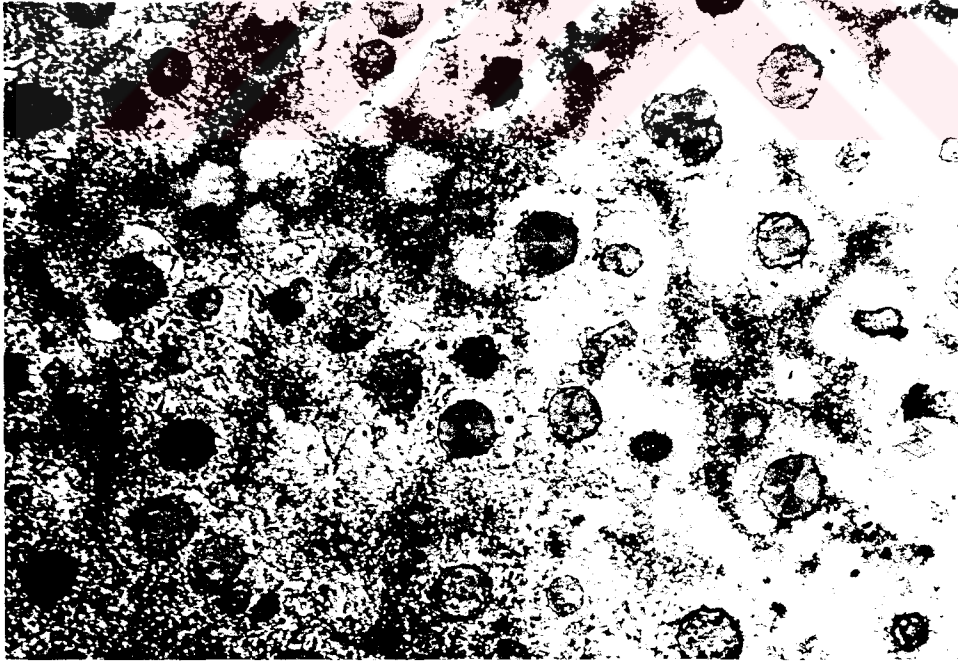


Şekil 7.33. Kaynak metali bölgesinin mikro yapısı (ferrit, perlit, grafit) X75

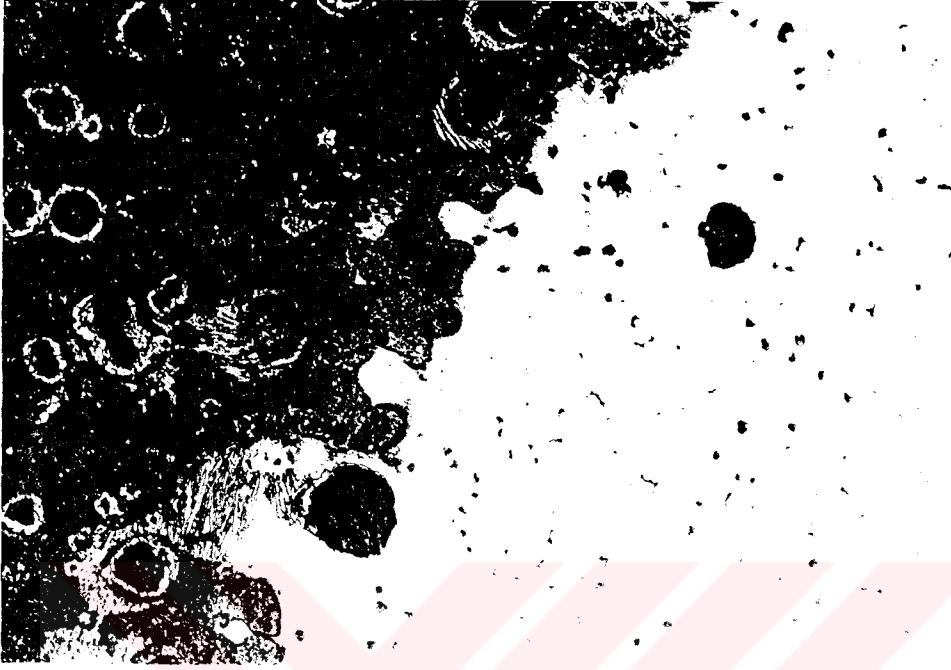
### 7.6.2. 450<sup>0</sup>C ön tav sıcaklığındaki sonuçlar



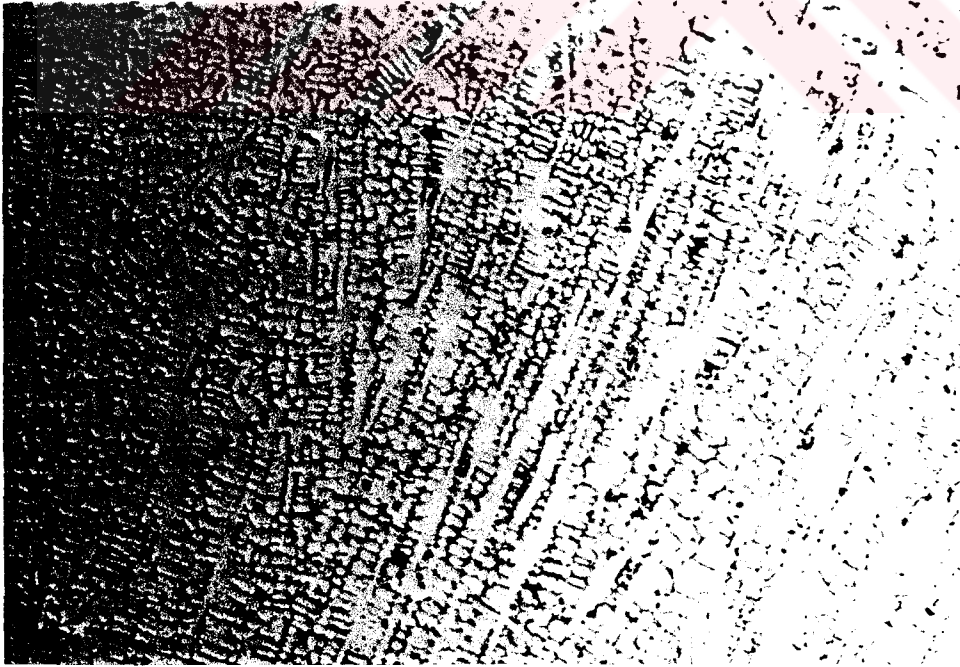
Şekil 7.34. Ana malzemenin mikro yapısı (ferrit, perlit ve grafit) X150



Şekil 7.35. ITAB bölgesinin mikro yapısı (ferrit, ince ve kaba perlit, grafit) X150

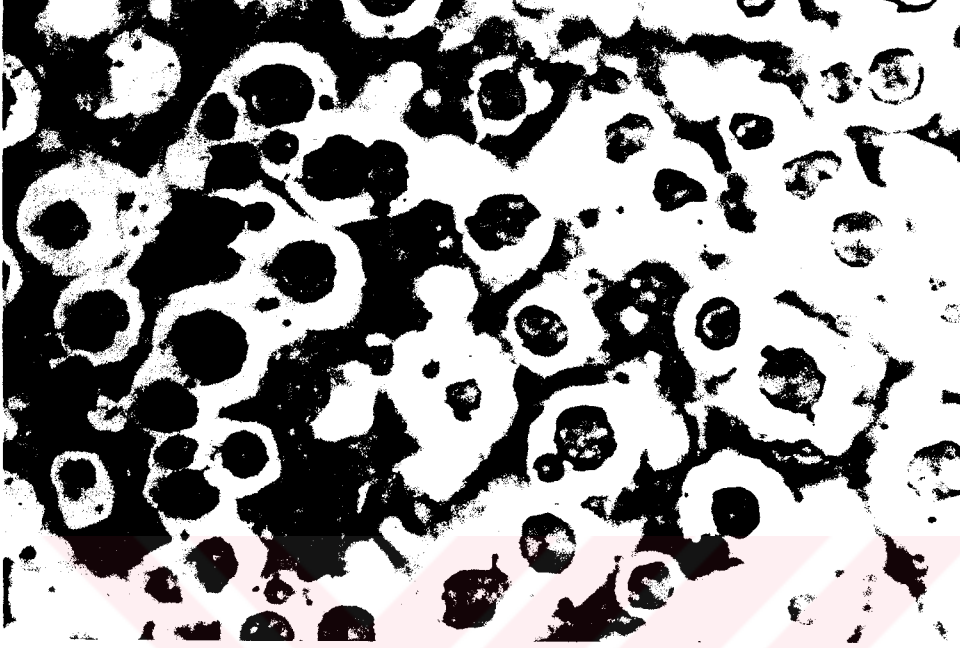


Şekil 7.36. Geçiş bölgesinin mikro yapısı (ferrit, ince ve kaba perlit, sementit, grafit) X150

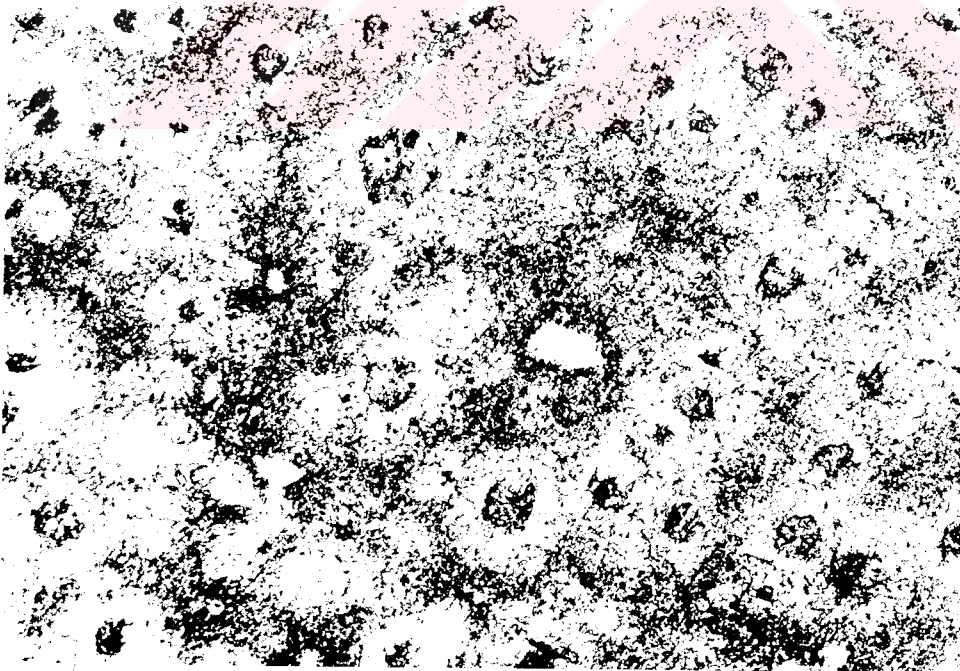


Şekil 7.37. Kaynak metali bölgesinin mikro yapısı (ferrit, perlit, grafit) X75

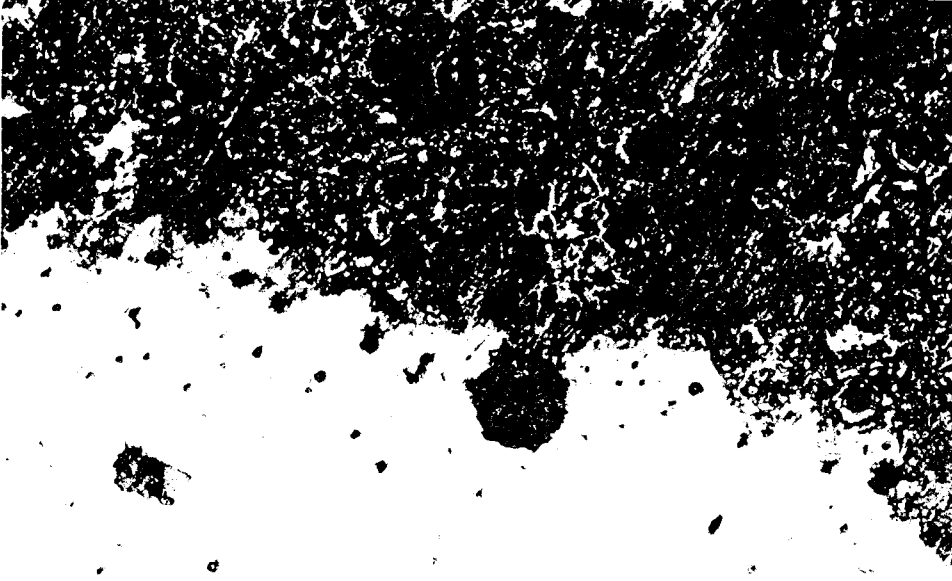
### 7.6.3. 500<sup>0</sup>C ön tav sıcaklığındaki sonuçlar



Şekil 7.38. Ana malzemenin mikro yapısı (ferrit, perlit ve grafit) X150



Şekil 7.39. ITAB bölgesinin mikro yapısı (ferrit, ince ve kaba perlit, grafit) X150



Şekil 7.40. Geçiş bölgesinin mikro yapısı (ferrit, ince ve kaba perlit, sementit, grafit) X150



Şekil 7.41. Kaynak metali bölgesinin mikro yapısı (ferrit, perlit, grafit) X75

## 8. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

### 8.1. Çekme Deneyi

Deneyleerde kullanılan numunelerin kimyasal analizleri toplu halde incelendiğinde görüleceği gibi, malzemenin içerisindeki bakır ve karbon elementlerine bağlı olarak mekanik özelliklerde de değişimler meydana geldiği görülmüştür.

Çekme deneyi sonuçları, Çizelge 7.1'in incelenmesinden de görüleceği gibi çekme işlemi iki aşamada yapılmıştır. Parçalar kaynaklı olarak çekme işlemine tabi tutulduğunda A numunesi çekme dayanımının 53,12 kg/mm<sup>2</sup> olduğu, aynı parçaların ön tavlama sonucu çekme dayanımlarının 49,17 - 51,59 kg/mm<sup>2</sup> arasında değiştiği görüldüğü görülmüştür. Az da olsa meydana gelen bu değişim ön tav sıcaklığına ve kullanılan elektrodun içerisindeki alaşım elementlerine bağlı olarak değiştiği düşünülmektedir. % uzamanın da 3 - 5,6 arasında değiştiği görülmektedir. Buna benzer açıklamayı B ve C numuneleri içinde yapmamız mümkündür. C numunesinin kaynaklı parçasındaki ortalama çekme değeri 59.75 kg/mm<sup>2</sup> iken ön tavlama sıcaklığına bağlı olarak çekme dayanımının 53,12 - 55,92 kg/mm<sup>2</sup> % uzamanın ise 3,6 - 6,4 arasında değiştiği görülmektedir. KGDD'lerde kaynak kabiliyetine olumlu yönde etki eden bir diğer neden ise ön tav sıcaklığının ana metal ile kaynak metali arasındaki sıcaklık farkını azaltarak ITAB bölgesindeki oluşabilecek gerilmeleri ez aza indirdiği görülmüştür. Kopmaların kaynak metalinde meydana gelmesi ise kullanılan elektrodun kimyasal yapısına ve sertlik ölçüm değerlerinde de görüldüğü gibi en yumuşak yerin kaynak metali bölgesinde olmasının neden olduğu tahmin edilmektedir.

## 8.2. Sertlik Deneyi

Sertlik sonuçlarına toplu halde bakıldığında ise ısı tesiri altındaki bölgenin sertliğinde ana malzeme ve kaynak metaline göre artış olduğu görülmüştür. Kaynak metalinde artan ön tav sıcaklıklarına bağlı sertlik değerlerinde artış görülmüştür (Çizelge 7.2). ITAB bölgesindeki sertliğin yüksek çıkması kaynak sırasında bu bölgedeki sıcaklığın dönüşüm sıcaklığına kadar yükseldiği ve buna bağlı olarak parçanın soğuması sırasında bu bölgedeki dönüşümün diğer bölgelere göre daha hızlı olduğu dolayısıyla yapıda ince perlitin ve sementitin oluştuğu (kır dökme demir mikro yapısı) buna bağlı olarak da bu bölgedeki sertlik değerlerinin arttığı görülmüştür. Örneğin A numunesindeki bakır oranı %0,018 C numunesindeki bakır oranı %0,305 her iki parçanın da 500<sup>0</sup>C ön tavlama işlemi uygulandıktan sonra sertlik değerleri sırası ile 37 - 39,4 Rc olduğu görülmektedir. Buradaki 2,4 Rc'lik farkın malzeme içerisindeki bakır ve karbon oranlarına bağlı olarak arttığı tahmin edilmektedir (Çizelge 6.1).

## 8.3. Nufuziyet

Bütün kaynak işlemlerinde olduğu gibi ön tav sıcaklığının artışıyla nufuziyet artmaktadır. Yapılan çalışmalarda da nufuziyet ön tav sıcaklığına bağlı olarak artış göstermiştir. En fazla (derin) nufuziyet %0.305 Cu içeren numunenin 500<sup>0</sup>C'deki ön tav sıcaklığında elde edilmiştir.

## 8.4. Mikro Yapı

Yapılan mikro yapı incelemelerinde düşük ön tav sıcaklıklarında kaynak metali ile ana metal arasındaki karışım oranlarının az olduğu görülmektedir. Arıca geçiş

bölgesinin de düşük ön tav sıcaklığında daha dar olduğu görülmektedir. Ön tav sıcaklığının artışıyla kaynak metaline ana malzeme karışımının daha homojen olduğu görülmüştür. Ferritik dokudaki malzemenin ITAB bölgesinde perlit oluşumunun perlitik dokudaki malzemelere göre daha fazla olduğu gözlenmiştir. Ayrıca geçiş bölgesinde özellikle düşük ön tav sıcaklıklarında olumsuz yapıların meydana geldiği, sıcaklık artışıyla olumsuz yapılarda bir azalma olduğu görülmektedir. Düşük ön tav sıcaklıklarında, ITAB bölgesinde sementitin ( $Fe_3C$ ) ve ince perlitin oluştuğu görülmekte yani tipik bir beyaz dökme demir yapısı oluşmaktadır. Sıcaklık artışıyla bu yapılarda azalma meydana geldiği tespit edilmiştir. Yapılan mikro yapı taramaları literatürü desteklemektedir.



## 9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 9.1. Sonuçlar

Yapılan çalışmalar neticesinde nikel esaslı elektrodlarla yapılan kaynak işlemlerinde ITAB bölgelerinin sertliği ana malzeme ve kaynak metaline göre daha sert, dolayısıyla bu bölgede sementitin ve kompleks yapı diğer bölgelere göre daha fazladır. Artan ön tav sıcaklığıyla malzemelerin çekme dayanımlarında artış olduğu ve bu artışın ferritik dokudaki KGDD'lerde %98 olarak ana malzemenin çekme dayanımına yaklaştığı görülmüştür.

Sertlik deneylerinden elde edilen verilere göre ön tav sıcaklığının artışıyla ITAB'ın sertliğinin azaldığı görülmüştür. ITAB'daki sertlikteki azalmanın diğer bir sebebi de kontrollü soğutmadır. Elde edilen verilerle literatürler birbirlerini doğrulamaktadır.

### 9.2.Öneriler

KGDD'lere uygulanan kaynak işlemi birleştirme işlemi değildir sadece tamir-bakım işlemidir. Tamir-bakım işlemleri süreklilik göstermeyen geçici işlemlerdir. Tamir ve bakım işlemlerin de nikel esaslı elektrodlar çok iyi neticeler vermiştir. Yapılan araştırma ve deneyler neticesin de şu hususlar önerilebilir.

1. Ferritik yapıya sahip KGDD'ler için yapılan işlemlerde ITAB genişliği az olduğundan sert bölgenin de genişliği az olacaktır. Bu da işlemeyi kolaylaştıracaktır.
2. Tek pasolu kaynaklarda 500<sup>0</sup> C ön tav sıcaklığı nufuziyet ve işlenebilirlik açısından uygun olacaktır.

3. Perlitik yapıya sahip KGDD'lerin nufuziyet derinlikleri ferritik yapıdaki KGDD'lerinkinden daha fazla olduğundan birleştirme işlemlerinde perlitik KGDD'lerin kullanılması önerilir.
4. Kaynak metali içindeki karbonun çoğunun küresel grafitte dönüşmesinden dolayı kaynak işlemlerinde E NiFe-CI kaynak elektrodunun kullanılması önerilir.
5. Gerekli mukavemet ve kaynak sonrası işleme için ön tav sıcaklığının en az 450<sup>0</sup> C olmalıdır.
6. Kaynak sonrası gerilmeleri önlemek için kontrollü ve hava sirkülasyonunun olmadığı bir ortamın oluşturulması gerekir.



## KAYNAKLAR

1. Elliot, R., 1988, Cast Irons Technology, **BUTTERWORDHS**, London.
2. Karsay, S.I., 1985, Ductile Iron Production practices, **AFS**, USA.
3. Ersümer, A., Şen, Y., 1972, Genel Dökümcülük, **İTÜ**, İstanbul.
4. Ersümer, A., Uzunova, T. 1971, Demir Döküm, **İTÜ**, İstanbul.
5. Lancaster, J.F., 1993, Metallurgy Of Welding, **CHAPMAN&HALL**, 239-241, London.
6. Aras, N., 1970, Küresel grafitli demir dökümü, **M.M.O.**, 124-136, Ankara.
7. Ertürk, İ., Mayıs 1985, Tamir Bakım Kaynağı, **SEGEM**, Ankara.
8. Sacks, R.J., 1981, Welding: Principles And Practices, **GLENCOE**, 101, USA.
9. Flinn, B., Jones, J.E., Frost, R.H., 1986 Fatigue properties of welds of nodular cast iron to steel, **AFS Transactions**, 879-888.
10. ASM Handbook Comminute, May 1992, ASM Handbook (Processing of Casting), **ASM**, V15, 527-533, 664.
11. Karaaslan, A., Ebner, R., Brandstatter, E., 1997, Laser beam weldability of the material combination nodular cast iron (GGG40, GGG50, GGG60) case

hardening steel (16MnCr5), **Ulus. Met. ve Malz. Kon.**, 943-950, İstanbul.

12. Karsay, S.I., 1976, Ductile Iron I Production, **QIT**, USA.

13. Çetinkaya, C., 1998, Demir dışı metallerin kaynağı ders notu, Ankara.

14. ANONYMOUS, Dökme demirlerin kaynağı, gedik teknik yayınları

15. Tülbentçi, K., Ekim 1986, Dökme Demir Kaynağı, **SEGEM** Ankara.

16. Deveci, K., 1975, Teknoloji ve İmal Usulleri, Ankara.

17. Anık, S., Tülbentçi, K., Kaluç, E., 1987, Ark Kaynakcısının El Kitabı, **BÖHLER**, İstanbul.

18. Yiğit, Ş., 1988, Örtülü Elektrod Ark Kaynakları ve Uygulamaları, **T.C. Devlet Bakanlığı**, Ankara.

19. Harper, J.D., çeviri Şendöner, A. İkizer, B. Temmuz 1980, Küresel Grafitli Dökme Demir Üretimi, **SEGEM**, Ankara.

20. Anayurt, M., Ferizoğlu, T., Nisan 1994, Dökme Demir Teknolojisi, **KOSGEB**, 113-159 Ankara.

21. Çavuşoğlu, E.N., 1981, Döküm Teknolojisi, **İTÜ**, İstanbul.

22. İzgiz, S., Mayıs 1987, Küresel Grafitli Dökme Demir Üretimi, **SEGEM**,

Ankara.

23. Heine, R.W., Rosenthal, P.C., 1955, Principles Of Metal Casting, ISE, 408-517.

24. ANONYMOUS, TS 526, Eylül 1977, Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Genel Esasları, TSE, Ankara.

25. Voigt, R.C., Loper, C.R., 1986, Welding Metallurgy Of Gray And Ductile Irons, AFS Transactions, 133-146.

26. Basak, A., Sastry, B.V.S.K., 1996, Welding And Brazing Characteristics Of Austempered Ductile Irons, AFS Transactions, 517-521.

27. Oğuz, B. Temmuz 1989, Ark Kaynak El Kitabı, İstanbul.

28. Yigit, Ş., 1988, Örtülü Elektrod Ark Kaynakları, T.C. Devlet Bakanlığı, Ankara.

29. Mayıs 1997, Askaynak Kobatek Ürün Kataloğu, ECZACIBAŞI, İstanbul.

30. Medana, R., Natale, E., Remondino, M.S., 1978, High Strength Welding Of Ductile Iron Castings, AFS Transactions, 611-616.

31. Yükler, A.İ., Kaynak Metali, M.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi, İstanbul.

32. Easterling, K. 1983, Introduction To The Physical Metallurgy Of Welding,

**BUTTERWORDHS**, London.

33. 1981, Welding Handbook Fundamentals Of Welding, **AWS**, V1, 124-126,  
Florida.

34. Gourd, L.M., 1986, Principles Of Welding Technology, 20-21.

35. Beeley, P.R., 1972, Foundry Technology, **BUTTERWORDHS**, London.



## ÖZGEÇMİŞ

1972'de Hatay'ın İskenderun ilçesinde doğdu. İlk ve orta dereceli öğrenimini Hatay'ın Belen ilçesinde tamamladı. 1988 yılında İskenderun Teknik ve Endüstri Meslek Lisesinden mezun oldu. 1990 yılında G.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi Model Anabilim Dalını kazandı ve 1994 bahar döneminde mezun oldu. Ekim 1995 tarihinde mezun olduğu fakültede Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı ve halen aynı görevini sürdürmektedir. İki yıllık evli ve bir çocuk babasıdır.



**Y.C. YÜZBAŞI**  
DOKÜMANLAR  
2018