

**ARK KAYNAĞI YÖNTEMLERİNDE KAYNAK HIZININ
MİKROYAPI VE NÜFUZİYETE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Ahmet DURGUTLU

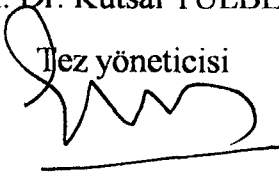
**YÜKSEK LİSANS TEZİ
METAL EĞİTİMİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

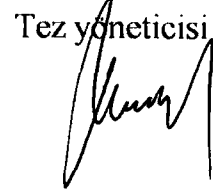
**Kasım 1997
ANKARA**

Ahmet DURGUTLU tarafından hazırlanan ARK KAYNAĞINDA (MANUEL, MIG-MAG, TOZALTI) KAYNAK HIZININ-MİKROYAPI VE NÜFUZİYETE ETKİSİNİN İNCELENMESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarız.

Prof. Dr. Kutsal TÜLBENTÇİ

Tez yöneticisi


Yrd.Doç.Dr. Behçet GÜLENC'

Tez yöneticisi


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

Başkan : Prof. Dr. Kutsal TÜLBENTÇİ



Üye : Doç. Dr. Erdinç KALUÇ



Üye : Doç. Dr. Mehmet TÜRKER



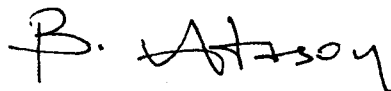
Üye : Yrd. Doç. Dr. Behçet GÜLENC'



Üye : Yrd. Doç. Dr. Adem KURT



Bu Tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına Uygundur.

B. Atsoy


İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	iv
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	x
1. GİRİŞ.....	1
2. ARK KAYNAK YÖNTEMLERİ	4
2.1. Örtülü Elektrod İle Elektrik Ark Kaynağı	5
2.1.1. Örtülü elektrodlar	5
2.1.2. Örtü maddesi	6
2.1.3. Örtü çeşitleri	7
2.1.3.1. Rutil elektrodlar	8
2.1.4. Kaynak makinaları.....	9
2.1.4.1. Doğru akım kaynak makinaları	9
2.1.4.2. Alternatif akım kaynak makinaları	10
2.2. MIG-MAG Kaynağı.....	10
2.2.1. MIG-MAG kaynağı akım üreteçleri	11
2.2.2. MIG-MAG kaynağında kullanılan koruyucu gazlar	14
2.2.2.1. Karbondioksit (CO ₂)	14
2.2.3. Koruyucu gazın görevleri	15
2.2.4. MIG-MAG kaynağı tel elektrodları	19
2.2.5. MIG-MAG kaynağı kaynak parametreleri.....	20
2.3. Tozaltı Ark Kaynağı	23

2.3.1. Tozaltı ark kaynağının prensibi	24
2.3.2. Tozaltı kaynağında dikişin formuna tesir eden faktörler	25
2.3.3. Tozaltı kaynağında kullanılan kaynak telleri	27
2.3.4. Tozaltı kaynağında kullanılan kaynak tozları	29
2.3.4.1. Kaynak tozlarının sınıflandırılması.....	30
2.3.4.2. Kaynak tozundan beklenen özellikler	31
 3. KAYNAK BÖLGELERİ.....	 32
3.1. Erime Bölgesi	32
3.2. Isının Tesiri Altında Kalan Bölge (ITAB).....	32
3.3. Kaynak Isısının ve Isı Dağılımının Kaynak Bölgesine Etkisi.....	36
 4. KAYNAK METALİ	 41
4.1. Kaynak Metali ve Katılaşmasının Özellikleri.....	41
4.2. Ergitme Kaynağında Kaynak Metalinin Katılaşması	42
4.3. Kaynak Metali Epitaksiyel Katılaşması.....	45
4.4. Kaynak Metalinde Hücresel ve Dendritik Katılaşma	47
4.5. Kaynak metali Isı Girdisi.....	50
4.6. Kaynak Metali Soğuma Süresi ($\Delta t_{8/5}$)	52
4.7. Kaynak Metali Mikroyapısı	54
4.8. Kaynak Metali Alanı.....	56
4.9. Kaynak Hızı	59
4.9.1. Kaynak hızının nüfuziyete etkisi	59
4.9.2. Kaynak hızının kristal büyümesine etkisi.....	61
4.9.3. Kaynak hızının kaynak metali şekline etkisi.....	63
 5. DENEYSEL ÇALIŞMA	 65
5.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler.....	65
5.1.1. Ana malzeme	65

5.1.2. Tel elektrodlar	66
5.1.3. Kaynak metalinin korunması	67
5.2. Deney Donanımı	68
5.2.1. Otomatik araba	69
5.3. Deneylerin Yapılışı	70
5.4. Kaynaklı Parçalardan Deney Numunelerinin Çıkartılması	71
5.4.1. Mikroyapı numuneleri	72
5.4.2. Nüfuziyet profili numuneleri	74
5.4.3. Sertlik deneyi numuneleri	74
6. DENEY SONUÇLARI	75
6.1. Kaynak Hızına Bağlı Olarak Nüfuziyetin Belirlenmesi	75
6.1.1. Manuel ark kaynağında kaynak hızının nüfuziyete etkisi	75
6.1.2. Gazaltı ark kaynağında kaynak hızının nüfuziyete etkisi	77
6.1.3. Tozaltı ark kaynağında kaynak hızının nüfuziyete etkisi	79
6.2. Kaynak Hızının Kaynak Metali Sertliğine Etkisi	81
6.3. Kaynak Hızına Bağlı Olarak Isı Girdisi Sonuçları	85
6.4. Kaynak Hızına Bağlı Olarak Mikroyapı Sonuçları	89
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	109
7.1. Kaynak Hızı ile Nüfuziyet İlişkisi	109
7.2. Kaynak Hızı İle Kaynak Metali Sertliğinin İlişkisi	111
7.3. Kaynak Hızı İle Isı Girdisinin İlişkisi	112
7.4. Kaynak Hızı İle Mikroyapının İlişkisi	114
7.5. Öneriler	118
KAYNAKLAR	119
ÖZGEÇMİŞ	124

**ARK KAYNAĞINDA (MANUEL-MAG- TOZALTI) KAYNAK HIZININ
MİKROYAPI VE NÜFUZİYETE ETKİSİ
(Yüksek lisans tezi)**

Ahmet DURGUTLU

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KASIM 1997**

ÖZET

Bu çalışmada, Gazaltı(MAG), Tozaltı ve Manuel ark kaynaklarında kaynak hızının mikroyapı ve nüfuziyete etkisi araştırılmıştır. Deney çalışmaları esnasında, sadece kaynak hızının etkisini görmek amacıyla kaynak hızı dışındaki bütün parametreler sabit tutulmuş ve değişik kaynak hızları kullanılmıştır. Kullanılan kaynak hızları ile, kaynak metali mikroyapısındaki değişiklikler, nüfuziyet profilleri, kaynak metallerindeki sertlik değişimleri, kaynak metali ısı girdisi değişimleri arasındaki ilişkiler tespit edilmiştir. Kaynak hızının artmasıyla beraber kaynak metali sertliğinin arttığı ve ısı girdisinin düştüğü belirlenmiştir. Kaynak hızının optimum değerden daha az veya daha fazla olması durumlarında nüfuziyetin azaldığı gözlenmiştir. Düşük kaynak hızlarında, dikiş kenarlarında kaynak metali yığılmaları ve yüksek hızlarda ise dikiş kenarlarında yanma oluklarının olduğu belirlenmiştir. Kaynak hızının düşük olduğu durumlarda, kaynak metali mikroyapısının daha kaba, yüksek hızlarda ise kaynak metali mikroyapısının daha ince tanelerden meydana geldiği tespit edilmiştir.

Bilim kodu : 225.04.01

Anahtar kelimeler : Ark Kaynağı, Kaynak Hızı, Nüfuziyet, Mikroyapı, Sertlik,
Isı Girdisi

Sayfa adedi : 124

Tez yöneticileri : Prof. Dr. Kutsal TÜLBENTÇİ

Yrd.Doç.Dr. Behçet GÜLENÇ

***THE EFFECT OF WELDING SPEED ON THE MICROSTRUCTURE
AND PENETRATION IN ARC WELDING (MAW-GMAW-SMAW)
(M.Sc. Thesis)***

Ahmet DURGUTLU

***GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
NOVEMBER 1997***

ABSTRACT

In this study, the effect of welding speed on the microstructure and penetration in MAG, SMAW and MMA welding has been investigated. To determine the effect of welding speed, all parameters were kept constant but various welding speeds were used. The relationships between welding speeds, and changes in hardness, microstructure of weld metals, penetration profiles, changes in heat input to weld metal were determined. Increasing welding speed resulted in increasing hardness of weld metal and resulted in decreasing the heat input. It was observed that when the welding speed was lower or higher than optimum speed the penetration decreased. It was determined that when the welding speed is high, under cuttings occurred at the edge of welding bead and microstructure of weld metals consisted of fine grains, but when the welding speed is low, at the edge of welding bead weld metal piled up and microstructure of weld metal consisted of large grains.

Science code : 225.04.01

Key words : Arc Welding, Welding speed, Penetration, Microstructure,
Hardnes, Heat Input.

Page number : 124

Advisers : Prof.Dr. Kutsal TÜLBENTÇİ
Asist.Prof.Dr. Behçet GÜLENÇ

TEŞEKKÜR

Tez konusunun tespiti, literatür araştırması, deney parametrelerinin belirlenmesi, deneylerin yapılması çalışmalarında yardımlarını ve yakın ilgilerini esirgemeyen, değerli fikirlerinden faydalandığım hocalarım sayın Prof.Dr. Kusal TÜLBENTÇİ ve Yrd.Doç.Dr. Behçet GÜLENÇ'e sonsuz şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmasının her safhasında değerli fikir ve yardımlarından faydalandığım Sayın Doç.Dr. Mehmet TÜRKER'e, mikroyapı fotoğraflarının çekilmesinde yardımlarını esirgemeyen Türk Traktör fabrikası eğitimcisi Sayın Osman YAVUZ'a, fotoğrafların tab edilmesi esnasında büyük yardımları olan Fatih KARATAŞOĞLU'na, grafiklerin çizilmesinde yardımlarını esirgemeyen Arş.Gör. Bilge DEMİR'e Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü Öğretim Elemanlarına ve Teknisyenlerine teşekkürlerimi sunarım.

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Özsüz tel elektrodların kimyasal bileşimi	19
Çizelge 2.2. Özsüz tel elektrodların ölçüleri	20
Çizelge 2.3. MIG-MAG kaynağında kaynak parametrelerinin dikiş boyutlarına etkisi	22
Çizelge 2.4. Tozaltı ark kaynak parametrelerinin dikiş şekli üzerindeki etkileri	27
Çizelge 2.5. DIN 668'e göre kaynak tellerinin ölçüleri	28
Çizelge 2.6. TS 5387'ye göre kaynak tellerinin kimyasal bileşimleri....	29
Çizelge 5.1. Ana malzemenin kimyasal kompozisyonu	65
Çizelge 5.2. Değişik kaynak yöntemlerine göre kaynak hızları	66
Çizelge 5.3. SG2 kaynak telinin kimyasal bileşimi	66
Çizelge 5.4. OE-S1 kaynak telinin kimyasal bileşimi	67
Çizelge 5.5. Rutil tip kaynak elektrodu kimyasal bileşimi	67
Çizelge 6.1. Manuel ark kaynağında kaynak hızı-nüfuziyet ilişkisi	75
Çizelge 6.2. Gazaltı ark kaynağında kaynak hızı- nüfuziyet ilişkisi	77
Çizelge 6.3. Tozaltı ark kaynağında kaynak hızı-nüfuziyet ilişkisi.....	79
Çizelge 6.4. Manuel ark kaynağında kaynak hızının kaynak metali sertliğine etkisi	82
Çizelge 6.5. Gazaltı (MAG) ark kaynağında kaynak hızının kaynak metali sertliğine etkisi	83
Çizelge 6.6. Tozaltı ark kaynağında kaynak hızının kaynak metali sertliğine etkisi	84
Çizelge 6.7. Manuel ark kaynağındaki kaynak hızı-ısı girdisi sonuçları	86

Çizelge 6.8. Gazaltı (MAG) ark kaynağındaki kaynak hızı-ısı girdisi
sonuçları 87

Çizelge 6.9. Tozaltı ark kaynağındaki kaynak hızı-ısı girdisi
sonuçları 88



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Elektrik arkının oluşumu	4
Şekil 2.2. Örtülü elektrod ile ark kaynağında kaynak bölgesi.....	5
Şekil 2.3. MIG-MAG kaynak donanımı şeması.....	11
Şekil 2.4. Yatay karakteristiğe sahip bir makinanın I-V ilişkisi.....	12
Şekil 2.5. Ark uzunluğunun içten ayar yardımı ile ayarlanması.....	13
Şekil 2.6. Koruyucu gazın kaynak bölgesine etkileri	16
Şekil 2.7. Çeşitli gaz ve karışımlarına ait dikiş formları	17
Şekil 2.8. Tozaltı ark kaynağı yönteminin şematik olarak gösterilişi.....	24
Şekil 2.9. İç ve dış dikiş formunun şematik gösterilişi.....	29
Şekil 3.1. Isıdan etkilenen bölgenin sınırları	33
Şekil 3.2. ITAB ve demir-karbon denge diyagramı arasındaki ilişki.....	34
Şekil 3.3. Farklı malzemelerin aynı kaynak parametreleri ile kaynak edilmesi sonucunda kaynak bölgesindeki sıcaklık eğrileri.....	36
Şekil 3.4. Alaşımsız çeliklerde kaynak hızının kaynak bölgesi ısı dağılımına etkisi	37
Şekil 3.5. Parça kalınlığının kaynak bölgesi ısı dağılımına etkisi.....	38
Şekil 3.6. Kaynak merkezi çizgisine belirli mesafedeki sıcaklık değişimleri	38
Şekil 3.7. Parça kalınlığının soğuma hızına etkisi.....	39
Şekil 4.1. Ergiyik metal havuzu	42
Şekil 4.2. Kaynak metali katılaşmasında dendritlerin oluşumu	43
Şekil 4.3. Kaynak metali ve döküm katılaşmasında serbest enerji değişimi.....	44
Şekil 4.4. Kaynak metali ve esas metalin birleşme yüzeyi mikro yapısı	45

Şekil 4.5. Ana metalin ergime sınırında epitaksiyel katılaşma ve heterojen çekirdekleşmenin oluşumu	46
Şekil 4.6. Katılaşma esnasındaki mikroyapı çeşitleri	48
Şekil 4.7. Düzlemsel bir ara yüzeyde yapısal aşırı soğuma ile yumru büyümesi	48
Şekil 4.8. Katılaşma esnasında düzlemsel büyüme	49
Şekil 4.9. Katılaşma esnasında hücrel büyüme	49
Şekil 4.10. Katılaşmanın sütunsal-dendritler olarak büyümesi	50
Şekil 4.11. Sıvı metalde oluşan eşeksenel dendrit.....	50
Şekil 4.12. Örtülü elektrod ark kaynağında kaynak ısı enerjisinin kaynak bölgesi boyutlarına tesiri	51
Şekil 4.13. $\Delta t_{8/5}$ süresinin gösterilişi.....	52
Şekil 4.14. Düşük karbonlu çelik kaynak metalinde soğuma hızına bağlı olarak oluşabilecek mikroyapılar	53
Şekil 4.15. Kaynak metalinde kolonsal martenzit oluşumu.....	54
Şekil 4.16. Kaynak metali bölgesinde oluşan değişik mikroyapılar.....	55
Şekil 4.17. Kaynak metali kesit alanı ile akma gerilmesinin değişimi	57
Şekil 4.18. Kaynak parametrelerine bağlı olarak kaynak metali kesit alanını hesaplama diyagramı	58
Şekil 4.19. Kaynak hızının nüfuziyete etkisi	60
Şekil 4.20. Kaynak hızı ve pozisyonunun nüfuziyete etkisi	60
Şekil 4.21. Kaynak hızı ve kristal büyümesi arasındaki ilişki.....	61
Şekil 4.22. Kaynak esnasında kristallerin sürekli büyümeleri.....	62
Şekil 4.23. Kristal büyüme hızının kaynak ilerleme hızı ile değişimi	63
Şekil 4.24. Kaynak hızının kaynak metali şekline etkisi	64
Şekil 5.1. Kaynak dikişi çekilecek ana malzeme	65
Şekil 5.2. Gazaltı kaynağı deney donanımı.....	68

Şekil 5.3. Otomatik araba.....	69
Şekil 5.4. Kaynaklı parçadan deney numunelerinin çıkarılışı.....	72
Şekil 5.5. I.tip mikroyapı numunesi.....	72
Şekil 5.6. II.tip mikroyapı numunesi.....	73
Şekil 5.7. III.tip mikroyapı numunesi.....	73
Şekil 6.1. Kaynak hızı-nüfuziyet ilişkisi.....	76
Şekil 6.2. Manuel ark kaynağı nüfuziyet profilleri.....	76
Şekil 6.3. Kaynak hızı-nüfuziyet ilişkisi.....	78
Şekil 6.4. Gazaltı ark kaynağı nüfuziyet profilleri.....	78
Şekil 6.5. Kaynak hızı-nüfuziyet ilişkisi.....	80
Şekil 6.6. Tozaltı ark kaynağı nüfuziyet profilleri.....	80
Şekil 6.7. Manuel ark kaynağında kaynak hızı-kaynak metali sertliği ilişkisi.....	82
Şekil 6.8. Gazaltı (MAG) ark kaynağında kaynak hızı-kaynak metali serliği ilişkisi.....	83
Şekil 6.9. Tozaltı ark kaynağında kaynak hızı-kaynak metali sertliği ilişkisi.....	84
Şekil 6.10. Manuel ark kaynağında kaynak hızı-ısı girdisi ilişkisi.....	86
Şekil 6.11. Gazaltı (MAG) ark kaynağında kaynak hızı-ısı girdisi ilişkisi.....	87
Şekil 6.12. Tozaltı ark kaynağında kaynak hızı-ısı girdisi ilişkisi.....	88
Şekil 6.13. Manuel ark kaynağı I.tip deney numunesi mikroyapıları.....	90
Şekil 6.14. Manuel ark kaynağı I.tip deney numunesi mikroyapıları.....	91
Şekil 6.15. Manuel ark kaynağı II.tip deney numunesi mikroyapıları.....	92
Şekil 6.16. Manuel ark kaynağı II.tip deney numunesi mikroyapıları.....	93
Şekil 6.17. Manuel ark kaynağı III.tip deney numunesi mikroyapıları.....	94
Şekil 6.18. Manuel ark kaynağı III.tip deney numunesi mikroyapıları.....	95
Şekil 6.19. Gazaltı ark kaynağı I.tip deney numunesi mikroyapıları.....	96
Şekil 6.20. Gazaltı ark kaynağı I.tip deney numunesi mikroyapıları.....	97

Şekil 6.21. Gazaltı ark kaynağı I.tip deney numunesi mikroyapıları.....	98
Şekil 6.22. Gazaltı ark kaynağı II.tip deney numunesi mikroyapıları	99
Şekil 6.23. Gazaltı ark kaynağı II.tip deney numunesi mikroyapıları.....	100
Şekil 6.24. Gazaltı ark kaynağı II.tip deney numunesi mikroyapıları.....	101
Şekil 6.25. Gazaltı ark kaynağı III.tip deney numunesi mikroyapıları.....	102
Şekil 6.26. Gazaltı ark kaynağı III.tip deney numunesi mikroyapıları.....	103
Şekil 6.27. Gazaltı ark kaynağı III.tip deney numunesi mikroyapıları.....	104
Şekil 6.28. Tozaltı ark kaynağı I.tip deney numunesi mikroyapıları.....	105
Şekil 6.29. Tozaltı ark kaynağı I.tip deney numunesi mikroyapıları.....	106
Şekil 6.30. Tozaltı ark kaynağı II.tip deney numunesi mikroyapıları.....	107
Şekil 6.31. Tozaltı ark kaynağı III.tip deney numunesi mikroyapıları.....	108

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış, fakat tez metni içinde açıklanmamış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

<i>Simgeler</i>	<i>Açıklamalar</i>
MIG	Metal Inert Gas
MAG	Metal Active Gas
ITAB	Isının Tesiri Altında Kalan Bölge
V	Volt
I	Amper
SG 1	Gazaltı kaynak teli (SG kodlu)
γ_{ML}	Ana metal-sıvı yüzey enerjisi
γ_{SL}	Katı kaynak metali-sıvı yüzey enerjisi
γ_{SM}	Katı kaynak metali-ana metal yüzey enerjisi
v	Kaynak ilerleme hızı
ψ	Islatma açısı
G	Sıcaklık gradyanı
R	Kristal büyüme oranı
$\Delta t_{8/5}$	Kaynak metali soğuma süresi
T_1	Sıcaklık değişimi
Q	Vektörler arası açı
r	Çekirdek yarı çapı
t	Nüfuziyet
b	Erime genişliği
h	Dikiş yüksekliği

1. GİRİŞ

Kaynaklı birleştirmenin, istenen mekanik özellikleri yerine getirebilmesi için kaynak metali ve ITAB'ın ana malzemeye uyum sağlaması gerekmektedir. 1800'lü yıllardan günümüze kadar geliştirilen kaynak yöntemleri ile ideale yakın kaynak metalleri elde edilmiştir.

Demir ve alaşımlarının ark kaynağında en yaygın kullanılan yöntemler, manuel ark (örtülü elektrod ile), MAG ve tozaltı ark kaynağı olması sebebiyle çalışmamızda bu yöntemler kullanılmıştır.

Manuel ark kaynağında güvenilir bir kaynak eki için yetişmiş elemanlara ihtiyaç vardır. Bazı durumlarda yetişmiş elemanın olması bile yeterli olmamaktadır. Bu yöntemin dezavantajı düşük kaynak hızı ve düşük metal kazanımıdır [1].

Manuel ark kaynağında işlemin yavaşlığı, elektrod değişimi ve curuf temizliğinden dolayı harcanan zaman fazladır. Ayrıca koçan kayıpları ve sıçrama, verimi düşürmektedir. Buna rağmen özellikle ülkemizde halen çok yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Karbondiyoksit gazı ile kullanılan kaynak tellerinin geliştirilmesinden sonra MAG kaynağı 1960'lı yıllardan sonra Amerika ve Batı Avrupa ülkelerinde yaygın kullanım alanı bulmuş, son yıllarda ülkemizde de imalat sanayiinde geniş bir yayılma göstermiştir [2].

CO₂ gazının yerini karışım gazların alması ile birlikte sıçrama kayıplarının azalması, dikiş görünümünün iyileşmesi, gözeneklerin azalması, kaynak hızının yükselmesi ve metal kazanımının artması, MAG kaynağını hakettiği yere getirmiştir. Batı Avrupa ülkelerinde, tüketilen kaynak metali açısından

1984 yılında yapılan araştırmada MIG-MAG kaynağının payı % 60'lara çıkmıştır. Bu gelişmelerin sebebini şu noktalara bağlayabiliriz [2].

- 1) Yüksek ergime gücü
- 2) Yüksek iş yapma zamanı
- 3) Yöntemin mekanize edilebilmesi
- 4) Robot kullanımlarına uygunluğu

Derin nüfuziyet, yüksek kaynak hızı, yüksek metal kazanımı, nitelikli kaynak metali, vs. gibi özelliklerinden dolayı özellikle kalın kesitli genel yapı çeliklerinde tozaltı kaynağı her zaman aranan bir yöntem olmuştur. 1937'li yıllardan bu yana kaliteli bir birleştirme için tercih edilmiştir.

Tozaltı ark kaynağının avantajlarının yanında, yatay pozisyonların dışında kullanımının zorluğu veya özel önlem gerektirmesi, yalnız otomatik olarak kullanımı bir dezavantaj olarak karşımıza çıkmıştır. Tozların iyi korunmasının zorluğu, ilk yatırım maliyeti gibi dezavantajları imalat sanayiinde kullanımı sınırlandırmıştır.

Ark kaynaklarında, yöntemin karakterine bağlı olarak kaynak metali ve ITAB'ın özellikleride değişmektedir. Kaynak hızına bağlı olarak kaynak metali alanı ve ITAB'ın genişliği değişmektedir. Meydana gelen bu değişiklikten dolayı kaynaklı bölgenin mekanik özellikleri etkilenmektedir. Aynı şekilde kaynak metalindeki tanelerin yönü, büyüklüğü ve yapısı, mekanik özelliklerde değişmelere sebep olmaktadır. Kaynak metaline etki eden önemli faktörlerden birisi de ergime ve katılaşma mekanizmalarıdır. Ergime ve katılaşma mekanizmalarına en belirgin etki ısı girdisi tarafından yapılmaktadır. Isı girdisine etki eden faktörlerin başında kaynak hızı gelmektedir.

Yapılan bu çalışmada manuel ark, MAG ve tozaltı ark kaynağında kaynak hızının nüfuziyete ve mikroyapıya etkisi araştırılmıştır. Deneyler esnasında

sadece kaynak hızının etkisini incelemek amacıyla kaynak hızı dışındaki diğer bütün kaynak parametreleri sabit tutulmuştur.

Değişik kaynak hızlarında kaynak metalleri elde edilmiş, elde edilen numunelerden nüfuziyet profili ve mikroyapı fotoğrafları çekilmiştir. Çalışmada ayrıca kaynak hızının ısı girdisine ve kaynak metali sertliğine etkileride incelenmiştir.



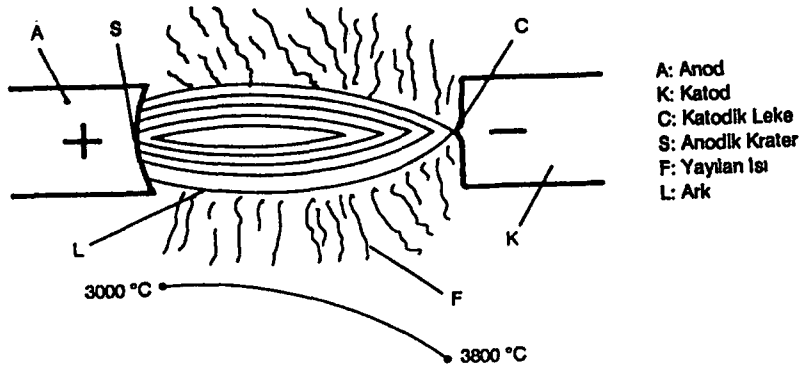
2. ARK KAYNAK YÖNTEMLERİ

Kaynak; birbirinin aynı veya erime aralıkları birbirine yakın iki veya daha fazla metalik veya termoplastik parçayı ısı, basınç veya her ikisini bir arada kullanarak aynı türden bir malzeme katarak veya katmadan birleştirmektir.

Metallerin kaynak yöntemleri, uygulanan enerjinin şiddeti ve türüne göre eritme kaynağı, basınç kaynağı, soğuk basınç kaynağı olarak sınıflandırılabilir. Çalışmalarımızda ark ergitme kaynaklarından manuel ark, MİG-MAG ve toz altı kaynak yöntemleri kullanılmıştır.

Ark eritme kaynaklarında metal malzeme, yalnız ark sıcaklığının etkisiyle yerel olarak ek kaynak metali ile birlikte eritilip birleştirilir. Elektrik ark kaynaklarında kaynak için gerekli ısı elektrik arkı tarafından sağlanır. Kaynak bölgesini doldurmak için gerekli ilave kaynak metalinin kaynak bölgesine aktarılması ve kaynak banyosunun havanın olumsuz etkilerinden korunması biçimlerine göre çeşitli ark kaynak yöntemleri geliştirilmiştir. Günümüzde en fazla ark kaynak yöntemleri kullanılmaktadır.

Elektrik ark kaynağında arkın oluşumu Şekil 2.1.'de şematik olarak gösterilmiştir [3].

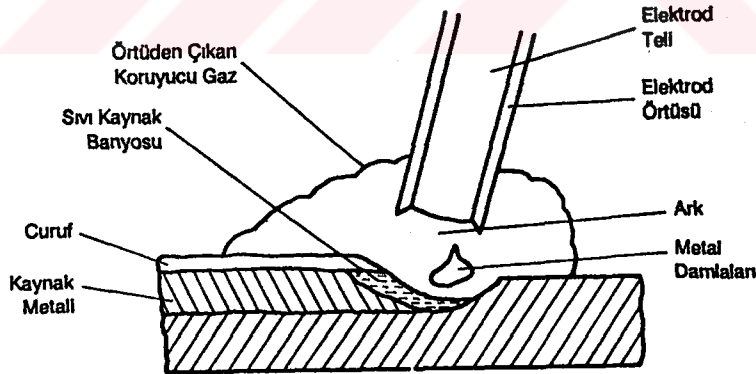


Şekil 2.1. Elektrik arkının oluşumu [3]

2.1. Örtülü Elektrod İle Elektrik Ark Kaynağı

Örtülü elektrod ile ark kaynağı 1904 yılından sonra çıplak tel etrafına kaplanan maddelerin koruyuculuk görevi üstlenmesi ile önem kazanmıştır. Daha sonraki yıllarda örtü maddelerine katılan elemanların sağladığı faydalar ile ark daha kolay oluşmuş ve problemsiz kaynaklar yapılmaya başlanmıştır.

Örtülü elektrod ile elektrik ark kaynağında ark, iş parçası ile eriyen elektrod arasında oluşur ve böylece eriyen elektrod kaynak metali haline geçer. Ark ile birlikte elektrod örtüsü de ısıdan dolayı yanarak erir ve erime esnasında açığa çıkan gaz, ark bölgesini atmosferden korur, oluşan curuf da kaynak dikişini örterek kaynak metalinin korunmasını sağlar. Ayrıca elektrodun örtü maddesine katılan alaşım elementleri sayesinde, kaynak dikişini alaşımlandırmak ve istenilen özelliklerde kaynaklı bağlantı elde etmek mümkündür. Örtülü elektrod ile ark kaynağında kaynak bölgesi Şekil 2.2.'deki gibi oluşmaktadır [3].



Şekil 2.2. Örtülü elektrod ile ark kaynağında kaynak bölgesi [3]

2.1.1. Örtülü elektrodlar

Kaynak yöntemlerinin çoğunda elektrik arkı erime için gerekli ısıyı temin ederken bir akıcı dekapan da koruma, temizleme ve çoğu zaman da bunlarla

beraber metalurjik kontrol işlevini yerine getirir. Akıcı (curuf) korumalı ark kaynağının en çok kullanılanı ve pratik olanı örtülü elektrod kullanılarak yapılan metal - ark kaynağıdır.

Örtülü elektrod, çekirdek ve örtü olmak üzere iki kısımdan oluşur. Çekirdek, kaynak metalinin ve akımın geçişini sağlar. Örtü ise, kaynak metalini havanın kötü etkilerinden koruyarak alaşım elementleri sayesinde kaynak dikişini alaşımlandırır ve kaynak dikişinin geç soğumasını sağlar [4].

Örtülü elektrodları örtü kalınlıklarına göre üç kısımda toplamak mümkündür [5].

- a)** İnce örtülü elektrotlar (Elektrod dış çapı, elektrod çubuğu çapının % 120'sine kadar olan elektroddur.)
- b)** Orta örtülü elektrodlar (Elektrod dış çapı, elektrod çubuğu çapının %120'sinden %155'ine kadar olan elektroddur.)
- c)** Kalın örtülü elektrodlar (Elektrod dış çapı, elektrod çubuğu çapının %155'inden büyük olan elektroddur.)

2.1.2. Örtü maddesi

Elektrodların kaynak karakteristikleri tamamen örtünün bileşimine bağlıdır. Kaynak bölgesine yığılan kaynak metali, kaynak dikişinin nufuziyeti ve belirli bir sınıra kadar dikişin bileşimi, örtü maddesi ile kontrol altına alınabilir. Kaynak dikişinin aldığı formun dış bükey veya iç bükey oluşu, yüzeyin düzgünlüğü gibi bazı özelliklerin de örtü maddesinin çeşidi ve miktarı ile ilgili olduğu bilinmektedir. Günümüzde kaynak elektrodları üretiminde en fazla kullanılan elektrod örtü maddelerini şu şekilde sıralamamız mümkündür [3].

- a)** Curuf oluşturan maddeler
- b)** Arkı stabilize eden maddeler

- c) Gaz atmosferi oluşturan maddeler
- d) Ekstrüzyon işlemini kolaylaştıran maddeler
- e) Bağlayıcı maddeler
- f) Örtüye dayanım kazandıran maddeler
- g) Deoksidasyon ve alaşımlama yapan maddeler

Elektrod örtülerinin sağladığı faydalar ise aşağıdaki şekilde sıralanabilir [6].

- a) Arkın tutuşmasını ve oluşmasını kolaylaştırır. Bu sayede doğru akım ve alternatif akımda kaynak yapabilme imkanı sağlar.
- b) Ergiyik haldeki metal damlalarının yüzey gerilimlerine etki ederek tavan ve dikine kaynak işlemlerinin yapılmasına imkan sağlar.
- c) Koruyucu bir gaz atmosferi sağlayarak kaynak dikişini atmosferin olumsuz etkilerinden korur.
- d) Kaynaktan sonra dikişin üzerini kaplayarak yavaş soğumasını sağlar.
- e) Gerekli hallerde dikişi alaşımlandırır.
- f) Erime hızını yükseltip kaynak dikişini deokside eder.

2.1.3. Örtü Çeşitleri

Elektrod örtüleri hazırlanırken, örtü maddeleri belirli oranlarda harmanlanır ve ekstrüzyon veya başka bir yöntemle elektrod çekirdeğine sıvanır. Bu maddelerin birbiriyle harmanlanması sırasında bazı önemli hususlar gözardı edilmemelidir. Her tür elektrod örtüsü için özellikle ana bileşenlerin bazı

oranlar dahilinde kalmaları gerekir. Aksi takdirde elektrod örtüsü kendinden beklenen özellikleri sağlayamayacaktır.

Örtülü elektrodlar, örtülerinde bulunan ana bileşenlerin türüne, asitlik ve bazlık durumuna göre çeşitli gruplara ayrılmaktadırlar [3].

Bunlar;

- a)* Rutil elektrodlar
- b)* Asit elektrodlar
- c)* Oksit elektrodlar
- d)* Bazik elektrodlar
- e)* Selülozik elektrodlar
- f)* Özel elektrodlar

Bu çalışmanın örtülü elektrod kullanılan kısmında sadece rutil elektrod kullanıldığı için yalnız bu elektrodların özellikleri açıklanacaktır.

2.1.3.1. Rutil elektrodlar

Bu elektrodların örtü ağırlığının yaklaşık %35'ni Titandioksit oluşturur. Bunlar az curuf bırakan ve her pozisyonda kaynak yapabilme imkanı sağlayan elektrodlardır. Değişik örtü kalınlıklarında üretilen rutil elektrod-
larda, eriyen kaynak metali, örtü kalınlığı arttıkça incelen damlalar halinde kaynak dikişine geçer. Örtü kalınlığı arttıkça kaynak dikişinin mekanik özellikleri de olumlu yönde etkilenir. Kaynak dikişini tamamen örten bu örtü oldukça kalın, renk olarak kahverengiden siyaha kadar değişen ve çabucak katılaşan curuf oluşturur. Curufun metalurjik etkisi diğer tiplerinkine nazaran az olmasına karşılık, selüloz maddesinin uçuculuğundan dolayı meydana

gelen gaz bulutu atmosferik gazlara karşı kaynak bölgesini koruyucu etkiye sahiptir.

Yalnız bu elektrodlar fazla duman oluşturduğundan, kazan, depo gibi kapalı hacime sahip işlerin yapımında kullanılmaktan kaçınılmalıdır. Bu tür elektrodlar ile doğru veya alternatif akım kullanarak kaynak yapmak mümkündür. Bütün pozisyonlarda kaynak yapabilmenin yanında, gayet yumuşak bir ark ile sakin bir çalışma sağlarlar ve aralık doldurma kabiliyetleri elektrod örtü kalınlıkları arttıkça artar [3].

Tutuşturulmaları gayet kolay olan bu elektrodların sıçrama kayıpları azdır ve acemi kaynakçılar bile bu elektrod ile kolayca kaynak işlemi yapabilirler.

Rutil elektrodların kalın örtüye sahip olanlarında oldukça kalın curuf olduğundan koruyucu gaz atmosferine fazlaca gerek duyulmaz. Bu tür özelliğe sahip olan rutil elektrodlarda koruyucu duman oluşturuucu maddeye gerek yoktur.

2.1.4. Kaynak makinaları

Elektrik ark kaynağında hem doğru akım, hem de alternatif akım kullanmak mümkündür. Buna göre kaynak makinalarını temel olarak iki gruba ayırabiliriz.

2.1.4.1. Doğru akım kaynak makinaları

Bu gruba, kaynak jeneratörleri ve kaynak redresörleri girmektedir. Kaynak jeneratörleri, elektrik motoru ve kaynak dinamosundan meydana gelir. Bu makinalar mekanik enerjiyi kaynak için gerekli olan enerjiye çevirerek kaynak akımını çalışma yerinde üretir [7]. Kaynak jeneratörlerinde akım üretici olan dinamo tahrik edildiğinde, rotoru manyetik bir alan içinde dönmeye başlar, böylece elektrik akımını üretmiş olur. Elde edilen elektrik, rotor

milindeki kollektörden kömür fırçalar yardımıyla çekilir ve kaynak işleminin yapılacağı yere gönderilir [3].

Kaynak redresörleri de jeneratörlere benzerler. Kaynak redresörleri bir transformatör ve bir de redresörden meydana gelirler. Transformatör, şebekeden aldığı akımı kaynak için gerekli olan düşük gerilim, yüksek akım şiddetine çevirir. Redresör de alternatif akımı doğru akıma çevirir.

2.1.4.2. Alternatif akım kaynak makinaları

Bu grupta transformatörler yer almaktadır. Alternatif akım veren kaynak makinaları olan transformatörler, gerilimi yüksek ve akım şiddeti düşük olan şebeke akımını, gerilimi düşük fakat akım şiddeti yüksek olan kaynak akımına çevirirler. Transformatörler, kaynak jeneratörleri gibi yeni bir akım üretmezler, sadece mevcut olan akımın gerilimini ve akım şiddetini değiştirirler. Transformatörlerde dönen bir parça olmadığı için aşınma gibi sorunlar bahis konusu değildir [3. 7].

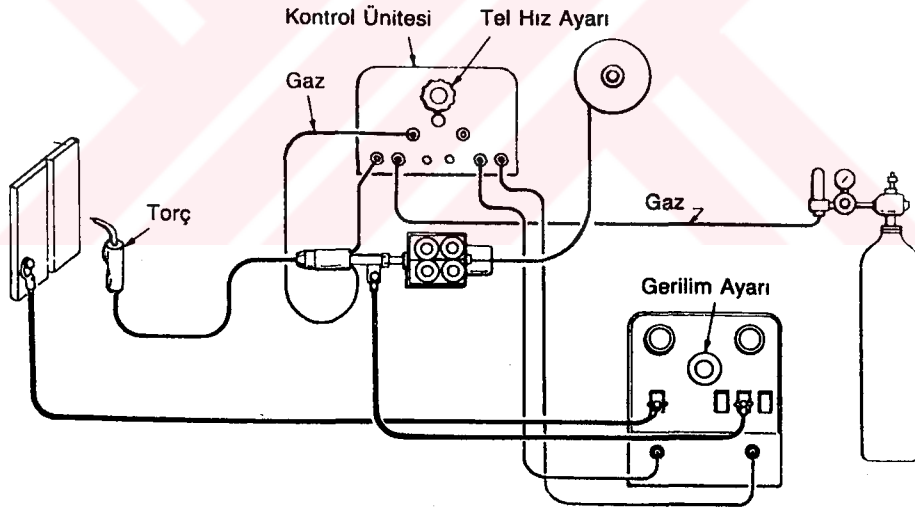
2.2. MIG-MAG Ark Kaynağı

Eriyen metal elektrodla koruyucu gazaltı kaynağı; koruyucu bir gaz atmosferi altında kaynak edilecek olan malzemeyle sürekli bir şekilde kaynak bölgesine gelen tel elektrod arasında ark oluşumu esasına dayanan bir kaynak işlemidir. Bu kaynak yöntemi, koruyucu gazın özelliğine bağlı olarak iki ayrı isimle adlandırılır. Kaynak işleminde asal gaz kullanılıyor ise MIG (Metal inert gas), aktif gaz kullanılıyor ise MAG (Metal active gas) olarak adlandırılır. Sonuç itibariyle iki ayrı isimle adlandırılan kaynak çeşitlerinde ekipmanlar aynıdır. Sadece CO₂ korumalı kaynakta tüp çıkışına bir ısıtıcı eklenir. Şekil 2.3.'de MIG-MAG kaynak donanımı şeması görülmektedir [1].

MIG-MAG kaynak tekniğinde kullanılan elektrodların çaplarının ince olması nedeniyle akım yoğunluğu yüksektir (100 - 300 A/mm²). Akım yoğun-

luğunun yüksekliği; metal transfer formunu, kaynak hızını ve nufuziyet profilini olumlu yönde etkilemektedir [2].

MIG-MAG kaynak tekniklerinin çok geniş bir uygulama alanı vardır. Bu yöntem çok ince levhalar hariç olmak üzere, her kalınlıkta demir esaslı ve demir dışı metallerin veya alaşımlarının kaynak işleminde kullanılmaktadır. MIG-MAG kaynak yönteminin uygulanması kolay olduğundan, kaynakçı hiçbir güçlükle karşılaşmaz, toprak kablosunu kaynatılacak malzemeye bağlayıp torcun ucundaki elektrodu da iş parçasına değdirmesi yeterli olacaktır. Çünkü bu sistem, uygun ark boyunu otomatik olarak kendisi sabit tutmaktadır.



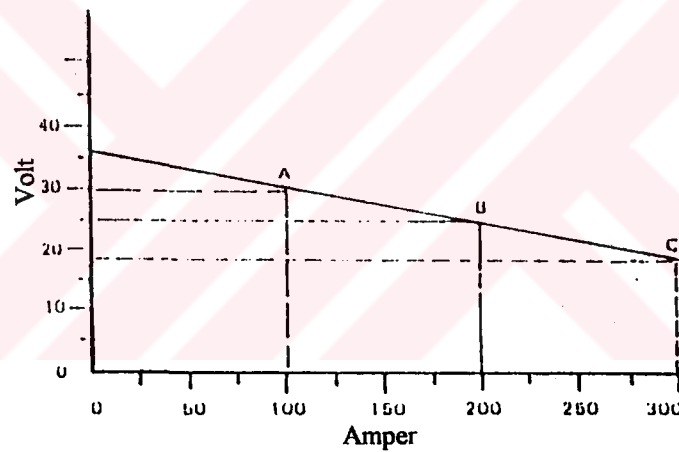
Şekil 2.3. MIG-MAG kaynak donanımı şeması [1]

2.2.1. MIG-MAG kaynağı akım üreteçleri

MIG-MAG kaynağında kullanılan akım üreteçleri V (volt), I (amper) karakteristikleri bakımından örtülü elektrod ile yapılan elektrik ark kaynağında

kullanılan akım üreteçlerinden oldukça farklıdır. MIG-MAG kaynak yönteminde kullanılan akım üreteçleri yatay karakteristiktir. Bu tip makinalarda gerilim tamamen sabit tutulmamaktadır. Bunun sebebi ise ani kısa devrelerde arkta patlama ve sıçramaların önüne geçmektir.

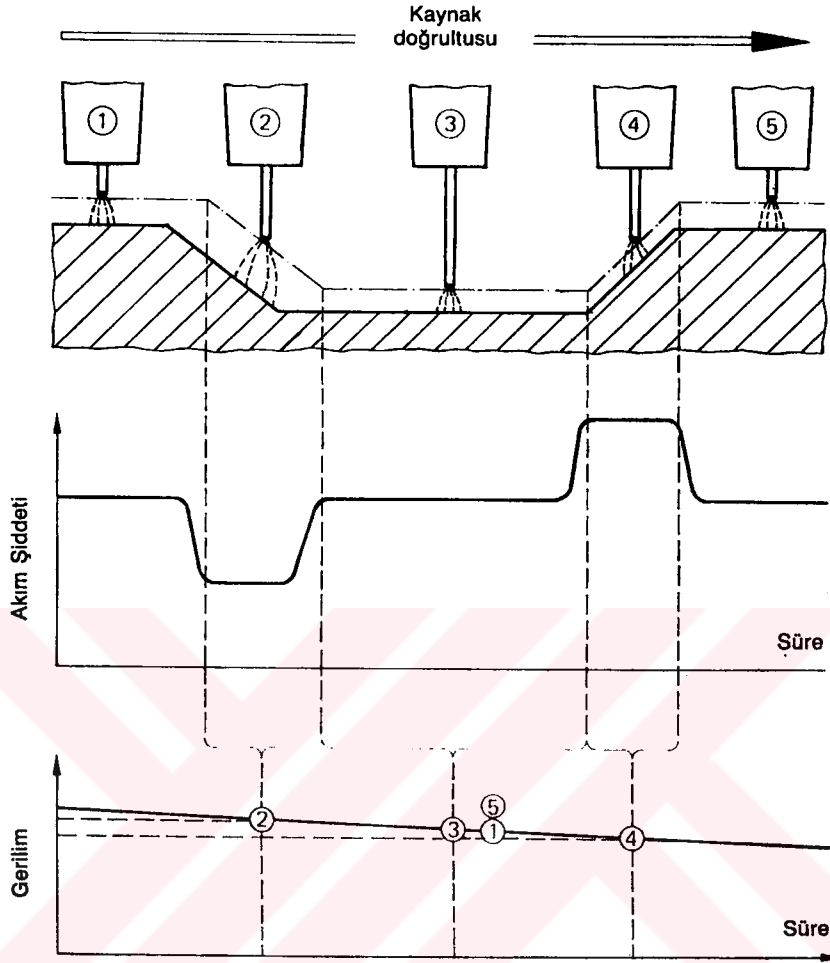
Bir güç kaynağının yatay karakteristiğe sahip olup olmadığına şu şekilde karar verilir; akım üretecinin karakteristiğinin eğimi her 100 amperde 1 - 5 volt arasında bir değişim gösteriyor ise bu makina yatay karakteristiğe sahiptir. Şekil 2.4.'de görüldüğü üzere gerilimdeki küçük değişimlere karşılık akımdaki değişimler oldukça büyüktür [2].



Şekil 2.4. Yatay karakteristiğe sahip bir makinanın I-V ilişkisi [2]

MIG-MAG kaynağı akım üreteçlerinde içten ayar diye adlandırılan ark boyu ayarı vardır. Bu makinalarda ark gerilimi, tel ilerleme hızı ve buna bağlı olarak akım şiddeti ayarlanır. Tel iletme motorunun hızı seçilen bir devirde döneceğinden tel ilerleme hızı sabittir.

Kaynak işlemi esnasında herhangi bir sebeple ark boyu uzadığı zaman akım şiddeti büyük miktarda azalır. Bu olay şematik olarak Şekil 2.5.'te gösterilmiştir [1].



Şekil 2.5. Ark uzunluğunun içten ayar yardımı ile ayarlanması [1]

Ark boyunun artması akım şiddetinin düşmesine, dolayısıyla tel ergime miktarının azalmasına neden olur. Bu sırada sabit hızla gelen tel, arkı normal konumuna döndürür. Ark boyu kısaldığında akım şiddeti yükselir, tel ergime miktarı artar, sabit gelen tel hızı arkı normal boyuna döndürür ve bu sebeple akım ve gerilim değerleri uygun değerlerde seyreder.

2. 2. 2. MIG-MAG kaynağında kullanılan koruyucu gazlar

Bütün gazaltı kaynak yöntemlerinde olduğu gibi MIG-MAG yönteminde de koruyucu gazın ark bölgesini tamamen örtmesi ve atmosferik şartlardan kaynak metalini koruması gerekmektedir.

MIG-MAG kaynağında inert ve aktif gazlar veya bunların çeşitli oranlarda karışımları kullanılır. Genel olarak asal gazlar reaksiyona girmediklerinden dolayı demirdışı metallerin kaynağında, aktif gazlar veya aktif asal gaz karışımları da çeşitli tür çeliklerin kaynağında kullanılmaktadır [1].

MIG-MAG kaynağında ticari olarak kullanılan gazlar veya gaz karışımlardan asal olanlar Argon ve Helyum, aktif olanlar ise Karbondioksit, Azot, Oksijen ve Hidrojen gazlarıdır [2].

Bu çalışmanın koruyucu gazla yapılan deney çalışmaları safhasında aktif gazlardan sadece Karbondioksit gazı kullanıldığından yalnız bu gazın özellikleri açıklanacaktır.

2.2.2.1. Karbondioksit (CO_2)

Gazaltı kaynağında kullanılan karbondioksit gazı renksiz, kokusuz ve havadan takriben 1.5 kat daha ağır bir gazdır. CO_2 gazının özgül ağırlığı 1.997 Kg/cm^3 tür ve her CO_2 molekülü bir karbon (C) atomu ile iki oksijen (O_2) atomunun birleşmesinden meydana gelmektedir.

Karbondioksit gazı atmosferi altında yapılan kaynak yöntemine metal active gas kelimelerinin baş harflerinden faydalanılarak MAG adı verilmiştir.

Koruyucu gazlardan olan argon ve helyum gibi asal gazların pahalı ve temin edilmelerinin zor olması nedeniyle bunlara göre daha kolay bulunan ve ucuz olan CO_2 gazının koruyucu gaz olarak kullanımı artmıştır. CO_2 gazı özellikle alaşımsız ve düşük alaşımlı çelik malzemelerin kaynağında ucuzluk, derin

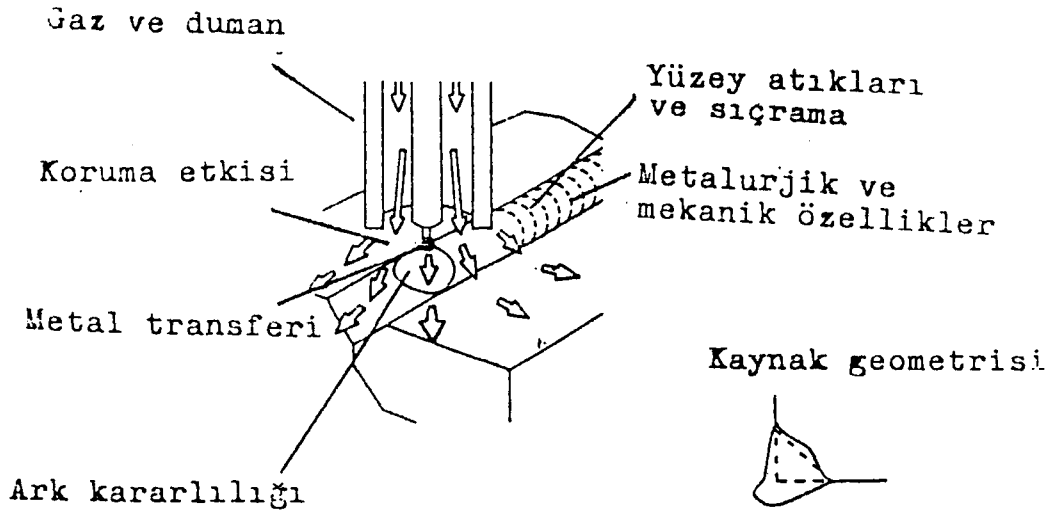
nufuziyet, yüksek kaynak hızı ve iyi mekanik özellikler vermesi nedeniyle ülkemizde geniş bir kullanım alanı bulmaktadır [2].

Karbondioksit iş yerlerine genellikle tüp içerisinde getirilir. Tüpün içindeki karbondioksit'in büyük bir bölümü sıvı haldedir ve bu sıvının üst kısmında buharlaşmış karbondioksit gaz halinde bulunur. Kaynak işlemi anında karbondioksit gazı kullandıkça bu gazın basıncı düşer ve sıvı halden buharlaşarak basıncı normal hale dönüştürür.

Bu buharlaşma esnasında karbondioksit tüpü sürekli olarak buharlaşma ısisına ihtiyaç gösterir, bu bakımdan bir tüpten bir anda sürekli olarak çok fazla gaz çekme imkanı yoktur. Buharlaşma ısisının çekilmesi sonucunda sıcaklık düşer ve tüp içindeki sıvı karbondioksit zerrecikleri karbondioksit karına dönüşüp, tüpün çıkış borusunu ve dedantörü tıkar. Bu sebepten dolayı bir tüpten devamlı olarak 12 lt/dak.'dan daha yüksek debiler çekilmemesi gerekmektedir. Devamlı olmamak koşuluyla bu değer 17 lt/dak.'ya kadar çıkabilir. Bu debiden daha fazla gazın gerekli olduğu durumlarda birden fazla karbondioksit tüpünün manifold yardımı ile bağlanarak kullanılması gereklidir. Soğuk ortamlarda ise karbondioksit gazı çıkış yerine bir elektrikli ısıtıcı ilave edilmesi tavsiye edilir [1].

2.2.3. Koruyucu gazın görevleri

Koruyucu gazın görevi en çok bilinen şekli ile sadece kaynak banyosunu korumak değildir. Endüstri uygulamalarında veya maliyet hesaplamalarında genellikle en son düşünülen koruyucu gaz seçimi olmaktadır. Halbuki bilinenin aksine koruyucu gazlar sadece kaynak banyosunu korumakla kalmayıp bunun yanında arkın kararlılığına, dikişin mekanik özelliklerine, dolgu biçimine, işlemin verimliliğine, duman oluşumuna ve bunun gibi birçok kaynak parametrelerine de etki etmektedirler. Koruyucu gazın kaynak bölgesine olan etkilerinden bir kısmı Şekil 2.6.'da gösterilmiştir [2].



Şekil 2.6. Koruyucu gazın kaynak bölgesine etkileri [2]

Koruyucu gazların kaynak işlemlerindeki etkileri başlıca şu şekilde sıralanabilir [2].

- a) Kaynak banyosunu atmosferden koruma
- b) Arkın kararlılığı
- c) Metal transfer formu
- d) Nüfuziyet, ısılatma ve kaynak dikiş geometrisi
- e) Isı girdisi
- f) Kaynak metali kimyasal bileşimi
- g) Duman oluşumu
- h) Kaynak metalinin mekanik özellikleri

Maddeler halinde verilen koruyucu gazın etkileri kısaca şu şekilde açıklanabilir.

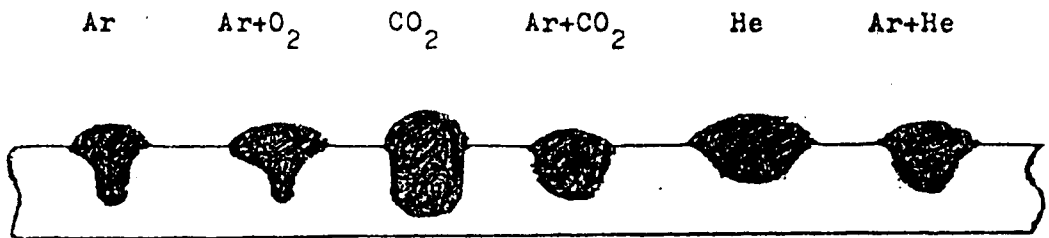
Kaynak banyosunu atmosferden koruma: kaynak esnasında dikişi, atmosferin olumsuz etkilerinden korumak gereklidir. Koruyucu gaz, erimiş kaynak banyosu ile onu çevreleyen atmosfer arasındaki istenmeyen reaksiyonları engeller.

Arkın kararlılığı: MIG-MAG kaynağında arkın kararlılığı geniş ölçüde metal transferinin geçiş şekli ile kontrol edilir. Bu olay da koruyucu gazın bileşimine bağlıdır. Koruyucu gazın bileşimi, transferde yer alan yüzey gerilimi güçlerini değiştirir ve ark kökü davranışını etkileyebilir. Çelik malzemelerin kaynağında $Ar + O_2$ ve $Ar + CO_2$ karışımları düzgün bir püskürtme transferi elde edilmesini sağlarlar. Koruyucu gaz olarak CO_2 gazı kullanıldığında yalnızca damla transferi söz konusu olur [8].

Metal transfer formu: kaynak işlemi esnasında ergiyen telden kaynak banyosuna aktarılan metalin davranışdır. Metal transferinin şekli geniş bir oranda koruyucu gazın terkbine, kaynak telinin bileşimine ve diğer kaynak parametrelerine bağlıdır [2].

Nufuziyet, ıslatma ve kaynak dikiş geometrisi: bir kaynak dikişinin kalitesi yeterli nufuziyet, yüksek ıslatma oranı ve düzgün bir kaynak profili ile belirlenir. Koruyucu gazın kaynak dikişi üzerindeki etkisi büyüktür. Saf argon atmosferi altında kaynak dikişinin şekli şarap kadehi tipinde bir nufuziyettir ve karbondioksit atmosferi altında ise yüksek derecede nufuziyetin yanında oldukça şişkin bir dikiş elde edilir. Buna sebep olarak Karbondioksit arkının düzensiz oluşu gösterilir [8].

Çeşitli gaz ve karışımlarına ait kaynak profilleri Şekil 2.7.'da verilmiştir [2].



Şekil 2.7. Çeşitli gaz ve karışımlarına ait dikiş formları [2]

Isı girdisi: birim uzunluktaki kaynağı gerçekleştirmek için harcanan ısıyı göstermektedir. Isı girdisi değeri düşük olursa az enerji harcanmış olur. Isı girdisini etkileyen faktörlerden önemli birisi de gaz bileşimidir. Ark tarafından oluşturulan ısı, gaz tarafından en iyi şekilde iletilmelidir. Her gazın kendine özgü bir termal iletkenliği vardır [9]. Isı girdisinin etkilerine kaynak metali bölümünde ayrıntılı bir şekilde yer ve rilecektir.

Kaynak ilerleme hızı: arkın kaynak yönünde aldığı yolun zamana bağlı olarak ifadesidir. Kaynak işlemlerinde bütün parametreler sabitlendiğinde, maksimum nufuziyet orta ilerleme hızındadır. Koruyucu gazın ısı girdisi de kaynak hızına etkileyen faktörler arasındadır. Çalışmamızın ana konusunu oluşturan kaynak hızına, kaynak metali bölümünde detaylı bir şekilde yer verilecektir.

Kaynak metali kimyasal bileşimi: Alaşım elemanlarının telden banyoya maksimum verimle taşınımı koruyucu gazın oksitlenme gücüne bağlıdır. Oksitlenme potansiyeli ayarlanmış gazlarla yapılan kaynak işlemlerinde oksit kalıntıları mikroyapıya en az biçimde aktarılır [2].

Duman oluşumu: kaynak işleminde arkla birlikte, çalışma çevresini etkileyen duman ve gazlar oluşur. Arkten çıkan ultraviyole radyasyonu, ozon (O_3) gazının ortaya çıkmasına sebep olur. Ozon gözlerde, burunda ve boğazda yanma gibi sağlık problemleri oluşturur.

Mekanik özellikler: gazaltı kaynağında gazın oksitlenme durumuna göre bir miktar alaşım elementi kaybı olur. Bu kayıplar, temel bileşenler olan Mn ve Si gibi elementler olduğundan kaynak telinde bu elementlerin yüksek derecede olması gerekir [1].

Koruyucu gazın kaynak metalinin mekanik özelliklere etkisi, gözeneklilik ve oksitlenme şeklinde olmaktadır.

2.2.4. MIG-MAG kaynağı tel elektrodları

Tel elektrodlar, kaynak esnasında üzerinden akım geçerek ergiyen, otomatik olarak beslenen (MIG-MAG, tozaltı) ark kaynağı yöntemlerinde ilave kaynak metali olarak kullanılan ve bir kangala sarılı halde bulunan tellerdir. MIG - MAG kaynağında tel elektrodlardan başka özlü elektrodlar da kullanılır, bu elektrodların orta kısmında rutil veya bazik özler bulunur [2].

Özsüz olarak kullanılan tel elektrodlar bileşimlerine göre SG1, SG2 ve SG3 olmak üzere üç gruba ayrılırlar. Çizelge 2.1.'de TS 5618'e göre alaşımsız ve az alaşımlı çeliklerin kaynağında kullanılan tel elektrodların kimyasal bileşimleri verilmiştir [10].

Çizelge 2.1. Özsüz tel elektrodların kimyasal bileşimi [10]

Simge	Malzeme No.	Kimyasal Bileşim %						Müsaade edilen Safsızlık
		C	Si	Mn	P ≤	S ≤	Cu ≤	
SG 1	1.5112	0,07 - 0,12	0,5 - 0,7	1,0 - 1,3	0,025	0,025	0,30	Cr 0,15 V 0,05 Zr + Ti 0,15 Al 0,02 Ni 0,15 Mo 0,15
SG 2	1.5125	0,07 - 0,14	0,7 - 1,0	1,3 - 1,6	0,025	0,025	0,30	
SG 3	1.5130	0,07 - 0,14	0,8 - 1,20	1,6 - 1,9	0,025	0,30	0,30	

MIG-MAG kaynağında kullanılan tel elektrodların yüzeyi pürüzsüz ve gayet hassas olmalıdır. Kaynak işlemi esnasında tel elektrodta, ark kabiliyetini engelleyecek çapak, çukurluk, katmer gibi yüzey kusurları veya yabancı maddeler bulunmamalıdır. Çizelge 2.2.'de özsüz tel elektrodların TS 5618'e göre ölçüleri verilmiştir [10].

Çizelge. 22. Özgül tel elektrodlarının ölçüleri [10]

ÇAPLAR	
Anma Boyutu	Toleranslar
(0.6)	+ 0.01 - 0.02
0.8 0.9 1.0 1.2 1.4	+ 0.01 - 0.03
1.6	+ 0.01 - 0.04
2.0 2.4	+ 0.01 - 0.05
(3.2)	+ 0.01 - 0.06
Parantez içindeki değerler zorunluk olmadıkça kullanılmamalıdır.	

2.2.5. MIG-MAG kaynağı kaynak parametreleri

Kaynak parametreleri kaynak işleminin ve daha sonra oluşan kaynaklı bağlantının kalitesini belirleyen önemli unsurlardan birisidir. Kaynak parametreleri; kaynaklanan metal veya alaşımı ile kaynak metalinin türü, kalınlığı, kaynak ağzı türü ve geometrisi, kaynak pozisyonu ve kaynaklı bağlantıdan beklenen mekanik özellikler göz önünde bulundurularak belirlenir. Bu parametrelerin seçimi, kaynakçının çalışma şartlarını da kolaylaştırır [1].

Kaynakçının, kaynak arkının ve parametrelerinin kaynak banyosunu nasıl etkilediğini ve hangi parametrelerin hangi şartlarda değiştirileceğini çok iyi

bilmesi gerekmektedir. Kaynak işlemi için seçilen parametreler, birbirlerine uyum gösterdikleri zaman yumuşak, kararlı ve oldukça rahat bir ark meydana getirirler [11].

Kaynak parametreleri, kaynak öncesi belirlenen ve kaynak süresince değiştirilmesi mümkün olmayan parametreler, birinci dereceden ayarlanabilir ve ikinci derecede ayarlanabilir parametreler olmak üzere üç ayrı grupta incelenir [1].

İlk gruba giren parametreler kaynağın uygulanmasından önce belirlenen koruyucu gaz türü, elektrod çapı ve türü gibi etmenlerdir. Bu ilk gruba giren etmenlerin kaynak işlemi esnasında değiştirilmesi mümkün değildir. Bu parametler, kaynaklarda kullanılan malzemelerin türü, kalınlığı, kaynak pozisyonu ve bağlantıdan beklenen mekanik özelliklere göre belirlenir.

İkinci gruba giren ve birinci derecede ayarlanabilen kaynak parametreleri, kaynak dikişini kontrol altında tutan akım şiddeti (tel hızı), ark gerilimi ve kaynak hızı gibi etkenlerdir. Bu parametreler arasındaki uyum iyi bir kaynak ile zayıf bir kaynak arasındaki farkı belirgin bir şekilde ortaya koyar [12].

Üçüncü gruba giren ikinci derecede ayarlanabilir kaynak parametreleri, kaynak işlemi süresince sürekli değişen ve kaynak dikişinin biçimini oldukça etkili bir şekilde değiştiren parametrelerdir. Bu gruba giren parametrelerin önceden seçilip değerlendirilmeleri bir hayli zordur ve bazı durumlarda açık bir şekilde görülemez. Kaynak dikişinin biçimini etkileyen bu parametreler torç eğimi, serbest tel uzunluğu, nozul mesafesi, kaynak yönü, koruyucu gaz miktarı ve kaynak pozisyonu olarak sıralanabilir [1, 2].

Çizelge 2.3.'te MIG-MAG kaynak parametrelerinin kaynak dikişi boyutlarına etkisi şematik olarak gösterilmiştir [1].

Çizelge 2.3. MIG-MAG kaynağında kaynak parametrelerinin dikiş boyutlarına etkisi [1]

Kaynak Parametrelerinin Değişimi	DİKİŞ BOYUTLARI							
	Nufuziyet		Erime Gücü		Dikiş Yüksekliği		Dikiş Genişliği	
	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓
Akım Şiddeti ve Tel İlerleme Hızı	↑	↓	↑	↓	↑	↓	★	★
Gerilimi	+	+	★	★	★	★	↑	↓
Kaynak Hızı	+	+	★	★	↓	↑	↑	↓
Serbest Tel Uzunluğu	↓	↑	↑	↓	↑	↓	↓	↑
Tel Çapı	↓	↑	↓	↑	★	★	★	★
Koruyucu Gaz (CO ₂)	↑	↓	★	★	★	★	↑	↓
Torç Açısı	Sağa Kaynak (25°)	Sola Kaynak	★	★	★	★	Sola Kaynak	Sağa Kaynak

★ Etkisi Yok
+ Az Etkili

↑ Artar

↓ Azalır

2.3. Tozaltı Ark Kaynağı

Bu kaynak çeşidi temel olarak, bir elektrik ark kaynağı çeşididir. Bu kaynak türünde ark, bir mekanizma tarafından otomatik olarak kaynak bölgesine gönderilen çıplak tel ile iş parçası arasında kaynak bölgesine devamlı gelen toz yığını altında oluşur. Bu sebepten dolayı bu kaynak çeşidine tozaltı ark kaynağı denilmiştir.

Metod ilk olarak 1933 yılında A.B.D.'de bulunmuş ve 1937 yılından itibaren yaygın olarak uygulanmaya başlanmıştır [6].

Tozaltı ark kaynağı tekniği ancak yatay durumdaki kaynak dikişleri için uygundur. Her ne kadar günümüzde bir takım özel tedbirler alınarak dik kaynak yapabilme imkanı elde edildiyse de bu metod ile tavan kaynağı yapma ihtimali yoktur. Tozaltı ark kaynağı metodunun esas uygulama alanları yapı çelikleri, basınçlı kap çelikleri ve paslanmaz çelikler üzerinde yoğunluk kazanmaktadır.

Bu metodun temel özelliklerini şu maddeler halinde sıralayabiliriz [6, 13].

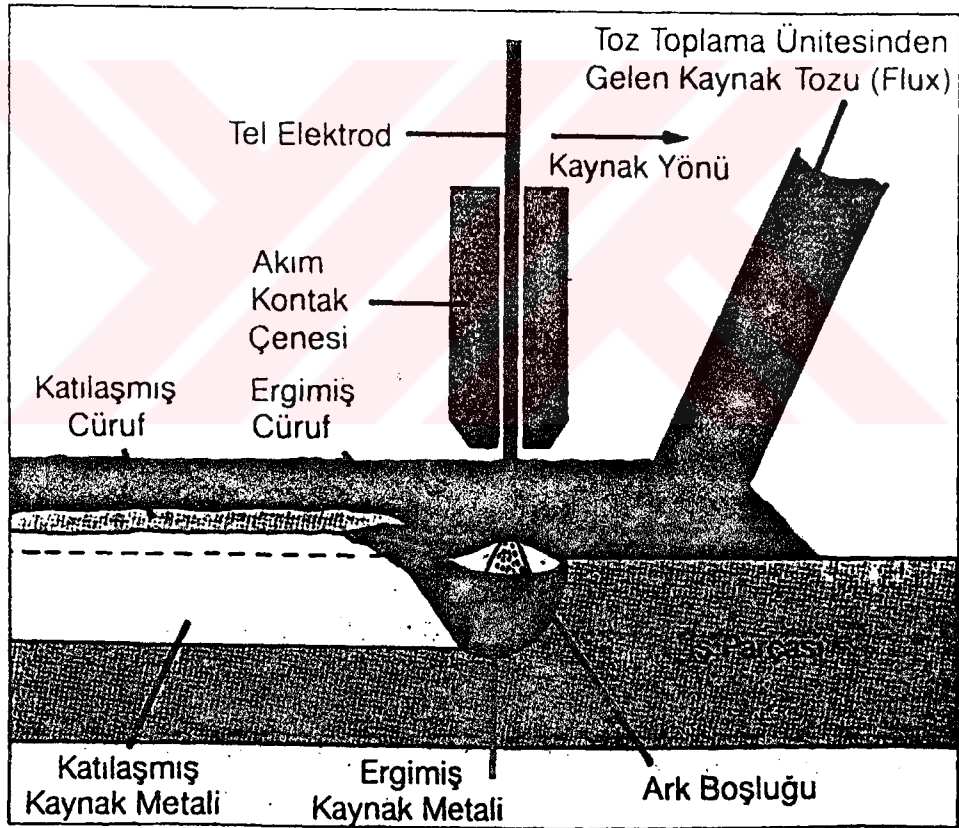
- a)* Yüksek kaynak hızı ve kaynak gücü
- b)* Yüksek metal yığılma oranı
- c)* Derin nüfuziyet
- d)* Yüksek kaliteli ve düzgün kaynak dikişi
- e)* Kolay temizlenebilir curuf
- f)* Kalın malzemelere uygulanabilirlik
- g)* Özel koruyucu emniyet tedbirlerine gereksinim olmaması

Kaynak metodunda birleşme yüzeyleri iyi temizlenir, kaynak malzemeleri ve parametreler uygun seçilirse kaliteli bir kaynak metali elde edilir. Bu kaynak

metodunda genellikle yüksek akım değerleri kullanıldığından ön ısıtmaya ihtiyaç duyulmaz [13, 14].

2.3.1. Tozaltı ark kaynağının prensibi

Tozaltı ark kaynağı yönteminde ark, sürekli bir tel elektrod ile beslenir. Ergimiş metal banyosunu ve elektrodu atmosferin olumsuz etkilerinden koruyan bir kaynak tozu kullanılır. Ark, kaynak teli ile kaynatılacak parça arasında koruyucu bir kaynak tozu örtüsü altında olduğundan görülemez. (Şekil 2.8.) [13].



Şekil 2.8. Tozaltı ark kaynağı yönteminin şematik olarak gösterilişi [13]

Kaynak tozu bir toz toplama ünitesi tarafından iş parçası üzerine kaynak çizgisi boyunca dökülür.

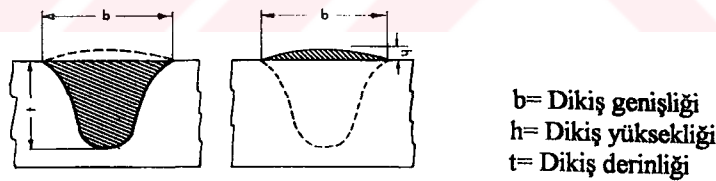
Toz miktarı arkı örtecek ve atmosferik etkilerden kaynak dikişini koruyacak şekilde ayarlanmalıdır.

Tozaltı kaynak yönteminde, tel elektroda torç çıkışında özel bir bakır kontakt tarafından akım verilir. Kaynak teli, motor tahrikli besleme makaralarından oluşan bir tel besleme ünitesi aracılığıyla kaynak bölgesine iletilir.

Kaynak arkı sıcaklığı nedeniyle tel ve koruyucu tozun bir kısmı erir. Eriyen kaynak tozu curuf oluşturarak sıvı metal banyosunun üzerini tamamen örter ve atmosferik etkilerden korur. Erimeyen kaynak tozu ise dikiş üzerinden emilerek tekrar toz toplama ünitesine aktarılır [14].

2.3.2. Tozaltı kaynağında dikişin formuna tesir eden faktörler

Kaynak dikiş formu denilince, dikiş genişliği, dikiş yüksekliği ve derinliği anlaşılır. Dikiş formu incelendiğinde iç ve dış dikiş formu olmak üzere iki form gözlenir (Şekil 2.9). Her dikiş formu nüfuziyet derinliği, erime genişliği ve dikiş yüksekliği olmak üzere üç şekilde karakterize edilir [6].



Şekil 2.9. İç ve dış dikiş formunun şematik gösterilişi [6]

Dikiş formu, kaynaklı bağlantıdan beklenen özellikler bakımından oldukça önemlidir. Dikiş formuna etki eden faktörler şu şekilde sıralanabilir [6].

a) Akım şiddeti : Akım şiddetinin artmasıyla beraber özellikle iç dikiş formu değişmekte ve nüfuziyet artmaktadır.

b) Akım yoğunluğu : Akım yoğunluğunun artmasıyla (amper/mm²) nüfuziyet ve dikiş yüksekliği artmaktadır.

c) Kaynak hızı : Kaynak hızının optimum değerinde nüfuziyet en fazladır. Kaynak hızı arttıkça nüfuziyet ve dikiş genişliği azalır.

d) Kaynak ağzı şekli : Kaynak ağzı açısındaki değişmelere göre dikiş formu etkilenmektedir. Ağız açısı arttıkça nüfuziyet artmakta, dikiş yüksekliği azalmaktadır.

e) Ark gerilimi : Ark geriliminin artmasıyla beraber dikiş genişliği artarken dikiş yüksekliği ve nüfuziyeti azalır.

f) İş parçasının bulunduğu düzlemdeki eğimi: İş parçası, bulunduğu yatay düzlemde 6°'ye kadar bir eğime sahip olması pek önemli değildir. Bu eğim artar ise nüfuziyette ve dikiş yüksekliğinde değişimler söz konusudur.

g) Akım cinsi ve kutup durumu: Doğru akım ile yapılan kaynakta elektrodun negatif kutba bağlanması durumunda, pozitif kutba bağlanmaya nazaran daha yüksek erime ve nüfuziyet derinliği sağlanmaktadır. Alternatif akım kullanılarak yapılan kaynakta ise nüfuziyet ve erime, doğru akımda her iki kutupta yapılan kaynağın ortalamasıdır.

h) Koruyucu kaynak tozunun tane büyüklüğü : Koruyucu kaynak tozu irileştikçe nüfuziyet ve dikiş yüksekliğinde düşme, dikiş genişliğinde de artma görülür.

ı) Serbest tel uzunluğu: Kaynak telinin memeden dışarıda kalan kısmının artmasıyla dikiş yüksekliği artarken nüfuziyette azalma görülür.

Yukarıda maddeler halinde sıralandığı gibi kaynak dikiş formuna birçok kaynak parametresi etki etmektedir. Çizelge 2.4.'te Tozaltı ark kaynağında kaynak parametrelerinin dikiş şekli üzerine etkileri şematik olarak gösterilmiştir [13].

Çizelge 2.4. Tozaltı ark kaynak parametrelerinin dikiş şekli üzerindeki etkileri [13]

Kaynak Parametresi Ve Değişim Şekli		Kaynak Dikişi Genişliği	Kaynak Dikişi Yüksekliği	Kaynak Dikişi Nüfuziyeti
AKIM ŞİDDETİ (A)	↑	↑	↑	↑ ↑
AKIM YOĞUNLUĞU (A/mm ²)	↑	↓ ↓	↑	↑ ↑
[TEL ÇAPI (mm)]	↑	↑ ↑	↓	↓ ↓
KAYNAK HIZI (METRE/SAAT)	↑	↓ ↓	↓	↓ ↓
ARK GERİLİMİ (V)	↑	↑ ↑	↓	↓
[ARK BOYU (mm)]	↑	↑ ↑	↓	↓
TEL UÇ UZUNLUĞU (mm.)	↑	↑	↑	↓
KAYNAK AĞIZ AÇISI (DERECE)	↑	→	↓	↑
İŞ PARÇASI EĞİMİ (DERECE)	↗ ↑	↓	↑ ↑	↑ ↑
	↘ ↑	↑ ↑	↓	↓ ↓

↑ : Artma ↑ ↑ : Yüksek Oranda Artma
 ↓ : Azalma ↓ ↓ : Yüksek Oranda Azalma → : Yaklaşık Olarak Sabit Kalma

2.3.3. Tozaltı kaynağında kullanılan kaynak telleri

Tozaltı ark kaynağında kaynak metali içerisine katılacak olan alaşım elemanları kaynak telinden veya kaynak tozundan alınabilir. Ancak kaynak metali bileşiminin kontrolünün sağlanabilmesi amacıyla alaşım elemanlarının kaynak telinden alınması tercih edilir.

Tozaltı kaynağında kullanılan kaynak telleri yüksek kaliteli çelik tellerdir. Bu tellerin çapları 1.2 ile 12 mm arasında değişir. Tozaltı kaynak tellerinin

yüzeyleri tamamen düz, yağ, pislik ve pastan temizlenmiş olmaları gerekmektedir. Tellerin paslanmasını önlemek ve kaynak esnasında kontakt lüle-sinden tele akım geçişini kolaylaştırmak için bu teller, üzerleri bakır veya bronz kaplı olarak piyasaya arz edilir.

Tozaltı ark kaynağında kullanılan kaynak telleri içerdikleri manganez miktarlarına göre sınıflandırılırlar. Kaynak tellerindeki manganez oranları aşağıdaki miktarlardadır [6].

Düşük manganezli % 0.30 - 0.60 Mn

Orta manganezli % 0.90 - 1.25 Mn

Yüksek manganezli % 1.75 - 2.25 Mn

Tozaltı kaynak tellerinin çapları ve DIN 668'e göre toleransları Çizelge 2.5.'te verilmiştir. Tellerin tamamen yuvarlak ve iyi kalibrelenmiş olmaları gerekmektedir. Verilen toleransları aşmamasına dikkat edilmelidir.

Çizelge 2.5. DIN 668'e göre kaynak tellerinin ölçüleri

Tel Çapı (mm)	Çapta kabul edilen tolârans
1.2	0.050
1.6	0.050
2.0	0.060
2.5	0.060
3.0	0.060
4.0	0.075
5.0	0.075
6.0	0.075
7.0	0.090
8.0	0.090
9.0	0.090
10.0	0.090
12.0	0.110

Tozaltı kaynak telleri bilhassa bileşimlerinde bulunan mangenez miktarına göre sınıflandırılırlar. TS 5387'ye göre bu tellerin kimyasal bileşimleri Çizelge 2.6.'da verilmiştir [15].

Çizelge 2.6.TS 5387'ye göre kaynak tellerinin kimyasal bileşimleri [15]

Sembol.	Kimyevi Bileşim (% Kütle)									
	C	Si	Mn	P	S	Mo	Ni	Cr	Cu ¹⁾	Al
S1	0,06-0,12	≤ 0,15	0,35-0,60	0,025	0,025	-	0,15	0,15	0,30	0,040 ²⁾
S2	0,07-0,15	≤ 0,15	0,80-1,20	0,025	0,025	-	0,15	0,15	0,30	0,040 ²⁾
S3	0,07-0,15	0,05-0,25	1,30-1,70	0,025	0,025	-	0,15	0,15	0,30	0,030
S4	0,08-0,16	0,05-0,25	1,75-2,25	0,025	0,025	-	0,15	0,15	0,30	0,030
S6	0,08-0,16	0,15-0,35	2,75-3,25	0,025	0,025	-	0,15	0,15	0,30	0,030
S1Si	0,06-0,12	0,15-0,50	0,35-0,60	0,025	0,025	-	0,15	0,15	0,30	0,010
S2Si	0,07-0,15	0,15-0,40	0,80-1,20	0,025	0,025	-	0,15	0,15	0,30	0,030
S2Mo	0,08-0,15	0,05-0,25	0,80-1,20	0,025	0,025	0,45-0,65	0,15	0,15	0,30	0,030
S3Mo	0,08-0,15	0,05-0,25	1,30-1,70	0,025	0,025	0,45-0,65	0,15	0,15	0,30	0,030
S4Mo	0,08-0,15	0,05-0,25	1,75-2,25	0,025	0,025	0,45-0,65	0,15	0,15	0,30	0,030
S2Ni1	0,07-0,15	≤ 0,15	0,80-1,20	0,015	0,015	-	1,10-1,60	0,20	0,30	0,030
S2Ni2	0,07-0,15	≤ 0,15	0,80-1,20	0,015	0,015	-	2,00-2,50	0,20 ³⁾	0,30	0,030

2.3.4. Tozaltı kaynağında kullanılan kaynak tozları

Tozaltı kaynağında kullanılan kaynak tozları, örtülü elektrodlerdeki örtünün fonksiyonunu yerine getirir. Kaynak işlemine fiziksel ve metalurjik bakımdan tesir eder.

Kaynak tozları fiziksel olarak kaynak banyosunu atmosferden korur, kaynak dikişine uygun bir form verir ve çabuk soğumasına mani olur. Kaynak tozları, tozaltı ark kaynağında kaynak metalinin alaşımlandırılmasına, dikişin gözeneksiz olmasına ve kaynak metalinin iç yapısının hatalardan arındırılmış olmasına etki eder.

Kaynak tozu tanelerinin boyutu tozun performansını etkiler. Tozaltı ark kaynağındaki kaynak tozu, kaynak esnasında oluşan gazların dikişi terketmesine izin verecek nitelikte olmalıdır. Tozu oluşturan tanelerin boyutu küçüldükçe, oluşan gazların dışarı çıkması zorlaşmaktadır. Kaynak hızlarının yüksek olduğu durumlarda orta ve iri taneli tozların, yüksek akım şiddetleri ile çalışırken ince taneli tozların kullanılması yararlıdır. Toz örtüsü yüksekliğinin fazla olması gazların dışarı çıkamayarak gözenek oluşturmaya neden olur. Örtü yüksekliğinin gerektiğinden az olması da tozun koruyuculuk görevini yerine getirememesine sebep olur [13].

2.3.4.1. Kaynak tozlarının sınıflandırılması

Tozaltı kaynağında kullanılan tozlar muhtelif şekillerde sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırma aşağıdaki şekilde yapılabilir [6].

A - Kaynağın amacına göre

- a) Hızlı kaynak tozları
- b) Derin nüfuziyet kaynak tozları
- c) İnce sac kaynağı tozları
- d) Aralık doldurma kaynak tozları

B - İmal şekline göre

- a) Erimiş kaynak tozları
- b) Sinterlenmiş kaynak tozları
- c) Aglomere kaynak tozları

C - Kimyasal karakterine göre

- a) Asit karakterli tozlar
- b) Bazik karakterli tozlar
- c) Nötr karakterli tozlar

D - Manganez miktarına göre

- a) Yüksek manganezli tozlar

- b) Orta manganezli tozlar
- c) Manganezsiz tozlar

2.3.4.2. Kaynak tozundan beklenen özellikler

İyi bir kaynak tozunun bir takım özelliklere sahip olması gerekmektedir. Bu özellikler şu şekilde sıralanabilmektedir [6].

- a) Kaynak işlemi sırasında arkın kararlılığını sağlamalıdır. Bilhassa alternatif akım ile kaynak yapılırken, akımın yön değiştirmesi anında arkın sönmesini önlemelidir.
- b) İstenilen kimyasal bileşim ve mekanik özelliklere sahip bir kaynak dikişi sağlamalıdır.
- c) Kaynak dikişinde, herhangi bir gözenek ve çatlak oluşumuna sebep olmamalıdır.
- d) Kök pasoların ve dar aralıkların kaynağında curufu kolay temizlenebilmelidir.
- e) Tozlar, çeşitli kaynak hatalarına sebep olabilecek organik maddeleri ihtiva etmemelidir.
- f) Tozların nem çekme miktarı mümkün mertebe düşük olmalıdır.

3. KAYNAK BÖLGELERİ

Kaynaklı bağlantının bulunduğu ve kaynak anında ortaya çıkan sıcaklıktan etkilenen bölgelerin tümü kaynak bölgesi ismi ile anılır. Bu bölge, erime bölgesi ve ısının tesiri altında kalan bölge (ITAB) olmak üzere iki bölümden oluşur.

3.1. Erime Bölgesi

Erime bölgesi, kaynak esnasında oluşan ısının etkisi ile eriyen ve daha sonra katılaştıran bölgedir. Erime bölgesi, ısının tesiri altında kalan bölgeden erime çizgisi adını verdiğimiz erimiş ve erimemiş kısımlar arasındaki sınırla ayrılır. Bu sınır, bir kaynaklı bağlantıdan çıkartılarak parlatılan ve dağlanan enine kesit üzerinde çıplak gözle dahi kolayca görülebilir. Kaynak metal, esas metal ve ilave metalin karışımından ibarettir. Tek pasoda çekilen kaynak dikişlerindeki erime bölgesinde esas metal ve ilave metal, kaynak havuzundaki şiddetli türbülansın dolayısıyla iyice karışmış olup homojen bir bileşim gösterir. Buna karşın çok pasolu kaynaklarda, her pasonun esas metalle karışma oranı farklılık gösterir. Kalın kesitli parçaların çok pasolu kaynak dikişlerinde, dikişin orta kısımlarında esas metale rastlanamayabilmektedir[1].

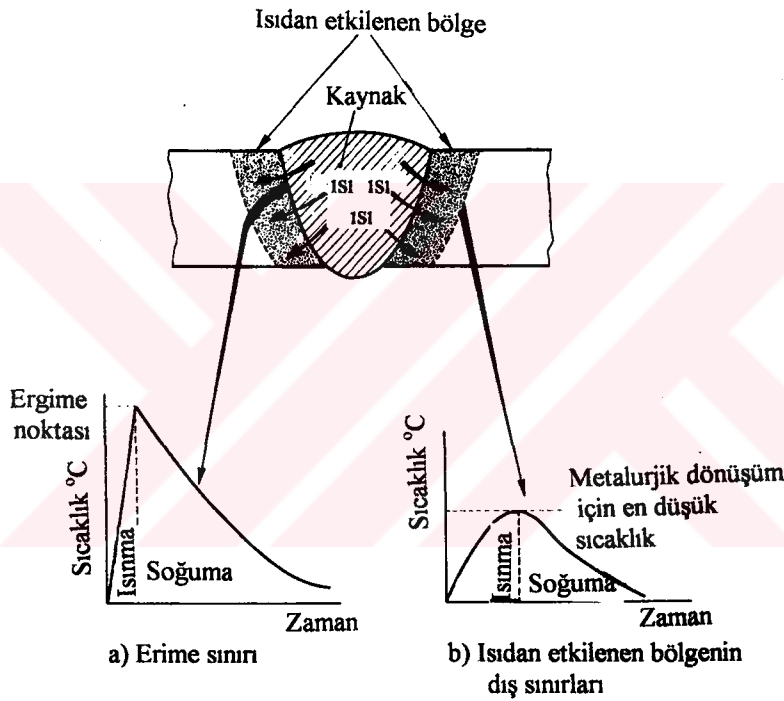
Bu çalışmada ağırlık kaynak metal bölgesine verildiğinden bir sonraki bölümde bu bölge detaylı olarak anlatılacaktır.

3.2. Isının Tesiri Altında Kalan Bölge (ITAB)

Isının tesiri altında kalan bölge, kaynak metal ile esas metalin birleştiği sınırdan başlayarak, kaynak işlemi esnasında sıcaklığın iç yapıyı, dolayısıyla esas metalin özelliklerini etkilediği mesafeye kadar devam eder. Çelik malzemelerin kaynağında, bu bölgedeki sıcaklık 1450 °C ile 700 °C arasında değişmektedir.

Bu bölgede ulaşılan maksimum sıcaklığa bağlı olarak iç yapıda çeşitli değişiklikler ve özellikler gösteren bölgeler ortaya çıkar.

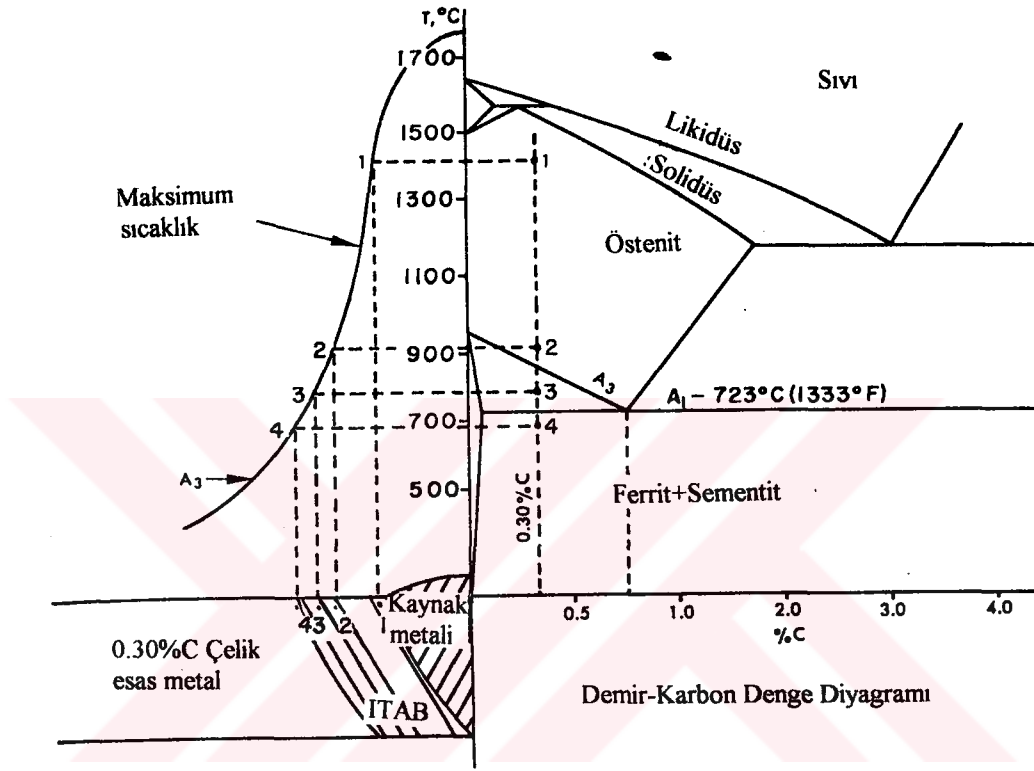
Metalurjik reaksiyonlar bu bölgelerde meydana gelir. Kaynak bölgesinde sıcaklığın artması ile değişen mikroyapı, mekanik özellikleri etkileyerek çentik darbe ve çekme mukavemetlerinin azalmasına, sertlik artışına veya çatlak oluşumuna sebebiyet verir. Isınma ve soğumaya bağlı olarak ITAB' ın sınırları Şekil 3.1.'de gösterilmiştir [16].



Şekil 3.1. Isıdan etkilenen bölgenin sınırları [16]

Kaynak işlemi anında ısının etkisi altında kalan bölge hızlı bir şekilde ısınmakta ve sonrada parça kalınlığı, kaynak bölgesine verilen ısı enerjisi gibi etmenlere bağlı olarak tekrar hızlı bir şekilde soğumaktadır. Kaynatılacak malzemenin bileşimine göre soğuma hızı, kritik soğuma hızını aştığında genellikle 900 °C' nin üzerindeki bir sıcaklığa kadar ısınmış bölgelerde sert ve kırılgan bir yapı elde edilir [1].

Isının tesiri altında kalan bölge ile demir-karbon denge diyagramı arasındaki ilişki % 0.30 C. içeren bir çeliğe göre Şekil 3.2.'de gösterilmiştir [17]. Kaynaklı bağlantıların en kritik bölgesi ITAB' dır ve birçok çatlama ve kırılma bu bölgede meydana gelmektedir.



Şekil 3.2. ITAB ve demir-karbon denge diyagramı arasındaki ilişki [17]

Çelik malzemelerin kaynağında ısının etkisi altında kalan bölge, içyapı değişikliği bakımından şu değişik bölgelerle gösterilir.

- a) İri taneli bölge
- b) İnce taneli bölge
- c) Kısmen dönüşüme uğramış bölge
- d) İç yapı değişikliğine uğramamış bölge

İri taneli bölge; erime çizgisine bitişik olan ve kaynak işlemi esnasında 1450°C ile 1150°C sıcaklıklara maruz kalan bölgedir. Metaller yeniden kristalleşme sıcaklığının üzerindeki bir sıcaklığa kadar ısıtıldıklarında tane büyümesi ortaya

çıkar. Tane büyümesi sonucu ortalama tane boyutu artar. İri taneli yapıların mukavemetleri ince taneli yapılara nazaran daha düşük olduğundan malzeme iri taneler istenmez.

Çelik malzemelerde kaynak anında erime çizgisine bitişik olan esas metalin sıcaklığı, erime sıcaklığına yakın bir dereceye kadar eriştiğinden östenit içinde fazla miktarda tane büyümesine rastlanır. Çeliğin bileşimine ve soğuma şartlarına bağlı olarak iri taneli bölge, martenzitik veya temperlenmiş martenzitik bir iç yapıya ve en yüksek sertliğe sahiptir [18].

İnce taneli bölge; kaynak esnasında 1150 °C ile 900 °C arasındaki bir sıcaklığa maruz kalan bölgedir ve bu bölgede tane büyümesine rastlanmaz. İç yapı bakımından birinci bölge olan iri taneli bölgeye benzeyip onun bir devamıdır. Fakat tane ebatı yönünden ince taneli bir bölgedir.

Kısmen dönüşüme uğramış bölge; ince taneli bölgenin devamı olup kaynak anında A_3 ile A_1 sıcaklığı aralığına kadar ısınmış ve bölgesel olarak bir östenit dönüşümüne uğramış olan bölgedir. Östenit dönüşümüne uğradığından dolayı yapısındaki östenit miktarına bağlı olarak, ilk iki bölgeyi andıran bir iç yapı gösterir [1].

İç yapı değişikliğine uğramamış bölge; A_1 sıcaklığının altına kadar ısınan ve bu ısınma süresince bir iç yapı dönüşümüne uğramayan bölgedir.

Kaynak işlemlerinde genellikle metal, önce ergime sıcaklığının üzerindeki bir sıcaklığa kadar ısıtılmakta ve sonra soğutulmaktadır. Bundan dolayı çelik malzemelerin kaynağında, kaynak bölgesinde yukarıda kısaca belirtilen dönüşümler olmaktadır.

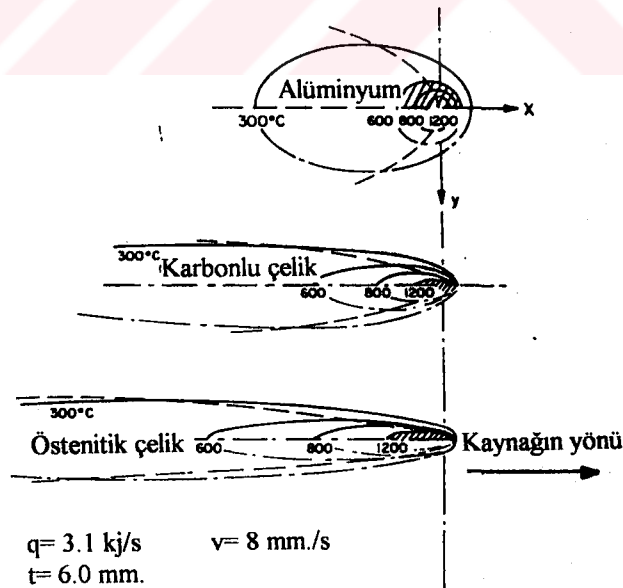
Birleştirme esnasındaki ısınmayı takip eden soğuma, yavaş bir şekilde gerçekleşirse veya çeliğin karbon ve alaşım elementi içeriği sertleşmeyi meydana

getirecek miktarda değilse elde edilen iç yapı tane büyüklüğü hariç olmak şartıyla, ilk normal yapının aynıdır. Buna karşılık sertleşme meyli olan çelik malzemelerde ise, soğumanın hızlı olduğu hallerde daha önce bahsedilmiş olan ve genellikle arzu edilmeyen özellikleri taşıyan iç yapılar oluşur [1].

3.3. Kaynak Isısının ve Isı Dağılımının Kaynak Bölgesine Etkisi

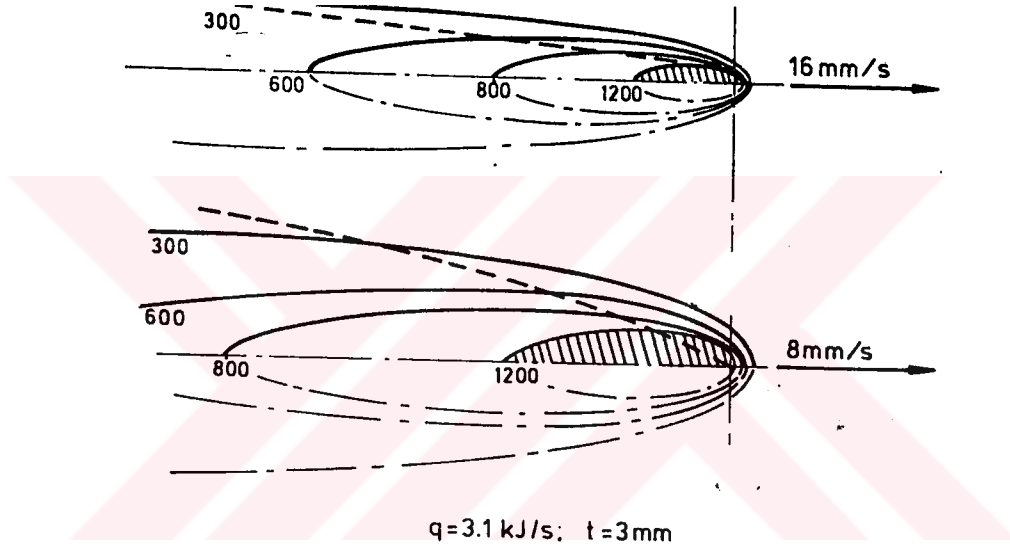
Kaynak bölgesine verilen ısı miktarı, kaynak edilecek malzemenin ısı iletim özellikleri, kaynak hızı ve malzeme kalınlığı gibi şartlara bağlı olarak kaynak bölgesinde sıcaklık dağılımı ile soğuma hızını etkiler.

Kaynak parametreleri aynı olan değişik özellikteki malzemeler üzerindeki ısı dağılımı Şekil 3.3’de görülmektedir [19]. Bu parçalara -X- doğrultusunda kaynak çekilmiş ve -X, Y- düzlemindeki eş sıcaklık değişimi verilmiştir. Şekil’den anlaşıldığı gibi kaynaklı parçalarda ısı iletim katsayısı Alüminyum’da en büyük, östenitik paslanmaz çeliklerde ise en küçüktür. Kaynak bölgesinin genişliği ısı iletimi arttıkça doğru orantılı olarak artmaktadır.



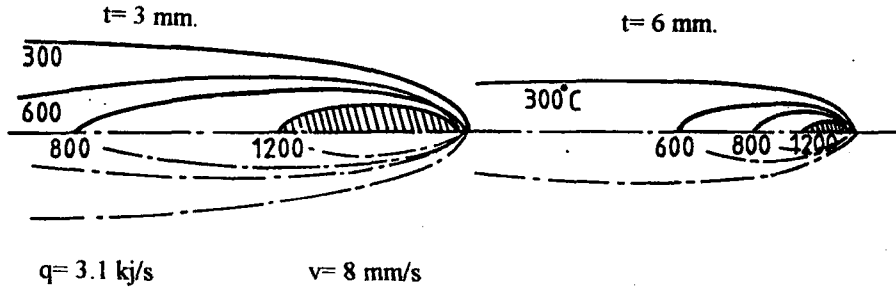
Şekil 3.3. Farklı malzemelerin aynı kaynak parametreleri ile kaynağı edilmesi sonucunda kaynak bölgesindeki sıcaklık eğrileri [19]

Alaşımsız çelik malzemelerde kaynak hızının artmasıyla sıcaklık dağılımının değişimi Şekil 3.4.'de görülmektedir [19]. 16 mm/sn hızla çekilen kaynakta ısı dağılımı daha az iken 8 mm/sn hızla çekilen kaynak dikişinde ısı dağılımı daha fazladır. Düşük kaynak hızlarında kaynak bölgesi daha geniş, yüksek kaynak hızlarında ise daha dardır.



Şekil 3.4. Alaşımsız çeliklerde kaynak hızının kaynak bölgesi ısı dağılımına etkisi[19]

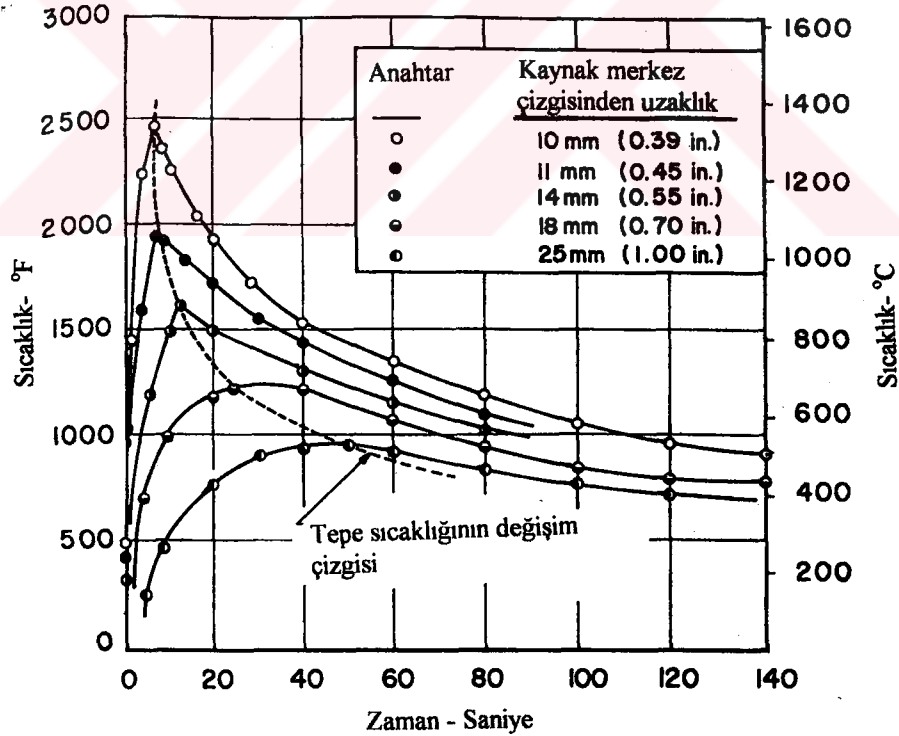
Kaynatılacak parçalarda, kalınlığın da ısı dağılımına, dolayısıyla kaynak bölgesinin genişliğine veya darlığına etkisi vardır. Şekil 3.5.de parça kalınlığının kaynak bölgesinde ısı dağılımına etkisi görülmektedir[19].



Şekil 3.5. Parça kalınlığının kaynak bölgesi ısı dağılımına etkisi[19]

Parça kalınlığı arttıkça kaynak bölgesi genişliği küçülmektedir. Ayrıca artan parça kalınlığıyla beraber soğuma hızı arttığından, kaynak metali alanı azalmaktadır [20].

Şekil 3.6.'da 13 mm. kalınlığındaki bir çelik malzemeye ark kaynağı kullanarak 3940 J/mm'lik ısı girdisiyle kaynak yapılmış bir plakadaki ısı dağılımı görülmektedir[17]. Burada kaynak merkez çizgisine değişik uzaklıklarda olan noktalardan sıcaklık ölçümü yapılmıştır.

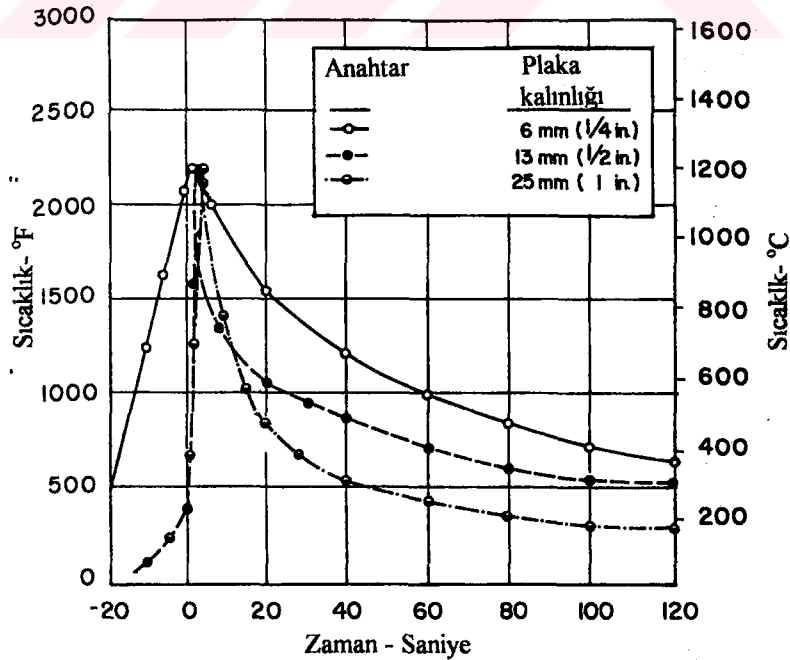


Şekil 3.6. Kaynak merkezi çizgisine belirli mesafelerdeki sıcaklık değişimleri [17]

Yukarıdaki şekildende anlaşılacağı gibi kaynak merkez çizgisinden uzaklaştıkça kaynaklı malzemedeki ısı dağılımı değişmektedir. Kaynak merkez çizgisine 10mm mesafedeki noktada en yüksek sıcaklık 1365°C iken, 25mm. mesafedeki bir noktada en yüksek sıcaklık 515°C civarındadır. Ara mesafelerdeki sıcaklıklarda orantılı olarak kaynak merkezinden uzaklaştıkça düşmektedir. Böylece sonuç olarak şu üç nokta tesbit edilmiş olur [17].

- a) Kaynak merkezine olan mesafe arttıkça maksimum sıcaklık süratle azalır.
- b) Kaynak merkezine olan mesafenin artmasıyla, ısınma oranı ve soğuma oranı azalmaktadır.
- c) Kaynak merkezi çizgisinden uzaklaştıkça, maksimum sıcaklığa çıkmak için gerekli sürede artmaktadır.

Kaynak edilen değişik kalınlıktaki malzemelerde, kaynak sonrası soğuma hızları Şekil 3.7.' de gösterilmiştir [17]. Bu şekil 1850 J/mm^2 lik ısı girdisiyle kaynak edilmiş üç değişik kalınlıktaki plakaların 1205°C deki maksimum sıcaklıktan itibaren soğuma sürelerini gösterir.



Şekil 3.7. Parça kalınlığının soğuma hızına etkisi[17]

Kaynak edilen parça kalınlığının artmasıyla soğuma oranı artmaktadır. Düşük et kalınlığına sahip parçalar, yüksek sıcaklıktan soğumaya bırakıldıklarında kalın parçalara nazaran daha geç soğumaktadırlar [17].

Kaynaklı bölgenin soğumasına kaynak ağzı geometrisinin de etkisi vardır. Aynı ısı girdisi ve erime bölgesine sahip olan kaynak dikişlerinden -V- kaynak ağzı açılmış olan parçaya çekilen kaynak dikişi, düz plaka üzerine çekilen dikişten daha hızlı soğumaktadır [21].



4. KAYNAK METALİ

Kaynaklı birleştirmeler ara yüzeyde, birleştirmenin cinsine göre bir kaynak metalini ihtiva ederler. Bu kaynak metalinin yapısı esas metalin yapısından oldukça farklıdır. Kaynak metalini, esas metal ergiyiği ve/veya ilave dolgu metalinin karışımından meydana gelir. Kaynak metalini oluşturacak ilave metal, kaynak edilecek malzemenin bir takım özelliklerine dikkat edilerek seçilir. Yapılan bu seçim ne kadar dikkatli olursa olsun kaynak metalinin yapısı ilave metal ve/veya esas metal karışımının bir sonucudur [17].

4.1. Kaynak Metalinin Katılaşmasının Özellikleri

Kaynak metalinin sıvı halden katı hale dönüşmesi, metal kalıp içerisindeki normal döküm işleminin katılaşmasından farklı bir işlemdir. Kaynak metalinin katılaşmasında ve mikroyapının gelişmesinde kaynak parametreleri etkili olmaktadır. Fakat kaynak metalinin katılaşmasının birçok özelliği kalıp içerisindeki metal katılaşmasına benzemektedir. Ergitmeli kaynaklarda sıvı kaynak metalinin katılaşmasında önemli olan bazı noktalar aşağıdaki şekilde sıralanabilir [22].

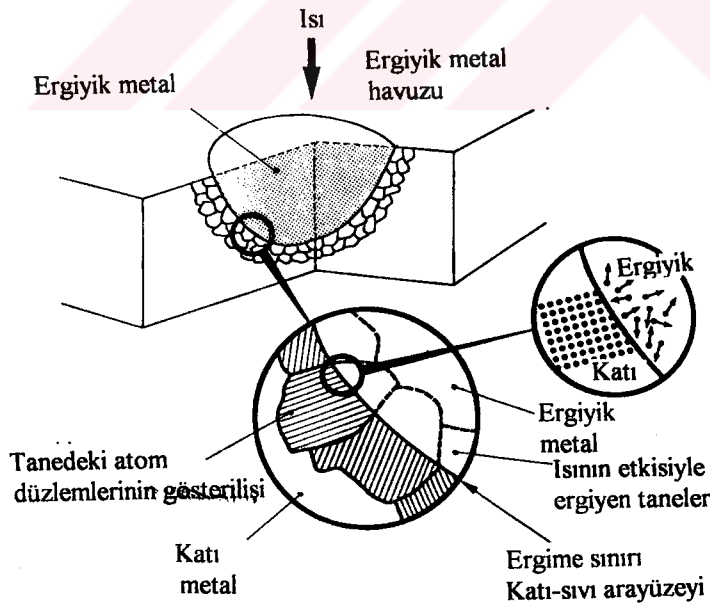
- a) Sıvı kaynak havuzunda empüriteler mevcuttur.
- b) Sıvı haldeki kaynak metalinin havuzunda ana metal kısmen çözünür ve kaynak havuzuna karışır.
- c) Sıvı metal havuzunda önemli derecede türbülans olduğundan ergiyik haldeki metalde çok iyi karışma olur.
- d) Sıvı kaynak metal hacmi katı ana metale nazaran küçüktür.
- e) Sıvı metal içerisinde yüksek derecede sıcaklık değişimi mevcuttur.
- f) Kaynak işlemi esnasında ısı kaynağı sürekli ilerlediğinden dolayı, katılaşma olayı kaynak hızına bağlı dinamik bir işlemdir.

g) Yüksek enerjili kaynaklardan olan elektro - curuf veya çok pasolu kaynaklarda, ana metal yüksek derecede ısındığından ya da kaynak edilecek parçalara ön tavlama işlemi yapılmasından dolayı sıcaklık değişiminde normal oranlara nazaran sapmalar olmakta ve böylece katılaşma davranışında etkilenmektedir.

4.2. Ergitme Kaynağında Kaynak Metalinin Katılaşması

Bir metal tabakanın yüzeyindeki küçük bir alanın erimesi gözönünde bulundurulursa ergitme kaynağının prensibi kolayca anlaşılabilir. Şekil 4.1.'de metal bir tabakanın bir noktasının ergimesi şematik olarak verilmiştir [16].

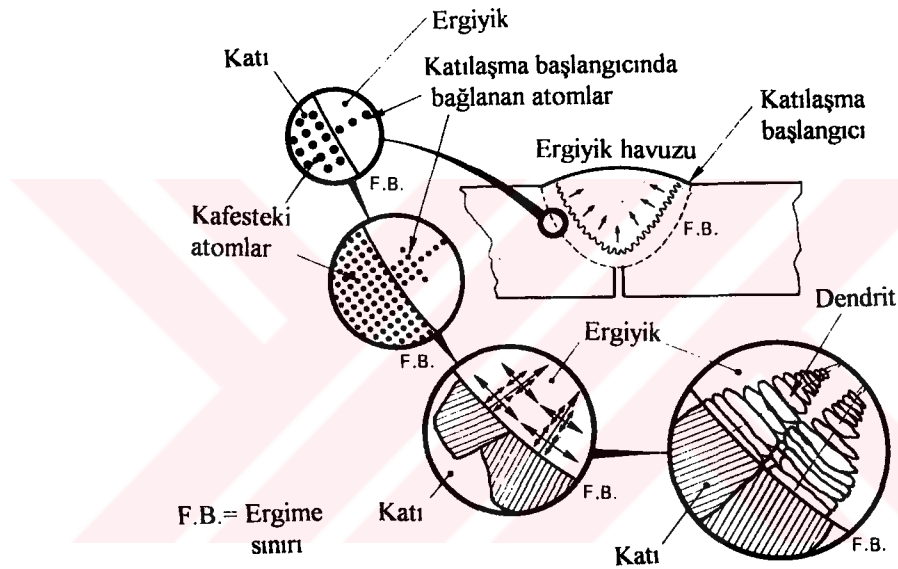
Katı metal kaynak ısısının etkisi ile erime noktasına ulaştığında kafes yapısında düzenli olarak dizilmiş olan atomlar hareket edebilecek şekilde serbest hale geçerler. Eğer tam katı-sıvı arayüzeyini gözönüne alırsak, taneyi yarisından kesilmiş gibi görmemiz mümkündür [16].



Şekil 4.1. Ergiyik metal havuzu [16]

Ergiyik kaynak metali havuzunda katı ana malzemeyi ergiyerek terk eden atomlar, sıvı metale karışmaktadır. Kaynak işlemi esnasında ergiyik havuzda mevcut olan oksitler, katı-sıvı arayüzeyine bulaşmamakta ve arayüzey metalurjik açıdan temiz kalmaktadır [16, 17, 19].

Kaynak metali sıvı havuzu soğumaya bırakıldığında katılaşmanın meydana geldiği ve katılaşmanın dendritler şeklinde merkeze doğru ilerlediği Şekil 4.2.'de gösterilmiştir [16].



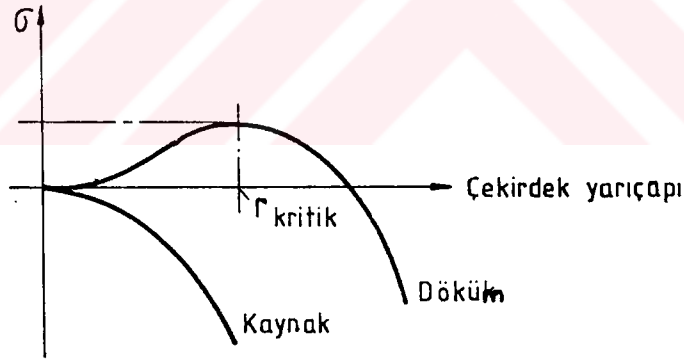
Şekil 4.2. Kaynak metali katılaşmasında dendritlerin oluşumu [16]

Ergiyik havuz sıcaklığı düşmeye başladığı zaman eriyik atomlar enerjilerini kaybederler. Sıcaklık metal tabaka tarafından kaynak merkezinden uzağa itildiği yani ısı, katı-sıvı arayüzeyinden aktığı için bu bölgedeki atomlar mevcut sıvıya doğru akma meylinde dirler. Arayüzeyindeki katı atomlar boş bağlara sahip olan atomlara kendilerini tuttururlar ve böylece katılaşma sıvı havuzuna doğru büyür [16, 19, 23, 24].

Kaynak metali katılaşmasında oluşan dendritler sivri uçlu veya testere dişli gibi varsayılan şekilde oluşur ve bunun ilerlemesi havuz merkezine doğru olur.

Bu ilerleme tüm kaynak havuzu katılaşmaya kadar devam eder. Sonuç olarak orjinal biçimde ergimiş olan metal, tane sınırlarında birbirine bağlanmış olan dendritik tanelerden oluşur [16, 17, 18].

Ergiyik haldeki kaynak metalinin katılaşmaya başlaması için sıvı metalin aşırı soğumasına yani, ergime sıcaklığının daha altındaki bir sıcaklığa sıvı olarak soğumasına gerek yoktur. Ana metalin tane yüzeylerinde üniform olarak oluşan küçük çekirdeklerin meydana gelmesiyle katılaşma başlar. Kaynak metalinin katılaşma mekanizması ingotta katılaşan sıvı metalin katılaşmasından oldukça farklılık gösterir. Döküm malzemelerin ingotta katılaşabilmesi için sıvı metalin aşırı soğumasına gerek vardır ve katılaşma olayının başlaması için yeteri büyüklükte bir çekirdeğin meydana gelmesi gerekmektedir. Şekil 4.3.'de kaynak metalinin ve dökümün katılaşmasında kritik çekirdek yarı çapı ile serbest enerjinin değişimi görülmektedir [22].

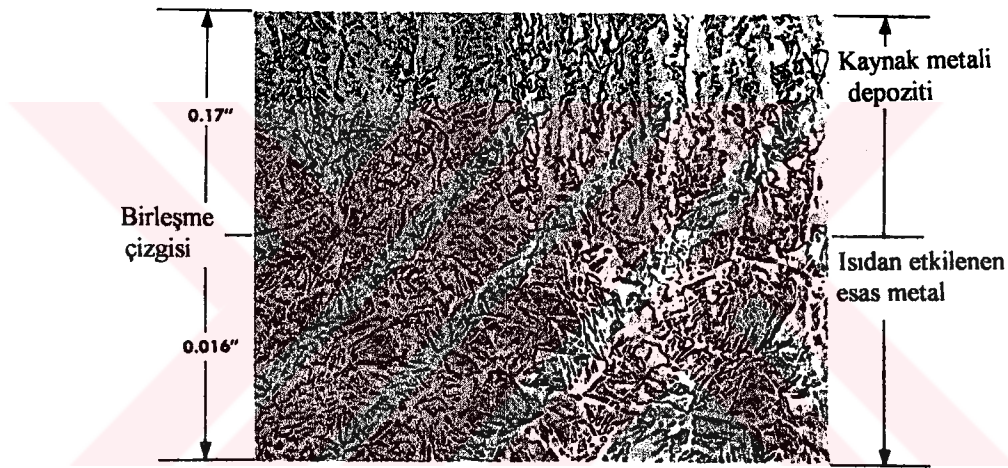


Şekil 4.3. Kaynak metali ve döküm katılaşmasında serbest enerji değişimi [22]

Sıvı haldeki metalin katılaşması ile sistemin serbest enerjisi azalmaktadır. Kaynak metalinin katılaşmasında kritik çekirdek çapı yoktur, ana metalin yüzeyinde oluşan küçük çekirdeklerden katılaşma başlar. Döküm işlemlerinde ise kritik çekirdek çapına ulaşana kadar sıvı metal aşırı soğuma gösterir ve kritik çekirdek oluşumundan sonra katılaşma meydana gelir.

Kaynak metali katılaştırken genellikle ısı akış yönüne paralel ve uzunlamasına bir yapı gösterir. Bu yapı kaynağın ergime sınırlarındaki tanelerin doğal bir sonucudur. Isının büyük bir kısmı esas metal tarafından çekilmektedir ve tanelerde bu ısı akış yönüne paralel olduklarından erime çizgisine dik vaziyette görülmektedirler [17, 18, 19, 24].

Tek pasolu bir kaynaklı malzemenin esas metal ve kaynak metali bölgelerinin oluştuğu birleşme yüzeylerinden mikroyapı fotoğrafı çekildiğinde aşağıda Şekil 4.4.'te gösterildiği gibi iki ayrı bölge görülür [23].



Şekil 4.4. Kaynak metali ve esas metalin birleşme yüzeyi mikro - yapısı [23]

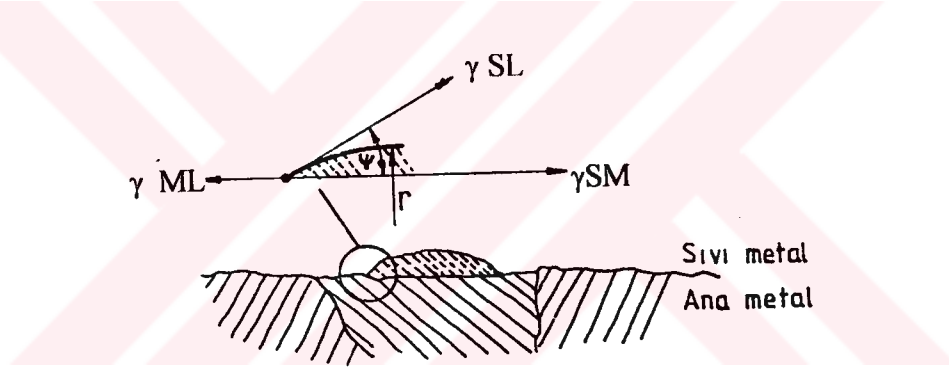
Üst taraftaki uzun ve yönlenmiş tanelerin bulunduğu bölge kaynak metali bölgesidir. Şekilden görüldüğü gibi taneler ısı akış yönüne paralel biçimde uzanmaktadır. Alt bölgede ise sıvı metalin sıcaklığından dolayı tane irileşmesi olan bölge görülmektedir.

4.3. Kaynak Metali Epitaksiyel Katılaşması

Ergitme kaynaklarının hepsinde ana metalin bir kısmı ergir ve kaynak havuzuna karışır. Kaynak işlemi esnasında ana malzemenin kaynak ergime çizgisine yakın olan bölgeleri ergime sıcaklığının üzerine kadar ısınır ve ergir.

Kaynak anında eriyen kısma yakın olan ana metalde aşırı ısınma ile tanelerde irileşme meydana gelir. Ergime kaynaklarında katılaşmanın başlangıcı ana metalin mevcut tanelerinden ilk kristallerin oluşmasıyla gerçekleşmektedir ve kaynak merkez çizgisine doğru uzanan taneler ana metalin tanelerinin bir devamıdır. Bu şekilde başlayan katılaşmaya Epitaksiyel katılaşma adı verilir [22, 25, 26].

Epitaksiyel katılaşma heterojen bir işlemdir ve şematik olarak Şekil 4.5.'te gösterilmiştir [22]. Kaynatılacak olan ana metalin sıvı metale temas eden yüzeyinde katı bir kristal çekirdeği oluşmuştur. Meydana gelen çekirdeğin geometrik olarak şekli sistemdeki değişik yüzey enerjilerine bağlıdır.



Şekil 4.5. Ana metalin ergime sınırında epitaksiyel katılaşma ve heterojen çekirdeklenmenin oluşumu [22]

γ_{ML} - Ana metal - sıvı yüzey enerjisi

γ_{SL} - Katı kaynak metali - sıvı yüzey enerjisi

γ_{SM} - Katı kaynak metali - ana metal yüzey enerjisi

γ_{SL} ile gösterilen katı kaynak metali ile sıvı metal arası yüzey enerjisinin izotropik olduğu kabul edilerek, bütün sistemin arayüzey enerjisinin minimum olması için, teşekkül eden çekirdeğin küresel bir şekil alması gerekir.

Katılaşmanın başlangıcında meydana gelen çekirdeğin ana metal ile yaptığı açı - ψ - ile gösterilmiştir ve bu açıya ıslatma açısı da denilmektedir. Yüzey enerjilerinin sebep olduğu kuvvetlerin değişmesiyle ıslatma açısı da buna bağlı olarak değişir. ıslatma açısı arayüzey enerjilerinden faydalanılarak Eş. 4.1.'deki formül ile bulunabilir [22].

$$\cos\psi = \frac{\gamma_{ML} - \gamma_{SM}}{\gamma_{SL}} \quad (4.1.)$$

Katılaşan ilk çekirdekler ana metal yüzeyinde olmaları nedeniyle kimyasal bileşimleri bakımından ana metalin kimyasal bileşimine çok yakındırlar. Aynı kimyasal bileşime sahip olduklarından katılaşmakta olan ergiyik metal ile ana metal arasında oluşan yüzey enerjileri sıfır (0) olarak kabul edilebilir ve ıslatma açısı $\psi = 0^\circ$ olarak bulunur [22].

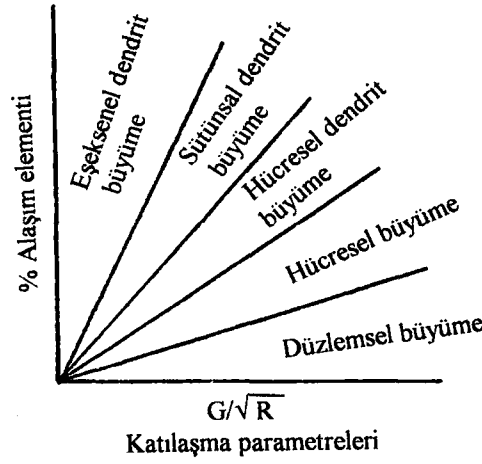
ıslatma açısının sıfır (0) olması ile ıslatma, tam ıslatma olarak gerçekleşmektedir ve bu da kaynak işlemlerinde istenilen bir durumdur.

4.4. Kaynak Metalinde Hücresel ve Dendritik Katılaşma

Kaynak metali katılaşırken sıcaklık gradyanına (G), kristal büyüme oranına (R) ve alaşım elemanlarına bağlı olarak değişik mikroyapılar meydana gelir. Belirtilen parametrelere bağlı olarak meydana gelen mikroyapılar Şekil 4.6.'da şematik olarak gösterilmiştir [27].

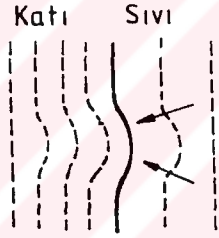
Şekilde sıcaklık değişimi ve kristal büyüme oranı birleştirilerek tek bir parametre altında verilmiştir.

Kaynak metalinin sıcaklığı katılaşma sıcaklığından düşük olursa sıvı aşırı soğuma göstermiş olur. Aşırı soğuma kimyasal bileşim değişiminden kaynaklandığından dolayı yapısal aşırı soğuma adını alır. Yapısal aşırı soğuma katılaşma mikroyapısını etkilemektedir [22, 27].



Şekil 4.6. Katılma esnasındaki mikroyapı çeşitleri [27]

Yapısal aşırı soğuma şartlarında büyümekte olan bir düzlemsel sıvı-katı arayüzeyi düşünelim. Bu ara yüzeyden Şekil 4.7.'de görüldüğü gibi bir yumru büyüdüğünü kabul edelim [22].

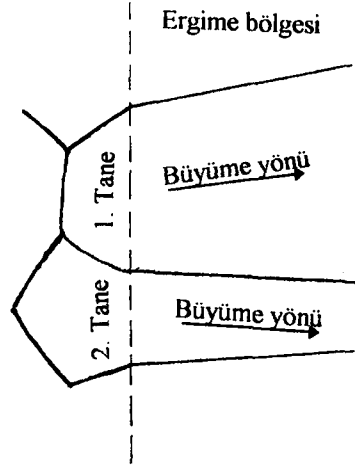


Şekil 4.7. Düzlemsel bir ara yüzeyde yapısal aşırı soğuma ile yumru büyümesi [22]

Normal şartlarda oluşan yumru daha sıcak sıvı ile temas ettiğinde tekrar ergimesi gerekmektedir. Yumrunun önündeki sıvı metal yapısal aşırı soğuma göstermiş ise yumru ergimeyecektir. Oluşan yumrunun ucundaki sıcaklık düzlemin sıcaklığından daha fazla olmasına karşılık, sıcaklığın likidüs sıcaklığından daha düşük bir değerde olduğundan katı halde kalabilmektedir. Eğer sıvı durumundaki metalin gerçek sıcaklığı ergime sıcaklığından büyük olsa oluşan yumru tekrar ergiyecektir [22].

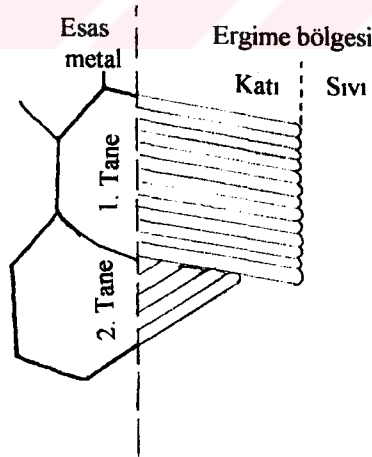
Kaynak metali, yapısal aşırı soğuma oranına bağlı olarak değişik mikroyapılar şeklinde katılaşmaktadır. Aşırı soğumanın görülmediği durumlarda ergiyik

metal Şekil 4.8.'de şematik olarak gösterildiği gibi düzlemsel olarak büyümektedir [27].



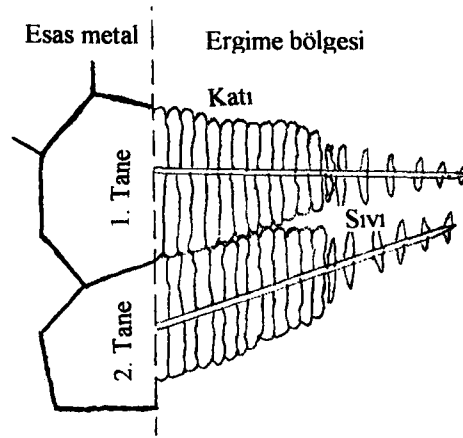
Şekil 4.8. Katılaşma esnasında düzlemsel büyüme [27]

Kaynak metalinin katılaşması esnasında çok az bir aşırı soğuma görüldüğünde ergiyik metal hücresel bir mikroyapı şeklinde büyümeye devam etmektedir. Şekil 4.9.'da katılaşma esnasında hücresel büyüme şematik olarak görülmektedir [27].



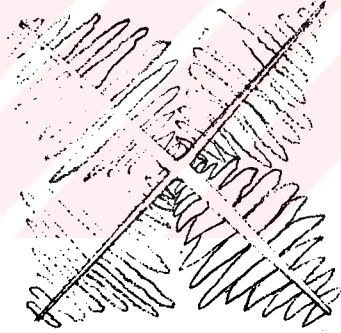
Şekil 4.9. Katılaşma esnasında hücresel büyüme [27].

Kaynak metalinin katılaşması esnasında ergiyik metalde biraz daha geniş bir alanda aşırı soğuma görüldüğünde Şekil 4.10.'da görüldüğü gibi sütunsal dendritler halinde bir katılaşma gerçekleşmektedir [27].



Şekil 4.10. Katılaşmanın sütunsal-dendritler olarak büyümesi [27]

Katılaşma esnasında ergiyik metalin tümü aşırı soğuma gösterdiği takdirde katılaşma, eş eksenel dendritlerin oluşması ile tamamlanmaktadır. Şekil 4.11.'de eş eksenel dendrit şematik bir şekilde görülmektedir [27].



Şekil 4.11. Sıvı metalde oluşan eş eksenel dendrit [27]

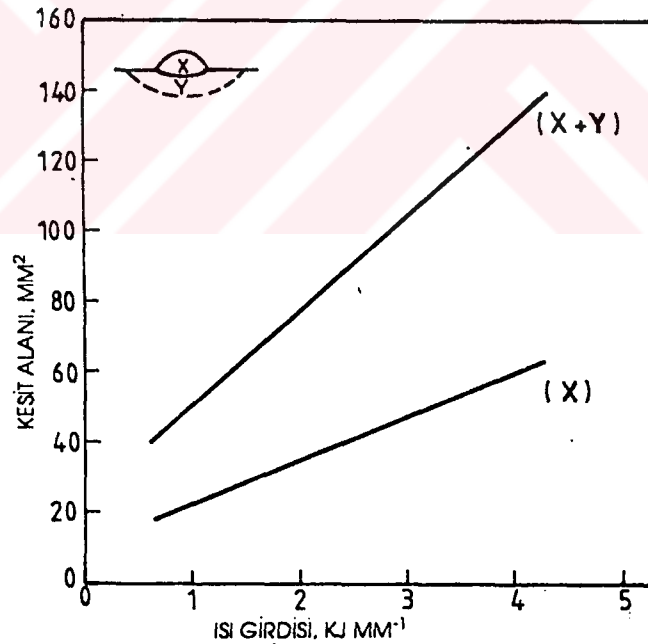
4.5. Kaynak Metali Isı Girdisi

Isı girdisi, birim uzunluktaki kaynak işlemini gerçekleştirmek için fiilen harcanmış olan ısıyı göstermektedir. Bir kaynak işleminde harcanan ısı girdisi ne kadar düşük olursa o kadar az enerji harcanmış olur. Elektrik ark kaynağı yönteminde ısı girdisi Eş. 4.2.'deki formül ile hesaplanır [16].

$$\text{Isı Girdisi (Joule / mm)} = \frac{\text{Amp} \times \text{Volt} \times 60}{\text{Kaynak İlerleme Hızı (mm / sn)}} \quad (4.2)$$

Elektrik ark kaynak yöntemlerinde özellikle kaynak akım şiddetinin artması ile ısı girdisi yükselir. Örtülü elektrodlarla ark kaynağı işlemlerinde elektrod çapı arttıkça kaynak akım değeri artırıldığından kaynak bölgesine aktarılan kaynak ısı artmaktadır. Isı girdisini etkileyen diğer önemli bir hususda koruyucu gazın bileşimidir. Ark ile oluşturulan ısı gaz tarafından en iyi şekilde iletilmelidir. Her koruyucu gaz kendine özgü bir ısı iletkenliğine sahiptir. Tozaltı kaynaklarında genellikle kalın kesitli kaynak teli kullanıldığından ve ark koruyucu bir tozaltıda gerçekleştirildiğinden yüksek derecede akım değerleri kullanılır. Ark, koruyucu bir toz altında olduğundan ısıнын atmosfere dağılımı toz tarafından engellenir ve oluşan ısıнын büyük bir kısmı kaynak bölgesine aktarılır [16, 20, 28].

Kaynak ısıısı arttıkça Şekil 4.12.'de gösterildiği gibi kaynak bölgesi genişlemektedir [20].



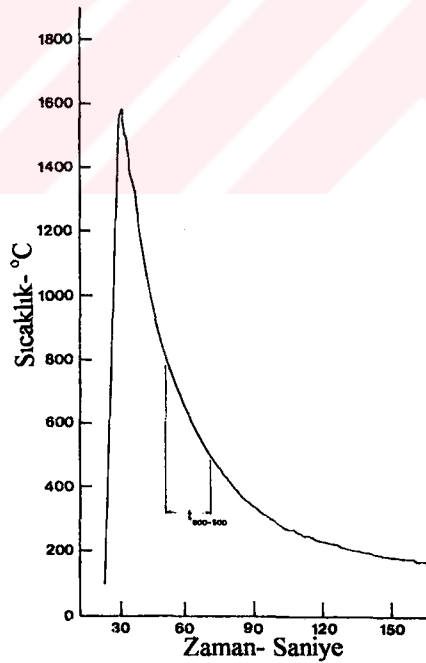
Şekil 4.12. Örtülü elektrod ark kaynağında kaynak ısı enerjisinin kaynak bölgesi boyutlarına tesiri [20]

Kaynak işlemi esnasında kullanılan ısı arttıkça soğuma hızı azaldığından mikroyapıdaki dönüşümler daha yüksek sıcaklıklarda oluşmaktadır ve buna

bağlı olarak hem tane irileşmesi olmakta hem de ferrit hacim oranı artmaktadır. Oluşan mikroyapıdaki değişikliğe bağlı olarak mukavemet ve sertlikte düşme görülmektedir. Mikroyapıdaki değişim ile en fazla tokluk etkilenmektedir. Kaynak ısı girdisinin artması ile toklukta düşme görülmektedir [20].

4.6. Kaynak Metali Soğuma Süresi ($\Delta t_{8/5}$)

Östenit fazından oda sıcaklığına soğuma hızı, ITAB'da ve kaynak metalinde sonuç mikroyapıyı etkilediğinden oldukça önemlidir. Kaynak işlemi yapılan çelik malzemelerde 800°C oldukça önemli bir sıcaklıktır. 800°C , kaynak yapılan birçok çelik malzemenin A_3 sıcaklığıdır ve östenit fazından dönüşüm bu sıcaklıkta başlamaktadır. Çeliğin 800°C 'den 500°C 'ye soğuma süresi saniye olarak ölçülüp $\Delta t_{8/5}$ ile ifade edilir. $\Delta t_{8/5}$ süresinin nasıl ölçüldüğü Şekil 4.13.'de şematik olarak gösterilmiştir [21].



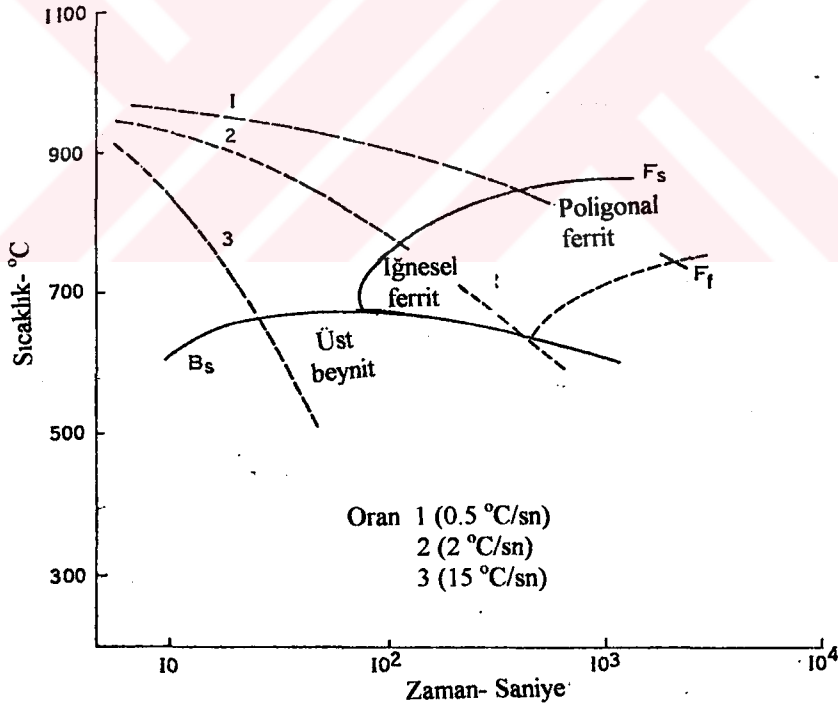
Şekil 4.13. $\Delta t_{8/5}$ süresinin gösterilişi [20]

Çelik malzemelerin kaynak metalinde $\Delta t_{8/5}$ süresine bağlı olarak değişik özellikte mikroyapılar meydana gelir. Bununla beraber $\Delta t_{8/5}$ süresi kadar çeliğin

kimyasal bileşimininde sonuç mikroyapıyı etkilediğini unutmamak gerekmektedir.

Genellikle kaynak metali soğuma süresi olan $\Delta t_{8/5}$, 5 sn'den az olursa mikro yapı martenzit ve/veya beynit olur. $\Delta t_{8/5}$, 100 sn'den fazla olursa poligonal ferrit ve perlit sonuç mikroyapıyı oluşturur. $\Delta t_{8/5}$, soğuma süresi iki değer arasında olursa kimyasal bileşime bağlı olarak yüksek miktarda asiküler ferrit hacim oranı elde edilir [20, 29, 30].

Düşük alaşımlı bir çeliğin kaynak metalinde soğuma süresine bağlı olarak oluşabilecek mikroyapılar Şekil 4.14.'te şematik olarak gösterilmiştir [30].



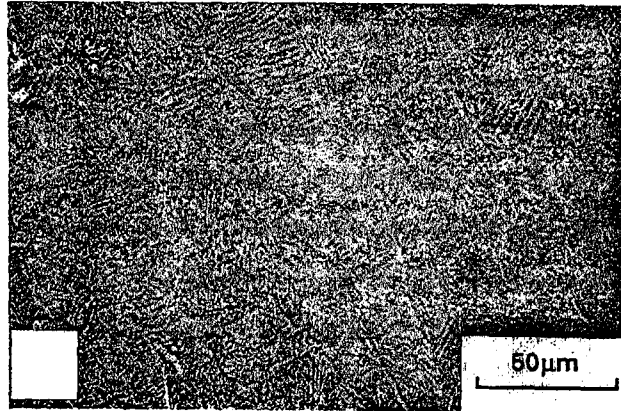
Şekil 4.14. Düşük karbonlu çelik kaynak metalinde soğuma hızına bağlı olarak oluşabilecek mikroyapılar [30]

4.7. Kaynak Metali Mikroyapısı

Kaynak işlemi için seçilen orta karbonlu bir çelik malzemenin kaynak esnasında ısıdan etkilenmeyen bölgelerinin mikroyapısı incelendiğinde ferrit ve perlit tanelerinin yapıya hakim olduğu gözlenir [31, 32].

Kaynak metalinin katılaştıran bölgesi ve ısının tesiri altında kalan bölge mikroyapı bakımından incelendiğinde esas metalden oldukça farklı bir yapı içerir. Kaynak metalinin yapısı, malzemenin kimyasal durumu ve soğuma esnasındaki dönüşümün bir sonucudur. Düşük alaşımlı ve düşük karbonlu çelik malzemelerin kaynak metali ana yapısı ferrittir [22,32, 33, 34].

Orta karbonlu çelik malzemelerin kaynak metali, hızlı soğuma sonucunda çoğunlukla martenzitik bir yapı oluşturur. Kaynak havuzunun ısıdan etkilenen bölgesine yakın olan kısımlarının soğuma karakteristiği daha etkili ve daha hızlıdır. Hızlı soğuma sonucu Şekil 4.15.'de görüldüğü gibi kolonsal martenzit oluşur. Kaynak metalinde oluşan kolonların uzunluğu boyunca olan yönlenme, kaynak havuzundan ısı akışının yönüne işaret eder [31,35].

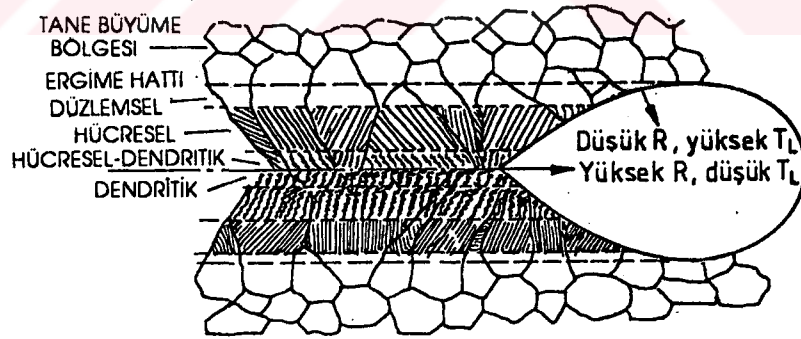


Şekil 4.15. Kaynak metalinde kolonsal martenzit oluşumu [31]

Kaynak havuzunun merkezine doğru sıcaklığın dağılımı oldukça karmaşık olacaktır ve kaynak merkezinde bazı bölgelerdeki soğuma, yakın bölgelerdeki sıvı metal mevcudiyetinden dolayı çok etkili olamayacaktır. Herhangi bir yönlendirilmiş ısı akışı durumunda merkezi bölgelerin mikroyapısı kimyasal bileşime bağlı olarak eş eksenli martenzitik tanelerden meydana gelir [22,25,31,33].

Kaynak işlemi sonunda katılaşmış durumdaki kaynak metalinin mikroyapısı incelendiğinde iki değişik bölge ile karşılaşılır. Isının tesiri altında kalan bölgeye yakın olan kaynak metali kolonsal bir tane yapısı, kaynak merkez çizgisine yakın olan kaynak metali ise eş eksenel ve dendritik taneler içerir [25,31].

Düşük ve yüksek alaşımlı malzemelerin kaynak işlemi sonucunda kaynak metalinin katılaşması neticesinde muhtelif bölgelerde oluşan mikroyapılar Şekil 4.16.'da şematik olarak görülmektedir [22].



Şekil 4.16. Kaynak metali bölgesinde oluşan değişik mikroyapılar [22]

Kaynağın bitiş ucunda havuz geometrisi eliptik bir şekil almaktadır. Şekil üzerinde gösterilen -R- kristal büyüme hızını, T_L sıcaklık değişimini ifade etmektedir. Son katılaşma bölgesinde, kraterde hızlı kristal büyümesi, fazla

segregasyon, düşük sıcaklık değişimi, muhtemelen yüksek derecede aşırı soğuma olduğundan, mikroyapı dendritik olmaktadır [20, 25].

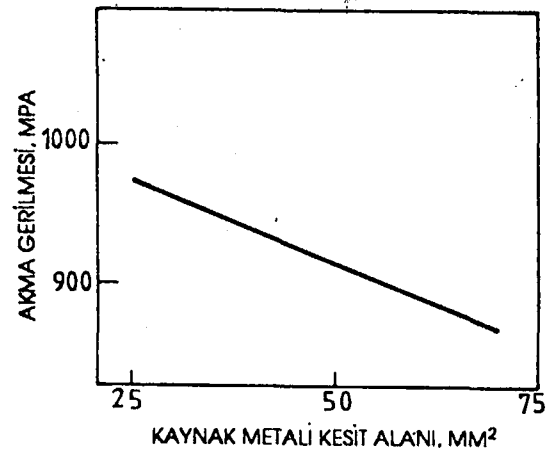
Çeliklerin kaynak metallerinin katılaşması heterojen katılaşma ile başlar ve daha sonra kolonsal hücreler oluşur. Oluşan hücrelerin genişliği ITAB'ın tane boyutuna bağlı olarak değişir ve sonuç olarak iri taneli mikroyapıdan geniş, ince taneli mikroyapıdan ise dar ve ufak hücreler oluşur [35, 36, 37].

4.8. Kaynak Metali Alanı

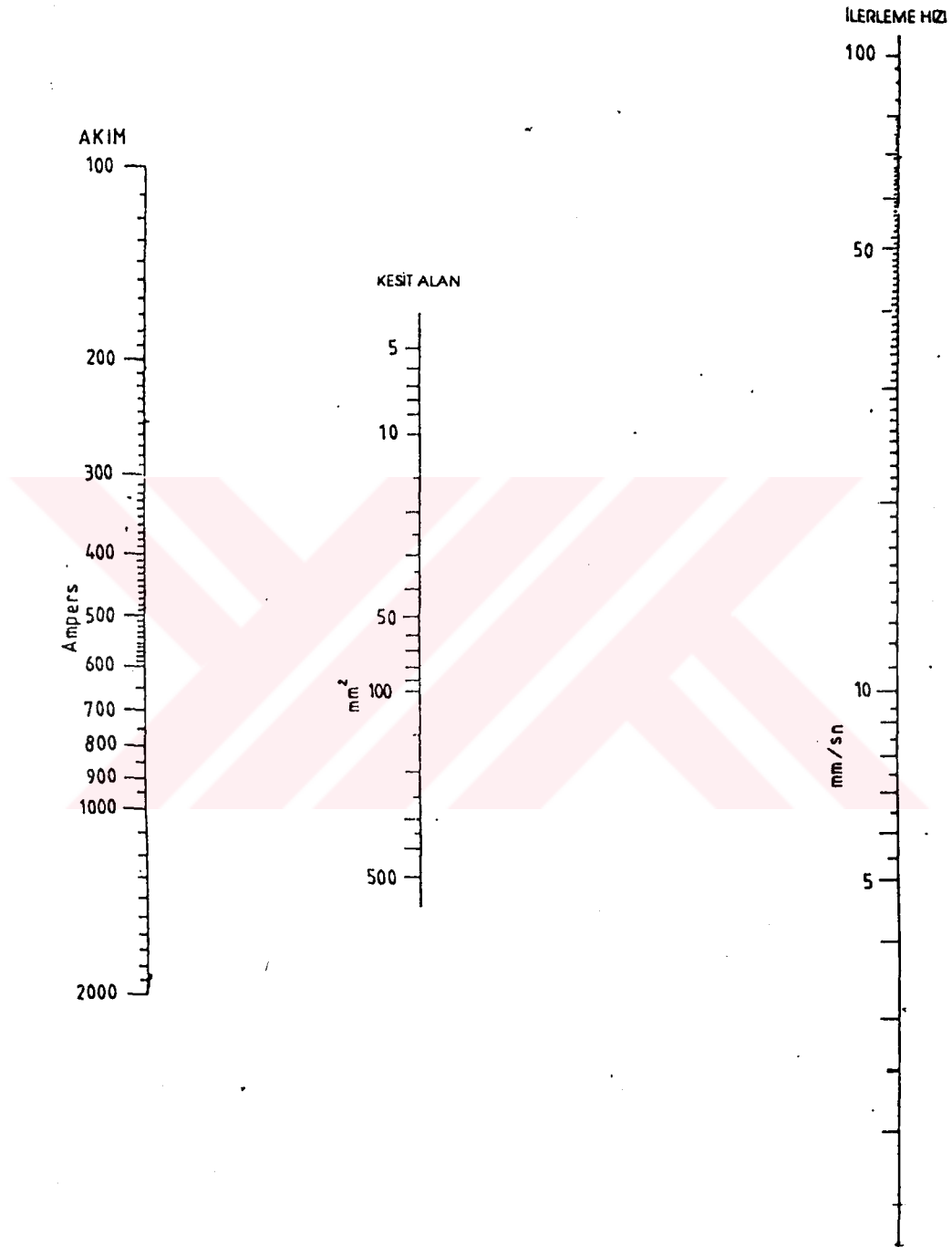
Elektrik ark kaynağı yöntemlerinde kaynak metalinin alanı sıvı metalin hacmini göstermektedir ve bu alan kaynak parametreleri ile değişmektedir. Kaynak metalinin hacmi, kaynak akım şiddeti ile büyürken kaynak hızının artmasıyla beraber küçülmektedir [38].

B.L. Shultz ve C.E. Jackson'nun [39] yaptıkları çalışmalar sonucunda kaynak akımı ve kaynak hızına bağlı olarak kaynak metali kesit alanını Şekil 4.18.'de görüldüğü gibi bir diyagramla ifade etmişlerdir. Bu diyagram sadece Örtülü elektrod, Gazaltı ve Tozaltı elektrik ark kaynak yöntemleri için geçerlidir. Kaynak makinalarında kaynak gerilimi akım ile otomatik olarak ayarlandığından kaynak metali kesit alanı üzerine olan etkisi ihmal edilmiştir. Diyagramdan yararlanmak için elektrik ark kaynağı yöntemlerinde kaynak akımı ve kaynak hızı değerleri işaretlenir. Daha sonra işaretli olan iki noktayı birleştiren çizginin alan eksenini kestiği nokta kaynak metali alanını verir.

Araştırmacılar [39], Şekil 4.17.'de görüldüğü gibi kaynak metali kesit alanının arttığında, kaynak metalinin akma mukavemetinin düştüğünü belirtmişlerdir.



Şekil 4.17. Kaynak metali kesit alanı ile akma gerilmesinin değişimi [39]



Şekil 4.18. Kaynak parametrelerine bağlı olarak kaynak metali kesit alanını hesaplama diyagramı [39]

4.9. Kaynak Hızı

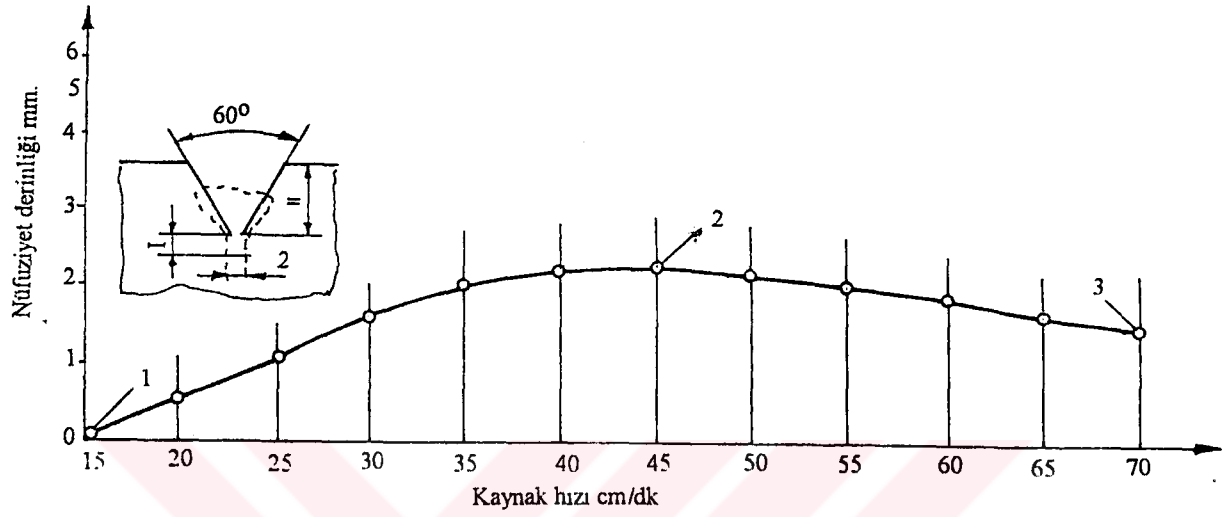
Kaynak hızı, kaynak arkının iş parçası boyunca olan hareketi ya da birim zamanda yapılan kaynak dikişi boyu olarak tanımlanır. Kaynak hızı, yarı otomatik yöntemlerde kaynakçı tarafından, otomatik veya mekanize yöntemlerde ise makina tarafından ayarlanır. Yüksek kaynak hızlarında ark voltajında önemli bir değişiklik yapılmazken yüksek akım değerleri kullanılmalıdır [11,16].

Kaynak hızının düşük veya yüksek değerlerde oluşu parçaya uygulanan ısı girdisi üzerinde de önemli rol oynamaktadır. Düşük kaynak hızlarında yüksek ısı girdisi sağlanırken, yüksek hızlarda düşük ısı girdileri elde edilmektedir.

4.9.1. Kaynak hızının nüfuziyete etkisi

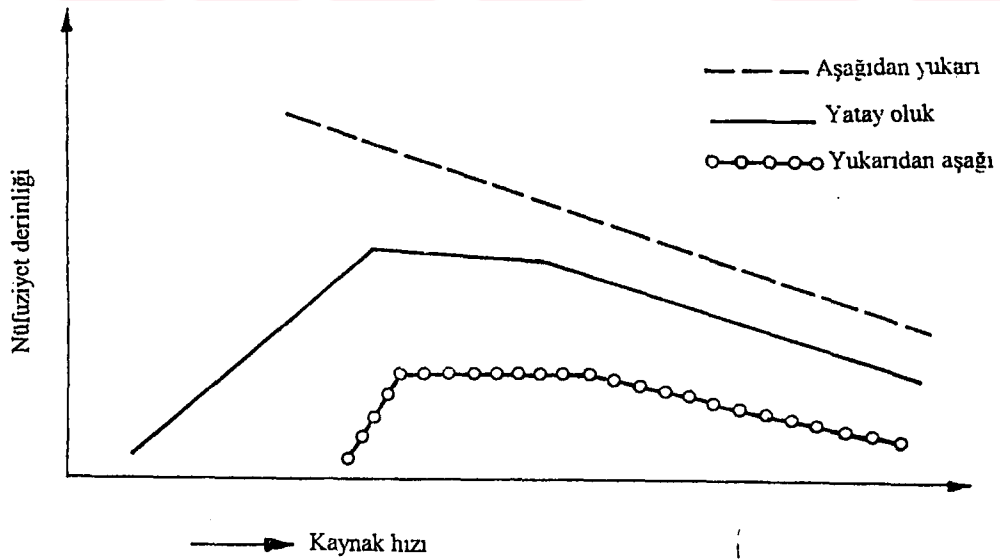
Kaynak işlemi esnasında hız yavaş olduğu zaman birim boya yığılan kaynak metali artar ve bu da sonuçta kaynak banyosunun büyümesine sebep olur. Kaynak metalinin büyümesi ile ve ısı girdisinin artmasıyla akışkan hale gelen sıvı metal kaynak ağzı içinde arkın önüne doğru akar, bu da nüfuziyetin azalmasına neden olur ve sonuç olarak geniş bir kaynak dikişi elde edilir. Kaynak hızının çok yavaş olduğu durumlarda, kaynak metalinin fazla miktarda yığılması ve nüfuziyetin azalmasıyla kaynak ağzı kenarlarında kalın bölgeler oluşur. Hızın artması birim boya verilen kaynak ısısının azalmasına ve dolayısıyla da esas metalin eriyen miktarının azalmasına neden olur, bu da nüfuziyeti azaltır [11].

En derin nüfuziyet kaynak hızının optimum olduğu değerlerde elde edilir ve bu nüfuziyet, kaynak hızının yavaşlaması ya da artması durumlarında azalır [40]. Şekil 4.19.'da kaynak hızının nüfuziyet derinliğine etkisi, Şekil 4.20.'de ise kaynak hızı ve pozisyonun nüfuziyet derinliğine etkisi görülmektedir.



Şekil 4.19. Kaynak hızının nüfuziyete etkisi [11]

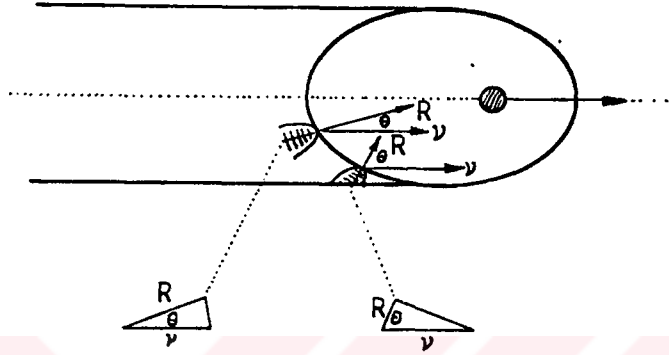
- 1) Öne akan banyoda minimum nüfuziyet
- 2) Doğru kaynak hızında maksimum nüfuziyet
- 3) Hızlı kaynakta düşük nüfuziyet



Şekil 4.20. Kaynak hızı ve pozisyonunun nüfuziyete etkisi [11]

4.9.2. Kaynak hızının kristal büyümesine etkisi

Kaynak havuzunun geometrisi sabit olarak şeklini korursa kaynak hızı ile kristallerin büyümesi yani katılaşması arasında bir bağıntı olacaktır. Bu bağıntı Şekil 4.21.'de gösterilmiştir [22].



Şekil 4.21. Kaynak hızı ve kristal büyümesi arasındaki ilişki [22]

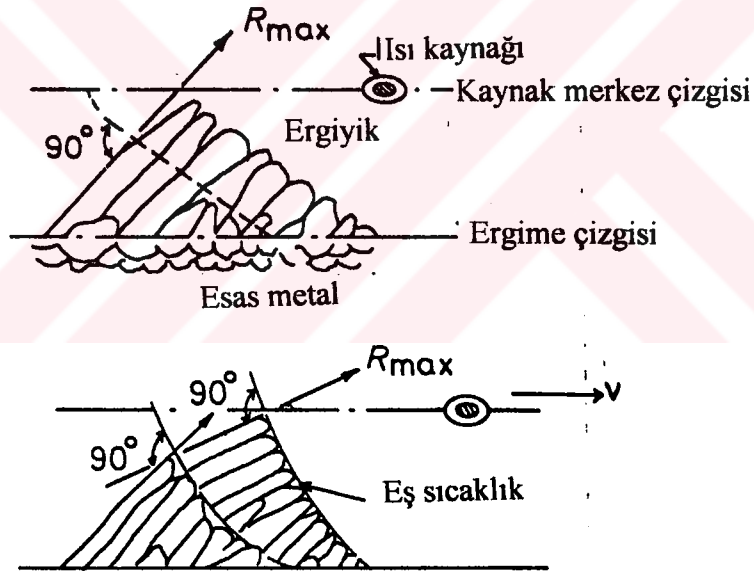
Kristal büyümesinin ilk olarak her zaman ergime hattına dik doğrultuda meydana geldiği kabul edilir. Şekil 4.21.'de görüldüğü gibi kaynak hızı -V-vektörü ile ve kristal büyüme hızı -R- vektörü ile gösterilirse iki vektör arasında Eş. 4.3.'deki bağıntı geçerli olacaktır [19,22].

$$R = V \times \cos Q \quad (4.3)$$

Bu denklemde Q, iki vektör arasındaki açıdır. Kaynak hızı (V) sabit olduğundan kristal büyüme hızı (R) ergime hattı üzerinde bulunduğu konuma göre değişecektir. Kaynak ilerleme merkez çizgisi hattı üzerinde olan kristallerin büyümesi en yüksek hızda olacaktır. Bu durumda Q açısı sıfır'a (0) eşit değerdedir. Q = 90° olduğunda yani kristal büyümesi kaynak ilerleme hattına dik doğrultuda olduğunda büyüme en yavaş olacaktır.

Kristallerin büyümeleri sırasında en dik sıcaklık eğrisini veya değişimini sürekli takip edebilmek için yönlenme doğrultularını değiştirdiklerini Şekil

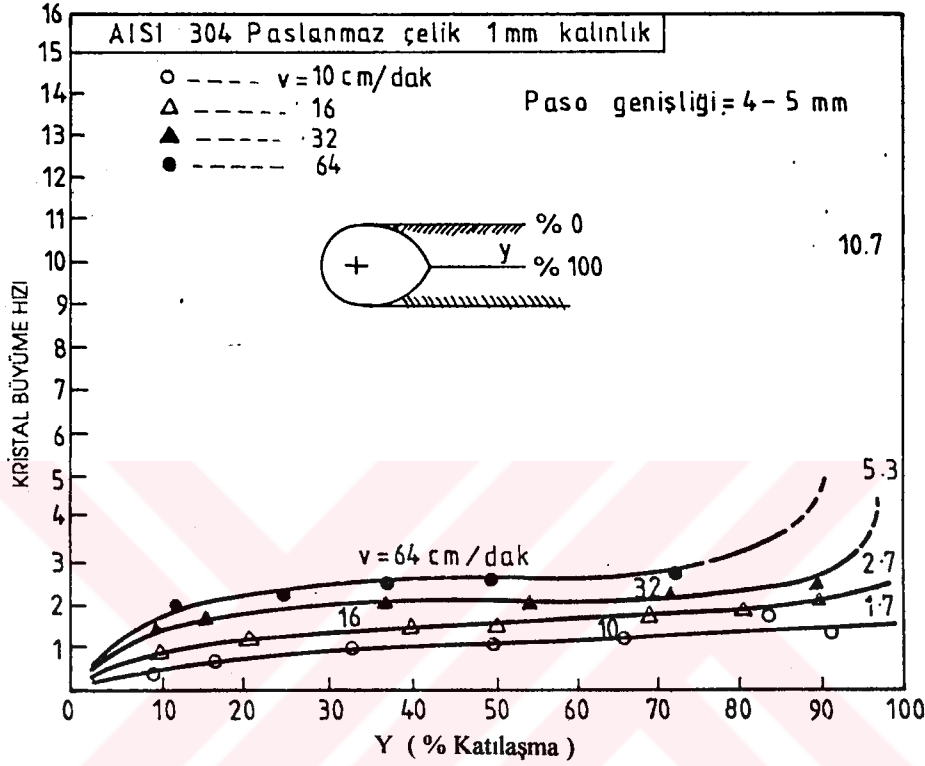
4.22.'de görmekteyiz. Yönlenmedeki bu değişim, kaynak ilerleme hızına bağlı olmaksızın gerçekleşmektedir. Kaynak işlemi esnasında ısı kaynağı ilerledikçe en dik sıcaklık eğrisinin doğrultusu belirgin olarak değişiklik göstermektedir. Belli bir doğrultu da büyümekte olan kristaller bu doğrultu değişimine ayak uyduramamaktadırlar. Kristal büyümesinin sürekliliğini devam ettirmek için katılaştan kristallerin yön değiştirmesi gerekmektedir. Bu yön değiştirme olayıda mevcut kristallerden uygun doğrultuda yeni kristallerin oluşması ile gerçekleşmektedir [19,22]. Kristallerin yön değiştirmeleri Şekil 4.22.'de şematik olarak görülmektedir [19].



Şekil 4.22. Kaynak esnasında kristallerin sürekli büyümeleri [19]

Kristallerin büyümeleri doğrultusundaki yön değişiminin mekanizması tam olarak anlaşılamamasına rağmen mevcut olan kristallerin yüzeyinde yeni kristal çekirdeklerin oluştuğu ve bu çekirdeklerin büyüdüğü kabul edilir [19,22,35,36].

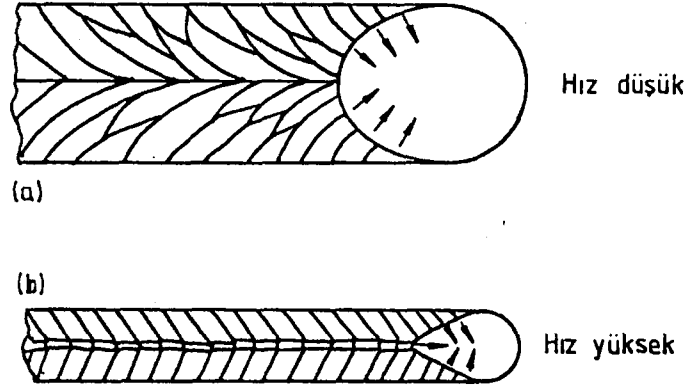
Şekil 4.23.'te kaynak hızının artması ile kristal büyüme hızının artışı şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.23. Kristal büyüme hızının kaynak ilerleme hızı ile değişimi [19]

4.9.3. Kaynak hızının kaynak metali şekline etkisi

Kaynak hızının önemli bir etkisi Şekil 4.24.'de görüldüğü gibi kaynak metalinin şeklindedir [22]. Kaynak hızının değişimi katılma tavrını değiştirmektedir. Yavaş kaynak ilerleme hızında kristal büyümesi ilerleyen ısı kaynağından geri kalmadan düzenli ve simetrik olarak gerçekleşmektedir. Kaynak havuzu, geniş ve yuvarlağımsı bir şekildedir. Düşük kaynak hızlarında kullanılan akıma da bağlı olarak kaynak ısı girdisi fazladır ve daha geniş bir bölge ısının tesiri altındadır. Kaynak ilerleme hızı arttırıldığında kaynak metalinin şekli ve boyutu değişmekte, sıvı metal havuzu küçülmekte ve daha dar bir kaynak dikişi elde edilmektedir.



Şekil 4.24. Kaynak hızının kaynak metali şekline etkisi [22]

Yüksek kaynak hızlarında parçaya uygulanan ısı girdisi düşük, ısının tesiri altında kalan bölge (ITAB) daha dar ve tane boyutu düşüktür [19,22,41,42,43].

5. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmada Çizelge 5.1.'de kimyasal kompozisyonu verilen malzemeye gazaltı, tozaltı ve manuel ark kaynağı yöntemleriyle Çizelge 5.2.'de gösterilen değişik kaynak hızlarında kaynak dikişleri çekilerek kaynak hızının mikroyapı ve nüfuziyete etkisi araştırılmıştır.

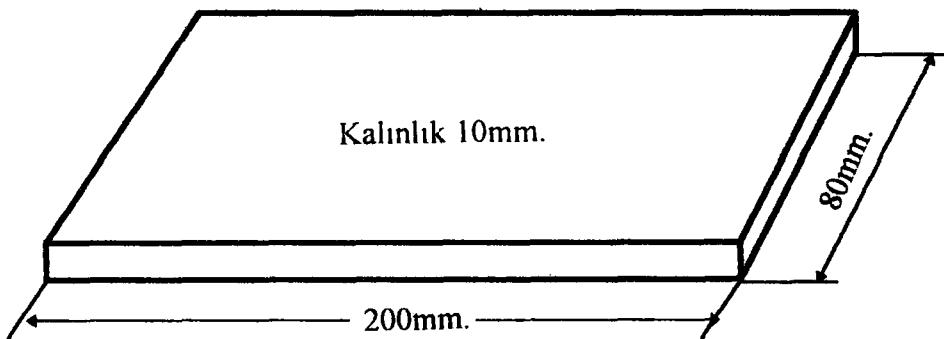
5.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler

5.1.1. Ana malzeme

Deneylerde Şekil 5.1.'de şematik olarak gösterilen ve ölçüleri verilen malzemeler üzerine üç değişik kaynak yöntemi ile farklı hızlarda kaynak dikişleri çekilmiştir. Malzemeler, 10mm. kalınlığında ve 80 mm. genişliğinde bir platinadan kesilmiştir. Kullanılan ana malzemenin spektro analizi ile elde edilen kimyasal kompozisyonu Çizelge 5.1.'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Ana malzemenin kimyasal kompozisyonu (ağırlıkça %)

Element	C	M	P	S	Si	Al	Ni	Cr	Cu	Ti
% Oran	0.095	0.743	0.035	0.042	0.138	0.003	0.092	0.120	0.303	0.004



Şekil 5.1. Kaynak dikişi çekilecek ana malzeme

Kaynak dikişlerinin çekileceği ana malzemeler daire testerede kesildikten sonra üzerindeki oksit, yağ gibi yabancı maddelerden iyice temizlenmiştir.

Çizelge 5.2. Deneylerde kullanılan kaynak yöntemlerine göre kaynak hızları (cm/dk.)

Parça No:	Gazaltı ark	Tozaltı ark	Manuel ark
0	7	15	7
1	10	25	8
2	14	35	9
3	19	45	11
4	24	55	12
5	30	65	16
6	35		18
7	40		21
8	45		24
9	50		30
10	55		35
11	60		
12	65		
13	70		
14	75		
15	80		

5.1.2. Tel elektrodlar

Deneylerde, Gazaltı kaynak yönteminde BÖHLER firması tarafından üretilen bileşimi Çizelge 5.3.'te verilen 1.2mm. çapında SG2 kaynak teli kullanılmıştır.

Çizelge 5.3. SG 2 kaynak telinin kimyasal bileşimi

Element	C	Mn	P	S	Si	Al	N2	Ni	Cr	Cu
% Oran	0.068	1.41	0.020	0.014	0.763	0.002	0.003	0.041	0.031	0.026

Tozaltı kaynağı yönteminde OERLIKON firması tarafından üretilen kimyasal bileşimi Çizelge 5.4.'te verilen 3.2mm. çapında yumuşak çeliklerin tozaltı kaynağı için bakır kaplı OE S1 kaynak teli kullanılmıştır.

Çizelge 5.4. OE-S1 kaynak teli kimyasal bileşimi

Element	C	Mn	Si
% Oran	0.12	0.5	0.10

Manuel ark kaynağı yönteminde ise yine OERLIKON firması tarafından üretilen kaynak metali kimyasal bileşimi Çizelge 5.5.'te verilen 3.25 mm. çapında düşük ve orta karbonlu çeliklerin kaynağında kullanılan rutil tip kaynak elektrodu kullanılmıştır.

Çizelge 5.5. Rutil tip kaynak elektrodu kimyasal bileşimi

Element	C	Mn	Si
% Oran	0.08	0.5	0.4

5.1.3. Kaynak metalinin korunması

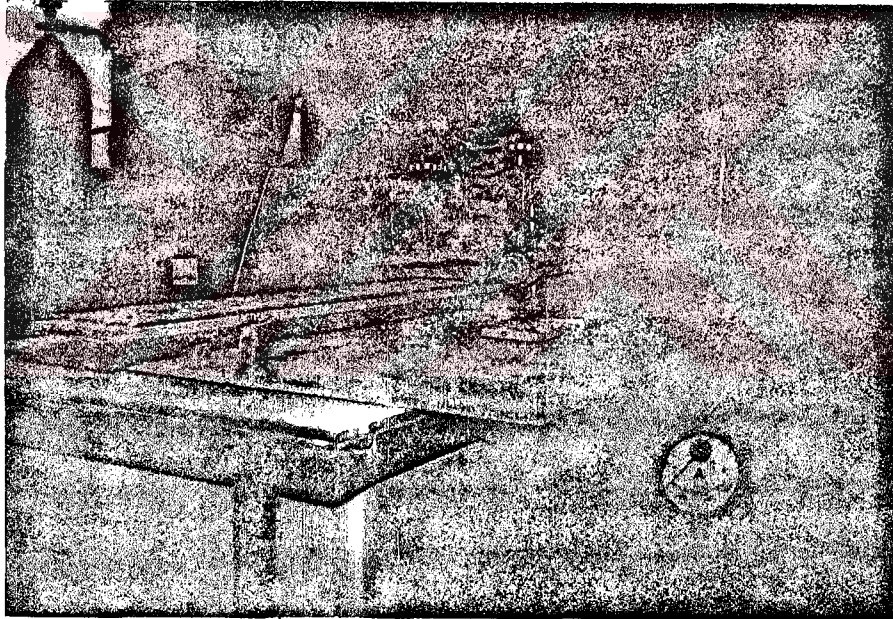
Deneyler esnasında, gazaltı kaynağı yöntemlerinde koruyucu gaz olarak piyasada rahat bulunan ve ucuz olan karbondioksit gazı koruyucu ortam olarak kullanılmıştır.

Tozaltı kaynağı ile çekilen kaynak dikişlerinde ise dikişler, OERLIKON firması tarafından üretilen OP - 1100 tipinde koruyucu kaynak tozu ile korunmuştur.

Manuel ark kaynağı yönteminde örtülü elektrod kullanıldığından elektrodun etrafındaki örtü maddesi koruyuculuk görevini gerçekleştirmiş olup ayrıca bir koruyucu ortam kullanılmamıştır.

5.2. Deney Donanımı

Gazaltı kaynağı kullanılarak çekilen kaynak dikişlerinde 400 amperlik, hava soğutmalı, yatay karakteristikli, ESAB 400 tipi bir akım üretici ve tertibatı (tel sürme ünitesi, koruyucu gaz tüpleri, debimetre, torç, vb.) kullanılmıştır. Deneyler esnasında devreye bir otomatik araba ve amper değerini okuyabilmek için ampermetre ilave edilmiştir. Gazaltı kaynağı deney donanımı kısmen Şekil 5.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Gazaltı kaynağı deney donanımı

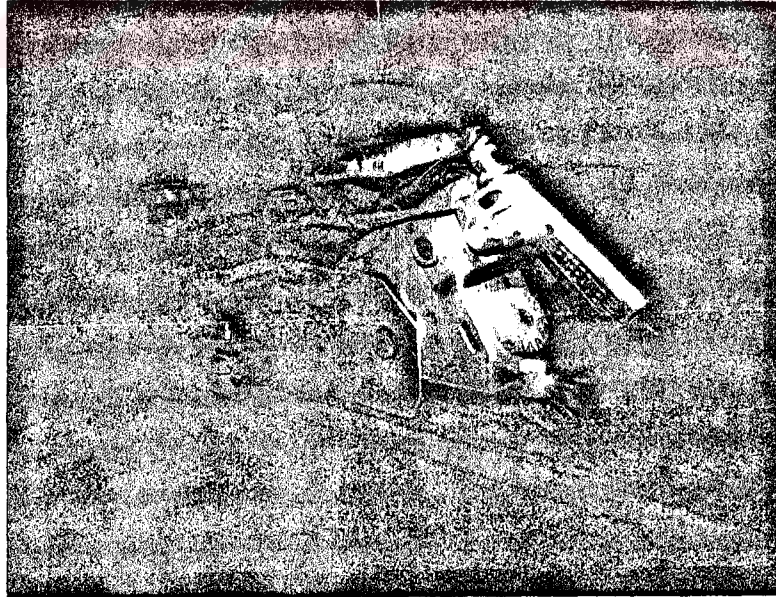
Manuel ark kaynağı yönteminde çekilen kaynak dikişleri, 60 - 210 amper değerleri arasında akım üretebilen bir kaynak jeneratörü ve avadanlıkları yardımıyla çekilmiştir. Bu yöntemde de devreye kaynak dikişinin düzgünlüğü ve kaynak hızını ayarlamak amacıyla bir otomatik araba ilave edilmiştir. Ayarla-

nan bir sistemle kaynak pensesini otomatik arabanın itmesi suretiyle kaynak dikişlerinin çekilmesi gerçekleştirilmiştir.

Tozaltı ark kaynağı deneylerinde, 1500 amper değerlerine kadar akım üretebilen, HOBART marka seyyar tozaltı kaynak makinası ve avadanlıkları (otomatik araba, tel sürme motoru, toz ünitesi, vs.) kullanılmıştır. Bu yöntemde makineye ait raylı bir sistem üzerinde 0-100 cm/dk. değerleri arasında hareket eden bir otomatik hız arabası bulunmaktadır. Ayrıca makine üzerine monte edilmiş tel hızını 0-500 cm/dk. değerleri arasında ayarlayabilen ve tel hızına göre kaynak voltajını belirleyen bir ünite mevcuttur.

5.2.1. Otomatik araba

Gazaltı ve manuel ark kaynağı yöntemlerinde, kaynak hızını belirtmek amacıyla kaynak torcunun ve kaynak pensesinin monte edilebildiği 0-100 cm/dk. doğrusal hız ayarı bulunan, raylı bir sistem üzerinde hareket edebilen otomatik araba kullanılmıştır (Şekil 5.3.).



Şekil 5.3. Otomatik araba

5.3. Deneylerin Yapılışı

Şekil 5.1.'de ölçücüleri belirtilen deney parçaları üzerine yatay pozisyonda, her parça üzerine bir adet kaynak dikişi olmak şartıyla dikişler çekilmiştir. Üç ayrı kaynak türünde de kaynak hızının etkisini görmek amacıyla, kaynak hızı haricinde bütün parametreler sabit tutulmuştur. Sabit tutulan parametreler ile gazaltı ark kaynağı yönteminde 16 adet, manuel ark kaynağı yönteminde 11 adet, tozaltı ark kaynağı yönteminde 6 adet olmak üzere değişik hızlarda kaynak dikişleri, Çizelge 5.2.'de belirtilen hızlarda deney parçaları üzerine çekilmiş ve havada soğumaya bırakılmışlardır.

Gazaltı ark kaynağında kaynak dikişleri aşağıda belirtilen parametreler dahilinde çekilmişlerdir.

- a) Kaynak akım şiddeti : 245 ± 5 amper
- b) Kaynak gerilimi : 30 ± 2 volt
- c) Kaynak konumu : yatay
- d) Paso sayısı : her numuncye 1 adet
- e) Dikiş türü: düz dikiş
- f) Isıl işlem: yok
- g) Tel çapı: 1.2 mm.
- h) Meme çapı: 1.4 mm.
- i) Serbest tel uzunluğu : 25 mm.
- j) Koruyucu gaz: CO₂
- k) Kaynak hızı: 16 değişik hız

Manuel ark kaynağı yönteminde deneyler, aşağıda sıralanan parametreler dahilinde gerçekleştirilmişlerdir.

- a) Kaynak akım şiddeti: 140 amper
- b) Kaynak gerilimi: 20 ± 2 volt

- c) Elektrod çapı : 3.25mm.
- d) Kaynak konumu: yatay
- e) Paso sayısı : her numuneye 1 adet
- f) Isıl işlem: yok
- g) Kaynak hızı: 11 değişik hız

Tozaltı ark kaynağı yönteminde ise deney parçaları üzerine çekilen kaynak dikişleri aşağıdaki kaynak parametreleri kullanılarak çekilmişlerdir.

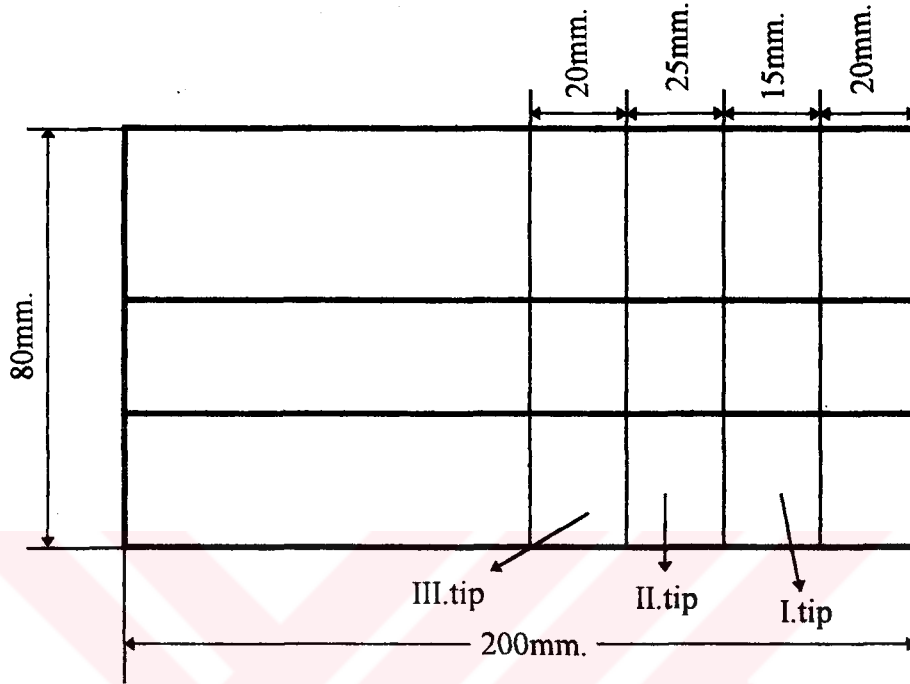
- a) Kaynak akımı: 300 ± 10 amper
- b) Kaynak gerilimi : 40 ± 2 volt
- c) Tel çapı: 3.20 mm.
- d) Kaynak konumu : yatay
- e) Paso sayısı : her numuneye 1 adet
- f) Isıl işlem: yok
- g) Meme çapı : 4.5mm.
- h) Koruyucu toz: OP - 1100 kaynak tozu
- i) Kaynak hızı: 6 değişik hız

Yukarıda belirtilen parametreler kullanılarak üç değişik kaynak yönteminde toplam olarak 33 adet deney parçası üzerine kaynak dikişi çekilmiştir.

5.4. Kaynaklı Parçalardan Deney Numunelerinin Çıkartılması

Kaynak dikişi çekilen parçalardan Şekil 5.4.'te ölçüleri verildiği gibi kaynak dikişinin bitiş ucuna yakın bölgelerden, üç ayrı yönden inceleme yapmak amacıyla, üç tip metalografik inceleme numunesi, bor yağ soğutmalı hidrolik testere yardımıyla çıkartılmıştır. Kaynak dikişinin bitiş ucundan itibaren 20 mm. genişliğinde kesilen ilk parça inceleme amacıyla kullanılmamıştır. Üç değişik

kaynak yönteminde çekilen 33 adet kaynak dikişinden olmak üzere 99 adet deney numunesi hazırlanmıştır.

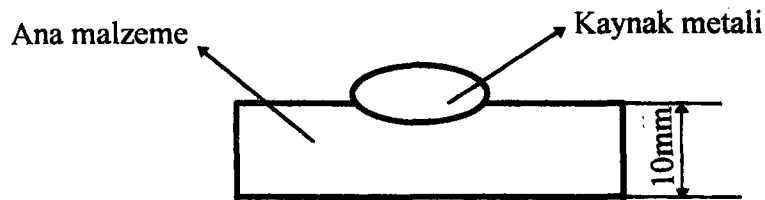


Şekil 5.4. Kaynaklı parçadan deney numunelerinin çıkarılışı

5.4.1. Mikroyapı numuneleri

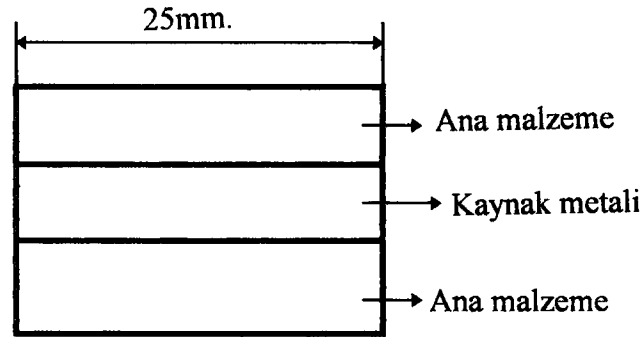
Kaynak metali mikroyapısını incelemek amacıyla her değişik kaynak hızından üç değişik tipte mikroyapı numuneleri hazırlanmıştır.

I. tip deney numuneleri; Şekil 5.5.'de görüldüğü gibi kaynak dikişine dik yönde 15mm genişliğinde kesilen ve kaynak metaline alından bakmak amacıyla hazırlanan numunelerdir.



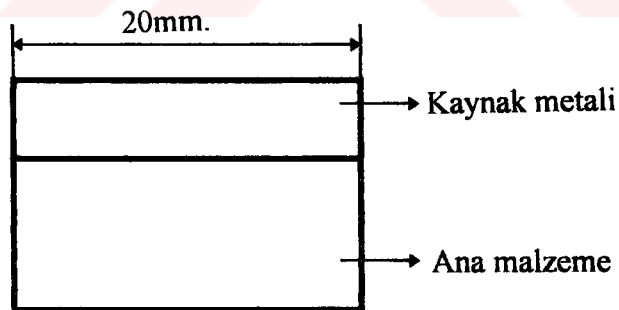
Şekil 5.5. I. Tip mikroyapı numunesi

II. tip numuneler; Şekil 5.6.'da görülen kaynak istikametine dik yönde 25mm genişliğinde kesilen ve kaynak metaline üstten bakmak amacıyla hazırlanan numunelerdir.



Şekil 5.6. II. Tip mikroyapı numunesi

III. tip numuneler; Şekil 5.7.'de görülen kaynak istikametine dik yönde 20 mm genişliğinde kesilen ve kaynak metaline yandan bakmak amacıyla kaynak dikişi merkez çizgisinden tekrar kesilen numunelerdir.



Şekil 5.7. III. Tip mikroyapı numunesi

Belirtilen üç değişik tipteki deney numunelerinin ebatları metalografik çalışmaya elverişli olduğundan gömme işlemine gerek duyulmamıştır. Numunelerin inceleme yapılacak yüzeyleri zımpara taşı kullanılarak kabaca düzeltildikten

sonra sırasıyla 180, 220, 320, 500, 800 ve 1200 numaralı SiC su zımparaları ile zımparalanmıştır. Zımparalama işlemi esnasında numuneler 90° döndürülerek her yönde eşit miktarda zımparalama işlemi gerçekleştirilmiştir. Zımparalama işlemi biten numuneler 600 ve 1200 devirli parlatma cihazında elmas pasta kullanılarak 1µ'a kadar parlatılmıştır. Mikroyapı numuneleri % 2'lik Nital'le dağlanmıştır. Dağlanan numuneler optik mikroskopta incelenerek gerekli yerlerden mikroyapı fotoğrafları alınmıştır.

5.4.2. Nüfuziyet profili numuneleri

Kaynak hızının nüfuziyete etkisini incelemek amacıyla Şekil 5.5.'de gösterilen I. tip deney numuneleri kullanılmıştır. Bu numunelerin sırasıyla zımparalama işlemi bittikten sonra %5'lik Nital ile dağlanması sonucu nüfuziyet profilleri belirlenmiştir.

5.4.3. Sertlik deneyi numuneleri

Kaynak hızının kaynak metali sertliğine etkisini incelemek amacıyla Şekil 5.5.'de ve 5.6.'da gösterilen I. ve II. tip deney numunelerinin kaynak metallerinin sertlik değerleri en az üç yerinden olmak kaydıyla Vickers (H.V.) sertlik ölçme cihazı ile, 1 kg. yük uygulanarak mikro sertlik değerleri alınmıştır. Alınan bu sertlik değerlerinin ortalaması bulunarak kaynak hızı ile kaynak metali sertliğinin değişimi belirlenmiştir.

6. DENEY SONUÇLARI

6.1. Kaynak Hızına Bağlı Olarak Nüfuziyetin Belirlenmesi

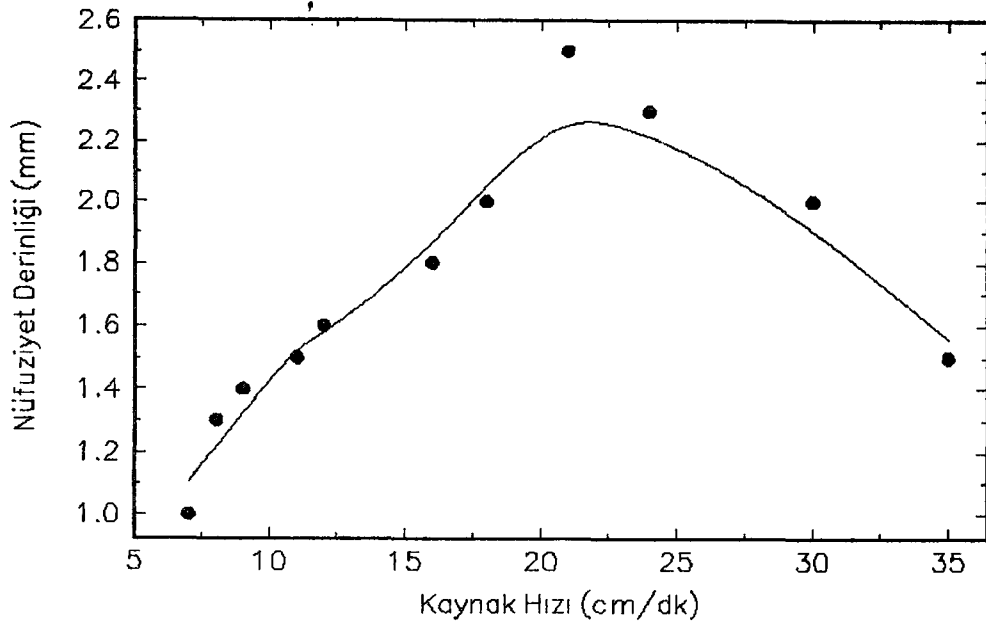
Nüfuziyet, kaynak metalinin ana metal ile birlikte kaynak eksenine dik olarak (ana metalin içine doğru) erime sınırıdır. Bu sınır kaynak hızı ve diğer parametrelere bağlı olarak değişim gösterebilir. Bu çalışmada kaynak hızı haricindeki parametreler sabit olduğu için sadece hızın etkisi değerlendirilecektir.

6.1.1. Manuel ark kaynağında kaynak hızının nüfuziyete etkisi

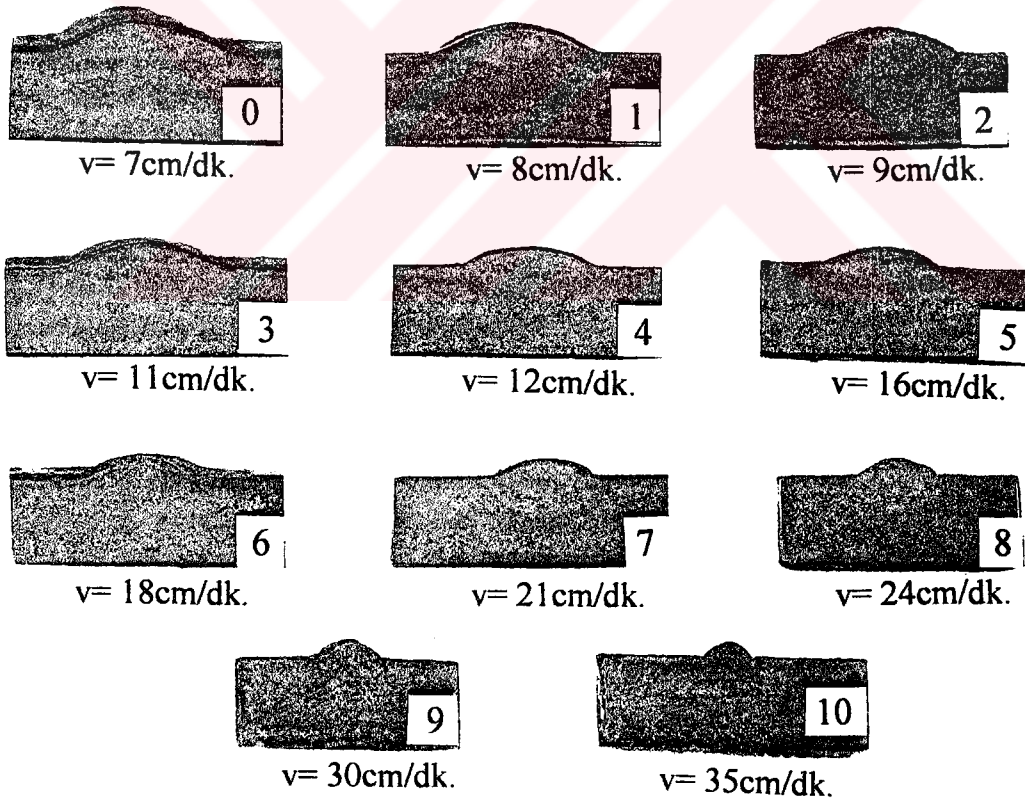
Bu kaynak türünde maksimum 35 cm/dak. kaynak hızına ulaşılmıştır. Deneysel çalışma bölümünde belirtilen Manuel ark kaynağına ait kaynak parametreleri kullanılarak gerçekleştirilen kaynak dikişlerinde nüfuziyet değerleri Çizelge 6.1.'de, kaynak hızına göre nüfuziyetin değişiminin grafiği ise Şekil 6.1.'de gösterilmiştir. Deney numunelerinin makro dağlanması sonucunda belirlenen nüfuziyet profilleri Şekil 6.2.'de belirtilmektedir.

Çizelge 6.1. Manuel ark kaynağında kaynak hızı - nüfuziyet derinliği ilişkisi

Kaynak hızı (cm/dak.)	Nüfuziyet Derinliği (mm)
7	1
8	1.3
9	1.4
11	1.5
12	1.6
16	1.8
18	2.0
21	2.5
24	2.3
30	2.0
35	1.5



Şekil 6.1. Kaynak hızı - nüfuziyet ilişkisi



$I = 140$ amper , $V = 20$ volt , Elektrod çapı = 3.25 mm.

Şekil 6.2. Manuel ark kaynağı nüfuziyet profilleri

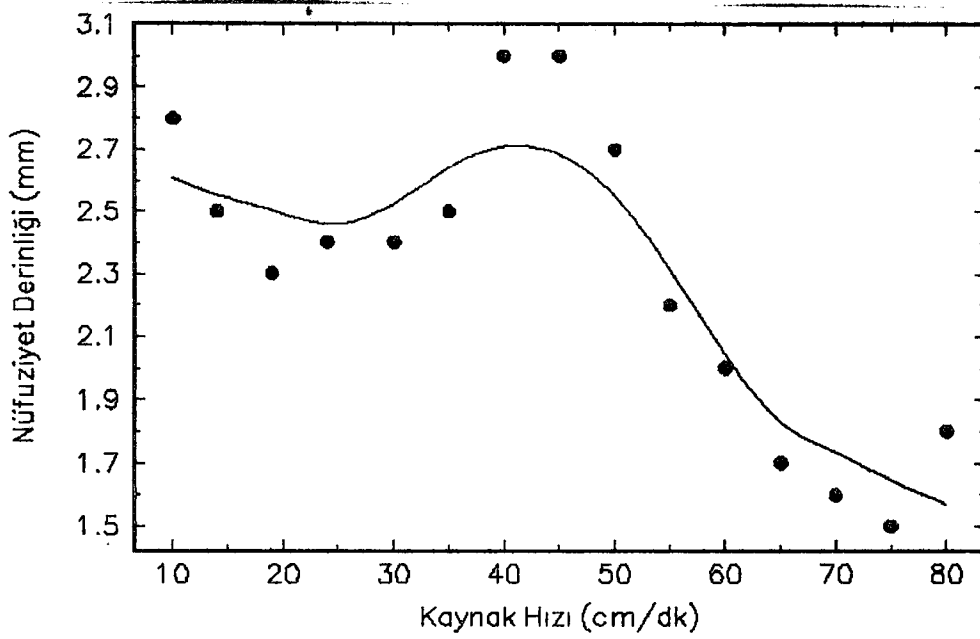
Yapılan çalışma neticesinde alınan sonuçlara göre minimum kaynak hızında nüfuziyetin en düşük olduğu, hızın optimum değere doğru yükseldiğinde nüfuziyetinde arttığı (21 cm/dak. kaynak hızında 2.5 mm. nüfuziyet derinliği) ve hızın optimum değerden daha yükseğe çıkartıldığında nüfuziyetin azaldığı ve dikiş kenarlarında yanma oluklarının oluştuğu belirlenmiştir.

6.1.2. Gazaltı ark kaynağında kaynak hızının nüfuziyete etkisi

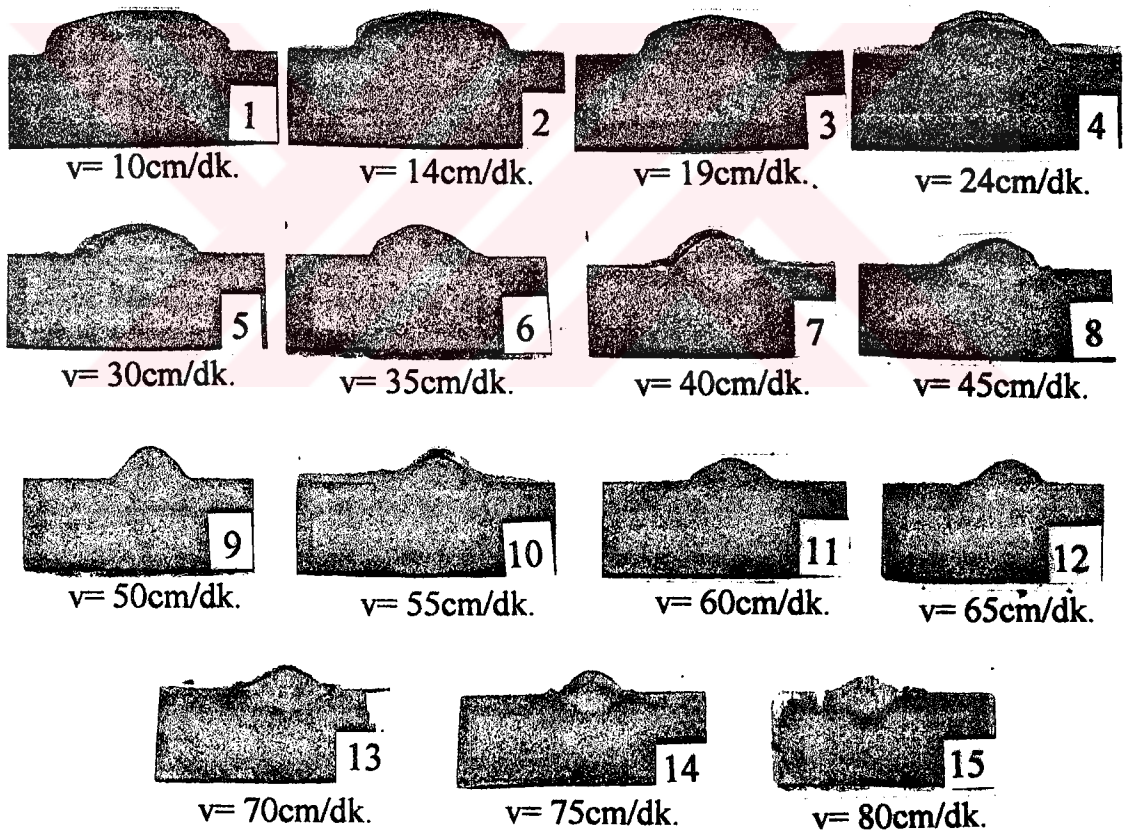
Gazaltı ark kaynağı yönteminde, 7 cm/dak. ve 80 cm/dak. değerleri arasındaki değişik hızlarda çekilen kaynak dikişleri neticesinde Çizelge 6.2.'de verilen nüfuziyet değerleri elde edilmiştir. Gazaltı ark kaynağında kaynak hızı ile nüfuziyetin değişimi grafiği ise Şekil 6.3.'de ve makro dağlama sonucu elde edilen nüfuziyet profili resimleri de Şekil 6.4.'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.2. Gazaltı ark kaynağında kaynak hızı - nüfuziyet derinliği ilişkisi

Kaynak hızı (cm/dak.)	Nüfuziyet Derin- liği (mm)
10	2.8
14	2.5
19	2.3
24	2.4
30	2.4
35	2.5
40	3
45	3
50	2.7
55	2.2
60	2
65	1.7
70	1.6
75	1.5
80	1.8



Şekil 6.3. Kaynak hızı - nüfuziyet ilişkisi



$I = 245$ amper , $V = 30$ volt , Tel çapı = 1.2 mm.

Şekil 6.4. Gazaltı ark kaynağı nüfuziyet profilleri

Gazaltı kaynağı ile yapılan deneyler sonucunda 7 cm/dak. hızla çekilen kaynak dikişinde yüksek nüfuziyet görünüyor olmasına rağmen hızın çok düşük olması sonucu dikiş kenarlarında kaynak metali yığılmasına ve ana malzemede ergime noksanlığına rastlanmıştır. Grafikten anlaşıldığı gibi normal kaynak dikişlerinde en derin nüfuziyet kaynak hızının 40 cm/dak. ve 45 cm/dak. olduğu değerlerde elde edilmiştir.

6.1.3. Tozaltı ark kaynağında kaynak hızının nüfuziyete etkisi

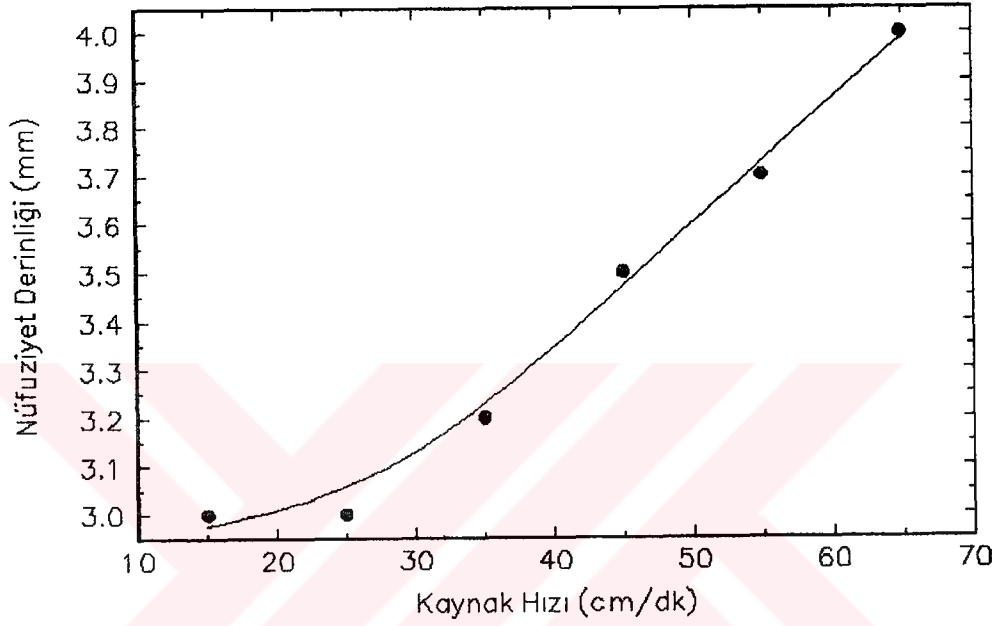
Tozaltı ark kaynağı yönteminde 15 cm/dak.'dan 65cm/dak.'ya kadar değişik hızlarda deneysel çalışma bölümünde belirtilen parametreler dahilinde kaynak dikişleri çekilmiş olup elde edilen nüfuziyet değerleri Çizelge 6.3.'de verilmiştir.

Çizelge 6.3. Tozaltı ark kaynağında kaynak hızı - nüfuziyet derinliği ilişkisi

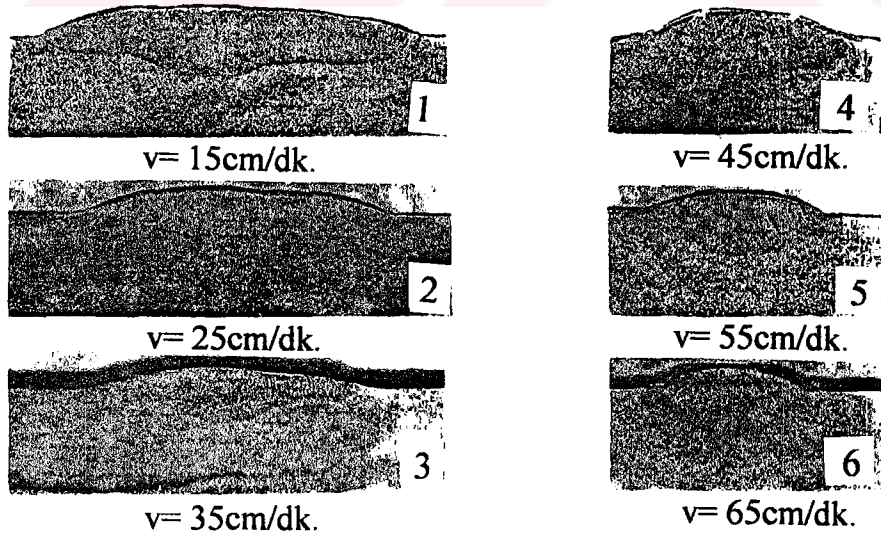
Kaynak hızı (cm/dak.)	Nüfuziyet Derinliği (mm)
15	3
25	3
35	3.2
45	3.5
55	3.7
65	4

Tozaltı ark kaynağı yönteminde 15 cm/dak. kaynak hızı ile elde edilen kaynak dikişinde çok geniş bir kaynak dikişi elde edilmesine rağmen nüfuziyetin minimum olduğu, kaynak hızının artmasıyla beraber nüfuziyetin de arttığı tespit edilmiştir. Kullanılan tel elektrodun çapının kalın olmasına karşılık yüksek akım değerleri kullanılması sebebiyle, kalın olan tel elektrod 65 cm/dak.'lık bir kaynak hızında daha derinlere nüfuz etmiş fakat dikiş kenarlarında yan

ma olukları meydana gelmiştir. Kullanılan parametreler dahilinde en kaliteli kaynak dikişleri 45 cm/dak. ile 55 cm/dak. kaynak hızlarında elde edilmiştir. Tozaltı ark kaynağında kaynak hızı ile nüfuziyetin değişimi grafiği Şekil 6.5.'de ve makro dağlama sonucu elde edilen nüfuziyet profili resimlerinde Şekil 6.6.'da gösterilmektedir.



Şekil 6.5. Kaynak hızı - nüfuziyet ilişkisi



$I = 300$ amper , $V = 40$ volt , Tel çapı = 3.20 mm.

Şekil 6.6. Tozaltı ark kaynağı nüfuziyet profilleri

6.2. Kaynak Hızının Kaynak Metali Sertliğine Etkisi

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda manuel ark, gazaltı (MAG) ve tozaltı kaynak yöntemlerinde kaynak hızının artmasıyla beraber kaynak metali sertliğinde de hıza bağlı olarak artış kaydedilmiştir. Kaynak metali sertliğindeki bu artış, manuel ark kaynağında 12 cm/dak.'lık bir hıza kadar ani olurken daha yüksek hızlara çıkıldığında doğrusal olarak bir artış göstermiştir. Tozaltı ve gazaltı (MAG) ark kaynaklarında kaynak metallerinin sertliğindeki artış kaynak hızına bağlı olarak daha doğrusal bir çizgi sergilemektedir.

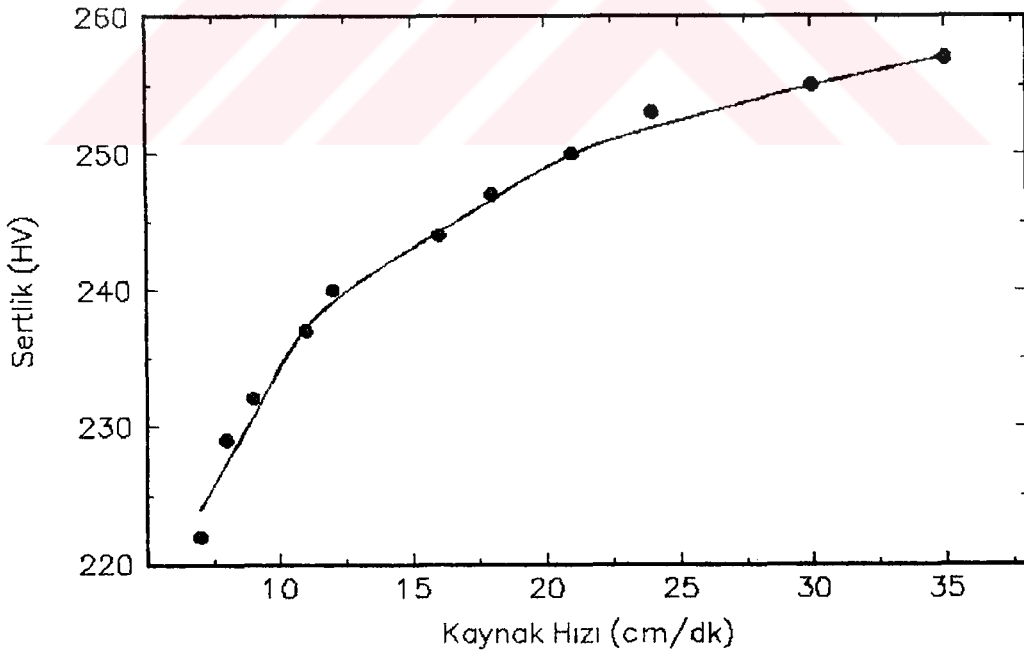
Manuel ark kaynağında kaynak hızına bağlı olarak kaynak metalinin sertliğindeki artış Çizelge 6.4'te ve Şekil 6.7.'de gösterilmektedir.

Gazaltı (MAG) ark kaynağında hıza bağlı olarak kaynak metali sertliğindeki kaydedilen artış Çizelge 6.5.'te ve Şekil 6.8.'de verilmektedir.

Tozaltı ark kaynağındaki kaynak hızı ile kaynak metali sertliği arasındaki ilişki ise Çizelge 6.6.'da ve Şekil 6.9.'da gösterilmiştir.

Çizelge 6.4. Manuel ark kaynağında kaynak hızının kaynak metali sertliğine etkisi

Kaynak hızı (cm/dak.)	Kaynak Metali sertliği (H.V.)
7	222
8	229
9	232
11	237
12	240
16	244
18	247
21	250
24	253
30	255
35	257

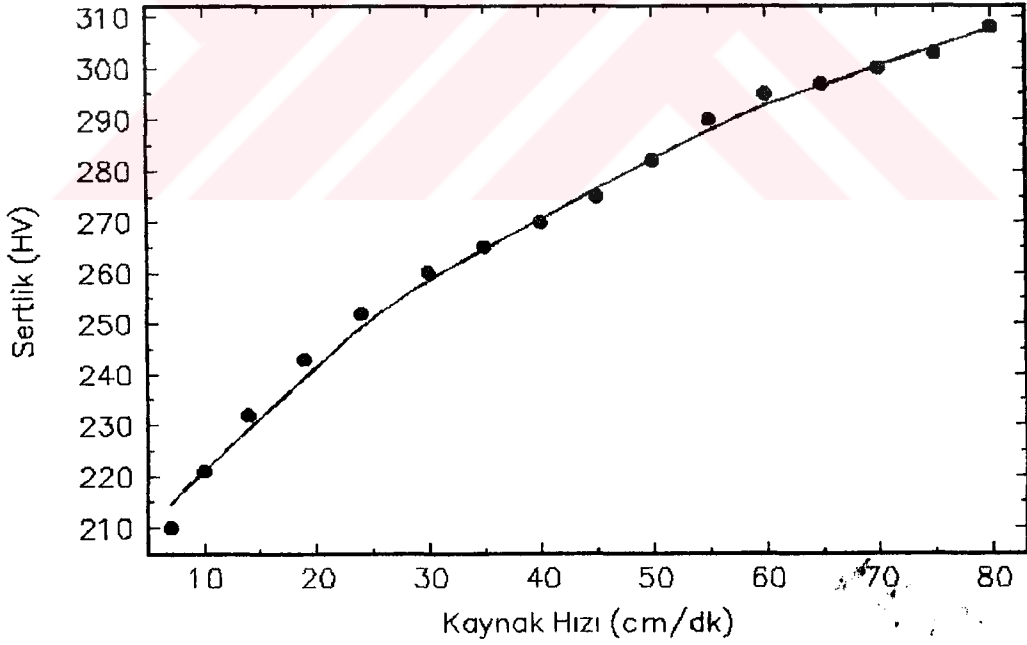


$I = 140$ amper , $V = 20$ volt , Elektrod çapı = 3.25 mm.

Şekil 6.7. Manuel ark kaynağında kaynak hızı - kaynak metali sertliği ilişkisi

Çizelge 6.5. Gazaltı (MAG) kaynağında kaynak hızının kaynak metali sertliğine etkisi

Kaynak hızı (cm/dak.)	Kaynak metali sertliği (H.V.)
7	210
10	221
14	232
19	243
24	252
30	260
35	265
40	270
45	275
50	282
55	290
60	295
65	297
70	300
75	303
80	308

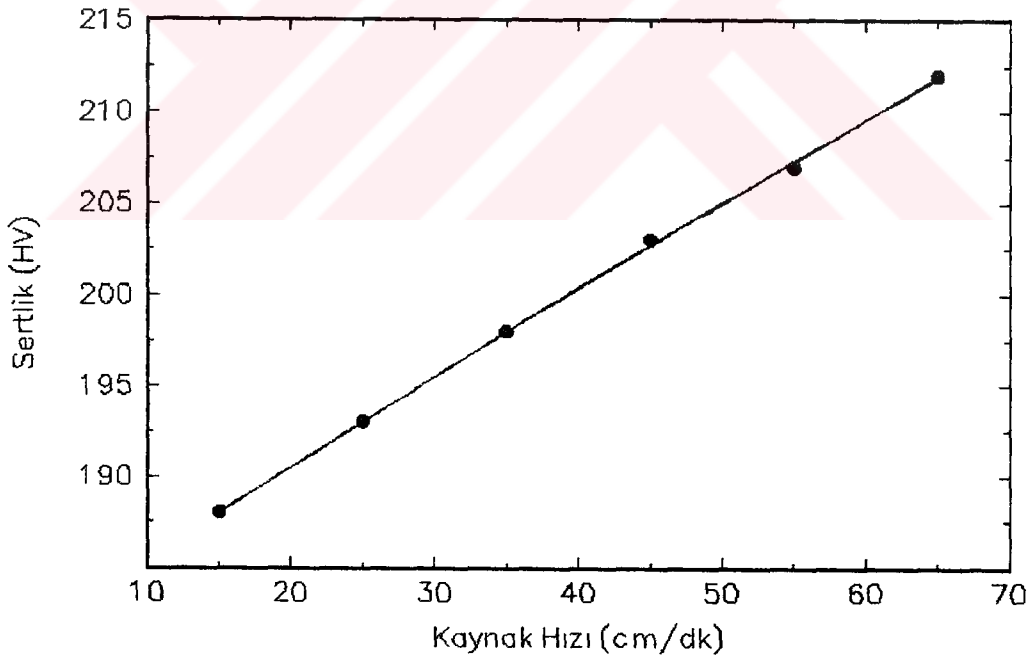


$I = 245$ amper , $V = 30$ volt , Tel çapı = 1.2 mm.

Şekil 6.8. Gazaltı (MAG) kaynağında kaynak hızı-kaynak metali sertliği ilişkisi

Çizelge 6.6. Tozaltı ark kaynağında kaynak hızının kaynak metali sertliğine etkisi

Kaynak hızı (cm/dak.)	Kaynak metali sertliği (H.V.)
15	188
25	193
35	198
45	203
55	207
65	212



$I = 300$ amper , $V = 40$ volt , Tel çapı = 3.20 mm.

Şekil 6.9. Tozaltı ark kaynağında kaynak hızı - kaynak metali sertliği ilişkisi

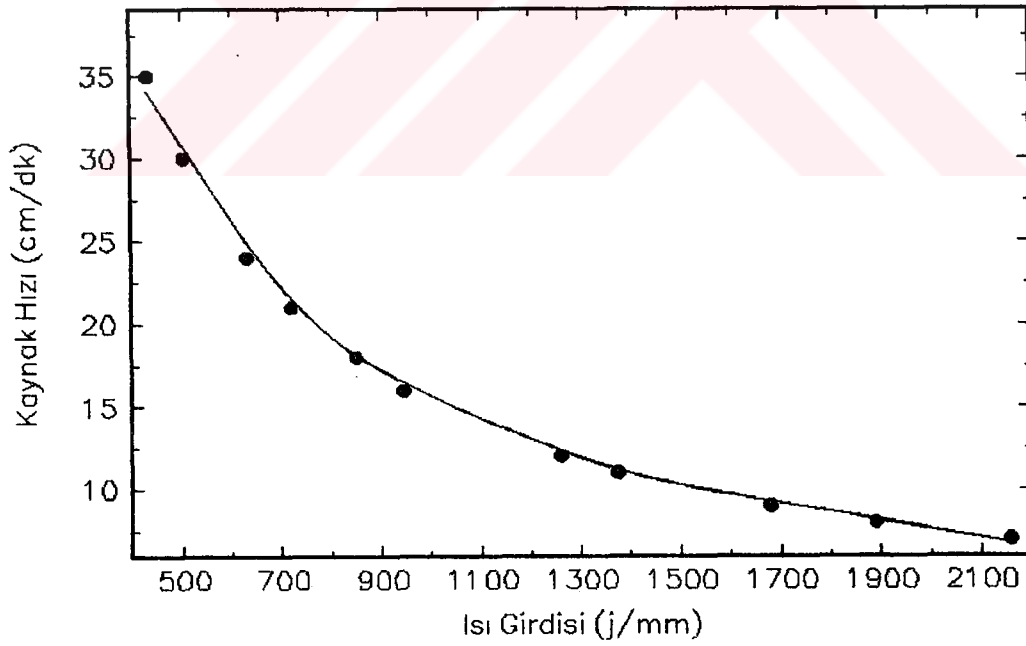
6.3. Kaynak Hızına Bağlı Olarak Isı Girdisi Sonuçları

Kaynak hızına bağlı olarak kaynak metali ısı girdisi formülü Eş. 4.2.'de verilmiştir. Bulunan sonuçlar kaynak yönteminin verimliliğiyle çarpılmıştır. Verim oranları; tozaltı ark kaynağında 1.0, gazaltı (MAG) ark kaynağında 0.85 ve manuel ark kaynağında 0.9 dur [44]. Isı girdisi, akım-gerilim ile doğru orantılı olarak artış gösterirken, kaynak hızının artmasıyla beraber ters orantılı olarak düşme göstermektedir.

Deneysel çalışmalardaki kaynak hızlarına, akım ve volt değerlerine bağlı olarak hesaplanan ısı girdisi sonuçları manuel ark kaynağı için Çizelge 6.7, Şekil 6.10.'da, gazaltı (MAG) ark kaynağı için Çizelge 6.8., Şekil 6.11.'de ve tozaltı ark kaynağı için Çizelge 6.10., Şekil 6.12.'de belirtilmektedir.

Çizelge 6.7. Manuel ark kaynağındaki kaynak hızı - ısı girdisi sonuçları

Kaynak hızı (cm/dak.)	Isı girdisi (Joule/mm)
7	2160
8	1890
9	1680
11	1374
12	1260
16	945
18	840
21	720
24	630
30	504
35	432

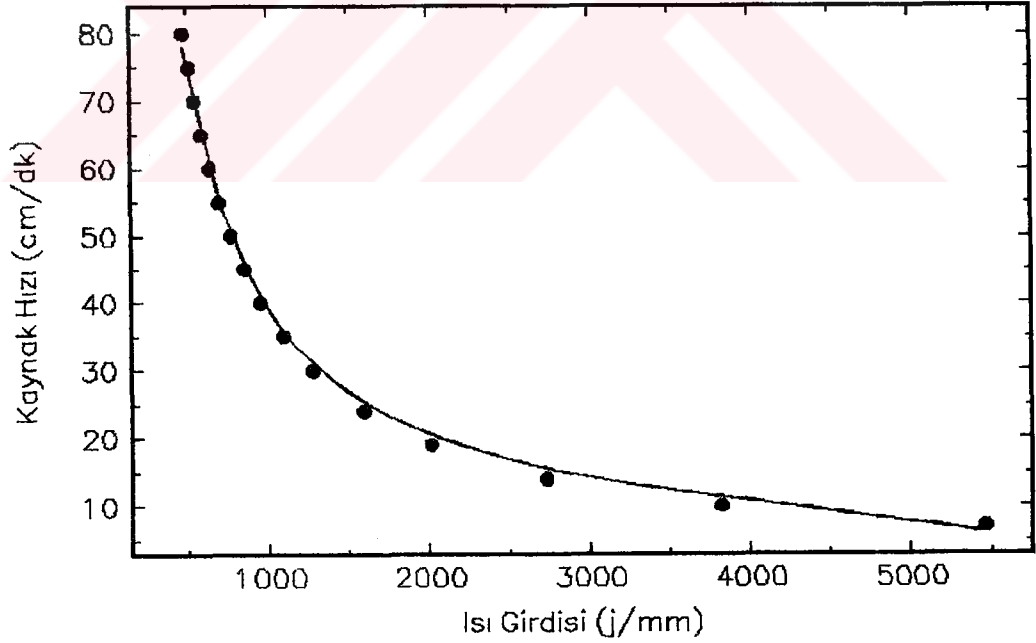


$I = 140$ amper , $V = 20$ volt , Elektrod çapı = 3.25 mm.

Şekil 6.10. Manuel ark kaynağında kaynak hızı - ısı girdisi ilişkisi

Çizelge 6.8. Gazaltı (MAG) ark kaynağında kaynak hızı - ısı girdisi sonuçları

Kaynak hızı (cm/dak.)	Isı girdisi (Joule/mm)
7	5464
10	3825
14	2732
19	2013
24	1593
30	1275
35	1093
40	956
45	850
50	765
55	695
60	638
65	588
70	546
75	510
80	478

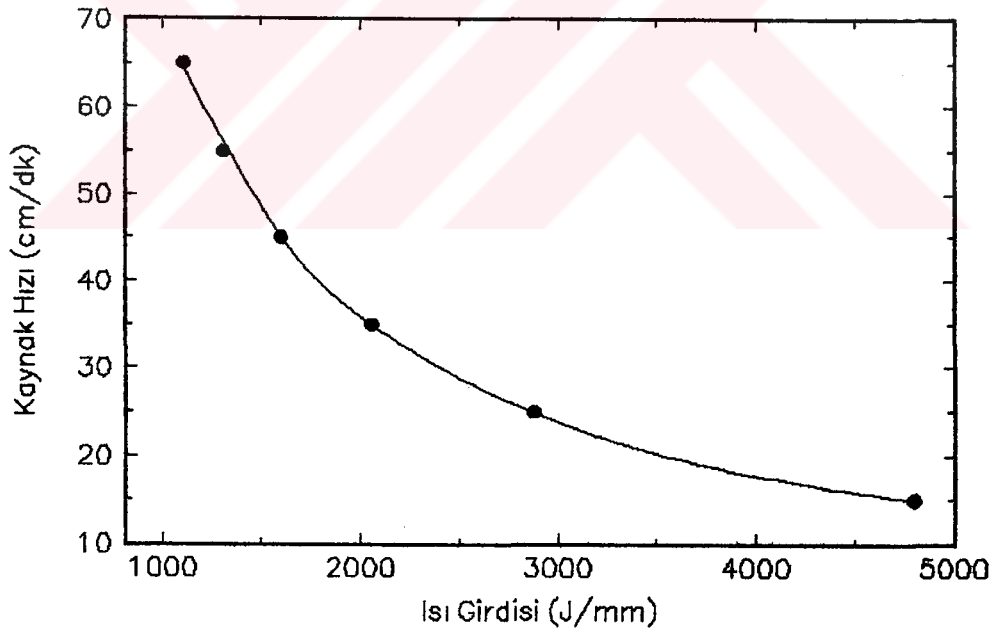


$I = 245$ amper , $V = 30$ volt , Tel çapı = 1.2 mm.

Şekil 6.11. Gazaltı (MAG) ark kaynağında kaynak hızı-ısı girdisi ilişkisi

Çizelge 6.9. Tozaltı ark kaynağında kaynak hızı - ısı girdisi sonuçları

Kaynak hızı (cm/dak.)	Isı girdisi (Joule/mm)
15	4800
25	2880
35	2057.1
45	1600
55	1309
65	1107.6



$I = 300$ amper , $V = 40$ volt , Tel çapı = 3.20 mm.

Şekil 6.12. Tozaltı ark kaynağında kaynak hızı - ısı girdisi ilişkisi

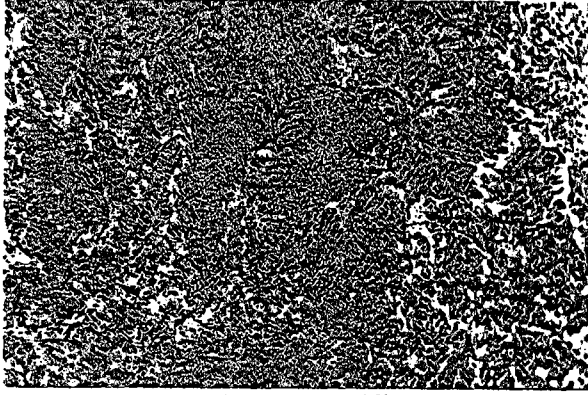
6.4. Kaynak Hızına Bağlı Olarak Mikroyapı Sonuçları

Kaynak hızına bağlı olarak üç değişik kaynak yönteminde çekilen kaynak dikişlerinin kaynak metali mikroyapıları optik mikroskop kullanılarak incelenmiştir. Bu çalışmanın konusu sadece kaynak metali olduğundan fotoğraflar kaynaklı parçaların kaynak metali bölümlerinden alınmıştır.

Manuel ark kaynağında, I.tip deney numunelerine ait kaynak metali mikroyapıları Şekil 6.13. ve Şekil 6.14.'te, II.tip deney numunelerine ait mikroyapılar Şekil 6.15 ve Şekil 6.16.'te, III.tip deney numunelerine ait mikroyapılar ise Şekil 6.17. ve Şekil 6.18'de gösterilmiştir.

Gazaltı (MAG) ark kaynağında I.tip deney numunelerine ait kaynak metali mikroyapıları Şekil 6.19., Şekil 6.20. ve Şekil 6.21. 'de, II. tip deney numunelerine ait mikroyapılar Şekil 6.22., Şekil 6.23 ve Şekil 6.24.'te, III. tip deney numunelerine ait mikroyapılar ise Şekil 6.25., Şekil 6.26. ve Şekil 6.27.'da gösterilmiştir.

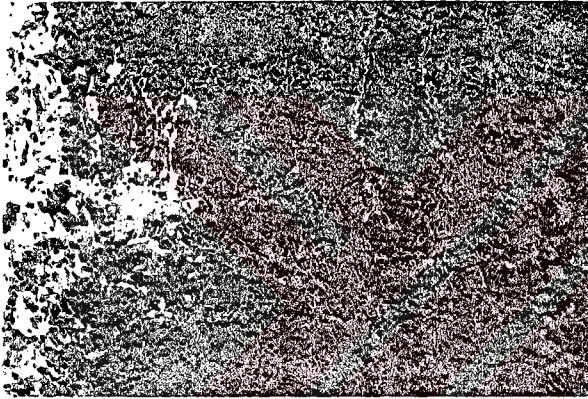
Tozaltı ark kaynağına ait I.tip deney numuneleri mikroyapıları Şekil 6.28. ve Şekil 6.29.'de, II. tip deney numunelerine ait mikroyapılar Şekil 6.30.'da ve III. tip deney numunelerine ait mikroyapılar da Şekil 6.31.'da gösterilmiştir.



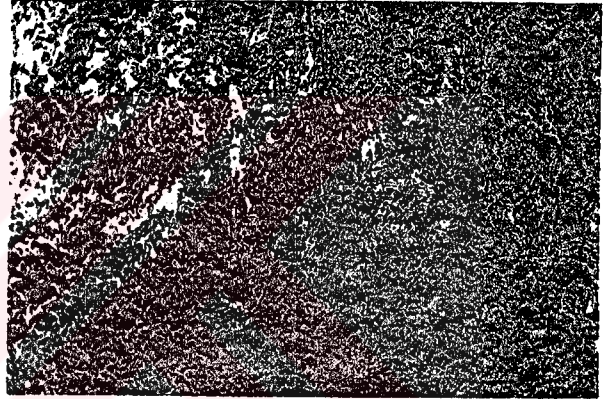
X 50 - $v=7\text{cm/dk.}$
Geçiş bölgesi



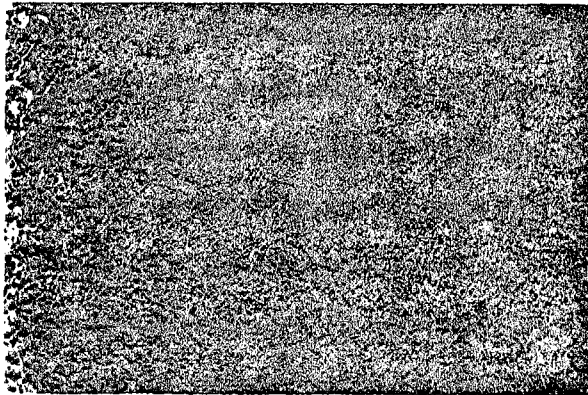
X 50 - $v=8\text{cm/dk.}$
Geçiş bölgesi



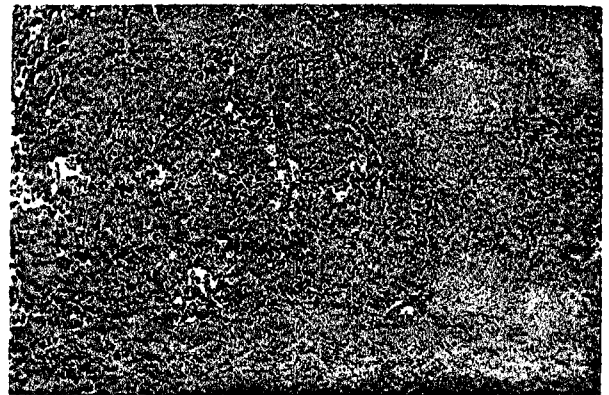
X 50 - $v=9\text{cm/dk.}$
Geçiş bölgesi



X 50 - $v=11\text{cm/dk.}$
Geçiş bölgesi

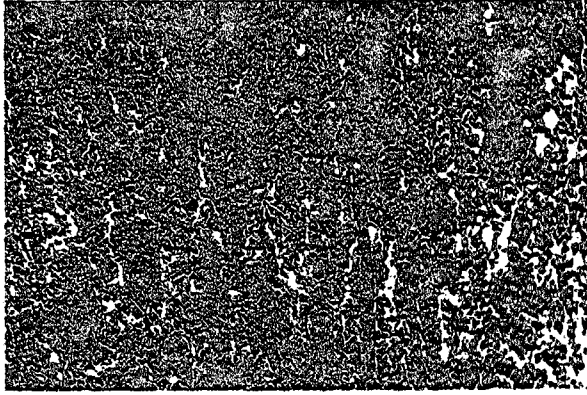


X 50 - $v=12\text{cm/dk.}$
Geçiş bölgesi

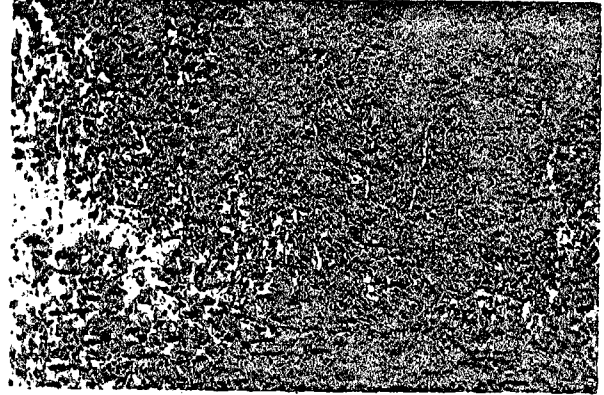


X 50 - $v=16\text{cm/dk.}$
Geçiş bölgesi

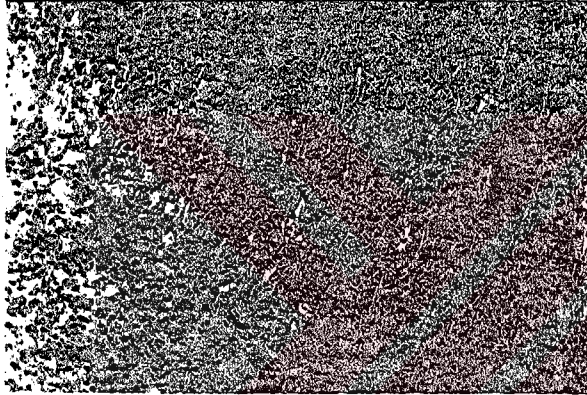
Şekil 6.13. Manuel ark kaynağı I.tip deney numunesi mikroyapıları



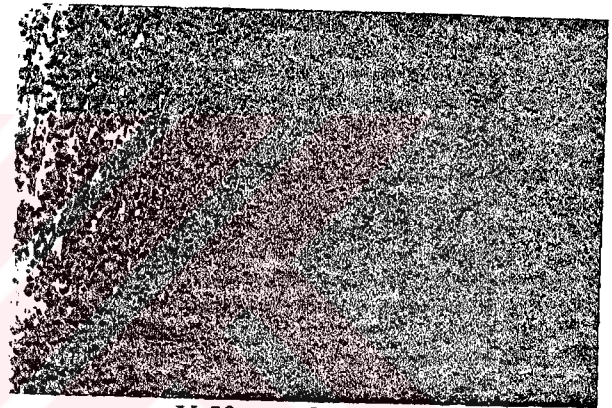
X 50 - $v=16\text{cm/dk.}$
Geçiş bölgesi



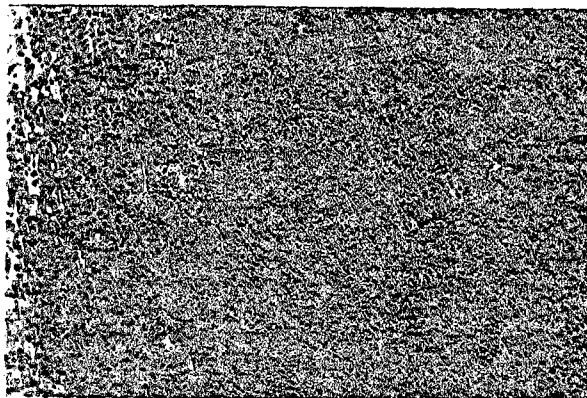
X 50 - $v=18\text{cm/dk.}$
Geçiş bölgesi



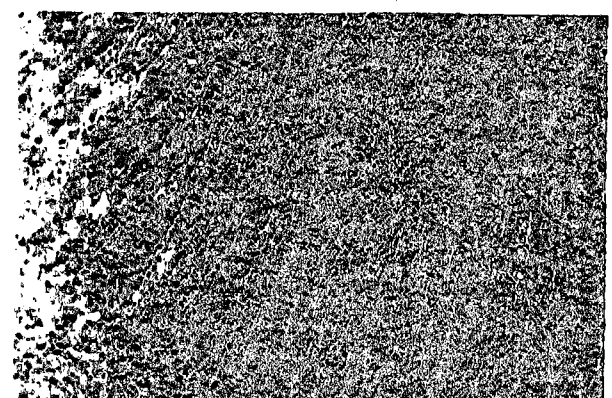
X 50 - $v=21\text{cm/dk.}$
Geçiş bölgesi



X 50 - $v=24\text{cm/dk.}$
Geçiş bölgesi

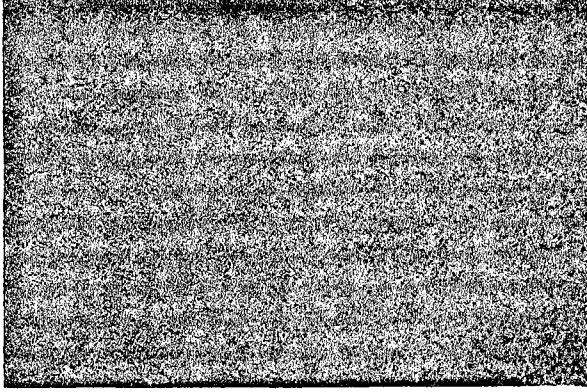


X 50 - $v=30\text{cm/dk.}$
Geçiş bölgesi

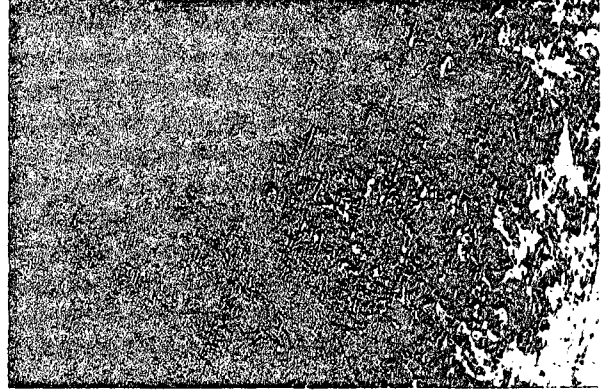


X 50 - $v=35\text{cm/dk.}$
Geçiş bölgesi

Şekil 6.14. Manuel ark kaynağı I.tip deney numunesi mikroyapıları



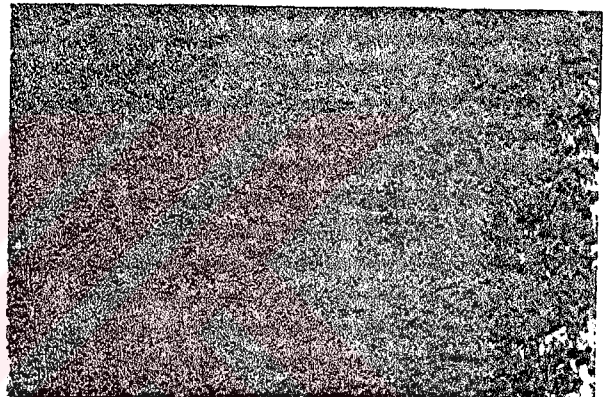
X 50 - $v=7\text{cm/dk}$.
Kaynak metali merkezi



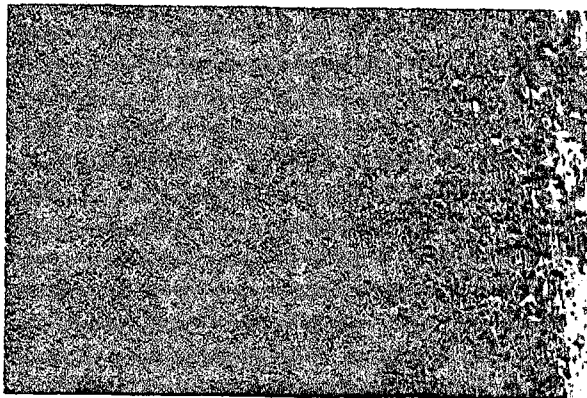
X 50 - $v=7\text{cm/dk}$.
Kaynak merkezine doğru yönelme



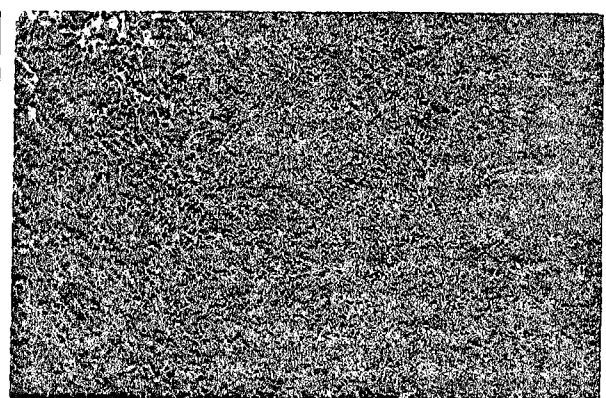
X 50 - $v=8\text{cm/dk}$
Kaynak merkezine doğru yönelme



X 50 - $v=9\text{cm/dk}$.
Kaynak metali merkezi



X 50 - $v=9\text{cm/dk}$.
Kaynak merkezine doğru yönelme

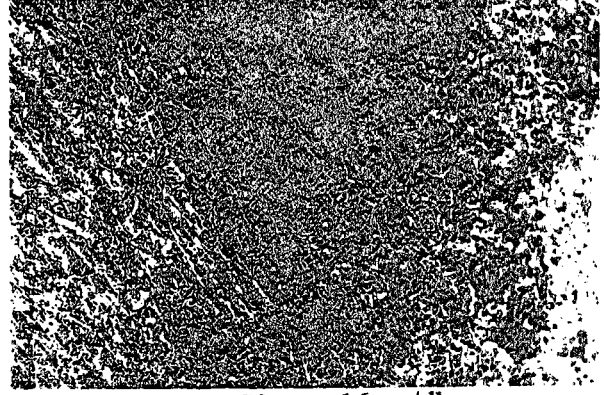


X 50 - $v=11\text{cm/dk}$.
Kaynak merkezine doğru yönelme

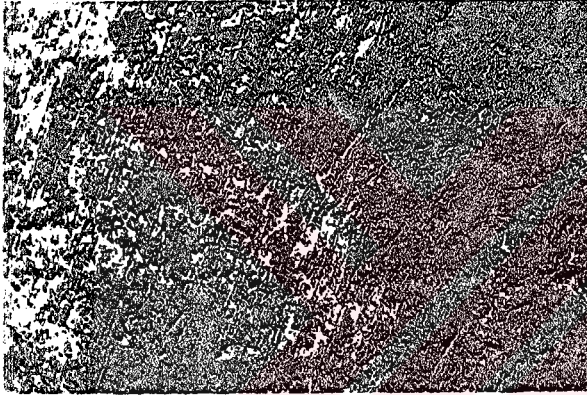
Şekil 6.15. Manuel ark kaynağı II.tip deney numunesi mikroyapıları



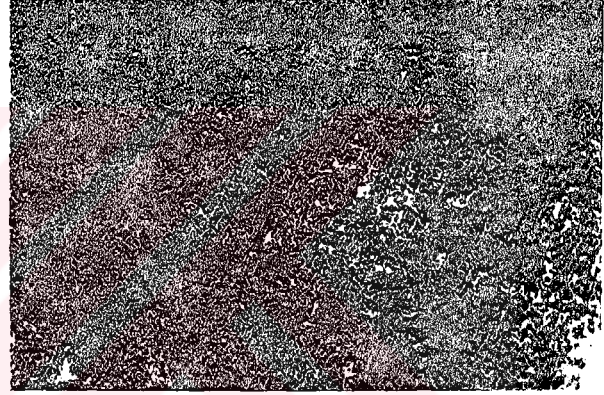
X 50 - $v=12\text{cm/dk}$.
Kaynak merkezine doğru yönelme



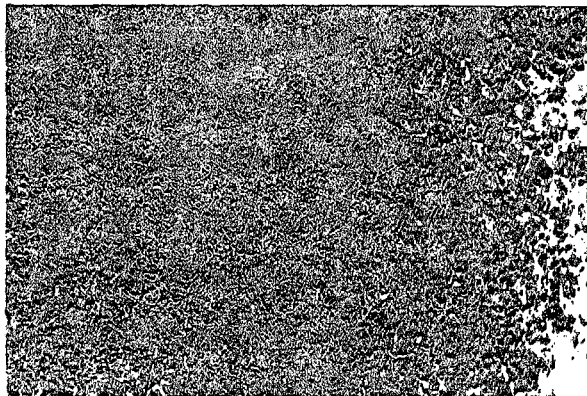
X 50 - $v=16\text{cm/dk}$.
Kaynak merkezine doğru yönelme



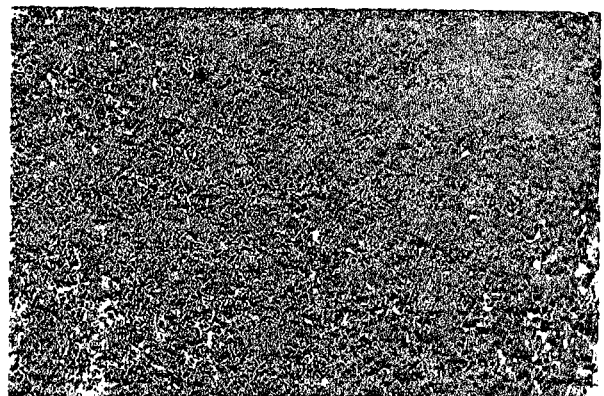
X 50 - $v=18\text{cm/dk}$.
Kaynak merkezine doğru yönelme



X 50 - $v=21\text{cm/dk}$.
Kaynak metali merkezi

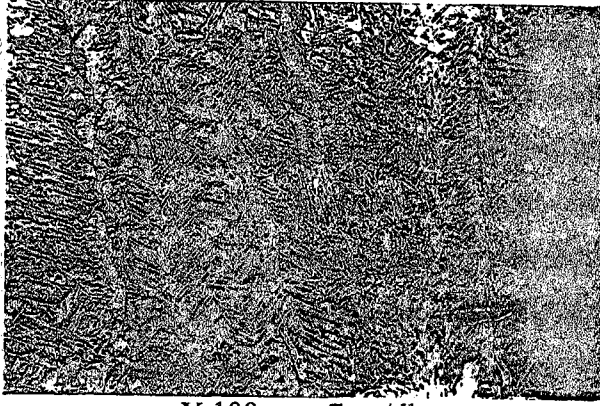


X 50 - $v=24\text{cm/dk}$.
Kaynak metali merkezi

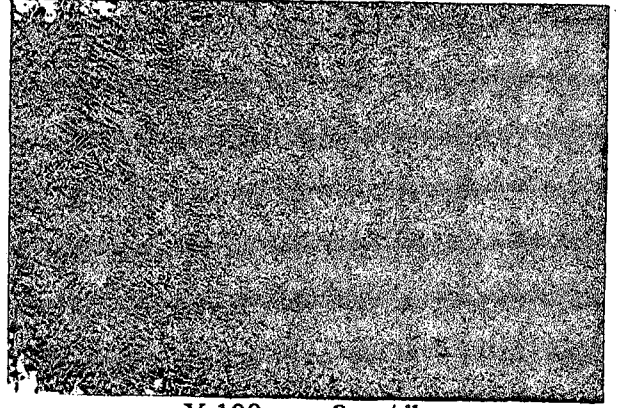


X 50 - $v=30\text{cm/dk}$.
Kaynak metali merkezi

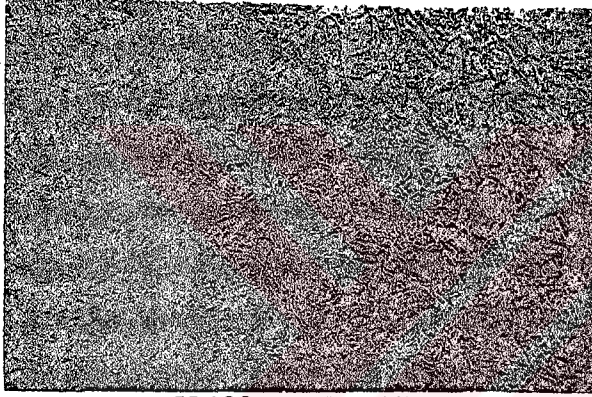
Şekil 6.16. Manuel ark kaynağı II.tip deney numunesi mikroyapıları



X 100 - $v=7\text{cm/dk}$.
Kaynak metali



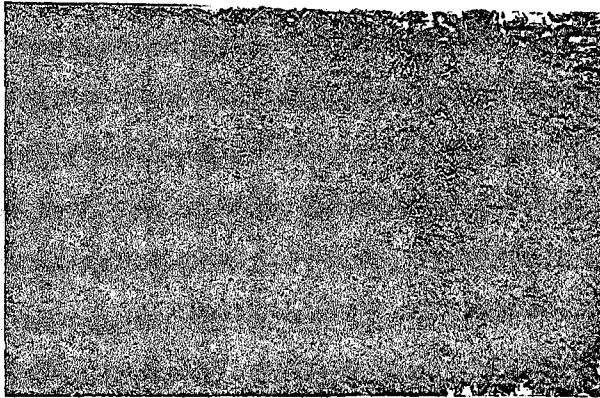
X 100 - $v=8\text{cm/dk}$.
Kaynak metali



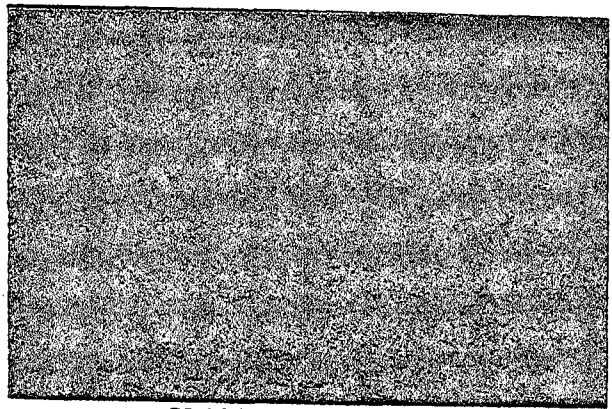
X 100 - $v=9\text{cm/dk}$.
Geçiş bölgesi



X 100 - $v=11\text{cm/dk}$.
Kaynak metali

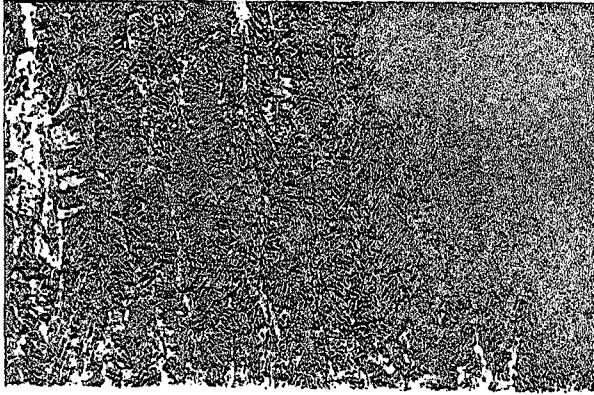


X 100 - $v=12\text{cm/dk}$.
Kaynak metali

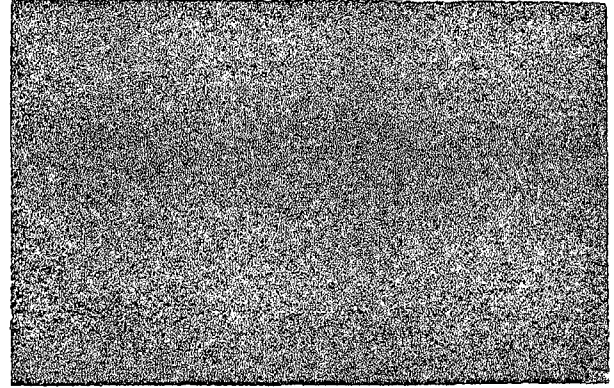


X 100 - $v=16\text{cm/dk}$.
Geçiş bölgesi

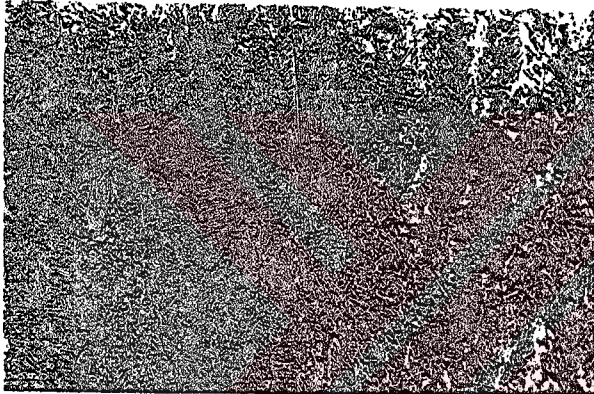
Şekil 6.17. Manuel ark kaynağı III.tip deney numunesi mikroyapıları



X 100 - $v=18\text{cm/dk}$.
Kaynak metali



X 100 - $v=21\text{cm/dk}$.
Geçiş bölgesi



X 100 - $v=24\text{cm/dk}$.
Kaynak metali



X 100 - $v=30\text{cm/dk}$.
Kaynak metali

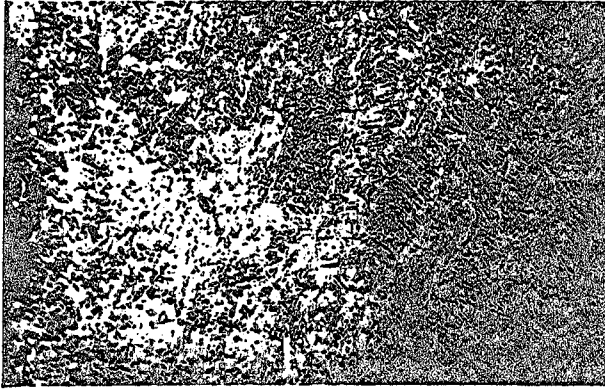


X 100 - $v=30\text{cm/dk}$.
Geçiş bölgesi

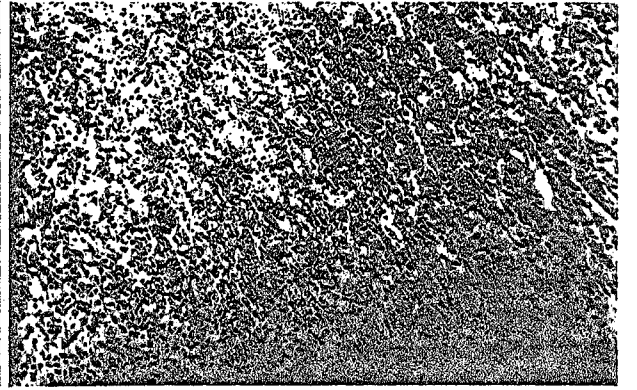


X 100 - $v=35\text{cm/dk}$.
Kaynak metali

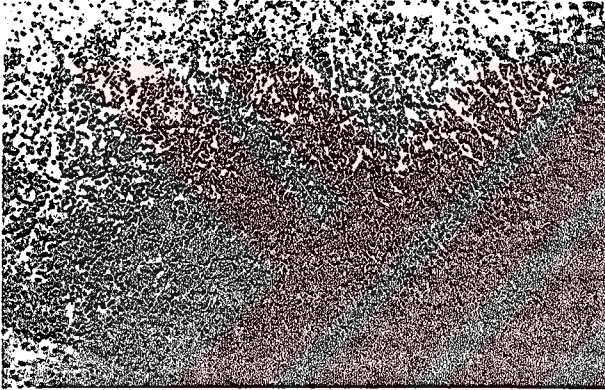
Şekil 6.18. Manuel ark kaynağı III.tip deney numunesi mikroyapıları



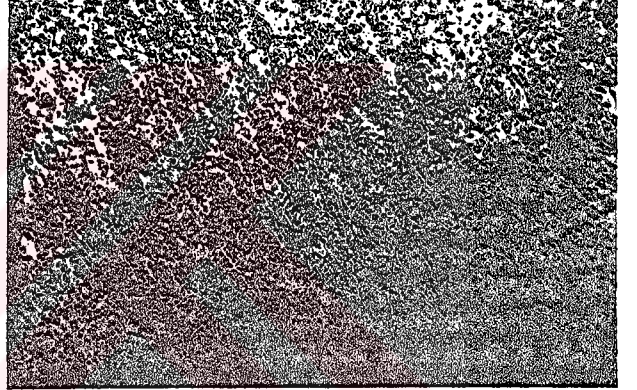
X 50 - $v= 7\text{cm/dk.}$
Geçiş bölgesi



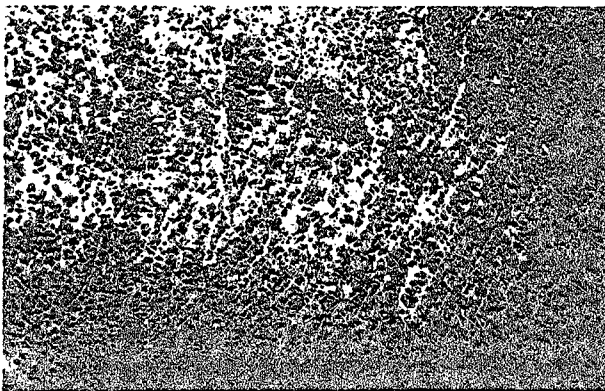
X 50 - $v= 10\text{cm/dk.}$
Geçiş bölgesi



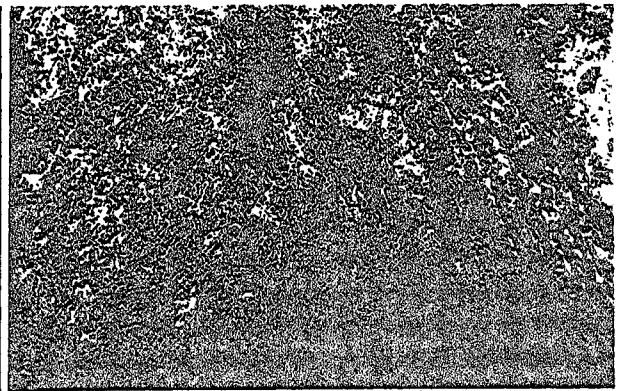
X 50 - $v= 14\text{cm/dk.}$
Geçiş bölgesi



X 50 - $v= 19\text{cm/dk.}$
Geçiş bölgesi

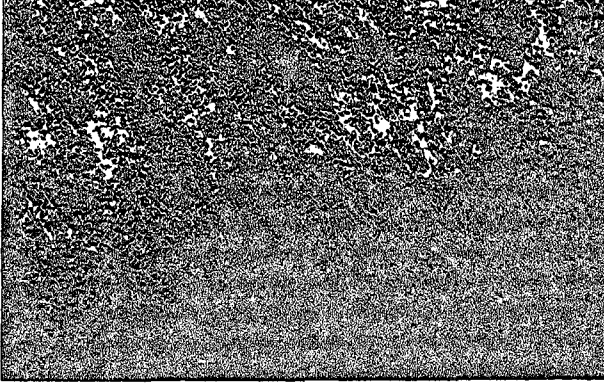


X 50 - $v= 24\text{cm/dk.}$
Geçiş bölgesi

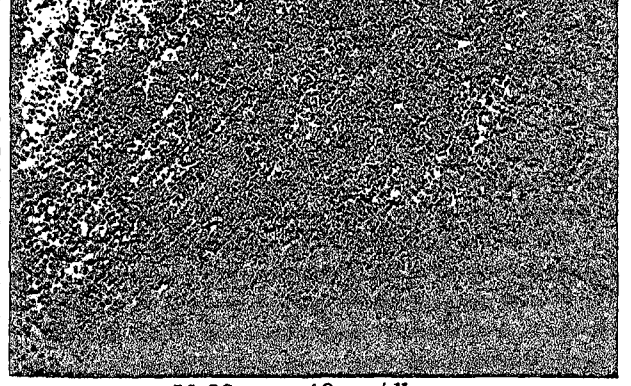


X 50 - $v= 30\text{cm/dk.}$
Kaynak metali merkezi

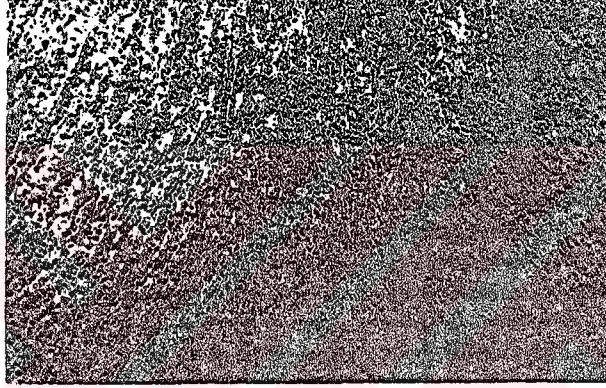
Şekil 6.19. Gazaltı ark kaynağı I.tip deney numunesi mikroyapıları



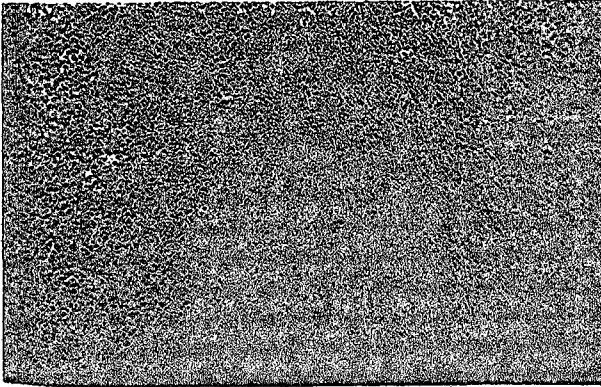
X 50 - v= 35cm/dk.
Geçiş bölgesi



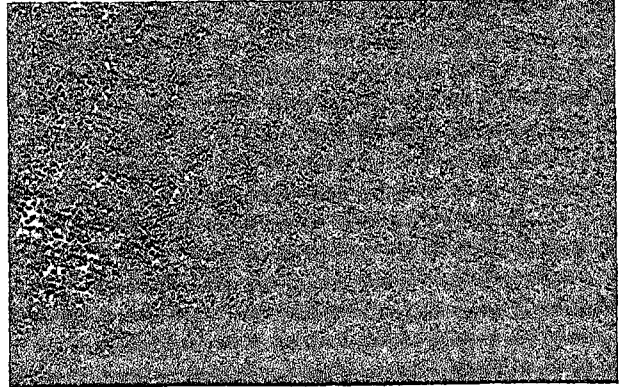
X 50 - v= 40cm/dk.
Geçiş bölgesi



X 50 - v= 45cm/dk.
Kaynak metali merkezi

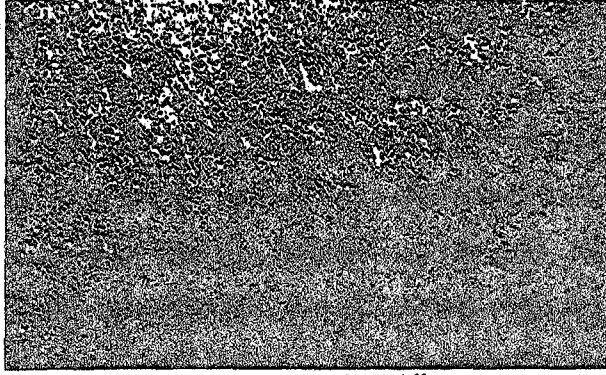


X 50 - v= 50cm/dk.
Kaynak metali merkezi

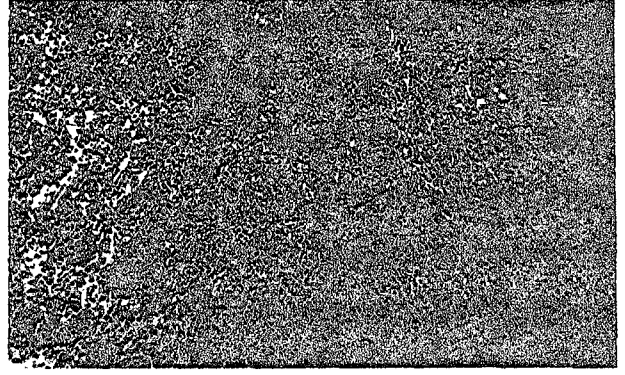


X 50 - v= 55cm/dk.
Kaynak metali

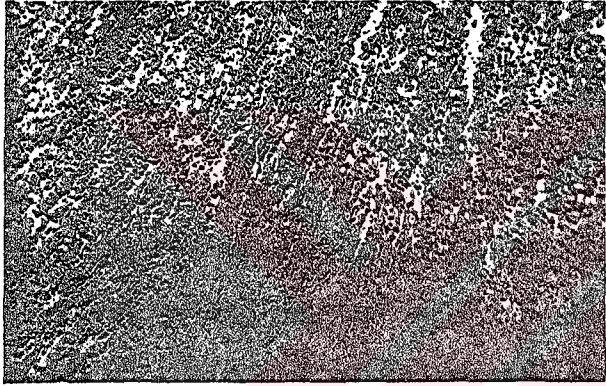
Şekil 6.20. Gazaltı ark kaynağı I.tip deney numunesi mikroyapıları



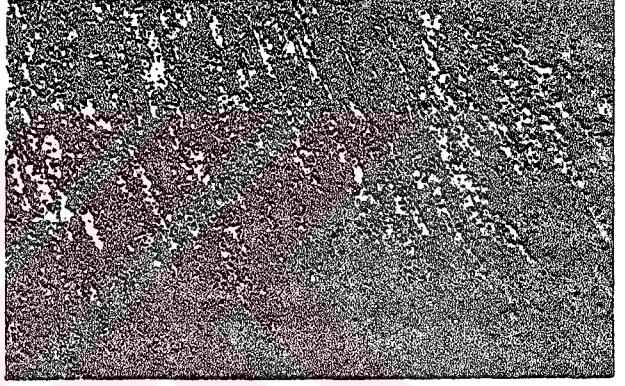
X 50 - v= 60cm/dk.
Geçiş bölgesi



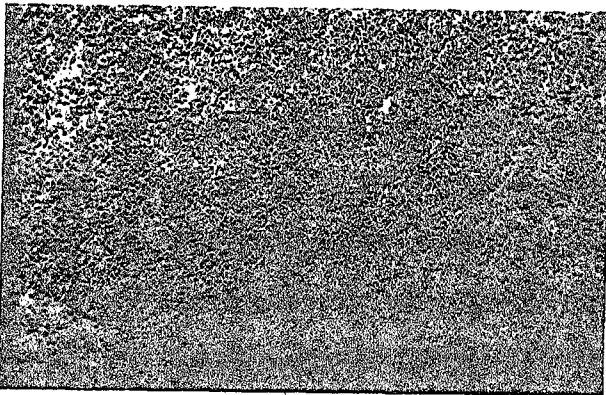
X 50 - v= 65cm/dk.
Kaynak metali merkezi



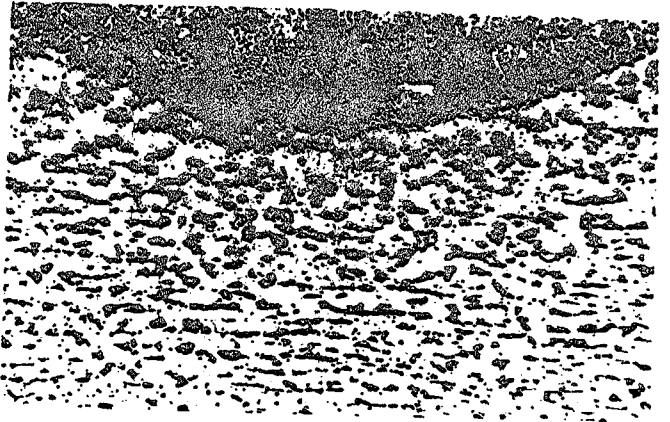
X 50 - v= 70cm/dk.
Kaynak metali merkezi



X 50 - v= 75cm/dk.
Kaynak metali

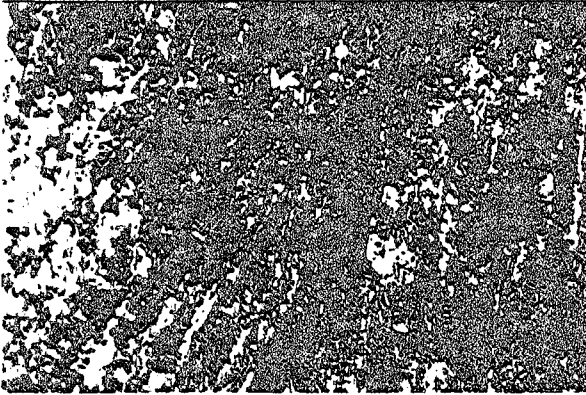


X 50 - v= 80cm/dk.
Geçiş bölgesi

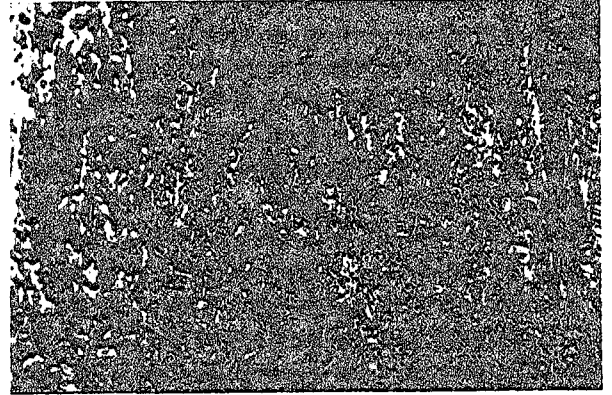


X 50 - v= 80cm/dk.
ITAB

Şekil 6.21. Gazaltı ark kaynağı I.tip deney numunesi mikroyapıları



X 50 - $v=7\text{cm/dk.}$
Kaynak merkezine doğru yönelme



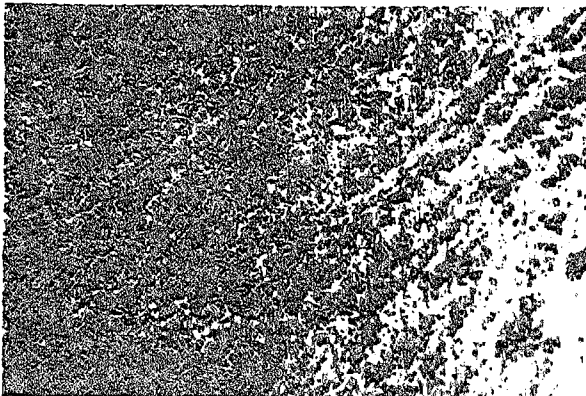
X 50 - $v=7\text{cm/dk.}$
Kaynak metali merkezi



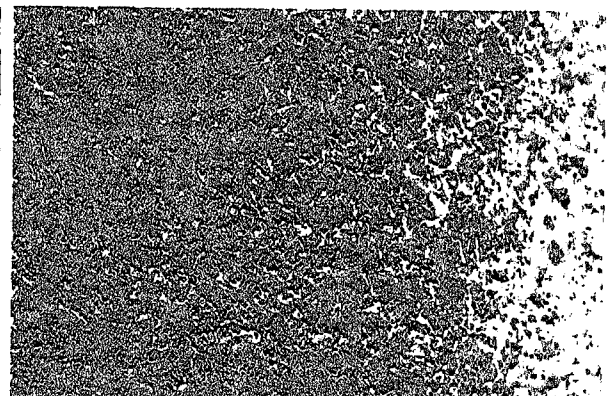
X 50 - $v=10\text{cm/dk.}$
Kaynak merkezine doğru yönelme



X 50 - $v=14\text{cm/dk.}$
Kaynak merkezine doğru yönelme

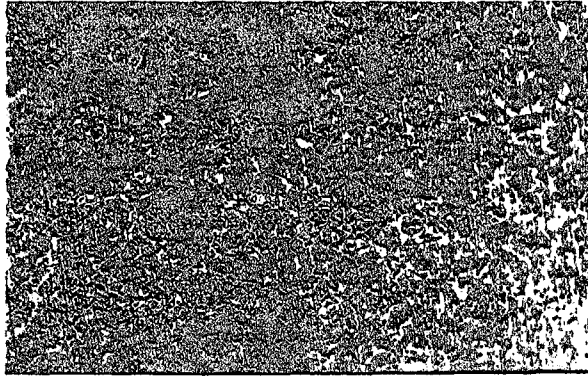


X 50 - $v=19\text{cm/dk.}$
Kaynak merkezine doğru yönelme



X 50 - $v=24\text{cm/dk.}$
Kaynak merkezine doğru yönelme

Şekil 6.22. Gazaltı ark kaynağı II.tip deney numunesi mikroyapıları



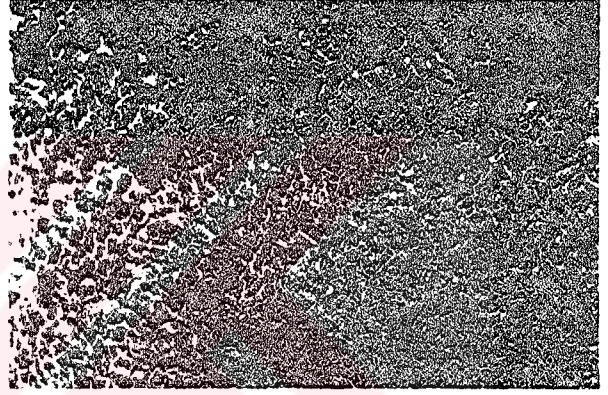
X 50 - $v=30\text{cm/dk.}$
Kaynak metali merkezi



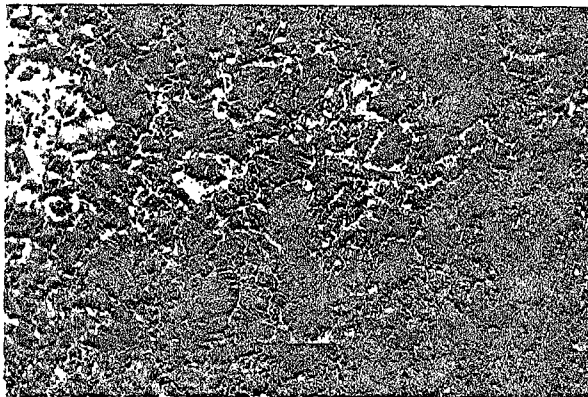
X 50 - $v=40\text{cm/dk.}$
Kaynak metali merkezi



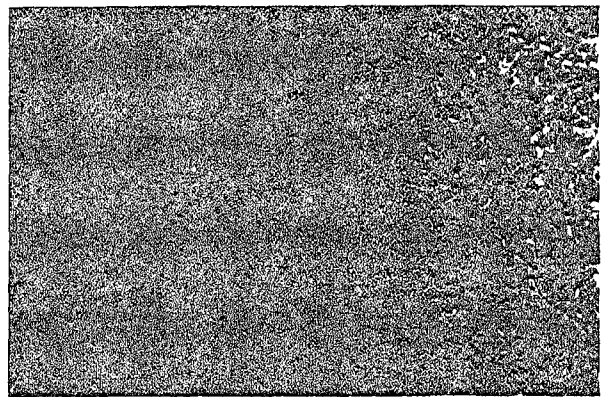
X 50 - $v=45\text{cm/dk.}$
Kaynak metali merkezi



X 50 - $v=50\text{cm/dk.}$
Kaynak metali merkezi

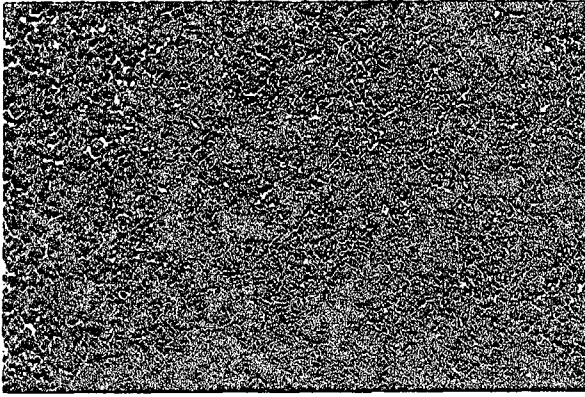


X 50 - $v=55\text{cm/dk.}$
Kaynak merkezine doğru yönelme

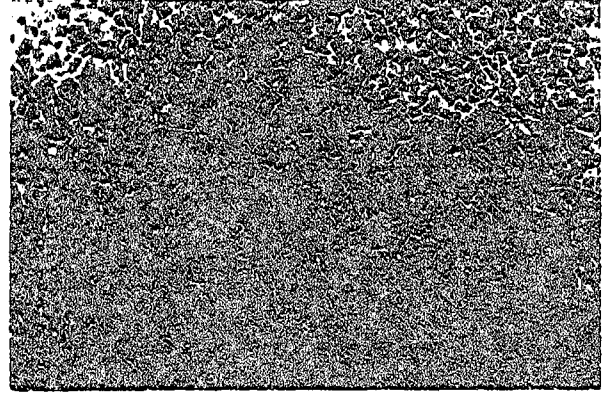


X 50 - $v=60\text{cm/dk.}$
Kaynak metali merkezi

Şekil 6.23. Gazaltı ark kaynağı II.tip deney numunesi mikroyapıları



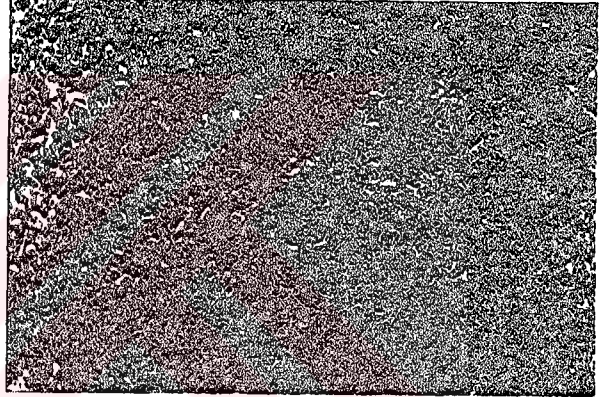
X 50 - $v=65\text{cm/dk}$.
Kaynak metali merkezi



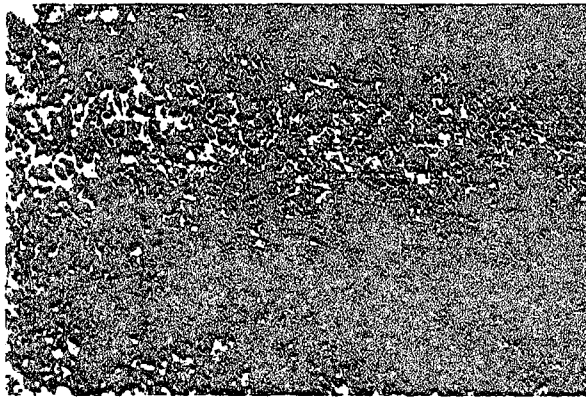
X 50 - $v=70\text{cm/dk}$.
Kaynak metali merkezi



X 50 - $v=75\text{cm/dk}$.
Kaynak merkezine doğru yönelme

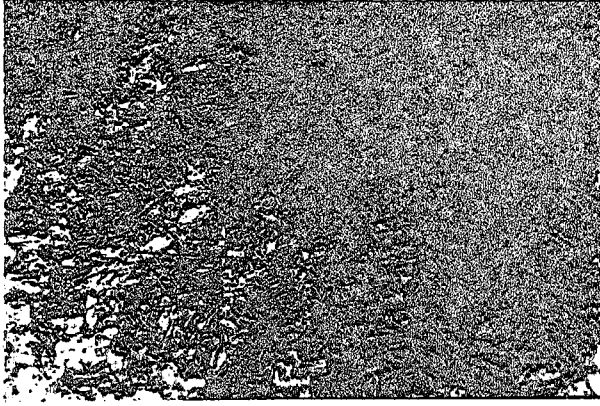


X 50 - $v=80\text{cm/dk}$.
Kaynak merkezine doğru yönelme



X 50 - $v=80\text{cm/dk}$.
Kaynak merkezine doğru yönelme

Şekil 6.24. Gazaltı ark kaynağı II.tip deney numunesi mikroyapıları



X 100 - $v= 7\text{cm/dk.}$
Geçiş bölgesi



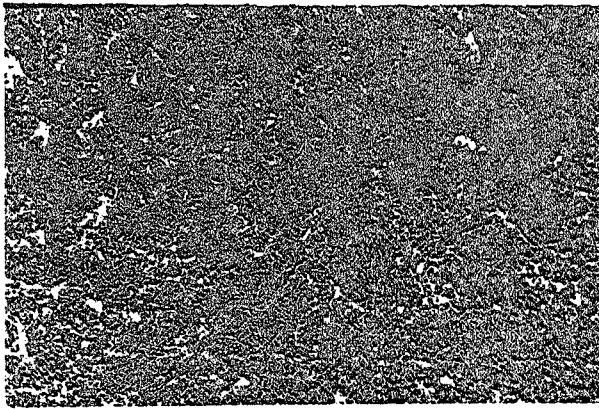
X 100 - $v= 10\text{cm/dk.}$
Geçiş bölgesi



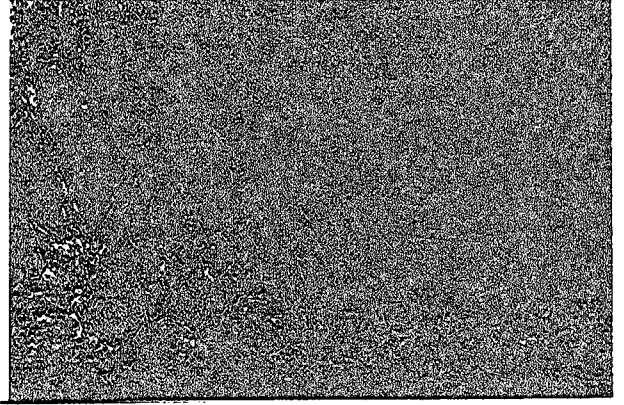
X 100 - $v= 14\text{cm/dk}$
Geçiş bölgesi



X 100 - $v= 19\text{cm/dk.}$
Geçiş bölgesi

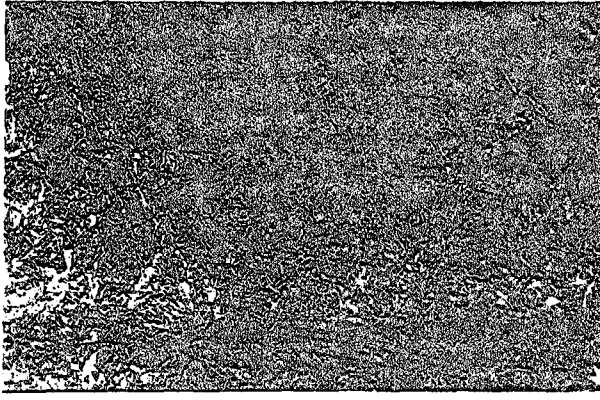


X 100 - $v= 24\text{cm /dk.}$
Geçiş bölgesi

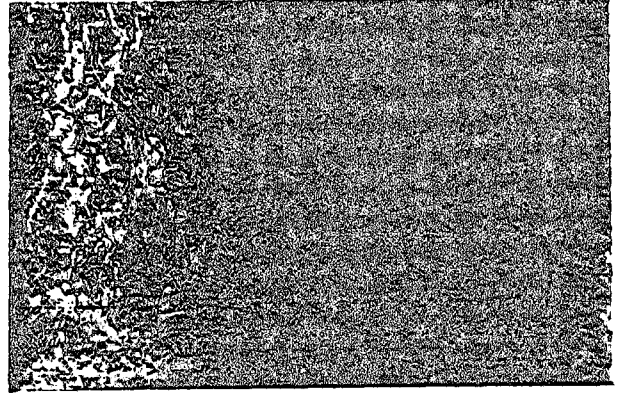


X 100 - $v= 30\text{cm/dk.}$
Geçiş bölgesi

Şekil 6.25. Gazaltı ark kaynağı III.tip deney numunesi mikroyapıları



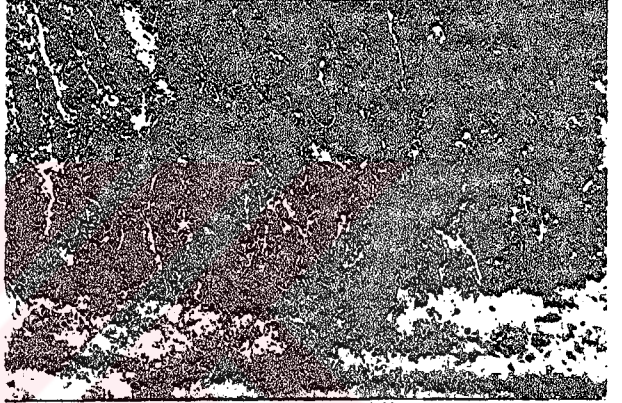
X 100 - $v= 35\text{cm /dk.}$
Geçiş bölgesi



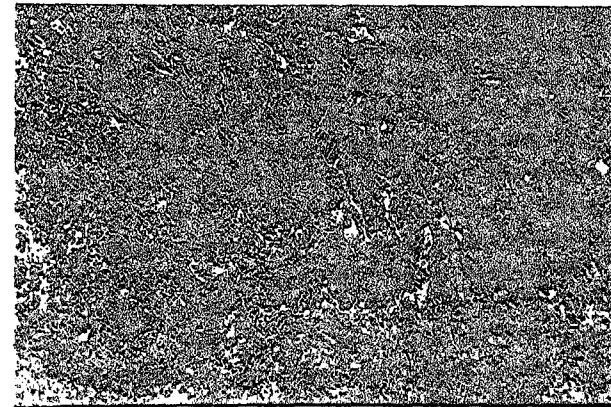
X 100 - $v= 40\text{cm/dk.}$
Geçiş bölgesi



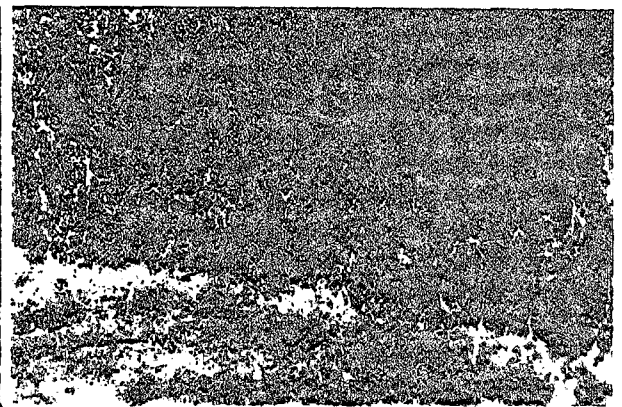
X 100 - $v= 45\text{cm/dk.}$
Geçiş bölgesi



X 100 - $v= 50\text{cm/dk.}$
Geçiş bölgesi

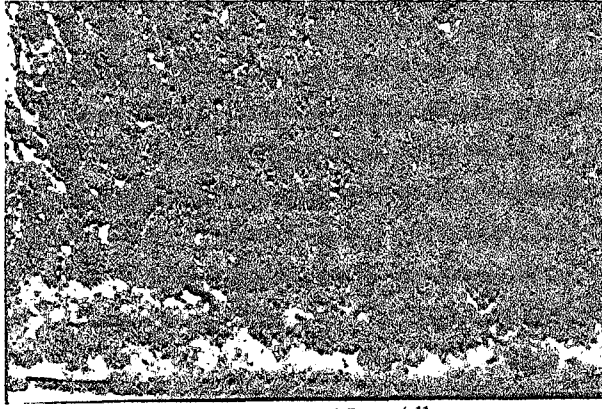


X 100 - $v= 55\text{cm/dk.}$
Geçiş bölgesi

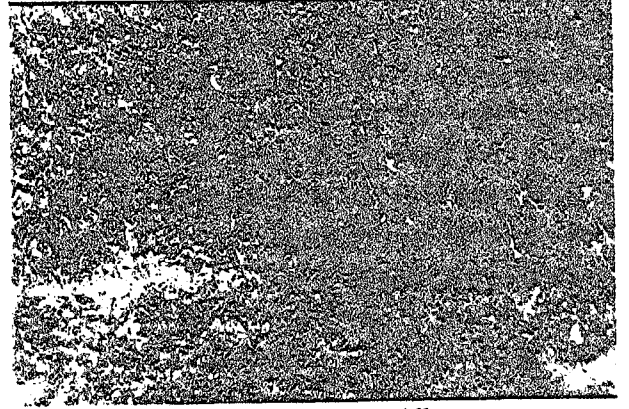


X 100 - $v= 60\text{cm/dk.}$
Geçiş bölgesi

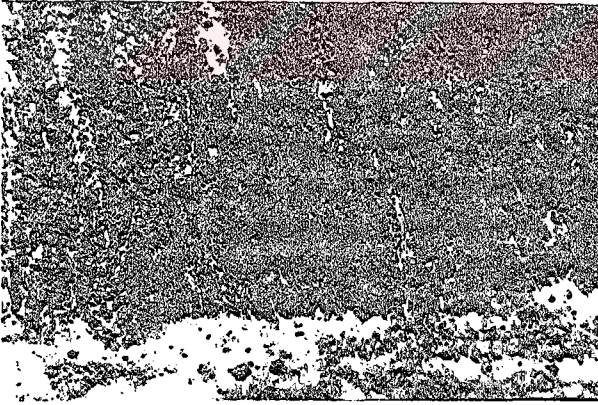
Şekil 6.26. Gazaltı ark kaynağı III.tip deney numunesi mikroyapıları



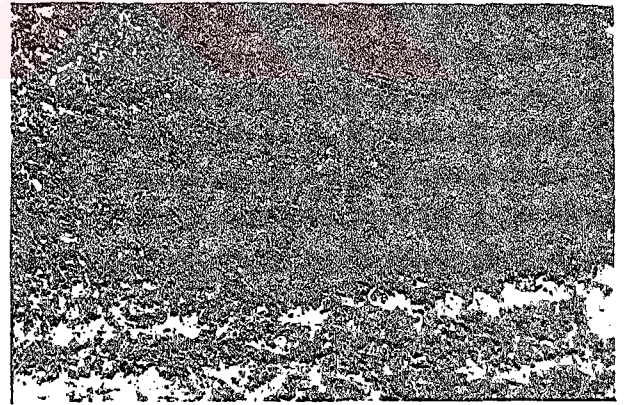
X 100 - $v= 65\text{cm/dk.}$
Geçiş bölgesi



X 100 - $v= 70\text{cm/dk.}$
Geçiş bölgesi

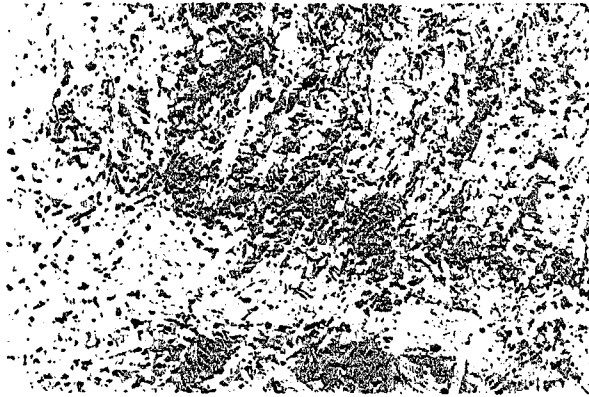


X 100 - $v= 75\text{cm/dk.}$
Geçiş bölgesi

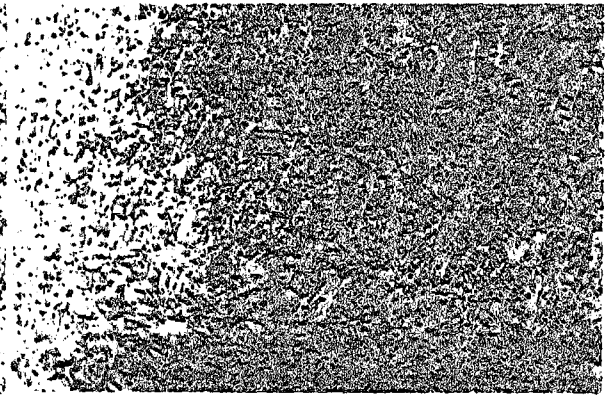


X 100 - $v= 80\text{cm/dk.}$
Geçiş bölgesi

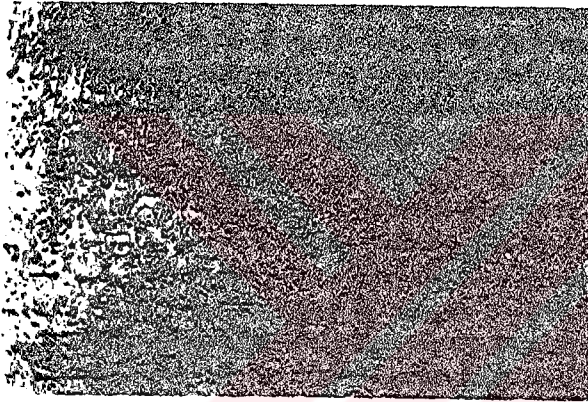
Şekil 6.27. Gazaltı ark kaynağı III.tip deney numunesi mikroyapıları



X 50 - $v=15\text{cm/dk.}$
Geçiş bölgesi



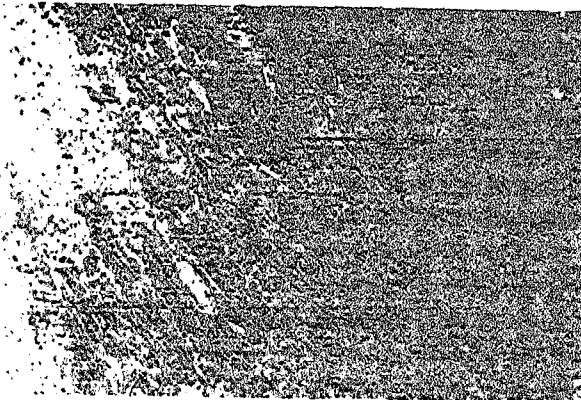
X 50 - $v=25\text{cm/dk.}$
Geçiş bölgesi



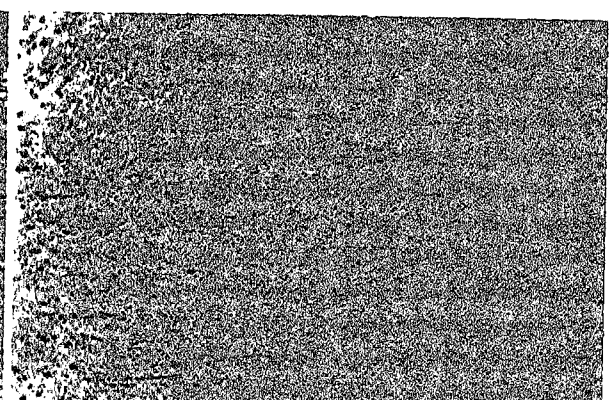
X 50 - $v=35\text{cm/dk.}$
Geçiş bölgesi



X 50 - $v=45\text{cm/dk.}$
Geçiş bölgesi

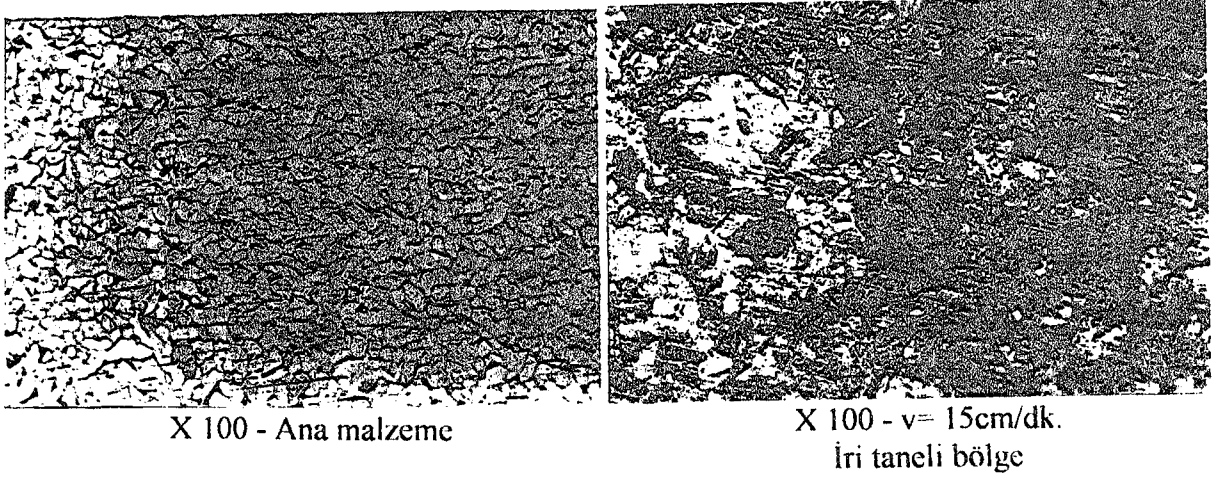


X 50 - $v=55\text{cm/dk.}$
Geçiş bölgesi



X 50 - $v=65\text{cm/dk.}$
Geçiş bölgesi

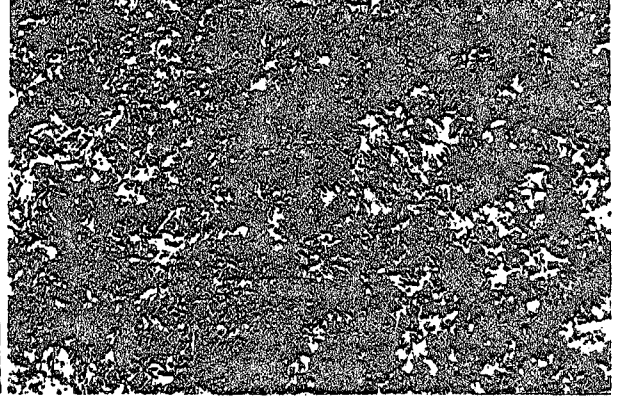
Şekil 6.28. Tozaltı ark kaynağı I.tip deney numunesi mikroyapıları



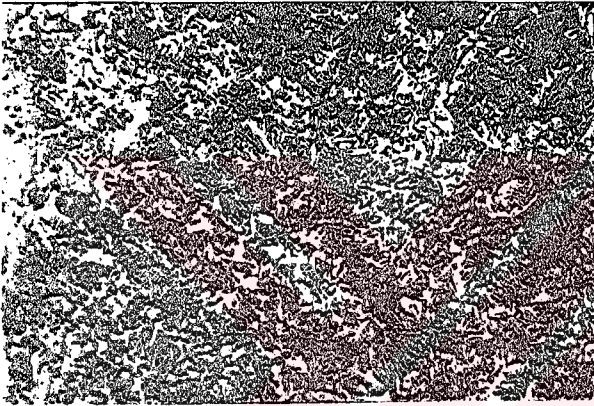
Şekil 6.29. Tozaltı ark kaynağı I.tip deney numunesi mikroyapıları



X 50 - v= 15cm/dk.
Kaynak metali merkezi



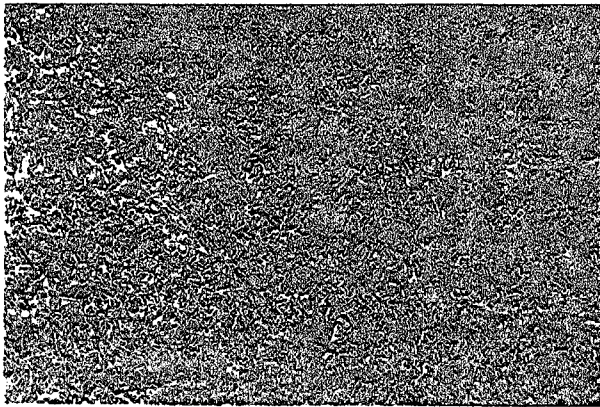
X 50 - v= 25cm/dk.
Kaynak metali merkezi



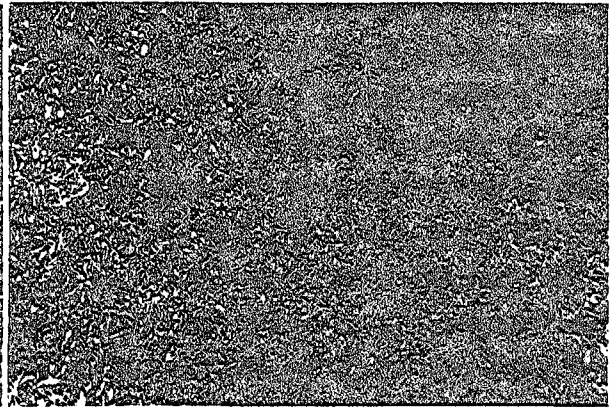
X 50 - v= 35cm/dk.
Kaynak metali merkezi



X 50 - v= 45cm/dk.
Kaynak metali merkezi

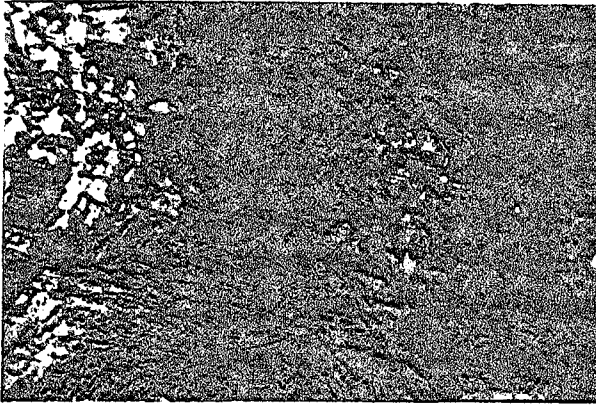


X 50 - v= 55cm/dk.
Kaynak metali merkezi

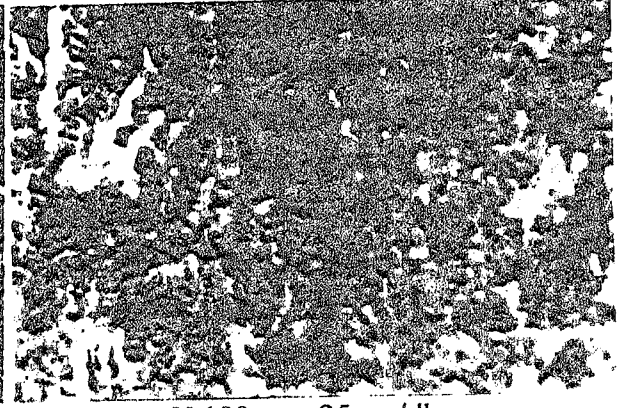


X 50 - v= 65cm/dk.
Kaynak metali merkezi

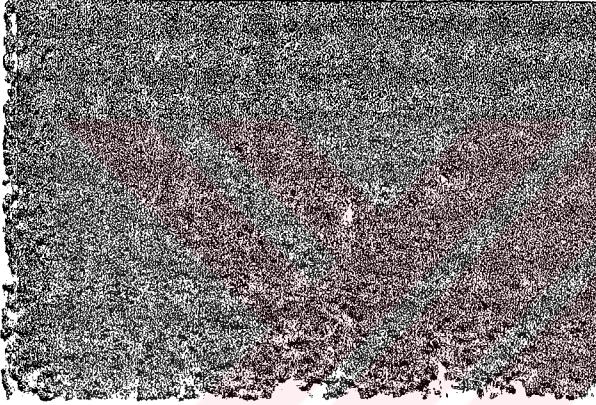
Şekil 6.30. Tozaltı ark kaynağı II.tip deney numunesi mikroyapıları



X 100 - $v= 15\text{cm/dk.}$
Geçiş bölgesi



X 100 - $v= 25\text{cm/dk.}$
Geçiş bölgesi



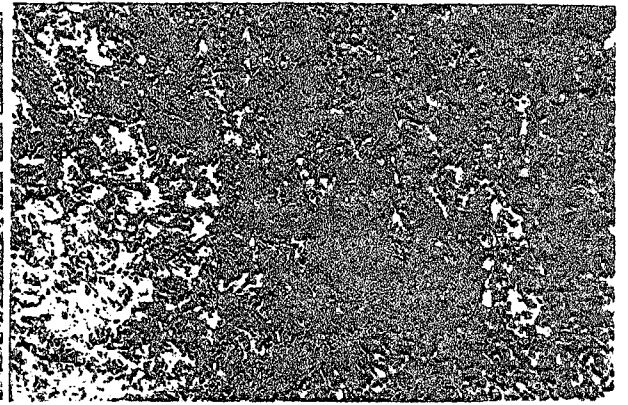
X 100 - $v= 35\text{cm/dk.}$
Geçiş bölgesi



X 100 - $v= 45\text{cm/dk.}$
Geçiş bölgesi



X 100 - $v= 55\text{cm/dk.}$
Geçiş bölgesi



X 100 - $v= 65\text{cm/dk.}$
Geçiş bölgesi

Şekil 6.31. Tozaltı ark kaynağı III.tip deney numunesi mikroyapıları

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Gazaltı (MAG), tozaltı ve manuel ark kaynak teknikleri kullanılarak Şekil 5.1.'de gösterilen parçalar üzerine, değişik hızlarda ve deneysel çalışma bölümünde belirtilen parametreler dahilinde kaynak dikişleri çekilmiştir.

Kaynak hızının, kaynaklı bölge üzerindeki etkilerini görmek amacıyla yapılan çalışmada kaynak hızı-nüfuziyet, kaynak hızı-kaynak metali sertliği, kaynak hızı-ısı girdisi, ve kaynak hızı-mikroyapı ilişkileri arasındaki sonuçlar belirlenmiştir. Yapılan bu çalışma neticesinde elde edilen sonuçlar, literatürde verilen bilgiler ile paralellik göstermiştir.

Kullanılan kaynak tekniklerinde kaynak hızının değişmesiyle nüfuziyette, kaynak metali sertliğinde, ısı girdisinde ve mikroyapı da önemli derecede değişiklikler meydana gelmektedir. Bu değişiklikler, üç değişik kaynak tekniğinde olmak üzere deney sonuçları bölümünde ayrı ayrı belirtilmiştir.

7.1. Kaynak Hızı İle Nüfuziyet İlişkisi

Manuel ark kaynağı tekniğinde 11 adet değişik hızda çekilen kaynak dikişlerinden anlaşıldığı üzere, kullanılan parametreler dahilinde en derin nüfuziyet 21cm/dk.'lık kaynak hızında elde edilmiştir. Kaynak hızının bu değerden küçük olduğu durumlarda sıvı metal arkın önüne geçmiş ve nüfuziyet derinliğini düşürmüştür. Düşük olan bu hızlarda nüfuziyetin azlığının yanında, aşırı derecede kaynak metalinin yığıldığı ve dikişin gereğinden fazla geniş bir hal aldığı gözlenmiştir. Kaynak hızının 21cm/dk.'dan yüksek olduğu durumlarda, dikiş kenarlarında yanma oluklarının olduğu ve birim boyaya yığılan kaynak metalinin azlığı dikkat çekmiştir. Kullanılan parametreler dahilinde, Manuel ark kaynağı tekniğinde optimum hız 21cm/dk. olarak belirlenmiştir (Bkz. Şekiller 6.1-2). Belirlenen bu hızda, nüfuziyet ve kaynak metali yığılması en ideal değerlerdedir.

Gazaltı ark kaynağı tekniğinde 7cm/dk.'dan 80cm/dk.'ya kadar olmak üzere 16 değişik kaynak hızında kaynak dikişleri çekilmiştir. Kullanılan parametreler dahilinde en ideal kaynak dikişi 40cm/dk. ve 45cm/dk. olan kaynak hızlarında elde edilmiş ve belirlenen bu hızlarda nüfuziyet 3mm. olarak tespit edilmiştir. Aynı hızlarda kaynak metalinin ana metali ısıtması da en iyidir. Kaynak hızı, optimum olan bu değerlerden daha hızlı olduğunda nüfuziyet azalmakta, kaynak dikişi çok ince bir hal almakta ve dikiş kenarlarında yanma oyukları meydana gelmektedir (Bkz. Şekiller 6.3 -4).

Tozaltı ark kaynağı tekniğinde ise 15cm/dk.'dan 65cm/dk.'ya kadar olmak üzere 6 değişik kaynak hızı kullanılmıştır. Kaynak hızı 15cm/dk. iken nüfuziyet 3mm. olarak belirlenmiştir. Bu değerde kaynak metali genişliğinin çok fazla oluşu dikkat çekmektedir. Kaynak hızının artmasıyla beraber nüfuziyet derinliğinde de bir artma göze çarpmaktadır. Kaynak hızının 65cm/dk.'ya çıktığı durumda, en fazla nüfuziyet elde edilmesine rağmen dikiş kenarlarında yanma olukları ve kaynak dikişinin çok ince olduğu görülmüştür. En ideal kaynak dikişi, hızın 45cm/dk. ve 55cm/dk. olduğu değerlerde elde edilmiş ve optimum hız olarak belirlenmiştir. Belirlenen bu hızda nüfuziyet ve dikiş görünümü yapılan deneyler içerisinde en iyidir. (Bkz. Şekiller 6.5 -6).

Literatürde [1,6,11], kaynak hızı düşük tutularak yapılan deneylerde birim mesafeye yığılan kaynak metalinin arttığı, akışkan hale gelen sıvı metalin arkın önüne geçtiği, bu nedenle de nüfuziyetin azaldığı ve kaynak dikişinin geniş bir hal aldığı, kaynak hızının optimum değerlerin üzerine çıkarıldığında ise dikiş formunun küçüldüğü ve birim boyaya yığılan kaynak metalinin azaldığı, dikiş kenarlarında yanma oluklarının oluştuğu belirtilmektedir.

7.2.Kaynak Hızı İle Kaynak Metali Sertliği İlişkisi

Manuel ark kaynağı tekniği ile çekilen kaynak dikişlerinin, kaynak metallerinin sertlikleri deney sonuçları bölümünde verilmiştir. Kaynak metalinin sertliği, en düşük hız olan 7cm/dk. değerinde 222 H.V. iken en yüksek hız olan 35cm/dk. değerinde 257 H.V.'ye yükselmiştir (Bkz. Şekil 6.7). Bu değerlerden anlaşıldığı üzere kaynak metalinin soğuma süresi ne kadar hızlı olursa, sertlikte aynı oranda artmaktadır. Kaynak hızının düşük olduğu durumlarda kaynak edilen malzemeye fazla oranda ısı girdisi olduğundan ana malzeme fazla ısınmakta ve geç soğumaktadır. Bu geç soğumadan dolayı kaynak metalinin sertliği düşük değerler arz etmektedir. Kaynak metalinin sertliğinde, kullanılan elektrodun alaşım elementlerinin oranı da etkili olmaktadır.

Gazaltı(MAG) ark kaynağı tekniğinde gerçekleştirilen deneyler esnasında 16 değişik kaynak hızı kullanılmıştır. Buradan alınan sonuçlarda da, hızın artmasıyla kaynak metalinin sertliğinin arttığı görülmektedir. 7cm/dk.'lık kaynak hızında 210 H.V. sertlik değeri elde edilirken, 40cm/dk.'da 270 H.V., 80cm/dk.'da ise 308 H.V. sertlik elde edilmiştir. Alınan sonuçlara göre, kaynak metalinin soğuma süresinin azlığı nedeniyle, kaynak metalinin sertlik değeri fazladır (Bkz. Şekil 6.8).

Tozaltı ark kaynağı tekniğinde yapılan deneylerde 6 adet değişik hız kullanılmış ve alınan değerler, deney sonuçları bölümünde verilmiştir (Bkz. Şekil 6.9). Bu kaynak tekniğindeki kaynak metali sertlik değerleri diğer iki kaynak tekniğine göre oldukça düşüktür. Bu kaynak tekniğinin özelliği olarak, kaynak dikişinin üzeri kalın bir koruyucu toz kütlesiyle kapatılmakta ve kullanılan enerjinin büyük bir kısmı kaynak bölgesine ısı enerjisi olarak verilmektedir. Sonuç olarak kaynak edilen malzeme fazla ısınmakta ve geç soğumaktadır.

Dolayısıyla geç soğuma neticesinde kaynak metalinin sertlik değeri de diğer tekniklere nazaran daha düşük olmaktadır. En düşük hız olarak seçilen 15cm/dk.'da kaynak metali sertliği 188 H.V. iken, 65cm/dk. olan en yüksek hızda 212 H.V. sertlik değeri elde edilmiştir.

Kullanılan üç değişik kaynak tekniğindeki kaynak metali sertlikleri karşılaştırılacak olursa, manuel ark kaynağında, 35cm/dk.'lık kaynak hızında 257 H.V. sertlik, gazaltı ark kaynağında, 35cm/dk.'lık kaynak hızında 265 H.V. sertlik ve tozaltı ark kaynağında, 35cm/dk.'lık kaynak hızında 198 H.V. sertlik değerleri elde edilmiştir.

Yapılan karşılaştırmadan anlaşılabacağı gibi, tozaltı ark kaynağında yüksek enerji değerleri kullanıldığından kaynak bölgesine uygulanan ısı girdisi değerleri de yüksek olmakta, kaynak metali geç soğumakta ve kaynak metali sertliği de düşük olmaktadır.

Literatürde verilen bilgilerde de [20,21,29,30], kaynak metali soğuma süresi az olursa kaynak metali sertliğinin yüksek olduğu, soğuma süresinin artmasıyla beraber bu sertliğin azalma gösterdiği belirtilmektedir.

7.3. Kaynak Hızı İle Isı Girdisinin İlişkisi

Elektrik ark kaynağı için geçerli olan ısı girdisi formülü kaynak metali bölümünde Eş.4.2.'deki formülde verilmiştir. Formülden de görüldüğü gibi ısı girdisi, kaynak hızı ile doğrudan ilgilidir. Bu çalışmada da görüldüğü gibi amper ve volt değerleri sabit kalmak şartıyla kaynak hızı değiştirilirse ısı girdisi değerinde farkedilir bir değişiklik söz konusu olmaktadır. Kaynak hızının azalmasıyla ısı girdisi artmakta ve hızın artmasıyla beraber ısı girdisi değeri düşmektedir.

Manuel ark kaynağı tekniğinde ısı girdisi sonuçları, deney sonuçları bölümünde verilmiştir (Bkz. Şekil 6.10). 7cm/dk.'olan kaynak hızında ısı girdisi 2160 J/mm iken, 35cm/dk.'lık kaynak hızında bu değer 432 J/mm'ye düşmüştür.

Gazaltı ark kaynağı tekniğinde, yine deney sonuçları bölümünde görüldüğü gibi amper ve volt değerlerinin sabit olmasına rağmen, kaynak hızının değişmesiyle beraber, ısı girdisi değerlerinde değişimler söz konusudur (Bkz. Şekil 6.11). Kaynak hızı 7cm/dk.'iken ısı girdisi 5464 J/mm, kaynak hızı 80cm/dk. olduğunda da ısı girdisi 478 J/mm değerlerini almaktadır.

Tozaltı ark kaynağında da yine kullanılan parametrelere bağlı olarak hesaplanan ısı girdisi değerleri deney sonuçları bölümünde verilmektedir (Bkz.Şekil 6.12). Bu kaynak tekniğinde 6 adet değişik hız kullanılmış ve ısı girdisi değerleri tespit edilmiştir. Tozaltı ark kaynağı tekniğinde elde edilen ısı girdisi değerleri, diğer iki kaynak tekniğine göre oldukça fazla olduğu görülmüştür. Bunun nedeni ise kullanılan amper ve volt değerlerinin yüksek seçilmesinden kaynaklanmaktadır. Bilindiği üzere tozaltı ark kaynağı tekniğinde, kalın parçalar kaynatılmakta, kalın çaplı elektrodlar seçilmekte ve dolayısıyla yüksek amper ve volt değerleri kullanılmaktadır. Deneysel çalışmamızda da kullanılan elektrod çapı 3.20mm. olduğundan 300 amper ve 40 volt gibi yüksek akım değerleri kullanılmıştır. Kullanılan bu değerlere bağlı olarak ısı girdisi sonuçları yüksek değerlerde tespit edilmiştir. Tozaltı ark kaynağı tekniklerinde de sabit tutulan amper ve volt değerlerine karşılık, kaynak hızının artmasıyla ısı girdisinin düştüğü belirlenmiştir. 15cm/dk.'lık kaynak hızında 4800 J/mm ısı girdisi sağlanırken, 65cm/dk.'lık kaynak hızında 1107.6 J/mm ısı girdisi sağlanmıştır.

Aynı zamanda kaynaklı parçalara uygulanan ısı girdisi değerlerine bağlı olarak ITAB'ın genişliğinde de değişiklikler meydana gelmektedir. Isı girdisinin fazla olduğu durumlarda ısıdan etkilenen bölge genişlemekte, fakat düşük ısı girdisi

sağlandığında, yani kaynak hızının fazla olduğu durumlarda ısıdan etkilenen bölge daralmaktadır.

Yapılan deneyler sonucunda, 35cm/dk. kaynak hızı esas alındığında kaynak metalinden itibaren ITAB'ın genişliğinin, manuel ark kaynağında 1.5 mm., gazaltı ark kaynağında 2.5 mm. ve tozaltı ark kaynağında 5 mm. olduğu görülmüştür.

Literatürde verilen bilgilere göre de [16,19,20,28], kaynak hızının düşük olduğu durumlarda ısı girdisi yüksek olmakta ve ITAB geniş bir hal almakta, buna karşılık kaynak hızının yüksek olduğu durumlarda ısı girdisi düşük olmakta ve ITAB daha dar bir alanda meydana gelmektedir.

7.4. Kaynak Hızı İle Mikroyapının İlişkisi

Deneysel çalışmada kullanılan malzeme düşük karbon oranına sahip bir malzemedir ve ITAB dışında kalan bölgenin mikroyapısına bakıldığında ferrit ve perlitten oluşan bir yapı görülmektedir. Kaynak metalinin mikroyapısı, soğuma sırasındaki dönüşümün bir sonucudur. Düşük alaşımlı ve düşük karbonlu çeliklerin kaynak metalleri ferritik yapıya sahiptirler. Östenit-ferrit faz dönüşüm sıcaklığına bağlı olarak birbirinden farklı bir çok ferrit morfolojisi formları vardır. Bu ferrit morfolojileri ; tane sınırı ferrit, iğneli ferrit, ferrit yan tabakaları, taneler arası poligonal ferrittir.

Manuel ark kaynağında, kaynak hızına bağlı olarak değişen mikroyapılar, deney sonuçları bölümünde verilmiştir (Bkz. Şekiller 6.13 -18) Bu kaynak tekniğinde, 11 adet değişik kaynak hızı kullanılmıştır. Kaynak hızının düşük seçildiği durumlarda kaynak metali, kaba ve sütun şeklinde tanelerden meydana gelmiştir. Isı girdisinin fazla olmasıyla taneler irileşmekte ve ısı akışının etkisiyle de ana metalden kaynak merkezine doğru yönelenmektedirler.

Heintze ve Pherson'a göre[35], kaynak metalinde oluşan kolonların uzunluğu boyunca olan yönelme, kaynak havuzundan ısı akışının yönüne işaret eder.

En düşük hız olan 7cm/dk. kaynak hızında kaynak dikişinin geçiş bölgesi incelendiğinde tanelerin yönlendiği ve belli bölgelerde dendritik bir yapı arzettiği gözlenmiştir. Kaynak hızı artışıyla beraber mikroyapı' da incelme gözlenmiş olup özellikle 18cm/dk. ile 35cm/dk. hızları arasında elde edilen kaynak metalinde çok ince yapı tespit edilmiştir.

Kaynak dikişine üstten bakmak amacıyla hazırlanan II. tip deney numunelerinde de yönelme, ana metalden kaynak merkez çizgisine ve kaynak yönüne olmak üzere birbirine paralel, simetrik ve balık sırtı iskeletini andırır bir hal almıştır. Kaynak hızının düşük olduğu durumlarda ısı girdisi fazla olduğundan, daha geniş bir bölge ısının tesiri altında kalmış, kaynak dikişi de geniş bir şekilde meydana gelmiştir. Kaynak hızı düşük seçildiğinde katılaştan taneler daha kaba boyutlu olduğundan tane sınırları arasındaki mesafe de daha geniş olmuştur. Yüksek kaynak hızlarında düşük ısı girdisi sağlanmış ve daha dar bir kaynak dikişi elde edilmiştir. Bu durumda kaynak metalinde meydana gelen tanelerin boyutları küçük olmuş ve kaynak dikişi merkez çizgisine doğru yönelen tanelerin tane sınırları arasındaki mesafe daralmıştır. Özellikle 16cm/dk. dan sonra çok ince yapı bir kaynak metali göze çarpmaktadır.

Kaynak dikişini yan yüzeyden incelemek için hazırlanan III. tip deney numunelerinin genel olarak herbirinde yönelmiş, dendritik ve iğnemsî taneler oluşmakta ve kaynak hızıyla beraber yapıda incelme görülmektedir (Bkz. Şekiller 6.17 -18).

Gazaltı(MAG) ark kaynağında da 16 adet değişik kaynak hızında kaynak dikişleri çekilmiş ve çeşitli yönlerden alınan mikroyapı fotoğrafları deney sonuçları bölümünde gösterilmiştir (Bkz. Şekiller 6.19 -27). Bu kaynak tekniğinde de

kaynak hızının düşük olduğu durumlarda iri, sütunsal taneler oluşmuş ve kaynak merkez çizgisine doğru yönelmişlerdir. Kaynak hızı optimum değerden yüksek olduğunda taneler ince yapılı ve uzunlamasına olarak kaynak merkezine yönelme eğilimi gösterdikleri, en yüksek kaynak hızlarında ise yönelmenin az olduğu ve tanelerin daha karmaşık bir hal aldığı gözlenmiştir.

Buna, kaynak dikişinin çok dar olması ve ısı girdisinin az olması sebebiyle katılaşmanın çok çabuk meydana gelmesi, dolayısıyla yönelmenin gerçekleşmemesi sebep olarak gösterilmiştir. Gazaltı kaynağı ile elde edilen kaynak dikişlerinin mikroyapısına bakıldığında 7cm/dk. hızla çekilen kaynak metalinde dendritik yapı görülürken daha hızlı kaynak dikişlerinde oldukça küçük tane yapısı elde edilmiştir. Manuel ark kaynağındaki kaynak metalleri ile mukayese edildiğinde yapının çok ince olduğu bariz bir şekilde görülmektedir.

Kaynak dikişine yan yüzeyden bakmak için hazırlanan III.tip deney numunelerinde 14cm/dk. ya kadar olan kaynak dikişlerinde daha iri ve zaman zaman sütunsal taneler göze çarparken 19cm/dk. dan yukarı olan hızlarda iğnemsî bir yapı ve hızın artmasıyla beraber oldukça küçük yönelmiş taneler gözlenmiştir (Bkz. Şekiller 6.25 - 27).

Tozaltı ark kaynağı tekniğinde 6 adet değişik kaynak hızında kaynak dikişi çekilmiş ve hazırlanan numunelerin kaynak metallerinin mikroyapı fotoğrafları deney sonuçları bölümünde gösterilmiştir (Bkz. Şekiller 6.28 -31). Manuel ve gazaltı ark kaynağı tekniğine nazaran tozaltı ark kaynağı tekniğinde, kaynak edilecek malzemeye fazla miktarda ısı girdisi uygulandığından ve soğumanın kalın bir koruyucu toz kütlesi altında gerçekleşmesinden dolayı oluşan tanelerin daha iri bir hal aldığı gözlenmiştir. Buna sebep olarak, ısı girdisinin fazla olmasından dolayı, ısının tesiri altındaki bölgede tanelerin aşırı büyümesi gösterilmiştir. Düşük hızlarda iri, zaman zaman geometrik şekilde taneler elde edilirken yüksek hızlarda daha düzensiz ve ince yapılı taneler elde edilmiştir. Kaynak dikişini yan yüzeyden incelemek için hazırlanan III.tip numunelerin

kaynak metalleri diğer numunelerle mukayese edildiğinde daha kaba taneler görülmekte ve hızın artmasıyla beraber bu taneler incelmektedir (Bkz.Şekil 6.31).

Easterling'e göre [22], ergitmeli kaynaklarda katılaşma, ana metalin mevcut tanelerinden ilk kristallerin meydana gelmesi olarak tarif edilmiştir. Bundan dolayı kaynak metalinde oluşan taneler, mevcut olan tanelerin bir devamı olduğundan iri taneli mikroyapıdan iri ve ince taneli mikroyapıdan da ince taneler meydana gelmektedir. Tozaltı ark kaynağında fazla ısı girdisinden dolayı aşırı tane irileşmesi olduğundan, kaynak metalinde oluşan taneler de iri olmaktadır.

Genel olarak üç değişik kaynak tekniğinde gerçekleştirilen deneylerin sonuçlarından anlaşıldığı üzere kaynak hızının düşük olduğu durumlarda, katılaşan taneler kaba ve kaynak merkezi çizgisine doğru yönelmiş vaziyette oluşmaktadır. Taneler, kaba ve birbirine paralel olduklarından tane sınırları arasındaki mesafe fazla olmakta, katılaşmanın yavaş olması nedeniyle katılaşmakta olan taneler ısı kaynağını takib edecek vaziyette yönelmiş olarak meydana gelmektedirler. Kaynak hızı yüksek seçildiğinde katılaşan taneler daha dar, ana metale yakın bölgelerde kaynak merkezi çizgisine dik olarak yönelmekte ve kaynak merkezine yaklaştıkça karmaşık bir hal almaktadırlar.

7.5. Öneriler

Yapılan çalışmada her üç kaynak tekniğinde kaynak hızına göre nüfuziyet, mikroyapı, dikiş geometrisi, ısı girdisi ve kaynak metali sertlik değeri ilişkileri araştırılmış ve gözlemler neticesinde, manuel ark kaynağında 21cm/dk., MAG kaynağında 40cm/dk. ile 45cm/dk. arası, tozaltı ark kaynağında 45cm/dk. ile 55cm/dk. arası kaynak hızları değerleri optimum hızlar olarak belirlenmiştir. Belirlenen bu kaynak hızlarında, nüfuziyet en fazla, dikiş geometrisi en ideal, ısı girdisi ve sertlik orta değerlerde bulunmuştur. Mikro yapıdaki taneler orta büyüklükte bulunmuş olup ne kaba, nede ince tanelerden oluşmuş, yönlendirme belirgin bir şekilde görülmüştür.

Bu sonuçlar neticesinde şu öneriler yapılabilir;

- 1-) Çok düşük ve yüksek hızlarda nüfuziyet azaldığında kaynaklı birleştirme lerde kaynak yöntemine göre optimum kaynak hızı kullanılmalıdır.
- 2-) Malzeme bileşimine göre değişik çalışmalar yapılmalıdır.
- 3-) Değişik parametreler kullanılarak, parametrelerin mikroyapı üzerine etkilerini incelemek amacıyla yeni çalışmalar yapılmalıdır.
- 4-) Kaynak hızına göre mikroyapı değişiminin mekanik özelliklerini tespit için, mekanik değerlerin alınabileceği yeni çalışmalar yapılmalıdır.
- 5-) Optimum nüfuziyet için akım ve gerilim değerlerini tespit edecek çalışmalar yapılmalıdır.
- 6-) Kutup seçimine göre nüfuziyet ve mikroyapı değerleri tespit edilecek çalışmalar yapılmalıdır.
- 7-) Yatay pozisyon dışında kalan pozisyonlar için mikroyapı ve nüfuziyeti tespit çalışmaları yapılmalıdır.
- 8-) Ağız açısının nüfuziyet ve tane yönlendirilmesine etkisi araştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

1. Tülbentçi, K., 1990, "MİG-MAG Eriyen Elektrod ile Gazaltı Kaynağı", İstanbul.
2. Gülenç, B., Mayıs 1995, "MİG-MAG Kaynağında Koruyucu Gaz Karışımının Kaynak Metalinin Mekanik Özelliklerine Etkisi", GFBE, Doktora Tezi, Ankara.
3. Anık, S., Tlbeti, K., Kaluç, E., 1991, "rtl Elektrod ile Elektrik Ark Kaynağı", Gedik Holding, İstanbul.
4. Oğuz, B., 1986, "Ark Kaynağı", Oerlikon, İstanbul.
5. TS 563, Eylül 1989, "Elektrodlar rtl Alaşımsız ve Düşük Alaşımlı eliklerin Ark Kaynağı İçin".
6. Anık, S., 1991, "Kaynak Tekniğı Elkitabı", Bhler, İstanbul.
7. Karadeniz, S., 1995, "Kaynak Makinaları", Segem Yayını, Ankara.
8. Basic Welding Data, July 1989, "Shielding Gases", Welding & Metal Fabrication, No.8, p.254-256.
9. İsdas, O., "Gaz Metal Ark Kaynağı ve Koruyucu Gazlar", BOS A.Ş.
10. TS 5618, Mart 1988, "Elektrodlar ve Teller-Alaşımsız ve Düşük Alaşımlı eliklerin Gazaltı Ark Kaynağı İçin".
11. Ertürk, İ., Nisan 1994, "MİG-MAG Kaynak Yönteminde Kaynak Parametrelerinin Sıçrama Kayıplarına Etkilerinin İncelenmesi", GFBE, Doktora Tezi, Ankara.

12. Hilton, D., Mc Kedwn, D., October 1986, "Improvements In Mild Steel Weld properties By Changing The Shielding Gas-Theory Or Practice", Metal Construction, UK.
13. Balkır, U., 1990, "Tozaltı Ark Kaynağı", AS Kaynak Teknolojisi Dergisi, No.1,s.2-11, İstanbul.
14. Tülbentçi, K., 1988, "Tozaltı Kaynak Yönteminin Üstünlükleri ve Uygulama Alanları", Gedik Holding Kaynak Dünyası, s.18-21, İstanbul.
15. TS 5387, Aralık 1987, "Tozaltı Ark Kaynağı -Alaşimsız ve Az alaşımlı Çelikler İçin Elektrodlar ve Tozlar".
16. Gour, L.M., 1986, "Principles of Welding Technology", Colchester-London.
17. Committee, 1981, "Welding Handbook", V.1, 7.Edition, AWS, USA.
18. Anık, S., 1981, "Kaynak Tekniği", Cilt 3, İTÜ., İstanbul.
19. Porter, D.A., Easterling, K.E.,1981, "Phase Transformations In Metals and Alloys".
20. Yükler,A.İ., "Kaynak Metali", MÜTEF Matbaası, İstanbul.
21. Chandel, R.S., Bala,S.R., 1985, "Cooling Time and Features of Submerged Arc Weld Beads", Welding Journal, p.201-208, USA.
22. Easterling, K.E.,1992, "Introduction To The Physical Metallurgy of Welding", 2. Edition, London.
23. Thomasson, H., February 1975, "Heat Effects In Arc Welding", Canadian Welder and Fabricator, Vol. 66, No. 2, p.6-17, Canada.

24. Cebekan, F., Ocak 1988, "Kaynak Banyosunun Katılaşması", Gedik Holding Kaynak Dünyası, s.11-17, İstanbul.
25. Savage, W.F., Lundin, C.D., Aronson, A.H., April 1965, "Weld metal Solidifications Mechanics", Welding Journal, p.175-181, USA.
26. Savage, W.F., Aronson, A.H., February 1966, "Preferred Orientation in The Weld Fusion Zone", Welding Journal, p.85-89, USA.
27. Savage, W.F., Nippes, E.F., Miller, T.W., June 1976, "Microsegregation İn 70 Cu-30 Ni Weld Metal", Welding Journal, p.85-89, USA.
28. Ateş, H., Kasım 1996, "MIG-MAG Kaynağında Kullanılan Argon Gazına O₂ ve CO₂ İlavesinin Kaynak Metali Tokluğu ve Mikroyapısına Etkisi", GÜFBE, Y.Lisans Tezi, Ankara.
29. İto, Y., Nakonishi, M., Komizo, Y., September 1982, "Effects of Oxygen on Low Carbon Steel Weld Metal", Metal Construction, p.472-478.
30. Glover, A.G., Grath, J.T., 1977, "The Influence of Cooling Rate and Composition on Weld Metal Microstructures İn a C/Mn and HSLA Steel", Welding Journal, p.267-273, USA.
31. Krishnan, R., Singhraman, R.K., Varatharajan, K., Tyagi, A.K., 1994, "Microstructure and Oxidation Resistance of Different Regions in The Welding of Mild Steel", Journal of Materials Science Letters 13, p.1618-1621.
32. Kuna, J., Derzeniek, H., 1991, "Influence of Microstructure on Weld Metal Notch Toughness", Technical University of Wrocław, p.296-300, Poland.
33. Garland, J.G., April 1974, "Weld Pool Solidification Control", Metal Construction and British Welding Journal, p.121-127, UK.

34. Hill, D.C., Passoja, D.E., November 1974, "Understanding The Role of Inclusions and Microstructure In Ductile Fracture", Welding Journal, p.481-485, USA.
35. Heintze, G.N., Pherson, R., March 1986, "Solidification Control of Submerged Arc Welds In Steels By Inoculation With Ti", Welding Journal, p.140-151, USA.
36. Dallam, C.B., Liu, S., Olson, D.L., May 1985, "Flux Composition Dependence of Microstructure and Toughness of Submerged Arc HSLA Weldments", Welding Journal, p.140-151, USA.
37. Savage, W.F., Nippes, E.F., Erickson, J.S., August 1976, "Solidification Mechanisms In Fusion Welds", Welding Journal, p.213-221, USA.
38. Signes, E.G., Baker, J.C., March 1981, "Process Modifications To Improve HAZ Toughness In High Deposition Arc Welds", Welding Journal, p.57-62, USA.
39. Shultz, B.L., Jackson, C.E., January 1973, "Influence of Weld Bead Area on Weld Metal Mechanical Properties", Welding Journal, p.26-37, USA.
40. Lebedev, B.D., Steklov, O.I., Tsygan, B.G., 1980, "The Effect of The Conditions of Arc Welding Using Granulated Filler on The Structure of Weld Metal", The British Library Document Supply Centre, No.12, p.26-28, UK.
41. Asnis, E.A., December 1986, "Effect of Welding Speed and Heat Treatment Conditions on The Structure and Properties of Welded Joints In Niobium", The British Library Document Supply Centre, Automatic Welding, No.12, p.33-34, UK.

42. Lin, M.L., Eagar, T.W., June 1985, "Influence of Arc Pressure on Weld Pool Geometry", Welding Journal, p.163-169, USA.
43. Kou, S., Wang, Y.H., March 1986, "Weld Pool Convection and Its Effect", Welding Journal, p.63-70, USA.
44. Çanacık, A., 1993, "Kaynak İşlemlerinde Isı Akışı ve ITAB Sertliği", M.Ü.F.B.E., Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.



ÖZGEÇMİŞ

1971 yılında Bilecik'in Gölpazarı ilçesinde doğdu. İlk ve orta öğrenimini Gölpazarında lise öğrenimini İstanbul Kartal Endüstri Meslek Lisesinde tamamladı. 1989 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal İşleri Bölümü'ne öğrenci olarak girdi ve 1993 yılında buradan mezun oldu. 1994 yılında aynı Fakültede Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı.

Halen Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi'ndeki görevine devam eden Ahmet DURGUTLU evli ve bir çocuk babasıdır.

