AŞINMAYA DAYANIKLI ÇELİKLER İLE GENEL YAPI ÇELİĞİNİN KAYNAĞINDA BİRLEŞME ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Ekrem TUNCER

YÜKSEK LİSANS TEZİ
METAL EĞİTİMİ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EYLÜL 2006
ANKARA

Ekrem TUNCER tarafından hazırlanan AŞINMAYA DAYANIKLI ÇELİKLER İLE GENEL YAPI ÇELİĞİNİN KAYNAĞINDA BİRLEŞME ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Behçet GÜLENÇ
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Metal Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Adem KURT

Üye : Yrd. Doç. Behçet GÜLENÇ

Üye : Yrd. Doç. İbrahim ERTÜRK

Tarih : 06/09/2006

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

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Ekrem TUNCER

AŞINMAYA DAYANIKLI ÇELİKLER İLE GENEL YAPI ÇELİĞİNİN KAYNAĞINDA BİRLEŞME ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Ekrem TUNCER

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Eylül 2006

ÖZET

Bu çalışmada St–37 genel yapı ve RAEX AR 400 aşınmaya dayanıklı çelikleri kaynak parametreleri sabit tutularak rutil ve bazik elektrotla manuel ark kaynağı ayrıca SG2 ilave telli, karışım gazla gazaltı kaynağı, MAG ve TIG kaynağı yöntemleriyle birleştirilmişlerdir. Numunelere sertlik, çekme ve eğme testleri ve mikroyapı incelemesi yapılmıştır. İnceleme sonunda en yüksek sertlik ölçümü karbondioksit atmosferi altında yapılan kaynaklı numunede, en yüksek akma ve çekme dayanımı HB 212 gaz atmosferi altında yapılan numunede elde edilmiştir.

Bilim Kodu : **710.3.019**
Anahtar Kelimeler : **Manuel ark kaynağı, TIG, MAG, Genel yapı çeliği, RAEX AR 400 çeliği**
Sayfa Adedi : **89**
Tez Yöneticisi : **Yrd. Doç. Dr. Behçet GÜLENÇ**

INVESTIGATION OF JOINABILITY FEATURES OF WEAR RESISTANT STEELS AND STRUCTRAL STEELS

(M.Sc. Thesis)

Ekrem TUNCER

GAZI UNIVERSITY
INSTUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
September 2006

ABSTRACT

In this study, St-37 structural steels and RAEX AR 400 wear resistant steels have been joined by manual arc, mixed gas arc welding, MAG and TIG welding techniques. Rutil and basic electrodes were used as a welding wire in manual arc welding and TIG welding, SG2 wire were used in mixed gas arc welding and MAG welding. Hardness values were determined in base metal, HAZ and weld metal. Tensile and bending tests were applied and microstructure features of samples were determined. Highest hardness values were obtained in 100 % carbon dioxide atmosphere. Highest tensile and yield strength were obtained HB 212 atmosphere.

Science Code : **710.3.019**
Key Words : **Manual arc welding, TIG, MAG, Structural steel, RAEX AR 400 steel**
Page Number : **89**
Adviser : **Assist. Prof. Dr. Behçet GÜLENÇ**

TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı yöneten ve benden yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Behçet GÜLENÇ' e içtenlikle teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Çalışmamda değerli katkılarından dolayı öğretim üyelerinden bölüm başkanımız Prof. Dr. Âdem KURT' a ve bölüm öğretim elemanlarından Prof. Dr. Mehmet TÜRKER' e, Doç. Dr. Yusuf ÖZÇATALBAŞ' a, Öğr. Gör. Dr. Ahmet DURGUTLU' ya, Araştırma Görevlileri Dr. Hakan ATEŞ' e ve Volkan KILIÇLI' ya, teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca Emek Boru A.Ş. Metalürji mühendisi Enver ÜÇÜNCÜ ve malzeme laboratuarı çalışanlarına, öğretmen arkadaşlarım H. Mustafa YILDIRIM ve Bahtiyar TOLUNAY' a teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT v

TEŞEKKÜR vi

İÇİNDEKİLER vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ xi

ŞEKİLLERİN LİSTESİ xii

RESİMLERİN LİSTESİ xiv

SİMGELER VE KISALTMALAR xv

1. GİRİŞ 1

2. KARBONLU ÇELİKLERİN KAYNAK KABİLİYETİ 3

2.1. Genel 3

2. 2. Alaşım Elementlerinin Çeliğe Etkileri 4

2.2.1 Karbonun çeliğe etkisi 4

2.2.2 Silisyumun çeliğe etkisi 4

2.2.3. Manganın çeliğe etkisi 5

2.2.4. Kükürtün çeliğe etkisi 5

2.2.5. Kromun çeliğe etkisi 5

2.2.6. Nikelin çeliğe etkisi 5

2.2.7. Wolframın çeliğe etkisi 5

2.2.8. Molibdenin çeliğe etkisi 5

2.2.9. Alüminyumun çeliğe etkisi 6

2.2.10. Fosforun çeliğe etkisi 6

Sayfa

2.2.11. Borun çeliğe etkisi 6
2.3. Kaynak Bölgeleri 6
2.3.1. Ergime bölgesi 6
2.3.2. Isının tesiri altında kalan bölge (ITAB) 8
2.4. Sade Karbonlu Çeliklerin Kaynağı 11
2.4.1. Düşük karbonlu çelikler 11
2.4.2. Orta karbonlu çelikler 12
2.4.3. Yüksek karbonlu çelikler 12
2.5. Düşük Alaşımlı Çeliklerin Kaynağı 12
2.6. Karbon Eşdeğeri ve Ön Isıtma Sıcaklığının Tayini 13
2.6.1. Karbon eşdeğeri 13
2.6.2. Ön ısıtma sıcaklığı 15
3. SERT VE AŞINMAYA DAYANIKLI ÇELİKLER 17
3.1. Raex Ar Çelikleri 17
3.1.1.Kullanım yerleri: 17
3.1.2. Kaynak dolgu malzemeleri 18
3.2. Yüksek Manganlı Östenitik Çelikler 21
3.3. Paslanmaz Çelikler 23
3.3.1. Genel 23
3.3.2. Martenzitik kromlu paslanmaz çelikler 23
3.3.3. Ferritik kromlu paslanmaz çelikler 24
3.3.4. Östenitik krom-nikel paslanmaz çelikler 24
3.3.5. Çökelme sertleşmeli paslanmaz çelikler 25

Sayfa

3.3.6. Dublex (çift fazlı) paslanmaz çelikler 25

4. ARK KAYNAK YÖNTEMLERİ 26

4.1.Örtülü Elektrot İle Ark Kaynağı 26

4.1.1. Rutil elektrotlar 28

4.1.2. Bazik elektrotlar 29

4.1.3. Kaynak makineleri 31

4.2.MIG-MAG Ark Kaynağı 32

4.2.1. MIG-MAG kaynağında kullanılan koruyucu gazlar 34

4.2.2. MIG-MAG Kaynağı tel elektrotları 41

4.2.3. MIG-MAG Kaynağı kaynak parametreleri 42

4.3. TIG Kaynağı 43

4.3.1. TIG Kaynağında kullanılan elemanlar 44

4.3.2. TIG Kaynağı metodunun avantaj ve dezavantajları 44

4.3.3. TIG Kaynağında kullanılan elektrotlar 45

4.3.4 TIG Kaynağında koruyucu gazlar 46

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR 48

5.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler ve Yöntemler 48

5.1.1.Ana malzemeler 48

5.1.2.Elektrik ark kaynağı yöntemi 49

5.1.3.Gazaltı kaynak yöntemi 50

5.1.4. TIG kaynak yöntemi 50

5.2. Kaynaklı Parçalardan Deney Numuneleri Çıkarılması 51

Sayfa

5.2.1.Mikroyapı deneyi numunelerinin hazırlanması 51

5.2.2.Sertlik deneyi numunelerinin hazırlanması 52

5.2.3.Çekme deneyi numunelerinin hazırlanması 53

5.2.4.Eğme deneyi numunelerinin hazırlanması 54

6. DENEYSEL SONUÇLAR 55

6.1. Çekme Deneyi Sonuçları 55

6.2. Sertlik Deneyi Sonuçları 58

6.3. Eğme Deneyi Sonuçları 62

6.4. Mikroyapı Deneyi Sonuçları 68

7. TARTIŞMA 74

7.1. Çekme Deneyi Sonuçlarının Tartışılması 74

7.2. Sertlik Deneyi Sonuçlarının Tartışılması 75

7.3. Eğme Deneyi Sonuçlarının Tartışılması 77

7.4. Mikroyapı Deneyi Sonuçlarının Tartışılması 77

8. SONUÇ VE ÖNERİLER 83

8.1. Sonuçlar 83

8.2. Öneriler 84

KAYNAKLAR 85

ÖZGEÇMİŞ 89

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 2.1. Sade karbonlu çeliklerin kaynağında ısıl işlem gereksinimi..... 12

Çizelge 2.2. Ceş formülünün geçerli olabilmesi için çelikteki alaşım elementleri üst sınırı 14

Çizelge 2.3. Karbon eşdeğerine göre ön tav sıcaklığının belirlenmesi 15

Çizelge 3.1. Kimyasal içerik (standartlara göre değerler)..... 18

Çizelge 3.2. Mekanik değerler 19

Çizelge 3.3. Raex Ar' ın kaynaklanması için tavsiye edilen kaynak tüketirleri. 19

Çizelge 4.1. Esas Gazların Özellikleri 37

Çizelge 4.2. Özsüz tel elektrotlann kimyasal bileşimi 41

Çizelge 4.3. Tungsten elektrotların kodlandırma, bileşim ve kısa gösteriliş renkleri 46

Çizelge 5.1 Ana malzemelerin kimyasal kompozisyonu 49

Çizelge 5.2 Rutil tip kaynak elektrotu kimyasal bileşimi 49

Çizelge 5.3 Bazik tip kaynak elektrotu kimyasal bileşimi 49

Çizelge 5.4. SG2 kaynak telinin kimyasal kompozisyonu..... 50

Çizelge 6.1. Uygulanan kaynak yöntemlerinin numaralandırılması 55

Çizelge 6.2. Çekme deney sonuçları 55

Çizelge 6.3. Sertlik deneyi sonuçları..... 58

Çizelge 6.4. Eğme deney sonuçları 67

Çizelge 6.5.Kaynak yöntemlerine göre ITAB genişliği 73

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 2.1. Kaynak dikişi çevresinde sıcaklık dağılımı ve tanesel yapıdaki değişiklikler 10

Şekil 3.1. RAEX AR çeliklerinin dayanıklılığı ve sertliği 19

Şekil 4.1. MIG-MAG kaynağının prensibi 33

Şekil 4.2. Koruyucu gazın kaynak bölgesine etkileri..... 35

Şekil 4.3. Çeşitli gaz ve karışımlarına ait dikiş formları 36

Şekil 4.4. TIG metodundaki elamanlar 44

Şekil 5.1. Frezede kaynak ağzı açılmış parçaların ölçüleri. 48

Şekil 5.2. Deney numunelerinin alındığı bölgelerin şematik gösterilişi. 51

Şekil 5.3. Numune mikroyapı inceleme noktaları..... 52

Şekil 5 .4. Sertliği alınan bölgelerin şematik gösterilişi..... 52

Şekil 5.5. Standart çekme deney numunesi 53

Şekil 5.6. Enine eğme deneyi..... 54

Şekil.6.1. 1 Numaralı numunenin (Rutil elektrodla kaynatılmış) çekme deneyi grafiği..... 56

Şekil. 6.2. 2 Numaralı numunenin (Bazik elektrodla kaynatılmış) çekme deneyi grafiği 56

Şekil 6.3. 3 Numaralı numunenin (CO_2 atmosferi altında kaynatılmış) çekme deneyi grafiği 57

Şekil 6.4. 4 Numaralı numunenin (HB 212 atmosferi altında kaynatılmış) çekme deneyi grafiği..... 57

Şekil 6.5. 5 Numaralı numunenin (TIG kaynak yöntemi ile kaynatılmış) çekme deneyi grafiği..... 58

Şekil 6.6. 1 Numaralı numunenin (Rutil elektrodla kaynatılmış) sertlik ölçüm değerleri..... 59

Şekil **Sayfa**

Şekil 6.7. 2 Numaralı numunenin (Bazik elektrodla kaynatılmış) sertlik ölçüm değerleri..... 59

Şekil 6.8. 3 Numaralı numunenin (CO_2 atmosferi altında kaynatılmış) sertlik ölçüm değerleri..... 60

Şekil 6.9. 4 Numaralı numunenin (HB 212 atmosferi altında kaynatılmış) sertlik ölçüm değerleri..... 60

Şekil 6.10. 5 Numaralı numunenin (TIG kaynak yöntemi ile kaynatılmış) sertlik ölçüm değerleri..... 61

Şekil 6.11. Deney numunelerinin sertlik ölçüm değerleri..... 60

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim **Sayfa**

Resim 6.1. Eğme deneyi numunelerinin eğme deneyi sonrasında genel görünümü 62

Resim 6.2. 1 numaralı (Rutil elektrodla kaynatılmış) numunenin eğme testi sonrası kaynak ve geçiş bölgesi mikroyapıları..... 63

Resim 6.3. 2 numaralı (Bazik elektrodla kaynatılmış) numunenin eğme testi sonrası kaynak ve geçiş bölgesi mikroyapıları..... 64

Resim 6.4. 3 numaralı (CO_2 atmosferi altında kaynatılmış) numunenin eğme testi sonrası kaynak ve geçiş bölgesi mikroyapıları..... 64

Resim 6.5. 4 numaralı (HB 212 atmosferi altında kaynatılmış) numunenin eğme testi sonrası kaynak ve geçiş bölgesi mikroyapıları 66

Resim 6.6. 5 numaralı (TIG kaynak yöntemi ile kaynatılmış) numunenin eğme testi sonrası kaynak ve geçiş bölgesi mikroyapıları 67

Resim 6.7. Ana malzemelerin mikroyapıları; a) Raex ar 400 Esas Metal ve b) St 37 esas Metal 68

Resim 6.8. 1 numaralı (Rutil elektrodla kaynatılmış) numunenin kaynak ve geçiş bölgesi mikroyapıları 69

Resim 6.9. 2 numaralı (Bazik elektrodla kaynatılmış) numunenin kaynak ve geçiş bölgesi mikroyapıları 70

Resim 6.10. 3 numaralı (CO_2 atmosferi altında kaynatılmış) numunenin kaynak geçiş bölgesi mikroyapıları 71

Resim 6.11. 4 numaralı (HB 212 atmosferi altında kaynatılmış) numunenin kaynak ve geçiş bölgesi mikroyapıları..... 72

Resim 6.12. 5 numaralı (TIG kaynak yöntemi ile kaynatılmış) numunenin kaynak ve geçiş bölgesi mikroyapıları..... 73

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	**Açıklama**
Ar	Argon
Al	Alüminyum
Cu	Bakır
Cr	Krom
C	Karbon
CO_2	Karbondioksit
°C	Santigrat derece
$C_{eş}$	Karbon eşdeğeri
Lt	Litre
mm	Milimetre
MPa	Megapaskal
Mn	Mangan
Mo	Molibden
Ni	Nikel
O_2	Oksijen
O_3	Ozon
St	Çelik
S	Kükürt

Kısaltmalar	**Açıklama**
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ITAB	Isının Tesiri Altında Kalan Bölge
MAG	Metal Aktif Gaz
MIG	Metal Inert Gaz

Kısaltmalar	**Açıklama**
TIG	Tungsten Inert Gas
TS	Türk Standartı
No	Numara
SG2	Gaz Altı Kaynak Teli
HB 212	Karışım gaz (% 88 Argon + % 12 CO_2)

1. GİRİŞ

Kaynak, insanlığın hizmetine dövme kaynağı ile girmiştir. Ark kaynağı için 1800'lü yıllarda çalışmalar başlamış ve 1912 yılında Amerika Birleşik Devletlerinde iyi mekanik özellikleri olan kaynak metali geliştirilmiştir.

Örtülü elektrot ile ark kaynağında güvenilir kaynak eki için çok iyi yetişmiş bir insan gücüne ihtiyaç vardır. Bazı durumlarda kaynakçının iyi olması da yeterli değildir. Kaynak hızının sınırlı oluşu, kalın parçalarda kaynak süresinin ve paso sayısının fazla olması problemleri ortaya çıkarmaktadır.

Kaynak sırasında ve sonrasında harcanan zaman (cüruf temizleme ve elektrot değiştirme zamanı) örtülü elektrot ile yapılan kaynakta oldukça fazladır. Koçan kaybı ve elektrot örtüsünün nem problemi de ekonomiklik ve zaman açısından istenmeyen bir durumdur

Bu etkenler dikkate alınarak 1930'lu yıllardan sonra koruyucu gaz uygulamaları için çalışmalar başlatılmıştır. 1941 yılında TIG kaynağı ticari olarak Amerika'da piyasaya arz edilmiştir. MIG kaynağının patentli gelişimi ise 1949 yılına rastlamaktadır. Yapılan çalışmalarda koruyucu gaz olarak argon ve helyum gazı kullanılmıştır [1] .

Karbondioksit gazı ile kullanılan kaynak tellerinin geliştirilmesinden sonra MAG kaynağı 1960'1ı yıllardan sonra Amerika ve Batı Avrupa ülkelerinde yaygın kullanım alanı bulmuş, son yıllarda ülkemizde de imalat sanayinde geniş bir kullanım alanı bulmuştur.

CO_2 gazının yerini karışım gazların alması ile birlikte sıçrama kayıplarının azalması, dikiş görünümünün iyileşmesi, gözeneklerin azalması, kaynak hızının yükselmesi ve metal kazanımının artması, MAG kaynağını hak ettiği yere getirmiştir [2].

Batı Avrupa ülkelerinde, tüketilen kaynak metali açısından Avrupa'da 1974 yılında MIG-MAG kaynağının pazar payı % 30 iken 1984 yılında % 50"ye çıkmıştır. Aynı

süre içinde örtülü elektrot ile yapılan ark kaynağının: payı % 60'lardan % 40'ların altına düşmüştür.

MIG-MAG kaynağında bu yükselişin nedenleri şu ana başlıklar altında özetlenebilir.

a) Yüksek ergime gücü (Kg kaynak metali/ h)
b) Yüksek iş yapma zamanı
c) Yöntemin mekanize edilebilme imkânları
d) Robot kullanımlarına uygunluğu

MIG-MAG yönteminin kullanım kolaylığı, diğer gazaltı kaynak yöntemlerinden daha hızlı oluşu, ağır konstrüksiyonlarda kullanılabilmesi ve kaynak problemlerini en aza indirmesi, yöntemin gelişmesinde etkili olmuştur [3].

Kullanılan elektrot, elektrik enerjisi, gaz miktarı ve işçilik kaynak maliyetini direkt olarak etkilemektedir. Aşınmaya dayanıklı çelikler bugün geniş bir kullanım alanına sahiptirler. Malzeme kilogram birim fiyatları genel yapı çeliklerinin 4–5 katı kadardır. Birim fiyatının yüksek olması nedeniyle sanayide genel yapı çelikleriyle beraber kullanılmaktadır. Bu çelikleri seçmemizin sebebi kamyon kasaları ve greyder bıçaklarında kaynaklı olarak bulunmalarıdır.

Bu çalışmada MAG, TIG, karışım gazıyla gazaltı ve elektrik ark kaynağı ile birleştirilen genel yapı çeliği St 37 ve aşınmaya dayanıklı çelik Raex ar 400'ün mekanik ve mikroyapı özellikleri incelenip uygun olan kaynak yöntemi araştırılmıştır.

2. KARBONLU ÇELİKLERİN KAYNAK KABİLİYETİ

2.1. Genel

Uluslararası Kaynak Enstitüsü (IIW) IX numaralı "Kaynak Kabiliyeti" komisyonu kaynak kabiliyetini; "Bir metalik malzeme verilen bir usul ile bir dereceye kadar kaynak yapılabilir diye kabul edilir. Uygun bir usul kullanılarak kaynaklı metalik bağlantı elde edildiği zaman bağlantı yerel özellikleri ve bunların konstrüksiyonuna tesirleri bakımından tayin edilmiş şartları sağlamalıdır" şeklinde tarif etmiştir.

Tariften anlaşıldığı gibi kaynak kabiliyeti yalnız malzemeye bağlı değildir. Aynı zamanda kaynak usulüne ve kaynak konstrüksiyonuna bağlıdır. Bir malzeme bir metot ile iyi bir kaynak kabiliyetine sahipken başka bir metot ile zayıf bir kaynak kabiliyetine sahip olabilir [4].

Alaşımsız yapı çeliklerinde (Karbonlu çeliklerde) kaynak kabiliyeti kavramı aşağıdaki durumları içerir:

a) Kaynak metalinde oluşan sıcak çatlaklar, gözenekler ve diğer kaynak hatalarının oluşumuna eğilim
b) Isının tesiri altında kalan bölgede (ITAB) sertleşmeye ya da martenzit oluşumuna eğilim (bu eğilim özellikle dikiş altı çatlaklarının oluşma ihtimalini, arttırır).
c) Gevrek kırılma tehlikesi [5, 6, 7].

Sıcak çatlaklar, gözenekler ve diğer kaynak hatalarının kaynak metalinde oluşma eğilimi; yalnız esas metale tabi olmayıp aynı zamanda önemli miktarda kaynak ilave metali ile de ilgilidir [6, 7].

Kaynak açısından en önemli nokta bazı tür çeliklerde görülen yüksek sıcaklıktan itibaren hızlı soğuma sonucunda ortaya çıkan sertleşmedir. Kaynak işleminde metal önce ergime sıcaklığının üstünde bir sıcaklığa kadar ısınmakta sonrada soğumaktadır. Yapılan deneyler ve ölçmeler kalın bir çelik parçası üzerinde kaynak

bölgesinin soğuma hızının yüksek sıcaklığa kadar ısıtılmış ve suya atılarak soğutulan bir parçanın soğuma hızına eşdeğer olduğunu göstermiştir. Bu bakımdan belli bir miktarın üstünde karbon ve alaşım elementi içeren çeliklerin kaynak bölgesinde böyle bir sert ve gevrek bir yapının ortaya çıkacağı açıkça görülebilen bir özelliktir [6].

Uluslararası Kaynak Enstitüsü (IIW/IIS)'nün IX numaralı Kaynak Kabiliyeti Komisyonu, çatlamaya karşı bir emniyet olarak ITAB' da sertliğin 350 HV' yi aşmamasını önermektedir. Sertleşme özelliğine sahip çelikler halinde ITAB' ın sertliğini düşürmek için en emin yol parçaya kaynaktan önce bir ön tavlama uygulamak ve bu sıcaklık derecesinde kaynağı yapmaktır. Bu şekilde soğuma hızı da, kritik soğuma hızından daha yavaş bir hıza düşürülmektedir. Bazı araştırmacılar tarafından önerilen ikinci bir yöntem de, parçaya kaynaktan sonra bir normalizasyon tavlaması uygulamaktır. Bu şekilde parça normalize edilmiş olduğundan ITAB' da martenzite rastlanmaz [6].

2.2.Alaşım Elementlerinin Çeliğe Etkileri

2.2.1 Karbonun çeliğe etkisi

Çelikte başlıca sertlik arttırıcı elementtir. Karbon çeliğin akma sınırını, çekme dayanımını yükseltir. Çekme deneyindeki elastisite modülünü belirli oranda, yüzde uzama ve yüzdü kesit daralmayı ise büyük oranda düşürür, Ayrıca çeliğin dövülebilme, kaynak kabiliyetini zayıflatırken kesilme direncini artırır [8, 9, 10, 11] .

2.2.2. Silisyumun çeliğe etkisi

Çeliğin dayanımını ve akma sınırını yükseltir. Fazların dönüşüm hızını yavaşlatır. Hacimsel sertleşmeyi sağlar. % 0,3' e kadar bütün çeliklere ilave edilir. Oksijen uzaklaştırıcı etkiye sahiptir [8, 9, 12].

2.2.3. Manganın çeliğe etkisi

Sertleşebilirliği ve aşınma dayanımını arttırır. Çok düşük dönüşüm hızı ve yüksek aşınma ile kesilme direnci sağlar. Kaynak kabiliyeti ile dövülme özelliklerini olumlu yönde etkiler. Dayanım özelliğini karbona bağlı olarak artırır [8, 9, 10].

2.2.4. Kükürtün çeliğe etkisi

Çelikte gevreklik ve kırılganlığa neden olur Genel olarak % 0,02–0,035 arasında bulunur. Kükürtün zararlı etkisini kaldırmak için iki katı kadar Mn çeliğe ilave edilir[8].

2.2.5.Kromun çeliğe etkisi

Şiddetli karbür yapıcıdır. Karbonla birleşerek çok sert olan krom karbürü oluşturur. Çelikte sertleşebilirliği, aşınma dayanımını, sıcaklığa mukavemeti arttır [8, 9, 10].

2.2.6. Nikelin çeliğe etkisi

Özellikle düşük sıcaklıklarda tokluğu artırıcı etkisi vardır. Krom ile birlikte korozyon direncini artırır. Yüksek sıcaklıkta tane irileşmesini azaltır [8, 9, 10].

2.2.7. Volframın çeliğe etkisi

Volfram karbür yapıcı elementlerden biridir. Bu özelliğe bağlı olarak çeliğin sertliğini, dayanımını önemli oranda artırır. Kaynak kabiliyetini belirli bir oranda iyileştirir [8, 9, 10].

2.2.8. Molibdenin çeliğe etkisi

Çelikte krom ve nikel ile birlikte alaşım elementi olarak kullanılır. Kaynak metali mukavemetini arttırır. Akma sınırını ve tokluğu arttıran etkisi vardır. Molibden oranı

arttıkça dövülme kabiliyeti azalır. Ancak kaynak kabiliyetini arttırır. Gevrekliği azaltıcı etkisi vardır. Ayrıca şiddetli karbür yapıcı önemli bir özelliğidir [8, 9, 10].

2.2.9. Alüminyumun çeliğe etkisi

Çelikte oksijeni zararsız hale getirir. Çelikte iri taneli yapı oluşturur [8].

2.2.10. Fosforun çeliğe etkisi

Çeliklerde genellikle % 0,05–0,005 arasında bulunur. Döküm sırasında akıcılık kazandırır. Az miktarda dayanımı arttırır. Asitlere dayanımı düşürür [8].

2.2.11. Borun çeliğe etkisi

Günümüzde çok az oranda çeliğe katılmaktadır. Çeliğin sertlik ve dayanımını yükseltir [8].

2.3. Kaynak bölgeleri

Kaynak yapılan bir parçada kaynak bölgesini, ergime bölgesi ve Isının Tesiri altında Kalan Bölge (ITAB) olmak üzere iki bölümde inceleyebiliriz.

2.3.1. Ergime bölgesi

Ergime bölgesi, kaynak anında oluşan ısının etkisi ile ergiyen ve kaynaktan sonra katılaşan bölgedir. Isının tesiri altında kalan bölgeden, ergime çizgisi adını verdiğimiz ergimiş ve ergimemiş kısımlar arasındaki sınırla ayrılır. Bu sınır bir kaynak bağlantısından çıkartılarak dağlanan ve parlatılan enine kesit üzerinde çıplak gözle dahi kolayca izlenebilir [7, 13].

Ergime bölgesi kaynak metali ve esas metalin karışımından ibarettir. Tek pasolu kaynak dikişlerinde, bu bölgede esas metal ve kaynak metali, kaynak banyosundaki

şiddetli türbülanstan ötürü iyice karışmıştır ve oldukça homojen bir bileşim gösterir. Buna karşın çok pasolu kaynaklarda, her pasonun esas metale karışma oranı farklıdır, örneğin, kalın parçaların çok pasolu kaynak dikişlerinde, orta kısımlarda, esas metale rastlanmayabilir.

Metalin katılaşma eğrisinden daha yüksek bir sıcaklık derecesine kadar ısınmış olan ergime bölgesi kimyasal bileşim olarak esas metal ve ilave kaynak metali karışımından ibarettir. Karışım oranı her pasoda farklı olduğundan, her pasonun kimyasal bileşimi de birbirlerinden farklıdır [7, 13, 14].

Ergime bölgesinde, esas metal ve kaynak metali oranı tam olarak bilinse dahi hesap yolu ile ergime bölgesinin bileşiminden belirlenmesine imkân yoktur. Çünkü birçok alaşım elementleri kaynak anında yanma dolayısıyla kayba uğrarlar. Bu kayıpları azaltmak için kaynak bölgesi, kaynak anında atmosferin etkisinden korunur İyi bir kaynak bağlantısı, kaynak bölgesinin atmosferin etkisinden korunması ile elde edilebilir; zira oluşan kimyasal ve metalurjik reaksiyonlar ancak bu şekilde kontrol altına alınabilir. Oksijenle olan reaksiyonları kontrol için erime bölgesine çeşitli yöntemlerle (örtüye, toza, tele katılarak) deoksidasyon maddeleri ile yanan alaşım elementleri katılır. Bu bölgede ayrıca, bir cüruf örtüsü veya oluşturulan kontrollü bir atmosferle de korunur.

Sıvı haldeki metal içinde atomlar birbirleri arasında hareket serbestîsine sahiptirler. Soğuma anında; sıcaklık, metal veya alaşımın katılaşma noktasına kadar düşünce, atomların kristal kafesleri meydana getirmek üzere bileşimleri ile çekirdek oluşur. Bu sırada metalden ısı çekilir ve soğumaya devam edilirse, çekirdekler taneleri oluşturmak üzere yeni atomların ve kristal kafeslerin ilavesi ile büyümeye devam eder. Katılaşma anında ortaya çıkan ergime ısısı tabii soğuma hızını etkileyerek tanelerin fazla büyümesini önler. Tanelerin büyüyebilmesi için ısının sürekli olarak metalden çekilmesi gereklidir. Kaynak halinde ısının büyük bir kısmı ergime bölgesinden esas metale iletilir, dolayısıyla soğuma hızı yönünde paralel, oldukça iri sütunsal taneler oluşur, özellikle kalın parçaların, tek paso ile yapılmış kaynak dikişlerinde, bu iri sütunsal tanelerin birleştiği orta kısımlarda kalıntı elementler

segregasyonuna rastlanır; bu olay, bu tip dikişlerin zayıflamasına sebep olur.

Bu tür hata oluşumuna engel olmak için kaynak hızı azaltılır, çok pasolu kaynak tercih edilir [13, 14].

2.3.2. Isının tesiri altında kalan bölge (ITAB)

Ergime çizgisinin esas metal tarafında, kaynak sırasında uygulanmış olan ısının oluşturduğu çeşitli ısıl çevrimlerden etkilenmiş ve dolayısıyla içyapı değişimine uğrayan bir bölge vardır; bu bölgeye, ısının tesiri altında kalan bölge (ITAB) adı verilir.

Isının tesiri altında kalan bölge kaynak metali ile esas metalin birleştiği sınırdan başlayarak, kaynak işlemi anında sıcaklığın içyapıyı, dolayısıyla metalin özelliklerini etkilediği bölgedir.

Çeliklerin kaynağında bu bölgede sıcaklık 1450°C ile 700°C arasında değişmektedir. ITAB' in genişliği, kaynak yöntemi, ısı girdisi, kalınlık, esas metalin ısı iletim katsayısı, bu bölgede ulaşılan maksimum sıcaklık derecesine ve esas metalin sıcaklığına bağlı olarak değişir. Bu bölgede erişilen maksimum sıcaklık derecesi, kaynak dikişi eksenine olan mesafenin ve sıcaklık değişimi de zamanın fonksiyonu olarak bilinirse; kaynak işlemi sonunda oluşabilecek mikro yapı, esas metalin özellikleri ve bileşimi dikkate alınarak bir dereceye kadar önceden tahmin edilebilir. Kaynak anında ısının etkisi altında kalan bölge hızlı bir şekilde ısınmakta ve sonra da parça kalınlığı, kaynağa uygulanan enerji ve ön tav sıcaklığının fonksiyonu olarak yine hızlı bir şekilde soğumaktadır. Çeliğin bileşimine göre bu soğuma hızı, kritik soğuma hızını geçtiğinde, genellikle 900°C' nin üstündeki bir sıcaklığa kadar ısınmış bölgelerde sert dolayısıyla kırılgan bir yapı elde edilir [13,14].

ITAB, kaynak bağlantısının en kritik bölgesidir ve birçok çatlama ve kırılmalar bu bölgede oluşur. Çeliklerin hemen hepsinin ısının tesiri altında kalan bölgede, çeşitli derecelerde sertleşme ve dolayısı ile de bir süneklik azalması ve mukavemet artması

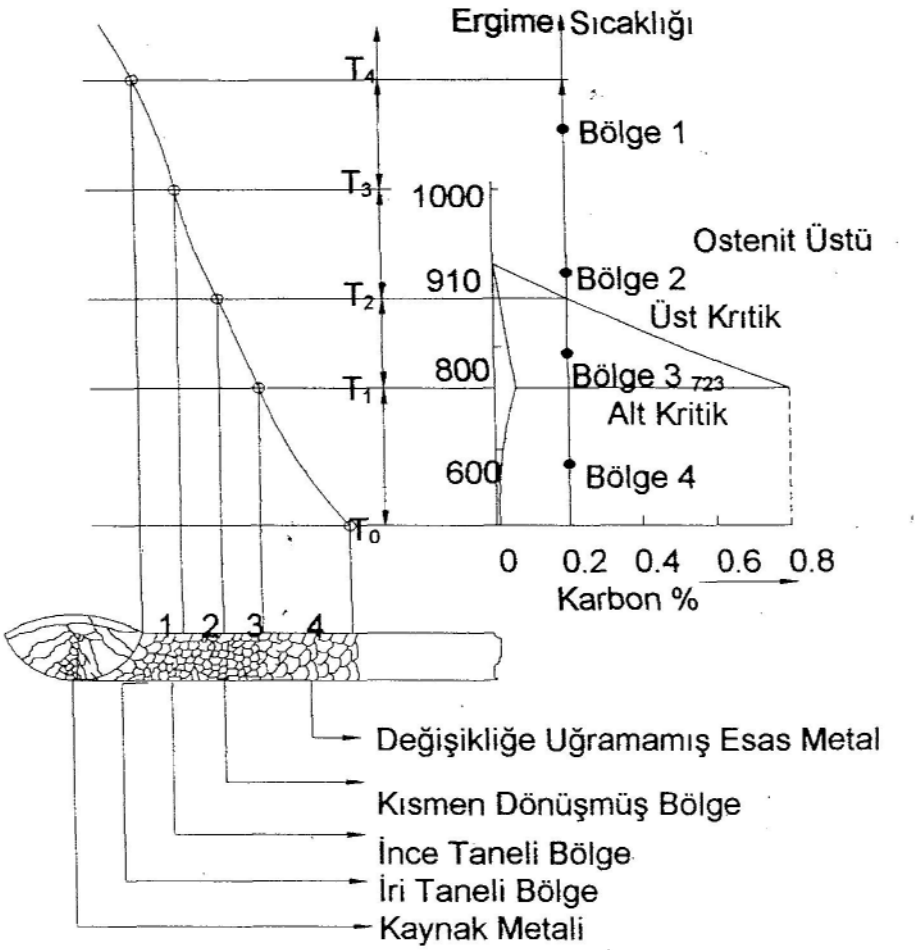
görülür. Çeliklerin kaynağında ısının etkisi altında kalan bölge, içyapıdaki tane büyüklüğü bakımından şu değişik bölgeleri gösterir [14, 15, 16].

a) İri taneli bölge (Bölge 1),
b) İnce taneli bölge (Bölge 2),
c) Kısmen dönüşmeye uğramış bölge (Bölge 3),
d) İç yapı değişikliğine uğramamış (esas metal) bölge (Bölge 4).

İri taneli bölge

Ergime bölgesine bitişik olan ve kaynak anında 1450–1150 °C sıcaklıklardaki bölgedir (Şekil 2.1.T_3-T_4). Metaller yeniden kristalleşme sıcaklığının üstündeki bir sıcaklığa kadar ısıtıldıklarında tane büyümesi meydana gelir. Bu bölge tamamen iri tanelidir ve tane büyümesi hızı sıcaklık arttıkça artar ve metalin katılaşma sınırına yaklaşıldığında büyüme çok hızlanır. İri taneli yapılar, ince taneli yapılara oranla daha gevrek ve kırılgan olduklarından oluşmaları istenmez. Çeliklerde kaynak anında ergime çizgisine bitişik olan esas metal, katılaşmaya yakın bir sıcaklığa eriştiğinden östenit içinde fazla miktarda tane büyümesine rastlanır. Bir çeliğin kaynak edilebilirliği açısından tane büyümesi çok önemlidir, çünkü soğuma olayı sürecinde oluşan dönüşümlere östenit tane büyüklüğünün etkisi oldukça etkilidir [14, 15].

Östenit tane büyümesi için gerekli olan tane sınırı ilerlemesi tane sınırlarına çökelmiş bulunan alüminyum, vanadyum, titanyum ve niyobyum nitrür ve karbonitrürleri tarafından engellenir. Bu durum özellikle modern çelik yapımında, üretim sırasında tane büyümesine engel olmak için geniş çapta kullanılır; nitrür ve karbonitrürler 900 °C nin üzerinde tane içinde çözelti haline gelmeye başlarlar; 1150 °C civarında tümü çözelti haline geçtiğinden, artık bunların da tane büyüme olayına engel olma ihtimalleri ortadan kalkar [14, 15].



Şekil 2.1. Kaynak dikişi çevresinde sıcaklık dağılımı ve tanesel yapıdaki değişiklikler [14, 15]

Kaynak dikişi ve çevresinde en fazla martenzit oluşumu iri taneli bölgededir. Dolayısıyla iri taneli bölgede sertlik doruğa ulaşır çünkü bu bölgede dönüşüm meydana gelmektedir. İri taneli bölgede yapı hem kaba taneli hem de serttir. Kaynak dikişinin en zayıf yeri, normal olarak burasıdır. Gerek çatlama ve gerekse korozyonla yıpranma en fazla burada yer alır [14].

İnce taneli bölge

Kaynak sırasında 900–1150 °C arasında bir sıcaklığın etkisinde kalan bölgedir (Şekil 2.1. T_3-T_2). Bu bölgede de östenit oluştuğundan, soğuma anında, soğuma hızı ve çeliğin bileşimine bağlı olarak aynen iri taneli bölgede görülen içyapıya benzer bir

içyapı görülür. Gerek sıcaklığın nispeten düşük kalması ve gerekse bu sıcaklıkta kalış süresinin kısalığı ince taneli bir yapıyı ortaya koymuştur. Bu bölgede taneler malzemenin orijinal tanelerinden de küçük ve martenzit oluşumu da azdır. Dolayısıyla sertleşme fazla değildir [13, 14].

Kısmen dönüşmeye uğramış bölge

İnce taneli bölgenin devamı olan bu bölge, kaynak işlemi sırasında A_3 ile A_1 arası (Şekil 2.1. T_1 -T_2) olup, bölgesel bir östenitleşmeye uğramıştır. Östenit dönüşüme uğradığından yapısındaki östenit miktarına bağlı olarak, ilk iki bölgeyi andıran bir içyapı gösterir [13, 14].

İçyapı değişikliğine uğramamış bölge (esas metal)

Bu bölge sıcaklık bakımından A_1in altında kalmış olan kısımdır (Şekil 2.1. T_o-T_1). BU bölgeye temperleme bölgesi de denir. Isınma dolayısıyla soğuma sırasında çelik de bir dönüşüm meydana gelmemiş sadece bazı iç yapılarda hafif bir temperleme etkisi gözlenmiştir [13, 14].

2.4. Sade Karbonlu Çeliklerin Kaynağı

Kaynaklanabilirlik yönünden sade karbonlu çelikler, üç gruba ayrılırlar [14].

2.4.1. Düşük karbonlu çelikler

Düşük karbonlu çeliklerin kaynaktan sonraki sünekliği genellikle yeterince yüksek ve akma noktaları, en üst kopma mukavemetinin iyice altında olur. Karbon içeriği % 0.25' den daha az olan malzemelerin kaynağında ısıl işlem gerektirmez. Kaynaklı yapılarda kullanılan sade karbonlu çeliklerin büyük bir bölümü bu gruba girer [14, 16, 17, 18].

Çizelge 2.1. Sade karbonlu çeliklerin kaynağında ısıl işlem gereksinimi [5, 14]

Grup İsmi	%C	Ön ısıtma	Gerilim Giderme
Düşük karbonlu	<0,25	Gereksiz	Gereksiz
Orta karbonlu	0,25–0,50	Gerekli	Gerekli
Yüksek karbonlu	>0,50	Zorunlu	Zorunlu

Çeliğin karbon oranı % 0,25 sınırının üzerinde arttıkça sertleşme kabiliyeti de artar; kaynak kabiliyeti aksine düşer [5,14].

2.4.2. Orta karbonlu çelikler

%(0,25–0,50) C içeren malzemelerde ısıl işlem gereksinimi kendini hissettirir. Özellikle kalın cidarların kaynağında ısıl işlem kaçınılmazdır. Ön ısıtma ile kırılgan karakterli martenzit oluşumu azaltılabilir. Şayet buna yeterince engel olunamamışsa gerilim giderme tavlaması ile martenzite süneklik kazandırılır [14].

2.4.3. Yüksek karbonlu çelikler

% 0,50 C' den yukarısını kapsayan çelikleri çatlatmadan kaynatmak zordur. Kaynak kabiliyeti iyice azalmıştır. Isıl işlemin her kademesi (Ön ısıtma, pasolar arası sıcak tutma, son ısıtma) ve düşük hidrojenli elektrot kullanımı artık kesin zorunluluklardır. Her özel uygulama için kaynak yönteminin önceden hazırlanması ve standart usullerle denenmesi başarının garantisi için şarttır. Kaynaklanabilirlik üzerinde karbon oranının etkisi dışında, cidar kalınlığının da önemli etkisi vardır. Kalın cidar, kaynak dikişinin soğuma hızını artırır ve sertleşme eğilimini teşvik eder. Ön ısıtma özellikle kalın cidarlı metaller için bir gereksinme iken yüksek karbonlu çelikler için bir zorunluluktur [14, 19].

2.5. Düşük Alaşımlı Çeliklerin Kaynağı

Düşük alaşımlı çeliklerin kaynağını, sade karbonlu çeliklerin kaynağından ayıran en büyük farklılık, daha fazla sertleşme eğilimine sahip olmalarıdır. Sertleşme

kabiliyetinin yüksek olması demek, daha yavaş soğuma halinde dahi martenzit teşekkül edebilmesi demektir. Alaşım katkıları arttıkça sertleşme kabiliyeti de artar dolayısıyla kaynaklanabilirlik azalır [14].

Düşük alaşımlı çeliklerde bulunan mangan, krom, molibden, vanadyum gibi alaşım elementleri de kaynağa karbon gibi etkir ve sertleşme meylini artırır, bununla beraber etkileri karbon kadar şiddetli değildir. Böyle bir olayda çeliğin TTT diyagramı (sürekli soğuma) ile ısının tesiri altında kalan bölgede martenzit oluşmasına imkân vermeyen bir soğuma hızı seçerek kaynak yapılması gerekir [14, 15, 20].

2.6. Karbon Eşdeğeri ve Ön Isıtma Sıcaklığının Tayini

Çelik genel olarak bir demir karbon alaşımı olup diğer özellikleri (sertlik, mukavemet vb.) birinci derecede bu alaşım içindeki karbürlerin boyut ve dağılımı tarafından kontrol edilmektedir. Bir çeliğin, sertleşebilmesine karbon miktarı önemli ölçüde etki eder. Karbon miktarının ve karbon eşdeğerliliğinin artışı ile sertleşebilme artmaktadır [14].

2.6.1. Karbon eşdeğeri

Çeliğin bileşimindeki alaşım elementlerinin oluşturduğu sertliğe eş sertliği veren karbon miktarına "Karbon eşdeğeri" adı verilir [21].

Karbon eşdeğeri formülleri, malzemenin kimyasal yapısını normalize ederek tek bir sayı ile ifade edebilmek için geliştirilmiştir. Bu sayı malzemenin kimyasal bileşiminin sertleştirilebilme kabiliyetini nasıl etkileyeceğini belirlemek için kullanılır. Karbon eşdeğeri formülleri bir çeliğin kaynak edilebilirliğini ölçen hızlı bir yöntem, ancak düşünülmesi gereken birçok faktörden yalnızca birisidir.

Alaşımsız ve az alaşımlı çeliklerin kaynakla ilgili sorunu, kaynak dikişi bölgesinde oluşabilen martenzit ve onunda getirdiği mikro çatlaklardır. Çeliğin kaynağa uygunluğunu belirlemede zaman-sıcaklık dönüşüm diyagramları, çeliğin 800 °C den

500 °C ye kadar geçen soğuma süresi ve karbon eşdeğerliliği değerleri önemli göstergelerdir. Uygulanabilirlik açısından, karbon eşdeğerliliğinin dikkate alınması, çeliğin kimyasal bileşiminin bilinmesi kaydıyla, en kolay ve en etkili yoldur [21].

Karbon eşdeğeri tamamen çeliğin bileşimi ile ilgili olup, kaynağa uygulanan enerji, kaynak ağzı formu, parçanın geometrisi ve kalınlığı ile ilgili faktörleri içermemektedir. Bunlar soğuma hızını birinci derecede etkileyen ve dolayısı ile de ısının tesiri altında kalan bölgede oluşan mikro yapıyı etkileyen faktörlerdir [21].

Karbon eşdeğerinin hesaplanması konusunda, literatürde çok değişik formüllere rastlanılmaktadır. Bunlar yalnız bilimsel açıdan düşünüldüğünde, ne çelikleri sınıflandırmak için kriter olabilmekte ve ne de kaynak kabiliyetinin bir ölçüsü olarak kullanılabilmektedirler; bunlar ancak, uygulamada kullanılabilen ve yeterli sonuçlar veren ampirik bağıntılardır [21].

Milletlerarası Kaynak Enstitüsü' nün (IIW) IX No'lu komisyonuna (Kaynak kabiliyeti komisyonu) göre karbon eşdeğer formülü [4, 13, 20, 21];

$$Ceş = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$$

Çizelge 2.2. $C_{eş}$ formülünün geçerli olabilmesi için çelikteki alaşım elementleri üst sınırı [14]

Alaşım Elementi	Üst sınır (%)
C	0,50
Mn	1,60
Ni	3,50
Cr	1,00
Mo	0,60
Cu	1,00

2.6.2. Ön ısıtma sıcaklığı

Karbon eşdeğeri büyüdükçe kaynaktan sonra soğumanın yavaşlatılması gerekmektedir. Bunun içinde tek çözüm parçaya kaynaktan önce bir tavlama uygulayarak soğuma hızını yavaşlatmaktır.

Milletlerarası Kaynak Enstitüsünün Kaynak Kabiliyeti Komisyonu, çatlamaya karşı bir emniyet olarak ısının tesiri altında kalan bölgede sertliğin 350 Vickers'i (kg/mm^2) geçmemesini önemle tavsiye etmektedir. Isının tesiri altında kalan bölgenin sertliğini düşürmek için uygulanan en emin yol parçayı kaynaktan önce tavlamak ve bu sıcaklık derecesinde kaynağı yapmaktır [13, 14].

Çizelge 2.3. Karbon eşdeğerine göre ön tav sıcaklığının belirlenmesi [13, 14]

Karbon Eşdeğeri (%)	Ön tavlama Sıcaklığı (°C)
0,45 ten küçük	Normal atmosfer şartlarında
0,45 ile 0,60	100 ile 200 °C arasında
0,60 tan büyük	200 ile 350 °C arasında

Danial Seferian, parça kalınlığının soğuma hızına olan etkisini de içeren bir ön tavlama sıcaklığı belirleme formülü teklif etmektedir [13,14, 22].

$$T_{ontav}\left(^{o}C\right) = 350\sqrt{C' - 025}$$
$$C'_{eş} = C_{eş}\left(1 + 0{,}005.d\right)$$

d=Sac kalınlığı(mm)

Ön tavlama hidrojenin bölgesinden kaçışını artırır. Bu sebeple hidrojenin çelikte çözünmesi ve difüzyon hızının dikkate alındığı hallerde, 200 °C ve üzerinde bir tavlama uygulamalıdır. Kısaca hem ön tavlama hem de son tavlamada hidrojenin kaynaklı yapıyı terk etmesini sağlamak esas alınmalıdır [13, 14].

"Ön tav" teriminden, parçanın tamamının ya da parçanın kaynak yapılacak bölgesinin, ön görülen ön tav sıcaklığına ısıtılması anlaşılır. Ön tav işleminin

sağladığı yararlardan önemlileri şunlardır.

Ön tav ile ısı birikimi sağlanır, soğuma hızı düşürülür ve sert martenzitik yapının oluşumu engellenir ya da azaltılır.

Ön tav ile daha büyük ve geniş sahada iyi plastik şekil değişebilirlik oluşturulacağından ısıl gerilmeler karşılanır böylece gevrek kırılma tehlikesi azaltılır [14, 23].

3. SERT VE AŞINMAYA DAYANIKLI ÇELİKLER

3.1. RAEX AR Çelikleri

Rautaruukki Steel tararafından üretilen düşük alaşımlı, sert, aşınmaya dayanıklı RAEX AR çelikleri aşınmaya karşı yüksek direnç gerektiren uygulamalar için kullanılır. RAEX AR 400, RAEX AR 500 deki sayılar çeliğin tipik Brinell sertliğini ifade eder. RAEX AR yüksek mukavemetli çelikler toprak, kaya, taş kırıkları, çakıl, kömür ve sinter gibi aşındırıcı malzemelere karşı mükemmel bir direnç gösterir. RAEX AR çelikleri gerilmelere, sıkışmalara, bükülmelere, darbelere, sert yüzey basınçlarına ve sert haddeleme baskılarına karşı dirençlidir.

Yüksek mukavemet sertliklerine rağmen, RAEX AR çelikleri şekillendirilebilme ve kolayca kaynaklanabilme özelliklerine sahiptir [24]. Yüksek akma sınırına sahiptirler, özlüdürler, korozyon direnci yüksektir. Kaynaktan sonra serbest soğuma ile sertleşmezler. Isı işlemi görmeden kullanılırlar [25] .

3.1.1.Kullanım yerleri

- Ekskavatör ve buldozer kepçelerinde
- Kenar plakalarında
- Küreme kenarlarında
- Besleyicilerde
- Maden ekipmanlarının aşınan parçalarında
- Budama bıçaklarında
- Hazır beton santrallerinin aşınan parçalarında
- Ağaç kesim makinelerinin aşınan parçalarında
- Ağaç işleme makinelerinin aşınan parçalarında
- Toz arındıran fan pervanelerinde
- Kömür değirmenlerinde
- Parçalama bıçaklarında

- Karıştırıcı bıçaklarda
- Kurşun geçirmez yapılarda [24].

3.1.2. Kaynak dolgu malzemeleri

Kaynağın az miktarda hidrojen içeren kaynak malzemeleriyle yapılması tavsiye edilir (Hidrojen miktarı HD≤ ml / 100 g). Ana malzemeden daha yumuşak dolgu malzemesinin kullanılması önerilir (E 7018, AWS A5.17,AWS A5.18,AWS A5.20) ve en az aşınmaya maruz kalabilmeleri için kaynağın iyi nüfuz etmesi gerekir. Yüksek mukavemet ve sertlik gerektiren durumlarda, (E 11018, AWS A5.28, AWS A5.29) gibi alaşımlı dolgu malzemeleri kullanılmalıdır. Bu durumda, alaşımlı dolgu malzemeleri bir veya iki üst tabakada kullanılırken, dolgu işlemi düşük alaşımlı dolgularla yapılabilir [24].

Çizelge 3.1. Kimyasal içerik (standartlara göre değerler) [24]

Çelik Kalitesi	Levha Kalınlığı (mm)		Alaşım elementleri (ağırlıkça %)									
	Şerit	Plaka	C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	B	Al	Mo
Raex Ar 400	3–12	12–30	0,24	1,7	0,7	1,0	0,4	0,03	0,015	0,004	0,05	0,5
	---	>30–60	0,24	1,7	0,7	1,0	0,7	0,03	0,015	0,004	0,05	0,5
Raex Ar 500	5–12	12–60	0,3	1,7	0,7	0,8	0,8	0,03	0,015	0,004	0,05	0,5

Çizelge 3.2. Mekanik değerler [24]

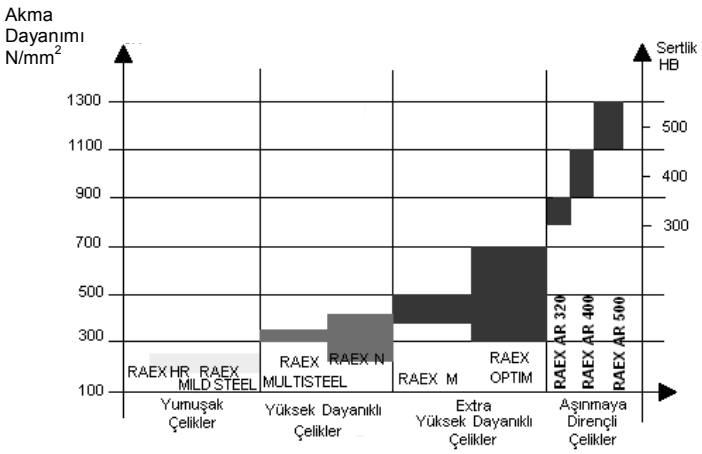
Çelik Kalitesi	Levha Kalınlığı		Akma Dayanımı (N/mm^2)	Çekme Dayanımı (N/mm^2)	Uzama (%)	Sertlik (HB)	Darbe Direnci	
	Şerit	Plaka					$t\ ^0C$	.J
RAEX AR 400	3–12	--	1000	1250	10	360–420	-40	40
	--	12–30	1000	1250	10	380–450	-40	20
	--	>30–60	1100	1400	8	380–480	-40	20
RAEX AR 500	5–12	12–60	1250	1600	8	450–530	-30	20

Çizelge 3.3 RAEX AR'ın kaynaklanması için tavsiye edilen kaynak sarf malzemeleri [24]

Kaynak metodu	Üreticiler/temsilciler	Düşük alaşımlı dolgu Maddesi (Dolgu maddesinin akma dayanımı daha düşük)	Yüksek alaşımlı benzer dolgu malzemesi (akma dayanımları eşit)
Üniversal Elektrot	ELGA ESAB Fılarc-Hıtsaustuotteet IMPOMET OY KENNOY RETCO OY Oy Uddeholm Ab	P48 S OK 48.00 Filarc 35 Oerlikon Supercito Lincoin 7018-1 Soudometal Comet J50+ Böhler Fox EV 50	P110 OK 78.16 Filarc 118 Lincoin Conarc 85 Soudometal Molycrom 15
Yüksek Verimli Elektrot	ELGA ESAB Fılarc-Hıtsaustuotteet IMPOMET OY KENNOY RETCO OY	MAXETA 20 OK Femax 38.65 Filarc C6 Oerlikon OHblau180 Lincoin Conarc V180/V250 Soudometal Comet J160	MAXETA 110

Çizelge 3.3. (Devam) RAEX AR'ın kaynaklanması için tavsiye edilen kaynak sarf malzemeleri [24]

MAG Teli	ELGA ESAB FUNDIA DALWIRE IMPOMET OY KENNOY	Elgamatic 100 OK Autrod 12.51 DB-20 Oerlikon Carbofil 1 Lincoln SG2	Elgametic 135 OK Autrod 13.12 Oerlikon Carbofil CrMo 1 Lincoln LNM 19
Metal Çekirdekli Tel	ELGA ESAB Fılarc-Hıtsaustuotteet IMPOMET OY KENNOY RETCO OY	Elgacore MXA 100 OK Tubrod 14.12 Filarc PZ6112 Oerlikon FluxofilM10 Lincoln OS MC 710 H Trimark METALLOY-76	OK Tubrod 14.03 Lincoln OS MC1100
Özlü Elektrot	ELGA ESAB Fılarc-Hıtsaustuotteet IMPOMET OY KENNOY RETCO OY	Elgacore DWA 50 OK Tubrod 15.14 Filarc PZ 6113 Oerlikon Fluxofil 14 Lincoln OS 71 E H Trimark TM-770	OK Tubrod 15.27 Filarc PZ 6148
Tozaltı Kaynağı Teli	ELGA ESAB KENNOY RETCO OY	Elfasaw 102/Elgaflux 211 R OK Autrod 12.22/OK Flux 10.71 Oerlikon OE S2/ Oerlikon OP 122 Lincoln L60/ Lincoln 780	OK Autrod 13.43/OK Flux 10.62 Lincoln LNS 162/ Lincoln P240



Şekil 3.1 RAEX çeliklerinin dayanıklılığı ve sertliği [24]

3.2. Yüksek Manganlı Östenitik Çelikler

Bu özel çelik Sir Robert Hadfield tarafından bulunmuştur. Su verilmiş durumda tamamen östenitik olan bu çeliğin sertliği 220 HB kadardır. Yüksek Mangan içerdiğinden dolayı çok kez Mangan çeliği olarak isimlendirilir. Östenitik halde iken soğuk işlem uygulandığında östenit martensite dönüşür ve sertlik 600 HB değerine çıkar [26].

Günümüz endüstrisinde oldukça yaygın bir kullanım alanına sahip olan ve Anglo-Sakson literatüründe de Hadfield çeliği diye adlandırılan yüksek manganlı östenitik çelik, % 11 – 14 Mn ve % 0,7 – 1,4 C içeren gayet tok, sünek, mukavemetli, aşınmaya dayanıklı ve yüksek şekil değiştirme sertleşmesi gösteren anti manyetik bir metalsel malzemedir. Bu tür çeliklere gerektiğinde bazı ek özeliklerin eldesi için alaşım elementi olarak Cr, Mo, V, Cu, Ti ve Bi' da katılır.

Çeliğin içeriğindeki manganın kükürt, oksijen ve karbona karşı büyük bir afinitesi vardır ve dolayısı ile iyi bir deoksidasyon sağladığı gibi sıcak çatlamayı önleyici, sertleşmeyi arttırıcı yönde bir etkide bulunur. İç yapıda serbest halde bulunan mangan ise östenitin dönüşüm sıcaklığını düşürür, soğuma esnasında kuluçka periyodunu uzatır ve daha fazla miktarda bulunması halinde ise östenitin dönüşümünü oldukça yavaş soğuma hızlarında dahi ortadan kaldırarak oda sıcaklığında çeliğin östenitik yapıda bulunmasını sağlar.

En yüksek tokluğun eldesi için su verme sıcaklığı tüm karbürlerin çözülebileceği kadar yüksek seçilmelidir. Bu işlem için genellikle 1000 – 1100°C' lik bir sıcaklık yeterli gelmektedir, yalnız yüksek karbonlu çelikler halinde bu sıcaklık biraz aşılmalıdır. 1050°C' nin üzerindeki sıcaklıklarda orta kalınlıklarda ki parçalan 30 dakika kadar tutmak karbürlerin çözeltiye geçmesi için kâfi gelmektedir; kalın parçalarda ise süre makul bir miktar arttırılmalıdır.

.Manganlı östenitik çeliklerde Mn içeriğinin alt sınırda olması çekme mukavemetini düşürür, üst sınırı aşması ise bir avantaj sağlamaz. Mn içeriğinin % 8'e kadar

düşmesi mukavemet özeliklerinin yarı yarıya azalmasına neden olur. Bu değerin altında ki Mn içeriği çeliğin sakin havada dahi soğuması halinde sertleşmesine neden olur. Nikel katkısı ile östenitik yapının oluşumu teşvik edilebilir ve süneklik arttırılır.

Yüksek manganlı östenitik çelikler, yukarıda bahsedilen özellikleri sebebiyle ekskavatör kepçeleri, greyder ve dozer bıçakları, konkasör çeneleri gibi iş makinelerinin darbe ve aşınma etkisi altında kalan parçalarının üretiminde geniş bir uygulama alanı bulmuştur. Manganlı östenitik sert çelikler, östenitik yapıları sebebiyle ısı iletkenliklerinin çok az ve ısıl genleşmelerinin çok yüksek olmasına rağmen bazı önlemler ile kolaylıkla kaynak edilebilirler [27].

Manganezin kükürdü süpürme etkisi nedeniyle kükürt oranı sorun olmamaktadır. Manganez çeliğine Ni, Mo, Cr, Cu, V da ilave edilmektedir. Bu elementlerin katılmasıyla diğer özelliklerde iyileşme olmakla birlikte hemen hepsi çeliğin sünekliğini azaltmaktadır. Manganez çeliğinin tokluğu yüksek ve kesme sonunda deformasyon sertleşmesi olduğundan ticari olarak talaşlı işlenemez olarak sınıflandırılır. Bu çelik için ticari bitirme işlemi taşlamadır. Fakat zorunlu olduğunda karbür veya kobalt içeren yüksek hız takım çeliği kesme ucu kullanarak işlenebilir. Talaşlı işleme düşük kesme hızlarında (30–40 dev/dak) ve iyi kalite, sülfür içeren kesme yağı kullanılarak yapılmalıdır.

Östenitik manganez çeliğinin üretiminde en önemli amaç yüksek toklukta bir malzeme elde etmektir. Bunun için;

a) Kalın kesitli parçaların dökümünde C, Si ve P oranları bu çelik için mümkün olan en alt sınırlarda tutulmalıdır.
b) Isıl işlem fırınında sıcaklık dağılımı iyi kontrol edilmeli, soğutma tankı yeterli büyüklükte olmalı ve soğutma sırasında su dolaşımı sağlanmalıdır.
c) Kaynak ısıl işlem uygulanmış parçalara yapılmalı ve en az ısı birikimi olacak şekilde kaynak edilmelidir [27].

3.3. Paslanmaz Çelikler

3.3.1. Paslanmaz çeliklerin genel yapısı

Paslanmaz çelikler esas itibari ile demir, karbon ve çoğu zaman da nikel içeren alaşımlar olup başlıca özelliklerini kroma borçludurlar. . Paslanmaz çeliğin paslanmazlık özelliğine sahip olabilmesi için en az % 12 Cr içermesi gerekir [33].
Paslanmaz çeliklerin, uygulama alanlarının her geçen gün artarak devam etmesinin temel nedeni korozif ortamlarda, mekanik özelliklerini yitirmeden gösterdikleri yüksek korozyon dirençleridir.

Paslanmaz çelikler, özellikleri ve bileşimleri açısından bugün endüstride beş ana gruba ayrılırlar [29, 30].

1-Martenzitik kromlu paslanmaz çelikler,
2-Ferritik kromlu paslanmaz çelikler,
3-Östenitik krom-nikelli paslanmaz çelikler,
4-Çökelme sertleşmeli paslanmaz çelikler,
5-Çift fazlı (duplex) paslanmaz çelikler.

3.3.2 Martenzitik kromlu paslanmaz çelikler

Martenzitik kromlu paslanmaz çelikler % 11,5'tan fazla krom içeren ve yüksek sıcaklıklarda östenit yapısına sahip olan ve uygun bir soğutma işlemi ile de içyapıları oda sıcaklığında martenzitik olan paslanmaz çeliklerdir.

Martenzitik paslanmaz çelikler normalize, yarı sertleştirilmiş, gerilme azaltma tavlamasına tabi tutulmuş veya temperlenmiş hallerinde kaynaklanabilirler [7].

Yüksek karbon içeren (% 0,5–1,2) martenzitik paslanmaz çelikler alınan önlemlere rağmen sıhhatli bir şekilde kaynak yapılamazlar [31].

3.3.3 Ferritik kromlu paslanmaz çelikler

Bu tür çelikler martenzitik çeliklere göre daha fazla krom içerirler. Krom yüzdesi %15–30 karbon yüzdesi %0,08–0,2 arasında değişir. Krom içeriklerinin yüksek oluşu korozyona karşı daha dayanaklı olmalarını sağlar [30].

Bu tür paslanmaz çelikler, su verme yolu İle sertleştirilemediklerinden, İTAB' da martenzit oluşumu tehlikesi yoktur. Martenzitik paslanmaz çeliklere göre daha kolay kaynak edilirler [31].

Bu tür paslanmaz çelikler ark kaynağı, gaz altı kaynak yöntemleri, tozaltı kaynağı, elektrik direnç kaynağı yöntemlerinin yanı sıra modern kaynak yöntemleri ile de(elektron ışın, lazer ışın, sürtünme kaynağı, yakma alın kaynağı gibi) rahatlıkla kaynak edilebilirler [31].

3.3.4 Östenitik krom-nikelli paslanmaz çelikler

Östenitik krom-nikelli paslanmaz çelikler, bileşiminde % 12–25 Cr ve %8–25 Ni içeren çeliklerdir [32].

Bugünün östenitik paslanmaz çelikleri % 16–26 Cr, % 10–24 Ni, %0,40'a kadar karbon ve diğer bazı özellikleri geliştirmek için katılmış Mo, Ti, Nb, Ta ve N gibi elementler içerir. Tüm kaynaklı paslanmaz çelik imalatlarının %90'dan daha fazlası için östenitik paslanmaz çeliklerin kullanılmasının nedeni iyi kaynaklanabilirliğidir [28].

Östenitik paslanmaz çelikler çeşitli kaynak yöntemleri ile kolaylıkla kaynaklanabilir [31].

Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynak edilerek birleştirilmelerinde fiziksel özelliklerini dikkate almak gereklidir. Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyetini etkileyen fiziksel özelliklerinin yanında bir dizi metalurjik etken de bu

tür çeliklerin kaynağında önemli rol oynar. Bunlar; delta ferrit (&-ferrit) oluşumu, taneler arası korozyona duyarlılık, gerilmeli korozyona duyarlılık ve sigma fazının oluşmasıdır [31].

3.3.5 Çökelme sertleşmeli paslanmaz çelikler

Bu tür paslanmaz çelikler bakır, molibden, niyobyum, titanyum ve alüminyum gibi alaşım elementleri içerirler, bu elementlerin bir veya birkaçının etkisi ile çökelme sertleşmesi gösterirler.

TIG, MIG ve plazma ark kaynağı uygun yöntemlerdir. Uygun elektrotlarla elektrot ark kaynak yöntemi de uygundur Bu çelikler direnç kaynak yöntemleriyle de kaynak edilebilirler [28].

3.3.6 Duplex (çift fazlı) paslanmaz çelikler

Çift fazlı bir içyapıya sahip, ferrit taneleri içinde östenit veya östenit taneleri içinde ferrit içeren bu tür paslanmaz çeliklerin östenitik paslanmaz çeliklere nazaran en önemli üstünlükleri akma mukavemetlerinin iki kat daha büyük olması ve çok daha iyi korozyon dirençleridir.

Dublex ve super duplex paslanmaz çelikler örtülü elektrot ile ark, T1G, MIG, tozaltı, özlü elekrot ile ark ve gazaltı ve plazma ark kaynağı yöntemleri ile uygun ek kaynak metalleri ve uygun prosedürleri kullanılarak başarılı bir biçimde kaynak edilebilmektedir. Bu tür çelikler, sadece alışılmış kaynak yöntemleri ile kaynak edilmemekte elektron ışın ve lazer ışın hatta katı hal yöntemleri ile de kaynak edilebilmektedirler [28].

4. 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 birleştirme veya dolgu işlemidir.

Ark; kızgın bir katottan yayılan elektronların, yüksek bir hızla anodu bombardıman etmesi neticesinde oluşur. Bu bombardıman çarpma sonunda nötr moleküllerin iyonize olmasına sebep olduğundan, kuvvetli bir sıcaklık yükselmesi meydana gelir. Ortaya çıkan toplam enerjinin % 85'i ısı ve % 15'i de ışık enerjisine dönüşmektedir [33].

Elektrik ark kaynağı, iki kutup arasında oluşan arkın ısı kaynağı olarak ana ve ilave malzemeyi ergitmesi şeklinde tanımlanabilir.

Elektrik ark kaynağında, gerek ark ortamının ve gerekse kaynak bölgesinin korunmasının sağlanması amacı ile alınan tedbirler ve kullanılan elektrot türleri, uygulamalarda yöntemlerin adlandırılmasını da ortaya çıkarmaktadır [33].

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 TIG kaynak yöntemleri kullanılmıştır.

4.1. Örtülü Elektrot İle Elektrik Ark Kaynağı

Örtülü elektrot 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 elektrot ile elektrik ark kaynağında ark, iş parçası ile eriyen elektrot arasında

oluşur ve böylece eriyen elektrot kaynak metali haline geçer. Ark ile birlikte elektrot örtüsü de ısıdan dolayı yanarak erir ve erime esnasında açığa çıkan gaz, ark bölgesini atmosferden korur, oluşan cüruf da kaynak dikişini örterek kaynak metalinin korunmasını sağlar. Ayrıca elektrotun örtü maddesine katılan alaşım elementleri sayesinde, kaynak dikişini alaşımlandırmak ve istenilen özelliklerde kaynaklı bağlantı elde etmek mümkündür.

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 (cüruf) korumalı ark kaynağının en çok kullanılanı ve pratik olanı örtülü elektrot kullanılarak yapılan metal-ark kaynağıdır.

Örtülü elektrot 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 [34, 35].

Elektrotların kaynak özellikleri tamamen örtünün bileşimine bağlıdır. Kaynak bölgesine yığılan kaynak metali, kaynak dikişinin nüfuziyeti 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 elektrotları üretiminde en fazla kullanılan elektrot örtü maddeleri şu şekilde sıralanabilir [36].

Elektrot örtülerinin sağladığı faydalar ise aşağıdaki şekilde sıralanabilir;

a) Arkın tutuşmasını ve oluşmasını kolaylaştırır. Bu sayede doğru akım ve alternatif akımda kaynak yapabilme imkânı doğar.
b) Ergiyik haldeki metal damlalarının yüzey gerilimlerine etki ederek tavan ve dikine kaynak işlemlerinin yapılmasına imkân sağlar.

c) Koruyucu bir gaz atmosferi sağlayarak kaynak dikişini atmosferin olumsuz etkilerinden korur.
d) Kaynaktan sonra dikişin üzerini kaplayarak yavaş soğumasını sağlar.
e) Gerektiği hallerde dikişi alaşımlandırır.
f) Erime hızını yükseltip kaynak dikişini deokside eder [36, 37].

Elektrot örtüleri hazırlanırken, örtü maddeleri belirli oranlarda harmanlanır ve ekstrüzyon veya başka bir yöntemle elektrot çekirdeğine sıvanır. Bu maddelerin birbiriyle harmanlanması sırasında bazı önemli hususlar göz ardı edilmemelidir. Her tür elektrot örtüsü için özellikle ana bileşenlerin bazı oranlar dâhilinde olmaları gerekir. Aksı takdirde elektrot örtüsü kendinden beklenen özelliklen sağlayamayacaktır. Örtülü elektrotlar örtülerinde bulunan ana bileşenlerin türüne, asitlik ve bazlık durumuna göre çeşitli gruplara ayrılmaktadırlar. [37].

Bunlar;

a) Rutil elektrotlar
b) Asit elektrotlar
c) Oksit elektrotlar
d) Bazik elektrotlar
e) Selülozik elektrotlar
f) Özel elektrotlar

Bu çalışmanın örtülü elektrot kullanılan kısmında rutil ve bazik elektrot kullanıldığı için yalnız bu elektrotların özellikleri açıklanacaktır.

4.1.1. Rutil elektrotlar

Bu elektrotlann örtü ağırlığının yaklaşık %35'ni titan dioksit (TiO_2) oluşturur. Bunlar az cüruf bırakan ve her pozisyonda kaynak yapabilme imkânı sağlayan elektrotlardır. Değişik örtü kalınlıklarında üretilen rutil elektrotlarda, 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 cüruf oluşturur. Cürufun metalurjik etkisi diğer tiplerinkine nazaran az olmasına karşılık, selüloz maddesinin uçuculuğundan dolayı meydana gelen gaz bulutu atmosferik gazlara karşı kaynak bölgesini koruyucu etkiye sahiptir.

Rutil elektrotlar kurutulabilirler, ancak içinde örtüyü bir arada tutan, kimyasal olarak bağlı su bulunmaktadır. Kurutma sırasında su giderilecek olursa örtünün bağları da hasar görür [38].

Bu elektrotlar fazla duman oluşturduğundan, kazan, depo gibi kapalı hacme sahip işlerin yapımında kullanılmaktan kaçınılmalıdır. Bu tür elektrotlar 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 elektrot örtü kalınlıkları arttıkça artar.

Tutuşturulmaları gayet kolay olan bu elektrotların sıçrama kayıpları azdır ve acemi kaynakçılar bile bu elektrot ile zorlanmadan kaynak işlemi yapabilirler.

Rutil elektrotların kalın örtüye sahip olanlarında oldukça kalın cüruf oluştuğundan koruyucu gaz atmosferine fazlaca gerek duyulmaz. Bu tür özelliğe sahip olan rutil elektrotlar da koruyucu duman oluşturucu maddeye gerek yoktur [2].

4.1.2. Bazik elektrotlar

Bu elektrotlar, genellikle yukarıdan aşağı ve dik kaynaklar dışında bütün pozisyonlarda kullanılır. Mekanik özellikleri diğer tiplerinkinden daha üstündür. Özellikle kalın asitlerin ve rijit konstrüksiyonlarda Thomas çeliklerinin kaynağına uygundur.

Örtü yüksek miktarda kalsiyum ve diğer toprak alkali karbonatlan içerir. Kalın örtülü

elektrotlarda ark içinde metal geçişi orta büyüklükte damlalar halinde olur. Cüruf kahverengi ile siyaha kadar renk arz eder ve diğer tiplerdeki kadar kolay kalkmaz. Dikiş hafif bombelidir. En çok doğru akımda (elektrot artı kutupta) kaynak yapılır. Elde yüksek boşta gerilimli (E_o=55–80 V) transformatör olması halinde dalgalı akımla da çalışabilen bazik elektrot çeşitleri vardır.

Bazik elektrotlar iyi bir aralık doldurma kabiliyetine sahiptirler. Dikiş malzemesine cüruf dahil olmaz ve bunun sıcak ve soğukta çatlamaya meyli yoktur. Bu elektrotlar özellikle düşük alaşımlı çelikler, yüksek karbonlu çelikler ve kükürt fosfor ve azottan geniş ölçüde temizlenmemiş çelikler için uygundur.

Örtü rutubete hassas olabileceğinden bu elektrotların kuru alanlarda muhafaza edilmeleri gerekir. Rutubet almış olmaları halinde en az yarım saat müddetle 250 °C' da kurutulmaları şarttır. Bazik elektrotlar fazlaca yüksek bir akım şiddetine tabi tutulmamalıdır, Çünkü çalışma esnasındaki sıçramalar dışında da, dikişin mekanik özellikleri de düşer.

Örtü hammaddelerinin kaynak banyosuyla aşağıda gösterilen metalürjik reaksiyonu sonucunda yüksek nitelikli bir kaynak metali elde edilir.

a) Örtüdeki $CaCO_3$, CaO ve CO_2 ye ayrışır ve CO_2 kaynak banyosunu atmosferik etkilerden korur.
b) CaO, örtüdeki öbür maddeler ve özellikle kalsiyum flüorürle birleşerek fosfor ve kükürdü cürufa geçirir.
c) Örtüde bulunan ferrosilisyum gibi deoksidan maddeler banyoya gazı alınmış bir çelik özelliğini kazandırır [4].

Bazik elektrotlann genel olarak kullanım alanları gemi sanayi, kazan ve basınçlı kap, makine çelik konsrüksiyon gibi ağır makine ve donanım sanayidir. Ayrıca;

- Bileşimi bilinmeyen karbonlu ve hafif alaşımlı çeliklerin her tür birleştirilmesi,
- Karbon, kükürt, fosfor, azot gibi yüksek element içeren çelikler,

- Çatlama hassasiyetli kalın kesitlerin (50 mm^2'den yukarı) kaynağı,
- Farklı oranda karbon içeren çeliklerin birleştirilmeleri,
- Dökme demir ve çeliklerin kaynağı,
- Tamamen rijit konstrüksiyonlar,
- Dinamik yüklere maruz parçaların kaynağı,
- Sıfırın altındaki sıcaklıklarda çalışacak konstrüksiyonlann kaynağı,
- Yüksek kaliteli kaynaklı konstrüksiyonlar için tek seçenek bu bazik elektrotlar olmaktadır [39].

4.1.3. Kaynak makineleri

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

Doğru akım kaynak makineleri

Bu gruba, kaynak jeneratörleri ve kaynak redresörleri girmektedir. Kaynak jeneratörleri, elektrik motoru ve kaynak dinamosundan meydana gelir. Bu makineler mekanik enerjiyi kaynak için gerekli olan enerjiye çevirerek kaynak akımını çalışma yerinde üretir. Kaynak jeneratörlerinde akım üreteci 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 [2].

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

Alternatif akım kaynak makineleri

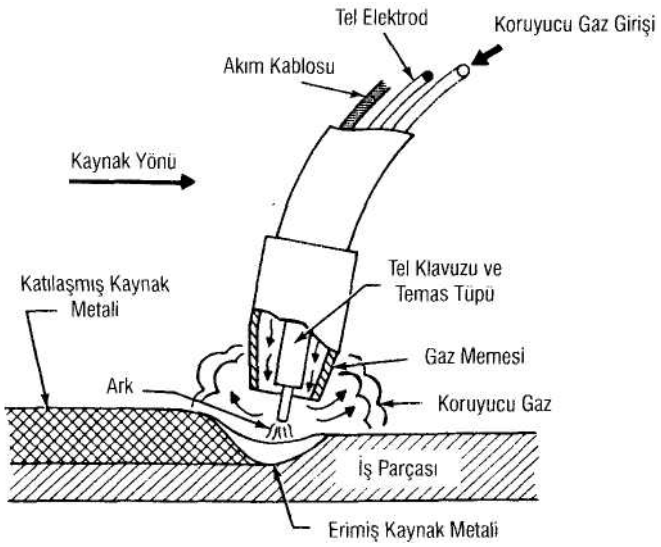
Bu grupta transformatörler yer almaktadır. Alternatif akım veren kaynak makineleri olan transformatörler, gerilimi yüksek ve akım şiddeti düşük olan şebeke akımını, gerilimi düşük fakat akım şiddeti yüksek olan kaynak akımına çevirirler Transformatörler kaynak jeneratörleri gibi yeni bir akım üretmezler, sadece mevcut olan akımın gerilimini ve akım şiddetini değiştirirler. Transformatörlerde dönen bir parça olmadığı için aşınma gibi sorunlar bahis konusu değildir [2].

4.2. MIG-MAG Ark Kaynağı

Metal inert gaz kaynağı da olarak da bilinen gaz metal ark kaynağı (GMAW) ilk defa 1948 yılında A.B.D' de "Linde Airproducts Company" tarafından bulunmuştur. Önce alüminyum ve alaşımlarının, sonrada sırasıyla yüksek alaşımlı çeliklerin, bakır ve alaşımları ile karbonlu çeliklerin kaynağında kullanılmıştır.

GMAW işlemi; uygun metal ile sürekli beslenen tel elektrot kullanılarak elde edilecek ısı yardımıyla yapılır. Tel elektrot tüketilebilir ve ayrıca dolgu metali olur. Çıplak katı bir tel olan elektrot, kaynak alanında sürekli tutularak metal dolumu başlatılır. Elektrot, kaynak havuzu, ark ve ana metalin yakın alanları torçtan verilen karışım gazı veya diğer gazla atmosferin etkisinden korunur.

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. İki ayrı isimle adlandırılan kaynak çeşitlerinde ekipmanlar aynıdır. Sadece CO_2 korumalı kaynakta tüp çıkışına bir ısıtıcı eklenir.



Şekil 4.1. MIG-MAG kaynağının prensibi [40]

MIG-MAG kaynak tekniğinde kullanılan elektrotların çaplarının ince olması nedeniyle akım yoğunluğu yüksektir (100–300 A/mm^2). Akım yoğunluğunun yüksekliği; metal transfer formunu, kaynak hızını ve nüfuziyeti 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 elektrotu da iş parçasına değdirmesi yeterli olacaktır. Çünkü bu sistem, uygun ark boyunu otomatik olarak kendisi sabit tutmaktadır [39].

Kaynak donanımı dört temel gruptan meydana gelmiştir:

1-Kaynak torcu ve kablo grubu
2-Elektrot besleme ünitesi
3-Güç ünitesi
4-Koruyucu gaz ünitesi

Kaynak güç üniteleri ark oluşturmak için elektrik gücünü elektrota ve iş parçasına iletilir. Gazaltı kaynağının büyük bir kısmında elektrotun pozitif kutupta olduğu doğru akım kullanılır. Bu nedenle güç ünitelerinin pozitif ucu torca, negatif ucu ise iş parçasına bağlanır. Doğru akım güç ünitelerinin başlıca tipleri motor tahrikli jeneratörler (dönen ve hareketli tip) ve transformatör redresörlerdir (statik veya hareketsizdir) [41].

Torç ve kablo grubu üç görevi yerine getirir. Bunlar;

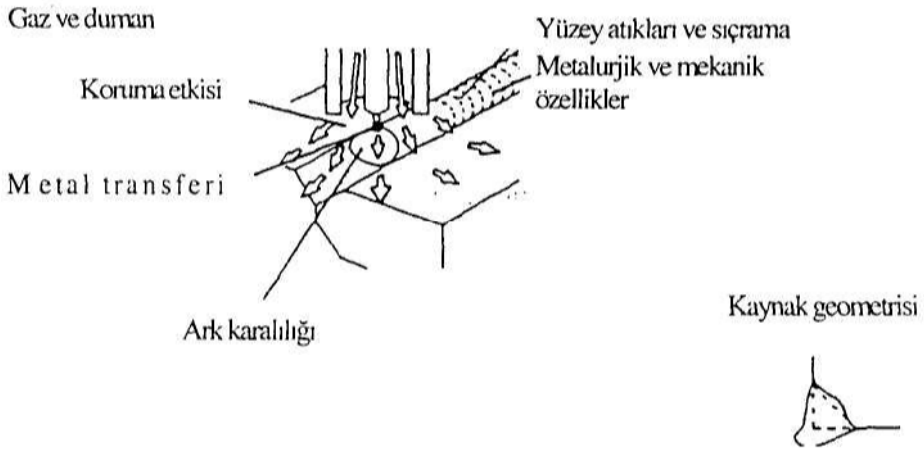
a-Koruyucu gazı ark bölgesine taşımak
b-Elektrotu temas tüpüne iletmek
c-Güç ünitesinden gelen akım kablosunu temas tüpüne iletmek.

Kaynak torcunun tetiğine basıldığı zaman iş parçasına aynı anda gaz, güç ve elektrot iletilir ve kaynak arkını oluşturur [40].

4.2.1. MIG-MAG kaynağında kullanılan koruyucu gazlar

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. Hâlbuki 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 [2].



Şekil 4.2. Koruyucu gazın kaynak bölgesine etkileri [2]

Koruyucu gazların kaynak işlemlerindeki etkileri başlıca şu şekilde sıralanabilir [42, 43].

- Kaynak banyosunu atmosferden koruma
- Arkın kararlılığı
- Metal transfer formu
- Nüfuziyet, ıslatma ve kaynak dikiş geometrisi
- Isı girdisi
- Kaynak metali kimyasal bileşimi
- Duman oluşumu
- Kaynak metalinin mekanik özellikleri

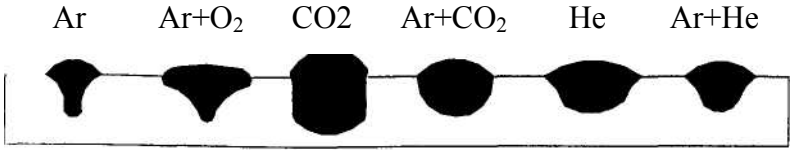
Maddeler halinde verilen koruyucu gazın etkilen kısaca şu şekilde açıklanabilir.

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 gerilim 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.

Metal transfer formu: Kaynak işlemi esnasında ergiyen telden kaynak banyosuna aktarılan metalin davranışıdır. Metal transferinin şekli geniş bir oranda koruyucu gazın terkibine, kaynak telinin bileşimine ve diğer kaynak parametrelerine bağlıdır. Şarap kadehi tipinde bir nüfuziyettir ve karbondioksit atmosferi altında ise yüksek derecede nüfuziyetin yanında oldukça şişkin bir dikiş elde edilir. Buna sebep olarak Karbondioksit arkının düzensiz oluşu gösterilir.



Şekil 4.3. Çeşitli gaz ve karışımlarına ait dikiş formları [3]

Isı girdisi: Birim uzunluktaki kaynağı gerçekleştirmek için harcanan ısıyı göstermektedir. Isı girdisi değeri düşük olursa az enerji harcanmış olur. ısı 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.

Kaynak ilerleme hızı: Arkın kaynak yönünde aldığı yolun zamana bağlı olarak ifadesidir Kaynak işlemlerinde bütün parametreler sabitlendiğinde. maksimum nüfuziyet orta ilerleme hızındadır. Koruyucu gazın ısı girdisi de kaynak hızını etkileyen faktörler arasındadır.

Kaynak metali kimyasal bileşimi: Alaşım elemanlarının telden banyoya maksimum verimle taşımı 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. Arktan çıkan ültraviyole 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 [2].

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

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

Çizelge 4.1. Esas Gazların Özellikleri [44]

Gaz Tipi	Kimyevi Sembolü	1,013 bar (0,101 MPa)ve O °C da belirlenen		1,01 3 barda (0,101Mpa) Kaynama Noktası °C	Kaynak Esnasındaki Reaksiyon Davranışı
		Yoğunluk (Hava=1,293) kg/m^3	Havaya Göre Nisbi Yoğunluk		
Argon	Ar	1.784	1,380	-185,9	Asal
Helyum	He	0,178	0,138	-268,9	Asal
Karbon dioksit	CO_2	1,977	1,529	-78.5[1]	Oksitleyici
Oksijen	O_2	1,429	1,105	-183,0	Oksitleyici
Azot	N_2	1,251	0,968	-195,8	Reaksiyona girmeyen[2]
Hidrojen	H_2	0,090	0,070	-252,8	İndirgeyici

1 - Süblimleşme Sıcaklığı (Katı - gaz geçiş sıcaklığı)
2 - Azotun davranışı, farklı malzemelerle değişir. Mümkün olacak olumsuz etkiler göz önüne alınmalıdır.

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].

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.

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 Nüfuziyet, yüksek kaynak hızı ve iyi mekanik özellikler vermesi nedeniyle ülkemizde geniş bir kullanım alanı bulmaktadır [45].

Karbondioksit iş yerlerine genellikle tüp içerisinde getirilir. Tüpün içindeki karbondioksitin 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 ısısına ihtiyaç gösterir, bu bakımdan bir tüpten bir anda sürekli olarak çok fazla gaz çekme imkânı yoktur. Buharlaşma ısısının 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 debilere 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 manifolt yardımı ile

bağlanarak kullanılması gereklidir Soğuk ortamlarda ise karbondioksit gazı çıkış yerine bir elektrikli ısıtıcı ilave edilmesi tavsiye edilir [2].

Argon (Ar) gazı

Argon renksiz, kokusuz ve tadı olmayan bir gazdır. Yanmaz, zehirli değildir ve tabiidir, yani bileşikler teşkil etmek için diğer elemanlar ile reaksiyona girmezler. Her ne kadar atmosferde % 0,934' lük bir oranda bulunursa da, argon atmosferden elde edilir. Düşük iyonizasyon enerjisinden dolayı, argon koruması altında ark ateşlemesi çok güvenilirdir. Yanışı daha uzun kaynak arkları ile bile çok sabittir.

Argonun ısı iletkenliği çok düşüktür ki bu da hem ark şeklini ve hem de kaynak şeklini etkiler. Saf argon koruması altında MIG kaynağında bir şarap kadehi şeklindeki kaynak elde edilir. Gaz korumalı ark kaynağında, argon güvenilir bir şekilde en önemli rolü oynar. Argona O_2, CO_2, He, H_2 ilaveleri ile temel bir koruma gazı olarak veya CO_2 gazına bir ilave olarak kullanılır [28].

Argon gazı içinde oluşan arkın gerilim düşümü, diğer koruyucu gazlara (örneğin helyum) nazaran daha azdır, ayrıca argonun ısı iletme kabiliyetinin de zayıf olması nedeni ile ark sütunu daha geniş ve sıcaklığı da özellikle dış kısımlarda düşüktür. Sütunun merkezinde gerek metal buharları ve gerekse damla geçişi dolayısı ile sıcaklık daha yüksektir. Bu bakımdan argonun koruyucu gaz olarak kullanıldığı kaynak dikişlerinde nüfuziyet dikişin merkezinde derin, kenarlarda daha azdır [28].

Argonun iyonizasyon enerjisi daha düşüktür (15,7 V). Bunun için daha düşük ark gerilimi ile çalışılmasına imkan verir. Bu durumda ısı girdisi azdır (Q= V.I). Argonun bu özelliği ince parçalarda kaynak esnasında ergiyip delinme olayını azaltır. Ayrıca bu özellikten dolayı ergimiş kaynak metalinin hareketliliği (viskozitesi) azaldığından "dik" ve "tavan" kaynağında banyo hâkimiyetini kolaylaştırır. Argon gazı havadan 4 kat, helyumdan ise 10 kat daha ağırdır. Bu özelliği daha etkin bir koruma sağlayıp sarfiyatı azaltmaktadır [46].

Argon + Karbondioksit

Bazı az karbonlu çeliklerin kaynatılmasında karbondioksit işin gerektirdiği yeterli ark karakteristiğini oluşturamamaktadır Bu durum kaynak alanının çok sıçramalı olmasıyla kendini belli eder. Böyle durumlarda argon ve CO_2 koruyucucu gaz kullanılarak bu problem çözülür. Bazı kaynak otoriterine göre CO_2 oranı % 25 in üzerinde olmamalıdır Diğerlerine göre de pratik olanı % 80"e kadar CO_2 miktarı yükseltilebilir. Karışımdaki CO_2 oranının yükseltilmesi gaz fiyatı ile de yakından ilgilidir.

Argonun düşük ısıl iletkenliğine karşılık 2723"C de CO_2 ile yüksek bir ısıl iletkenliğe sahiptir ve ilerlemenin arzulanır -V- şeklinde olmasını sağlayan bir çekirdeksiz ark üretir. CO_2 arkı kısadır, kısmen havuza gömülmüştür. Biraz dağınıklık gösterir, bu damlacıkların düşük yüzey gerilimleri ve kaynak havuzlarıyla sıçramalara neden olabilir. Duman oluşumu gazın yüksek oksitlenme etkisine yorumlanabilir.

CO_2 ayrıca arkı stabilize eder. Sıçramayı azaltır ve ark boyunca doğrusal bir çizgide metal transferi sağlar.

Argon ve CO_2 gazlarından oluşan bir karışımın gazların ayrı ayrı avantaj ve dezavantajları rapor edilmiş ve % 80 Ar, % 20 CO_2 içeren karışımın en uygun olduğu açıklanmıştır. Bu gaz karışımlarıyla elde edilen daha iyi yüzey görümü olan kaynak dikişlerini elde etmek için kısa devreli düşük akımlı ark kullanılabilir ve kaynak torcunda daha az sıçrama birikir. Yüksek akımlarda ark karakteristikleri argonunkine benzer. CO_2'nin küresel transferi yerine metalin püskürtme tipi transferi ve elde edilen kaynak ne argonun derin parmak ilerlemesine ne de CO_2'nin derin dar ilerlemesi benzer Fakat daha üçgensi bir görünüme sahiptir Yumuşak çeliklerin kaynağında bu gaz karışımının önemli bir kısıtlayıcısı vardır. Gözenekliliği önlemek için oldukça deoksitlenmiş bir tel kullanılmalıdır. Gaz pahalı olduğu için öteki kaynak yöntemleriyle rekabet edemez.

Argona %3–10 CO_2 eklendiğinde metal transferi sprey bir form alır ve demir esaslı metallerin kaynağında olduğu gibi kaynak alanının ısıtılmasını da sağlar. %20–50 CO_2 bulunan karışımla çeliklerin kaynağında kısa transferde kullanılır. Fakat bazen çeliklere zararlı olabilir O nedenle bu karışım paslanmaz çeliklerin kaynağında kaynak metalindeki karbon miktarını artırabilir. Bu karışım demir dışı metallerde kullanılmamalıdır. Çünkü CO_2 bozularak açığa O_2 çıkarır. Argon-CO_2 karışım gazlar az karbonlu çelikler, az alaşımlı çelikler ile bazı durumlarda paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanılmaktadır [3].

4.2.2. MIG-MAG kaynağı tel elektrotları

Tel elektrotlar 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 elektrotlardan başka özlü elektrotlar da kullanılır, bu elektrotlann orta kısmında rutil veya bazik özler bulunur [2].

Özsüz olarak kullanılan tel elektrotlar bileşimlerine göre SG1. SG2 ve SG3 olmak üzere üç gruba ayrılırlar Çizelge 4.2.' de TS 5618'e göre alaşımsız ve az alaşımlı çeliklerin kaynağında kullanılan tel elektrotların kimyasal bileşimleri verilmiştir [1].

Çizelge 4.2. Özsüz tel elektrotlann kimyasal bileşimi [1]

Simge	Malzeme No	Kimyasal Bileşim %						
		C	Si	Mn	P<	S <	Cu<	Müsaade Edilen Safsızlık
SG 1	1,51 12	0,07–0,12	0,5–0,7	1,0–1,3	0,025	0,025	0,30	Cr 0,15 V 0,05
SG 2	1,5125	0,07–0,14	0,7–1,0	1,3–1,6	0,025	0,025	0,30	Zr+Ti 0,15 Al 0,02
SG 3	1,5130	0,07–0,14	0,8–1,20	1,6–1,9	0,025	0,30	0,30	Ni 0,15 Mo 0,15

MIG-MAG kaynağında kullanılan tel elektrotlann yüzeyi pürüzsüz ve gayet hassas olmalıdır. Kaynak işlemi esnasında tel elektrotta, ark kabiliyetini engelleyecek çapak, çukurluk, katmer gibi yüzey kusurları veya yabancı maddeler bulunmamalıdır [2].

4.2.3. MIG-MAG kaynağı kaynak parametreleri

Kaynak parametreleri kaynak işleminin ve daha sonra oluşan kaynaklı bağlantının kalitesini belirleyen önemli unsurlardan birisidir Kaynak parametleri; 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 [2].

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

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.

İlk gruba giren parametreler kaynağın uygulanmasından önce belirlenen koruyucu gaz türü, elektrot çapı ve türü gibi etmenlerdir. Bu ilk gruba giren etmenlerin kaynak işlemi esnasında değiştirilmesi mümkün değildir. Bu parametreler, 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 [2].

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 [2].

4.3. TIG Kaynağı

TIG Kaynağı metodu, koruyucu gaz olarak çoğunlukla Argon gazı kullanıldığından "Argon-ark" kaynağı diye de isimlendirilebilir. TIG ismi ise İngilizce "Tungsten Inert Gas" kelimelerinin baş harfleri alınarak oluşturulmuştur. Ayrıca Almanca da Volfram yine Tungsten anlamına geldiğinden Avrupa'da bazı ülkelerde TIG kaynak metodu WIG olarak da adlandırılmaktadır [46].

Yöntem ilk olarak 1930'lu, yıllar ortalarında denenmiş ve A.B.D.'de II. Dünya savaşı sıralarında özellikle alüminyum ve alaşımlarının ve paslanmaz çeliklerin kaynağında uygulanmıştır. İlk geliştirme yıllarında sadece havacılık endüstrisinde Mg alaşımlı parçaların kaynağında kullanılmasından alınan sonuçlar, yöntemin endüstrinin diğer alanlarında da uygulanabilirliğini kanıtlamış ve hızla diğer endüstriyel demir dışı ve metal alaşımlarının yanı sıra paslanmaz çeliklerin kaynağında da çok uygulanır bir yöntem haline gelmiştir [47].

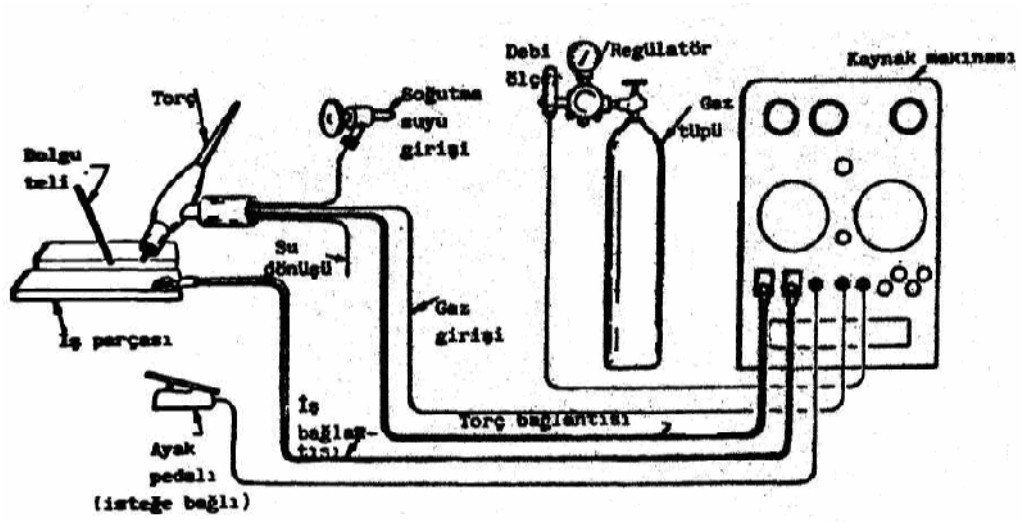
TIG "Tungsten Inert Gas" yönteminde kaynak arkı, ergimeyen bir tungsten elektrot ile iş parçası arasında meydana gelmekte; ark elektrot ve ergimiş banyo, havanın etkisinden bir argon ya da helyum atmosferi ile korunmaktadır. Koruyucu gazın soy bir gaz olması dolayısıyla oksidasyon ve nitrür oluşumu gibi istenmeyen durumlar önlenmektedir [48, 49].

Dolgu metali kaynak edilecek iş parçasının kalınlığına ve ağız formuna göre ya kullanılır ya da kullanılmaz [46].

4.3.1 TIG kaynağında kullanılan elemanlar

TIG Metodunda kullanılan başlıca elamanlar aşağıda maddeler halinde ve şekil5.10'da verilmiştir;

1) Kaynak makinesi (Güç kaynağı)
2) Koruyucu gaz sistemi
3) Bağlantı kabloları
4) Torç
5) Tungsten elektrot
6) Soğutma sistemi
7) Torç üzerinden veya ayakla kontrol edilen kumanda



Şekil 4.4 TIG metodundaki elamanlar [46, 50]

4.3.2.TIG kaynak metodunun avantaj ve dezavantajları

1)Sanayide kullanılan hemen hemen bütün metallerin ve alaşımlarının kaynağında kullanılabilir.
2)Cürufsuz bir kaynak dikişi elde edildiğinden kaynak sonu temizleme işlemine gerek yoktur.
3) Sıçrama problemi yoktur.

4) Dolgu teline her zaman ihtiyaç yoktur.
5) Her pozisyonda rahatça kaynak yapma imkânı vardır.
6) Pulse (darbeli) akımın kullanılabilme imkânı olduğundan çok ince metallerin kaynağı çarpılma olmadan mümkündür.
7)Ark ve kaynak banyosu net bir şekilde görülebilir.
8) Dolgu telinin ergime miktarı akımla orantılı değildir, yani yüksek akım kademesinde de dolgu telinin erime miktarı aynıdır.

Dezavantajları ise;

1) Kaynak hızı diğer bazı kaynak yöntemlerine nazaran rölatif olarak yavaştır.
2) Tungsten elektrotun ucu dikkat edilmezse kolaylıkla bozulabilir. (Metal yapışması, uç kırılması, bombe oluşması gibi) ve dikiş içerisinde tungsten parçacıkları hata olarak kalır.
3) Kalın metallerin kaynağı için çok İyi bir metot değildir.(Ergime oranlarının düşüklüğü nedeniyle)
4) İlk yatırım maliyeti klasik metotlara göre yüksektir [46].

4.3.3.TIG kaynağında kullanılan elektrotlar

TIG- kaynağında kullanılan elektrotlar ya saf tungsten, ya toryum ya da zirkonyumla alaşımlandırılmış elektrotlardır. Tungsten elektrotlar, toz halinde ki tungstenlerin yüksek sıcaklıkta sinterlenmesiyle elde edilir. Toryum alaşımlandırılmış elektrotlarda ise, sinterleme işlemi sırasında % 1 – % 2 ye kadar toryum oksit verilir ve böylece bütün kesitte düzgün bir şekilde yayılır [49].

Tungsten, bildiğimiz bütün metallerin üzerinde bir ergime sıcaklığına (3410 ^{0}C) sahiptir.

Alaşımlandırılan tungsten elektrotlar aşağıdaki üstünlüklere sahiptirler;

a) İyi bir elektron emisyonu sağlarlar,
b) Alaşımsız elektrotlara nazaran alaşımlı elektrotları % 25 daha yüksek bir akım şiddeti ile yüklemek olasılığı vardır,
c)Alaşımlı elektrotların ömürleri daha uzun ve tüketimleri de alaşımsız elektrotlara nazaran % 50 kadar daha azdır,
d) Elektrotun tesadüfen kaynak yeri ile temas etmesi halinde, kaynak banyosunda meydana gelen sıçrama ve buharlaşma, saf elektrota oranla daha azdır [49].

Çizelge 4.3. Tungsten elektrotların kodlandırma, bileşim ve kısa gösteriliş renkleri [51]

Kodlandırma	Kimyevi Bileşim				Kısa Gösteriliş Renkleri[2)]
	Oksit İlavesi[1)]		Safsızlıklar % Kütle	Tungsten % Kütle	
	% Kütle	Sembol			
WP			≤0,20	99,8	Yeşil
WT 4	0,35-0,55	ThO_2	≤ 0,20	Geri kalanı	Mavi
WT 10	0,80-1,20	ThO_2	≤ 0,20	Geri kalanı	Sarı
WT 20	1,70-2,20	ThO_2	≤ 0,20	Geri kalanı	Kırmızı
WT 30	2,80-3,20	ThO_2	≤ 0,20	Geri kalanı	Mor
WT 40	3,80-4,20	ThO_2	≤ 0,20	Geri kalanı	Turuncu
WZ 3	0,15-0,50	ZrO_2	≤ 0,20	Geri kalanı	Kahverengi
WZ 8	0,70-0,90	ZrO_2	≤ 0,20	Geri kalanı	Beyaz
WL 10	0,90-1,20	LaO_2	≤ 0,20	Geri kalanı	Siyah
WC 20	1,80-2,20	CeO_2	≤ 0,20	Geri kalanı	Gri

1) Oksit ilavesi, genellikle tungsten matriks içinde ince olarak dağılmıştır. Kompozit elektrot olarak anılanlar saf bir tungsten elektrot çekirdek üzerine bir oksit kaplaması ile yapılır. Bu tip elektrot saf bir tungsten ile tungstenin ihtiva ettiği oksitlerin niteliklerini birleştirir. Sahip oldukları dezavantaj sivriltilememeleridir.
2) Kompozit elektrotlar ikinci bir pembe halka ile belirtilmelidir.

4.3.4 TIG kaynağında koruyucu gazlar

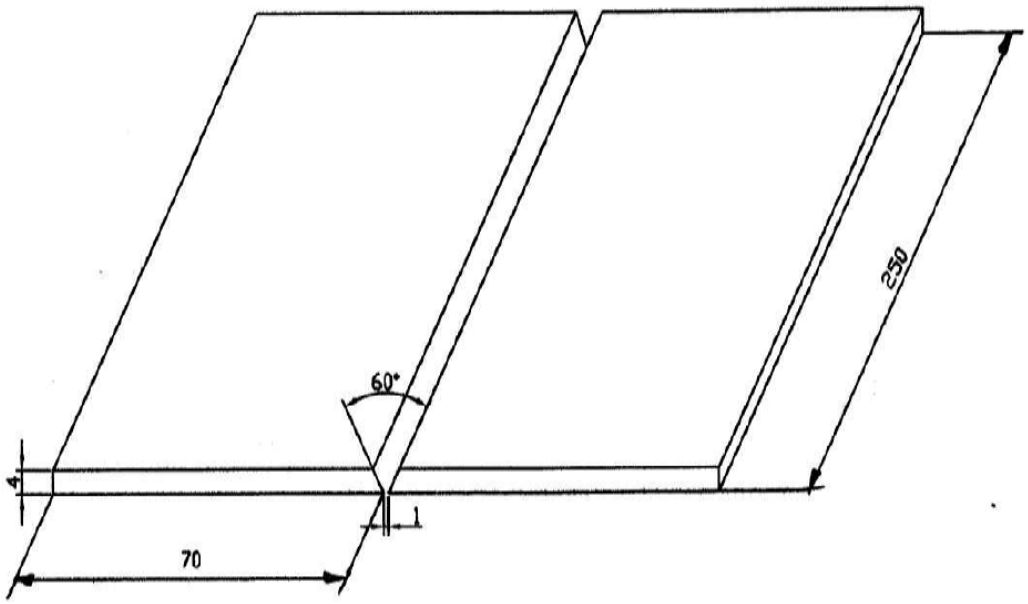
TIG kaynağında en çok kullanılan koruyucu gazlar Argon ve Helyum'dur. Bu soy gazlar gerek doğru akımda ve gerekse alternatif akımda gayet iyi bir ark kararlılığı sağlar. Tek tek veya karışımları halinde kullanılan bu gazlar soy gaz (nötr gaz} olup monoatomik yapıya sahiptirler. Yani hiçbir bileşim yapmazlar. Kimyasal bir

reaksiyona girmezler.

Koruyucu gazın görevi, tungsten elektrotu ve ergimiş haldeki kaynak banyosunu havanın zararlı (oksitleme, nem) etkilerine karşı korumaktır. Ayrıca bazı özel uygulamalarda Argon-Hidrojen karışımı ile azot gazı da koruyucu gaz olarak kullanılır [59].

5. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmada Şekil 5.1`de ölçüleri ve Çizelge 5.1' de kimyasal kompozisyonu verilen malzemelere manuel ark kaynağı, karışım gazla gazaltı kaynağı, MAG ve TIG kaynağı yöntemleriyle aşağıdaki parametreler dahilinde elde edilen numunelerin mikroyapı, sertlik ve çekme incelemesi uygulanmıştır.



Şekil 5.1. Frezede kaynak ağzı açılmış parçaların ölçüleri

5.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler ve Yöntemler

5.1.1. Ana malzemeler

Deneylerde Şekil 5.1.'de şematik olarak gösterilen ve ölçüleri verilen St-37 ve RAEX-AR 400 malzemeler manuel ark, MAG, karışım gazla gazaltı kaynağı ve TIG kasynak yöntemleri kullanılarak birleştirilmiştir. Kullanılan ana malzemelerin kimyasal kompozisyonu Çizelge 5.1`de verilmiştir.

Çizelge 5.1 Deneylerde kullanılan malzemelerin kimyasal kompozisyonları

	C	Mn	P	S	Si	Al	Ni	Cr	B	Mo
St 37	0,17	0,60	0,04	0.05	-	-	-	-	-	-
RAEX-AR 400	0,24	1,7	0,03	0,015	0,7	0,05	0,4	1,0	0,004	0,5

5.1.2.Elektrik ark kaynağı yöntemi

Deneylerde 250x70x4 mm kalınlığında hazırlanan ve çizelge 5.1`de kimyasal kompozisyonu verilen numuneler her üç kaynak yönteminde de kullanılmışlardır.

Rutil ve Bazik tipi kaynak elektrotu kullanılarak aşağıdaki parametreler dahilinde kaynak edilmiştir. Bazik elektrotlar 4 saat süreyle 350 $^{\circ}$C'de kurutulmuştur.

Çizelge 5.2 TS 563 / EN 499'a göre rutil tip kaynak elektrotu kimyasal bileşimi

Element	C	Si	Mn
Ağırlıkça %	0,08	0,35	0,65

Çizelge 5.3 TS 563 / EN 499'a Bazik tip kaynak elektrotu kimyasal bileşimi

Element	C	Si	Mn
Ağırlıkça %	0,08	0,6	1,0

a. Kaynak akım şiddeti: 120 ± 5 amper
b. Kaynak gerilimi: 20± 2 volt
c. Kaynak konumu: yatay
d. Paso sayısı: her numuneye 1 adet
e. Dikiş türü: düz dikiş
f. Isıl işlem: yok
g. Elektrot çapı: 3,25 mm.
h. Kaynak hızı:18 cm/dak.

5.1.3.Gazaltı kaynak yöntemi

Gazaltı ark kaynağında %100 CO2 ve %88 Argon+%12 CO_2 koruyucu gazları ile aşağıdaki parametreler dâhilinde kaynak dikişleri çekilmiştir.

Çizelge 5.4.TS 5618 / EN 440'a göre SG2 kaynak telinin kimyasal kompozisyonu.

Element	C	Si	Mn	P	S	Cu
Ağırlıkça %	0,07-0,10	0,7-1,0	1,4-1,6	< 0,025	< 0,025	< 0,30

a. Kaynak akım şiddeti: 180 ± 5 amper
b. Kaynak gerilimi: 20± 2 volt
c. Kaynak konumu: Yatay
d. Paso sayısı: her numuneye 1 adet
e. Dikiş türü: Düz dikiş
f. Isıl işlem: Yok
g. Tel çapı: 1,2 mm
h. Serbest tel uzunluğu: 25 mm
i. Koruyucu gazlar:% 100 CO_2 ve % 88 Ar + % 12 CO_2
j. Kaynak hızı: 30 cm/dak
k. Gaz debisi: 15 *l*/dak

5.1.4. TIG kaynak yöntemi

TIG kaynağında kaynak dikişi Çizelge 5.2'de kimyasal kompozisyonu verilen 3,25 mm çapında ilave tel kullanılarak, aşağıdaki parametreler dâhilinde çekilmiştir.

a. Kaynak akım şiddeti: 100 ± 5 amper
b. Kaynak gerilimi: 20 ± 2 volt
c. Kaynak konumu: Yatay
d. Paso sayısı: Her numuneye 1 adet
e. Dikiş türü: Düz dikiş

f. Isıl işlem: Yok

g. Elektrot çapı: 2,4 mm

h. Kaynak hızı: 10 cm/dak

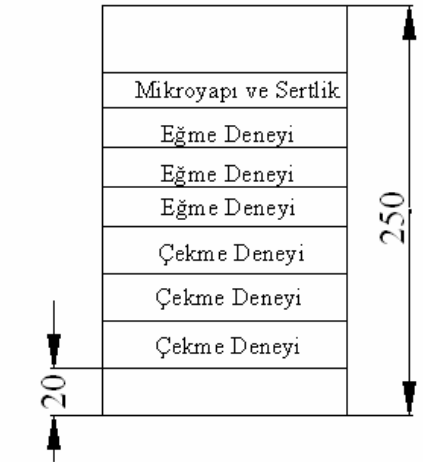
i. Koruyucu gaz: Argon

j. İlave tel çapı: 3,25 mm

k. Gaz debisi: 6 *l*/dk

5.2. Kaynaklı Parçalardan Deney Numunelerinin Çıkarılması

Kaynak edilen malzemelerin şekil 5.2`de gösterilen bölgelerinden, her bir kaynak çeşidi için 3' er adet 15 adet çekme, 15 adet eğme ve 5 adet mikroyapı olmak üzere toplam 35 adet deney numunesi çıkarılmıştır. Mikroyapı incelemeleri için hazırlanan numuneler daha sonra sertlik numunesi olarak kullanılmıştır.



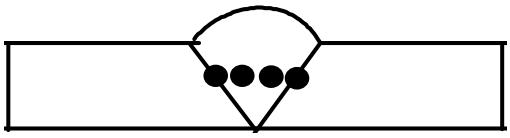
Şekil 5.2. Deney numunelerinin alındığı bölgelerin şematik gösterilişi.

5.2.1. Mikroyapı deneyi numunelerinin hazırlanması

Kaynak metali mikro yapısını incelemek amacıyla her kaynak çeşidinden 1 adet olmak üzere toplam 5 adet numune hazırlanmıştır. Numuneler kaynak dikişine dik yönde 15 mm genişliğinde kesilmiştir

Numunelerin inceleme yapılacak yüzeyleri zımpara taşı kullanılarak kabaca

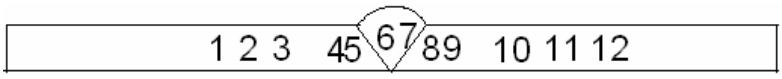
düzeltildikten sonra sırasıyla 180, 220, 320, 600, 800 ve 1200 numaralı SiC su zımparaları ile zımparalanmıştır. Zımparalama işlemi esnasında numuneler 90° döndürülerek her yönde eşit miktarda zımparalama işlemi gerçekleştirilmiştir. Zımparalama işlemi tamamlanan numuneler parlatma cihazında elmas pasta süspansiyonu kullanılarak parlatılmıştır. Mikroyapı numuneleri % 2'lik Nital'le dağlanmıştır. Dağlanan numuneler optik mikroskopta incelenerek istenilen büyültmelerde fotoğrafları alınmıştır.



Şekil 5.3. Numune mikroyapı inceleme noktaları

5.2.2. Sertlik deneyi numunelerinin hazırlanması

Mikroyapı incelemeleri için hazırlanan numuneler sertlik numunesi olarak da kullanılmıştır.

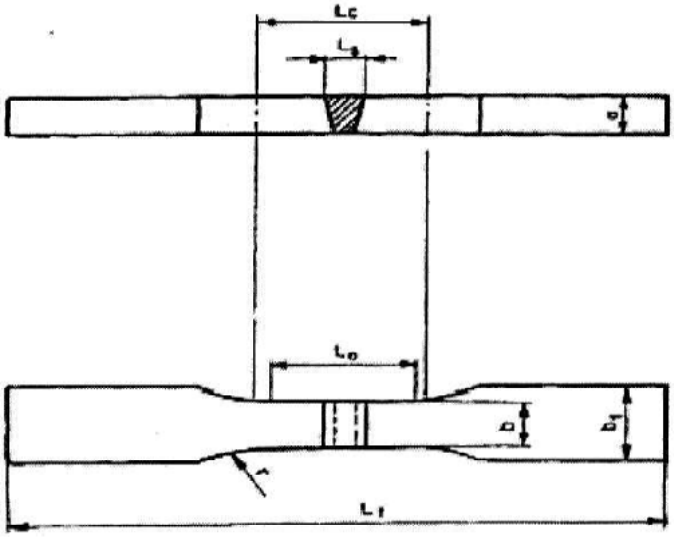


Şekil 5.4. Sertliği alınan bölgelerin şematik gösterilişi
1, 2, 3. RAEX AR400 Esas metal, 4. RAEX AR 400 İnce taneli bölge, 5. RAEX AR 400 İri taneli bölge, 6. RAEX AR 400 tarafı kaynak metali, 7. St 37 tarafı kaynak metali, 8. St 37 İri taneli bölge, 9. St 37 İnce taneli bölge, 10, 11, 12. St 37 Esas metal

Her numune için ITAB bölgesinden, kaynak metali ve ana malzeme bölgelerinden 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 sertlik değerleri belirlenmiştir.

5.2.3. Çekme deneyi numunelerinin hazırlanması

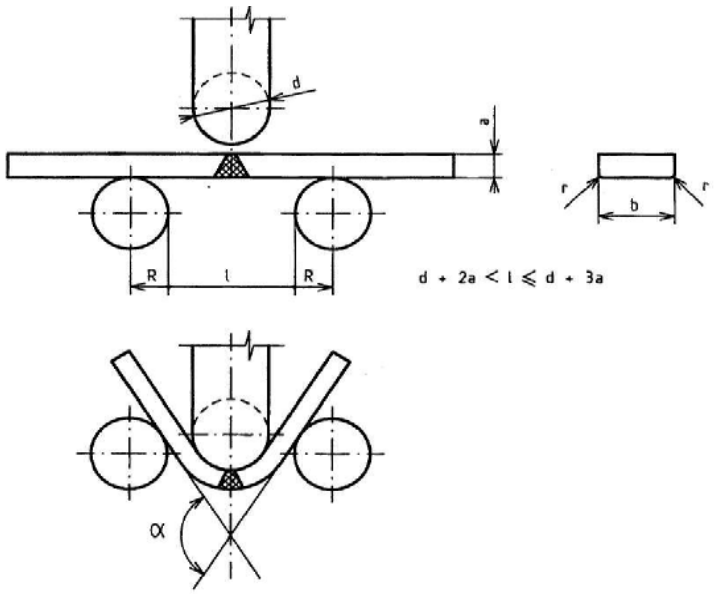
Çekme deney numunelerinin hazırlanmasında freze tezgâhı kullanılmıştır. Her kaynak çeşidinden 3 adet olmak üzere toplam 15 adet çekme deney numunesi hazırlanmıştır. TS 287 (EN 895)'de belirtilen şartlara göre (Şekil 5.5) EMEK BORU A.Ş malzeme muayene laboratuarında 60 ton'luk Instron SATEL çekme cihazında deney yapılmıştır.



Şekil 5.5. Standart çekme deney numunesi [52]

5.2.4. Eğme deneyi numunelerinin hazırlanması

Eğme deney numunelerinin hazırlanmasında freze tezgâhı kullanılmıştır. Her kaynak çeşidinden 3 adet olmak üzere toplam 15 adet çekme deney numunesi hazırlanmıştır. TS 282 (EN 910)'de belirtilen şartlara göre (Şekil 5.6) EMEK BORU A.Ş malzeme muayene laboratuarında 40 ton'luk Heckert eğme cihazında deney yapıldı.



Şekil 5.6. Enine eğme deneyi [53]

6. DENEYSEL SONUÇLAR

6.1. Çekme Deneyi Sonuçları

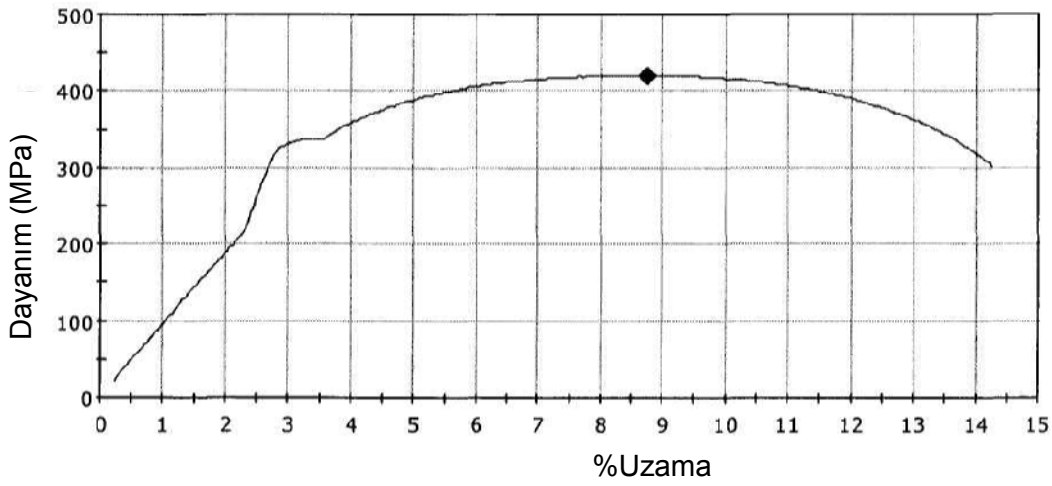
Çizelge 6.1. Uygulanan kaynak yöntemlerinin numaralandırılması

Malzeme No	Uygulanan kaynak yöntemi
1	Rutil elektrotlu elektrik ark kaynağı
2	Bazik elektrotlu elektrik ark kaynağı
3	SG2 elektrotlu, %CO_2 korumalı gazaltı kaynağı
4	SG2 elektrotlu, %88 Ar+%12 CO_2 korumalı gazaltı kaynağı
5	İlave telli TIG kaynağı

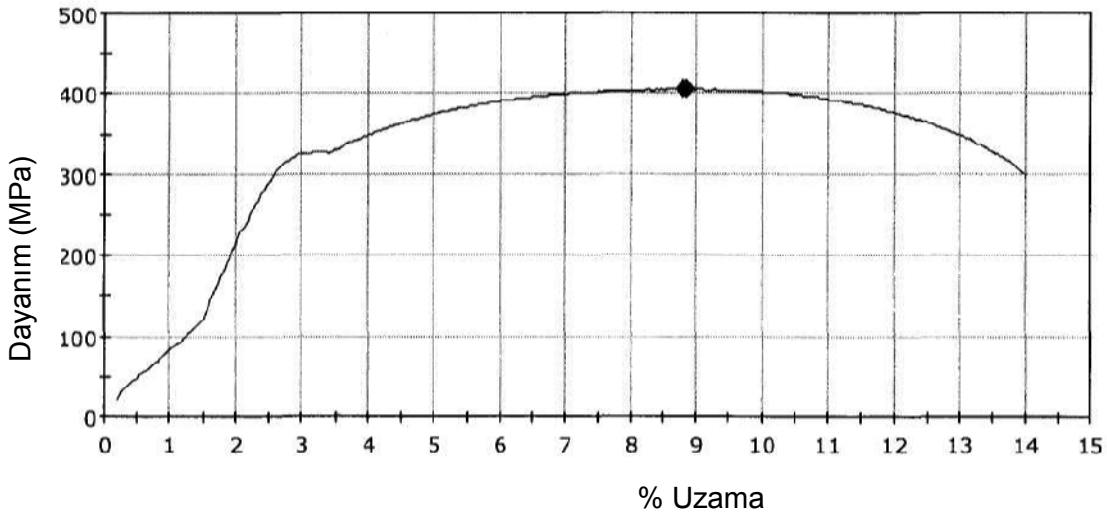
Çizelge 6.2. Çekme deney sonuçları

Malzeme No	Max. Yük (kN)	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Kopma Yeri
1	20,53	420,64	332,50	14,3	St-37 tarafı
2	20,79	425,95	338,70	14,0	St-37 tarafı
3	21,01	430,62	342,40	14,9	St-37 tarafı
4	21,31	436,61	348,20	14,2	St-37 tarafı
5	20,50	418,72	330,65	16,1	St-37 tarafı

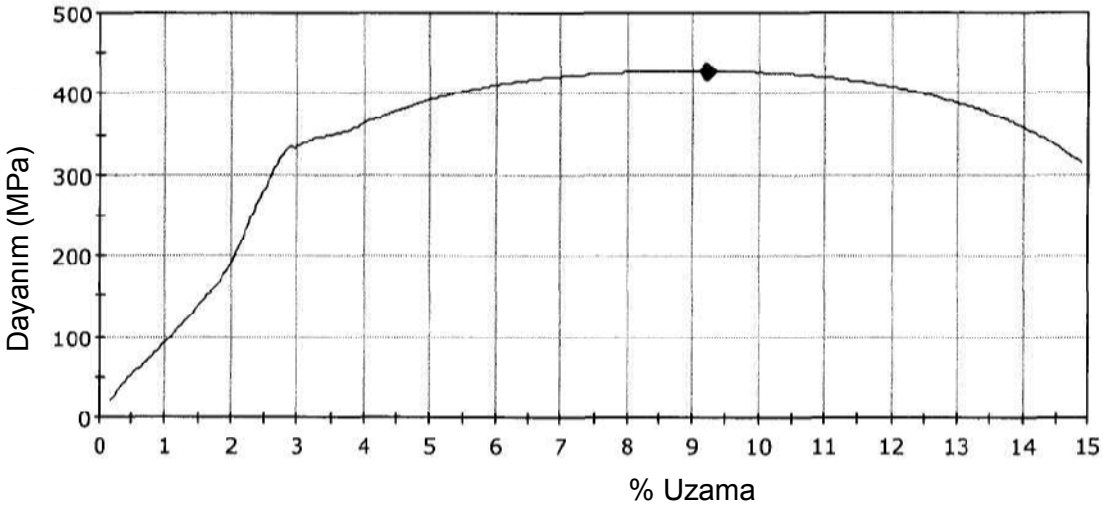
Akma, çekme mukavemeti ve % uzama sonuçlarının (Gerilme- % Uzama) grafikleri aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



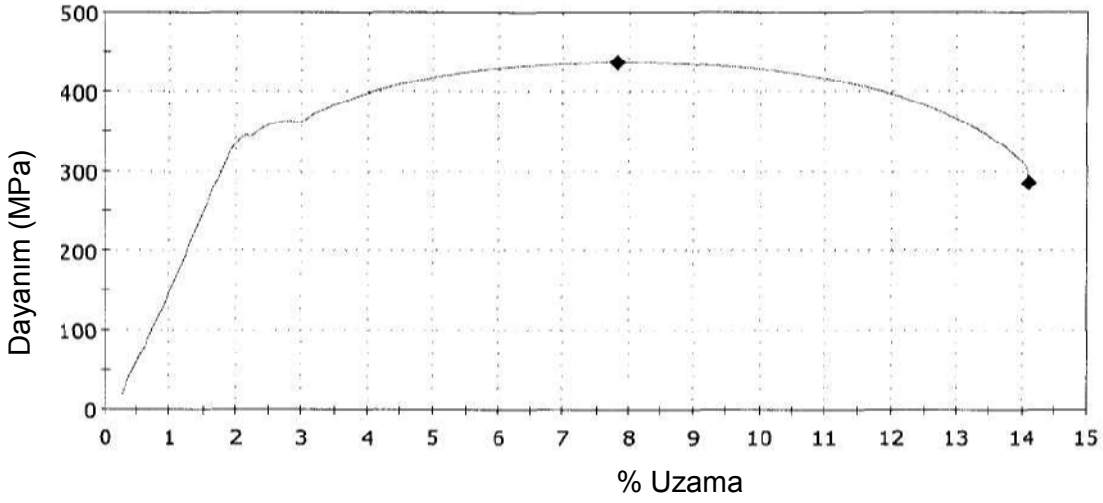
Şekil.6.1. 1 Numaralı numunenin (Rutil elektrodla kaynatılmış) çekme deneyi grafiği



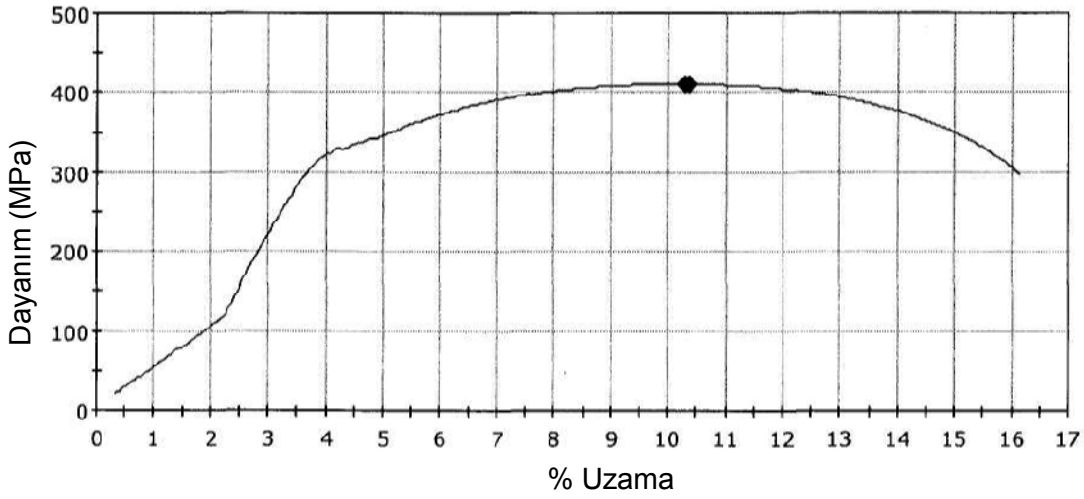
Şekil. 6.2. 2 Numaralı numunenin (Bazik elektrodla kaynatılmış) çekme deneyi grafiği



Şekil 6.3. 3 Numaralı numunenin (CO_2 atmosferi altında kaynatılmış) çekme deneyi grafiği



Şekil 6.4. 4 Numaralı numunenin (HB 212 atmosferi altında kaynatılmış) çekme deneyi grafiği

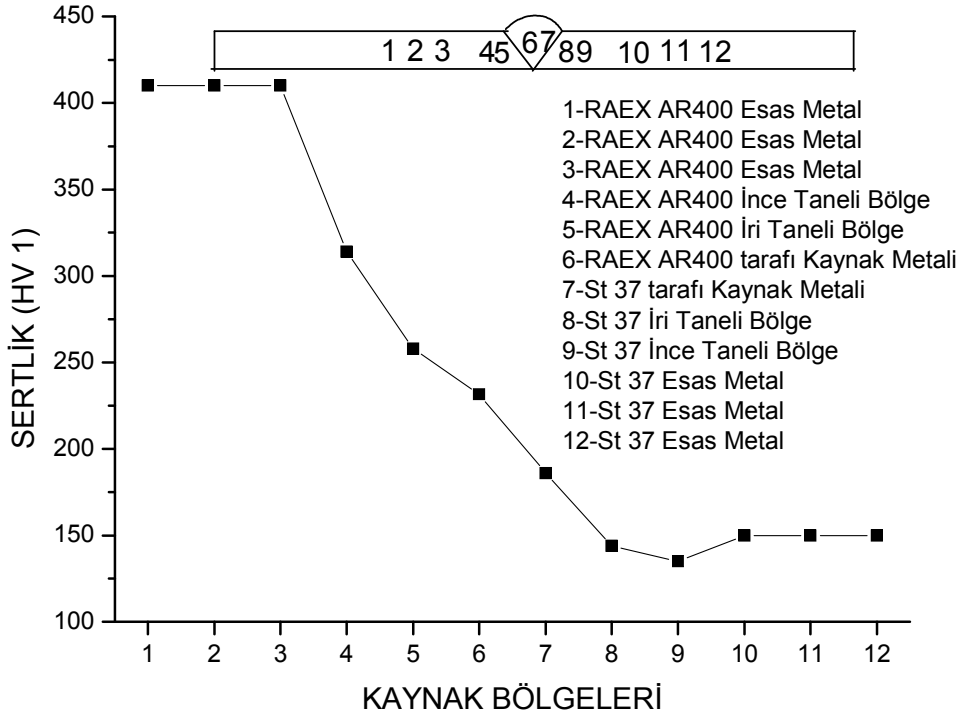


Şekil 6.5. 5 Numaralı numunenin (TIG kaynak yöntemi ile kaynatılmış) çekme deneyi grafiği

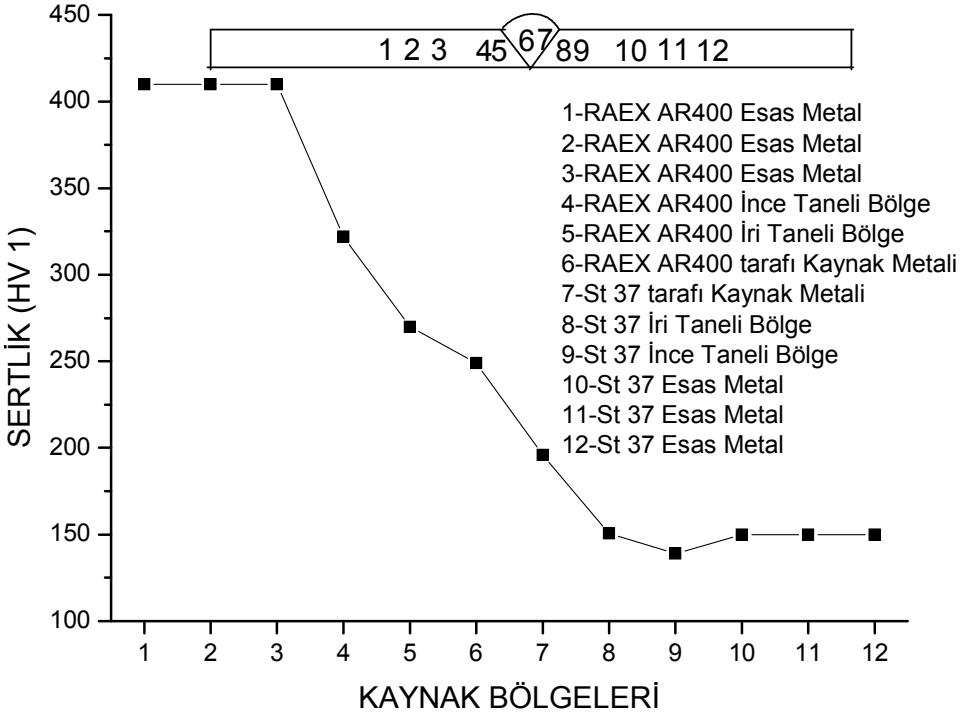
6.3.2.Sertlik deneyi sonuçları

Çizelge 6.3. Sertlik deneyi sonuçları (HV 1)

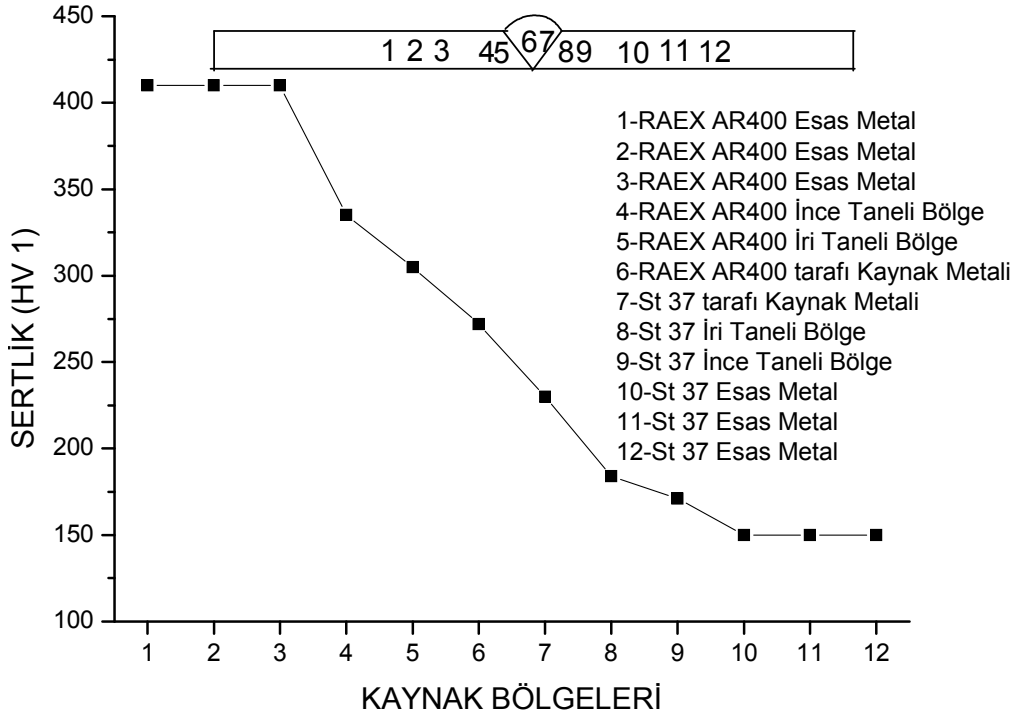
Kaynak Bölgeleri	Rutil	Bazik	SG2 Tel + %100 CO_2	SG2 Tel + %12 CO_2 + % 88 Argon	TIG
1	410	410	410	410	410
2	410	410	410	410	410
3	410	410	410	410	410
4	314	322	335	328	285
5	258	270	305	290	251
6	231,5	249	272	260	224
7	186	196	230	208	175
8	144	150,5	184	168,5	135
9	135	139	171	155	125
10	150	150	150	150	150
11	150	150	150	150	150
12	150	150	150	150	150



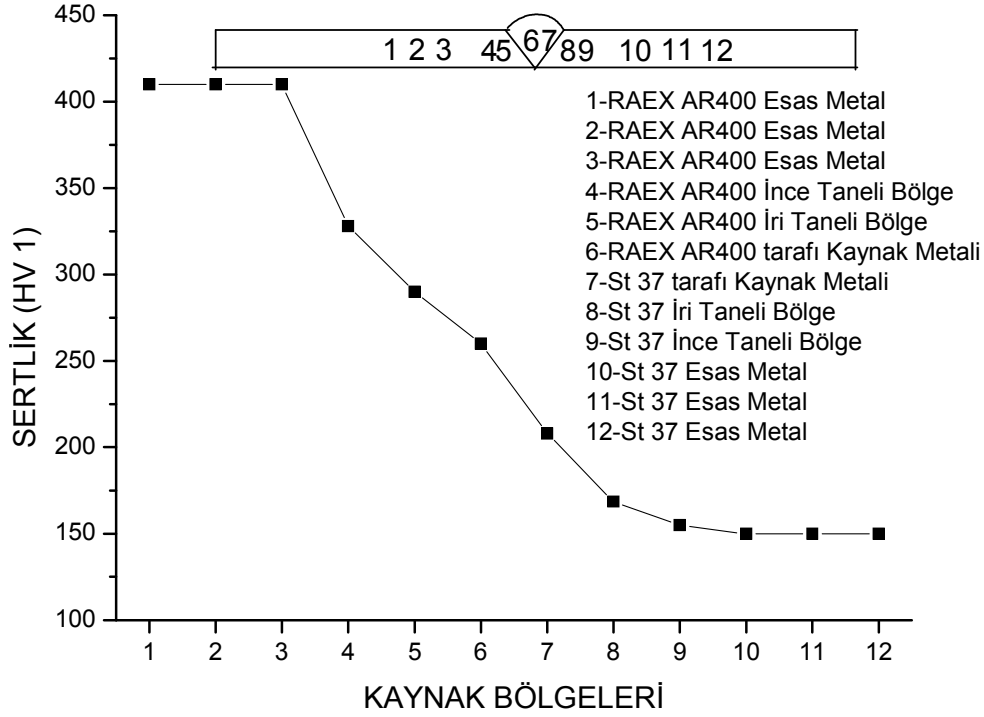
Şekil 6.6. 1 Numaralı numunenin (Rutil elektrotla kaynatılmış) sertlik ölçüm değerleri



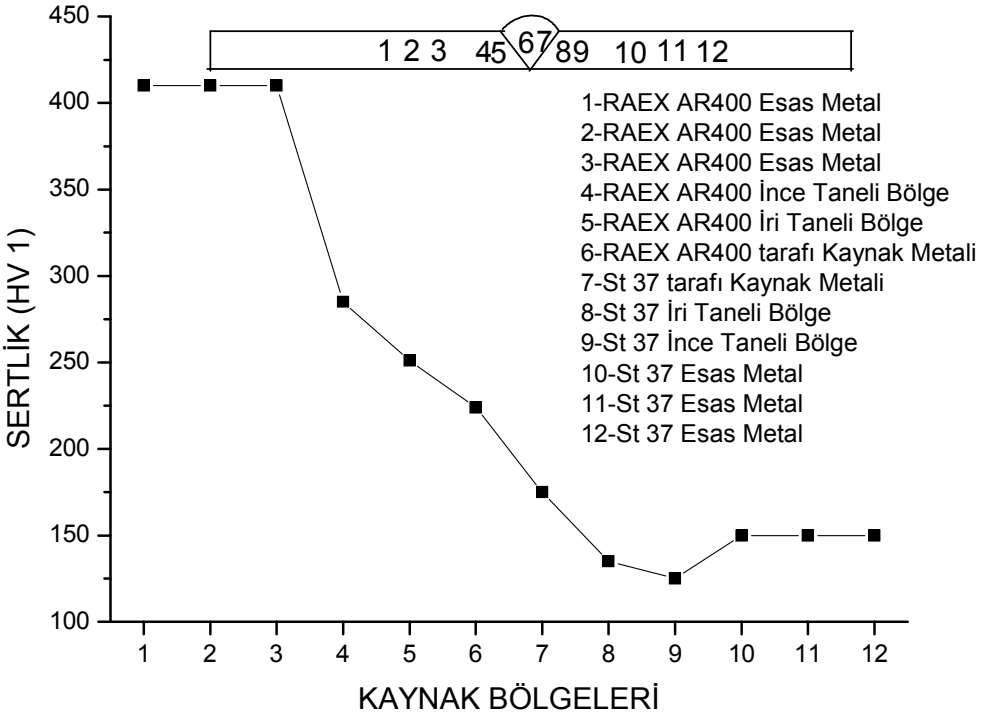
Şekil 6.7. 2 Numaralı numunenin (Bazik elektrotla kaynatılmış) sertlik ölçüm değerleri



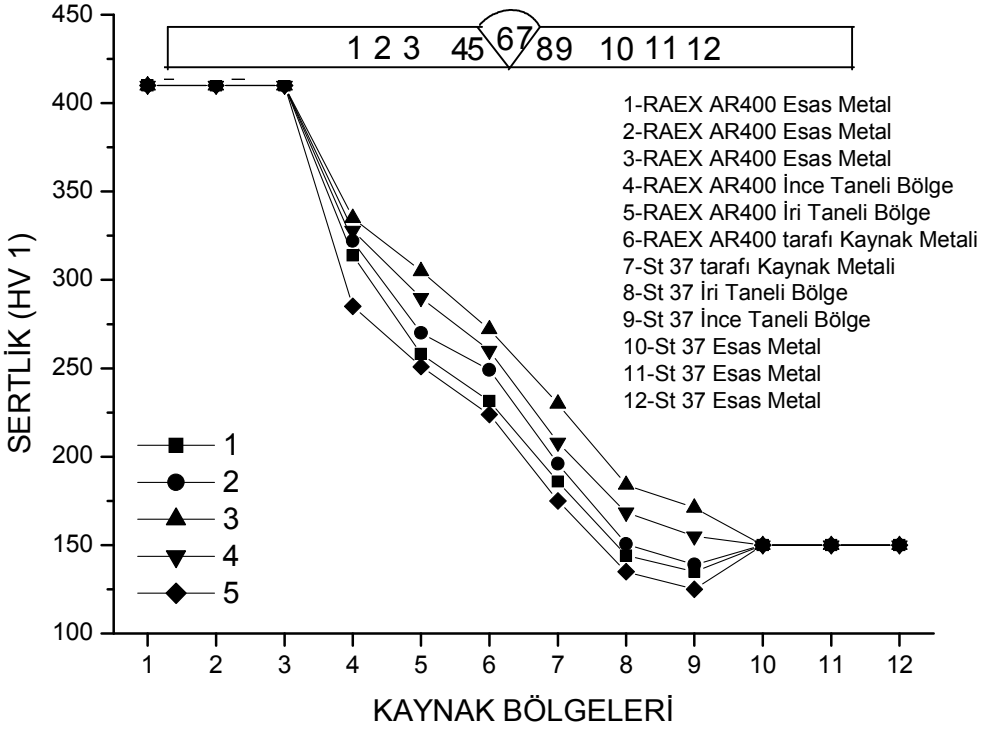
Şekil 6.8. 3 Numaralı numunenin (CO_2 atmosferi altında kaynatılmış) sertlik ölçüm değerleri



Şekil 6.9. 4 Numaralı numunenin (HB 212 atmosferi altında kaynatılmış) sertlik ölçüm değerleri



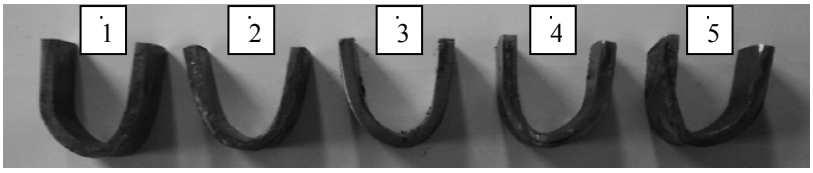
Şekil 6.10. 5 Numaralı numunenin (TIG kaynak yöntemi ile kaynatılmış) sertlik ölçüm değerleri



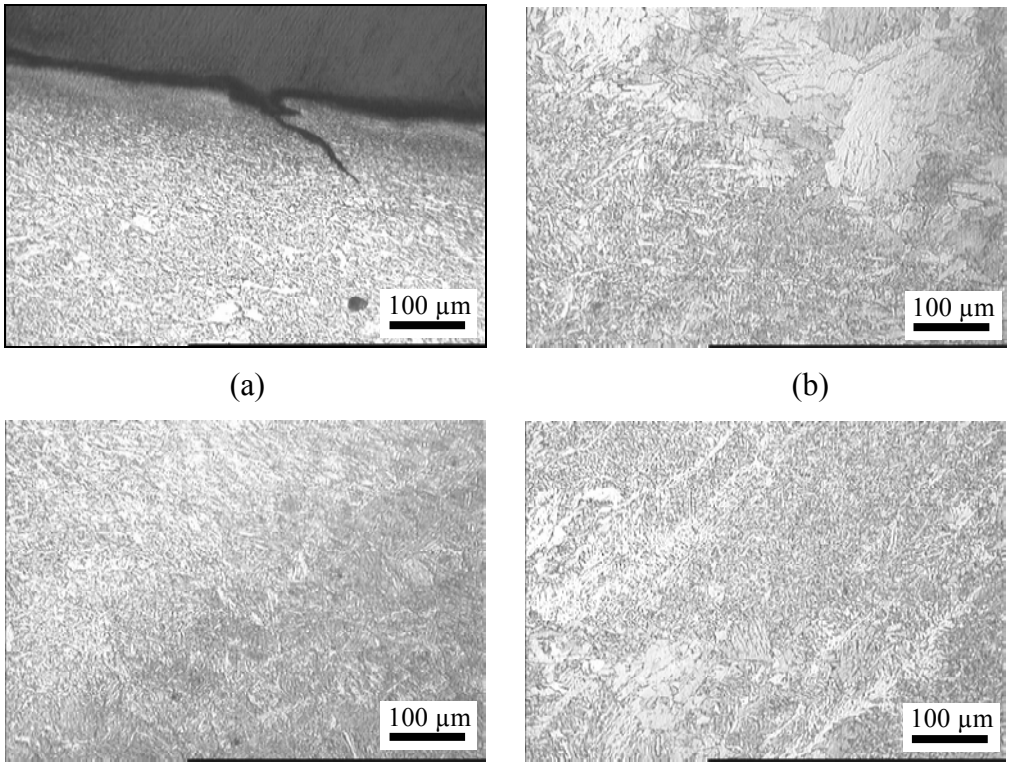
Şekil 6.11. Deney numunelerinin sertlik ölçüm değerleri

6.3.3.Eğme deneyi sonuçları

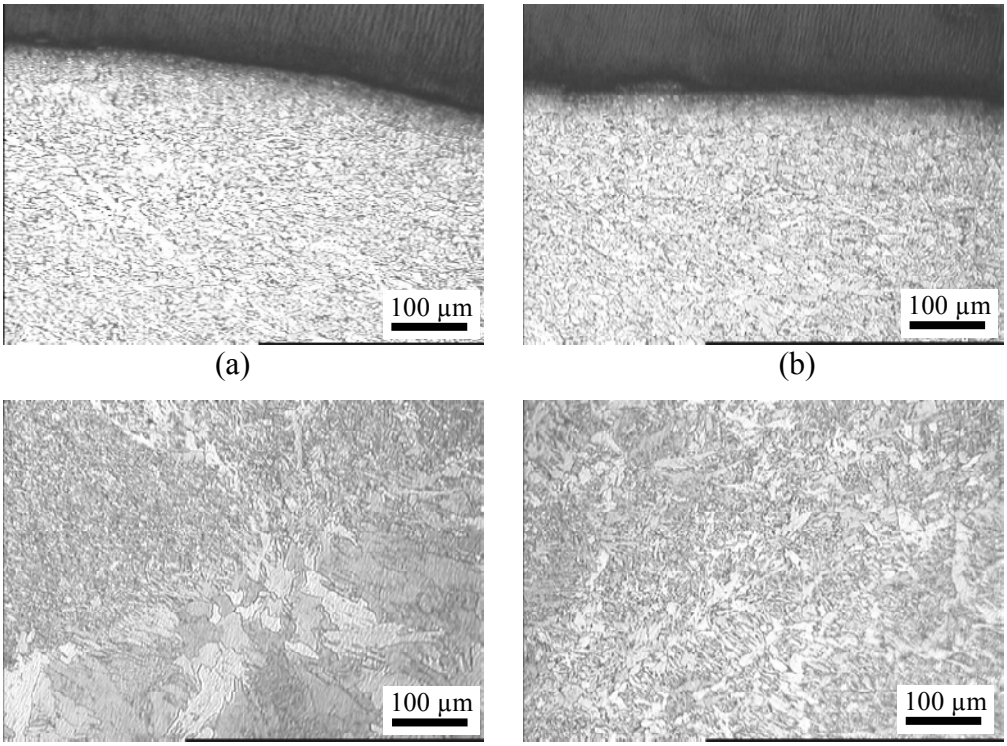
Eğme numuneleri, eğme testi sonrası kaynak bölgesinde çatlak varlığını araştırmak amacıyla kaynak bölgelerinden numune alınarak, metalografik incelemeye tabi tutuldu. Resim 6.2-6'da bütün numunelere ait eğme bölgelerinin mikroyapıları görülmektedir. Mikroyapılardan görülebileceği üzere eğme sonrası 1 numaralı (Rutil elektrotla kaynatılmış) eğme numunesi haricinde kaynak bölgesinde çatlak gözlenmemiştir. Bu durum numunelerde kaynak bölgesi kalitesinin oldukça iyi olduğunu göstermektedir.



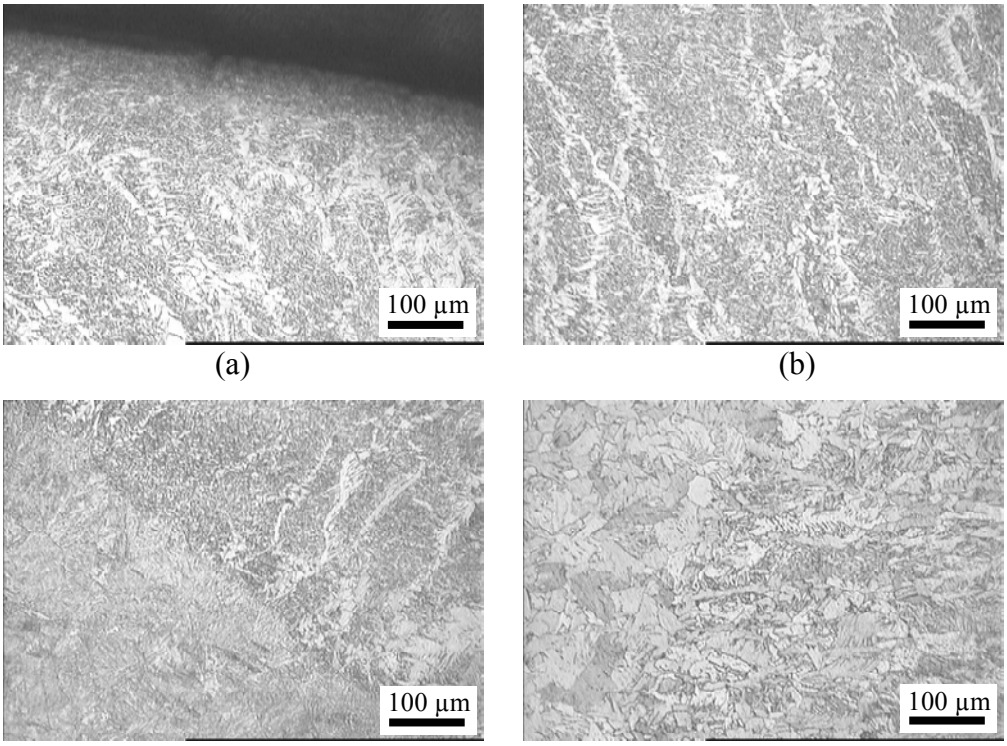
Resim 6.1. Eğme deneyi numunelerinin eğme deneyi sonrasında genel görünümü 1) Rutil elektrotla kaynatılmış, 2) Bazik elektrotla kaynatılmış, 3) CO_2 atmosferi altında kaynatılmış, 4) HB 212 atmosferi altında kaynatılmış, 5) TIG kaynak yöntemi ile kaynatılmış



Resim 6.2. 1 numaralı (Rutil elektrotla kaynatılmış) numunenin eğme testi sonrası kaynak ve geçiş bölgesi mikroyapıları: a) Kaynak metali yüzey bölgesi, b) St 37 tarafı kaynak geçiş bölgesi, c) Raex ar 400 tarafı kaynak geçiş bölgesi d) St 37 tarafı kaynak metali



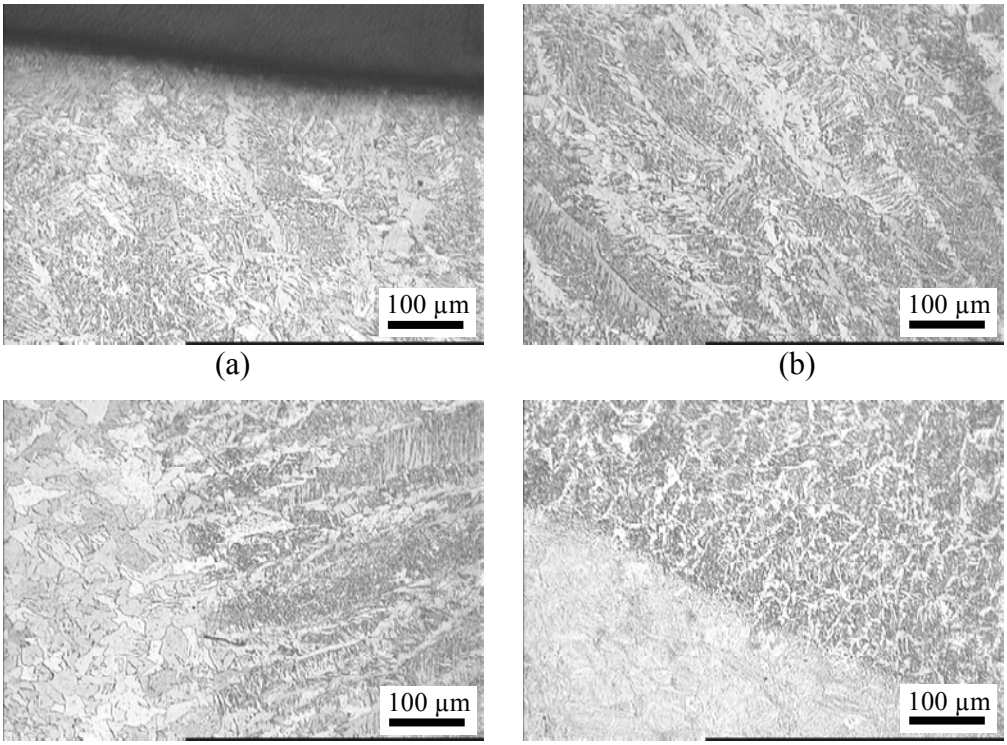
Resim 6.3. 2 numaralı (Bazik elektrotla kaynatılmış) numunenin eğme testi sonrası kaynak ve geçiş bölgesi mikroyapıları: a) Kaynak metali yüzey bölgesi, b) Kaynak metali yüzey bölgesi, d) St 37 tarafı kaynak geçiş bölgesi, c) Raex ar 400 tarafı kaynak geçiş bölgesi



(a) (b)

(c) (d)

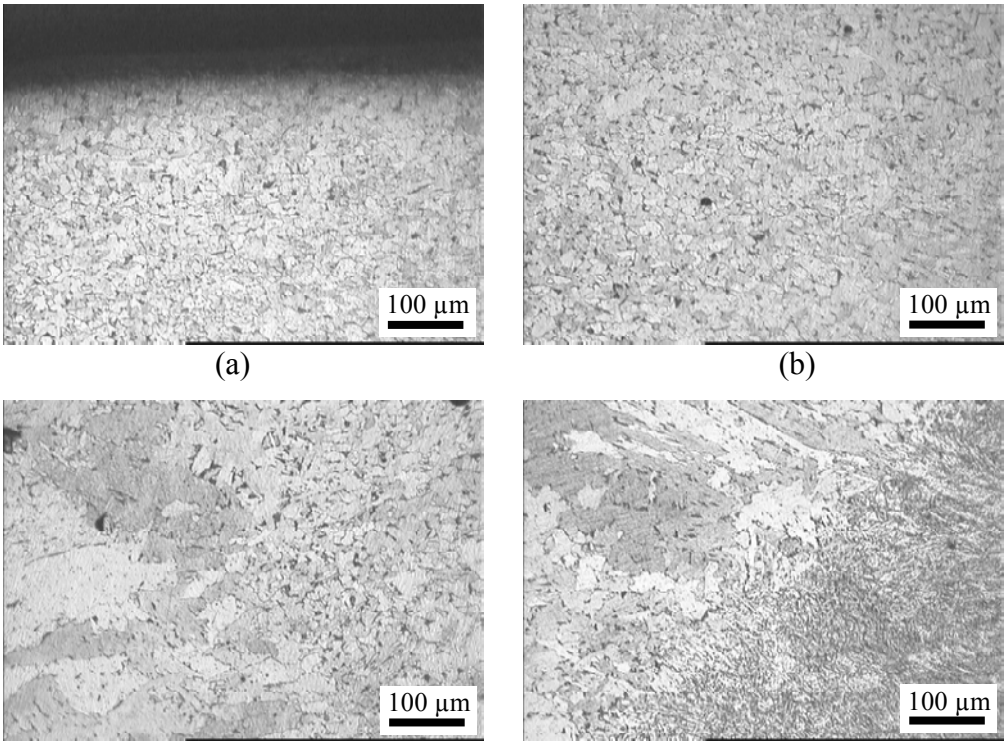
Resim 6.4. 3 numaralı (CO_2 atmosferi altında kaynatılmış) numunenin eğme testi sonrası kaynak ve geçiş bölgesi mikroyapıları: a) Kaynak metali yüzey bölgesi, b) Raex ar 400 tarafı kaynak metali, c) Raex ar 400 tarafı kaynak geçiş bölgesi, d) St 37 tarafı kaynak geçiş bölgesi



(a) (b)

(c) (d)

Resim 6.5. 4 numaralı (HB 212 atmosferi altında kaynatılmış) numunenin eğme testi sonrası kaynak ve geçiş bölgesi mikroyapıları: a) Kaynak metali yüzey bölgesi, b) St 37 tarafı kaynak metali, c) St 37 tarafı kaynak geçiş bölgesi, d) Raex ar 400 tarafı kaynak geçiş bölgesi

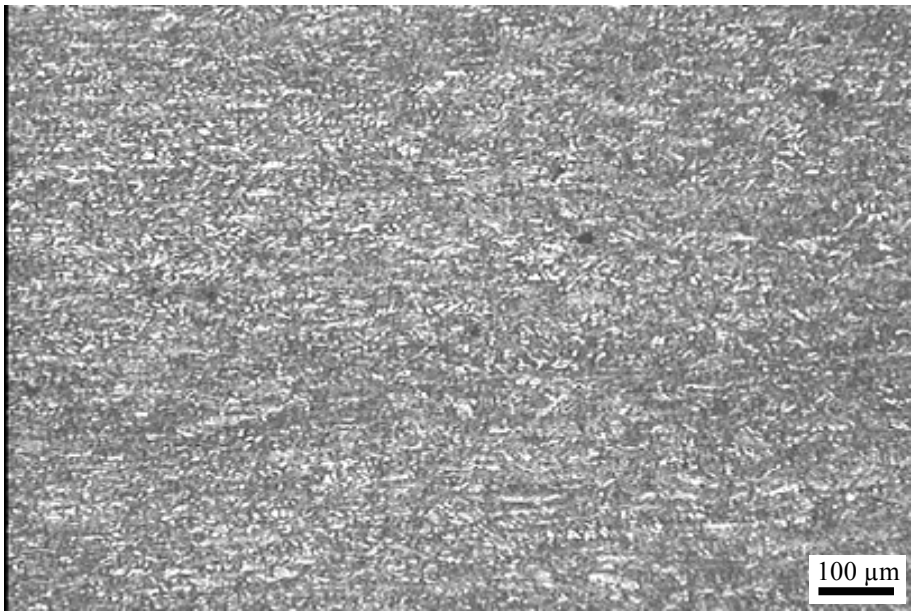


Resim 6.6. 5 numaralı (TIG kaynak yöntemi ile kaynatılmış) numunenin eğme testi sonrası kaynak ve geçiş bölgesi mikroyapıları: a) Kaynak metali yüzey bölgesi, b) St 37 tarafı kaynak metali, c) Raex ar 400 tarafı kaynak geçiş bölgesi, d) St 37 tarafı kaynak geçiş bölgesi.

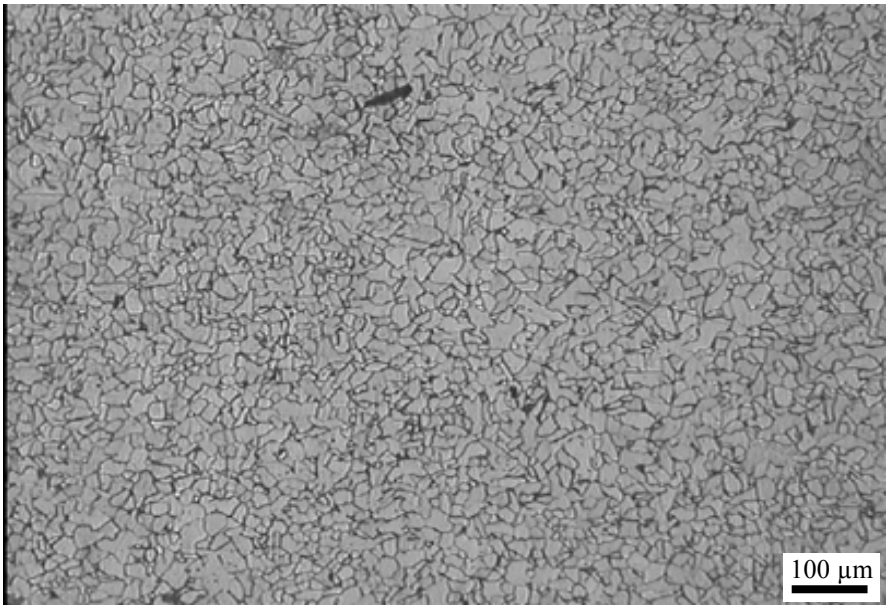
Çizelge 6.4. Eğme deneyi sonuçları

Malzeme	180° eğme sonucu
1. Nolu Malzeme	1 Numunede çatlama görüldü.
2. Nolu Malzeme	3 Numunede çatlama görülmedi
3. Nolu Malzeme	3 Numunede çatlama görülmedi
4. Nolu Malzeme	3 Numunede çatlama görülmedi
5. Nolu Malzeme	3 Numunede çatlama görülmedi

6.3.4. Mikroyapı deney sonuçları

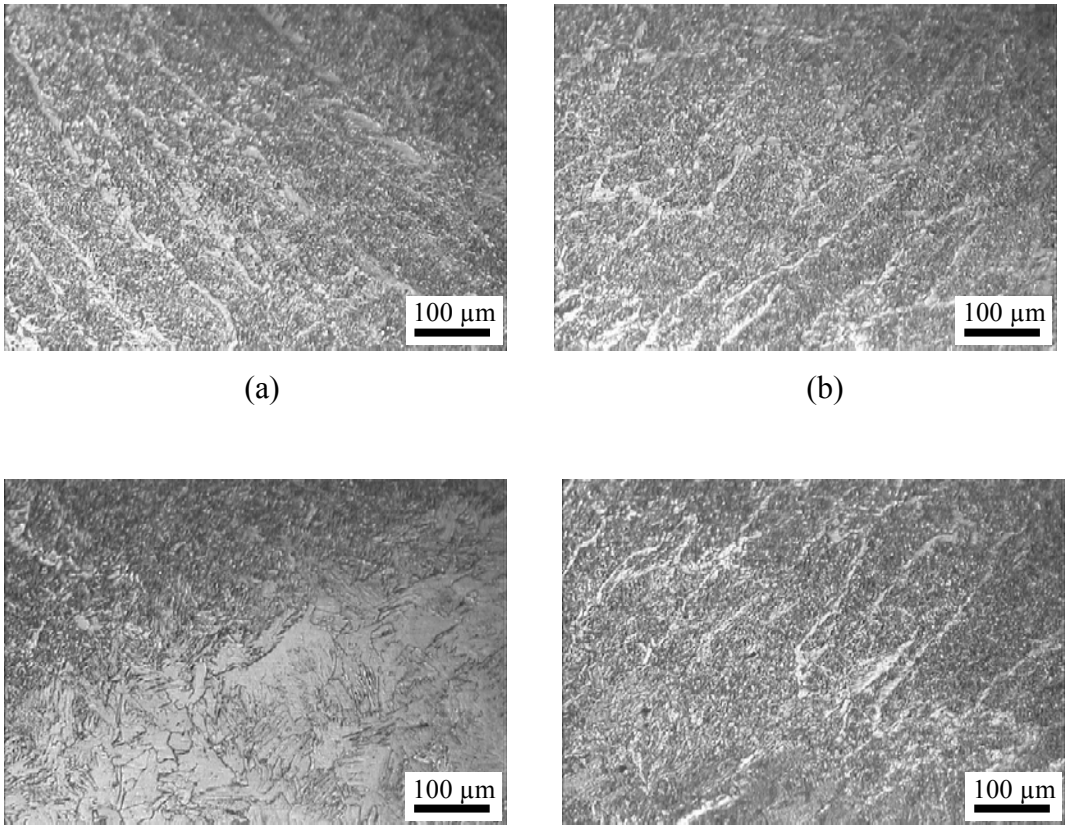


(a)



(b)

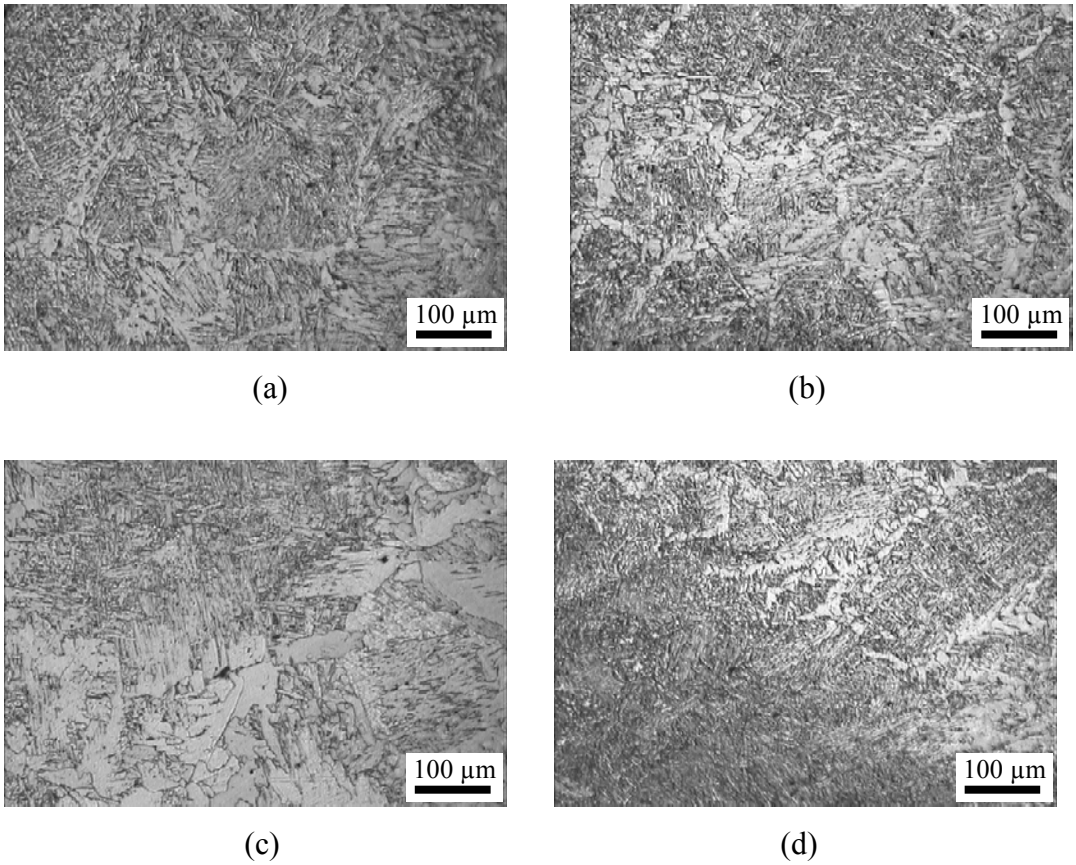
Resim 6.7. Ana malzemelerin mikroyapıları; a) Raex ar 400 Esas Metal ve b) St–37 Esas metal



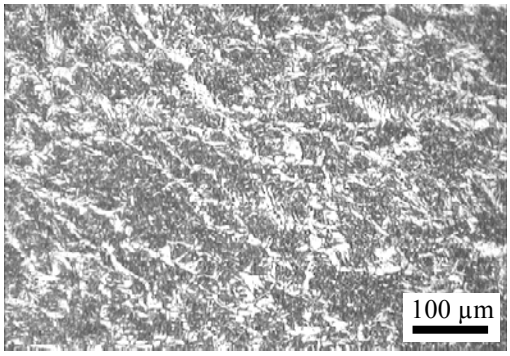
(a) (b)

(c) (d)

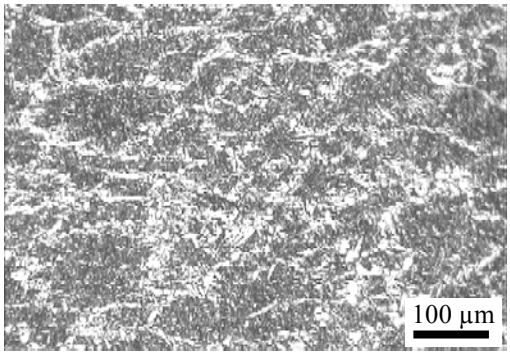
Resim 6.8. 1 numaralı (Rutil elektrotla kaynatılmış) numunenin kaynak ve geçiş bölgesi mikroyapıları: a) St 37 tarafı kaynak metali, b) Raex ar 400 tarafı kaynak metali, c) St 37 tarafı kaynak geçiş bölgesi, d) Raex ar 400 tarafı kaynak geçiş bölgesi



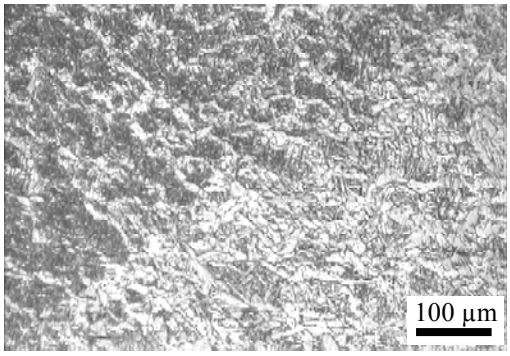
Resim 6.9. 2 numaralı (Bazik elektrotla kaynatılmış) numunenin kaynak ve geçiş bölgesi mikroyapı fotoğrafları: a) St 37 tarafı Kaynak metali, b)Raex ar 400 tarafı kaynak metali, c) St 37 Kaynak geçiş bölgesi, d) Raex ar 400 tarafı kaynak geçiş bölgesi



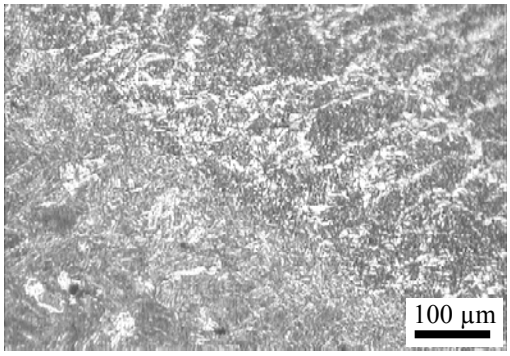
(a)



(b)

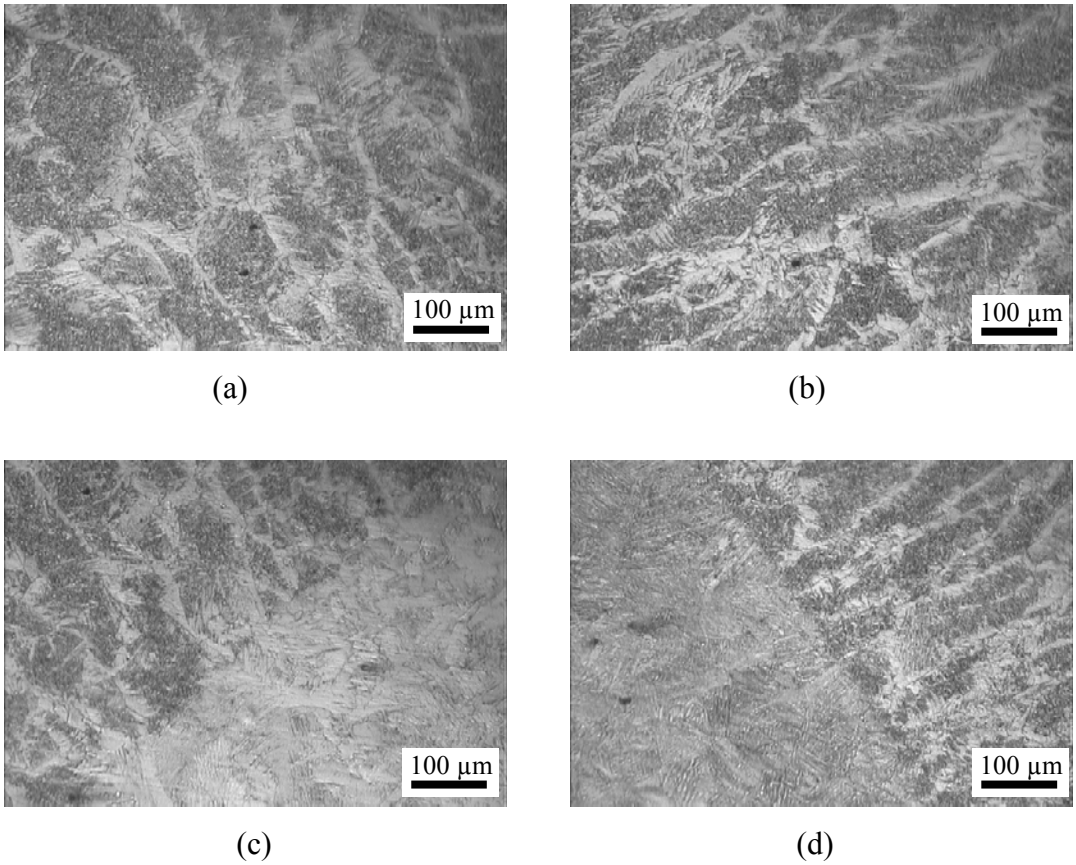


(b)

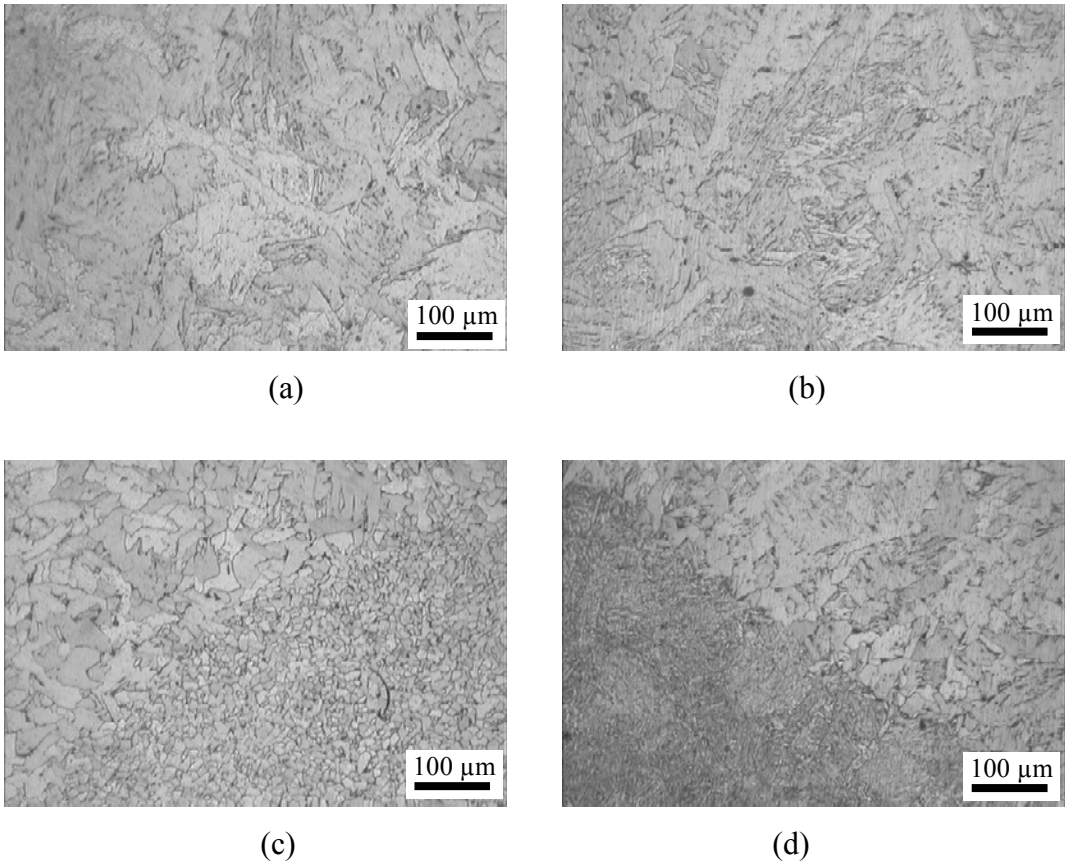


(d)

Resim 6.10. 3 numaralı (CO_2 atmosferi altında kaynatılmış) numunenin kaynak ve geçiş bölgesi mikroyapıları: a. St - 37 Kaynak metali, b) Raex ar 400 Kaynak metali, d) Raex ar 400 Kaynak geçiş bölgesi



Resim 6.11. 4 numaralı (HB 212 atmosferi altında kaynatılmış) numunenin kaynak ve geçiş bölgesi mikroyapıları: a.) St 37 Kaynak metali, b) Raex ar 400 Kaynak metali, c) St 37 Kaynak geçiş bölgesi, d) Raex ar 400 Kaynak geçiş bölgesi



Resim 6.12. 5 numaralı (TIG kaynak yöntemi ile kaynatılmış) numunenin kaynak ve geçiş bölgesi mikroyapıları: a) St 37 Kaynak metali, b)Raex ar 400 Kaynak metali, c) St 37 Kaynak geçiş bölgesi, d) Raex ar 400 Kaynak geçiş bölgesi

Çizelge 6.5**.** Kaynak yöntemlerine göre ITAB genişliği

Uygulanan kaynak yöntemi	ITAB Genişliği (mm)
Rutil elektrotlu elektrik ark kaynağı	19,50
Bazik elektrotlu elektrik ark kaynağı	19,30
SG2 elektrotlu, %CO_2 korumalı gazaltı kaynağı	12,50
SG2 elektrotlu, %88 Ar+%12 CO_2 korumalı gazaltı kay.	12,40
İlave telli TIG kaynağı	15,30

Kaynak yöntemlerine göre ITAB genişlikleri 10 büyültme yapabilen optik mercek kullanılarak mikrometre ile ölçülmüş, sonuçlar Çizelge 6.5' de verilmiştir**.**

7. TARTIŞMA

7.1. Çekme Deneyi Sonuçlarının Tartışılması

Birleştirilen numunelerin yüzde uzamaları ve akma mukavemetleri birbirlerine oldukça yakın ölçülmüştür. Numunelerin % uzamaları sırasıyla rutil elektrot için %14,3,bazik elektrot için%14,CO_2 atmosferi altındaki kaynak için %14,9, %12 CO_2 + %88 Argon atmosferi altındaki kaynak için %14,2 ve TIG kaynağı için %16,1 olarak elde edilmiştir.

Akma mukavemetleri ise rutil elektrot için 332,50 MPa, bazik elektrot için 338.70 MPa,CO_2 atmosferi altındaki kaynak için342.40 MPa, %12 CO_2 + %88 Argon atmosferi altındaki kaynak için 348,20 MPa ve TIG kaynağı için 330,65 MPa olarak elde edilmiştir.

Çekme mukavemetleri ise rutil elektrot için 420,64 MPa, bazik elektrot için 425.95 MPa,CO_2 atmosferi altındaki kaynak için 430,62 MPa, %12 CO_2 + %88 Argon atmosferi altındaki kaynak için 436,61 MPa ve TIG kaynağı için 418,72 MPa olarak elde edilmiştir.

Çizelge 6,2'de görüldüğü gibi en yüksek çekme mukavemeti %12 CO_2 + % 88 Argon atmosferi altında elde edilmiştir. Asiküler ferrit miktarının yapıda daha fazla olduğu dikkat çekmektedir. Asiküler ferritin dayanımı ve tokluğu arttırdığı bilinmektedir. Bundan sonra CO_2 atmosferi altındaki kaynaklı numune onu izlemektedir. Koruyucu gazda bulunan CO_2 gazının içerisindeki karbonun sertliği arttırdığı bilinmektedir. Bulunan bu sonuçta normal değerler arasındadır. Kaynak işlemi sırasında 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. Mikroyapıdaki değişikliğe bağlı olarak mukavemet ve sertlikte düşme görülmektedir. Buna bağlı olarak TIG kaynak yönteminde diğer kaynak yöntemlerine göre en düşük mukavemet değerleri elde edilmiştir.

7.2 Sertlik Deneyi Sonuçlarının Tartışılması

Raex ar–400 ile St–37 malzemelerin rutil elektrot ile yapılan kaynaklı birleştirmesinde ana metal, geçiş bölgesi ve kaynak bölgesi sertlik değişimi şekil 6.6' da verilmiştir.

Raex ar–400 malzemenin sertliği 410 HV (1, 2, 3. bölgeler), ince taneli bölge sertliği (4.bölge) 314 HV, iri taneli bölge sertliği (5.bölge) 258 HV ve kaynak metali sertliği (6. Bölge) 231,5 HV elde edilmiştir.

St-37 tarafı kaynak metali(7.bölge) sertliği 186 HV, iri taneli bölge sertliği (8.bölge) 144 HV, ince taneli bölge sertliği (9.bölge) 135 HV, ve esas metal sertliği de (10,11,12. Bölge) 150 HV elde edilmiştir.

Raex ar-400 ile St-37 malzemelerin bazik elektrot ile yapılan kaynaklı birleştirmesinde ana metal, geçiş bölgesi ve kaynak bölgesi sertlik değişimi şekil 6.7'de verilmiştir.

Raex ar-400 malzemenin sertliği 410 HV(1,2,3. bölgeler),ince taneli bölge sertliği (4.bölge) 322 HV, iri taneli bölge sertliği (5.bölge) 270 HV ve kaynak metali sertliği (6. Bölge) 249 HV elde edilmiştir.

St-37 tarafı kaynak metali(7.bölge) sertliği 196 HV, iri taneli bölge sertliği (8.bölge) 150.5 HV ince taneli bölge sertliği (9.bölge) 139 HV, ve esas metal sertliği de (10,11,12. Bölge) 150 HV elde edilmiştir.

Raex ar-400 ile St-37 malzemelerin CO2 atmosferi altında yapılan kaynaklı birleştirmesinde ana metal, geçiş bölgesi ve kaynak bölgesi sertlik değişimi şekil 6.8'de verilmiştir.

Raex ar-400 malzemenin sertliği 410 HV (1,2,3. bölgeler),ince taneli bölge sertliği (4.bölge) 335 HV, iri taneli bölge sertliği (5.bölge) 305 HV ve kaynak metali sertliği

(6. Bölge) 272 HV elde edilmiştir.

St-37 tarafı kaynak metali(7.bölge) sertliği 230 HV, iri taneli bölge sertliği (8.bölge) 184 HV, ince taneli bölge sertliği (9.bölge) 171 HV, ve esas metal sertliği de (10,11,12. Bölge) 150 HV elde edilmiştir.

Raex ar-400 ile St-37 malzemelerin, %12 CO_2 + % 88 Argon atmosferi altında yapılan kaynaklı birleştirmesinde ana metal, geçiş bölgesi ve kaynak bölgesi sertlik değişimi Şekil 6.9'da verilmiştir.

Raex ar-400 malzemenin sertliği 410 HV (1,2,3. bölgeler),ince taneli bölge sertliği (4.bölge) 328 HV, iri taneli bölge sertliği (5.bölge) 290 HV ve kaynak metali sertliği (6. Bölge) 260 HV elde edilmiştir.

St-37 tarafı kaynak metali(7.bölge) sertliği 208 HV, iri taneli bölge sertliği (8.bölge) 168.5 HV, ince taneli bölge sertliği (9.bölge) 155 HV, ve esas metal sertliği de (10,11,12. Bölge) 150 HV elde edilmiştir.

Raex ar-400 ile St-37 malzemelerin, TIG kaynağı ile yapılan birleştirmesinde ana metal, geçiş bölgesi ve kaynak bölgesi sertlik değişimi Şekil 6.10'da verilmiştir.

Raex ar-400 malzemenin sertliği 410 HV(1,2,3. bölgeler),ince taneli bölge sertliği (4.bölge) 285 HV, iri taneli bölge sertliği (5.bölge) 251 HV ve kaynak metali sertliği (6. Bölge) 224 HV elde edilmiştir.

St-37 tarafı kaynak metali(7.bölge) sertliği 175 HV, iri taneli bölge sertliği (8.bölge) 135 HV, ince taneli bölge sertliği (9.bölge) 125 HV, ve esas metal sertliği de (10,11,12. Bölge) 150 HV elde edilmiştir.

Şekil 6.(6-11) incelendiğinde CO_2 atmosferi altında yapılan kaynaklı birleştirmenin en yüksek sertlik değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Koruyucu gaz olarak kullanılan CO_2 'nin kaynak esnasında $CO+1/2\ O_2$ olarak ayrışması ve devam eden

reaksiyonlar ($CO = C + 1/2\ O_2$) neticesinde serbest kalan karbonun kaynak metali içerisine geçmesi ile sertliği arttırmasından kaynaklanmaktadır. Aynı şekilde HB 212 gazı altında yapılan kaynakta da sertlik diğerlerine göre yüksektir. Buradaki sertlik artışı CO_2 gazındaki reaksiyonun bir sonucu olarak karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca 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. Buna bağlı olarak TIG kaynak yönteminde diğer kaynak yöntemlerine göre en düşük sertlik değerleri elde edilmiştir.

Bütün kaynak bölgelerinin sertliği uluslararası kaynak enstitüsünün belirlediği kritik sertlik olan 350 VSD' nin altında olup, aşınmaya dayanıklı Raex ar 400 çeliğinin kaynak bölgesi kaynak emniyetini bozacak değerde değildir. Dolayısıyla, kaynakta sertlik açısından problem görülmemiştir.

7.3. Eğme Deneyi Sonuçlarının Tartışılması

Eğme deneyi sonucunda Raex ar-400 ile St-37 malzemelerin bazik elektrot, CO_2 atmosferi altında, % 12 CO_2 + % 88 Argon atmosferi altında ve TIG kaynağı ile yapılan birleştirme numunelerinde çatlama görülmemiştir. Rutil elektrotla birleştirme yapılan bir eğme numunesinde görülen çatlağın malzeme yüzeyindeki hatalardan meydana geldiği düşünülmektedir. Eğme deneyi sonuçları yeterli nüfuziyet ve birleştirme kalitesinin elde edildiğini, kullanılan ilave malzemelerin ana yapıyla uygun sünekliğe sahip olduğunu göstermektedir. Sertlik sonuçları da bulunan bu eğme sonuçlarını desteklemektedir.

7.4. Mikroyapı Deneyi Sonuçlarının Tartışılması

Resim 6.7' de görüldüğü gibi St-37 ana metal mikroyapısı ferrit-perlit fazlarından oluşmakta ve perlit fazı kısmen ferrit tane sınırlarında oluşmuştur. Bu mikroyapı ana metalin ITAB dışında kalan bölgesine aittir.

Resim 6.7’ de görüldüğü gibi Raex ar-400 ana metal mikroyapısı ferrit ve perlit fazlarından oluşmuş, uzamış tanelerden meydana gelmiştir. Perlit fazı ferrit fazları arasında düzenli bir şekilde dağılmış olarak görülmektedir.

Kaynak metali mikroyapısı, onun soğuma sırasındaki dönüşümünün bir sonucudur. Düşük alaşımlı ve düşük karbonlu çeliklerdeki kaynaklar ferritik yapıya sahiptir. Östenit-ferrit faz dönüşüm sıcaklığına bağlı olarak birbirinden farklı birçok ferrit morfoloji formları vardır. Ostenitten primer ferrit, widmanstatten kenar levhaları, asiküler ferrit dönüşümü olabilmektedir. Kaynak metalinin kimyasal bileşimi, soğuma hızı, inklüzyon yoğunluğu final mikroyapısını tayin eden faktörlerdir.

Çeliklerin kaynağında ITAB, iç yapı özellikleri bakımından; iri taneli bölge, ince taneli bölge, kısmen değişmeye uğramış bölge ve iç yapı değişikliğine uğramamış esas metal bölgesi olarak dört kısma ayrılır. İçyapı değişikliğine uğramamış veya temperlenmiş bölge kaynak sırasında Fe-C denge diyağramında A_1 (723 °C) noktasının altında bulunur ve genel olarak hiçbir içyapı değişikliğine uğramaz. Sıcaklığın daha yükselmesi ferrit ve östenit arasındaki denge konumunu bozar. Östenit taneleri ferrit taneleri ile birleşerek büyür ve östenitin ihtiva ettiği karbon miktarı düşer. Maksimum sıcaklığın A_3 sıcaklığına ulaşmadığı bu bölgede yalnızca ferritin bir bölümü dönüşüme uğramıştır. Meydana gelen östenit taneleri orijinal ferrit tanelerinden daha iridir. Soğuma sırasında ferrit ile östenit arasındaki denge bozulur. Sonunda ferrit, östenit içerisinde, tercihen tane sınırlarında bazen de östenit tanesi içinde çekirdekleşir. Soğuma çekirdeklenmeyi teşvik eder ve sonunda östenit karbon bakımından zenginleşir. Sıcaklık 723 °C düştüğünde kalan östenit perlite dönüşür ve perlit çekirdeklerinin büyümesi başlar Isınma ve soğuma çevrimi sonunda orijinal ferrit taneleri ufalır, orijinal perlit taneleri ise, küçük ferrit ve perlit tanelerinden meydana gelen koloniler şeklinde ortaya çıkar [3].

Elektrik ark kaynaklarında çelik kaynak metalinde östenit A_3 sıcaklığı altına soğutulduğunda östenit tane sınırlarında primer tane sınırı ferriti teşekkül eder. Bundan sonra ferrit-östenit tane sınırlarında widmanstatten kenar levhaları veya ferrit kenar

levhaların çekirdeklenmesi ve büyümesi gerçekleşir. İlk iki fazın büyüme hızı östenitte karbon yayınma hızına bağlıdır. Daha sonra östenit taneleri içerisinde asiküler ferrit taneleri inklüzyonlarda çekirdeklenir. Asiküler ferrit taneleri büyüdükten sonra kalan östenit mikrofazlara dönüşür. Mikrofaz martensit, bozunmuş perlit, beynit, kalıntı östenit olabilir. Bu fazlar genellikle kaynak metalinde az hacım oranı teşkil ettiklerinden mikrofaz olarak adlandırırlar. Kaynak metalinde önemli olan üç fazdır: Primer ferrit, widmanstatten kenar levhalan ve asiküler ferrit fazları. Kaynak soğuma hızına bağlı olarak asiküler ferrit teşekkül etmez ise kaynak soğuma hızına bağlı olarak primer ferrit veya beynit dönüşümü gerçekleşir. Yavaş soğuma hızlarında primer ferrit, hızlı soğuma hızlarında beynit oluşur [54].

Çelik kaynak metalinde $\Delta t_{8/5}$ (800–500 °C arası soğuma süresi) süresine bağlı olarak farklı mikroyapılar meydana gelir. $\Delta t_{8/5\ kadar}$ çelik kimyasal bileşimi de final mikroyapıyı etkilediğini unutmamak gerekir. Genellikle $\Delta t_{8/5}$ 5 saniyeden az olursa mikroyapı martensit ve/veya beynit olur. $\Delta t_{8/5}$ 100 saniyeden fazla olursa poligonal ferrit ve perlit final mikroyapı olur. İki değerin arasındaki $\Delta t_{8/5}$ için mikroyapı çelik kimyasal bileşimine bağlı olarak yüksek miktarda asikül ferrit hacim oranı elde edilir. Soğuma hızı azaldıkça asiküler ferrit hacim oranı azalmaktadır. $\Delta t_{8/5}$ süresine tesir eden faktörler kaynak yöntemi, kaynak ısı girdisi, parça kalınlığı ve kaynak geometrisidir. Kaynak ısı girdisi arttıkça asiküler ferrit oranı azalır. Kaynak ısısı arttıkça primer ferrit, widmanstatten kenar levhaları hacim oranı artarken asiküler ferrit oranı azalır.

Asiküler ferrit az alaşımlı çelik kaynak metalinde östenitten dönüşüm ile elde edilen bir fazdır. Asiküler ferrit hacim oranının artması kaynak metalinin mukavemetini ve bilhassa tokluğunu arttırdığından önemli bir fazdır. Asiküler kelimesi iğne gibi şekillenmiş ve sivrilmiş anlamına gelir. Asiküler ferritin metal mikroskobunda görülen iki boyutlu görüntüsü iğneye benzediği için bu faza asiküler adı verilmiştir[54].

Rutil elektrot (1 Numaralı malzemeler) ile yapılan birleştirme sonucu elde edilen kaynak metali mikroyapıları (Resim 6.8) birbirlerine oldukça yakın fotoğraf vermiştir. Mikroyapılar incelendiğinde ferrit ve perlit fazlarından meydana geldiği yapıda düzensiz olarak dağılmış ince uzun ferrit tanelerinin arasında bulunan daha

kalın taneli perlitler görülmektedir. St–37 tarafı ana metal kaynak metali geçişi oldukça net bir şekilde birbirinden ayırt edilebilmektedir (resim 6.8). Ana metal tarafındaki iri uzun taneler zaman zaman girintili çıkıntılı tane sınırları sergilemektedir. Yapı ferrit ve perlitten meydana gelmiştir. Perlit dağılımı iri taneli bölgede daha azdır. Resim 6.8.a ve b'de asiküler ferritlerin de oluştuğu görülmektedir. Asiküler ferritin kaynak soğuma hızına bağlı olarak meydana geldiği bunun da düşük ısı girdisinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Resim 6.8.c ve d'de ise perlit yoğunluğunun kaynak metaline göre biraz daha arttığı ve yapının ferrit, widmanstatten ferrit ve perlitten meydana geldiği görülmektedir. Yapıda meydana gelen widmanstatten fazının da bölgenin kaynak geçiş bölgesi olması ve soğuma hızının da yavaş olmasından kaynaklanmaktadır. Resim 6.8.a,b,c ve d'de görülen asiküler ferritin ince olması Mn alaşım elementinin sebep olduğu beklenen bir sonuçtur.

Bazik elektrot (2 Numaralı malzemeler) ile yapılan birleştirme sonucu elde edilen kaynak metali mikroyapıları (Resim 6.9) birbirlerine oldukça yakın yapı vermiştir. Yapı ferrit ve perlit fazlarından oluşmaktadır. Kaynak metalinde zaman zaman dentritik yapılaşmanın olduğu görülmektedir. Yapıda asiküler ferritin olduğu da tespit edilmiştir. St–37 tarafı ana metal kaynak metali geçişi oldukça net bir şekilde birbirinden ayırt edilebilmektedir (Resim 6.9). Ana metal tarafındaki iri uzun taneler zaman zaman girintili çıkıntılı tane sınırları sergilemektedir. Yapı ferrit ve perlitten meydana gelmiştir. Perlit dağılımı iri taneli bölgede daha azdır. Resimler tek tek incelenecek olursa resim 6.9 a'da asiküler ferrit ve tane sınırı ferrit, resim 6.9 b'de tane sınırı ferrit, resim 6.9 c'de asiküler ferrit, widmanstatten kenar plakaları ve resim 6.9 d'de ise perlit ve ferrit fazları dikkati çekmektedir. Burada meydana gelen mikro yapılarda resim 6.9' e ilave olarak kullanılan bazik elekrodun daha fazla Mn'a sahip olması ve oluşan mikroyapıların tane boyutlarının azalmasına sebep olmasıdır.

CO_2 atmosferi altında yapılan kaynaklı birleştirmenin (3 Numaralı malzemeler) kaynak metali mikroyapıları resim 6.10'de verilmiştir. Yapıda ferrit ve perlit fazlarının bulunduğu bölgeler net bir şekilde ayırt edilebilmekte olup koyu renkli bölgenin perlitce daha yoğun bulunduğu görülmektedir.Ayrıca mikroyapılarda

asiküler ferrit ve tanesınırı ferritlerede rastlanmaktadır. Perlit bölgesinde bulunan taneler genellikle sütunsal ve daha ince yapılıdır. Mikroyapı açık renkli bölgenin ferritin daha yoğun olduğu bölgeyi temsil etmekte ve bu bölgede düzensiz tanelerin dağılımı görülmektedir. Kaynak metali ile ana malzemeler arasındaki geçiş net bir çizgi ile ayırt edilmiştir (Resim 6.10).Yapılar ferrit ve perlit fazlarından meydana gelmiştir.Kaynak metali tarafında perlitin daha yoğunlaştığı görülmektedir.

HB 212 atmosferi altında yapılan kaynaklı birleştirmeye ait (4 Numaralı malzemeler) geçiş bölgesi ve kaynak metali mikroyapıları resim 6.11'da verilmiştir. Geçiş bölgesi net bir şekilde birbirinden ayırt edilmektedir.Kaynak metali tanelerinin oluşumu iri taneli bölgelerin devamı şeklinde meydana gelmiştir. Resim 6.11 a ve b'de yapılar widmanstatten kenar levhaları, ferrit ve perlitten oluşurken, Resim 6.11 c ve d'de ise yapılar tanesınırı ferrit ve asiküler ferrit ihtiva etmektedir.

TIG kaynağı ile yapılan birleştirmede (5 numaralı malzemeler) kaynak metali mikroyapıları resim 6.12'de verilmiştir. Resimlerdeki yapılar widmanstatten kenar levhaları, asiküler ferritten oluşurken ferrit fazlarının eşeksenli olduğu görülmektedir. Geçiş bölgesinde kaynak metali taneleri ana metal tanelerinden başlamış ve büyümüş şekilde görülmektedir. Isı girdisi kaynak metalinde daha fazla ve kaynak metali dışında (ITAB'da) oldukça az olduğundan kaynak metalinde eşeksenli ferrit miktarı artarken asiküler ferritin azaldığı dikkat çekmektedir.

Yapılan deneyler sonucunda Çizelge 6.5' de görülen ITAB genişlikleri elde edilmiştir. Rutil elektrotla kaynak yapılan numunenin ITAB genişliği 19,50 mm ,bazik elektrotla kaynak yapılan numunenin ITAB genişliği 19,30 mm, CO_2 atmosferi altında yapılan kaynaklı numunenin ITAB genişliği 12,50 mm, HB 212 atmosferi altında yapılan kaynaklı numunenin ITAB genişliği 12,40 mm, TIG kaynağı ile yapılan birleştirmede ITAB genişliği 15,30 mm olarak ölçülmüştür. Kaynak yöntemlerine bağlı olarak örtülü elektrotla yapılan manuel ark kaynaklarında ITAB genişliği gazaltı kaynaklarına göre daha geniş olmaktadır. Bunda kaynak yöntemlerinin kaynak hızı etkili olmaktadır. 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.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

8.1. Sonuçlar

1. Çekme deneylerinden elde edilen sonuçlara göre; HB 212 atmosferi altında yapılan kaynakta en yüksek akma ve çekme dayanım elde edilmiştir. Bunu CO_2 atmosferi altında yapılan kaynaklı numune takip etmiştir.

2. Sertlik ölçüm deneyi sonuçlarına göre; kaynak metalinin sertliği CO_2 atmosferi altında yapılan birleştirmede en yüksek değerde ölçülmüştür. Koruyucu gaz olarak kullanılan CO_2'nin kaynak esnasında $CO+1/2\ O_2$ olarak ayrışması ve devam eden reaksiyonlar ($CO = C + 1/2\ O_2$) neticesinde serbest kalan karbonun kaynak metali içerisine geçmesi ile sertliği arttırmasından kaynaklandığı sonucu çıkmaktadır.

3. Eğme deneyi sonuçlarına göre; numunelerin birleştirme yerlerinde herhangi bir çatlağa rastlanmamıştır. Yeterli nüfuziyet ve birleştirme kalitesinin elde edilmesi ve kullanılan ilave malzemelerin ana yapıyla uygun süneklik göstermelerinden kaynaklanmaktadır.

4. Genelde mikroyapılar ferrit ve perlit fazlarından oluşup normal bir kaynak metali yapısı vermektedir.

5. İmalat sanayinde geniş kullanım alanı olan RAEX AR 400 çeliğinin genel yapı çelikleriyle TIG, karışım gazla gazaltı, MAG ve örtülü elektrotla kaynağında ITAB ve kaynak bölgesi temizliği yapılmak şartıyla uygun parametreler seçildiğinde kaynağında problem olmayacaktır.

8.2. Öneriler

Yapılan deneysel çalışmalar ve elde edilen sonuçların ışığında şu önerileri yapabiliriz;

1. Sanayiden gelen öneriler doğrultusunda RAEX AR 500, HARDOX 400–500, FORA 400–500, WELDOX 700, OPTİM 700 gibi çeliklerinde genel yapı çelikleriyle kaynaklı birleştirme çalışmaları yapılmalıdır.

2. Değişik parametreler kullanılarak parametrelerin mikro yapı üzerine etkilerini incelemek amacıyla yeni çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

1. Gülenç, B., "MIG/MAG Kaynağında koruyucu gaz karışımının kaynak metalinin mekanik özelliklerine etkisi", Doktora Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,*** Ankara, 1-59 (1994).

2. Durgutlu, A., "Ark kaynağı yöntemlerinde kaynak hızının mikroyapı ve nüfuziyete etkisinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi , ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,*** Ankara, 1-22 (1997).

3. Ateş, H., 1996, "MIG-MAG Kaynağında kullanılan argon gazına O_2 ve CO_2 ilavesinin kaynak metali tokluğu ve mikroyapısına etkisi", Yüksek Lisans Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Ankara, 2-138 (1996).

4. Avcıoğlu, E., "C 1070 ve C 1080 çeliklerin kaynaklanabilirliğinin araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Ankara, 67 (2000).

5. Atkins, M., "Atlas of continuous cooling transformation diagrams for engineering steels", ***American Society for Metals,*** U.S.A., 8 (1980).

6. Anık, S., "Kaynak tekniği", Cilt 3, ***İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası,*** İstanbul, 4 (1981).

7. Arslanbenzer, E, "304 Kalite Çeliğin 1020 karbon çeliğine kaynak edilebilirliğinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,*** Ankara, 17-52 (2000).

8. Baydur, G., "Malzeme", ***M.E.B.yayınları***, İstanbul, 224-228 (1984).

9. Wolfgang, W., "Malzeme bilgisi ve muayenesi", Anık S., Anık,E.S., ***Birsen Yayınları***, İstanbul, 184 (1977).

10. Koçak, H., "Takım çelikleri el kitabı", ***Sağlam Metal Yayınları***, İstanbul, 11 (2003).

11. Çelik Türleri Katoloğu, ***Erkek Tek. Yük. Öğretmen Okulu Matbaası***, Ankara, 65 (1979).

12. Düzgün, D., "Uygulanmış makine elemanları", ***TES,*** Ankara, 382 (2001).

13. Tülbentçi, K., "Eriyen elektrod ile gazaltı kaynağı", ***Gedik Yayınları,*** İstanbul, 96 (1990).

14. Kılınçer, S., "Düşük karbonlu çeliklerin toz altı kaynak yöntemi ile kaynak edilebilirliğinin ve mekanik özelliklerinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Ankara, 54-65 (1998).

15. Eryürek, H., "Kaynak banyosunun katılaşması", Sayı:1, ***Kaynak dünyası dergisi***, İstanbul, 11-13 (1988).

16. Smith, W.F., Hashemi, J., "Foundations of science and engineering", ***McGraw Hill***, U.S.A., 432-451 (2004).

17. Unterweiser, P.M., Cobb, H.M., "Worldwide guide to eguivalent ırons and steels", ***ASM International***, Ohio, 7-13 (1987).

18. Honeycombe, R.W.K., "Steels", ***Edward Arnold Ltd***., London, 1-30 (1982).

19. Harvey, P.D., "Engineering properties of steel", ***American Society For Metals***, Ohio, 1-30 (1982).

20. Gunia, R.B., "Source book on materıals selection", ***American Society For Metals***, Ohio, 122-125 (1977).

21. Anık,S., "Karbon eşdeğeri ve kaynak yeteneğindeki yeri", ***Kaynak Dünyası Dergisi***, İstanbul, Sayı:2, 22-24 (1988).

22. Çanacık. A., "Kaynak işlemlerinde ısı akışı ve ITAB sertliği", Yüksek Lisans Tezi, ***Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,*** İstanbul, 48 (1993).

23. Topbaş, M.A., "Çeliklerin kaynağı ile bağlantılı ısıl işlem uygulaması", ***Mühendis ve Makine***, Ankara, 30 (351) : 14-15 (1989).

24. "Metal-Oks Ürün Kataloğu**"**, ***Metal Sanayi Ltd. Şti.*** , Ankara, 18–21 (2005).

25. Mutluay, H., "Malzeme bilgisi", ***Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş***., İstanbul , 48 (1996) .

26. Thelning, K.E., "Çelik ve ısıl işlemi", Tekin, A., ***Bofors Handbook,*** İstanbul, 337 (1987) .

27. Bulut, E., "Alünit cevherinin kırılmasında kullanılan konkasör çenelerindeki aşınmanın sert dolgu ile giderilme çareleri", Yüksek Lisans Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Ankara,47-52 (1999) .

28. Develi, K., "Östenitik paslanmaz çeliklerin MIG kaynağında argon hidrojen karışımının mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Ankara, 6–26 (2003).

29. Odabaş, C., "Paslanmaz çelikler", ***Kaynak Tekniği San. ve Tic. A.Ş.***, İstanbul, 1 (2004).

30. Yalçın, H., Gürü,M., "Malzeme bilgisi", ***Palme Yayınları***, Ankara, 97-98 (2002).

31. Baylan, O., "Elektrik ark kaynak yöntemiyle birleştirilen östenitik –martenzitik farklı paslanmaz çeliklerin kaynaklı bağlantılarında,mikroyapı ile özellikler arasındaki ilişkinin araştırılması", Bilim Uzmanlığı Tezi, ***Zonguldak Kara Elmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Karabük, 30 (2003).

32. Anık, S., "50 sual ve cevapta paslanmaz çeliklerin kaynağı", ***AS Kaynak Yayınları***, İstanbul, 10 (1998).

33. Gültekin,N., "Kaynak Tekniği", ***Yıldız Üniversitesi Yayınları***, İstanbul, 69 (1985).

34. Oğuz, B, "Ark Kaynağı", **Erdini Yayınları**, İstanbul, 64 (1989).

35. Anık, S., Tülbentçi, K., Kaluç E., "Ark kaynakçısının el kitabı", ***Böhler Yayınları***, İstanbul, 1-10 (1987).

36. Anık, S., "Kaynak tekniği" , ***İ.T.Ü. Yayınları***, İstanbul, 1 : 175 – 176 (1980).

37. Anık, S., "Soru ve cevaplarla kaynak teknolojisi", ***Eğitim yayınları*** , İstanbul, 56 (1976).

38. "Askaynak Ürün Kataloğu", ***Kaynak Tekniği Sanayi ve Ticaret A.Ş***., İstanbul, 332 (2003).

39. Yiğit, Ş., "Örtülü elektrot ark kaynağı", ***Devlet Bakanlığı yayınları***, Ankara, No:54, 39 (1988).

40. Eryürek, İ.B., "Gazaltı Kaynağı", ***Kaynak Tekniği San. ve Tic. A.Ş***., İstanbul, 5-6 (2003).

41. Ertürk., İ., "Gaz altı kaynak yöntemleri", ***Kosgeb Yayınları***, Ankara, 18-34 (1999).

42. Alexander, J., "Basic welding data shielding gasen", ***Metal Fabrication***, 254-256 (1989).

43. William, H.M., "Gas metal arc welding handbook", ***The Goodheart–Willcox Company Inc***, USA, 39 (1996).

44. TS-EN 439, "Kaynak sarf malzemeleri–Ark kaynağı ve kesme İçin koruyucu gazlar'', ***TSE***, Ankara, 3 (1995).

45. Tülbentçi, K., "MIG- MAG Eriyen elektrotla gaz altı kaynağı", ***Gedik Holding Yayınları***, İstanbul, 15-75 (1998).

46. Gürcan, M., "TIG Kaynağı", ***Segem Yayınları***, Ankara, 33 (1986).

47. Kaluç, E., "Paslanmaz çeliklerin MIG ve TIG kaynağı", ***Gedik Holding***, İstanbul, 8-12 (1989).

48. "TIG and plazma welding", ***Abıngton publıshıng,*** England, 9 (1990).

49. Cerit, A., "Makine mühendisliği el kitabı" , ***TMMOB yayınları***, Ankara, 2. cilt , 786-789 (1976).

50. Howard, B.C., "Modern Welding Technology", ***American Welding Society***, New Jersey, 97 (1981).

51. TS-EN 26848, "Koruyucu asal gaz ark kaynağı, plazma kesme ve kaynağı İçin tungsten elektrotlar-kodlandırma", ***TSE***, Ankara, 2 (1995).

52. TS 287 EN 895, "Metalik Malzemeler-Kaynaklar Üzerinde Tahribatlı Deneyler-Enine Çekme Deneyi", ***TSE***, Ankara, 6 (1996).

53. TS 282 EN 910, "Metalik Malzemelerde Kaynak Dikişleri Üzerinde Tahribatlı Muayeneler-Eğme Deneyleri , ***TSE***, Ankara , 14 (2002).

54. Yükler, A.İ., "Kaynak Metali" , ***Marmara Üniversitesi Tek. Eğitim. Fak. Yayınları***, İstanbul, 43-50 (1996).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı	: TUNCER, Ekrem
Uyruğu	: T.C.
Doğum tarihi ve yeri	: 20.05.1963 Ankara
Medeni hali	: Evli
Telefon	: 0(312) 330 66 29
e-mail	: ekremtuncer@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Metalurji Eğitimi Bölümü	1988

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
1988-2006	MEB	Öğretmen

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Futbol , Gezi , Kitap okuma