

**GAZALTI (MAG) KAYNAĞINDA KULLANILAN RUTİL, BAZİK VE
METAL ÖZLÜ TELLERİN KAYNAK METALİ ÖZELLİKLERİNE
ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

Osman ÇELİK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
METAL EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAYIS 2013
ANKARA**

Osman ÇELİK tarafından hazırlanan “GAZALTI (MAG) KAYNAĞINDA KULLANILAN RUTİL, BAZİK VE METAL ÖZLÜ TELLERİN KAYNAK METALİ ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Tayfun FINDIK
Tez Danışmanı, Metalurji ve Malzeme Müh.Anabilim Dalı

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

Doç. Dr. Ahmet DURGUTLU
Metalurji ve Malzeme Müh.Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Doç. Dr. Tayfun MENLİK
Enerji Sistemleri Müh.Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Tayfun FINDIK
Metalurji ve Malzeme Müh.Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 21/05/2013

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof.Dr. Şeref SAĞIROĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

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

Osman ÇELİK

**GAZALTI (MAG) KAYNAĞINDA KULLANILAN RUTİL, BAZİK VE
METAL ÖZLÜ TELLERİN KAYNAK METALİ ÖZELLİKLERİNE
ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI
(Yüksek Lisans Tezi)**

Osman ÇELİK

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Mayıs 2013**

ÖZET

Bu tez çalışmasında, gazaltı (MAG) kaynak yönteminde rutil, bazik ve metal özlü tellerin kaynak metaline özelliklerine etkileri araştırılmıştır. MAG kaynağı sahip olduğu avantajları nedeniyle endüstrideki kullanım oranını giderek arttırmaktadır. MAG kaynağındaki en önemli noktalardan bir tanesi tel elektrod seçimidir. Bu yöntemde tel elektrod ve koruyucu gaz kombinasyonu sonucunda ortaya çıkan kaynak metalinin bileşimi, gerekli mekanik ve fiziksel özellikleri karşılamak zorundadır. Bu çalışmada, MAG kaynağında elektrod tipinin kaynak dikişi özelliklerine etkisi incelenmiştir. Deneylerde ana metal olarak St 37 düşük karbonlu yapı çeliği, koruyucu gaz olarak (%75-80 Ar + CO₂), gazı, ilave metal olarak ise farklı karakterlerdeki Rutil, Bazik ve Metal özlü tellerin kullanılmıştır. Farklı ilave malzeme kullanımının, kaynak dikişinin mekanik özelliklerine etkilerini saptamak amacıyla çekme ve sertlik deneyleri yapılmış, daha sonra da mikroskopik incelemeler gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda, telin özündeki boşlukların kaynak metalinde gözeneklere sebep olduğu görülmüştür. En sert kaynak metalinin bazik özlü oluşturulduğu ayrıca, rutil özlü telle yapılan kaynak metalinin en sünek olduğu ve ana metale en yakın süneklığe sahip olduğuda gözlemlenmiştir.

Bilim Kodu : 710.3.019

Anahtar Kelimeler : Gazaltı (MAG) Kaynağı, Özlü Tel, Rutil ve Bazık Tel Elektrod

Sayfa Adedi : 96

Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. Tayfun FINDIK

**INVESTIGATION OF THE EFFECT OF RUTILE, BASIC AND METAL
CORED WIRES USED IN MAG WELDING ON THE WELD METAL
PROPERTIES
(M.Sc. Thesis)**

Osman ÇELİK

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
May 2013**

ABSTRACT

In this study, by the method of gas metal arc (MAG) welding, the effect of rutile, basic and metal cored wires on the weld material properties has been investigated. MAG welding, due to the advantages it has got, has gradually been increasing the rate of use in industry. One of the key points in MAG welding is the selection of electrode wire. In this method, the composition of weld wire which comes out as a result of the electrode wire and protective gas combination should meet the mechanical and physical requirements. In this study, the effect of electrode type on weld seam properties has been investigated. In the experiments, St 37 low carbon structural steel as the “base material”, (%75-80 Ar + CO₂) as the “protective gas”, rutile, basic and metal cored wires with various characteristics as the “add material” have been used. In order to determine the effects of using different “add material” on weld seam mechanical properties, tensile and hardness tests have been performed and then the microscopic investigations have been performed. As a result of the experimental studies, it has been determined that the holes in the core of the wire has caused pores in the weld seam, and the hardest weld seam has been formed with “basic”. Moreover, it has also been observed that the weld seam done by rutile flux cored is the most ductile and is has the closest ductility of the base material.

Science Code : 710.3.019

Key Words : MAG Welding, Cored Wire, Rutile and Basic Wire Electrode

Page Number : 96

Adviser : Assist.Prof.Dr. Tayfun FINDIK

TEŞEKKÜR

Engin bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım desteğini hiçbir zaman eksik etmeyen danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Tayfun FINDIK'a teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Kıymetli tecrübelerinden faydalandığım hocam Sayın Doç. Dr. Ahmet DURGUTLU' ya ve deneysel çalışmalar boyunca yardımlarını esirgemeyen Sayın Yrd. Doç. Dr. Volkan KILIÇLI' ya, teşekkür ederim.

Tez çalışmamda bilimsel araştırma kapsamında 07/2010-69 numaralı proje ile destek sağlayan Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine teşekkür ederim.

Hepsinden önemlisi, hayatımın her aşamasında yanımda olan Babama, Anneme ve Kardeşlerime sonsuz şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER**Sayfa**

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xiv
RESİMLERİN LİSTESİ	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xviii
1. GİRİŞ	1
2. GAZALTI KAYNAĞI.....	3
2.1. Yöntemin Üstünlükleri.....	6
2.2. Yöntemin Sınırlamaları.....	6
3. MIG-MAG KAYNAĞI.....	8
3.1. Çalışma Prensibi	8
3.2. MAG Kaynağının Esası	10
3.3. MAG Kaynak Donanımı	12
3.3.1. Kaynak torçları.....	13
3.3.2. Torç bağlantı paketi.....	16
3.3.3. Tel sürme tertibatı	17
3.3.4. Kontrol ünitesi.....	19
3.3.5. Koruyucu gaz sağlama sistemleri.....	20
3.3.6. Sulu soğutma sistemleri	22

	Sayfa
3.3.7. MIG-MAG kaynağı akım üreteçleri.....	22
4. KORUYUCU GAZLAR.....	29
4.1. Koruyucu Gazların Fonksiyonları.....	29
4.1.1. Karbondioksit.....	31
4.1.2. Argon	34
4.1.3. Helyum.....	34
4.1.4. Oksijen	35
4.1.5. Hidrojen	36
4.1.6. Azot.....	36
4.1.7. Argon-helyum-karbondioksit veya oksijen karışımları	36
4.1.8. Argon-oksijen-karbondioksit	37
4.2. Damla İletim Mekanizmaları	38
4.3. MIG-MAG Kaynağı Tel Elektrodları	39
4.4. MIG-MAG Kaynağında Kaynak Parametreleri	40
5. ÖZLÜ TELLER	45
5.1. Çıplak Tel ve Özlü Tel Elektrodların Sınıflandırılması.....	52
6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	57
6.1. Malzeme ve Metod.....	57
6.1.1. Malzeme	57
6.1.2. Metod	58
7. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA	63
7.1. Deney Sonuçları.....	63

Sayfa

7.1.1. MAG kaynağında kullanılan rutil özlü tellere ait soğuk gömme mikroyapı görüntüleri.....	64
7.1.2. Mikroyapı sonuçları	68
7.1.3. Rutil özlü tel ile kaynatılan numunelere ait mikroyapı sonuçları	69
7.1.4. Bazik özlü tel ile kaynatılan numunelere ait mikroyapı sonuçları....	73
7.1.5. Metal özlü tel ile kaynatılan numunelere ait mikroyapı sonuçları....	77
7.1.6. Sertlik sonuçları.....	80
7.1.7. Rutil özlü tel ile kaynatılan numunelere ait sertlik sonuçları.....	80
7.1.8. Bazik özlü tel ile kaynatılan numunelere ait sertlik sonuçları	81
7.1.9. Metal özlü tel ile kaynatılan numunelere ait sertlik sonuçları	82
7.1.10. Çekme deney sonuçları	84
7.1.11. Rutil özlü tel ile kaynatılan numunelere ait çekme deney sonuçları	84
7.1.12. Bazik özlü tel ile kaynatılan numunelere ait çekme deney sonuçları	85
7.1.13. Metal özlü tel ile kaynatılan numunelere ait çekme deney sonuçları	87
7.2. Deney Sonuçlarının Tartışılması.....	88
7.2.1. Mikroyapı sonuçlarının tartışılması	88
7.2.2. Sertlik sonuçlarının tartışılması.....	88
7.2.3. Çekme deney sonuçlarının tartışılması	90
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	92
8.1. Sonuçlar	92
8.2. Öneriler	92
KAYNAKLAR	93

Sayfa

ÖZGEÇMİŞ.....96

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Koruyucu gazların yoğunluk, ilk iyonizasyon potansiyelleri ve reaksiyon özellikleri.....	30
Çizelge 4.2. MIG-MAG kaynağında kaynak parametrelerinin dikiş boyutlarına etkisi	41
Çizelge 5.1. MAG kaynağında kullanılan özlü tel elektrod tipleri ve öz kısımlarını oluşturan bileşenler	48
Çizelge 5.2. EN 758'e göre özlü tel elektrod çeşitleri	50
Çizelge 6.1. Deneilerde kullanılan düşük karbonlu yapı çeliğinin TS-Fe 37 kimyasal bileşenleri.....	57
Çizelge 6.2. Deneilerde kullanılan rutil, bazik ve metal özlü tellerinin kimyasal analizleri	57
Çizelge 6.3. MAG kaynak yönteminde kullanılan kaynak parametreleri	58
Çizelge 7.1. Rutil özlü tel ile kaynatılan numunelere ait sertlik sonuçları	80
Çizelge 7.2. Bazik özlü tel ile kaynatılan numunelere ait sertlik sonuçları	81
Çizelge 7.3. Metal özlü tel ile kaynatılan numunelere ait sertlik sonuçları	83
Çizelge 7.4. Rutil özlü tel ile kaynatılan numunelere ait çekme deney sonuçları	84
Çizelge 7.5. Bazik özlü tel ile kaynatılan numunelere ait çekme deney sonuçları.....	86
Çizelge 7.6. Metal özlü tel ile kaynatılan numunelere ait çekme deneyi sonuçları.....	87
Çizelge 7.7. Rutil, bazik ve metal özlü tel ile kaynatılan numunelere ait sertlik sonuçları.....	88
Çizelge 7.8. Rutil, bazik ve metal özlü tel ile kaynatılan numunelere ait çekme deneyi sonuçları.....	90

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. TIG kaynak yönteminde kaynak bölgesi	3
Şekil 2.2. MIG-MAG kaynak yönteminde kaynak bölgesi.....	4
Şekil 3.1. MIG-MAG kaynağının Prensibi	8
Şekil 3.2. MIG-MAG kaynak donanım şeması.....	9
Şekil 3.3. MIG-MAG kaynağı donanım blok şeması	13
Şekil 3.4. Kaynak torcunun temel elemanları	14
Şekil 3.5. Tümü tahrikli dört makaralı bir tel sürme tertibatı	18
Şekil 3.6. Basınç düşürme manometresi	21
Şekil 3.7. Bilyalı debimetre takılı manometre	21
Şekil 3.8. Yatay karakteristiğe ahip bir makinenin I-V ilişkisi.....	23
Şekil 3.9. Ark uzunluğunu içten ayar yardımı ile ayarlanması	24
Şekil 3.10. MIG-MAG kaynak yöntemi için motor-jeneratör akım üretici	24
Şekil 3.11. MIG-MAG kaynağında darbeli akım değişimi.....	26
Şekil 4.1. Karbondioksit gazının metal geçiş formuna etkisi.....	32
Şekil 4.2. MIG-MAG kaynağında CO ₂ atmosferinde oluşan reaksiyonlar.....	33
Şekil 4.3. Argon ve helyum gazlarının kaynak dikiş şekilleri	35
Şekil 4.4. Argon, Oksijen ve Karbondioksit gazlarının kaynak dikişine etkisi	38
Şekil 4.5. MIG-MAG yönteminde sağa ve sola kaynak halinde dikiş formunun değişimi	42
Şekil 4.6. Kutuplamanın dikiş formuna ve kaynak özelliklerine etkisi dosya.....	44
Şekil 5.1. Özlü tel imalatının akış şeması	46
Şekil 5.2. Özlü elektrodalarda en çok kullanılan kesit formları ve dolgu dereceleri	46

Şekil	Sayfa
Şekil 5.3. Özlü tel elektrod ile kaynakta ark bölgesi	54
Şekil 6.1. Kaynaklı malzemedен çıkarılan standart çekme deney numunesi	61
Şekil 7.1. Rutil özlü tel ile kaynatılan malzemelere ait sertlik grafiği.....	80
Şekil 7.2. Bazik özlü tel ile kaynatılan malzemelere ait sertlik grafiği.....	82
Şekil 7.3. Metal özlü tel ile kaynatılan malzemelere ait sertlik grafiği.....	83
Şekil 7.4. Rutil özlü tel ile kaynatılan malzemelere ait çekme deneyi grafiği	85
Şekil 7.5. Bazik özlü tel ile kaynatılan malzemelere ait çekme deneyi grafiği	86
Şekil 7.6. Metal özlü tel ile kaynatılan malzemelere ait çekme deneyi grafiği	87
Şekil 7.7. Rutil, bazik ve metal özlü tel ile kaynatılan malzemelere ait sertlik grafiği	89
Şekil 7.8. Rutil, bazik ve metal özlü tel ile kaynatılan numunelere ait çekme deneyi grafiği	90

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 5.1. Elektrod kaynak özlü tel üretim hattı.....	45
Resim 6.1. Kaynaklı numuların parlatmasında Metkon Gripo2 Polisaj Cihazı.....	59
Resim 6.2. Mikroyapıların görüntülenmesinde Leica DFC 320 dijital kamera Bağlantılı Leica DM 4000 M model optik mikroskop.....	59
Resim 6.3. Mikro sertlik cihazı Shimadzu HVM2 Mikro sertlik Cihazı	60
Resim 6.4. a) Çekme cihazı, b) Çekme deney numuneleri	62
Resim 7.1. MAG kaynağında kullanılan rutil özlü tellere ait görüntüleri	64
Resim 7.2. MAG kaynağında kullanılan bazik özlü tellere ait görüntüleri	65
Resim 7.3. MAG kaynağında kullanılan metal özlü tellere ait görüntüleri	67
Resim 7.4. MAG kaynağında kullanılan gözenekli ve gözeneksiz kaynak metali mikroyapı görüntüleri.....	67
Resim 7.5. Ana malzeme	68
Resim 7.6. MAG kaynağında rutil özlü tel ile kaynatılan malzemeye ait mikroyapının kaynak bölgesi	69
Resim 7.7. MAG kaynağında rutil özlü tel ile kaynatılan malzemeye ait mikroyapının geçiş bölgesi	70
Resim 7.8. MAG kaynağında rutil özlü tel ile kaynatılan malzemeye ait mikroyapının iri taneli bölgesi	71
Resim 7.9. MAG kaynağında rutil özlü tel ile kaynatılan malzemeye ait mikroyapının ince taneli bölgesi	72
Resim 7.10. MAG kaynağında bazik özlü tel ile kaynatılan malzemeye ait mikroyapının kaynak bölgesi	73
Resim 7.11. MAG kaynağında bazik özlü tel ile kaynatılan malzemeye ait mikroyapının geçiş bölgesi	74
Resim 7.12. MAG kaynağında bazik özlü tel ile kaynatılan malzemeye ait mikroyapının iri taneli bölgesi.....	75

Resim	Sayfa
Resim 7.13. MAG kaynağında bazık özlü tel ile kaynatılan malzemeye ait mikroyapının ince taneli bölgesi	76
Resim 7.14. MAG kaynağında metal özlü tel ile kaynatılan malzemeye ait mikroyapının kaynak bölgesi	77
Resim 7.15. MAG kaynağında metal özlü tel ile kaynatılan malzemeye ait mikroyapının geçiş bölgesi	78
Resim 7.16. MAG kaynağında metal özlü tel ile kaynatılan malzemeye ait mikroyapının iri taneli bölgesi	78
Resim 7.17. MAG kaynağında metal özlü tel ile kaynatılan malzemeye ait mikroyapının ince taneli bölgesi	79

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Açıklama

Ar	Argon
N	Azot
CO₂	Karbondioksit
He	Helyum
I	Kaynak akımı
U	Kaynak gerilimi

Kısaltmalar

Açıklama

DAEN	Doğru Akım Elektrod Negatif Kutuplama
DAEP	Doğru Akım Elektrod Pozitif Kutuplama
EN	Avrupa Normları
GMAW	Gas Metal Arc Welding
ITAB	Isının Tesiri Altındaki Bölge
MAG	Metal Active Gas
MIG	Metal Inert Gas
TIG	Tungsten Inert Gas
TS	Türk Standartları

1.GİRİŞ

Aynı veya benzer cinsten iki malzemeyi ısı, basınç veya her ikisini birden kullanmak suretiyle, ilave bir malzeme katarak veya katmadan yapılan birleştirmeye “ kaynak ”denir. Kaynak, bölgesel bir döküm işlemi olarak da tanımlanabilir. Günümüzde kaynak işlemi metalik malzemelere uygulanabileceği gibi, termoplastiklerde uygulanabilmektedir.

Günümüzde kaynak teknolojisi, son derece yaygınlaşmış, kaynak yöntemlerinden birini veya birkaçını kullanmayan herhangi bir atölye, fabrika, şantiye vs. görmemek imkânsız hale gelmiştir. Gazaltı ark kaynağı ise, ergime esaslı kaynak yöntemleri arasında en çok kullanılan kaynak yöntemi haline gelmiş ve kullanım oranı gün geçtikçe artış göstermektedir [Anık ve Vural, 1996].

Bu yöntemde kaynak için gerekli ısı, sürekli beslenen ve ergiyen bir tel elektrodla kaynak banyosu arasında oluşturulan ark yoluyla ve elektrodan geçen kaynak akımının elektrodta oluşturduğu direnç ısıtması yoluyla üretilir. Elektrod çıplak bir tel olup, bir elektrod besleme tertibatıyla kaynak bölgesine sabit bir hızla sevk edilir. Çıplak elektrod, kaynak banyosu, ark ve esas metalin kaynak bölgesine komşu bölgeleri, atmosfer kirlenmesine karşı, dışarıdan sağlanan ve bölgeye bir gaz memesinden iletilen uygun bir gaz veya gaz karışımı tarafından korunmaktadır [Eryürek, 2003].

Ergiyen elektrodla Gazaltı kaynağı fikri 1920' lerde ortaya. Atılmış olmakla birlikte, ticari anlamda ancak 1948'den itibaren kullanılmaya başlanmıştır. Önceleri yöntem soygaz koruması altında yüksek akım yoğunluklarında ince elektrodlarla gerçekleştirilen bir kaynak yöntemi olarak benimsenmiş ve temelde alüminyumun kaynağına kullanılmıştır. Ergiyen metal elektrod ve soygaz kullanılması nedeniyle yöntem MIG (Metal Inert Gas) kaynağı adı verilmiştir. Yöntemde daha sonra düşük akım yoğunluklarıyla ve darbeli akımla çalışma, daha değişik metallere uygulama ve koruyucu gaz olarak aktif gazların (CO₂) ve gaz karışımlarının kullanılması gibi gelişmeler meydana gelmiştir. Bu gelişmeler, aktif koruyucu gazın kullanıldığı

yönteme MAG (Metal Active Gas) kaynağı adının verilmesine sebep olmuştur [Eryürek, 2003].

Gazaltı kaynak yöntemleri ile kaynak maliyeti düşürülmüş, kaynak süresi kısaltılmış ve kaynakçının dikisin kalitesine olan etkisi azaltılmıştır. Ayrıca bu yöntemler günümüz teknolojisinde yer alan otomatik veya mekanize kaynak yöntemleri diye isimlendirilen modern yöntemler arasındadır [Ören, 2002].

Sanayisi gelişmiş ülkelerde günümüzün en çok kullanılan yarı otomatik kaynak yöntemi olan MAG kaynak yöntemi kullanım son yıllarda ülkemizde hızlı bir şekilde artmaktadır [Ören, 2002].

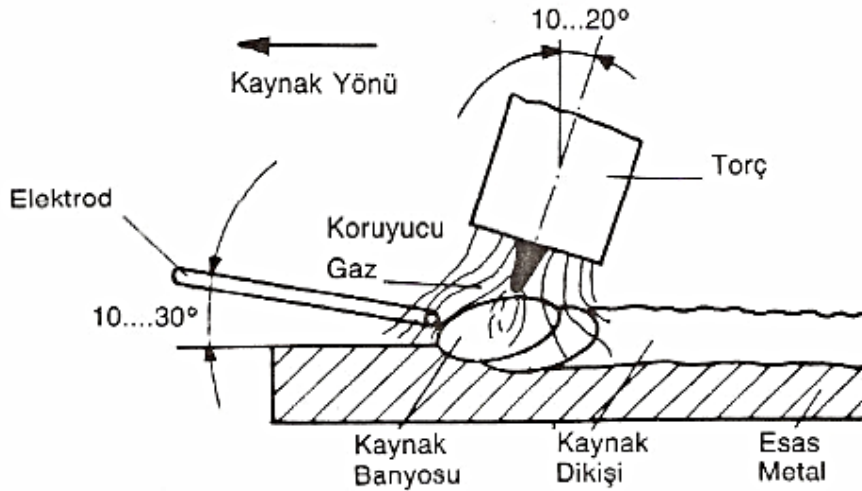
Son yıllarda ülkemizde gazaltı kaynak metodunda kullanılmaya başlanan özlü tellerin, yüksek ergime hızları, her pozisyonda kaynak edilebilme gibi bazı avantajları nedeniyle birçok alanda kullanılmaya başlanmıştır.

MIG/MAG bir ergitme kaynak yöntemidir. Ark ısısı bu ergitme birleştirme işleminde gereklidir. Bu hareketlilik ve yüksek odaklı elektrik arkı oldukça yüksek sıcaklıklardaki bir işlemdir. İki metal plaka MIG/MAG kaynak işlemi ile birleştirildiği zaman, sadece birleştirme ve kaynak bölgesindeki küçük bir bölge olarak adlandırılmaz. Çünkü kaynaklanan bölgenin etrafında ısıdan etkilenen ve metallerin yeniden kristalleşme sıcaklıklarına kadar yükselen ve hatta daha da yükseklere çıkan geniş bir alan oluşmaktadır. Kaynak bölgesi kaynak işleminden sonra çok hızlı soğurken, kaynak alanı etrafındaki bölgelerde ısı iletimi yoluyla ısınır. Bu durumda ısı tesiri altında kalan ve malzemenin fiziksel özelliklerini de önemli oranda etkileyecek ana malzemedeki mikroyapı değişimleri görülmektedir [Fındık, 2008].

Masao Toyoda ve Masahito Mochizuki, kaynaklı malzemelere, çekme, eğme ve charpy testi uygulamışlar. Sonuç da ısı girdisinin kaynaklı malzemenin özellikleri üzerinde önemli etkiye sahip olduğu vurgulanmıştır [Fındık, 2008].

2. GAZALTI KAYNAĞI

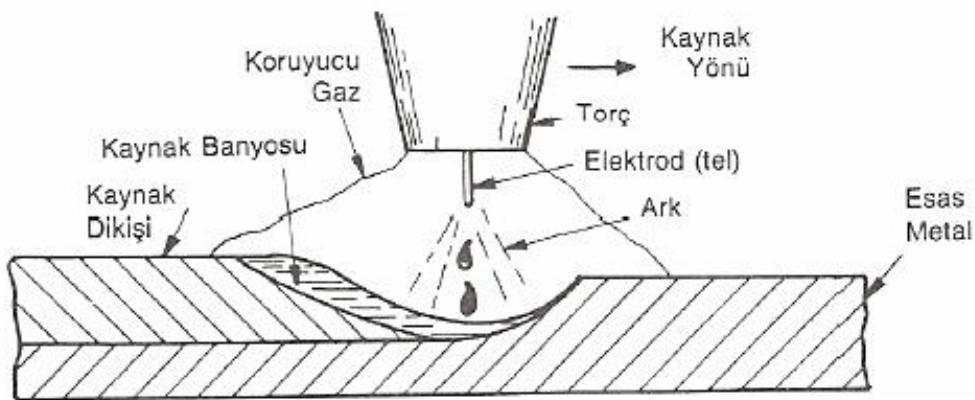
Bu kaynak yöntemini iki ana grupta incelemek mümkündür; birincisi TIG olarak adlandırılan ve Tungsten Inert Gas kelimelerinin ilk harflerinin kısaltması olan ve tükenmeyen tungsten bir elektrod kullanılan bir gaz altı kaynak yöntemidir. Bu kaynak yönteminde gerekli ısı enerjisi bir tungsten elektrod ve iş parçası arasında oluşturulan ark tarafından sağlanmaktadır (Şekil 2.1). Kaynak esnasında oluşan kaynak bölgesi de elektrodun lülesinden gönderilen koruyucu gazla (Helyum veya Argon) korunmaktadır [Tülbentçi, 1990].



Şekil 2.1. TIG kaynak yönteminde kaynak bölgesi [Tülbentçi, 1990].

Diğer gazaltı kaynak yöntemi ise, MIG-MAG olarak adlandırılan sırası ile Metal İnerit Gas / Metal Aktif Gas kelimelerinin kısaltması olan Gazaltı kaynak yöntemleridir. Burada kaynak için gerekli ısının, tükenen bir elektrom ile iş parçası arasında oluşan ark sayesinde ortaya çıktığı Şekil 2,2’de gösterilmektedir. Şekilde kaynak bölgesine sürekli şekilde beslenen (sürülen), masif haldeki tel elektrom ergiyerek tükendikçe kaynak metalini oluşturur. Elektron, kaynak banyosu, ark ve iş parçasının kaynağa yakın bölgeleri, atmosferin zararlı etkilerinden kaynak torcundan gelen gaz veya karışım gazlar tarafından korunur. Gaz, kaynak bölgesini tam olarak koruyabilmelidir, aksi takdirde çok küçük bir hava girişi dahi kaynak metalinde

hataya neden olur. Kullanılan kaynak türünün isimlendirilmesi de kullanılan koruyucu gaz türüne göre de değişmektedir. Eğer koruyucu gaz olarak TIG kaynağındaki gibi inertce gazlar kullanılıyorsa ismi, Metal İnerk Gas kelimelerinin baş harflerini alarak MIG adını alır. Eğer koruyucu gaz olarak CO₂ gibi aktif gaz kullanılıyorsa ismi, Metal Aktive Gas kelimelerinin baş harflerini alarak MAG olur [Tülbentçi, 1990].



Şekil 2.2. MIG-MAG kaynak yönteminde kaynak bölgesi [Tülbentçi, 1990].

Bu yöntemde kaynak için gerekli ısı, sürekli beslenen ve eriyen bir tel elektromla kaynak banyosu arasında oluşturulan ark yoluyla ve elektrodan geçen kaynak akımının elektroda oluşturduğu direnç ısıtması yoluyla üretilir. Elektrom çıplak bir tel olup, bir elektrom besleme tertibatıyla kaynak bölgesine sabit bir hızla sevk edilir. Çıplak elektrom, kaynak banyosu, ark ve esas metalin kaynak bölgesine komşu bölgeleri, atmosfer kirlenmesine karşı, dışarıdan sağlanan ve bölgeye bir gaz memesinden iletilen uygun bir gaz veya gaz karışımı tarafından korunur [Eryürek, 2003].

Eriyen elektrodla gazaltı kaynağı fikri 1920'lerde ortaya atılmış olmakla birlikte, ticari anlamda ancak 1948'den itibaren kullanılmaya başlanmıştır. Önceleri yöntem soygaz koruması altında yüksek akım yoğunluklarında ince elektrodlarla gerçekleştirilen bir kaynak yöntemi olarak benimsenmiş ve temelde alüminyumun kaynağına kullanılmıştır. Eriyen metal elektrod ve soygaz kullanılması nedeniyle yöntemde MIG (Metal Inert Gas) kaynağı adı verilmiştir. Yöntemde daha sonra düşük

akım yoğunluklarıyla ve darbeli akımla çalışma, daha değişik metallere uygulama ve koruyucu gaz olarak aktif gazların (CO₂) ve gaz karışımlarının kullanılması gibi gelişmeler meydana gelmiştir. Bu gelişmeler, aktif koruyucu gazın kullanıldığını yönteme MAG (Metal Active Gas) kaynağı adının verilmesine neden olmuştur. Bu ad ayrımı sadece yöntemin adını belirtmek isteyenlerde sıkıntı yaratmış ve bu nedenle çeşitli ülkeler yöntemi belirtmek amacıyla değişik adlar kullanmaya başlamıştır. Örneğin, Amerika'da yönteme Gaz Metal Ark Kaynağı (GMAW), İngiltere'de ve Almanya'da MIG-MAG kaynağı adı verilmektedir. Ülkemizde ise, Eriyen Elektrodla Gazaltı ve MIG-MAG kaynağı isimleri kullanılmaktadır[Eryürek, 2003].

Gazaltı kaynağında, ilerde görüleceği gibi, ark boyu kaynak makinesi tarafından kontrol edilir. Kaynakçıdan beklenen, gaz memesini kaynak banyosu üzerinde sabit bir yükseklikte tutarak (genellikle 20 mm) belirli bir hızda hareket ettirmesidir. Ark boyunun kaynak makinesi tarafından kontrol edilmesi nedeniyle bu yönteme "yarı otomatik" kaynak yöntemi adı verilmiştir. Otomatik kaynak yönteminde yukarıda açıklanan ek olarak gaz memesi de iş parçası üzerinde belirli bir hızda otomatik olarak hareket eder. Bu durumda kaynakçının kaynak işlemine fiili bir katkısı yoktur [Eryürek, 2003].

Alaşımız çelikler, yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çelikler, paslanmaz çelikler, alüminyum, bakır, titanyum ve nikel alaşımları gibi ticari açıdan önemli tüm metaller uygun koruyucu gaz, elektrod ve kaynak değişkenleri seçmek şartıyla, bu yöntemle kaynak edilebilirler [Eryürek, 2003].

2.1. Yöntemin Üstünlükleri

Yöntemin yaygın olarak kullanılma nedeni, doğal olarak sağladığı üstünlüklerden kaynaklanmaktadır. Bu üstünlükler aşağıda sıralanmıştır:

- a) Ticari metal ve alaşımların tümünün kaynağında kullanılabilen yegâneeriyelektrodlakaynak yöntemidir.
- b) Elektrik ark kaynağında karşılaşılan sınırlı uzunlukta elektroda kullanma problemini ortadan kaldırmıştır.
- c) Kaynak her pozisyonda yapılabilir. Bu tozaltı kaynağında mümkün değildir.
- d) Metal yığıma hızı elektrik ark kaynağına nazaran oldukça yüksektir.
- e) Sürekli elektrod beslenmesi ve yüksek metal yığıma hızı nedeniyle, kaynak hızları elektrik ark kaynağına nazaran yüksektir.
- f) “Sprey iletisi” kullanıldığında, elektrik ark kaynağına nazaran daha derin nüfuziyet elde edilir. Böylece iç köşe kaynaklarında aynı mukavemeti sağlayan daha küçük kaynak dikişini çekmek mümkün olur.
- g) Yoğun bir cürufun mevcut olmayışı nedeniyle pasolar arası temizlik için sarfedilen zaman çok azdır.

Bu üstünlükleri yöntemi yüksek üretime ve otomatik kaynak uygulamalarına özellikle uygun hale getirilmiştir [Kahraman ve Gülenç, 2009].

2.2. Yöntemin Sınırlamaları

Diğer kaynak yöntemlerinde olduğu gibi gazaltı kaynağının kullanılmasını zorlaştıran bazı sınırlamalar da mevcuttur. Bu sınırlamalar aşağıda sıralanmıştır:

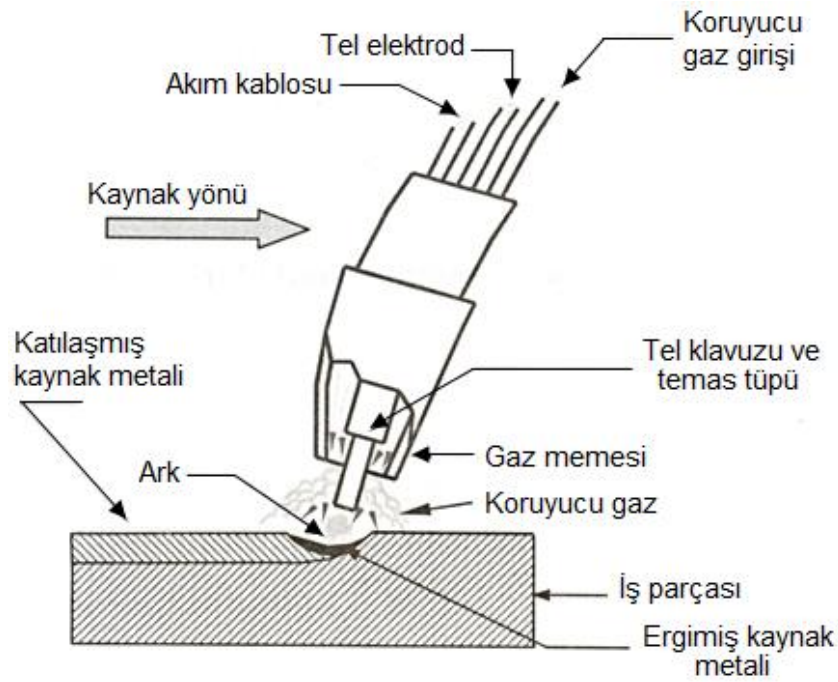
- a) Kaynak donanımı, elektrik ark kaynağına nazaran, daha karmaşık, daha pahalı ve bir yerden başka bir yere taşınması daha zordur.
- b) Kaynak torcunun elektrik ark kaynağı pensesinden daha büyük olması nedeniyle ve kaynak metalinin koruyucu gazla etkin bir şekilde korunması amacıyla torcun bağlantıya 10 ile 19 mm. arasında değişen yakın bir mesafeden tutulması gerektiği için, bu yöntemin ulaşılması güç olan yerlerde kullanılması pek mümkün değildir.
- c) Kaynak arkı koruyucu gazı bulunduğu yerden uzaklaştıran hava akımlarından korunmalıdır. Bu nedenle, kaynak alanının etrafı hava akımına karşı muhafaza

- altına alınmadıkça, yöntemin açık alanlarda kullanılması mümkün değildir.
- d) Göreceli olarak yüksek şiddete ısı yayılması ve ark yoğunluğu nedeniyle, kaynakçılar bu yöntemi kullanmaktan kaçınmaktadır.

3. MIG-MAG KAYNAĞI

3.1. Çalışma Prensibi

Bu yöntemle dışarıdan sağlanan gazla korunan ve otomatik olarak sürekli beslenen ve eriyen elektrod kullanılır (Şekil 3.1).



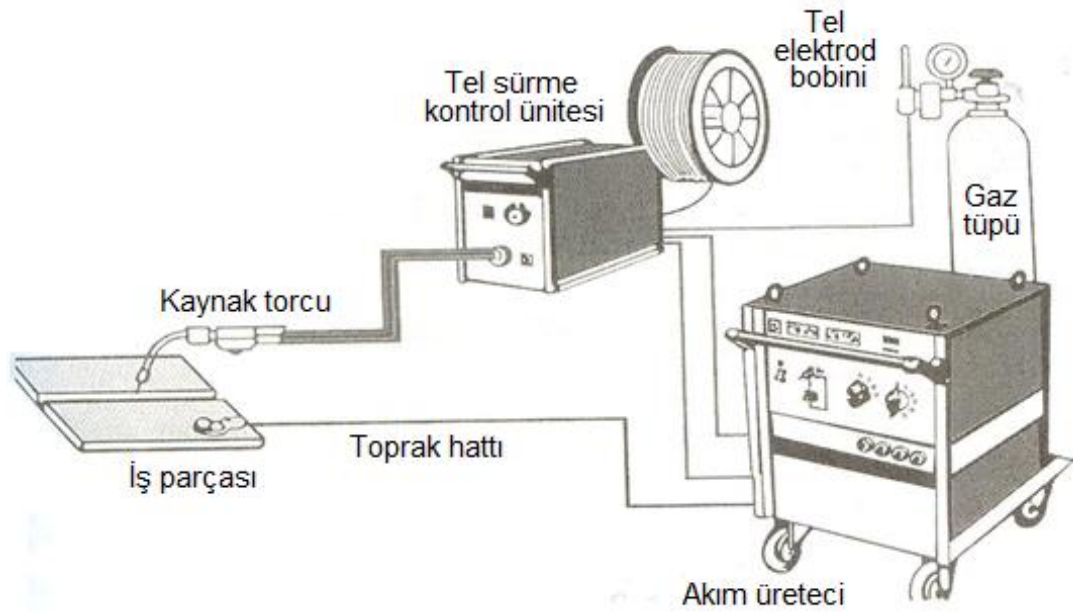
Şekil 3.1. MIG-MAG kaynağının Prensibi [Kahraman ve Gülenç, 2009].

Bu kaynak usulü yukarıda bahsedildiği gibi, 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 Aktif Gas) olarak adlandırılır. Sonuç itibarıyla iki ayrı isimle adlandırılan kaynak çeşitlerinde ekipmanlar aynıdır. Sadece CO₂ korumalı kaynakta tüp çıkışına bir ısıtıcı eklenir [Kahraman ve Gülenç, 2009].

MIG-MAG kaynak tekniklerinin çok geniş bir uygulama alanı vardır. Bu yöntem ile çok ince levhalar dâhil olmakla beraber, her kalınlıkta demir esaslı ve demir dışı metallerin veya alaşımlarının kaynak işlemi mümkündür. MIG-MAG kaynak

yönteminin uygulanması kolay olduğundan, kaynakçı hiçbir güçlükle karşılaşmaz, toprak kablosunu kaynatılacak malzemeye bağlayıp torcun ucundaki elektrodu iş parçasına değdirmesi yeterli olacaktır [Kahraman ve Gülenç, 2009].

Kaynakçı tarafından ilk ayarlar yapıldıktan sonra arkın elektriksel karakteristiğinin kendi kendine ayarını otomatik olarak kaynak makinası sağlar. Bu nedenle yarı otomatik kaynaktaki kaynakçının gerçekleştirdiği elle kontroller, kaynak hızı, doğrultusu ve torcun pozisyonundan ibarettir. Uygun donanım seçilip, uygun ayarlar yapıldığında ark boyu ve akım şiddeti (elektrod besleme hızı) kaynak makinası tarafından otomatik olarak sabit değerde tutulur. Gazaltı kaynağı için gerekli donanım Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. MIG-MAG kaynak donanım şeması [Kahraman ve Gülenç, 2009].

Kaynak donanımı 4 temel gruptan oluşmuştur:

- a) Kaynak torcu ve kablo grubu
- b) Elektrod besleme ünitesi
- c) Güç ünitesi
- d) Koruyucu gaz ünitesi

Torç ve kablo grubu üç görevi yerine getirir. Koruyucu gazı ark bölgesine taşır, elektrodu temas tüpüne iletir ve güç ünitesinden gelen akım kablosunu temas tüpüne iletir. Kaynak torcunun tetiğine basıldığı zaman, iş parçasına aynı anda gaz, güç ve elektrod iletilir ve bir ark oluşur. Ark boyunun kendi kendisini ayarlamasını sağlamak için tel besleme ünitesi ile güç ünitesi arasında ilişki sağlayan iki türlü çözüm mevcuttur. Bunlardan en fazla bilinenin de sabit gerilimli bir güç ünitesi (yatay gerilim-akım karakteristiği sağlayan güç ünitesi) ile sabit hızlı elektrod besleme ünitesi kullanmaktır. İkinci çözüm ise azalan bir gerilim-akım karakteristiği sağlar ve elektrod besleme ünitesinin besleme hızı ark gerilimi yoluyla kontrol edilir. Sabit gerilim / sabit besleme hızı çözümünde torcun pozisyonundaki değişme kaynak akımında değişmeye neden olur. Kaynak akımındaki değişme ise derhal serbest elektrod uzunluğunu değiştirerek (elektrod erime hızı değiştiğinden) ark boyunun sabit kalmasını sağlar. Torcu iş parçasından uzaklaştırma nedeniyle serbest elektrod uzunluğunda meydana gelen artma kaynak akımında azalmaya neden olarak elektrodta direnç ısıtmasının da aynı değerde kalmasını sağlar. Diğer çözümde ise, ark geriliminde meydana gelen değişmeler elektrod besleme sisteminin kontrol devrelerini yeniden ayarlar ve bu sayede elektrod besleme hızı uygun bir şekilde değiştirilir [Kahraman ve Gülenç, 2009].

3.2.MAG Kaynağının Esası

1950'li yılların sonlarına doğru özellikle otomobil endüstrisinde, tam otomatik olarak çalışan, yüksek ergime güçlü, çok hızlı ve sadece yatay pozisyonda çalışabilen, CO₂ koruyucu gazlı kaynak makineleri kullanılmaya başlanmıştır; bu yöntemde görülen sadece yatay pozisyonda çalışabilme olanağı ve fazla miktarda sıçrama araştırmacıları bu doğrultuda çalışmalara yönelmesine sebep olmuştur [Tülbentçi,1998; Kaluç, 2004].

MAG diğer bir deyimle aktif gaz altında ergiyen elektrod ile kaynak, son yıllarda büyük gelişme göstermiş, az alaşımli çeliklerin kaynağında diğer yöntemlere karşı büyüyen bir rakip konumuna gelmiştir. Özellikle son yıllarda MAG kaynak yönteminde kullanılan koruyucu gaz karışımları üzerinde birçok bilimsel araştırma

yapılmış, alaşım-sız ve yüksek alaşım-lı çeliklerin kaynağında bu tür koruyucu gazların kaynak dikişinin mekanik özelliklerini arttırdığı, kaynak hatalarında gazlardan gelen türlerin en aza indiği, sıçramaların azaldığı, kaynak dikiş profilinin düzeldiği ve nüfuziyetin arttığı gözlenmiştir [Tülbentçi,1998; Kaluç, 2004].

Kısa devre halinde, akımı sınırlayan frekanslı akım üreteçleri geliştirilerek, kısa ark boyu ile çalışılarak sıçrama minimuma indirgenmiştir; diğer önemli bir gelişme sonucunda da ince çaplı elektrod kullanabilme olanağı sağlanmış ve bu şekilde, her ne kadar elektrodun akım yoğunluğu artırılmış ise de, arkın oluşturduğu ısı azalmıştır. Akım yoğunluğunun artması, arkı yoğun ve istenilen yöne kontrollü olarak doğrultulabilir hale getirmiş ve dolayısı ile de her pozisyonda kaynak yapabilen bu yöntemde önceleri sadece CO₂ kullanılmaktaydı [Tülbentçi,1998; Kaluç, 2004].

Günümüzde gereken durumlarda, arkı yumuşatmak, sıçramayı azaltmak için CO₂'ye argon karıştırılıp kullanılmaktadır; karışım oranı %85 argona kadar çıkmaktadır. Bu yöntemde bir üçüncü gelişme de çeşitli bileşimlerde ki koruyucu gazlar ile sprey ark yönteminin bulunmasıdır. Argon içine çok az miktarda oksijen ilave edilerek çeliklerin kaynağında bu yöntemin uygulanması sonucu, daha kalın çaplı elektrodlar ile her pozisyonda çalışabilme olanağı sağlanmış ve çok daha düzgün görünümlü kaynak dikişleri elde edilebilmektedir.

Son yıllarda geliştirilen, darbeli akım yönteminde, kaynak akımı, ayarlanan frekansta bir alt ve bir üst değer arasında değiştirilerek iş parçasına aktarılan ısı girdisi minimumda tutularak, özellikle ince parçalarda çarpılma azaltılmıştır. Gene son yılların önemli gelişmelerinden bir tanesi de inverter tür kaynak makinelerinin uygulama alanına girmesidir; bu tür akım üreteçleri ile gerçekleştirilen kaynak işlemlerinde saf CO₂ kullanılması halinde dahi sıçrama tamamen ortadan kalkmaktadır [Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004].

Bu yöntemin yaygınlaşmasını, her tür metal ve alaşıma uygulanmasını sınırlayan önemli engellerden bir tanesi de esas metalin bileşimine uygun kaynak teli üretimi

olmuştur; zira bazı tür alaşımları kaynak teli haline getirip makaralara sarmak teknolojik olarak mümkün olamamış ve de diğer bazı türlerinde tüketiminin sınırlı oluşu tel üretimini ekonomik olmaktan çıkarmıştır. Bu önemli engeli asabilmek amacı ile günümüzde özlü tel elektrodlar geliştirilmiş ve bunlar yaygın bir uygulama alanına sahip olmuşlardır. İnce tel kalınlığında fakat boru biçiminde üretilmiş olan bu sürekli tel elektrodlarda, borunun içine alaşımlanmayı sağlayan metal tozları ile gerek arkın kararlılığını ve gerekse de kaynak metalinin dezoksidasyonu sağlayan ve de sıçramayı azaltan ve hatta gerektiğinde yanarak koruyucu gazı da kendi oluşturan cüruf yapıcı maddeler konmuştur. Bu yeni buluş, bu kaynak yöntemini endüstrinin en önemli yöntemlerinden biri haline getirmiş ve yaygınlaşmasına olanak sağlamıştır [Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004].

3.3. MAG Kaynak Donanımı

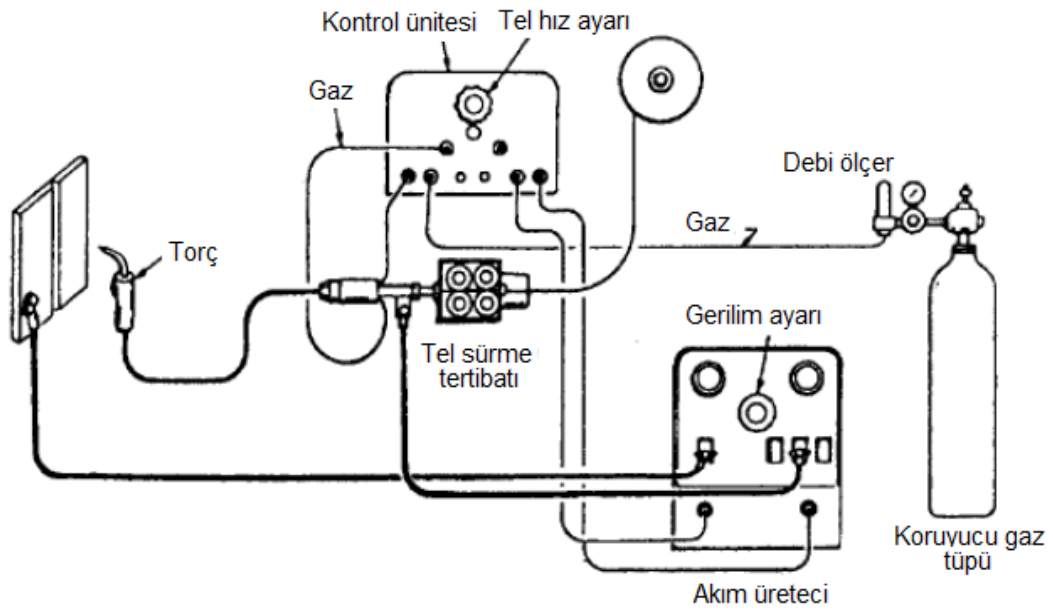
Her kaynak yönteminde olduğu gibi bu kaynak yöntemini de uygulayabilmek için özel bir kaynak donanımına gereksinim vardır. MIG-MAG kaynak donanımı, örtülü elektrod ile yapılan ark kaynak donanımı ile karşılaştırıldığında bir parça daha karmaşık görünmesine karşın aslında sistem olarak bir tozaltı kaynak donanımından daha basittir [Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004].

MAG usulü ile kaynak işleminde kullanılan cihaz ve donanımlar MIG yönteminde kullanılanın benzeridir. Farklı tarafı, katı CO₂'in kaynak tabancasına gelmesi için, özel bir elektrik ısıtıcı, basınç düşürücü ventil ile donatılmış olmasıdır. Bu ilave elemanla gazın genişlemesi de sağlanmış olur [Gültekin, 1991].

Bir MIG-MAG kaynak donanımı şu kısımlardan oluşur:

- Kaynak tabancası olarak da adlandırılan bir kaynak torcu.
- Tel biçiminde elektrod ve kılavuzunu, kaynak akım ve şalter kablolarını, gaz hortumunu, gerektiğinde soğutma suyu giriş ve çıkış hortumlarını bir arada tutan metal spiral takviyeli hortum; torç bağlantı paketi.
- Tel biçimindeki elektrodun ilerlemesini sağlayan tel sürme tertibatı.

- Kumanda ve kontrol donanımı.
- Kaynak akım üretici.
- Koruyucu gaz tedarik donanımı.
- Sulu soğutma sistemi
- Mekanize ve otomatik kaynak için yardımcı donanımlar [Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004]



Şekil 3.3. MIG-MAG kaynağı donanım blok şeması [Cary, 1989; Tülbentçi, Kaluç, 2004].

3.3.1. Kaynak torçları

Kaynak torcu elektrodu ve koruyucu gazı kaynak bölgesine sevk etmek ve elektrik gücünü elektroda iletmek için kullanılır. Yüksek üretim işlerinde yüksek akımla çalışan ağır iş torçlarından başlayıp, zor pozisyon kaynağında kullanılan düşük akımla çalışan hafif iş torçlarına kadar değişen geniş bir aralıkta çeşitli torçlar üretilmektedir.

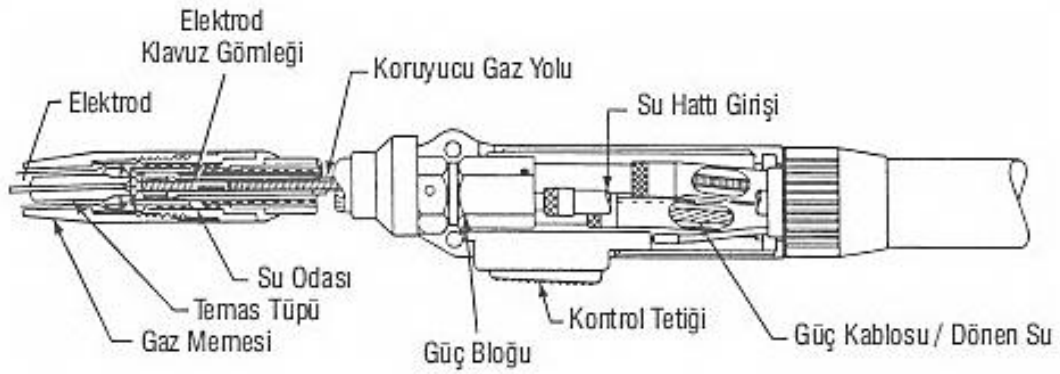
Ark sıcaklığından etkilenen torcun sürekli bir şekilde soğutulması gerekir. Düşük akım şiddetlerinde koruyucu gaz akımı bu soğutmayı yeterli bir şekilde

gerçekleştirir. Kalın çaplı elektrodların, diğer bir deyişle 250 A'den daha yüksek akım şiddetlerinin kullanılması halinde gaz soğutması yeterli düzeyde olmaz. Bu nedenle 250 A'in üstündeki kaynak işlemlerinde su soğutması kesinlikle gereklidir.

Kaynak torcunun temel elemanları şunlardır:

- a) Temas tüpü
- b) Gaz memesi
- c) Elektrod klavuz hortumu ve gömleği
- d) Gaz hortumu
- e) Su hortumu
- f) Elektrik kablosu
- g) Tetik

Bu elemanlar Şekil 3.4'de gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Kaynak Torcunun Temel Elemanları.

Temas tüpü bakır veya bakır alaşımından yapılmış olup, elektrik akımını elektroda iletmek ve elektrodu işparçasına doğru yönlendirmek için kullanılır. Temas tüpü bir elektrik kablosu vasıtasıyla güç ünitesine elektrikselsel olarak irtibatlandırılmıştır. Temas tüpünün iç cidarı çok önemlidir. Elektrod bu tüp içinde kolaylıkla hareket edebilmeli ve tüple çok iyi bir elektrikselsel temas sağlamalıdır. Her torçla birlikte verilen kullanma talimatı, her elektrod malzemesi ve çapı için en uygun temas tüpü boyutlarını listeler halinde belirtir. Temas tüpünün delik çapı kullanılan elektrod

çapından genellikle 0,13 ile 0,25 mm daha büyüktür. Alüminyum için daha büyük delik çapları gerekir. Temas tüpünün deliği periyodik şekilde kontrol edilmeli ve aşırı aşınma nedeniyle genişlemişse değiştirilmelidir. Eğer bu şekilde kullanılacak olursa kötü bir elektriksel temasa ve kararsız bir ark karakteristiğine neden olur. Temas tüpü torça itina ile yerleştirilmeli ve koruyu gaz memesine merkezlenmelidir. Temas tüpünün gaz memesinin ucuna göre pozisyonu kullanılan metal iletim tipine bağlı olarak değişir. Kısa devre iletimi için tüp, gaz memesinin ucundan dışarıya doğru çıkıktır. Sprey tipi iletimde ise tüpün ucu, gaz memesinin ucundan yaklaşık 3 mm. içerdedir. Gaz memesi düzgün akan gaz sütununu kaynak bölgesine sevkeder. Düzgün gaz akışı erimiş kaynak metalinin atmosfer kirlenmesine karşı korunmasında çok önemli bir faktördür. Farklı meme boyutları mevcut olup bunun seçimi söz konusu olan uygulamaya göre yapılır. Örneğin, büyük kaynak banyolarına neden olan, bir başka deyişle korunması gereken alanı arttıran, yüksek akımların kullanıldığı uygulamalarda büyük meme, düşük akımla çalışıldığında ve kısa devre iletimle kaynak yapıldığında küçük meme kullanılır.

Elektrod kılavuz hortumu ve kılavuz gömleği elektrod besleme motorundaki besleme makaralarına yakın bir desteğe bağlanmıştır. Hortum ve gömlek elektrodu destekler ve korur ve besleme makaralarından torca ve temas tüpü ne doğru yönlendirir. İyi bir ark kararlılığı sağlamak için elektrod beslemesinin kesintisiz olarak gerçekleştirilmesi gerekir. Elektrodun dolaşması ve bükülmesi engellenmelidir. Elektrod uygun bir şekilde desteklenmediği takdirde, besleme makaraları ile temas tüpü arasında herhangi bir yerde sıkışma eğilimi gösterir.

Gömlek, kılavuz hortumunun ayrılmaz bir parçası olabileceği gibi, ayrı bir parça da olabilir. Her iki halde de gömlek malzemesi ve bunun iç çapı önemlidir. Düzgün bir elektrod beslemesi sağlayabilmesi için temiz ve iyi bir durumda olması gerektiğinden gömlek periyodik bakımdan geçirilmelidir. Çelik ve bakır gibi sert elektrod malzemeleri kullanıldığında helisel çelik gömlekler tavsiye edilir. Alüminyum ve magnezyum gibi yumuşak elektrod malzemelerinde plastik gömlek kullanılmalıdır. Kılavuz hortumların dış yüzeyleri çelikle takviye edilmekle birlikte, bu hortumların aşırı bir şekilde eğilmelerine ve kıvrılmalarına müsaade edilmemelidir. Kaynak

ünitesiyle birlikte verilen kullanma talimatında, her elektrod malzemesi ve çapı için tavsiye edilen kılavuz hortumu ve gömleği bir liste halinde belirtilir.

Diğer aksesuarlar ise, koruyucu gazı, soğutma suyunu ve elektrik akımını torca iletmek için kullanılan gaz hortumu, su hortumu ve elektrik kablosudur. Bu hortum ve kablolar ya doğrudan ilgili menbaa veya menbayı kontrol eden kontrol sistemine bağlıdır. Normal torçlar elektrodu genellikle 3,7 m. uzaklıktan kılavuz hortumu yoluyla torca iten elektrod besleyicileri kullanır. Torç içine yerleştirilmiş küçük elektrod besleme mekanizmasının da mevcut olduğu diğer tip torçlar da kullanılmaktadır. Bu sistem elektrodu daha uzak mesafedeki bir kaynaktan çeker ve kaynakta elektrodu aynı anda iten bir elektrod itme mekanizması da mevcut olabilir. Bu tip torçlar, itme işleminin elektrodta bükülmeye neden olabileceği küçük çaplı veya yumuşak (örneğin alüminyum) elektrodların beslenmesinde yararlıdır. Diğer bir torç tipinde ise, elektrod besleme mekanizması ve elektrod makarası torcun içine yerleştirilmiştir.

3.3.2. Torç bağlantı paketi

Torç, kaynak makinesine içinde tel elektrod kılavuzunu, akım kablosunu, koruyucu gaz hortumunu ve gerekli hallerde soğutma suyu geliş ve dönüş hortumlarını bir arada tutan metal spiral takviyeli ve kalın hortum ile bağlanmıştır, bu kalın hortuma torç bağlantı paketi adı da verilir [Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004].

Kullanılan tel elektrodun malzemesine göre çeşitli türde kılavuzlar kullanılır; bazı yörelerde bu kılavuzlara spiral veya gayd adı da verilir. Kılavuz, tel ilerletme tertibatının temas memesine kadar tel elektrodun sevk edilmesi görevini üstlenir; alüminyum ve alâsımları, Cr-Ni paslanmaz çelikler için plastik hortum, alâşımız ve alâşımızlı çelik elektrodlar için ise çelik spiral biçiminde yapılmış kılavuzlar kullanılır. Kullanılan kılavuz hortumunun çapı, elektrod çapına uygun olarak seçilir; uygulamada genellikle her kılavuz ile ancak iki birbirine yakın çaptaki teller kullanılabilir. Kılavuzun boyu normal kaynak makinelerinde 3 ile 3,50 metre ile sınırlanmıştır; zira daha uzun olması halinde tel elektrod ve kılavuz iç cidarı

arasındaki sürtünme tel ilerlemesini zorlaştırmakta ve kesikliklere neden olmaktadır. Bu gibi durumlarda bu boyu uzatabilmek amacı ile özel tür torçlar geliştirilmiştir. Bu torçlarda ikinci bir tel çekme tertibatı vardır; tel esas tel sürme tertibatı tarafından itilir iken, torçtaki makaralar tarafından da çekilir; bu tür torçlar daha ağır ve dahapahalıdır, genelde alüminyum alaşımları gibi normal boydaki kılavuzlarda dahi zor ilerleyen tel elektrodlar için tercih edilirler [Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004].

Günümüzde, fabrika içinde montaj hatlarında veya büyük parçaların kaynağı halinde erişebilirliği sağlamak ve kolaylaştırmak için çeşitli tasarımlar geliştirilmiştir.

Torç bağlantı paketinin içinde bulunan akım kablosu kaynak akım üreticinin maksimum kapasitesine göre boyutlandırılmıştır; genelde bakım gerektirmez ve üzerindeki yalıtım tabakası herhangi bir neden ile tahrip olmadığı sürece kullanılır. Koruyucu gaz hortumu neoprenden yapılmıştır ve her tür koruyucu gazın etkisine dayanıklıdır. Kumanda kabloları, torç tetiği ile kaynak donanımı kumanda dolabı arasındaki bağlantıyı sağlar ve yalıtım tabakaları zedelenmediği sürece de değiştirme ve bakım gerektirmezler. Su soğutmalı torç kullanılması halinde torç bağlantı paketi içinde su gidiş ve dönüş hortumları bulunur [Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004].

Torç bağlantı paketi içindeki bu kablo ve hortumlar özel ekleme elemanları ile kaynak akım üreticine veya kumanda dolabına bağlanmışlardır [Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004].

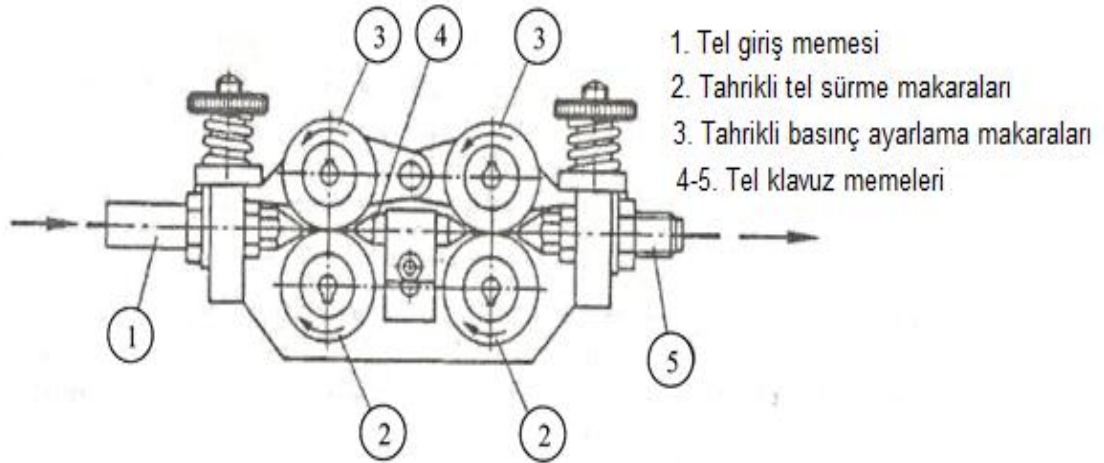
3.3.3. Tel sürme tertibatı

Tel elektrod sürme tertibatı, teli makaradan sağıp, ergiyen tel miktarını karşılayacak bir hızla ark bölgesine sevkeden bir mekanizmadır. Elektrod besleme ünitesi (tel besleyici) bir elektrik motoru, elektrod makaraları ve elektrod doğrultusunu ve basıncı ayarlayan aksesuarlardan meydana gelmiştir. Elektrod besleme motoru genellikle doğru akımla çalışır. Elektrodu torç yoluyla iş parçasına doğru iter. Motor hızını geniş bir aralıkta değiştiren bir kontrol devresinin mevcut olması gerekir. Sabit hızlı elektrod besleyicileri normal olarak sabit gerilimli güç üniteleri ile birlikte

kullanılırlar. Bunlar, gerekli devreler eklendiği takdirde sabit akımlı güç ünitelerinde de kullanılabilir [Kahraman ve Gülenç, 2009].

Sabit akımlı güç ünitesi kullanıldığında, bir otomatik gerilim algılama kontrolü gereklidir. Bu kontrol ark gerilimindeki değişimleri algılar ve ark boyunu sabit tutmak için elektrod besleme hızını değiştirir. Değişken hızlı elektrod besleme tertibatı ve sabit akımlı güç ünitesinden meydana gelen bu sistem, besleme hızlarının düşük olduğu büyük çaplı elektrodlarla (1,6 mm'den büyük) kullanılabilir. Yüksek besleme hızlarında, motor hızının ayarı arkın kararlılığını ayarlamaya yetecek kadar hızlı bir şekilde yapılamaz [Kahraman ve Gülenç, 2009].

Besleme motoru elektrod besleme makaralarını tahrik eder. Bu makaralar, elektrod kaynağından elektrodu çekme ve kaynak torcu içinde itme yoluyla elektroda kuvvet iletir. Tel besleme ünitelerinde iki makaralı veya dört makaralı düzenler kullanılabilir. Tipik bir dört makaralı elektrod besleme ünitesi şekil 3.5'de gösterilmiştir [Kahraman ve Gülenç, 2009].



Şekil 3.5. Tümü tahrikli dört makaralı bir tel sürme tertibatı (şematik) [Kahraman ve Gülenç, 2009].

Akım üretende bulunan tel ilerleme motoruna ek olarak, torç içinde ikinci bir tel ilerletme motoruna sahip itme-çekme (push-pull) sistemli kaynak donanımları da mevcuttur. Birinci ünite telin itilmesini, ikinci ünite de telin çekilmesini sağlar. Bu

tip donanım, telin daha uzun mesafelere düzgün hızda beslenebilmesine olanak sağlar. Bu cihaz ince ve alüminyum gibi çok hafif tellerin rahatlıkla kullanılmasına olanak sağlar [Kahraman ve Gülenç, 2009].

3.3.4. Kontrol ünitesi

Kaynakta gerekli fonksiyonlar, hortum paketi içindeki kontrol kablosu üzerinden, torçtaki anahtar aracılığıyla kontrol ünitesinde devreye sokulur [Anık ve Vural, 1996].

Genel olarak iki ve dört zamanlı kontrol sistemleri mevcuttur.

- a. *İki zamanlı kontrol:* torçtaki anahtardan, aynı anda akım, tel ilerlemesi ve koruyucu gaz devreye sokulur; anahtarın bırakılmasıyla bu fonksiyonların tümü aynı anda kesilir. Bu kontrol tipi, esas olarak puntalama işleminde ve kısa dikişler için kullanılır [Anık ve Vural, 1996].
- b. *Dört zamanlı kontrol:* torçtaki anahtara basıldığında önce sadece magnet ventilin açması yoluyla koruyucu gaz akmaya başlar; anahtarın bırakılmasıyla akım ve tel ilerlemesi başlar; kaynak işleminin sonunda anahtara tekrar basıldığında akım ve tel ilerlemesi kesilir; bu arada anahtar bırakılana kadar koruyucu gaz akışı bir miktar daha sürer [Anık ve Vural, 1996].

Yeni cihazlarda ilave olarak arkın geri yanma süresi (telin ilerleyişinin durması ile akımın kesilmesi arasında geçen süre) de ayarlanabilir. Böylece arkın beklenmedik ani sönmelerinde telin banyoya yapışması önlenmiş olur. Bu durum, telin ilerlemesinin, akım kesilmesinden biraz önce durması ile sağlanır. Eğer geri yanma süresi uzun ayarlanmışsa, telin ilerlemesi erken kesileceğinden, telin kontak borusu içine kadar yanması ve dolayısıyla kontak borusunun zarar görmesi mümkündür [Anık ve Vural, 1996].

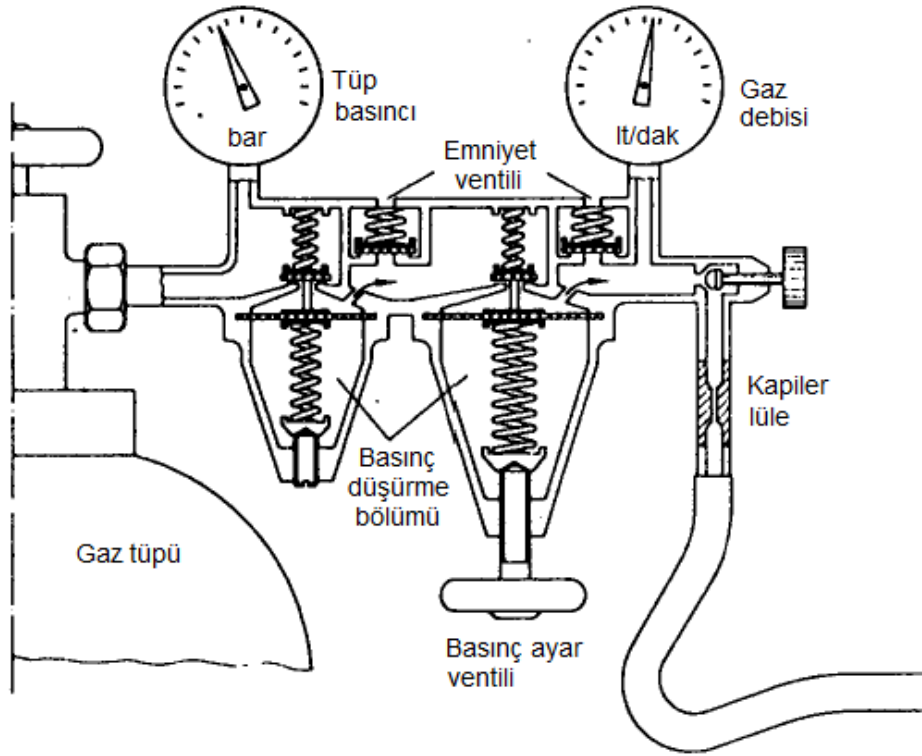
3.3.5. Koruyucu gaz sağlama sistemleri

Tüpten veya dağıtım hattından gelen koruyucu gazı kullanabilmek için basıncın kullanılma basıncına düşürülmesi ve ardından da debinin ayarlanması gerekir. Ayarlanan debi kapiler boruya bağlı manometreden okunabilir. MIG-MAG kaynak yönteminde, daha önceden de belirtilmiş olduğu gibi kaynak bölgesi ve ark, atmosferin olumsuz etkilerinden bir koruyucu gaz örtüsü tarafından korunur. Bu gazın tüm işlem süresince yeterli miktarda kesiklik yapmadan sürekli olarak kaynak bölgesine beslenmesi koruyucu gaz donanımı tarafından gerçekleştirilir. Kaynak için gerekli koruyucu gaz iki farklı sistem ile sağlanabilir:

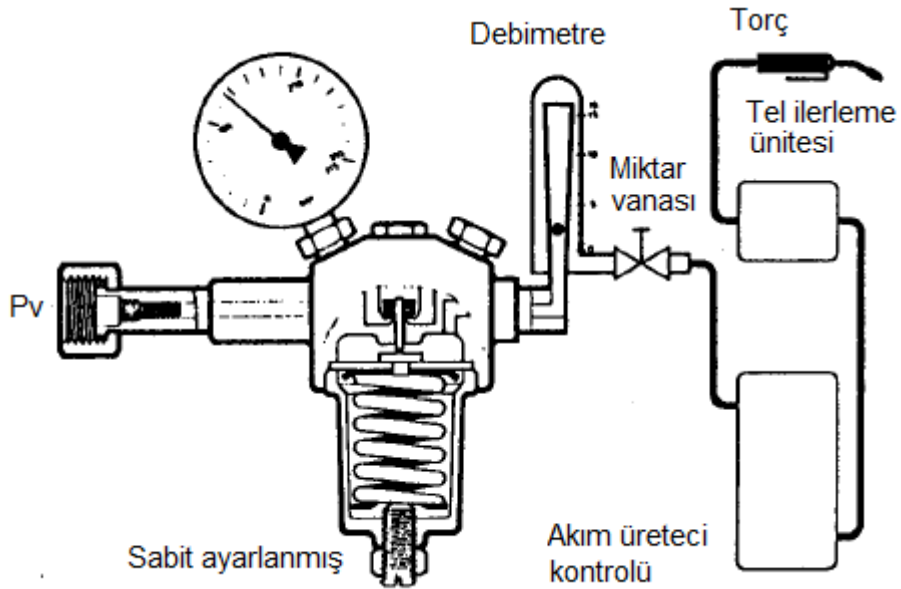
- Basınçlı gaz tüpünden,
- Merkezi gaz dağıtım sisteminden

Ülkemizde MIG-MAG kaynağı için gerekli koruyucu gaz, basınçlı tüplerden sağlanır. İşletme içi merkezi sistem gaz dağıtım şebekeleri henüz uygulama alanı bulamamıştır; zira bu sistemin ekonomik olabilmesi için çok sayıda MIG-MAG kaynak donanımının işletme içinde yoğun bir biçimde kullanılması gerekmektedir [Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004].

Tüpten veya dağıtım hattından gelen koruyucu gaz ilk olarak basıncının kullanma basıncına düşürülmesi gerekir. Hemen sonra da debisi ayarlanmalıdır. Ayarlanan akış debisi, lt/dak cinsinden ölçüm yapan, kapiler boru ile birleşik bir manometreden okunabilir (Şekil 3.6). Kapiler boruda bir arıza olduğu takdirde, gerçek koruyucu gaz debisi, manometrede gösterilen tüketime göre oldukça yüksek olur. Bu durum kaynak için sakıncalıdır. Çünkü koruyucu gaz debisi ne kadar yüksekse kaynakta o derece yüksek hata ihtimali vardır. Bu durumda bilyalı ölçüm en uygun yöntemdir (Şekil 3.7) ancak biraz pahalıdır. Burada rotametredeki iğneli bir ventil yardımıyla tüketim lt/dak cinsinden ayarlanır ve debi ölçme borusu içindeki uçan bilya tarafından gösterilir. Bu durumda kapiler boru gerekli değildir [Anık ve Vural, 1996].



Şekil 3.6 Basınç düşürme manometresi [Anık ve Vural, 1996].



Şekil 3.7. Bilyalı debimetre takılı manometre [Anık ve Vural, 1996].

Bilyalı ölçüm aleti, doğrudan gaz çıkış lülesine takılabilen ve torçtan çıkan gerçek gaz debisin ölçen küçük bir gaz ölçüm borusudur. Gaz debisi, bilyalı borunun üzerindeki işaretlerden, kullanılan gaz türüne uygun olanı göz önünde tutularak ayarlanır [Anık ve Vural, 1996].

3.3.6. Sulu soğutma sistemleri

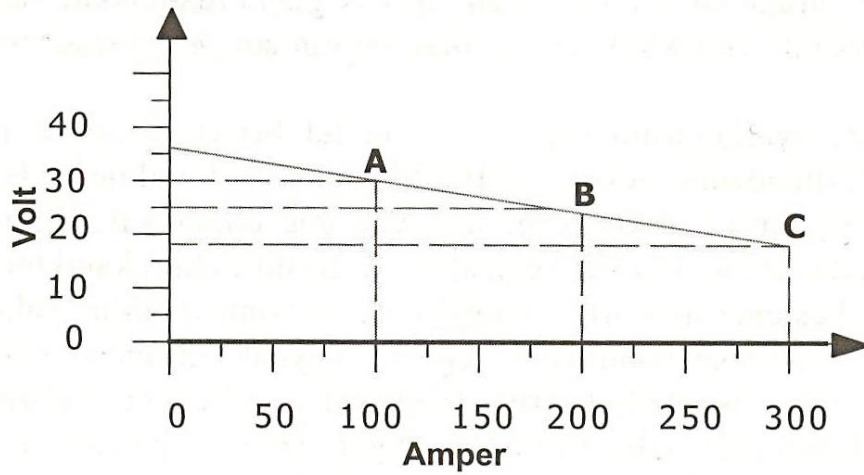
Özellikle MIG-MAG kaynak yönteminin otomatik veya mekanize sistemler yardımı ile uygulamalarında yüksek akım siddetleri ile daha yoğun bir tempo ile çalışılır. Bu gibi durumlarda hava ile soğutulan torçlar beklenen verimi veremediğinden su soğutmalı torçlar tercih edilir. Prensipte su, doğrudan musluktan alınarak kanalizasyona geri verilerek de soğutma işlemini yapma olanakları varsa da bu tercih edilmez, genelde bir su deposu ve soğutmayı sağlayan fanlı bir radyatör ile pompadan oluşan kapalı sistem su soğutucular kullanılır. Bu şekilde, su içine konulan inhibitörler ile korozyon tehlikesi en aza indirilir, suyun sertliği kontrol altına alınabilir ve ayrıca su sürekli olarak filtre edilerek dar su kanallarının pislik v.s. ile tıkanmasının önüne geçilmiş olur. Ayrıca sistem suyun sıcaklığının 60 °C'yi aşmaması için bir termostat debi ayar kontrolü yapan bir sisteme sahiptir. Su doğrudan bu sistemden torça hortum ile sevk edilmez; soğutucunun hortumları kaynak donanımının kumanda dolabına bağlanır ve onun kontrolünde torça sevk edilir ve su devresinde bir tutukluk ortaya çıkınca otomatik olarak kaynak akımı kesilir [Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004].

3.3.7. MIG - MAG kaynağı akım üreteçleri

Kaynak güç üniteleri ark oluşturmak için elektrik gücünü elektroda ve iş parçasına iletir. MIG-MAG kaynağının büyük bir kısmında doğru akım kullanılır ve kural olarak elektrod daima pozitif kutuptadır. Bu nedenle güç ünitelerinin pozitif ucu torça, negatif ucu ise iş parçasına bağlanır. Çeliklerin kaynağında her iki kutuplama kullanılabilir de, daha derin nüfuziyet sağlandığından uygulamada genellikle ters kutuplama tercih edilir. Doğru kutuplama çok nadir olarak, nüfuziyetin çok az olmasının gerekli olduğu hallerde tercih edilir. Doğru akım güç ünitelerinin başlıca

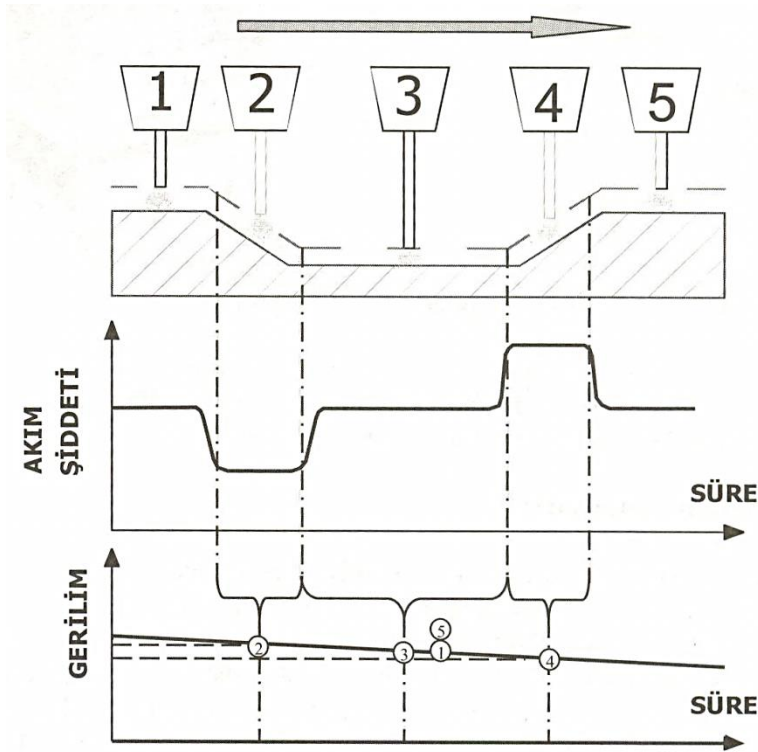
tipleri motor tahrikli jeneratörler (dönen ve hareketli tip) ve redresörlerdir (statik veya hareketsizdir) [Kahraman ve Gülenç, 2009].

Bir güç kaynağının yatay karakteristiği sahip olup olmadığına şu şekilde karar verilir; akım üreticinin karakteristiğinin eğimi her 100 amperde 1-5 volt arasında bir değişim gösteriyor ise bu makine yatay karakteristiğe sahiptir. Şekil 3.8'de görüldüğü üzere gerilimdeki küçük değişimlere karşılık akımdaki değişimler oldukça büyüktür [Kahraman ve Gülenç, 2009].



Şekil 3.8. Yatay karakteristiğe sahip bir makinenin I-V ilişkisi [Kahraman ve Gülenç, 2009].

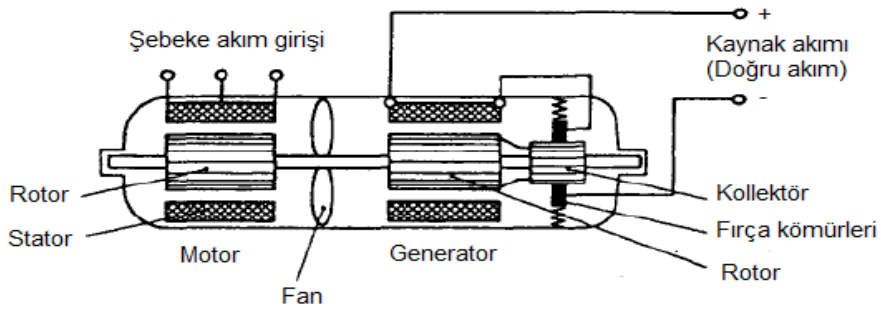
MIG-MAG kaynağı akım üreticilerinde içten ayar diye adlandırılan ark boyu ayarı vardır. Bu makinelerde ark gerilimi, tel ilerleme hızı ve buna bağlı olarak da akım şiddeti ayarlanır. Tel ilerleme motorunun hızı, seçilen bir devirde döneceğinden tel ilerleme hızı sabittir. Kaynak işlemi esnasında herhangi bir sebeple ark boyu uzadığı zaman akım şiddeti büyük miktarda azalır. Bu olay şematik olarak şekil 3.9'da gösterilmiştir. Ark boyunun artması akım şiddetinin düşmesine, dolayısıyla tel ergime miktarının azalmasına neden olur. Bu sırada sabit hızla gelen tel, arkı normal konumuna döndürür. Ark boyu kısaldığında akım şiddeti yükselir, tel ergime miktarı artar, sabit gelen tel hızı arkı normal boyuna döndürdüğü içinde akım ve gerilim değerleri uygun değerlere seyreder [Kahraman ve Gülenç, 2009].



Şekil 3.9. Ark uzunluğunu içten ayar yardımı ile ayarlanması [Kahraman ve Gülenç, 2009].

Motor Generatör Tipi Akım Üreteçleri

Şantiyelerde, elektrik akımının bulunmadığı yerlerde kullanılmak üzere geliştirilmiş, dizel veya benzin motoru tarafından tahrik edilen generatörlerdir.



Şekil 3.10. MIG-MAG kaynak yöntemi için motor-jeneratör akım üretici [Tülbentçi, 1998].

Bunlar genellikle hem yatay hem de düşey karakteristik ile çalışabilecek biçimde tasarlanırlar ve bu şekilde özellikle boru hatlarının kaynağında hem örtülü elektrod ile elektrik ark kaynağı ve hem de MIG-MAG yönteminde kullanılabilir. Bu özellik şantiyelerde büyük bir kolaylık sağlamaktadır [Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004].

Redresör Türü Akım Üreteçleri

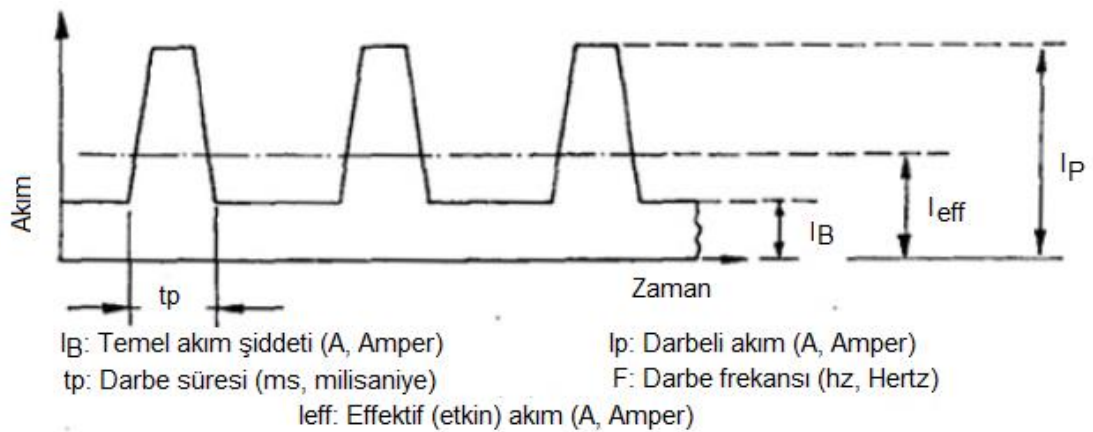
İşletme içinde kullanılan standard akım üreteçleri ise bir transformatör ve bir redresörden oluşmuş paket cihazlardır. Günümüzde artık elektrik motoru ile tahrik edilen generatörlerin imali yok denecek kadar azalmıştır [Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004].

Normal şebekeye bağlanan bu cihazların monofaze ve trifaze akım ile çalışanları vardır. Trifaze akım ile çalışan üreteçler gerek daha kararlı bir kaynak arki oluşturmaları ve gerekse de şebekeyi dengeli bir şekilde yüklemeleri nedeni ile tercih edilirler. MIG-MAG kaynak yönteminde güvenilir kaynak bağlantısı elde edebilmek için ayarlanması gereken kaynak parametrelerinin basında akım şiddeti ve gerilimi gelir. Sabit gerilimli veya diğer bir deyimle yatay karakteristikli kaynak akım üreteçlerinde bu iki parametre birbirlerinden bağımsız olarak ayarlanabilir [Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004].

Kaynak akım gerilimi, akım üreticinin ince ve kaba ayar düğmelerinden kademeli olarak veya bazı özel tiplerde ise potansiyometre ile kademesiz olarak ayarlanabilir. Kaynak akım şiddeti ise MIG-MAG kaynak üreteçlerinde tel ilerletme düğmesinden ayarlanır. Seçilmiş olan gerilim ve akım şiddetinin dikiş biçimi ve ark oluşum türü üzerine etkileri vardır. Uygun seçilmiş bir çalışma noktası arkın sakin ve kararlı bir şekilde yanısı ile kendini belli eder [Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004].

Sinerjik Darbeli Akım Üreteçleri

İyi bir nüfuziyetin, buna karşın parçaya ısı girdisinin sınırlı tutulmasının gerekli olduğu durumlarda, darbeli doğru akım yöntemi uygulanır. Darbeli doğru akım (pulsed direct current) ile alternatif akımı birbirlerine karıştırmamak gerekir; darbeli doğru akım halinde, seçilen akım şiddeti önceden saptanmış iki değer arasında, arzu edilen bir frekansta değişmektedir. Bu sistemin üstünlüğü tel elektrodan ergiyen damlaların kaynak banyosuna geçişinin temel ve darbe akım şiddetine göre iki farklı hızda gerçekleşmesidir. Darbe akımı sırasında, tepe akımda, kaynak metali hızlı bir biçimde ergir ve kaynak banyosuna spreyci ark biçiminde taşınır; bunu takip eden temel akım periyodunda elektrod ucunun ergimesi azalır hatta gerekirse hiç ergimemesi sağlanır ve kaynak banyosuna da ısı girdisi azalır ve bu sırada banyo kısmen katılaşmaya başlar; temel akım şiddeti arkın sönmeyeceği bir değerde tutulduğundan arkın yeniden tutuşturulması sorunu ortadan kalkar. Bu şekildeki bir ark ile her pozisyonda kaynak yapmak kolaylaşmış olur. Bu türde imal edilen ilk akım üreteçlerinde ya frekans ya da temel ve darbe akımı şiddetleri ayar edilebilmekteyken; bugün güç elektroniği yardımı ile frekans, temel akım şiddeti, darbe akım şiddeti ile bunların sürelerini birbirlerinden bağımsız olarak ayarlayabilen akım üreteçleri geliştirilmiş ve artık günümüz endüstrisinde, her akım darbesinde kaynak banyosuna tek bir damla kaynak metali transfer eden MIG-MAG kaynak donanımları uygulama alanına girmiştir [Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004].



Şekil 3.11. MIG-MAG kaynağında darbeli akım değişimi [Tülbentçi, 1998].

İnverter Türü Kaynak Akım Üreteçleri

Kaynak teknolojisindeki en son gelişmelerden bir tanesi hatta en önemlisi inverter türü akım üreteçlerinin uygulamaya girmiş olmasıdır. İnverterler daha önceleri uçak endüstrisinde, kontrol devrelerinde doğru akım üretiminde kullanılmaya başlanmış ve kazanılan deneyimler bunların kaynak endüstrisinde de güç kaynağı olarak kullanılmasına olanak sağlamıştır [Kahraman ve Gülenç, 2009].

Alışılmış kaynak akım üreteçlerinde, şebekeden çekilen alternatif akım direkt olarak bir transformatöre girer, burada akımın frekansı değişmez sadece gerilimi ayarlanır. Bu akım redresörde doğrultulur ve filtre edilerek kaynak için gerekli koşullarda doğru akım elde edilir ve kontrol devreleri de çıkış akımından aldıkları sinyalleri giriş kontrol sinyalleri (akım üreticinin ayar değerleri) ile karşılaştırarak redresör çıkışını ayar eder [Kahraman ve Gülenç, 2009].

İnverterlerde ise, şebekeden çekilen alternatif akım önce bir redresöre girer ve doğru akım haline dönüştürülür ve bu akım Chooper diye adlandırılan özel bir cihazda yüksek frekanslı alternatif akım haline dönüştürülür; kaynak işlerinde kullanılan inverterlerde bu frekans 20.000 Hz mertebesinde. Bu yüksek frekanslı alternatif akım transformatör gerilimi kaynak için uygun değere indirilir ve buradan çıkan akım aynen alışılmış redresörlerde olduğu gibi bir redresörde doğrultulur ve bir filtreden geçirilerek kaynak için gerekli koşullarda doğru akım elde edilir. Sonuç olarak, gerek alışılmış akım üreteçlerinde ve gerekse de inverterlerde şebeke akımı kaynak için gerekli koşullardaki doğru akıma dönüştürülmüş olur, ama burada inverterin sağladığı çok önemli üstünlükler vardır [Kahraman ve Gülenç, 2009].

- Transformatörlerin büyüklüğü alternatif akımın frekansı ile ters orantılıdır; frekans büyüdükçe transformatör küçülür. Aynı akım gücündeki bir normal redresör ve inverter karşılaştırıldığında, inverterin ağırlık olarak %25 ve boyut olarak ta %33 daha küçük olduğu görülür.
- İnverterler daha yüksek bir verim ve daha büyük bir güç faktörüne sahiptirler ve dolayısı ile inverter kullanımı halinde elektrik giderlerinde önemli bir

azalma ortaya çıkmaktadır ve özellikle 200 A' in altındaki akım şiddetleri ile çalışma halinde bu verimlilik daha da büyümektedir.

- İnverterlerin en önemli avantajı kaynak arkının stabilizesinin, performansının ve kontrol kabiliyetinin artmasıdır. Kontrol devresi inverterin çıkışını saniyede 20,000 kez değiştirebilmekte ve ark kontrolünün çok hassas bir biçimde gerçekleşmesine yardımcı olmaktadır. Küçük transformatörler değişimlere alışılmış makinelerde kullanılan büyük transformatörlerden daha az direnç göstermekte ve daha hızlı bir uyum sağlayabilmektedirler.
- İnverterlerin, endüktans (akımın inme ve çıkma hızı) üzerinde daha etkin bir kontrol sağlaması kaynakçıya kaynak arkını çok yumuşak bir ark halinden daha delici ve derin nüfuziyet sağlayan bir ark haline kadar ayarlama olanağını sağlar. Bu olay ise, kısa ark ile çalışma halinde karşılaşılan yanma oluşu, soğuk kalmış bölgeler oluşumu tehlikesini ortadan kaldırdığı gibi bu tür çalışmada görülen büyük miktarda sıçramanın azalmasını da sağlar [Kahraman ve Gülenç, 2009].

İnverterlerin bu üstünlükleri darbeli ark sistemi ile birleştirildiğinde, saf CO₂'nin koruyucu gaz olarak kullanılması halinde bile sıçrama görülmez. Darbeli akım ile çalışan inverterlerin üstünlükleri şu şekilde sıralanabilir:

- Isı girdisinin daha etkin bir biçimde kontrolü,
- Kısa ark boyu ortalama akım siddetlerinde dahi her pozisyonda sprey transfer uygulamasına olanak sağlar ve sıçrama yok denecek kadar azalır,
- Aynı akım siddetinde bir büyük boy tel elektrod kullanabilme olanağını sağlar [Kahraman ve Gülenç, 2009].

4. KORUYUCU GAZLAR

4.1. Koruyucu Gazların Fonksiyonları

Gazaltı kaynak yöntemlerinin üç tür sarf malzemesi vardır, bunlar elektrik enerjisi, koruyucu gaz ve ek kaynak metalidir. Kaynak telinin kimyasal bileşimi ve koruyucu gazın türü kaynak metalinin bileşimini ve mekanik özelliklerini belirleyen en önemli faktörlerdir [Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004].

Bütün gazaltı kaynak yöntemlerinde olduğu gibi MAG yönteminde de koruyucu gazın ark bölgesini tamamen örtmesi ve atmosferin olumsuz etkilerinden koruması gerekmektedir. MIG-MAG kaynağında asal (inert) ve aktif gazlar veya bunların çeşitli oranlarda karışımları kullanılır. Genel olarak asal gazlar reaksiyona girmediklerinden dolayı demirdışı metallerin kaynağında, aktif gazlar veya aktif asal gaz karışımları da çeşitli tür çeliklerin kaynağında kullanılmaktadır. Genellikle koruyucu gazın içindeki O₂ veya CO₂ oranı arttıkça dikişin görünüşü kötüleşir [Kahraman ve Gülenç, 2009].

MIG-MAG kaynağında ticari olarak kullanılan gazlar veya gaz karışımlarından asal olanlar argon ve helyum, aktif olanlar ise karbondioksit, azot, oksijen ve hidrojen gazlarıdır. Bir ark kaynağında, eğer kaynak banyosu, çevredeki havaya karşı korunmazsa, havada bulunan %21 O₂, %78 N₂ ve az miktardaki diğer gazlar kaynak sırasında sıvı kaynak banyosuna nüfuz edecekler ve kaynak dikişinde gaz boşlukları meydana getireceklerdir. Çizelge 4.1’de MIG-MAG kaynağında kullanılan koruyucu gazların yoğunlukları ve ilk iyonizasyon potansiyelleri [Kahraman ve Gülenç, 2009].

Çizelge 4.1. Koruyucu gazların yoğunluk, ilk iyonizasyon potansiyelleri ve reaksiyon özellikleri [Kahraman ve Gülenç, 2009].

Gaz	Yoğunluk (kg/m³)	İlk iyonizasyon potansiyeli (elektron watt)	Kaynak sırasında reaksiyon özelliği
Argon	1,784	15,75	Asal
Helyum	0,178	24,58	Asal
Hidrojen	0,083	13,59	İndirgeyici
Azot	1,061	14,54	Reaksiyon zayıflatıcı (Malzemelere göre değişmekte olup negatif etkisi olabilir)
Oksijen	1,326	13,61	Oksitleyici
Karbondiyoksit	1,977	14,00	Oksitleyici

Koruyucu gaz, ergimiş kaynak banyosu içindeki alaşım elementlerinin atmosferdeki oksijen ile reaksiyona girmesini engellemek, azot ve hidrojen gibi diğer zararlı gazların kaynak metaline sıvı kaynak banyosunda çözülerek girmesini önlemek işlevlerini yerine getirir. Ergimiş halde hemen hemen tüm metaller havadan oksijen ve azot absorbe ederler ve ergimiş metalde çözünen bu gazlar katılaştıran kaynak metalindeki elementler ile birleşir ve yeni bileşikler oluştururlar; bu olay kaynak metalinin kimyasal ve fiziksel özelliklerini etkiler, gözenek oluşumuna ve gevrekleşmeye neden olur [Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004].

Koruyucu gazın temel görevi çevredeki atmosferin ergimiş kaynak banyosuyla temasını engellemektir. Yani koruyucu gaz burada örtülü elektrotlardaki örtünün görevini görür. Esas görevi dışında koruyucu gazın kaynak işlemine ve sonuçta elde edilen kaynak dikişine aşağıda belirtilen hususlar yoluyla önemli etkileri vardır:

- a) Arkın karakteristiği
- b) Metal transferin şekli

- c) Nüfuziyet ve kaynak dikişinin profili
- d) Kaynak hızı
- e) Yanma oluşu oluşma eğilimi
- f) Temizleme etkisi
- g) Kaynak metalinin mekanik özellikleri [Eryürek, 2003].

Kaynak işlemi için gaz seçiminde çeşitli etmenlerin göz önünde bulundurulması gereklidir.

Bunlar şu şekilde sıralanabilir:

- Kaynak edilen metal veya alaşımın türü,
- Ark karakteristiği ve metalin damla geçiş biçimi,
- Kaynak hızı,
- Parça kalınlığı, gereken nüfuziyet ve kaynak dikişinin biçimi,
- Kaynak dikişinden beklenen mekanik özellikler,
- Kaynak banyosunda oluşan oksitlerin temizlenmesi,
- Tedarik edilebilirlik ve gazın maliyeti [Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004].

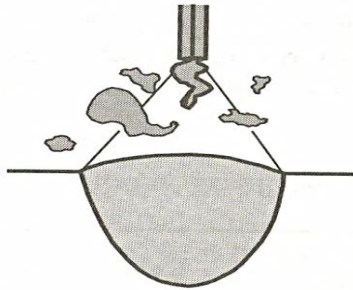
4.1.1. Karbondioksit

Gazaltı kaynağında kullanılan karbondioksit gazı renksiz, kokusuz ve havadan takriben 1,5 kat daha ağır bir gazdır. CO₂ gazının özgül ağırlığı 1,997 Kg/cm³ tür ve her CO₂ molekülü bir karbon (C) atomu ile iki oksijen (O₂) atomunun birleşmesinden meydana gelmektedir [Kahraman ve Gülenç, 2009].

Koruyucu gazlardan olan Argon ve Helyum gibi asal gazların pahalı ve temin edilmelerinin zor olması nedeni ile bunlara göre daha kolay bulunan ve ucuz olan CO₂ gazının koruyucu gaz olarak kullanılması artmıştır. CO₂ gazı özellikle alaşımsız ve düşük alaşımlı çelik malzemelerin kaynağında ucuzluk, derin nüfuziyet, yüksek kaynak hızı ve iyi mekanik özellikler vermesi nedeni ile ülkemizde geniş bir kullanım alanına sahiptir [Kahraman ve Gülenç, 2009].

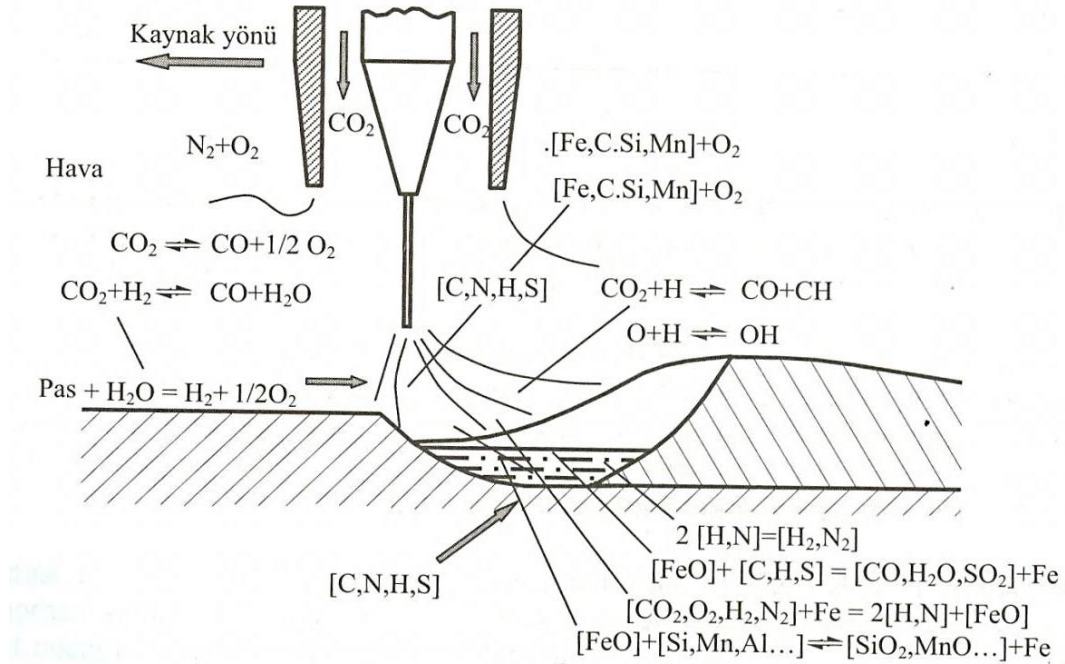
Karbondioksit iş yerlerine genellikle tüp içerisinde getirilir. Tüpün içindeki karbondioksit'in büyük bir bölümü sıvı haldedir ve bu sıvının üst kısmında, buharlaşmış karbondioksit gaz halinde bulunur. Kaynak işlemi anında karbondioksit gazı kullanıldıkça bu gazın basıncı düşer ve sıvı halden buharlaşarak basıncı normal hale dönüşür. Bu buharlaşma esnasında karbondioksit tüpü sürekli olarak buharlaşma ısısına ihtiyaç gösterir, bu bakımdan bir tüpten 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 debilerde çekilmemesi gerekmektedir, devamlı olmamak koşuluyla bu değer 17 lt/dak.'ya kadar çıkabilir. Bu debiden daha fazla gazın gerekli olduğu durumlarda birden fazla karbondioksit tüpü manifold yardımı ile bağlanarak kullanılması gerekmektedir. Soğuk ortamlarda ise karbondioksit gazı çıkış yerine bir elektrikli ısıtıcı ilave edilmesi tavsiye edilir [Kahraman ve Gülenç, 2009].

Karbondioksit gazı ile kısa devre ya da küresel geçiş sağlanabilir. Ancak karbondioksit tek başına sprey ark geçişi sağlayamaz. Küresel geçişte, ark oluşumu sert, yıpratıcı ve yüksek çapak oluşumu söz konusudur. Çapak oluşumunu azaltmak için, torcun ucu çalışma yüzeyinden bir miktar derine gömülmesi gereklidir. Eğer argonca zengin bir karışımla karbondioksit karşılaştırılırsa; karbondioksit, daha yüksek nüfuziyet sağlar. Ancak kaynak dikişi yüzeyi son derece kaba bir görünüme sahip olur. Şekil 4.1'de karbondioksit gazının metal geçiş formuna etkisi görülmektedir [Kahraman ve Gülenç, 2009].



Şekil 4.1. Karbondioksit gazının metal geçiş formuna etkisi [Kahraman ve Gülenç, 2009].

Karbondioksit kaynağında yüksek metal yığıma oranı elde edilir. Ancak gazın oksitleyici özelliklerinden dolayı, oluşan kaynak dikişinin mekanik özellikleri Argonca zengin karışıma oranla düşüktür. Yüksek çapak oluşumu nedeni ile düşük hız elde edilir [Kahraman ve Gülenç, 2009].



Şekil 4.2. MIG-MAG kaynağında CO₂ atmosferinde oluşan reaksiyonlar [Kahraman ve Gülenç, 2009].

Karbondioksit, argon gibi monoatomik ve soy bir gaz olmadığından, arkın yüksek sıcaklığında karbonmonoksit ve oksijene ayrışır. Ark sütunu içinde iyonize olan gazlar kaynak banyosuna doğru gelir ve bir miktarı tekrar karbondioksit haline geçer ve dolayısı ile ayrışma sırasında almış olduğu ısıyı tekrar verir ve bu da dikişte nüfuziyetin artmasına neden olur. Serbest kalan oksijenin bir kısmı da kaynak banyosundaki elementlerle (özellikle demirle) birleşir; banyo içindeki demiroksit, mangan ve silisyum tarafından redüklenir. Kaynak banyosundaki bu mangan ve silisyum kaybı kaynak telinin bileşimi tarafından karşılanır. Bu bakımdan çeliklerin MIG yöntemi için üretilmiş teller MAG yönteminde kullanılmaz. MAG kaynağında, kaynak işlemi sırasında bir miktar alaşım elementi oksidasyona uğradığından, dikişin üzerinde çok ince bir cüruf oluşur [Gülenç, 2009].

4.1.2. Argon (Ar)

Atmosferde % 0,934 oranında bulunduğundan dolayı argon gazı havadan elde edilir. Argon sıvı metaller içinde çözünmez ve yoğunluğunun havadan 1,38 kez daha yüksek olması, düşük iyonizasyon enerjisi nedeni ile özellikle yatay kaynak pozisyonlarında, kaynak sırasında çok etkin bir örtü oluşturarak kaynak banyosunu çok iyi biçimde koruyan bir soy gazdır [Kahraman ve Gülenç, 2009].

Koruyucu gaz olarak kullanılan argon gazının diğer bir soy gaz olan Helyum'a göre üstünlükleri şunlardır;

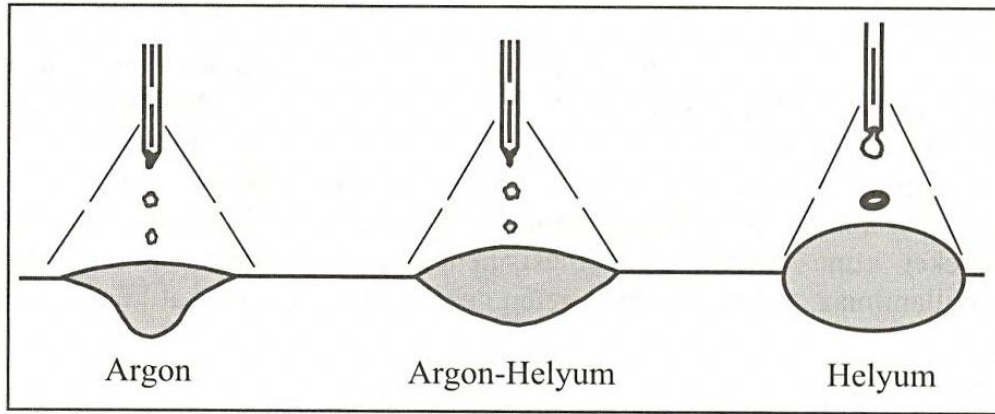
- Sessiz ve düzgün bir ark sağlar
- Ark voltajı düşüktür (ince metaller için üstündür)
- Oksit temizleme özelliği iyidir (Al ve Mg kaynağında tercih edilir)
- Havadan ağırdır (bu sebeple iyi bir koruma sağlar, gaz akış oranı düşük olması nedeni ile sarfiyat azdır)
- Ark daha kolay başlar
- Piyasada kolay bulunur ve maliyeti düşüktür
- Farklı kalınlıktaki metallerin kaynağında tercih edilir
- Tavan ve dik kaynak pozisyonlarında banyo kontrolü iyidir [Kahraman ve Gülenç, 2009].

4.1.3. Helyum (He)

Atmosferde çok az miktarda bulunan helyumu ayırtırmak endüstriyel olarak olanaksızdır; helyum günümüzde doğal gazdan ayırıştırılarak elde edilmektedir. Havadan hafif olması nedeni ile helyum gazı kaynak alanından çok hızlı bir şekilde ayrılır. Dolayısı ile kaynak alanına çok hızlı bir şekilde gaz akış hızı gerekir. Helyum atmosferi yüksek ısı iletibilme yeteneğine sahiptir. Bu nedenle derin nüfuziyetli kaynak dikişleri elde edilir. Kalın kesitli metallerin kaynağında kullanılır. Ayrıca ısıyı iyi ileten metalleri kaynak etmede kullanılır. Helyum için gereken ark gerilimi

daha yüksek olduğundan helyum atmosferinde oluşan kaynak arkı daha yüksek enerjili ve sıçrama daha fazladır [Kahraman ve Gülenç, 2009].

Helyum kaynak sırasında daha derin ve geniş bir dikiş oluşturur. Argon ise “şarap kadehi” şeklinde bir nüfuziyet oluşturur. Başlıca argon, helyum, argon-helyum karışımı dikiş profilleri şekil 4.4’de gösterilmiştir. Helyum, argon gazına göre daha yüksek bir iyonlaşma potansiyeli ve dolayısı ile daha yüksek ark voltajı oluşturur. Kısa devre geçişinde, argon gazı ve helyum gazları, %60-90 helyum oranına kadar çeşitli oranlarda karıştırılarak kullanılırlar [Kahraman ve Gülenç, 2009].



Şekil 4.3. Argon ve helyum gazlarının kaynak dikiş şekilleri [Kahraman ve Gülenç, 2009].

4.1.4. Oksijen (O₂)

Oksijen gazı kokusuz, renksiz ve yakıcı bir gazdır. Kendisi yanmamasına karşın bütün yanmalar için kesinlikle bulunması gereken bir gazdır. 0 °C de ve 760 mm Hg basınçta özgül ağırlığı 1,42 kg/m³’dür. Atmosfer basınçta -183 °C’de buharlaşır ve özgül ağırlığı 1,131 kg/dm³’dir [Kahraman ve Gülenç, 2009].

Oksijen çok hafif bir element olduğundan metal ve alaşımları ile kolayca bileşik meydana getirir. Oksijen, arkın korunmasında hiçbir zaman doğrudan yalnız başına kullanılacak bir gaz değildir. Diğer temel koruyucu gazlara katılarak karışım halinde kullanılır. Karışım değeri yüzde olarak çok küçüktür. Karışım değeri en çok argon ile

olan karışımdır. Karışım değeri yüzde olarak çok düşük olan oksijen, arkın düzenli oluşmasını sağlarken dikişte gözenek pek görülmez, az orandaki oksijen, genellikle oksitlenme oranını düşürür. Karbonmonoksit haline gelen gazları karbondioksit haline çevirir. Oksijenin argona az oranda eklenmesi, ark kararlılığını iyileştirmekte ve eriyen metal damlacıklarının çapını düşürmektedir [Kahraman ve Gülenç, 2009].

4.1.5. Hidrojen (H₂)

Hidrojen kokusuz, renksiz ve çok hafif bir gazdır. Özellikle argon gazına katılması ile paslanmaz çelikler, nikel ve nikel alaşımlarının kaynağında kullanılır. Hidrojen gazı da oksijen gibi temel koruyucu gazlara katılarak ve kaynak sırasında ark voltajını dolayısı ile de ark sıcaklığı ve ısı iletkenliğini artırdığından kaynatılacak malzeme yüzeyinde oksit tabakasının oluşumunu önler ve aynı zamanda da kaynak banyosunun akışkanlığını, nüfuziyeti ve mekanik özelliklerini olumlu yönde iyileştirir [Kahraman ve Gülenç, 2009].

4.1.6. Azot (N₂)

Azot, helyumun kolay bulunmadığı ülkelerde kullanılır. Nadir olarak kullanılan bir koruyucu gazdır. Ark gerilimini ve akım şiddetini yükseltici bir etkisi vardır. Birçok karakteristiği helyum gazına benzerlik gösterir. Azot %12'ye kadar argon'a ilave edilebilir. Yüzey gerilimini düşürücü özelliği vardır. Kaynak havuzu üzerinde atıklar oluşturur, bu da gazın istenmeyen kimyasal etkinliğini gösterir [Kahraman ve Gülenç, 2009].

4.1.7. Argon-Helyum-Karbondioksit veya Oksijen karışımları

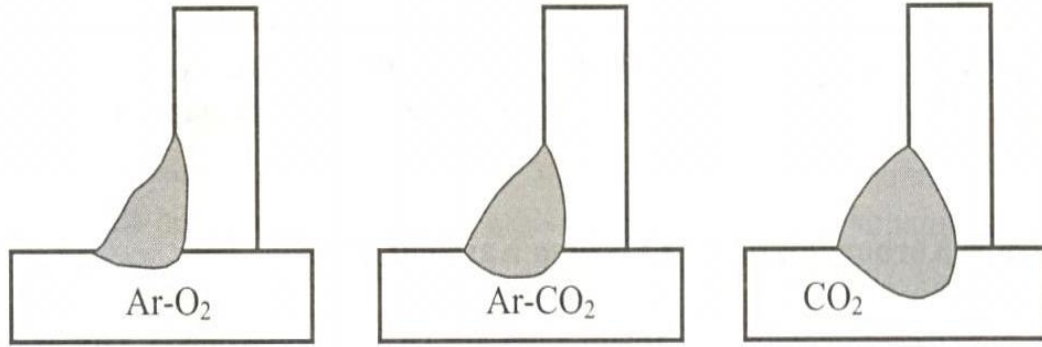
Bu karışım, 4'lü (quadropole mix) karışım adını alır ve MIG kaynağında, yüksek amper/yüksek metal yığıma oranı için optimum şartlar sağlar. Karışım, optimum mekanik özellikler ve geniş yığıma oranında çalışabilme açısından avantajlar sağlar. Ana kullanım alanı, düşük alaşımlı çeliklerin kaynaklarında da kullanılır [Kahraman ve Gülenç, 2009].

Saf argona eklenen helyum, demir-dışı malzemelerin kaynağında mükemmel sonuç verir. Saf argon ise demir-dışı malzemelerin kaynağında (undercutting) yanma olukları çatlağı hatasına neden olabilir. Saf argona %1-5 oranında eklenen oksijen ya da %3'ten %25'e kadar oranlarda eklenen karbondioksit, ark kaynaklarında belirgin bir düzelme sağlar. Asal gazlara eklenecek optimum karbondioksit ya da oksijen miktarı, yüzey şartları, (paslı vb.) dikiş geometrisi, kaynak tekniği ve ana metal kompozisyonuna bağlıdır. Genellikle %2 oksijen ya da %8-10 oranında karbondioksit eklenmesi optimum sonuçlar oluşturur. Argona karbondioksit eklenmesi, kaynak dikişini "şeftali şekli" oluşturarak iyileştirir. Argona %1 ile %9 oksijen eklenmesi, kaynak banyosunun akışkanlığını, nüfuziyeti ve ark kararlılığını artırır. Oksijen aynı zamanda geçiş akımını azaltıcı etki gösterir. Yedirme eğilimi azalır, ancak, manganez ve silisyum kaybından dolayı kaynak metalinde yüksek oksitlenme eğilimi belirir (silisyum ve manganez, kaynak işleminde deoksidan malzeme olarak kullanılırlar.) yalın, düşük alaşımlı ve paslanmaz çeliklerde, az da olsa, argon-karbondioksit karışımı kullanılır. %25 oranına kadar eklenen karbondioksit en az geçiş akımını düşürür, çapak oluşumunu azaltır, nüfuziyeti artırır ve ark kararlılığını azaltır. Argon-karbondioksit karışımları genellikle kısa devre kaynaklarında kullanılır. Ancak, sprej ark ve darbeli ark kaynağında da kullanılır. Argon + %5 karbondioksit karışımı, darbeli ark kaynağında kullanılır. Argon-helyum ve karbondioksit karışımı, darbeli ark kaynağında da yaygın olarak kullanılır. Paslanmaz çelik kaynağında %85 helyum + % 13,5 argon + %1,5 CO₂ içeren karışım kısa devre geçişi ve korozyon direnci sağlar. Günümüzde geliştirilen bir başka karışım %60 argon + %38 helyum + %2 CO₂ içerir ve paslanmaz çelik kaynağı için kullanılır. Bu karışım ergimiş metale optimum akışkanlık, iyi yüzey ıslatma, iyi bir ark kararlılığı ve düşük çapak oluşumu sağlar. Buna ilaveten, hidrojen çatlağı ve birikme yoktur. Aynı zamanda bu karışım darbeli ark kaynağı ve sprej ark geçişi için kullanılır [Kahraman ve Gülenç, 2009].

4.1.8. Argon-Oksijen-Karbondioksit karışımları

Argona eklenen %3-5 oranında oksijen ve %20 ye kadar karbondioksit, metal sektöründe yaygın olarak kullanılır. Bu gazlar, optimum koruma ve sprej ark, kısa

devre ve darbeli ark geçişi için uygun ark karakteristiği sağlar [Kahraman ve Gülenç, 2009].



Şekil 4.4. Argon, Oksijen ve Karbondioksit gazlarının kaynak dikişine etkisi [Kahraman ve Gülenç, 2009].

4.2. Damla İletim Mekanizmaları

Damla iletim tipi çok sayıda faktör tarafından etkilenir. Bunlar içinde en etkili olanlar şunlardır:

- Kaynak akımının tipi ve şiddeti
- Elektrod çapı
- Elektrodun bileşimi
- Serbest elektrod uzunluğu
- Koruyucu gaz

Gazaltı kaynağında metal damlalar elektrodan iş parçasına dört temel iletim mekanizmasıyla geçer.

- Kısa devre iletimi (kısa ark)
- İri damla iletimi (uzun ark)
- Sprey iletimi
- Darbeli ark

4.3. MIG-MAG Kaynağı Tel Elektrodları

Tel elektrodlar, kaynak esnasında üzerinden akım geçerek ergiyen, otomatik olarak beslenen (MIG-MAG, tozaltı) ark kaynağı yöntemlerinde ilave kaynak metali olarak kullanılan ve bir kangala sarılı halde bulunan tellerdir. MIG-MAG kaynağında kullanılan dolu tel elektrodlar, temas memesinden geçerken temas kolaylığı sağlamak ve de korozyondan korunmak amacı ile ince bir bakır tabakası ile kaplanır. Bu elektrodların çapları (0,6), (0,8), (0,9), (1,0), (1,2), (1,4), (1,6), (2,0), (2,4) ve (3,2) mm arasında değişmektedir [Kahraman ve Gülenç, 2009].

Özsüz olarak kullanılan bu elektrodlar bileşimlerine göre SG1, SG2 ve SG3 olmak üzere üç gruba ayrılırlar. MIG-MAG kaynağında kullanılan tel elektrodların yüzeyi pürüzsüz ve gayet hassas olmalıdır. Kaynak işlemi esnasında tel elektrodda, ark kabiliyetini engelleyecek çapak, çukurluk, katmer gibi yüzey kusurları veya yabancı maddeler bulunmamalıdır [Kahraman ve Gülenç, 2009].

MIG-MAG kaynağında tel elektrodlardan başka özlü elektrodlar da kullanılır, bu elektrodların orta kısmında rutil veya bazik özler bulunur. Bu tür elektrodlar, alaşımsız ince bir sac şeritin boru haline getirilmesi veya bir lüleden geçirilerek tel şeklinde çekilmesi sonucu elde edilmişlerdir. Boru biçiminde olanların iç kısmında, diğerlerinin kıvrımları arasında dekapan ve ferroalaşım tozları bulunur; kaynak dikişinin dezoksidasyonu ve alaşımlanması bu öz tarafından gerçekleşir

Ergiyen elektrod ile ark kaynağında en önemli problemlerden bir tanesi de tel elektrodun seçimidir. Bu kaynak yönteminde tel ve gaz kombinasyonu sonucunda ortaya çıkan kaynak metalinin bileşimi, gereken mekanik ve fiziksel özellikleri karşılamak zorundadır, bu bakımdan elektrod seçimi aşağıda belirtilmiş olan kriterler göz önünde bulundurularak yapılır.

- Esas metalin mekanik özellikleri
- Esas metalin kimyasal bileşimi
- Koruyucu gazın türü

- Esas metalin kalınlığı ve geometrisi
- Çalışma ortamının koşulları

4.4.MIG-MAG Kaynağında Kaynak Parametreleri

Kaynak parametreleri kaynak işleminin ve daha sonra oluşan kaynaklı bağlantının kalitesini belirleyen önemli unsurlardan birisidir. Kaynak parametreleri; kaynaklanan metal veya alaşımı ile kaynak metalinin türü, kalınlığı, kaynak ağzı türü ve geometrisi, kaynak pozisyonu ve kaynaklı bağlantıdan beklenen mekanik özellikler göz önünde bulundurularak belirlenir. Bu parametrelerin seçimi, kaynakçının çalışma şartlarını da kolaylaştırır [Kahraman ve Gülenç, 2009].

Kaynakçının kaynak arkının ve parametrelerinin kaynak banyosunu nasıl etkilediğini ve hangi parametrelerin hangi şartlarda değiştirileceğini çok iyi bilmesi gerekmektedir. Kaynak işlemi için seçilen parametreler, birbirlerine uyum gösterdikleri zaman yumuşak, kararlı ve oldukça rahat bir ark meydana getirirler. 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 [Kahraman ve Gülenç, 2009].

İlk gruba giren parametreler kaynağın uygulanmasından önce belirlenen koruyucu gaz türü, elektrod çapı ve türü gibi etmenlerdir. Bu ilk gruba giren etmenlerin kaynak işlemi esnasında değiştirilmesi mümkün değildir. Bu parametreler, kaynaklarda kullanılan malzemelerin türü, kalınlığı, kaynak pozisyonu ve bağlantıdan beklenen mekanik özelliklere göre belirlenir [Kahraman ve Gülenç, 2009].

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. Ark gerilimi arkın uzunluğunu ve dikişin genişliğini belirler [Kahraman ve Gülenç, 2009].

Ark gerilimi yüksekse dikiş yassı ve geniş olur. Bu durumda yanma olukları oluşabilir. Çok uzun ark boyunda alaşım elementleri daha çok yanar (arkta) ve duman çıkarır. Çok düşük gerilim ise dar, fazla dışbükey dikişlere sebep olur ve kısa devre tehlikesi oluşturur. Tel hızı ergime hızıyla doğru orantılıdır ve kaynak akımıyla tel hızı arasında yaklaşık sabit bir oran vardır. Tel hızı arttıkça akım şiddeti ve nüfuziyet artar. Dikiş genişliği normal çalışma aralığında fazla etkilenmez [Kahraman ve Gülenç, 2009].

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 değerlendirilmesi bir hayli zordur ve bazı durumlarda açık bir şekilde görülmez. Kaynak dikişinin biçimini etkileyen bu parametreler torç eğimi, serbest tel uzunluğu, nozul mesafesi, kaynak yönü, koruyucu gaz miktarı ve kaynak pozisyonu olarak sıralanabilir. Çizelge 4.2’de MIG-MAG kaynağında kaynak parametrelerinin dikiş boyutlarına etkisi verilmiştir [Kahraman ve Gülenç, 2009]

Çizelge 4.2. MIG-MAG kaynağında kaynak parametrelerinin dikiş boyutlarına etkisi.

Kaynak parametreleri	D İ K İ Ş B O Y U T L A R I							
	Nüfuziyet		Ergime gücü		Dikiş yüksekliği		Dikiş genişliği	
	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓
Tel ilerleme hızı (Akım şiddeti)	↑	↓	↑	↓	↑	↓	*	*
Gerilim	+	+	*	*	*	*	↑	↓
Kaynak hızı	+	+	*	*	↓	↑	↑	↓
Serbest tel uzunluğu	↓	↑	↑	↓	↑	↓	↓	↑
Tel çapı	↓	↑	↓	↑	*	*	*	*
Koruyucu gaz CO ₂	↑	↓	*	*	*	*	↑	↓
Torç açısı	Sağa kaynak	Sola kaynak	*	*	*	*	Sola kaynak	Sağa kaynak

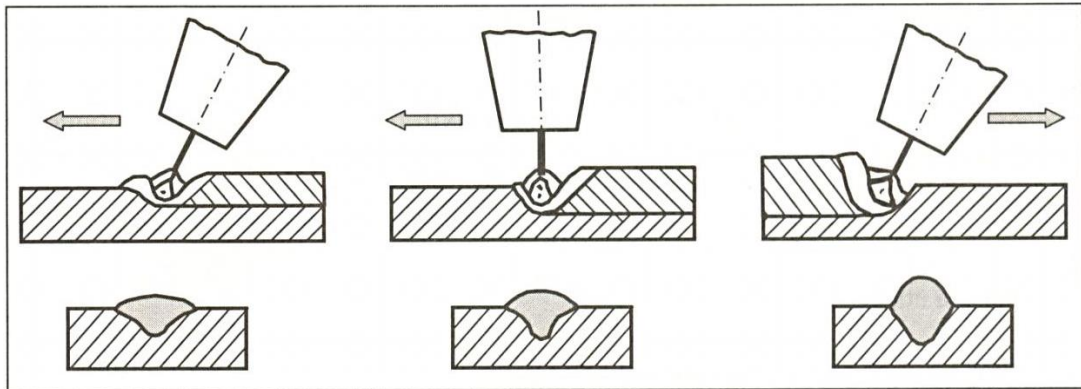
*: Etkisi yok

±: Etkisi az

↑: Atar

↓: Azalır

Torç eğimi: MIG-MAG kaynağında, hem sağa hem de sola kaynak yöntemi uygulanabilir. Torcun kaynak yönü ile aynı yönde eğilmesiyle yapılan kaynağa *sağa kaynak* adı verilir. Torcun bu yönde eğilmesiyle, ark basıncı sıvı kaynak banyosunu geriye doğru itmekte dolayısı ile metal daha derin bir şekilde ergimektedir. Bu yöntemle yapılan kaynakta nüfuziyet artmakta, daha yüksek ve dar bir kaynak dikişi elde edilmektedir (Şekil 4.5) [Kahraman ve Gülenç, 2009].



Şekil 4.5. MIG-MAG yönteminde sağa ve sola kaynak halinde dikiş formunun değişimi [Kahraman ve Gülenç, 2009].

Torcunun kaynak yönü ile ters yönde eğilmesiyle yapılan kaynağa *sola kaynak* denir. Torcun bu yönde eğilmesiyle bir kısım ergimiş kaynak metalini, ark basıncı tarafından kaynak yönünde itilecektir. Dolayısı ile kaynak banyosu daha büyük olacak ancak esas metal o kadar derin bir şekilde ergimeyecektir. Torcun kaynak yönünün tersi yöndeki eğimi arttıkça dikiş daha düz ve geniş bir görünüş alacak, nüfuziyet ise daha az olacaktır. Bu yöntem kök pasolarında ve ince sacların kaynağında tercih edilmektedir [Kahraman ve Gülenç, 2009].

Serbest tel uzunluğu: MIG-MAG kaynağında serbest tel uzunluğunun değiştirilmesi, nüfuziyet derinliğinde değişikliklere neden olur. Serbest tel uzunluğunun artması ve azalması sonucu direncin değişmesiyle akım şiddeti de azalır veya artar ve nüfuziyet derinliği de buna bağlı olarak değişir. Bu etki, elle kaynak yaparken kaynakçının hareketi nedeni ile hesaba katılmalıdır. Yani tolerans aralığı daraltılmalıdır [Kahraman ve Gülenç, 2009].

Serbest tel uzunluğunun artması, ergime gücünün düşmesine, nüfuziyetin azalmasına neden olur. Sonuç olarak serbest tel uzunluğunun aşırı artması, fazla miktarda soğuk kaynak metalinin (düşük sıcaklıkta kaynak dikişine) yığılmasına neden olur. Bu nedenle kaynak işlemi sırasında serbest tel uzunluğunun sabit tutulmasına dikkat edilmelidir [Kahraman ve Gülenç, 2009].

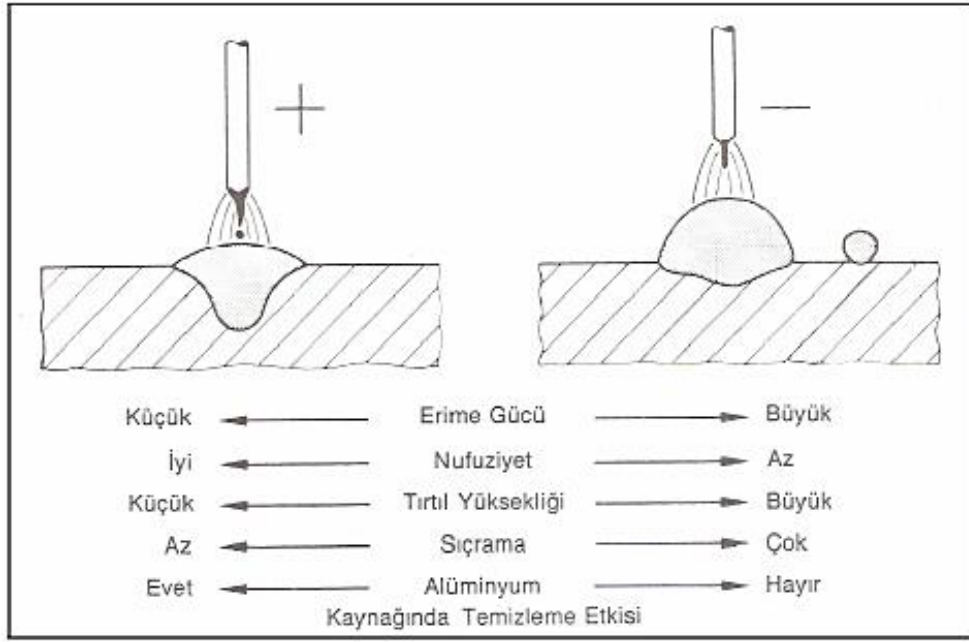
Çeşitli ark türlerine göre serbest tel uzunluğu, tel çapı (d) olmak üzere, kısa ark durumunda 10d, uzun ark durumunda 8-12d ve spreyci ark durumunda 15d olarak seçilebilir. Örneğin geniş kök açıklığı ve ince sacların kaynağı halinde, nüfuziyetin azalmasının gerekli olduğu yerlerde bu mesafe artırılarak akım şiddeti ve nüfuziyetin azaltılması da sağlanmış olur [Kahraman ve Gülenç, 2009].

Nozul mesafesi: Gaz nozulunun iş parçasından uzaklığı, yeterli gaz korunmasını sağlayacak kadar kısa, gaz çıkışını engellemeyecek kadar da uzun olmalıdır. Nozulun iş parçasına uzaklığı akım şiddetine bağlı olarak belirlenir. Genellikle akım şiddeti arttıkça nozul mesafesi artar. (örneğin 50-150 A akım şiddetinde 10 mm, 150-350 A akım şiddetinde 12 mm ve 350 A'den yukarı akım şiddetlerinde 15 mm nozul mesafesi önerilir). Nozul, iş parçasına uzak ise kaynak banyosu yeterli gaz koruması alamaz. Eğer nozul iş parçasına yakın ise kaynakçının kaynak banyosunu görmesi engellenebilir, bu durumda nozul fazla ısınır ve sıçramaların nozula yapışması artar [Kahraman ve Gülenç, 2009].

Koruyucu gaz debisi: Koruyucu gaz debisi; koruyucu gazın yoğunluğuna, ark türlerine, ergime gücüne, malzemeye, gaz memesinin iş parçasına olan mesafesine, gaz memesinin iç çapına, birleştirme şekline, kaynak ağzının biçim ve büyüklüğüne, kaynak pozisyonuna ve kaynak yapılan çevredeki havanın sürkülasyonuna bağlıdır [Kahraman ve Gülenç, 2009].

Kutuplama: Çelikler tel elektrodun pozitif veya negatif kutuplanması ile kaynak edilebilirler. Tel elektrodun pozitif kutuplanması halinde kaynak dikişi yüksekliği az, nüfuziyeti fazla olan en düşük sıçramalı kaynak dikişi elde edilir. Fakat tel elektrodun negatif kutuplanması ile ergime gücü pozitif kutuplanmaya nazaran %30

yükseltilebilir [Kahraman ve Gülenç, 2009]. Şekil 4.7’de kutup degisimine göre nüfuziyet görülmektedir [Tülbentçi 1990].



Şekil 4.6. Kutuplamanın dikiş formuna ve kaynak özelliklerine etkisi [Tülbentçi 1990].

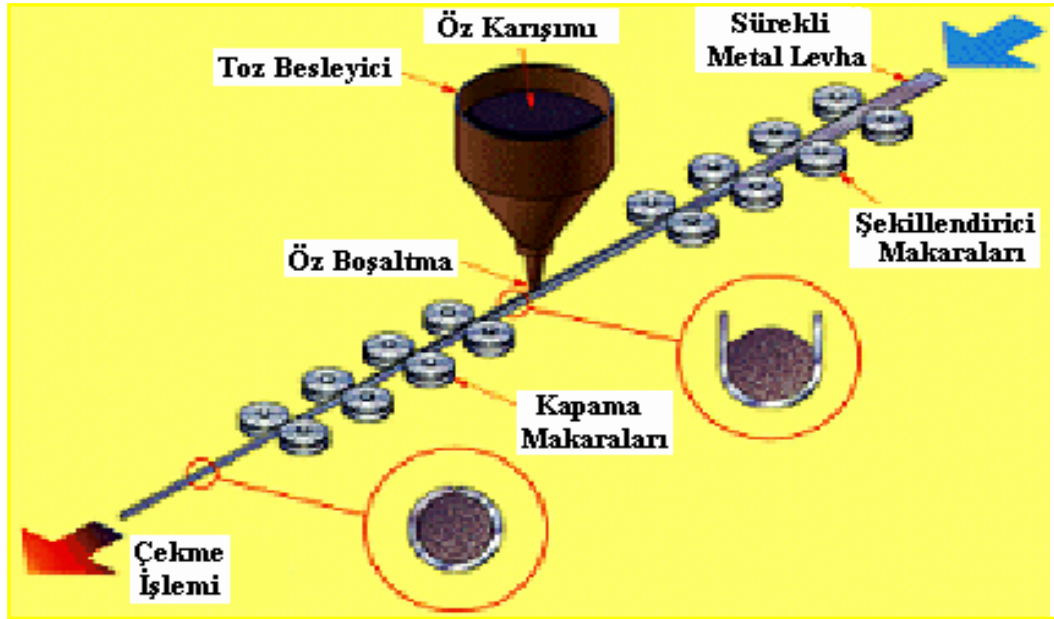
5. ÖZLÜ TELLER

Öz­lü teller kenetli ve dikişsiz (boru tipi) olmak üzere iki ayrı türde üretilmektedir. Kenetli öz­lü tel elektrod­lar bir çelik bandın, bir dikişli boru yapım makinesinde oldu­ğu gibi rulolar arasından geçerek önce U sekinde kıvrılması ve bu biçimde iken iç kısmına toz durumunda özün (alaşım ve dekapan tozları karışımı) konup, gene aynı makinede ince bir boru biçimine getirilmesi sonucu elde edilir. Makineden çıkan bu boru özel çekme tezgâhlarında tel gibi çekilerek veya haddelenerek istenen çapa indirgenirken aynı zamanda iç kısmında özün iyice yayılıp sıkışarak boşluk kalmaması ve homojen bir biçimde yayılması da sağlanmış olur. Kenetli öz­lü tellerin banyoya daldırılarak bakır ile kaplanma yapılamaz [Tül­bentçi, 1998; Kaluç, 2004].



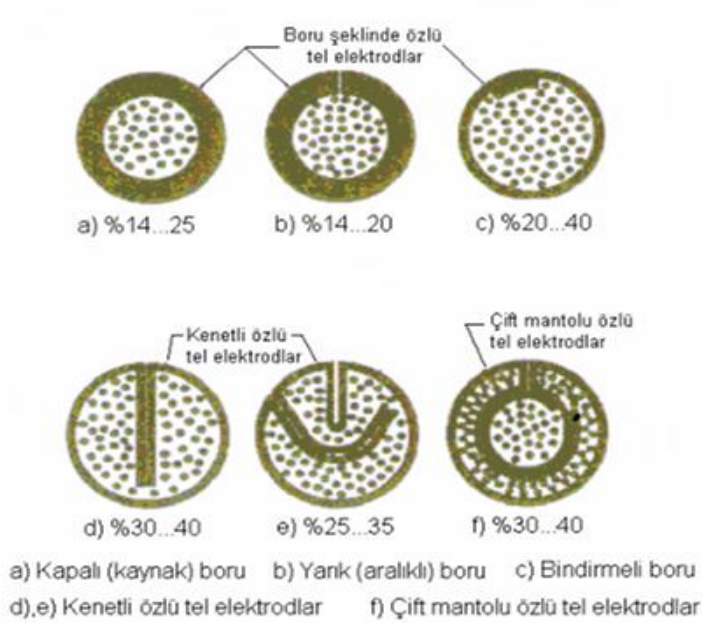
Resim 5.1. Elektrod kaynak öz­lü tel üretim hattı.

Dikişsiz (boru tipi) öz­lü tel elektrod üretiminde, kalın bir boru içine öz­ü oluşturan maddeler doldurulur ve sonra bu boru çekilerek öz­lü tel elektrod çapına indirgenir. Bu tür öz­lü elektrod­lar aynen çıplak (dolu) elektrod­lar gibi bakır ile kaplanabilir [Tül­bentçi, 1998; Kaluç, 2004].



Şekil 5.1. Özlü tel imalatının akış şeması.

Elektrod içindeki özün yüzde olarak ağırlığına dolgu derecesi denir [Anık, 2000]. Şekil 5.2'de özlü elektrodlarda en çok kullanılan kesit formları ve bunlarla ilgili dolgu dereceleri gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Özlü elektrodlarda en çok kullanılan kesit formları ve dolgu dereceleri [Gülsöz, 2000].

Boru tipi özlü elektrodların, kenetli tiplere göre bazı avantajları vardır:

- Kenetli tipte birleştirme mekanik olduğundan, öz dış ortama açıktır, hâlbuki boru tipinde öz, dış ortama tümüyle kapalı olduğundan nem kapma, dolayısı ile örtülü elektrodlarda olduğu gibi kurutma işlemi söz konusu değildir. Hatta yüksek nem alma hassasiyetine rağmen bazik özlü elektrodlar bu yolla üretilmektedir.
- Manto (dış metal kısmı) yüzeyi, kesidin dış ortama tümüyle kapalı olmasının getirdiği avantaj nedeni ile aynı çıplak elektroda da olduğu gibi bakır kaplanabilmektedir. Böylece depolama esnasında elektrod yüzeyinin paslanması söz konusu olmaz.
- Kenetli tip özlü elektrodlarda manto mekanik olarak sıkıştırıldığından elektrod tel sürme disklerinden geçerken deforme olabilir ve manto açılarak toz dışarı akabilir. Bu da kaynakta hata, telin spiral ve merdanede sıkışması ile dökülen tozun metalik aksamalarda aşınmaya yol açması tehlikelerini doğurur, hâlbuki boru tipi özlü elektrodlarda böyle tehlikeler yoktur.
- Boru tipi özlü elektrodlarda manto et kalınlığı, kenetli tip elektrodlardaki manto et kalınlığına göre daha fazla olduğundan, elektrod daha yüksek akım şiddetleri ile yüklenebilir, bu da kaynakta daha derin nüfuziyet demektir [Gülbahar, 1991].

Özlü tel elektrodlar kullanılan özün türüne göre rutil, bazik ve metal özlü olmak üzere üç ayrı grupta incelenebilir [Tülbentçi, 1998].

Çizelge 5.1. MAG kaynağında kullanılan özlü tel elektrod tipleri ve öz kısımlarını oluşturan bileşenler [Gülsöz, 2000].

Özlü Tel Elektrod Tipi	EN 758'e Göre Tanıtım Harfi	Mineral Bileşenler	Metalik Bileşenler
Rutil tip, yavaş katılaştıran cüruf	R	SiO ₂ , TiO ₂ , ZrO ₂ , MgO	Fe, FeMn
Rutil tip, hızlı katılaştıran cüruf	P	SiO ₂ , TiO ₂ , ZrO ₂ , FeO, TiO ₂	Fe, FeMn, FeSi, FeTi
Bazik tip	B	TiO ₂ CaO, CaF ₂	Fe, FeMn, FeSi
Metal tozu dolgu tip	M	–	Fe, FeMn, FeSi

Rutil özlü elektrodlar üstün kaynak özellikleri ve kaynak dikişinin çekici görünüşü nedeni ile kaynaklı konstrüksiyon üreticileri arasında çok popüler bir konuma sahiptir. Rutil öz, aynen rutil örtülü elektrodlar durumunda olduğu gibi sakin ve yumuşak bir ark, daha akışkan bir kaynak banyosu sağlar ve düşük yüzey gerilimi nedeni ile tüm akım aralığı boyunca kaynak metali elektrod ucundan kaynak banyosuna sprey arkı andıran biçimde ince damlacıklar durumunda geçer. Sıvı kaynak metali üstün bir ıslatma özeliğine sahiptir ancak bu akışkanlık tek taraftan kaynak durumunda kök paso çekimini zorlaştırdığından bu gibi durumlarda metal veya seramik altlık kullanılmasına gerek vardır [Tülbentçi, 1998].

Her pozisyonda uygulanabilen, diğer bir anlatım ile curufu çabuk katılaştıran rutil esaslı özlü tel elektrodların geliştirilmesi sonucu alışılmış rutil özlü elektrodların uygulama alanı oldukça daralmıştır [Tülbentçi, 1998].

Bazik özlü elektrodlar kaynak metalinin özellikle düşük sıcaklıklardaki gerek kaynak edildiği durumda ve gerekse de ısıtılma işlem sonrası üstün tokluk özellikleri nedeni ile tercih edilirler. Alışılmış bazik özlü elektrodlar özellikle pozisyon kaynağı için çok uygun değildir. Kısa ark ile çalıştırdıklarından dikiş içinde cüruf kalma tehlikesi

vardır ve nüfuziyet iyi değildir buna karşın kök pasoda köprü kurma kolaydır ve altlık gerektirmez [Tülbentçi, 1998].

Son yıllarda geliştirilmiş olan yeni nesil ve pozisyon kaynağına uygun bazik özlü tel elektrodlar daha yüksek gerilim ve akım şiddetlerinde çalışmakta ve arkta kaynak metali taşınımı sprey arkı andırmaktadır bu tür metal geçişine yarı sprey ark adı verilmektedir. Yüksek ark gerilimi ve akım şiddeti sonucu ark ve banyo daha sıcak olduğundan nüfuziyet artmış, ergime hataları ve dikitse cüruf kalıntısı tehlikesi hemen hemen ortadan kalkmış ve bunun sonucu olarak da düşük sıcaklıklarda yüksek tokluğa sahip, yüksek kalitede kaynak dikişleri elde edilebilmiştir [Tülbentçi, 1998].

Metal özlü elektrodların özünde arzulanan alaşımlamayı sağlayacak miktar ve türde metal tozları ile çok az miktarda arkı dengeleyen maddeler bulunur. Bu tür özlü elektrodlar ile kaynak sonrası dikiş üzerinde cüruf oluşmadığından pasoları üst üste çekmek olasıdır ve - 40 °C 'ye kadar tokluğunu koruyan kaliteli kaynak dikişleri elde edilmektedir. Metal özlü elektrodlar son yıllarda alaşımlı çıplak tel elektrodlara ciddi bir rakip haline gelmişlerdir [Tülbentçi, 1998].

Yukarıda belirtilen elektrodlardan başka dolgu kaynağı ve paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanılan, gaz altında kaynağa uygun alaşımlı ve yüksek alaşımlı özlü teller bulunmaktadır. Özellikle paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanılan tipin çıplak tele nazaran önemli bir avantajı vardır. Cüruf oluşumu ve koruyucu gaz ile çift koruma sonucu özlü tellerle yapılan kaynakta dikiş yüzeylerinin daha az oksitlenmesi ve kolayca temizlenmesi sağlanmaktadır. Bu da temizleme masraflarının azalmasına neden olmaktadır [Gülsöz, 2000].

Çizelge 5.2. EN 758'e göre özlü tel elektrod çeşitleri [Gülsöz, 2000].

Tanıtım Harfi	Cüruf özellikleri	Tek pasolu (S) ve Çok (M) Kaynak	Koruyucu ¹⁾ Gaz
R	Rutil esaslı, yavaş katılaştan cüruf	S ve M	C ve M ₂
P	Rutil esaslı, hızlı katılaştan cüruf	S ve M	C ve M ₂
B	Bazik cüruf	S ve M	C ve M ₂
M	Metal tozlu dolgulu	S ve M	C ve M ₂
V	Rutil veya bazik/lorür	S	Yok
W	Bazik/lorür, yavaş katılaştan cüruf	S ve M	Yok
Y	Bazik/lorür, hızlı katılaştan cüruf	S ve M	Yok
S	Diğer tipler	-	-
C → CO ₂ , M ₂ → EN 439 'a göre M ₂ gaz karışımı			

Özlü tel elektrodlar, kesit formlarından bağımsız olarak kendinden korumalı özlü teller ve gaz korumalı özlü teller olmak üzere başlıca iki gruba ayrılmaktadır [Gülsöz, 2000].

Gaz korumalı özlü tel elektrodlar karbondioksit (CO₂) veya argon ihtiva eden karışık gazlarla kaynak edilmektedir. İyi bir kalite elde edebilmek için koruyucu gazın seçiminde özlü tel üreticilerinin tavsiyesine uymak gerekir. Her tip özlü elektrod ancak belli bir koruyucu gaz ile iyi sonuçlar vermektedir [Gülsöz, 2000].

MAG kaynağına uygun özlü teller, daha iyi bir dikiş görünümü, iyi tokluk değerleri ve birleştirme hatalarının oluşma eğiliminin daha düşük olması nedeniyle endüstrinin birçok kolunda kullanılmaktadır. Zor pozisyonlardaki kaynakta sağladığı ekonomik avantajlardan dolayı gemi yapımında ve çelik yapılarda kullanımı gittikçe artmaktadır [Gülsöz, 2000].

Kendinden korumalı özlü elektrodalarda, öz kaynak esnasında yanarak banyoyu havanın zararlı tesirlerinden koruyacak gazı sağlayan bazı maddeler içermektedir. Dolayısı ile bir harici koruyucu gaz gerektirmezler [Gülbahar, 1991].

Kendinden korumalı elektrodların şimdiye kadar şekil 5.4-a'da görüldüğü gibi kapalı kesitli borular şeklinde uygulaması bulunmamaktadır. Bunun yanında diğer tüm kesit formları uygulanmaktadır. En çok uygulananı şekil 5.4-b'de görülen yarık boru şeklindedir. Manto kısmı (dış metalik kısım) olarak genellikle alaşımsız çelik bantlar kullanılmaktadır. En çok kullanılan elektrod çapları 1,2 mm ile 3,2 mm arasında bulunmaktadır. Çizelge 5.2'ye göre standartlaştırılmış olan V, W ve Y tipleri mevcuttur [Gülsöz, 2000].

Alaşımsız ve az alaşımlı çeliklerin kaynağında MAG kaynağı yerine gazdan tasarruf sağlamak amacıyla kendinden korumalı özlü tel elektrodların kullanımı yaygındır. Çünkü özlü teller çıplak tellere göre pahalı olduğundan ekonomiklik sağlamamaktadır. Özlü tellerle kaynak, mekanizasyona uygunluğu, yüksek ergime gücüne ve yüksek verime sahip olması nedeniyle daha çok örtülü çubuk elektrodlarla yapılan kaynaktan daha ekonomik olmakta ve gittikçe onun yerini almaktadır. Özellikle rüzgâra karşı da daha az hassasiyet göstermesi ve ekonomikliği nedeniyle açık havada şantiye şartlarında gittikçe artan oranlarda kullanılmakta ve örtülü çubuk elektrodlarla rekabet etmektedir. Genellikle gemi, otomobil ve makine yapımında, çelik yapılarda, köprülerin, boru hatlarının ve küresel gaz depolarının yapımında kullanılmaktadır [Gülsöz, 2000].

MAG kaynağında kullanılan özlü elektrodların çıplak elektrodlara göre bazı avantajları vardır;

- MAG kaynağı özlü elektrodları, CO₂ gazı altında, çıplak elektrodlara göre daha sakin ve sıçramasız yanar, böylece sıçrama ile ortaya çıkacak metal kaybı önlediği gibi bu sıçramaların temizlenmesi için gereken ek işçilikten de tasarruf edilmiş olur. Bu avantajı sağlayan husus, özde bulunan arkı stabilize edici ve metal damlasının ve banyonun yüzey gerilimini iyileştirici elemanlardır.

- Dikiş formu ve görüntüsü, çıplak elektrodlar ile yapılanaya göre daha düzgün olup, uygun parametreler seçildiği takdirde yanma çentiği ve oluşu oluşmamaktadır, bu avantajı da özdeki cüruf oluşturucu elemanlara borçluyuz.
- Özlü elektrodalarda, aynı çaplı çıplak elektrodalara oranla aynı akım şiddetlerinde daha büyük akım yoğunlukları ile çalışıldığından daha yüksek ergime gücü ile elektrod sürme ve kaynak hızları elde edilir [Gülbahar, 1991].

5.1. Çıplak Tel ve Özlü Tel Elektrodların Sınıflandırılması

Çeliklerin ergiyen elektrod ile gazaltı kaynağında (MIG-MAG) kullanılan tel ve özlü tel elektrodlar ülkemizde TS, Alman DIN ve Amerikan AWS standartlarına göre sınıflandırılır. Bilindiği gibi, tüm Avrupa Birliği ülkelerinde geçerli olmak üzere EN standartları hazırlanmaktadır ve yalın karbonlu ve az alaşımlı çeliklerin kaynağı için EN 440 hazırlanmış ve yürürlüğe konmuştur. Ülkemizde bu konuda sadece yalın karbonlu ve az alaşımlı çeliklerin kaynağı için kullanılan çelik tellere ait hazırlanmış bir standart (TS 5618) bulunmakta ve bu standarda eski Alman DIN 8559 ile tam bir paralellik göstermektedir. Uygulamada bu halin dışında yukarıda belirtildiği gibi DIN ve AWS standartlarına başvurulmaktadır [Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004].

AWS Standartlarında MIG-MAG kaynak elektrodlarının simgeleri 5 grup işareten oluşmuştur; bir örnek olmak üzere, ER 70 S - 2 işaretini ele alır ve çözümlersek [Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004].

E: Simgenin bas kısmındaki E harfi, elektrod olduğunu ve MIG-MAG yönteminde kullanılabileceğini gösterir,

R: R harfi ise aynı elektrodun TIG kaynağında da kullanılabileceğini belirtir.

70: 2 veya 3 hane halinde verilmiş olan rakamlar kaynak telinin nominal çekme mukavemetini belirtir.

S: Rakamlardan sonra gelen harf kaynak telinin türünü, S Standard dolu teli, C ise özlü teli belirtir.

2: Kimyasal bileşimi belirten simge, bazı hallerde bu rakam ve harflerden oluşabilir.

EN 440 standardı, en düşük akma sınırı 500 N/mm²'ye kadar olan karbon, karbon-mangan ve düşük alaşımlı çeliklerin gazaltı kaynağında kaynak metalinin ve çıplak tel elektrodların işaretlenmesi için şartları tespit etmektedir [Anık ve Vural, 1996].

Bir çelik MIG-MAG kaynak elektrodunun EN 440'a göre EN 440 G 46 3 M G3Si1 biçiminde işaretlenmesinde simgelerin anlamları şunlardır [Anık ve Vural, 1996].

EN 440: Standardın numarası

G : Tel elektrod veya MIG-MAG kaynak teli

46 : Mukavemet ve % uzama

3 : Çentik darbe özelliği

M : Koruyucu gaz

G3Si1 : Tel elektrodun kimyasal bileşimi

EN 758 standardı, en düşük akma sınırı 500 N/mm²'ye kadar olan alaşımsız ve düşük alaşımlı çelikler için özlü tel elektrodların şartlarını ve sınıflandırılmasını vermektedir. Sınıflandırma, kaynak metalinin özlü tel elektrodun ve uygun koruyucu gaz bileşiminin özelliklerini vermektedir [Anık ve Vural, 1996].

Örnek olarak EN 758 – T 46 3 1Ni B M 4 H5 burada;

T : Gazaltı metal ark kaynağı için özlü tel

46 : Kaynak metalinin en düşük akma sınırı (N/mm²)

3 : -30 °C (47 J'lük en düşük çentik darbe isine ulaşılan sıcaklık)

1Ni: %1,4 Mn ve %0,6-1,2 Ni

B : Bazik özlü tel elektrod

M : Karışım gaz altında kaynak için uygun

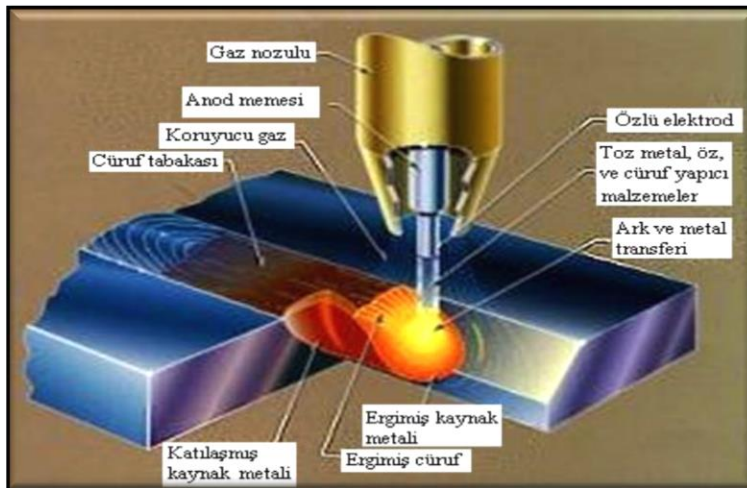
4 : Yatay pozisyonda kaynağa uygun

H5: Kaynak metalinde 5 cm³/100 g hidrojen değeri asılmamalıdır.

MIG-MAG kaynağında kaynak teli bileşimi esas metalin bileşimine uygun bir kaynak metali verecek biçimde ayarlanmıştır. Kaynak teli bileşiminde koruyucu gaz olarak karışım gaz veya karbondioksit kullanılması durumunda, ark bölgesinde CO₂'in ayrışması sonucu ortaya çıkan oksijenin etkisini ortadan kaldırmak, kaynak banyosunu dezokside etmek ve kaynak banyosundaki oksitlerin karbon tarafından redüklenmesini önlemek, esas metalden gelen kükürt ve fosforun olumsuz etkilerini ortadan kaldırmak için de bir takım alaşım elementleri içermektedir [Tülbentçi, 1998].

Bu nedenlerden ötürü, bazı metal ve alaşımların kaynağı için istem azlığı bu tellerin üretimini ekonomik kılmamaktadır. Bazı metal ve alaşımların ise sertlik ve gevreklikleri nedeni ile tel haline getirilmelerinin teknolojik olarak imkânı yoktur [Tülbentçi, 1998].

Özlu tel elektrod ile kaynak yöntemi esas olarak MIG-MAG kaynağında olduğu gibi çıplak tel (dolu tel) yerine içi öz diye adlandırılan ve örtülü elektrodun örtüsü görevini üstlenen bir madde ile doldurulmuş boru şeklinde kullanılan elektroddur.



Şekil 5.3. Özlu tel elektrod ile kaynakta ark bölgesi.

Özlu tel elektrodlar, MIG-MAG donanımı ile gaz kullanarak veya kullanmadan uygulanmaktadır. Son yıllarda bu tür elektrodların tozaltı yönteminde de kullanılan türleri geliştirilmiştir [Tülbentçi, 1998].

Bu elektrodların sağladıkları üstünlükler şunlardır;

- Yüksek bir ergime hızına sahiptirler, dolayısı ile daha yüksek kaynak hızlarında kullanılabilirler,
- İnce çaplı elektrodlar kullanarak her pozisyonda kaynak yapılabilir,
- Bazı tür özlu elektrodlar koruyucu gaz gerektirmezler, bu da donanımın basitleşmesine olanak sağlar,
- Örtülü elektrodların bütün üstünlüklerine sahiptir buna karşın, koçan kaybı elektrod değiştirme zaman kaybı gibi sınırlamaları yoktur [Tülbentçi, 1998].

Özün görevleri şu şekildedir;

- Kaynak metalinin kimyasal bileşimini ayarlayarak arzu edilen mekanik ve metalürjik özellikleri ve korozyon direncini sağlamak,
- Ekonomik veya teknolojik bakımdan tel haline getirilme olanağı olmayan bileşimlerde kaynak teli üretimine olanak sağlamak,
- Gerektiğinde kaynak banyosunu ve kaynak bölgesini atmosferin olumsuz etkilerinden korumak,
- İçerdiği dekapanlar yardımı ile kaynak banyosunda reaksiyonlar oluşturarak istenmeyen katıksıların (gayri safiyetlerin) miktarını en aza indirmek,
- Dikiş üzerinde bir cüruf oluşturarak, kaynak dikişine uygun bir biçim vermek ve soğuma sırasında kaynak dikişini korumak,
- Arkı dengeleyerek, sakin yanmasını sağlamak ve sıçrantıyı en aza indirmek [Tülbentçi,1998].

Özlu tel elektrodlar kenetli ve dikişsiz (boru tipi) olmak üzere iki ayrı türde üretilmektedir. Kenetli özlu tel elektromlar bir çelik bandın, bir dikişli boru yapım makinesinde olduğu gibi rulolar arasından geçerek önce U şeklinde kıvrılması ve bu biçimde iken iç kısmına toz durumunda özün (alaşım ve dekapan tozları karışımı) konup, gene aynı makinede ince bir boru biçimine getirilmesi sonucu elde edilir. Makineden çıkan bu boru özel çekme tezgâhlarında tel gibi çekilerek veya

haddelenerek istenen çapa indirgenirken aynı zamanda iç kısmında özün iyice yayılıp sıkışarak boşluk kalmaması ve homojen bir biçimde yayılması da sağlanmış olur. Kenetli özlü tellerin banyoya daldırılarak bakır ile kaplanması mümkün değildir [Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004].

Dikişsiz (boru tipi) özlü tel elektrod üretiminde, kalın bir boru içine özü oluşturan maddeler doldurulur ve sonra bu boru çekilerek özlü tel elektrod çapına indirgenir. Bu tür özlü elektrodlar aynen çıplak (dolu) elektrodlar gibi bakır ile kaplanabilir [Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004].

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, düşük karbonlu yapı çeliği (St 37) MAG kaynak yöntemi ile rutil, bazik ve metal özlü telleri kullanılarak birleştirilmiş ve birleştirilmelerin kaynak metali etkisinin mikroyapısı ve mekanik özellikleri incelenmiştir.

6.1. Malzeme ve Metod

6.1.1. Malzeme

Deneyleerde, Çizelge 6.1' de kimyasal değerleri verilen (St 37) düşük karbonlu çelik levhalardan kesilen 300×150×6 mm ölçülerindeki toplam 12 adet (her kaynak yöntemi, özlü tel için 3'er adet) deney numuneleri kullanılmıştır. Deneyleerde, karışım gaz ve 1,20 mm. çapında rutil, bazik ve özlü tel kullanılmış olup bunlara ait kimyasal analiz sonuçları Çizelge 6.2' de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Deneyleerde kullanılan düşük karbonlu yapı çeliğinin TS-Fe 37 kimyasal bileşenleri.(% Ağırlık)

Malzeme	C	Si	Mn	P	S	Fe
TS-Fe 37	0,17	0,3	0,3	0,05	0,05	Kalan

Çizelge 6.2. Deneyleerde kullanılan rutil, bazik ve metal özlü tellerinin kimyasal analizleri.(% Ağırlıkları)

Malzeme	C	Si	Mn	P	S	H _{DM} ml/100g
Rutil Özlü Tel	0,05	0,50	1,30	0,010	0,011	10 max.
Bazik Özlü Tel	0,06	0,55	1,45	0,011	0,011	10,0
Metal Özlü Tel	0,03	0,60	1,50	0,01	0,02	8 max.

6.1.2. Metod

Kullanılan düşük karbonlu yapı çeliği (St 37) malzemesine, MAG kaynak yönteminde farklı parametreler denenerek optimum parametreler belirlenmiş ve, sırasıyla Çizelge 6.3.'de verilen parametreler dâhilinde kaynak işlemleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan kaynak işlemlerinden sonra numunelerin mikroyapı fotoğrafları çekilerek, çekme ve sertlik testleri uygulanmıştır.

Çizelge 6.3. MAG kaynak yönteminde kullanılan kaynak parametreleri.

MAG Kaynak Yöntemi						
Özlü tel	Koruyucu gaz türü	Gaz debisi	İlave tel çapı (mm)	Voltaj (V)	Tel hızı	Ark Tipi (DC/AC)
Rutil Özlü tel	(%75-80 Ar + CO ₂)	12 lt./dak	1,20	23	6 m./dak.	DC+
Bazık Özlü Tel	(%75-80 Ar + CO ₂)	12 lt./dak	1,20	23	6 m./dak	DC +
Metal Özlü Tel	(%75-80 Ar + CO ₂)	12 lt./dak	1,20	23	6 m./dak	DC+

Metalografik uygulama

Çizelge 6.3'de verilen kaynak parametrelerine bağlı kalınarak yapılan deneylerden sonra numunelerden mikroyapı fotoğrafları ve sertlik ölçümleri alınmıştır. Alınan numuneler, standart metalografik numune hazırlama kurallarına uygun olarak sırasıyla 200, 400, 600, 800, 1000 ve 1200 gritlik zımparalarla zımparalanmış, daha sonra kaynaklı numunelerin parlatmasında Metkon Gripo2 marka polisaj cihazı 6 µm, 3 µm ve 1 µm elmas pasta süspansiyonları kullanılarak keçelerde parlatma işlemi yapılmıştır. Parlatmadan sonra %3 Nital çözeltisi ile dağlanmıştır. Dağlanan bu numunelerin optik mikroskopta incelenerek gerekli yerlerden (Kaynak metali -

ITAB - Ana metal) hadde yönüne dik olarak mikro yapı fotoğrafları alınmıştır. Mikro yapı fotoğrafları G.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü Malzeme Anabilim Dalı laboratuvarında bulunan Leica DFC 320 dijital kamera bağlantılı Leica DM 400M model optik mikroskop kullanılmıştır.



Resim 6.1. Kaynaklı numunelerin parlatmasında Metkon Gripo2 Polisaj cihazı.



Resim 6.2. Mikroyapıların görüntülenmesinde Leica DFC 320 dijital kamera bağlantılı Leica DM 4000 M model optik mikroskop.

Sertlik deneyleri

Mikroyapı fotoğrafları çekilen numuneler daha sonra sertlik ölçme işlemlerinde kullanılmıştır. Hazırlanan numunelerin kaynak dikişi, ITAB ve ana malzemesinden olmak üzere 18 ayrı noktasından 1 mm. aralıklar ile sertlik değerleri alınmıştır. Sertlik ölçme işleminde yine aynı laboratuarda bulunan Shimadzu HMV2 Mikro sertlik ölçüm cihazı kullanılmıştır. Yük olarak da 9,807'lik bir ağırlık seçilmiştir.

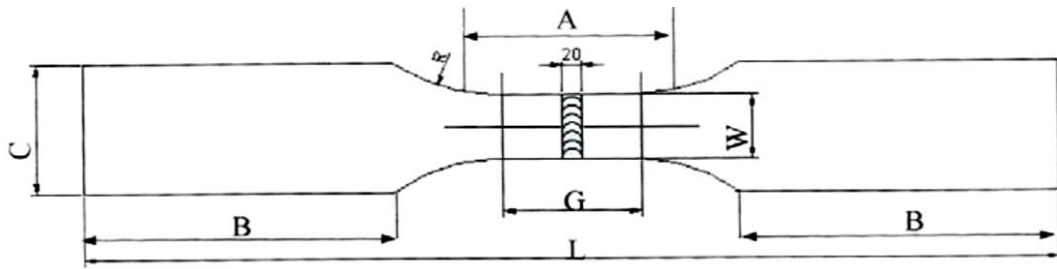


Resim 6.3. Mikro sertlik cihazı Shimadzu HMV2 mikro sertlik cihazı.

Çekme deney numunelerinin hazırlanması

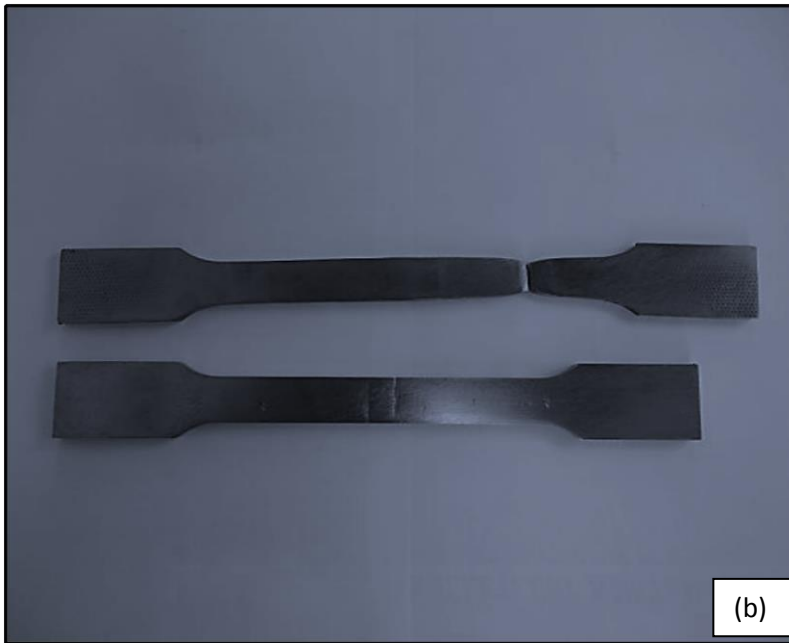
Çekme deney numuneleri, kaynak dikişine dik yönde boyuna kesit alınmak suretiyle TS 5789' a göre hazırlanmıştır. MAG kaynak yöntemiyle farklı özlü teller (rutil, bazik, metal özlü) kullanılarak yapılan her bir kaynaktan alınan 3 adet çekme numunesi (toplam 9 adet çekme numunesi) test edilerek ortalama değerler alınmıştır. Çekme deneyleri G.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü Malzeme Anabilim Dalı laboratuvarında bulunan Instron 8503 model 500 kN çekme ve basma kapasitesine sahip universal test cihazında oda sıcaklığında yapılmıştır. Testlerde hareketli başlık hızı 1 mm/dak ve ilk ölçü boyu uzunluğu 100 mm olarak seçilmiştir.

Gerilme ve % uzama değerleri deney sırasında çekme cihazına bağlı bilgisayardan grafik olarak elde edilmiştir. Çekme numuneleri boyutları ASTM E 8M standardına göre hazırlanmıştır şekil 6.1' de kaynaklı malzemeden çıkarılan standart çekme deney numunesinin şematik resmi verilmiştir.



Standart Deney Parçası	(mm)
Anma Genişliği	12,5
G : Ölçü uzunluğu	50,0 ± 0,5
W : Genişlik	12,5 ± 0,10
T : Kalınlık (Malzeme kalınlığı)	4
R : Yuvarlama yarıçapı, min.	12,5
L : Toplam uzunluk, min.	200
A : Gövde uzunluğu, min.	57
B : Kavrama uzunluğu	50
C : Kavrama genişliği (yaklaşık)	20

şekil 6.1. Kaynaklı malzemeden çıkarılan standart çekme deney numunesi.



Resim 6.4. a) Çekme cihazı, b) Çekme deney numuneleri.

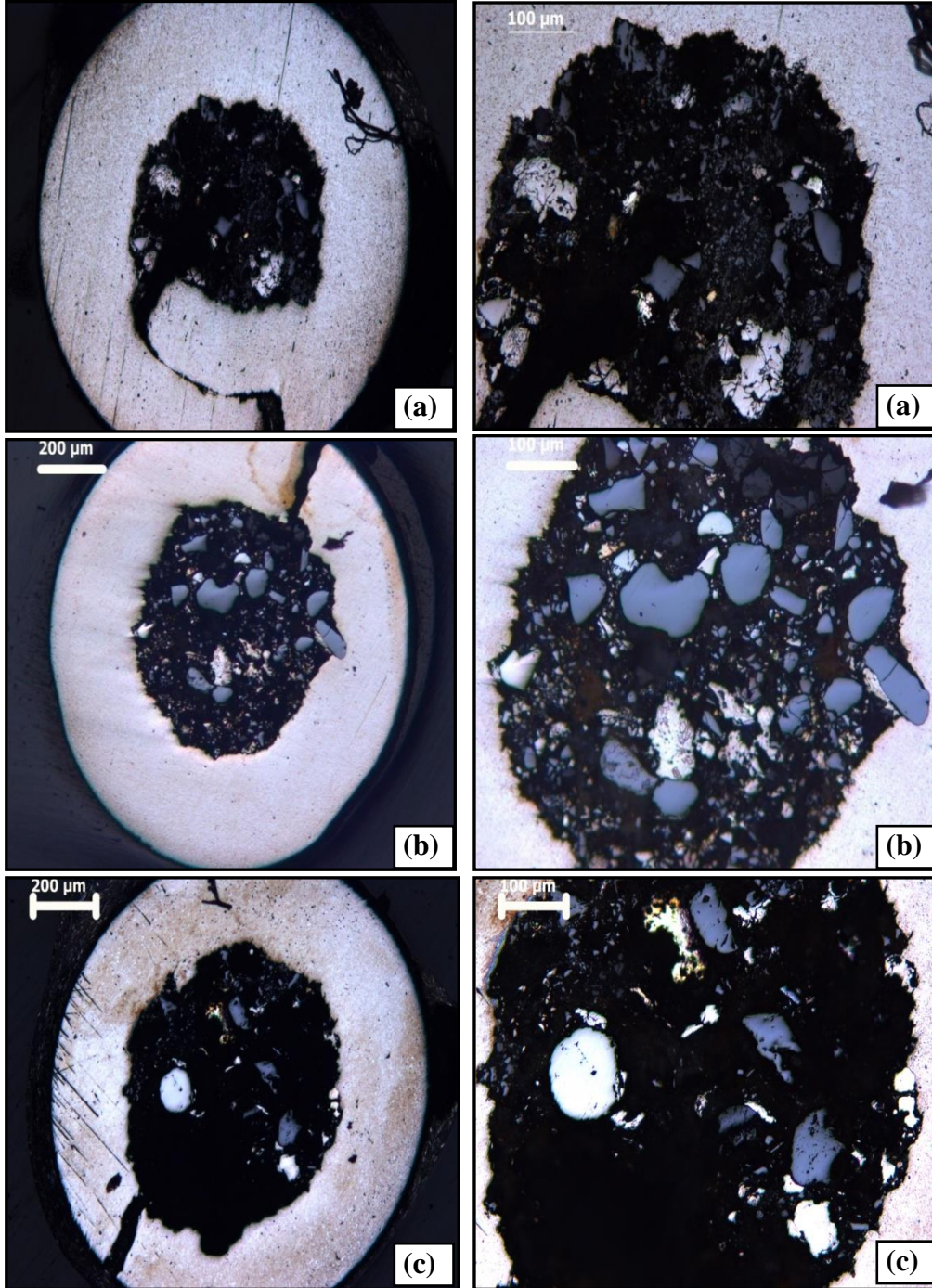
7. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Düşük karbonlu yapı çeliği (St 37) numunelerine karışım gaz ve rutil, bazik ve metal özlü tel kullanılarak Çizelge 6.3’de verilen kaynak parametrelerine göre yapılan kaynak işleminden sonra standartlara uygun olarak hazırlanan numunelere mekanik testler yapılmış ve takiben mikroyapı fotoğrafları çekilmiştir. Numunede ayrıca sertlik ve çekme deneyleri yapılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlar mikroyapı, sertlik ve çekme sonuçları olacak şekilde sırası ile rutil, bazik ve metal özlü ilave tel olarak bu bölümde verilmektedir

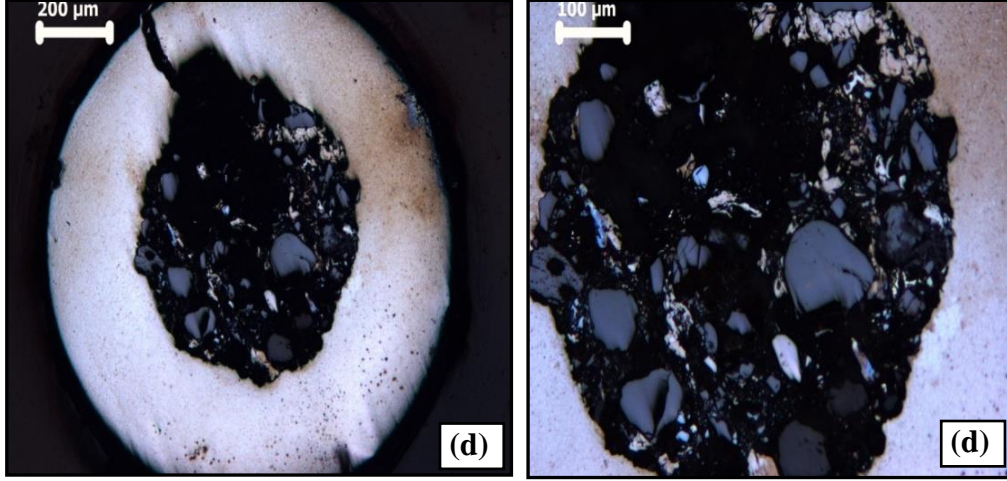
7.1. Deney Sonuçları

Bu çalışma MAG kaynak yöntemi ile bazik, rutil ve metal özlü tel ilave elektrod kullanılarak yapılmıştır. Özlü tel elektrod kullanımı MAG kaynak yöntemindeki dezavantajları kaldırarak daha geniş kullanım alanı sunmaktadır. Ancak özlü tel elektrod kullanımında elektrod içindeki muhtemel boşluklar kaynak metalinde gözenek oluşturabilmektedir. Bu çalışmada dokuz farklı özlü tel elektrodla deneyler yapılmıştır. Ancak bazı özlü teller ile yapılan denemelerde kaynak metalinde oluşan gözenekler sebebi ile mekanik testlere tabi tutulamamışlardır. Bu nedenle rutil bazik ve metal özlü olmak üzere üç farklı karakteristikteki özlü tel ile birleştirilen malzemelerin mikroyapı sertlik ve çekme deneyi sonuçları mukayese edilmiştir. Resim 7.1-2-3 de kullanılan özlü tellerin kesit görüntüleri, Resim 7.4 de kaynak metali gözenekli görüntüleri verilmiştir. Bazı teller aynı özellikte olmakla beraber farklı kaynak metali ve farklı gözeneklilik miktarına sahiptir.

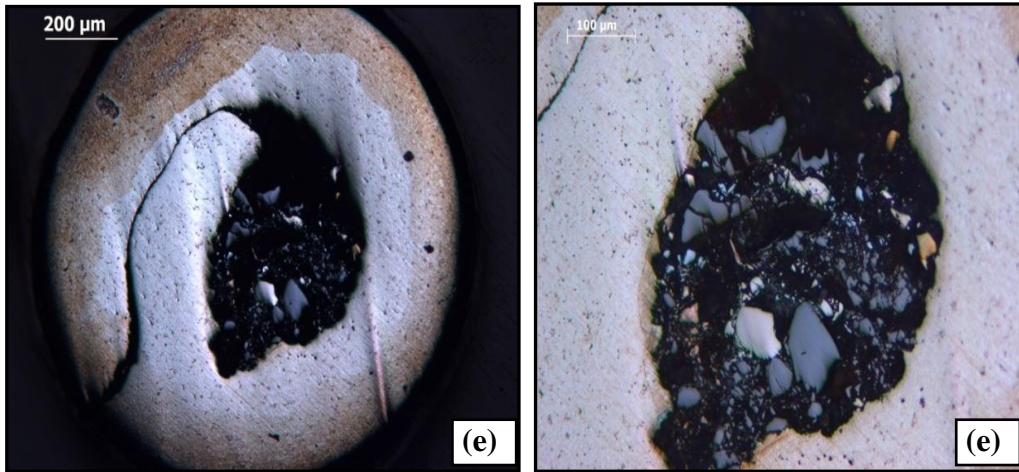
7.1.1. MAG kaynağında kullanılan rutil özlü tellere ait soğuk gömme mikroyapı görüntüleri



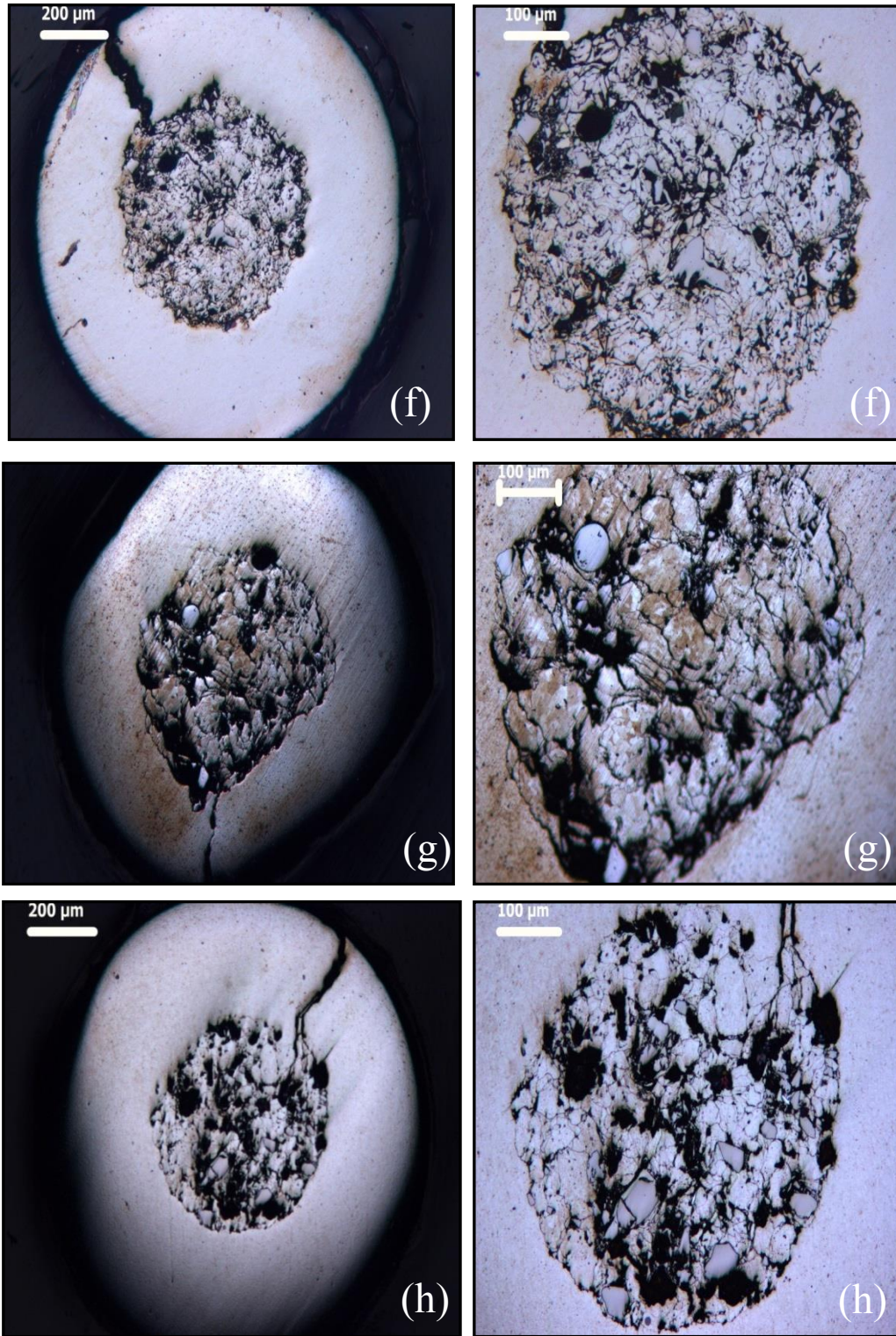
Resim 7.1. MAG kaynağında kullanılan rutil özlü tellere ait görüntüleri.



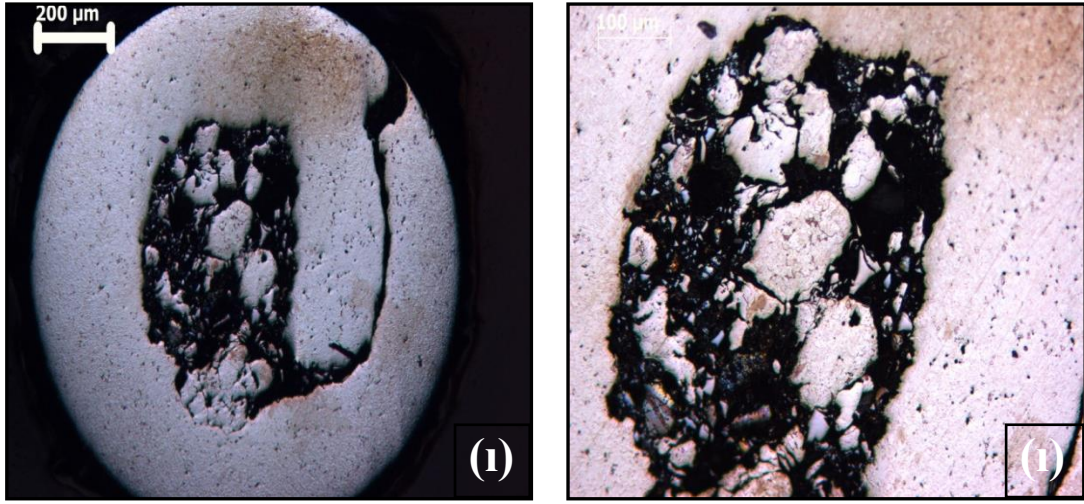
Resim 7.1. MAG kaynağında kullanılan rutil özlü tellere ait görüntüleri.



Resim 7.2. MAG kaynağında kullanılan bazik özlü tellere ait görüntüleri.

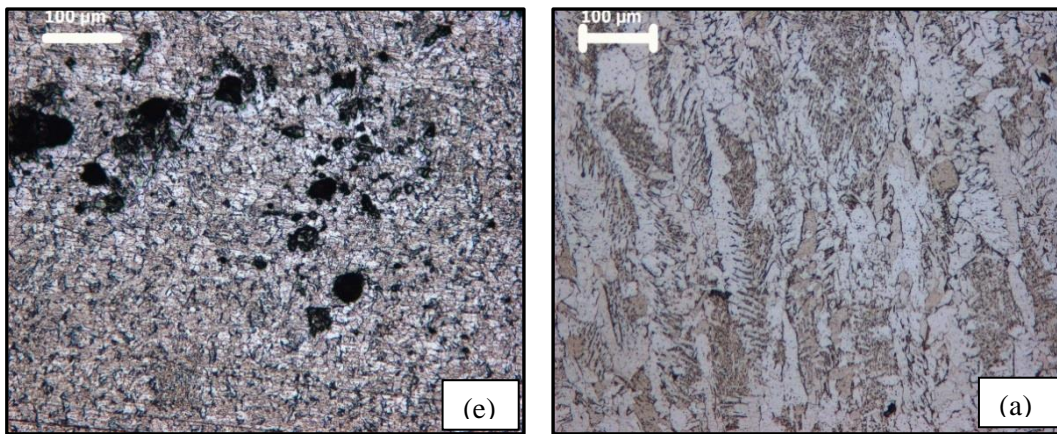


Resim 7.3. MAG kaynağında kullanılan metal özlü tellere ait görüntüleri.



Resim 7.3. MAG kaynağında kullanılan metal özlü tellere ait mikroyapı görüntüleri.

Özlü tellerin farklı bölgelerinden birden fazla alınan kesit görüntüleri incelendiğinde, Resim 7.3’de görüldüğü gibi f numunesi içi düzenli ve oranlı öz varken Resim 7.2’de görüldüğü üzere e numunesinin öz dağılımı oransız ve boşluklar bulunduğu görülmektedir. Bu boşluklar, kaynak sırasında gaz boşluğu olarak kaynak metaline karışmakta kaynak metali içinde gözenek ve birçok kaynak hatalarına sebep olmaktadır.

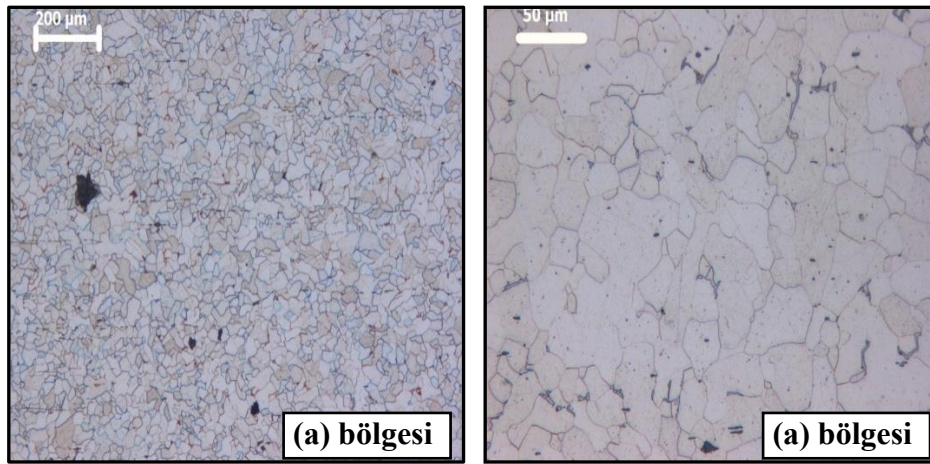


Resim 7.4. MAG kaynağında kullanılan gözenekli ve gözeneksiz kaynak metali mikroyapı görüntüleri.

Doluluk oranı düşük ve yüksek olan farklı tellerle yapılan kaynaklı birleştirmelerin kaynak metallerine ait mikroyapı görüntüleri incelendiğinde (Resim 7.4), doluluk oranı düşük olan özlü telle yapılan birleştirmelerde gözenekler tespit edilmiştir. Bunun sebebinin öz dağılımı boşluklu olan özlü telin olduğu, bu özlü telin kaynak sırasında yeterli koruma sağlamadığı olarak düşünölmüştür.

7.1.2. Mikroyapı sonuçları

Bu bölümde farklı özlü tellerle yapılan kaynaklı birleştirmelere ait ana metal, geçiş bölgesi ve kaynak metalinin farklı büyütme oranlarındaki mikroyapı sonuçları verilmektedir. Kaynaklı birleştirme deney sonuçlarını irdelemeden önce deney malzemesinin kaynak işleminden önceki mikroyapı fotoğrafı, Resim 7.5’ de verilmektedir.

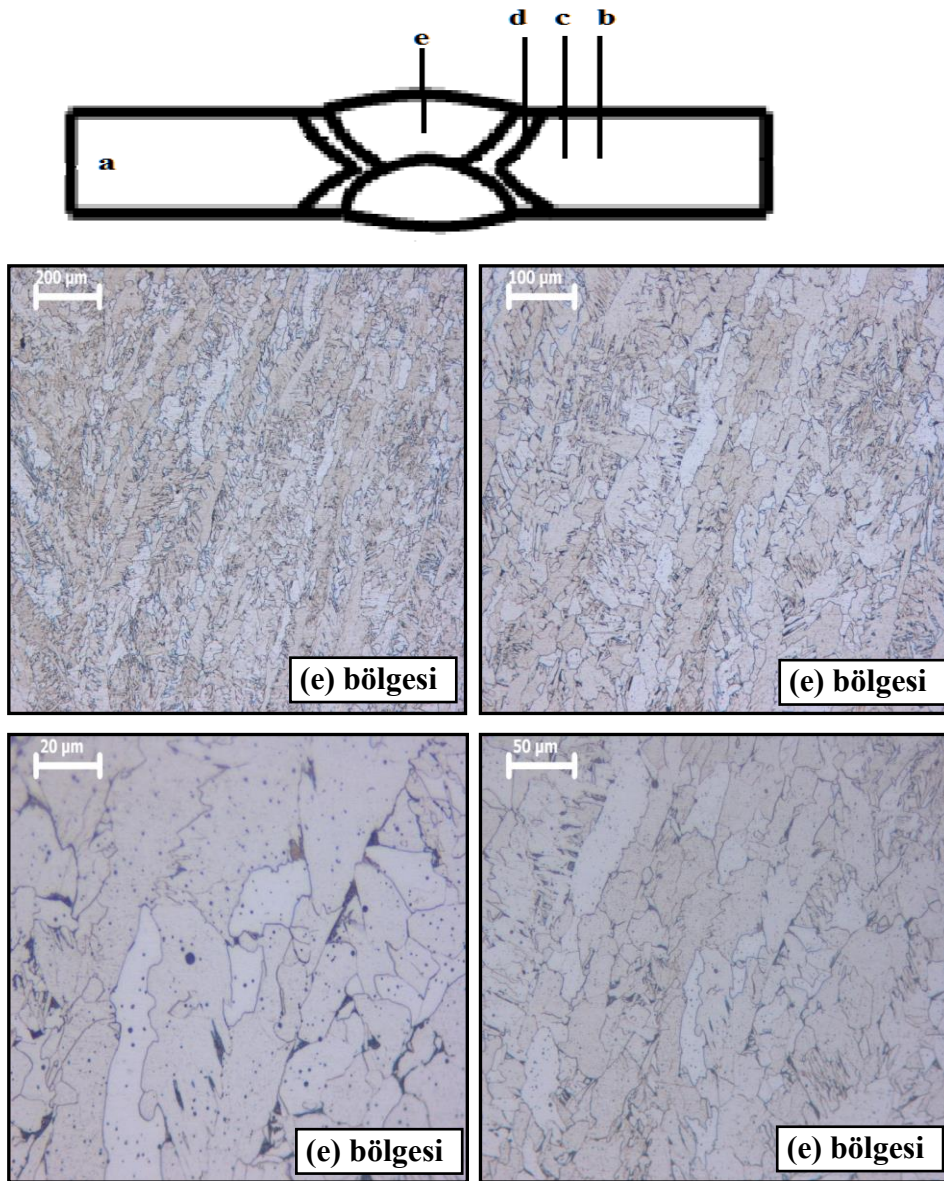


Resim 7.5. Ana malzeme mikroyapı görüntüsü

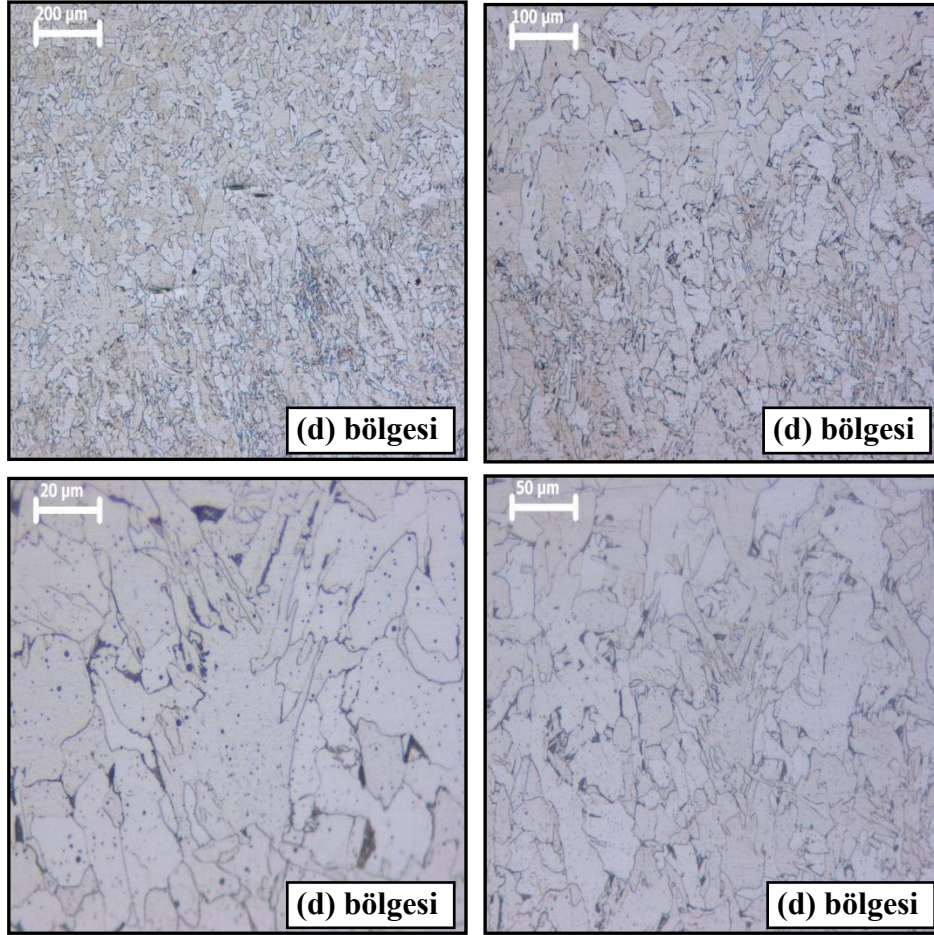
Ana malzeme görüntülerinde, tipik düşük karbonlu çelik yapısı olan yoğun ferrit ve düşük miktardada perlit görüntüsü görölmektedir.

7.1.3. Rutil özlü tel ile kaynatılan numunelere ait mikroyapı sonuçları

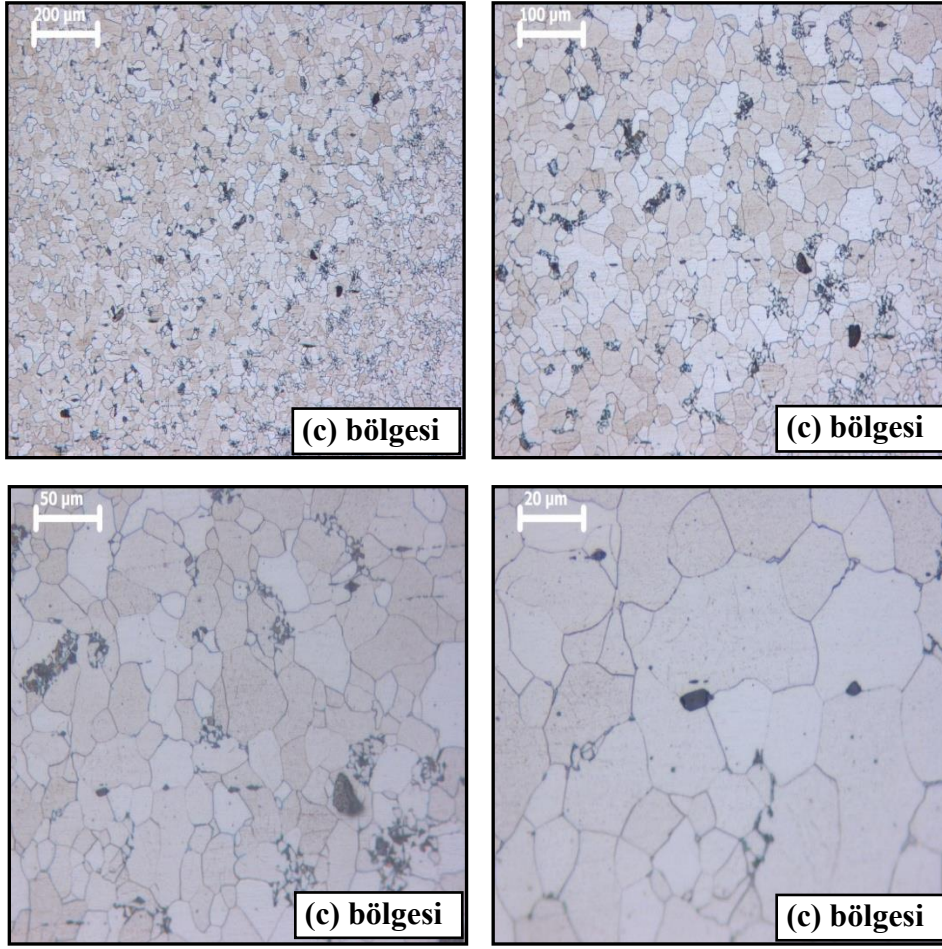
Çizelge 6.3’ de verilen kaynak parametrelerine uygun ve koruyucu atmosfer olarak karışım gaz kullanılarak rutil özlü tel ile gerçekleştirilen birleştirmeye ait mikroyapı sonuçları Resim 7.6-9’ da verilmektedir.



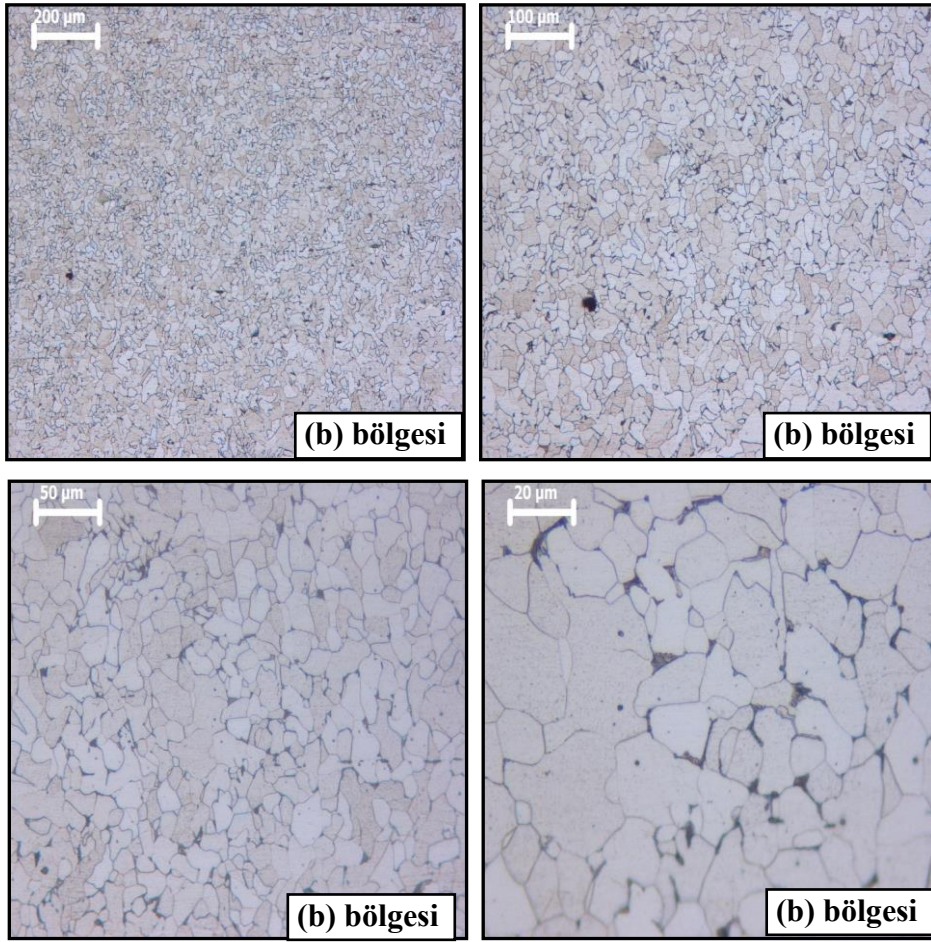
Resim 7.6. MAG kaynağında Rutil özlü tel ile kaynatılan malzemeye ait kaynak metali mikroyapı görüntüsü.



Resim 7.7. MAG kaynağında rutil özlü tel ile kaynatılan malzemeye ait mikroyapının geçiş bölgesi.



Resim 7.8. MAG kaynağında rutil özlü tel ile kaynatılan malzemeye ait mikroyapının iri taneli bölgesi.



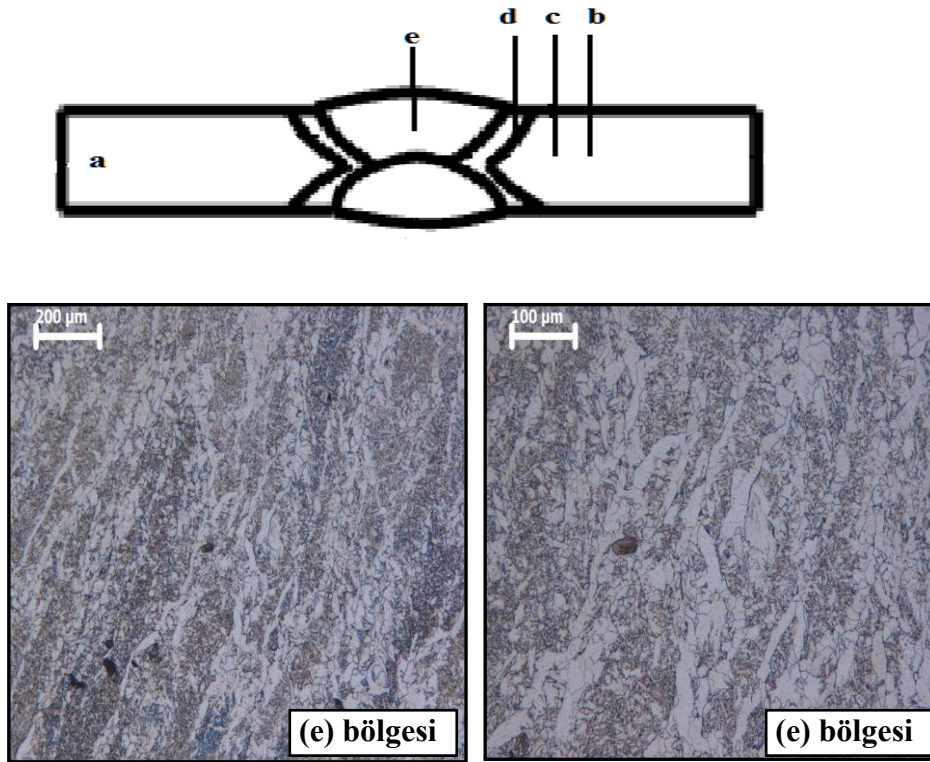
Resim 7.9. MAG kaynağında rutil özlü tel ile kaynatılan malzemeye ait mikroyapının ince taneli bölgesi.

Resim 7.6-9'da verilen rutil özlü elektrod ile birleştirilmiş malzemelere ait mikroyapı görüntüleri genel olarak değerlendirildiğinde; ana malzemedan kaynak metaline doğru tipik kaynaklı birleştirme mikroyapı görüntüleri elde edilmiştir. Ana malzemeye ait mikro yapı görüntüsü tipik St 37 malzemeye ait büyük oranda ferritik düşük miktarda perlitik yapıdan oluşan eş eksenli mikroyapı görüntüsüdür (Resim 7.5). Resim 7.6'de farklı büyütme oranlarında verilen kaynak metali görüntüsünde ısı kaçış yönünde şekillenmiş sütunsal ve kısmen dentritik tane yapısı oluştuğu görülmektedir. Resim 7.7'de verilen geçiş bölgesi mikro yapı görüntülerinde küçük büyütmelerde daha belirgin geçiş hattının varlığı görülürken (Resim 7.7A), büyük orandaki büyütmelerde geçiş hattının ana malzeme ile oldukça uyumlu olduğu görülmektedir. Bunun sebebi olarak da rutil karakterli ilave metal ile ana metalim

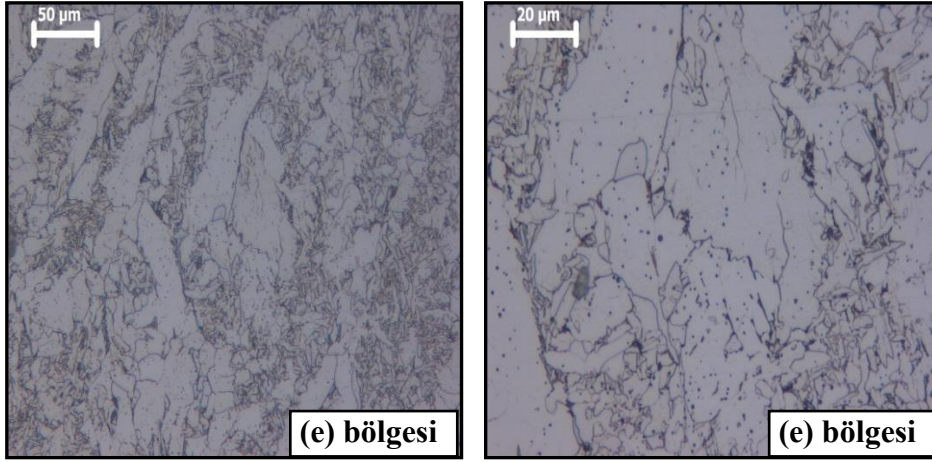
kimyasal uyumluluğu olarak söylenebilir. ITAB olarak ifade edilen ısıdan etkilenen bölgede oluşmuş olan tane yapısında ise iri (Resim 7.8) ve ince tane (Resim 7.9) yapılarının oluştuğu görülmektedir. Resim 7.5’de verilen ana metal mikro yapı görüntüsü ile mukayese edildiğinde ITAB bölgesinde oluşan tane yapılarındaki değişimin belirginliği açıkça görülmektedir.

7.1.4. Bazık özlü tel ile kaynatılan numunelere ait mikro yapı sonuçları

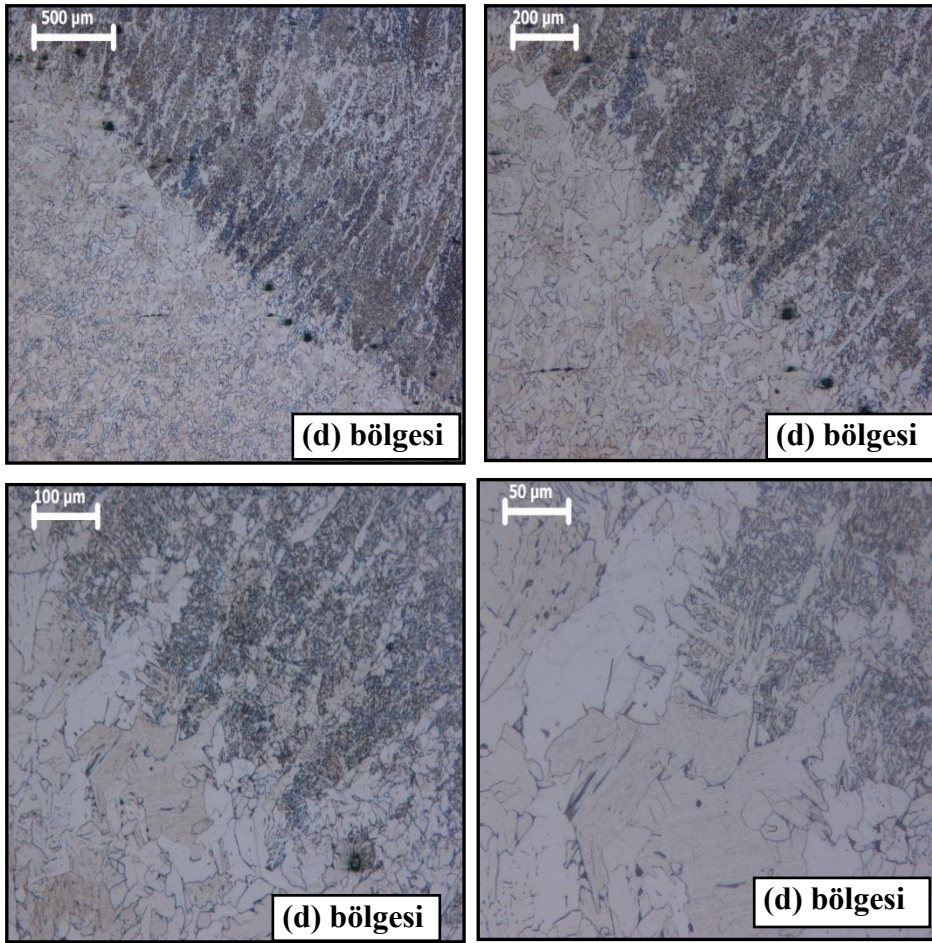
Çizelge 6.3’ de verilen kaynak parametrelerine uygun ve koruyucu atmosfer olarak karışım gaz kullanılarak bazık özlü tel ile gerçekleştirilen birleştirmeye ait mikro yapı sonuçları Resim 7.10-13’ de verilmektedir.



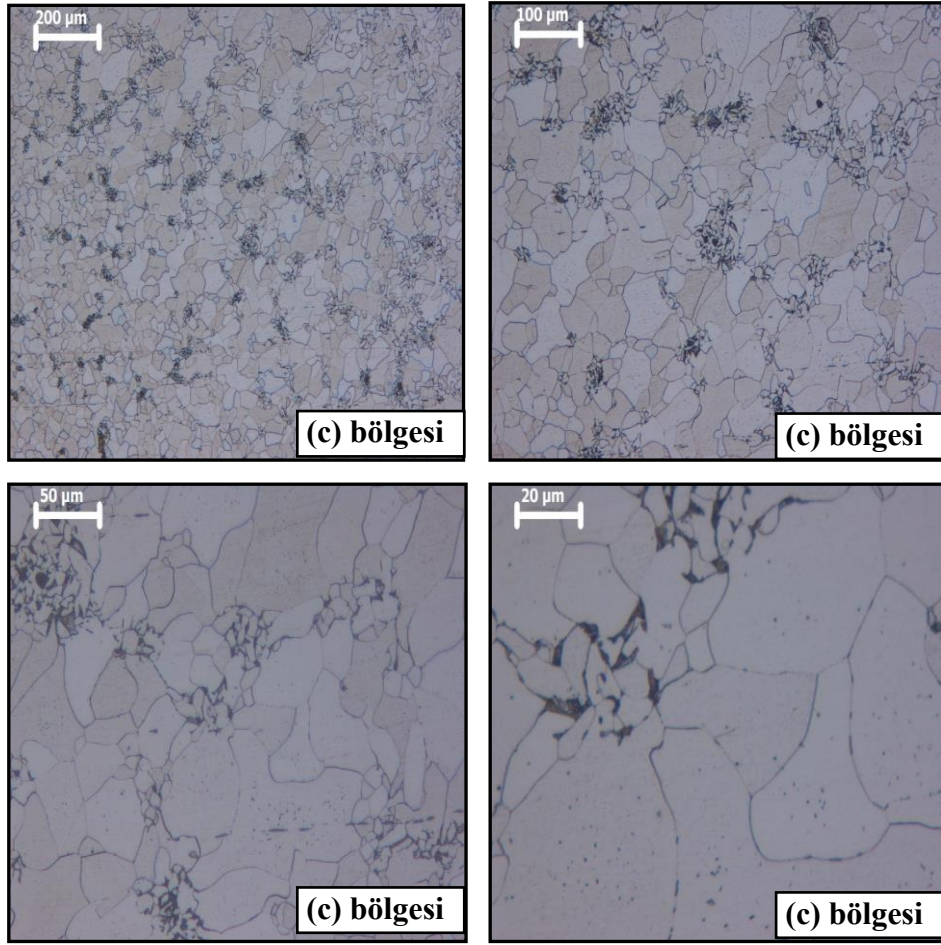
Resim 7.10. MAG kaynağında bazık özlü tel ile kaynatılan malzemeye ait mikroyapının kaynak bölgesi.



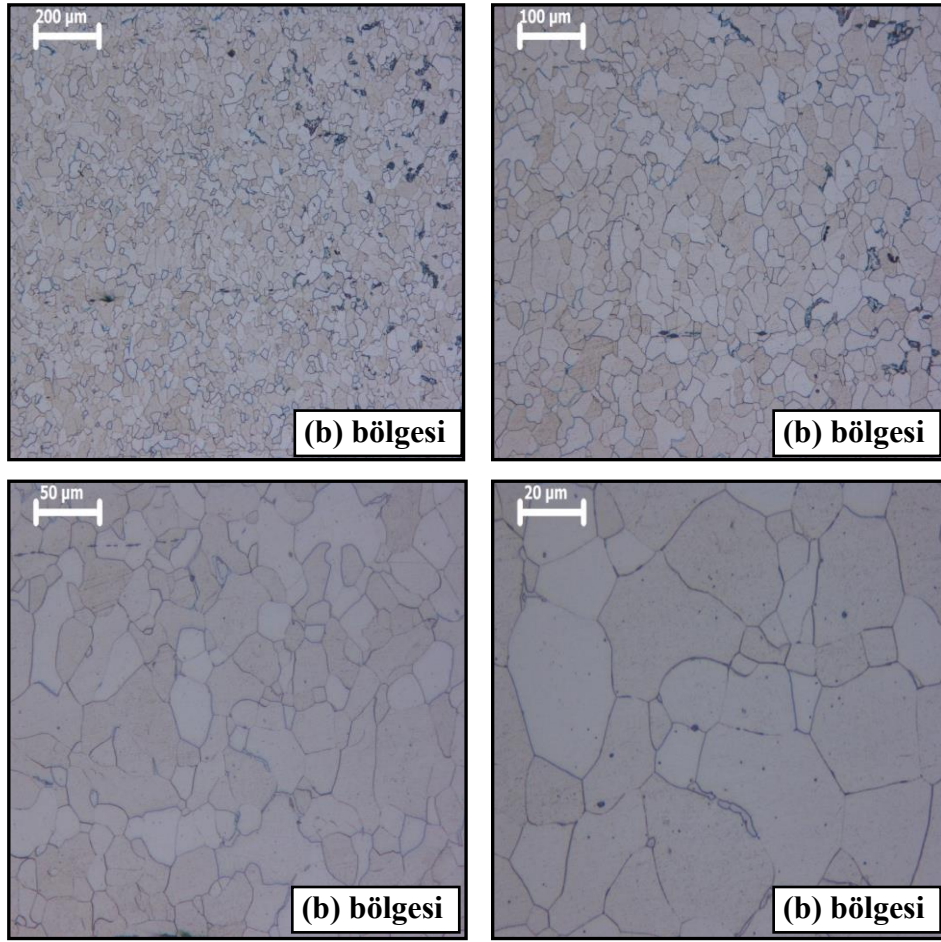
Resim 7.10. MAG kaynağında bazik özlü tel ile kaynatılan malzemeye ait mikroyapının kaynak bölgesi.



Resim 7.11. MAG kaynağında bazik özlü tel ile kaynatılan malzemeye ait mikroyapının geçiş bölgesi.



Resim 7.12. MAG kaynağında bazik özlü tel ile kaynatılan malzemeye ait mikroyapının iri taneli bölgesi.

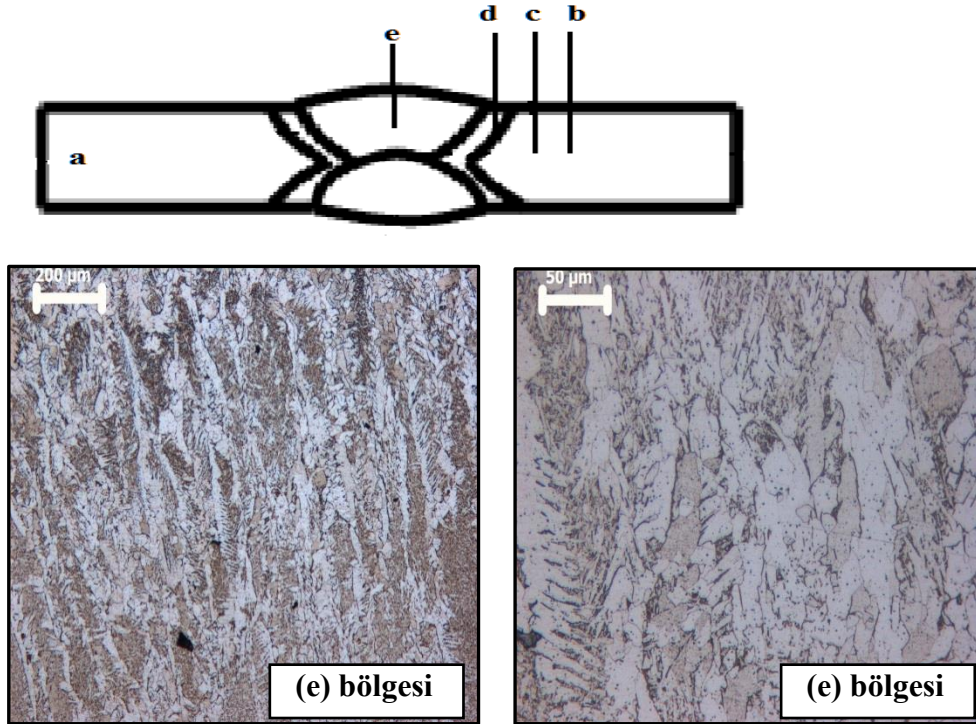


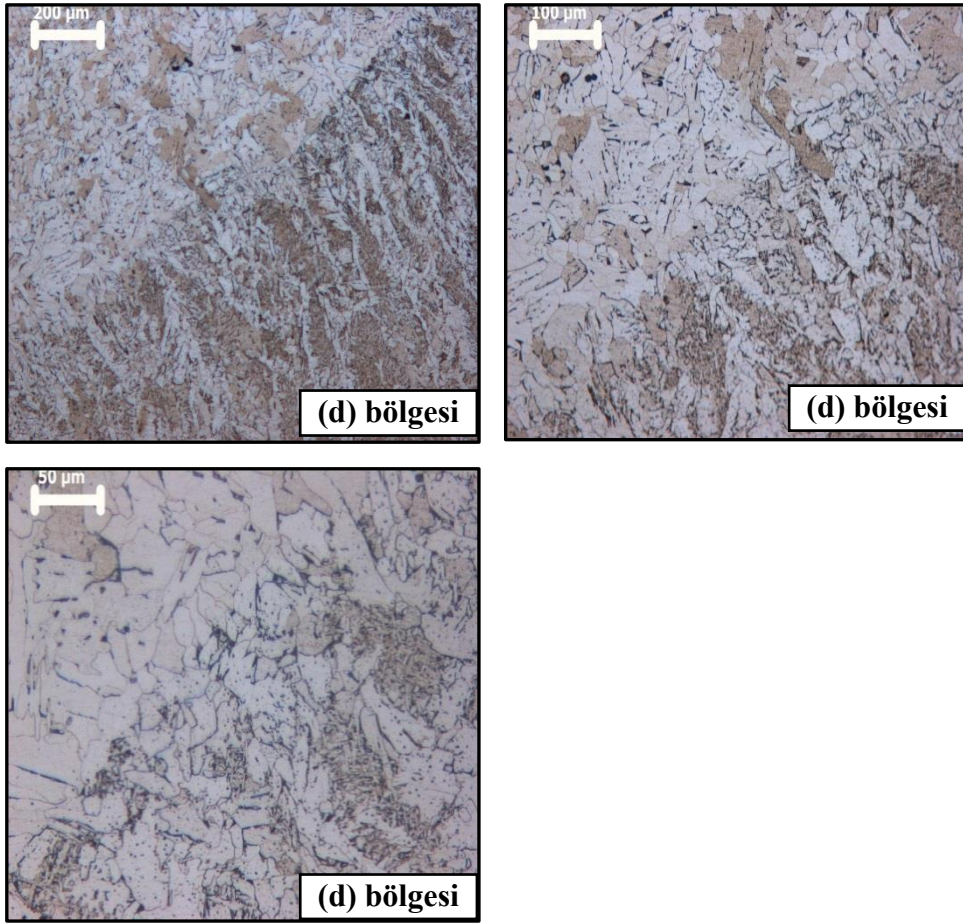
Resim 7.13. MAG kaynağında bazik özlü tel ile kaynatılan malzemeye ait mikroyapının ince taneli bölgesi.

Resim 7.10-13'de verilen bazik özlü elektrod ile birleştirilmiş malzemelere ait mikroyapı görüntüleri incelendiğinde en belirgin farklılığın ana metal ile kaynak metali mikroyapıları arasındaki farklılıktır. Resim 7.10'da verilen bazik özlü elektrod ile birleştirilmiş kaynak metali görüntüsünün ısı kaçış yönünde yönelmiş olması yanı sıra yapı içerisinde oluşan perlit fazının varlığı dikkat çekici farklılık olarak görülmektedir. Kaynak metali ana metal geçiş görüntülerinde ise Resim (7.11) kaynak metali ana metal geçiş sınırın kesin bir ayrışma yüzeyi ile belirgin olarak görülmesidir. Bu ayrışmanın ilave elektrod ile ana malzemenin kimyasal kompozisyon farklılığı olarak söylenebilir. Resim 7.12-13'de verilen ITAB görüntülerinde ise rutil elektrod ile birleştirilmiş malzeme olduğu gibi ısının etkisi ile oluşan tipik tane irileşmesi ve tane incelmeleri olduğu görülmüştür.

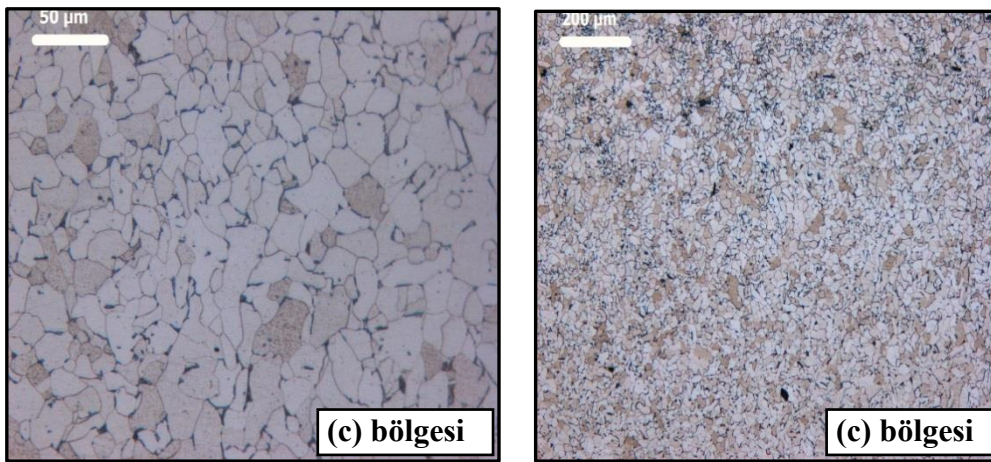
7.1.5. Metal özlü tel ile kaynatılan numunelere ait mikro yapı sonuçları

Çizelge 6.3' de verilen kaynak parametrelerine uygun ve koruyucu atmosfer olarak karışım gaz kullanılarak metal özlü tel ile gerçekleştirilen birleştirmeye ait mikro yapı sonuçları Resim 7.14-17' de verilmektedir.

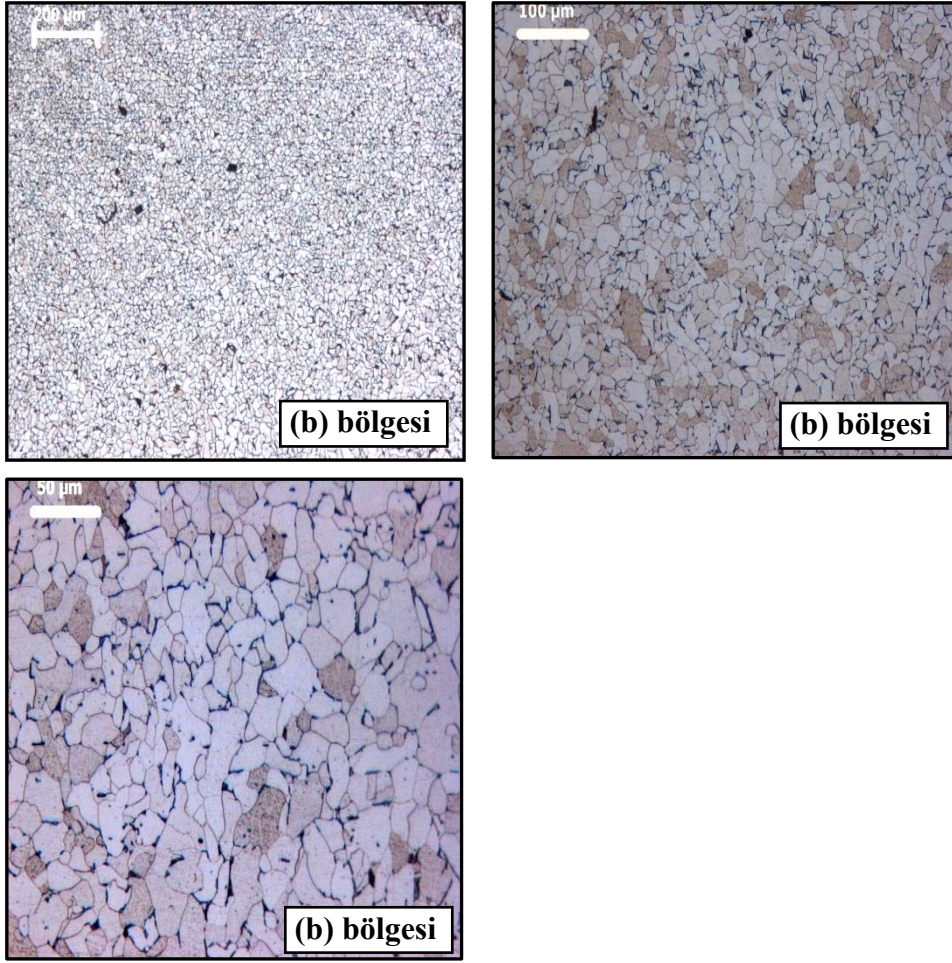




Resim 7.15. MAG kaynağında metal özlü tel ile kaynatılan malzemeye ait mikro yapının geçiş bölgesi.



Resim 7.16. MAG kaynağında metal özlü tel ile kaynatılan malzemeye ait mikroyapının iri taneli bölgesi.



Resim 7.17. MAG kaynağında metal özlü tel ile kaynatılan malzemeye ait mikroyapının ince taneli bölgesi.

Metal özlü tel ile birleştirilmiş olan St 37 malzemenin kaynak metali mikroyapı görüntüleri (Resim 7.14) incelendiğinde kaynak metali görüntüsünden beklenen yönlenmiş ferrit ve perlit tanelerinin olduğu görülmektedir. Resim 7.14 deki resim görüntülerindeki dikkat çeken bir diğer husus ana metale yakın tanelerinin daha çok dentritik yapıda olduğudur. Diğer taraftan kaynak metali merkezinde ise daha çok eş eksenli tane yapısının olduğu görülmüştür. ITAB'da rutil ve bazik tellerde olduğu gibi iri ve ince taneli yapı gözlemiştir.

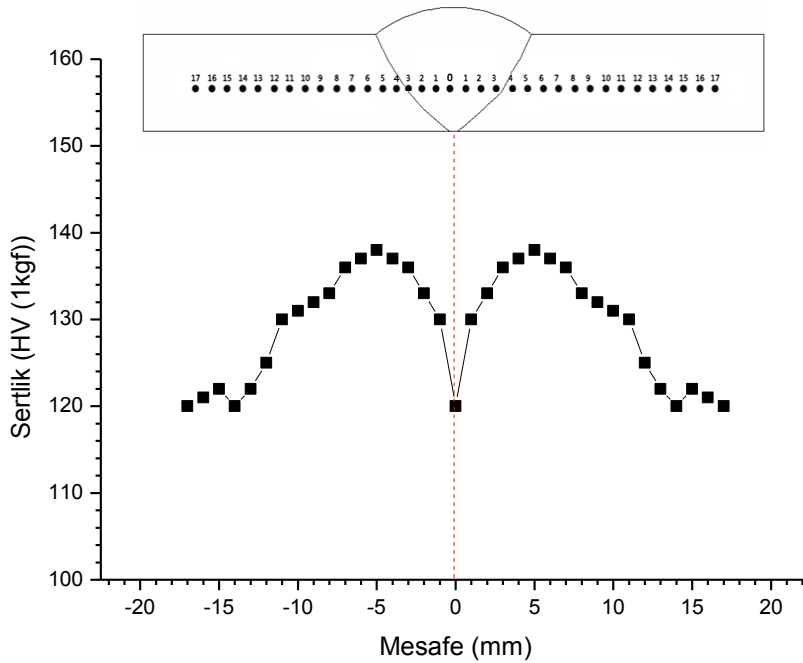
7.1.6. Sertlik sonuçları

7.1.7. Rutil özlü tel ile kaynatılan numunelere ait sertlik sonuçları

Çizelge 6.3' de verilen kaynak parametrelerine uygun gerçekleştirilen birleştirmelere ait sertlik grafiği Şekil 7.1' de verilmektedir.

Çizelge 7.1. Rutil özlü tel ile kaynatılan numunelere ait sertlik sonuçları.

Malzeme		Kaynak yöntemi		İlave tel		Koruyucu gaz türü											
St 37		MAG		Rutil özlü tel		(%75-80 Ar + CO ₂)											
Ortalama sertlik değerleri (HV 1kgf)																	
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
120	130	133	136	137	138	137	136	133	132	131	130	125	122	120	122	121	120



Şekil 7.1. Rutil özlü tel ile kaynatılan malzemelere ait sertlik grafiği

1kgf yükleme ile yapılan Şekil 7.1'de verilen rutil özlü tel ile birleştirilen malzemeye ait mikro sertlik grafiği incelendiğinde ana malzeme ortalama mikro sertlik değeri

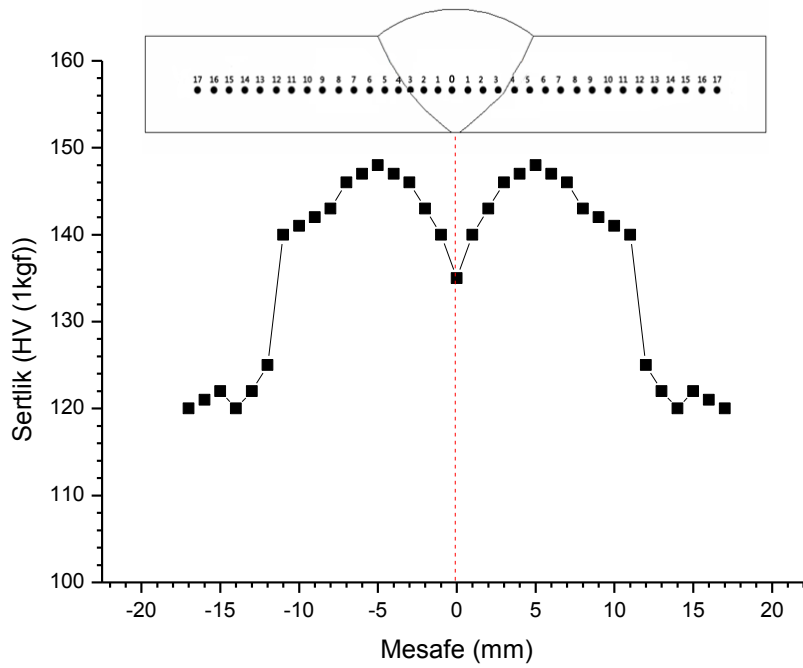
120 HV olarak ölçülmüştür. Aynı grafik incelendiğinde kaynak metali mikro sertliği kaynak merkezinde ortalama yaklaşık 120 HV ölçmüştür. Kaynak metalinden ana metal yönünde sertlik değerlerinde öncelikle bir artışın olduğu daha sonrada bir azalmanın olduğu ve sonuçta ana metal sertlik değerine ulaşıldığı tespit edilmiştir. Kaynak metali ana metalin birbirine benzer çıkması kimyasal kompozisyon benzerliği ve kaynak metali merkezinin soğuma hızının düşük olduğu ile ilişkilendirilebilir. Ana metalinin kaynak metaline yakın bölgelerinden elde edilen sertlik sonuçlarının yüksek olması bu bölgenin ısıdan etkilenerek mikroyapı dönüşümlerin olduğu düşünülmektedir. Resim 7.8-9 incelendiğinde ısının etkisiyle tane irileşmesi ve tane incelmesinin olduğu görülmektedir.

7.1.8. Bazik özlü tel ile kaynatılan numunelere ait sertlik sonuçları

Çizelge 6.3' de verilen kaynak parametrelerine uygun gerçekleştirilen birleştirmelere ait sertlik grafiği Şekil 7.2' de verilmektedir.

Çizelge 7.2. Bazik özlü tel ile kaynatılan numunelere ait sertlik sonuçları.

Malzeme		Kaynak yöntemi		İlave tel		Koruyucu gaz türü											
St 37		MAG		Bazik özlü tel		(%75-80 Ar + CO ₂)											
Ortalama sertlik değerleri (HV 1kgf)																	
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
135	140	143	146	147	148	147	146	143	142	141	140	125	122	120	122	121	120



Şekil 7.2. Bazık özlü tel ile kaynatılan malzemelere ait sertlik grafiği.

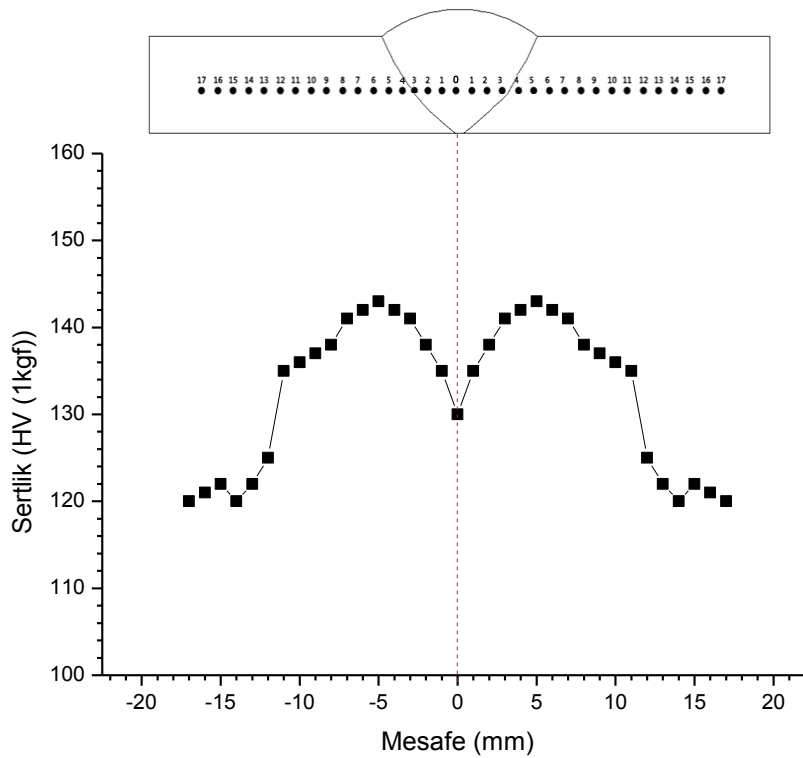
1kgf yükleme ile yapılan Şekil 7.1’de verilen rutil özlü tel ile birleştirilen malzemeye ait mikro sertlik grafiği incelendiğinde ana malzeme ortalama mikro sertlik değeri 120 HV iken kaynak metalinin sertliği ortalama yaklaşık 135 HV olarak ölçülmüştür. Bazık özlü telde Mn miktarının yüksek oluşu (Çizelge 6.2) kaynak metalinin mikro yapısında perlit fazının oluşumunu teşvik etmiştir (Resim 7.10) buda kaynak metalinde perlit miktarının yüksek olmasına neden olmuştur.

7.1.9. Metal özlü tel ile kaynatılan numunelere ait sertlik sonuçları

Çizelge 6.3’ de verilen kaynak parametrelerine uygun gerçekleştirilen birleştirmelere ait sertlik grafiği Şekil 7.3’ de verilmektedir.

Çizelge 7.3. Metal özlü tel ile kaynatılan numunelere ait sertlik sonuçları.

Malzeme		Kaynak yöntemi		İlave tel		Koruyucu gaz türü											
St 37		MAG		Metal özlü tel		(%75-80 Ar + CO ₂)											
Ortalama sertlik değerleri (HV 1kgf)																	
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
130	135	138	141	142	143	142	141	138	137	136	135	125	122	120	122	121	120



Şekil 7.3. Metal özlü tel ile kaynatılan malzemelere ait sertlik grafiği.

1kgf yükleme ile yapılan Şekil 7.3'de verilen metal özlü tel ile birleştirilen malzemeye ait mikro sertlik grafiği incelendiğinde ana malzeme ortalama mikro sertlik değeri 120 HV iken kaynak metali sertliği ortalama yaklaşık 130 HV olarak ölçülmüştür. Metal özlü telde Mn miktarının yüksek oluşu (Çizelge 6.2) kaynak metali mikroyapısında perlit fazının oluşumunu teşvik etmiştir (Resim 7.14) buda kaynak metalinin kaynak metalinde perlit miktarının yüksek olmasına neden olmuştur.

7.1.10. Çekme deney sonuçları

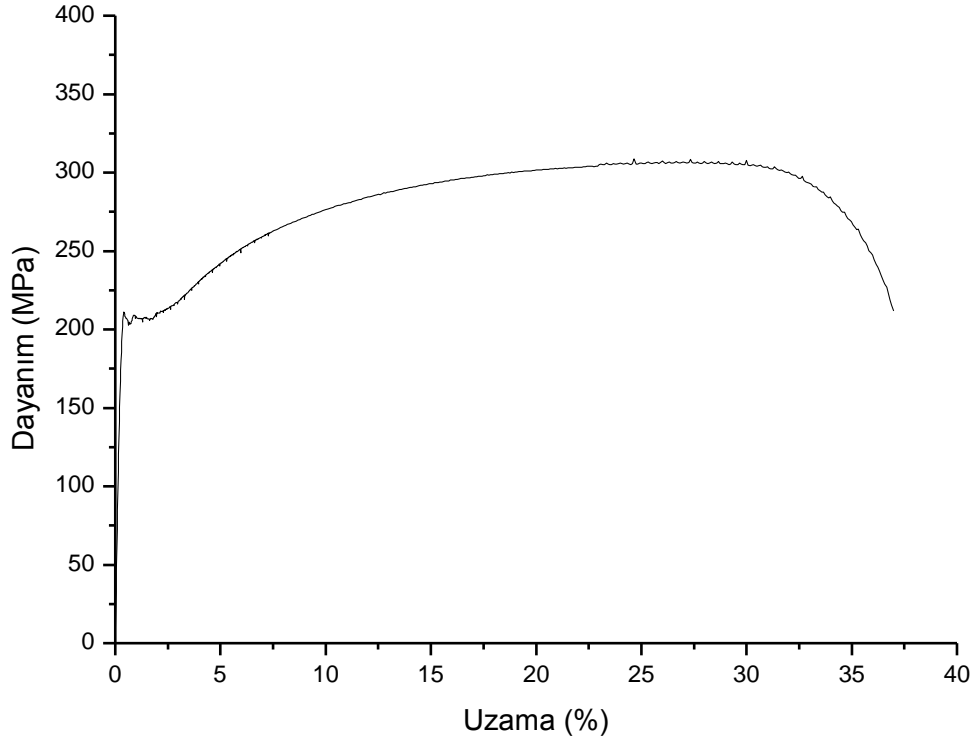
Kaynaksız haldeki St 37 malzemesinin 3 numuneden alınan ortalama değer ile elde edilerek verilen çekme deney sonuçları incelendiğinde, akma mukavemetinin 270 N/mm², çekme mukavemetinin 426 N/mm² ve uzama değerinin %34 olduğu görülmektedir.

7.1.11. Rutil özlü tel ile kaynatılan numunelere ait çekme deney sonuçları

MAG kaynağı ile rutil özlü tel kullanılarak kaynaklanan 3 numuneden alınan ortalama değer ile elde edilen çekme deney sonuç değerleri Çizelge 7.4'de sonuçlardan elde edilen grafik ise Şekil 7.4' de verilmektedir.

Çizelge 7.4. Rutil özlü tel ile kaynatılan numunelere ait çekme deney sonuçları.

Malzeme	Kaynak Yöntemi	İlave Tel	Koruyucu Gaz Türü	Akma Muk. (N/mm ²)	Çekme Muk. (N/mm ²)	% Uzama
St 37	Kaynaksız	-	-	270	426	34
St 37	MAG	Rutil özlü tel	(%75-80 Ar + CO ₂)	202,6	308,7	37,3



Şekil 7.4. Rutil özlü tel ile kaynatılan malzemelere ait çekme deneyi grafiği.

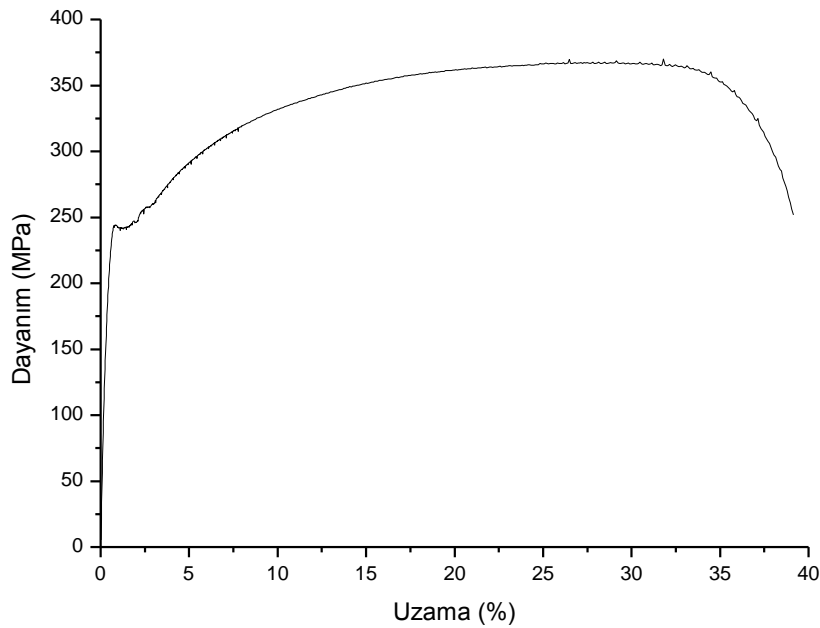
Şekil 7.4 de verilen rutil özlü tel ile birleştirilmiş malzemenin çekme deney grafiği tipik düşük alaşımlı çelik malzemelere ait çekme grafiğine benzemektedir. Grafikte akma sınırının $202,6 \text{ N/mm}^2$, yüzde çekmenin 308 N/mm^2 , yüzde uzama ise $\% 37,3$ olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar Kaynaksız ana malzeme çekme sonuçları ile mukayase edildiğinde akma ve çekme mukavemetinde bir azalma yüzde uzamada ise düşük miktarda da olsa bir artış olduğu görülmektedir.

7.1.12. Bazik özlü tel ile kaynatılan numunelere ait çekme deneyi sonuçları

MAG kaynağı ile bazik özlü tel kullanılarak kaynaklanan 3 numunedan alınan ortalama değer ile elde edilen çekme deney sonuç değerleri Çizelge 7.5’de sonuçlardan elde edilen grafikler ise Şekil 7.5’ de verilmektedir.

Çizelge 7.5. Bazik özlü tel ile kaynatılan numunelere ait çekme deney sonuçları.

Malzeme	Kaynak Yöntemi	İlave Tel	Koruyucu Gaz Türü	Akma Muk. (N/mm ²)	Çekme Muk. (N/mm ²)	% Uzama
St 37	Kaynaksız	-	-	270	426	34
St 37	MAG	Bazik özlü tel	(%75-80 Ar + CO ₂)	200,6	307,8	39,4



Şekil 7.5. Bazik özlü tel ile kaynatılan malzemelere ait çekme deneyi grafiği.

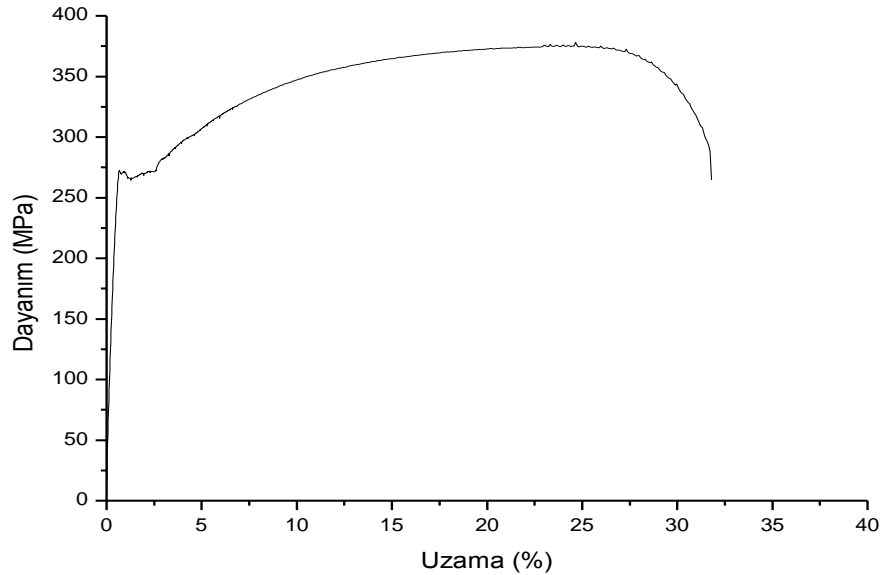
Şekil 7.5 de verilen bazik özlü tel ile birleştirilmiş malzemenin çekme deney grafiği tipik düşük alaşımlı çelik malzemelere ait çekme grafiğine benzemektedir. Grafikte akma sınırının 200,6 N/mm², yüzde çekmenin 307,8 N/mm², yüzde uzamanın ise % 39,4 olduğu görülmektedir. Kaynaksız ana malzeme çekme sonuçları ile mukayese edildiğinde akma ve çekme mukavemetinde bir azalma yüzde uzamada ise düşük miktarda da olsa bir artış olduğu görülmektedir.

7.1.13. Metal özlü tel ile kaynatılan numunelere ait çekme deneyi sonuçları

MAG kaynağı ile metal özlü tel kullanılarak kaynaklanan 3 numunedan alınan ortalama değer ile elde edilen çekme deney sonuç değerleri Çizelge 7.6' da sonuçlardan elde edilen grafikler ise Şekil 7.6' da verilmektedir.

Çizelge 7.6. Metal özlü tel ile kaynatılan numunelere ait çekme deneyi sonuçları.

Malzeme	Kaynak Yöntemi	İlave Tel	Koruyucu Gaz Türü	Akma Muk. (N/mm ²)	Çekme Muk. (N/mm ²)	% Uzama
St 37	Kaynaksız	-	-	270	426	34
St 37	MAG	Metal özlü tel	(% 75-80 Ar + CO ₂)	264,2	378	31,9



Şekil 7.6. Metal özlü tel ile kaynatılan malzemelere ait çekme deneyi grafiği.

Şekil 7.6 da verilen metal özlü tel ile birleştirilmiş malzemenin çekme deney grafiği tipik düşük alaşımlı çelik malzemelere ait çekme grafiğine benzemektedir. Grafikte akma sınırının 264,2 N/mm², yüzde çekmenin 378 N/mm², yüzde uzamanın ise %31,9 olduğu görülmektedir. Kaynaksız ana malzeme çekme sonuçları ile mukayese edildiğinde akma ve çekme mukavemetinde bir azalma yüzde uzamada ise düşük miktarda da olsa bir azalma olduğu görülmektedir.

7.2. Deney Sonuçlarının Tartışılması

Düşük karbonlu yapı çelik (St 37) malzemesine ait Bölüm 7.1' de verilen deney sonuçları bu bölümde ayrı ayrı tartışılacaktır.

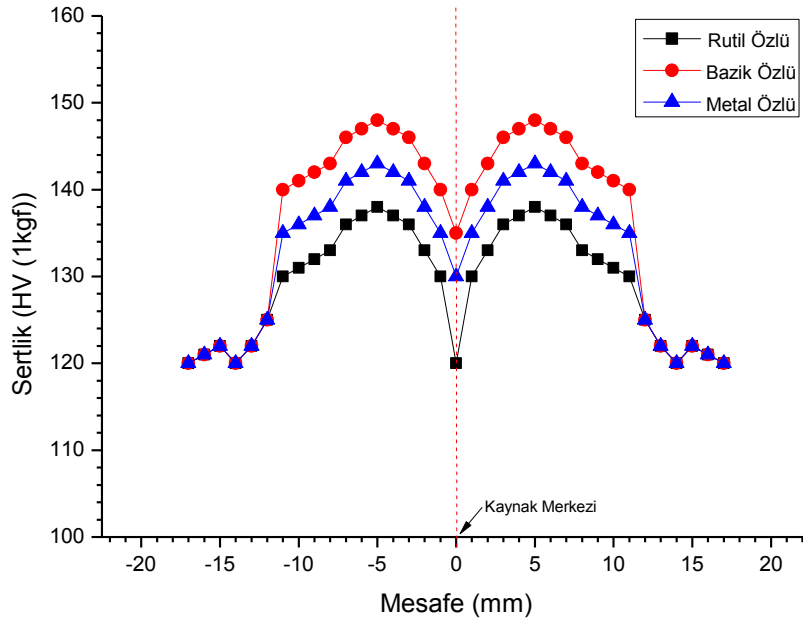
7.2.1. Mikroyapı sonuçlarının tartışılması

Bazik, rutil ve metal özlü tellerle yapılan kaynaklı birleştirmelerde mikroyapı sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde her üç özlü telle yapılan kaynaklı yapıda oluşan mikroyapılar tipik kaynak yapıları şeklinde oluşmuştur. Buradaki en belirgin fark bazik özlü telle yapılan birleştirmede perlit miktarının yüksek oluşudur.

7.2.2. Sertlik sonuçlarının tartışılması

Çizelge 7.7. Rutil, bazik ve metal özlü tel ile kaynatılan numunelere ait sertlik sonuçları.

Malzeme		Kaynak yöntemi		İlave tel		Koruyucu gaz türü											
1	St 37	MAG		Rutil özlü tel		(%75 - 80 Ar + CO ₂)											
2	St 37	MAG		Bazik özlü tel		(%75-80 Ar + CO ₂)											
3	St 37	MAG		Metal özlü tel		(%75-80 Ar + CO ₂)											
Ortalama sertlik değerleri (HV 1kgf)																	
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
120	130	133	136	137	138	137	136	133	132	131	130	125	122	120	122	121	120
135	140	143	146	147	148	147	146	143	142	141	140	125	122	120	122	121	120
130	135	138	141	142	143	142	141	138	137	136	135	125	122	120	122	121	120



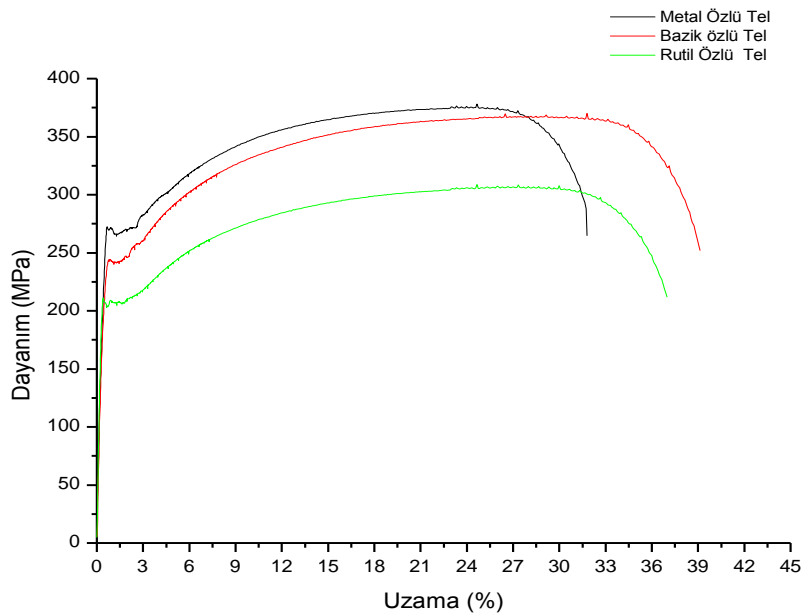
Şekil 7.7. Rutil, bazık ve metal özlü tel ile kaynatılan malzemelere ait sertlik grafiği.

Şekil 7.7’ de rutil bazık ve metal özlü teller ile birleştirilmiş numunelerin sertlik grafiğinde en yüksek sertliğin bazık özlü tel ile birleştirmede olduğu, rutil özlü telde en düşük ve ana metal sertliğine yakın olduğu görülmektedir. Bu farklılığının temel nedeni tellerin kimyasal kompozisyonlarından olduğu en belirgin ise mangan oranının olduğu düşünülmektedir. Isı tesir altında kalan sertliğin ise rutil ile metal özlünün birbirine yakın bazık ise daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

7.2.3. Çekme deney sonuçlarının tartışılması

Çizelge 7.8. Rutil, bazik ve metal özlü tel ile kaynatılan numunelere ait çekme deneyi sonuçları.

Malzeme	Kaynak Yöntemi	İlave Tel	Koruyucu Gaz Türü	Akma Muk. (N/mm ²)	Çekme Muk. (N/mm ²)	% Uzama
St 37	Kaynaksız	-	-	270	426	34
St 37	MAG	Rutil özlü tel	(%75-80 Ar + CO ₂)	202,6	308,7	37,3
St 37	MAG	Bazik özlü tel	(%75-80 Ar + CO ₂)	200,6	307,8	39,4
St 37	MAG	Metal özlü tel	(%75-80 Ar + CO ₂)	264,2	378	31,9



Şekil 7.8. Rutil, bazik ve metal özlü tel ile kaynatılan numunelere ait çekme deneyi grafiği.

Şekil 7.8'de tespit edilen sonuçlara göre rutil telle kaynatılan numunenin ortalama akma sınırı $202,6 \text{ N/mm}^2$, yüzde çekmenin 308 N/mm^2 , yüzde uzamanın ise %37,3 olduğu görülmektedir. Bazik özlü telle kaynatılan numunenin akma sınırının $200,6 \text{ N/mm}^2$, yüzde çekmenin $307,8 \text{ N/mm}^2$, yüzde uzamanın ise %39,4 olduğu görülmektedir. Metal özlü telle kaynatılan numunenin akma sınırının $264,2 \text{ N/mm}^2$, yüzde çekmenin 378 N/mm^2 , yüzde uzamada ise %31,9 olduğu görülmektedir. Sonuçlara göre en yüksek yüzde uzama bazik özlü tel, en düşük yüzde uzama ise metal özlü telle kaynatılan numuneden elde edilmiştir.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

8.1. Sonuçlar

MAG kaynak yöntemiyle karışım gaz kullanılarak farklı özelliklerdeki ilave teller yardımıyla birleştirilen St 37 malzemelerin kaynak bölgelerinin incelenmesinin gerçekleştirildiği bu çalışmadan aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Özlü tellerin öz boşluklarının kaynak metalinde gözenek oluşturduğu görülmüştür.
- Bazık özlü tel elektrod ile birleştirilen kaynak metalinde perlit oranının rutil özlü tellere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.
- Kaynak metali sertliğinin en yüksek bazık en düşük ise rutil özlü telde olduğu.
- En düşük akma sınırı bazık özlü tel ile birleştirilen numunede görülürken en yüksek akma sınırı metal özlü tel ile birleştirilen numunede tespit edilmiştir.
- En yüksek yüzde uzamaya sahip birleştirmenin bazık özlü elektrodla birleştirilen numunede olduğu görülmüştür.

8.2. Öneriler

Benzer konularda daha sonra gerçekleştirilecek olan çalışmalara katkıda bulunmak amacıyla aşağıdaki öneriler yapılabilir;

- Özlü telle yapılan çalışmalar masif tel ile mukayese edilebilir.
- Özlü telle yapılan çalışmalar örtülü elektrod ile mukayese edilebilir.
- Özlü telin kaynak metali özelliği farklı kaynak parametlerinde çalışınabilir.

KAYNAKLAR

Anık, S., Vural, M., “1000 Soruda Kaynak Teknolojisi El Kitabı”, **Birsen Yayınevi**, Cilt 1, İstanbul, (1993).

Anık, S., “Kaynak Tekniği El Kitabı”, **Böhler**, İstanbul, 80-82 (1991).

Anık, S., Vural, M., “Gazaltı Ark Kaynağı”, **GEV Yayını**, Yayın No: 3, İstanbul, 25-53, (1991).

Anık, S., Tülbentçi, K., Kaluç, E., “Örtülü Elektrod ile Elektrik Ark Kaynağı”, **Gedik Holding Yayınları**, İstanbul, 11-35, 38 (1991).

Avner, S. H., “Introduction to Physical Metallurgy”, **McGraw-Hill**, Auckland, 22-75 (1984).

Cary, H. B., “Modern Welding Technology”, **Prentice Hall**, (1989).

Durgutlu, A., “Ark Kaynağı Yöntemlerinde Kaynak Hızının Mikroyapı ve Nüfuziyete Etkisinin İncelenmesi ”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 50-52, 112-114 (1997).

Durgutlu, A., Gülenç, B., Tülbentçi, K., “Ark Kaynağında Kaynak Hızının Mikroyapı ve Nüfuziyete Etkisi”, **Turkish Journal of Engineering & Environmental Sciences**, Sayı 4, (1999).

Eryürek, B., “Çelikler için Örtülü Elektrod Seçimi Gazaltı Kaynağı Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı”, **Askaynak Yayınları**, İstanbul, 4, 77 (2006).

Eryürek, İ. B., “Gazaltı Kaynağı”, **Kaynak Tekniği Sanayi ve Ticaret A.Ş.**, İstanbul, 1-46 (2003).

Fındık, T., “304 Tipi Paslanmaz Çeliklerin MIG Kaynağındaki Isı Transferinin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analizi”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 1-9 (2008).

Gülenç, B., Tülbentçi, K., “Düşük Karbonlu ve Az Alaşımli Çeliklerin MIG-MAG Kaynağında Koruyucu Gaz Seçimi” **Uluslararası Kaynak Teknolojisi Sempozyumu**, İstanbul, (1996).

Gülenç, B., Tülbentçi, K., “Gaz Metal Ark Kaynağında Metal Transferi” **1. Ulusal Kaynak Teknolojisi Kongresi**, Ankara, (1997).

Gülsöz, A., Eylül, “Özlu Tel Elektrodların Önemi ve Kaynak Özellikleri”, **Mühendis ve Makine Kaynak Özel Sayısı**, 35-40, (2000).

Gülbahar, B., “Özlu Elektrodlar ve Uygulama Alanları”, *Mühendis ve Makine*, 28-35, (1991).

Gültekin, N., “Kaynak Tekniği”, *Engin Ofset*, İstanbul, (1991).

Güner, M., “MAG Kaynağında Elektrod Tipinin (Çıplak Tel - Özlu Tel) Kaynak Dikiş Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-43 (2007).

Kaluç, E., “Kaynak Teknolojisi El Kitabı Cilt 1”, *Mmo Yayını*, Kocaeli, (2004).

Masubuchi, K. “Analysis of Welded Structures”, *Pergamon Press*, New York, 44-66, (1980).

Masubuchi, K. “Control of Distortion and Shrinkage in Welding”, *Welding Research Council Bulletin*, New York, 149-150, (1970).

Mills, K., “Welding and Brazing”, Metals Handbook, American Society for Metals, *Ninth Edition*, Metals Park, Ohio, 6: 1094-1102, (1993).

Kahraman, N., Gülenç, B., “Modern Kaynak Teknolojisi”, *Epa-Mat Basım Yayın Ltd Şti.*, Ankara, 12-29, (2009).

Oğuz, B., “Ark Kaynağı”, *Oerlikon Yayınları*, İstanbul, 241-246, 254-290, (1986).

Ören, E., “Mag Kaynağında Kaynak Parametrelerinin İçköşe Dikiş Geometrisine Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *İtü Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2002).

Özkara, H., “Kaynaklı Parçalarda Kalıntı Gerilmeler ve Distorsiyon”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 6-8, 12-20, 50-60, 68, 71, 72 (1987).

Serfiçeli, Y.S., “Metal İşleri Meslek Teknolojisi 1”, *Birikim Matbaacılık*, Ankara, 2-4, (1997).

Toyoda, M., Mochizuki, M., “Control Of Mechanical Properties in Structural Steel Welds By Numerical Simulation Of Coupling Among Temperature, Microstructure, And Macro-Mechanics”, *Science and Technology of Advanced Materials*, 5(1-2): 255-266 (2004).

Tülbentçi, K., “MIG - MAG Eriyen Elektrod ile Gazaltı Kaynağı”, *Gedik Holding Yayınları*, İstanbul, 1-7, 23, (1990).

Tülbentçi, K., “MIG-MAG Kaynak Yöntemi”, *Arctech Yayın*, İstanbul, 2, (1998).

“Metalik Malzemeler” - Kaynaklar Üzerinde Tahribatlı Deneyler Enine Çekme Deneyi”, *TS 287 EN 895*, (1996).

Wilson, W.M., Hao, C.C., "Residual Stresses in Welded Structures", *Welding Journal*, 249-254, (1967).

William R.O., "Welding Handbook Seventh Edition", *American Welding Society*, Miami, 1:222-264, (1976).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÇELİK, Osman
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 29.04.1984 - Denizli
Medeni hali : Bekar
e-mail : celikosman20@gmail.com.

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Metal Eğitimi	2013
Lisans	Gazi Üniversitesi / Metal Öğretmenliği	2009
Lise	Denizli Lisesi	2003

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2012 -	Andritz Hydro	Kaynak Eğitmeni
2009 - 2012	Gazi Üniversitesi	Öğrenci Asistanlık

Yabancı Dil

İngilizce

Proje katılımları

Devam eden projeler

1. 07/2010-69 “Özlü Tel Elektrod İle Kaynaklı Birleştirmenin Masif ve Örtülü Elektrod İle Kaynaklı Birleştirmeye Göre Mekanik ve Mikroyapıya Özelliklerinin İncelenmesi”, Araştırmacı.

Hobiler

Bilişim teknolojileri, müzik dinlemek, spor yapmak.