

T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**GAZALTI KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLEN FARKLI OTOMOTİV
ÇELİKLERİNİN MİKROYAPI VE ÇEKME ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇAĞRI ERTÜRK

TEZ DANIŐMANI

DOÇ.DR. MUHAMMED ELİTAŞ

BİLECİK, 2024

10656313

T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**GAZALTI KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLEN FARKLI OTOMOTİV
ÇELİKLERİNİN MİKROYAPI VE ÇEKME ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇAĞRI ERTÜRK

TEZ DANIŐMANI

DOÇ.DR. MUHAMMED ELİTAŞ

BİLECİK, 2024

10656313

BEYAN

‘‘Gazaltı Kanyacı ile Birleştirilen Farklı Otomotiv eliklerinin Mikroyapı ve çekme zelliklerinin İncelenmesi’’ adlı yüksek lisans tezi hazırlık ve yazımı sırasında bilimsel araştırma ve etik kurallarına uyduğumu, başkalarının eserlerinden yararlandığım bölümlerde bilimsel kurallara uygun olarak atıfta bulunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, tezin herhangi bir kısmının Bilecik Şeyh Edebalı niversitesi veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını, aksinin tespit edileceği muhtemel durumlarda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Bu alışmanın, Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP), TÜBİTAK veya benzeri kuruluşlarca desteklenmesi durumunda; projenin ve destekleyen kurumun adı proje numarası ile birlikte, ETİK KURUL onayı alınması durumunda ise ETİK KURUL tarih karar ve sayı bilgilerinin beyan edilmesi gerekmektedir.			
DESTEK ALINMIŞTIR		DESTEK ALINMAMIŐTIR	X
Destek alındı ise;			
Destekleyen kurum;			
Desteğin Türü		Proje Numarası	
1- BAP (Bilimsel Araştırma Projesi)			
2- TÜBİTAK			
Diğer;.....			
ETİK KURUL onayı var ise;			
ETİK KURUL karar tarih/sayı:	/.....	

ağrı ERTÜRK

.../.../...

İmza

ÖN SÖZ

Tez çalışmasının her anında beni destekleyen, bana yol gösteren, tezimin planlaması, yazılmasında tecrübe ve bilgilerinden yararlandığım danışman hocam Sayın Doç. Dr. Muhammed ELİTAŞ' a,

Her zaman yanımda olan maddi, manevi desteklerini esirgemeyen sevgili eşim ve aileme,

Plakaların temininde yardımcı olan Sayın Ahmet GÜVE' ye,

Kaynak işleminin yapılmasında, BİEN seramik fabrika müdürü Sayın Abdullah GÜLEÇ' e, Makine ve Enerji Şefi Sayın Oğuzhan TEYRAN' a ve makine bakım personellerine,

Çalışmalarımda yardımcı olan Sayın Ünal ÇOLAK, Sayın Öğretim Görevlisi Sevinç KARAÇAM' a,

Teşekkür ederim.

Çağrı ERTÜRK

2024

ÖZET

GAZALTI KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLEN FARKLI OTOMOTİV ÇELİKLERİNİN MİKROYAPI VE ÇEKME ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Bu tez çalışmasında, SPH270-C ile SPH440-OD otomotiv çelikleri Metal Aktif Gaz (MAG) kaynağı yöntemiyle birleştirilip numunelerin mikroyapısı ve mekanik özellikleri incelenmiştir. 9 farklı kaynak kombinasyonunda farklı tel hızı, kaynak gerilimi değerlerinde kaynak işlemi uygulanmıştır. Kaynak numunelerinden lazer kesim yöntemi ile deney numuneleri elde edilmiştir. Mikroyapı incelemeleri optik mikroskopta gerçekleştirilmiştir. Mekanik özelliklerin değerlendirilmesi amacıyla çekme deneyi ve Vickers sertlik ölçümleri uygulanmıştır. Sonuç olarak, farklı kaynak parametrelerinin çekme mukavemetini, yüzde uzamayı ve kaynak dikişini etkilediği gözlenmiştir. En yüksek çekme dayanımı C3 kodlu numunede (6 m/dak tel hızı, 19 V kaynak voltajı parametreleri) gözlenirken, en düşük çekme dayanımı A3 kodlu numunede gözlenmiştir. En yüksek uzama yüzdesi değeri B2 kodlu plakada, en düşük ise A3 kodlu plakada meydana gelmiştir. Genellikle kaynak gerilimi kademeli olarak artırılıp, tel hızının sabit tutulduğu durumlarda kaynak dikişi genişlemiştir. Kaynaklı plakalarda kopmalar SPH270-C esas metalinde gerçekleşmiştir. Mikroyapı incelemelerinde esas metalden kaynak metaline doğru ilerledikçe tane irileşmesi ve sıklığın arttığı görülmüştür. Ayrıca sertlik değerleri esas metalden kaynak metaline doğru artış göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: SPH270-C, SPH440-OD, MAG Kaynağı, Mikroyapı, Mekanik Özellikler.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF MICROSTRUCTURE AND TENSILE PROPERTIES OF DIFFERENT AUTOMOTIVE STEELS JOINED BY GAS METAL ARC WELDING

In this thesis, SPH270-C and SPH440-OD automotive steels were joined by Metal Active Gas (MAG) welding method and the microstructure and mechanical properties of the samples were investigated. Welding was performed at different wire speed and welding voltage values in 9 different welding combinations. Test samples were obtained from the welding samples by laser cutting method. Microstructure examinations were carried out with an optical microscope. Tensile tests and Vickers hardness measurements were applied to evaluate the mechanical properties. As a result, it was observed that different welding parameters affected the tensile strength, percentage elongation and weld seam. The highest tensile strength was observed in the C3-coded sample (6 m/min wire speed, 19 V welding voltage parameters), while the lowest tensile strength was observed in the A3-coded sample. The highest percentage of elongation value occurred on the B2-coded plate, and the lowest was on the A3-coded plate. Generally, when the welding voltage is gradually increased and the wire speed is kept constant, the weld seam is widened. In welded plates, ruptures occurred in the SPH270-C base metal. In microstructure examinations, it was observed that grain coarsening and density increased as the base metal moved towards the weld metal. In addition, the hardness values increased from the base metal to the weld metal.

Keywords: SPH270-C, SPH440-OD, MAG Welding, Microstructure, Mechanical Properties.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖN SÖZ.....	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
TABLolar LİSTESİ	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	3
3. GAZALTI ARK KAYNAĞI	7
3.1. Gazaltı Ark Kaynak Yöntemi.....	7
3.2. Gazaltı Ark Kaynağının Esası	7
3.3. MIG/MAG Kaynağı ve Çalışma Prensipleri.....	8
3.4. MIG/MAG Kaynak Ekipmanları.....	9
3.4.1. Kaynak Torcu.....	10
3.4.2. Kaynak Akım Üretici.....	11
3.4.3. Tel Sürme Mekanizması.....	12
3.4.4. Torç Bağlantı Paketi.....	13
3.4.5. Elektronik Kart.....	13
3.4.6. Gaz Tüpü	13
3.4.6.1. Soygazlar	14
3.4.6.2. CO ₂ Gazı.....	15
3.4.6.3. Argon Gazı	15
3.4.6.4. Helyum Gazı	15
3.4.6.5. Azot Gazı	15
3.4.6.6. Oksijen Gazı.....	16
3.4.6.7. H ₂ Gazı.....	16
3.4.6.8. Karışım Gazlar	16
3.4.6.8.1 Argon-Helyum karışımları.....	16
3.4.6.8.2 Argon-Karbondiyoksit karışımları	17
3.5. MIG/MAG Kaynağında Kullanılan Elektrod Türleri	18
3.5.1. MIG/MAG Kaynak Yönteminde Elektrodun Seçimi.....	19
3.5.2. Çeliklerin MIG/MAG kaynağında Kullanılan Elektrodların Seçimi	19

3.6. Kaynak Parametreleri Seçimi ve Ayarlanması.....	21
3.6.1. Kaynak Öncesi Ayarlanabilir Parametreler	21
3.6.1.1. Telin ve Elektrodun Çapı	21
3.6.1.2. Koruyucu Gaz Türü.....	21
3.6.2. Birinci Derece Ayarlanabilir Parametreler	22
3.6.2.1. Kaynağın Hızı	22
3.6.2.2. Arkın Gerilimi.....	22
3.6.2.3. Kaynak Akımı.....	23
3.6.3. İkinci Derece Ayarlanabilir Parametreler.....	23
3.6.3.1. Torcun Açısı.....	23
3.6.3.2. Serbest Telin Uzunluğu	24
3.6.3.3. Nozul Mesafesi	25
3.6.3.4. Koruyucu Gazın Debisi.....	25
3.6.3.5. Kutup Bağlantısı.....	26
4. MATERYAL ve YÖNTEM	28
4.1. Kullanılan Malzemeler ve Kaynak İşlemi	28
4.2. Mikroyapı (Metalografi Deneyi).....	34
4.3. Çekme Deneyi Uygulaması	35
4.4. Mikrosertlik Deneyi Uygulamaları (Vickers).....	36
5. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA	38
5.1. Metalografi Deneyi Sonuçları.....	38
5.2. Çekme Deneyi ve Kaynak Dikişi İncelemeleri	40
5.3. Vickers Mikrosertlik Deneyi Sonuçları	45
6. GENEL SONUÇLAR.....	51
KAYNAKÇA	53

TABLULAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 3.1. TS EN 439' a göre gazların özellikleri	15
Tablo 3.2. MIG/MAG kaynağında tercih edilen gaz karışımları.....	18
Tablo 3.3. Özsüz tel türleri elektrodların kimyasal bileşimleri	19
Tablo 3.4. Gaz altı ark kaynağındaki parametreler ile kaynak dikişi üzerine etkisi	28
Tablo 4.1. Esas metallerin (SPH270-C/SPH440-OD) kimyasal bileşimleri.....	29
Tablo 4.2. Esas metallerin (SPH270-C/SPH440-OD) mekanik özellikleri	29
Tablo 4.3. Kaynak Parametreleri	31
Tablo 4.4. GeKaMac GKM 500-2W makinesi teknik özellikleri.....	31
Tablo 4.5. SG2 elektrodunun kimyasal bileşimleri (%) ve mekanik özellikleri	31
Tablo 5.1. Sabit tel hızı, kaynak gerilimi değişken çekme deneyi sonucu elde edilen ortalama çekme gerilmesi ve yüzde uzama verileri	42
Tablo 5.2. Kaynak gerilimi sabit, tel ilerleme hızı değişken çekme deneyi sonucu elde edilen ortalama çekme gerilmesi ve yüzde uzama verileri	43
Tablo 5.3. Vickers sertlik deneyi ortalama sonuçları.....	50

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 3.1. MIG/MAG kaynak yönteminde ark bölgesi	10
Şekil 3.2. MIG-MAG kaynak donanımları	11
Şekil 3.3. Su soğutmalı kaynak torcu	11
Şekil 3.4. Hava soğutmalı kaynak torcu	12
Şekil 3.5. Tel sürme mekanizması genel şeması	13
Şekil 3.6. İki veya dört makaralı tel elektrod besleme şematik görüntüsü	13
Şekil 3.7. Gazaltı ark kaynağı koruyucu gaz tüpü ve manometre	14
Şekil 3.8. Özlü tellerin dolgu oranları ve kesit formları	21
Şekil 3.9. Kaynak dikişine kaynak hızının etkisi	23
Şekil 3.10. İç ve dış dikiş formunun gösterimi	24
Şekil 3.11. Sağ kaynak yöntemi	25
Şekil 3.12. Sol kaynak yöntemi.....	25
Şekil 3.13. Gazaltı ark kaynağında serbest tel uzunluğunun değişkenlere etkisi	25
Şekil 3.14. Nozul mesafesi akım şiddetine göre	26
Şekil 3.15. Koruyucu gazın tüketimi, nozulun çapı ve akım şiddeti arasındaki ilişki	26
Şekil 3.16. Ters ve düz kutuplama erime etkisi	27
Şekil 4.1. SPH270-C/SPH440-OD çeliklerinin OBLF marka GS1000 model spektrometre cihazında spektral analiz çalışmaları yapılması	29
Şekil 4.2. SPH270-C/SPH440-OD plakalar.....	30
Şekil 4.3. Strojaren NTE 2500/4B giyotini	30
Şekil 4.4. SPH270-C/SPH440-ODE Çeliklerinin 300x75 mm ebatlarında kesilmesi.....	30
Şekil 4.5. MAG kaynağının yapıldığı GeKaMac GKM500-2W su soğutmalı kaynak makinesi	32
Şekil 4.6. Kaynakçı tarafından yapılan kaynak işlemi	32
Şekil 4.7. MAG işlemi sonrasında oluşan kaynaklı numunelerin sembolik çizimi	33
Şekil 4.8. SPH270-C/SPH440-OD saclarının SG2 elektrod ile kaynaklı birleşimi	33
Şekil 4.9. Çekme deneyi ve mikroyapı-mikrosertlik numunesi ölçüleri	34
Şekil 4.10. BODOR lazer kesim makinesi	34
Şekil 4.11. Lazer numune kesim işlemi	35

Şekil 4.12. Zımparalama ve parlatma cihazı Metkon Forcipol 2V	36
Şekil 4.13. Endüstriyel mikroskop NİKON ECLIPSE LV150N	36
Şekil 4.14. SHIMADZU AG-IC çekme cihazı	36
Şekil 4.15. Çekme deneyi numuneleri	37
Şekil 4.16. SHIMADZU AG-IC sertlik ölçme cihazı	38
Şekil 4.17. Yüzeye iz oluşturma ve 20x odaklama ile görüntü alma	38
Şekil 4.18. Numunelere ait iz görüntüsü.....	38
Şekil 5.1. Mikroyapılarının alındığı bölgelerin numune üzerinde gösterimi (40x büyütme) ..	39
Şekil 5.2. MAG kaynak işlemi sonrası oluşan mikroyapı görüntüleri a) SPH270-C Esas Metal b) SPH440-OD Esas Metal c) SPH270-C ITAB d) SPH440-OD ITAB e) Kaynak Metali.....	40
Şekil 5.3. EM, ITAB ve KM bölgelerinde tane görüntüsü şematik gösterimi	41
Şekil 5.4 Çekme testi sonucu numunelerin kopma bölgeleri	43
Şekil 5.5. Kaynak dikişlerinin makro görüntüleri	45
Şekil 5.6. Vickers mikrosertlik ölçümünde ölçüm alınan yerlerin sembolik gösterimleri	46
Şekil 5.7. A1 kodlu numuneye ait Vickers sertlik analizi sonucu.....	47
Şekil 5.8. A2 kodlu numuneye ait Vickers sertlik analizi sonucu.....	47
Şekil 5.9. A3 kodlu numuneye ait Vickers sertlik analizi sonucu.....	47
Şekil 5.10. B1 kodlu numuneye ait Vickers sertlik analizi sonucu.....	48
Şekil 5.11. B2 kodlu numuneye ait Vickers sertlik analizi sonucu.....	48
Şekil 5.12. B3 kodlu numuneye ait Vickers sertlik analizi sonucu.....	48
Şekil 5.13. C1 kodlu numuneye ait Vickers sertlik analizi sonucu.....	49
Şekil 5.14. C2 kodlu numuneye ait Vickers sertlik analizi sonucu.....	49
Şekil 5.15. C3 kodlu numuneye ait Vickers sertlik analizi sonucu.....	49
Şekil 5.16. Tüm numunelere ait Vickers sertlik analizi sonuçları.....	50

KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ

MIG: Metal Inert Gaz

MAG: Metal Aktif Gaz

JIS: Japon Endüstri Standartları

SPH: Stell Plate Hot

KM: Kaynak Metali

ITAB: Isı Tesiri Altındaki Bölge

EM: Esas Metal

CO₂: Karbondioksit Gazı

CO: Karbonmonoksit Gazı

°: Derece

Ø: Çap

RSW: Direnç Nokta Kaynağı

A: Amper

V: Volt

%: Yüzde

AISI: Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü

m: Metre

mm: Mililitre

l: Litre

kg: kilogram

sn: saniye

dk: dakika

SEM: Taramalı Elektron Mikroskobu

GMAW: Gaz Metal Ark Kaynağı

TIG: Tungsten Inert Gaz

Ar: Argon

He: Helyum

H₂: Hidrojen Gazı

Fe: Demir

C: Karbon

Si: Silisyum

Mn: Mangan

P: Fosfor

S: Kükürt

Ca: Kalsiyum

Ni: Nikel

Al: Alüminyum

Ti: Titanyum

Mo: Molibden

Cr: Krom

Zr: Zirkonyum

Cu: Bakır

O: Oksijen

O₂: Oksijen gazı

b/t: İç dikiş formu

h/t: Dış dikiş formu

DCEP: Doğru akım elektrod pozitif kutuplama

DCEN: Doğru akım elektrod negatif kutuplama

ISO: Uluslararası Standartlar Teşkilatı

HP: Horse Power

rpm: devir/dakika

W: watt(güç)

HV: Vickers Sertliği

Fe₃C: Sementit

MPa: Mega Pascal

α: Ferrit

°C: Celsius (Santigrat Derece)

1. GİRİŞ

Kaynak yöntemi günümüz sanayisinde sürekli geliştirilen ve giderek artan en vazgeçilmez birleştirme yöntemidir. Kaynak, iki malzemeyi birleştirme ötesinde, fizik, metalürji, kimya ve mekanik gibi birçok disiplini ve birçok bilimsel yöntemi kendi içinde bütünleştiren bir kavramdır (Kahraman ve Gülenç, 2020:1). Kaynak iki ya da daha fazla malzemenin ısı ya da basınç etkisi altında eritilmesi ve birleştirilmesini içeren önemli bir üretim yöntemidir (Cheng vd., 2021:452). Kaynak işlemi uygulanacak malzemenin cinsine göre, plastik malzeme kaynağı ve metal kaynağı olmak üzere iki farklı başlıkta ele alınır (Anık, 1991).

Plastik malzeme kaynağı: Farklı ve aynı cinsten termoplastik malzemeyi ısı ve basınç kullanarak ve aynı cinsten bir plastik ilave malzeme kullanarak veya kullanmadan birleştirmeye denir (Anık, 1991:13).

Metal kaynağı: Metalik malzemeyi basınç, ısı veya her ikisini birden kullanarak ve erime aralığı aynı veya yaklaşık bir malzeme ilave ederek veya etmeden yapılan birleştirmeye denir. İlave bir malzeme kullanılırsa, bu malzemeye ilave metal adı verilir (Anık, 1991:13).

Çok sayıda birleştirme tekniği vardır ve esas sorun birleştirme yönteminin nasıl seçileceğidir. Her yöntemin kendine özgü özellikleri vardır ve en uygun seçim için birçok kriterin değerlendirilmesi gerekmektedir. Büyük ölçüde göze alınan faktörler; üretim kolaylığı, maliyet, mukavemet, korozyon dayanımı, ömür ve görünüşdür (Kahraman ve Gülenç, 2020:1).

Kaynakta bir ergime süreci vardır bu sebepten dolayı gözle göremediğimiz bir takım metalürjik olaylar görülmektedir. Kaynak uzmanının becerisi, bir kaynağın yerine getirebileceği başlıca gereksinimlerin doğru saptanması ve uygun kaynak yönteminin seçilmesi kaynak işleminin başarısını etkilemektedir (Aslanlar, 2009:12).

Metalik malzemelerin kaynak işleminde oldukça yaygın olarak kullanılan MIG (Metal Inert Gaz) /MAG (Metal Aktif Gaz) yönteminde kullanımının artması ile bu yöntemde kullanılan koruyucu gazların geliştirilmesi, çeşitli gaz karışımları ile yapılan kaynaklı bağlantılarda dikiş özelliklerinin incelenmesi amacıyla araştırmalar devam etmektedir. Kaynak dikişi özelliklerinin iyileştirilmesi ve daha hızlı, ekonomik birleştirmeler oluşturulması açısından önem arz etmektedir (Şık, 2005:9).

Bu çalışmada Japon Endüstri Standartlarına (JIS) göre G3131 standartlarına ait bir çelik türü ayrıca Toyota üretim kodu TSG3100G ile adlandırılan SPH270-C çeliği ile JIS' a göre G3113 standartlarına ait bir çelik olan Toyota kodu TSG3100G ile adlandırılan SPH440-OD

Çelikleri incelenmiştir. Yüksek mukavemetin gerekli olduğu aynı zamanda Şekil alabilme özelliği gösteren araç Őasisi, tekerliği gibi uygulama alanları bulunmaktadır (Aliandi vd., 2021: 1970; Nippon Steel Corp. 2024). Çeliklerin MAG gazaltı ark kaynağı ile belirlenen kaynak parametrelerinde kaynak işlemi sonucunda Kaynak metali (KM), Isının tesiri altındaki bölge (ITAB), Esas Metal (EM) bölgelerinde meydana gelen mikroyapısal ve mekanik özelliklerinin değişimi bu tez çalışmasında detaylı olarak incelenmiştir. Mikroyapı incelemeleri optik mikroskopta, mekanik özelliklerin incelenmesi amacıyla Vickers mikrosertlik testi ve çekme deneyi yapılmıştır. Çalışmanın, MAG gazaltı ark kaynağı uygulamalarına ve literatüre de katkı sunacağı düşünülmektedir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Kaynak işleminde bir sistem ya da parçada iki farklı metalin birleştirilmesi ile metalin üstün özelliklerini daha ekonomik biçimde sunabilmek müşteri memnuniyeti ve rekabet bakımından avantaj sağlamaktadır. Farklı metallerin kaynağı ile ilgili birçok bilimsel araştırma ve endüstriyel uygulamalar literatürde mevcuttur.

Kaya (2018), çalışmasında S235JR ve S335JR yapı çelik türlerinin 3'lü birleşimi şeklinde MAG kaynak tipi ile kalıcı birleştirme işlemine tabi tutmuştur. EM, ITAB ve KM bölgelerinin mikroyapı, mikrosertlik ve mekanik özelliklerini karşılaştırmalı incelemiştir. Kaynakta koruyucu gaz olarak CO₂ gazını kullanmıştır. Mekanik ölçüm değerlendirmeleri için eğme, çekme ve mikrosertlik çalışmaları yapmıştır. Sonuç olarak, 3'lü birleşimli çeliklerin tamamında çekme işlemi sonrası EM bölgesinde sünek kopma oluşumu gözlemlemiştir. Eğme işlemi sonucunda ise çeliğin 180° şekil alabildiğinden kaynaklı yapı çeliklerinde herhangi sorun (kopma, çatlak vb.) gözlemlenmemiştir. Kaynaklı 3'lü birleşim çeliklerin sertlik işleminden sonra EM bölgesinden ITAB ve KM bölgelerine doğru sertliğin artış gösterdiğini belirtmiştir. Bu durumun ise soğuma hızının kaynağın nüfuz ettiği veya etmediği bölgelere göre değişiklik göstermesinden dolayı oluştuğunu gözlemlemiştir. Mikroyapı inceleme işleminde ise çelik yapıların ferrit ve perlit ikili faz bölgesinde oluştuğunu gözlemlemiş ve bunu literatürde bulunan deneysel bir çalışma ile desteklendiğini belirtmiştir. 3'lü birleşimlerin tamamında EM bölgesinden kaynak yapılan yüzeye doğru inceleme yapıldığında tanelerin belirginleştiği ve büyüdüğünü belirtmiştir.

Okuroğulları (2022), çalışmasında St52 ve S460MC çeliklerinde uygulanan robotik MAG gazaltı kaynağı yöntemi ile parametrelerin değişimleri ile çeliklerin mekanik özelliği olan çekme dayanımı üzerinde etkisini araştırmıştır. İki farklı malzeme türünde kaynak parametrelerinin seçimi için çok sayıda deney çalışması yapmıştır. Çeliklere mekanik testler uygulamış ve çıkan sonuçları karşılaştırmıştır. Sonuç olarak, kaynaklı yapılarda kaynak ilerleme hızı, tel sürme hızı ve ark boyu özelliklerinin çalışması içerisinde belirlenen optimum oranlarda belirlenmesi gerektiğini bu değerler dışındakilerin çekme dayanımını düşürerek kaynaklı yapılarda uygun koşulların sağlanamayacağını belirtmiştir. Parametrelerden ilki olan ilerleme hızı değerlendirmesinde uygun görülen tel hızı değerinden arttıkça veya azaldıkça çekme dayanımında düşüş gözlemlemiştir. Parametrelerden ikincisi olan tel sürme hızı için uygun görülen değer dışında arttırdıkça veya azaldıkça çekme dayanımında azalma gözlemlemiştir. Parametrelerden üçüncüsü olan ark boyu değerinin uygun değer dışında arttırdıkça veya azaldıkça çekme dayanımında düşüş gözlemlemiştir.

Okuyan ve Uzun (2017), çalışmalarında 1 mm ve 4 mm kalınlığındaki SPH440 çelik lama ile 1,2 mm ve Ø31,8 mm çapındaki STKM800 boru profilini en uygun şekilde ayarlanması ve en uygun kaynak nüfuziyetini sağlamak için kaynak akımı, kaynak hızı ve kaynak gerilimi değerlerini farklı kombinasyonlarda ayarlamışlardır. Robot ark kaynak işlemini en uygun koşulları belirlemek amacıyla birleştirme işlemi olarak kullanmışlardır ve en iyi nüfuziyetin sağlandığı akım, hız ve gerilim değerlerini bulmuşlardır.

Özturan (2022), çalışmasında Hardox 450 ve S355J2+N MAG gazaltı kaynak yöntemi ile birleştirilmesinin mekanik özellikler ve mikroyapı bakımından araştırılmasını gerçekleştirmiştir. Bu amaçla eğme, Vickers sertlik, darbe, aşınma, çekme gibi mekanik testler gerçekleştirmiştir. Kaynak telinin ve iki farklı metalin birleşimi ile oluşan KM, ITAB bölgesindeki mikroyapıları incelemiş ve mekanik özelliklerini araştırmıştır. Sertlik ölçümleri sonucu S355J2C+N 'den Hardox 450' e doğru sertlik değerinin arttığını gözlemlemiştir. Diğer testler için her malzemenin ve KM bölgesinin baskın özelliklerini elde etmiştir. Gazaltı ark kaynağının iki farklı metalin birleşiminde mukavemet, sızdırmazlık ve tokluk gibi özellikler sağladığını ve iki metalin başarılı biçimde birleştirilebileceğini tespit etmiştir.

Kasih vd. (2018), çalışmalarında otomotiv sektöründe çoğunlukla kullanılan SPC 440 ve SPH 440 iki farklı kalınlıkta iki farklı çeliğin Direnç Nokta Kaynak (RSW) yöntemiyle daha iyi mekanik sonuçlar elde etmek için proses parametrelerini optimize etmişlerdir. Uygulanan akımın, kaynak süresinin ve elektrod kuvvetinin çeşitli kombinasyonları her biri üç seviyeye sahip seçilen parametreler, optimum değeri elde etmek için araştırılmıştır. Bu çalışmada tüm deneyler Taguchi yöntemine dayalı olarak gerçekleştirilmiştir. İncelemeler sonucu kaynak prosesinde kontrol edilmesi gereken en önemli faktörün kaynak süresi olduğunu bulmuşlardır.

Kılınçer ve Kahraman (2009), çalışmalarında AISI 409 ve Ç1010 çeliklerinin östenitik elektrod kullanarak robotik MIG kaynağı ile birleştirilmesini ve mekanik özelliklerinin araştırılmasını gerçekleştirmişlerdir. Çekme, eğme, sertlik ve çentik darbe ile mikroyapı çalışmaları yapmışlardır. Kaynak parametrelerini kaynak akımı (88 A, 97 A, 105 A) ve tel ilerleme hızı (4,5 m/dk, 5 m/dk, 5,5 m/dk) olarak belirlemişlerdir. Çekme testi sonucu ayrılmanın, KM dışında ve düşük karbonlu çelik levhada meydana geldiğini ifade etmişlerdir. Eğme testi sonucunda KM'de çatlak ve yırtılma meydana gelmediğini belirtmişlerdir. Bütün kaynak parametrelerinde, KM sertliğinin ITAB ve EM' den daha yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir. Mikroyapı çalışmalarında KM ve ITAB' da tane büyümesi meydana geldiğini tespit etmişlerdir.

Yürük vd. (2017), çalışmalarında S235JR düşük karbonlu çelik ve AISI430 ferritik paslanmaz çelik malzemelerin MIG (saf argon) kaynağı ile farklı tel ilerleme hızında birleştirmişlerdir. Mekanik özellikleri belirlemek için çekme deneyi ve sertlik deneyi uygulamışlar ve mikroyapı incelemesi yapmışlardır. Elde edilen verilere göre EM mekanik özellikleri karşılaştırıldığında S235JR karbon çeliğinin çekme dayanımının verilen değerler arasında olduğunu tespit etmişler, AISI430 ferritik paslanmaz çeliğin çekme dayanımının düşük olduğunu görmüşlerdir. % uzama değeri üzerine karşılaştırmalarda S235JR karbon çeliğinin % uzama değerinden düşük, AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin % uzama değerinden düşük olduğunu saptamışlardır. Akma dayanımlarının her iki EM' den de yüksek olduğunu saptamışlardır. Tüm kaynaklı numunelerde kopmanın, KM ve ITAB dışında, S235JR karbon çeliğinde EM bölgesinde meydana geldiğini, maksimum % uzama değerlerini ise birbirine yakın değerlerde bulmuşlardır. Sertlik ölçümlerini incelediklerinde, kaynaklı bağlantılardaki her iki ITAB ve KM sertliklerinin her iki EM' den de yüksek olduğunu görmüşlerdir. En yüksek sertlik değerini KM' de elde etmişlerdir. Kaynaklı bağlantılarda her iki ITAB bölgesinin sertliğini incelediklerinde, AISI 430 ferritik paslanmaz çelik ITAB sertliğinin, S235JR karbon çeliğinkinden yüksek olduğunu görmüşlerdir. Her iki ITAB' da ki sertlik artışının, kaynak esnasında ısı girdisinin, dolayısıyla kaynak sonrası soğuma hızının malzemenin mikro yapısını etkilediğini ifade etmişlerdir. Mikroyapı incelemelerinde ise KM' de kaba ve sütunsal tanelerin oluştuğunu görmüşlerdir. Artan tel ilerleme hızı (kaynak hızı) ile paralel olarak kaynak bölgesine giren ısı girdisinin de artması sonucunda KM' de sütunsal tanelerde uzamaların meydana geldiğini gözlemlemişlerdir. Tanelerde oluşan bu değişimin sertliğin de artmasında etkili olduğunu belirtmişlerdir. Tel ilerleme hızının artması sonucu tane büyümesinin meydana gelmesi ve tane büyümesi sonucu artan ısı girdisinin bu duruma neden olduğunu belirtmişlerdir.

Tekbaş (2022), çalışmasında otomotiv sektöründe kullanılan DD11 ve DD13 çelik levhaların robotik MAG kaynağında farklı kaynak parametrelerinin mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisini araştırmıştır. Kaynaklı birleşimleri farklı gaz debisi (14-20 l/dk) farklı kaynak akımı (240-250-270 A) ve kaynak hızı (12-16 mm/s) değerlerinde elde etmişlerdir. Numuneleri çekme testine, sertlik testine ve mikroyapı incelemesine tabi tutarak optimum kaynak parametrelerini tespit etmiştir. Çekme testi ve mikroyapı incelemeleri neticesinde ısı girdisinin artmasıyla kaynak nüfuziyetinin arttığını gözlemlemişlerdir. Kaynak hızı artması ile sertlik değerinin arttığını, ısı girdisinin artması sonucu yavaş soğumanın oluştuğunu dolayısıyla ısıl şokun azaldığında sertliğin de çok yükselmediğini ifade etmişlerdir. Kırılmaların ise ısıl şokun artması ile ısı girdisinin düşük olduğu numunelerde olduğunu belirtmişlerdir.

Adar (2019), çalışmasında S355 ile Hardox 500 malzemelerinin ark robotik kaynak yöntemi ile farklı parametrelerdeki birleşimlerinin mekanik özelliklerini ve mikroyapı incelemelerini yapmıştır. Birleşim kabiliyetlerini mekanik testlerle (çekme deneyleri ve sertlik ölçümleri) ile belirlemiştir. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)-Optik Mikroskop (OM) görüntülerinin analizleri yapılmıştır. İki birleşim için en uygun şekildeki kaynak parametreleri olarak 200 A kaynak akımı ve 27,8 V gerilim değerinde kaynaklanabileceğini tespit etmiştir.

Korkmaz vd. (2020), çalışmalarında Hardox 500 ve S355 çeliklerinin gaz metal ark kaynağı (GMAW) ile farklı akım ve gerilim parametrelerinde kaynaklanabilirliğini araştırmışlardır. Kaynak edilen numuneleri çekme testleri, sertlik ölçümleri, mikroyapı ve SEM görüntüleme teknikleri ile incelemiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda S355 ve Hardox 500 çeliklerinin düşük akım ve voltaj değerinde kaynak kabiliyetinin düşük olduğu ve sertlik dağılımının düzensiz olduğunu tespit etmişlerdir. Yüksek akım ve gerilim değerlerinde homojen bir sertlik dağılımı ve çekme eğrilerinin daha kararlı davranış sergilediğini belirlemiştir.

Uzunali (2015) çalışmasında, Hardox 450 ve Optim700MC çeliklerini MAG kaynağı ile birleştirmiş ve kaynak sonrası ısıtma işlemi uygulamıştır. Kaynak işleminden önce kompozisyon analizi, mekanik testler ve mikroskobik incelemeler yapmıştır. KM sertlik değerlerinin ısıtma işlemiyle değişim göstermediğini, Hardox 450 ITAB sertliğinde artış gösterdiğini tespit etmiştir. Mikroskobik incelemeler sonucunda kaynak sonrası ITAB' da tane irileşmesi meydana geldiğini tespit etmiştir.

Erkin (2020), çalışmasında DD11 ve DD13 çeliklerini 8 mm/s, 12 mm/s ve 16 mm/s kaynak hızı, 250 A, 270 A, 290 A kaynak akımı parametrelerinde gazaltı kaynak yöntemi ile birleştirmiştir. Eğme testi sonucunda numunelerde çatlak veya hasar gözlemlenmemiştir. En fazla çarpılma 290 A ve 8 mm/s parametrelerinde elde etmiştir. Mikroyapı incelemelerinde kaynak hızının artmasının kaynak nüfuziyetini düşürdüğünü gözlemiştir.

Çetin vd. (2018), çalışmalarında düşük karbonlu çelik ile AISI 304 paslanmaz çeliği MAG kaynak yöntemi ile 90 A, 120 A ve 190 A olmak üzere üç farklı kaynak akımında ve 7 mm/s, 12 mm/s, 18 mm/s üç farklı kaynak hızında birleştirmiştir. Tel hızının artışı ile kaynak bölgesindeki sertlik değerinin arttığını, düşük karbonlu çeliğin mekanik dayanımının kaynak bölgesinden düşük olduğunu bulmuşlardır

3. GAZALTI ARK KAYNAĞI

3.1. Gazaltı Ark Kaynak Yöntemi

1926 yılında ilk olarak kullanılmış sonrasında 1930 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde patenti alınmıştır. 1940 yılında uçak imalatında kullanılmaya başlanmıştır. 1950 yılı itibari ile çelik, bakır, alüminyum türevlerinde bu metot etkin olarak uygulanmaya başlanmıştır (Durmuşoğlu, 2006:62).

Elektrod ve gazların cinslerine göre koruyucu gazı çeşitli sınıflara ayırmak mümkündür. Koruyucu gaz, kaynak usullerine göre sınıflandırılmıştır:

Ergiyen elektrod ile yapılan gazaltı ark kaynağı;

- Ergiyen elektrod ile aktif gaz altında yapılan gaz altı kaynağı (MAG),
- Ergiyen elektrod ile soy gaz altında yapılan gaz altı kaynağı (MIG).

Ergimeyen elektrod ile yapılan gazaltı ark kaynağı;

- Ergiyen bir elektrod ile yapılan gazaltı kaynağı (TIG ya da PA plazma ark),
- Ergiyen iki elektrod ile yapılan gazaltı kaynağı (ark atom kaynağı) (Durmuşoğlu, 2006:63).

3.2. Gazaltı Ark Kaynağının Esası

Endüstride genellikle otomotiv sektöründe, çok hızlı, eritme gücü yüksek, CO_2 koruyucu gazlı kaynak makineleri kullanılmaya başlanmıştır. Elektrik ark kaynağında örtülü elektrod kullanılmaktadır. Elektrodun görevi kaynak banyosu sırasında koruyucu gaz atmosferi oluşturarak havanın oksijen ve azotunun olumsuz etkilerinden korumasıdır. Gaz atmosferi tarafından kaynak bölgesinin korunduğu kaynak yöntemi gazaltı olarak adlandırılır. Amerika Birleşik Devletleri'nde GMAW (Gas Metal Arc Welding), Avrupa ülkelerinde MIG/MAG olarak gazaltı kaynağının uluslararası isimleri mevcuttur. Türkiye'de MIG/MAG veya 'ergiyen elektrod gazaltı kaynağı' olarak isimlendirilir (Okuroğulları, 2022:5).

Gazaltı kaynağının avantajları aşağıda sunulmuştur.

- Diğer kaynak yöntemlerine göre kaynak işlemi sırasında sıçrıntı ve cüruf oluşumu daha düşük seviyededir. Bu yüzden temizlik süresi kısadır.
- Kaynak işlemi sırasında tel şeklindeki kaynak elektrodu kaynak bölgesine sürekli beslenir. Kaynakçı örtülü elektrod ark kaynağı yöntemindeki gibi tükenen elektrodu değiştirmek için kaynağı durdurmak zorunda değildir. Kaynak dikişinin uzunluğu diğer

kaynak yöntemlerine göre daha fazladır. Elektrod değişimi az olacağından kaynak dikişi kalitesi yüksektir.

- Kaynak torcu açısı dışında manuel ayarlama yoktur. Kaynak donanım parametrelerinin ayarlanması oldukça kolaydır. Ayarlamalardan sonra kontrolleri sistem tarafından yapılmaktadır.

Gazaltı kaynağının dezavantajları aşağıda sunulmuştur.

- Donanımları düzenli temizlik ve bakım gerektirir.
- Kaynak donanımları daha komplekstir. Alt parça sayısı diğer kaynak donanımlarına göre fazladır.
- Kaynak bölgesine nüfuz eden koruyucu gaz rüzgârlı havalarda koruma görevini yerine getiremez. Açık alanlarda uygulanması zordur.
- Kaynak donanımı ile torc arasında beslenme hortumu mevcuttur. Bu hortum uzunluğunun belirli olması sebebiyle kaynak bölgesi ve donanım arasında mesafe sınırlıdır.
- Kaynak donanım parçaları ağırdır. Bir yerden bir yere taşınması zordur (Eryürek, 2007:54).

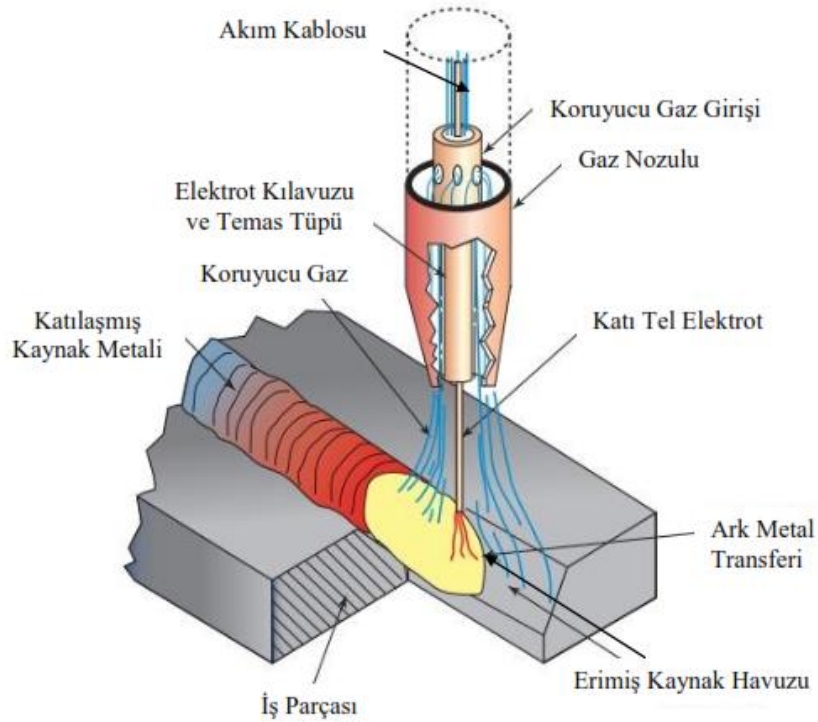
3.3. MIG/MAG Kaynağı ve Çalışma Prensibi

Gazaltı ark kaynağında kullanılan koruyucu gaz Argon, Helyum veya Ar+He karışımı gibi soy gazlar ise yapılan kaynak işlemi MIG olarak adlandırılır. Kullanılan koruyucu gaz karbondioksit (CO_2) gibi aktif bir gaz içeriyorsa MAG olarak isimlendirilir. MIG ve MAG kaynağının çalışma prensibi ve işlemde kullanılan ekipmanlar aynıdır aralındaki tek fark koruyucu gazın farklı olmasıdır (Erol, 2017:17).

MIG kaynağında doğru akım kullanılır ve elektrod genellikle pozitif kutba bağlanır (ters kutuplama). Son zamanlarda AC MIG’de mevcuttur hem derin nüfuziyet, hem de oksit tabakanın parçalanması sağlanmış olur. MIG kaynağında yatay karakteristikli doğru akım makineleri kullanılır bu makinede akım ayarı, ark gerilimi ayarlanarak yapılır. Kaynak esnasında, kaynak telinin sabit hızda sevk edilmesi, ark boyunun otomatik olarak sabit tutulması sağlanır. Dikiş kaynak pozisyonlarının hepsine uygundur (Anık, 1991:93).

MAG kaynağında ark, aynı zamanda ilave tel görevi yapan eriyen bir elektrod ile iş parçası arasında yanar. ‘Uçsuz’ elektrod bir tel iletme mekanizması yardımıyla bir tel makarasında akım kontak borusuna gelir. Kaynak makinasının kutuplarından biri elektroda diğeri de parçaya bağlanır. Böylece ark, eriyen elektrod ile parça arasında yanar. Elektrod aynı

anda hem enerji taşıyıcı hem de kaynak ilave metali olarak görev yapar. Koruyucu gaz elektrodun eş ekseni olarak bulunduğu bir memeden akar ve arkı, eriyen damlaları ve arkın altındaki erimiş atmosferi etkisinden korur (Anık vd., 1998:106).



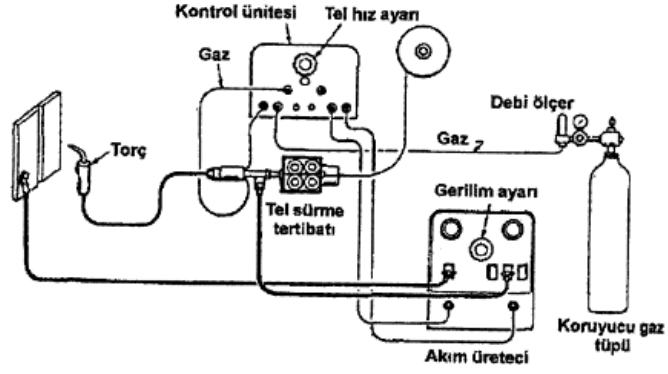
Şekil 3.1. MIG/MAG kaynak yönteminde ark bölgesi

Kaynak: (Jeffus, 2012)

3.4. MIG/MAG Kaynak Ekipmanları

MIG/MAG kaynak ekipmanları aşağıdaki bölümlerden oluşur:

- Kaynak torcu,
- Kaynak akım üretici,
- Tel sürme mekanizması,
- Torc bağlantı paketi; tel elektrod, koruyucu gaz, kaynak akımı, suyla soğutma veya hava ile soğutma giriş ve çıkış hortumları,
- Elektronik kart; kaynak akım geçişini, soğuma suyunun devreye girişini, gazın akışını ve telin hareketini sağlayan sistem,
- Gaz tüpü; basınç manometresi ve ölçü aleti monte edilmiş tüp (Yıldız, 2011:12).

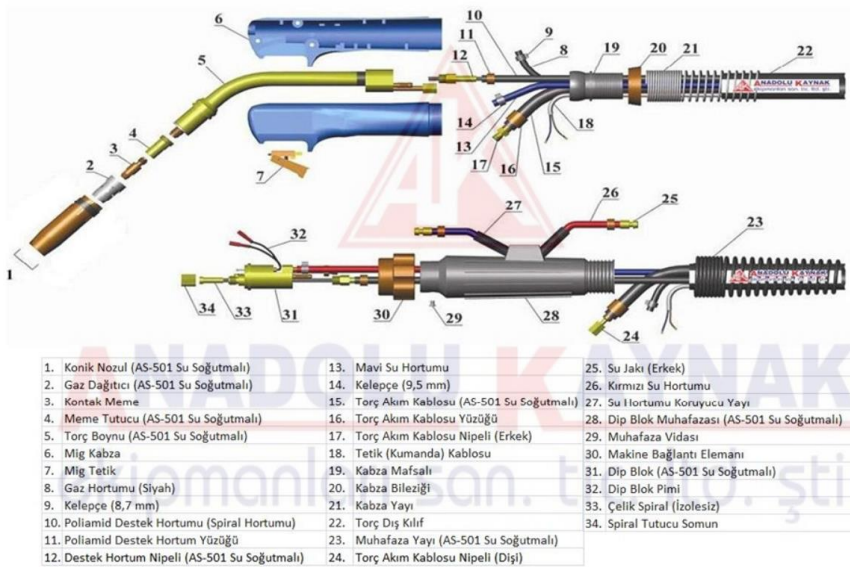


Şekil 3.2. MIG-MAG kaynak donanımları

Kaynak: (Yıldız, 2011:11).

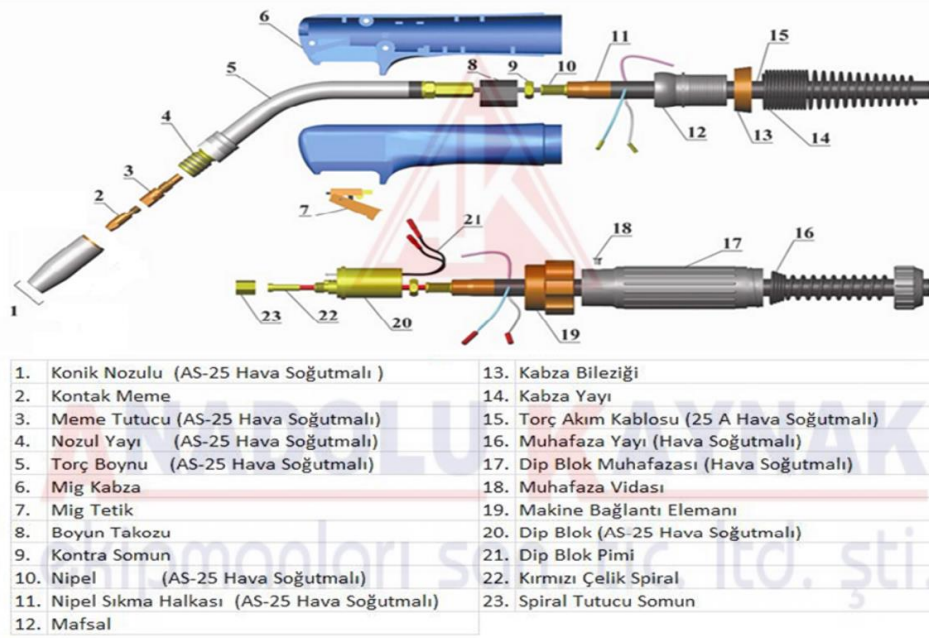
3.4.1. Kaynak Torcu

MIG/MAG kaynağında kaynak torcu, elektroda akımın yüklenmesi ve ark bölgesine koruyucu gazın gönderilmesini sağlar. Arkin çok yakında bulunması nedeni ile özellikle yarı otomatik sistemlerde operatörün sıcaklıktan mümkün olduğu kadar az etkilenmesi için çeşitli şekil ve ebatlarda torclar tasarlanıp geliştirilmiştir. Günümüzde en yaygın kullanılan torcu, oksiasetilen hamlacına benzer olan bükülmüş çeşididir. Torclar, su soğutmalı ve hava soğutmalı olarak ikiye ayrılır. Yüksek akım istenen torclarda su soğutmalı sistem kullanılır (Wemen ve Linden, 2006:48).



Şekil 3.3. Su soğutmalı kaynak torcu

Kaynak: (Anadolu Kaynak, 2024)



Şekil 3.4. Hava soğutmalı kaynak torcu

Kaynak: (Anadolu Kaynak, 2024)

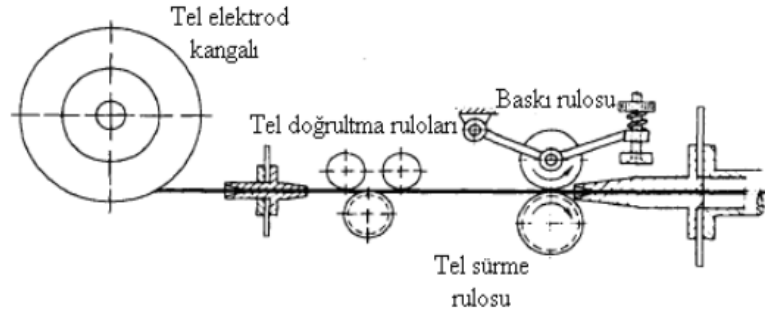
3.4.2. Kaynak Akım Üretici

Üreteçler, kaynak arkı oluşturmak için elektrik enerjisini elektroda ve iş parçasına iletir. Kaynak üretecine (redresör, doğrultucu) ulaşan şebeke akımı, üreticinin alt elemanları ve devreleri sayesinde doğru akıma çevrilir. Akım üreticindeki gerilim, kaynağı uygulayan kişiye risk oluşturmamak için 100 V ile sınırlandırılmıştır (Okuroğulları, 2022:12). MIG/MAG kaynağında elektrodun pozitif kutba bağlı olduğu doğru akım kullanılır. Bu nedenle akım ünitelerinin pozitif ucu torca, negatif ucu ise iş parçasına bağlanır (Erol, 2017:20) Alüminyum, metal ve alaşımlarda ters kutuplama gerekir (Okuroğulları, 2022:12).

Günümüzde ark boyu ayarı ve kontrolü için tel sürme motoru olarak servo motorlu sistemler kullanılmaktadır. Bu sayede ayar ve kontroller hassas olarak gerçekleştirilmektedir. Güç ayarı, gerilim değeri değiştirilerek yapılır. Kaynakta meydana çeşitli kısa devre akımı, makine tarafından çok iyi sınırlandırılmaz, akım çok büyük değerlere çıkar bu sebeple kaynak banyosunda patlamalara, elektrodan sıvı partiküllerin çevreye dağılmasına ve kaynak dikişi kalitesinde düşmelere neden olmaktadır. Bu sebeplerden kısa devre durumlarında akımın kaynak makinesi dışında bir önlemlerle sınırlandırılması gerekir. Büyük indüktanslı bir bobin kaynak makinesine bağlanır. Böylelikle kaynakta, elektrod teli taşıyıcısı olduğu için kaynak işlemi boyunca ortaya çıkan arkın aynı kalması sağlanır (Karadeniz, 2009).

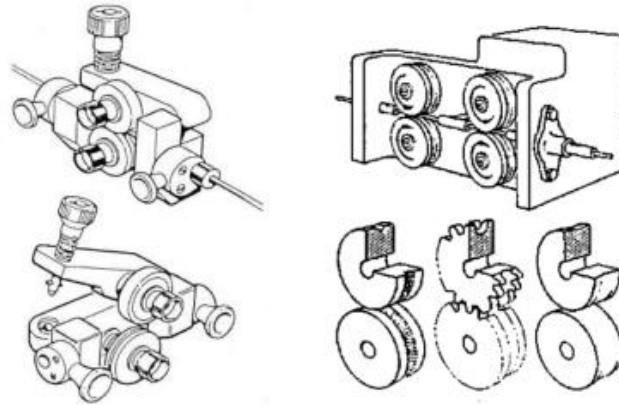
3.4.3. Tel Sürme Mekanizması

Elektrodu sarılı olduğu bobinden alarak kaynak uygulaması öncesinde belirlenen hızda ark bölgesine taşıyan ünedir. Tel sürme işlemi hızı ayarlanabilen bir motor tarafından ayarlanır. Doğru akım sistemiyle çalışan tel sürme mekanizması, itme ve çekme olarak iki farklı sistemde çalışmaktadır (Gültekin, 1983). Tel sürme tertibatları genel olarak iki veya dört makaralıdır. Bu makaralar üzerinden telin kaymaması için tel çapına uygun tırtıllı kanallar vardır (Güner, 2007:16).



Şekil 3.5. Tel sürme mekanizması genel şeması

Kaynak: (Güner, 2007:15)



Şekil 3.6. İki veya dört makaralı tel elektrod besleme şematik görüntüsü

Kaynak: (Okuroğulları, 2022:11)

3.4.4. Torc Bağlantı Paketi

Torc bağlantı paketi; içinde tel elektrod kılavuzunu, koruyucu gaz hortumunu, akım kablosunu ve gerekli durumlarda soğutma suyu geliş ve dönüşü ile hava hortumlarından oluşan metal takviyeli spiral bir hortumdur. Kullanılan tel elektrodun malzemesine göre çeşitli türlerde kılavuzlar kullanılmaktadır. Kılavuz, tel sürme mekanizmasından akım memesine kadar tel elektrodun iletilmesini sağlar (Tülbentçi, 1990:12).

3.4.5. Elektronik Kart

Ayarlamalar yapıldıktan sonra kaynak işlemine başlamak için gazaltı kaynak makinelerinde torc üzerindeki düğmeye basınca kaynak işlemi başlatılır. Ayarlanmış olan debide koruyucu gaz akımı başlar, kısa bir süre sonra ark oluşur ark oluşuktan sonra tel sürme mekanizması devreye girer. Kaynak işlemi bitirildiğinde bu işlemin tersi durum oluşur. Soğutma sistemi de elektronik kart tarafından gerçekleştirilir (Tülbentçi, 1990:13).

3.4.6. Gaz Tüpü

Gazaltı kaynak işlemi sırasında ihtiyaç duyulan koruyucu gaz, tüpler ile sağlanır. Tüp ağızlarına gaz basınç debi ayarı için regülatör monte edilir. Düzenek üzerinde tüpe yakın olan manometre tüp basıncını, diğer manometre ise gaz debisini gösterir (Erol, 2017:23).



Şekil 3.7. Gazaltı ark kaynağı koruyucu gaz tüpü ve manometre

Koruyucu gazlar, kaynak işlemi sırasında kullanılan tel elektrod ile etkileşimi sonucunda kimyasal reaksiyona ve bileşime destek olarak, kaynak dikişine mekanik özelliklerine destek

olmalıdır. Kaynak bölgesini, oluşan ısının olumsuz etkilerine karşı koruyarak aynı zamanda soğumasına katkı sunmalıdır (Özkan, 2019:18).

MIG/MAG gazaltı ark kaynağında inert, aktif ve karışım koruyucu gazlar kullanılmaktadır. İner gazlar asal gaz olması sebebiyle Fe dışı metallerin kaynak işleminde kullanılırken, karışım ve aktif gazlar farklı tipte çeliklerin kaynak işleminde uygulama alanlarına sahiptir (Işık, 2014:34). Asal (inert) gazlar He ve Ar gazlarıdır. Aktif gazlar hidrojen ve oksijen gazlarıdır (Kahraman ve Gülenç. 2020:113).

3.4.6.1. Soygazlar

Tablo 3.1. TS EN 439' a göre gazların özellikleri

Gaz Türü	0 °C ve 1.013 Bar' da		1.013 Barda Buharlaşma Sıcaklığı °C	Kaynak sırasında gazın davranışı
	Yoğunluk (kg/m ³)	Havaya göre izafi yoğunluk		
Argon	1,784	1,38	-185,9	Soy
Helyum	0,178	0,138	-268,9	Soy
Karbondiyoksit	1,977	1,529	-78,5	Oksitleyici
Oksijen	1,429	1,205	-183	Oksitleyici
Azot	1,251	0,968	-195,8	Reaksiyona girer
Hidrojen	0,09	0,07	-252,8	Redükleyici
1-) Süblimasyon sıcaklığı (katı halden buhar haline direk geçiş). 2-) Azotun davranışı malzemeye göre değişir, olası negatif etki göz önüne alınmalıdır.				

Kaynak: (Durmuşoğlu, 2006:77)

Soygazlar elementler ile elektron alışverişinde bulunmazlar, reaksiyona girmezler. Kaynak yönteminin ilk zamanlarında koruyucu gaz olarak helyum ve argon gibi soy gazlar

kullanılmıştır. Teknolojinin de gelişimi ile aktif gazlar ve aktif gaz ile soy gazların karışımları kullanılmaktadır. TS-EN-439'e göre gazaltı ark kaynağında kullanılan koruyucu gazlar standartlaştırılmıştır (Durmuşoğlu, 2006:77).

3.4.6.2. CO₂ Gazı

CO₂ gazı 15 °C de 65 atm basıncında sıvı formda doldurulan bir gaz türüdür (Durmuşoğlu, 2006:77). Havadan 1,5 kat daha ağırdır. Kaynak işleminde derin kaynak nüfuziyeti sağlarken, kaynak hızının yükselmesini de sağlamaktadır. Kaynak dikişinin mekanik özelliklerini olumlu yönde etkilemektedir. Düşük alaşımlı ve alaşımsız çelik türlerinin kaynak işlemlerinde kullanıma sahip gaz türüdür (Kahraman ve Gülenç, 2020:113). Gazın olumsuz etkisi ise fazla sıçrama oluşuma sebep olmasıdır (Genç, 2021).

3.4.6.3. Argon Gazı

Bu gaz havanın yoğunluğundan fazla olduğundan dolayı kaynak işlemlerinde yatay pozisyonlarda kaynaklı bölgeyi örtü ile koruma özelliğine sahiptir (Türkkan, 2008:21). MAG kaynağında ark kararlılığı sağlama özelliğine sahiptir. Ar gazı soygaz olması sebebiyle iletkenliğinin düşük olması ark merkezinde sıcaklığının fazla olmasına ve o bölgede ısı kaybının az olmasına sebep olmaktadır. Kaynak nüfuziyetine ve dikiş görünümüne etki etmektedir (Akın, 2015:18; Türk, 2021:10).

3.4.6.4. Helyum Gazı

Helyum havadan hafif bir gazdır. Kaynak işleminde gaz debisi yüksek tercih edilmesi gerekir. Aynı pozisyonda argon gazına göre tercih edilen gaz debisi üç kat daha yüksektir. Kaynak dikiş kalitesi ve nüfuziyet ele alındığında daha geniş kaynak dikişleri ve yüksek nüfuziyet sağlar. Hafifliği sebebiyle dikey pozisyonda yapılan kaynaklarda yüksek koruma sağlar. İş parçası olarak alüminyum, magnezyum ve bakır malzemelerde kullanılır (Davis, 1983:67).

3.4.6.5. Azot Gazı

Azot gazı argon ve helyum gazına göre kaynak esnasında yüksek ısı transferi oluşturur. Isı girdisinin diğer gazlara göre yüksek olması sebebiyle genellikle bakır iş parçaların kaynağında kullanılır. Azot gazı yüzey gerilimlerini yüksek oranda düşürür (Türkkan, 2008:22).

3.4.6.6. Oksijen Gazı

Kaynak işleminde kaynak arkının korunmasında tek başına görev almazken koruyucu gazlarla karışım halinde kullanılır ve kaynak arkının oluşmasında düzeni sağlarken kaynak dikişinde gözenek oluşumunu da azaltır. Oksitlenme miktarını da düşürür (Okuroğulları, 2022:19). Metali oksitleme özelliğinden dolayı Al, Mg ve Cu gibi metallerde O₂ gazını kullanmak uygun olmaktadır ayrıca O₂ gazı fazla kullanılırsa kırılabilirliğe sebebiyet verir. Isı girdisinin artmasını sağlarken kaynak arkını da stabilize eder ve yüzey gerilimini de azaltıcı özellik göstermektedir (Air Liquide, 2024).

3.4.6.7. H₂ Gazı

Rengi ve kokusu yoktur, en hafif elementtir, yanıcı özelliği yüksektir bu sebeple yüksek ısı oluşturabilir. Hidrojen gazının, diğer gazlarla karıştırılarak kullanımını tercih edilir. Kaynak birleşiminin mekanik özelliklerinde ve nüfuziyetinde avantaj sağlar (Davis, 1983:680).

3.4.6.8. Karışım Gazlar

Bir gazın kullanımında birtakım avantajlar ve sınırlamalar gösterdiklerinden günümüzde gazların üstün özelliklerini kullanarak sınırlamaları en aza indirecek karışım gazlar kullanılmakta, karışım oranları kaynak kalitesine göre ayarlanmaktadır (Knoch, 1985).

Karışım gazları, saf CO₂' den daha pahalı olduğu halde, MAG kaynağında bu gazların kullanımını dünyada artmıştır. CO₂ ile karşılaştırıldığında:

- EM'nin daha iyi ıslanması ve yüksek kaynak hızı,
- Yüzey cürufklarının azalması ve kaynağın daha iyi görünmesi,
- Sıçramaların azalması ve daha yüksek elektrod verimi,
- KM'nin sertliğinin, tokluğunun artması (Persson ve Stenbacka, 1989).

3.4.6.8.1 Argon-Helyum karışımları

Uygulamalarda % 80 He – % 20 Ar'dan %75 Ar - % 25 He'ye kadar değişik oranlarda karışımlar mevcut olup saf argona göre daha yüksek sıcaklığa sahip, saf argona göre daha kolay kontrol edilebilen bir ark oluşturmakta ve daha az miktarda gözenek oluşumuna sebep olmaktadır (Anık, 1989:53).

3.4.6.3.2 Argon-Karbondioksit karışımları

Gaz karışımlarına göre maliyetleri daha düşük olması sebebiyle avantajlıdır. İş parçası kalınlığına oranla fazla nüfuziyet, kaynak dikişinde düzensizlikler gaz karışımının olumsuz yanlarındandır. Sıçrantı miktarı fazla olduğundan temizlik sürelerini uzatarak olumsuz yönde etkilenebilir.

Argon gazının kullanımında, karışımlarına düşük oranda oksijen eklenmesi ile kaynak işleminde sıçrantı azaltılmıştır (Eryürek, 2007:84). Oksijen ve argon gaz karışımlarının kullanılması gazların nüfuziyetinin artmasının yanı sıra dikiş kalitesinde de iyileşme sağlamaktadır (Okuroğulları, 2022:21).

MIG/MAG kaynak yöntemleri için günümüzde tercih edilen gaz karışımları Tablo 3.2' de verilmiştir.

Tablo 3.2. MIG/MAG kaynağında tercih edilen gaz karışımları

Ana Metal	Koruyucu Gaz	Üstünlükleri
Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları	Argon	25 mm'den küçük kalınlıklarda en iyi damla iletimi ve en az sıçrama oluşturur.
	% 35 Ar + % 65 He	25-75 mm kalınlıklarda saf argona oranla daha fazla ısı girdisi elde edilir. 5XXX serisi Al-Mg alaşımlarında erime özelliğinde iyileşme sağlar.
	% 25 Ar + % 75 He	75 mm'den büyük kalınlıklarda en yüksek ısı girdisi, gözenek oluşumunun en düşük seviyede tutulmasına olanak sağlar.
Magnezyum	Argon	Mükemmel temizlik etkisi yaratır.
Alaşımsız Çelikler	Argon + % 1-5 O ₂	Arkın kararlılığını artırır, daha akışkan ve kontrol edilebilir bir kaynak banyosu oluşturur, iyi bir birleşme ve dikiş profili sağlar, yanma olduğunu en az düzeye indirir, saf argona oranla daha yüksek kaynak hızına olanak sağlar.
	Argon + % 3-10 CO ₂	İyi bir dikiş profili oluşturur, sıçramayı en az düzeye indirir, soğuk kaynak olasılığını azaltır, pozisyon kaynağına uygun değildir.
Düşük Alaşımlı Çelikler	Argon + % 2 O ₂	Yanma oluşunu en az düzeye indirir, iyi bir tokluk sağlar.
Paslanmaz Çelikler	Argon+ % 1 O ₂	Arkın kararlılığını artırır, daha akışkan ve kontrol edilebilir bir kaynak banyosu oluşturur, kalın paslanmaz çeliklerde yanma oluşunu en az düzeye indirir.
	Argon+ % 2 O ₂	İnce paslanmaz çeliklerde % 1 O ₂ 'li karışma oranla daha iyi bir ark kararlılığı ve birleşme sağlar.
Bakır, Nikel ve Alaşımları	Argon	İyi bir ıslanma sağlar, 3 mm kalınlara kadar kaynak metalinin akışkanlığını artırır.
	Argon + Helyum	% 50 - 75 He karışımı kalın parçalardaki ısı kaybını karşılayacak derecede yüksek ısı girdisi sağlar.
Titanyum	Argon	İyi bir ark kararlılığı ve kaynakta en az kirlenme sağlar. Kaynak alanının arkasından hava kirlenmesini önlemek için soygaz altlığı gereklidir.

Kaynak: (Eryürek, 2007:85)

3.5. MIG/MAG Kaynağında Kullanılan Elektrod Türleri

MIG/MAG kaynağında iki farklı tel elektrod türü bulunmaktadır. Özlü ve özsüz olarak adlandırılır. Özlü tel türlerinin orta bölümlerinde, rutil ya da bazik özler bulunmaktadır. Özsüz tel türleri SG1, SG2 ve SG3 olarak ayrılmaktadır. MIG/MAG kaynağında kullanılan tel elektrodların çap ölçülerinin ince üretilmesi sebebiyle akım yoğunluğu fazladır. Akım yoğunluğu fazla olması nüfuziyet ve kaynak hızını, metal aktarımını kolaylaştırarak kaynağın kaliteli olmasını sağlamaktadır (Çubuk, 2022:30).

Özsüz elektrodların çapları 0,6- 0,8- 0,9- 1,0- 1,2- 1,4- 1,6- 2,0- 2,4 ve 3,2 mm olarak değişim göstermektedir. Tel türlerinin bileşimleri Tablo 3.3' te verilmiştir. Tel elektrodlarının yüzeyleri pürüzsüz ve hassas olmalıdır. İşlem sırasında yüzey kusurları, çapak, çukurluk bulunmamalıdır (Kahraman ve Gülenç, 2020:124).

Tablo 3.3. Özsüz tel türleri elektrodların kimyasal bileşimleri

Sembol	Kimyasal Bileşim %						
	C	Si	Mn	P<	S>	Ca<	Diğer
SG1	0,07 - 0,12	0,5 - 0,7	1,0 - 1,3	0,025	0,025	0,3	Cr 0,15 V 0,05 Zr+Ti 0,15 Al 0,02 Ni 0,15 Mo0,15
SG2	0,07 - 0,14	0,7 - 1	1,3 - 1,6	0,025	0,025	0,3	
SG3	0,07 - 0,14	0,8 - 1,2	1,6 - 1,9	0,03	0,03	0,3	

Kaynak: (Sezgin, 2019:32)

Özlü elektrodlar çeliklerin birleşiminde mekanik özellikleri iyileştirmişlerdir. Özlü elektrodlar yumuşak ince çelik şeridin, alaşım tozlarıyla kaplanması sonrasında kıvrılıp tel haline getirilmesi ile elde edilir (Oğuz, 1989).

Özlü elektrod türü için kullanımın amaçları aşağıda sıralanmıştır.

1. Kaynak esnasında çevre atmosferin kaynak banyosuna vereceği zararı, kaynak banyosu üzerinde cüruf oluşturarak minimize etmek,
2. Kararlı ve yumuşak ark yapısı oluşturmak buna bağlı olarak sıçramaları azaltmak,
3. Oksit gidermesi sayesinde temizlik ve kaliteli bir kaynak dikişi elde etmek,

4. Kaynak işlemi sırasında atmosferin olumsuz etkilerini en aza indirmek için koruyucu gaz görevi üstlenmek,

5. Özün içerisinde alaşım elemanları sayesinde istenilen kaynak mekanik özelliklerini sağlamak (Eryürek, 2003:113).

Gazaltı ark kaynağında tel elektrodun türü, kullanılan koruyucu gaz ile oluşan kaynak dikişiyle elde edilmek istenilen mekanik ve fiziksel özellikleri sağlayabilmektedir. Tel elektrod seçiminde, kaynaklanacak iş parçasının boyutları, koruyucu gazın tipi, kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri ve kaynak işlemindeki çevre koşulları dikkate alınarak uygun tel elektrod seçimi yapılmalıdır (Kahraman ve Gülenç, 2020:124).

3.5.1. MIG/MAG Kaynak Yönteminde Elektrodun Seçimi

EM' nin fiziksel ve mekanik özellikleri ile kimyasal bileşimleri elektrod seçiminde etkili kriterlerdir. Elektrod seçim aşağıdaki maddeler baz alınarak yapılır;

- EM' nin mekanik özellikleri,
- EM' nin kimyasal bileşimi,
- Koruyucu gazın türü,
- EM' nin kalınlığı ve geometrisi (Kahraman ve Gülenç, 2020:124).

3.5.2. Çeliklerin MIG/MAG kaynağında Kullanılan Elektrodların Seçimi

1. Alaşımız Tel:

Alaşımız çeliklerden ayrı olması yapısında silisyum ve mangan elementlerin oranlarının yüksek olmasıdır. Yumuşak çelik malzemelerin kaynağında kullanılır.

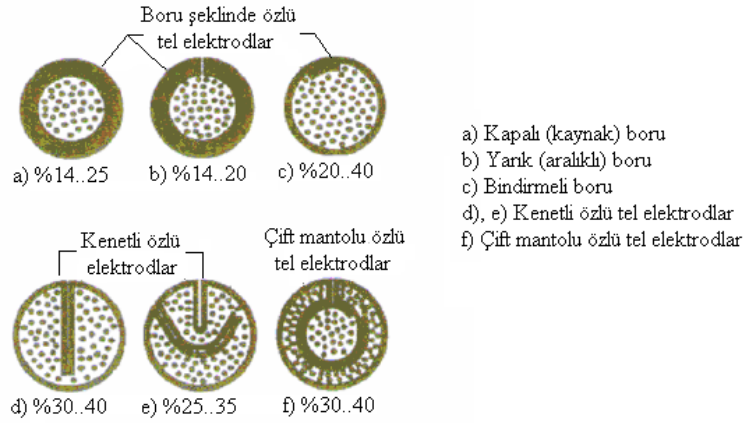
2. Alaşım Tel:

Teller özel bileşimle olmaktadır. Alaşım çelik malzemelerin kaynağında tercih edilir.

3. Özlü Tel:

Alaşımız ince bir şeridin boru haline gelmesi ve tel şeklinde çekilmesi sonucunda bu elektrodlar elde edilmiştir. Özlü tellerin iç kısımları boru formunda, diğer formlardakiler arasında ferro alaşım tozları mevcuttur bu sebeplerden kaynak dikişinde alaşımın ve deoksidasyon meydana gelir (Gültekin, 1985; Kahraman ve Gülenç, 2020:125).

Gazaltı ark kaynağında kullanılan elektrod bileşimlerindeki alaşım elementleri ile çeliklerin eriyen elektrodları bileşimlerinin bilinmesi bunların kaynak dikişine olan etkilerinin bilinmesi, elektrod seçimini kolaylaştırır (Durmuşoğlu, 2006:87).



Şekil 3.8. Özlü tellerin dolgu oranları ve kesit formları

Kaynak: (Işık, 2014:58)

Dezoksidasyon, oksijen ile kaynak banyosundaki bir elementin birleşerek oksit oluşturup cürufa geçmesidir. Kaynak dikişlerinde gözenek oluşumunun en önemli nedeni oksijen elementidir. Kaynak esnasında gözenek oluşumunun engellenmesi önemlidir. Çelik parça kaynağında tercih edilen elektrod alaşımlarında kullanılan elementler aşağıda açıklanmıştır (Durmuşoğlu, 2006:86).

Karbon: Mekanik ve yapısal özellikleri en çok etkileyen alaşım elementidir. %0,05-0,12 oranlarında bulunur. Karbon oranı artması sonucu süneklik ve toklukta bir değişiklik olmazken mukavemetinde artışlar meydana gelmektedir. Koruyucu gaz olarak CO₂ kullanıldığı zaman kaynak banyosunda CO oluşarak karbon kaybı meydana gelir bu sebepten gözenek oluşumu meydana gelir bunu önlemek içinde dezoksidasyon elementleri katılarak gözenek oluşumu önlenir (Durmuşoğlu, 2006:87).

Silisyum: %0,4–1,2 arasında katılan silisyum içeriğinin artması mukavemet değerini artırır fakat süneklik bir miktar azalır. Silisyum oranının yüksek olması kaynak dikişinde çatlama meydana getirir (Durmuşoğlu, 2006:87).

Mangan: Mangan elementinin içeriği %1-2 arasında değişir. Mangan artıça mukavemet ve çalışma hassasiyeti artar (Durmuşoğlu, 2006:87).

Alüminyum, Titanyum, Zirkonyum: Kaynak teline katılma aralığı %0.1-0,2 arasındadır. Deoksidasyonu artırmak amacıyla kullanılır. Mukavemeti artırıcı özellikleri vardır (Durmuşoğlu, 2006:88).

Nikel, Krom, Molibden: Çelik kaynak tellerine katılan elementler mekanik özellikleri iyileştirmek ve korozyonu, dayanımı artırmak için kullanılır (Durmuşoğlu, 2006:88).

3.6. Kaynak Parametreleri Seçimi ve Ayarlanması

Kaynak işlemi sırasında kaynak parametreleri elde edilen kaynak bağlantısının en önemli unsurlarıdır. Kaynak parametreleri belirlenirken dikkat edilmesi gerekenler iş parçasının malzeme yapısı, cinsi kimyasal özellikleridir bunların yanında fiziksel özelliklerden kaynak ağız geometrisi, iş parçası kalınlığı, kaynak pozisyonu gibi özelliklerdir. Doğru seçilen kaynak parametreleri kaynak dayanımını pozitif etkiler (Okuroğulları, 2022:32).

Kaynak parametreleri sınıflandırılması;

- Kaynaktan önce belirlenen ve kaynak işlemi boyunca değiştirilmeyen parametreler,
- Birinci derece ayarlanabilir parametreler,
- İkinci derece ayarlanabilir parametreler olarak ayrılmaktadır.

Elektrod cinsi, gaz debisi ve çapı gibi parametreler kaynak işlemi öncesinde belirlenir ve kaynak işlemi boyunca değiştirilemez. Birinci derece ayar yapılan parametreler de doğru seçildiğinde kaynak kalitesi artar bunlar akımın şiddeti, arkın gerilimi, kaynağın hızıdır. İkinci derece ayar yapılabilen parametreler ise uygulama öncesinde belirlenemeyen parametrelerdir. Torcun eğimi, nozulun iş parçasına uzaklığı, serbest telin uzunluğudur (Davis, 1983:112).

3.6.1. Kaynak Öncesi Ayarlanabilir Parametreler

3.6.1.1. Telin ve Elektrodun Çapı

Çapa bağlı olarak her tür elektrodların akım şiddeti aralığı mevcuttur. Erime gücü, akım yoğunluğunun bir fonksiyonudur. Büyük çapta elektrodlar daha yüksek akım şiddetine sahiptirler. Elektrod çapı seçiminde kaynak pozisyonu, elektrodların fiyatları, kaynak dikişi, parça kalınlığı, nüfuziyet, erime gücü gibi maddeler göz önünde bulundurulur (Durmuşoğlu, 2006:89).

3.6.1.2. Koruyucu Gaz Türü

Gazın görevleri; kaynak bölgesinde çevre atmosferin oksijen ve azot etkisini azaltmak, nüfuziyeti arttırmak, arkın kararlılığını arttırmak gibi olumlu etkileri olmaktadır.

Gaz tercih edilirken;

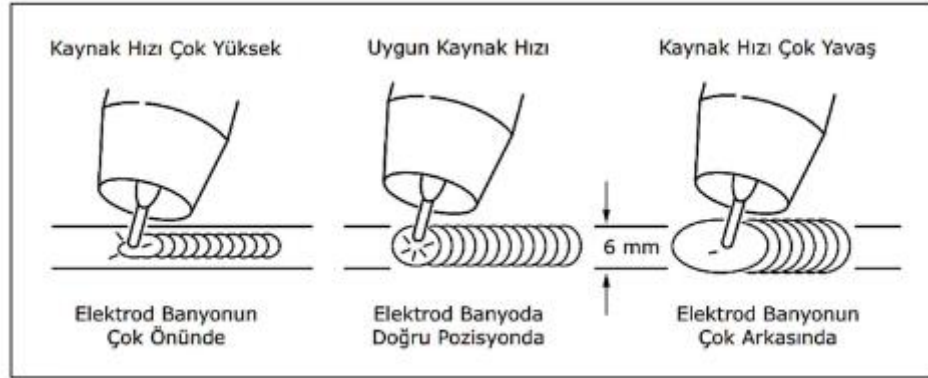
- Gazın iş parçası ile uyumluluğu,
- Malzemenin fiziksel özelliği ve ek malzemenin cinsi,

- Kaynak metodu türüne dikkat edilmektedir (Okuroğulları, 2022:34).

3.6.2. Birinci Derece Ayarlanabilir Parametreler

3.6.2.1. Kaynağın Hızı

Kaynak birleştirme işlemi boyunca arkın birim zamanda veya iş parçası üzerindeki hareketi boyunca kaynak dikişi mesafesidir. Diğer parametreler sabit tutulduğunda, orta değerlerdeki kaynak hızında kaynak nüfuziyeti en fazladır (Şekil 3.9.) (Çubuk, 2022:37).



Şekil 3.9. Kaynak dikişine kaynak hızının etkisi

Kaynak: (Çubuk, 2022:38)

Kaynak hızının az olduğu durumlarda birim uzunlukta biriken kaynak metalinde çoğalma olur bu sebepten kaynak banyosu artar. İşlem sırasında akışkan metal, kaynak ağzı boyunca erir akmaya sebep olur. Bu akma kaynak nüfuziyetini azaltmaktadır. Kaynak dikişi genişler. Hızın fazla olması durumunda verilen ısı miktarı azalmakta ve eriyen metal miktarı azalmakta bu sebepten kaynak nüfuziyetinin azalmasına sebep olmaktadır. Kaynak hızının doğru seçilmesi ile kaynak nüfuziyeti en uygun halini almaktadır (Okuroğulları, 2022:39).

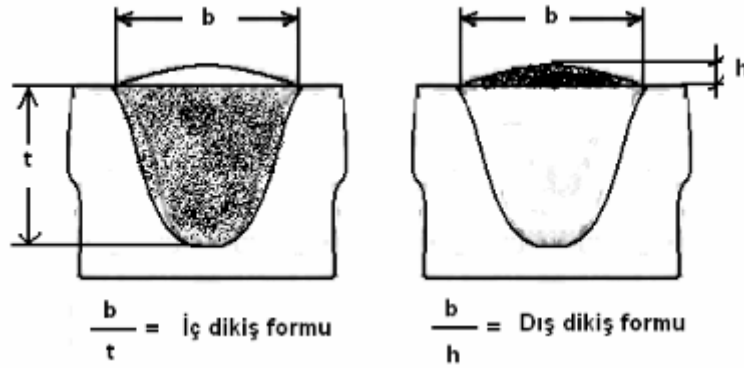
3.6.2.2. Arkın Gerilimi

Gazaltı ark kaynağında, kaynak sırasında elektrod telinin ucu ile erimiş kaynak banyosunun arasındaki mesafeyi ifade etmektedir. Ark gerilimi ark boyuna bağlıdır. Ark uzunluğu sabit olması durumunda ark geriliminin kontrolü kolaylaşmaktadır (Suban, 2001: 189).

Ark gerilimi yüksekse dikiş yassı ve geniş olur bu sebepten yanma olukları oluşmaktadır. Uzun ark boyunda elektrod bölgesinde bulunan alaşım elementleri daha çok yanar ve duman oluşur. Çok düşük gerilim dar, fazla dışbükey dikişlere sebep olmakta ve kısa devreye neden olmaktadır (Kahraman ve Gülenç, 2020:129).

3.6.2.3. Kaynak Akımı

Erime gücüne, nüfuziyet derinliğine ve kaynak dikişine etki eden en önemli kriter kaynak akımı şiddetidir. Voltaj değeri sabit olan MIG/MAG kaynak cihazlarında kaynak akımı, tel hızı ayar butonundan ayarlanır. Ayarlama yapılırken iş parçası kalınlığı, kaynağın yapılacağı pozisyon, elektrod telinin çapı hususları dikkate alınmaktadır. Akım şiddeti arttıkça dikiş formu b/t değişmekte nüfuziyet artmaktadır (Şekil 3.10.). Akım şiddeti düşük olduğu zamanda birleşme iyi bir şekilde meydana gelmemektedir (Okuroğulları, 2022:35; Demirci, 2010:34).



Şekil 3.10. İç ve dış dikiş formunun gösterimi

Kaynak: (Demirci, 2010:34)

3.6.3. İkinci Derece Ayarlanabilir Parametreler

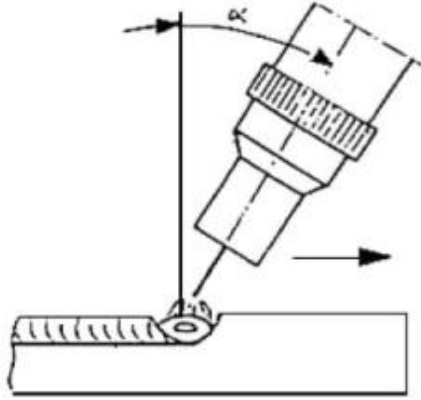
Kaynak işlemi süresince sürekli değişen ve kaynak dikişinin biçimini oldukça etkili bir şekil değiştiren parametrelerdir.

3.6.3.1. Torcun Açısı

İş parçasına göre elektrodun konumu, kaynak dikişinin biçimini etkileyen parametrelerden biridir. Kaynak yapılan parçanın yüzeyi ile kaynak doğrultusuna dik çalışma düzlemi arasındaki açıya çalışma açısı denir (Demirci, 2010:42).

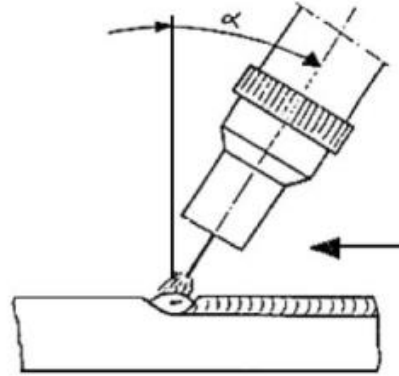
En iyi gaz koruması için torcun kaynak yapılan noktaya dik olduğu konumdur. Kaynak işlemi sırasında operatör kaynak banyosunu ve elektrod erimesini gözlemlemek için torcu açılı bir şekilde tutmaktadır. Torcun kaynak yönüne paralel eğilmesi ile yapılan kaynak işlemi 'sağ kaynak yöntemi' olarak isimlendirilir (Şekil 3.11.). Sıvı kaynak banyosu ark basıncından dolayı geriye doğru itilir bu sebepten metalin daha fazla erimesine sebep olmaktadır. Bu kaynak yönteminde nüfuziyet artar, düşük genişlikte yüksek kaynak dikişi elde edilir. Kaynak yönüne ters yönde eğilen torca 'sol kaynak yöntemi' denir (Şekil 3.12.). Ark basıncı sebebiyle ergiyen

iş parçası, kaynak yönüne paralel iletim sağlayacaktır. Bu nedenle yüksek kaynak banyosu olacaktır ancak derin nüfuziyet olmayacaktır (Okuroğulları, 2022:41).



Şekil 3.11. Sağ kaynak yöntemi

Kaynak: (Tülbentçi, 1990:42)

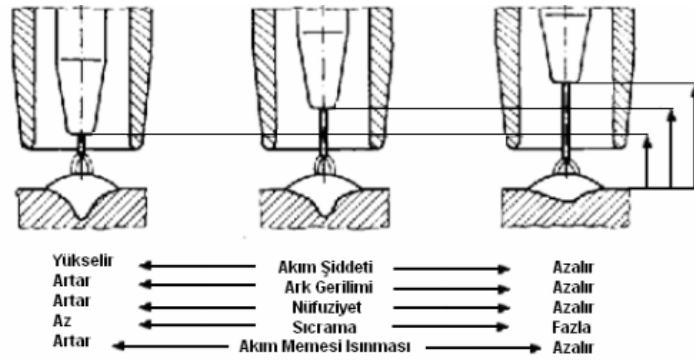


Şekil 3.12. Sol kaynak yöntemi

Kaynak: (Tülbentçi, 1990:42)

3.6.3.2. Serbest Telin Uzunluğu

Tel elektrodun uç kısmı ile torç içindeki akım memesinin en uç noktası arasındaki mesafedir. Boyun uzaması ile elektrodun elektrik direnci artar bu sebepten ön ısıtma sıcaklığı yükselir dolayısıyla elektrodun uç kısmını eritebilmek için gerekli akım şiddetinde azalma meydana gelir (Demirci, 2010:41). Serbest tel uzunluğunun artmasıyla dikiş yüksekliğinin arttığı, nüfuziyetinin azaldığı Şekil 3.13.'te görülmektedir.

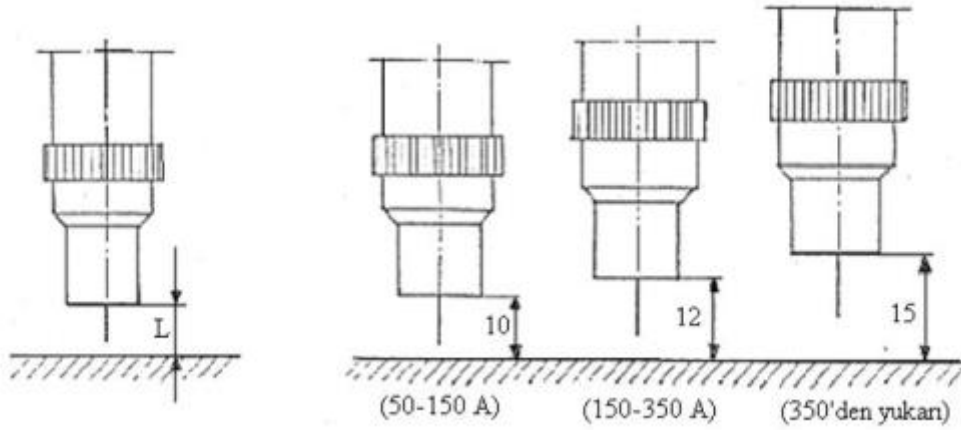


Şekil 3.13. Gazaltı ark kaynağında serbest tel uzunluğunun değişkenlere etkisi

Kaynak: (Tülbentçi, 1990:41)

3.6.3.3. Nozul Mesafesi

İş parçası ile nozul arasındaki mesafe yakın ise koruyucu gaz nozuldaki rahatlıkla çıkamaz görevini yerine tam anlamıyla getiremez. Akım şiddetine göre nozul mesafesi ayarlanması gerekmektedir. Mesafe fazla olduğu zaman gaz koruması sağlanamaz (Okuroğulları, 2022:44).

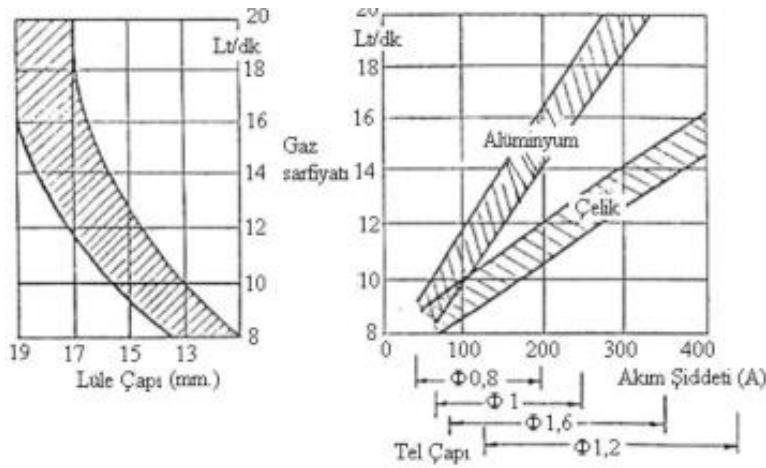


Şekil 3.14. Nozul mesafesi akım şiddetine göre

Kaynak: (Kuna, 1990)

3.6.3.4. Koruyucu Gazın Debisi

Gazın görevini yerine getirebilmesi için debisi doğru seçilmelidir. Seçim için kaynağın uygulanacağı pozisyona, akım şiddetine, nozulun çapına dikkat edilmelidir. Düşük gaz debisi kararlı olmayan ark oluşumuna, kalitesiz kaynak dikişine neden olmaktadır. Şekil 3.15.'te gaz debisinin akımın şiddeti ve nozul çaplarıyla ilişkisi verilmiştir (Okuroğulları, 2022:45).



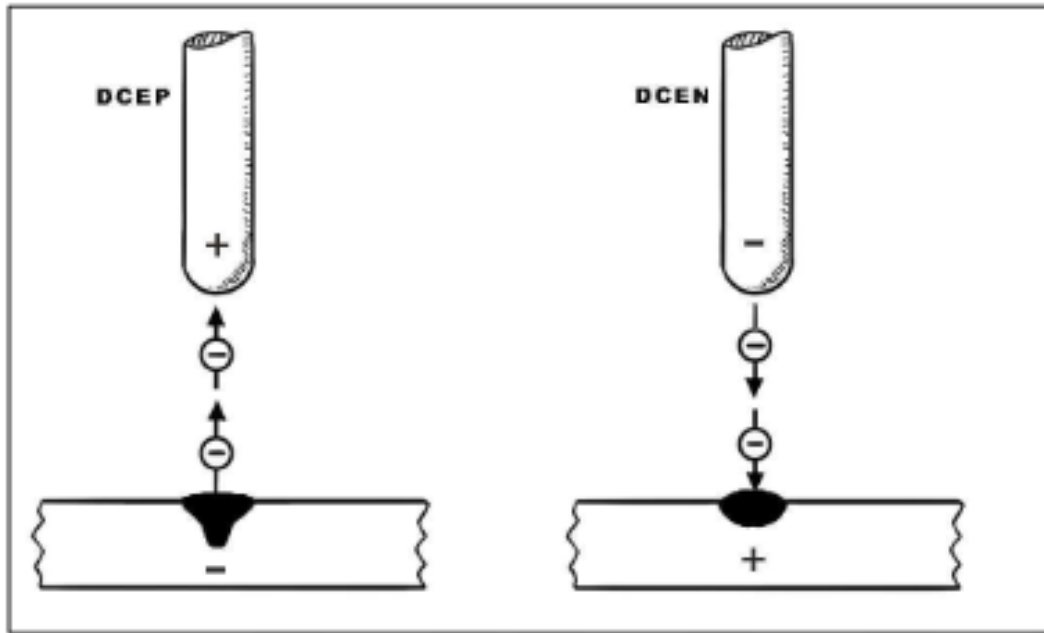
Şekil 3.15. Koruyucu gazın tüketimi, nozulun çapı ve akım şiddeti arasındaki ilişki

Kaynak: (Geçmen, 2006:61)

3.6.3.5. Kutup Bağlantısı

Kaynak torcunun elektriksel olarak bir doğru akım ünitesinin kutuplarına bağlanmasına verilen isimdir. Torcun güç kablosu, pozitif kutba bağlanırsa, bu kutuplama doğru akım elektrod pozitif kutuplama (DCEP) ters kutuplama denir. Torcun güç kablosu, negatif kutba bağlanırsa kutuplama doğru akım elektrod negatif kutuplama (DCEN) düz kutuplama denir (Çubuk, 2022:35).

MIG/MAG kaynağında çoğunlukla DCEP kullanılır. Bu kutuplama geniş bir kaynak akım toleransında istikrarlı ark, az sıçrama, metal iletimi yumuşak, iyi kaynak dikişi ve derin nüfuziyet sağlamaktadır. DCEN daha az tercih edilmektedir nedeni de kaynak telinin daha az ergimesi ve esas metalde daha çok ergime görülmesi nedeniyle istenmeyen kaynak dikişine sebep oluşturmaktadır (Suban, 2001: 190).



Şekil 3.16. Ters ve düz kutuplama erime etkisi

Kaynak: (Candan vd., 2006:204)

DCEN kutuplamada elektron akışı iş parçasına doğru, DCEP kutuplamada iş parçasından akış yönüne doğrudur. DCEN kutuplamada ark ısısının büyük kısmı elektrodta toplanır. DCEP kutuplamada EM'de toplanır (Talkington, 1998:78).

Tablo 3.4. Gaz altı ark kaynağındaki parametrelerin kaynak dikişi üzerine etkisi

DİKİŞ BOYUTLARI								
Kaynak Parametreleri	Nüfuziyet		Ergime Gücü		Dikiş Yüksekliği		Dikiş Genişliği	
	Tel İlerleme hızı (Akım Şiddeti)	↑	↓	↑	↓	↑	↓	*
Gerilim	.	.	*	*	*	*	↑	↓
Kaynak Hızı	.	.	*	*	↓	↑	↑	↓
Serbest Tel Uzunluğu	↓	↑	↑	↓	↑	↓	↓	↑
Tel Çapı	↓	↑	↓	↑	*	*	*	*
Koruyucu Gaz	↑	↓	*	*	*	*	↑	↓
Torç Açısı	Sağa Kaynak	Sola Kaynak	*	*	*	*	Sola Kaynak	Sağa Kaynak

* : Etkisi yok . : Etkisi az ↑ : Artar ↓ : Azalır

Kaynak: (Kahraman ve Gülenç, 2020:129)

4. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmada 2 mm kalınlığa sahip SPH270-C ile 3 mm kalınlığa sahip SPH440-OD otomotiv yapısal çelikleri kullanılmıştır. Farklı kalınlıklardaki çeliklere MAG gaz altı ark kaynak işlemi yapılmıştır.

4.1. Kullanılan Malzemeler ve Kaynak İşlemi

SPH270-C ve SPH440-OD çeliklerinin spektral analizleri Bilecik'te bulunan DEMİSAŞ firmasında OBLF marka GS1000 model spektrometre cihazında gerçekleştirilmiştir. Çalışmada elde edilen spektral analiz sonucu Tablo 4.1.'de, mekanik özellikleri ise Tablo 4.2.'de verilmiştir.



Şekil 4.1. SPH270-C/SPH440-OD çeliklerine ait OBLF marka GS1000 model spektrometre cihazında spektral analiz çalışmaları

Tablo 4.1. EM (SPH270-C / SPH440-OD) kimyasal bileşimleri (%)

Alaşım Elementi (%)	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Al	Fe
SPH270-C	0,04	0,01	0,24	0,011	0,01	0,009	0,010	0,02-0,05	Kalan
SPH440-OD	0,15	0,01	0,7	0,013	0,007	0,026	0,022	0,02-0,05	Kalan

Tablo 4.2. EM (SPH270-C/SPH440-OD) mekanik özellikleri

Mekanik Özellikler	Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (Mpa)	Uzama (%)
SPH270-C	165-325	≥270	39
SPH440-OD	255-410	≥440	35

Kaynak: (MST Steel Corp, 2024)

(Kaya, 2018:598), çalışmasında EN ISO 14273 standartlarına bağlı kalarak 300x75 mm ölçülerine getirilen çelik plakalara gazaltı kaynak işlemi yapmıştır. SPH270-C ile SPH440-OD çelikleri de MAG gazaltı ark kaynağı işlemi öncesinde bu boyutlara getirilmiştir. Bu çalışmada Şekil 4.2.'de görüldüğü gibi temin edilen plakalar Şekil 4.3.'te Bilecik'de KOŞAR İŞ

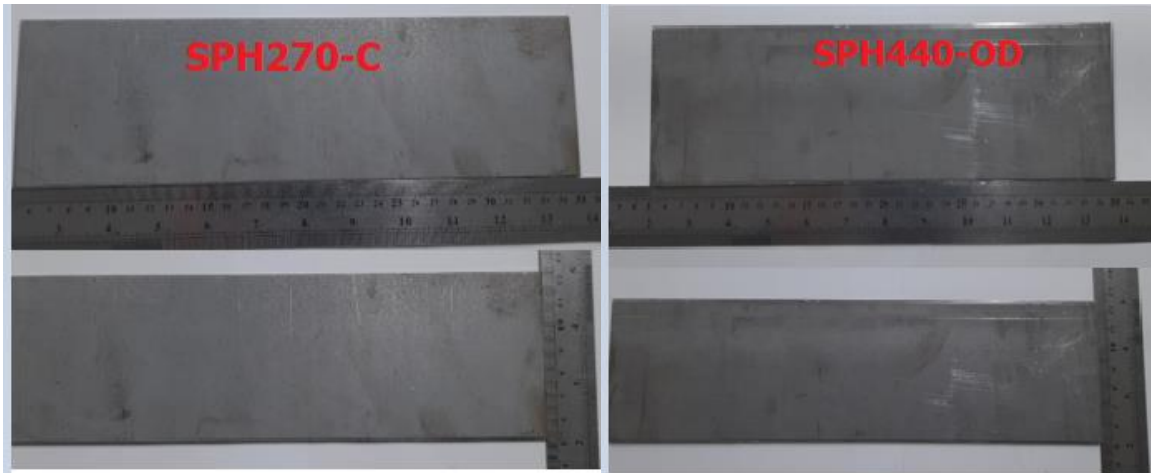
atölyesinde Strojaren NTE 2500/4B devirmeli giyotin makası kullanılarak belirlenen ölçülere (300x75 mm) getirilmiştir. Şekil 4.4.'te 9 adet SPH270-C plakası ve 9 adet SPH440-OD plakası gösterilmiştir.



Şekil 4.2. SPH270-C / SPH440-OD plakalar



Şekil 4.3. Strojaren NTE 2500/4B giyotini



Şekil 4.4. SPH270-C / SPH440-OD Çeliklerinin 300x75 mm ebatlarında kesilmesi

Tablo 4.3.'te 9 farklı değişken kaynak parametre kombinasyonları belirtilmiştir. Kaynak işlemleri bu parametrelerde uygulanmıştır. Kaynak işlemi, GekaMac GKM 500-2W kaynak makinesinde yapılmıştır (Şekil 4.5.). Kaynak makinesinin teknik özellikleri Tablo 4.4'te belirtilmiştir.

Deney sırasında kaynak işlemi için Gedik GeKa marka 1 mm çapında özsüz SG2 AWS A5 18 (ER70 S-6) kodlu kaynak teli kullanılmıştır. Kaynak teli kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri Tablo 4.4.'te verilmiştir. Koruyucu gaz olarak HB 212 karışım gazı kullanılmıştır. Koruyucu gaz karışımında %2 O₂, %12 CO₂, %86 Ar gazı içeren bir gaz türüdür.

Tablo 4.3. Kaynak Parametreleri

Kaynak Kodu	Akım (A)/ Tel İlerleme Hızı (m/dk)	Gerilim (V)	Gaz Miktarı (lt/dk)
A1	5	15	14
A2	5,5	15	14
A3	6	15	14
B1	5	17	14
B2	5,5	17	14
B3	6	17	14
C1	5	19	14
C2	5,5	19	14
C3	6	19	14

Tablo 4.4. GeKaMac GKM 500-2W makinesi teknik özellikleri

Teknik Özellikler	GKM 500
Tipi:	Ayrılabilir Tel Sürme Ünitesi Su Soğutmalı MIG-MAG Kaynak Makinesi
Şebeke gerilimi:	380 V
Şebekeden çekilen güç (%60):	27,6 kVA
Şebekeden çekilen güç (%100):	14,6 kVA
Çalışma referans aralığı:	50-60 Hz
Boşta çalışma gerilimi:	16-57 V
Tel sürme hızı aralığı:	1-22 m/dk
Tel çapı:	0,8 - 1,0 - 1,2 - 1,6 Ø mm
Makara sayısı:	1100/510/1440

Kaynak: (GeKaMac, 2020:19)

Tablo 4.5. SG2 elektrodunun kimyasal bileşimleri (%) ve mekanik özellikleri

Alaşım Elementi (%)	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Al	Fe
SG2 Kaynak Teli	0,08	0,85	1,45	<0,02	<0,025	<0,3	-	-	Kalan

Mekanik Özellikler	Akma Noktası (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Uzama (%)
SG2 Kaynak Teli	420	500-640	22

Kaynak: (Gedik Kaynak, 2024)

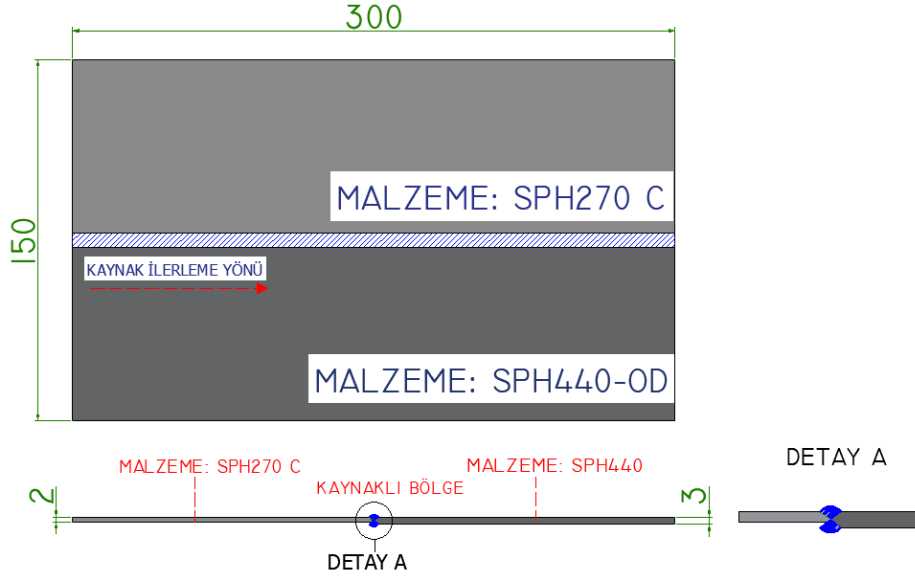


Şekil 4.5. MAG kaynağının yapıldığı GeKaMac GKM500-2W su soğutmalı kaynak makinesi

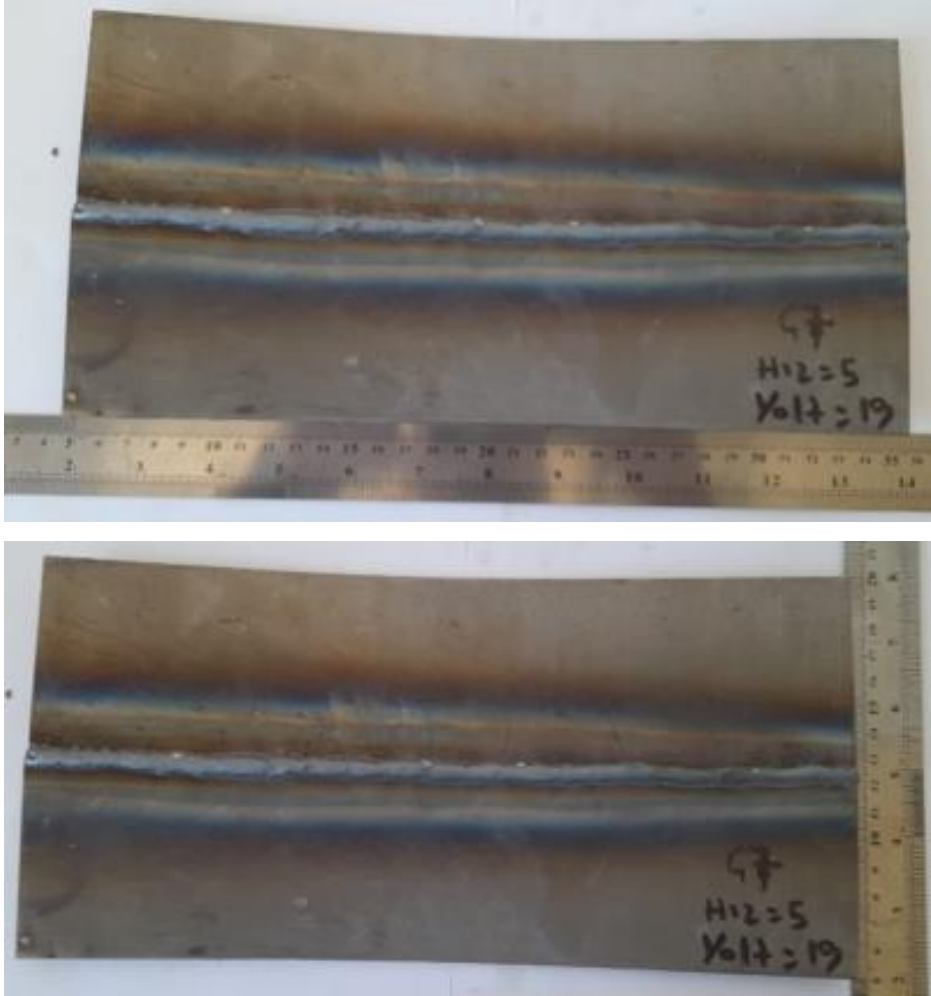
Tablo 4.3.'te belirtilen parametrelerde kaynakçı tarafından iş güvenliği uygulanarak manuel olarak çift taraflı tek pasoda kaynak işlemi yapılmıştır (Şekil 4.6.). Kaynak işleminin sembolik olarak gösterimi Şekil 4.7.'de gösterilmiştir. Kaynak işlemi sonrasında plakalar Şekil 4.8.'deki şeklini almıştır. Plakaya ait cetvelle yatay ölçü 300 mm, dikey ölçü 150 mm'dir.



Şekil 4.6. Kaynakçı tarafından yapılan kaynak işlemi

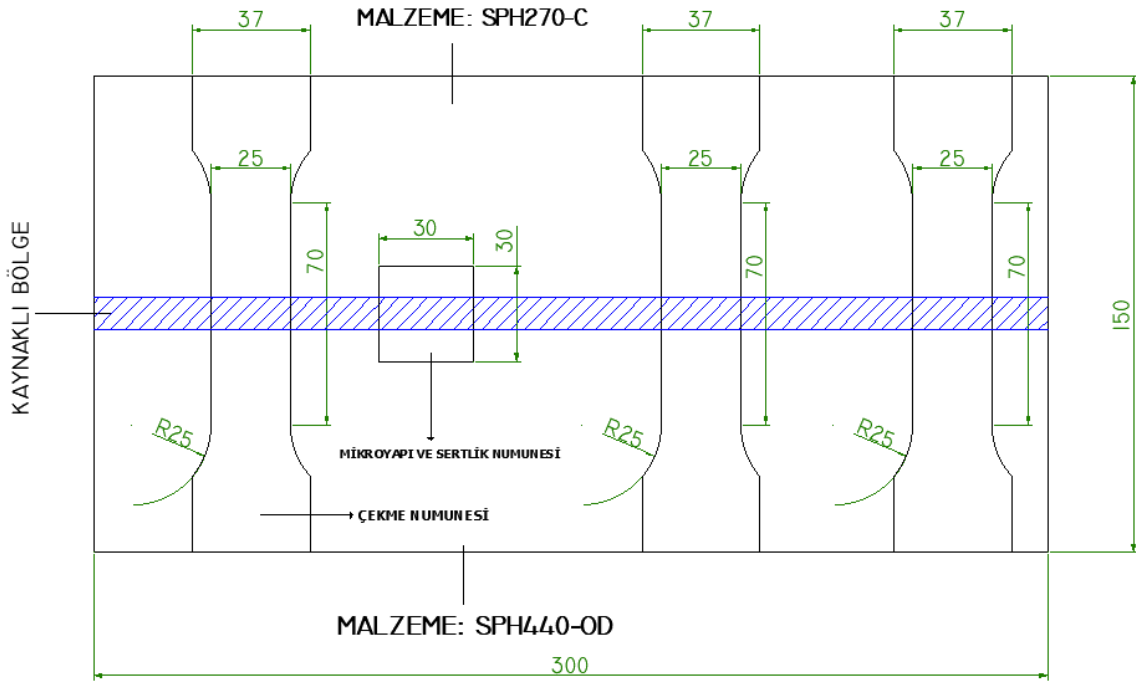


Şekil 4.7. MAG işlemi sonrasında oluşan kaynaklı numunelerin sembolik çizimi



Şekil 4.8. SPH270-C/SPH440-OD saclarının SG2 elektrod ile kaynaklı birleşimi

Farklı parametre değerlerinde 9 adet plakadan, ISO 4136 standartlarına uygun ölçülerde Şekil 4.9.'daki AutoCAD programı yardımıyla her plakadan 3 adet çekme numunesi ve 1 adet mikroyapı-mikrosertlik numunesi elde edilecek şekilde teknik çizim yapılmıştır. Her plaka için lazer kesim uygulanarak 9 adet (mikroyapı ve Vickers sertlik) deney numunesi ile 27 adet çekme deney numunesi Şekil 4.10'daki BODOR marka lazer makinesi yardımıyla elde edilmiştir. Şekil 4.11'de lazer kesim işlemine ait görüntüler paylaşılmıştır.



Şekil 4.9. Çekme deneyi ve mikroyapı-mikrosertlik numunesi ölçüleri



Şekil 4.10. BODOR lazer kesim makinesi



Şekil 4.11. Lazer numune kesim işlemi

4.2. Mikroyapı (Metalografi Deneyi)

Lazer kesim yöntemiyle elde edilen numunelerden en iyi dikiş görüntüsüne sahip ve yüzeyi en temiz olan C3 numunesi mikroskop yardımıyla KM, ITAB ve EM bölgelerinden incelenmiştir. Boyutların büyük olmasından dolayı bakalite alma gerçekleştirilmemiştir. Numunelere sırasıyla zımparalama, parlatma ve dağlama işlemleri yapılmıştır. Şekil 4.12.'de gösterilen Metkon Forcipol 2V cihazında zımparalama ve parlatma işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Zımparalama işlemi 120- 220- 360- 600- 800- 1200- 1500- 2000 mesh zımpara kağıtları kullanılarak yapılmıştır. Bu işlem sonrasında parlatma işlemi uygulanmıştır. 3 ve 1 mikron elmas pasta kullanarak numunenin yüzeyi parlatılmıştır.

Parlatma işlemi sonrasında numunelere %2 Nital (%98 Metanol+%2 Nitrik asit) çözeltisinde yanma riskine karşı 2 saniyelik süreler ile kademeli olarak dağlama işlemi uygulanmıştır.

Sonrasında EM, ITAB ve KM bölgelerinden Şekil 4.13.'teki Nikon Eclipse LV150N Endüstriyel Mikroskobu sayesinde 40x büyütme oranında incelemelerde bulunulmuştur.

Zımparalama ve parlatma işleminde kullanılan cihazın özellikleri;

- Boyutlar: 700 mm x 690 mm x 340 mm
- Motor gücü: 0.75 HP
- Dönüş hızı: 50-600 rpm



Şekil 4.12. Zımparalama ve parlatma cihazı Metkon Forcipol 2V

Kaynak: (Bilecik Üniversitesi, 2024)

Mikroyapı incelemesi için kullanılan optik mikroskopun özellikleri;

- Maksimum örnek boyutu: 150 x150 mm
- Maksimum örnek yüksekliği: 38 mm
- Maksimum büyütme oranı: 100x
- Güç tüketimi: 1,2A / 75W



Şekil 4.13. Endüstriyel mikroskop NİKON ECLİPSE LV150N

Kaynak: (Bilecik Üniversitesi, 2024)

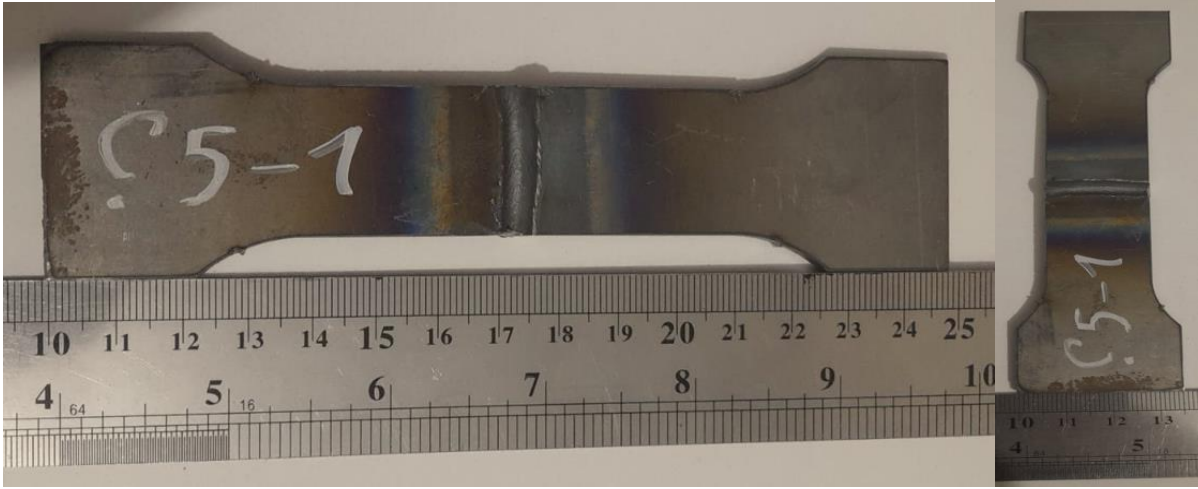
4.3. Çekme Deneyi Uygulaması



Şekil 4.14. SHIMADZU AG-IC çekme cihazı

Kaynak: (Bilecik Üniversitesi, 2024)

Çekme testleri, her parametrede üçer kez tekrar edilecek şekilde Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Makine Mühendisliği laboratuvarında bulunan Şekil 4.14'te gösterilen SHIMADZU AG-IC marka cihaz ile 2 mm/dk çene hızında gerçekleştirildi. Toplamda 27 adet çekme deneyi yapıldı. Şekil 4.15'te çekme deney numunesi paylaşılmıştır.



Şekil 4.15. Çekme deneyi numuneleri

4.4. Mikrosertlik Deneyi Uygulamaları (Vickers)

Lazer kesimi sayesinde her parametreden 1 adet toplamda 9 adet numunenin KM, ITAB ve EM bölgelerinden Vickers mikrosertlik ölçümleri gerçekleştirildi. Metalografi deneyi sırasında kullanılan C3 kodlu mikroyapı numunesi haricinde 8 deney numunesi 120- 220- 360- 600- 800- 1000 mesh zımpara kağıtları ile zımparalama işlemleri uygulanmıştır.

Vickers mikrosertlik yönteminde, elmastan imal edilmiş tepe açısı 136 derece olan kare tabanlı elmastan imal edilmiş batıcı uç sayesinde, malzeme cinsine bağlı kalarak belirlenen kuvvet altında belirli sürede yüzeye batırılması ile elde edilmektedir. Bu iz sayesinde köşegen uzunluklarının ölçülmesi ile Vickers sertliği (HV) değerine ulaşılmaktadır (Savaşkan, T., 2017:343).

Sertlik deneyi ölçümleri, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi BARUM merkezi laboratuvarında Emcotest DuraScan 20 sertlik cihazında 10 sn süre ile HV 0,5 yük altında gerçekleştirilmiştir. İz görüntüleme işlemi, 20x odaklamada yapılmıştır. Şekil 4.16'da sertlik ölçme cihazına ait görüntü mevcuttur. Şekil 4.17' de numune yüzeyine iz oluşturma ve 20x odaklama ile iz görüntüsü alma anı verilmiştir.

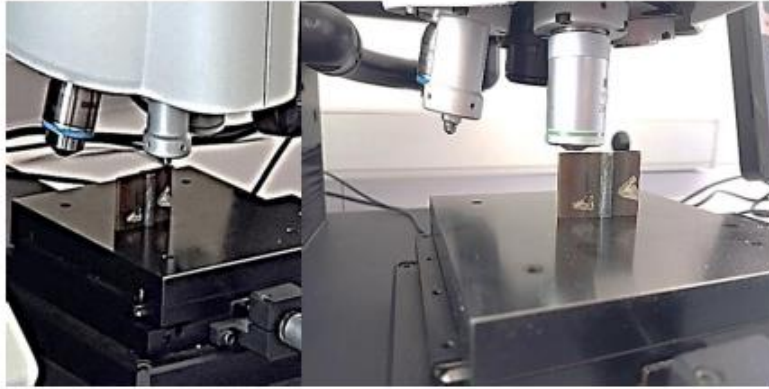
Mikrosertlik ölçümü incelemesi için kullanılan cihazın özellikleri;

- Ölçme yükü: 1 g-10 kg
- İz görüntüleri: 10x, 20x, 40x, 60x



Şekil 4.16. SHIMADZU AG-IC sertlik ölçme cihazı

Kaynak: (Bilecik Üniversitesi, 2024)



Şekil 4.17. Yüzeye iz oluşturma ve 20x odaklanma ile görüntü alma

Kaynak: (Kaya, 2024:40)



Şekil 4.18. Numuneye ait iz görüntüsü

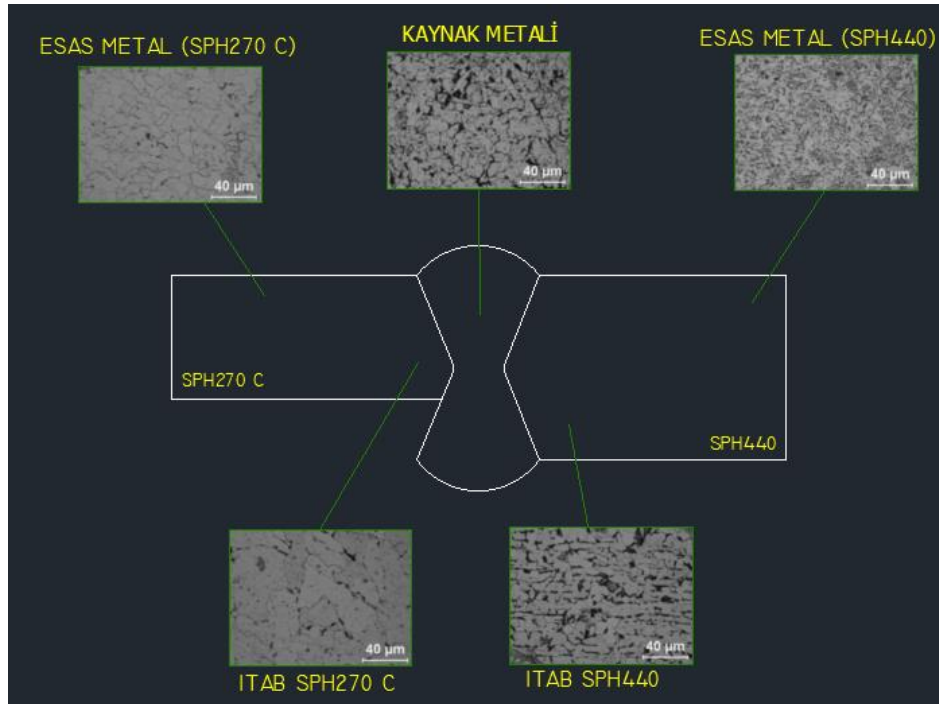
5. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

5.1. Metalografi Deneyi Sonuçları

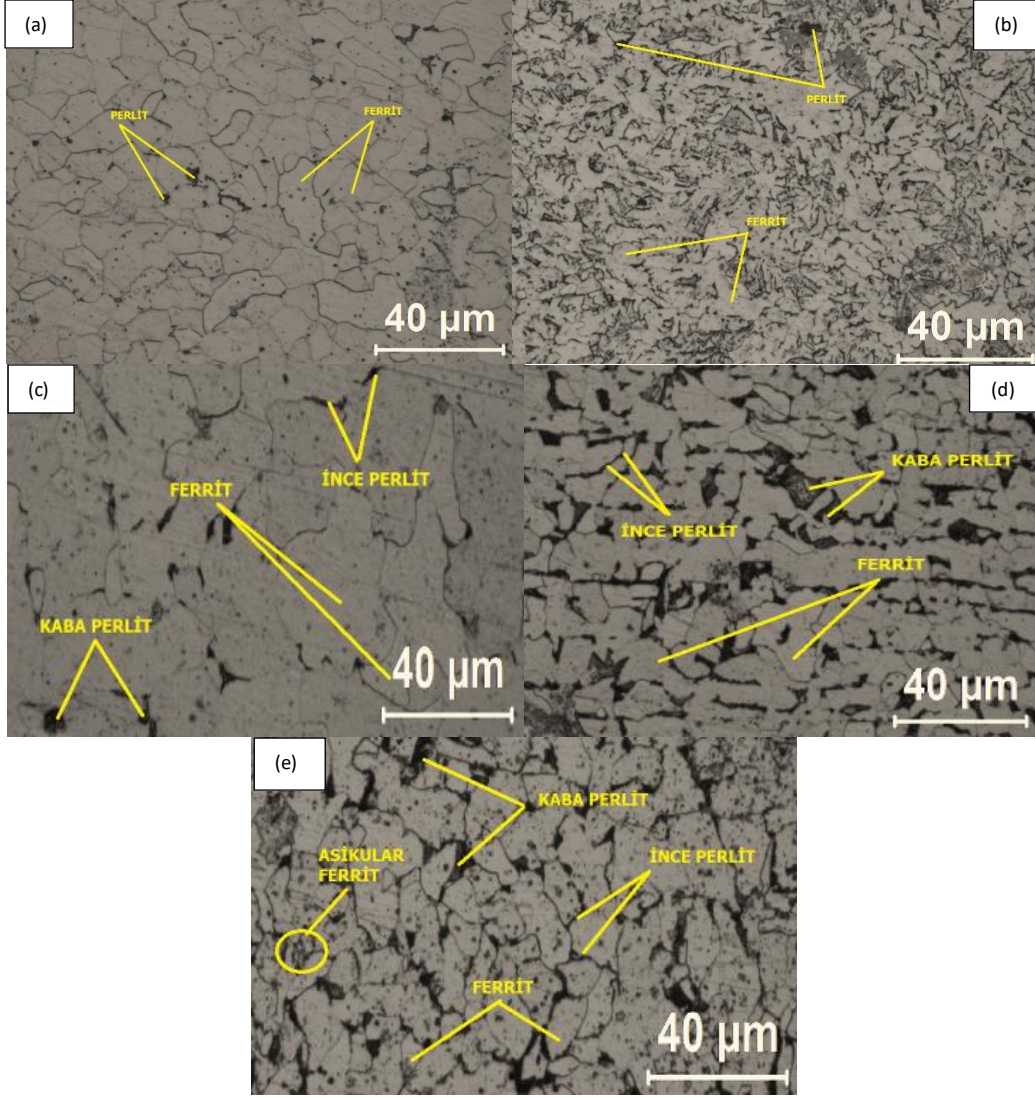
Metalografi malzemelerin iç yapılarının incelenmesini konu alan bilim dalıdır. Malzemelerin iç yapıları ile ilgili kalite kontrol, hasar tespiti gibi işlemleri incelemek gerekir. Metalografik muayene ile malzemenin mikroyapısı, mikroyapı kusurları, malzemenin üretim yöntemi, ısıl işlem görüp görmediği incelenebilir. Mikroyapıya 4 aşamada ulaşılır;

- Numune alma
- Zımparalama
- Parlatma
- Dağlama

Elde edilen 9 adet mikroyapı ve mikrosertlik numunelerinden en simetrik dikiş görünümüne sahip olan C3 numunesi üzerinde metalografi deneyi gerçekleştirilmiştir. C3 numunesinin EM (SPH270-C), ITAB (SPH270-C), KM, ITAB (SPH440-OD), EM (SPH440-OD) bölgelerinden Nikon Eclipse LV150N optik mikroskop aracılığıyla 40x büyütmede görüntüler alınmıştır. İnceleme yapılan bölümler Şekil 5.1’de gösterilmiştir. MAG gazaltı kaynak işleminde oluşan yüksek ısı ve sonrasında hızlı soğuma neticesinde EM, ITAB ve KM bölgelerinde farklı mikroyapı görüntüleri elde edilmiştir. Elde edilen görüntüler Şekil 5.2’de sunulmuştur.



Şekil 5.1. Mikroyapılarının alındığı bölgelerin numune üzerinde gösterimi (40x büyütme)



Şekil 5.2. MAG kaynak işlemi sonrası oluşan mikroyapı görüntüleri
a) SPH270-C EM, b) SPH440-OD EM, c) SPH270-C ITAB
d) SPH440-OD ITAB e) KM

Şekil 5.2a ve 5.2b’de EM mikroyapısının ince ve homojen dağıldığı ferrit (α) ve perlit yapıda olduğu gözlenmiştir. Şekil 5.2c ve 5.2.d’de otomotiv çeliklerindeki ITAB bölgelerine bakıldığında kaynak işleminin etkisinden dolayı gerek SPH270-C otomotiv çeliğinde, gerekse SPH440-OD otomotiv çeliğinde ferrit, perlit yapısına ek olarak ince perlit fazları katılmış ve tane irileşmeleri görülmüştür. Şekil 5.2e’de ITAB’ dan KM’ e doğru tane sınırı sayısının yoğunlaştığı görülmektedir. Tane sınırı sayısı artması dislokasyon hareketini zorlaştırmaktadır. Dislokasyon hareketinin engellenmesi ise KM sertliğinin ve çekme dayanımının diğer bölgelere göre daha yüksek olmasına sebep olmaktadır. KM ferrit, perlit, ince perlit ve yer yer asiküler ferrit yapıya sahiptir. Literatürde asiküler ferrit oranı arttıkça KM mukavemet ve tokluğunun arttığı ifade edilmiştir (Ulewicz, 2013: 114).

Ferrit oda sıcaklığında % 0,009 oranında C bulunduran bir fazdır. Faz bölgesinde karbon miktarının düşük olması sertliğin az olduğu anlamına gelmektedir. Bu fazdaki malzemeler işlemeye elverişli ve sünek yapıdadır. Perlit fazı, ferrit ve sementit (Fe_3C) karışımı olan bir fazdır. Sementit fazı gevrek ve sert yapıya sahiptir. Sementit fazının yapıdaki artışı malzemenin dayanım ve sertliğini artırır, süneklik ve tokluğunu azaltır. Malzemelerin mekanik özelliklerine sementit oranı dışında fazların tabaka kalınlıkları da etki etmektedir. Perlit fazının bir türü olan ince perlit fazı, ferrit ve sementit yapılarının tekrarlı ve ince tabakalar oluşturduğu bir faz yapısına sahiptir. Kaba perlit yapısına göre dayanıklı ve daha sert olmasına karşın sünekliği daha azdır. Perlitin diğer türü olan kaba perlit bölgesinde ferrit ve sementit yapılarının tekrarlı ve kalın tabakalar oluşturduğu bir faz düzenine sahiptir. İnce perlite göre yüksek tokluğa, sünekliğe sahiptir (Hitit.edu.tr, 2024). EM bölgesinden farklı olarak ITAB ve KM’ de ince perlit fazlarının görülmesi yapıdaki sertliğin artmasına sebep olmaktadır.

EM, ITAB ve KM bölgelerinde tane görüntüsü şematik gösterimi Şekil 5.3’ te gösterilmiştir. EM’de iri tane yapılarının ITAB’da artış gösterdiği ve tanelerin sıklaştığı, KM’ de tanelerin kolonsal olarak büyüme gösterdiği gözlemlenebilmektedir (Kaya, 2024:53).



Şekil 5.3. EM, ITAB ve KM bölgelerinde tane görüntüsü şematik gösterimi

Kaynak: (Kaya, 2024:53)

5.2. Çekme Deneyi ve Kaynak Dikişi İncelemeleri

Tablo 4.3’te verilen 9 farklı kaynak parametresi için her parametreden 3’er adet numune çekme deneyine tabi tutulmuştur. Tablo 5.1 ve Tablo 5.2’de çekme deneyi sonuçlarına göre ortalama çekme gerilmesi ve yüzde uzama verileri gösterilmiştir.

Tablo 5.1 incelendiğinde en düşük çekme gerilimi ortalaması 239,81 MPa ile A3 kodlu plakaya ait numunede görülmüştür. En yüksek çekme gerilimi değeri 349,87 MPa ile C3 kodlu kaynaklı plakaya ait çekme numunesinde görülmüştür. Yüzde uzama değerlerine bakıldığında ortalama yüzde uzama değerinde en yüksek değere %14,92 ile B2 kodlu plakada ulaşılmıştır. En düşük yüzde uzama değeri ise %4,98 ile A3 kodlu plakada gerçekleşmiştir. Tablo 5.1

incelendiğinde kaynak gerilimi arttıkça 2. grup ve 3. grupta çekme dayanımı düzenli olarak artmaktadır. 1. Grupta A1' den B1' e çekme dayanımında yükselme olsa da C3 numunesinde çekme dayanımında çok az düşme olduğu gözlemlenmiştir. Kaynak esnasında kaynak nüfuziyetinin yeteri kadar sağlanmaması sebebiyle çekme dayanımına olumsuz etki yaptığı gözlemlenmiştir.

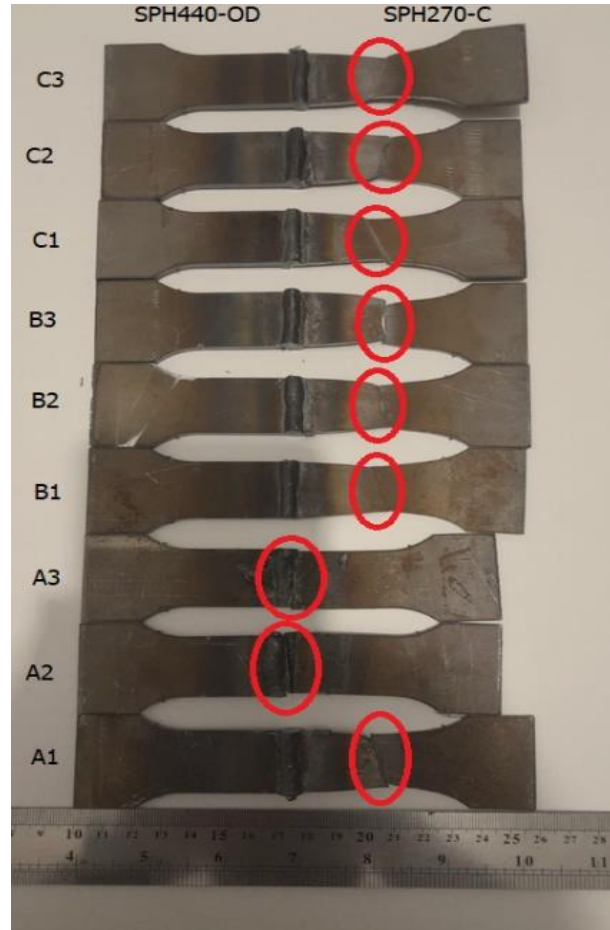
Tablo 5.1. Sabit tel hızı, değişken kaynak gerilimi durumunda çekme deneyi sonucu elde edilen ortalama çekme gerilmesi ve yüzde uzama verileri

Sac Plaka Kodu	Ortalama Çekme Gerilmesi (MPa)	Ortalama Yüzde Uzama (%)	Gruplar	Tel Hızı (m/dk)	Kaynak Gerilimi (V)
			1.GRUP		
A1	344,55	12,13		5	15
B1	347,62	12,24		5	17
C1	345,04	11,63		5	19
			2.GRUP		
A2	255,3	11,15		5,5	15
B2	339,29	14,92		5,5	17
C2	346,7	12,34		5,5	19
			3.GRUP		
A3	239,81	4,98		6	15
B3	342,56	13,87		6	17
C3	349,87	13,03		6	19

Tablo 5.2 incelendiğinde, kaynak gerilimi sabit tutulup tel hızının kademeli olarak artırılması durumunda, 3. grupta çekme numunesinin çekme dayanımında düzenli olarak artış olduğu görülmüştür. (Kılınçer ve Kahraman, 2009) çalışması incelemesinde, kaynak geriliminin sabit tutulup, tel hızının kademeli olarak artırılması koşullarında gerçekleştirilen MIG kaynağı uygulamasında iki ayrı numunenin çekme deneyi sonuçlarında çekme gerilmesi değerlerinde artış olduğu görülmüştür. 1. ve 2. grupta çekme numune değerleri incelendiğinde sırasıyla A1'den A3'e, B1' den B3'e çekme dayanımlarında düşüşler yaşanmış kaynaklı plakada kaynak nüfuziyetinin sağlanmaması sonucu oluşan olumsuz durum bu plakalara ait çekme numunelerinde dayanım artmasını engellemiştir. Literatürde (Aslanlar, 2009; Kılınçer ve Kahraman, 2009), farklı metallerin kaynaklı birleşimlerinde bağlantı çekme dayanımlarının, birleştirilen farklı metallerin çekme dayanımının en düşük olanından fazla ise birleşimin başarılı olarak kabul edileceği bildirilmiştir.

Tablo 5.2. Sabit kaynak gerilimi, değişken tel ilerleme hızı durumunda çekme deneyi sonucu elde edilen ortalama çekme gerilmesi ve yüzde uzama verileri

Sac Plaka Kodu	Ortalama Çekme Gerilmesi (MPa)	Ortalama Yüzde Uzama (%)	Gruplar	Tel Hızı (m/dk)	Kaynak Gerilimi (V)
			1.GRUP		
A1	344,55	12,13		5	15
A2	255,3	11,15		5,5	15
A3	239,81	4,98		6	15
			2.GRUP		
B1	347,62	12,24		5	17
B2	339,29	14,92		5,5	17
B3	342,56	13,87		6	17
			3.GRUP		
C1	345,04	11,63		5	19
C2	346,7	12,34		5,5	19
C3	349,87	13,03		6	19

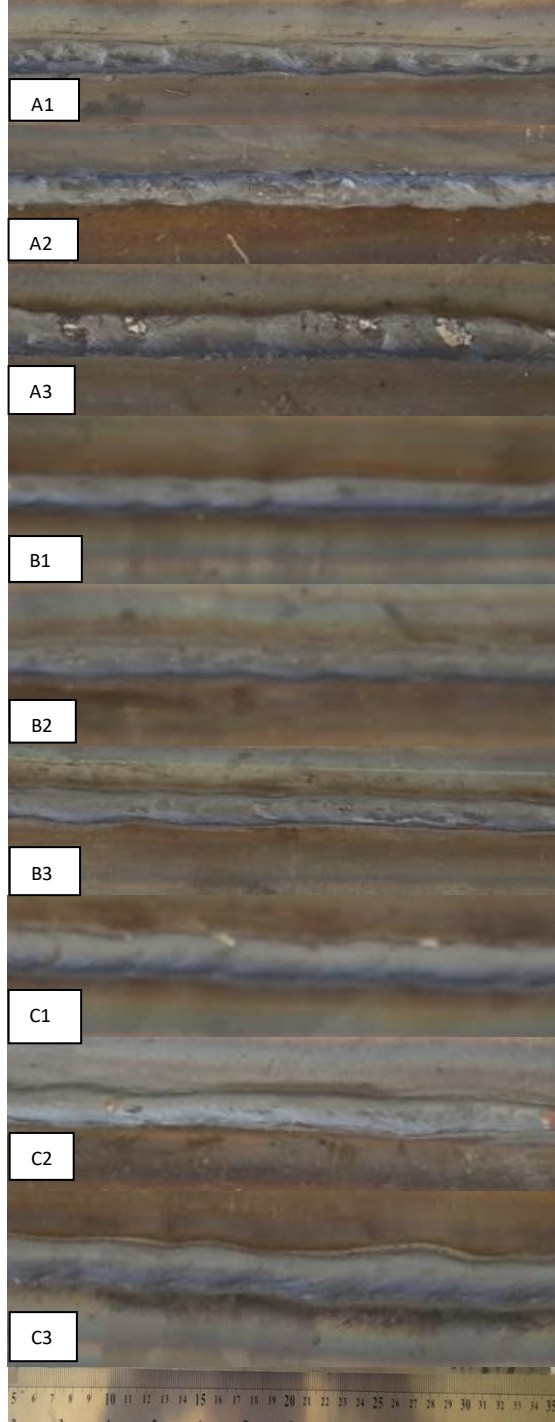


Şekil 5.4. Çekme testi sonucu numunelerin kopma bölgeleri

Kaynaklı numunelerde kopmalar Şekil 5.4'te görüldüğü üzere A2, A3 numunelerinde KM' de meydana gelmiştir. Bu kaynak parametrelerinde kaynaklanabilirliğin uygun olmadığı görülmüştür. Diğer numunelerde kopmalar ITAB ve KM dışında, SPH270-C otomotiv çeliğinin EM bölgesinde meydana gelmiştir. (Yürük vd., 2017:93) kaynaklı numunelerde kopmaların KM ve ITAB dışında, EM' de meydana geldiğini, kaynaklı bağlantılarda maksimum çekme dayanımı değeri ile % uzama değerlerinin birbirine yakın olduğunu ifade etmişlerdir. Farklı malzemelerin kaynak işleminde ITAB ile KM çekme dayanımı mukavemetinin EM' lardan çekme mukavemeti düşük olandan yüksek bulunması durumunda, kaynak işleminin beklenen şartı sağladığını belirtmişlerdir. A2 ile A3 parametreleri dışında beklenen şartların sağlandığı görülmektedir. Kopmanın SPH270-C çeliğinde olmasının sebebi, SPH440-OD çeliğinin çekme dayanımının, SPH270-C çeliğinin çekme dayanımından daha yüksek olmasıdır.

Tablo 5.1 ve Tablo 5.2'de ortalama yüzde uzama verileri Tablo 4.2' de SPH270-C ile SPH440-OD çeliklerinin mekanik özellikleri incelendiğinde sırasıyla %39, %35 uzama verisi bulunmaktadır. Çekme deneyi sonucunda kaynaklı numunelerde A3 numunesi haricinde diğer parametrelerde uzama %11,15 - %13,87 aralığında gerçekleşmiştir. Daha düşük yüzde uzama değeri elde edilme sebebi olarak, EM sertliğinin KM sertliğinden daha az olması olarak açıklanabilir (Kılınçer ve Kahraman, 2009:25). Deney sonucunda, birbirine yakın yüzde uzama verileri elde edilmesinin sebebinin, akım etkisine göre ısı girdisi farklılıklarının kaynaklı çekme numunelerinin yüzde uzama değerlerinde farklılık oluşturacağı belirtilmiştir (Kaya, 2020:93).

Kaynak işlemleri sonrasında çekme deneyi sonucu A2 ile A3 numunelerinde hem kopmaların KM' de meydana gelmiş olması hem de A3 kodlu parametrede % uzama değerinin düşük olması sonucunda A2, A3 parametrelerinde kaynaklanabilirliğin uygun olmadığı tespit edilmiştir.



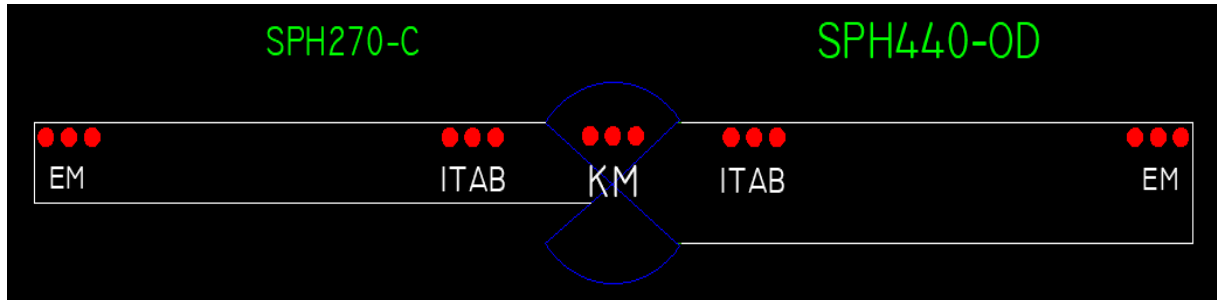
Şekil 5.5. Kaynak dikişlerinin makro görüntüleri

Kaynak işlemi sonrası kaynaklı bölgelerden edinilen makro görüntüler Şekil 5.5'te verilmiştir. Kaynak dikişleri, tel ilerleme hızları sabit tutulup gerilim değerlerinde değişimler yapılarak incelenmiştir. 5 m/dk tel ilerleme hızı ile 15V-17V-19V (Şekil 5 a1, b1, c1) gerilim değerlerinde gerilim değerinin artmasıyla kaynak dikiş genişliğinde artış görülmektedir. Ayrıca, gerilim değeri azaldıkça dikiş yüksekliği artış göstermektedir. (Kaya, 2018: 600) çalışmasında gerilimin düşük olmasının dar, dışbükey görünümlü dikişlerin oluşmasına sebep olduğu

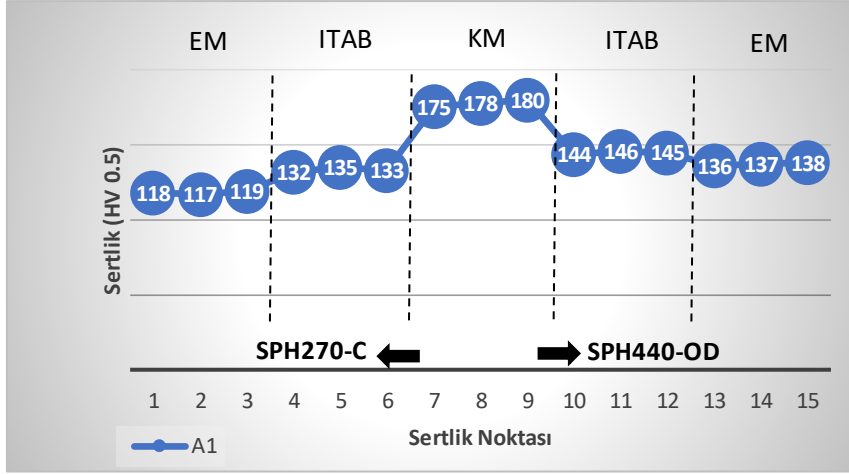
belirtilmiştir. Aynı şekilde tel ilerleme hızı 5,5 m/dk (Şekil 5 a2, b2, c2) ile 6 m/dk (Şekil 5 a3, b3, c3) için gerilim değerleri değişimlerinde A2 ve A3 numuneleri haricinde kaynak dikişindeki değişimler aynı şekilde sonuçlar göstermektedir. A2 plakası (5,5 m/dk tel hızı, 17 V gerilim) ve A3 plakası (6 m/dk tel hızı, 19 V gerilim) için yapılan kaynak işleminde, dikiş sürekliliği ve uygun kaynak nüfuziyetinin sağlanmadığı görülmüştür. Diğer parametrelerdeki kaynak işlemlerinde, uygun kaynak hızında ve kaynakçının el becerisi sayesinde birleşimlerde uzama verileri ve çekme gerilimleri yakın sonuçlar göstermiştir. Dikiş sürekliliklerinde olumsuzluklar görülmemektedir. Kaynak parametrelerinin uyumlu olması sebebiyle kaynak kalitesi ve mekanik özelliklerin istenilen değerlerde elde edildiği gözlemlenmiştir. A2 ve A3 plakaları haricinde sorun tespit edilmemiştir.

5.3. Vickers Mikrosertlik Deneyi Sonuçları

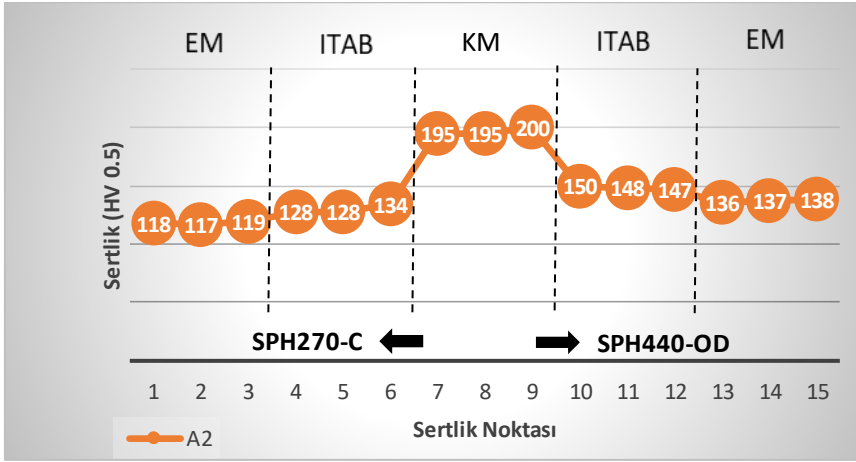
9 farklı parametre ile elde edilen 9 adet deney numunelerine KM, ITAB ve EM bölgelerinden mikrosertlik deneyi ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.6'da sertlik deneyi sırasında numunelerin ölçüm yapıldığı noktalar belirtilmiştir. Sadece C3 kodlu parametreden 15 ölçüm yapılmış olup, diğer parametrelerde EM değerleri C3 ölçümündeki değerler kabul edildiğinden 12 noktadan ölçüm yapılmıştır. Bu grafikler Şekil 5.6, 5.7, 5.8, 5.9, 5.10, 5.11, 5.12, 5.13 ve 5.14'de her parametre için ayrı oluşturulmuştur. Her parametre için sertlik değerlerini görmek için Şekil 5.15'te 9 parametre için tek bir grafik olarak gösterilmiştir.



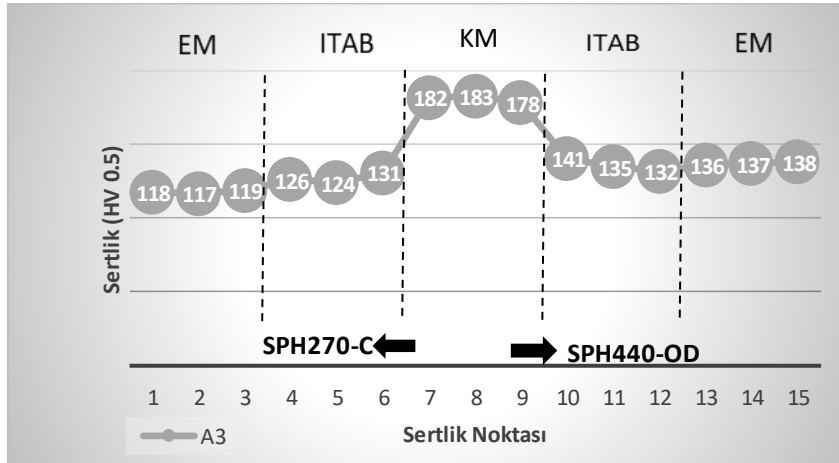
Şekil 5.6. Vickers mikrosertlik ölçümünde ölçüm alınan yerlerin sembolik gösterimleri



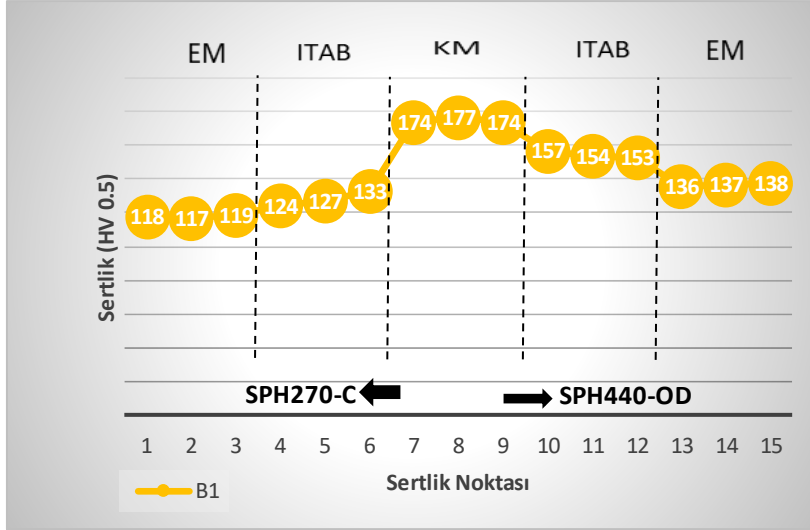
Şekil 5.7. A1 kodlu numuneye ait Vickers sertlik analizi sonucu



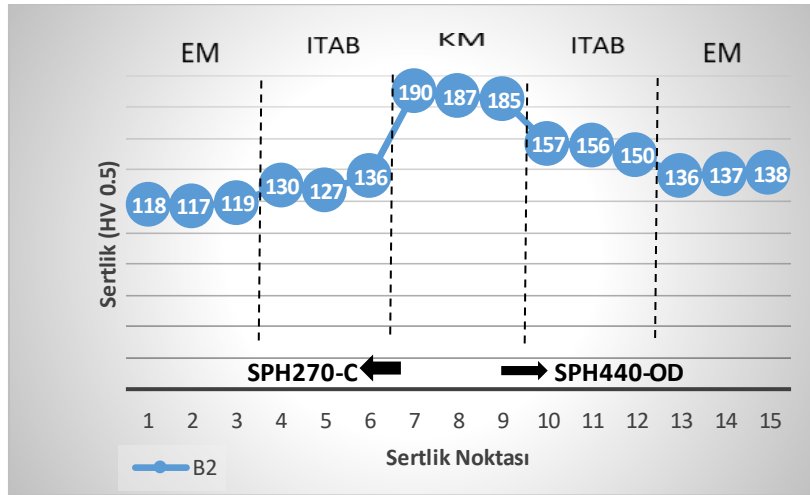
Şekil 5.8. A2 kodlu numuneye ait Vickers sertlik analizi sonucu



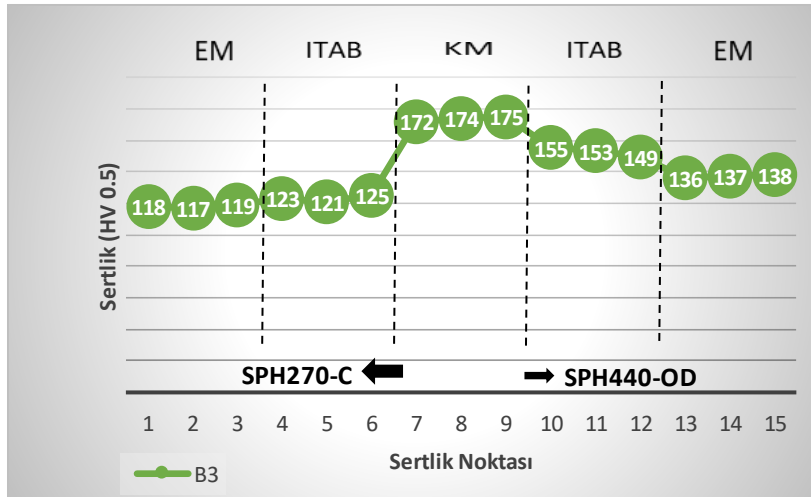
Şekil 5.9. A3 kodlu numuneye ait Vickers sertlik analizi sonucu



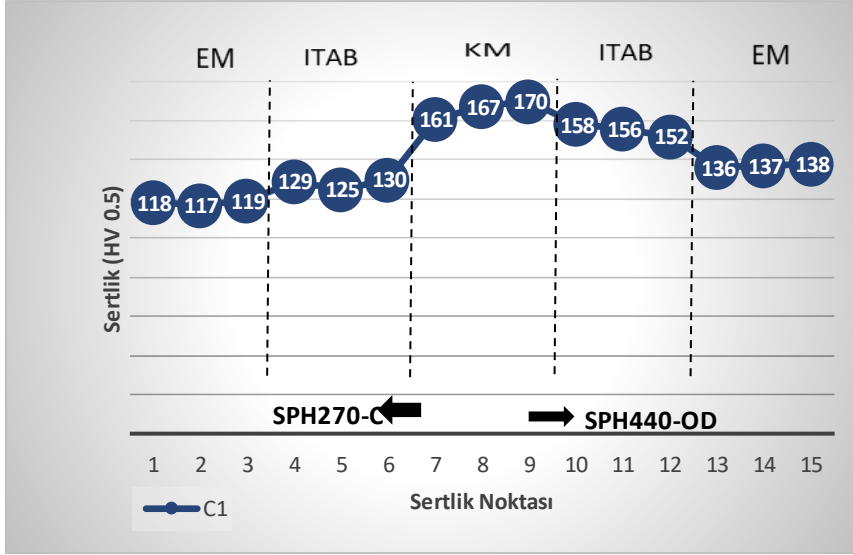
Şekil 5.10. B1 kodlu numuneye ait Vickers sertlik analizi sonucu



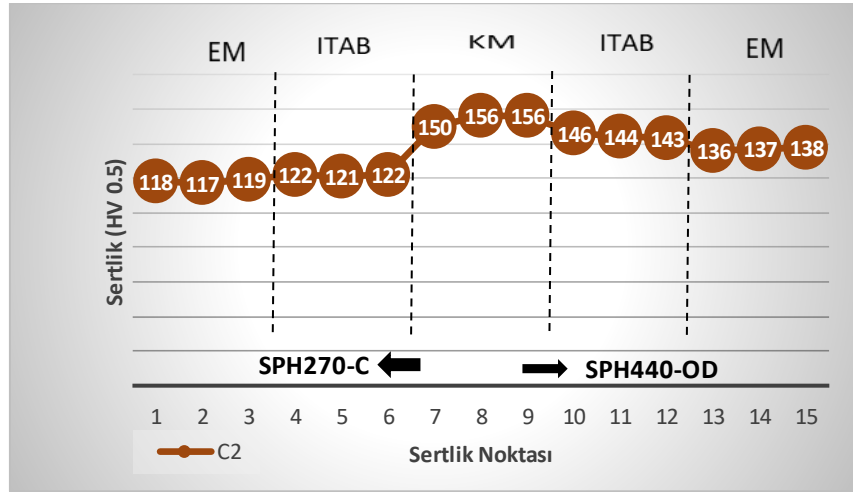
Şekil 5.11. B2 kodlu numuneye ait Vickers sertlik analizi sonucu



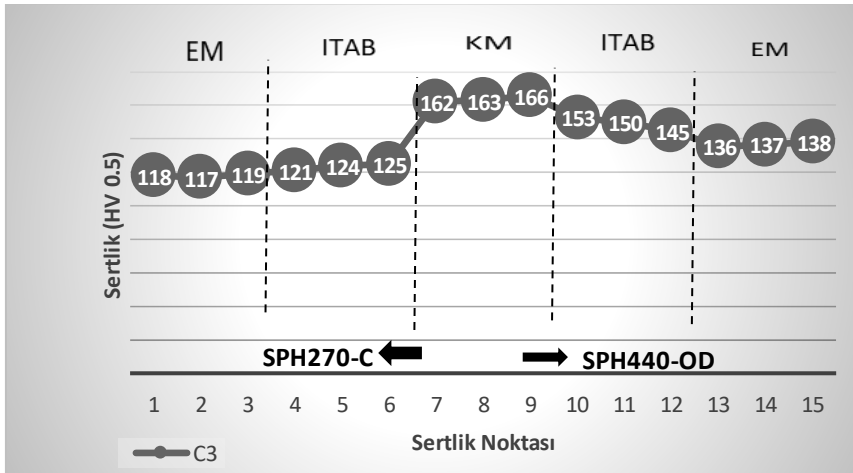
Şekil 5.12. B3 kodlu numuneye ait Vickers sertlik analizi sonucu



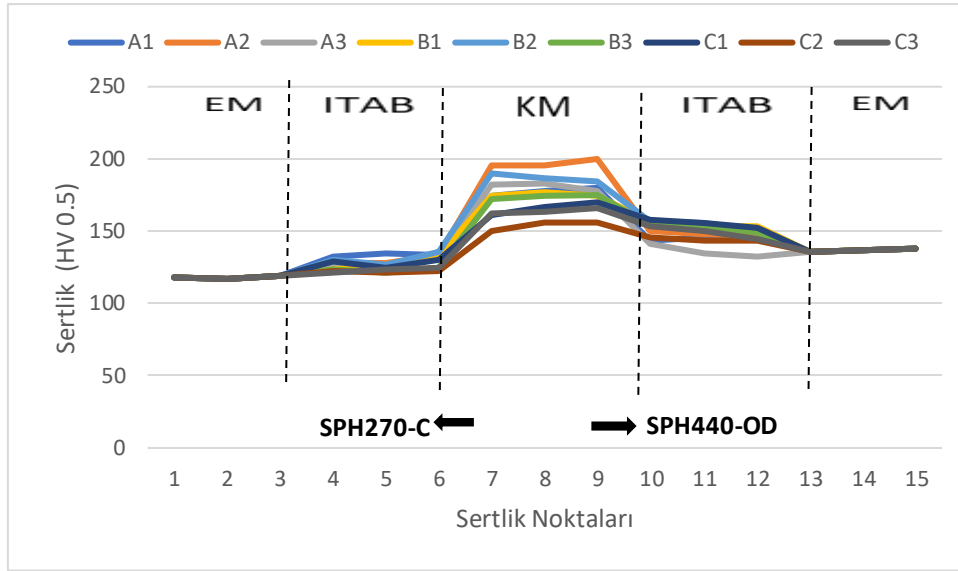
Şekil 5.13. C1 kodlu numuneye ait Vickers sertlik analizi sonucu



Şekil 5.14. C2 kodlu numuneye ait Vickers sertlik analizi sonucu



Şekil 5.15. C3 kodlu numuneye ait Vickers sertlik analizi sonucu



Şekil 5.16. Tüm numunelere ait Vickers sertlik analizi sonuçları

Tablo 5.3'te tüm kaynaklı plaka numunelerine ait vickers sertlik deneyi sonuçları verilmiştir.

Tablo 5.3. Vickers sertlik deneyi ortalama sonuçları

Numuneler	Esas Metal SPH270-C	SPH270-C (ITAB/ORTALAMA)	KAYNAK METALİ ORTALAMA	SPH440-OD (ITAB/ORTALAMA)	Esas Metal SPH440-OD
A1	118	133,3	177,6	145	137
A2	118	130	196,6	148,3	137
A3	118	137	181	136	137
B1	118	128	175	154,6	137
B2	118	131	187,3	154,3	137
B3	118	123	173,6	152,3	137
C1	118	128	166	155,3	137
C2	118	121,6	154	144,3	137
C3	118	123,3	163,6	149,3	137

Tablo 5.3 ve Şekil 5.7'den 5.16'a kadar incelendiğinde, kaynaklı bağlantılardaki her iki ITAB ve KM sertliklerinin her iki metalden de yüksek olduğu görülmektedir. (Yürük vd., 2017:94), çalışmasında S235JR karbon çeliği ile AISI430 ferritik paslanmaz çeliği MIG gazaltı ark kaynağı yöntemi ile farklı kombinasyonlarda birleştirmiş ve bu birleşime HV 0,5 yük altında Vickers sertlik deneyi uygulamıştır. Bu deney sonucu EM' den KM' e doğru sertlik değerlerinde artış olduğu gözlenmiştir.

ITAB sertliğine bakıldığında, SPH440-OD çeliği ITAB sertliğinin, SPH270-C çeliğinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Her iki ITAB' ın EM' ler ile karşılaştırılmasında her iki ITAB'ın EM'lerden daha yüksek sertliğe sahip olduğu gözlenmiştir. (Kılıçer ve Kahraman, 2009:28), çalışmalarında her iki ITAB' da ki bu sertlik artışına, kaynak sırasındaki ısı girdisi ve kaynak işlemi sonrasında soğuma hızının malzemelerin mikroyapısını etkilemesinin neden olduğunun ve bu durumda ITAB' da sertliğin EM' e göre fazla olmasına sebep olduğunu belirtmiştir.

Tüm plakalara ait sertlik değerleri, SPH270-C çeliğinde EM' de 118 HV, ITAB' da 121-138 HV, SPH440-OD çeliğinde EM' de 137 HV, ITAB' da 136-155 HV, KM' de ise 154-196 HV ölçüm aralığında ölçülmüştür.

Mikroyapı incelemeleri sonucunda, ITAB ve KM' de görülen ince perlitin malzemelerin sertliğini arttırdığı belirtilmişti. C3 mikroyapı numunesine ait elde edilen sertlik değerlerinde, ITAB ve KM sertlik değerinin EM' den daha fazla olduğu görülmüş bu sebeple metalografi deneyi ve sertlik deneyi birbirini desteklemiştir.

6. GENEL SONUÇLAR

2 mm kalınlığında SPH270-C ile 3 mm kalınlığında SPH440-OD otomotiv çeliklerine 9 farklı kaynak parametre değerinde MAG gazaltı ark kaynağı işlemi yapılmıştır. Kaynak işlemi sonrasında lazer kesim ile mekanik ve metalografik deney numuneleri elde edilmiştir. Numunelere deneyler uygulanmış, mekanik özellikler, mikroyapı ve kaynak dikişleri incelenmiştir.

Çalışmadan elde edilen sonuçlar şu şekildedir;

- Belirlenen kaynak parametrelerinde birleşimler başarıyla elde edilmiş ve herhangi bir kaynak hatası ile karşılaşılmamıştır.
- Mikroyapı incelemelerinde, EM' den KM' e doğru ilerledikçe tane irileşmesi meydana gelmiştir. ITAB' dan KM' e doğru tane sınırı sayısı yoğunlaşmıştır.
- Tane sınırı sayısının artması dislokasyon hareketini zorlaştırmıştır. Dislokasyon hareketinin engellenmesi ise KM sertliğinin ve çekme dayanımının diğer bölgelere göre daha yüksek olmasına sebep olmuştur.
- Kaynak metalinde bulunan ince perlit fazı en yüksek sertlik değerlerinin bu bölgede elde edilmesini sağlamıştır. İnce perlit fazı, ferrit ve kaba perlit fazlarına göre yapının daha sert, ancak süneklik ve tokluğunun düşük, çekme dayanımının ise yüksek olmasına sebep olmaktadır. Sertlik deneyleri bunu desteklemektedir.
- Çekme deneyi incelendiğinde, en düşük çekme gerilimi ortalaması A3 kodlu plakaya ait numunede görülmüştür. En yüksek çekme gerilimi değeri C3 kodlu kaynaklı plakaya ait çekme numunesinde görülmüştür.
- Çekme deneyi incelendiğinde, yüzde uzama değerlerine bakıldığında en düşük yüzde uzama değeri A3 kodlu plakada, en yüksek yüzde uzama değeri B2 kodlu plakada görülmüştür.
- Çekme deneyi sonucunda tüm kopmalar A2 ile A3 kodlu parametreler dışında SPH270-C çeliğinde EM bölgesinde gerçekleşmiştir. Bu yüzden A2 ve A3 kodlu parametrelerde kaynaklanabilirliğe uygun görülmemiştir.
- Kaynak parametrelerinin çekme deneyi sonuçları incelendiğinde genel anlamda çekme dayanımı artışı görülmüştür ancak A2 ve A3 kodlu numunelerinin çekme dayanımlarında artış görülmemiştir. Bu durumun kaynak işlemi sırasında kaynak nüfuziyetinin tam olarak sağlanmadığından dolayı gerçekleştiği düşünülmektedir.

- Çekme deneyi sonucunda, EM yüzde uzamalarının kaynak işlemi sonrası elde edilen yüzde uzamalardan yüksek olması sebebinin kaynak sonrasında KM sertliğinin EM sertliğinden yüksek olmasından kaynaklandığı sonucuna varılmıştır. Vickers sertlik deneyi sonuçları bunu desteklemiştir.
- Akım etkisi sebebi ile kaynak işlemi sırasında farklı ısı girdileri oluşmuştur. Bu yüzden birbirine yakın birbirinden farklı yüzde uzama verileri elde edilmiştir.
- Gerilim değeri arttıkça, ortalama çekme mukavemeti değeri ve kaynak dikiş genişliği artmış ancak kaynak dikiş yüksekliği azalmıştır.
- Yapılan incelemelerde, A2 ve A3 kodlu kaynak parametreleri haricinde kaynak parametrelerinin birbiri içerisinde uyumlu olması, kaynağın kalitesine, istenilen mekanik özelliklere sahip olmasına ve kaynak dikiş sürekliliğinde sorun görülmemesine katkı sağlamıştır.
- Çekme deneyi sonucu kopmalar A2 ve A3 kodlu parametrelerde KM' de gerçekleşirken diğer parametrelerde SPH270-C EM' de gerçekleşmiştir.
- Farklı malzemelerin kaynak işleminde ITAB ile KM çekme dayanımı mukavemetinin EM çekme dayanımı mukavemeti düşük olandan yüksek bulunması, çekme dayanımı düşük olan EM' de kopmanın meydana gelmesine sebep olduğu anlaşılmıştır.
- Sertlik deneyleri sonuçlarından numunelerin sertliğinin EM' den ITAB' a, ITAB' dan KM' e doğru arttığı görülmüştür.
- EM sertliğinin ITAB ve KM sertliğinden düşük olma sebebinin, kaynak sırasında ısı girdisi etkisiyle kaynak işlemi sonrasında soğuma hızlarındaki farklılıklardan kaynaklandığı sonucuna ulaşılmıştır.
- Sertlik işlemleri sonucunda birleşimlerin her iki tarafında KM ve ITAB sertliklerinin her iki EM' den daha yüksek olduğu görülmüştür.

KAYNAKÇA

- Adar, M.** (2019). Hardox-500 ile St-52 Çeliğinin Kaynak Edilebilirliğinin Mekanik Testler ve İstatistiksel Yöntemlerle Araştırılması. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Air Liquide.** (2024). *Gaz Bilgisi: Koruyucu Gazların Önemi*. [Erişim: 19.07.2024, <https://tr.airliquide.com/news/gaz-bilgisi-koruyucu-gazlarin-onemi>]
- Akın, A.** (2015). *Gazaltı Kaynak Parametrelerinin Kaynak Mukavemetine Etkilerinin araştırılması*. (Yüksek Lisans Tezi). Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Aliandi, F., Muchlis, A. & Suryady, S.** (2021). Manufacturing Process and Tonase Calculation on Bumper Rear Axle Bracket Rh. *International Journal of Science, Technology & Management*, 1070-1079.
- Anadolu Kaynak.** (2024). *Gazaltı ark kaynağı torç çeşitleri*. [Erişim: 01.04.2024, <http://www.anadolukaynak.com.tr/torc.html>].
- Anık, S., Anık, E. S. & Vural, M.** (1998). *Gazaltı Ark Kaynağı (TIG, MIG, MAG)*. Gedik Eğitim Vakfı, İstanbul.
- Anık, S.**, (1989). *Gazaltı Kaynağında Helyum mu, Argon mu?* Gedik Kaynak Dünyası.
- Anık, S.** (1991). “Yöntemler ve Donanımlar”, *Gedik Holding Yayınları*.
- Aslanlar, S.**, (2009). *Kaynak teknolojisi ve uygulamaları- elektrik ark kaynak ve gaz eritme kaynak teknolojisi, ders notu*, Sakarya Üniversitesi.
- Bilecik Üniversitesi,** (2024). *Makine Mühendisliği Laboratuvar Cihazları*. [Erişim Tarihi: 18.07.2024, <http://w3.bilecik.edu.tr/makine/arastirma/laboratuvarlarimiz/3-malzeme-test-laboratuvari/>]
- Candan, İ., Durgutlu A., Kahraman N. & Güleç, B.** (2006). *Farklı Pozisyonlarda MAG Kaynağı ile Birleştirilen Boruların Kaynak Dikişlerinin Ultrasonik ve Mekanik Muayenesi*. Gazi Üniversitesi Politeknik Dergisi, 9(3), 203-209
- Çetin, M.H., Korkmaz, Ş. & Elgaddafi.** (2008). *Östenitik Paslanmaz Çelik ile Düşük Karbonlu Çeliğin Kaynak Edilebilirliği Araştırılması ve Kaynak Parametrelerinin Optimizasyonu*. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 6, 1068-1081, Düzce.
- Çubuk, O.** (2022). *MIG-MAG Kaynağında Kutup Durumunun Kaynak Kabiliyetine Etkilerinin Araştırılması*. (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Davis, J.R.** (1983). *Metals Handbook Ninth Edition Volume 6 Welding, Brazing, and Soldering*,

- Demirci, D.** (2010). *Muhtelif Kaynak Yöntemlerinde Doğru Akımlı Kaynakta Kutuplamanın Kaynak Dikiş Formuna Etkilerinin Araştırılması*. (Yüksek Lisans Tezi), Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 33-35.
- Durmuşoğlu, Ş.** (2006). *Gazaltı Kaynağında Kaynak Kalitesine Tesir Eden Parametrelerin Mekanik Özelliklere Etkisi*. (Yüksek Lisans Tezi). Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Erkin M.** (2020). *DD11 ve DD13 Çeliklerinin Farklı Akım Türleri ile Kaynağında Isı Transferinin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analizi*. (Yüksek Lisans Tezi), Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce.
- Erol, R.** (2017). *Gaz Altı Ark Kaynağı Yönteminde Proses Parametrelerinin Yapıdaki Çarpılmaya Etkisinin İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilecik.
- Eryürek, B.** (2003) "Gazaltı Kaynağı", İstanbul.
- Eryürek, İ. B.** (2007). *Gazaltı Ark Kaynağı*, Kaynak Tekniği Sanayi ve Ticaret A.Ş., İstanbul, s. 1-3.
- Geçmen, İ.** (2006). *Çeliklere Gazaltı Kaynağının Uygulanması*. (Yüksek Lisans Tezi). Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Gedik Kaynak,** (2024). SG 2. [Erişim Tarihi: 16.07.2024, <https://gedik.com.tr/kaynak/kaynak-elektrotlari-telleri-ve-tozleri/gazalti-kaynak-telleri-ve-cubuklari/alasimsiz-gazalti-kaynak-telleri-ve-cubuklari/sg-2>]
- GeKaMac.** (2020). *Gazaltı Kaynak Makineleri Kullanım Kılavuzu*.
- Genç, S.** (2021). *Yapı Çeliğinden T Profili İmalatında MAG Kaynağında Distorsiyonun Sonlu Elemanlar Metoduyla Analizi*. (Yüksek Lisans Tezi). Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce.
- Güner, M.** (2007). *MAG Kaynağında Elektrod Tipinin (Çıplak Tel–Özlu Tel) Kaynak Dikişi Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Hitit.edu.tr.** (2024). *Faz Dönüşümleri*. [Erişim: 21.07.2024, <https://web.hitit.edu.tr/dosyalar/duyurular/yusufkanca@hititedutr211220180X7J9S0V.pdf>]
- Işık, A. O.** (2014). *MAG Kaynağında Özlu Tel Elektrod Tipinin Kaynak Dikişi Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Jeffus, J.** (2012). *Welding Principles and Applications*. Delmar Cengage Learning Newyork ABD 7.Baskı, 256.

- Kahraman, N. & Gülenç, B.** (2020). *Modern Kaynak Teknolojisi ve Kaynak İşlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği*, Epa-Mat Basım Yayın Ltd. Şti, Ankara, s. 102-142.
- Karadeniz, S.** (2009). *Amperden İnvertere Kaynak Makinaları*. Gedik Eğitim Vakfı Yayınları GEV Yayın No:5.
- Kasih, T. P., Kharisma, A. & Suryanto, A.** (2018). Optimization of Spot Welding Process Parameters on Dissimilar and Unequal Thickness of Metal Sheets By Using Taguchi Technique. *The 2nd International Conference on Eco Engineering Development 2018 (ICEED 2018)*, 1-6. DOI:10.1088/1755-1315/195/1/012036
- Kaya, M.B.** (2024). *MAG Kaynak Yöntemi ile Birleştirilen SPH440-OD Çeliğinin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Lisansüstü Enstitüsü, Bilecik.
- Kaya, Y.** (2018) S235JR ile S355JR Yapı Çeliklerinin Özlü Tel Elektrotla MAG Kaynak Yöntemiyle Birleştirilebilirliğinin Araştırılması, *Politeknik Dergisi*, 21(3), 597-602.
- Kılınçer, S. & Kahraman, N.** (2009). AISI 409 ve Ç1010 Çeliğin Östenitik Elektrod Kullanarak MIG Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmesi ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 24(1), 23-31.
- Knoch, R.** (1985). Schweisskennwerte für das MAG-Schweissen. *DVS-Berichte Band 91, DVS-Verlag,Düsseldorf*.
- Korkmaz, Ş., Çetin, M. H., Adar, M. & Orak, A.** (2020). Investigation of Tensile Strength and Hardness Behaviour of Hardox500 – St52 Specimen Joined by GMAW Method. *Konya Journal of Engineering Sciences*, 8(2), 300–317.
- Kuna, J.** (1990) *Effect of Shielding Gaz Mixture on The Impact Toughness Of Pulsed Arc Welding Joint* Int.J.For.Joining Of Materials Vol. 2, Poland.
- Nippon Steel Corp.** (2024). *Hot-Rolled Steel Sheets and Coils*. [Erişim: 17.06.2024, https://www.nipponsteel.com/product/catalog_download/pdf/U001en.pdf]
- Oğuz, B.** (1989). "Ark Kaynağı", 2. Baskı, *Oerlikon Yayını*, İstanbul.
- Okuroğulları, Y.** (2022). *Gazaltı Kaynağı ile Birleştirilen Farklı Özellikteki Çeliklerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Okuyan, A. A. & Uzun, H.** (2017). Boru ile Lamanın Robot Ark Kaynak Tekniğiyle Birleştirilmesinde Optimum Kaynak Parametrelerinin Belirlenmesi. *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 4(2), 297-307.

- Özkan, E.** (2019). *Kaynak Sonrası S355J2N Yapı Çeliğinde Oluşan Gerilmeleri Gidermek İçin Uygulanan Isıl İşlemin Etkilerinin Tahribatlı-Tahribatsız Muayene Yöntemleriyle Belirlenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Özturan, A. B.** (2022). *Hardox 450 ve S355J2C+N Çeliklerinin Gazaltı Ark Kaynak Yöntemiyle Birleştirilmesinin Mikroyapı ve Mekanik Özellikler Bakımından İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- Persson, K.A. & Stenbacka, N.** (1989). Shielding Gases for Gas Metal Arc Welding. *Welding Journal*, 41
- Sezgin, M.** (2019). *API Borularının Gazaltı Kaynak Yöntemiyle Kaynaklanabilirliği ve Mikroyapı-Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi), Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Suban M. & Tusek J.** (2001). *Dependence of Melting Rate in MIG/MAG Welding on the Type of Shielding Gas Used*, Journal of Materials Processing Technology, 119(2) 185-192
- Şık, A.** (2005). Yapı çeliğinin (St52-3) MIG/MAG kaynağında gaz karışımlarının çekme dayanımı özelliklerine etkisi,» *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*.
- Talkington, J.** (1998). *Variable Polarity Gas Metal Arc Welding*. Master Thesis, Ohio State University Science İnstitute, Ohio, 4-56
- Tekbaş, H. F.** (2022). *Otomotiv endüstrisinde kullanılan DD11 ve DD13 çelik levhaların robotik MAG kaynağında farklı kaynak parametrelerinin mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisi*. (Yüksek Lisans Tezi). Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Tülbentçi, K.** (1990). *MIG-MAG Eriyen Elektrod ile Gazaltı Kaynağı*, Gedik Eğitim Vakfı Kaynak Teknolojisi Eğitim Araştırma ve Muayene Enstitüsü, İstanbul, s. 1-27.
- Türk, M.** (2021). *S355J0 Çeliğinin MAG Yöntemiyle Birleştirilmesinde Koruyucu Gaz ve Kaynak Telinin Mukavemete, Dikiş Geometrisine Etkisi ve Mikroyapı Karakterizasyonu*. (Yüksek Lisans Tezi). Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Sakarya.
- Türkkan, G.** (2008). *Koruyucu Gaz Kaynağında (MIG/MAG) Gaz Debisinin Kaynak Nüfuziyeti ve Kaynak Hızına Etkisi*. (Yüksek Lisans Tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Ulewicz, R., Mazur, M. & Bokuvka, O.** (2013). Structure and mechanical properties of fine-grained steels. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, 41(2), 111–115. doi:10.3311/PPtr.7110
- Uzunali, U. Y.** (2015). *The Effects of Post Weld Heat Treatment on the Mechanical Properties of Tempered Martensite and High Strength Steel Welded Joints*. Karadeniz Technical

University The Graduate School of Natural and Applied Sciences Metallurgy and Materials Engineering.

Weman, K. & Linden, G. (2006). *MIG Welding Guide*, CRC Press, ABD, s. 3-29.

Y.Cheng, Yu, R., Zhou, Q., Chen, H., Yuan, W. & Zhang, Y. M. (2021). *Real-time sensing of gas metal arc welding process- A literature review and analysis*. Journal of Manufacturing Processes, 70(August), 452–469.

Yıldız, A. (2011). *Kaynaklı Parçaların Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analizi*. (Yüksek Lisans Tezi). Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.

Yürük, A., Bozkurt B. & Kahraman N. (2017). “S235JR karbon çeliği ile AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin MIG kaynak yöntemi ile kaynak edilebilirliğinin incelenmesi”, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 21(2),2017,90-97.