

T.C.

BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**MAG KAYNAK YÖNTEMİ İLE BİRLEŞTİRİLEN SPH440-OD ÇELİĞİNİN
MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MUSTAFA BAYRAM KAYA

TEZ DANIŞMANI

DOÇ. DR. MUHAMMED ELİTAŞ

BİLECİK, 2024

10640148

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

**MAG KAYNAK YÖNTEMİ İLE BİRLEŞTİRİLEN SPH440-OD ÇELİĞİNİN
MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MUSTAFA BAYRAM KAYA

TEZ DANIŞMANI
DOÇ. DR. MUHAMMED ELİTAŞ

BİLECİK, 2024

10640148

BEYAN

“ MAG Kaynak Yöntemi ile Birleştirilen SPH440-OD Çeliğinin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi ” adlı yüksek lisans tezinin 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 Edebali Üniversitesi 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 çalışmanın, 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	<input type="checkbox"/>	DESTEK ALINMAMIŞTIR	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:	/.....	

Mustafa Bayram KAYA

Tarih

İmza

ÖN SÖZ

Tez çalışmamın her aşamasının hazırlanmasında desteğini esirgemeyen ve yanımda olan danışmanım Sayın Doç. Dr. Muhammed ELİTAŞ'a,

Çelik malzemesinin temininde aracı olan Ahmet GÜVE'ye

Çalışmamın başlangıç aşamasında kaynak uygulama sahasının ayarlanmasında aracı olan Mehmet Zeki AKTAŞ'a

Kaynak deneyinin yapılması ve yürütülmesinde, ERÇAĞ VİNÇ firması çalışanlarına, amirlerine, ekipman ve uygulama yönünden tüm desteklerinden dolayı Sayın Bekir ÇAM'a,

Numune kesimleri öncesinde kesim uygulama sahasının ayarlanmasında aracı olan Serkan Emre GÜL'e ve numune kesimlerinde uygulama esnasında desteğinden dolayı Mustafa İŞLEYEN'e,

Çekme deneyi uygulamasında desteğinden dolayı Ünal ÇOLAK'a

Mikrosertlik deneyi uygulamasında desteklerinden dolayı Sayın Öğretim Görevlisi Sevinç KARAÇAM ve stajyer öğrenci arkadaşlara,

Hayatımın her aşamasında maddi ve manevi beni destekleyen aileme,

Teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Mustafa Bayram KAYA

2024

ÖZET

MAG KAYNAK YÖNTEMİ İLE BİRLEŞTİRİLEN SPH440-OD ÇELİĞİNİN MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Bu tez çalışmasında, SPH440-OD sıcak haddelenmiş otomotiv çeliğinin gazaltı ark yöntemlerinden biri olan Metal Aktif Gaz (MAG) kaynağı ile birleştirilmesiyle ortaya çıkan numunelerin mikroyapı ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Kaynak uygulamasında tel hızı, kaynak gerilimi değerleri değişken kaynak parametreleri olarak tercih edilmiş ve 9 farklı kombinasyonda kaynak işlemleri gerçekleştirilmiştir. Farklı kaynak parametrelerinde elde edilen kaynaklı plakalardan numuneler kesilerek, bu numuneler üzerinde optik mikroskopta Esas Metal (EM), Kaynak Metali (KM), Isı Tesiri Altındaki Bölge (ITAB) olmak üzere üç farklı bölgeden mikroyapı görüntüleri elde edilmiştir. Yapıların mekanik özellikleri, çekme deneyi ve Vickers mikrosertlik deneyi ile değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, farklı kaynak parametrelerinin çekme deneyi kapsamında yüzde uzama, çekme mukavemeti ve kaynak dikiş kalitesini etkilediği gözlemlenmiştir. 3C kodlu kaynaklı plakaya ait çekme numunesinde 6 m/dk tel hızı, 19 V kaynak gerilimi koşullarında 515,83 MPa ile en yüksek çekme gerilmesi değeri elde edilirken, en düşük çekme gerilmesi değeri 5,5 m/dk tel hızı, 19 V kaynak gerilimi koşullarında 487,83 MPa ile 2C kodlu kaynaklı plakaya ait çekme numunesinde gerçekleşmiştir. En yüksek yüzde uzama değeri %21,64 ile 5,5 m/dk tel hızı, 17 V kaynak gerilimi koşullarında 2B kodlu kaynaklı plakaya ait çekme numunesinde görüldü. En düşük uzama değerinin ise %17,85 ile 5,5 m/dk tel hızı, 15 V kaynak gerilimi koşullarında 2A kodlu kaynaklı plakaya ait çekme numunesinde gerçekleştiği görülmüştür. Genel anlamda tel hızının sabit tutulup, kaynak geriliminin kademeli olarak arttırılması, kaynaklı plakalar arasında kaynak dikişlerinin genişlemesini sağlamıştır. Numunelerde kopmanın genel olarak EM'de meydana geldiği görülmüştür. Metalografi deneylerinde, EM'ye göre ITAB'da tanelerin sıklaştığı ve büyüdüğü, KM'de ise kolonsal tane yapıları gözlemlenmiştir. Numunelerin sertliği EM'den ITAB'a, ITAB'dan KM'ye doğru artmıştır.

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

ABSTRACT

INVESTIGATION OF MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF SPH440-OD STEEL COMBINED WITH MAG WELDING METHOD

In this thesis study, the microstructure and mechanical properties of the formations resulting from the joining of SPH440-OD hot rolled automotive steel with Metal Activated Gas (MAG) welding, one of the gas arc methods, were examined. In the welding application, wire speed and welding voltage values were preferred as variable welding parameters and welding processes were carried out in 9 different combinations. Then, samples were cut from the welded plates obtained from different welding parameters, and microstructure images were obtained on these samples under an optical microscope on three different regions: the Base Metal (BM), the Weld Metal (WM), and the Heat Affected Zone (HAZ). In order to examine the mechanical properties of the structures, tensile tests and Vickers microhardness tests were applied. As a result, it was observed that the different preferred welding parameters affected the percent elongation and tensile strength within the scope of the tensile test, and also affected the quality of the weld seam. In the tensile sample of the 3C coded welded plate, the highest tensile stress value was obtained with 515.83 MPa under 6 m/min wire speed and 19 V welding voltage conditions. The lowest tensile stress value was realized in the tensile sample of 2C coded welded plate with 487.83 MPa under 5.5 m/min wire speed and 19 V welding voltage conditions. The highest percentage elongation value, 21.64%, was seen in the tensile sample of the 2B coded welded plate under 5.5 m/min wire speed and 17 V welding voltage conditions. It was observed that the lowest elongation value, 17.85%, occurred in the tensile sample of the 2A coded welded plate under 5.5 m/min wire speed and 15 V welding voltage conditions. In general, keeping the wire speed constant and gradually increasing the welding voltage enabled the weld seams to widen. It was observed that the fracture in the samples generally occurred in the BM. In metallography experiments, it was observed that the grains in the HAZ became denser and larger compared to the BM, and columnar grain structures were observed in the WM. The hardness of the samples increased from the BM to the HAZ and from the HAZ to the WM.

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

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖN SÖZ.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
TABLolar LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
GRAFİKLER LİSTESİ.....	ix
KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	2
3. MIG/MAG GAZALTI ARK KAYNAĞI.....	7
3.1. MIG/MAG Kaynağı.....	7
3.2. MIG/MAG Kaynağı Arasındaki Fark.....	7
3.3. MIG/MAG Kaynağının Kullanımı ve Uygulama Alanları.....	8
3.4. MIG/MAG Kaynak Yöntemi Donanımları.....	8
3.4.1. Kaynak Torcu ve Kablo Donanımı.....	9
3.4.2. MIG/MAG Güç Hattı Kaynağı ve Akım Üreteçleri.....	10
3.4.3. Tel Elektrod Besleme Ünitesi (Tel Sürme Tertibatı).....	12
3.4.4. Koruyucu Gaz Donanımı.....	14
3.4.4.1. CO ₂ Gazı.....	15
3.4.4.2. Ar Gazı.....	15
3.4.4.3. He Gazı.....	16
3.4.4.4. O ₂ Gazı.....	16
3.4.4.5. H ₂ Gazı.....	17

3.4.4.6. N ₂ Gazı	17
3.4.4.7. Karışım Koruyucu Gazlar	17
3.5. MIG/MAG Tel Elektrod Türleri	20
3.6. MIG/MAG Kaynağında Kaynağı Etkileyen Parametreler.....	21
3.7. MIG/MAG Kaynağı Avantaj ve Dezavantajları.....	25
3.7.1. Avantajları	25
3.7.2. Dezavantajları.....	26
4. MATERYAL VE YÖNTEM.....	27
4.1. SPH440-OD Çeliği ve Kaynak İşlemleri.....	27
4.2. Çekme Deneyi Uygulamaları	35
4.3. Metalografi Deneyi	37
4.4. Vickers Mikrosertlik Deneyi Uygulamaları	39
5. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	42
5.1. Çekme Deneyi Sonuçları ve Kaynak Dikişi İncelemesi.....	42
5.2. Metalografi Deneyi Sonuçları	51
5.3. Vickers Mikrosertlik Deneyi Sonuçları	53
6. GENEL SONUÇLAR	59
KAYNAKÇA	61

TABLULAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 3.1. MIG/MAG/ karışım koruyucu gaz türleri/bileşimleri ve kullanım yerleri	19
Tablo 3.2. MIG/MAG kaynağı parametrelerinin kaynak dikişi üzerindeki etkileri	23
Tablo 4.1. SPH440-OD çeliğine ait kimyasal bileşimler (%)	27
Tablo 4.2. SPH440-OD çeliği mekanik özellikleri.....	28
Tablo 4.3. 9 farklı kombinasyonda ayarlanmış değişken kaynak parametre değerleri	29
Tablo 4.4. SG 2 kaynak teli kimyasal bileşimler (%) ve mekanik özellikleri	30
Tablo 4.5. Magmaweld MG 2 1,2 mm çaplı kaynak telinin kimyasal ve mekanik özellikleri (tipik).....	30
Tablo 5.1. Numunelere uygulanan çekme deneyleri sonucu elde edilen maksimum çekme gerilmesi ve yüzde uzama verileri (tel hızı sabit, kaynak gerilimi kademeli arttırılmış).....	42
Tablo 5.2. Numunelere uygulanan çekme deneyleri sonucu elde edilen maksimum çekme gerilmesi ve yüzde uzama verileri (kaynak gerilimi sabit, tel hızı kademeli arttırılmış).....	43
Tablo 5.3. Tüm numunelere ait bölge bazlı ortalama sertlik analizi sonuçları.....	57

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 3.1. MIG/MAG kaynak yöntemi prensibi şematik görüntüsü	7
Şekil 3.2. MIG/MAG kaynak donanımı şematik gösterimi	8
Şekil 3.3. MIG/MAG standart gaz soğutmalı kaynak torcu şematik görüntüsü	10
Şekil 3.4. Kaynak ark uzunluğunun ayarlanması ve kaynak ark boyunun akım ve gerilim ile ilişkisi	11
Şekil 3.5. Tel besleme ünitesi/ ter sürme tertibatında kullanılan farklı makara örnekleri	12
Şekil 3.6. Tel sürme tertibatı şematik görüntüsü (iki makaralı).....	13
Şekil 3.7. Tel elektrod besleme ünitesi bölümleri.....	13
Şekil 3.8. İki ve dört makaralı tel elektrod besleme ünitesi şematik görünümleri.....	14
Şekil 3.9. Kaynak hızı-tel elektrod kaynak banyosu pozisyonuna göre nüfuziyet ilişkisi.....	22
Şekil 3.10. MIG/MAG kaynağı uygulaması serbest tel uzunluğu, nozul mesafesi vb. şematik gösterimi.....	25
Şekil 4.1. Giyotin kesme makinesi plaka ölçüsü ayarlama ve kesim işlemi.....	28
Şekil 4.2. Kaynak işleminde kullanılan kaynak makinesi ve donanımları	31
Şekil 4.3. MAG kaynağı işlemi uygulama anı	31
Şekil 4.4. Kaynak masasına puntalanmış, kaynak ağzı açılmış sac plaka malzemenin kaynak işlemi öncesi görüntüsü.....	32
Şekil 4.5. Kaynaklanmış plaka görüntüsü ve kaynak dikişi	32
Şekil 4.6. Kaynaklanmış bir plakaya ait cetveli yan görüntü (300 mm).....	32
Şekil 4.7. Kaynaklanmış bir plakaya ait cetveli dik görüntü (150 mm)	33
Şekil 4.8. Tel erozyon kesim makinesi	34
Şekil 4.9. Tel erozyon numune kesim işlemi	34
Şekil 4.10. Tel erozyon işlemi kesim ekranı	35
Şekil 4.11. Çekme deneyi numunesi ölçüleri.....	35
Şekil 4.12. Çekme deneyi numunesine ait cetveli yan görsel (150 mm)	36

Şekil 4.13. Çekme deneyi numunesine ait cetvelli dik görsel (37 mm).....	36
Şekil 4.14. Çekme cihazı ve deney uygulama anı, kopma görüntüsü.....	37
Şekil 4.15. Metkon Forcipol 2V marka zımparlama-parlatma cihazı.....	38
Şekil 4.16. 2B numunesi zımparalama işlemi görüntüsü.....	38
Şekil 4.17. Nikon Eclipse LV150 optik mikroskop cihazı	39
Şekil 4.18. Emcotest Duroscan sertlik ölçme cihazı.....	40
Şekil 4.19. Numune yüzeyine iz oluşturma ve 20x odaklama ile iz görüntüsü alma anı	40
Şekil 4.20. Mikroyapı numunesi dışındaki bir numuneye ait iz görüntüsü ve HV 0,5 yük altındaki sertlik değeri.....	41
Şekil 4.21. Mikroyapı numunesine ait iz görüntüsü ve HV 0,5 yük altındaki sertlik değeri... ..	41
Şekil 5.1. 1A, 1B ve 1C plakalarına ait kaynak dikiş görünümleri (sırasıyla).....	45
Şekil 5.2. 2A, 2B ve 2C plakalarına ait kaynak dikiş görünümleri (sırasıyla).....	45
Şekil 5.3. 3A, 3B ve 3C plakalarına ait kaynak dikiş görünümleri (sırasıyla).....	46
Şekil 5.4. 1A ve 2A çekme numunelerinde çekme deneyi sonucundaki kopma bölgeleri	47
Şekil 5.5. 1C ve 2C çekme numunelerinde çekme deneyi sonucundaki kopma bölgeleri	48
Şekil 5.6. 2B çekme numunelerinde çekme deneyi sonucundaki kopma bölgeleri.....	48
Şekil 5.7. 3A, 3B, 3C, 1B çekme numunelerinde çekme deneyi sonucu kopma bölgeleri.....	49
Şekil 5.8. EM mikroyapısında fazların görüntüsü	51
Şekil 5.9. ITAB mikroyapısında fazların görüntüsü	51
Şekil 5.10. KM mikroyapısında fazların görüntüsü.....	52
Şekil 5.11. EM, ITAB ve KM bölgelerinin şematik tane yapılarının görünümleri	53

GRAFİKLER LİSTESİ

	Sayfa
Grafik 5.1. 1A numunesine ait Vickers sertlik analizi sonuçları	54
Grafik 5.2. 1B numunesine ait Vickers sertlik analizi sonuçları.....	54
Grafik 5.3. 1C numunesine ait Vickers sertlik analizi sonuçları.....	54
Grafik 5.4. 2A numunesine ait Vickers sertlik analizi sonuçları	55
Grafik 5.5. 2B numunesine ait Vickers sertlik analizi sonuçları.....	55
Grafik 5.6. 2C numunesine ait Vickers sertlik analizi sonuçları.....	55
Grafik 5.7. 3A numunesine ait Vickers sertlik analizi sonuçları	56
Grafik 5.8. 3B numunesine ait Vickers sertlik analizi sonuçları.....	56
Grafik 5.9. 3C numunesine ait Vickers sertlik analizi sonuçları.....	56
Grafik 5.10. Tüm numunelere ait Vickers sertlik analizi sonuçları ve şematik kaynak dikişi üzerindeki bölge bazlı sertlik noktaları	57

KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ

%: Yüzde

°: Derece

α : Ferrit Fazı

μm : Mikrometre

°C: Celcius (Santigrat Derece)

A: Amper

Al: Alüminyum

Ar: Argon

C: Karbon

Cu: Bakır

CO: Karbonmonoksit

CO₂: Karbondioksit Gazı

cm: Santimetre

dk: Dakika

EM: Esas Metal

Fe: Demir

Fe₃C: Sementit Fazı

H: Hidrojen

H₂: Hidrojen Gazı

He: Helyum

HV: Vickers Sertliği

ISO: Uluslararası Standartlar Teşkilatı

ITAB: Isı Tesiri Altındaki Bölge

JIS: Japon Endüstri Standartları

kg: Kilogram

KM: Kaynak Metali

kN: Kilonewton

m: Metre

mm: Milimetre

MAG: Metal Aktif Gaz

MIG: Metal Inert Gaz

Mn: Mangan

MPa: Megapaskal

N: Newton

N₂: Azot Gazı

Ni: Nikel

O: Oksijen

O₂: Oksijen Gazı

P: Fosfor

R: Radius

S: Kükürt

Si: Silisyum

sn: Saniye

Ti: Titanyum

t: Kalınlık

V: Gerilim

Zr: Zirkonyum

1. GİRİŞ

SPH440-OD çeliği sıcak haddeleme yöntemiyle üretilen otomotiv sektöründe yapısal çelik sınıfında yer alan rulo sac çeliğidir. Toyota çeliği olarak kodlandırması TSG3100G olarak tanımlanan bir çelik türüdür (MST Steel Corp, 2024). Bu çeliğin standart gösterimine bakıldığında çeşitli kaynaklar incelendiğinde JIS G3113 standardına uygun özellikte çelik türü olduğu görülmüştür. JIS ifadesi Japon Endüstri Standartları olarak açıklanmaktadır (Aliandi vd., 2021: 1971). Bu çelik türü çarpışma sonucu aşırı yük altında bozulmama özelliği olan bir çeliktir aynı zamanda SAPH olarak da tanımlanır (BBN Steel Co., Ltd, 2024). Ayrıca bu çeliğin uygulama alanları incelendiğinde otomotiv sektöründe levha ve şerit uygulamaları sınıfında olduğu, mukavemet ve preslenebilme özelliğinin iyi olması sebebiyle tekerlek ve otomobil şasisinde vb. kullanıma sahip olduğu bilinmektedir (JFE Steel Corp, 2024).

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde SPH440-OD ile ilgili yapılan kaynak işlemlerinden robot ark kaynağı (Okuyan ve Uzun, 2017: 299) ve punta kaynağı (Kasih vd., 2018: 3) çalışmalarına rastlanmıştır. Temin edilen bu çeliğin ise yapısal çelik olması sebebiyle MAG kaynağı ile kaynak işleminde uyumlu olabileceği düşünüldüğünden robot ark kaynağı ve punta kaynağından farklı olarak MAG gazaltı ark kaynağı türünde çift V tipi 45° kaynak ağızı açılarak alın tipi kaynak işlemleri gerçekleştirilmiştir. Kaynak işlemleri, tel hızı ve kaynak gerilim parametreleri değiştirilerek 9 farklı kombinasyonda uygulanmıştır.

Bu tez çalışmasıyla hedeflenen amaç, belirlenen ideal kaynak parametrelerinin kaynak işlemleri sonrasında EM, ITAB, KM bölgelerine etkisinin mekanik ve mikroyapısal özellikler kapsamında incelenmesidir. Mekanik özelliklerin incelenmesi için çekme ve Vickers mikrosertlik deneyleri uygulanmış, mikroyapı incelemeleri ise optik mikroskopta yapılmıştır. Sıcak haddelenmiş yapısal otomotiv çeliği olarak tanımlanan SPH440-OD çeliği ile yapılan bu deneysel çalışmanın MAG gazaltı ark kaynağı uygulamalarına katkı sunacağı aynı zamanda literatüre de fayda sağlayacağı düşünülmektedir. Bu tez çalışmasında, 2.bölümde, SPH440-OD ile ilgili çalışmaların yanı sıra, yapı çelikleri temelinde (Metal Inert Gaz (MIG) ve MAG) gazaltı ark kaynağı ile ilgili çalışmalara literatür incelemeleri kapsamında değinilmiştir. 3.bölümde, MIG/MAG gazaltı ark kaynağı yöntemi hakkında genel bilgiler verilmiştir. 4.bölümde, MAG kaynağı uygulaması ve bu çalışmadaki deneysel süreçlere detaylı şekilde değinilmiştir. 5.bölümde, belirlenen ideal kaynak parametre değişkenlerinin deneysel uygulamalara etkisi ve elde edilen deneysel sonuçlar tartışılmıştır. 6.bölümde ise, tez çalışmasından elde edilen genel sonuçlar maddeler halinde sıralanmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Eleman (2022), Uluslararası Standartlar Teşkilatı (ISO), 15614-1'e göre 150 mm genişlik 350 mm uzunlukta ayarlamış olduğu S355J2+N yapı çeliklerine (6 ve 11 mm iki farklı kalınlıkta) yeni nesil ve geleneksel MIG/MAG kaynak makineleri ile alın ve köşe tiplerinde kaynaklı birleştirme işlemi uygulamıştır. Tüm kaynak makinelerinde benzer değişkenler kullanmış sadece makine teknolojileri farklılık göstermiştir. (EN) English, 14175'e göre koruyucu gaz bileşenini %82 argon (Ar) + %18 karbondioksit (CO₂) olarak seçmiştir. SG 2 kaynak elektrodu kullanmıştır. Kaynak dikiş alanlarında makro inceleme ve karşılaştırmalı olmak üzere mekanik özellik incelemeleri (çekme, eğme, sertlik, çentik darbe) gerçekleştirmiştir. Gözle incelemede büyüteç kullanımı ile kaynak süreksizliklerini de incelemiştir. Sertlik incelemesinde EM, ITAB, KM bölgelerini teste tabi tutmuştur. Sonuç olarak, nüfuziyet bakımından yeni nesil kaynak makinelerinin daha iyi performans sergilediğini belirlemiştir. Kaynak hatalarında ise krater çatlağı, sıçrama gibi kaynak kusurlarının önlenmesi açısından geleneksel tip kaynak makinelerinin birleştirme işlemlerine göre yeni nesil kaynak makinesinin kullanımının uygun çözüm olduğunu gözlemlemiştir. Yaptığı deneysel sonuçlarda ise çekme deneyinde yeni nesil kaynak makinelerinde kopma EM'de olurken, geleneksel makinelerde KM'de gerçekleşmiştir. Eğme deneyinde ise yeni tip kaynak makinesinde olumsuzluk oluşmazken, geleneksel kaynak makinesinde ise parçalarda kırılmalar olduğunu gözlemlemiştir. Sertlik deneyi sonucunda hem yeni nesil hem de geleneksel kaynak makinelerinden çıkan numunelerde kaynaklı birleştirme bölgelerinin sertliğinin en fazla olduğunu gözlemlemiş daha sonrasında ise ITAB ve EM yapısının sırasıyla en sert bölgeler olduğunu belirtmiştir.

Erol (2017), çalışmasında gazaltı ark kaynak yöntemini kullanarak St37-St37 ile Ck45-Ck45 malzemelerini iki farklı kalınlık, ilerleme hızı ve malzeme kullanarak alın ve köşe tipi robotik kaynaklı birleştirme işlemleri uygulamıştır. Kaynak işleminde elektrod malzemesi olarak 1,2 mm çapında MSG-3-GF elektrodunu ve birleştirmede ise karışım koruyucu gaz kullanmıştır. Kaynak işlemi sonrası kaynaklı plakalarda oluşan çarpılmaları derinlik ölçme komparatörü ve açıölçer ölçüm aletleriyle ölçerek incelemelerde bulunmuştur. Çalışmasında kaynak öncesi Simufact Welding programıyla sonlu elemanlar analizi gerçekleştirmiş ve çarpılma oranlarını gazaltı ark kaynağı temelinde incelemiştir. Sonuç olarak, bu inceleme işlemleri iki farklı süreçten oluştuğundan dolayı deneysel uygulama sonucu St37-St37 malzemelerindeki çarpılma oranının Ck45-Ck45'e göre daha fazla çıktığını belirtmiştir.

Malzeme kalınlığının artmasının çarpılma oranını azalttığını buna ek olarak ilerleme hızının artmasının ise sıcaklığı düşürdüğünü ve çarpılma oranını arttırdığını ifade etmiştir. İkinci süreçte simülasyon programı ile sonlu elemanlar analizi uygulayarak, deneysel sonuçlarla karşılaştırma yaptığında birbirine yakın verilere ulaşmıştır.

Gür (2022), çalışmasında ayarlamış olduğu 10 mm kalınlığındaki Strenx 700 MC yapı çeliğinin kaynak ısı girdisini hesapladıktan sonra %92 Ar + %8 CO₂ koruyucu gazı altında kaynak işlemi öncesi kaynak ısı girdisini hesaplayarak en uygun kaynak parametrelerini belirlemiş ve MIG kaynağı ile alın ve köşe türünde birleştirme uygulamaları gerçekleştirmiştir. Tel elektrod türü olarak ER110SG kullanmıştır. Kaynak işlemleri sonrasında kaynak hatalarını incelemiştir. KM ve ITAB'dan numuneler ayarlamış ve mikroyapı, makro yapı deneysel incelemelerinin yanı sıra, mekanik özelliklerin incelenmesi kapsamında deneysel uygulamalar gerçekleştirmiştir. Mekanik özellikler kapsamında Vickers sertlik deneyine ek olarak kırma, eğme, charpy çentik darbe ve enine çekme deneylerini çalışmasında uygulamıştır. Sonuç olarak, kaynak işlemi sonrasında en az sertliğin ITAB'da olduğunu gözlemlemiş aynı zamanda bu bölgede en fazla darbe sönümlenme enerji değerini elde etmiştir. Ayrıca mikroyapı incelemelerinde ani soğumanın tane yapısında küçülmeye yol açtığını ve mukavemetin de yükseldiğini belirtmiştir.

Işık (2014), çalışmasında 155x500x25 mm boyutlarında St 52 yapı çeliğini V tipi 30° kaynak ağızı açarak 1,2 mm çaplı rutil ve bazik türde özlü tel elektrodlar kullanarak rutilde (230 Amper (A) ve 27 V kaynak gerilimde), bazikte (250 A ve 27 V kaynak gerilimde), %100 CO₂ koruyucu gazı şartlarında MAG kaynağı ile alın birleştirme işlemi uygulamıştır. Özlü tel elektrod türünün kaynak dikişine etkisini incelemiş ve kaynak dikişinin mekanik özelliklerini inceleme kapsamında çekme, eğme, sertlik ve çentik darbe deneylerini kaynaklı deney numunelerine uygulamıştır. Deneyler sonucunda, çekme deneyinde numunelerde kopmanın EM'de gerçekleştiğini tespit etmiştir. Yüksek ısı girdisinden dolayı bazik tel elektrodlarda yapılan kaynak işlemindeki numunelerin maksimum çekme mukavemeti ile EM'nin çekme mukavemetinin yaklaşık olarak denk geldiğini, rutil özlü tel elektrodla yapılan kaynak işlemindeki numunelerin çekme dayanımının ise EM'den yaklaşık %2 yüksek geldiğini belirtmiştir. Brinell sertlik deneyi sonucunda, ITAB ile kaynak dikişi sınırında sertliğin en yüksek değerde geldiğini EM'ye doğru numunelerde sertliğin düştüğünü gözlemlemiştir. Kaynak bölgesinde ise bazik tel elektrodlu kaynaklı numunelerin, rutil olanlara göre yaklaşık olarak %10 daha fazla sertlik değeri gösterdiğini belirtmiştir.

Kasih vd. (2018), çalışmalarında SPC440 0,9 mm sac ile SPH440 2,9 mm kalınlığındaki sacları punta kaynağı ile birleştirmişlerdir. Sac boyutu olarak 110x20 mm boy ve genişlik ölçülerini tercih etmişlerdir. Sonuç olarak, kaynak işleminde en uygun kaynak parametre değerlerini (kaynak akımı, kaynak süresi, elektrod kuvveti) Taguchi metodunu kullanarak optimize etmişlerdir ve hesaplamalara göre en uygun şartlarda kaynak işlemini gerçekleştirmişlerdir.

Kaya (2018), çalışmasında S235JR ve S335JR yapı çeliklerinin 3'lü birleşimini MAG kaynak tipi ile kalıcı birleştirme işlemine tabi tutmuştur. EM, KM ve ITAB'da mikroyapı ve mikrosertlik deneyleri uygulamış 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 yapısında sünek kopma oluşumu gözlemlemiştir. Eğme işlemi sonucunda ise kullandığı çelik malzemelerin 180° şekil alabildiğinden dolayı kaynaklı birleşimlerde herhangi bir sorun (kopma, çatlak vb.) tespit etmemiştir. Kaynaklı birleşimlerin sertlik işleminden sonra EM yapısından ITAB'a ve KM'ye doğru sırasıyla sertliğin artış gösterdiğini belirtmiştir. Bu durumun ise soğuma hızının, kaynağın nüfuz ettiği veya etmediği bölgelere göre değişkenlik göstermesinden dolayı oluştuğunu ifade etmiştir. Mikroyapı incelemesinde ise çelik yapıların ferrit (α) ve perlit ikili faz yapısından oluştuğunu ve bunu literatürde bulunan deneysel bir çalışma ile desteklendiğini belirtmiştir. 3'lü birleşimlerin tamamında EM'den kaynak yapılan yüzeye doğru inceleme yapıldığında tanelerin belirginleştiği ve büyüdüğünü ifade etmiştir.

Okuroğulları (2022), çalışmasında MAG robotik gazaltı kaynağını kullanarak St52 ve S460mc çeliklerinin belirli uygun matematiksel koşullar altında kaynak deneylerini yapmıştır ve bu çeliklere mekanik testler uygulamış ve çıkan sonuçları karşılaştırmalı olarak değerlendirmiştir. Sonuç olarak, kaynaklı yapılarda çekme dayanımına bakılırken kaynak ilerleme hızı, tel sürme hızı ve ark boyu özelliklerinin çalışması içerisinde belirlenen optimum oranlarda belirlenmesi gerektiğini, altındaki ve üstündeki değerlerin çekme dayanımını düşürerek kaynaklı yapılarda uygun koşulların sağlanamayacağını belirtmiştir.

Okuyan ve Uzun (2017), çalışmalarında SPH440 çelik lama ile STKM800 boru profilini kaynak akımı, kaynak hızı, kaynak gerilimi, torç açısı, odak noktası, ilerleme açısı gibi koşulların en uygun şekilde ayarlanması ve en uygun kaynak nüfuziyetinin sağlanması için kaynak akımı, kaynak hızı ve kaynak gerilimi değerlerini farklı kombinasyonlarda

ayarlamışlardır. Robot ark kaynak işlemini en uygun koşulları belirlemek amacıyla birleştirme işlemi olarak kullanmışlar ve sonuç olarak en iyi nüfuziyetin sağlandığı akım, hız ve gerilim değerlerini bulmuşlardır.

Özturan (2022), çalışmasında Hardox 450 çeliği le S355J2C+N çeliğine uygun kaynak parametre değerlerinde %82 Ar + %18 CO₂ koruyucu gaz kullanımı ile gazaltı ark kaynağı işlemi gerçekleştirmiştir. Birleşim sonucu tel erozyon kesim tekniği ile elde ettiği numuneler üzerinde mekanik ve mikroyapı özelliklerinin incelenebilmesi amacıyla çekme, mikroyapı ve Vickers sertlik deneyi başta olmak üzere ek olarak aşınma, darbe, eğme deney uygulamaları da gerçekleştirmiştir. Sonuç olarak, kaynak işlemi bu iki çelik arasında sağlıklı bir şekilde yapılabilmiştir. Deneyler kapsamında çekme deneyinde enine kaynak işlemi uygulanan numunelerde kopma durumu S355J2C+N çeliğine ait EM'de gerçekleştiğini gözlemlemiştir ayrıca kaynaklı bölgede sertlik deneyi incelemesinde Hardox 450 çeliğinden S355J2C+N çeliğine doğru sertlik değerinde düşüş olduğunu gözlemlemiştir. Mikroyapı deneyi sonucunda ise Hardox 450 çeliği yapısında ITAB'da iğnemsiz taneler gözlemlemiş ek olarak S355J2C+N çeliği yapısında ITAB'da karmaşık tane görünümü, kaynaklı birleşimin merkezinde ise heterojen faz tane yapıları olduğunu ifade etmiştir.

Şık (2007), yaptığı deneysel çalışmada 4 mm kalınlığında S355J2G3 yapı çeliğini kullanarak sırasıyla %80-%18-%2, %88-%10-%2, %93-%5-%2 oranlarında üç farklı karışım koruyucu gaza (Ar, CO₂, oksijen gazı (O₂)) MIG/MAG kaynağıyla birleştirme işlemleri uygulamıştır. Kaynak işlemlerinde 1 mm çapında SG 2 tel elektrodu kullanmıştır. Numunelerin mikroyapı ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Mekanik özelliklerin değerlendirilmesi amacıyla eğmeli yorulma ve sertlik deneyleri uygulamıştır. Sonuç olarak, en uygun koruyucu gaz karışımının %88 Ar + %10 CO₂ + %2 O₂ ile en iyi mekanik özellikleri veren karışım koruyucu gaz türü olduğunu tespit etmiştir.

Türk (2021), çalışmasında kaynak işlemi öncesinde sementasyon ısıl işlemiyle bir tarafı yüzey sertleştirme işlemine tabi tutulan S355J0 yapı çeliği (12 mm) ile yüzeyi sertleştirme işlemi uygulanmayan S355J0 (10 mm) çeliğine farklı türde koruyucu gazlar ve farklı türlerde tel elektrodlar kullanarak MAG bindirme tipi kaynak işlemi uygulamıştır. Koruyucu gazların ve elektrodların kaynak nüfuziyetini nasıl değiştirdiğini deneysel olarak incelemiştir. Kaynaklanmış numuneleri, tahribatlı ve tahribatsız deneysel uygulamalarda kullanmıştır ve mikroyapı ve sertlik deneyleri gerçekleştirmiştir. Mikroyapı incelemesinde, CO₂ oranında artışın kaynak dikişinin nüfuziyetini arttırdığını tespit etmiştir. Sertlik deneyi

sonucunda, elik malzeme üzerinde yüzey sertleştirme işlemi uygulanan yerin en sert değeri verdiği bu sertlik değerini sırasıyla ITAB, KM ve 10 mm kalınlığa sahip olan yüzey sertleştirme işlemi uygulanmamış S355J0 eliğinin yüzeyinin takip ettiğini belirtmiştir.

3. MIG/MAG GAZALTI ARK KAYNAĞI

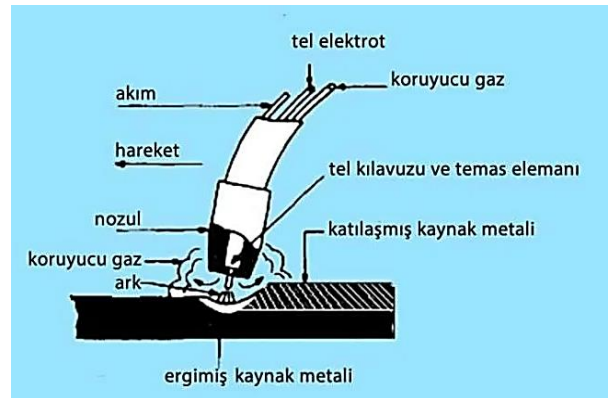
3.1. MIG/MAG Kaynağı

MIG/MAG kaynağının çalışma prensibi, MIG/MAG kaynak donanımlarından biri olan kaynak torcu tarafından beslenen metal tel elektrodun, oluşan kaynak arkı içerisinde ergimesi/erimesi mantığına dayanmaktadır (Weman ve Linden, 2006: 3). Kaynak işleminde ihtiyaç duyulan ısı, devamlı beslenen ve ergiyen elektrod ile, kaynaklanacak malzeme arasında ortaya çıkan kaynak arkıyla, aynı zamanda tel elektrodun geçen akımın direnç oluşturması ve bu ilişkilerin ısınmayla gerçekleşmesi ile ortaya çıkmaktadır. Bu kaynak yönteminde, kaynağın havadaki olumsuz etkilere maruz kalmasını engellemek amacıyla bölgeye gaz memesi tarafından uygun bir gaz veya gaz karışımı verilerek koruma sağlanmaktadır (Eryürek, 2007: 1).

3.2. MIG/MAG Kaynağı Arasındaki Fark

Bu kaynak türlerinde kullanılan kaynak ekipmanları benzerlik gösterse de ikisi arasında kullanılan koruyucu gazın farklı olması sebebiyle isim olarak birbirinden ayrılmışlardır. MIG kaynağı inert koruyucu gaz içeren yani asal olan bir gaz içeren kaynak türü iken, MAG kaynağında aktif gaz kullanılmaktadır. Ekipmanları aynı olsa bile CO₂ koruyucu gaz içeren kaynak türünde, koruyucu gaz tüpü dışında ısıtıcı yer almaktadır (Buğra Kaynak Makinaları, 2024). MIG kaynağında, Inert gazlar Ar, Helyum (He) ya da Ar ile He karışımı soygazlar ile kaynak işlemi yapılması anlamına gelirken, MAG ise CO₂ içeren aktif koruyucu gaz ile kaynak işlemi ifade etmektedir (Weman ve Linden, 2006: 3).

Şekil 3.1’de MIG/MAG gazaltı ark kaynak yöntemi prensibi gösterilmiştir.



Şekil 3.1. MIG/MAG kaynak yöntemi prensibi şematik görüntüsü

Kaynak: (Makine Eğitimi, 2024)

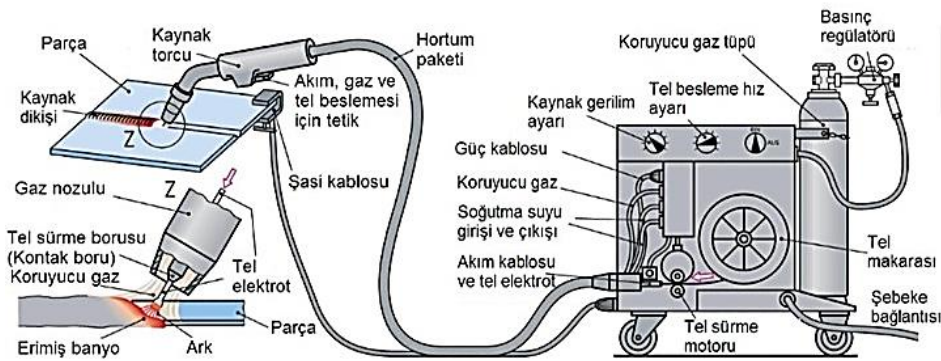
3.3. MIG/MAG Kaynağının Kullanımı ve Uygulama Alanları

Kaynak türleri incelendiğinde MIG/MAG kaynağı geniş alanda kullanıma sahiptir. Bu kaynak yöntemi çok çeşitli alanda/ sektörde kalıcı birleştirme yöntemi olarak tercih edilebilir. Örnek olarak, gemi yapımı sektöründe, metal işleme yapılan sektörlerde, çelik ve konteyner imalatının olduğu sektörlerde, otomotiv sektöründe vb. uygulama alanına sahiptir. Geniş bir alanda uygulama alanına sahip olması, farklı kalınlık ve boyutlara sahip olan farklı türlerde parçaların/malzemelerin birleştirilmesine olanak sağlayabilmesidir (Eurobotik, 2024).

Ayrıca farklı malzeme türlerinin birleştirilmesine olanak sağlaması sebebiyle demir (Fe) içeren veya Fe dışı metallerin, alaşım malzemelerin kaynak uygulamalarında da kullanılmaktadır. Kaynakçı için kullanımının kolay olması yaygın uygulama alanına sahip olmasına sebeptir detaylı olarak açıklamak gerekirse elle, yarı otomatik işlemlerde uygun kaynak parametrelerinin (kaynak hızı, sağ-sol kaynak yönü seçimi, torcun ayarlanması vb.) kaynakçı tarafından belirlenmesinin ardından, kaynak işlemi esnasında kaynak ark boyutu, akım şiddeti (tel ilerleme hızı/tel elektrod besleme hızı) makine tarafından belli bir değerde tutulur. Kaynakçı, kaynak işleminde topraklama kablosu aparatını kaynatılacak parçaya sabitledikten sonra torcun ucundaki tel elektrodu birleştirme yapılacak alana dokundurması ile arkın oluşmasını sağlayabilirse kaynak işlemi gerçekleşecektir (Kahraman ve Gülenç, 2020: 102; Eryürek, 2007: 3). Yukarıdaki bilgiler ışığında bu kaynak yönteminin kullanım kolaylığı geniş bir alanda uygulama imkânı almasını sağlamıştır.

3.4. MIG/MAG Kaynak Yöntemi Donanımları

Şekil 3.2’de MIG/MAG kaynak donanımına ait şematik görsel gösterilmektedir.



Şekil 3.2. MIG/MAG kaynak donanımı şematik gösterimi

Kaynak: (SlidePlayer, 2024)

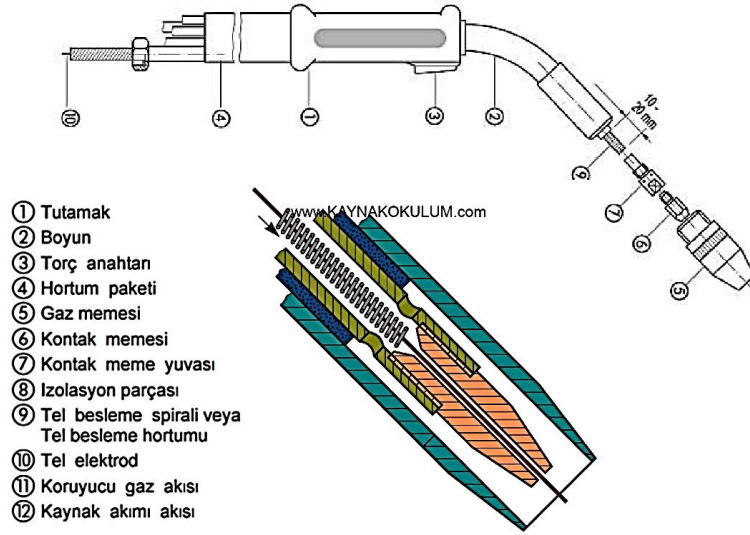
Şekil 3.2’de görüldüğü gibi MIG/MAG kaynak yönteminde kaynak donanımlarını, kaynak torcu ve kablo donanımı, güç hattı kaynağı (akım üreteçleri), tel elektrod besleme ünitesi (tel sürme tertibatı) ve koruyucu gaz donanımı olarak ayrı başlıklara bölmek gerekmektedir (Kahraman ve Gülenç, 2020: 103).

3.4.1. Kaynak Torcu ve Kablo Donanımı

Kaynak torcunun kaynak işlemindeki görevi akımın tel elektroda aktarılması ayrıca ark alanına koruyucu gazın ulaşmasını sağlamaktır. Oksi asetilen üfleme tipli torçların kullanımı yaygındır. Spiral tel elektrod iletimli torçlar tabanca şeklindeyken, üstünde tel aktarma tertibatı buna ek olarak küçük tel kangallı üretilmiş torç tipleri de bulunmaktadır (Tülbentçi, 1990: 7). Torç tabancasının tetiğine basıldığı esnada, önceden ayarlanan akım debisinde koruyucu gaz iletimi başlayacaktır daha sonrasında kaynak arkı oluşumu gerçekleştikten sonra ise tel elektrod besleme ünitesi aktif olacaktır. Soğutma suyu eklentisinin olduğu büyük kaynak makinelerinde suyun aktif olma işlemi kumanda aparatı ile gerçekleştirilmesi gerekmektedir (Kahraman ve Gülenç, 2020: 103).

Kaynak torcuna kaynak işleminde ark sıcaklığından etkilenmesini engellemek için soğutma işlemi uygulamak gerekmektedir. Kaynak işleminde kaynak akım şiddetinin değerine göre soğutma sistemi değişmektedir. Kaynak akımı 250 A’den fazla ise su soğutmalı bir sistemle soğutma işlemi gerçekleştirilmelidir. Bu değerden düşük akım değerlerinde soğutmayı koruyucu gaz yapabilmektedir (Güner, 2007: 8). Su ile soğutma sistemi, akım şiddeti düşük kaynak işlemleri içinde uygun gibi gözükse de kaynak torcunun içinde bulunan contaların sızdırmazlık işlevinin bozulması ile oluşan bakım-onarım faaliyetlerinin zor olması sebebiyle kaynak uygulamalarında su soğutma işlemi kabul görmemektedir. Standart normal bir kaynak torcunda, kılavuz hortumu ile 3 ile 3,5 metre (m) mesafeden tel elektrodu kaynak torcuna iten tel elektrod besleyicileri vardır. Kaynak torcunun kısa kullanılması kaynak dikişin daha homojen görüntüde kaynak yapılmasını sağlar tersi durumda, telin kaynak bölgesine ulaşması zorlaşarak hareketi kısıtlanır (Kahraman ve Gülenç, 2020: 103).

Şekil 3.3’te standart gaz soğutmalı bir kaynak torcuna ait şematik görsel görülmektedir.



Şekil 3.3. MIG/MAG standart gaz soğutmalı kaynak torcu şematik görüntüsü

Kaynak: (Kaynak Okulum, 2024)

3.4.2. MIG/MAG Güç Hattı Kaynağı ve Akım Üreteçleri

Güç hattı kaynağı, kaynak işleminde arkın oluşması için iş parçasına ve tel elektroda elektriğin aktarılmasını sağlar. Bu işlemde doğru akım tekniği kullanılır. Kutuplamada negatif taraf iş parçasına bağlanırken, pozitif taraf kaynak torç tabancasına bağlanmaktadır (Erol, 2017: 20). Eskiden kaynak jeneratör cihazları kullanılmaktayken, son zamanlarda kaynak redresörleri güç kaynağı olarak kullanılmaktadır (Kahraman ve Gülenç, 2020: 106).

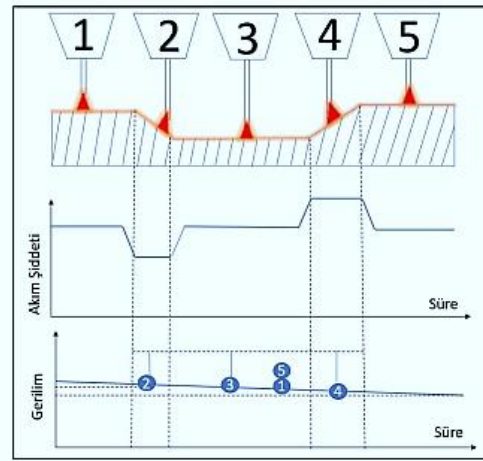
Redresörler, alternatif akım enerjisini doğru akım enerjisine çevirmekte veya düzenlemekte/dönüştürmekte görev alan elektriksel cihazlara verilen addır. Bu cihazlar endüstriyel olarak veya taşınabilir, evsel olmak üzere kullanım alanlarına sahiptir ve yaptığı doğru akım dönüştürmesi sayesinde elektriksel aletlerin çalışmasını sağlarlar. Anlaşılacağı üzere doğru akım kaynağı, elektriksel cihazlar için doğru ve sabit enerjiyi sağlar (Redsan, 2024).

İlk paragrafta belirtildiği gibi son zamanlarda kaynak işlemlerinde kullanılan güç kaynağı kaynak redresörleri (akım üreteçleri), yatay davranışa sahiptir. Yatay davranış ifadesi sabit gerilimli anlamına da gelmektedir. Ne kadar kaynak esnasında gerilimi sabit tutmaya çalışsa bile imkân dahilinde olmayıp ayrıca sıkıntılı bir durum oluşturacaktır. Bu tip akım üreteçlerinde tel elektrod kaynatılacak malzemeye (iş parçası) değdiğinde, gerilim azalacak ve kaynak akımı ise sonsuz bir şekilde artacaktır. Bu gibi durumlar sonucunda, tel elektrod üzerinde oluşan patlama ile sıçrama oluşumu görülecektir bu sebeple sakıncalı durumu

önlemek adına yatay davranış gösteren akım üreteçlerinde, 100 A'de bir 7 volt kaynak arkı geriliminin azalmasına imkân tanınmaktadır. Daha iyi akım üreteçleri için kaynak gerilim aralığı ise 2-5 volt olarak kabul edilmiştir (Kahraman ve Gülenç, 2020: 106).

MIG/MAG akım üreteçlerinde kaynak ark uzunluğu ayarı yapılabilmektedir. Bu ayarlama içten ayar olarak da adlandırılmaktadır. Yapılan bu ayarla stabil kaynak yapılması sağlanır. Kaynak makinelerinde ayrıca gerilim değeri, tel ilerleme hızı değeri ve tel ilerleme hızına göre de kaynak akım değeri ayarları yapılabilmektedir. Kaynak makinesinin tel ilerleme motorunun hızı, belirlenmiş çalışma devrine göre hareket ettiğinden dolayı tel ilerleme hızı da buna bağlı olarak farklılık göstermeyecektir ve sabit kalacaktır (Çubuk, 2022: 25).

Şekil 3.4'te kaynak ark boyunun içten ayarlanmasına dair görsel görülmektedir.



Şekil 3.4. Kaynak ark uzunluğunun ayarlanması ve kaynak ark boyunun akım ve gerilim ile ilişkisi

Kaynak: (Çubuk, 2022: 25)

Şekil 3.4'te kaynak ark uzunluğu ile kaynak akımı arasındaki ilişki incelendiğinde, kaynak işleminde rastgele bir nedenden ötürü kaynak ark uzunluğunun artması, kaynak akımının düşmesine aynı zamanda tel elektrodun ergime oranının da düşmesine ve kaynak ark uzunluğunun da standart boyuta gelmesine neden olacaktır. Tersini durumda kaynak ark uzunluğunun azalması, kaynak akımının da artmasına aynı zamanda tel elektrod besleme durumunun da artmasına yol açacaktır böylelikle kaynak ark uzunluğu uygun seviyeye ulaşacaktır. Son zamanlarda servo tel besleme motorlu cihazlar kullanıldığından kaynak ark uzunluğu kontrollü olarak takip edilebilmektedir (Çubuk, 2022: 26).

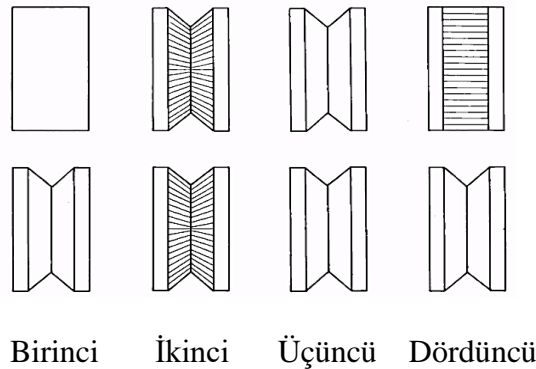
3.4.3. Tel Elektrod Besleme Ünitesi (Tel Sürme Tertibatı)

Tel sürme tertibatı veya mekanizması veya başka bir adlandırmayla tel elektrod besleme ünitesinin görevi, makara sistemiyle kaynak işlemi için gereken tel elektrod miktarını önceden ayarlanmış hızla kaynak bölgesine beslemek/aktarmaktır. Doğru akım sistemiyle çalışan tel sürme tertibatı, çekme ve itme olarak iki farklı sistemde çalışabilmektedir (Erol, 2017: 21).

Tel elektrod besleme ünitesi, elektrik motoru (doğru akım ile çalışan), makaralar (iki veya dört adet) ve elektrodun hareketinde basınç ve doğrultuyu ayarlayıcı aparatlardan oluşmaktadır. Elektrik motorunun hızı, bir kontrol devresiyle ayarlanır ve bu devrenin geniş bir aralıkta değiştirmeye sahip olması gerekmektedir. MIG/MAG kaynaklarında yapılacak işe göre tel elektrod besleme hızları 2-20 m/dk değişim gösterebilmektedir (Kahraman ve Gülenç, 2020: 111).

Tel sürme tertibatında tel elektrod tipine ve çap özelliğine uygun makaralar kullanılmalıdır ve tel elektrod üzerine uygulanan basıncın iyi bir şekilde ayarlanması gerekmektedir (Tülbentçi, 1990: 14).

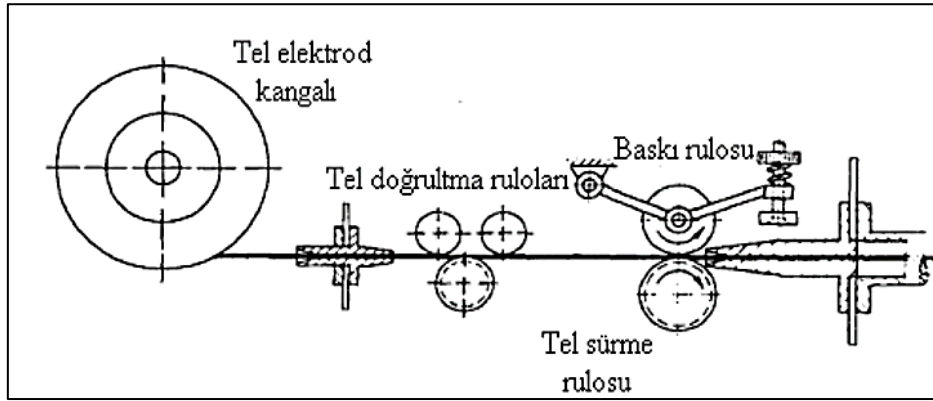
Şekil 3.5'te farklı tür makara örneklerine ait profil örnekleri gösterilmiştir. Tel elektrod çapı ve malzemesine göre kullanılan makaralar çeşitlilik göstermektedir. Birinci makara profilleri, 1,0 mm çapından daha büyük Fe ve Fe dışı tel elektrodalara aittir. İkinci bölümdeki profiller, 1,6 ile 3,2 mm çaplı Fe içeren tel elektrodalara ait makaralardır. Üçüncü bölümdekiler ise 1,6 ile 3,2 mm çaplı Fe dışı tel elektrodalara ait makaralardır. Dördüncü bölümdekiler ise Fe içeren küçük çaplı tel elektrodalara ait makara profillerini göstermektedir.



Şekil 3.5. Tel besleme ünitesi/ ter sürme tertibatında kullanılan farklı makara örnekleri

Kaynak: (Tülbentçi, 1990: 14)

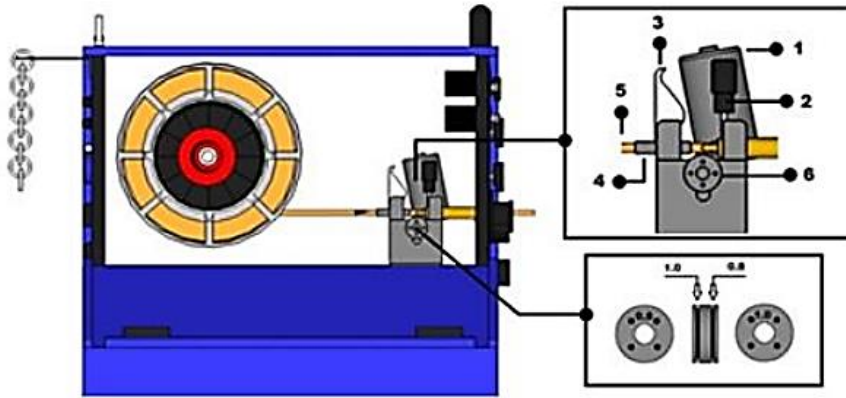
Şekil 3.6’da iki makaralı tel sürme tertibatına ait şematik görsele yer verilmiştir.



Şekil 3.6. Tel sürme tertibatı şematik görüntüsü (iki makaralı)

Kaynak: (Güner, 2007: 15; Tülbentçi, 1990: 14)

Şekil 3.7’de tel elektrod besleme ünitesinin bölümlerine ait şematik görsele yer verilmiştir.

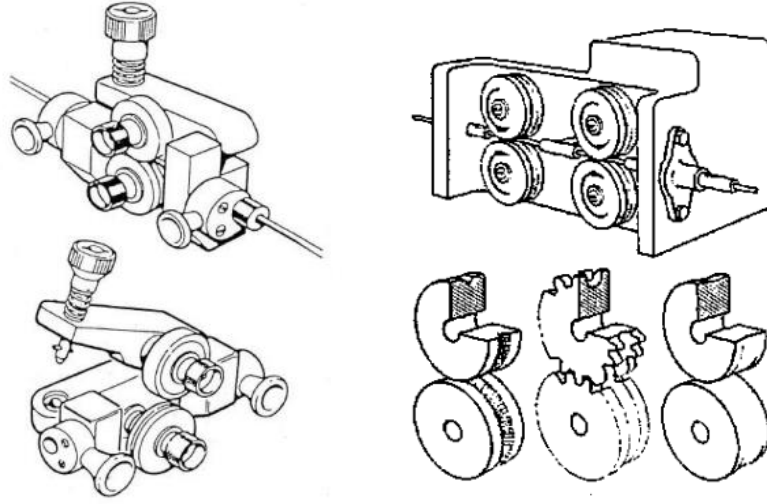


- | | |
|-------------------------|----------------------|
| 1. Tel sürme motoru | 4. Tel yönlendirici |
| 2. Tel basınç ayar kolu | 5. Tel (elektrot) |
| 3. Metal tel baskı kolu | 6. Tel sürücü makara |

Şekil 3.7. Tel elektrod besleme ünitesi bölümleri

Kaynak: (Erol, 2017: 22)

Şekil 3.8’de iki ve dört makaralı tel elektrod besleme ünitelerinin şematik görsellerine yer verilmiştir.



Şekil 3.8. İki ve dört makaralı tel elektrod besleme ünitesi şematik görünüşleri

Kaynak: (Okuroğulları, 2022: 10).

3.4.4. Koruyucu Gaz Donanımı

MIG/MAG kaynağında yani gazaltı ark kaynağı temelinde kullanılan koruyucu gazlar, kaynak işleminde kullanılan tel elektrod ile etkileşme sonucu kimyasal bileşime ve reaksiyona destek olarak, oluşan kaynak dikişinin/metalinin mekanik özelliklerine fayda sağlamalıdır. Kaynak bölgesini, oluşan ısının olumsuz etkilerine karşı koruyarak aynı zamanda soğumasına katkı sunmalıdır. Kaynak ark oluşumunun sağlanmasında görev alarak kaynak hızına uyumlu olması da gerekmektedir (Özkan, 2019: 18). Kaynak işlemlerinde koruyucu gaz, eriyen tel elektrodun kaynak banyosuna metalin aktarımına, arkın kararlılığına, kaynağın nüfuziyetine ve dikiş boyutuna, kaynağı oluşturmak için harcanan ısıya, kaynak esnasında ark ile oluşum sağlayan ultraviyole radyasyonu ile ortaya çıkan ozon gazı (duman) oluşumuna etki etmektedir (Kahraman ve Gülenç, 2020: 120).

MIG/MAG gazaltı ark kaynağında inert, aktif ve belirli oranlarda oluşturulmuş karışım koruyucu gazlar kullanılmaktadır. Uygulama alanlarına bakıldığında ise inert gazlar asal gaz olmaları sebebiyle Fe dışı metallerin kaynak işlemlerinde uygulama alanına sahipken, aktif veya karışım gazlar (aktif-asal gazlar) farklı tipte çeliklerin kaynak işlemlerinde uygulama alanına sahiptir (Işık, 2014: 29).

Kaynak işlemi için gerekli olan koruyucu gaz, kaynak bölgesine basınçlı tüpler aracılığıyla iletilmektedir. Basınçlı tüpte, gaz basıncının ayarlanması için kullanılan regülatör

bulunmaktadır. Tüp üzerinde bulunan manometreler aracılığıyla gaz basıncını ve debisini okuyabilmek mümkündür (Erol, 2017: 23).

Asal (inert) gazlar Ar ve He gazlarıdır. Aktif olarak belirtilen gazlar ise CO₂, hidrojen (H₂), O₂ ve azot (N₂) gazlarıdır. Koruyucu gazlar gerektiği şekilde kaynak bölgesini koruyamazlarsa, havanın kimyasal bileşimi içerisinde bulunan %78 N₂ ve %21 O₂ ve kalan diğer gaz türleri kaynak bölgesine ulaşır, kaynak dikişinde gaz boşluklarının oluşmasına ve kaynak dikişinin görünüş olarak da kötüleşmesine neden olacaktırlar (Kahraman ve Gülenç, 2020: 113).

3.4.4.1. CO₂ Gazı

CO₂ gazı basınçlı tüplerde depolanan ve 15 °C de 65 atmosfer basıncında tüplere sıvı formda doldurulan bir gaz türüdür. Daha sonrasında depolanma esnasında kokusuz ve renksiz gaz formuna dönüşmektedir. (Durmuşoğlu, 2006: 77; Okuroğulları, 2022: 18).

Bu gaz türü havadan 1,5 kat daha ağırdır ve özgül ağırlığı 1,997 kg/cm³ 'tür. Ar ve He gazlarına göre daha rahat temin edilebilir ve daha ucuzdur. Bu özelliklerine ek olarak, kaynak işleminde derin kaynak nüfuziyeti sağlarken, kaynak hızının yükselmesini de sağlamaktadır. Ayrıca kaynak dikişinin mekanik özelliklerini olumlu yönde etkilemektedir. Bu özellikleri sebebiyle düşük alaşımlı ve alaşımsız çelik türlerinin kaynak işlemlerinde genel kullanıma sahip bir gaz türüdür (Kahraman ve Gülenç, 2020: 113). CO₂ gazının olumsuz etkisi ise sert ark ve fazla sıçrama oluşumuna sebep olmasıdır. Kaynak arkı üniform boyuta getirilip, kısa ark uzunluğu sağlanabilirse sıçrama oluşumu düşürülebilir (Genç, 2021: 23).

3.4.4.2. Ar Gazı

Bu gaz sıvı metal malzemelerde çözülme göstermeyen bu özelliğine ek olarak da yoğunluğu havanın yoğunluğundan fazla olduğundan dolayı yapılan kaynak işlemlerinde yatay pozisyonlarda kaynaklı bölgeyi örtü oluşumu ile koruma özelliğine sahiptir (Türkkan, 2008: 21).

Havadan üretimi damıtma işlemiyle gerçekleştirilen bir gaz olan Ar gazları, yapısında su buharı, N₂, O₂ bileşenlerini (istenmeyen) barındırdığından dolayı ticari saflığa sahip Ar gazları olarak nitelendirilir ve piyasada bu şekilde kullanılırlar. Saf Ar gazı elde etmek zor bir işlemdir. Kaynak işleminde yaygın olarak kullanılan koruyucu gaz türü olan bu gaz, MAG kaynağında ark kararlılığı sağlama özelliğine sahiptir. Ar gazının soygaz olması sebebiyle

iletkenliğinin düşük olması ark merkezinde sıcaklığın fazla olmasına ve o bölgede ısı kaybının az olmasına sebep olur. Bu durum ise metal damlacıklarının ark boyunca akışkan olmasını sağlar. Kaynak dikiş bölgesinde gerçekleşen bu olaylar kaynak nüfuziyetine ve dikiş görünümüne etki etmektedir (Akın, 2015: 18; Türk, 2021: 10).

3.4.4.3. He Gazı

Havaya göre 13,8 kat daha hafif olan renksiz, kokusuz, inert, zehirsiz (yüksek konsantrasyonlarda boğucudur), parlayıcı etkisi göstermeyen gaz türüdür ve yüksek basınç koşullarında çelik tüplerde sıkıştırılmaktadır (Habaş, 2024). He gazı doğalgazdan elde edilebilen ısı iletkenliği yüksek bir gazdır. Havadan hafif bir gaz olması sebebiyle yeterli korumanın sağlanabilmesi için Ar gazına göre yatay pozisyon kaynaklarda 3 kat daha fazla oranda He gazı kullanılması gerekmektedir. Yüksek ısı iletkenliğe sahip olması kaynak işlemlerinde koruyucu gaz olarak kullanıldığında oluşan kaynak dikişinin kaynak nüfuziyetinin iyi olmasını sağlamaktadır ayrıca bu özellik yüksek hızda yapılan mekanize kaynak işlemlerinde fayda sağlayan bir durumdur. Ar gazına göre iyonlaşma enerji potansiyeli daha yüksek olan He gazının, He gazı atmosferi koşullarındaki kaynak işlemlerinde kaynak arkının enerjisi daha fazla olmaktadır böylelikle ısı iletkenliği yüksek olan kalın boyutlu Al, magnezyum ve bakır (Cu) gibi metallerin kaynak uygulamalarında koruyucu gaz olarak kullanıldığında ön ısıtma ihtiyacı gerektirmemektedir. Ekonomik koşullar göz önünde bulundurulduğunda kaynak işlemlerinde Ar-He karışım koruyucu gazlar istenilen kaynak dikiş özelliğine göre oranları ayarlanarak tercih edilmektedir (Türkkan, 2008: 22).

3.4.4.4. O₂ Gazı

O₂ gazı renksiz, kokusuz yakıcı olarak nitelendirilen bir gaz türüdür. Yanma olaylarında bulunması gereken bir gazdır. 0 °C 760 mm civa basıncında yoğunluğu 1,42 kg/m³ olarak belirtilmektedir (Genç, 2021: 23). Kaynak işleminde kaynak arkının korunmasında tek başına görev almazken koruyucu gazlarla karışım halinde görev almaktadır. O₂ gazı, koruyucu gaz içerisine az oranda katılarak karışım halinde kullanılır ve kaynak arkının oluşmasında düzeni sağlarken kaynak dikişinde gözenek oluşumunu da azaltır. Ayrıca oksitlenme miktarını da düşürür. Karbonmonoksit (CO) gazını CO₂ gazına dönüştürür (Okuroğulları, 2022: 19). Metali oksitler bu özelliğinden dolayı Al, magnezyum ve Cu gibi metallerle O₂ gazını kullanmak uygun olmamaktadır ayrıca O₂ gazı karışımında fazla oranlarda

kullanılırsa kırılma hızına sebebiyet verir bu sebeple belli miktarlarda kullanılmalıdır. Ek olarak O_2 gazı, metal transferinin iyileşmesini sağlar. Kaynak nüfuziyetine etki ederek dikiş formunu yanlardan daraltır. Isı girdisinin artmasını sağlarken kaynak arkını da stabilize eder ve yüzey gerilimini de azaltıcı özellik göstermektedir (Air Liquide, 2024).

3.4.4.5. H_2 Gazı

Çok hafif, renksiz ve kokusuz olan H_2 gazı yanıcı özellik gösterir. Ar ile koruyucu gaz bileşimi oluşturması kaynak nüfuziyetinin derinleşmesini sağlar ve kaynak hızını artırır. Oksijen (O) ile bileşik oluşturmaya yatkındır ve paslanmaz çeliklerin kaynağında kaliteli kaynak yüzeyleri ve dikiş formlarının elde edilmesinde fayda sağlar. Ek olarak, H_2 gazının yanlış kullanımları, kaynak dikişinde gözeneklere, düşük alaşımlı çeliklerde çatlak oluşumlarına sebep olabilir. Koruyucu gazlara katılımıyla (Ar, O_2), kaynaklanacak iş parçasının yüzeyinde oksitlenme oluşumunu engeller ve kaynak dikişinin mekanik özelliklerini ve nüfuziyetini olumlu yönde etkilemektedir (Okuroğulları, 2022: 20; Air Liquide, 2024; Genç, 2021: 23).

3.4.4.6. N_2 Gazı

Ar ve He gazları ile birlikte uygulamada kullanılan bir gazdır. İki atomlu olmasından dolayı kaynak bölgesinden ayrışma durumu kolaydır. Ar ve He gazları ile karışımda kullanım oranı %12 sınırına kadardır. Kaynak işleminde Ar ve He gazına göre daha yüksek ısı transferi sağlar ve diğer gazlarla karşılaştırıldığında yüksek ısı girdisine sahip olmasından dolayı Cu malzemelerin kaynak işlemlerinde kullanılır. Yüzey gerilimini azaltıcı etkisi de vardır (Okuroğulları, 2022: 19). Ayrıca ark kararlılığını ve kaynak nüfuziyetini arttırıcı özellik göstermektedir (Air Liquide, 2024).

3.4.4.7. Karışım Koruyucu Gazlar

Kaynak işlemlerinde arkın etkinliği veya karakteri, uygulamada kullanılan koruyucu gaz veya karışım gazlara göre farklılık göstermektedir. He ve Ar gazları karışımdaki oranlarına göre KM'ye etki etmektedirler. Ar, He asal gazları kullanılarak yapılan kaynak işlemlerinde arkın özelliği nötr bir davranış sergilemektedir. Ar gazına O_2 veya CO_2 gibi aktif gazların ilave edilmesi ile oluşturulan karışım gazlarda ise kaynak ark atmosferine bu durum oksitleyici (ekzotermik-ısı veren reaksiyon) özellik kazandırabilmektedir farklı olarak H_2 gazı eklenirse bu durum redükleyici etki oluşturacaktır (Tülbentçi, 1990: 26).

Ar, O₂, He ve CO₂ gaz karışımlarının dörtlü şeklinde kullanıldığı koruyucu gaz türü, MIG kaynağında yüksek amper ve metal yığma için en uygun Őartı sağlayan karışım gaz türüdür. Bu karışım, en uygun mekanik özellikler altında uygulama yapılmasını sağlamaktadır. Düşük alaşıma sahip ve yüksek mukavemetli malzemelere ek olarak üretimi fazla olan, düşük alaşımlı elik malzemelerin kaynak işleminde uygulama alanı bulabilmektedir. Ar-He karışımları ile oluşturulan koruyucu gaz türünde He, Fe dışı malzemelerin kaynak işlemlerinde çok iyi etki göstermektedir. Buna karşın Ar, Fe dışı malzemelerin kaynak işlemlerinde bir kaynak kusuru olan yanma olukları çatlağı oluşumuna sebep olabilmektedir. Ar gazına H₂ gazı eklenerek elde edilen karışım koruyucu gaz türü, paslanmaz elik boru malzeme ve ince kalınlığa sahip plakaların kaynak işlemlerinde kullanıma sahiptir. Burada asıl nokta ise paslanmaz elik malzemesinin, hidrojen (H) kırılganlığı etkisine karşın duyarlı özellik göstermemesidir (Kahraman ve Gülenç, 2020: 118-120).

Ar gazına, CO₂ veya O₂ gazlarının eklenmesi ile oluşturulan karışımlarda, ısı veren bir reaksiyon oluşumu gözlemlendiğinden dolayı kaynaklı bölgenin (banyo) sıcaklığı artmakta ve yüzey gerilimi buna karşın düşmektedir. Bu durumla birlikte kaynaklı bölgenin (banyo) akıcılığı artmış ve gazı uzaklaştırılmış olmaktadır. Koruyucu gazın O₂ gazını içeren bir karışım gaz olması, akım yoğunluğunun düşük olduğu kaynak Şartlarında da ince tane oluşumlu kısa devresiz damla transferinin (sprey ark) gerçekleşmesini sağlar. Oksijenin oksitleyici etkisi, kaynak tel elektrodun kimyasal bileşiminde bulunan mangan (Mn), Al, titanyum (Ti), silisyum (Si), zirkonyum (Zr) gibi elementlerin oranlarının arttırılması ile dengelenebilmektedir (Tülbentçi, 1990: 26).

Ar gazına O₂ gazı katılarak elde edilen karışım koruyucu gazda, Ar-CO₂ karışımlı koruyucu gaza göre daha düşük akımda eksenel sprej transferi ile kaynak işlemi yapılabilir. Bu koruyucu gaz karışımının kullanıldığı kaynaklarda kaynak havuzu daha akışkan olur ve ilave metal damlacık boyutları daha küçüktür. Ayrıca Ar-O₂ karışımlı koruyucu gazlar ince kalınlıktaki malzemelerin kaynak işlemlerinde hızlı kaynak yapmaya olanak sağlar. Ek olarak, bu karışım koruyucu gaz türü paslanmaz çeliklerin ve karbon (C) eliklerinin kaynak işlemlerinde koruyucu gaz olarak da kullanılabilir (Docplayer, 2024).

Tablo 3.1’de kullanılan koruyucu gaz bileşimlerine göre kullanım yerleri ve gazın karakterleri kaynak türlerine göre gösterilmeye çalışılmıştır. Tablo içerisinde karışım koruyucu gazlar üç farklı gruba bölünerek tablo oluşturulmuştur.

Tablo 3.1. MIG/MAG/ karışım koruyucu gaz türleri/bileşimleri ve kullanım yerleri

Kaynak Türü	Gazın Karakteri	Gazın Standartı DIN 32526	Gazın Bileşimi	Kullanma Yeri
MIG	Asal	1.1	Ar % 100	Çelik haricinde bütün metal ve alaşımları
	Asal	1.2	He % 100	Cu ve Al alaşımları
	Asal	1.3	He %25-75 Ar kalanı	Cu ve Al alaşımları
Karışım Gazlar 1.grup	Hafif Oksitleyici	M. 1.1	O ₂ % 1-3 Ar kalanı	Paslanmaz çelikler
		M. 1.2	CO ₂ %2-5 Ar kalanı	Paslanmaz çelikler
		M. 1.3	CO ₂ %6-14 Ar kalanı	Alaşımsız ve az alaşımlı çelikler
Karışım Gazlar 2.grup	Oksitleyici	M. 2.1	CO ₂ % 15-25 Ar kalanı	Alaşımsız ve az alaşımlı çelikler (Özlu elektrod ile)
		M. 2.2	CO ₂ %5-15 O ₂ % 1-3 Ar kalanı	Alaşımlı ve az alaşımlı çelikler
Karışım Gazlar 3.grup	Kuvvetli Oksitleyici	M. 3.1	CO ₂ %26-40 Ar kalanı	Alaşımsız ve az alaşımlı çelikler
		M. 3.2	CO ₂ %5-20 O ₂ %4-6 Ar kalanı	Alaşımsız ve az alaşımlı çelikler
		M. 3.3	O ₂ %9-12 Ar kalanı	Alaşımsız çelikler
MAG	Aktif	C	CO ₂ % 100	Alaşımsız ve az alaşımlı çelikler

Kaynak: (Tülbentçi, 1990: 27)

3.5. MIG/MAG Tel Elektrod Türleri

Tel elektrodlar tozaltı, MIG/MAG kaynaklarında sarf malzemesi olarak kullanılmaktadır. Kaynak işleminde kaynak bölgesine sürekli beslenen ve üzerinden akım geçiren, ergiyen, kangala sarılı olarak kullanılan tellerdir. MIG/MAG kaynağında iki farklı türde tel elektrod türü bulunmaktadır. Bunlar özlü tel elektrod ve özsüz olarak adlandırılmaktadır. Özlü tel elektrodların orta bölümünde, rutil ya da bazik özler kullanılmaktadır. Özsüz tel elektrodlar üç ayrı sınıfa yani SG 1, SG 2 ve SG 3 olarak ayrılmaktadır. MIG/MAG kaynağında kaynak uygulamasında kullanılacak olan tel elektrodun yüzeyinde ark oluşmasını engelleyecek çukurluk, katmer veya çapaklar vb. yüzey kusuru olmaması gerekmektedir. Yüzeyi hassas olmalıdır. MIG/MAG kaynağında kullanılan tel elektrodların çap ölçülerininin ince üretilmeleri sebebiyle akım yoğunluğu fazladır (Akım yoğunluğu: 100-300 A/mm²). Akım yoğunluğunun fazla olması kaynak nüfuziyetini ve hızını, kaynak banyosuna metal aktarımını kolaylaştırarak kaynağın kaliteli olmasını sağlamaktadır (Çubuk, 2022: 30).

Kaynakta gözenekliliği düşürmek ve KM'de iyi metalik özellikleri sağlamak amacıyla oksit giderici ve temizleyici etkinlikte elementler katılarak tel elektrodlar üretilmektedir. Kaliteli kaynak dikişleri elde edebilmek için oksit giderici elementlerin uygun oranlarda tel elektrodla katılması gerekmektedir. Mn, Al ve Si, oksit giderici elementler olarak çelik elektrodlarda kullanılırken, nikel (Ni) alaşımlı elektrodlarda ise Ti ve Si oksit giderici element olarak kullanılmaktadır. Cu ve Cu alaşımlı tel elektrodlarda Si, Ti veya fosfor (P) elementleri oksit giderici olarak kullanılır (Türkkan, 2008: 28).

Tel elektrodlar, kaynak işleminde birleştirme amacıyla kullanılır ek olarak malzeme yüzeyinin korozyona uğramamasını veya aşınma direnci kazanmasını sağlar ayrıca yüzey dolgusu olarak da kullanılmaktadır. Yüzey dolgusunda dikkat edilmesi gereken asıl nokta KM ile EM'nin birbiri ile karışma durumuna dikkat edilmesidir. Bu durum ark karakteristiğinin ve kullanılan tekniğin ilişkisi ile açıklanabilir. MIG/MAG kaynağında metal iletim türüne göre bu karışım oranı %10 dan %50 ye kadar değişiklik göstermektedir. Birleştirilecek yüzeyde talep edilen dolgu formunun sağlanabilmesi için çok katlı dolgu uygulaması yapmak gerekebilir (Türkkan, 2008: 28).

Tel elektrodun seçimi kaynak işleminde çok önemlidir. MIG/MAG kaynağında tel elektrodun türü, kullanılan koruyucu gaz ile oluşacak kaynak dikişiyle elde edilmek istenen

mekanik ve fiziksel özellikleri sağlayabilmelidir. Bu sebeple tel elektrodun seçiminde, kaynaklanacak iş parçasının boyutları, kaynak işleminde kullanılacak koruyucu gazın tipi, kaynaklanacak malzemenin kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri ve kaynak işleminin yapılacağı çalışma alanını etkileyen koşullar dikkate alınarak en uygun tel elektrod seçimi yapılmalıdır (Kahraman ve Gülenç, 2020: 124).

3.6. MIG/MAG Kaynağında Kaynağı Etkileyen Parametreler

Kaynak parametreleri seçilmesinde, kaynak işlemine tabi tutulacak iş parçasının malzemesinin ve KM'nin türleri, boyutları, kaynak ağızı açılacaksa türü ve geometrik yapısı, kaynak işlemindeki uygulama pozisyonu ve kaynak dikişinden elde edilmek istenen mekanik özellikler parametrelerin seçilmesinde önemli hususlardır. Kaynak yapacak kişinin, kaynak uygulamasında kaynak parametrelerinin belirlenmesinin kaynağı nasıl etkileyeceğini kaynak değişkenlerinin kaynak işlemini ne derece değiştireceğini bilmesi çok önemlidir. Kaynak işleminin kaliteli şekilde gerçekleşebilmesi bu belirlenen parametrelerin birbirine uyumlu şekilde olmasıyla mümkündür (Kahraman ve Gülenç, 2020: 128).

Kaynak parametrelerinin ayarlanması, üç ayrı kısımda incelenebilir. Birincisi, kaynak işleminin öncesinde ayarlanan ve kaynak sırasında değiştirilme imkanı olmayan parametreler, ikincisi, birinci seviyede ayarlanabilir parametrelerdir. Üçüncüsü ise ikinci seviyede ayarlanabilir parametrelerdir (Kahraman ve Gülenç, 2020: 128).

İlk kısımdaki parametreler, kaynak öncesinde ayarlanan ve kaynak sırasında değiştirilme imkanı olmayan tel elektrod türü ve çapı, koruyucu gazın türüdür. Bu parametreler ise, kaynaklanacak iş parçasının türüne ve boyutuna, kaynak pozisyonuna ve kaynaklı birleştirmeden istenilen mekanik özellikler göz önünde bulundurularak ayarlanır (Kahraman ve Gülenç, 2020: 128).

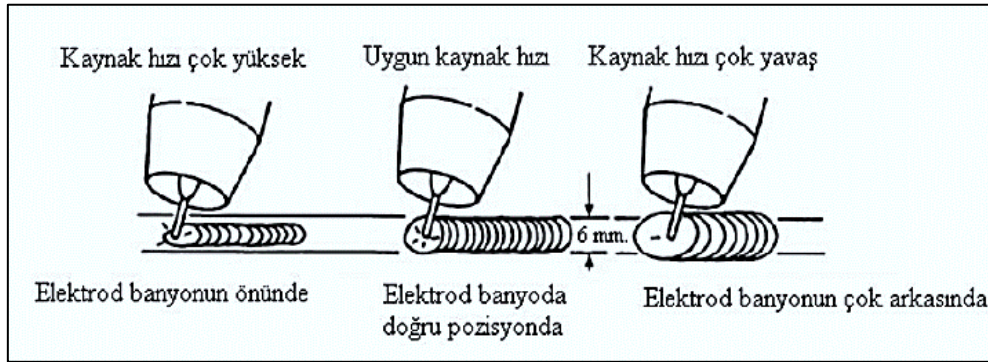
İkinci kısımdaki parametreler ise, birinci derecede ayarlanabilir ve kaynaklı bağlantının oluşturulmasında önemli olan akım (tel hızı), kaynak gerilimi ve hızı gibi parametrelerdir. Bu parametrelerin kendi aralarında iyi bir şekilde ayarlanması kaynaklı birleşimin kalitesini etkiler ve uyumsuz olması kaynağın kötü bir şekilde gerçekleşmesine sebep olmaktadır. Kaynak gerilimi, oluşacak arkın uzunluğuna ek olarak kaynak dikişinin genişliğini ayarlamaktadır. Kaynak gerilimi yüksekse kaynak dikişi geniş ve yassı formda olur ama bunun yanında yanma olukları da oluşabilmektedir. Kaynak arkının uzunluğu fazlaysa malzemenin kimyasal yapısındaki alaşım elementleri çok fazla yanar ve duman

oluşturur. Kaynak geriliminin az olması, dar ve dışbükey formda kaynak dikişinin oluşmasına sebep olmaktadır. Bu durum ayrıca kısa devre oluşumuna da sebep olmaktadır. Tel ilerleme hızı ile akım arasındaki ilişki incelendiğinde, tel ilerleme hızının artması aynı zamanda akım ve kaynak nüfuziyetinin artmasına sebep olmaktadır. Bu parametrelerin normal çalışma aralığında ise kaynak dikişinin genişliği değişmemektedir (Kahraman ve Gülenç, 2020: 129).

Tel ilerleme hızı arttırıldığında dolaylı olarak torcun ilerleme hızı da artmaktadır (Okuroğulları, 2022: 35).

Kaynak hızı yarı otomatik bir kaynak yönteminde kaynakçı tarafından ayarlanırken, tam otomatik bir uygulamada robot donanımı sayesinde gerçekleştirilmektedir. Etkisi incelendiğinde, kaynak hızının düşmesi, kaynak dikişinde KM'nin birikmesine neden olmaktadır. Bu durum kaynak dikişinin genişlemesini sağlar. Tam tersi durumda kaynak hızının artması KM'nin de kaynak dikişinde azalmasına sebep olmaktadır. KM azalırsa kaynak nüfuziyeti de buna bağlı olarak azalmaktadır (Geçmen, 2006: 55; Okuroğulları, 2022: 39).

Şekil 3.9'da kaynak esnasında torcun kaynak banyosundaki pozisyonu ile kaynak hızı ve dikişi arasındaki ilişki şematik olarak gösterilmiştir. Kaynak nüfuziyeti derinliğine etkisi de bu şematik görselde görülebilmektedir.



Şekil 3.9. Kaynak hızı-tel elektrod kaynak banyosu pozisyonuna göre nüfuziyet ilişkisi

Kaynak: (Okuroğulları, 2022: 40)

Üçüncü kısımda incelenen parametreler ise, ikinci derecede değiştirilebilen parametrelerdir. Bu parametreler kaynak sırasında aktif olarak farklılık gösterir ve kaynak dikişinde değişmelere sebep olur. Bu parametreler, serbest tel uzunluğu, nozul aralığı, kaynağın yönü, torç açısı, kaynak pozisyonu ve koruyucu gazın debisi/oranıdır (Kahraman ve Gülenç, 2020: 129).

Tablo 3.2’de MIG/MAG kaynağında kaynak parametreleri ile kaynak dikişi boyutları arasındaki ilişkiler sembollerle gösterilmiştir. Torcun kaynak esnasındaki kaynağın uygulama pozisyonuna bağlı kalınarak tablo içerisinde sağa kaynak ve sola kaynak ifadeleri belirtilerek kaynak parametrelerinin kaynak dikişine etkileri gösterilmiştir.

Tablo 3.2. MIG/MAG kaynağı parametrelerinin kaynak dikişi üzerindeki etkileri

DİKİŞ BOYUTLARI									
Kaynak Parametreleri	Nüfuziyet		Ergime Gücü		Dikiş Yüksekliği		Dikiş Genişliği		
	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	
Tel ilerleme hızı (Akım Şiddeti)	↑	↓	↑	↓	↑	↓	*	*	
Gerilim	+	+	*	*	*	*	↑	↓	
Kaynak Hızı	+	+	*	*	↓	↑	↑	↓	
Serbest Tel Uzunluğu	↓	↑	↑	↓	↑	↓	↓	↑	
Tel Çapı	↓	↑	↓	↑	*	*	*	*	
Koruyucu Gaz (CO ₂)	↑	↓	*	*	*	*	↑	↓	
Torç Açısı	Sağa Kaynak	Sola Kaynak	*	*	*	*	Sola Kaynak	Sağa Kaynak	
*Etkisi yok	+ : Etkisi az		↑ : Artar			↓ : Azalır			

Kaynak: (Kahraman ve Gülenç, 2020: 129)

MIG/MAG kaynağında sağa ve sola kaynak pozisyonlarında kaynak yapılabilir. Kaynak esnasında torcun eğimi veya açısı tam dik tutulduğunda koruyucu gaz, kaynaklı bölgeyi (banyo) ve tel elektrod uç kısmını koruyabilse de kaynakçının hem elektrodun ergimesini hem de kaynak banyosunun kontrolünü sağlayabilmek için belli bir

açıda torcu ayarlaması gerekmektedir. Bu açı kaynak yönünde veya tersi yönde 10-30° açısında olabilmektedir. Bu işlem kaynak dikişi ve nüfuziyetini de etkilemektedir. Eğer torca kaynak yönü doğrultusunda eğim verilerek kaynak işlemi gerçekleştirilirse bu işlem **sağa kaynak işlemi** olarak belirtilmektedir. Verilen bu eğimle ark, kaynak banyosunu (sıvı) geriye doğru aktardığından dolayı EM'nin ergimesi de daha derin şekilde gerçekleşecektir ve kaynak nüfuziyeti de buna bağlı olarak artış gösterecektir. Bu işlem ile ayrıca daha yüksek ve dar bir dikiş formu sağlanmaktadır. Torcun eğimi kaynak yönüne ters ise bu işlem **sola kaynak işlemi** olarak adlandırılır. Bu işlemde ergiyen KM, kaynak arkının etkisiyle kaynak işlemi yönünde akacaktır. Sağa kaynak işlemine göre kaynak banyosu daha geniş olsa bile EM'nin ergime derinliği bu işlemde daha azdır. Eğer bu ters yöndeki eğim artarsa kaynak dikiş formu daha geniş hale gelecek ve kaynak nüfuziyeti de azalacaktır. İnce sac malzemelerin kaynak işlemlerinde sola kaynak işlemi uygulanmaktadır (Kahraman ve Gülenç, 2020: 129).

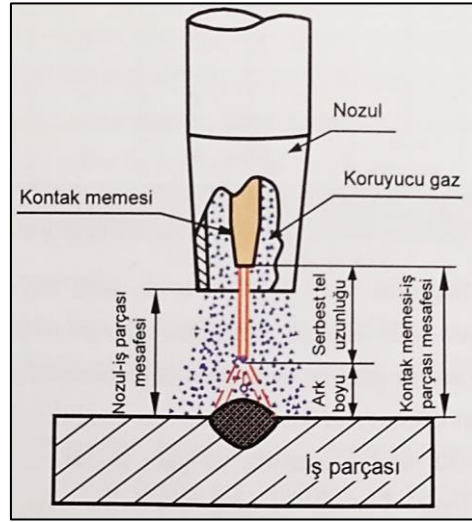
Değişen serbest tel uzunluğu kaynak akımını etkilemektedir. Akımdaki değişimlerde, kaynak nüfuziyetini etkileyerek azalmasına veya artmasına sebep olmaktadır. Serbest tel uzunluğunun artması veya azalması durumları yarı otomatik uygulamalarda kaynakçı tarafından hesaba katılarak gerçekleştirilmelidir. Serbest tel uzunluğu artarsa, ergime gücü azalacak ve bu durum kaynak nüfuziyetinin düşmesine sebep olacaktır. Bu parametrenin uzunluğu sabit tutulmalıdır. İnce sac malzemelerin kaynak işlemlerinde kaynak nüfuziyetinin düşürülmesi gereken durumlarda, serbest tel uzunluğu arttırılarak akım ve kaynak nüfuziyeti de azaltılabilmektedir (Kahraman ve Gülenç, 2020: 130).

Nozul mesafesi, kaynaklanacak malzeme ile arasındaki uzaklık dikkate alınarak ayarlanmalıdır. Bu uzaklığın ayarlanmasında, gazın çıkışı kapanmamalı ve koruyucu gazın yeterli oranda kaynak bölgesine ulaşabilmesi hususlarına dikkat edilmelidir. Nozul mesafesi kaynak akım şiddetine göre belirlenebilir. Kaynak akım şiddeti yükseldikçe nozul mesafesi de dolaylı olarak artmaktadır. Nozul mesafesinin, 50-150 A akımda 10 mm, 150-350 A akımda 12 mm, 350 A akımdan büyük akım değerlerinde ise 15 mm olması tavsiye edilmektedir. Ayrıca nozul mesafesi kısa olursa kaynakçının kaynak bölgesini görmesi kısıtlanabilir ve bu durum nozulun fazladan ısınmasına yol açar aynı zamanda ortaya çıkan sıçramalar da nozula yapışarak olumsuz durumlara sebep verebilir (Kahraman ve Gülenç, 2020: 131).

Koruyucu gazın debisi, bazı sebeplere göre değişiklik gösterebilmektedir. Bu sebepler, kaynak ark türleri, ergime gücü, gaz kontak memesinin iç çapı, gaz kontak memesinin kaynaklanacak malzeme arasındaki aralığı, koruyucu gaz yoğunluğu, iş parçası malzemesi,

kaynaklı birleştirme şekli, kaynak uygulama pozisyonu, hava koşulları gibi sebeplerdir. Gaz debisinin az olması, kaynak arkının düzenli olmasını engeller ve sıçrama durumlarının oluşmasına sebep olur ayrıca koruyucu özelliği yetersizleşir. Gaz debisi fazlaysa, yine olumsuz durumlara sebep olacaktır. Fazla olması, türbülans oluşumu ile ergiyen metal damlalarının kaynak bölgesi dışına sıçramasına sebep olacaktır. Ek olarak gaz debisinin fazla olması kaynak dikişinde gözenekli yapıların oluşmasına sebep olabilmektedir. Gaz debisi genel olarak, tel elektrod çapı ile 10 litre/dk'nın çarpılması sonucuna göre ayarlanabilmektedir. (Kahraman ve Gülenç, 2020: 131).

Şekil 3.10'da MIG/MAG kaynağına ait serbest tel uzunluğu, ark boyu, kontak gaz memesi ile iş parçası mesafesi, nozul mesafesi ve koruyucu gazın konumu gibi etmenlerin birbiri arasındaki ilişkisi şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.10. MIG/MAG kaynağı uygulaması serbest tel uzunluğu, nozul mesafesi vb. şematik gösterimi

Kaynak: (Kahraman ve Gülenç, 2020: 131)

3.7. MIG/MAG Kaynağı Avantaj ve Dezavantajları

3.7.1. Avantajları

Endüstride çoğu metalin kaynak işlemlerinde yaygın olarak kullanılan sürekli beslenen ve ergiyen elektrodlu bir kaynak türüdür. Elektrik ark kaynağının uygulamasında sınırlı uzunlukta tel elektrod kullanımı olması sebebiyle sürekli beslenen elektrod kullanımı bu kaynağın avantajları arasındadır. Sürekli elektrod beslenmesi sayesinde uzun kaynak dikişleri elde edilebilir. Tozaltı ark kaynağına göre tüm aksenel yönlerde kaynak işlemi

gerçekleştirilebilmektedir. Kaynak bölgesine metal aktarım hızı ve kaynak hızı, elektrik ark kaynağı ile karşılaştırıldığında daha iyidir. Kaynak işleminde yoğun çapaklanma durumunun olmaması kaynak pasolarının temizliğinin kısa sürmesini sağlar. Sprey ark iletimi ile kaynak yapıldığında, elektrik ark kaynağı ile karşılaştırıldığında daha iyi kaynak nüfuziyeti sağlanmaktadır. Böylelikle dar, iç köşe kaynak ağızları açılarak yapılan kaynak uygulamalarında benzer mukavemette kaynak yapılabilir. Tel elektrod türlerinden özlü tip elektrod kullanımı ile yapılan kaynaklarda kaynak dikişinin özellikleri iyileştirilerek daha kaliteli kaynak elde edilebilmektedir. Kaynak parametrelerinin kaynağa etkisine hâkim olan biri için MIG/MAG kaynak yönteminin uygulanması kolaydır. Kaynak yöntemleri incelendiğinde ise, mekanize ve otomatik kaynak yöntemleri çoğunlukla yatay pozisyonda gerçekleştirilirken ek olarak robotik ve 3D yazıcı kullanımı ile daha farklı kaynak pozisyonları ile kaynak işlemi avantajları elde edilebilmektedir. MIG/MAG kaynağının belirtilen bu avantajları, endüstride, üretimde yaygın olarak kullanıma sahip olmasını sağlamıştır (Erol, 2017: 15; Kahraman ve Gülenç, 2020: 141; Eryürek, 2008: 2).

3.7.2. Dezavantajları

Elektrik ark kaynağı ile karşılaştırıldığında MIG/MAG kaynağı donanımının belli bir yere taşınması daha zordur ayrıca donanımı daha karmaşık yapıda ve maliyetlidir. Elektrik ark kaynağı pensesi ile MIG/MAG kaynak torcu karşılaştırıldığında, torcun daha büyük olmasından dolayı, koruyucu gazın KM'yi koruması için kaynak torcu ile bağlantı arasında 10-20 mm mesafe bulunması gerekmektedir. MIG/MAG kaynağının kullanımı bu sebepten dolayı ulaşılması zor olan bölgelerde yapılmasını engellemiştir. MIG/MAG kaynağında kaynak arkının, hava akımlarına karşı korunması gerekmektedir. Hava akımlarına maruz kalması, koruyucu gazın bölgeden uzaklaşmasına sebep olmaktadır. Bu sebeple kaynaklı bölgenin çevresi, hava akımlarına karşı korumalı olmadığında, bu kaynak yönteminin açık sahalarda uygulanması uygun olmayacaktır. Kaynak esnasında ark yoğunluğunun olması ve fazla ısının, güçlü ışınların yayılması durumları göz önünde bulundurulduğunda, bu kaynak yöntemi için koruyucu kaynak ekipmanlarının kullanılması ve önlemlerin alınarak kaynak işleminin yapılması uygun olacaktır. MIG/MAG kaynağına ait dezavantajlar bu şekilde belirtilmiştir. (Erol, 2017: 16; Kahraman ve Gülenç, 2020: 142; Eryürek, 2008: 2).

4. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında 3 mm kalınlığa sahip SPH440-OD otomotiv yapısal sıcak haddelenmiş rulo sac çeliği kullanılmıştır. Bu çelik türüne, gazaltı ark kaynağı türlerinden biri olan MAG kaynak yöntemi ile kaynak işlemi uygulanmıştır.

4.1. SPH440-OD Çeliği ve Kaynak İşlemleri

Bu çelik türü otomotiv endüstrisinde yüksek mukavemet ve aşırı yüke bağlı bozulmama özelliklerini sağlayabilmesinden dolayı yapı çeliği olarak kullanılmaktadır. (BBN Steel Co., Ltd, 2024). Bu çelik türü JIS G3113-2018 standardına bağlıdır. Ayrıca çeliğin isimlendirmesinde SAPH440 ismi de kullanılmaktadır. Tablo 4.1’de çeliğe ait kimyasal bileşimler gösterilmiştir. Tablo 4.2 içerisinde ise mekanik özelliklerine değinilmiştir. Bu veriler standarda bağlı kalınarak oluşturulmuştur (Nippon Steel Corp, 2024; BBN Steel Co., Ltd, 2024; JFE Steel Corp, 2024).

(Ertürk ve Elitaş, 2024: 399) çalışmasında elde edilen kimyasal bileşim verisi, çeliğe ait EM yüzeyinin spektral analiz sonucuna göre hazırlanmıştır.

Tablo 4.1. SPH440-OD çeliğine ait kimyasal bileşimler (%)

Çelik Sembolü JIS G3113	C	Si	Mn	P	(S) Kükürt	Cu	Ni	Al	Diğer	Fe
SAPH440 (Nippon Steel Corp, 2024)	≤ 0,15	≤ 0,80	≤ 1,90	≤ 0,025	≤ 0,010	-	-	-	-	Kalan
SAPH440 (BBN Steel Co., Ltd, 2024)	≤ 0,21	≤ 0,30	≤ 1,50	≤ 0,025	≤ 0,025	-	-	-	≥ 0,010	Kalan
SAPH440 (JFE Steel Corp, 2024)	-	-	-	0,040 maks	0,040 maks	-	-	-	-	Kalan
SPH440-OD (Ertürk ve Elitaş, 2024: 399)	0,15	0,01	0,70	0,013	0,007	0,026	0,022	0,02-0,05	-	Kalan

Kaynak: (BBN Steel Co., Ltd, 2024; JFE Steel Corp, 2024; Nippon Steel Corp, 2024; Ertürk ve Elitaş, 2024: 399)

Tablo 4.1’de SPH440-OD/SAPH440 çeliği için üç farklı kimyasal bileşim gösterilmiştir. Nippon Steel Corp. çelik üreticisine göre kendi çelik üretim kodu olan NSHA440B çeliği, bu çalışmada kullanılan 3 mm kalınlığında SPH440-OD/SAPH440 çeliği ile karşılaştırıldığında mekanik özellikleri aynı olduğu görüldüğünden kimyasal bileşimi de tablo içerisine eklenmiştir.

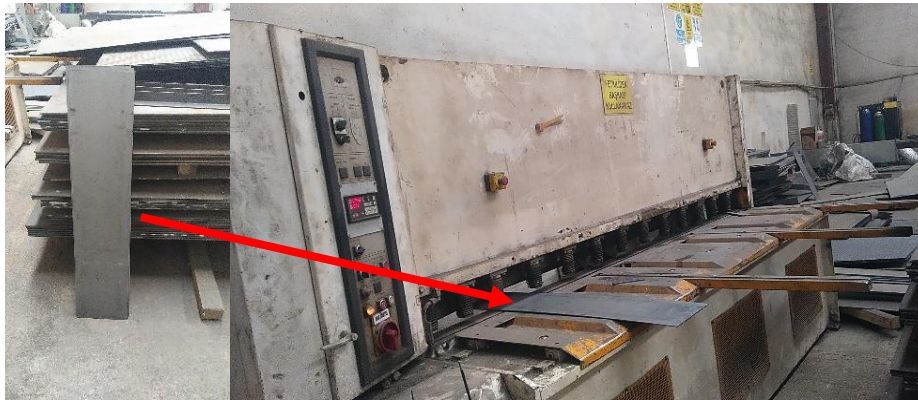
Tablo 4.2. SPH440-OD çeliği mekanik özellikleri

Çelik Sembolü JIS G3113	Akma Noktası (N/mm ²)			Uzama (%)						Çekme Mukavemeti (N/mm ²)
	Kalınlık (t) (mm)			Kalınlık (t) (mm)						
SAPH440	t<6	6≤t<8	8≤t≤14	1,6≤t<2,0	2,0≤t<2,5	2,5≤t<3,15	3,15≤t<4,0	4,0≤t<6,3	6,3≤t≤14,0	440≤
	305≤	295≤	275≤	29≤	30≤	32≤	33≤	34≤	35≤	

Kaynak: (Nippon Steel Corp, 2024)

3 mm kalınlığında temin edilen SPH440-OD çeliğinin kaynak işleminden önce belli bir ölçü boyutuna getirilmesi planlanmıştır. (Kaya, 2018: 598), tarafından gerçekleştirilen çalışmada belirlenen plaka ölçü boyutu olan 300x75 mm EHS 10-31 M giyotin kesme makinesi aracılığıyla kesim işlemi uygulanmış ve bu boyutta 18 adet plaka elde edilmiştir.

Şekil 4.1’de giyotin kesme makinesinde sac malzemenin uygun boyuta getirilme işlemi gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Giyotin kesme makinesi plaka ölçüsü ayarlama ve kesim işlemi

300x75 mm boyutunda kesilen 18 adet plaka malzeme üzerinde MAG kaynağının uygulanabilmesi için en uygun kaynak parametre kombinasyonları giyotin kesme işleminden arta kalan hurda çelik malzemeler üzerinde kaynak işlemleri yapılarak gerçekleştirilmiştir. Böylece uygun kaynak parametre değişkenlerinden tel hızı ve kaynak gerilimi değerleri ayarlanmıştır. Tablo 4.3'te 9 farklı kombinasyonda ayarlanmış değişken kaynak parametre değerleri gösterilmiştir. Bu değerler ışığında kaynak işlemleri uygulanmıştır.

Tablo 4.3. 9 farklı kombinasyonda ayarlanmış değişken kaynak parametre değerleri

Sac Plaka Kodları	Tel Hızı (m/dk)	Gerilim (V)
1A	5	15
1B	5	17
1C	5	19
2A	5,5	15
2B	5,5	17
2C	5,5	19
3A	6	15
3B	6	17
3C	6	19

Kaynak işlemlerinde, GekaMak PowerPlus+ Plus MIG 250 PFC marka kaynak makinesi kullanılmıştır. Kaynak işlemlerinde ayrıca 1,2 mm çaplı Magmaweld MG 2 gazaltı (MAG) alaşımsız çeliklerin kaynak işlemlerinde kullanılan tel elektrod bu çalışmada kullanılmıştır.

Koruyucu gaz olarak ise, HB 212 50 230 karışım gazaltı (MAG) kullanılmıştır. Koruyucu gaz, balans Ar gazına ek olarak %12 CO₂ ve %2 O₂ gazı içeren bir gaz türüdür (ELKA, 2024). Deneysel çalışmada kullanılan bu koruyucu gaz, Tablo 3.1'e göre hafif oksitleyici grubunda alaşımsız ve az alaşımlı çeliklerin kaynak işleminde uygulanan bir gaz türüdür.

Özsüz tel elektrod olması sebebiyle bu çalışmada kullanılan MG 2 elektrodu aynı zamanda SG 2 tel elektrodu ile aynı tel elektrod türüdür.

Bu kaynak teli alaşımsız ve az alaşımlı çeliklerin kaynak işlemlerinde kullanılmaktadır. (Kahraman ve Gülenç, 2020: 124). SG 2 tel elektroduna ait kimyasal bileşimi (%) ve mekanik özellik değerleri Tablo 4.4 içerisinde gösterilmiştir.

Tablo 4.4. SG 2 kaynak teli kimyasal bileşimler (%) ve mekanik özellikleri

SG 2 Kaynak Tel Elektrodu	Kimyasal Bileşimi (Ağırlıkça %)							Mekanik Özellikleri		
	C	Mn	Si	Fe	≤ P	≤ S	≤ Cu	Akma Dayanımı (N/mm ²)	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Uzama (%)
Altun vd., 2024: 177	0,07	1,45	0,90	Kalan	-	-	-	460	560	27
Kahraman ve Gülenç, 2020: 124	0,07-0,14	1,3-1,6	0,7-1,0	-	0,025	0,025	0,30	-	-	-

Kaynak: (Altun vd., 2024: 177; Kahraman ve Gülenç, 2020: 124)

MG 2 kaynak telinin tipik kimyasal ve mekanik özelliklerine ait veriler Tablo 4.5'te gösterilmiştir. Bu tablo içerisinde belirtilen kimyasal ve mekanik özellikler EN ISO 14175 standardına göre C1 koruyucu gazı (%100 CO₂) ve M21 koruyucu gazı (Ar + %20 CO₂) uygulama durumlarında geçerlidir (Magmaweld, 2024).

Tablo 4.5. Magmaweld MG 2 1,2 mm çaplı kaynak telinin kimyasal ve mekanik özellikleri (tipik)

Kaynak Telinin Tipik Kimyasal Özellikleri					
Analiz Tipi	C	Si	Mn		
Kaynak Teli	0,07	0,90	1,45		
KM'nin Tipik Mekanik Özellikleri (%)					
Test Şekli	Koruyucu Gaz	Akma Dayanımı (N/mm ²)	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Uzama A5 (%)	Çentik Darbe Dayanımı ISO-V (J)
Kaynak Sonrası	C1	430	540	29	-20°C= 90 -30°C= 70
Kaynak Sonrası	M21	460	560	27	-30°C= 95 -40°C= 75

Kaynak: (Magmaweld, 2024)

Şekil 4.2’de kaynak makinesi temelinde, gaz tüpü, tel sürme ünitesi ve torç bölümü gösterilmiştir. Kaynak öncesi giyotin kesme makinesinde 300x75 mm boyutlarına getirilmiş 3 mm kalınlığındaki sac plaka malzemelere çift V tipi 45° kaynak ağızı açılmıştır. Plakalar puntalama ile kaynak masasına sabitlenmiş ve alın tipi kaynak işlemleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.3’te kaynak işleminin uygulanma anına ait görsel sunulmuştur. Şekil 4.4’te ise örnek bir plakanın kaynak öncesi puntalanmış ve kaynak ağızı açılmış plaka görseli sunulmuştur. Şekil 4.5’te kaynak sonrası plaka görüntüsü ve kaynak dikişi gösterilmiştir. Şekil 4.6’da ise kaynaklanmış bir plakaya ait cetveli yan görsel paylaşılmıştır (300 mm). Şekil 4.7’de ise kaynaklanmış bir plakaya ait cetveli dik görsel paylaşılmıştır (150 mm).



Şekil 4.2. Kaynak işleminde kullanılan kaynak makinesi ve donanımları



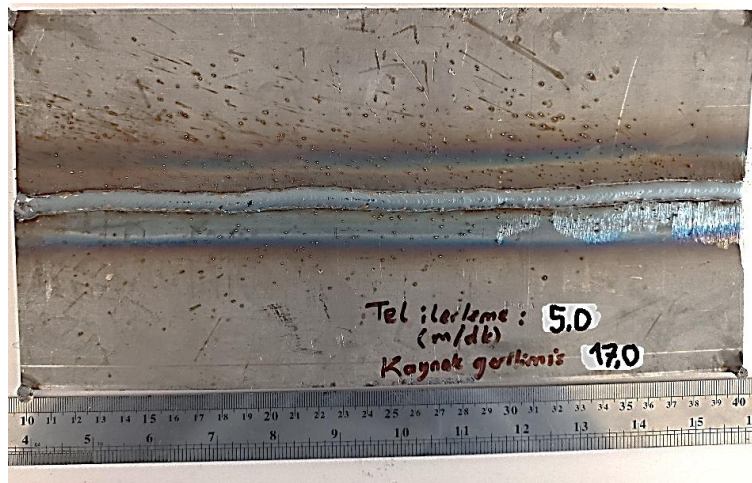
Şekil 4.3. MAG kaynağı işlemi uygulama anı



Şekil 4.4. Kaynak masasına puntalanmış, kaynak ağzı açılmış sac plaka malzemenin kaynak işlemi öncesi görüntüsü



Şekil 4.5. Kaynaklanmış plaka görüntüsü ve kaynak dikişi



Şekil 4.6. Kaynaklanmış bir plakaya ait cetveli yan görüntü (300 mm)



Şekil 4.7. Kaynaklanmış bir plakaya ait cetveli dik görüntü (150 mm)

9 farklı değişken kaynak parametre kombinasyonlarında (tel hızı, kaynak gerilimi) kaynaklanmış sac plaka malzemelerden tel erozyon kesim yoluyla 27 adet çekme ve 9 adet (metalografi-Vickers mikrosertlik deneyi) numuneleri elde edilmiştir. Tel erozyon işlemi öncesinde plakalara karışmaması için kodlandırma uygulanmıştır. Bu kodlandırma Tablo 4.3'te gösterilmiştir. Kaynak parametre değişkenleri göz önünde bulundurularak ayarlanmıştır.

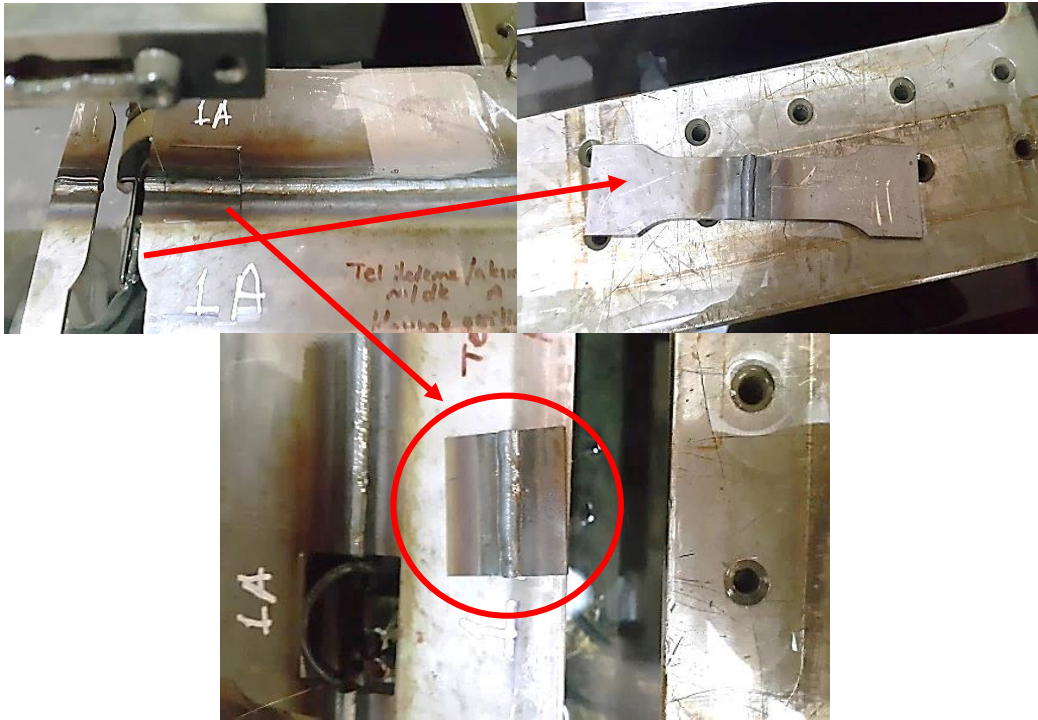
Şekil 4.8'de tel erozyon makinesine ait görsel eklenmiştir. Şekil 4.9'da ise tel erozyon numune kesim işlemine ait görüntüler paylaşılmıştır. Şekil 4.10'da plaka kesim ekranı gösterilmiştir. Her kaynaklı plakadan 3 çekme numunesi ve 1'er adet metalografi ve Vickers mikrosertlik deneylerinde kullanmak için mikroyapı-mikrosertlik numuneleri elde edilmiştir. Çekme numuneleri çekme numunesi ölçüleri göz önünde bulundurularak kesilmiş ve plaka kesim ekranında belirtilen sıra ile kesme işlemi uygulanmıştır. Mikroyapı-Vickers mikrosertlik numunelerinin kesim işleminde ise ölçü olarak kaynak dikişini 2 santimetre (cm) ortalayacak şekilde dikdörtgensel bir kesit alınmıştır. Bu kesimlerdeki asıl hedef EM, ITAB

ve KM bölgelerinin metalografi deneyi ile tane yapılarını rahatlıkla inceleyebilmek ve bu bölgelere ait sertlik ölçümlerini yapabilmektir.

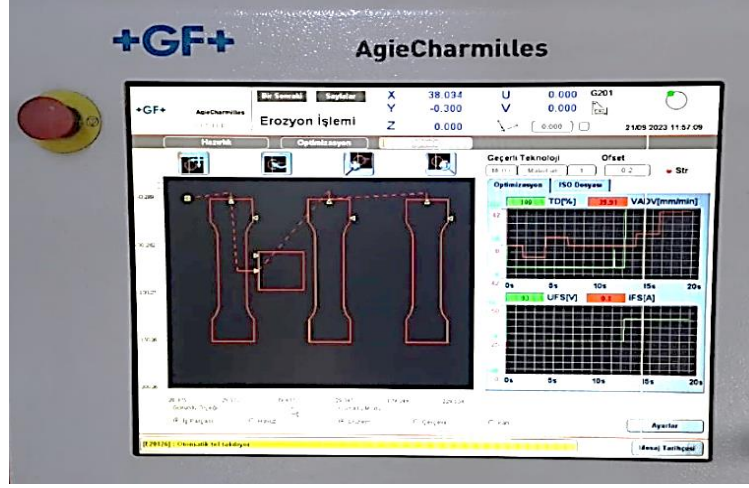
Çekme numunelerinin ölçüleri ISO 4136 standardından faydalanılarak oluşturulmuştur (Mazlum Boru, 2017). Şekil 4.11’de ise çekme numunesi ölçüleri gösterilmiştir.



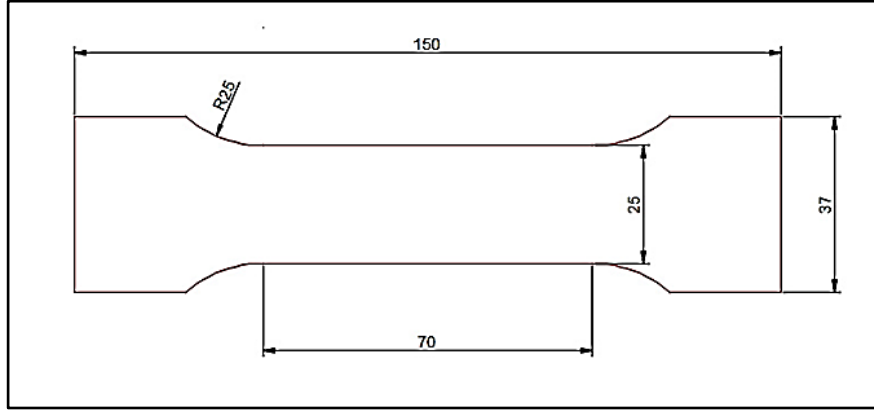
Şekil 4.8. Tel erozyon kesim makinesi



Şekil 4.9. Tel erozyon numune kesim işlemi



Şekil 4.10. Tel erozyon işlemi kesim ekranı



Şekil 4.11. Çekme deneyi numunesi ölçüleri

4.2. Çekme Deneyi Uygulamaları

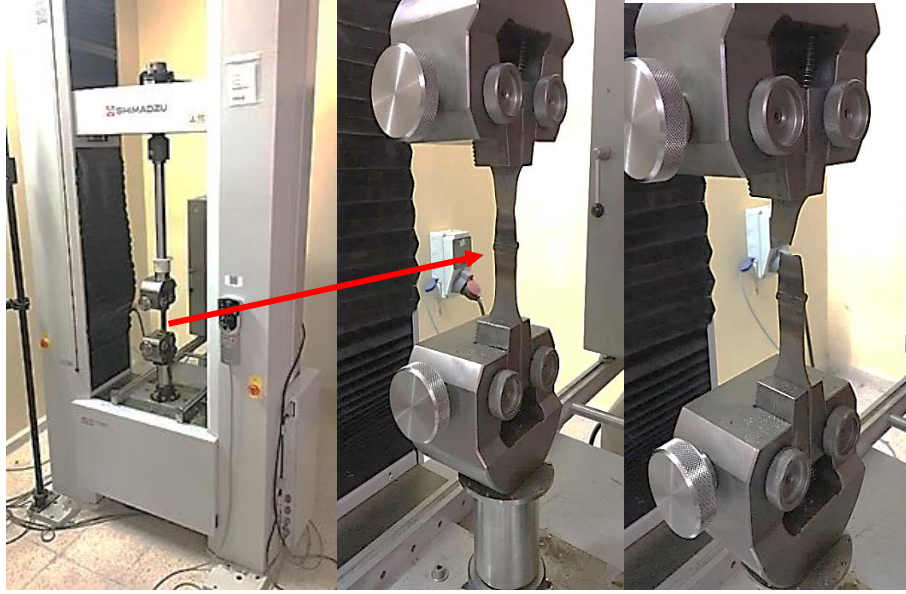
MAG kaynağı ile birleştirilmiş SPH440-OD çeliğinin tel erozyon yöntemiyle kesilmiş çekme numunelerine (27 adet) çekme deneyi işlemleri uygulanmıştır. Çekme deneyi uygulamaları Shimadzu AG-IC marka çekme cihazında 2 mm/dk çene hızında gerçekleştirilmiştir. Bu cihaz 100 kN çekme ve basma deneyleri için kullanılabilir. Şekil 4.12’de çekme deneyi numunesine ait cetveli yan görsel sunulmuştur. Şekil 4.13’te çekme numunesine ait cetveli dik görsel sunulmuştur. Şekil 4.14’te çekme cihazı ve deneysel uygulama, kopma anına ait görsel paylaşılmıştır.



Şekil 4.12. Çekme deneyi numunesine ait cetvelli yan görsel (150 mm)



Şekil 4.13. Çekme deneyi numunesine ait cetvelli dik görsel (37 mm)



Şekil 4.14. Çekme cihazı ve deney uygulama anı, kopma görüntüsü

4.3. Metalografi Deneyi

Tel erozyon kesim yöntemiyle elde edilen 9 numune içinden gözle inceleme sonucunda en simetrik dikiş görünümüne sahip olan 2B numunesine optik mikroskop aracılığıyla EM, ITAB ve KM bölgelerinde mikroyapı incelemesi yapılmıştır. Numunenin büyük olması bakalite alma ihtiyacı gerektirmemiştir. Optik mikroskopta inceleme öncesinde yapıların detaylı ve kaliteli bir şekilde görülebilmesi için numuneye sırasıyla zımparalama, parlatma ve dağlama işlem adımları uygulanmıştır. Zımparalama ve parlatma işlemleri Metkon Forcipol 2V zımparalama-parlatma cihazında gerçekleştirilmiştir.

Zımparalama işleminde sırasıyla 120, 220, 360, 600, 800, 1200, 1500, 2000 numaralı zımparalama kağıtları ile her aşamada numuneyi 90 derece çevirerek elle zımparalama işlemi uygulanmış, zımparalama çizgileri gözle kontrol edilmiştir.

Zımparalama sonrasında numuneye parlatma işlemi uygulanmış bu işlemde ise sırasıyla 3 mikron ve 1 mikron elmas pasta kullanarak numunenin yüzeyi parlatılmıştır.

En son numune hazırlama aşamasında ise dağlama işlemi gerçekleştirilmiş bu işlemde ise dağlayıcı olarak %2 nitrik asit ve %98 metanol içeren %2 nital dağlayıcı çözeltisi numune yüzeyinin yanma durumu göz önünde bulundurularak 2 sn aralıklarla uygulanmıştır.

Daha sonrasında optik mikroskopta belirtilen EM, ITAB ve KM bölgeleri Nikon Eclipse LV150 optik mikroskop ile 40 µm ölçekte incelenmiştir.

Şekil 4.15’de Metkon Forcipol 2V marka zımparalama-parlatma cihazı gösterilmiştir. Şekil 4.16’da 2B numunesi zımparalama işlemi görüntüsü paylaşılmıştır. Şekil 4.17’de Nikon Eclipse LV150 marka optik mikroskop cihazı gösterilmiştir.



Şekil 4.15. Metkon Forcipol 2V marka zımparalama-parlatma cihazı

Kaynak: (Bilecik.edu.tr, 2024)



Şekil 4.16. 2B numunesi zımparalama işlemi görüntüsü



Şekil 4.17. Nikon Eclipse LV150 optik mikroskop cihazı

Kaynak: (Bilecik.edu.tr, 2024)

4.4. Vickers Mikrosertlik Deneyi Uygulamaları

Tel erozyon kesim yöntemiyle her kaynaklı plakadan 1'er adet elde edilen 9 numunenin EM, ITAB ve KM bölgelerinde mikrosertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. 2B mikroyapı numunesinin haricindeki 8 deney numunesi için 120, 220, 360, 600, 800, 1000 numaralı zımparalar ile numuneleri 90 derece döndürerek sırasıyla zımparalama işlemleri uygulanmıştır. 8 numune için mikrosertlik deneyinde iz görüntüsünü elde edebilmek amacıyla zımparalama işlemleri uygulanmıştır.

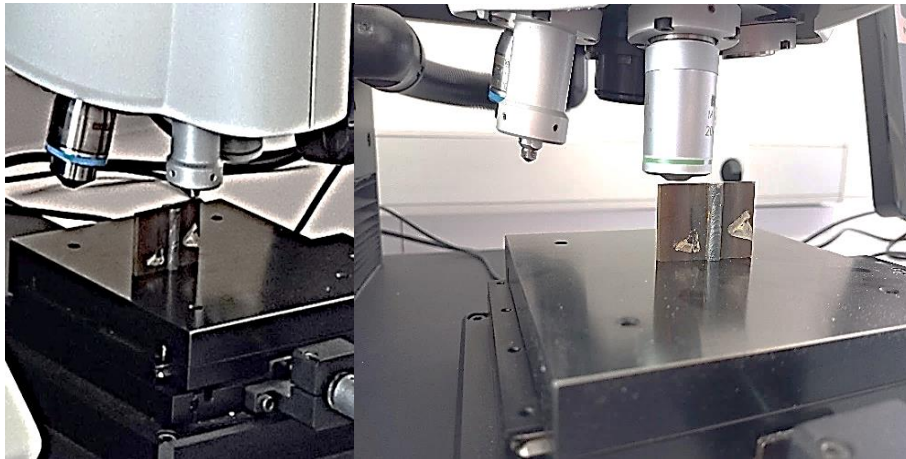
Bu sertlik yönteminde, tepe açısı 136 derece olan elmastan imal edilmiş piramit formunda kare tabanlı batıcı uç sayesinde, malzeme cinsine bağlı kalınarak belirlenen yükleme altında belli bir süre zarfında yüzeye batırılması ile iz elde edilmektedir. Bu izin köşegen uzunluklarının ölçülmesiyle Vickers hardness-Vickers sertliği (HV) değeri elde edilmektedir (Savaşkan, 2017: 343).

Bu çalışmada, numunelere uygulanan Vickers sertlik deneyi ölçümleri Emcotest Durscan sertlik ölçme cihazıyla HV 0,5 yük ve 10 sn süre ile gerçekleştirilmiştir. İz görüntüleri 20x odaklama ile incelenmiştir. Bu cihaz, 1-10 kg yük ölçme kapasitesindedir ayrıca 10x, 40x ve 60x odaklama altında sertlik ölçümü yapabilmektedir.

Şekil 4.18’de Emcotest Duroscan sertlik ölçme cihazına ait görüntü paylaşılmıştır. Şekil 4.19’da numune yüzeyinde iz oluşturma ve 20x odaklama ile iz görüntüsü alma anı gösterilmiştir. Şekil 4.20’de ise mikroyapı numunesi dışındaki diğer 8 numuneden birine ait iz oluşumunun 20x odaklama altındaki görüntüsü ve HV 0,5 yük altındaki sertlik değeri olarak gösterilmiştir. Şekil 4.21’de ise 2B mikroyapı numunesine ait iz oluşumunun 20x odaklama altındaki görüntüsü ve HV 0,5 yük altındaki sertlik değeri olarak gösterilmiştir.



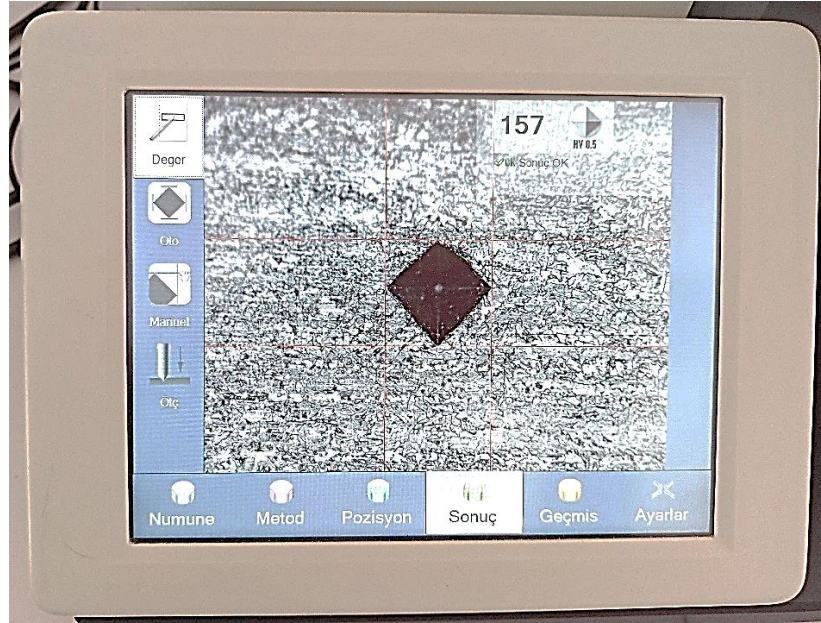
Şekil 4.18. Emcotest Duroscan sertlik ölçme cihazı



Şekil 4.19. Numune yüzeyine iz oluşturma ve 20x odaklama ile iz görüntüsü alma anı



Şekil 4.20. Mikroyapı numunesi dışındaki bir numuneye ait iz görüntüsü ve HV 0,5 yük altındaki sertlik değeri



Şekil 4.21. Mikroyapı numunesine ait iz görüntüsü ve HV 0,5 yük altındaki sertlik değeri

5. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

5.1. Çekme Deneyi Sonuçları ve Kaynak Dikişi İncelemesi

Tablo 5.1 ve Tablo 5.2’de çekme cihazında Trapeziumx programı aracılığıyla 27 adet çekme numunesinin çekme deneyi sonuçlarına göre seçilen maksimum çekme gerilmesi ve yüzde uzama verileri gösterilmiştir. Bu tablolar içerisine ayrıca Tablo 4.3’te verilen 9 farklı kombinasyonda ayarlanmış değişken kaynak parametre değerleri, çekme dayanımı ve uzama verileri arasındaki ilişkilerin incelenmesi amacıyla eklenmiştir. Ek olarak Tablo 5.1’de EM çekme mukavemeti ve yüzde uzama verileri de eklenerek sonuçlar tartışılmıştır.

Tablo 5.1. Numunelere uygulanan çekme deneyleri sonucu elde edilen maksimum çekme gerilmesi ve yüzde uzama verileri (tel hızı sabit, kaynak gerilimi kademeli artırılmış)

Sac Plaka Kodları	Maksimum Çekme Gerilmesi (MPa)	Maksimum Yüzde Uzama (%)	GRUPLAR	Tel Hızı (m/dk)	Kaynak Gerilimi (V)
			1.GRUP		
1A	506,71	20,67		5	15
1B	507,08	18,11		5	17
1C	509,08	20,59		5	19
			2.GRUP		
2A	509,92	17,85		5,5	15
2B	510,00	21,64		5,5	17
2C	487,83	18,99		5,5	19
			3.GRUP		
3A	508,83	20,44		6	15
3B	511,00	21,54		6	17
3C	515,83	20,72		6	19
EM (Nippon Steel Corp, 2024)	440,00 \leq	t=3mm 32,00 \leq			

Tablo 5.1 incelendiğinde en yüksek çekme gerilmesi değeri 515,83 MPa ile 3C kodlu kaynaklı plakaya ait çekme numunesinde görülmüştür. En düşük çekme gerilmesi değeri 487,83 MPa ile 2C kodlu kaynaklı plakaya ait çekme numunesinde görülmüştür. Maksimum yüzde uzama verilerine bakıldığında, en yüksek yüzde uzama değeri %21,64 ile 2B kodlu

kaynaklı plakaya ait çekme numunesinde görülmüştür. Buna karşın en düşük yüzde uzama değerinin ise %17,85 ile 2A kodlu kaynaklı plakaya ait çekme numunesinde gerçekleştiği görülmüştür.

Tablo 5.1’de tel hızının sabit tutulup, kaynak geriliminin kademeli olarak arttırılması durumu kaynaklı çekme numuneleri için gruplara bölünerek gösterilmiştir. Tel hızının sabit tutulup, kaynak geriliminin kademeli olarak arttırılması, 1.grup ve 3.grupta çekme dayanımının düzenli olarak arttığını göstermiştir. 2.grupta 2A’dan 2B’ye çekme numunelerinin çekme dayanımında yükselme olsa bile 2C kaynaklı plakasına ait çekme numunesinde, kaynak esnasında kaynak nüfuziyetinin yeteri kadar sağlanamaması çekme dayanımına olumsuz şekilde yansımış ve çekme dayanımında da bu sebepten dolayı düşüş olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 5.2’de ise Tablo 5.1’den farklı olarak kaynak gerilimi sabit tutularak tel hızı kademeli olarak arttırılma durumunun, maksimum çekme dayanımı ve yüzde uzamaya etkisi gösterilmeye çalışılmıştır (Tablo 5.1’den dönüştürülerek oluşturulmuştur).

Tablo 5.2. Numunelere uygulanan çekme deneyleri sonucu elde edilen maksimum çekme gerilmesi ve yüzde uzama verileri (kaynak gerilimi sabit, tel hızı kademeli arttırılmış)

Tel Hızı (m/dk)	Kaynak Gerilimi (V)	GRUPLAR	Maksimum Çekme Gerilmesi (MPa)	Maksimum Yüzde Uzama (%)
		1.GRUP		
5	15	1A	506,71	20,67
5,5	15	2A	509,92	17,85
6	15	3A	508,83	20,44
		2.GRUP		
5	17	1B	507,08	18,11
5,5	17	2B	510,00	21,64
6	17	3B	511,00	21,54
		3.GRUP		
5	19	1C	509,08	20,59
5,5	19	2C	487,83	18,99
6	19	3C	515,83	20,72

Tablo 5.2 incelendiğinde, kaynak geriliminin sabit tutulup tel hızının kademeli olarak arttırılması, 1.grup için incelendiğinde 1A’dan 2A’ya doğru çekme numunelerinin çekme dayanımında artış görülmüştür fakat 3A’ya ait çekme numunesinin çekme dayanımında çok

az düşme olduğu gözlemlenmiştir. 2.grup incelendiğinde çekme numunelerinin çekme dayanımında düzenli olarak artış olduğu görülmektedir. 3.grup için 1C'den 3C'ye çekme numunelerinin çekme dayanımında artış olsa bile 2C kodlu kaynaklı plakada kaynak nüfuziyetinin sağlanamaması sonucu oluşan olumsuz durum bu plakaya ait çekme numunesinin çekme dayanımı sonucuna yansımış ve 3.grup içinde de çekme dayanımın düzenli olarak artmasını engellemiştir. (Kılınçer ve Kahraman, 2009: 25) çalışmaları incelendiğinde, tel hızının kademeli olarak arttırılıp kaynak geriliminin sabit tutulması şartlarında yapılan MIG kaynak işleminde, iki farklı numunede çekme deneyi sonucu elde edilen çekme mukavemeti değerlerinde artış olduğu gözlemlenmiştir. Tablo 5.2'de ise bu durumun bu çalışmada da genel olarak sağlanabildiği görülebilmektedir.

Tablo 5.1 ve Tablo 5.2 verilerinde gösterilen maksimum yüzde uzama verileri SPH440-OD çeliğinin (EM) mekanik özelliklerine göre incelendiğinde, Tablo 5.1'de bu çalışmada kullanılan SPH440-OD çeliğinin 3 mm kalınlığında olması sebebiyle $32 \leq$ uzama verisi gösterdiği görülebilmektedir fakat çekme deneyi sonucunda kaynaklı numunelerin uzaması %17,85-%21,64 veri aralığında gerçekleşmiştir. Daha düşük yüzde uzama veri aralığının elde edilme sebebi ise, EM sertliğinin KM-ITAB sertliğinden daha az olması olarak açıklanabilmektedir. (Kılınçer ve Kahraman, 2009: 25) çalışmalarında yüzde uzama durumunun düşmesine kaynaklı bölgede oluşan sertlik artışını örnek olarak göstermişlerdir. Çekme deneyleri sonucunda, birbirine yakın ve az miktarda birbirlerinden farklı yüzde uzama verilerinin elde edilmesinin sebebi, kaynak esnasında akımın etkisine göre ısı girdi farklılıklarının kaynaklı birleşimlere etkisi olarak açıklanabilmektedir. (Kaya vd., 2020: 93) çalışmalarında, kaynaklı çekme numunelerinin yüzde uzama değerlerinde farklılığın oluşmasına belirtilen bu durumun sebep olabileceğini düşünmüşlerdir.

Ayrıca çeliğe ait Tablo 5.1'de gösterilen EM'ye ait maksimum çekme gerilmesi değeri $440 \leq$ MPa olarak belirtilmiştir. Kaynaklı numunelere ait çekme deneyi sonuçlarına bakıldığında çekme dayanımı değerlerinin EM çekme dayanımından yüksek çıktığı gözlemlenmiştir.

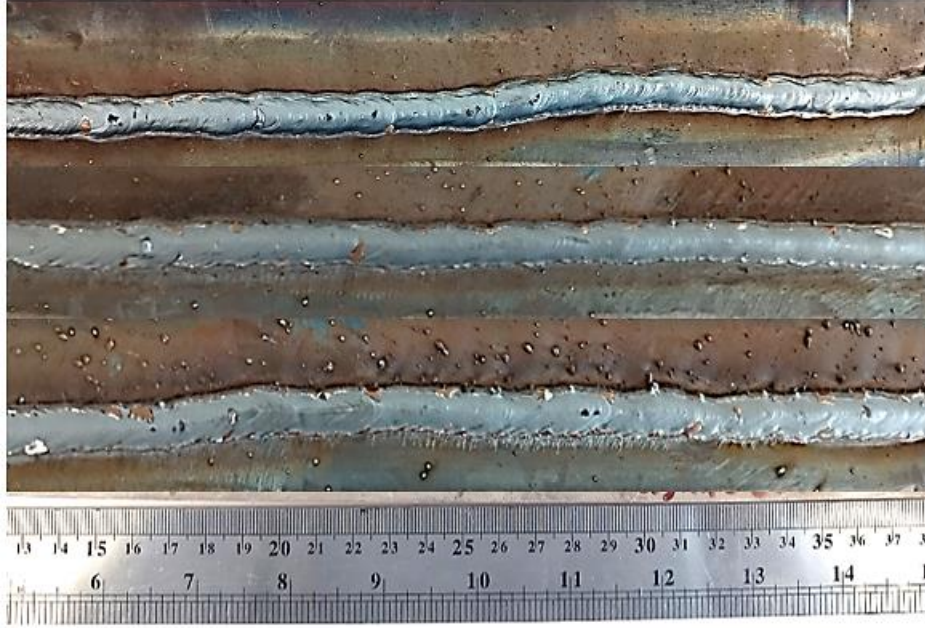
Şekil 5.1'de 1A, 1B ve 1C plakalarına ait, Şekil 5.2'de 2A, 2B ve 2C plakalarına ait, Şekil 5.3'te ise 3A, 3B ve 3C plakalarına ait kaynak dikiş görünümleri (sırasıyla) gösterilmiştir. Şekillerle kaynak sonucunda plakaların kaynak dikişlerinin makro görüntüleri gösterilmeye çalışılmıştır. Dikiş boyutlarının incelenmesi hedeflenmiştir.



Şekil 5.1. 1A, 1B ve 1C plakalarına ait kaynak dikiş görünümleri (sırasıyla)



Şekil 5.2. 2A, 2B ve 2C plakalarına ait kaynak dikiş görünümleri (sırasıyla)



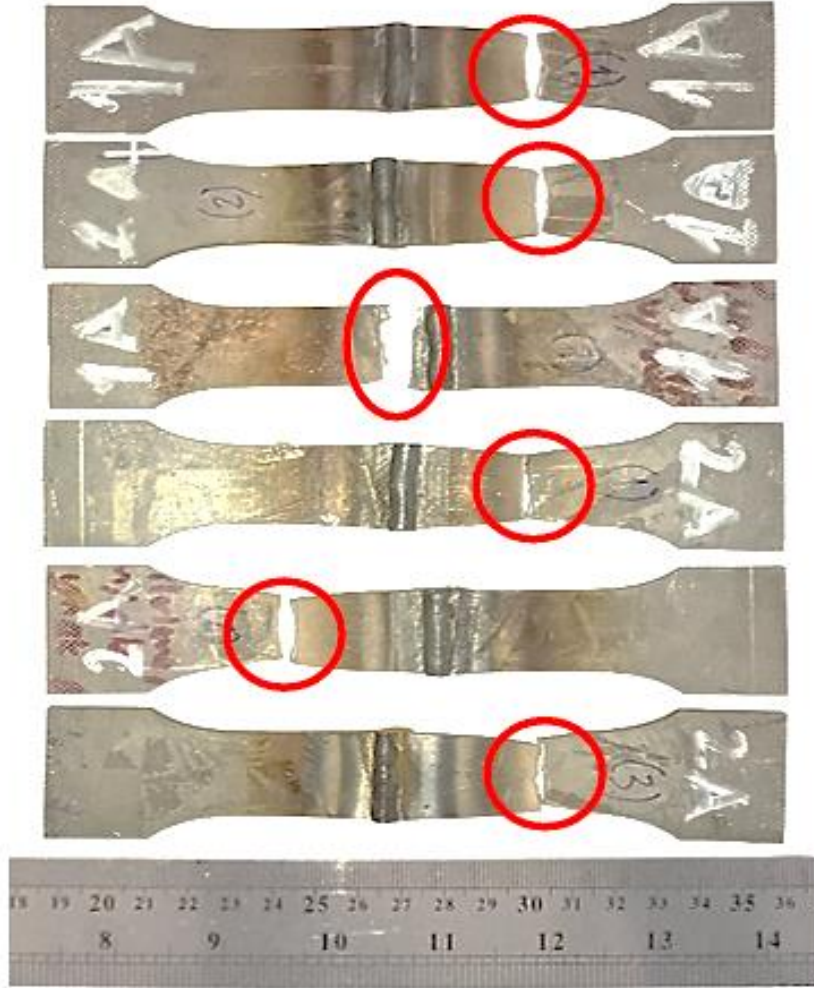
Şekil 5.3. 3A, 3B ve 3C plakalarına ait kaynak dikiş görüntüleri (sırasıyla)

Şekil 5.1’de 1A, 1B ve 1C plakalarına ait kaynak dikiş görüntülerine bakıldığında 1A’dan 1C plakasına doğru kaynak dikiş genişliğinin arttığı gözlemlenebilmektedir. Şekil 5.3’de ise 3A plakasından 3C plakasına kaynak dikişi açısından aynı durumun geçerli olduğu dikiş genişliğinin arttığı görülmektedir.

Kaynak geriliminin kademeli olarak artırılması kaynak dikişinin geniş ve yassı bir görünüme sahip olmasına neden olmuştur. 1A, 2A ve 3A plakalarında kaynak geriliminin daha düşük olması diğer kaynak dikişlerine göre daha dar ve dışbükey formda dikiş elde edilmesine sebep olmuştur.

Şekil 5.2’de 2A plakasından 2C plakasına doğru, kaynak geriliminin artması benzer şekilde dikiş genişliğinin artmasını sağlasa bile 2C plakasında, 5,5 m/dk tel hızı ve 19 V kaynak gerilimi altında yapılan kaynak işleminde, dikiş sürekliliğinin ve uygun kaynak nüfuziyetinin sağlanamadığı görülmüştür. Diğer plakalarda yapılan birleştirme işlemlerinde, kaynakçının el kabiliyeti ve birleştirmelerde uygun kaynak hızı seviyesinin olması, birbirine yakın çekme gerilmesi ve uzama verilerinin elde edilmesine ek olarak da dikiş sürekliliğinde olumsuzluk görülmemesini sağlamıştır. Genel anlamda, kaynak parametrelerinin birbiri içinde uyumlu olmasının kaynağın kalitesini ve elde edilmek istenen mekanik özellikleri de etkilediği çalışmanın bu bölümünden gözlemlenebilmektedir bu sebeple kaynak dikişlerinin 2C plakası haricinde sürekliliğinde sorun görülmemiştir.

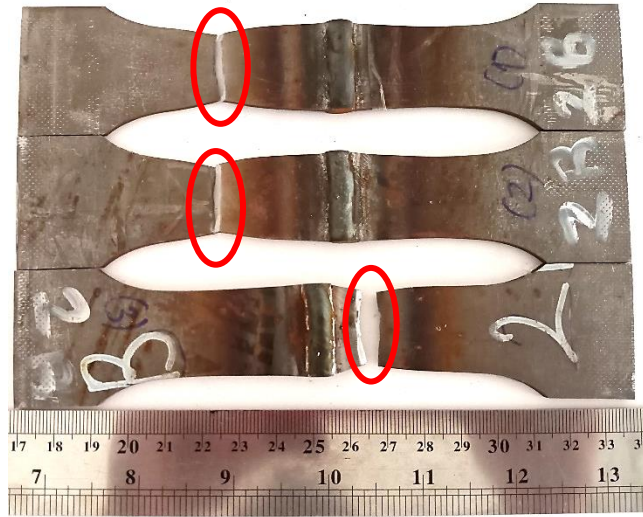
Şekil 5.4'te 1A ve 2A çekme numunelerinin çekme deneyi sonucundaki kopma bölgeleri gösterilmiştir. Şekil 5.5'te 1C ve 2C çekme numunelerinin çekme deneyi sonucundaki kopma bölgeleri gösterilmiştir. Şekil 5.6'da 2B çekme numunelerinin çekme deneyi sonucundaki kopma bölgeleri gösterilmiştir. Şekil 5.7'de 3A, 3B, 3C ve 1B çekme numunelerinin çekme deneyi sonucundaki kopma bölgeleri gösterilmiştir.



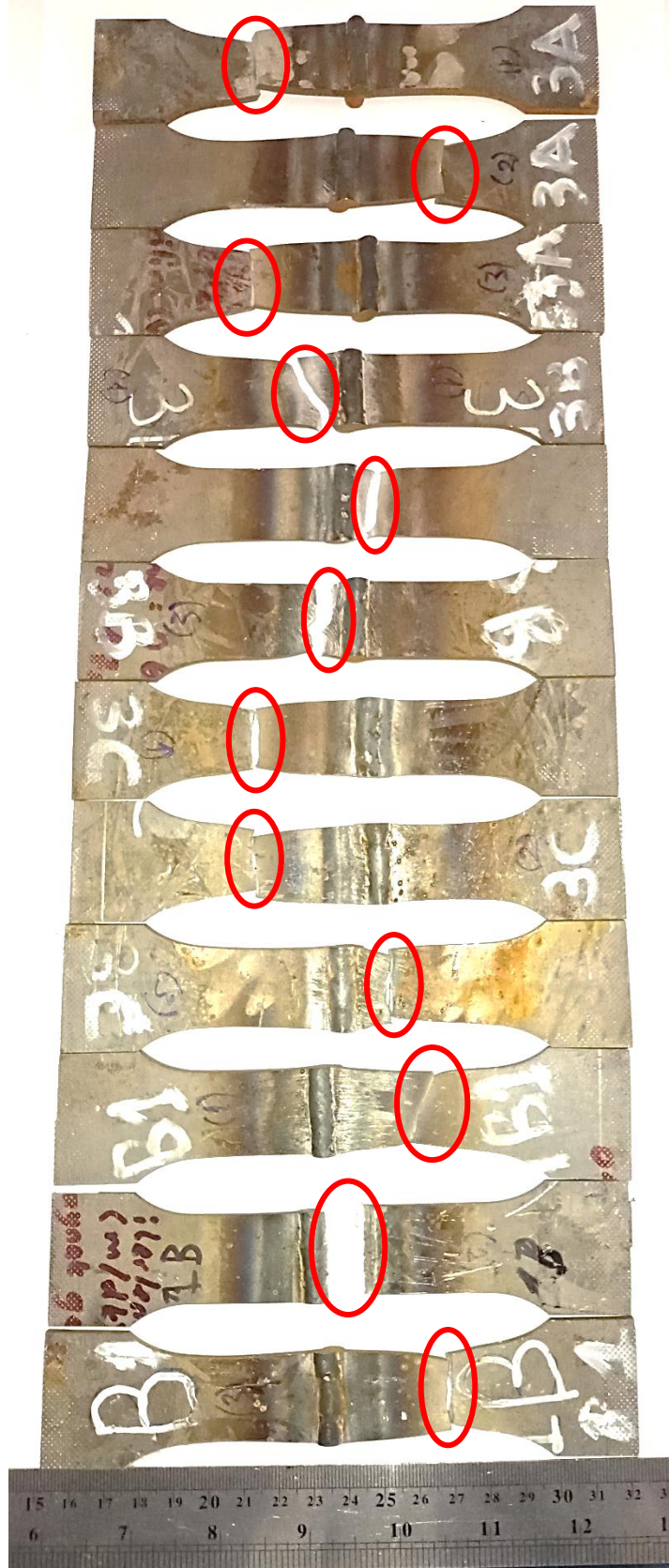
Şekil 5.4. 1A ve 2A çekme numunelerinde çekme deneyi sonucundaki kopma bölgeleri



Şekil 5.5. 1C ve 2C çekme numunelerinde çekme deneyi sonucundaki kopma bölgeleri



Şekil 5.6. 2B çekme numunelerinde çekme deneyi sonucundaki kopma bölgeleri



Şekil 5.7. 3A, 3B, 3C, 1B çekme numunelerinde çekme deneyi sonucu kopma bölgeleri

Şekil 5.4 incelendiğinde 5 numunenin EM bölgesinden kopma gösterdiği görülmektedir. 1 numune ise ITAB'da (1A-3) kopma göstermiştir. KM bölgesinde herhangi bir hasar gözlemlenmemiştir.

Şekil 5.5 incelendiğinde 2 numunede EM bölgesinde kopma olduğu görülmektedir. Diğer 4 numunede ITAB'da (1C-2 ve 2C-1, 2C-2 ve 2C-3) kopmalar oluşmuştur. Kopma oluşumu kaynak dikişinin süreklilik sağlanamadığı 2C plakasının numunelerinde KM'ye yakın taraflarda ITAB'da gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Kaynak parametrelerinin etkisiyle elde edilen kaynak dikişinin yeterli kalitede olmaması ITAB'da kopma durumlarının oluşmasına neden olduğu düşünülmektedir. Tüm numunelerde KM'de herhangi bir hasar gözlemlenmemiştir.

Şekil 5.6 incelendiğinde 2B numunelerinden sadece 2B-3 numunesinde ITAB'da kopma oluşmuş diğer numunelerde çekme deneyi sonucunda EM bölgelerinden kopmalar meydana gelmiştir. Üç numune içinde KM'de herhangi bir hasar gözlemlenmemiştir.

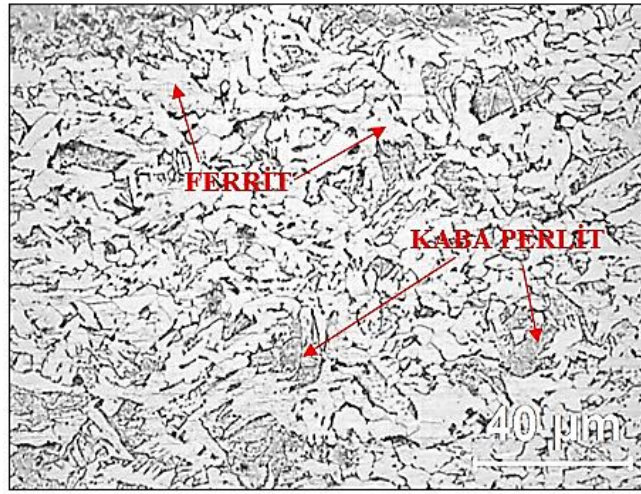
Şekil 5.7 incelendiğinde 3A çekme numunelerinde EM bölgelerinde kopmalar oluşmuştur. 3B numunelerinden üçünde de ITAB'da kopmalar oluşmuştur. 3C numunelerinde EM bölgelerinden kopmalar meydana gelmiştir. Son olarak 1B numunelerinden sadece 1B-2 numunesinde ITAB'da kopma olduğu diğer çekme numunelerinde ise EM bölgelerinde kopma oluşumları olduğu gözlemlenmiştir. Tüm numunelerde KM'de herhangi bir hasar gözlemlenmemiştir.

Genel olarak, çekme numunelerinde ITAB'da kopma oluşumlarının nedenlerine bakıldığında, bu bölge kaynak işlemi esnasında hızlı ısınma sonrası kaynağa uygulanmış enerji, malzemenin kalınlığı ve ön tavlama sıcaklığının etkilerine bağlı olarak hızlı soğumaktadır. Çeliğin kimyasal bileşimi göz önünde bulundurulduğunda bu bölgedeki soğuma hızı, kritik soğuma hızını geçtiğinde çoğunlukla 900 °C'nin üzerinde bir sıcaklığa ulaşmış bölgelerde bu durum ITAB'da sert ve kırılabilir yapıların oluşmasına sebep olmaktadır. (Ertürk vd., 2017: 3). Belirtilen bu durum çekme deneyi sonucunda numunelerde ITAB'da kopmaların oluşmasına neden olmuştur. Ayrıca 2C plakasında kaynak işlemi esnasında kaynak dikiş sürekliliğinde tutarlılığın sağlanamaması da bu kaynaklı plakaya ait tüm numunelerde kaynak nüfuziyetindeki azalmalardan dolayı ITAB'da kopmaların oluştuğu düşünülmektedir. Genel kopma durumlarına bakıldığında 27 çekme numunesinden, 17 çekme numunesinde EM'de kopma oluşmuşken, 10 çekme numunesinde ITAB'da kopmalar

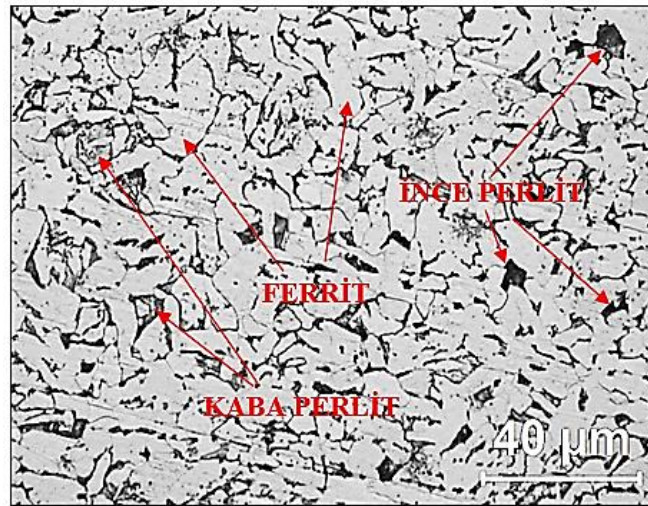
meydana gelmiştir genel olarak çekme deneylerinde kopmaların EM’de olduğu gözlemlenmiştir.

5.2. Metalografi Deneyi Sonuçları

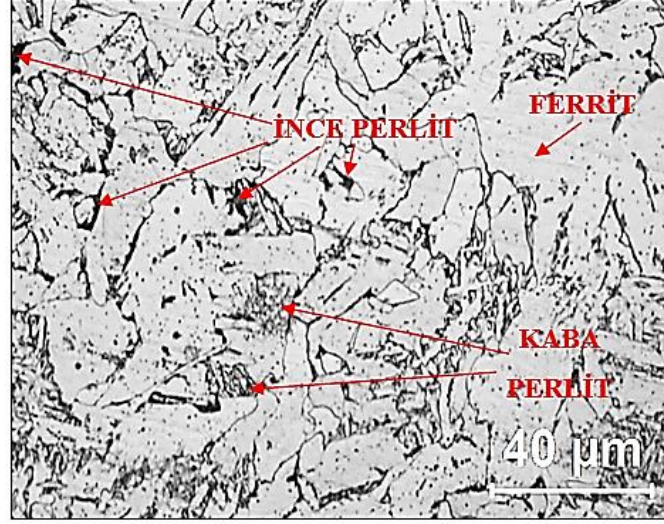
Metalografi deneyi, tel erozyon yöntemiyle elde edilen 9 adet mikroyapı ve mikrosertlik numunelerinden en simetrik dikiş görünümüne sahip olan 2B numunesi üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu numune üzerinde EM, ITAB ve KM bölgeleri için elde edilen mikroyapı faz görüntüleri Şekil 5.8, Şekil 5.9 ve Şekil 5.10’da gösterilmiştir.



Şekil 5.8. EM mikroyapısında fazların görüntüsü



Şekil 5.9. ITAB mikroyapısında fazların görüntüsü



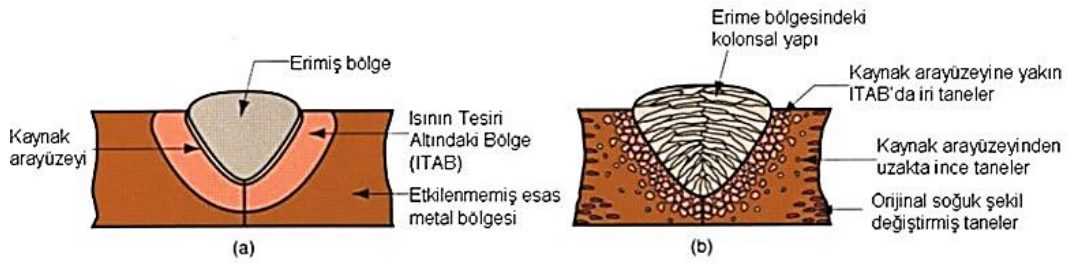
Şekil 5.10. KM mikroyapısında fazların görüntüsü

Şekil 5.8 incelendiğinde 2B mikroyapı numunesi üzerindeki EM bölgesi mikroyapı görüntüsünde yoğunlukla kaba perlit ve ferrit (α) karışımı faz yapılarının olduğu görülmektedir. Şekil 5.9’da ise bu faz yapılarına ek olarak daha koyu yapıda ince perlit fazları da katıldığı gözlemlenmiştir. Tanelerin ITAB’da yoğunlaştığı ve büyüdüğü görülmektedir. Şekil 5.10’da KM’de tanelerin biraz daha genişlediği, ITAB’daki gibi benzer faz yapılarına rastlandığı gözlemlenmiştir.

Görülen bu faz yapılarının bu çalışmada kullanılan çelik malzemeye ve kaynaklı birleşime etkisi incelendiğinde, α , oda sıcaklığında içerisinde bulunan yaklaşık %0,009 (en yüksek) oranında C miktarı bulunan bir fazdır. Bu faz optimum sıcaklıkta (727 °C) %0,025 maksimum oranda C çözebilmektedir. Bu faz yapısında C miktarının düşük olması sertliğin de az olmasına sebep olmaktadır. Bu faz yapısına sahip malzemeler sünek ve işlenmeye uygun yapıdadırlar. Farklı bileşenlere sahip bir faz olan bu yapı aynı zamanda manyetik davranış sergilemektedir (Maktoloji, 2024). Perlit fazı, sementit (Fe_3C) ve α fazlarının karışımı olan bir faz yapısıdır. Sementit sert ve gevrek yapıya sahiptir. Fe_3C fazının yapıdaki oranında artış olması malzemenin sertliğini ve dayanıklılığını artırır, sünekliğini ve tokluğunu azaltır. Malzemenin yapısındaki C yani sementit oranının yanı sıra fazların tabaka kalınlıkları da malzemenin mekanik özelliğine etki etmektedir. Perlit fazının iki türünden biri olan ince perlit fazı ($\alpha + Fe_3C$), α ve Fe_3C yapılarının nispeten ince ve tekrarlı tabakalar oluşturduğu bir faz düzenine sahiptir. Kaba perlit yapısına göre daha sert ve dayanıklı olmasına karşın daha az süneklik göstermektedir. Perlitin diğer türü olan kaba perlit

yapısında ise α ve Fe_3C yapılarının nispeten kalın ve tekrarlı tabakalar oluşturduğu bir faz düzeni bulunur ve ince perlitten daha sünek ve tokluğu daha yüksek olan bir fazdır (Hitit.edu.tr, 2024). Metalografi deneyi incelemesi sonucu EM, ITAB ve KM bölgelerinde görülen bu faz yapıları, yapının mekanik özelliklerini belirtildiği gibi etkilemektedir. EM yapısından farklı olarak ITAB'da ve KM'de ince perlit fazlarının görülmesi bu bölgelerde yapının sertliğinin artmasına sebep olmaktadır. EM yapısında görülen kaba perlit ve α fazları ise ince perlit fazlarına göre daha yumuşak, tok ve sünek malzeme yapısının oluşmasına sebep olmaktadır.

Ergitme kaynak türlerinden biri olan MAG kaynağı işleminde bu çalışmada deneylerle incelenen EM, ITAB ve KM bölgelerinin tane görünümüne dair şematik görüntü Şekil 5.11'de gösterilmiştir.



Şekil 5.11. EM, ITAB ve KM bölgelerinin şematik tane yapılarının görünümü

Kaynak: (Natüralist, 2024)

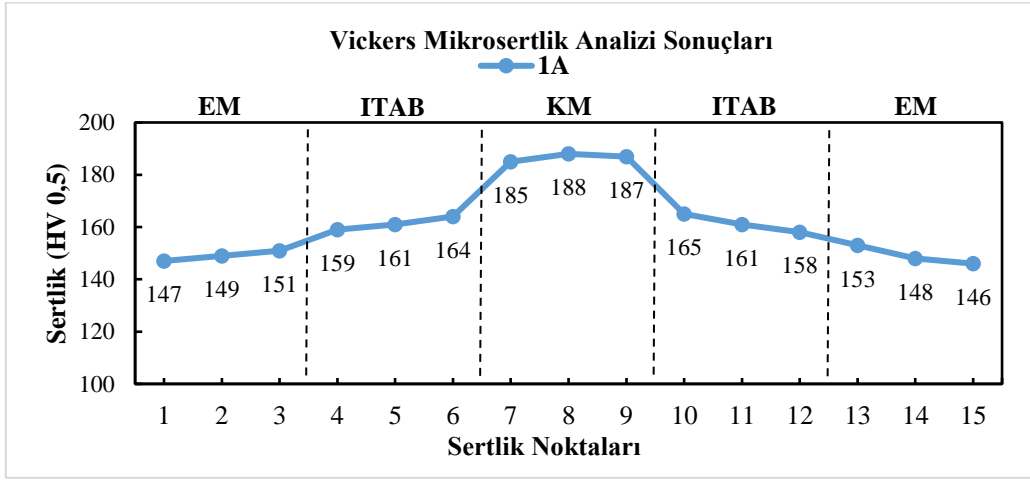
Şekil 5.11, metalografi deneyi incelemesi kapsamında elde edilen EM, ITAB ve KM bölgelerinin mikroyapı görüntülerine göre incelendiğinde, orijinal bölge yapısına göre (EM) iri tane yapılarının ITAB'da artış gösterdiği ve tanelerin sıklaştığı ayrıca KM'de tanelerde kolonsal yapıda büyüme olduğu gözlemlenebilmektedir.

5.3. Vickers Mikrosertlik Deneyi Sonuçları

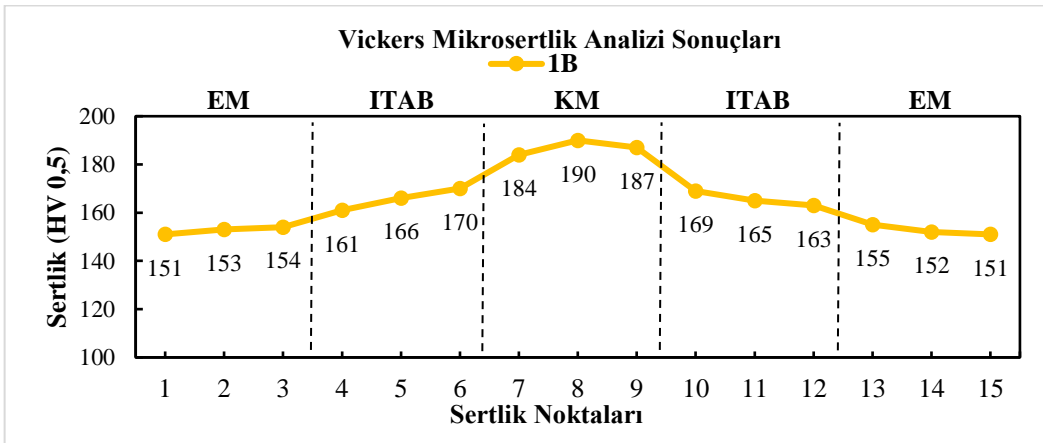
9 farklı kombinasyonda kaynak işlemi uygulanmış plakalardan tel erozyon kesimi ile elde edilen 9 adet deney numunesi üzerinde (2B mikroyapı numunesi dahil) bu numunelerin EM, ITAB ve KM bölgelerinde Vickers mikrosertlik deneyi ölçümleri gerçekleştirilmiştir ve bu bölümde analiz sonuçları gösterilerek, bu sonuçlar tartışılmıştır.

Bu bölümde grafikler halinde 9 farklı kaynaklı plaka numunesi için sertlik grafikleri oluşturulmuştur. Bu grafikler Grafik 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5, 5.6, 5.7, 5.8 ve 5.9'da her numune için ayrı ayrı oluşturulmuştur. Kaynaklı plaka numunelerinin sertlik değerlerinin birbirine

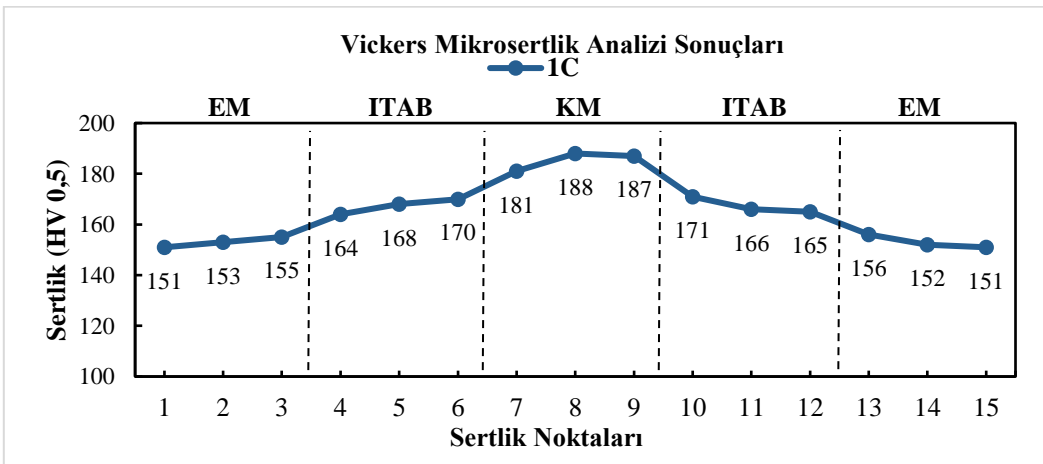
yakınlıklarını görmek açısından Grafik 5.10'da 9 ayrı kaynaklı plaka numunesinin sertlik verileri nokta bazlı tek bir grafik halinde şematik kaynak dikişi ile birlikte gösterilmiştir.



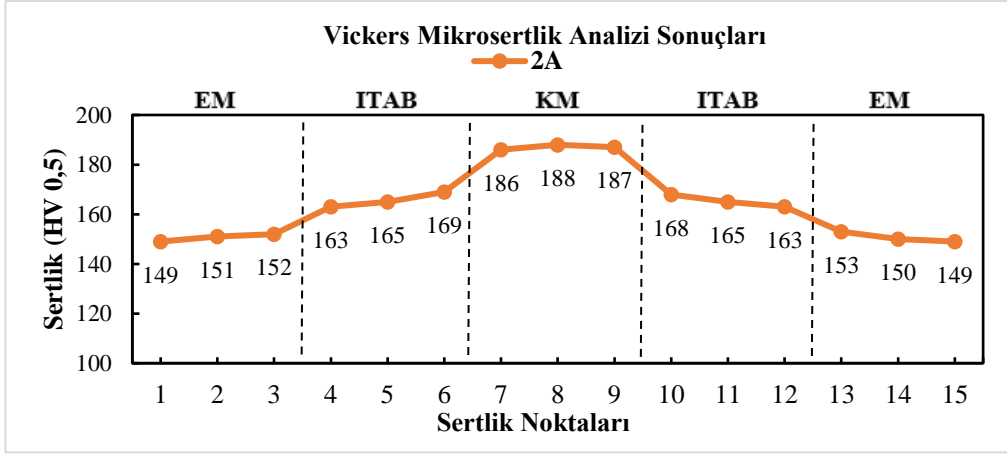
Grafik 5.1. 1A numunesine ait Vickers sertlik analizi sonuçları



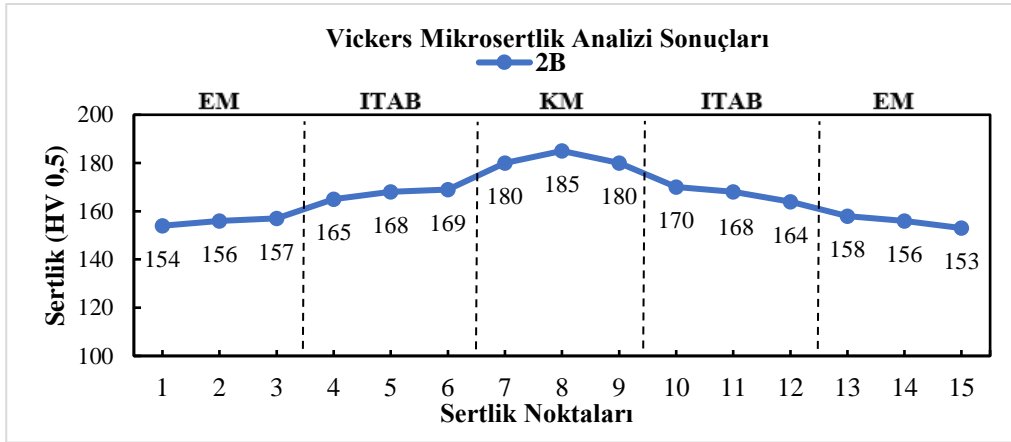
Grafik 5.2. 1B numunesine ait Vickers sertlik analizi sonuçları



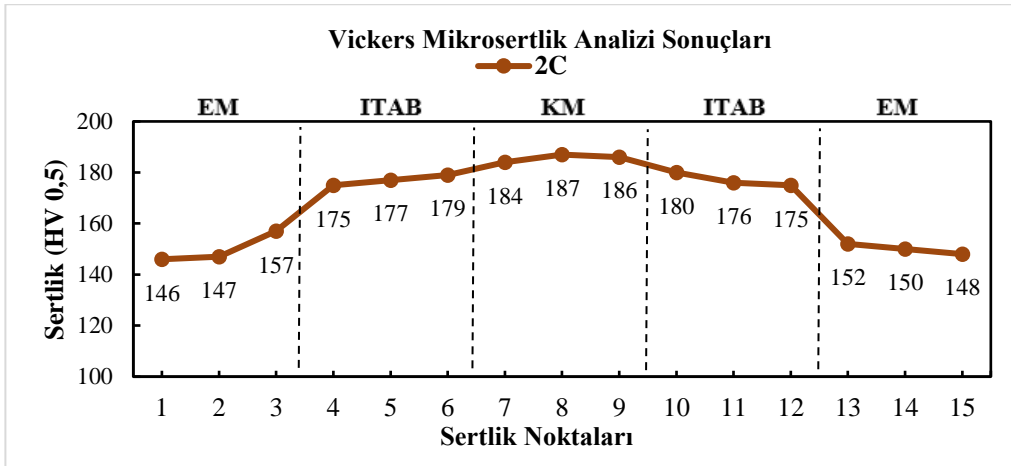
Grafik 5.3. 1C numunesine ait Vickers sertlik analizi sonuçları



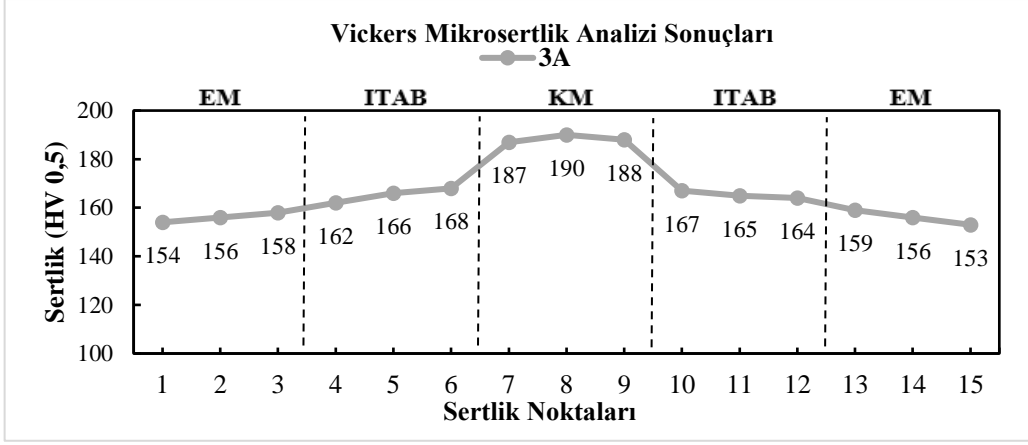
Grafik 5.4. 2A numunesine ait Vickers sertlik analizi sonuçları



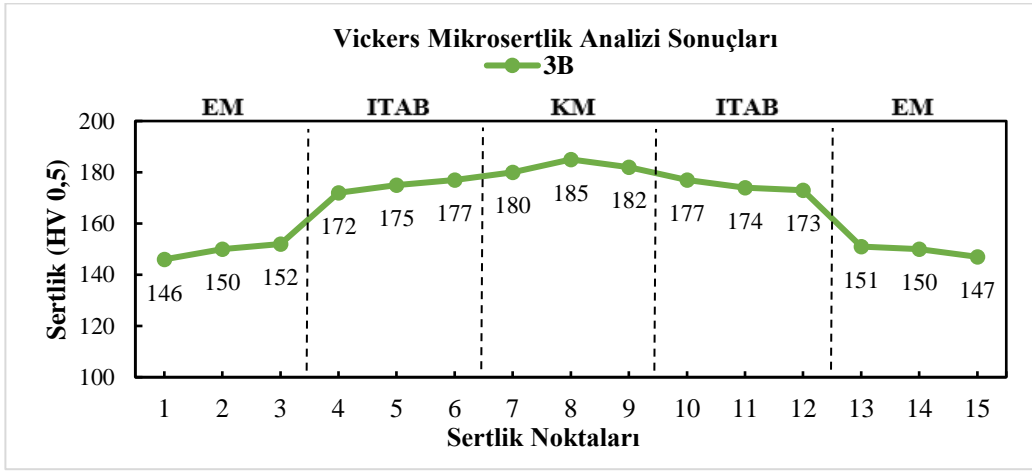
Grafik 5.5. 2B numunesine ait Vickers sertlik analizi sonuçları



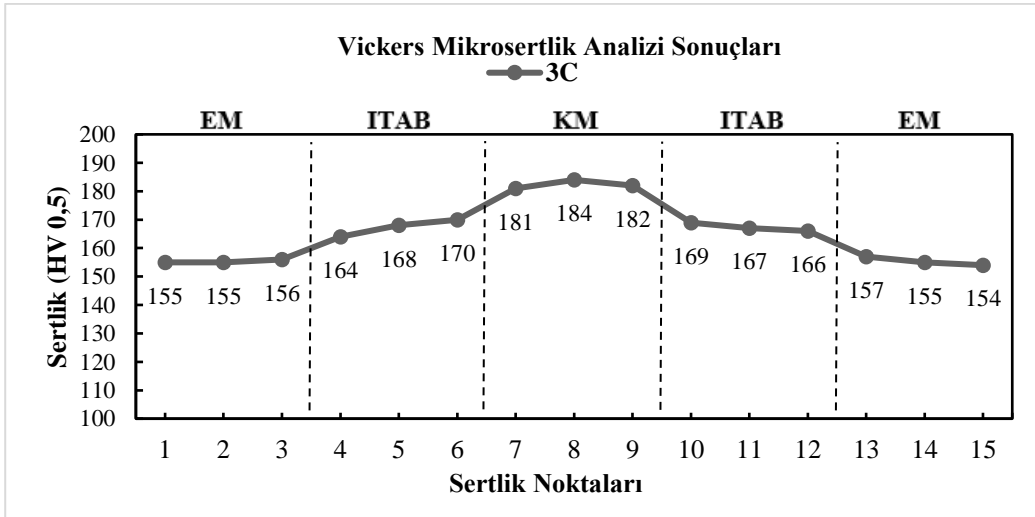
Grafik 5.6. 2C numunesine ait Vickers sertlik analizi sonuçları



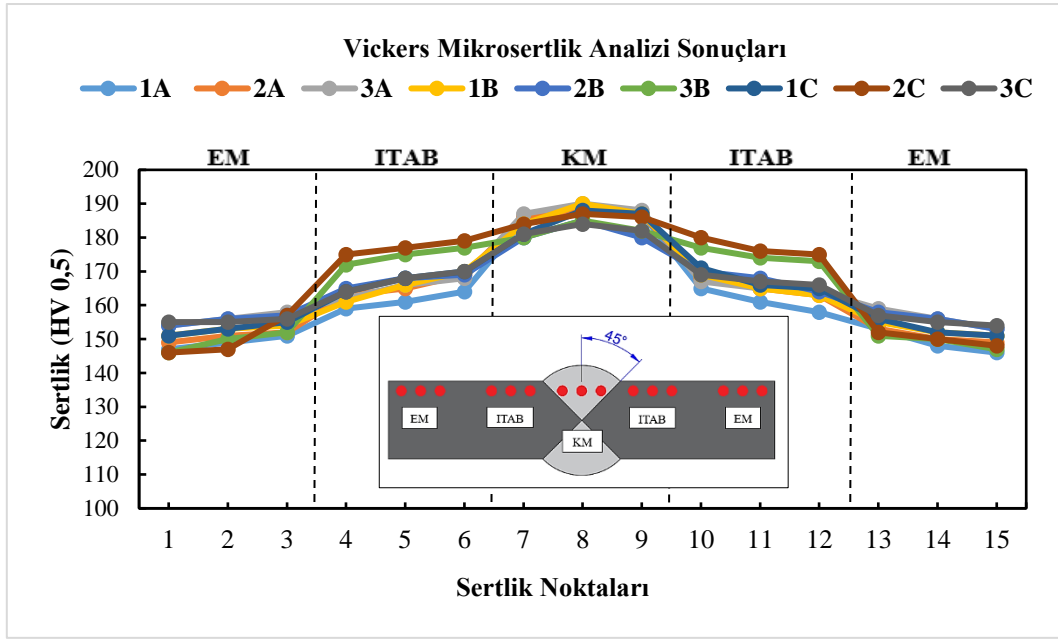
Grafik 5.7. 3A numunesine ait Vickers sertlik analizi sonuçları



Grafik 5.8. 3B numunesine ait Vickers sertlik analizi sonuçları



Grafik 5.9. 3C numunesine ait Vickers sertlik analizi sonuçları



Grafik 5.10. Tüm numunelere ait Vickers sertlik analizi sonuçları ve şematik kaynak dikişi üzerindeki bölge bazlı sertlik noktaları

Tüm kaynaklı plaka numunelerinin ortalama sertlik analiz sonuçları Tablo 5.3'te gösterilmiştir. 15 sertlik noktasından her bölge için ortalama veri sonucu oluşturulmuştur.

Tablo 5.3. Tüm numunelere ait bölge bazlı ortalama sertlik analizi sonuçları

Numuneler	EM-ORT	ITAB-ORT	KM-ORT
1A	149,00	161,33	186,67
2A	150,67	165,67	187,00
3A	156,00	165,33	188,33
1B	152,67	165,67	187,00
2B	155,67	167,33	181,67
3B	149,33	174,67	182,33
1C	153,00	167,33	185,33
2C	150,00	177,00	185,67
3C	155,33	167,33	182,33

Grafiklerin tümü ve Tablo 5.3 incelendiğinde, elde edilen sertlik analizlerinde genel olarak EM'den ITAB'a, ITAB'dan KM bölgesine doğru sertliğin arttığı görülmektedir. (Kaya, 2018: 600), çalışmasında S235JR ve S355JR yapı çeliklerini MAG kaynak yöntemiyle farklı kombinasyonlarda birleştirmiş ve bu birleşime HV 0,5 yükleme altında Vickers sertlik deneyi uygulamıştır. Bu deneyin sonucunda sırasıyla EM-ITAB-KM bölgelerine doğru sertliğin arttığını gözlemlemiştir. Bu çalışmada kullanılan malzeme otomotiv yapısal çeliği olması

sebebiyle aynı şekilde bu çalışmada da EM-ITAB-KM bölgelerinde sırasıyla sertliğin arttığı gözlemlenmiştir.

Çekme deneyinde 2C ve 3B kaynaklı plakalarına ait çekme numunelerinin tümünde ITAB'da kopmalar meydana geldiğinden sertlik analizleri ile bu durum arasındaki ilişki incelendiğinde, Tablo 5.3'e göre, bu plakalara ait numunelerin ITAB'daki ortalama sertliklerinin diğer numunelerin ITAB ortalama sertlik değerlerinden daha fazla çıktığı gözlemlenmiştir. Bu numunelerde, ITAB'da sertliğin diğer numunelere göre fazla olmasının çekme numunelerinde kopmaların ITAB'da gerçekleşmesine sebep olduğu düşünülmektedir.

Grafik 5.10 incelendiğinde, tüm plakalara ait numunelerin sertlik verileri EM ve KM bölgelerinde nokta bazlı birbirine yakın değerler gösterdiği görülmektedir. ITAB'ın kaynaklı bağlantılar için kopma ve çatlama açısından kritik bölge olmasından dolayı nokta bazlı diğer bölgelere göre sertlik sonuçlarında daha farklı değerler elde edildiği görülmektedir. (Kılınçer ve Kahraman, 2009: 25) çalışmalarında, kopma ve çatlama durumlarının birçoğunun kaynaklı bağlantılarda ITAB'da meydana geldiğini desteklemiştir.

Genel anlamda tüm plakalara ait numuneler için sertlik aralıkları, EM'de, 146-159 HV ölçülmüştür. ITAB'da, 158-180 HV ölçülürken, KM'de ise, 180-190 HV ölçüm aralığı elde edildiği gözlemlenmiştir.

Metalografi deneyinde mikroyapı görüntülerinin incelenmesi sonucunda, KM ve ITAB'da görülen ince perlit fazının sertliği arttırdığı belirtilmiştir. 2B mikroyapı numunesine ait elde edilen Vickers mikrosertlik değerlerinde, KM ve ITAB sertlik değerlerinin EM sertliğinden fazla olduğu görülmüştür dolayısıyla iki deney sonucu birbirini desteklemiştir.

KM ve ITAB sertliklerinin, EM sertlik değerlerinden fazla olmasının sebebi kaynak işleminde ısı girdisinin etkisiyle kaynak işlemi sonrasında soğuma hızlarındaki farklılıklardan dolayı meydana gelmiştir. (Kaya, 2018: 600), yaptığı çalışmada bu durumu desteklemektedir.

SPH440-OD çeliğinin 3 mm kalınlık altında $\%32 \leq$ uzama göstermesi, çekme deneyi sonucu çekme numuneleri için elde edilen maksimum yüzde uzama veri aralığından yüksek olduğu çekme deneyi sonuçlarının inceleme kısmında belirtilmiştir. Daha düşük yüzde uzama veri aralığının elde edilme sebebine ise, EM sertliğinin KM-ITAB sertliğinden daha düşük olması örnek olarak gösterilmiştir. Genel sertlik deneyi sonuçlarına göre EM sertliğinin, KM ve ITAB sertliklerinden düşük geldiği Vickers mikrosertlik deneyi sonuçlarına göre bu durumun desteklendiği görülmektedir.

6. GENEL SONUÇLAR

Bu çalışmada, 3 mm kalınlığında temin edilen SPH440-OD yapısal otomotiv sıcak haddelenmiş çeliğine 9 farklı kaynak parametre kombinasyonlarında (tel hızı-kaynak gerilimi) MAG gazaltı ark kaynağı ile birleştirme işlemi uygulanmıştır. Kaynaklanmış plakalardan tel erozyon tekniği ile kesilerek numuneler elde edilmiş bu numunelere çekme deneyi, metalografi deneyi ve Vickers mikrosertlik deneyi uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Birleşimlerin mikroyapı ve mekanik özellikleri ve kaynak dikişleri incelenmiştir.

Bu çalışmadan elde edilen genel inceleme sonuçları;

- Çekme deneyleri sonucunda, en yüksek çekme gerilmesi değeri 3C kodlu kaynaklı plakaya ait çekme numunesinde görülürken, en düşük çekme gerilmesi değeri ise 2C kodlu kaynaklı plakaya ait çekme numunesinde görülmüştür.
- Çekme deneyleri sonucunda, en yüksek yüzde uzama değeri 2B kodlu kaynaklı plakaya ait çekme numunesinde görülürken, en düşük yüzde uzama değeri ise 2A kodlu kaynaklı plakaya ait çekme numunesinde görülmüştür.
- Değişken kaynak parametrelerinin çekme deney sonuçlarına etkisi incelendiğinde gruplar arasında genel anlamda çekme dayanımının arttığı görülmüştür fakat 2C kaynaklı plakasının olduğu gruplarda çekme dayanımı düzenli olarak artmamış, 5,5 m/dk tel hızı, 19 V kaynak gerilimi koşullarında kaynak işleminde kaynak nüfuziyetinin yeterli şekilde sağlanamamasından dolayı bu durumun gerçekleştiği düşünülmüştür.
- Çekme deneyleri sonucunda elde edilen maksimum yüzde uzama veri aralıklarının bu çalışmada kullanılan 3 mm kalınlığında SPH440-OD çeliğinin yüzde uzama verisine göre daha düşük çıkmasındaki sebebin EM sertliğinin KM-ITAB sertliğinden düşük olmasından kaynaklandığı sonucuna varılmıştır. Vickers sertlik deney sonuçları bu durumu desteklemiştir.
- Kaynak esnasında akımın etkisine göre ısı girdi farklılıklarının oluşması birbirine yakın ve az miktarda birbirlerinden farklı yüzde uzama verilerinin elde edilmesine neden olmuştur.
- Çekme deneyi sonuçlarına göre kaynaklı çekme numunelerine ait çekme dayanımı değerlerinin EM çekme dayanımından yüksek çıktığı gözlemlenmiştir.

- Genel anlamda tel hızının sabit tutulup, kaynak geriliminin kademeli olarak artırılması, kaynaklı plakalar arasında kaynak dikişlerinin genişlemesini sağlamıştır.
- Genel anlamda, kaynak parametrelerinin birbiri içinde uyumlu olması kaynağın kalitesini ve elde edilmek istenen mekanik özellikleri de etkilediği gözlemlenmiştir bu sebeple kaynak dikişlerinin 2C kaynaklı plakası haricinde kaynak dikişi sürekliliğinde sorun görülmemiştir.
- Genel olarak çekme deneylerinde çekme numunelerinde kopmaların EM bölgelerinde olduğu gözlemlenmiştir.
- Hızlı ısınma ve soğuma durumlarına göre sert ve kırılğan yapıların oluşması ve kaynak nüfuziyetsizliği durumlarının çekme deneyi sonucunda ITAB'da kopma oluşumlarına yol açtığı sonucuna varılmıştır.
- Metalografi deneyi mikroyapı incelemesi sonucu görülen ince perlit fazlarının yapının sertliğinin artmasına sebep olduğu, kaba perlit ve α fazlarının ince perlit fazlarına göre daha yumuşak, sünek ve tok bir malzeme yapısının oluşmasına sebep olduğu sonucuna varılmıştır. Vickers sertlik deneyi sonuçları bu durumu desteklemiştir.
- Metalografi deneylerinde, EM'ye göre ITAB'da tanelerin sıklaştığı ve büyüdüğü, KM'de ise kolonsal tane yapıları gözlemlenmiştir.
- Vickers mikrosertlik deneyi sonuçlarına göre, numunelerin sertliği EM'den ITAB'a, ITAB'dan KM'ye doğru arttığı sonucuna varılmıştır.
- 2C ve 3B kaynaklı plakalara ait ITAB sertlik değerlerinin diğer numunelere ait ITAB sertlik değerlerinden daha fazla çıkması çekme deneyi sonucu, 2C ve 3B kaynaklı plakalarına ait çekme numunelerinin tümünde ITAB'dan kopmaların gerçekleşmesine sebep olduğu düşünülmüştür.
- KM ve ITAB sertliklerinin EM sertliğinden fazla olması, kaynak işleminde ısı girdisinin etkisiyle kaynak işlemi sonrasında soğuma hızlarındaki farklılıklardan kaynaklandığı sonucuna varılmıştır.
- Kaynaklı bağlantılar için kopma ve çatlama açısından kritik bölge olmasından dolayı ITAB'da, nokta bazlı diğer bölgelere göre sertlik sonuçlarında farklı değerler elde edildiği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKÇA

- Air Liquide.** (2024). *Gaz Bilgisi: Koruyucu Gazların Önemi*. [Erişim: 09.06.2024, <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.
- Altun, K. U., Çağlar, E., Ayan, Y., & Kahraman, N.** (2024). SG2 Düşük Alaşımli İlave Metal Kullanılarak Tel Ark Eklemeli İmalat Yöntemi ile Üretilen Silindirik Parçanın Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. *Yenilikçi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 4(1), 175-187.
- BBN Steel Co.,Ltd.** (2024). *JIS G3113 SAPH440 Chemical & Mechanical Composition*. [Erişim: 14.04.2024, http://www.bbnsteelplate.com/news/jis-g3113-saph440-chemical-mechanical-composition_933.html]
- Bilecik.edu.tr.** (2024). 3. *Malzeme Test Laboratuvarı*. [Erişim: 04.05.2024, <http://w3.bilecik.edu.tr/makine/arastirma/laboratuvarlarimiz/3-malzeme-test-laboratuvari/>]
- Buğra Kaynak Makinaları.** (2024). *MIG/MAG Ne Demektir, MIG ile MAG Arasındaki fark nedir?*. [Erişim: 07.06.2024, <https://www.bugra.com.tr/bilgi-merkezi#:~:text=MIG%2FMAG%20ne%20demektir%2C%20MIG,Metal%20Aktif%20Gas%20olarak%20adland%C4%B1r%C4%B1l%C4%B1r>]
- Çubuk, O.** (2022). *MIG-MAG Kaynağında Kutup Durumunun Kaynak Kabiliyetine Etkilerinin Araştırılması*. (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Docplayer.** (2024). *MIG/MAG Kaynak Yönteminde Kullanılan Koruyucu Gazlar*. [Erişim: 09.06.2024, <https://docplayer.biz.tr/51007183-Mig-mag-kaynak-yonteminde-kullanilan-koruyucu-gazlar.html>]
- Durmuşoğlu, Ş.** (2006). *Gazaltı Kaynağında Kaynak Kalitesine Tesir Eden Parametrelerin Mekanik Özelliklere Etkisi*. (Yüksek Lisans Tezi). Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.

Eleman, B. (2022). *Yeni Nesil (İnvetör) ve Geleneksel MİG / MAG Kaynak Makineleri ile Kaynaklanan S355 Kalite Çeliğin Kaynak Dikişlerinin Makro Yapı ve Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması*. (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

ELKA. (2024). *HB212 Karışım Gazı*. [Erişim: 03.05.2024, <https://www.elkagaz.com.tr/hb212-karisim-gazi-nedir>]

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.

Ertürk, Ç., & Elitaş, M. (2024). MAG Gazaltı Kaynağı ile Birleştirilen Otomotiv Çeliklerinin (SPH270-C/SPH440-OD) Çekme Özelliklerinin ve Kaynak Dikişinin İncelenmesi. *2 nd International Conference on Scientific and Innovative Studies*, s. 398-402.

Ertürk, İ., Durukan, T., & Şentürk, B. (2017). Çeliklerin Kaynağında Isıdan Etkilenen Bölgenin Mikro Yapı ve Özelliklerinin Tahmini. *X. Kaynak Teknolojisi Ulusal Kongre ve Sergisi Bildiriler Kitabı*, s. 1-14.

Eryürek, İ. B. (2007). *Gazaltı Ark Kaynağı*, Kaynak Tekniği Sanayi ve Ticaret A.Ş., İstanbul, s. 1-3.

Eurobotik. (2024). *MIG-MAG Kaynağı*. [Erişim: 17.04.2024, <https://www.eurobotik.com/mig-mag-kaynagi/#:~:text=MIG%20%2F%20MAG%20kaynak%20i%C5%9Flemleri%20%C3%A7ok,farkl%C4%B1%20malzemelerden%20yap%C4%B1lm%C4%B1%C5%9F%20bile%C5%9Fenlerle%20kullan%C4%B1labilir>]

Geçmen, İ. (2006). *Çeliklere Gazaltı Kaynağının Uygulanması*. (Yüksek Lisans Tezi). Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

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.

Gür, Y. (2022). *MIG/MAG Kaynağı ile Birleştirilen S700 MC Yüksek Dayanımlı Yapı Çeliğinin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Habaş. (2024). *Helyum (Basınçlı Gaz Halinde) Güvenlik Bilgi Formu*. [Erişim: 08.06.2024, <https://www.habas.com.tr/uploads/files/MSDS/Helyum%20Gaz%20GBF9.pdf>].

Hitit.edu.tr. (2024). *Faz Dönüşümleri*. [Erişim: 19.05.2024, <https://web.hitit.edu.tr/dosyalar/duyurular/yusufkanca@hititedutr211220180X7J9S0V.pdf>]

Işık, A. O. (2014). *MAG Kaynağında Özlü Tel Elektrod Tipinin Kaynak Dikişi Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

JFE Steel Corp. (2024) *Hot Rolled Steel Sheet*. [Erişim: 03.05.2024, <https://www.jfe-steel.co.jp/en/products/sheets/catalog/b1e-001.pdf>]

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.

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, Y. (2018) S235JR ile S355JR Yapı Çeliklerinin Özlü Tel Elektrotla MAG Kaynak Yöntemiyle Birleştirilebilirliğinin Araştırılması, *Politeknik Dergisi*, 21(3), 597-602.

Kaya, Y., Çayırhan, G., Bökü, M., & Kahraman, N. (2020). Paslanmaz Çelik ile Düşük Karbonlu Çelik Malzemelerin MIG Kaynak Yöntemiyle Birleştirilebilirliğinin İncelenmesi. *Engineering Sciences (NWSAENS)*, 1A0453, 15(2), 89-99.

Kaynak Okulum. (2024). *131/135 MIG-MAG Kaynağı*. [Erişim: 18.04.2024, <https://www.kaynakokulum.com/131-135-mig-mag-kaynagi/>]

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.

Magmaweld. (2024). *MG 2*. [Erişim: 03.05.2024, <https://www.magmaweld.com.tr/mg-2-uo>]

- Makine Eğitimi.** (2024). *Gazaltı Ark Kaynağı Nedir. Gazaltı Kaynak Yöntemleri* [Erişim: 17.04.2024, <https://www.makinaegitimi.com/gazalti-ark-kaynagi/>]
- Maktoloji.** (2024). *Ferrit, Östenit ve Sementit.* [Erişim: 19.05.2024, <https://www.maktoloji.com/2018/12/ferrit-ostenit-ve-sementit.html>]
- Mazlum Boru.** (2024). *ISO 4136'ya Göre Saclar ve Yassı Mamuller İçin Hazırlanan Kaynaklı Çekme Numunesi Şekli ve Ölçüleri.* [Erişim: 04.05.2024, <https://www.mazlumboru.com.tr/tr/upload/2017/03/kaynakli-cekme-test-numunesi-iso-4136.pdf>]
- MST Steel Corp.** (2024). *TSG3100G Toyota Hot Rolled JIS Steel.* [Erişim: 14.04.2024, <http://steel-coils-sheets.mststeel.com/item/japanese-industrial-standards-jis-hot-rolled-steel/tsg3100g-toyota-hot-rolled-jis-steel/sph440>]
- Natüralist.** (2024). *Ergitme ve Katı Hal Kaynak Bölgesi Arasındaki Farklar.* [Erişim: 20.05.2024, <https://xn--natralist-s9a.com/ergitme-ve-kati-hal-kaynak-bolgesi-arasindaki-farklar/>]
- Nippon Steel Corp.** (2024). *Hot-Rolled Steel Sheets and Coils.* [Erişim: 03.05.2024, https://www.nipponsteel.com/product/catalog_download/pdf/U001en.pdf]
- 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. T., & 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 Yöntemi ile Birleştirilmesinin Mikroyapı ve Mekanik Özellikler Bakımından İncelenmesi.* (Yüksek Lisans Tezi). Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.

Redsan. (2024). *Redresör Nedir?*. [Erişim: 20.04.2024,

[https://redsanelektronik.com/redresor-nedir/#:~:text=Redres%C3%B6r%2C%20genellikle%20do%C4%9Fru%20ak%C4%B1m%20\(DC,kayna%C4%9F%C4%B1%20olan%20DC%20elektri%C4%9Fe%20d%C3%B6n%C3%BC%5%9Ft%C3%BCr%C3%BCI%C3%BCr.\]](https://redsanelektronik.com/redresor-nedir/#:~:text=Redres%C3%B6r%2C%20genellikle%20do%C4%9Fru%20ak%C4%B1m%20(DC,kayna%C4%9F%C4%B1%20olan%20DC%20elektri%C4%9Fe%20d%C3%B6n%C3%BC%5%9Ft%C3%BCr%C3%BCI%C3%BCr.)

Savaşkan, T. (2017). *Malzeme Bilimi ve Malzeme Muayenesi*. Papatya Yayıncılık Eğitim, İstanbul, s. 327-387.

SlidePlayer. (2024). *Bölüm 3 Kaynak Yöntemleri*. [Erişim: 17.04.2024,

[https://slideplayer.biz.tr/slide/10274468/\]](https://slideplayer.biz.tr/slide/10274468/)

Şık, A. (2007). MIG/MAG Kaynağı ile Kaynatılan Çelik Yapılarda Koruyucu Gaz Karışımlarının Mekanik Özelliklere Etkilerinin Araştırılması. *Trakya Univ J Sci*, 8(1), 55-60.

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.

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