

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YENİ NESİL (İNVERTÖR) VE GELENEKSEL MİG / MAG KAYNAK
MAKİNALARI İLE KAYNAKLANAN S355 KALİTE ÇELİĞİN
KAYNAK DİKİŞLERİNİN MAKRO YAPI VE MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Burak ELEMAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı
Üretim Metalürjisi Programı

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Burak BİROL

Şubat, 2022

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YENİ NESİL (İNVERTÖR) VE GELENEKSEL MİĞ / MAG KAYNAK
MAKİNALARI İLE KAYNAKLANAN S355 KALİTE ÇELİĞİN KAYNAK
DİKİŞLERİNİN MAKRO YAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
KARŞILAŞTIRILMASI**

Burak ELEMEN tarafından hazırlanan tez çalışması 03.02.2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Üretim Metalürjisi Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi Burak BİROL
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Burak BİROL, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Kerem Altuğ GÜLER, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Yahya BOZKURT, Üye
Marmara Üniversitesi

Danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Burak BİROL sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Yeni Nesil (İnvertör) ve Geleneksel MİG / MAG Kaynak Makinaları ile Kaynaklanan S355 Kalite Çeliğin Kaynak Dikişlerinin Makro Yapı ve Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Burak ELEMAN

İmza



Aileme
ve
biricik eşime

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarımın çıkmaza girdiği dönemde yanımda olup çalışmalarımı devam ettirmemi sağlayan, tezimle ilgili olarak akademik yol gösterimi gerçekleştiren ve süreç içerisinde oluşan engelleri aşmamda destek olan tez danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Burak BİROL'a teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmaların gerçekleştiği Kolarc Makine İmalat Sanayi ve Ticaret A.Ş. adına firmanın yönetim kurulu üyesi Sayın İlker OLUCAK'a ve kaynak işlemleri sırasında bana desteğini esirgemeyen değerli abim kaynakçı Halim AYVAZ'a çok teşekkür ederim.

Çalışmalar sonucu elde edilen parçaların ilgili standartlara uygun bir şekilde test edilmesine olanak sağlayan QVV Mühendislik San. Ve Tic. Ltd. Şti. firmasının genel koordinatörü, Sayın Rıza Bülent GÜMÜŞEL'e süreç içerisinde desteklerini esirgemediği için minnettar olduğumu belirtmek isterim.

Tez çalışmam ve öğrenim hayatım boyunca beni her zaman destekleyen ve cesaretlendiren annem Nurten ELEMAN ve babam Ahmet ELEMAN ile kız kardeşim Şeyda ELEMAN'a çok teşekkür ederim.

Son olarak 2018 yılından buyana karşılaştığım her zorlukta yanımda olan ve yolumu aydınlatan sevgili eşim Şule ELEMAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Burak ELEMAN

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	iv
İÇİNDEKİLER	v
SİMGE LİSTESİ.....	viii
KISALTMA LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ	x
TABLO LİSTESİ	xiv
ÖZET	xv
ABSTRACT	xvii
1 GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı	3
1.3 Hipotez	3
2 KAYNAK VE KAYNAK YÖNTEMLERİ.....	5
2.1 Kaynak.....	5
2.2 Kaynak Yöntemleri.....	6
2.2.1. Basınç Kaynağı	6
2.2.2. Eritme Kaynağı.....	6
3 KAYNAKLI BAĞLANTININ BÖLGELERİ.....	34
3.1 Kaynak Dikişi Bölgesi	34
3.1.2 Kaynak Dikişinin Katılaşması.....	35
3.2 Isı Tesiri Altında Kalan Bölge (ITAB).....	35
4 YAPI ÇELİKLERİ.....	38
4.1 Çelik ve Yapı Çeliklerinin Tanımı	38
4.2 Yapı Çeliklerinin Özellikleri.....	38
4.3 Yapı Çeliklerinin Sınıflandırılması	39
4.3.1 Karbon Çelikleri.....	39
4.3.2. Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımlı Çelikler (HSLA)	39
4.3.3. Isıl İşlem Görmüş Karbon ve Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımlı (HSLA) Çelikler.....	39

4.3.4 Isıl İşlem Görmüş Alaşımli Konstrüksiyon Çelikleri.....	40
4.4. Yapı Çeliklerinin Standartlar ile Gösterimi	40
4.4.1. AISI/SAE (Amerikan Standardı)	40
4.4.2. Euro Norm (EN) Avrupa Standardı.....	41
4.5. Yapı Çeliklerinin Kaynağı	42
5 MİG/MAG YÖNTEMİNDE KULLANILAN GÜÇ KAYNAKLARI.....	47
5.1 Güç Kaynağının Tanımı	47
5.2 Güç Kaynaklarının Karakteristiği	48
5.2.1 Statik Karakter	48
5.2.2 Dinamik Karakter	49
5.3 MİG/MAG Yönteminde Kullanılan Güç Kaynakları.....	50
5.3.1 Transformatör-Redresör (Geleneksel) Güç Kaynakları	51
5.3.2 Tristör-Transistör Kontrollü Güç Kaynakları.....	51
5.3.3 İnvertör (Yeni Nesil) Güç Kaynakları.....	52
6 DENEYSEL ÇALIŞMALAR	54
6.1. Kullanılan Malzemeler.....	54
6.2. Kaynak Uygulaması.....	55
6.3. Uygulanan Testler	63
6.3.1 Test Numunelerinin Hazırlanması.....	63
6.3.1 Testlerin Yapılması.....	65
6.3.1.2 Çekme Testi	65
6.3.1.3 Eğme Testi	66
6.3.1.4 Çentik Darbe Testi.....	66
6.3.1.5 Sertlik Testi.....	67
6.3.1.6 Makro İnceleme Testi.....	68
7 TEST SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMELER	69
7.1. Uygulanan Testlerin Sonuçları.....	71
7.1.1 Gözle Muayene Testi Sonuçları	71

7.1.2 Çekme Testi Sonuçları.....	76
7.1.3 Eğme Testi Sonuçları.....	78
7.1.4 Çentik Darbe Testi Sonuçları.....	80
7.1.5 Sertlik Testi Sonuçları	82
7.1.6 Makro İnceleme Testi Sonuçları	90
7.2. Fayda-Maliyet Analizi.....	94
8 SONUÇ VE ÖNERİLER	98
KAYNAKÇA.....	101



SİMGE LİSTESİ

I	Akım
A	Amper
J/cm ²	Darbe Tokluğu
kJ/mm	Isı Girdisi
C _{eş}	Karbon Eşdeğeri
S	Kaynak Hızı
K	Kaynak Yöntem Katsayısı
kJ	Kilo Joule
MPa	Mega Pascal
°C	Santigrat Derece
V	Voltaj

KISALTMA LİSTESİ

AC	Alternatif Akım
AISI	American Iron and Steel Institute
BW	Alın Alına Kaynak
CC	Sabit Akım
CV	Sabit Voltaj
DC	Doğru Akım
DCEN	Doğru Akım Elektrod Negatif
DCEP	Doğru Akım Elektrod Pozitif
FW	Köşe Kaynağı
HSLA	Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımlı
IGBT	Yalıtılmış Kapılı İki Kutuplu Transistör
ITAB	Isı Tesiri Altında Kalan Bölge
kW/h	Kilo Watt Saat
MIG/MAG	Metal İnert Gaz/Metal Aktif Gaz
SAE	Society of Automotive Engineers
TIG	Tungsten İnert Gaz
VHT	V Çentik, ITAB'dan, Kalınlık Boyunca
VWT	V Çentik, Kaynak Bölgesinden, Kalınlık Boyunca

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1	MİG/MAG makinelerinde meydana gelen değişiklik.....	2
Şekil 2.1	Kaynak yöntemleri.....	5
Şekil 2.2	Ark oluşum teorisi.....	7
Şekil 2.3	Örtülü elektrod kaynağı şematik gösterimi.....	8
Şekil 2.4	Örtülü elektrod.....	9
Şekil 2.5	Tozaltı kaynağı.....	10
Şekil 2.6	TİG kaynak yöntemi.....	11
Şekil 2.7	Plazma kaynağı.....	12
Şekil 2.8	Plazma kaynağı ile TİG kaynağı.....	13
Şekil 2.9	MİG/MAG kaynağı.....	13
Şekil 2.10	MİG/MAG kaynak ekipmanı.....	14
Şekil 2.11	Tel besleme ünitesi.....	16
Şekil 2.12	Makara kanalları.....	16
Şekil 2.13	MİG/MAG kaynak torcu.....	17
Şekil 2.14	Ark uzunluğu (gerilim) ayarı.....	18
Şekil 2.15	Basınç düşürücü.....	19
Şekil 2.16	Serbest tel ucu ve ısınma alanı.....	19
Şekil 2.17	Serbest tel boyu.....	20
Şekil 2.18	Gerilimin dikiş üzerine etkisi.....	21
Şekil 2.19	Kaynak hızının etkisi.....	22
Şekil 2.20	Torç açısının etkisi.....	22
Şekil 2.21	Kullanılan gazın etkisi.....	23
Şekil 2.22	Ar ve CO ₂ gazı ile kaynak profilleri.....	24
Şekil 2.23	MİG/MAG kaynağında farklı voltaj ve amper değerlerinde damla iletimi.....	25
Şekil 2.24	Kısa devre damla iletimi.....	26
Şekil 2.25	Küresel (globular) damla iletimi.....	27
Şekil 2.26	Sprey ark damla iletimi.....	27
Şekil 2.27	Darbeli (pulse) akım damla iletimi.....	28
Şekil 2.28	Darbeli (pulse) akım damla iletim gösterimi.....	29
Şekil 2.29	Kaynak dikişinde porozite.....	30
Şekil 2.30	Yanma olukları.....	30

Şekil 2.31	Dikişte yer alan çatlak görseli.....	31
Şekil 2.32	Ana metalde yer alan çatlak görseli.....	31
Şekil 2.33	Krater çatlağı görseli.....	31
Şekil 2.34	Soğuk yapışma görseli.....	32
Şekil 2.35	Nüfuziyet eksikliği.....	32
Şekil 2.36	Kaynak dikişinde sıçrantı görseli.....	33
Şekil 3.1	Kaynaklı bağlantının bölgeleri.....	34
Şekil 3.2	Kaynak dikişi bölgesi.....	35
Şekil 3.3	Isı tesiri altında kalan bölge.....	36
Şekil 3.4	Saf metalin ısı tesiri altında kalan bölgesi.....	36
Şekil 4.1	Kaynak kabiliyetinin temel faktörler ve özelliklerle ilişkisi.....	42
Şekil 4.2	Kaynakta ZSD diyagramlarının kullanım amacı.....	45
Şekil 5.1	Sabit akım (CC) karakteri.....	48
Şekil 5.2	Sabit voltaj (CV) karakteri.....	49
Şekil 5.3	Kısa arkta kaynak akımı, düşük indüktans (üst), yüksek indüktans (alt)	50
Şekil 5.4	Redresör güç kaynağının şematik gösterimi.....	51
Şekil 5.5	Tristör kontrollü güç kaynağının şematik gösterimi.....	52
Şekil 5.6	İnvertör güç Kaynağının şematik gösterimi.....	53
Şekil 6.1	Kolarc M 500W Pulse Rapid invertör (yeni nesil) kaynak makinesi.....	57
Şekil 6.2	İnvertör (yeni nesil) kaynak makinesi ile yapılan köşe kaynağı..	58
Şekil 6.3	Gedik-Fronius Vario Star 404 geleneksel kaynak makinesi.....	59
Şekil 6.4	Geleneksel kaynak makinesi ile yapılan köşe kaynağında ölçülen voltaj ve akım değerleri.....	59
Şekil 6.5	Geleneksel kaynak makinesi ile yapılan köşe kaynağı görüntüsü.....	60
Şekil 6.6	İnvertör (yeni nesil) kaynak makinesi ile yapılan alın kaynağı..	62
Şekil 6.7	Geleneksel kaynak makinesi ile yapılan alın kaynağında ölçülen akım ve voltaj değerleri.....	62
Şekil 6.8	Geleneksel kaynak makinesi ile yapılan alın kaynağı görüntüsü.....	63
Şekil 6.9	EN ISO15614-1 Standardına göre alın altına birleştirmede test numunesi hazırlama bölgeleri.....	64
Şekil 6.10	EN ISO15614-1 Standardına göre köşe birleştirmede test numunesi hazırlama bölgeleri.....	64

Şekil 6.11	Çekme testi cihazının görseli.....	65
Şekil 6.12	Eğme testi uygulama görseli.....	66
Şekil 6.13	Çentik darbe testi jbw-300z cihazı görseli.....	67
Şekil 6.14	Sertlik testi cihazı görseli.....	67
Şekil 7.1	A6Y ve A6G numaralı parçaların gözle muayene görseli.....	71
Şekil 7.2	A6Y ve A6G numaralı parçaların gözle muayene ile sıçrıntı incelemesi	72
Şekil 7.3	B11Y numaralı parçanın gözle muayene görseli.....	72
Şekil 7.4	B11G numaralı parçanın gözle muayene görseli.....	73
Şekil 7.5	B11G numaralı parçada gözlenen krater çatlağı.....	73
Şekil 7.6	B11Y ve B11G numaralı parçaların gözle muayene ile sıçrıntı incelemesi.....	74
Şekil 7.7	B11Y ve B11G numaralı parçaların kök oluşumu durumu.....	75
Şekil 7.8	B11Y numaralı parçada kök tam nüfuziyet ve kök oluşumu durumu.....	76
Şekil 7.9	B11G numaralı parçada kökte yetersiz nüfuziyet ve kök oluşmaması durumu.....	76
Şekil 7.10	A6Y-1 numaralı parçanın çekme testi öncesi ve sonrası.....	77
Şekil 7.11	A6Y-2 numaralı parçanın çekme testi öncesi ve sonrası.....	77
Şekil 7.12	A6G-1 numaralı parçanın çekme testi öncesi ve sonrası.....	78
Şekil 7.13	A6G-2 numaralı parçanın çekme testi öncesi ve sonrası.....	78
Şekil 7.14	A6Y numaralı parçanın eğme testi numuneleri.....	78
Şekil 7.15	A6G numaralı parçanın eğme testi numuneleri.....	79
Şekil 7.16	A6Y numaralı parçanın sertlik testi ölçüm numunesi.....	84
Şekil 7.17	A6Y için kaynak merkezine uzaklık ve sertlik ilişkisi grafiği.....	84
Şekil 7.18	A6G numaralı parçanın sertlik testi ölçüm numunesi.....	86
Şekil 7.19	A6G için kaynak merkezine uzaklık ve sertlik ilişkisi grafiği.....	86
Şekil 7.20	B11Y numaralı parçanın sertlik testi ölçüm numunesi.....	88
Şekil 7.21	B11Y numaralı parçanın ölçüm nokta sırasına göre sertlik değerleri.....	88
Şekil 7.22	B11G numaralı parçanın sertlik testi ölçüm numunesi.....	90
Şekil 7.23	B11G numaralı parçanın ölçüm nokta sırasına göre sertlik değerleri.....	90
Şekil 7.24	Yeni nesil kaynak makinesi ile alın alına birleştirilen A6Y numaralı parçanın makro inceleme testi görseli.....	91

Şekil 7.25	Geleneksel kaynak makinesi ile alın altına birleştirilen A6G numaralı parçanın makro inceleme testi görseli.....	91
Şekil 7.26	Yeni nesil kaynak makinesi ile köşe formunda birleştirilen B11Y numaralı parçanın makro inceleme testi görseli.....	92
Şekil 7.27	Geleneksel kaynak makinesi ile köşe formunda birleştirilen B11G numaralı parçanın makro inceleme testi görseli.....	93



TABLO LİSTESİ

Tablo 4.1	Karbon çeliklerinin AISI/SAE gösterimi.....	41
Tablo 4.2	Bazı yapı çeliklerinin mekanik özellikleri (EN 10025).....	41
Tablo 4.3	Kaynak kabiliyetini etkileyen faktörler.....	43
Tablo 4.4	Karbon eşdeğerine göre ön tav sıcaklık önerileri.....	46
Tablo 6.1	S355J2+N kalite malzemenin kimyasal bileşimi.....	54
Tablo 6.2	S355J2+N kalite malzemenin mekanik özellikleri.....	54
Tablo 6.3	Gedik SG2 masif tel kimyasal bileşimi.....	55
Tablo 6.4	Yeni nesil (invertör) ve geleneksel MİG/MAG kaynak makinesi ile köşe (FW) kaynağı.....	56
Tablo 6.5	Yeni nesil (invertör) ve geleneksel MİG/MAG kaynak makinesi ile alın (BW) kaynağı.....	60
Tablo 7.1	EN ISO 15614-1'e göre testlerin kabul değerleri.....	69
Tablo 7.2	Deneysel çalışmalara ait özellikler ve numune numarası.....	70
Tablo 7.3	Çekme testine ait değerler.....	77
Tablo 7.4	Eğme testi ve sonuçları.....	79
Tablo 7.5	Yeni nesil kaynak makinesi ile birleştirilen A6Y numaralı parçaya ait çentik darbe testi sonuçları.....	80
Tablo 7.6	Geleneksel kaynak makinesi ile birleştirilen A6G numaralı parçaya ait çentik darbe testi sonuçları.....	81
Tablo 7.7	A6Y numaralı parçaya ait sertlik testi sonuçları.....	82
Tablo 7.8	A6G numaralı parçaya ait sertlik testi sonuçları.....	85
Tablo 7.9	B11Y numaralı parçaya ait sertlik testi sonuçları.....	87
Tablo 7.10	B11G numaralı parçaya ait sertlik testi sonuçları.....	89
Tablo 7.11	Tam nüfuziyetli kaynak dikişi için gereken girdiler ve yıllık maliyetleri.....	95
Tablo 7.12	Sıçrantısız kaynak dikişi için gereken girdiler ve yıllık maliyetleri.....	96

Yeni Nesil (İnvertör) ve Geleneksel MIG / MAG Kaynak Makinaları ile Kaynaklanan S355 Kalite Çeliğin Kaynak Dikişlerinin Makro Yapı ve Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması

Burak ELEMEN

Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Burak BİROL

MIG/MAG kaynağı metallerin birleştirilmesinde en çok tercih edilen yöntemlerden biridir. Özellikle çeliklerin kaynağında sıkça kullanılan bu yöntem zaman içerisinde teknolojik gelişmelere paralel olarak farklı özellikler kazanmıştır. İnvertör teknolojisinin getirdikleriyle birlikte yeni nesil kaynak makineleri daha hafif olma, daha kararlı kaynak arkı oluşturabilen, tek makine ile farklı kaynak yöntemlerini uygulayabilen, robot entegrasyonu sağlayan ve kaynak hatalarını önlemek adına farklı çözümler sunabilen bir kimliğe bürünmüştür

Günümüz endüstrisinde geleneksel çözümler yerini yeni nesil teknolojilere bırakırken kaynaklı imalat yapan iş yerlerinde hala geleneksel kaynak makineleri ilgi duyulan bir teknoloji olarak yer almaktadır. Bunlara ek olarak dünyada endüstri 4.0'ın yaygınlaşması sonucunda üretimde yüksek verim ve düşük hata sağlayan makineler ve birden çok probleme çözüm getiren akıllı cihazlar yerini sağlamlaştırmaktadır.

Çalışmada MİG/MAG kaynak makineleri yeni nesil (invertör) ve geleneksel olarak sınıflandırılmıştır. Kaynaklı imalat sırasında ana malzeme için üretimde sıkça kullanılan S355J2+N kalite çelik tercih edilmiştir. Uygulamada aynı kalite malzeme, aynı sarf ile benzer ısı girdisinde birleştirilmiştir. Köşe ve alın kaynağı şeklinde birleştirilen parçalar aynı kaynakçı tarafından kaynatılmış tek değişken ise kullanılan makinelerin teknolojisi olmuştur. İşlem sonrasında makro yapı ve mekanik özellikler incelenerek bu verilerin karşılaştırılması yapılmıştır. İncelemeler EN ISO 15614-1 standardına göre yapılarak geleneksel ve yeni nesil (invertör) kaynak makinelerinin karşılaştırılması sağlanmıştır. Yapılan karşılaştırmalarda yeni nesil kaynak makinesinin aynı ısı girdisi ile gerçekleştirilen kaynak işleminde geleneksel kaynak makinesine göre daha iyi bir nüfuziyet profili oluşturduğu gözlenmiştir. Ayrıca bir kaynak hatası olan sıçrantı problemini oldukça azalttığı ve krater çatlağı gibi süreksizlikler içinde çözüm sağlayabildiği anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: S355 çeliği, MİG/MAG kaynağı, invertör kaynak makineleri, geleneksel kaynak makineleri

Comparison of Macrostructure And Mechanical Properties of Welding Seams as a Result of S355 Quality Steel Welded By New Generation (Inverter) And Traditional MIG / MAG Welding Machines

Burak ELEMEN

Department of Metallurgy and Materials Engineering

Master of Science Thesis

Advisor: Asst. Prof. Burak BİROL

MIG/MAG welding is one of the most preferred methods for joining metals. This method, which is frequently used especially in the welding of steels, has gained different features in parallel with technological developments over time. With the advantages of inverter technology, new generation welding machines have become lighter, able to create a more stable welding arc, apply different welding methods with a single machine, provide robot integration and offer different solutions in order to prevent welding faults.

While traditional solutions are replaced by new generation technologies in today's industry, traditional welding machines are still a technology of interest in welded manufacturing workplaces. In addition, as a result of the widespread use of industry 4.0 in the world, machines that provide high efficiency and low fault in production and smart devices that provide solutions to multiple problems are strengthening their position.

In the study, MIG/MAG welding machines are classified as new generation (inverter) and conventional. During welded manufacturing, S355J2+N quality steel, which is frequently used in production, was preferred for the main material. In practice, the same quality material is combined with the same consumable with similar heat input. The parts joined in the form of corner and butt welding were welded by the same welder, and the only variable was the technology of the machines used. After the process, macro structure and mechanical properties were examined and these data were compared. Comparisons of traditional and new generation (inverter) welding machines were made by making the examinations according to the EN ISO 15614-1 standard. In the comparisons, it has been observed that the new generation welding machine creates a better penetration profile than the traditional welding machine in the welding process performed with the same heat input. In addition, it has been understood that it reduces the spatter problem, which is a welding faults, and can provide a solution in discontinuities such as crater cracks.

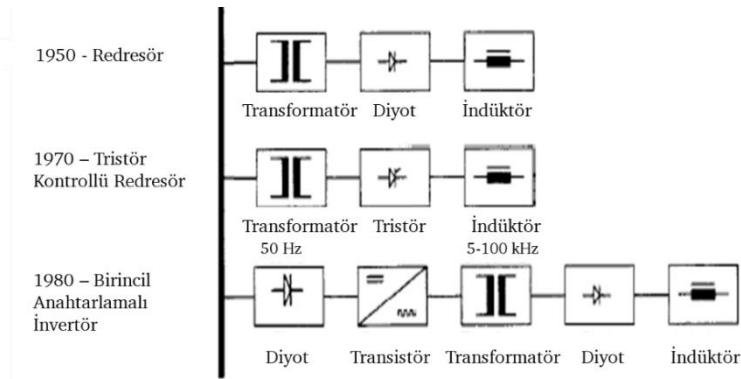
Key Words: S355 steel, MIG / MAG welding, inverter welding machines, traditional welding machines

1.1 Literatür Özeti

İmalat sektöründe önemli bir yere sahip olan kaynak işlemi metalik malzemelerin ısı ve/veya basınç altında, ilave metal eklenerek ya da eklenmeksizin birleştirilmesinde kullanılan yöntemlerin başında gelmektedir [1][2]. Kaynak binlerce yıldır demirciler tarafından metallerin dövülerek birleştirilmesi şeklinde kullanılsa da günümüzde basınç ve ergitme kaynak yöntemleri olarak ikiye ayrılmaktadır [3]. Bu yöntem metallerin birleştirilmesi sırasında ergitme kaynak yöntemlerinden olan ark kaynağı farklı seçenekleri ile çokça tercih edilmektedir.

Kaynaklı imalat işlemi metalik yapıların meydana getirilmesinde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir [2]. Metalik yapıların oluşturulmasında diğer çeliklere göre kolay bulunabilirlik, fiyat, performans ve kaynak edilebilirlik gibi özellikleri sebebiyle yapı çelikleri kullanılan önemli malzemelerden biridir. S355 kalite yapı çelikleri bu özelliklerin birçoğunu bünyesinde barındırdığı için sektörde en çok aranan çelik malzemelerdendir. Yapı çeliklerinin kaynak edilebilirliği doğru bir kaynak prosedürünün seçilmesi ile hatasız olarak gerçekleştirilebilir. Kaynak işlemi sırasında oluşan ısı etkisiyle ergime meydana gelir. Bu ergime sonucu kaynak dikişi oluşmaktadır. Ana malzeme üzerinde bulunan, ergimeyen ancak kaynak ısısından etkilenecek ortaya çıkan kısım ise ısı tesiri altında kalan bölge (ITAB) olarak adlandırılır [2]. Birçok bağlantıda kaynaklanabilirlik ITAB'ın özelliklerine göre değişmektedir. Kaynak dikişinde uygun ilave metaller ile istenilen özellikler yakalanabilirken ITAB'da bu mümkün değildir. Kaynak işlemi irdelendiğinde ITAB'ın oluşumu etkileyen faktörlerin başında ısı girdisinin geldiği görülmektedir. Yüksek ısı girdisi ITAB'ı genişletirken kaynak sırasında meydana gelen çarpılmayı da arttırmaktadır [3]. Bu sebeple kaynaklı birleştirmede düşük ısı girdisi ile arzulanan nüfuziyeti yakalamak önemlidir.

Metallerin ark kaynağı yöntemleri ile birleştirilmesinde doğru kaynak yöntemini seçerken malzemenin kalınlığı, yüzey karakteristiği, ısı iletim katsayısı, faz dönüşümleri ve kimyasal bileşimi gibi özelliklerine dikkat etmek gerekmektedir. Yine kaynaklı bağlantının tasarımı ilgili yöntemin seçilmesinde önemli değişkenlerden biridir. Kaynak işleminin yapılacağı ortam, talep edilen kaynak hızı ya da işlemin manuel, yarı otomatik veya otomatik gerçekleştirilmesine dönük isteklerde kaynak işlemi için seçilecek yöntemin belirlenmesinde önem arz etmektedir. Ark kaynağı yöntemlerinden olan MİG/MAG teoride sürekli olarak beslenen ve ergiyen tel elektrod ile iş parçası arasında oluşturulan ark sayesinde meydana gelen ısı sonucu bir koruyucu gaz atmosferinde gerçekleştirilen kaynak işlemi olarak tanımlanabilir [4]. Bu yöntemde kaynaklı bağlantının performansını belirleyen birden fazla değişken bulunmaktadır. Seçilen tel elektrodun kimyasal bileşimi, koruyucu gazın kaynak işlemine etkileri, akım, voltaj gibi birincil kaynak parametrelerinin doğru seçilmesi bunların başında gelmektedir. Bu değişkenlerin yanı sıra işlemde kullanılan güç kaynağının ortaya koyduğu performansta kaynak işleminin verimini ve kalitesini doğrudan etkilemektedir. Güç kaynağının temel görevi elektrik enerjisini kaynaklı imalat için uygun duruma getirmek ve sistemi sürdürülebilir bir şekilde bu enerji ile beslemektir [3]. MİG/MAG yönteminde kullanılan güç kaynakları genelde doğru akım (DC) üreten makinelerdir. Yöntemde 1950’lerde ortaya çıkan transformatör-redresör tipi geleneksel kaynak makineleri günümüzde halen sahada yapılan uygulamalarda kullanılmaktadır. Teknolojide gerçekleşen dönüşümle birlikte güç kaynakları da değişerek yeni nesil olarak adlandırılan invertör kaynak makinelerini ortaya çıkarmıştır.



Şekil 1.1 MİG/MAG makinelerinde meydana gelen değişiklik [3].

Yalıtılmış kapılı iki kutuplu transistörlerin (IGBT) ortaya çıkması sonucu invertör teknolojisine sahip güç kaynakları bu devre elemanlarının yüksek anahtarlama kabiliyetleri sayesinde üstün kaynak performansı sağlamaya başlamışlardır. Yeni nesil kaynak makineleri IGBT'lerin sağladığı avantajlar ile transformatör ve bobin gibi bileşenlerin ebatlarını küçülterek geleneksel kaynak makinelerine oranla daha hafif ve kolay taşınabilir bir yapıya bürünmüştür. Bununla birlikte yeni nesil invertör güç kaynakları daha kararlı bir ark oluşturmak, multi-proses özelliği ile birden çok kaynak yöntemini tek makinede birleştirmek, yazılımlar ile kaynak akım ve voltajını kontrol etmek, darbeli akım ile kaynak imkanı sunmak ve enerji tasarrufu sağlamak gibi üstün özellikleriyle geleneksel transformatör-redresör kaynak makinelerinden ayrılmaktadır [3].

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmada, kaynaklı imalatta oldukça sık kullanılan yapı çeliklerinden S355 kalite malzemenin yine üretimde tercih sebebi olan ark kaynağı yöntemlerinden MİG/MAG metodu ile birleştirilmesi üzerine odaklanılmıştır. Seçilen yöntem olan MİG/MAG kaynağında yeni nesil invertör kaynak makineleri ile geleneksel kaynak makineleri olan transformatör-redresör kaynak makineleri kullanılarak aynı malzeme aynı koşullarda ve benzer ısı girdisi değerleri ile birleştirilmiştir. Oluşan kaynak dikişinin makroyapısı ile mekanik özellikleri incelenerek farklı teknolojiye sahip bu iki makinenin uygulamadaki performanslarının karşılaştırılması amaçlanmıştır.

1.3 Hipotez

Kaynaklı imalatta oldukça büyük yer kaplayan yapı çeliklerinin birleştirilmesinde avantajları ile öne çıkan MİG/MAG kaynağı tercih edilen bir yöntemdir. Kaynak işlemi sırasında dikiş özellikleri ilave metaller ile kontrol altında tutulabilirken, ITAB kaynak işleminin yönetilmesi zor ve hata oluşumuna müsait kısımdır. Bu sebeple kontrollü ısı girdisi ile arzulanan kaynaklı bağlantının oluşturulması önemli bir husustur. Ayrıca kaynaklı birleştirmede sıçrıntı, yanma oluşu, krater çatlağı ve yetersiz nüfuziyet gibi hataların oluşması bağlantının istenilen özellikleri sergileyememesine neden olmaktadır. Günümüzde hala tercih sebebi

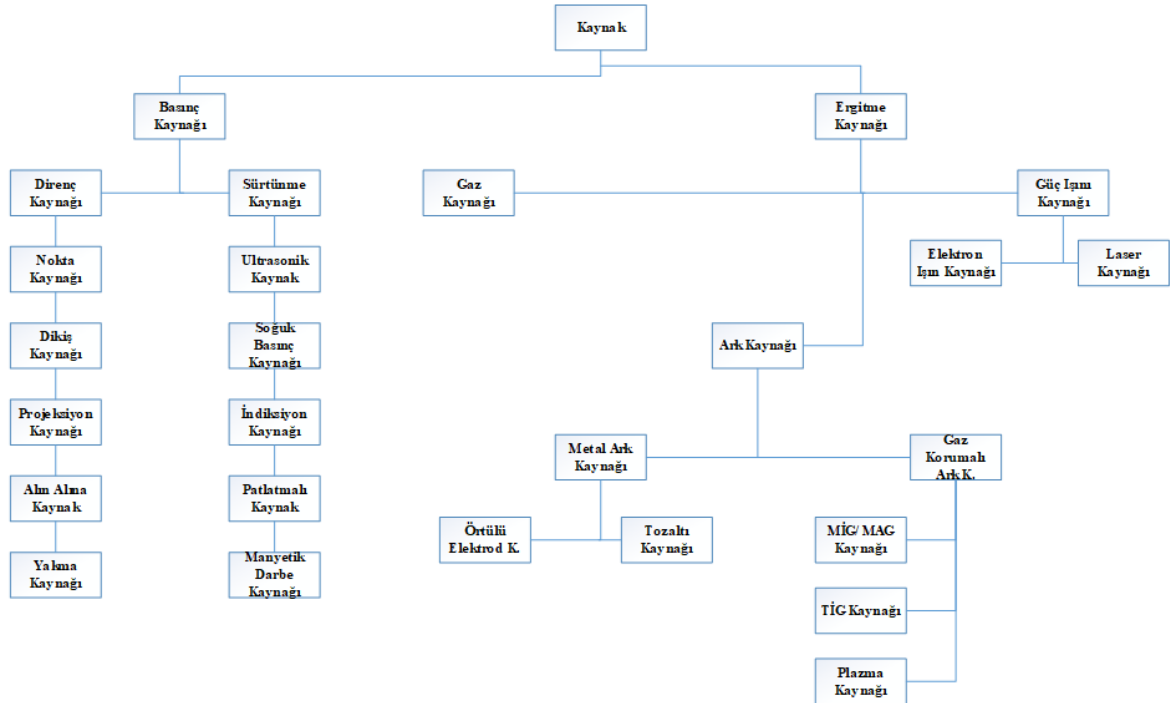
olan geleneksel MİG/MAG kaynak makineleri ile bahsi geçen hataların bazılarının oluşmasını engellemek mümkün olmakla beraber bu yapılırken yeni nesil kaynak makinelerine göre yüksek ısı girdisi ile çalışmak ve ilave işçilik gibi durumların doğması olasıdır. Bu çalışmada S355 kalite malzemenin aynı şartlar ve benzer ısı girdisi değerleriyle geleneksel ve yeni nesil MİG/MAG kaynak makineleri ile birleştirilmesi sonucu günümüzde daha da farklılaşarak ilave özellikler kazanan yeni nesil kaynak makinelerinin, geleneksel olanlara göre avantajlarının tartışılması planlanmış ve uygulamada gözlenen farkların literatüre yansıtılması arzulanmıştır.



2.1 Kaynak

Kaynak iki ya da daha fazla metalin, ısı ve/veya basınç etkisi altında ergime gerçekleştirilerek ve ilave metal kullanılarak ya da kullanılmaksızın birleştirilmesine yahut dolgu yapılmasına denir [1]. Kaynak, metalik yapıların oluşturulmasında yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir [2].

Uygulanan kuvvete göre ergitme kaynağı ve basınçlı kaynak olmak üzere iki tür kaynak vardır. Ergitme kaynağında herhangi bir kuvvet uygulanmasına gerek yoktur, birbirine bakan iki yüzey dolgu metali eklenerek veya eklenmeden eritilir. Buna karşılık, basınçlı kaynak tekniklerinde, karşılıklı her iki yüzeyin plastik deformasyonuna neden olan bir dış kuvvet uygulanır ve bu yüzeyler birleştirilmesini kolaylaştırmak için ısıtılır [3].



Şekil 2.1 Kaynak yöntemleri [3].

2.2 Kaynak Yöntemleri

Malzemelerin birleştirilmesinde kullanılan kaynak yöntemleri genel olarak iki ayrı başlıkta sınıflandırılır, bunlar basınç kaynağı ve ergitme kaynağı olarak adlandırılır [4].

2.2.1. Basınç Kaynağı

Metallere genellikle ilave malzeme katmadan basınç etkisi altında bölgesel ısı uygulanarak gerçekleştirilen kaynak yöntemidir [4]. Bu yöntemler a) direnç kaynağı, b) ultrasonik kaynak, c) soğuk basınç kaynağı, d) indüksiyon kaynağı, e) patlama kaynağı, f) manyetik darbe kaynağıdır [3].

2.2.2. Eritme Kaynağı

Metallerin yalnızca ısı etkisi altında, bölgesel olarak sınırlandırılmış bir bölümünün eritilerek ilave metal kullanılarak ya da kullanmaksızın gerçekleştirilen kaynak yöntemleridir [4].

2.2.2.1. Gaz Kaynağı

Oksi-asetilen gaz kaynağı genellikle metal ve alaşımların kaynak ve kesme işlemleri için kullanılır. Kaynak işlemi genellikle asetilen, hidrojen, propan veya bütan gibi yakıt gazlarının oksijen karışımı ile yanması sonucu oluşan ısıyı kullanarak metalleri birleştirmek için kullanılır. Oksi-asetilen kaynak işleminde gerekli yüksek sıcaklık, oksijen ve asetilen gazı içeren bir karışım kullanılarak elde edilir. Bu işlem aynı zamanda bazı malzemelerin kesilmesi için de kullanılabilir [5]. Alev, eritilmek istenen birleştirme yüzeylerine yönlendirilir, ayrıca gerektiğinde dolgu malzemesi de ilave edilebilir. Eriyik havuzu, alevin indirgen dış bölgeleri tarafından havadan korunur. Bu nedenle, kaynak tamamlandığında alev yavaşça uzaklaştırılmalıdır [3].

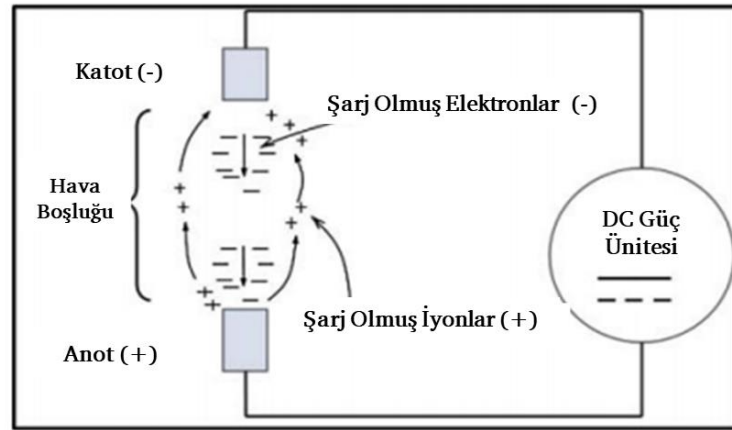
2.2.2.2. Güç Işını Kaynakları

Güç ışını kaynaklarında yer alan elektron ışını kaynağı ve laser kaynağı, en yüksek güç yoğunluğuna sahip kaynak yöntemleridir [3]. Elektron ışın kaynağı, elektron ışın tabancasında üretilen parçacıkların yüksek hızla malzemenin yüzeyine

çarpıtılması sonucu ortaya çıkan ısı ile kaynak bölgesini oluşturarak birleştirme işleminin gerçekleştirildiği bir yöntemdir [6]. Laser kaynağı, yönlendirilmiş laser ışını kullanılarak gerçekleştirilen modern bir malzeme birleştirme işlemidir. Laser ışını, işlemin yüksek hızla dar, yüksek nüfuziyetli kaynakların elde edilmesini sağlayan güçlü ve konsantre bir ısı kaynağıdır [7]. Fiber, diyot, Nd:YAG ve CO₂ laser kaynağı çeliklerin birleştirilmesinde kullanılan laser kaynak tekniklerindendir [8].

2.2.2.3 Ark Kaynağı

Birleştirilecek metaller ile elektrod arasında elektrik arkının oluşturulmasıyla elde edilen ısıdan yararlanarak gerçekleştirilen kaynak işlemidir [9]. Ark, katottan yayılan elektronların hızlı bir şekilde anoda çarpması ile oluşur. Çarpma sonucunda nötr moleküller iyonlaşarak yüksek bir sıcaklığın oluşmasına sebep verir. Oluşan enerjinin %85'i ısı, %15'i ise ışık enerjisine çevrilir [10].



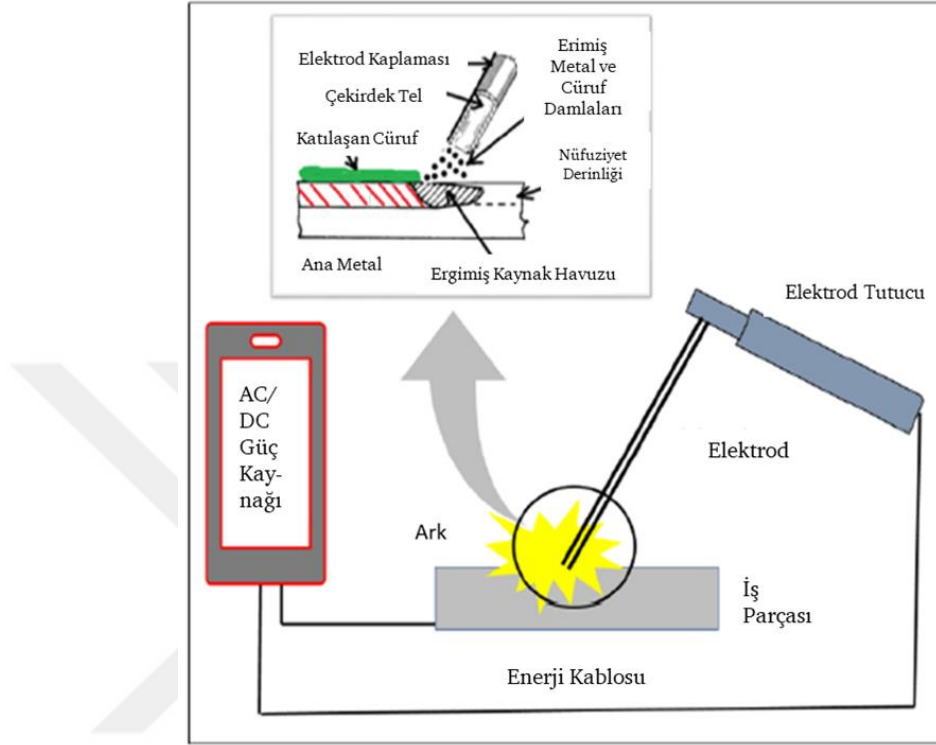
Şekil 2.2 Ark oluşum teorisi [11].

Ark kaynağını; örtülü elektrod ark kaynağı, toz altı kaynağı, MİG/MAG kaynağı, TİG kaynağı ve plazma kaynağı olarak sınıflandırılabilir [3].

- **Örtülü Elektrod Ark Kaynağı**

Örtülü elektrod ile ark kaynağında elektrik akımı elektrod üzerinden iş parçasına aktarılır. İletilen bu akım sonucu oluşan ark ısı enerjisi oluşturarak, elektrod ve iş parçasını eritir, eriyen elektrottan düşen metal damlacıkları sıva metal havuzuna iletilir. Elektrod işlem bölgeinden hareket ettiğinde kaynak dikişi sertleşir ve

böylelikle kaynak işlemi gerçekleştirilir. Elektrodlar genellikle fluks ile kaplıdır. Fluks'ın kaynak arkı ile ergimesi sonucu oluşan cüruf, kaynak havuzuna iletilen metal damlacıklarını ve kaynak dikişini örter ve fluksın yanması sonucu oluşan dumanla birlikte kaynak bölgesini atmosferin olumsuz koşullarından korur [12].



Şekil 2.3 Örtülü elektrod kaynağı şematik gösterimi [12].

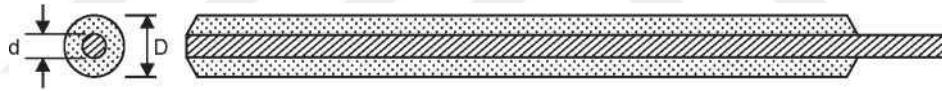
Bu yöntemde kullanılan elektrodlar örtünün karakterine ve kalınlığına göre sınıflandırılmıştır. Örtü karakterine göre ayrıışan elektrodların en çok kullanılan türleri;

- Rutil Karakterli Elektrodlar:** Bu elektrodların örtüsünde yer alan ana malzeme titanyum dioksittir. Genel amaçlı kullanıma uygun olan elektrodlardır. Farklı fluks birleşenleri hazırlanarak elektrod tüm kaynak pozisyonlarında kullanıma uygun hale getirilebilir. Mekanik özellikleri genel kullanım amacı için yeterlidir. Oluşan kaynak dikişi hidrojen içeriği yüksektir.
- Oksit Karakterli Elektrodlar:** Bu tür örtüler büyük oradan demir oksit ve silikalardan oluşur. Genellikle alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklerin yatay

pozisyonlu kaynakları için kullanılır. Meydana getirdikleri dikişlerde sıcak çatlak oluşma olasılığı bulunur.

- c) **Selülozik Elektrodlar:** Yandıklarında gazlaşan organik bileşenler içeren örtülü elektrodlardır. İnce bir cüruf tabakası oluştururlar. DC (+) yada AC olarak kutuplanabilirler.
- d) **Bazik Elektrodlar:** Kalsiyum, kalsiyum florür ve diğer toprak alkali metallerin karbonatlarını örtüsünde ihtiva eder. Dikiş üzerinden cürufu kaldırmak zordur. Çoğunlukla DC (+) yada AC olarak kutuplanır. Sünek bir dikiş meydana getirirler. Neme karşı duyarlı olduklarından dikkatli depolanmalıdır. Dikişte hata oluşturmamak için nem alan elektrodlar 250 °C minimum 30 dakika kurutulmalıdır [9].

Örtülü elektrod kaynağında bir diğer elektrod sınıfı ise örtüleri kalınlıklarına göre ayırmak üzerine kurulmuştur ve ince örtülü, orta kalınlıkta örtülü, kalın örtülü olarak adlandırılmıştır [13].



Şekil 2.4 Örtülü elektrod [13].

D: Elektrod çapı

d: Tel çapı olmak üzere,

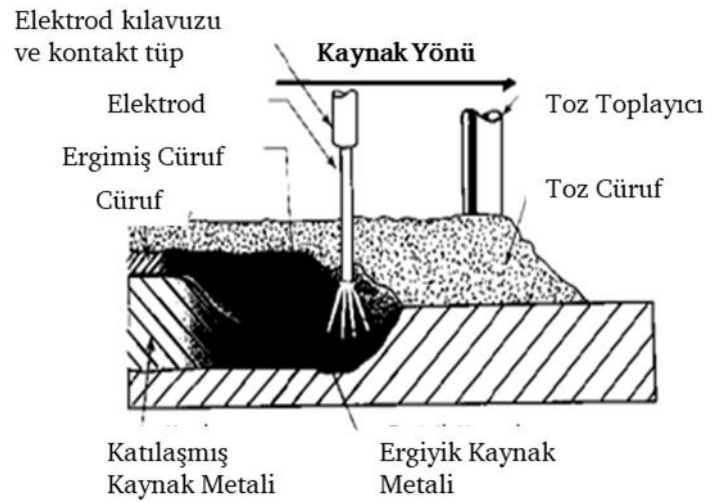
Elektrodlar için D/d oranı; 1,2-1,35 arasında ise ince örtülü, 1,4-1,70 arasında ise orta kalınlıkta örtülü, 1,8-2,20 arasında ise kalın örtülü olarak isimlendirme yapılabilir [13].

- **Toz Altı Kaynağı**

Tozaltı kaynağı temel olarak ana metal ile elektrod arasında oluşan ark'ın meydana getirdiği ısı enerjisi sonucu ana metalin ve elektrodun ergimesiyle oluşan elektrik ark kaynağı yöntemlerinden biridir. Elektrod kaynak bölgesine sürekli olarak beslenen bir makara şeklindeki dolgu metalidir. Kaynak bölgesi atmosferin

olumsuz koşullarından toz şeklindeki fluks yardımı ile korunur. Tozaltı kaynağı, örtülü elektrod kaynağı ile neredeyse aynıdır ancak bu yöntemde fluks toz şeklindeyken örtülü elektrotta elektroda kaplanmış şekilde yer alır. Örtülü elektrod yöntemi manuel yapılan bir kaynak iken toz altı otomatik sayılabilecek bir kaynak yöntemidir [14].

Bu yöntemde 1-3 arası elektrod ile aynı anda kaynak yapılabilir. Ark ya da arklar toz halindeki bir fluks hattının altında oluşur. Fluks arkı örter ve eriyerek curufa dönüşüp arkı ve sıvı metal banyosunu atmosferin olumsuz koşullarından korur. Ergimeden kalan toz system tarafından emilerek tekrar kullanılmak üzere toz besleme haznesine süpürülür [3].



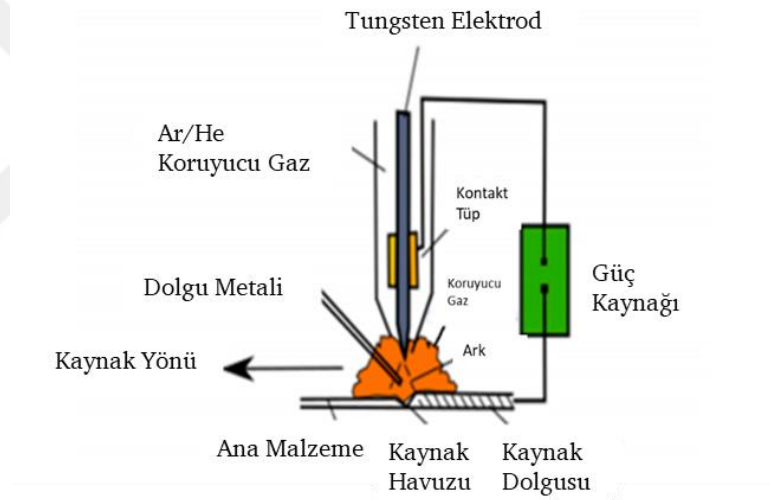
Şekil 2.5 Tozaltı kaynağı [14].

Yöntemde kullanılan güç kaynakları AC yada DC olabileceği gibi 600-2000 amper arasında değişebilir. Otomatik tel besleme ve takip sistemi sayesinde mekaniz yada yarı otomatik olarak adlandırılır ve kaynakçıdan bağımsız olarak kalite kaynak dikişleri oluşturabilir. Yüksek dolgu kapasitesi sayesinde hızlı bir kaynak yöntemidir. 25 mm'ye kadar malzemeleri tek pasoda birleştirebilir. Bu yöntem genellikle yatay pozisyondaki kaynaklar için idealdir [13].

- **Tungsten İnert Gaz Kaynağı**

TİG yönteminde kaynak tükenmeyen bir tungsten elektrod ile gerçekleştirilir. TİG kaynağında ark tungsten elektrod ile iş parçası arasında inert bir koruyucu gaz

atmosferinde gerçekleşir. Bu gazlar genellikle Ar, He ya da Ar-He karışımı olarak kullanılır. Proseste bir güç kaynağı, koruyucu gaz ünitesi ve kaynak torcu kullanılır. Teoride elektrod ergimeyen olarak geçse de çalışma koşullarında kontrol edilmeli ve gerektiğinde ark sonucu ergiyerek yuvarlaklaşan uç bilenerak sivrileştirilmelidir. Kalın parçaların birleştirilmesi sırasında dışarıdan ilave metal sisteme beslenerek kullanılabilir. İlave metal kaynak ortamına el ile ya da otomasyon sistemleri ile beslenebilir. Güç, güç kaynağından sağlanır, kontakt tüpü geçerek elektroda ulaşır ve iş parçası ile elektrod arasında ark oluşturur. Tungsten elektrod ve kaynak bölgesi koruyucu gaz tarafından atmosfer ortamından ayrıştırılır. TİG yönteminde elektrik arkı 19.400 °C'ye kadar ulaşan bölgesel olarak çok daha odaklı bir ısı oluşturur. Kaynak havuzu ilave metal kullanılarak ya da kullanmaksızın birleştirmenin sağlanması için oluşturulabilir [15].



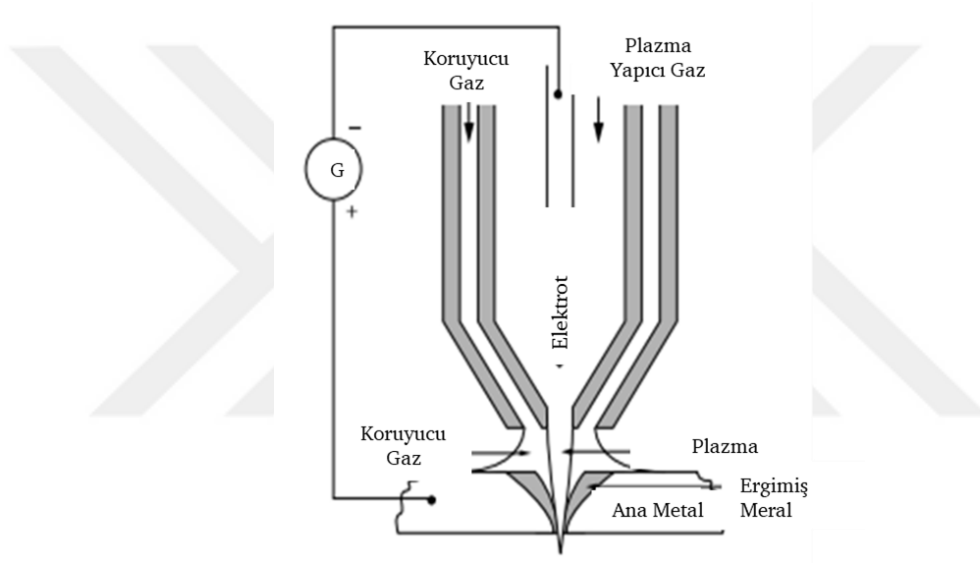
Şekil 2.6 TİG kaynak yöntemi [15].

Doğru akımda elektrod genellikle DCEN şeklinde kutuplanır. Böylelikle elektrotta ısınmanın azaltılması ve tungsten elektrodun ergimesinin önüne geçilmesi hedeflenir. Alüminyum, magnezyum gibi yüzeyinde oksit tabakası oluşan metallerde ise kutuplama DCEP şeklinde olabilir. Buradaki amaç metal yüzeyine iyon bombardımanı yaparak bahsi geçen oksit tabakasını kaldırmaktır ancak bu durumda elektrodun ısınması gibi bir sonuç ortaya çıkabilir. Bu sebeple yüzeyinde

oksit tabakası barındıran metallerin kaynak işleminde en doğru seçim alternatif akım üreten bir güç kaynağı kullanmaktır [3].

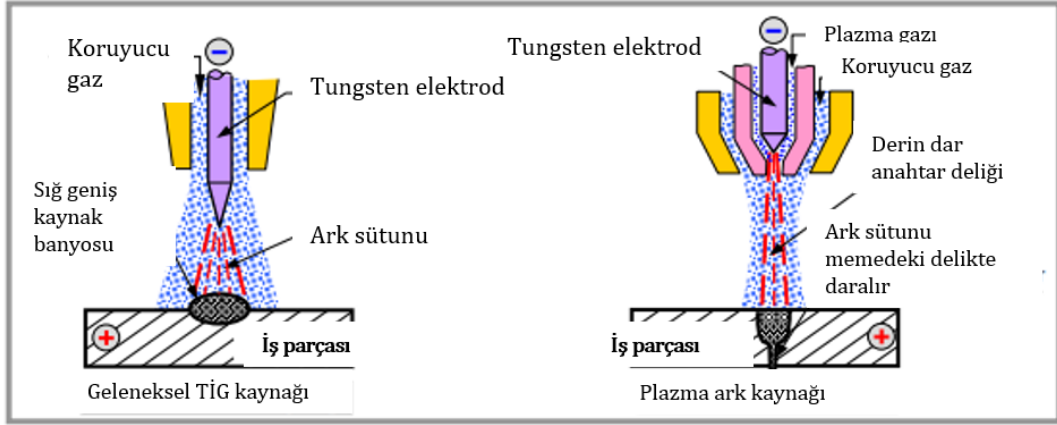
- **Plazma Kaynağı**

Bu kaynak yönteminde birleştirme bir plazma jeti kullanılarak gerçekleştirilir. Plazma, eş eksenli bir nozul içerisinde refrakter bir elektrod tarafından oluşturulan ark'a iletilen plazma oluşturuıcı gazların (Argon, olası Hidrojen veya Helyum ilavesiyle) nozul içerisindeki dairesel boşlukta teması sonucu meydana gelir. Elektrod erimemesi için doğru akımda genel olarak negatif olarak kutuplanır [16].



Şekil 2.7 Plazma kaynağı [16].

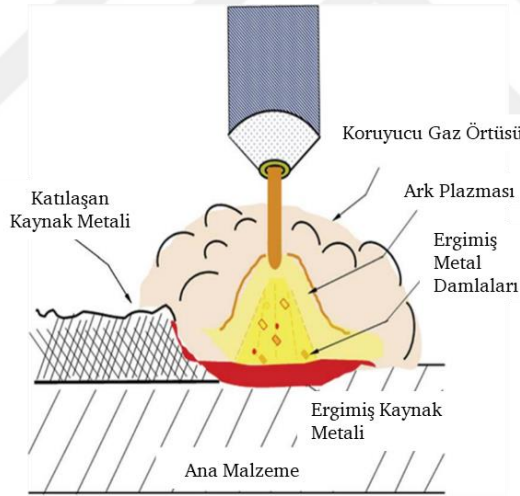
Plazma kaynak yöntemi TİG kaynağının bir uzantısı olarak görülebilir [13]. Bir plazma arkı, örneğin bir TİG arkından önemli ölçüde daha düz ve daha konsantredir, bu da yöntemin ark uzunluğu değişikliklerine daha az duyarlı olduğu anlamına gelir [3]. TİG kaynağında arkın ulaştığı sıcaklık 11.000 °C civarındayken plazma kaynağında bu değer 20.000 °C'ye kadar çıkabilir [17].



Şekil 2.8 Plazma kaynağı ile TİG kaynağı [17].

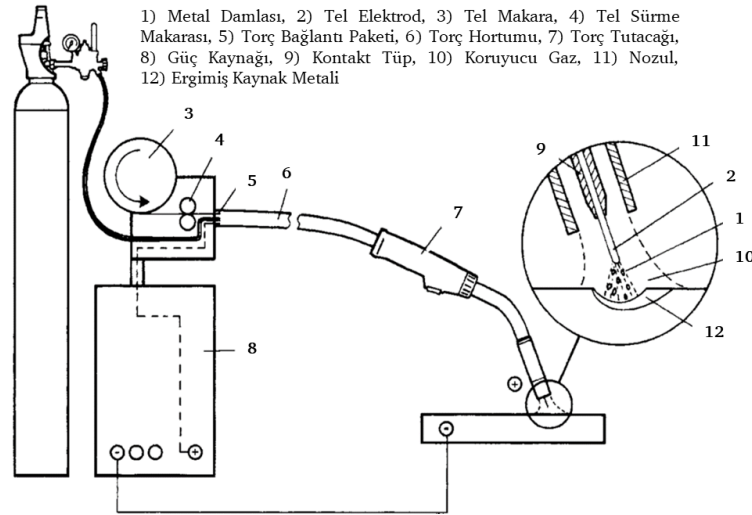
- **Metal İner Gaz, Metal Aktif Gaz (MİG/MAG) Kaynağı**

Bu yöntem Gaz Metal Ark Kaynağı (GMAW) bir diğer söylemle koruyucu olarak kullanılan gaz inert ise Metal İner Gaz (MİG), aktif ise Metal Aktif Gaz (MAG) kaynağı olarak adlandırılır [18]. MİG/MAG kaynağında ark ergiyen bir elektrod ile iş parçası arasında ve koruyucu gaz atmosferinde gerçekleşir [13].



Şekil 2.9 MİG/MAG kaynağı [11].

Kaynak teli makara ya da bidonlardan sağlanır ve bir spiral içerisinde hortum paketi boyunca tel besleme makaraları sayesinde torca kadar beslenir. Ark'ın oluşması için gereken enerji ise güç kaynağından sağlanır. Kaynak için gereken akım torcun ucunda bulunan kontak meme sayesinde tel elektroda iletilir. Kontak meme genellikle pozitif kutba bağlı iken iş parçası negatif kutba bağlıdır[18].



Şekil 2.10 MİG/MAG kaynak ekipmanı [3].

Kaynak torcu iş parçası üzerinde manuel olarak hareket ettirilirken tel elektrod otomatik olarak beslendiğinden, MİG/MAG kaynağı genellikle yarı otomatik bir yöntem olarak adlandırılır. Bununla birlikte yöntem, torç hareketlerini mekanikleştirerek veya iş parçasının bir düzenek ile hareket etmesini gerçekleştirerek otomasyona kolayca uyum sağlar [18].

MİG/MAG kaynağı çok yönlüdür, endüstriyel üretim sektöründe ve robotik kaynakta en çok kullanılan kaynak yöntemi olarak kabul görmektedir. Bu yüksek tercih oranı aşağıda sıralanan avantajlara bağlanabilir:

- Manuel veya mekanik olarak çalıştırılabilir ve tüm kaynak pozisyonlarında kullanılabilir.
- Tüm ticari alaşımlarda kullanılabilen yüksek yüksek dolgu yapma özelliğine sahip, verimli bir tükenen elektrod kaynak yöntemidir.
- Örtülü elektrod ile karşılaştırıldığında teoride sonsuz uzunluktaki tel elektrod ile çalışma imkanı sunar.
- Tel besleme ünitesi sayesinde örtülü elektrod yöntemindeki gibi elektrod değiştirmek gereksiz uzun kaynak dikişleri oluşturulabilir.
- Sprey ark damla geçişi ile birlikte derin nüfuziyetli birleştirmeler sağlar.

- Curuf vb. bir örtü oluşturmadığından kaynak sonrası temizlik minimum seviyededir.
- Düşük hidrojenli bir süreçtir, hidrojen kırılgenliğine duyarlı malzemelerin kaynaklanması için iyi bir seçimdir.
- Yöntem, diğer kaynak yöntemlerine nazaran daha kolay öğretilir ve öğrenilir.

MİG/MAG yönteminin başlıca sınırlamaları aşağıdakiler ile açıklanabilir;

- Kaynak ekipmanları daha karmaşık, pahalı ve örtülü elektrod yöntemine göre daha az portatiftir.
- Ulaşılması güç olan yerlerde kullanılması zordur.
- Kaynak arkı hava akımlarına karşı korunmalıdır, bu sebeple dış ortamda kullanılırken ark bölgesi perdelenmelidir.
- Yöntemde soğuk yapışma, gözenek ya da sıçrıntı gibi kaynak hataları oluşabilir.

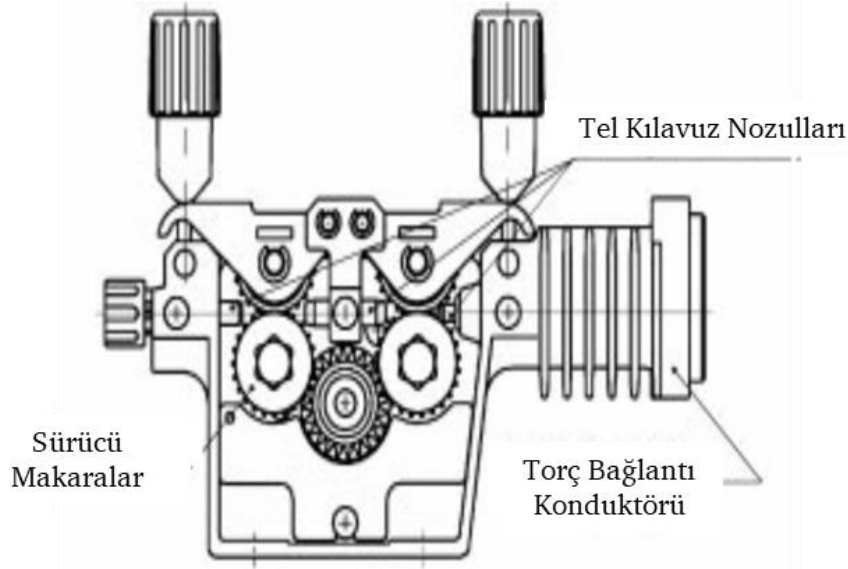
Yönteme ait avantaj ve sınırlamalar bu şekilde sıralanabilir [11].

- **MİG/MAG Kaynağı Ekipmanları**

MİG/MAG kaynağı ekipmanı temel olarak dört bileşenden oluşur. Bunlar; güç kaynağı, tel besleme ünitesi, kaynak tabancası (torç olarak da adlandırılır) ve koruyucu gaz kaynağıdır [19].

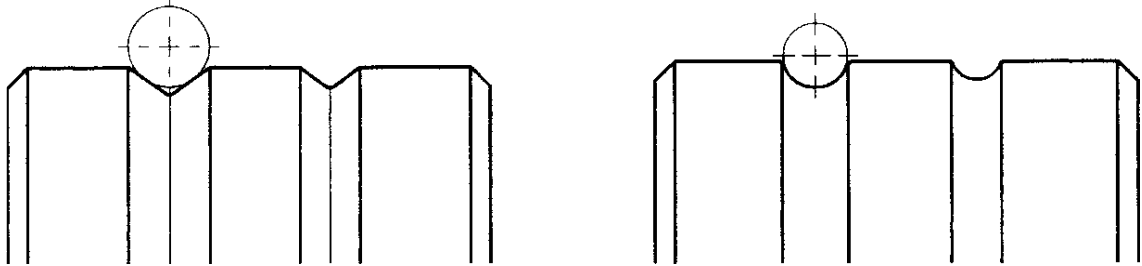
- a) Tel Besleme Ünitesi*

Tel besleme sistemi, ekipmanın kritik bir parçasıdır. Telin, beş metreye kadar uzunlukta olabilen sipiral içinden itilmesi gerekir. Kaynak kalitesini doğrudan etkileyeceği için tel beslemesinin başlatılması ve durdurulması çok hızlı olmalı ayrıca telin hızı sabit olmalı ve değişmemeli ve tel beslemede kesilmeler olmamalıdır. Besleme kuvvetini tele aktarmak için makaraların birbirine doğru bastırılması gerekir. Besleme kuvvetini tele aktarmak için makaraların birbirine doğru bastırılması gerekir. Bu kuvvet üniteye bulunan baskı rulolarınca sağlanır [18].



Şekil 2.11 Tel besleme ünitesi [3].

Sürücü makaraların tele uyan bir izi vardır. Bu nedenle tel değiştirildiğinde ruloların değiştirilmesi gerekebilir. Sürücü olarak kullanılan makara sayısı, elde edilebilecek besleme kuvvetini etkiler. Alüminyum gibi daha yumuşak malzemelerin beslenmesinde u kanallı makaraların kullanılması önerilir.

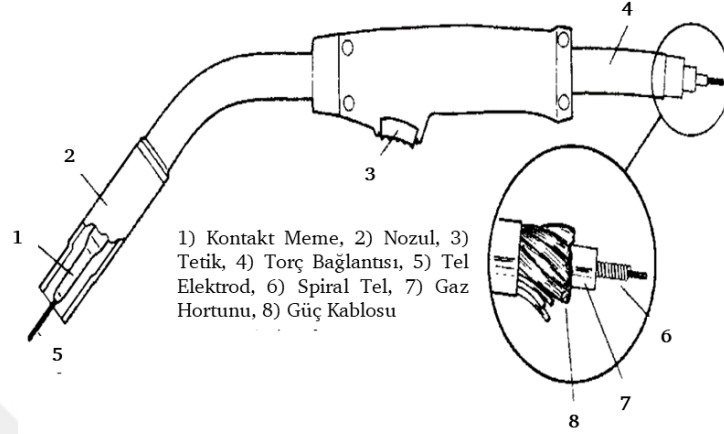


Şekil 2.12 Makara kanalları [3].

b) Kaynak Tabancası (Torç)

Kaynak tabancasının işlevi, teli, kaynak akımını ve koruyucu gazı ark alanına taşımaktır. Torç, koruyucu gazın yanı sıra tel beslemesini ve arkı kontrol eden bir tetik anahtarına sahiptir. Kaynak operatörü arkı yönlendirir ve kaynağı kaynak tabancasıyla kontrol eder [19]. Kaynak torçları hava ya da su soğutmalı olarak iki farklı türde olabilirler. Genel olarak 40-180 A arasında hava soğutmalı torçlar

kullanılırken daha yüksek amper değerlerinde su soğutmalı torç tercih edilir [20]. Torç tel besleme ünitesine hortum paketi ile bağlıdır [3].

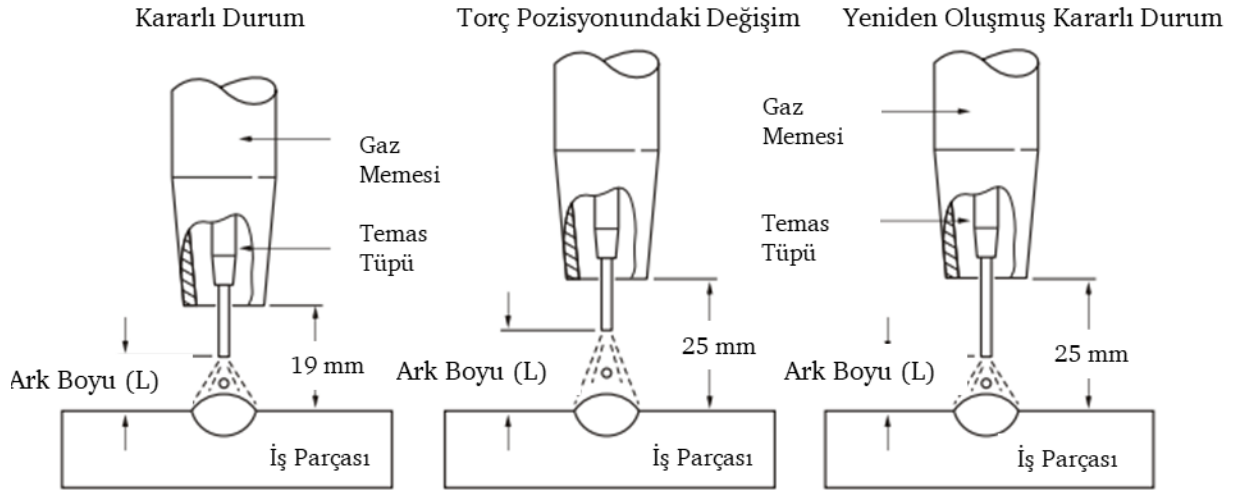


Şekil 2.13 MİG/MAG kaynak torcu [3].

c) Güç Kaynağı

Güç ünitesi iş parçası ile elektrod arasında ark meydana getirmek adına elektrik enerjini üretir. MİG/MAG kaynağında genellikle DCEP kutuplama kullanılır bu sebeple elektrod pozitif kutba, iş parçası ise negatif kutba bağlanır. Yöntemin ilk yıllarında sabit akımlı (CC) güç kaynakları kullanılmıştır. CC akım üreteçleri kaynak akımını ark boyunun değişmesine rağmen sabit tutarlar.

Uygulama sırasında sabit tel besleme hızında torcun hareketi ile ark boyunda meydana gelen değişimler sonucu kaynak teli kontakt memeye doğru geri yanarak ya da iş parçasına yaklaşarak arkın sönmesine sebep olabilir. Sabit gerilimli (CV) bir güç kaynağında ise ark boyunda meydana gelebilecek değişiklikler, tel hızının yani akımın artması ya da azalması ile kontrol edilebilir. Böylelikle arkın sönmesi gibi bir sorun ortadan kaldırılabilir. MİG/MAG kaynağında sabit gerilimli (CV) kaynak makineleri ile çalışmanın daha verimli olduğu görülmüştür [21].



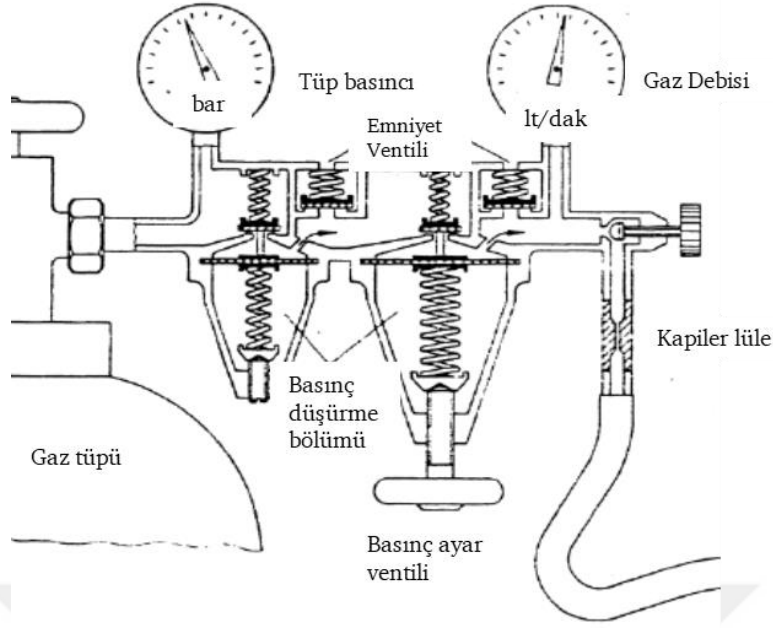
Şekil 2.14 Ark uzunluğu (gerilim) ayarı [21].

Kademe değiştirici, redresör üniteleri geleneksel olarak kullanılmaktadır ve en yaygın tiptir. Tristör kontrollü doğrultucu üniteler daha büyüktür ve biraz daha gelişmiştir: en gelişmiş tipler ise inverter (yeni nesil) güç kaynaklarıdır. İnvertör güç kaynakları en gelişmiş tasarıma sahiptir. Genel olarak iyi özelliklerine ve kontrol olanaklarına yanı sıra, invertörler genellikle alüminyum ve paslanmaz çeliğe uygulanan darbeli MİG/MAG kaynağının kullanımına da imkân sağlar [3].

d) Koruyucu Gaz Kaynağı

MİG/MAG kaynağında kullanılan koruyucu gazın birincil amacı, erimiş kaynak metalini atmosferdeki oksijen, nitrojen, su buharı ve diğer gazların neden olduğu kontaminasyon ve hasardan korumaktır [20]. Koruyucu gazlar bu bölgeye ulaştırılırken uygun bir basınç düşürücü üzerinden gönderilir [1].

Koruyucu gazın kaynak makinesine bağlanması sırasında kullanılan basınç düşürücü ve diğer elemanların sisteme nasıl entegre edildiği ile ilgili görsel aşağıda yer alan Şekil 2.15’de gösterilmiştir.



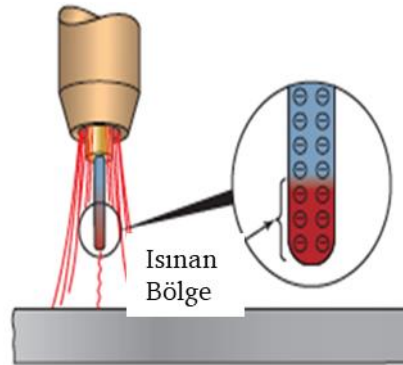
Şekil 2.15 Basınç düşürücü [1].

- **MİG/MAG Kaynak Parametreleri**

MİG/MAG kaynağında birden çok parametre vardır. Bu parametrelerin bir çoğu optimum kaynak özellikleri için bir birleri ile eşleşmelidir [3].

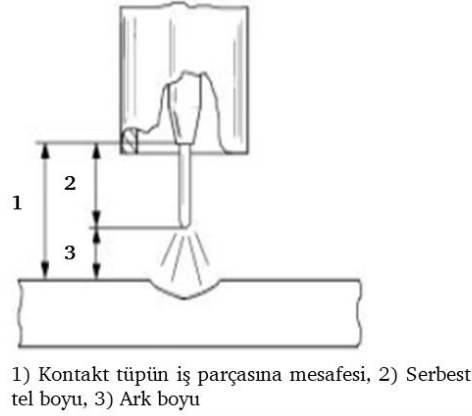
a) Serbest Tel Boyu

Serbest tel boyu kontak memeden çıkan tel elektrodun boyu olarak açıklanabilir. Bu bölüm elektrodun ergime öncesi ön ısınmasının gerçekleştiği alandır. Serbest tel boyu yanma oranını etkilediği için ergimiş metal damlasını boyutunu kontrol eder [11].



Şekil 2.16 Serbest tel ucu ve ısınma alanı [22].

Serbest tel boyu, kullanılan kaynak telinin 10, 15 katı uzunlukta olacak şekilde planlanabilir. Daha küçük serbest tel boylarında tel geri yanarak kontak memeye yapışabilirken, uzun serbest tel boylarında ise özellikle kaynak başlangıcında telin iş parçasına yapışması tehlikesi vardır [18].



Şekil 2.17 Serbest tel boyu [18].

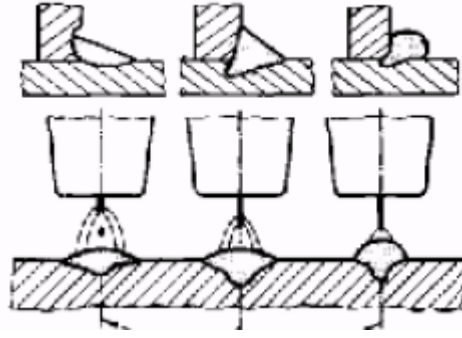
Serbest tel boyu ile ergime gücü artarken nüfuziyet azalır. Bu sebeple serbest tel boyunun artması kaynak sırasında soğuk yapışma riskini beraberinde getirir [23].

b) Elektrod Çapı

Elektrod çapı kaynak akımına göre seçilir, ancak örtülü elektrodların aksine farklı elektrodlar örtüşen ve geniş bir akım aralığına sahiptir [3]. Elektrod çapı kaynak dikişinin boyutuna, nüfuziyete ve kaynak hızına etki eder. Genel bir kural olarak aynı akım değerlerinde elektrod çapı azaldıkça arkın nüfuziyet gücü artar [11].

c) Kaynak Voltajı (Gerilim)

MİG/MAG kaynağında kullanılan güç kaynaklarının karakteristiği sebebiyle (CV) ayarlanan kaynak geriliminde kaynak boyu sabit kalma eğilimindedir. Voltaj kaynak dikişinin yüksekliği, genişliği ve yüzey sıcaklığı üzerinde rol oynar. Voltajın işlevi, kaynak arkını stabilize etmek, pürüzsüz ve sıçrantısız bir kaynak dikişi oluşturmaktır. Her kaynak akımı için optimum bir voltaj değeri vardır, aksi halde yanma olukları ve sıçrantı gibi hatalar barındıran kaynak dikişleri meydana gelir. Yüksek voltaj değerleri geniş ve düz bir dikiş meydana getirir, düşük voltaj değerleri ise dar ve yüksek dikişler oluşturur [11].



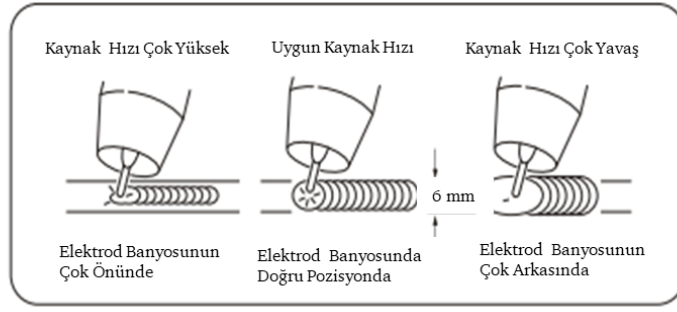
Şekil 2.18 Gerilimin dikiş üzerine etkisi [23].

d) Kaynak Akımı

Tel besleme hızı, kaynak akım miktarını belirler. Akım terimi genellikle akım yoğunluğu ile ilgilidir (yani, elektrodun enine kesit alanının inç kare başına amperajı). Bu nedenle, belirli bir amperajda, çap olarak 0,035 inç (0,89 mm) bir elektrodun akım yoğunluğu, 0,045 inç (1,14 mm) çapındaki bir elektrodunkinden daha yüksektir. Elektrodun farklı tipi ve boyutu için minimum ve maksimum akım yoğunluğuna değerleri bulunur ve en iyi çalışma aralığı bunların arasından seçilir [11]. Akım şiddeti arttıkça ergime gücü artar. Serbest tel ucundaki ısınma alanındaki değer yüksek akım yoğunluklarında artan elektrik direnci sebebiyle artar buda ergime gücünün artmasına sebep olur [23]. Kaynak akımı ile penetrasyon arasında doğrudan bir ilişki vardır. Akım arttıkça penetrasyon değeride yükselir [11].

e) Kaynak Hızı

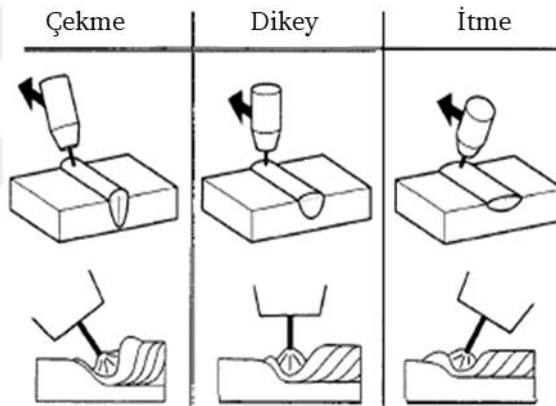
Arkın erimiş kaynak havuzu içindeki konumu önemli olduğundan, kaynak ilerleme hızı arkın ana metali eritme gücünü aşamaz. Çok yüksek bir kaynak hızı, kaynak havuzunun hızlı ilerlemesine ve kontrol edilemeyen bir arkın ortaya çıkmasına neden olabilir. Ana metal ile dolgu metali arasındaki birleşme, ilerleme hızı çok yüksekse tamamen durabilir. Hareket hızı çok yavaşsa ve kaynak havuzu boyutu aşırı derecede artarsa bu durum nüfuziyeti kısıtlayabilir [22].



Şekil 2.19 Kaynak hızının etkisi [21].

f) Torç Açısı

Kaynaklı bağlantıda torç açısı önemli bir parametredir. Ark dikişin önünde gidiyorsa (İtme) nüfuziyet az dikiş ise geniş olacaktır. Ancak ark oluşan kaynak dikişine doğru bakıyorsa (Çekme) bu durum derin nüfuziyetli dar bir kaynak dikişi meydana gelecektir [3].



Şekil 2.20 Torç açısının etkisi [3].

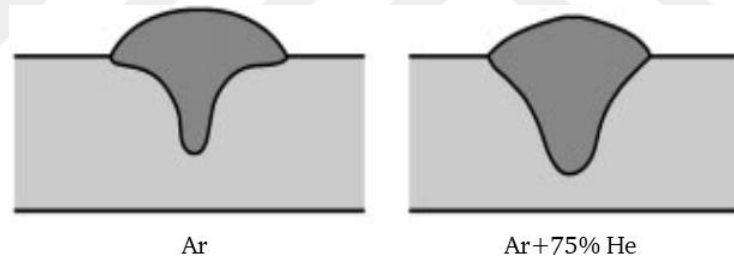
İtme yöntemi iyi bir bağlantı görünürlüğüne sahiptir ve daha az nüfuziyet ile kaynak yapılmasını sağlar; bu teknik, aşağıdan yukarı ve tavan kaynaklarda iyi sonuçlar verir. Dikey kaynak, nüfuziyet ve pekiştirmede iyi bir dengeye sahiptir ve otomatik kaynakta kullanılır. Çekme yöntemi ile iyi bir dikiş görünürlüğüne sahiptir ve daha derin nüfuziyete sahip kaynak gerçekleştirilebilir [22].

g) Koruyucu Gaz

MİG/MAG kaynağında genel olarak kullanılan başlıca koruyucu gazlar oksijen, argon, karbondioksit ve helyum veya bu dört gazın bir kombinasyonudur [11].

Herhangi bir kaynak yönteminde kullanılan Hidrojen (H_2), oksijen (O_2), karbondioksit (CO_2), nitrojen (N_2), helyum (He), argon (Ar) ya da bu gazların karışımları gibi bir koruyucu gazın kaynak işlemindeki tek görevi sadece ergimiş metal damlasını ve kaynak dikişini atmosferin olumsuz koşullarından korumak değildir. Bu gazlar aynı zamanda kaynak sırasındaki metal transfer şeklini, nüfuziyeti ve dikiş genişliğini, çapak kontrolü ve kaynak sonrası temizliği, kaynak dumanı oluşumunu kontrol etmek ve kaynağın metalurjik ve mekanik özelliklerini etkilemek için kullanılır ve duruma göre seçilir [24]. MİG/MAG Kaynağında kullanılan gazlardan olan İnert gaz sınıfındaki Ar ve He kaynak sırasında herhangi bir element ile reaksiyona girmezler [25].

Ar: Düşük ısı iletkenliği sayesinde pozisyon dışı kaynaklarda kullanılır. Helyumdan 10 kat daha ağır olması sebebiyle kaynak havuzunu daha iyi örter [25]. Hemen hemen tüm metallerin kaynağında kullanılır ayrıca sprej ve darbeli akım damla iletim mekanizmaları için uygundur [24]. Düşük ısı iletkenliği sebebiyle argon parmağı denilen bir kaynak profili meydana getirir [18].

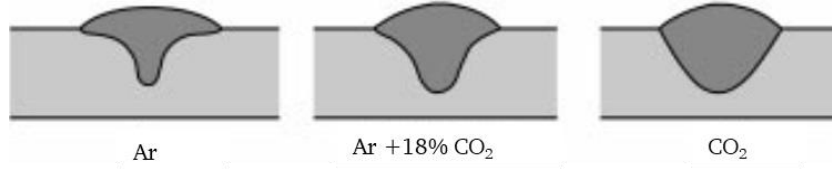


Şekil 2.21 Kullanılan gazın etkisi [18].

He: Bu gaz arktan aldığı ısıyı kaynak bölgesine ileten mükemmel bir ısı iletkenidir. Kalın malzemelerin birleştirilmesinde kullanıldığı gibi ısı iletkenlik katsayısı yüksek olan ve yüksek ısı girdisi ile kaynatılması gereken bakır ve alüminyum gibi metallerin birleştirilmesi içinde uygundur [25].

Aşağıdaki aktif gazlar ise diğer kimyasal elementlerle bileşikler oluşturacak ve MİG/MAG kaynağın'da düşük konsantrasyonlarda belirli hedeflere ulaşmak için kullanılabilir.

CO₂: Karbon çelikleri ve alaşımsız çeliklerin oksijeni giderilmiş tel elektrod ile kaynağı için uygundur. Kaynak sırasında sıçrantı oluşabilir [24]. Elde edilmesi kolay olduğu için nispeten ucuz bir koruyucu gazdır [18].



Şekil 2.22 Ar ve CO₂ gazı ile kaynak profilleri [18].

O₂: Sadece ark stabilitesini, ıslatmayı, kaynak profilini ve mikro yapı kalitesini iyileştirmek için katkı gazı olarak kullanılır [24].

N₂: Ostenitik ve dubleks paslanmaz çeliklerin kaynağında belirli oranlarda kullanılır. Maksimum oran %5'i geçmez. Bakırın kaynağında %100 oranında kullanılabilir [18].

H₂: Hidrojen, esas olarak östenitik paslanmaz çelikler, nikel ve nikel alaşımları gibi östenitik metalik malzemeler için yapılan kaynaklarda gaz karışımlarının içinde küçük bir bileşen olarak kullanılır [18].

Yukarıda açıklanan gazlar, farklı durumlarda uygun özellikleri elde etmek için tek tek veya karışım halinde kullanılabilir. Aynı gazların özellikleri karışımlarda birleştirilir, ancak her bir karışım belirli avantajlar sağlar [18]. Bu karışımlardan bazıları aşağıda açıklanmıştır [24].

Ar/He: Daha sessiz, daha kolay kontrol edilen ark oluşturur (20–80 ila 50–50). Helyumun argona eklenmesi ısı girdisini artırır. Sprey damla geçiş modu için uygundur [24].

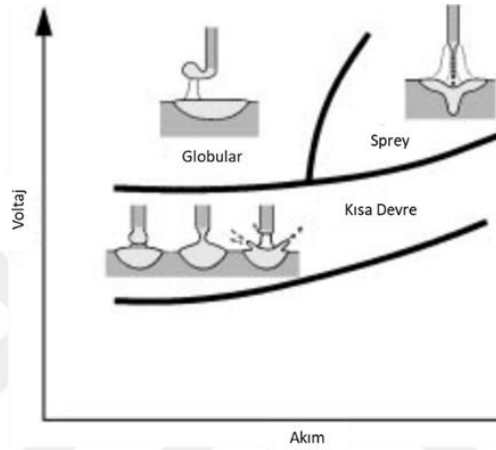
Ar/CO₂: % 5 ila 25 CO₂ karışımı ile karbonlu çelikler, düşük ve yüksek alaşımlı çeliklerin kaynağı için uygundur. CO₂ ilavesi arkı stabilize eder. Sprey ark ve kısa devre damla geçişi için uygundur [24].

Ar/O₂: Oksijeni giderilmiş tel ile kullanan çeşitli çelikler için kullanımı uygundur, karışıma % 3–5 O₂ eklenebilir ve O₂ ilavesi arkı stabilize eder. Sprey ark için uygundur [24].

Ar/N₂: Bakırın kaynağında güçlü ve daha düzgün yanan bir ark oluşturur. %2'ye kadar azot ilave edilebilir, böylelikle ark kontrolü kolaylaşır. Bu karışım ayrıca dubleks paslanmaz çelikler içinde kullanılabilir [24].

- **MİG/MAG Kaynağında Damla İletimi**

Ark kaynağının en başından beri, damla iletimini etkileyen ana faktörler ark gerilimi ve kaynak akımıdır. Bu iki değişkenin değeri artarken damla iletim şeklide değişmektedir [26].

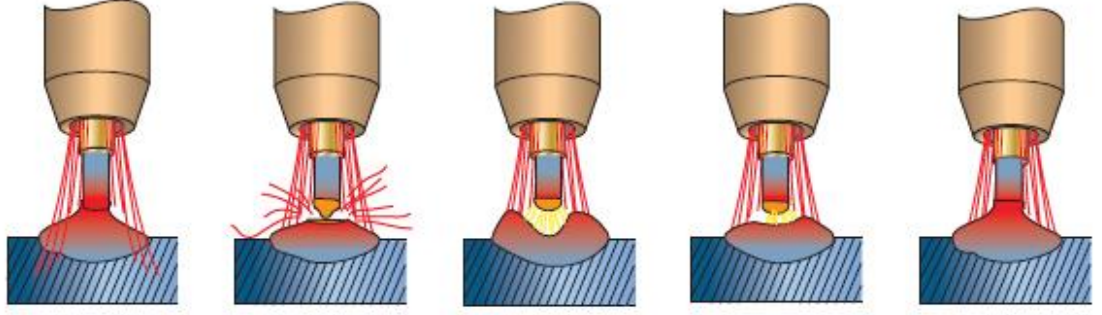


Şekil 2.23 MIG/MAG kaynağında farklı voltaj ve amper değerlerinde damla iletimi [18].

Bununla beraber damla iletimini birden çok faktör vardır. Bunlar; a) kaynak akımının büyüklüğü ve türü, (b) elektrod çapı, (c) elektrod bileşimi, (d) kontak meme veya serbest tel boyu, (e) koruyucu gaz ve (f) güç kaynağı çıkışıdır [11]. Erimiş metalin tel elektrottan ayrılmasında anahtar rol oynayan ana kuvvet türlerine bağlı olarak, temel damla iletim şekli üç ana "kategorisi" tanımlanabilir; 1) kısa devre damla iletimi, 2) küresel (globular) damla iletimi, 3) spreyl damla iletimidir [26].

a) Kısa Devre Damla İletimi

Düşük akımlar, elektrot ucundaki sıvı metalin erimiş kaynak havuzuyla doğrudan temas yoluyla aktarılmasına izin verir. Bu işlem, tel besleyici ile güç kaynağı arasında yakın etkileşim gerektirir. Bu tekniğe kısa devre aktarımı denir [22].

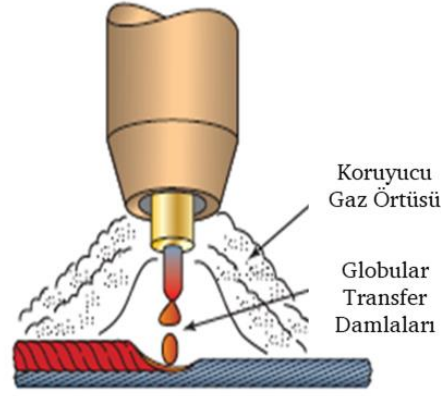


Şekil 2.24 Kısa devre damla iletimi [22].

Bu damla iletim şekli tüm kaynak pozisyonlarında düşük akım aralıklarında kullanılır. Ortaya çıkan düşük ısı girdisi bu iletim şeklinin ince malzemeler için uygun olmasını sağlamaktadır [18]. Bu damla iletim şeklinde kullanılan koruyucu gaz karışımı tipik olarak argon bakımından zengindir. İnce malzemeleri birleştirmek veya kök açıklıklarını köprülemek için uygun küçük, hızla katılan kaynak dikişleri oluşturur. Kısa devre transferinin sınırlamaları (1) nispeten düşük metal yığılma hızı, (2) daha kalın metallerde nüfuziyet eksikliği ve (3) genel olarak daha fazla sıçrantıdır [11].

b) Küresel (Globular) Damla İletimi

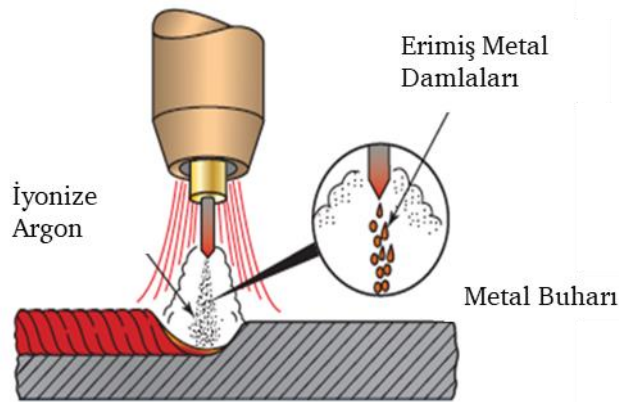
Kısa devre iletimi ile spreyl ark iletimi arasındaki akım ve voltaj değerlerinde meydana gelen bir damla iletim şeklidir. Oluşan damlacıkların boyu tel çapından büyüktür ve iletim düzensizdir [20]. Küresel damla iletiminin sınırlandırmaları (1) sıçrama oluşumu, (2) spreyl ark transferine nazaran daha az istenen kaynak dikişi görünümü, (3) kaynak düz konumlarla ve yatay olarak köşe kaynakları için uygundur ve (4) kaynak metal kalınlığı 3mm ve daha üstü ile sınırlıdır. Kullanılan koruyucu gazın türü de damla iletim şeklini etkiler. Örneğin, CO₂ kullanırken ortaya çıkan damla iletimi, yüksek akım yoğunluğunda bile karakteristik olarak küreseldir. Kullanılan elektrod ne kadar büyükse, belirli bir akım yoğunluğu için gereken akım o kadar yüksek olur [11].



Şekil 2.25 Küresel (globular) damla iletimi [22].

c) Sprey Ark Damla İletimi

Sprey ark damla iletimi, tel elektrottan ana metale kadar ark boyunca küçük erimiş damlacıkların spreylen bir püskürtme şeklinde iletilmesi ile oluşur. Sprey ark damla iletiminde, kısa devre transferine kıyasla nispeten yüksek voltaj, tel besleme hızı ve amper değerleri kullanılır. Gerçek bir Sprey ark damla iletimi elde etmek için argon bakımından zengin bir koruyucu gaz kullanılmalıdır. Uygun parametreler kullanıldığında, spreylen ark transferi karakteristik bir uğultu veya vızıldama sesi üretir. Sprey ark damla iletiminin avantajları arasında (1) yüksek metal yığılma hızları, (2) iyi nüfuziyet, (3) iyi kaynak dikişi görünümü, (4) daha büyük çaplı elektrot telleri kullanma yeteneği ve (5) çok az sıçrama oluşumu bulunur [11]. 5mm ve üzeri malzemelerin kaynağında spreylen ark damla iletimi yakalanabilir [18].



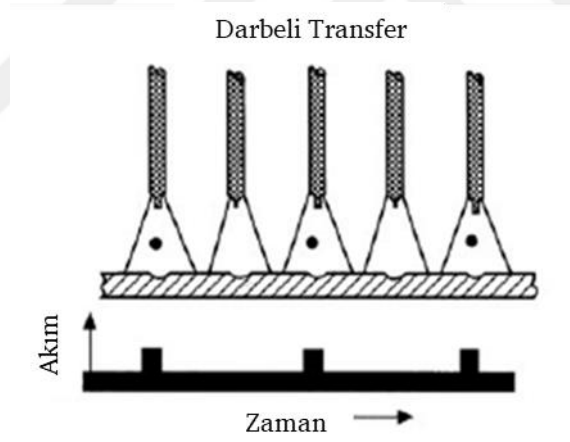
Şekil 2.26 Sprey ark damla iletimi [22].

Koruyucu gaz karışımı argon bakımından zengin olmalıdır. Bu iletim şekli, yüksek hızda ve yüksek hacimde erimiş metal ilettiğinden, spreylendirilmesinin yalnızca düz ve yatay pozisyonlar için uygun olduğu kabul edilir [11].

Konvansiyonel kaynak makinelerinin aksine yeni nesil program kontrollü kaynak makineleri ile bir başka damla iletim şekli olan darbeli (pulse) akım damla iletimi mümkündür [26].

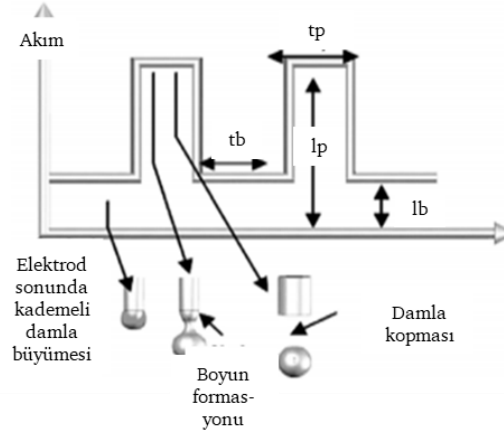
d) Darbeli (Pulse) Akım Damla İletimi

Bir pik akımı ile düşük değerlerdeki temel akım arasında kontrollü bir çevrimle spreylendirilmesinin daha düşük akım değerlerinde elde edildiği yöntemdir [27]. Darbeli akım ile MIG/MAG kaynağı, karbon çeliklerinin kaynağı için de kullanılsa da, esas olarak alüminyum ve paslanmaz çeliğin kaynağı için kullanılır. Güç ünitesinden gelen darbelerle (30 ± 300 Hz) tel elektrod ucundaki erimiş damlacıkları kontrol ederek, spreylendirilmesini aralığını düşük kaynak akımı ve voltaj değerlerine kadar genişletmeyi mümkün kılar [18].



Şekil 2.27 Darbeli (pulse) akım damla iletimi [20].

Darbeli akım ile kaynakta işlemin kalitesi damla iletiminin düzeniyle ilişkilidir. Damla transferi, darbe başına bir damla veya darbe başına birden çok damla şeklinde gerçekleşebilir. Ayrıca genel olarak minimum kaynak hatası ve sıçrama ile en iyi kaynak kalitesini elde etmek için her darbeye bir damlacığın iletilmesi gerektiğine inanılmaktadır [28].



Şekil 2.28 Darbeli (pulse) akım damla iletim gösterimi [28].

Darbeli MİG/MAG kaynağı küresel damla iletimi ve kısa devre iletiminde oluşan sıçrıntı ve yetersiz nüfuziyet gibi problemlerin önüne geçmek adına ortaya çıkmıştır. Bu metotta damla iletimi temel akımla elektrodun ucunda oluşmaya başlayan damlanın darbe akımı ile telden kopartılarak kaynak havuzuna iletilmesi ve bu çevrimin belirli bir periyot içerisinde devam etmesine dayanmaktadır [27].

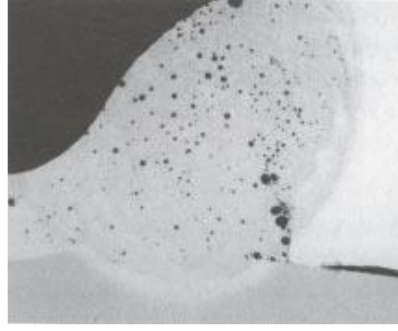
Darbeli akım ile MİG/MAG kaynağının avantajlarından bazıları olarak şunlar sayılabilir; daha düşük ısı girdisi, daha az distorsiyon, derin nüfuziyet, daha hızlı kaynak, daha az sıçrıntı, yüksek verimde damla iletimi, daha düşük duman, ark üflemesine karşı dayanım ve daha kaliteli kaynak dikişi [22].

- **MİG/MAG Kaynak Hataları**

Özellikle yanlış parametrelerle gerçekleştirilen kaynak işlemlerinde, kaynak hatalarının farkına varmak önemlidir [3]. Kalite kaynak dikişleri üretebilmek adına bu hataları bilmek ve hata giderme yöntemlerini uygulamak önemlidir [19]. MİG/MAG kaynağında en çok karşılaşılan hata türleri aşağıda sunulmaktadır [23].

- a) Porozite (Gözenek)**

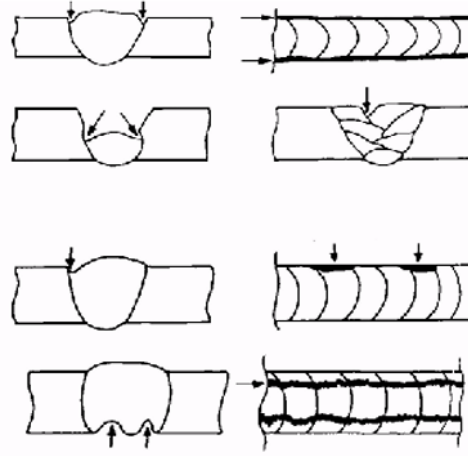
Porozite genellikle atmosferik kirlenmeden kaynaklanır. Tıkalı bir nozul, koruyucu gazın çok düşük veya çok yüksek debi ile ayarlanması veya rüzgarlı bir alanda kaynak yapılması bu hataya neden olabilir. Poroziteden kaçınmak için, nozulu temiz tutmalı, doğru gaz basıncını kullanmalı ve rüzgârlı bir alanda kaynak yaparken koruyucu bir rüzgar siperi kullanılmalıdır [19].



Şekil 2.29 Kaynak dikişinde porozite [18].

b) Yanma Olukları

Kaynağın ardında ana metal yada dikişin kenarında oyuk ve çentikler şeklinde sürekli veya aralıklarla oluşan hata türüdür. Genel olarak tüm ark kaynağı metodlarında meydana gelebilen bu hatanın temel nedeni parametrelerin yanlış seçilmesidir. Yüksek akım şiddeti, hızlı kaynak, torcun fazla hareket ettirilmesi, elektrodun yanlış açıyla kaynak alanına beslenmesi ve ana metalde bulunan yüksek pas miktarı bu hatanın oluşmasına neden olabilir [23].



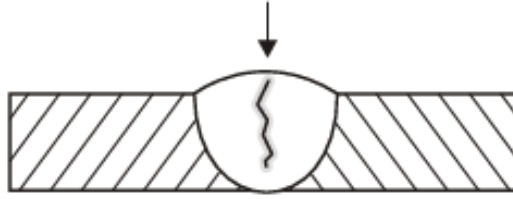
Şekil 2.30 Yanma olukları [10].

c) Çatlaklar

Dinamik ve statik yükler altında çatlak içeren bir kaynaklı bağlantının çalışmasına izin verilemez. Bu sebeple kaynak hataları içerisinde en tehlikeli olan durumdur. Bu çatlaklar ana metal ve kaynak dikişinde olmak üzere ikiye ayrılır [23].

Dikişte yer alan çatlaklar; hatalı kaynak tasarımı, dikişin derinlik/genişlik oranının yüksek olması, yüksek ısı girdisi ve distorsiyon, sıcak çatlak oluşumu (yüksek

kükürt içeren malzemelerde), bağlantı elemanlarında yüksek zorlama nedeniyle meydana gelebilir [21].



Şekil 2.31 Dikişte yer alan çatlak görseli [21].

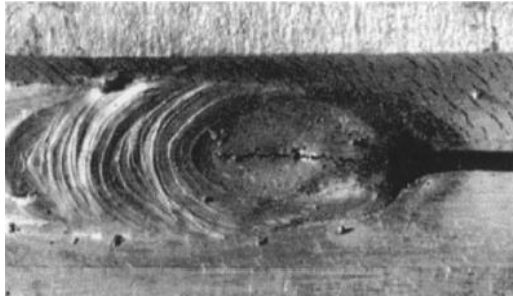
Ana metalde yer alan çatlaklar; ITAB'da meydana gelecek aşırı sertleşme, yüksek iç gerilmelerin varlığı ya da kaynaklı bölgeye giren atomik hidrojenin kaynak sonrasında bağlantıdaki sert bölgelerde molekül yapısına dönüşmesi ile gerçekleşen hidrojen gevrekliği sebebiyle oluşabilir [21].



Şekil 2.32 Ana metalde yer alan çatlak görseli [21].

d) Uç Kraterleri

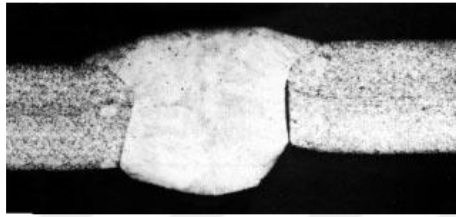
Kaynağın son noktasında oluşan kraterlerdir. Kaynak biterken meydana gelen katılaşma sırasındaki büzölmeler dikişin uç noktasında bir krater boşluğu oluşturur. Bu hata aynı zamanda çatlak olarak da kendini gösterebildiğinden krater çatlağı ismiyle de anılabilir [3].



Şekil 2.33 Krater çatlağı görseli [3].

e) Soğuk Yapışma

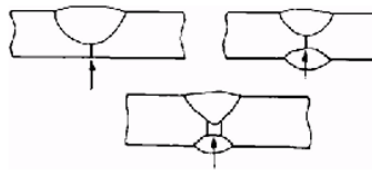
Soğuk yapışma genellikle ark ana metali yeterince ertitemediğinde ortaya çıkar. Soğuk yapışma oluştuğunda, erimiş metal birleştirme gerçekteşirmeden ana metale akar. Genellikle bu, kaynak banyosunun çok büyük olmasına izin verildiğinde ortaya çıkar. Bu sorunu düzeltmek için, arkı kaynak banyosunun başlangıcında tutmak gerekir. Ayrıca, hareket hızını artırarak veya tel besleme hızını azaltarak kaynak havuzunun boyutunu azaltmakta gerekir. Dikiş oluşturulurken hafif bir zik zak hareketi kullanılabilir [19].



şekil 2.34 Soğuk yapışma görseli [18].

f) Nüfuziyet Eksikliği

Kaynak dikişi ile ana malzemenin ya da çok pasolu kaynaklarda iki dikişi birbiri ile yeterince birleşmemesi şeklinde oluşan hatadır. Akım şiddetinin düşük olması ya da kaynak hızının yüksek olması sebebiyle temelde yetersiz ısı girdisinin sonucunda oluşan bir kaynak hatasıdır [23].



şekil 2.35 Nüfuziyet eksikliği [10].

g) Sıçrantı

Kaynak sırasında farklı sebeplerle oluşan patlamalar sonucu sıvı metalin küçük parçalar halinde dikiş kenarlarına sıçraması sonucu oluşan kaynak hatasıdır. Dikişi görünüsünü bozan bu hata elektrod sarfiyatını da beraberinde getirir ve temizlenmesi gerekmesi sebebiyle iş gücü kaybına neden olur. Gerilimin yüksek

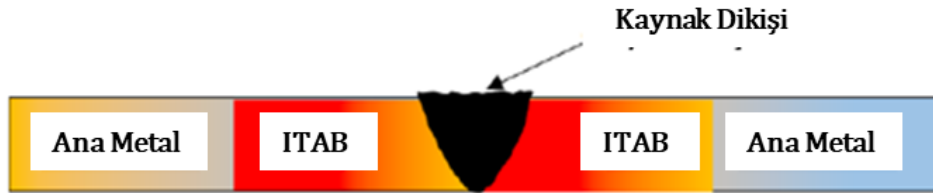
olması, yüksek serbest tel uzunlukları ve yüksek akım şiddeti bu olayın meydana gelmesinin başlıca sebeplerindendir [23].



Şekil 2.36 Kaynak dikişinde sıçrıntı görseli [18].

Mekanik bileşenlerin tasarımı ve üretiminde malzemelerin birleştirilmesi önemli bir husustur. Birleştirme yöntemleri arasında, mekanik özellikleri iyileştirmek, ağırlığı azaltmak ve üretim süresini düşürmek için kaynak işlemi tercih edilen bir yöntemdir. Kaynak metalik yapıların birleştirilmesinde yaygın olarak kullanılır. Çalışma sırasında bu yapılar dinamik ve statik yükler altında deformasyona uğramaya eğilimlidir[2]. Kaynaklı bağlantının dış koşullar altında göstereceği davranışlar kaynaklı bağlantının bölgelerinin davranışlarına göre değişir [29]. Kaynak işlemi, kaynaklı bağlantıda üç temel bölge ile sonuçlanır;

- Kaynak dikişi bölgesi: karşılıklı iki yüzey arasındaki bağlama bölgesi.
- Isı Tesiri Altında Kalan Bölge (ITAB): Kaynak işlemi sırasında erimeyen, ancak içyapı özellikleri kaynak işleminden doğan ısı ile değiştirilen ana metal alanı.
- Ana metal bölgesi: ITAB'ın yanındaki, kaynak bağlantısından gelen ısıdan özellikleri değişecek şekilde etkilenmeyen alan [2].



Şekil 3.1 Kaynaklı bağlantının bölgeleri [2].

3.1 Kaynak Dikişi Bölgesi

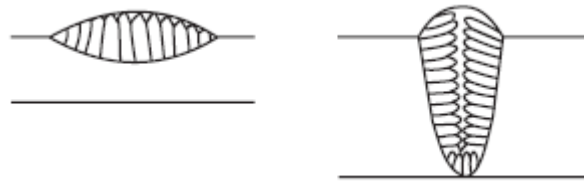
Farklı kaynaklı bağlantı bölgeleri, kaynak sırasında farklı bir termal döngüye uğrar. Kaynak dikişindeki metal, bu bölgeden belirli bir mesafede konumlanan ana metale göre daha hızlı ve daha yüksek bir sıcaklığa ısıtılır. Sonuç olarak, bölgeler farklı yerel metalürjik ve mekanik özelliklere meydana gelir [29].

Kaynak dikişı, bir başka değişle birleştirme bölgesi, kaynak işlemi sırasında tamamen erime ve yeniden katılaşmanın olduğu kısmı temsil eder. Birleştirme bölgesindeki mikro yapı, bileşimin ve katılaşma koşullarının bir fonksiyonudur. Kompozisyondaki k farklılıklar genellikle mikro yapı ve özelliklerde b varyasyonlara neden olur. Bazı sistemlerde, katılaşma ve soğuma hızlarının değiştirilmesi, mikro yapıyı da bazen oldukça değiştirebilir [30].

Kaynak havuzunda oluşan türbülansla birlikte, kaynak dikişi ana metal ve ilave metalin karışımı şeklinde oluşur. Karışımda ana metal ile kaynak metalinin oranı kullanılan kaynak metodu, ana metalin özellikleri ve kaynak ağzı gibi değişkenlere göre farklılık gösterir [31].

3.1.2 Kaynak Dikişinin Katılaşması

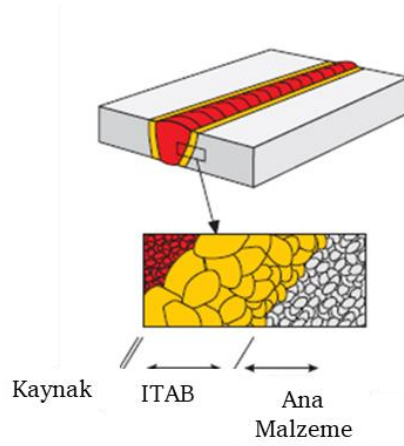
Ark kaynağında, erimiş kaynak havuzu kendini vreleyen bir katı metal içinde bulunur. Bu nedenle, kaynak dikişi sınırında bulunan sıvı-katı arayüzü, ideal bir çekirdeklenme alanı (heterojen çekirdeklenme) sağlar. Homojen ekirdeklenme gerçekleşmediğinden aşırı soğutma ihmal edilebilir. Kaynaktaki ısı akışı, soğuk metale doğru oldukça yönlü gerçekleştiği için, kaynak dikişinin yapısı ısı akışının yönüne paralel uzun taneciklere sahip sütün şeklinde bir yapıya sahiptir [13].



şekil 3.2 Kaynak dikişi bölgesi [13].

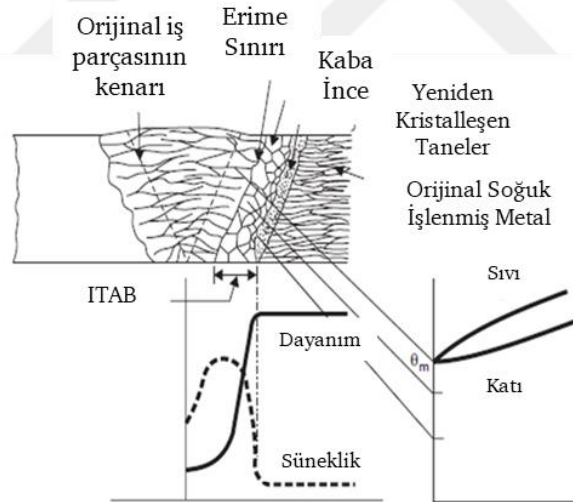
3.2 Isı Tesiri Altında Kalan Bölge (ITAB)

Ana metalin kaynak dikişine hemen sınır olan bölgesidir. Bu bölge kaynak sırasında ergimemesine rağmen işlem sebebiyle ortaya çıkan ısıdan etkilenerek değişir. Bir başka değişle bu bölge kaynak nedeniyle adeta bir ısıl işleme tabi tutularak mekanik özellikleri değişir [32].



Şekil 3.3 Isı tesiri altında kalan bölge [32].

ITAB bölgesinde meydana gelen tüm metalürjik olaylar malzemenin katı halinde gerçekleşir. ITAB'da meydana gelen mikroyapı değişiklikleri oldukça kompleks olabilir. Bu durum alaşım bileşimine, ana metalin önceki işlem geçmişine ve kaynak işlemiyle ilişkili termal faktörlere bağlı olduğu gibi kaynağın tepe sıcaklığı, ısıtma ve soğuma hızından da oldukça etkilenir [33].



Şekil 3.4 Saf metalin ısı tesiri altında kalan bölgesi [13].

Çeliklerdeki allotropik dönüşümler, mekanik özelliklerin, özellikle mukavemetin optimize edilmesi için büyük bir avantaj olarak kullanılabilir. Bu malzemelerde ITAB'ın mikroyapısı, Fe – Fe₃C faz diyagramı kullanılarak yorumlanabilir. Ana metal, düşük kritik sıcaklığın (A1) üzerine ısıtıldığında ostenite dönüşmeye başlar

ve üst kritik sıcaklığın (A3) üzerinde tamamen östenitiktir. Bu iki sıcaklık arasında ısıtılan ITAB'ın dar bölgesi interkritik ITAB olarak bilinir. A3'ün üzerinde, ITAB tamamen östenitiktir ve tepe sıcaklığının arttırılması, bu bölgede östenit tane büyümesine neden olur. Çeliklerin ITAB'ında yüksek sıcaklıklarda östenit oluşumu, soğuduktan sonra çok çeşitli dönüşüm ürünleri ile sonuçlanır. Bunlar arasında ferrit, perlit (ferrit ve Fe_3C karışımı), beynit (hem üst hem de alt) ve martensit bulunur. Dönüşümün doğası ve ortaya çıkan ITAB mikroyapısı, hem ana metalin kimyasal bileşimine hem de malzemenin soğuma hızı tarafından kontrol edilir [30].

Kaynak sırasında ITAB'ın genişliği ısı girdisine ve ana metalin termal iletkenliğine göre değişir. Isı girdisi arttıkça ITAB genişlerken ana metalin termal iletkenliği düştükçe de ITAB büyür. Buradan hareketle daha düşük ısı girdisi oluşturan bir kaynak yöntemi ile birleştirilen malzemelerde ITAB dar iken daha yüksek ısı girdili yöntemlerde ITAB genişler. Ayrıca paslanmaz çelik gibi ısı iletim katsayı düşük olan malzemeler karbon çeliklerine nazaran daha geniş bir ITAB oluşturlar [32].

4.1 Çelik ve Yapı Çeliklerinin Tanımı

Çelik, demir ile genel olarak %2 – 2,1 oranında karbonun (C) meydana getirdiği bir alaşımdır. Alaşımdaki bulunan karbon miktarı çeliğin, karakteristik özelliklerinde ve malzemenin sınıflandırılmasında etkin olarak rol alır. Karbon çelikte temel alaşım elementi olsa da bileşiminde diğer alaşım elementleri de (Cr, Mo, V, W, vb.) kullanılabilir [34].

Yapı çelikleri terimi genellikle inşaat ve kimya mühendisliğinde büyük miktarlarda kullanılan ferrit-perlit mikroyapısına sahip ve ağırlıklı olarak C-Mn çeliklerinin oluşturduğu sınıfı tanımlamak için kullanılır. Çelikler, bazen birkaç inç kalınlığa kadar ve genellikle yaklaşık 500 N/mm²'ye varan akma mukavemeti değerleriyle plakalar ve profiller halinde üretilebilir. Bununla birlikte, yapı çeliklerinin, yaklaşık 700 N/mm²'ye kadar akma mukavemeti sağlamak için su verilmiş ve temperlenmiş düşük alaşımlı kaliteleri de bulunur. Bu çelikler binalar, köprüler, basınçlı kaplar, gemiler ve arazi araçları dahil olmak üzere çok çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır [35]. Diğer çeliklere göre fiyat, performans ve bulunabilirlik gibi avantajlarından ötürü çokça tercih edilen yapı çelikleri piyasada kullanılan çeliklerin hemen hemen %75-80'nini oluşturmaktadır [34]. Yapı çelikleri kaynaklanabilir ancak her çelik için kaynak malzemeleri doğru seçilmeli ve kaynak prosedürleri onaylanmış yöntemlere uygun olarak hazırlanmalıdır [36].

Yapı çelikleri, sıcak şekillendirilmiş (termomekanik haddelenmiş), soğuk şekillendirilmiş, normalize edilmiş, ince taneli, korozyon dayanımı yükseltilmiş, su verilmiş ve temperlenmiş gibi farklı alt gruplarda isimlendirilebilir [34].

4.2 Yapı Çeliklerinin Özellikleri

Yapı çeliklerinde kullanım alanlarından dolayı kolay işlenme, kaynak edilebilirlik, belli bir dayanım özelliği öncelikli olarak talep edilir. Bu özellikler çeliğin karbon

miktarına, mikroyapısına, üretim metoduna ve çeliğe uygulanan sıcak ya da soğuk işlemler sonucu ortaya çıkar. Bu çeliklerde gösterimlerinde belirtilen mukavemet değeri yerine getirilmesi gereken esas özelliktir. Bu bağlamda yapı çeliklerinin genel özellikleri; yeterli akma ve çekme mukavemeti, yeterli darbe tokluğu, kırılma tokluğu, kaynak edilebilirlik, şekil alabilme ve iyi bir işlenebilirliktir [34].

4.3 Yapı Çeliklerinin Sınıflandırılması

Yapı çelikleri, kimyasal bileşim, çekme özellikleri ve üretim yöntemine göre karbon çelikleri, yüksek mukavemetli düşük alaşımlı (HSLA) çelikler, ısıl işlem görmüş karbon ve yüksek mukavemetli düşük alaşımlı (HSLA) çelikler, ısıl işlem görmüş alaşımlı konstrüksiyon çelikleri olarak sınıflandırılabilir [36].

4.3.1 Karbon Çelikleri

Yapısında Fe ve C harici, %1,65'den düşük oradan Mn, %0,60' da az Si ve %0,60'dan az bakır ile belirli sınırlarda (çok düşük) fosfor ve kükürtün haricinde oldukça az Ni, Mo ve Cr gibi elementler içeren çeliklerdir. İçerdikleri karbona göre az karbonlu (0,1-0,25 %C), orta karbonlu (0,25-0,6 %C) ve yüksek karbonlu (0,6-0,9 %C) isimlendirilen çeliklerdir [34].

4.3.2. Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımlı Çelikler (HSLA)

Minimum akma mukavemeti 28 kg/mm²'den (40 ksi) büyük olan çeliklerdir [36]. Bu mukavemet artışını karbon oranının artırarak gerçekleştirmek yerine diğer alaşım elementleri ve ısıl işlem ile sağlayan çeliklerdir [34]. Sac veya levha biçimindeki HSLA çelikleri, yeterli şekillendirilebilirlik ve kaynaklanabilirlik sağlamak için düşük karbon içeriğine (% 0,05 ila -% 0,25 C) sahiptir ve % 2,0'ye kadar mangan bulundurabilirler. Çeşitli kombinasyonlarında az miktarlarda krom, nikel, molibden, bakır, nitrojen, vanadyum, niyobyum, titanyum ve zirkonyum kullanılır [37].

4.3.3. Isıl İşlem Görmüş Karbon ve Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımlı (HSLA) Çelikler

Hem karbon hem de HSLA çelikleri, 35 ile 52 kg/mm² aralığında akma mukavemeti sağlamak için ısıl işleme tabi tutulabilir. Bu durum malzemeye,

haddelenmiş HSLA çelikleri ile ısı ısıtma işlemi ile şekillendirilmiş alaşımlı yapı çelikleri arasında bir orta mukavemet seviyesi sağlar [36]. Çelikler normalizasyon, su verme ve temperleme gibi ısıtma işlemlere tabi tutulabilir [34].

4.3.4 Isıl İşlem Görmüş Alaşımlı Konstrüksiyon Çelikleri

Karbon çeliği sınırlarını aşan alaşım elementleri içeren ve yüksek mukavemet ve tokluğun bir kombinasyonunu elde etmek için ısıtma işlemi görmüş çelikler, ısıtma işlemi görmüş alaşımlı konstrüksiyon çelikleri olarak adlandırılır. 70 kg/mm² akma dayanımına sahip olan bu malzemeler genel yapısal kullanımda en güçlü çeliklerdir.

4.4. Yapı Çeliklerinin Standartlar ile Gösterimi

Bugün Almanya ve diğer Avrupa ülkeleri ortak standarta geçerek EN olarak adlandırılan Euro Norm'a (Avrupa Standardı) geçmişlerdir. Böylelikle önceden Alman DIN standartlarında yapı çeliklerinin adlandırılması sırasında Almanca çelik anlamına gelen "Stahl" kelimesinin ilk iki harfi olan St ve malzemenin çekme mukavemetinin (kg/mm² olarak) belirtildiği gösterim yerine yapı çelikleri EN 1025 göre isimlendirilmiştir [34].

4.4.1. AISI/SAE (Amerikan Standardı)

AISI, American Iron and Steel Institute (Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü) ve SAE, Society of Automotive Engineers (Otomotiv Mühendisleri Birliği) olarak isimlendirilir. Alaşımlı çelikler ve karbonlu çelikler, dört basamaklı bir AISE / SAE sayısal indeks sistemi ile belirli kalitelerle tanımlanabilir. Sistem, çeliklerin ve alaşımların kimyasal bileşimlerine dayanmaktadır. Bu standartta gösterim 4 (XXXX) basamaklı bir sayıdan oluşur. İlk iki basamak çeliğin ait olduğu grubu tanımlarken son iki basamak karbon oranını % olarak verir [38].

Tablo 4.1 Karbon çeliklerinin AISI/SAE gösterimi [38].

AISI/SAE Tanımı	Çelik	Kimyasal Bileşim
10XX	Karbon Çelikleri	Sade Karbon, Mn 1,00% maksimum.
11XX		Kükürt Katkılı, Talaşlı İmalat Çeliği
12XX		Kükürt ve Fosfor Katkılı Talaşlı İmalat Çeliği
15XX	Karbon Çelikleri	Sade Karbon, Mn 1,00-1,65%

4.4.2. Euro Norm (EN) Avrupa Standardı

Yapı çelikleri EN 10025 sayılı standarda göre birkaç farklı şekilde gösterilmektedir. Bunlar; alaşımsız yapı çelikleri, normalize edilmiş veya normalize edilirken haddelenmiş, termomekanik haddelenmiş, atmosferik korozyona dayanıklı ve su verilmiş temperlenmiş yapı çelikleri olarak sıralanabilir[34]. Örneğin S355J2 olarak gösterilen bir çelikte “S” çelik grubunu (Structural Steel – Yapı Çeliği), “355” MPa olarak minimum akma mukavemetini, “J2” ise çeliğin -20 °C’de minimum 27J darbe tokluğuna sahip olduğunu göstermektedir [40].

Tablo 4.2 Bazı yapı çeliklerinin mekanik özellikleri (EN 10025) [34].

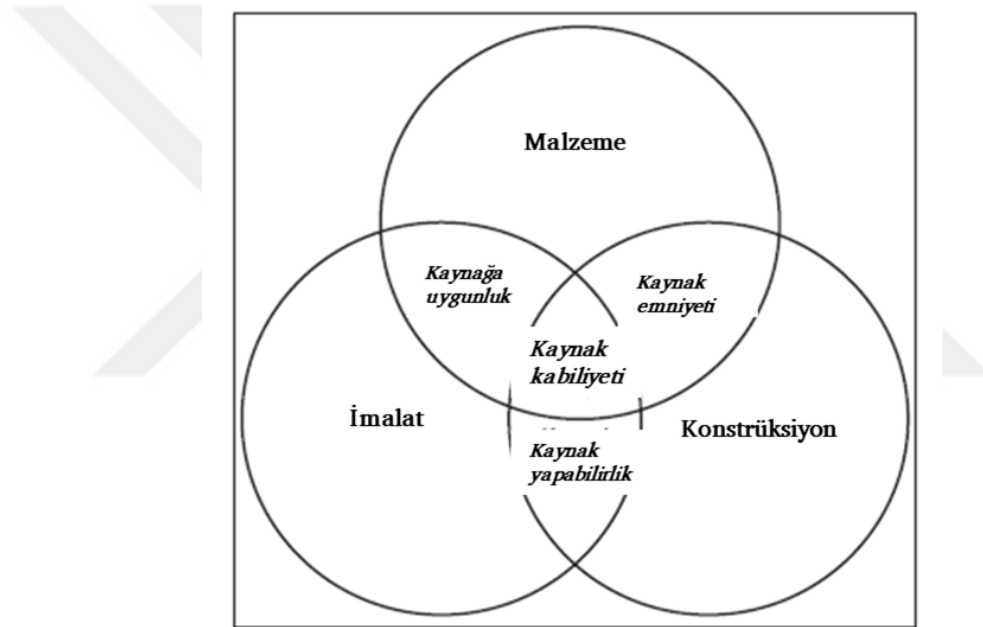
Kısa Ad	Malzeme No	DIN 17100 Kısa Adı	Akma Sınırı R_{eH} (MPa) En Az	Çekme Dayanımı R_m (MPa)	Kopma Uzaması A (%) En Az	Darbe Enerjisi (J)
S235JR	1.0037	St37-2	235	360-510	26	27

Tablo 4.2 Bazı yapı çeliklerinin mekanik özellikleri (EN 10025)(devamı) [34].

S2275J0	1.0143	St44-3U	275	430-580	22	27
S355K2	1.0595	St52-3N	355	510-680	22	40

4.5. Yapı Çeliklerinin Kaynağı

Yapı elemanlarının kaynağında amaç, yapının en düşük maliyetle ortaya çıkartılması, tam fonksiyon ile çalışabilmesi ve uzun ömürlü olarak hizmet vermesidir. Genel olarak malzemelerin kaynak kabiliyeti 3 temel faktöre bağlıdır. Bunlar; malzeme, imalat ve konstrüksiyon olarak isimlendirilebilir [41].



Şekil 4.1 Kaynak kabiliyetinin temel faktörler ve özelliklerle ilişkisi [41].

Kaynak diğer imalat yöntemleri ile kıyaslandığında ince malzemelere uygulanabilirliği, kompleks yapıdaki parçalarla çalışma imkanı sunması gibi avantajları sebebiyle tercih edilen bir yöntemdir. Bir kaynak işlemi, seçilen ekipman ve malzemeler ile önceden belirlenen bir imalat koşulunda, kolaylıkla gerçekleştirilebiliyorsa bu malzeme için kaynak edilebilir özelliğe sahiptir denilebilir [6].

Tablo 4.3 Kaynak kabiliyetini etkileyen faktörler [41].

Kontrüksiyon (Kaynak Emniyeti)	Konstrüktif Şekillendirme	Kuvvet Hatları Akışı, Dikişlerin Durumu, Parça Kalınlığı, Çentik Etkisi, Rijitlik Farklılıkları
	Gerilme Durumu	Gerilmelerin Tür ve Şiddeti, Gerilmelerin Eksen Sayısı, Zorlama Hızı, Sıcaklık, Korozyon
İmalat (Kaynak Yapılabilirlik)	Kaynağa Hazırlık	Kaynak Yöntemi, İlave Malzemenin Türü, Birleştirme Türü, Ağız Biçimi, Ön Tavlama, İklim Koşulları
	Kaynağın Uygulaması	Isı Girdisi, Isının Uygulanışı, Kaynak Sırası
	Kaynaktan Sonraki İşlemler	Isıl İşlem, Taşlama, Dekapaj, Temizleme
Malzeme (Kaynağa Uygunluk)	Kimyasal Bileşim	Sertleşme Eğilimi, Yaşlanma, Gevrek Kırılma, Sıcak Çatlama, Kaynak Metali Karışım Oranı
	Metallurjik Özellikler	Segregasyon, Kalıntılar, Tane Büyüklüğü, İç Yapı, Anizotropi
	Fiziksel Özellikler	Genleşme Özelliği, Isıl İletkenlik, Erime Sıcaklığı, Mukavemet, Tokluk

Yapı eliklerinin kaynağında doğru tasarım ve kaynak prosedürü ile yapılan birleştirmeler sonrasında bağlantının çalışması sırasında deformasyonlar nadiren meydana gelir [36].

Kaynak işleminde ısı girdisi, birim kaynak uzunluğu başına aktarılan enerjinin göreceli bir ölçüsüdür. Isı girişi, kaynak yöntem prosedürü (WPS) hazırlıkları sırasında dikkate alınması gereken önemli parametrelerden biridir. Yüksek ısı girdisi daha iyi bir nüfuziyet sağlarken aynı zamanda ısı girdisi ile birlikte ITAB'ın genişliği ve bu bölgede yer alan tanelerin boyutu da artmaktadır. Ayrıca ısı girdisi kaynaklı bağlantının sertleşerek hasarların meydana gelmesi noktasında ana faktörlerden biridir [42].

$$Q=K.I.V.60/S.1000 \quad (4.1)$$

Burada Q ısı girdisini, K kaynak yöntem katsayısını, I amper cinsinden akımı, V voltaj cinsinden gerilimi, S ise mm/dk olarak kaynak hızını vermektedir. Verilen bu formül ile hesaplanan ısı girdisi kaynak işlemi için önemli bir parametredir [43].

Kaynak sırasında meydana gelen bu ısı girdisi ile ITAB' da çeliğin dönüşümü ile bağlantının bu kısmında sertliği arttıracak ve deformasyona sebep olacak mikroyapı oluşumu söz konusu olabilir. Burada böyle dönüşümlerin gerçekleşmesinde kaynağın soğuma hızı büyük bir etkindir. Soğuma hızından hareketle kaynak öncesinde ITAB'da oluşabilecek fazların n görüsü çeliğe ait Zaman-Sıcaklık-Dönüşüm (ZSD) grafiklerin çıkartılabilir. Böylece ITAB'da sertleşmeler sonrası çatlak vb. kusurlar ile deformasyon oluşumu önceden tahmin edilerek buna karşı önlemler alınabilir [41].



Şekil 4.2 Kaynakta ZSD diyagramlarının kullanım amacı [41].

Yapı çeliklerinde iyi bir kaynaklanabilirlik elde edebilmek adına katkı çeliğe maddesi eklenmesi sınırlandırılmıştır. Dr. Winterton çeliğin sertleşmesini incelerken içerdiği katkı maddelerinin bu durumu etkilediğini bulmuştur. ITAB’ da oluşan sert fazların çatlaklar ve deformasyona sebep vermesinden ötürü kaynaklanabilirliğe doğrudan etki etmesi sebebiyle Dr. Winterton yapı çeliklerinin kimyasal kompozisyonu ile sertleşebilirlik arasında bağ oluşturan bir formül ortaya koymuştur. Bu formül karbon eşdeğer ($C_{eş}$) olarak adlandırılır ve aşağıdaki şekilde gösterilir.

$$C_{eş} = C + Mn/6 + (Cr+Mo+V)/5 + (Cu+Ni)/15 \quad (4.2)$$

İyi bir kaynak kabiliyeti için karbon eşdeğeri 0,45’in altında olması gerekirken bu değer malzemede 0,45-0,60 arasında ise çeliğin orta derece kaynaklanabilir kabiliyetine sahip olduğu ve uygun bir ön tav işlemi ile kaynaklanmasının doğru olacağı belirtilmiştir [44].

Ön tav işlemi ile çeliğin daha yavaş soğuyarak kaynak esnasında oluşan ısı girdisi ile ITAB’da martenzit ya da farklı sert fazların oluşmasını engellemek amaçlanmaktadır. Bu sert fazların varlığı kaynaklı bağlantıyı çalışma sırasında deformasyona götürebilecek bir durumdur. Bu sebeple çeliğin kimyasal kompozisyonuna göre karbon eş değeri hesaplanarak buradan hareketle ön tav

işleminin gerekip gerekmediğine bakılarak kaynak işlemi buna göre kurgulanmalıdır [41].

Tablo 4.4 Karbon eşdeğerine göre ön tav sıcaklık önerileri [41].

Karbon Eşdeğeri (%)	Ön Tavlama Sıcaklığı (°C)
$0,45 < C_{eş}$	Normal atmosferik koşullarda ön tavlamaya gerek yok
$0,45 \leq C_{eş} < 0,60$	100 - 200
$C_{eş} > 0,60$	200 - 300

Malzeme kalınlığı arttıkça parçaların soğuma hızı da arttığı için ön tav işlemi daha düşük karbon eşdeğerine sahip kalın parçalar içinde önerilebilir. Özetle yapı çeliklerinin kaynağında ısı girdisine dikkat etmek, ZSD grafiğinden yararlanarak çeliğin gerekirse kontrollü soğumasını sağlamak ve karbon eşdeğeri hesabı ile ön tav sıcaklığını belirleyerek imalat sırasında buna dikkat etmek gerekmektedir [41].

5.1 Güç Kaynağının Tanımı

Kaynak makinelerinin çalışması Joule etkisine dayanmaktadır; yani makineler akım sirkülasyonu tarafından yayılan ısıyı iki metal parçayı birleştirmek için kullanırlar. Bu, çok yüksek bir akım değerinin geçişini gerektirir ve bu nedenle, kaynak makinelerinde, uygulanan gerilimi çok düşük değerlere indirmek için genellikle bir düşürme transformatörü kullanır [45]. Ark kaynağında, kaynak elektrotu ile iş parçası arasında bir ark oluşturarak bunu sürdürebilecek şekilde düşük voltaj ve yüksek akımda elektrik gücü sağlayabilen bir güç kaynağı gereksinimi vardır [46]. Buradan çıkışla güç kaynaklarının temel görevi, sisteme uygun elektrik gücünü sağlamaktır. Ayrıca, güç kaynağının performansı kaynak işlemi için hayati öneme sahiptir; arkın tutuşması, erimiş elektrod'un kaynak havuzuna transferinin kararlı olması ve kaynak sırasında oluşacak sıçrama miktarı makinenin performansı ile ilişkilidir. Bu amaçla, güç kaynağının statik ve dinamik özelliklerinin belirli kaynak işlemi için optimize edilmesi önemli bir durumdur [18]. Şebekeden çekilen voltaj, doğrudan ark kaynağında kullanılamayacak kadar yüksektir. Bu nedenle, ark kaynağı için gerekli olan gerekli açık devre voltajını elde etmek için güç kaynakları kullanılır. Kaynak ark voltajı genellikle 20–80 V aralığındadır. Aynı zamanda aynı güç kaynağı, tipik olarak 50 ile 1500 A arasında değişen yüksek akım sağlayabilmelidir. Bu güç kaynakları, alternatif akım (AC) veya doğru akım DC çıkışlı olabilir. Güç kaynakları, tipik olarak sabit akım (CC) veya sabit voltaj (CV) tipi volt-ampere özelliklerine sahiptir. Ayrıca güç kaynakları bir darbeli akım modunda sahip olabilir [46].

5.2 Güç Kaynaklarının Karakteristiği

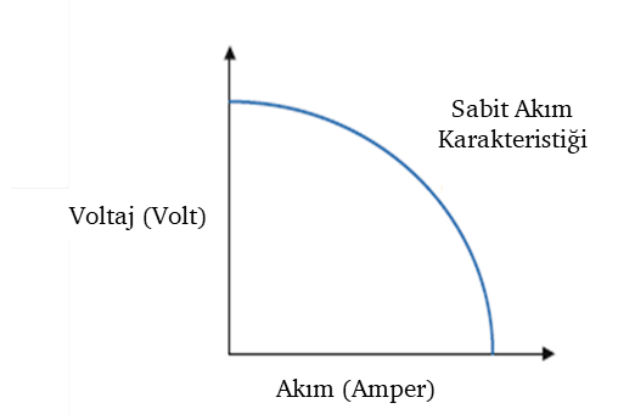
Güç kaynaklarının sınıflandırılması, statik volt-amper özelliklerine dayanmaktadır. Sabit voltaj (CV) kaynak makineler sabit voltaj çıkışına sahipken, sabit akım (CC) kaynak makineleri ise sabit akım çıkışına sahiptir [46].

5.2.1 Statik Karakter

Bir kaynak güç kaynağının statik karakteristiği, güç kaynağına saf bir direnç yükü bağlandığında akımla ilgili voltajdaki değişimleri söyler. Bu özellikler aynı zamanda sabit karakterler olarak da adlandırılırlar [47].

5.2.1.1 Sabit Akım Karakteri (CC)

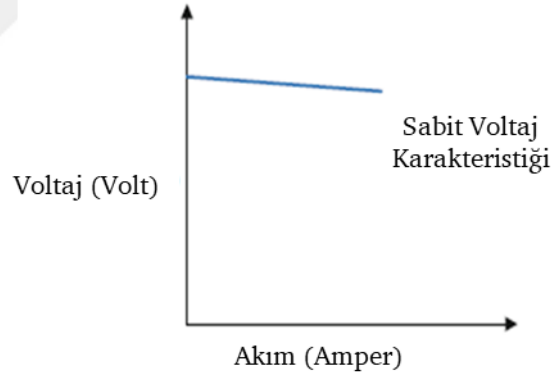
Sabit akımlı güç kaynakları, ark uzunluğundaki ve ark voltajındaki değişiklikler sırasında kaynak akımını yaklaşık olarak sabit tutacak şekilde tasarlanmıştır. Voltaj – Amper eğrisi, düşen karakterli olarakda adlandırılır çünkü bu eğride negatif bir eğim vardır. Kaynakta tükenen elektrotlar kullanıldığında, elektrod erime hızı, iş parçasına takılmadan sabit kalır. Sabit akımlı güç kaynakları, kaynak akımı sınırlı olduğundan ve sabit tutulduğundan, daha kalın tükenen elektrotlar ve tungsten elektrod gibi tüketilemeyen elektrotlar için uygundur. Örtülü elektrod, TIG kaynağında gibi yöntemlerde yaygın olarak kullanılırlar [47].



Şekil 5.1 Sabit akım (CC) karakteri [47].

5.2.1.2 Sabit Voltaj Karakteri (CV)

Sabit voltajlı güç kaynağında, çıkış voltajı daha sonra kaynak için gerekli ark voltajını oluşturacak şekilde ayarlanır. Güç kaynağı, elektrodu önceden ayarlanmış ark voltajı sınırını koruyacak bir oranda eritmek için gerekli olan kaynak akımını sağlar. Bu tür güç kaynakları yalnızca MIG/MAG kaynağı için kullanılır. Tel besleme hızı kaynak akımıyla doğru orantılı olduğundan, tel besleyici sürücüsünün tel sürme hızı kaynak akım miktarını kontrol etmek için önemli bir parametre haline gelir. Güç kaynağı sabit bir elektrotlu tel besleme sistemi ile birlikte kullanıldığında bu durum kendi kendini düzenleyen ark uzunluğuna sahip bir sistemle sonuçlanır. Bu güç kaynağı, kaynak akımını artırarak veya azaltarak sabit bir ark voltajını korur, çünkü ark uzunluğu bazen operatör hataları, plaka düzensizlikleri vb. gibi harici veya dahili dalgalanmalara bağlı olarak değişebilir, dolayısıyla bu güç kaynaklarında voltaj-amper karakteristik eğrisi yatay olarak adlandırılır. Ancak pratik olarak, güç kaynağının iç direnci ve endüktansı nedeniyle hafif bir negatif eğime sahiptir [47].

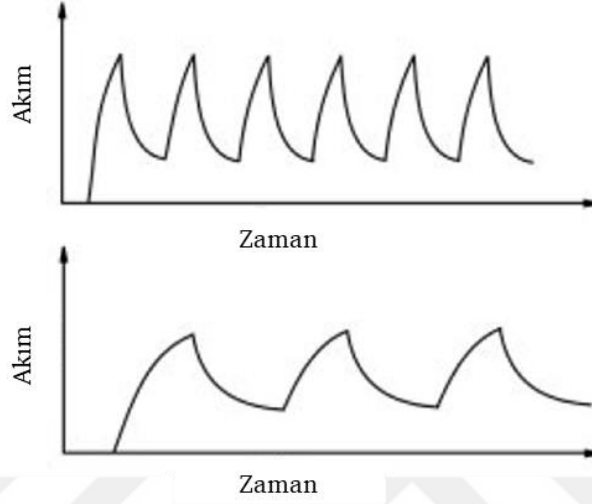


Şekil 5.2 Sabit voltaj (CV) karakteri [47].

5.2.2 Dinamik Karakter

Arktaki nispeten yavaş değişikliklerin, çalışma esnasında güç ünitesinin statik karakteristiği tarafından takip ettiği varsayılabilir. Bununla birlikte, daha hızlı değişiklikler olması durumunda, güç ünitesinin dinamik karakteri (esas olarak endüktansı), akımın ne kadar hızlı değişeceğini belirler. Bu durum, özellikle kısa devreli damla transferiyle kaynak yaparken önemlidir. Kısa ark kaynağı için güç

üniteleri genellikle çıkışlarında bir indüktör içerir. İndüktörün hareketi, mekanik bir sistemdeki bir volanın etkisine benzetilebilir. Voltaj aniden değişirse, erimiş metal damlacığı arkı kısa devre yaptığında olduğu gibi, akım daha yavaş yükselir. Kısa devre sırasında çok yüksek bir akım tepe noktası olmaması önemlidir, çünkü bu olay sıçramaya neden olabilecek yüksek elektromanyetik kuvvetler ortaya çıkarır [18].



Şekil 5.3 Kısa arkta kaynak akımı, düşük indüktans (üst), yüksek indüktans (alt) [18].

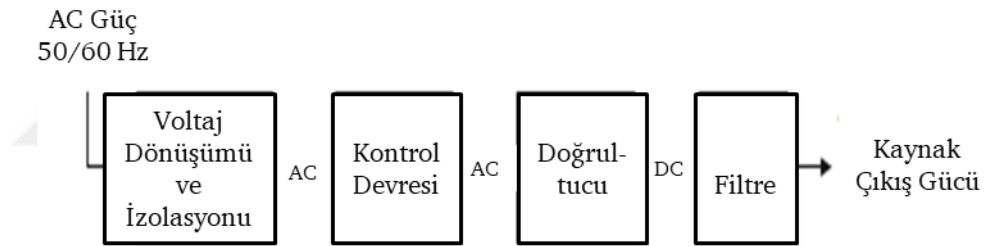
5.3 MİG/MAG Yönteminde Kullanılan Güç Kaynakları

Çoğu MİG/MAG kaynağı için doğru akım (DC), sabit voltaj (CV) güç kaynakları kullanılır. Bu durum, sabit akım (CC) güç kaynaklarını kullanan TİG ve örtülü elektrod kaynaklarından farklılık gösterir. Bir MİG/MAG güç kaynağı, kaynak sırasında ark için nispeten sabit voltaj sağlar. Bu voltaj ark uzunluğunu belirler. Tel besleme hızında ani bir değişiklik olduğunda veya ark uzunluğunda anlık bir değişiklik olduğunda, güç kaynağı ark uzunluğu değişikliğine bağlı olarak akımı (ve dolayısıyla tel yanma oranını) aniden artırır veya azaltır [48]. Şu anda, MİG/MAG yöntemi için üç ana güç kaynağı türü vardır; transformatör-redresör (geleneksel) güç kaynakları, tristör-transistör kontrollü güç kaynakları ve invertör (yeni nesil) güç kaynakları [49]. Günümüzde invertör kaynak makineleri, yüksek

verimlilikleri, yüksek performansları ve daha düşük hacimleri nedeniyle geleneksel kaynak makinelerine tercih edilmektedir [45].

5.3.1 Transformatör-Redresör (Geleneksel) Güç Kaynakları

Geleneksel bir redresör güç kaynağı doğru akım (DC) üretir ve genellikle ikincil tarafta bir doğrultucu bulunan büyük bir 3 fazlı transformatörden oluşur. MIG kaynağı ile kullanım için yatay karakteristiğe sahip güç kaynakları, genellikle transformatör üzerindeki bir kademe değiştirici aracılığıyla voltaj kontrolünü düzenler [18]. Bu güç kaynaklarında ilk olarak transformatör şebekeden gelen gücü kaynak için uygun olması adına düşürür. Ardından bir redresör (doğrultucu) gelen alternatif akımı (AC) doğru akıma (DC) çevirir. Doğru akım bir filtreden geçirilerek kaynak için daha düz bir hale getirilir, burada filtre için bir bobin kullanılabilir. Daha düz hale gelen akım kaynak sırasında kararlı bir ark oluşumu için önemlidir [50].



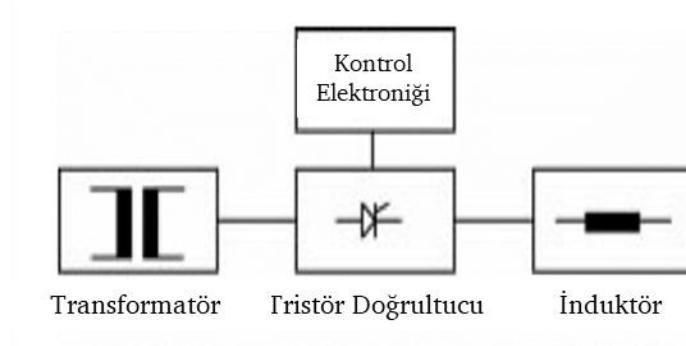
Şekil 5.4 Redresör güç kaynağının şematik gösterimi [47].

Bu güç kaynakları MIG/MAG yönteminin yanı sıra TIG ve örtülü elektrod gibi kaynak yöntemlerinde de kullanılmaktadır [47].

5.3.2 Tristör-Transistör Kontrollü Güç Kaynakları

Bu güç kaynakları transformatöre seri olarak bağlanan tristör veya transistörlü köprülerden meydana gelmektedir. Bahsi geçen sistemde transformatörden gelen alternatif akım (AC) bir tristör ya da transistör tarafından doğru akıma (DC) çevrilir [51]. Bu yapıda tristör ve transistörler kaynak voltajının düzgün bir şekilde düzenlenmesini ve ayrıca şebeke voltajı değiştiğinde koşulların dengelenmesini sağlarlar [49]. Tristör-transistör kontrollü güç kaynakları transformatör-redresör

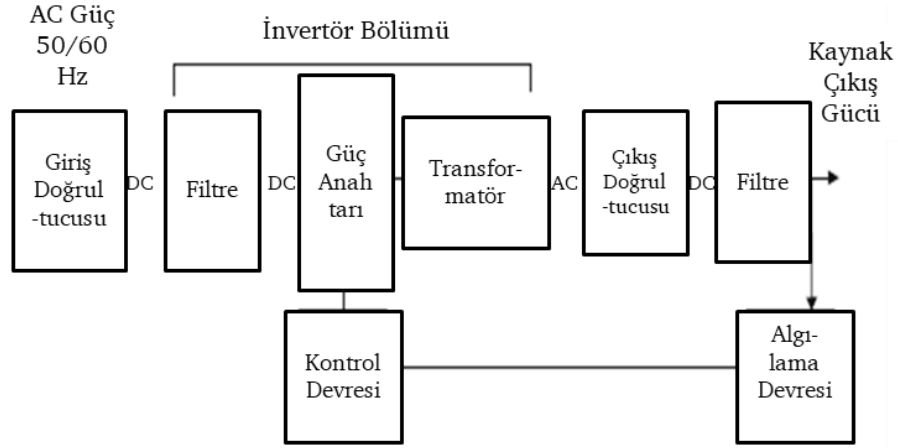
güç kaynaklarından farklı olarak daha küçük olma, yüksek verimle çalışma, kademesiz (sürekli) parametre ayarı sağlama ve elektronik olarak hızlı ayar ve kumanda edilme özelliklerine sahiptir [51].



Şekil 5.5 Tristör kontrollü güç kaynağının şematik gösterimi [18].

5.3.3 İnvörtör (Yeni Nesil) Güç Kaynakları

Güvenilir ve nispeten düşük maliyetli yalıtılmış kapılı iki kutuplu transistörlerin (IGBT) mevcutiyetiyle ark kaynağında yüksek frekansta anahtarlama yapan bir güç kaynağı oluşturmak mümkün hale geldi [46]. İnvörtör kaynak makinelerinde 50 Hz olan şebeke voltajı diyot ile doğru akıma çevrilir. Ardından IGBT ile yüksek frekanslar olan 5-100 kHz aralığında anahtarlanır ve tekrar alternatif akıma (AC) dönüştürülür. Artan frekans, transformator ve indüktörün dönüş sayısını ve enine kesit çekirdek alanı boyutunu azaltmayı mümkün kılar. Böylelikle daha küçük bir transformatorle çalışma olasılığı doğarak güç kaynağının hafiflemesi sağlanır [18]. İnverter tabanlı bir makinedeki IGBT'ler bir mikro denetleyici tarafından kontrol edilir, böylece kaynak gücünün elektriksel özellikleri gerçek zamanlı olarak yazılımla değiştirilebilir. Bu kontrol yazılımı sayesinde kaynakta darbeleri ark özelliği kazandırılabilirken kaynak döngüsünde akım yoğunluğu da ayarlanabilir [46].



Şekil 5.6 İnvertör güç kaynağının şematik gösterimi [47].

İnvertör teknolojisi, güç kaynağındaki ayarların aralığını genişletti, kaynağı robot uygulamaları için uygun bir hale getirdi ve dijitalleşme ile geribildirim milisaniyeden nanosaniyeye geçişini ve kaynak işleminin akıllı kontrolünü sağladı. İnverter, modern güç kaynağında önemli bir gelişmedir çünkü dijital geri besleme kontrolüne hızlı bir şekilde yanıt verir ve ark kontrolünün özelliklerini önemli ölçüde yükseltmiştir [52]. İnvertör güç kaynaklarının olumlu katkılarını sıralarken; darbeli akım ile kaynağı mümkün kılması, multi-proses çalışarak tek bir makine ile birden çok kaynak yönteminin uygulanmasına olanak sağlaması, küçülen birleşenler sayesinde ağırlık azalması ve kolay taşınabilir olması, güç verimi ile enerji tasarrufu ortaya koyması ve hızlı cevap vermesi sonucu mükemmel bir ark karakteristiği sunmasından bahsedilebilir. Olumsuz taraflarında ise nispeten karmaşık kullanımı ve tamiri için bilgi ihtiyacı sıralanabilir [50].

6.1. Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada sırasında, yapı, makine, ulaşım ve farklı birçok alanda kullanılan S355J2+N kalite yapı çeliği tercih edilmiştir. Deneysel çalışmalar için malzeme seçiminde dikkate alınan ilk husus kaynaklı imalatla genel olarak kabul görmüş ve imalat sahasının tümüne yayılacak şekilde tercih edilen bir malzeme olması noktasındadır. Bu kapsamda seçilen malzeme EN ISO 15614-1 standartına uygun olarak 150 mm genişlik 350 mm uzunluk olacak şekilde kesilerek hazırlanmıştır. Malzemeler iki farklı kalınlıkta 6 mm ve 11 mm'lik levhalar şeklinde kaynak işlemine alınmıştır [53]. Çalışmalarda kullanılan malzemenin kimyasal bileşimi Tablo 6.1'de verilmiştir.

Tablo 6.1 S355J2+N kalite malzemenin kimyasal bileşimi

Element	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cu	Cr	Mo	Al	Fe
%Ağırlık	0,18	0,23	1,53	0,016	0,007	0,01	0,03	0,02	0,002	0,038	Kalan

Deney sırasında kullanılan S355J2+N çeliğinin adlandırılmasında kullanılan S harfi yapı çeliği olduğunu, J harfi 27j darbe dayanımı sağladığını, 2 rakamı ise 27j değerini eksi 20 °C'de verdiğini belirtmektedir [54]. Bu malzemeye ilgili diğer özellikler Tablo 6.2 yer almaktadır.

Tablo 6.2 S355J2+N kalite malzemenin mekanik özellikleri

Kalınlık (mm)	Akma Dayanımı (N / mm ²)	Çekme Dayanımı (N / mm ²)	Uzama A5 min(%)	Darbe dayanımı Kalınlık> 10 < 150mm.
3<kalınlık<100	355-550	490-630	max 22	27 Joule -20°C'de

Kaynak işlemi öncesi deney parçaları depolama sırasında yüzeylerinde oluşan pas tabakasının kaldırılması için tel fırça ile yüzey temizleme işlemine tabi tutularak, kaynak uygulaması için hazırlanmıştır.

6.2. Kaynak Uygulaması

Deneysel çalışmalarda kullanılacak malzemelerin hazırlık aşamasının tamamlanmasının ardından kaynaklı imalat için kaynak makinesi üretimi gerçekleştiren ve Sakarya ilinde konumlu Kolarc Makine İmalat Sanayi ve Ticaret A.Ş.'den destek alınarak kaynak işlemleri bu fabrikada yapılmıştır. Çalışmalar sırasında aynı malzemelerin invertör teknolojisine sahip yeni nesil kaynak makineleri ve transformatör-redröser teknolojiye geleneksel kaynak makineleri ile gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Tüm birleştirme işlemleri aynı kaynakçı tarafından yapılmıştır. Çalışmalar ilk olarak invertör teknolojiye yeni nesil kaynak makineleri ile gerçekleştirilmiştir. Daha yüksek nüfuziyet vadeden bu makine ile tam nüfuziyetin elde edildiğinde ısı girdisini doğrudan etkileyen kaynak parametrelerinden olan amper ve voltaj değerleri makinenin ekranında okunmasının yanı sıra ampermetre ve voltmetre aracılığıyla da ölçülerek sağlama yapılmış ve sonrasında geleneksel kaynak makinesi ile yapılacak çalışmalar içinde referans değer olarak alınmıştır. Tüm kaynak işlemlerinde koruyucu gaz olarak EN 14175-1'e göre M21 olarak adlandırılan %82 Ar - %18 CO₂ karışım gazı kullanılmıştır [55]. Endüstride tercih sebebi olan bu gazın kullanım nedenlerinden başında içerisindeki yer alan yüksek Ar oranı sebebiyle geleneksel kaynak makineleriyle yapılacak birleştirmeleri sprey ark ile gerçekleştirmeyi amaçlamaktır. Yine kaynak sarf malzemesi olarak Gedik Kaynak üretimi SG2 kalite masif tel elektrod tercih edilmiştir. Bu elektrota ait kimyasal bileşim Tablo 6.3'de verilmiştir.

Tablo 6.3 Gedik SG2 masif tel kimyasal bileşimi

Element	C	Si	Mn	Fe
%Ağırlık	0,08	0,85	1,45	Kalan

Çalışmalar sırasında hem geleneksel hem de yeni nesil kaynak makineleri ile yapılan köşe birleştirmelerinde kullanılan kaynak parametrelerini gösteren kaynak prosedürleri Tablo 6.4’de verilmiştir.

Tablo 6.4 Yeni nesil (invertör) ve geleneksel MİG/MAG kaynak makinesi ile köşe (FW) kaynağı

	Yeni Nesil MİG/MAG Kaynak Makinesi ile Köşe (FW) Kaynağı			Geleneksel MİG/MAG Kaynak Makinesi ile Köşe (FW) Kaynağı		
Malzeme Detayı	Ürün Tipi	Standart	Tipi	Ürün Tipi	Standart	Tipi
	Levha	EN 10025-4	S355J2+N	Levha	EN 10025-4	S355J2+N
Malzeme Boyutları	Kalınlık	Uzunluk	Genişlik	Kalınlık	Uzunluk	Genişlik
	11 mm	350 mm	150 mm	11 mm	350 mm	150 mm
Birleştirme Detayı	Birleştirme Tasarımı	Altlık	Kök Açıklığı	Birleştirme Tasarımı	Altlık	Kök Açıklığı
	Köşe (FW)	Yok	Yok	Köşe (FW)	Yok	Yok
Kaynak İşlemi	Kaynak Yöntemi	Tip		Kaynak Yöntemi	Tip	
	MAG (135)	Yarı Otomatik		MAG (135)	Yarı Otomatik	
Dolgu Metali	Standart	Tipi	Tel Çapı	Standart	Tipi	Tel Çapı
	EN ISO 14341-A	G3Si1 (SG2)	1,2 mm	EN ISO 14341-A	G3Si1 (SG2)	1,2 mm
Kaynak Pozisyonu ve Kutuplama	Pozisyon	Kutuplama		Pozisyon	Kutuplama	
	PB	DC (+)		PB	DC (+)	
Koruyucu Gaz	Gaz Karışımı	Karışım Oranı	Gaz Debisi	Gaz Karışımı	Karışım Oranı	Gaz Debisi
	ISO 14175 - M21	%82 Ar - %18 CO ₂	12 lt/dk	ISO 14175 - M21	%82 Ar - %18 CO ₂	12 lt/dk

Tablo 6.4 Yeni nesil (invertör) ve geleneksel MİG/MAG kaynak makinesi ile köşe (FW) kaynağı (devamı)

Kaynak Parametreleri	Akım	Gerilim	Kaynak Hızı	Amper	Voltaj	Kaynak Hızı
	255 A	26,3 V	287,6 mm/dk	254,4 A	27,2 V	291,67 mm/dk
Isı Girdisi	Isı Girdisi (kJ/mm)	Süre		Isı Girdisi (kJ/mm)	Süre	
	1,26	73 sn		1.28	72 sn	

Kaynak işlemi ilk olarak 11 mm kalınlığa sahip olan malzemenin PB pozisyonundaki köşe kaynağı ile başlamıştır. Kaynak işlemi sırasında Kolarc marka M 500W Pulse Rapid invertör (yeni nesil) kaynak makinesi kullanılmıştır. İşleme başlamadan önce gaz debisi flow metre ile ölçülmüş ve 12 lt/dk olarak ayarlanmıştır.

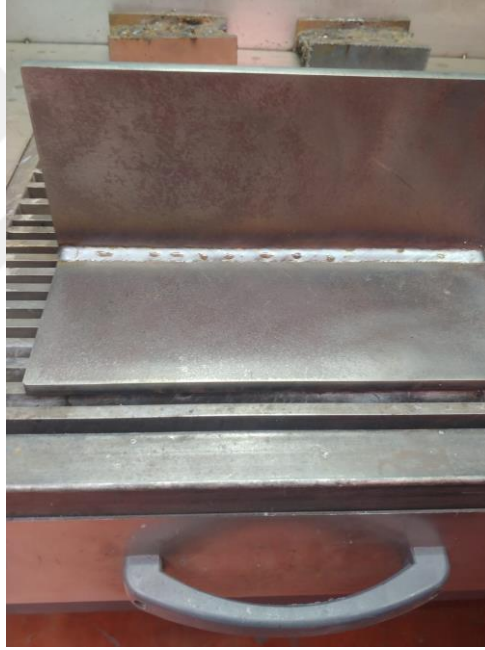


Şekil 6.1 Kolarc M 500W Pulse Rapid invertör (yeni nesil) kaynak makinesi

Gerçekleşen kaynak işlemi hakkındaki tüm detaylar Tablo 6.4' de paylaşılmıştır. Kaynak işlemi sırasında ısı girdisi hesapları Denklem 4.1'de verilen formül

kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Formülde yer alan K sabiti MIG/MAG metodu için 0,9 olarak alınmıştır [3].

Kaynak işlemi sırasında invertör kaynak makinesinin özelliklerinden yararlanılarak daha derin nüfuziyet gerçekleştirmek adına makine üreticisi olan firma tarafından xDeep olarak adlandırılmış bir program kullanılmıştır. Bu programda modifiye edilmiş, ısısı düşürülmüş, yönü sabit bir darbeli akım kullanılarak özellikle köşe birleştirmelerde derin nüfuziyet elde edilmesi amaçlanmıştır [56]. Ayrıca yine invertör (yeni nesil) kaynak makinesinin getirmiş olduğu bir özellik olan krater dolgu fonksiyonunda kullanılarak kaynak bitişinde oluşabilecek krater boşluğunun önüne geçilmesi hedeflenmiştir. Şekil 6.2' de birleştirmeye ait bir resim gösterilmektedir.



Şekil 6.2 İnvörtör (yeni nesil) kaynak makinesi ile yapılan köşe kaynağı

Geleneksel kaynak makinesi ile yapılan köşe birleştirme için invertör kaynak makinesi ile gerçekleştirilen kaynakta kullanılan amper ve voltaj değeri yakalanarak benzer bir ısı girdisi oluşacak şekilde kaynak işlemi tamamlanmıştır. Geleneksel kaynak makinesi olarak Gedik-Fronius üretimi Vario Star 404 transformatör-redresör tip bir güç kaynağına sahip cihaz kullanılmıştır.



Şekil 6.3 Gedik-Fronius Vario Star 404 geleneksel kaynak makinesi

Bu makineler kaynak imalatında kademeli şalterli olarak bilinen ve tel hızı ile akım ayarı, transformatörü kontrol eden bir şalter yardımıyla da gerilim ayarı yapan kaynak makineleridir. Amper ve voltaj bilgileri makine üzerinden okunamadığı için kaynak işlemi sırasında ampermetre ve voltmetre ile ölçülerek kayda alınmıştır.



Şekil 6.4 Geleneksel kaynak makinesi ile yapılan köşe kaynağında ölçülen voltaj ve akım değerleri

Kaynak işlemi ardından meydana gelen dikişin görüntüsü Şekil 6.5'den incelenebilir. Kaynak sırasında ısı girdisini hesaplamak adına süre tutulmuş ve formül 4.1'den ısı girdisi hesaplanmıştır.



Şekil 6.5 Geleneksel kaynak makinesi ile yapılan köşe kaynağı görüntüsü

Kaynak işlemi sonrası parçalarda herhangi bir temizlik işlemi gerçekleştirilmemiştir. Böylelikle gözle muayene öncesi parçaların kaynak sonrası durumları muhafaza edilmeye çalışılmıştır.

Yeni nesil (invertör) ve geleneksel kaynak makineleri ile yapılan alın altına (BW) birleştirmelerine ait tüm bilgiler tablo 6.5’de yer alan kaynak prosedüründe detaylı bir şekilde paylaşılmıştır.

Tablo 6.5 Yeni nesil (invertör) ve geleneksel MİG/MAG kaynak makinesi ile alın (BW) kaynağı

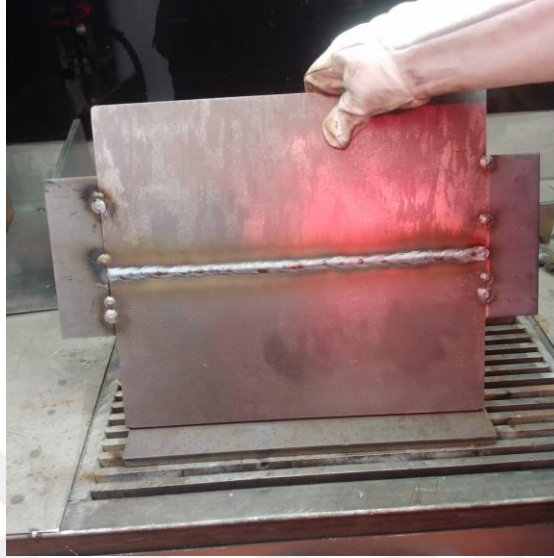
	Yeni Nesil MİG/MAG Kaynak Makinesi ile Alın Altına (BW) Kaynağı			Geleneksel MİG/MAG Kaynak Makinesi ile Alın Altına (BW) Kaynağı		
	Ürün Tipi	Standart	Tipi	Ürün Tipi	Standart	Tipi
Malzeme Detayı	Levha	EN 10025-4	S355J2+N	Levha	EN 10025-4	S355J2+N
	Kalınlık	Uzunluk	Genişlik	Kalınlık	Uzunluk	Genişlik
Malzeme Boyutları	6 mm	350 mm	150 mm	6 mm	350 mm	150 mm

Tablo 6.5 Yeni nesil (invertör) ve geleneksel MİG/MAG kaynak makinesi ile alın (BW) kaynağı (devamı)

Birleştirme Detayı	Birleştirme Tasarımı	Altlık	Kök Açıklığı	Birleştirme Tasarımı	Altlık	Kök Açıklığı
	Alın Alına (BW)	Metal	2 mm	Alın Alına (BW)	Metal	2 mm
Kaynak İşlemi	Kaynak Yöntemi	Tip		Kaynak Yöntemi	Tip	
	MAG (135)	Yarı Otomatik		MAG (135)	Yarı Otomatik	
Dolgu Metali	Standart	Tipi	Tel Çapı	Standart	Tipi	Tel Çapı
	EN ISO 14341-A	G3Si1 (SG2)	1,2 mm	EN ISO 14341-A	G42 3CM G3Si1 (SG2)	1,2 mm
Kaynak Pozisyonu ve Kutuplama	Pozisyon	Kutuplama		Pozisyon	Kutuplama	
	PA	DC (+)		PA	DC (+)	
Koruyucu Gaz	Gaz Karışımı	Karışım Oranı	Gaz Debisi	Gaz Karışımı	Karışım Oranı	Gaz Debisi
	ISO 14175 - M21	%82 Ar - %18 CO ₂	12 lt/dk	ISO 14175 - M21	%82 Ar - %18 CO ₂	12 lt/dk
Kaynak Parametreleri	Akım	Gerilim	Kaynak Hızı	Akım	Gerilim	Kaynak Hızı
	210 A	24,2 V	344,16 mm/dk	213,1	26,3 V	375 mm/dk
Isı Girdisi	Isı Girdisi (kJ/mm)	Süre		Isı Girdisi (kJ/mm)	Süre	
	0,800	59 sn		0,807	56 sn	

İnvertör (yeni nesil) kaynak makinesi ile gerçekleştirilen alın alına birleştirmede darbeli akım kullanılmıştır. Parçalar arası 2 mm'lik kök aralığı bırakılarak ve metal altlık kullanımı ile kaynak ağzı açılmaksızın tek pasoda birleştirme

gerçekleştirilmiştir. Kaynak işlemi sırasında kök aralığının kapanmaması için iki parçanın kenarlarına ufak bir çelik parçası puntolanmış ve levhalar sabitlenmiştir. Kaynakçı tarafından oluk kaynağı pozisyonunda iterek kaynak tekniği ile parçalar birleştirilmiştir. Birleştirilen parçalar şekil 6.6’da görülmektedir.



Şekil 6.6 İnvertör (yeni nesil) kaynak makinesi ile yapılan alın kaynağı

Geleneksel kaynak makinesi ile gerçekleştirilen aln alına birleştirme içinse kaynak akımı ve gerilimi ölçülerek invertör kaynak makinesi ile uygulanan kaynak değerleri yakalanmaya çalışılmıştır.



Şekil 6.7 Geleneksel kaynak makinesi ile yapılan aln kaynağında ölçülen akım ve voltaj değerleri

Tablo 6.5’ de detayları verilen kaynak işlemi ile geleneksel kaynak makinesi kullanılarak metallerin alın altına birleştirilmesi gerçekleştirilmiştir. İşlemlerde benzer parametreler ile benzer ısı girdisi yakalanarak aynı kaynak koşullarda kaynak yapılmış böylelikle tek değişkenin güç kaynaklarının teknolojileri olması sağlanmıştır. Şekil 6.8’ de geleneksel kaynak makinesi ile yapılan alın birleştirmesi görülmektedir.



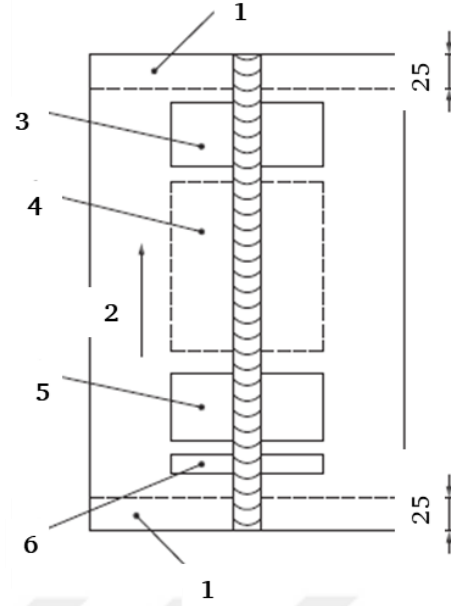
Şekil 6.8 Geleneksel kaynak makinesi ile yapılan alın kaynağı görüntüsü

6.3. Uygulanan Testler

6.3.1 Test Numunelerinin Hazırlanması

Deneyisel çalışmalarda olduğu gibi uygulanan testlerde de tüm hazırlıklar EN ISO 15614-1 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Buradan hareketle 6mm’lik parçalara uygulanan alın altına kaynak işlemleri sonucu elde edilen test parçalarının her birinden; 2 adet çekme numunesi, 2 adet yüz eğme, 2 adet kök eğme olmak üzere toplamda 4 adet eğme numunesi hazırlanmıştır. Ayrıca 3 adet kaynak metalinden, 3 adet ITAB’dan olmak üzere toplamda 6 adet çentik darbe numunesi, 1 adet (38 nokta) sertlik numunesi ve 1 adet makro inceleme numunesi çıkartılarak testler bu numuneler üzerinden gerçekleştirilmiştir.

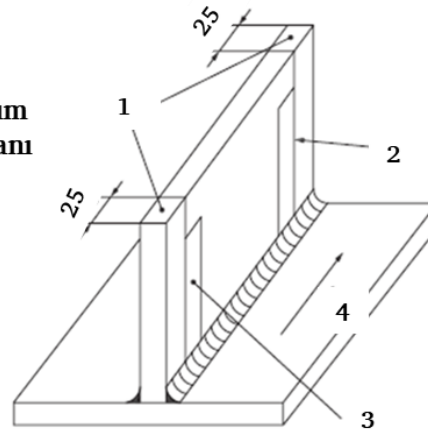
- 1- Çıkartılan 25 mm'lik Kısım
- 2-Kaynak Yönü
- 3-Eğme ve 1 Çekme Numunesi Alanı
- 4-Darbe ve İlave Test Numuneleri Alanı
- 5-Eğme ve 1 Çekme Numunesi Alanı
- 6-Makro ve Sertlik Testi Numuneleri Alanı



Şekil 6.9 EN ISO15614-1 Standardına göre alın altına birleştirmede test numunesi hazırlama bölgeleri [53].

Deneyssel çalışmalar sırasında yeni nesil ve geleneksel kaynak makineleri ile birleştirilen ve köşe kaynağı uygulanan 11 mm'lik kalınlığa sahip parçalarda EN ISO 15614-1 standardına göre hazırlanarak test numuneleri çıkartılmıştır. Buna göre parçaların her birinden; 1 adet (30 nokta) sertlik numunesi ve 2 adet makro test numunesi çıkartılmıştır.

- 1- Çıkartılan 25 mm'lik Kısım
- 2-Makro Test Numunesi Alanı
- 3-Makro ve Sertlik Testi Numune Alanı
- 4-Kaynak Yönü



Şekil 6.10 EN ISO15614-1 Standardına göre köşe birleştirmede test numunesi hazırlama bölgeleri [53].

6.3.1 Testlerin Yapılması

EN ISO 15609-1 standardında belirtilen koşullara uygun bir şekilde hazırlanan kaynak yöntem talimatına göre parçaların birleştirme şekli, kaynak tekniği, kullanılan sarflar ve diğer kaynak parametreleri bu standarda uygun bir şekilde belirtilmiştir [57]. Birleştirmenin ardından EN ISO 15614-1 standardına uygun bir şekilde test numuneleri hazırlanmış ve test işlemleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmalar QVV Mühendislik Sanayi ve Ticaret Limited Şirketine ait akredite laboratuvarında tamamlanmıştır.

6.3.1.1 Gözle Muayene Testi

Çalışma sırasında yeni nesil ve geleneksel kaynak makineleri ile birleştirilen 4 deney parçası da gözle muayene testine tabi tutulmuştur. Test sırasında parçalar x2 büyüteç ile incelenmiş ve süreksizlikler açısından takip edilmiştir. İnceleme aşamasında ışık şiddeti en az 400 lüks olacak şekilde ayarlanmıştır.

6.3.1.2 Çekme Testi

EN ISO 15614-1 standardına göre alın altına birleştirilen 6 mm kalınlığa sahip parçalar için bu test uygulanmıştır. Test numuneleri WEW1000D Model, 50-1000 [kN] çekme cihazına bağlanarak çalışma gerçekleştirilmiştir. Hem yeni nesil kaynak makinesi hem de geleneksel kaynak makinesi ile birleştirilen 6mm'lik alın altına kaynaklı parçalardan 2'şer adet test numunesi cihaza bağlanmış ve toplamda 4 adet çekme testi yapılmıştır.



Şekil 6.11 Çekme testi cihazının görseli

6.3.1.3 Eğme Testi

EN ISO 15614-1 standardına göre alın altına birleştirilen 6 mm kalınlığa sahip parçalar için bu test uygulanmıştır. Parçalardan 2 adet yüz eğme 2 adet ise kök eğme olmak üzere 4'er adet numune çıkartılmış ve toplamda 8 parça için eğme testi gerçekteştirilmiştir. Test sırasında standartlar çerçevesinde mesnetler arası mesafe 42 mm, mandrel çapı 24 mm, eğme açısı ise 180° olarak alınmıştır. İlgili testler WEW1000D Model, 50-1000 [kN] test cihazı kullanılarak yapılmıştır.



şekil 6.12 Eğme testi uygulama görseli

6.3.1.4 Çentik Darbe Testi

EN ISO 15614-1 standardına göre alın altına birleştirilen 6 mm kalınlığa sahip parçalar için bu test uygulanmıştır. Her iki parçadan da 2'şer set, toplamda ise 6'şar adet numune çıkartılmıştır. Parçalardan 3'ü kaynak dikişi bölgesinden, 3'ü ise ısı tesiri altındaki bölgeden (ITAB) alınmıştır. Numuneler 2,5 x 10 x 55 mm ebatlarında hazırlandıktan sonra, standartta belirtildiği üzere 2mm' ISO V şeklinde kalınlık boyunca 2mm'lik çentik açılarak -20 °C'ye soğutulduktan sonra teste tabi tutulmuştur.



Şekil 6.13 Çentik darbe testi jbw-300z cihazı görseli

6.3.1.5 Sertlik Testi

Çalışma sırasında ortaya çıkan 6 mm'lik kalınlığa sahip alın altına birleştirilmiş 2 parçadan 1'er adet toplamda ise 2 adet numune çıkartılmış ve 38 nokta sertlik testine tabi tutulmuştur. Yine 11 mm'lik kalınlığa sahip köşe kaynağı ile birleştirilen 2 parçadan da 1'er adet toplamda ise 2 adet numune hazırlanmış ve 30 nokta sertlik testine tabi tutulmuştur. Test işlemi "SHBRV-187.5 Digital Display Universal Hardness Tester" markalı cihaz ile gerçekleştirilmiş ve Vickers sertlik değeri ölçülmüştür. Ölçümler sırasında 10g yük uygulanmış ve parçaların ana malzeme, ITAB ve kaynak dikişleri üzerindeki değerler okunmuştur.



Şekil 6.14 Sertlik testi cihazı görseli

6.3.1.6 Makro İnceleme Testi

EN ISO 15614-1 standardı uyarınca deneysel çalışmalar sırasından yeni nesil ve geleneksel kaynak makineleri ile birleştirilen 6mm kalınlığa sahip malzemelerden elde edilmiş alın kaynaklı parçalardan 1’er adet toplamda ise 2 adet makro inceleme numunesi çıkartılmıştır. Yine 11 mm kalınlığa sahip malzemelerin yeni nesil ve geleneksel kaynak makineleri ile köşe kaynağı şeklinde birleştirilmesiyle oluşan parçalardan 2’şer adet, toplamda ise 4 adet makro inceleme numunesi hazırlanmıştır. İncelemeler “4XB Binocular InvertedMetallurgical Microscope” cihazı ile gerçekteştirilmiştir. Dağlama işlemi için Nital çözeltilisi kullanılmıştır.



TEST SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMELER

Çalışma sırasında S355J2+N kalite yapı çeliği 6mm ve 11mm kalınlığa sahip olacak şekilde hazırlanmış ve bu parçalardan 6mm kalınlığa sahip olanlar alın alına, 11mm kalınlığa sahip olanlar ise köşe kaynağı şeklinde birleştirilmiştir. Kaynak işlemleri sırasında kaynak makinelerinin özellikleri dışında tüm değişkenler sabit tutulmuştur. Yeni nesil ve geleneksel kaynak makineleri ile birleştirilen parçalar numaralandırılarak EN ISO 15614-1 standardına göre makro inceleme ve mekanik testlere tabi tutulmuştur. İlgili standarda göre yapılan testlerin kabul değerleri Tablo 7.1’de verilmiştir.

Tablo 7.1 EN ISO 15614-1’e göre testlerin kabul değerleri [53].

Test Türü	Kabul Değerleri
Gözle Muayene	Çatlak (Kabul Edilmez), Nüfuziyet Eksikliği (Kabul Edilmez), Kök Oluşmaması (Kabul Edilmez), Köşe kaynağının aşırı asimetrisi (aşırı eşit olmayan bacak uzunluğu) (3mm ve altı kabul edilir).
Çekme Testi	Test numunesinin çekme mukavemeti, test öncesinde aksi belirtilmedikçe, ana metal için ilgili belirtilen minimum değerden daha az olmamalıdır. (Çalışmada kullanılan malzeme için bu değer en az 490-630 N/mm ² olmalıdır [54].)
Eğme Testi	Test sırasında, test numuneleri herhangi bir yönde >3 mm'lik herhangi bir kusur göstermemelidir. Test sırasında test numunesinin köşelerinde görülen kusurlar değerlendirilmede göz ardı edilmelidir.

Tablo 7.1 EN ISO 15614-1'e göre testlerin kabul değerleri (devamı) [53].

Çentik Darbe Testi	Üç numunenin ortalama değeri, belirtilen gereksinimleri karşılamalıdır. Her çentik konumu için, belirtilen minimum ortalama değerin %70'inden az olmamak kaydıyla, tek bir değer belirtilen minimum ortalama değerin altında olabilir. (Çalışmada kullanılan malzemede 27 joule değerini yakalamalıdır [54].)
Sertlik Testi	Parçalardan ölçülen sertlik değerinin HV10 için 380 HV'nin altında olması gerekmektedir.
Makro Test	Test numunesi, ergitme hattını, ITAB'ı ve pasoların oluşumunu açıkça ortaya çıkartacak şekilde ISO 17639'a göre hazırlanmalı ve dağlanmalıdır. Test numunesi etkilenmemiş ana metali içermeli ve prosedür testi başına en az bir makro kesit fotoğrafı ile kaydedilmelidir.

Tablo 7.2'de birleştirilen parçalara ait özellikleri ve parçaların kaynak pozisyonu, kalınlığı ve kullanılan makinenin teknolojisine göre kurgulanan numune numaraları verilmiştir. Numaralar verilirken ilk olarak kaynak pozisyonu için kullanılan terimin ikinci harfi, ikinci sırada sayı ile parça kalınlığı, üçüncü sırada ise kaynak makinesinin yeni nesil yahut geleneksel oluşuna göre bu kelimelerin ilk harfi kullanılmıştır.

Tablo 7. 2 Deneysel çalışmalara ait özellikler ve numune numarası

Malzeme	Kalınlık	Birleştirme Şekli	Kaynak Pozisyonu	Kaynak Makinesi	Numune Numarası
S355J2+N	6mm	Alın Alına	PA	Yeni Nesil (İnvertör) Kaynak Makinesi	A6Y
S355J2+N	6mm	Alın Alına	PA	Geleneksel Kaynak Makinesi	A6G

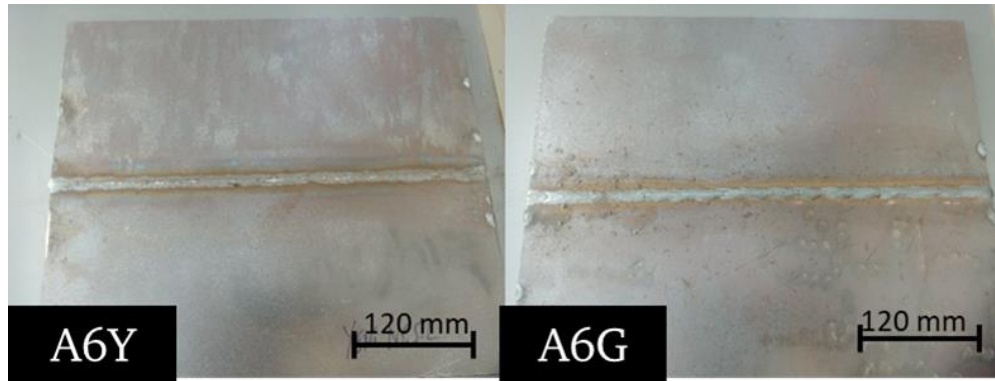
Tablo 7. 2 Deneysel çalışmalara ait özellikler ve numune numarası (devamı)

S355J2+N	11mm	Köşe	PB	Yeni Nesil (İnvertör) Kaynak Makinesi	B11Y
S355J2+N	11mm	Köşe	PB	Geleneksel Kaynak Makinesi	B11G

7.1. Uygulanan Testlerin Sonuçları

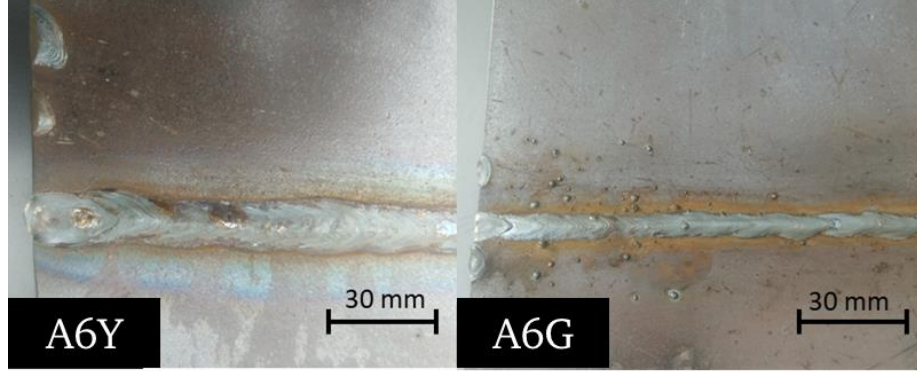
7.1.1 Gözle Muayene Testi Sonuçları

Kaynak işlemleri sonrası birleştirilen parçalar gözle muayene işlemine tabi tutulmuştur. Bu noktada dikiş ve ITAB üzerinde oluşabilecek süreksizlikler incelemiştir. Ayrıca EN ISO 15614-1 standardına göre ret sebebi olmayan ancak endüstride oluşumunun engellenmesi için sarf maliyeti oluşturan ve meydana geldikten sonra temizlenmesi için işçilik maliyeti doğuran bir kaynak hatası olan sıçrıntı problemiyle ilgili incelemeler yapılmıştır.



Şekil 7.1 A6Y ve A6G numaralı parçaların gözle muayene görseli

Şekil 7.1’ de de görüldüğü üzere hem yeni nesil kaynak makinesi ile birleştirilen A6Y numaralı parçada hem de geleneksel kaynak makinesi ile işlem gören A6G numaralı parçada dikiş boyunca süreksizlikler ile karşılaşılmamıştır. İki parçada da dikiş üzerinde gözenek ya da çatlak gözlenmezken ITAB’ın incelemesi sonunda bu bölgede de çatlak gözlenmemiştir.



Şekil 7.2 A6Y ve A6G numaralı parçaların gözle muayene ile sıçrantı incelemesi

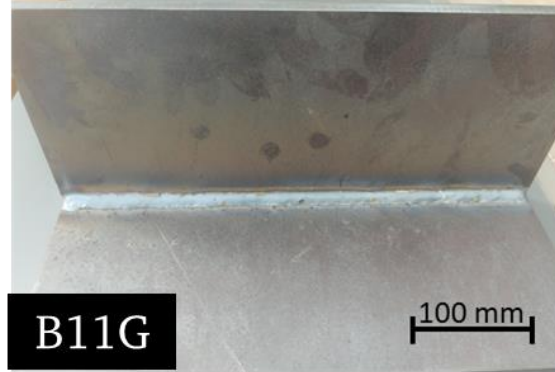
Şekil 7.2 'de görüldüğü üzere invertör teknolojisine sahip yeni nesil kaynak makineleri darbeli akım teknolojisi ile kaynak işlemi yapabilmesinden ötürü malzeme yüzeyinde sıçrantıya neden olmamıştır. Ancak geleneksel kaynak makinesi ile birleştirilen parçanın yüzeyinde irili ufaklı metal parçaları sıçrantı olarak gözlemlenmiştir.

İncelemelerin ardından sıçrantıların özellikle kaynağın başlangıç noktasında yoğun olarak bulunduğu görünmüştür. U. Ersoy ve arkadaşları tarafından 2008 yılında yapılan bir çalışma göstermektedir ki sıçrantı sorunu gaz altı kaynağında en sık olarak ark kararlılığın en düşük olduğu kaynak başlangıcında görülmektedir [58]. Benzer bir sonucun bu çalışmada da ortaya çıkması ve geleneksel kaynak makinesi ile birleştirilen parçanın kaynak başlangıcında sıçrantıların yoğun olarak görülmesi kayda alınan bir durumdur. Yeni nesil invertör kaynak makinesinde ise kaynak başlangıcında sıçrantı bulunmaması bu teknoloji ile daha kararlı bir ark başlangıcı oluşması halini güçlendirmektedir.



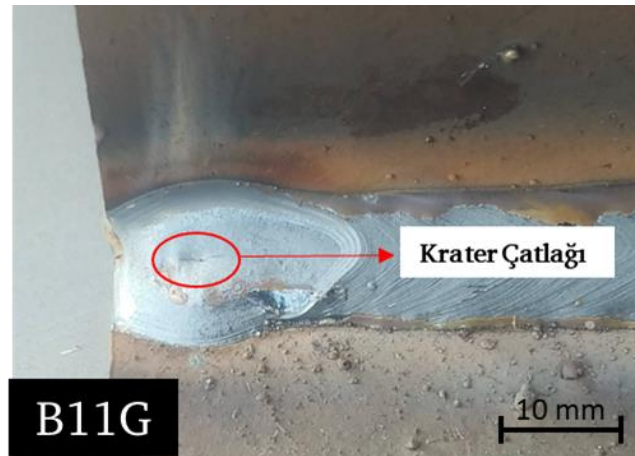
Şekil 7.3 B11Y numaralı parçanın gözle muayene görseli

Yeni nesil ve geleneksel kaynak makineleri ile köşe kaynağı şeklinde birleştirilen 11mm'lik kalınlığa sahip parçaların kaynağında da gözle muayene sonucu sıcak çatlak, yanma oluğu, gözenek gibi süreksizlikler ile karşılaşılmmıştır.



Şekil 7.4 B11G numaralı parçanın gözle muayene görseli

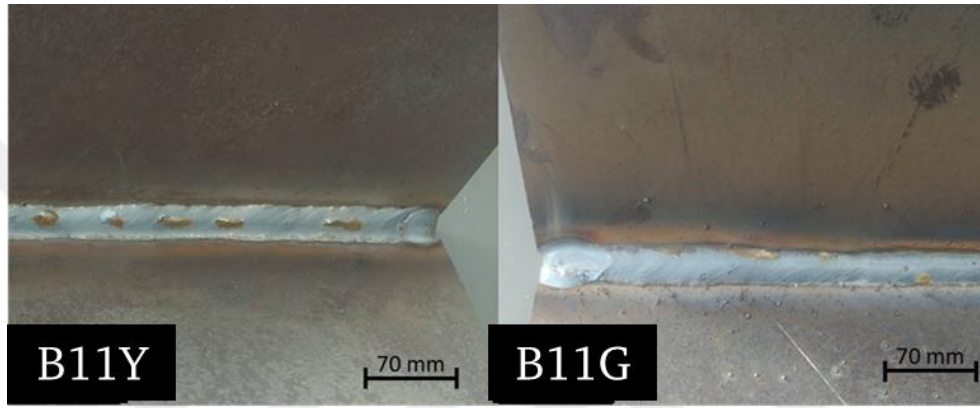
B11G numaralı geleneksel kaynak makinesini ile birleştirilen parçanın kaynak bitişinde krater çatlaklarının oluştuğu belirlenmiştir. Krater çatlak, kaynak bitişinde katılma sırasında meydana gelen büzölmeler sonucunda oluşmaktadır [3]. Şekil 7.5'de bu çatlak, görebilmekteyiz. Yeni nesil kaynak makinesi ile birleştirilen B11Y numaralı parça da ise bu hatanın oluşmadığı gözlenmiştir. İnvörtör özelliğe sahip yeni nesil kaynak makinelerinde krater dolgu özelliğe sayesinde kaynak bitişinde oluşan bu hatanın engellenmesi hedeflenmektedir.



Şekil 7.5 B11G numaralı parçada gözlenen krater çatlak

B11Y ve B11G numaralı parçaların gözle muayenesi sonrasında yeni nesil kaynak makinesi ile birleştirilen B11Y numaralı parçada B11G'ye göre çok daha az sıçrıntı

oluştugu gözlenmiştir. Yüksek amper ve voltaj değerlerinde yapılan bir kaynak işlemi olması sebebiyle geleneksel kaynak makinesinde sprej ark damla geçiş mekanizmasının oluşması olası bir durumdur. Bu damla geçiş mekanizmasında metal transferinin küçük damlalar halinde kaynak banyosuna iletilmesi sebebiyle sıçrantının diğer mekanizmalara oranla çok daha düşük olması beklenmektedir. Buna rağmen darbeli akım ile kaynak işleminin gerçekleştirildiği B11Y numaralı parçada geleneksel kaynak makinesi ile birleştirilen B11G'ye oranla çok daha az sıçrantı oluştuğu yapılan gözle muayene işlemi sonucu belirlenmiştir.



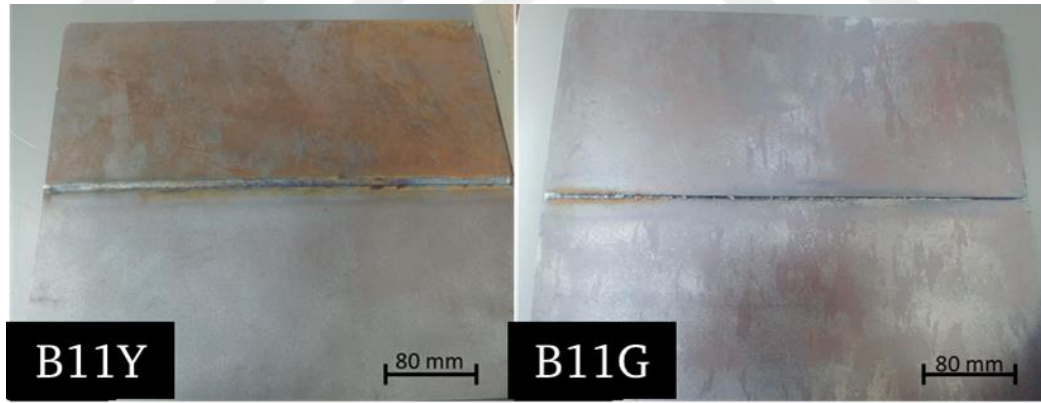
Şekil 7.6 B11Y ve B11G numaralı parçaların gözle muayene ile sıçrantı incelemesi

Şekil 7.6' da Köşe birleştirmeler sırasında oluşan sıçrantı görülmektedir. Literatür araştırmaları ile kaynak sırasında meydana gelen sıçrantının getirebileceği sorunlar arasında; meydana gelen parçaların kaynakçıların cildini ve çalışma ortamını yakması ve yangın ile çeşitli yaralanmalara sebep olması sayılabilir. Ayrıca kopan parçalar kaynak sarfının boşa harcanmasına, sıçrantıların temizlenmesi ise iş gücü kaybına yol açarak maliyet ortaya çıkarmaktadır [59]. Ayrıca yüzeyin kalitesini bozması, korozyon başlangıcı gibi sorunları oluşturabileceği gibi bazı hareketli parçaların çalışması sırasında da sorunlara neden olabilir [60].

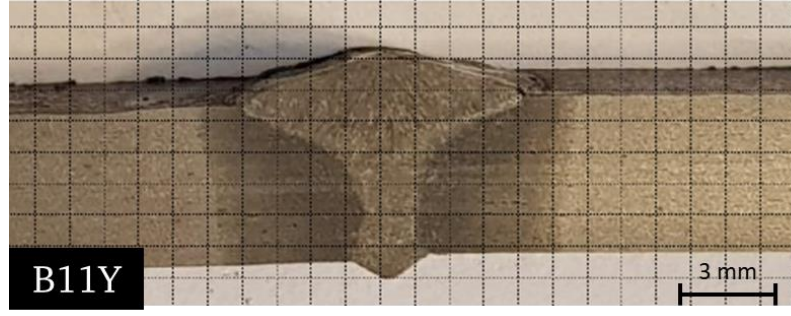
Kaynakta sıçrantının oluşmasının ardından sorunu ortadan kaldırmak ise başlı başına bir zaman kaybı olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu noktada düz keski ya da taşlama ile işçilerin çalışma yaparak parçaları temizlemesi gerekebilir [59]. Bu

durum iş gücü gerektirdiğinden ilave bir maliyet olarak işletmeye yansımaktadır. Ayrıca kullanılan sıvı ya da jel yapışma önleyici sıvalar da maliyet hanesine yazılacak bir başka gider olarak karşımıza çıkmaktadır [59]. Bu sorunun getirdiği problemlere katlanmak ve oluşturduğu giderleri karşılamak yerine ilk yatırım maliyeti nispeten daha yüksek olan yeni nesil kaynak makineleri ile sıçrantının ilk etapta oluşmasını engellemek daha analitik bir çözüm olarak ortaya çıkmaktadır.

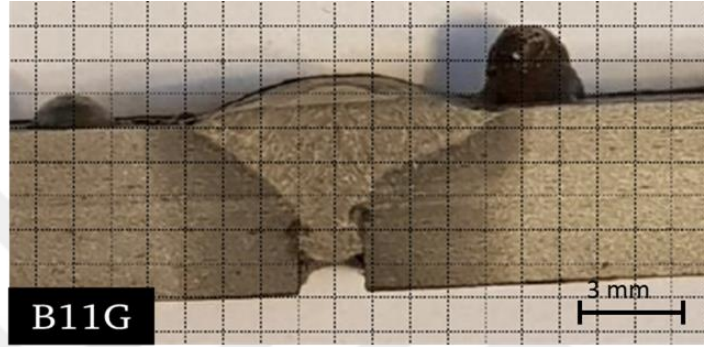
Yapılan gözle muayene ardından yeni nesil ve geleneksel kaynak makineleri ile kaynak ağzı açılmadan, tek paso da ve aynı ısı girdisi ile yapılan kaynak işlemi sonucunda birleştirilen parçalardan B11Y’de yeterli nüfuziyet sağlanarak kök oluşumu gözlenirken geleneksel kaynak makinesi ile birleştirilen B11G’de ise yetersiz nüfuziyet meydana gelmiştir. Bunun bir sonucu olarak da kök oluşumu gerçekleşmemiştir. Bunun sebebinin yeni nesil kaynak makinelerinde yer alan darbeli akım özelliği sayesinde belirlenen bir frekans aralığında tel elektrottan kaynak havuzuna damlalar halinde metal transferinin gerçekleşmesi olduğu düşünülmektedir. Darbeli akımda çıkılan frekansın yükselmesi ile daha yüksek nüfuziyetin meydana gelmesi olası bir durumdur.



Şekil 7.7 B11Y ve B11G numaralı parçaların kök oluşumu durumu



Şekil 7.8 B11Y numaralı parçada kök tam nüfuziyet ve kök oluşumu durumu



Şekil 7.9 B11G numaralı parçada kökte yetersiz nüfuziyet ve kök oluşmaması durumu

Şekil 7.8 ve 7.9’da parçalarda meydana gelen dikiş profili, nüfuziyet derinliği ve kök oluşumu daha net bir şekilde görünmektedir.

7.1.2 Çekme Testi Sonuçları

İlgili standart uyarınca çekme testi yeni nesil ve geleneksel kaynak makineleri ile birleştirilen 6mm’lik kalınlığa sahip ve alın altına kaynaklanan parçalara uygulanmıştır. Her parçadan çekme testi için 2’şer numune alınmış ve toplamda 4 numune incelenmiştir. S355J2+N kalite malzemeye sahip parçalar çekme testine tabi tutularak EN ISO 14341-A G3Si1 (SG2) teli ile yapılan kaynak işlemi sonucu kopma gerçekleşecek bölgeleri ve akma, çekme gibi değerleri gözlenmiştir. Çekme numunelerinin kesit alanı 150 mm² olacak şekilde ayarlanmış ve parça kalınlıkları ise 6 mm olarak kayda geçmiştir. Tablo 7.3’de bu değerleri bulabilirsiniz.

Tablo 7.3 Çekme testine ait değerler

Numune Numaraları	İlk Boy (L ₀)	Son Boy (L ₁)	Uzama (A%)	Akma Dayanımı (R _{0,2}) (N/mm ²)	Çekme Dayanımı (R _m) (N/mm ²)	Kopma Bölgesi
A6Y-1	70,00	85,10	21,57	437	567	Malzeme
A6Y-2	70,00	86,50	23,57	434	552	Malzeme
A6G-1	70,00	74,50	6,43	338	356	Kaynak
A6G-2	70,00	73,20	4,57	339	362	Kaynak

Çalışmalar doğrultusunda yeni nesil kaynak makinesi ile birleştirilen A6Y numaralı parçadan çıkartılan 1 ve 2 numaralı numunelerin çekme testi sonuçları kabul edilebilir değerlerde olup test sırasında numunenin kopma bölgesi malzeme olarak gerçekleşmiştir. Test sırasında kullanılan numunelerin test öncesi ve sonrasındaki halleri şekil 7.10 ve şekil 7.11’de gösterilmiştir.



Şekil 7.10 A6Y-1 numaralı parçanın çekme testi öncesi ve sonrası



Şekil 7.11 A6Y-2 numaralı parçanın çekme testi öncesi ve sonrası

Geleneksel kaynak makinesi ile yapılan birleştirme işlemi sonrası hazırlanan numunelere uygulanan çekme testi sonuçları ise kabul kriterlerinin altında

kalmıştır. Ayrıca test sırasında kopma gerçekleşen bölgeler kaynak dikişi üzerinde oluşmuştur. Test yapılırken kullanılan numunelerin test öncesi ve sonrasındaki halleri şekil 7.12 ve şekil 7.13’de gösterilmiştir.



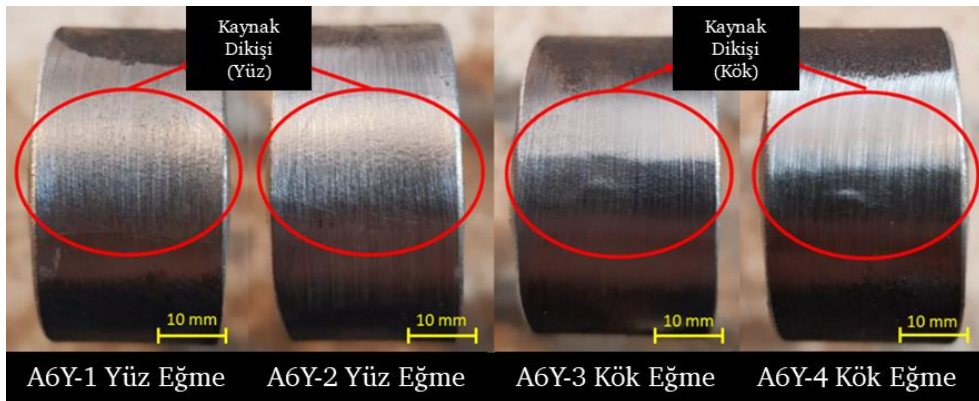
Şekil 7.12 A6G-1 numaralı parçanın çekme testi öncesi ve sonrası



Şekil 7.13 A6G-2 numaralı parçanın çekme testi öncesi ve sonrası

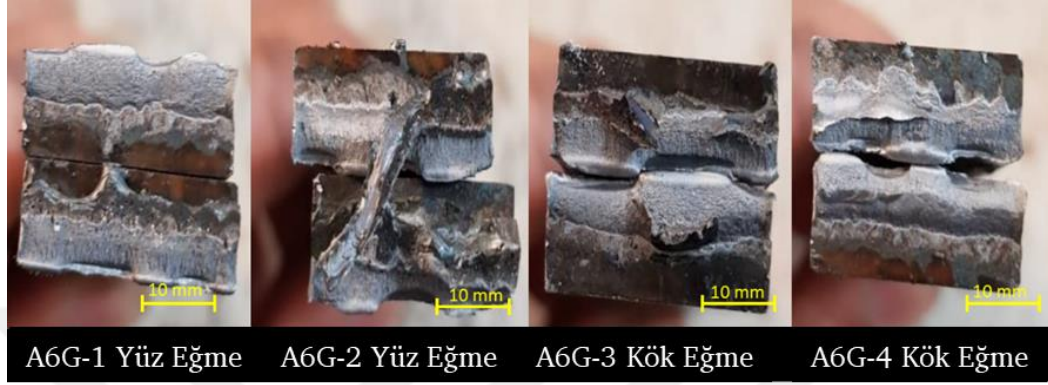
7.1.3 Eğme Testi Sonuçları

İlgili standart uyarınca eğme testi iki yüz eğme iki, kök eğme olacak şekilde 6mm kalınlığa sahip alın altına birleştirilmiş parçalara uygulanmıştır. Standartta eğme testi sonrası numuneler üzerinde 3 mm’den büyük süreksizliklerin olmaması gerektiği belirtilmiştir [53]. Şekil 7.14’de görüldüğü üzere, invertör teknolojisine sahip yeni nesil kaynak makinesi ile birleştirilen parçadan çıkartılan numunelerin eğme testi sonrası incelemesi yapıldığında yüzeyde gözenek ve çatlak benzeri herhangi bir süreksizliğin olmadığı saptanmıştır.



Şekil 7.14 A6Y numaralı parçanın eğme testi numuneleri

Geleneksel kaynak makinesi ile alın altına birleştirilen 6 mm kalınlığa sahip A6G numaralı parçaya uygulanan test sonucunda ise hem kök hem de yüz eğme numunelerinin kırıldığı görülmüştür. Şekil 7.15’ de numunelerin test sonrası görünümü yer almaktadır. Ayrıca tablo 7.4’de test değerleri ve sonuçları verilmiştir.



Şekil 7.15 A6G numaralı parçanın eğme testi numuneleri

Şekil 7.14 ve 7.15’de verilen görsellere ait eğme testinin değerleri ve numunelerin test sonuçları tablo 7.4’de verilmiştir.

Tablo 7.4 Eğme testi ve sonuçları

Numune No	Mesnetler Arası Mesafe (mm)	Mandrel Çapı (mm)	Eğme Açısı	Hata Tipi ve Boyutları	Sonuç
A6Y-1	42	24	180°	Yok	Kabul
A6Y-2	42	24	180°	Yok	Kabul
A6Y-3	42	24	180°	Yok	Kabul
A6Y-4	42	24	180°	Yok	Kabul
A6G-1	42	24	180°	Kırılma	Ret
A6G -2	42	24	180°	Kırılma	Ret
A6G -3	42	24	180°	Kırılma	Ret

Tablo 7.4 Eğme testi ve sonuçları (devamı)

A6G -4	42	24	180°	Kırılma	Ret
--------	----	----	------	---------	-----

7.1.4 Çentik Darbe Testi Sonuçları

EN ISO 15614-1 standardı uyarınca çentik darbe testi, kalınlık boyunca açılan V şeklindeki çentikler ile 3 numune kaynak bölgesinden (VWT) ve 3 numune ITAB'dan (VHT) olmak üzere gerçekleştirilmiştir. Test numuneleri 2,5x10x55 mm olarak hazırlanmıştır. Hazırlanan çentik darbe numuneleri S355J2+N çeliğinin sağlamış olması beklenen değerleri görebilmek adına -20 °C'ye soğutulularak deney mekanizmasına bu sıcaklık değerinde yerleştirilmiş ve testin gerçekleştirilmesi sağlanmıştır. Şekil 6.9'da numunelerin parça üzerinde hangi bölgeden çıkartıldığı gösterilmiştir. İlgili testlere dair detaylar tablo 7.5 ve tablo 7.6'de verilmiştir.

Tablo 7.5 Yeni nesil kaynak makinesi ile birleştirilen A6Y numaralı parçaya ait çentik darbe testi sonuçları

Test Parçası No	Çentik Yerleşimi	Tanımlama	Yüzey Pürüzlülüğü	Test Sıcaklığı	Darbe Tokluğu (J/cm ²)	Test Sonucu (J)
01	Kaynak	VWT (0/1)	Ra:2,5 μ	-20 °C	115,95	23,19
02	Kaynak	VWT (0/1)	Ra:2,2 μ	-20 °C	131,75	26,35
03	Kaynak	VWT (0/1)	Ra:2,5 μ	-20 °C	141,80	28,36
01	ITAB	VHT (1/1)	Ra:2,6 μ	-20 °C	105,40	21,08
02	ITAB	VHT (1/1)	Ra:2,6 μ	-20 °C	117,90	23,58
03	ITAB	VHT (1/1)	Ra:2,4 μ	-20 °C	100,00	20,00

Tablo 7.6 Geleneksel kaynak makinesi ile birleştirilen A6G numaralı parçaya ait çentik darbe testi sonuçları

Test Parçası No	Çentik Yerleşimi	Tanımlama	Yüzey Pürüzlülüğü	Test Sıcaklığı	Darbe Tokluğu (J/cm ²)	Test Sonucu (J)
01	Kaynak	VWT (0/1)	Ra:2,5 μ	-20 °C	144,85	28,97
02	Kaynak	VWT (0/1)	Ra:2,2 μ	-20 °C	141,80	28,36
03	Kaynak	VWT (0/1)	Ra:2,5 μ	-20 °C	182,70	36,54
01	ITAB	VHT (1/1)	Ra:2,6 μ	-20 °C	121,85	24,37
02	ITAB	VHT (1/1)	Ra:2,6 μ	-20 °C	112,10	22,42
03	ITAB	VHT (1/1)	Ra:2,4 μ	-20 °C	118,90	23,78

İlgili standarda göre yapılan test sonuçlarının ortalaması 27J değerini bulmalıdır. Bu gerçekleşirken ayrı ayrı test sonuçları 27J değerinin %70'inden az olamayacaktır. Ancak bu durum 10x10x55 mm ebadında tam boy olarak hazırlanan test numuneleri için geçerlidir. Birleştirilen parçaların 6mm olan kalınlığı sebebi ile çentik darbe testi için hazırlanan numuneler 2,5x10x55 mm'lik ebatlarda çeyrek boy olarak hazırlanmıştır. Bu noktada 27 J değerinin yakalanamaması numune ebadından kaynaklı olup bu gibi durumlarda çeyrek boy ya da diğer ebatlardaki numunelerde cm² başına düşen joule değeri üzerinden değerlendirme yapılmaktadır. İlgili değer hesaplanırken numunenin genişliği (W), kalınlığı (B) olarak alındığında;

$$\text{Darbe Tokluğu} = (J/(W-0.2) \times B) \quad (7.1)$$

Formülü kullanılarak darbe tokluğu değeri J/cm² olarak hesaplanmaktadır [61]. Tam boy bir numunede 27J olan değer ilgili formülden hesaplanarak darbe tokluğuna geçildiğinde bu rakam en az 33,75 J/cm² olarak hesaplanmaktadır.

Tablo 7.5 ve 7.6’ da görüldüğü üzere cm^2 başına düşen joule değeri tüm test numuneleri için $33,75 \text{ J/cm}^2$ ’nin üzerinde çıkmıştır ve bu hali ile tüm test numuneleri yapılan çentik darbe testinde kabul koşullarını sağlamıştır. Bununla birlikte tablodaki değerler karşılaştırıldığında geleneksel kaynak makinesi ile birleştirilen A6G numaralı parçada darbe tokluğu değerlerinin yeni nesil makine ile kaynatılan A6Y’den elde edilmiş numuneye göre yüksek olduğu gözlenmiştir. Bunun nedeni olarak darbe tokluğu etki eden faktörler göze alındığında ısı işlem önemli bir değişken olduğu düşünülmektedir [62]. A6Y numaralı parçada tam nüfuziyet sebebi ile yaklaşık 6mm’lik derinliğe sahip bir soğuma yüzeyi bulunmakta. Ancak A6G’de yetersiz nüfuziyet nedeni ile bu yüzey 3-4 mm ile sınırlanmakta ve bu adı geçen parçanın daha yavaş soğumasına neden olmaktadır. Geleneksel kaynak makinesi ile birleştirilen bu parçadan daha yüksek darbe tokluğu ölçülmesinin parçanın yavaş soğumasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

7.1.5 Sertlik Testi Sonuçları

Standardt kapsamında hem alın alın hem de köşe birleştirme şeklinde kaynatılan malzemelere sertlik testi uygulanmıştır. Sertlik ölçümleri vickers’e göre (HV10) yapılmıştır. Alın altına birleştirmelerde 1 adet 38 nokta köşe birleştirmelerde ise 1 adet 30 nokta sertlik testi yapılmıştır. Sertlik test sonuçlarının EN ISO 15614-1 standardına göre 380 HV ya da altında olması gerekmektedir ki verilen tabloda gözlenen değerler incelendiğinde tüm test numunelerinin test sonuçlarının kabul edilebilir olduğu anlaşılmıştır. Yeni nesil kaynak makinesi ile alın altına birleştirilen 6 mm’lik parçaya ait numuneden edinilen sertlik değerleri tablo 7.7’ de verilmiştir.

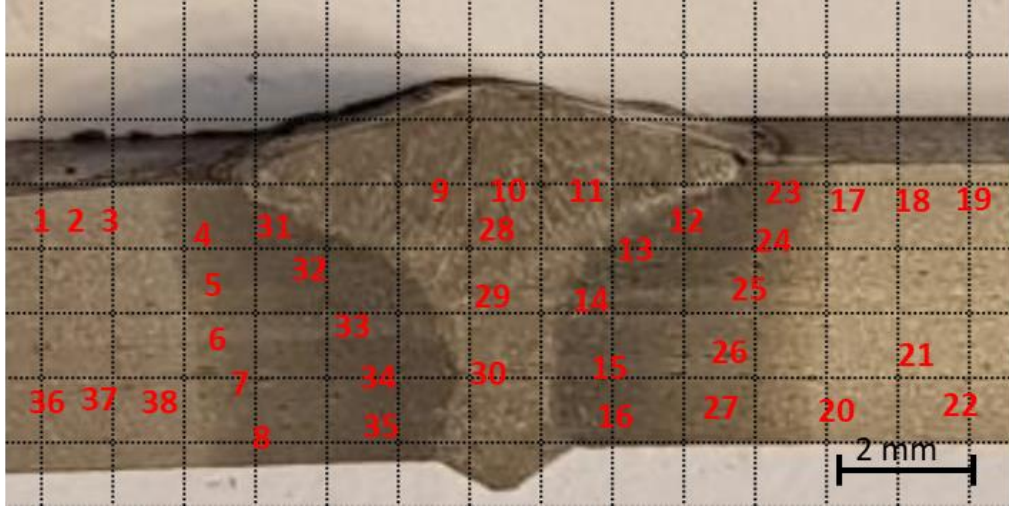
Tablo 7. 7 A6Y numaralı parçaya ait sertlik testi sonuçları

Nokta Sırası	Sertlik Değeri	Ölçüm Bölgesi	Nokta Sırası	Sertlik Değeri	Ölçüm Bölgesi	Nokta Sırası	Sertlik Değeri	Ölçüm Bölgesi
1	159	Malzeme	14	179	ITAB	27	190	ITAB
2	149	Malzeme	15	177	ITAB	28	204	Kaynak

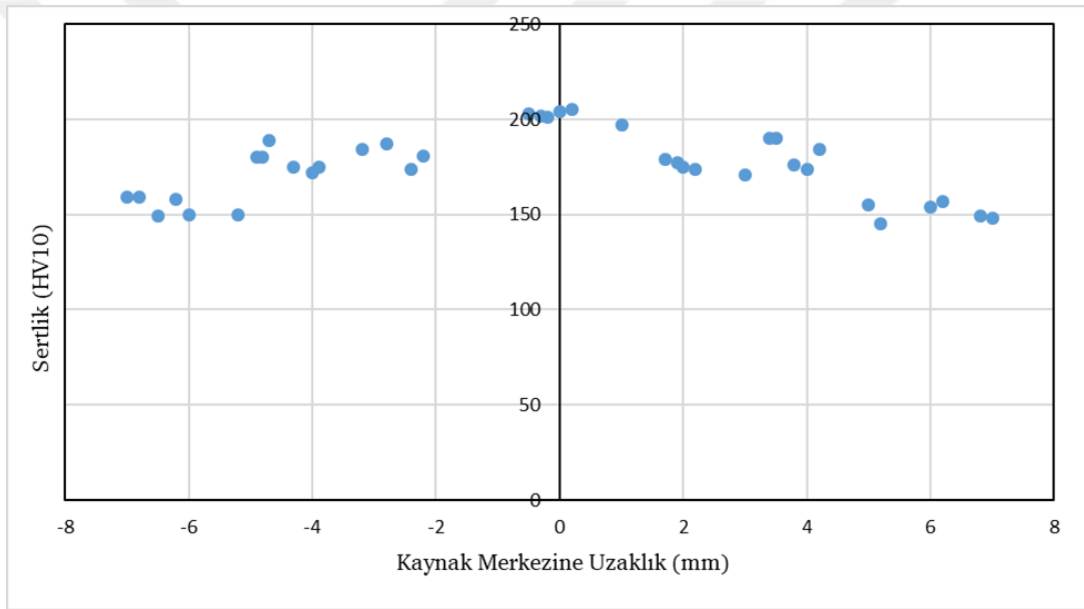
Tablo 7. 7 A6Y numaralı parçaya ait sertlik testi sonuçları (devamı)

3	150	Malzeme	16	175	ITAB	29	201	Kaynak
4	180	ITAB	17	145	Malzeme	30	202	Kaynak
5	180	ITAB	18	154	Malzeme	31	175	ITAB
6	189	ITAB	19	148	Malzeme	32	184	ITAB
7	175	ITAB	20	155	Malzeme	33	187	ITAB
8	172	ITAB	21	157	Malzeme	34	174	ITAB
9	203	Kaynak	22	149	Malzeme	35	181	ITAB
10	205	Kaynak	23	184	ITAB	36	159	Malzeme
11	197	Kaynak	24	174	ITAB	37	158	Malzeme
12	171	ITAB	25	176	ITAB	38	150	Malzeme
13	174	ITAB	26	190	ITAB			

Sertlik ölçümleri sırasında malzeme bölgesinde alınan sertlik değerleri 152,75 HV olarak ölçülmüştür. Kaynak dikişi bölgesinden alınan ortalama değer 202,00 HV iken ITAB için ölçülen değerlerin ortalaması 179,35 HV'dir. Tüm bu değerler 380 HV'nin altındadır ve numunenin sertlik testi sonucu EN ISO 15614-1 standardına göre kabul edilen değerlerin içinde yer almaktadır. Ölçüm değerleri verilen A6Y parçasına ait görüntü şekil 7.14'de gösterilmiştir. Şekil üzerinde görüldüğü üzere sertlik değerleri kaynak dikişi, ITAB ve ana malzeme üzerinden alınarak değerlendirme gerçekleştirilmiştir.



Şekil 7.16 A6Y numaralı parçanın sertlik testi ölçüm numunesi



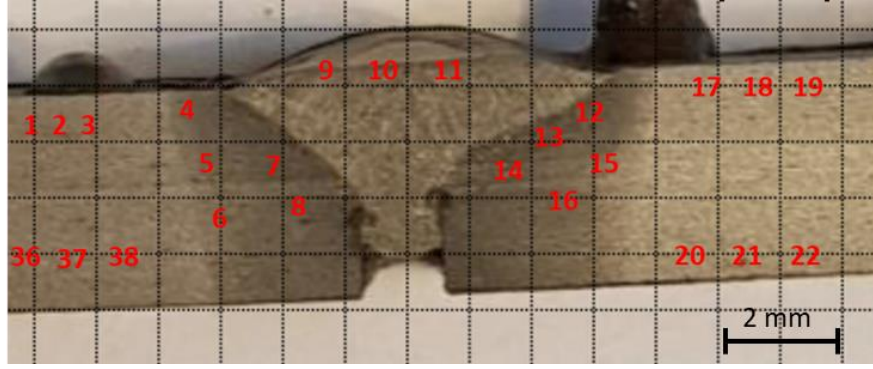
Şekil 7.17 A6Y için kaynak merkezine uzaklık ve sertlik ilişkisi grafiği

Geleneksel kaynak makinesi ile alın altına birleştirilen A6G numaralı parçalaya ait sertlik numunesinin ölçüm değerleri tablo 7.8'de verilmiştir. Ölçüm sırasında yine A6Y parçasına benzer şekilde değerler kaynak dikişi, ITAB ve ana malzeme üzerinden olmak kaydı ile alınmıştır.

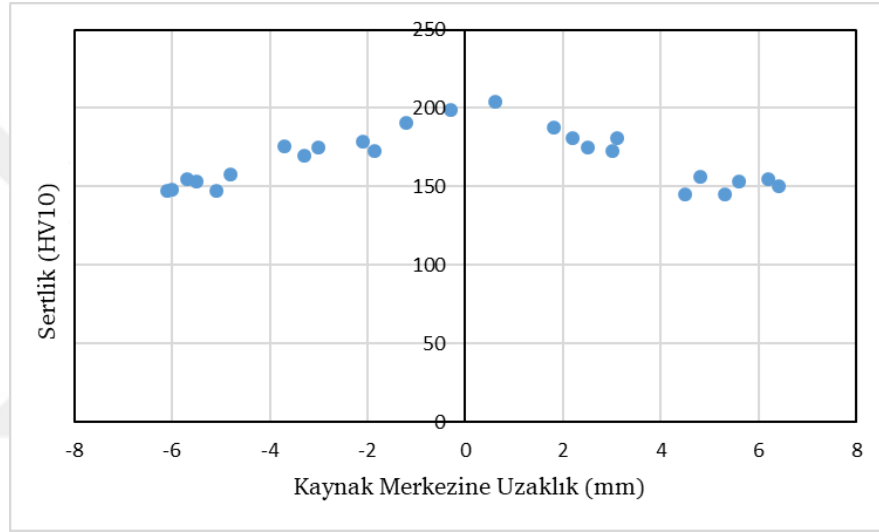
Tablo 7.8 A6G numaralı parçaya ait sertlik testi sonuçları

Nokta Sırası	Sertlik Değeri	Ölçüm Bölgesi	Nokta Sırası	Sertlik Değeri	Ölçüm Bölgesi	Nokta Sırası	Sertlik Değeri	Ölçüm Bölgesi
1	148	Malzeme	14	188	ITAB	27	*	ITAB
2	155	Malzeme	15	181	ITAB	28	*	Kaynak
3	147	Malzeme	16	175	ITAB	29	*	Kaynak
4	176	ITAB	17	156	Malzeme	30	*	Kaynak
5	170	ITAB	18	153	Malzeme	31	*	ITAB
6	175	ITAB	19	150	Malzeme	32	*	ITAB
7	179	ITAB	20	145	Malzeme	33	*	ITAB
8	173	ITAB	21	145	Malzeme	34	*	ITAB
9	191	Kaynak	22	155	Malzeme	35	*	ITAB
10	199	Kaynak	23	*	ITAB	36	147	Malzeme
11	204	Kaynak	24	*	ITAB	37	153	Malzeme
12	173	ITAB	25	*	ITAB	38	158	Malzeme
13	181	ITAB	26	*	ITAB			

Tablo 7.8’ de verilen değerlerden görüldüğü üzere parçadaki yetersiz nüfuziyet sebebi ile parçanın kök kısmındaki bölgelerden sertlik değeri alınamamıştır ve bu değerler * ile gösterilmiştir. Alınan değerlerden hareketle A6G numaralı parçanın sertlik numunesinden ölçülen ortalama sertlik değerleri malzeme bölgesi için 151 HV, ITAB için 177,1 HV ve kaynak dikişi içinse 198 HV’dir. Böyle bu parça içinde sertlik değerleri EN ISO 15614-1 standardına göre kabul edilen değerlerin içinde yer almaktadır. A6G numaralı parçanın sertlik değerlerinin ölçüldüğü numuneye ait görsel şekil 7.15’de verilmiştir.



Şekil 7.18 A6G numaralı parçanın sertlik testi ölçüm numunesi



Şekil 7.19 A6G için kaynak merkezine uzaklık ve sertlik ilişkisi grafiği

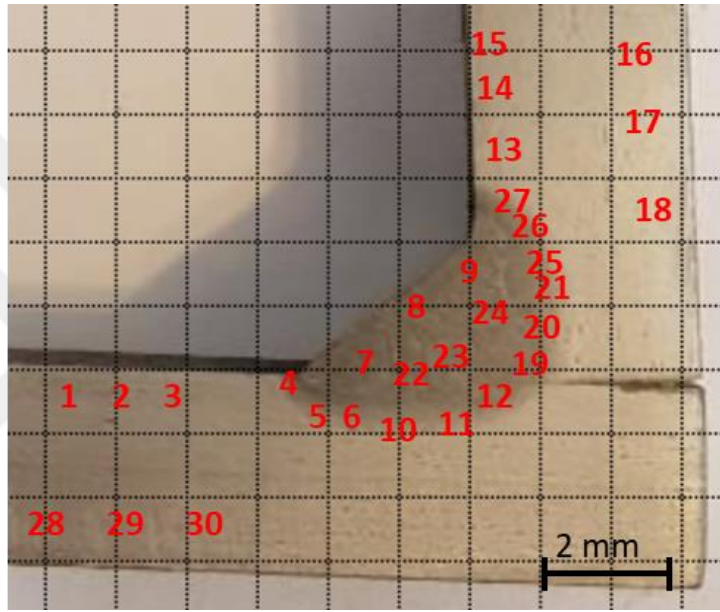
Şekil 7. 17 ve şekil 7.19’da görüldüğü üzere A6Y ve A6G numaralı parçanın kaynak merkezinden uzaklaştıkça sertlik değerinin düştüğü anlaşılmıştır. En yüksek sertlik değerini kaynak dikişinde okunurken en düşük değerler ise ana malzeme üzerinde gözlenmiştir. Buradan hareketle ITAB’da sert fazların oluşumunun önüne geçildiğini söylemek mümkündür. Ayrıca A6Y ve A6G parçalarında kaynak dikişinde ölçülen değerler karşılaştırıldığında geleneksel kaynak makinesi ile birleştirilen parçadan elde edilmiş numune olan A6G’de sertliğin daha düşük olduğu gözlenmiştir. Gözlem sonucu yetersiz nüfuziyet sebebiyle soğuma yüzeyinin tam nüfuziyetli parçadan daha düşük olduğu A6G’de yavaş soğuma gerçekleşmesiyle böyle bir sonucun meydana geldiği düşünülmektedir.

E. Özkan tarafından 2019 yılında gerçekleştirilen araştırmada, S355J2+N çeliği MAG yöntemi ile 12mm kalınlıkta alın altına birleştirilmiş ve yapılan işlem kaynak ağzı açılarak 4 pasoda tamamlanmıştır. İşlem sonucunda sertlik değerleri HV ile 10gr yük uygulanarak gerçekleştirilmiş ve bu çalışmada da en yüksek sertlik değerleri kaynak dikişinde meydana gelirken bunu ITAB ve ana malzeme takip etmiştir [63]. 11 mm kalınlığa sahip malzemelerin köşe birleştirme şeklinde kaynaklanması ile elde edilen numunelere ait sertlik ölçümleri hem yeni nesil hem de geleneksel kaynak makinelerinde yapılan işlemler sonucunda elde edilen B11Y ve B11G numaralı parçalardan çıkartılan numunelerin 30 nokta sertlik testine tabi tutulması ile elde edilmiştir. B11Y numaralı parçaya ait sertlik ölçüm değerleri tablo 7.9’da verilmiştir.

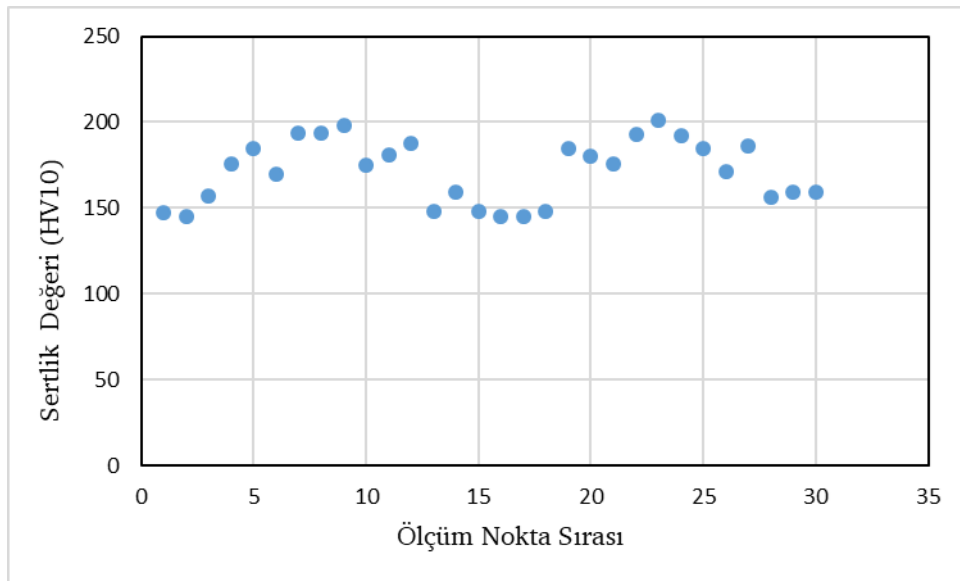
Tablo 7.9 B11Y numaralı parçaya ait sertlik testi sonuçları

Nokta Sırası	Sertlik Değeri	Ölçüm Bölgesi	Nokta Sırası	Sertlik Değeri	Ölçüm Bölgesi	Nokta Sırası	Sertlik Değeri	Ölçüm Bölgesi
1	147	Malzeme	11	181	ITAB	21	176	ITAB
2	145	Malzeme	12	188	ITAB	22	193	Kaynak
3	157	Malzeme	13	148	Malzeme	23	201	Kaynak
4	176	ITAB	14	159	Malzeme	24	192	Kaynak
5	185	ITAB	15	148	Malzeme	25	185	ITAB
6	170	ITAB	16	145	Malzeme	26	171	ITAB
7	194	Kaynak	17	145	Malzeme	27	186	ITAB
8	194	Kaynak	18	148	Malzeme	28	156	Malzeme
9	198	Kaynak	19	185	ITAB	29	159	Malzeme
10	175	ITAB	20	180	ITAB	30	159	Malzeme

Tablo 7.9 incelendiğinde malzeme bölgesinden ölçülen sertlik değerlerinin ortalaması 151,33 HV olarak, kaynak dikişinden alınan ölçümlerin ortalaması 201,50 HV olarak, ITAB'dan alınan değerlerin ortalaması ise 179,835 HV olarak bulunmuştur. Tüm bu ortalama değerler ve tablodaki hiçbir ölçüm 380 HV'yi geçmediği için testi yapılan numune EN ISO 15614-1 standardına göre kabul kriterlerini sağlamıştır. B11Y numaralı parçanın sertlik ölçüm numunesine ait görsel şekil 7.20'de verilmiştir.



Şekil 7.20 B11Y numaralı parçanın sertlik testi ölçüm numunesi



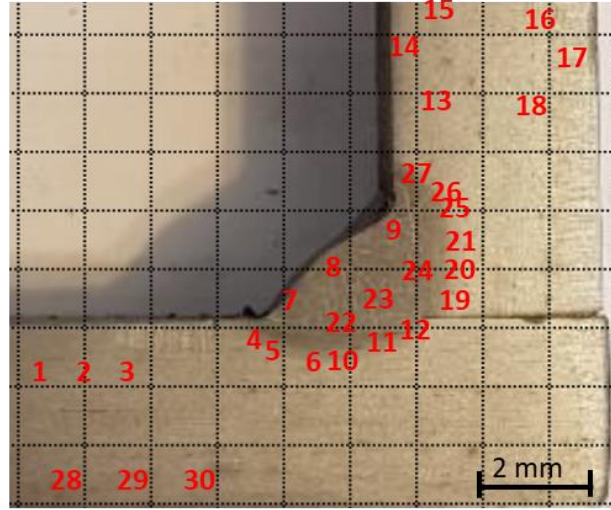
Şekil 7.21 B11Y numaralı parçanın ölçüm nokta sırasına göre sertlik değerleri

Geleneksel kaynak makinesi ile köşe birleştirme şeklinde kaynaklanan B11G numaralı parçaya ait sertlik numunesinden elde edilen ölçümlere ait değerler Tablo 7.10’ da verilmiştir.

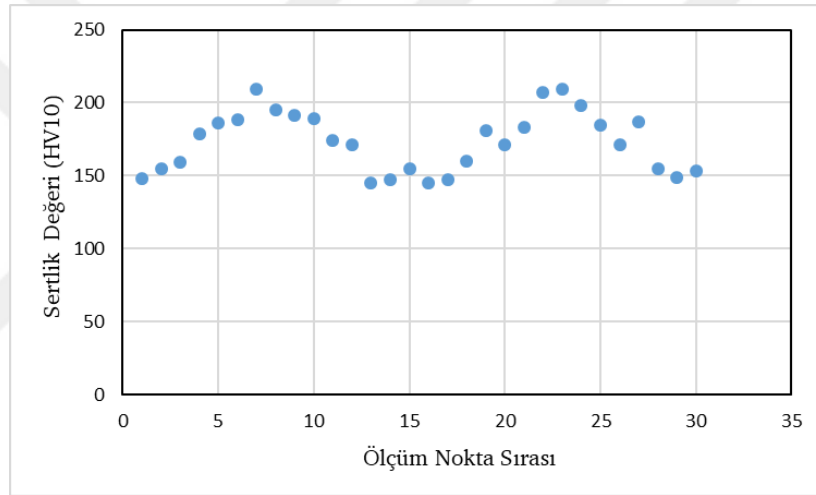
Tablo 7.10 B11G numaralı parçaya ait sertlik testi sonuçları

Nokta Sırası	Sertlik Değeri	Ölçüm Bölgesi	Nokta Sırası	Sertlik Değeri	Ölçüm Bölgesi	Nokta Sırası	Sertlik Değeri	Ölçüm Bölgesi
1	148	Malzeme	11	174	ITAB	21	183	ITAB
2	155	Malzeme	12	171	ITAB	22	207	Kaynak
3	159	Malzeme	13	145	Malzeme	23	209	Kaynak
4	179	ITAB	14	147	Malzeme	24	198	Kaynak
5	186	ITAB	15	155	Malzeme	25	185	ITAB
6	188	ITAB	16	145	Malzeme	26	171	ITAB
7	209	Kaynak	17	147	Malzeme	27	187	ITAB
8	195	Kaynak	18	160	Malzeme	28	155	Malzeme
9	191	Kaynak	19	181	ITAB	29	149	Malzeme
10	189	ITAB	20	171	ITAB	30	153	Malzeme

Bu test numunesinden de elde edilen ölçüm değerlerinin hiçbiri 380 HV’nin üzerinde değildir. Ölçüm alınan bölgelere göre değerler ise; malzeme bölgesinde 151,50 HV, kaynak dikişi bölgesinde 201,50 HV, ITAB’da ise 180,415 HV olarak saptanmıştır. Bu değerlere bakılarak EN ISO 15614-1 standardına göre bu numunede kabul kriterleri içerisinde sertlik ölçümleri göstermiştir. B11G numaralı parçaya ait test numunesinin görseli Şekil 7.22’de verilmiştir.



Şekil 7.22 B11G numaralı parçanın sertlik testi ölçüm numunesi



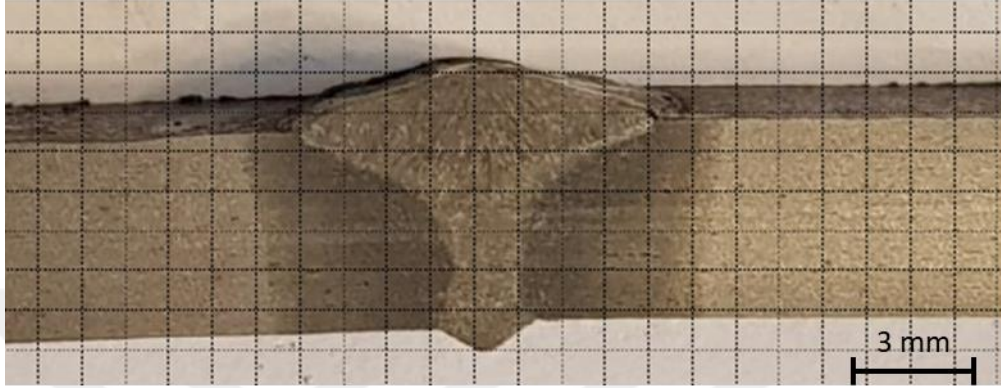
Şekil 7.23 B11G numaralı parçanın ölçüm nokta sırasına göre sertlik değerleri

Tablo üzerindeki değerler incelendiğinde köşe birleştirme sonrasında da alın birleştirmede olduğu gibi en yüksek sertlik değerleri kaynak dikişinde oluşmuştur. Bu değerleri ITAB takip ederken en düşük ölçümler ana malzemedен elde edilmiştir. Yeni nesil ve geleneksel kaynak makineleri ile yapılan işlemler sonucu elde edilen sertlik değerleri birbirine benzer rakamlar olarak ortaya çıkmıştır.

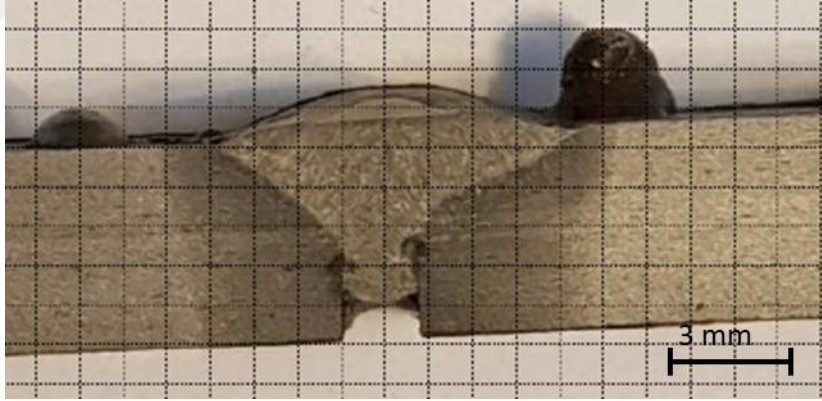
7.1.6 Makro İnceleme Testi Sonuçları

Makro testi incelemesi EN ISO 15614-1 standardı uyarınca kaynak işlemi uygulanan tüm parçalar için gerçekleştirilmiştir. Makro inceleme testi ile numuneler üzerinden; kaynak geometrisi, ITAB, çatlaklar, kalıntılar, gözenekler,

asimetrik birleştirme ve segregasyon gibi hatalar kontrol edilmiştir. Yeni nesil ve geleneksel kaynak makineleri ile alın alına birleştirilen A6Y ve A6G numaralı parçaların makro inceleme numunelerinin görselleri şekil 7.24 ve şekil 7.25’de verilmiştir.



şekil 7.24 Yeni nesil kaynak makinesi ile alın alına birleştirilen A6Y numaralı parçanın makro inceleme testi görseli

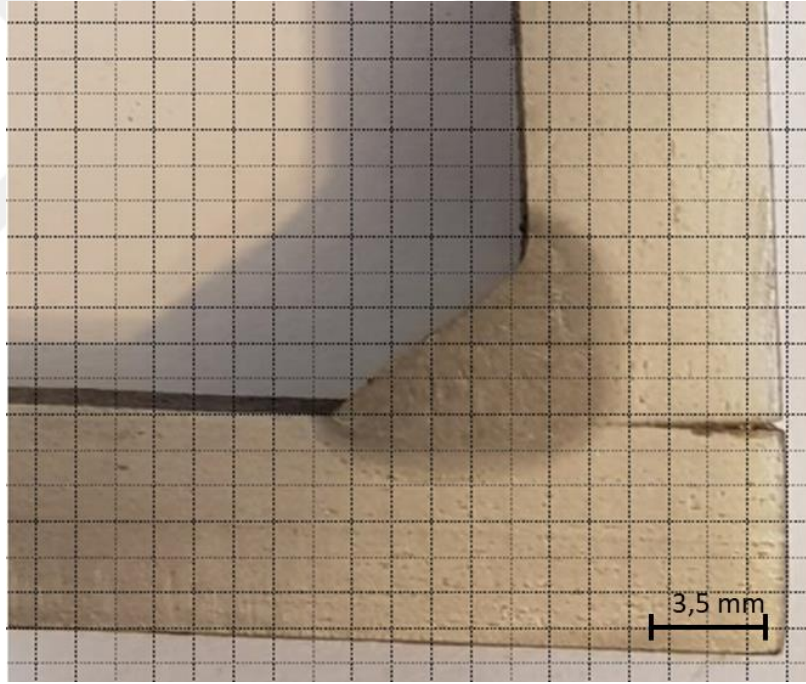


şekil 7.25 Geleneksel kaynak makinesi ile alın alına birleştirilen A6G numaralı parçanın makro inceleme testi görseli

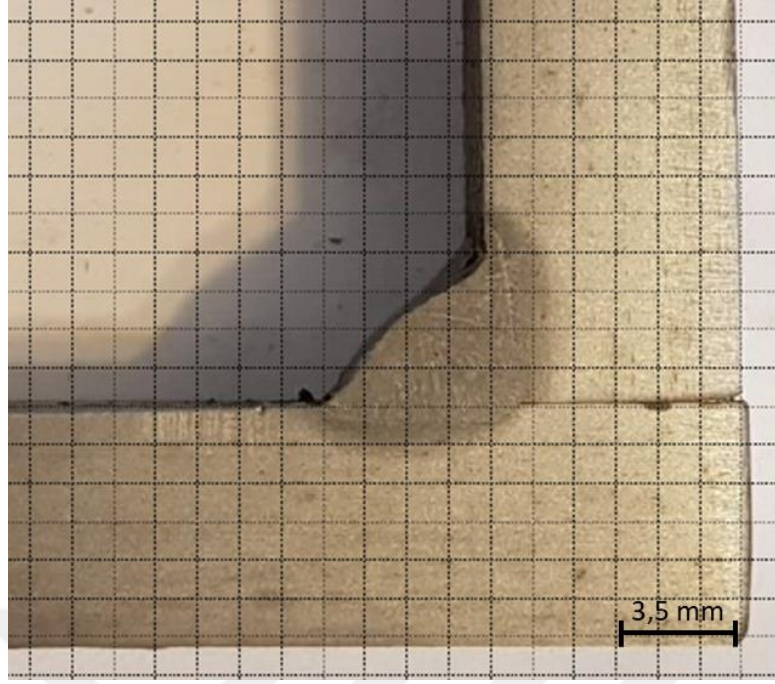
Alın alına birleştirmelerde yapılan makro testi incelemeleri sonucu geleneksel kaynak makinesi ile birleştirilen A6G numaralı parçanın test numunesinden yetersiz nüfuziyetin gerçekteştiği açık bir şekilde görölmüştür. Yine geleneksel

kaynak makinesi ile gerçekleştirilen kaynak işleminde yeni nesil kaynak makinesindekine nazaran daha dar bir kaynak dikiş profili ortaya çıktığı gözlenmiştir. Yapılan makro testi incelemeleri sonucu yeni nesil kaynak makinesi ile birleştirilen A6Y numaralı parçanın herhangi bir hata göstermediği ve uygulanan standarda göre başarılı bir kaynak işlemi olduğu ortaya çıkmıştır. Geleneksel kaynak makinesi ile yapılan birleştirme işleminin ise yetersiz nfuziyetten dolayı ilgili standart uyarınca ret edilen bir işlem olduğu belirlenmiştir.

Makro testi incelemeleri 11mm'lik kalınlığa sahip köşe birleştirme şeklinde yeni nesil ve geleneksel kaynak makineleri ile kaynaklanan parçalara da uygulanmıştır. Teste dair görseller şekil 7.26 ve şekil 7.27'de verilmiştir.



şekil 7.26 Yeni nesil kaynak makinesi ile köşe formunda birleştirilen B11Y numaralı parçanın makro inceleme testi görseli



Şekil 7.27 Geleneksel kaynak makinesi ile köşe formunda birleştirilen B11G numaralı parçanın makro inceleme testi görseli

Şekil 7.26 ve Şekil 7.27’de de gözlendiği üzere her iki kaynak işlemi ardından elde edilen makro testi sonucunda EN ISO 15614-1 standardı uyarınca ret kriteri gösteren bir hatanın oluşmadığı gözlenmiştir. Bununla birlikte yeni nesil kaynak makinesi ile birleştirilen B11Y numaralı parçada nüfuziyetin geleneksel kaynak makinesi ile birleştirilen B11G numaralı parçaya göre daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Her iki parça da makro testinin sonucu açısından kabul edilebilir özelliklere sahiptir.

Y.S. Ceran tarafından 2019 yılında yapılan farklı bir çalışmada 5 mm kalınlığına sahip S235JR kalite çelik alın altına birleştirilmiş ve yapılan çalışmada “sinerjik ve pulse özellikli” yeni nesil kaynak makinesi kullanılmıştır. Birleştirme sırasında Y kaynak ağzı açılarak tam nüfuziyetli bir kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir [64]. Bu çalışmada ise 6 mm’lik birleştirme için kaynak ağzı açılmadan yeni nesil kaynak makinesi ile tam nüfuziyetli bir birleştirme gerçekleştirilmiş ve bu maliyetten kaçınılmıştır. Buradan hareketle yeni nesil kaynak makinelerinde yer alan farklı kaynak programların etkin bir şekilde sonuç verdiği söylenebilir.

7.2. Fayda-Maliyet Analizi

Yapılan çalışmada seçilen malzeme kalınlıkları ya da benzer ebatlarda parçaların kaynaklı imalatını gerçekleştiren bir işletmenin çalışmaları kabul alınarak yapılacak bir maliyet hesaplaması ile de yeni nesil ve geleneksel kaynak makinelerinin karşılaştırılması hedeflenmektedir.

Bu nokta da yeni nesil kaynak makinesi ile yapılan kaynak işleminde kaynak ağzı açmadan, tek paso ile daha derin nüfuziyet elde edildiği çalışmanın sonucunda ortaya çıkmıştır. Geleneksel kaynak makinesi ile bu nüfuziyeti kaynak ağzı açarak 2 pasoda gerçekleştirecek bir birleştirme işlemi sonucu elde edilebileceği varsayılır ise bu iş için gereken girdiler aşağıda yer alan Tablo 7.11 ile gösterilmeye çalışılmıştır.

Bu işletmenin günde 50 adet parça ve ayda 22 günlük çalışma üzerinden 1100 parça üretileceği varsayılarak yapılan hesapta gösterimler Amerikan doları üzerinden gerçekleştirilmiş ve kur 2 Şubat 2022 tarihindeki merkez bankası verilerine göre 13,39 TL olarak alınmıştır. Kaynakçı ve kaynak ağzı hazırlamadaki destek personelinin maaşlar asgari ücret üzerinden gösterilmiş ve iş veren maaliyeti olarak 2022 yılında belirtilen 5.879,70 TL'lik tutar alınmıştır [65].

Geleneksel kaynak makinesi ile yapılacak işlem 2 paso' da gerçekleşeceği için kullanılacak kaynak ağzı açma işlemindeki enerjide göz önüne alınarak kabaca tek pasodaki işlemin 2 katı bir enerji girdisi olacağı varsayılmış ve enerji fiyatı olarak 2022 yılında sanayiye sağlanan elektrik enerjisinin gündüz tarifesi değeri alınmıştır [69]. Yapılan hesaplamada parça başında 5082 watt'lık bir değer yeni nesil kaynak makinesi için hesaplanmış ve günlük 4 saatlik bir kaynak işlemi süresi için değerler belirlenmiştir. Bu makine için günde yaklaşık 20,3 kW/h bir harcama ayda ise 446,6 kW/h enerji tüketimi hesaplanmıştır. Geleneksel kaynak makinesinde ise bu miktar 893,2 kW/h olarak hesaplanmıştır.

Tablo 7.11 Tam nüfuziyetli kaynak dikişi için gereken girdiler ve yıllık maliyetleri

Yeni Nesil Kaynak Makinesi			Geleneksel Kaynak Makinesi		
Girdiler	Maliyet (USD)	Yıllık Maliyet (USD)	Girdiler	Maliyet (USD)	Yıllık Maliyet (USD)
Makine Gideri	3.224,6 [66]	3.224,6	Makine Gideri	2.532,86 [67]	2.532,86
Enerji Gideri (1100 adet parça/ay için)	56,03	672,36	Enerji Gideri (1100 adet parça için)	112,06	1.344,72
Kaynakçı (1 adam/ay)	439,05	5.274	Kaynakçı (1 adam/ay)	439,05	5.274
			Destek Personeli (0,5 adam/ay)	219,525	2.637
			Kaynak ağız açmak için sarf gideri (Kesme Taşı 75 adet/ay)	51,3 [68]	615,6
Toplam Yıllık Maliyet (USD)		9.190,36	Toplam Yıllık Maliyet (USD)		12.404,18

Tablo 7.11’ de görüldüğü üzere ilk yatırım maliyeti daha yüksek olan yeni nesil kaynak makinesi 1 yıllık süre içinde daha düşük bir maliyet ile kaynak yapılmasına olanak sağlayarak yapılan kabuller çerçevesinde işletme için daha karlı bir seçim olduğunu göstermiştir.

Çalışma sırasında ortaya çıkan bir başka veri ise yeni nesil kaynak makinesinin geleneksel kaynak makinesine göre sıçrantsız denilebilecek kaynak performansı

ortaya koymuş olduğudur. Sıçrantı parça yüzeyinin kalitesini düşüren bir kaynak hatası olduğu gibi temizlenmesi sırasında da maliyet arttırıcı bir etkiye sahiptir. Tablo 7.12’ de final kontrolde sıçrantısız bir kaynak dikişi eldesi için oluşan maliyetlerin girdileri ve buna dönük hesaplar ortaya koyulmuştur.

Hesaplamalar yapılırken yine ayda 22 gün çalışan ve günde 50 parça ve ayda 1100 parça üreten bir işletmenin çalışmamızda kullandığımız kalınlıktaki parçalar ile üretim yaptığı varsayılmıştır. Çalışmamız sırasında kullanılan parça kalınlıkları geleneksel kaynak makinesi ile sprey ark aralığında çalışma olanağı sunduğu için daha ince parçalarla çalışacak işletmelerin sıçrantı kaynaklı maliyetlerinde artış olabileceği de söylenilebilir. İşçi ve kaynak makinelerine ait giderler Tablo 7.11’de belirtilen özelliklere göre alınmış ve Amerikan doları değeri ile 2 Şubat 2022 merkez bankası kuru uyarınca hesaplanarak 13,39 TL olarak tabloya yansıtılmıştır. Sıçrantı sebebiyle oluşan elektrod sarfiyatı bu hesaplamada göz ardı edilmiş ve diğer majör maliyetler tabloya yansıtılmıştır. Sıçrantı sebebiyle parçaların yüzeyini temizleyecek destek personeli 0,5 adam/ay’lık bir emek ile çalışacak şekilde tabloya yansıtılmıştır.

Tablo 7.12 Sıçrantısız kaynak dikişi için gereken girdiler ve yıllık maliyetleri

Yeni Nesil Kaynak Makinesi			Geleneksel Kaynak Makinesi		
Girdiler	Maliyet (USD)	Yıllık Maliyet (USD)	Girdiler	Maliyet (USD)	Yıllık Maliyet (USD)
Makine Gideri	3.224,6 [66]	3.224,6	Makine Gideri	2.532,86 [67]	2.532,86
Kaynakçı (1 adam/ay)	439,05	5.274	Kaynakçı (1 adam/ay)	439,05	5.274
			Destek Personeli (0,5 adam/ay)	219,525	2.634,3

Tablo 7.12 Sıçrantısız kaynak dikişı için gereken girdiler ve yıllık maliyetleri
(devamı)

			Sıçrantı temizliği için sarf gideri (Sıçrantı yapışmasını engelleyen sıvı 10lt/ay)	17,7 [70]	212,4
Toplam Yıllık Maliyet (USD)		8.498,6	Toplam Yıllık Maliyet (USD)	10.653,56	

Tablo 7.12’ de görüldüğü üzere iş güvenliği noktasındaki tehditleri göz ardı edildiğinde dahi oluşan sıçrantının temizlenmesi için ilk yatırım maliyeti de eklendiğinde yeni nesil kaynak makinesi ile işlemi gerçekleştirmek ilgili işletme için 1 yıllık hesaplamalar doğrultusunda avantaj sağlamaktadır.

Yapılan tez çalışması kapsamında endüstride çelik malzeme olarak en fazla kullanılan kalitelerden biri olan S355'in yine kaynaklı imalatla en çok tercih gören MIG/MAG yöntemi ile birleştirilmesi gerçekleştirilmiştir. Birleştirme işlemi yapılırken tüm parametreler; ısı girdisi, kaynak teli, koruyucu gaz, malzeme türü, malzeme kalınlığı vb. ile kaynak operatörü sabit tutulmuş tek fark olarak kaynak makineleri değişiklik göstermiştir. Parçalar hem yeni nesil (invertör) kaynak makinesi hem de geleneksel kaynak makinesi ile birleştirilerek, kaynak işlemi sonucu parçalar EN ISO 15614 standardına göre testlere tabi tutularak incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Bu doğrultuda tez çalışması sonucu ulaşılan bulgular ve öneriler aşağıda verilmiştir.

1. Yapılan kaynak işlemleri sırasında yeni nesil kaynak makinesinin darbeli akım özelliği sayesinde geleneksel kaynak makinesine göre bir kaynak hatası olan sıçrantı problemini çok daha az oluşturduğu gözlenmiştir. Böylece yeni nesil kaynak makinesinin daha az sıçrantı oluşması ile ilave işçilik sonucu zaman kaybı ve maliyet oluşturmanın önüne geçmesinin yanı sıra birleştirilen parçaların yüzey kalitesini de düşürmediği görülmüştür. Ayrıca sıçrantı sonucu oluşabilecek iş güvenliği hususundaki sorunlarında önüne geçilmiştir.
2. Kaynak bitişinde görülen krater çatlağı hatasının A11Y numaralı parçada yeni nesil kaynak makinelerinde bulunan krater dolgu özelliği sayesinde meydana gelmediği görülmüştür. Geleneksel kaynak makinesi ile yapılan kaynak işlemi sonucunda ise A11G numaralı parçanın kaynak bitişinde krater çatlağı meydana gelmiştir. A11Y ve A11G parçaları karşılaştırıldığında yeni nesil kaynak makinelerinde yer alan bu özelliğin kaynakçı kabiliyetinden bağımsız olarak bu hatayı engelleme de yarar sağlayabileceği gözlenmiştir.

3. Alın altına birleştirmede belirlenen parametreler ve ısı girdisi sonucu yeni nesil kaynak makinesi ile kök oluşumu gerçekleşirken, geleneksel kaynak makinesi ile yapılan kaynak işleminde kök oluşmamıştır.
4. Yeni nesil kaynak makineleri ile birleştirilen parçaların kaynak dikişleri ile geleneksel kaynak makineleri ile birleştirilen parçaların dikiş profilleri karşılaştırıldığında; yeni nesil kaynak makinelerinde oluşan dikiş nüfuziyet profilinin geleneksel kaynak makinelerindekine göre dar bir yapıda olduğu gözlenmiştir. Yine yeni nesil kaynak makinelerinin kaynak dikişi kapak profilinin geleneksel kaynak makinelerinininkine göre daha yayvan olduğu grlmştir.
5. Çekme testi sonucu yeni nesil kaynak makineleri ile birleştirilen parçalarda kopma malzeme üzerinde gerçekleşmiş ve beklenen asgari değerlerin üstünde sonuçlar elde edilmiştir. Ancak geleneksel kaynak makinesi ile birleştirilen parçalarda kopmanın kaynak dikişi üzerinde oluştuğu gözlemlenmiştir.
6. Yeni nesil kaynak makinesi kullanılarak birleştirilen parçanın eğme testi sonucunda hiçbir hata ile karşılaşılmazken, geleneksel kaynak makinesi ile birleştirilen parçanın eğme testi numuneleri test sırasında kırılmıştır.
7. Hem yeni nesil hem de geleneksel kaynak makinesi ile birleştirilen parçaların -20 °C'de yapılan çentik darbe testi sonucu talep edilen 27J değeri test parçalarının çeyrek boy olarak hazırlanması sebebi ile yakalanamamıştır. Ancak darbe tokluğu hesaplamasında kabul gören alt değer olan 33,75 j/cm² değerinin üstünde rakamlar test işlemlerinin ardından ölçülmüş ve kabul şartları bu şekilde sağlanmıştir.
8. Yeni nesil ve geleneksel kaynak makineleri ile yapılan kaynak işlemleri sonucunda elde edilen dört parçanın sertlik testi numuneleri incelendiğinde; bütün test numunelerinde en yüksek sertlik değerinin kaynak dikişinde oluştuğu grlmştir. Kaynak dikişini ITAB takip ederken en düşük sertlik değerleri malzeme üzerinde okunmuştur. Tüm okunan sertlik değerlerinin 380 HV'nin altında olduğu ve kabul koşullarını sağladığı gözlenmiştir.

9. Makro inceleme sonucu alın kaynağında kullanılan parametrelerde geleneksel kaynak makinesinin yetersiz nüfuziyet gösterdiği görülmüştür. Aynı parametreler ile kaynak işleminin yapıldığı yeni nesil kaynak makinesinde ise nüfuziyete ilişkin bir problem görülmemiştir.
10. Köşe birleştirmelerde yeni nesil kaynak makinesinin geleneksel kaynak makinesine göre daha yüksek bir nüfuziyet oluşturduğu belirlenmiştir.
11. Makro incelemeler sonucunda tüm birleştirmelerde; gözenek, çatlak, , kalıntı vb. bir hatanın meydana gelmediği belirlenmiştir.

Bundan sonra yapılacak çalışmada yeni nesil kaynak makinelerinin, nesnelerin interneti özelliği ile sahada kaynak mühendislerine geleneksel kaynak makinelerine göre ne gibi avantajlar sağlayacağı hususunda araştırmalar yapılması önerilmektedir.

- [1] M. Yıldırım, "Otomotiv sektöründe kullanılan yüksek dayanımlı çeliklerde oluşan kaynak kusurlarının önlenmesi," Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2020.
- [2] M. S. A. Fathi, O. Ismael and K. A. Saleh, "An effect of welding type on the mechanical properties of welding joints," International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development, vol. 9, no. 4, pp. 699-708, 2019.
- [3] K. Weman, Welding Processes Handbook, North America: CRC Press, 2003.
- [4] A. Erengin, "Ark esaslı kaynak yöntemleriyle yapılan uygulamalarda, kutuplama durumu ile ilave malzeme - ergime verimi ilişkisinin incelenmesi," Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2009.
- [5] R. P. Singh, S. Kumar, S. Dubey and A. Singh, "A review on working and applications of oxy-acetylene gas welding," Materials Today: Proceedings, vol. 38, 2021.
- [6] M. Şaşmaz, "Otomotiv sektöründe kullanılan yüksek dayanımlı çeliklerin kaynak kabiliyetinin incelenmesi," Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2020.
- [7] G. V. Moskvitin, A. N. Polyakov and E. M. Birger, "Application of laser welding methods in industrial production," Welding International, vol. 27, no. 7, pp. 572-580, 2013.
- [8] O. Tunçel, "Lazer kaynağı ile birleştirilmiş farklı türdeki yüksek/ultra yüksek mukavemetli çeliklerde mekanik ve mikroyapı ilişkilerinin incelenmesi," Doktora Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 2020.
- [9] Bilecik Üniversitesi, URL: <http://w3.bilecik.edu.tr/makine/wp-content/uploads/sites/27/2016/12/kaynakteknigi-f%C3%B6y-notu.pdf> (Erişim Zamanı Nisan 14, 2021).
- [10] Gedik Eğitim Vakfı, URL: <https://gedikegitimvakfi.org.tr/wp-content/uploads/2020/06/KAYNAK-TEKN%C4%B0%C4%9E%C4%B0-EL-K%C4%B0TABI.pdf> (Erişim Zamanı Nisan 14, 2021).
- [11] M.S. J. Hashmi, Comprehensive Materials Processing, USA: Elsevier, 2014.
- [12] I. Alkahla and S. Pervaiz "Sustainability assessment of shielded metal arc welding (SMAW) process," Materials Science and Engineering, 2017.
- [13] I. Khan, Welding science and technology, lucknow, 2007.
- [14] H. Pratikno and W. L. Dhanistha, "Comparison of Welding Process SAW and FCAW on ASTM A36," Journal of Engineering and Applied Sciences, vol. 15, no. 1, pp. 261-266, 2020.

- [15] M. A. Kesse, E. Buah, H. Handroos and G. K. Ayetor, "Development of an artificial intelligence powered tıg welding algorithm for the prediction of bead geometry for TIG welding processes using hybrid deep learning," Metals, vol.10, no. 4, 2020.
- [16] R. Blondeau, Metallurgy and mechanics of welding processes and industrial applications, 2008.
- [17] Şişli Mesleki Eğitim Merkezi, URL: https://sislimem.meb.k12.tr/meb_iys_dosyalar/34/20/758019/dosyalar/20_04/21002112_Yleri_Kaynak_Teknikleri_Dersi_Plazma_Ark_KaynaYY.pdf (Erişim Zamanı Nisan 16, 2021)
- [18] K. Weman, and G. Linden, MIG Welding Guide, USA: CRC Press, 2006.
- [19] Globalsecurity, URL: https://www.globalsecurity.org/military/library/policy/navy/nrtc/14250_ch8.pdf (Erişim Zamanı Nisan 20, 2021).
- [20] A. Livesey, and A. Robinson, The repair of vehicle bodies, New York, 2019.
- [21] Askaynak, URL: https://www.askaynak.com.tr/contents/34/20191224151538_dogru-kaynak-torcu-secimi.pdf (Erişim Zamanı Nisan 20, 2021).
- [22] L. Jeffus, Welding Principles and Applications, USA, 2015.
- [23] K. Tülbentçi, MIG-MAG Eriyen Elektrod ile Gazaltı Kaynağı, Gedik Eğitim Vakfı, Kaynak Teknolojisi Eğitim Araştırma ve Muayene Enstitüsü, 1990.
- [24] B. Mvola and P. Kah, "Effects of shielding gas control: welded joint properties inGMAW process optimization," International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol. 88, pp.2369-2387, 2017.
- [25] W. Galvery, The Art of Welding, USA, 2014.
- [26] D. Lordachescu and L. Quintino, "Steps toward a new classification of metal transfer in gas metal arc welding," Journal of materials processing technology, vol. 202 , no. 1-3 , pp. 391-397, 2008.
- [27] H. F. Muzafferoğlu, "Darbeli akımla MIG/MAG kaynağında darbe parametrelerinin dikiş geometrisine etkisi," Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2008.
- [28] P. Praveen, M. J. Kang and P. K. D. V. Yarlagaadda, "Drop transfer mode prediction in pulse GMAW of aluminum using statistical model," Journal of materials processing technology, vol. 201 , no. 1-3 , pp. 502-506, 2008.
- [29] V. A. Karkhin, Thermal Processes in Welding, Springer, 2019.
- [30] J. C. Lippold, Welding Metallurgy and Weldability, Canada: John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2015.
- [31] İ. Ertürk, T. Durukan ve B. Şentürk, "Çeliklerin Kaynağında Isıdan Etkilenen Bölgenin Mikro Yapı Ve Özelliklerinin Tahmini," X. Kaynak Teknolojisi Ulusal Kongre ve Sergisi, Kocaeli, 2005.

- [32] Canadian Welding Bureau, Welding for design engineers, 2006.
- [33] D. H. Phillips, Welding Engineering An Introduction, Wiley, 2016.
- [34] M. Aydın, Çelik Malzemeler, Türkiye, 2017.
- [35] D. T. Llewellyn and R. C. Hudd, Steels Metallurgy and Applications (3rd Edition), 1998.
- [36] R. I. Brockenbrough and F. S. Merritt, Structural Steel Designers Handbook, USA: ,The McGraw-Hill Companies, 2006.
- [37] Asminternational, URL: https://www.asminternational.org/documents/10192/3466171/06117_Chapter%203B.pdf/a764507a-3499-4d23-b348-5536d31c0ba2 (Erişim Zamanı Nisan 30, 2021).
- [38] Engineeringtoolbox, URL: https://www.engineeringtoolbox.com/aisi-sae-steel-numbering-system-d_1449.html (Erişim Zamanı Nisan 30, 2021).
- [39] Karadeniz Teknik Üniversitesi URL: <https://avesis.ktu.edu.tr/resume/downloadfile/kursaticin?key=c84a4408-c528-418a-af3f-1286beadaf81> (Erişim Zamanı Nisan 30, 2021).
- [40] Steelmillsoftheworld, URL: http://www.steelmillsoftheworld.com/qualities/structural_steel_en-10025-10027.pdf (Erişim Zamanı Nisan 30, 2021).
- [41] M. Vural, F. Piroğlu, Ö. B. Çağlayan ve E. Uzgider, "Yapı çeliklerinin kaynaklanabilirliği," Türkiye Mühendislik Haberleri (TMH), Volume 426, 2003.
- [42] N. S. M. Nasir, M. K. A. A. Razab, M. I. Ahmad and S. Mamat, "Influence of heat input on carbon steel microstructure," ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, vol. 12, no. 8, pp. 2689-2697, 2017.
- [43] O. S. Odebiyi, S. Ö. Adedayo, L. A. Tunji and M. O. Onuorah, "A review of weldability of carbon steel in arc-based welding processes," Cogent Engineering, vol. 6, no. 1, 2019.
- [44] F. Piroğlu, E. Uzgider, M. Vural ve Ö. B. Çağlayan, "Geçmişten bugüne yapı çeliği ve önemli yapısal özellikleri," Türkiye Mühendislik Haberleri (TMH), Volume 426, 2003.
- [45] A. C. Morelra, L. C. P. Silva and H. K. M. Paredes, "Power Quality Study and Analysis of Different Arc Welding Machines," Journal of Control, Automation and Electrical Systems, vol.29, pp.163-176, 2018.
- [46] N. R. Mandal, Ship Construction Amp Welding, USA, 2017.
- [47] S. A. Vendan, L. G. A. Garg, P. Kavitha, G. Dhivyasri and R. SG, Interdisciplinary Treatment to Arc Welding Power Sources, Springer, 2019.
- [48] Esabna, URL: https://www.esabna.com/euweb/mig_handbook/592mig3_1.htm (Erişim Zamanı Mayıs 1, 2021).

- [49] Y. N. Konovalov, ",Comparison of the properties of the MAGMA-350 universal inverter power source for the welding arc with traditional rectifiers for mechanized welding," Welding International, vol. 28, no. 4, pp. 317-319, 2014.
- [50] Millerwelds, URL: <https://www.millerwelds.com/resources/welding-guides/basic-electricity> (Erişim Zamanı Mayıs 3, 2021).
- [51] S. Karadeniz, Kaynak Makinaları, İzmir, 2008.
- [52] P. Kah, R. Suoranta and J. Martikainen, "Advanced gas metal arc welding processes," International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol. 67, no. 1-4 , pp. 655-674, 2013.
- [53] Specification And Qualification of Welding Procedures For Metallic Materials - Welding Procedure Test, ISO 15614-1, 2017.
- [54] hicplates, URL: <https://www.hicplates.com/en-10025-s355j2-n-plates-supplier-stockist.html> (Erişim Zamanı Ocak 7, 2022).
- [55] Welding Consumables — Gases And Gas Mixtures For Fusion Welding And Allied Processes, EN ISO 14175, 2008.
- [56] Kolarc, URL: <https://kolarc.com/xdeep/> (Erişim Zamanı Mayıs 7, 2021).
- [57] Specification And Qualification of Welding Procedures For Metallic Materials - Welding Procedure Specification - Part1: Arc Welding, EN ISO 15609-1, 2019.
- [58] U. Ersoy, S.J. Hu and E. Kannatey-Asibu, "Observation of arc start instability and spatter generation in GMAW," Welding Journal, vol. 87, pp. 51-56, 2008.
- [59] TWI, URL: <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-is-weld-spatter#IsWeldSpatterBad> (Erişim Zamanı Aralık 24, 2021)
- [60] Weldingtroop, URL: <https://weldingtroop.com/weld-spatter/> (Erişim Zamanı Aralık 24, 2021)
- [61] TWI, URL: <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/faq-my-charpy-specification-is-in-j-but-my-certificate-shows-j-cm-how-do-i-compare-the-results-with-the-specification> (Erişim Zamanı Aralık 24, 2021)
- [62] Nevşehir Üniversitesi,
URL:<https://dosyalar.nevsehir.edu.tr/0c7853f74903af02336d7406eb341dad/2014-2015-malzeme-laboratuvari-deney-foyu.pdf> (Erişim Zamanı Ocak 7, 2022).
- [63] E. Özkan, "Kaynak sonrası S355J2N yapı çeliğinde oluşan gerilmeleri gidermek için uygulanan ısıtıl işlemin etkilerinin tahribatlı-tahribatsız muayene yöntemleriyle belirlenmesi" Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, 2019.
- [64] Y.S. Ceran, "Sinerjik darbeleri akım üreteçli gazaltı kaynak makinalarında farklı kaynak parametreleri ile elde edilen kaynaklı bağlantıların mikroyapı ve

mekanik özelliklerinin incelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Enstitüsü, Konya,2019.

- [65] CSGB, URL: <https://www.csgeb.gov.tr/asgari-ucret/asgari-ucret-2022/> (Erişim Zamanı Şubat 2, 2022).
- [66] Hepsiburada, URL: <https://www.hepsiburada.com/kolarc-m-500-w-pulse-rapid-gazalti-mig-ortulu-elektrod-mma-ve-tig-kaynak-makinasi-p-HBCV000006LCIH> (Erişim Zamanı Şubat 2, 2022).
- [67] Hepsiburada, URL: <https://www.hepsiburada.com/nuris-mig-mag-550w-rws-gaz-alti-kaynak-makinesi-p-hbv00000o8pj4> (Erişim Zamanı Şubat 2, 2022).
- [68] Hepsiburada, URL: https://www.hepsiburada.com/karbosan-115x3-0-metal-kesme-tasi-pm-hratrkar10910?ds_rl=1294343&wt_gl=cpc.6822.dsa.nelk.yapi-market-elektrikli-alet-el-aletleri&isFashion=true&ds_rl=1294343&gclid=Cj0KCQiAxoiQBhCRARIsAPsvo-xDNfybAuLG9Vz_h4zeoh_-OPG2SP_-PwWua_GLmR-AARLPPvPABAAg3bEALw_wcB&gclsrc=aw.ds (Erişim Zamanı Şubat 2, 2022).
- [69] Encazip, URL: <https://www.encazip.com/elektrik-fiyatlari> (Erişim Zamanı Şubat 2, 2022).
- [70] Hepsiburada, URL: <https://www.hepsiburada.com/terlans-capak-onleyici-kaynak-sivisi-5-kg-anticorrosive-pm-HB00000DBCI2> (Erişim Zamanı Şubat 2, 2022).

Konferans Bildirileri

1. B.Eleman, A.Karaaslan “Comparison of Macrostructure and Mechanical Properties of Welding Seams as a Result of S355 Quality Steel Welded by New Generation (Inverter) and Traditional MIG/MAG Welding Machines” Uluslararası Lisansüstü Çalışmalar Kongresi, 17-20 Haziran 2021.

