

**T.C.
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**ROBOTİK KAYNAK UYGULAMALARINDA RUTİL VE METAL ÖZLÜ
TELLER KULLANILARAK YAPILAN BİRLEŞTİRMELERİN MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Özkan MÜNÜKLÜ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Makine Mühendisliği Programı

AĞUSTOS-2021

**T.C.
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**ROBOTİK KAYNAK UYGULAMALARINDA RUTİL VE METAL ÖZLÜ
TELLER KULLANILARAK YAPILAN BİRLEŞTİRMELERİN MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Özkan MÜNÜKLÜ
(181222014)**

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Makine Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Dr. Tuba KARAHAAN

AĞUSTOS-2021

TEZ ONAYI BURAYA YAZILACAK



YEMİN METNİ

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum “**Robotik Kaynak Uygulamalarında Rutil ve Metal Özlü Teller Kullanılarak Yapılan Birleştirmelerin Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması**” adlı tezin çalışmanın proje safhasından sonuçlanmasına kadarki bütün süreçlerde bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurulmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin Bibliyografya’da gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve onurumla beyan ederim. (11/08/2021)

Özkan MÜNÜKLÜ

ÖNSÖZ

‘‘Dünyada her şey için, medeniyet için, hayat için, başarı için en gerçek yol gösterici ilimdir, fendir. İlim ve fennin dışında yol gösterici aramak gaflettir, cahilliktir, doğru yoldan sapmaktır. Yalnız ilmin ve fennin yaşadığımız her dakikadaki safhalarının gelişimini anlamak ve ilerlemeleri zamanında takip etmek şarttır. Bin, iki bin, binlerce yıl önceki ilim ve fen lisanının koyduğu kuralları, şu kadar bin yıl sonra bugün aynen uygulamaya kalkışmak, elbette ilim ve fennin içinde bulunmak değildir.’’

M.K. ATATÜRK

Bu yüksek lisans tez çalışması okula gitmeden önce bana okuma, yazma, matematik ve fen bilimlerini öğreten rahmetli babam Ali MÜNÜKLÜ’ye ithafen yazılmıştır.

Bu yüksek lisans tez çalışmamda tez danışmanlığımı büyük bir memnuniyetle kabul eden ve pandemi süreci (Covid 19) boyunca kahrımı çeken ve tezimi gerçekleştirmem konusunda beni yönlendiren, bilgilendiren, testlerim için yer ve mekân arayışına giren ve her daim yanımda olan ve büyük emeği geçen başta kıymetli hocam olmak üzere Dr. Tuba KARAHAN’a, sonsuz şükran ve teşekkürlerimi sunuyorum.

Kaynaklı imalatımı ve testlerimi yapabilmem konusunda gerekli envanter, ekipman, doküman ve malzeme konusunda büyük destek veren Gedik Kaynak’a, çentik darbe, makro-mikro, sertlik, kaynaklı imalat, çekme testi ve ilgili testlerimi gerçekleştiren ve pandemi süreci boyunca büyük kahrımı çeken çok kıymetli Gedik Kaynak Ar-Ge Merkezi çalışanlarına sonsuz şükran ve teşekkürlerimi sunuyorum.

Bu tez çalışmamda hayattaki en büyük destekçim olan başta sevgili annem Hacer MÜNÜKLÜ’ye, sevgili dayılarım; İrfan MÜNÜKLÜ’ye, Uzun Hasan MÜNÜKLÜ’ye, amcalarım; Nusret MÜNÜKLÜ’ye, Haydar MÜNÜKLÜ’ye ve Ali Rıza MÜNÜKLÜ’ye sonsuz teşekkürlerimi iletiyorum.

Ağustos 2021

Özkan MÜNÜKLÜ
Uluslararası Kaynak Mühendisi
Makine Mühendisi

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	ii
KISALTMALAR	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
ÖZET	xi
ABSTRACT	xiii
1.GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Konusu	1
1.2 Tezin Amacı	1
1.3 Hipotez	1
2. KAYNAK TEKNOLOJİSİ	3
2.1 Kaynağın Tarihsel Gelişimi	3
2.2 Kaynak Teknolojisinin Günümüz Endüstrisindeki Yeri	8
2.3 Türkiye’de Kaynak Teknolojisinin Gelişimi	14
3. ENDÜSTRİYEL ROBOTLAR	18
3.1 Endüstriyel Robot Teknolojisi	18
3.2 Kaynaklı İmalatta Endüstriyel Robot Teknolojisi.....	23
3.2.1 Nokta direnç kaynağı	23
3.2.2 Ark kaynağı.....	24
3.2.2.1 Robotlarda ark kaynağı donanımları	24

3.2.2.2: Ar kaynağı robotunda olması gereken özellikler	26
3.3 Robotlu Kaynakta Çalışma Eğitimi	28
4. KAYNAK YÖNTEMLERİ	31
4.1 Ark Kaynağı	31
4.1.1 Gaz altı kaynak yöntemleri	33
4.1.2 Elektrik ark kaynak yöntemi	34
4.1.3 Tozaltı kaynak yöntemi	35
4.2 Diğer Kaynak Yöntemleri	36
5. GAZ ALTI KAYNAK YÖNTEMLERİ (MIG/MAG/TIG)	39
5.1 MIG/MAG Kaynak Yöntemi	39
5.1.1 MIG/MAG kaynağında kullanılan donanım türleri	42
5.1.1.1 Kaynak torçları	43
5.1.1.2 Elektrot besleme ünitesi	45
5.1.1.3 Kaynak kontrolü	46
5.1.1.4 Güç üniteleri	47
5.1.1.5 Koruyucu gaz regülatörleri	48
5.1.1.6 Elektrot ünitesi	49
5.2 TIG Kaynak Yöntemi	49
6. MIG/MAG KAYNAĞINDA TÜKETİLEN SARF MALZEMELER	51
6.1 Masif Tel Elektrotlar ve Üretim Şekilleri	51
6.2 Özlü Tel Elektrotlar ve Üretim Şekilleri	52
6.2.1 Rutil özlü teller	54
6.2.2 Bazik özlü teller	55
6.2.3 Metal özlü teller	55
6.3 MIG/MAG Kaynağında Kullanılan Koruyucu Gazlar	56
6.3.1 Soy gazlar (Inert Gazlar)	56
6.3.1.1 Argon	56
6.3.1.2 Helyum	57
6.3.2 Aktif gazlar	58
6.3.2.1 Karbondioksit	58

6.3.3 Karışım gazlar	59
6.3.3.1 Helyum-argon karışımları	59
6.3.3.2 Argon-karbondioksit karışımları	59
6.3.3.3 Argon-helyum-karbondioksit veya oksijen karışımları	60
7. KAYNAKTA MUAYENE YÖNTEMLERİ	62
7.1 Tahribatsız Muayeneler	62
7.1.1 Görsel muayene	62
7.1.2 Manyetik partikül testi	63
7.1.3 Radyografik muayene	63
7.1.4 Sıvı penetrant testi	63
7.1.5 Ultrasonik muayene	64
7.2 Tahribatlı Muayeneler	64
7.2.1 Sertlik deneyi	65
7.2.2 Metalografik (Makro-Mikro) inceleme	65
7.2.3 Çekme deneyi	66
7.2.4 Çentik darbe deneyi	67
8. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	68
8.1 Rutil ve Metal Özlü Telin Kaynağında Kullanılan Sarf Malzemelerin Özellikleri	68
8.1.1 Ana malzeme (S355J2+N)	68
8.1.2 Kaynak esnasında kullanılan özlü tel elektrotlar	70
8.1.2.1 S355J2+N kaynağında kullanılan rutil özlü telin özellikleri	70
8.1.2.2 S355J2+N kaynağında kullanılan metal özlü telin özellikleri	71
8.1.2 S355J2+N kaynağında kullanılan koruma gazları	72
8.2 Kullanılan Kaynak Makinası	72
8.3 Kaynak İşlemlerinin Yapılması	73
8.3.1 Kaynak test parçasının kaynak öncesi hazırlığı	73
8.3.2 Rutil özlü tel kaynağında kullanılan parametreler	74
8.3.3 Metal özlü tel kaynağında kullanılan parametreler	77
9. NUMUNELERİN HAZIRLANMASI VE SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	81

9.1 Görsel Muayenenin Hazırlığı ve Sonuçların Değerlendirilmesi.....	81
9.2 Çekme Deneyi Hazırlığı ve Sonuçların Değerlendirilmesi.....	83
9.3 Çentik Darbe Testi Hazırlığı ve Sonuçların Değerlendirilmesi	91
9.4 Makro ve Mikro Yapının Hazırlığı ve Sonuçların Değerlendirilmesi	96
9.5 Sertlik Testinin Hazırlığı ve Sonuçların Değerlendirilmesi.....	104
9.6 Malzeme Yığılma Miktarının Hesaplanma Hazırlığı ve Sonuçların Değerlendirilmesi.....	110
9.7 Kaynak Hızının ve Akımın Isı Girdisi Üzerindeki Etkisi	111
10. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER	113
10.1 Genel Sonuçlar	113
10.2 Öneriler	115
KAYNAKÇA	116
ÖZGEÇMİŞ.....	120

KISALTMALAR

A	: Akım
Ar	: Argon
CO₂	: Karbondioksit
DC	: Doğru Akım
EN	: Avrupa Standardı
He	: Helyum
HV	: Vickers Sertlik
ISO	: Uluslararası Standart
ITAB	: Isı Tesiri Altındaki Bölge
MIG	: Metal Inert Gaz
MAG	: Metal Aktif Gaz
TS	: Türk Standardı
TIG	: Tungsten Inert Gaz

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

ÇİZELGE 2. 1: Yıllara göre kaynak tekniğinin gelişimi (SELAHADDİN ANIK, E.SABRİ ANIK, MURAT VURAL, 1993).....	6
ÇİZELGE 8. 1: S355J2+N kimyasal bileşimi (%) (EN10025-2)	69
ÇİZELGE 8. 2: S355J2+N mekanik özellikleri (EN10025-2).....	69
ÇİZELGE 8. 3: Rutil özlü telin kimyasal bileşimi (%AĞIRLIK) (TS EN ISO 17632-A)	70
ÇİZELGE 8. 4: Rutil özlü telin mekanik özellikleri (TS EN ISO 17632-A)	70
ÇİZELGE 8. 5: Metal özlü telin kimyasal bileşimi (%AĞIRLIK) (TS EN ISO 17632-A)	71
ÇİZELGE 8. 6: Metal özlü telin mekanik özellikleri (TS EN ISO 17632-A)	71
ÇİZELGE 8. 7: Rutil özlü tel için kaynak öncesi standartlara uygun olarak yapılan hazırlıklar	74
ÇİZELGE 8. 8: Rutil özlü tel için kaynak detay ve parametreleri	76
ÇİZELGE 8. 9: Metal özlü tel için kaynak öncesi yapılan hazırlıklar	78
ÇİZELGE 8. 10: Metal özlü tel için kaynak detay ve parametreleri.....	79
ÇİZELGE 9. 1: Rutil özlü telin kaynak bileşiminin spektrometre yöntemiyle yapılan kimyasal analizi (% Ağırlık).....	82
ÇİZELGE 9. 2: Metal ölü telin kaynak bileşiminin spektrometre yöntemiyle yapılan kimyasal analizi (%Ağırlık).....	82
ÇİZELGE 9. 3: Sarf malzemelere ait akma ve kopma mukavemet değerleri.....	88
ÇİZELGE 9. 4: Rutil ve metal özlü tele ait ortalama çentik darbe test sonuçları (JOULE)	93
ÇİZELGE 9. 5: Rutil özlü telin sertlik değerleri	106
ÇİZELGE 9. 6: Metal özlü telin sertlik değerleri	107
ÇİZELGE 9. 7: Rutil ve metal özlü tele ait kaynak öncesi ve sonrası test parçalarının ağırlıkları	110

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

ŞEKİL 2. 1: Döküm ve demirci kaynaklarıyla oluşturulmuş, bronz kap M.Ö. 80 (LEFKOŞA MÜZESİ) (GEV, IIW NO:1.1, 2009)	4
ŞEKİL 2. 2: Filigran tekniğiyle kaynak edilmiş küpeler (ROMA ULUSAL MÜZESİ) (GEV, IIW NO:1.1, 2009).....	4
ŞEKİL 2. 3: Demirci kaynağı (GEV, IIW NO:1.1, 2009)	5
ŞEKİL 2. 4: Karbon arki ile yapılan birleştirme amaçlı kaynak uygulamaları (ERKAN, K. 2014)	7
ŞEKİL 2. 5: Çıplak tel arki ile yapılan birleştirme amaçlı kaynak uygulaması (ERKAN, K. 2014).....	7
ŞEKİL 2. 6: Örtülü elektrot arki ile yapılan kaynak uygulaması (ASKAYNAK TEKNİK EĞİTİM EL KİTABI) 8	
ŞEKİL 2. 7: Gelecekte dalga enerjisi sayesinde enerjinin üretilmesi (URL-1, 2021).....	10
ŞEKİL 2. 8: Gemi gövdesinin kaynağı (URL-2, 2021)	11
ŞEKİL 2. 9: Denizaltı (URL-3, 2021)	12
ŞEKİL 2. 10: Sualtı kaynağı (URL-4, 2021)	12
ŞEKİL 2. 11: 1937’de Tülomsaş’ta açılışı yapılan kaynak okulu (GEV, IIW NO: 1.1, 2009)	15
ŞEKİL 2. 12: Kaynakçılara kısa süreliğini verilen kaynak kursu (GEV, IIW NO: 1.1, 2009).....	15
ŞEKİL 2. 13: Türkiye’de kaynak teknolojisi alanında ilk doktora tezi (GEV, IIW NO: 1.1, 2009)	16
ŞEKİL 2. 14: Türkiye’de 1970’li ve 1980’li yıllarda kullanılan tahribatsız yöntem cihazları (GEV, IIW NO: 1.1, 2009).....	17
ŞEKİL 2. 15: Türkiye’de kaynak teknolojisi ile ilgili yapılan ilk sempozyum (GEV, IIW NO: 1.1, 2009) .	17
ŞEKİL 3. 1: Çalışma hacimleri için robot anatomileri a) kısmen küresel hacim, b) silindirik hacim, c) dikdörtgen hacmi (SELAHATTİN Y, TOLGA M, 2003)	19
ŞEKİL 3. 2: Stanford kolu (URL-5, 2021)	20
ŞEKİL 3. 3: Otomotiv sektöründe kaynak yapan robotlar (URL-6, 2021).....	21
ŞEKİL 3. 4: Kuka IBR IIWA 14 R820 modeli (URL-7, 2021)	21
ŞEKİL 3. 5: Endüstriyel robotların mekanik yapılarına göre sınıflandırılması (SELAHATTİN Y, TOLGA M, 2003).....	22
ŞEKİL 3. 6: Robotik kaynak donanımı (SELAHATTİN Y, TOLGA M, 2003)	25
ŞEKİL 3. 7: Ark kaynak robotu (URL-8, 2021)	27
ŞEKİL 3. 8: Robotik kaynak eğitimi (URL-9, 2021)	29
ŞEKİL 3. 9: Çevrimdışı robotlu kaynak eğitimi yazılımının ara yüzü (SAVAŞ D, DİDEM T, MUSTAFA K, 2015).....	30

ŞEKİL 4. 1: Ark içinde oluşan akım (URL-10, 2021).....	31
ŞEKİL 4. 2: Ark kaynağı (URL-11, 2021)	32
ŞEKİL 4. 3: Elektrik ark kaynağı (URL-12, 2021)	35
ŞEKİL 4. 4: Tozaltı kaynak prensibi (URL-13, 2021)	36
ŞEKİL 4. 5: Demir yolu raylarının termit yöntemiyle birleştirilmesi (URL-14, 2021).....	37
ŞEKİL 4. 6: Lazer ışınının kaynak torcunun şematik gösterimi (URL-15, 2021).....	38
ŞEKİL 5. 1: MIG/MAG kaynak makinası (URL-16, 2021)	40
ŞEKİL 5. 2: MIG kaynağında torca verilen eğim açıları (URL-17, 2021)	42
ŞEKİL 5. 3: MIG/MAG kaynak donanımı (URL-18, 2021)	42
ŞEKİL 5. 4: MIG/MAG kaynak makinasının torç yapısı (BARLAS E, 2007)	43
ŞEKİL 5. 5: 4 Makaralı tel sürme tertibatı (BARLAS E, 2007)	46
ŞEKİL 5. 6: Sabit akımlı güç ünitesinde akım-gerilim ilişkisi (BARLAS E, 2007)	47
ŞEKİL 5. 7: TIG kaynak torcunun şematik gösterimi (URL-19, 2021)	50
ŞEKİL 6. 1: MIG/MAG kaynağında kullanılan kaynak teli (URL-20, 2021).....	52
ŞEKİL 6. 2: Özlü telin üretim detayı (GEV, IIW NO:1.8.2, 2012)	53
ŞEKİL 6. 3: Birbirinden farklı özlü elektrotların enine kesiti (OSMAN Ç, 2013)	54
ŞEKİL 7. 1: Farklı şekilde çıkarılmış kaynak test parçaları (TÜRK LOYDU, 2015).....	66
ŞEKİL 8. 1: Test parçasının v-kaynak ağızı	69
ŞEKİL 8. 2: Kaynak test parçasının v-kaynak ağız görünümü.....	70
ŞEKİL 8. 3: Kaynakta kullanılan rutil özlü telin etiket bilgileri.....	71
ŞEKİL 8. 4: Kaynakta kullanılan metal özlü telin etiket bilgileri	72
ŞEKİL 8. 5: A) Manipülatör, B) MAG kaynak makinasının görünümü	73
ŞEKİL 8. 6: Test parçasının aparatlarla sabit tutturulması.....	74
ŞEKİL 8. 7: V-kaynak ağız geometrisine sahip test numunesinin şematik gösterimi.....	75
ŞEKİL 8. 8: Rutil özlü telin kaynağı esnasında bir görüntü.....	77
ŞEKİL 8. 9: Pasolar arası ve son kaynak dikişinin görünümü	77
ŞEKİL 8. 10: V-kaynak ağız geometrisine sahip test numunesinin şematik gösterimi	78
ŞEKİL 8. 11: Metal özlü telin kaynağı esnasında bir görünümü.....	80
ŞEKİL 9. 1: Rutil ve metal özlü tel kaynak numunelerin görüntüsü.....	82
ŞEKİL 9. 2: Çekme deneyi numunesi (GÜNNUR, D. 2013).....	83
ŞEKİL 9. 3: Çekme test numuneleri	84
ŞEKİL 9. 4: Çekme test cihazı	84
ŞEKİL 9. 5: Çekme testi esnasında bir görüntü.....	85
ŞEKİL 9. 6: Rutil özlü tele ait çekme test sonuçları.....	86
ŞEKİL 9. 7: Metal özlü tele ait çekme test sonuçları.....	87
ŞEKİL 9. 8: Rutil özlü telin çekme testi sonucunda test numunesinin görüntüsü	88
ŞEKİL 9. 9: Metal özlü telin çekme testi sonucunda test numunesinin görüntüsü	89
ŞEKİL 9. 10: Çentik deney şekli (URL-21, 2021)	91

ŞEKİL 9. 11: Çentik test numuneleri	92
ŞEKİL 9. 12: Çentik deneyinde kullanılan test cihazı	92
ŞEKİL 9. 13: Test numunelerini -30°C, -40°C VE -50°C'ye soğutulması.....	93
ŞEKİL 9. 14: Rutil ve metal özlü tel kaynağının çentik darbe testi sonrası numune görüntüleri	94
ŞEKİL 9. 15: Rutil ve metal özlü telin çentik darbe enerji grafiği	95
ŞEKİL 9. 16: Makro ve mikro yapı hazırlığı öncesi numune parçası	97
ŞEKİL 9. 17: Zımparalama ve parlatmada kullanılan cihaz	97
ŞEKİL 9. 18: Dağlama sonrası rutil ve metal özlü telin test parçalarının görünümü.....	98
ŞEKİL 9. 19: Stereo mikroskoptan makro görüntülerin alınması.....	98
ŞEKİL 9. 20: Rutil özlü tel kaynağının makro yapı görüntüsü A) Ana metal, B) Itab, C)Kaynak	99
ŞEKİL 9. 21: Metal özlü tel kaynağının makro yapı görüntüsü, A) Ana metal, B) Itab, C)Kaynak	99
ŞEKİL 9. 22: Işık metal mikroskobunda mikro yapı görüntülerin alınması	100
ŞEKİL 9. 23: Rutil özlü telin kaynağında kullanılan test parçasının (BM) mikro yapı görüntüleri	101
ŞEKİL 9. 24: Rutil özlü tel kullanılarak elde edilen ısı tesiri altında kalan bölgenin (ITAB) mikro yapı görüntüleri	101
ŞEKİL 9. 25: Rutil özlü tel kullanılarak elde edilen kaynak metalinin (WM) mikro yapı görüntüleri ..	101
ŞEKİL 9. 26: Metal özlü telin kaynağında kullanılan test parçasının (bm) mikro yapı görüntüleri	102
ŞEKİL 9. 27: Metal özlü tel kullanılarak elde edilen ısı tesiri altında kalan bölgenin (ıtab) mikro yapı görüntüleri	102
ŞEKİL 9. 28: Metal özlü tel kullanılarak elde edilen kaynak metalinin (wm) mikro görüntüleri.....	103
ŞEKİL 9. 29: Sertlik testinde kullanılan test cihazı	105
ŞEKİL 9. 30: Rutil özlü tel için sertlik değerlerinin alındığı noktalar	105
ŞEKİL 9. 31: Metal özlü telin sertlik değerlerinin alındığı noktalar	107
ŞEKİL 9. 32: Rutil ve metal özlü tele ait sertlik grafiği	108

ROBOTİK KAYNAK UYGULAMALARINDA RUTİL VE METAL ÖZLÜ TELLER KULLANILARAK YAPILAN BİRLEŞTİRMELERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

ÖZET

Kaynak, metal veya plastik malzemeyi basınç veya sıcaklık altında dışarıdan malzeme katarak ya da eklemeyerek yapılan birleştirme işlemine denir. Kaynak düşüncesinin ilk olarak Amerika ve Rusya'da karşımıza çıktığını görmekteyiz. 1880-1885 yılları arasında Amerika'da Coffin, Rusya'da ise Bernardo tarafından karbon elektrot kullanılarak ilk metal birleştirilmiştir. 1890-1892 yıllarına gelindiğinde ise çıplak telle metal ark kaynağı yapılmış olup kaynak teknolojisinde hızlı bir ilerlemenin önu de açılmıştır. Kaynak teknolojisinin asıl gelişiminin 2. Dünya Savaşında geliştiğini söylemek yanlış olmaz. Çünkü 19. yy'da karbon ve metal ark kaynağı havaya maruz kaldığından dolayı kaynaklı yapıda gözenekler oluşmaktaydı ve böylelikle kaynaktaki çatlaklar ve kırılmalar meydana gelmekteydi. Bu yüzden 2. Dünya Savaşında kaynak teknolojisinde ileri adımlar atılmıştır. Günümüzde ise ark kaynağından sonra en çok kullanılan MIG, MAG ve TIG kaynak yöntemleri göze çarpmaktadır. Bu kaynak yöntemlerinin her birinin kullanım alanı birbirinden farklıdır. MIG (Metal Inert Gaz) aktif olmayan (Argon, Helyum) gaz kullanılarak daha çok paslanmaz, alüminyum gibi parçaların kaynağında tercih edilen bir yöntemdir. MAG (Metal Active Gaz) aktif gaz kullanılarak (CO₂) daha çok alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklerin kaynağında kullanılır.

Günümüzde kaynak yönteminde kaynak edilecek parçalar için doğru kaynak tellerinin seçilmesi çok büyük önem taşımaktadır. Çünkü doğru kaynak telinin seçilmesi hem maliyet açısından hem de kaynak kalitesi açısından büyük önem taşımaktadır.

Bu yüksek lisans tez çalışmasında yapı çeliği olan S355J2+N kalite malzemenin MAG kaynak makinası ile yapılan rutil özlü tel (ELCOR R 71) ile metal özlü telin (ELCOR M 70) kaynağında ortaya çıkan mekanik özellikler ve makro-mikro yapıları birbiri ile kıyaslanarak analizi incelendi.

Çalışma öncesi birçok yüksek lisans tezi, makale, ilgili test değerlendirme standartları ve bilimsel yayın konuşmaları ve sempozyumlar incelenmiştir. Çalışmamızı yapacağımız bu yüksek lisans tez konusunda yapılan literatür (tezler, makaleler...) araştırmalarında benzer bir çalışma görülmemiştir. Sadece benzer çalışmalar yapıldığı tespit edilmiştir.

Bu çalışmadaki ilgili numuneler standartlara uygun olarak hazırlanmış ve değerlendirmeler de uygun standartlara göre yapılmıştır. Analizlerde çekme testi,

sertlik testi, çentik darbe testi, görsel muayene, makro-mikro yapı ve metal yığma miktarlarının kıyaslanması yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: *Robotik MAG Kaynağı, Rutil zlı Tel, Metal zlı Tel, S355J2+N*



**RUTILE AND METAL CORE IN ROBOTIC WELDING APPLICATIONS
COMPARISON OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF JOINTS MADE
USING WIRES**

ABSTRACT

Welding is the process of joining two metals or thermoplastic materials by heating pressure them with or without adding a material. We see that the idea of source first appeared in America and Russia. In 1880-1885, the first metal was combined by using carbon electrodes by Coffin in the USA and Bernardo in Russia. When it comes to 1890-1892, metal arc welding was made with bare wire and a rapid progress was opened in welding technology. It would not be wrong to say that the real development of welding technology was developed in World War II. Because in the 19th century, due to the exposure of carbon and metal arc welding to air, pores were forming in the welded structure, and thus cracks and breaks occurred in the weld. Therefore, advanced steps were taken in welding technology in World War II. Today, after arc welding, the most widely used MIG, MAG and TIG welding methods stand out. The usage area of each of these welding methods is different from each other. MIG (Metal Inert Gas) is a preferred method for welding parts such as stainless and aluminum using inactive (Argon, Helium) gas. MAG (Metal Active Gas) is used mostly for welding unalloyed and low alloyed steels by using active gas (CO₂).

Today, choosing the right welding wires for the parts to be welded in the welding in the method is of great importance. Because choosing the right welding wire is of great importance in terms of both cost and welding quality.

In this master's thesis, the mechanical properties and macro-micro structures of Robotic MAG welded structural steel S355J2+N quality material using rutile cored wire (ELCOR R 71) and metal cored wire (ELCOR M 70) were compared with each other.

Before the study, many master's theses, articles, related test-evaluation standards and scientific publication speeches and symposia were examined. No same study was found in the articles and theses examined in this master thesis subject that we will do our study. It has been determined that only similar studies have been carried out.

The relevant samples in this study were in accordance with the standards and the standards and the evaluations were made according to the appropriate standards. In the analysis, tensile tests, hardness test, impact test, visual inspection, macro-micro examination and metal deposition amounts were applied.

Keywords: *Robotic MAG Welding, Rutile Core Wire, Metal Core Wire, S355J2+N*



1.GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Konusu

Günümüz kaynak teknolojisi sürekli gelişim kaydetmektedir. Kaynak birleşimlerinin daha iyi daha mukavim olması için kaynak telleri üzerinde çalışmalar sürmektedir. Özellikle son yıllarda özlü tellerin birçok avantajı bulunmasından dolayı özlü tellerle yapılan kaynak alanları son derece geniş yer tutmaktadır. Ayrıca son yıllarda maliyetin azaltılması ve daha kaliteli kaynak dikişlerinin yapılması için otomatik robotlu kaynak makinalarına geçilmiştir. Çalışmamızda robotik kaynak uygulamalarında rutil ve metal özlü kaynak telleri kullanılarak yapılan birleştirmelerin mekanik özelliklerinin karşılaştırılması yapılacaktır.

1.2 Tezin Amacı

Bu yüksek lisans tez çalışmasında S355J2+N kalite çelik parçasını iki farklı özlü tel elektrot olan rutil özlü (ELCOR R 71) ve metal özlü (ELCOR M 70) tellerinin robotik MAG kaynağında parametreler sabit kalmak şartıyla kaynakları yapılacak ve kaynakla ilgili testler (çekme, sertlik, çentik, makro ve mikro yapı) uygun standartlara göre yapılarak bu iki farklı özlü telin mekanik ve makro-mikro yapı özelliklerinin kıyaslanması gerçekleştirilecektir.

1.3 Hipotez

Günümüzde rutil ve metal özlü teller sundukları üstünlüklerinden dolayı kaynaklı imalatta çok tercih edilmektedirler. Sahip oldukları birçok mekanik özellikler ve kolay temin edilmelerinden dolayı diğer kaynak tellerinden ayrılmaktadırlar. Bu kaynak telleri daha çok piyasada yapı çeliklerinin kaynağında çok tercih edilmektedir. Bu çalışmamızda kullanılacak S355J2+N sacının kaynağında ana malzeme, kaynak

pozisyonu, tel çapı, kaynak hızı, kullanılan kaynak makinası, torç açısı gibi kaynak parametreler sabit tutularak rutil ve metal zlı tellerin mekanik ve makro-mikro özelliklerinin kaynağa uygunluğunu ve birbirine göre üstünlükleri araştırılacaktır.



2. KAYNAK TEKNOLOJİSİ

2.1 Kaynağın Tarihsel Gelişimi

İnsanoğlu milattan önce 1500 yıllarında, iki metali bir araya getirmek için parçaların sıcak veya soğuk halde çekiçleyerek birbirine kaynatmışlardır. Orta bronz devrinde dünyanın çeşitli müzelerinde demirci kaynağı ile yapılmış birçok örneklerine rastlanmaktadır. Batılı tarihçilere göre demirci kaynağının kullanımı milattan önce 1400 yıllarında Ön Asya’da kullanıldığını belirtmektedirler.

Ayrıca Mısır Firavunları dönemine bakıldığı zaman çok önemli metal işlerinde bu tarz birleştirmeler ve lehim bağlantılarının varlığı söz konusu olmaktadır. Tarihçilerin aynı düşüncede olduğu diğer bir konu ise, lehimleme yolu ile birleştirmenin demirci kaynağına göre çok daha eskilere dayandığıdır.

Metal işçiliğinin çok geliştiği bir diğer çağ ise Roma Çağı’dır. Bu çağda da birçok eser üstünde parçaların birbirine kaynatıldığı görülmektedir. Roma Çağında metal işçiliğine çok büyük bir önem verildiğini şuradan anlamaktayız; ateş tanrısı olarak bilinen Vulkan hem demir tanrısı hem de metal işçiliğinin de tanrısı olarak görülmektedir.

Daha sonra endüstrileşmenin etkisiyle bütün ülkelerde demirci kaynağı tarihe karışmıştır; daha sonra örs denilen dövme masası koleksiyon eşyaları arasında kendisine yer bulmuştur. Fakat kıyıda köşede kalmış teknolojinin uğramadığı yerler ve geri kalmış bölgelerde demirci atölyelerinde ve yarış hipodromlarının nalbant atölyelerinde hala görülmektedir. Kaynak yönteminin başlangıç ve endüstriyel uygulamalarına 19. yüzyılın ortalarında başlandığı görülmektedir. Özellikle oksijenin endüstriyel üretiminin yapılması, tamir işlerinde oksijen-asetilen kaynak yönteminin yaygınlaşmasında çok etkili olmuştur. Elektrik arkının 18. yüzyılının son çeyreğinde

Volta tarafında bulunmasına rağmen, bunun kaynakta kullanmak için 19. yüzyılın son yıllarını beklemek gerekmiştir. (Selahaddin Anık, E. Sabri Anık, Murat Vural, 1993). Şekil 2.1 ve Şekil 2.2’de milattan önce kaynak edilerek birleştirilen çeşitli süs eşyaları görülmektedir.

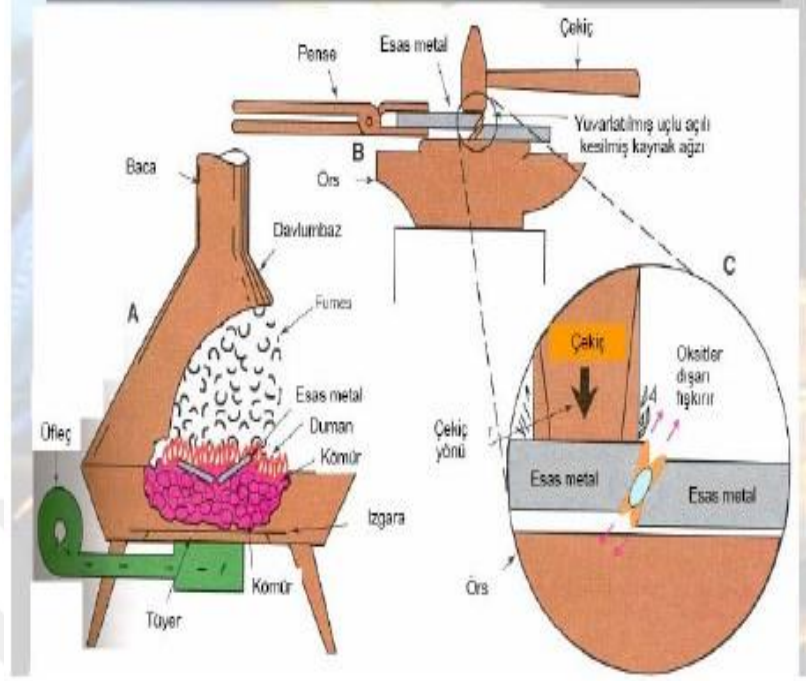


Şekil 2. 1: Döküm ve Demirci Kaynaklarıyla Oluşturulmuş, Bronz Kap M.Ö. 800 (Lefkoşa Müzesi) (GEV, IIW No:1.1, 2009)



Şekil 2. 2: Filigran Tekniğiyle Kaynak Edilmiş Küpeler (Roma Ulusal Müzesi) (GEV, IIW No:1.1, 2009).

Şekil 2.3'te çok eski dönemlerde kullanılan demirci kaynağının şematik yapısı görülmektedir.



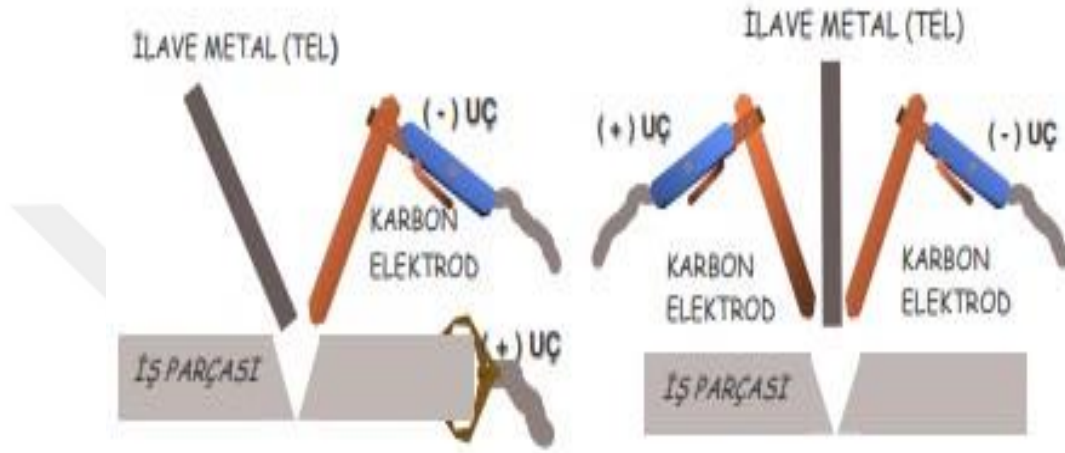
Şekil 2. 3: Demirci Kaynağı (GEV, IIW No:1.1, 2009)

Günümüzde ise gelişmemiş bölgelerde demirci kaynağına rastlamak mümkündür. Kaynak tekniğinin yıllara göre değişimi, Çizelge 2.1'de verilmiştir

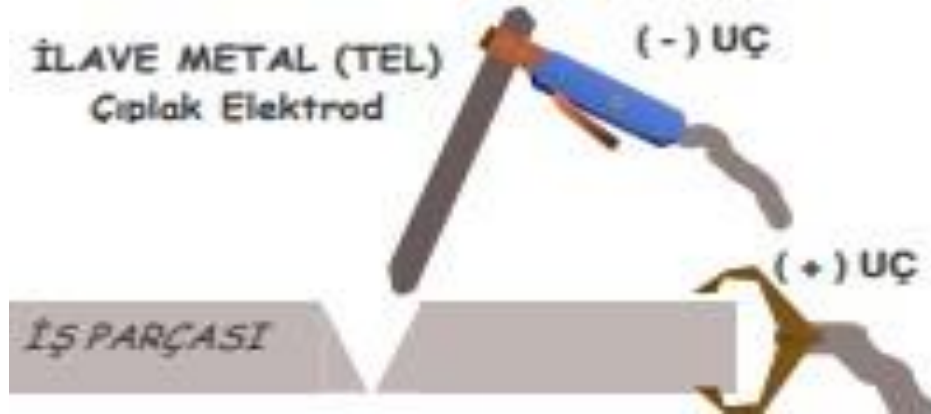
Çizelge 2. 1: Yıllara Göre Kaynak Tekniğinin Gelişimi (Selahaddin Anık, E.Sabri Anık, Murat Vural, 1993)

M.Ö 3000 Lehimleme- M.Ö 1000 Ocak kaynağı	
1890	-Karbon elektrotla kaynak -Elektrik direnç kaynağı -Tel elektrotla kaynak -Eriyen elektrotla kaynak
1900	-Havanın yoğunlaştırılması -Asetilenin asetonda eritilmesi -Kaynak üfleci (oksi-asetilen)
1910	-Örtülü elektrot
1920	-Oksijen ile kesme -Gazaltı Kaynağı
1930	-Tozaltı kaynağı
1940	-Soğuk basınç kaynağı -Sürtünme kaynağı -Ultrasonik kaynak
1950	-Plazma ile kesme -Elektron ışını ile kaynak -Difüzyon kaynağı
1960	-Plazma kaynağı
1970	-Lazer kaynağı -Kaynak robotları -Kaynak yönteminin otomasyonu
1980	-Kaynak robotlarının yaygın kullanılması
1990	-Özel yöntemlerin gelişimi

Günümüze yaklaştığımızda ise Amerika ve Rusya’da ilk önce kendisine uygulama alanı bulan kaynak düşüncesi, 1880-1885 yılları arasında Amerika’da Coffin adlı kişi ve Rusya’da ise Bernardo tarafında karbon olarak adlandırılan karbon elektrotlar kullanılarak ark sayesinde birleştirmeler gerçekleştirilmiştir. Şekil 2.4, Şekil 2.5 ve Şekil 2.6’da sırası ile karbon arkı, çıplak tel arkı ve örtülü elektrot arkla yapılan kaynak uygulamaları görülmektedir.



Şekil 2. 4: Karbon Arkı İle Yapılan Birleştirme Amaçlı Kaynak Uygulamaları
(Erkan, K. 2014)



Şekil 2. 5: Çıplak Tel Arkı İle Yapılan Birleştirme Amaçlı Kaynak Uygulaması
(Erkan, K. 2014)

Aynı şekilde 18. Yüzyılın son çeyreğinde ise Amerika’da Coffin ve Rusya’da Slavianoff çıplak tel metal ark yöntemini bulmuşlardır. Fakat bu yöntemin eksik tarafı ergimiş metal banyosunun çevrenin olumsuz şartlarından korunamıyor olmasıdır. Bu

nedenle oluşturulan kaynak metalinin mekanik ve makro yapısal özelliklerinin istenilen şartlarda olmamasına ve kötü olmasına neden olmaktadır. Günümüzdeki örtülü elektrot kaynağının buluşu İsveç’li Oscar Kjelberg tarafından ergimiş metal banyosunu çevrenin olumsuz şartlarından korumak için 1907 yılında örtülü elektrot yapması ile mümkün olmuştur. Hemen akabinde ise bir kimyager olan Arthur Stromenger tarafından 1909 yılında mavi asbestin kaynak telinin üzerini örtmesi ile yarı ark elektrodu üretmesi gelişmeleri daha da hızlandırmıştır (Erkan K, 2014).



Şekil 2. 6: Örtülü Elektrot Arkı İle Yapılan Kaynak Uygulaması
(Erkan, K. 2014)

2.2 Kaynak Teknolojisinin Günümüz Endüstrisindeki Yeri

MIG/MAG ve tozaltı kaynak yöntemleri günümüzde kendilerine en büyük gelişme imkânı bulmuş yöntemlerdir. Tam mekanizmaya örnek olarak tozaltı kaynak yöntemi verilebilir. Sadece kaynak teli yani ilave metal otomatik olarak kaynak bölgesine gelmemekle birlikte uygun donanımlar ile torç kafası ve iş parçası arasında senkronize bir şekilde hareket de sağlanmaktadır. Ayrıca ergime gücünün yüksek olması ve bu nedenden dolayı tozaltı kaynak yönteminin ekonomik yönden ortaya çıkması, ek olarak çoklu tel kombinasyonunun eklenmesi, sıcak ilave kaynak tellerinin verilmesi ve alışılmışın dışındaki kaynak tellerinin yerine band elektrotlarının kullanılması gibi yöntemleri ile elde edilmesi ve böylelikle kalitenin yükseltilmesi konusunda başarı sağlanmaktadır.

Ayrıca MIG ve MAG yönteminde ark kaynağının robotların kullanım ile gerçekleştirilmesi son derece geniş yer tutmaktadır. Fakat TIG kaynak yönteminde ark

kaynağı robotlarının kullanımı çok azdır. Bunun sebebi arkın yüksek frekanslı ateşlenmesi sonucunda robotun kumanda sistemini bozmaktadır. İlerleyen konularda MIG, MAG ve TIG kaynağından daha detaylı bahsedeceğiz.

Genellikle eskiden TIG kaynak yöntemi manuel olarak elle uygulanıyordu. Fakat aradan geçen uzun zaman zarfında TIG kaynak yöntemi son derece yüksek seviyede otomasyonel sisteme ulaşmıştır. Bundan dolayı kaynaktaki mekanik ve makro-mikro yapılarındaki yüksek kalite ve kaynak parametrelerinin (akım, tel hızı vb.) uygun bir şekilde ayarlanabilmesi ve rahat bir şekilde programlanabilmesi avantajlarına sahip olmasından dolayı, bugün TIG kaynak yöntemi çok daha hassasiyette doğruluk ve duyarlık isteyen alanlarda uygulanmaktadır. Buna örnek vermek gerekir ise reaktör inşa yapısı ve kimya alet-gereçleri gibi darbe tekniği ile hassas duyarlıktaki iş parçalarında veya daha çok zor pozisyonlarda doğru ısı verilmesine tam olarak imkân veren bir yöntem geliştirmiştir. Bu yöntem ile çapı 200mm'nin üstündeki boruların çevre dikişlerinin kaynağında uzaktan rahat bir şekilde kumanda edilebilen son derece hassas bir şekilde kaynak uygulanmaktadır.

Ayrıca, hala okyanuslar konusunda da yeteri kadar bilgiye sahip değiliz. Fakat sadece sahip olduğumuz bilgi yapmış olduğumuz araştırmalarımızın değerlerini doğrulayacak seviyededir. Bazı su altı buluşları; bugün yapılan araştırmalarının çoğunluğu sınırlandırdığı kıyı bölgelerindeki operasyonları, altın, kalay, magnetit ve elması ortaya koymuştur. Meksika körfezindeki, Güney Kaliforniya açıklarındaki ve Kuzey denizindeki petrol kuleleri en önemli su altı buluşlarının belirtisidir. Su altında dünya petrollerinin %50'sini oluşturmaktadır. Bugüne kadar bu petrolün tamamına ulaşamamıştır. Bugün bu kuyuları açma başarısını göstermemiz için, sahip olduğumuz teknoloji ve endüstriden daha da ileri bir endüstri ve teknolojiye sahip olmamız gerekiyor. Bu yapıldığı taktirde, tıpkı kara ve kıyılarda kuyu açmada olduğu gibi, kaynak teknolojisi yöntemiyle, derin sularda açılmayan bu kuyularda büyük rol oynayacaktır.

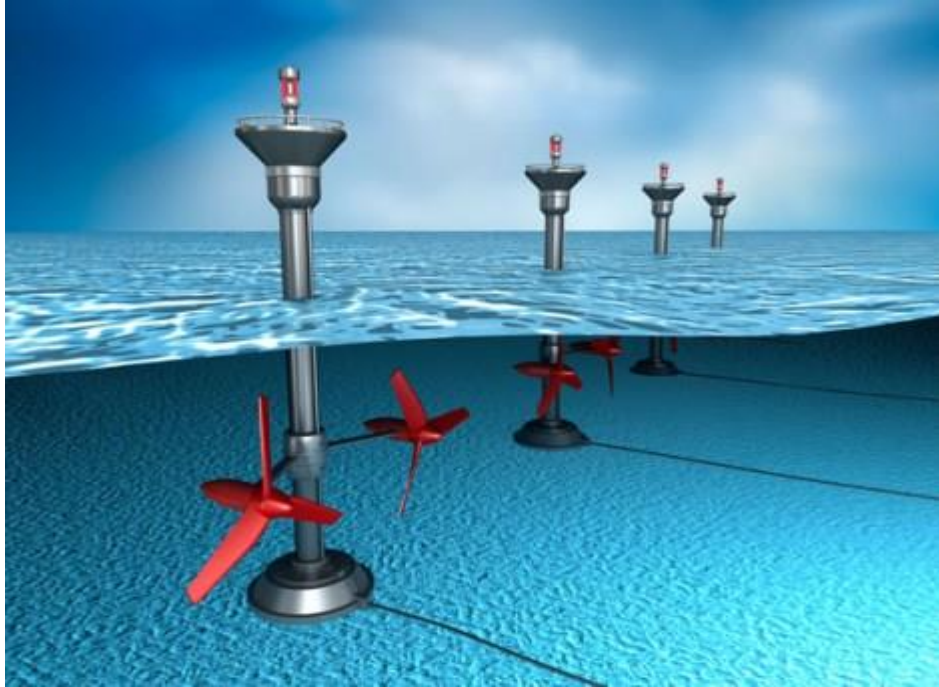
Okyanusların derinliklerinde hala el değmemiş büyük öneme sahip madenler yatmaktadır. Büyük bir ekonomik değere sahip manganez, pasifik okyanusun altında yatmaktadır. Özellikle manganez içeren cevherler demir bakımından zengin olduğu gibi, kobalt, nikel, molibden, çinko ve zirkonyum açısından da zengindir. Böyle bir su

altı maden dünyası, dünyanın ihtiyaçlarını bugün ki hızla birkaç bin yıl daha karşılayabilir.

Bütün kıta kıyılarının yağ, petrol ve sülfürce zengin olduğu bilinmektedir. Toplamda bulunan su hacmi 1.375 milyon km³'tür, bu suyun içerisinde yaklaşık olarak 15 milyon ton bakır, 20 milyon ton uranyum, 500 milyon ton gümüş, 10 milyon ton mangan ve 10 milyon ton altını içerdiği uzmanlar tarafından tahmin edilmektedir.

Bu kaynaklara ulaşmak ve çıkarıp işlemek için teknolojide ileri bir mesafeyi kat etmeyi gerektirmektedir. Fakat gelecek 10 yılda denizin en derin bölgelerine inilecek ve yaklaşık 6100 metre derinliğe ulaşacak denizaltı ya da başka türde ilginç araçlara sahip olunacaktır. Şekil 2.7'de gelecekte denizin dalga enerjisinden faydalanmak için geliştirilmiş enerji üreten tasarımlar görülmektedir.

Bu şu anlama geliyor, okyanusun derinliklerinin yüzde doksan beşini (%95) keşfetmek demektir. İyimser bir tahminle gelecek 20 yıl içerisinde, suyun 5500m derinliklerinde rahat bir şekilde yaşamlarımızı sürdürebileceğimiz düşünölmektedir.



Şekil 2. 7: Gelecekte Dalga Enerjisi Sayesinde Enerjinin Üretilmesi (URL-1, 2021)

Bu bahsedilen yerleri keşfedebilmek, yaşamak, araştırma yapabilmek ve başarmak için yeni metallere ve yepyeni gelişmiş projelere ihtiyacımız doğacaktır. Bu bahsedilenleri yapabilmemiz için gelişmiş teknolojileri üretip kullanmamız gerekebilir. Bununla ilgili örnek vermek gerekirse denizin derinliklerinin doğurduğu basınçtan korunmak için basınca dayanıklı gövdelere sahip her çeşit teknolojik denizaltı araç ve gereçlerine ihtiyacımız doğacaktır. Şekil 2.8’de görülen gemi gövdesinin kaynağı suyun yüksek basıncına dayanıklı olacak şekilde yapılır. Bu tarz basınçlara dayanıklı malzemeler olan camla mukavemeti artırılmış kompozit ürünlere ihtiyacımız olacaktır. Çünkü camla kuvvetlendirilmiş kompozit ürünlerin mukavemeti çok yüksektir.



Şekil 2. 8: Gemi Gövdesinin Kaynağı (URL-2, 2021)

Günümüzde bunun üstesinden gelebilmek; 3650 metre ile 5500 metre derinliklerinde basınca dayanıklı denizaltılarının üretimini yapabilmekten geçmektedir. Bunların sahip olduğu gövdelerin %50 ila %60 silindirik olması ve bunun yanında nükleer veya sıvı yakacak kullanılan tesislerin var olması gerekmektedir. Bu tarz teknolojik denizaltı araçlarının, yüksek mukavemetli çeliklerden, titanyum ve demire göre hafif olan alüminyumdan imal edileceği görülmektedir. Bu tarz ürünlerin istenmesindeki problemler ve birleştirme tekniği, bizleri yeni kaynakla yüz yüze getirmektedir.

Günümüz için okyanusların en derin geniş çaplı alanlarını araştırma yapabilmek, keşfedebilmek, madenleri çıkartıp işletebilmek ve en derin diplerinde işletme alanları yaratmak için gerekli teknolojik ve tekniği üretme fikri üretmek günümüz için imkansız görünmektedir. Fakat bu teknolojik araç ve cihazlar gelecekte mümkün hale gelecektir. Bunun üstesinden gelebilmek için yine metallere ihtiyaç duyulacaktır. Bu

vesileyle gelecekte kaynak teknolojisinden geniş çaplı faydalanılacaktır. Şekil 2.9’da deniz diplerini araştıran bir denizaltına ait bir görüntü görülmektedir.



Şekil 2. 9: Denizaltı (URL-3, 2021)

Şayet bahsedilen derinliklere inildiği takdirde, birçok teknolojik araçlarda da gelişim gösterecektir. Vakum pompaları, kompresörler, uzaktan kumandalı televizyonlar ve diğer iletişim araç ve cihazları büyük bir gelişme ve artış gösterecektir. Deniz diplerinde rahat bir şekilde yaşayabilmek için platformlar ve iş istasyonları, yaşayabilmek adına gerekli hava depoları ve her çeşit denizaltı araç gereçlerin imalatı gerçekleşecektir. Dünyanın nüfusu her geçen gün sürekli artmaktadır ve bu nüfus artışı ile birlikte çeşitli sorun ve problemleri beraberinde getirmektedir. Bu ortaya çıkan problemleri ve eksikleri kapatmak için birleştirme teknolojisi ve tekniğinde yeni fikir ve düşünce anlayışları ve reformcu yaklaşımlara ihtiyaç duyulacağı anlamına gelmektedir. Gelecekte kendisinden çok söz ettirecek Şekil 2.10’da bir sualtı kaynağı görülmektedir.



Şekil 2. 10: Sualtı Kaynağı (URL-4, 2021)

Kaynak tekniğinin İkinci Dünya Savaşı sonrası hızlı geliştiğini söyleyebiliriz. Bu dönemde kaynakla ilgili olarak, dünya milletleri arasında 1948 yıllarında ‘‘Uluslararası Kaynak Enstitüsü’’ (International Institute Of Welding IIW- Institut International de la Soudure MS) kurulmasına karar verilmiş ve bu yeni teknolojinin elde ettiği başarılar, çeşitli uzman kişilerin birbirleri ile iletişim halinde bulunmalarını temel ihtiyaç olarak doğurmuştur.

Uluslararası bir organizasyonun kurulması düşüncesi, Utrecht’de düzenlenen bir sempozyum konuşmasında 1947 yılında Hollandalılar tarafından dile getirilmiştir. Daha sonra ilk toplantı İngiliz Kaynak Enstitüsü tarafından ve başkanlığını M.J.L. Adam’ın yaptığı kaynak toplantısı yapılmıştır. Bu toplantıda sadece geçici olmak şartıyla bir komitenin kurulmasına karar verilmiş ve tasarlanan cemiyetin ilk yasalarını kurma yetkisi geçici olarak kurulan bu komiteye verilmiştir. Daha sonra Fransız Kaynak Enstitüsünün davetiyle Paris’te ve akabinde İsviçre Asetilen Topluluğunun daveti ile Bale’de toplantılar düzenleyen komite görevini geliştirmiştir. Ayrıca Belçika Ekonomi Bakanlığının himayesi altında 9 Haziran 1948 yılında, Belçika Kaynak Enstitüsünün davet etmesi ile Brüksel’de düzenlenen 2 günlük bir uluslararası toplantı sonucunda 13 devletin bulunduğu Uluslararası Kaynak Enstitüsü kuruldu. Bu işbirliğe katılan 13 devlet Belçika, İsviçre, İsveç, Hollanda, İtalya, Norveç, Fransa, İngiltere, Amerika Birleşik Devletleri, İspanya, Danimarka, Avusturya ve Kuzey Afrikadır.

Uluslararası Kaynak Enstitüsünün ikinci maddesi incelendiğinde; *“Enstitünün gayesinin tek veya başka bir organizasyonla ortak olarak, kaynağın bütün yöntemleriyle gelişmesini sağlamak”*, olduğunu dile getirmektedir. Enstitü bunu sağlamak için, kaynağın ilerlemesini kaydetmek için, hem kaynakta kullanılan ilkel metotların hem de kaynak malzemesinin gelişmesini hızlandıracak, teknik ve bilimsel bilgilerin alışverişini sağlayarak öğrenim ve araştırmaya katkı sağlayacaktır. Ayrıca Enstitü statüsünün önem verdiği durumlardan biri de şudur; Enstitünün ticari, endüstriyel işler ve mümessillik ve fiyat ücret gibi faaliyetlere girişmeyeceğini dile getirmektedir. Ayrıca Enstitü yeni fikir ve buluşlara destek vereceğini fakat herhangi bir firmanın ya da kuruluşun ticari çıkarlarına girişmeyeceğini ve desteklemeyeceğini belirtmektedir. Bunlar göz önüne alındığında Enstitünün iyi bir şekilde politikasını yürüttüğünü söyleyebiliriz. Ayrıca bu Enstitü Uluslararası Cemiyeti ile birlikte

çalışma yaparak kaynak teknolojisi ile ilgili standartlarını da düzenlemektedir (Selahaddin Anık, 1991).

2.3 Türkiye’de Kaynak Teknolojisinin Gelişimi

Kaynakla ilgili gelişmelerle ilgili Türkiye’ye baktığımızda kaynağın ilk defa Gölcük ve İstinye tersanelerinde 1920 yılında başladığı görülmüştür. Daha sonra Makine Kimya Endüstrisinde 1929 yılında kaynağın yapıldığı görülmüştür. Ayrıca 1930’lu yıllara gelindiğinde Sümerbank-Hereke Fabrikasında kaynağın yapıldığı görülmüştür. 1931 yılında ise Karayolları Merkez Atölyesinde, Eskişehir Hava İkmal Merkezinde 1933 yılında kaynağın yapıldığı görülmüş ve son olarak 1934 yılında ise Devlet Demir Yolları Eskişehir Fabrikasında kaynak işleminin yapıldığı görülmüştür. Türkiye’nin ilk kaynak ustaları çırak Ziya Altınışık ve ustası İbrahim Pekin’dir. Bu iki kaynak ustası kaynak teknolojisini Türkiye’de ilk kez uygulayan kişilerdir.

1937 yıllarında Devlet Demiryollarında kaynak konusunda Türkiye’de ilk planlı ve düzenli çalışmaya başlandığı görülmüştür. Bu Devlet Demiryollarının Eskişehir Fabrikası’nda doğru düzgün ve dağınık halde bulunan birkaç kaynak aleti, araç ve gereci vardı. Sonra bu tarihte kaynağa ait bağımsız bir kaynak atölyesi kuruldu ve bütün çırak ve ustaları buraya bağlanarak gerekli planlama yapılmıştır. Burada kaynakçılara eğitim vermek için Almanya’da Knoch isminde bir Alman kaynak uzmanı getirilmiştir. Bu Alman uzman kaynak eğitmenine yardımcı olarak da mühendis Nüvit Osmay bey tayin edilmiştir. Knoch Ağustos 1936 yılında Türkiye’ye gelmiş ve 1937 yılının Ağustos ayında ülkesine geri dönmüştür. Knoch memleketine dönünce bu grubun başına Nüvit bey atanmıştır. Nüvit Osmay bey aynı zamanda kaynakla ilgili genel eğitimini ve kaynak mühendislik stajyerliğini 1936-1937 yılları arasında Alman Devlet Demiryollarının atölyelerinde ve Wittenbergdeki Demiryol Kaynak Eğitim Enstitüsünde almıştır. Eskişehir Kaynak Şube Şefliği yapmıştır ve bu görevini 1947 yılına kadar sürdürmüştür. Nüvit Osmay bey Türkiye’ye sayısız kaynakçı yetiştirmiş bununla da kalmayıp kaynak tekniğine çok önemli hizmetler katmıştır. Bu hizmetlerinden biri de Elektrik Ark ve Oksi-Asetilen kaynakları konusunda 2 ciltlik kitap yazmış olmasıdır (Selahaddin Anık, 1991).

Kaynak personelinin eğitimi de 1937’de Tülomsaş’ta başlamıştır. Ayrıca Tülomsaş bünyesinde bir kaynak okulu kurulmuştur (GEV, IIW No: 1.1, 2009). Şekil 2.11’de Tülomsaş’ta açılışı yapılan kaynak okulu görülmektedir.



Şekil 2. 11: 1937’de Tülomsaş’ta Açılışı Yapılan Kaynak Okulu (GEV, IIW No: 1.1, 2009)

Kaynak teknolojisinin Türkiye’de doğru düzgün geliştiği tarih 1950’li yılların ortasıdır. 1951 yılında Teknik Üniversitelerin kendi eğitim öğrenim planı içerisine kaynak eğitimi koyulduğu görülmektedir. Ayrıca ilk kaynak kurslarını 1955 yılında Makine Malzemesi ve İmal Usulleri Enstitüsünün açtığı görülmektedir. Bu enstitüye baktığımızda aynı şekilde 1958 yılında Alman Kaynak Tekniği Topluluğunun esasları beyan alınarak Kaynak Mühendisliği kurslarını da açtığı görülmektedir (Selahaddin Anık, 1991).

İlk örtülü çubuk elektrot üretici firması 1957 yılında İstanbul’da kurulmuştur. Ayrıca bu şirket, Türkiye’nin her yerinde kaynakçılara kısa süreli olarak kaynak kursları vermiştir. Şekil 2.12’de kaynakçılara verilen eğitim görülmektedir.



Şekil 2. 12: Kaynakçılara Kısa Süreliğini Verilen Kaynak Kursu (GEV, IIW No: 1.1, 2009)

İkinci örtülü çubuk elektrot üretici firma Böhler Kaynak Elektrotları 1963 yılında Böhler Scheisstechnik Avusturya lisansı adı altında üretime başlamıştır.

1960'lı yıllarına gelindiğinde, Türk Standartları Enstitüsü (TSE), kaynakla ilgili ilk standartları yayınlamaya başlamıştır. Kaynakla ilgili neredeyse tüm standartlar, DIN standartların tercümesidir. Bu standartlar arasında kaynakçıların sertifikalanmasıyla ilgili olan DIN 8560 standardı TS 6868 olarak yayınlanmıştır. Fakat bu standart nadiren uygulama alanı bulmuştur. Fakat günümüzde kaynakçı sertifikasyonu TS EN ISO 9606-1'e göre yapılmaktadır.

Türk kaynak endüstrisi, 1960'lı ve 1970'li yılları arasında gelişmiştir. Ancak kaynakçılar, hemen hemen sadece Oerlikon ve Böhler kaynak elektrot fabrikalarında eğitim almışlardır.

Üçüncü örtülü elektrot üreticisi firması ise 1973 yılında kurulmuştur. Bu yıllardan itibaren bu üç elektrot üretici firması Türk kaynak pazarının üreticileri olmuşlardır.

Türkiye'de ilk kaynak teknolojisi alanındaki doktora tezi Prof. Dr. Selahaddin ANIK'ın yürütücülüğünde Yüksek Mühendis Kutsal TÜLBENTÇİ (1937-1992) tarafından 1971 yılında tamamlanmıştır (GEV, IIW No: 1.1, 2009). Şekil 2.13'de Türkiye'de kaynak alanında yapılan ilk doktora tezi görülmektedir.



Şekil 2. 13:Türkiye'de Kaynak Teknolojisi Alanında İlk Doktora Tezi (GEV, IIW No: 1.1, 2009)

Tezin konusu; elektrik ark kaynağında cürufun etüdü ve cürufun kalkmasına etki eden faktörlerin incelenmesidir.

Türkiye’de kaynak teknolojisi uygulamaları ciddi anlamda 1970’lerde ve 1980’lerde giderek artış göstermiştir. Bu yıllarda tahribatsız muayene yöntemleri de kaynaklı bağlantılara yaygın şekilde uygulanmıştır (GEV, IIW No: 1.1, 2009). İlerleyen konularda tahribatsız yöntemleri daha detaylı inceleyeceğiz. Şekil 2.14’de tahribatsız yöntemde kullanılan cihazlar görülmektedir.



Şekil 2. 14: Türkiye’de 1970’li ve 1980’li Yıllarda Kullanılan Tahribatsız Yöntem Cihazları (GEV, IIW No: 1.1, 2009)

1984 yılına gelindiğinde İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi, Türkiye’de ilk defa bir Ulusal Kaynak Sempozyumuna kaynak bilimi ve teknolojisi alanında uzman olan çok sayıda katılımcı katılmıştır. Sempozyumda 65 bilimsel çalışmanın sonuçlarını sunmuşlardır.

İkinci Kaynak Teknolojisi Sempozyumu, yine İstanbul Teknik Üniversitesi tarafında 1989 yılında düzenlemiştir (GEV, IIW No: 1.1, 2009). Şekil 2.1’de Türkiye’de kaynak alanında yapılan ilk sempozyum görülmektedir.



Şekil 2. 15: Türkiye’de Kaynak Teknolojisi İle İlgili Yapılan İlk Sempozyum (GEV, IIW No: 1.1, 2009)

3. ENDÜSTRİYEL ROBOTLAR

3.1 Endüstriyel Robot Teknolojisi

Birçok kaynakta robotun tanımı farklı şekilde yapılmaktadır.

1920 yılında Çek yazar Karel Capek kendi tiyatro oyununda ilk kez robot terimini kullanmıştır. Bu robot terimini kendi oyununda üretim tesislerinde çalışan yapay insanlar olarak lanse etmiştir. Türk Dil Kurumuna göre robot tanımı şu şekildedir; *“belirli bir işi yerine getirmek için manyetizma yöntemiyle kendisine çeşitli işler yaptırabilen otomatik araç”* olarak tanımlanmaktadır (Dilek K, Ümit B, 2019).

Robotun bir tanımı ise şöyle, bu tanım Amerikan Robot Enstitüsü tarafında şöyle tanınmaktadır; *“araçların, malzemelerin ve parçaların hareket ettirilebilmesi için tasarlanmış olan çok fonksiyonlu programlanabilir manipülatör veya farklı görevleri yerine getirmek için değişken programlı hareketleri gerçekleştirilebilen özel tasarlanmış araç”* olarak tanımlanmaktadır (Groover M, 1986).

Endüstri robotunun en geniş kapsamlı tanımı ve robot türlerinin sınıflandırılması ISO 8373 standardında gösterilmiştir. İlgili Standard da belirtilen robotun tanımı şu şekildedir: *“Endüstriyel uygulamalarda kullanılan, sabit veya hareketli olabilen, üç veya daha fazla programlanabilir eksene sahip, otomatik kontrollü, yeniden programlanabilir çok amaçlı manipülatördür.”*

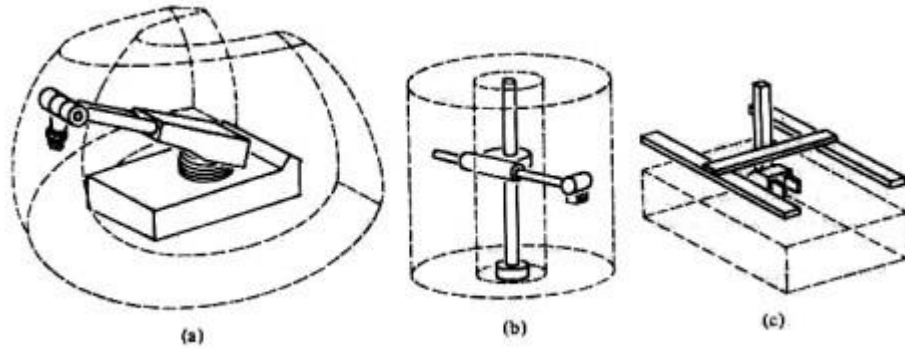
Açıklanan tanımdaki terimlerin anlamları aşağıda belirtildiği gibidir:

Yeniden programlanabilir: Yardımcı fonksiyonları veya programlanmış hareketleri fiziksel değişiklikler olmadan değiştirilebilen anlamına geliyor.

Çok amaçlı: Fiziksel değişikliklerle farklı bir uygulamaya uyarılma yeteneğidir.

Fiziksel değişiklikler: ROM'lar, programlama kasetleri vb. gibi değişikliklerin dışında sadece kontrol sisteminin ve mekanik yapının değiştirilebilmesi anlamına geliyor.

Eksen: Dönel veya lineer bir modda robot hareketini belirtmek için uygulanan bir yöntemdir. şekil 3.1'de incelendiği gibi fiziksel yapının, çalışma hacminin geometrisi üzerindeki etkisi görölmektedir. Çalışma hacmi kısmen küresel olan kutupsal koordinat robotudur. Silindirik koordinat robotunun ki ise silindiriktir. Kartezyen koordinat robotunun çalışma hacmi dikdörtgen prizmadır. Çalışma hacmi yaklaşık olarak küresel olan eklemli-kol robotudur. Bu kol uzuvları ve eklem hareketleri bir robotunun çalışma şeklinin hacmini etkilemektedir. Nedenine bakılınca bu robotun çalışma hacminin büyümesi kendisiyle birlikte bazı eksiklikleri getirmektedir. Bunlar ataleti, enerji tüketim verimi, robot fiyatının artmasını ve gerekli motor gücünün artmasına sebep olmaktadır (Selahattin Y, Tolga M, 2003).



şekil 3. 1: Çalışma Hacimleri İçin Robot Anatomileri a) Kısmen Küresel Hacim, b) Silindirik Hacim, c) Dikdörtgen Hacmi (Selahattin Y, Tolga M, 2003)

Ayrıca robot kolların modern imalat tarihi 1940'lı yılların sonlarından itibaren başladığı görölmektedir. Bu yıllarda servo kontrollü kollar, ilk olarak nükleer maddelerin taşınması sırasında teknisyenlerin korunması amacıyla kullanılmaya başlanan usta-köle robot kolu sistemleri ile bağlantılı olarak geliştirilmeye başlanmıştır (Sciliano ve Khatib, 2016).

Endüstriyel robotların ilk kullanımı ise 1954 yılında, mucit George Devol'ın programlanmış nesne taşınması üzerine aldığı patentle olmuştur. Ayrıca bu mühendisin girişimci Joseph Engelberger ile bir araya gelmesi ile de ilk endüstriyel

robot şirketi Unimation kurulmuştur. Firmanın ilk robotu ise 1961 yılında General Motors otomotiv fabrikasında, bir döküm makinasındaki parçaların yerinden çıkartılması amacıyla kullanılmaya başlanmıştır. Takip eden yıllarda hidrolikle hareket ettirilen Unimates robotların büyük çoğunluğu parça taşıma ve araç gövdesi punta kaynağı işlerinde kullanılmak üzere satılmıştır (Westerland, 2000).

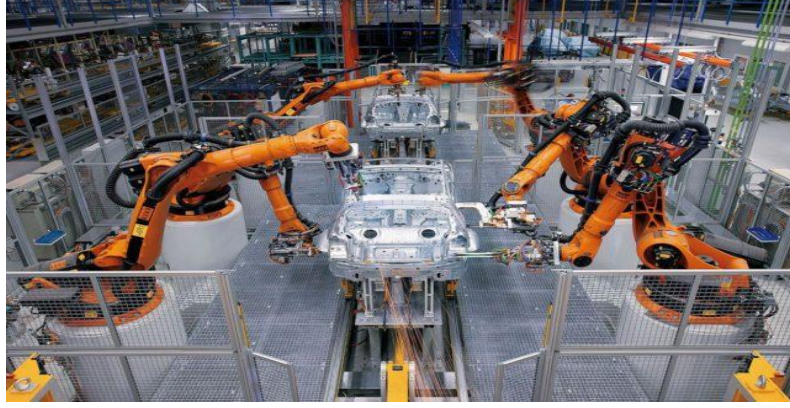
Endüstriyel robot konusundaki büyük atılımlardan birisi 1969 yılında Victor Scheinman tarafından bir araştırma prototipi olarak tasarlanan Stanford Kolu'dur. 6 serbestlik derecesine sahip, tamamen elektrikli bu robot kol, zamanının en ileri teknolojisi olan bir DEC PDP-6 bilgisayar ile kontrol edilmektedir. Bu robot kolun bir prizmatik, beş döner eklemden oluşan insansı olmayan kinematik yapısı robotun hareketi esnasında hesaplanması gereken robot kinematik denklem hesaplarının bilgisayar tarafından kısa sürede yapılmasını sağlayacak kadar basittir. Robotun sürücü sistemi; doğru akım (DA) elektrik motorlar, harmonik ve düz dişli kutuları, pozisyon ve hız geri beslemeleri için gerilim ve hız ölçerlerden oluşmaktadır (Scheinman, 1969). Şekil 3.2'de Stanford robot kolu görülmektedir.



Şekil 3. 2: Stanford Kolu (URL-5, 2021)

1973 yılında ASEA (şu anki ABB) firması ilk mikro-bilgisayar kontrollü, tamamen elektrikli endüstriyel robot olan IRB-6'yı piyasaya sürmüştür. Bununla birlikte sürekli yörünge hareketi gerektiren gazaltı kaynağı ve malzeme işleme gibi birçok endüstriyel imalat yöntemi robotlarla uygulanabilir hale gelmiştir. Gelişmelerle birlikte 1970'li yıllarda robotlar özellikle otomotivdeki kaynak ve parça taşıma işlerinde yoğun bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır (Anonim, 2012b). Kaynaklı robot teknolojisini

sonraki konularda daha detaylı inceleyeceğiz. Şekil 3.3'te kaynak yapan robotlar görülmektedir.



Şekil 3. 3: Otomotiv Sektöründe Kaynak Yapan Robotlar (URL-6, 2021)


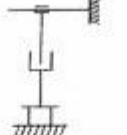
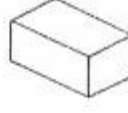

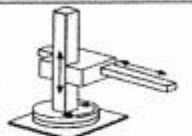
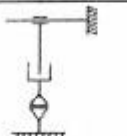






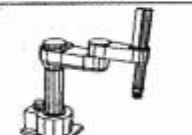
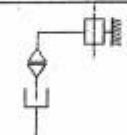



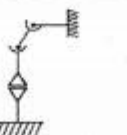


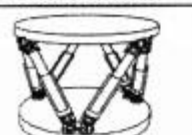
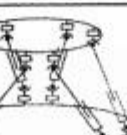


Endüstriyel robot alanında seri robot yapılarının kütle ve ataletlerinin azaltılması çabaları başlıca araştırma hedeflerinden olagelmıştır. Bunda araştırmacılar için en önemli örnek teşkil eden insan kolunun ağırlığının, taşıyabildiği yüke olan oranının 1/1'den bile iyi olmasının payı büyüktür. 2006 yılında robot üreticisi KUKA firması 7 serbestlik derecesine ve ileri tork kontrolü gibi yeteneklere sahip LBR isimli hafif robotlarının prototipini tanıtmıştır (Haddadin ve Ark. 2013).

Günümüzde KUKA'nın en son modellerinden olan LBR IIWA 14 R820 modeli, 30 kg toplam robot ağırlığı ile 14 kg'lık yükleri taşıyabilmektedir (Anonim, 2016). Şekil 3.4'te Kuka firmasının geliştirdiği robot kolu görülmektedir.



Şekil 3. 4: Kuka LBR IIWA 14 R820 Modeli (URL-7, 2021)

Endüstriyel robotları insan becerikliliği seviyelerine yaklaştıracak yeni adımlardan bir tanesinin de yakın zamanda tanıtılmaya başlayan iki kollu robot tasarımlarının olacağı çok açıktır (Bloss 2013). Robot yeteneklerinin insanla robotun güvenli bir şekilde birlikte çalışabilirliğini destekleyecek şekilde hızla gelişmekte olduğu da göz önünde bulundurulursa; halen yoğun insan işçiliği gerektiren işyerlerinde de üretim kapasitesinin, verimliliğinin ve ergonomik kalitenin artacağı yeni üretim yöntemlerinin devreye alınması ile mümkün olmaktadır (Kock ve Ark. 2011). Üretim kapasitesinin artmasında etkili olan robotların Şekil 3.5'te mekanik yapılarına göre yapılmış robotların sınıflandırılması görülmektedir.

Robot	Eksenler		Örnekler
	Prensip	Kinematik Yapı	
 Kartezyen Robot			
 Silindirik Robot			
 Küresel Robot			
 SCARA Robot			
 Mafsallı Robot			
 Paralel Robot			

Şekil 3. 5: Endüstriyel Robotların Mekanik Yapılarına Göre Sınıflandırılması
(Selahattin Y, Tolga M, 2003)

3.2 Kaynaklı İmalatta Endüstriyel Robot Teknolojisi

Robotlarla başarılı bir şekilde kaynak yapılan birçok kaynak yöntemi mevcuttur. Bunlar; MIG/MAG, TIG, nokta direnç kaynağı, lazer kaynağı, CMT, sürtünme karıştırma kaynağı ve plazma kaynak yöntemleridir (Selahattin Y, Tolga M, 2003).

3.2.1 Nokta direnç kaynağı

Kaynaklı imalatta ilk kullanılan robotlar, nokta direnç kaynak yöntemidir. Özellikle otomotiv sektöründe binek araç tasarımı ve üretiminde yaklaşık olarak 700 adet kesilmiş veya preslenmiş parça ile 400 adet talaşlı üretimde talaşı kaldırılmış ve işlenmiş parça bulunmaktadır. Bu tarz parçalara lehimleme, perçin, yapıştırma, cıvata ile birleştirmenin yanı sıra kaynak teknolojisi yolu ile birleştirmenin gerçekleştiği görülmektedir. Var olan kaynak sayısı yaklaşık olarak 5000 nokta kaynağında, 1 metre elektron ışın kaynağından, 15 adet sürtünme kaynağında ve 30 metreye kadar da ark kaynağından oluşmaktadır.

Nokta direnç kaynağında kullanılan robotlar, üretimi gerçekleştirmek için çeşitli sahip oldukları özelliklere ve yeteneklere sahiptirler. Bu tarz robotların çalışma hacmi parçanın boyutuna uygun bir şekilde olmak zorundadır. İlgili robotun kaynak torcu parça üzerinde her yere rahat bir şekilde ulaşılabilmesi ve uyumlu yapılmalıdır. Böyle robotun serbestlik derecesinin artmasını gerekecektir. Nokta direnç kaynağının kontrolü hafızası döngü için gerekli birçok konumlama adımlarını uygulayabilecek kapasiteye sahip olmalıdır. Bazı çeşitli uygulamalarda kaynak hattı, birbirinden farklı ürünün üretimi için tasarlanabilir. Böylelikle farklı tip ürünlere geçildiğinde, robotlarda bir programdan diğerine geçiş yapabilmelidir. Fonksiyonel robotların bulunduğu kaynak hatları için, çeşitli kaynak istasyonlarında farklı modellerin izlenebilmesi ve iş istasyonunda ki robotlara programlarının yüklenmesi için programlanabilir kontrolör kullanılmaktadır. Robotlara prosesi gerçekleştirmek için bazı sahip oldukları özellik ve yetenekleri vardır.

Nokta direnç kaynağının robot teknolojisiyle yapılması prosesin otomasyonunda elde edilen iyileştirmeler, yüksek ürün kalitesi, çalışanların iş güvenliği ve üretim operasyonuna daha fazla bir şekilde hâkim olunmasıdır. Kaynak dikişlerinin daha

kaliteli olması, kalitenin yükselmesi ve kaynakların konumlarındaki tekrarlanabilirliğinin daha iyi olmasındandır. Çok iyi bir tekrarlanabilirliğe sahip olmayan robotlar bile insanlara göre nokta kaynaklarını daha düzgün ve doğru bir şekilde konumlandırabilmektedirler. Ayrıca yanık tehlikesinin ve elektrik tehlikelerinin bulunduğu çalışma ortamında insanların uzaklaştırılarak iş güvenliği sağlanmış olur. Nokta direnç kaynak yönteminin otomasyonunu sağlamak için robotların kullanımı, üretim için envanter kontrolü ve üretimin planlaması gibi alanlarda gelişmelere sebep olacaktır. Bu nokta direnç kaynak yöntem hattının otomizasyonunun başarılı bir şekilde gerçekleştirmenin yolu bu kaynak ekipmanlarının ve robotların bakımının yapılmasından geçer (Selahattin Y, Tolga M, 2003).

3.2.2 Ark kaynağı

Robotların en çok kullanıldığı kaynak yöntemleri daha çok MIG/MAG ve TIG (Tungsten Inert Gaz)'dir. Fakat bu ark kaynak yöntemlerinin uygulanmasında ekonomik ve teknik problemlerle karşı karşıya gelmektedir.

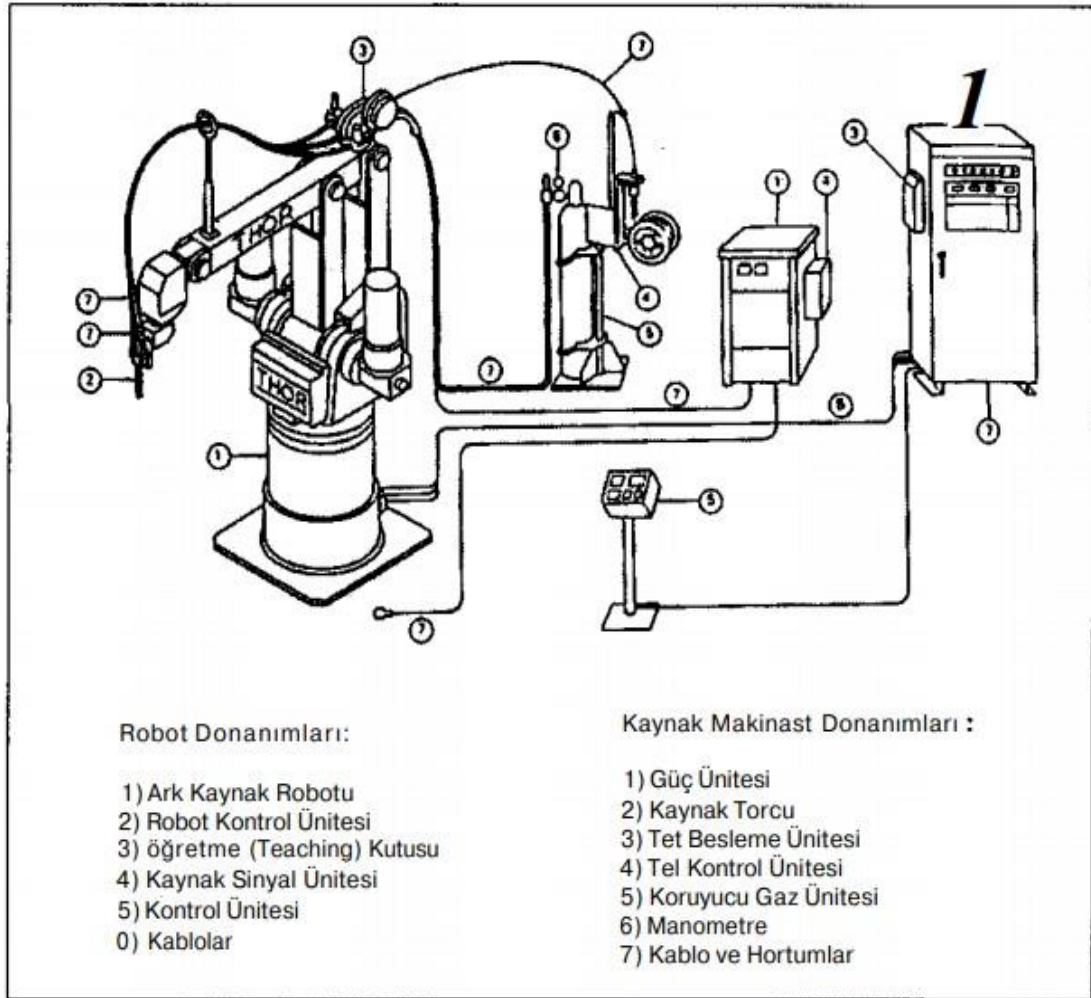
Endüstriyel kaynak robotların kullanılması sürekli ark kaynak yönteminde karşılaşılan tehlikelerden kaçınması adına kullanılması daha uygundur. Böylece robotların ark kaynak yönteminde kullanılması ekonomik ve teknik problemleri beraberinde getirmektedir. Düşük sayıda üretilen ve birçok komponentten oluşan ürünlerin imalat kaynağında sürekli ark kaynağı kullanılmaktadır. Bu şartlar altında farklı bir otomasyonun şeklinin uygulanmasının ne kadar zor olduğunu göstermektedir. Basınçlı kaplar, depoların içi ve gemi gövdeleri gibi ulaşılması zor olduğu bölgeler ve dar alanlarda ark kaynağı gerçekleştirildiği için sorun teşkil etmektedir. Bu tarz yerlerde insanlar daha kolay ve rahat çalışabilmektedirler (Selahattin Y, Tolga M, 2003).

3.2.2.1 Robotlarda ark kaynağı donanımları

Endüstriyel robotik ark kaynağı donanımı Şekil 3.6'da gösterilmiştir ve aşağıdaki kısımlardan oluşmaktadır.

-Manometre

- Robot kontrol ünitesi
- Kablo ve hortumlar
- Kaynak sinyal ünitesi
- Pozisyoner
- Tel kontrol ünitesi
- Kaynak torku
- Koruyucu gaz ünitesi
- Öğretme (teaching) kutusu
- Tel sürme
- Güç ünitesi
- Kontrol ünitesi
- Manipülör (Robot kolu) (Selahattin Y, Tolga M, 2003).



Şekil 3. 6: Robotik Kaynak Donanımı (Selahattin Y, Tolga M, 2003)

3.2.2.2: Ark kaynağı robotunda olması gereken özellikler

Sanayi robotlarının ark kaynağını gerçekleştirirken çeşitli yetenek ve bazı özelliklere sahip olması gerekir. Bu bahsedilen ark kaynağı yönteminde dikkat edilmesi gereken bazı teknik detaylar aşağıdaki gibidir:

a) Sahip oldukları serbestlik dereceleri ve çalışma hacimleri;

Kaynak edilecek parçaların boyutları farklı ebatlarda olabilir bu nedenle robotun çalışma hacmi bu parçaları kapsayacak şekilde olmalıdır. Ayrıca kaynak torcunun hareket alanı geniş tutulmalıdır. Eğer iş istasyonlarında 2 adet parça tutucu mevcut ise bu iki tutucu hareketini gerçekleştirebilmek için robot uygun bir şekilde erişime sahip olmalıdır. Robotların ark kaynağı sadece yapacaksa sadece 5 veya 6 serbestlik derecesine sahip olması yeterlidir. Bu bahsedilen sayılar parça manipülatörünün ve kaynak işinin karakteristiklerinden etkilenmektedir. Şayet parça manipülatörü iki serbestlik derecesine sahip ise, robotun az sayıda serbestlik derecesine sahip olmasına imkân verilebilir.

b) Hareket kontrol sistemi;

Ark kaynağını yapmak için sürekli yol kontrolü olması gerekir. Robotun pürüzsüz bir şekilde harekete sahip olması kaynak dikişinin üniformitesini sağlamaktadır. Buna ek olarak robot kaynak döngüsünde başlangıçta kaynak banyosunu oluşturmak için bir bekleme ve kaynak sonunda ise bitirmek için bir bekleme yapmalıdır. Ark kaynağı için sürekli-yol kontrolü gerekmektedir.

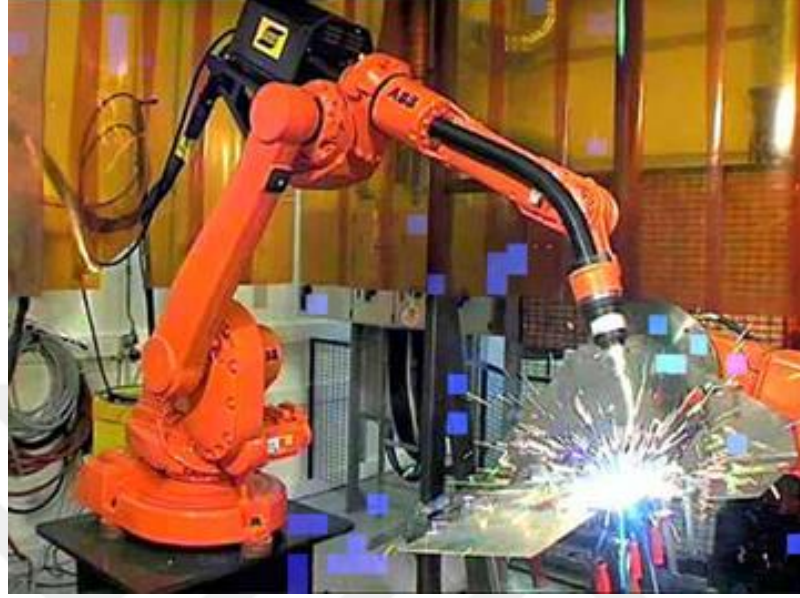
c) Hareketin kesinliği;

Robotik kaynakta kaynak işinin kalitesi robotun tekrarlanabilirliği ve tamlığına bağlıdır. Kaynak işlerinin kesinlik ihtiyaçları, sanayi pratiğine ve boyutuna bağlı olarak farklılık göstermektedir. Bu ihtiyaçların önceden bilinmesi en uygun ve doğru robotun seçilmesi anlamına gelir.

d) Diğer sistemlerle arayüzleme;

Robotlar, yeterli giriş/çıkış ve kontrol yeteneklerine sahip olmaları onların diğer hücredeki ekipmanlarla beraber kolay çalışması anlamına gelmektedir. Bahsedilen diğer ekipmanlar, parça pozisyoneri ve kaynak ünitesinden oluşmaktadır. Parça

manipülâtörünün operasyonu ve tel besleme hızı robotun yörüngesi ve hızı gibi kaynak parametrelerini senkronize etmelidir. Şekil 3.7’de ark kaynağını yapan bir robot görülmektedir.



Şekil 3. 7: Ark Kaynak Robotu (URL-8, 2021)

e) Programlama;

Programlama yapılırken çok dikkat edilmelidir. Çünkü robotik kaynak makinası sürekli kaynak yapmaktadır. Düzensiz ve girintili çıkıntılı şekillere sahip kaynak yolları için, robotun bu şekiller üzerindeki hareketi boyunca fiziksel olarak yol gösterme ile programlama yöntemini kullanmak en doğru olanıdır. Sadece doğrusal kaynak yani düz kaynak yolları için robotun iki nokta arasındaki interpolasyonu yapabilecek bir yeteneğe sahip olması gerekmektedir. Böylece, programcı kaynak başlangıç ve kaynak bitiş noktalarını programda belirlemesine ve robotun bu iki nokta arasındaki doğrusal çizgi yörüngesini hesaplamasına imkân vermektedir (Selahattin Y, Tolga M, 2003).

3.3 Robotlu Kaynakta Çalışma Eğitimi

İleri endüstriyel faaliyetlerinden dolayı yüksek kalite ve çok yüksek üretim kapasitesine sahip bu sanayi firmaları bünyesinde kaynak robotu kullanmaları artık bir ihtiyaç haline gelmektedir. Bu robotlu kaynak uygulamalarında kaynak parametrelerinin uygulanması için malzeme kalınlığını malzeme çeşidini, üzerine etki eden kuvvetleri, kullanım alanını, kaynaklı parçanın tasarımını ve üretim hızını dikkate almak gerekir. Artık endüstriyel robotların yaygınlaşması ve sanayide kaynak işlemlerinde kullanılması kaynak operatörlerinin robotlu kaynak yöntemi uygulamalarında gerekli eğitim ve bilgileri almaları artık bir ihtiyaç olarak doğmuştur. Bu eğitimi kaynak operatörlerine hem teorik hem de uygulamalı bir şekilde endüstriyel robotlarla birlikte yapıp öğretilmelidir.

Endüstriyel kaynak robotlarının kullanıldığı yöntemler MIG/MAG ve TIG ark kaynağı yöntemleri başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Robotlu kaynak sistemlerinin donanımları ise el terminali, kaynak makinesi, su/hava soğutmalı torç sistemi, tel besleme ünitesi, manipülatör, kontrol ünitesi, harici elemanlar ve endüstriyel haberleşme protokolleridir. Ayrıca kaynak robotu tek işlemde değil birden fazla kaynak işleminde de uygulanacağı gibi iki ya da daha fazla kaynak robotunun aynı hatta eş zamanlı yani senkronize bir şekilde çalışabildiği endüstriyel kaynak uygulamalarında vardır. Ayrıca endüstriyel kaynak robotları çeşitli sensörlere de sahiptirler. Bunlar; ark voltajı, tel besleme hızı, kaynak akımı, lazerli arama ve dokunma sensörü gibi geometrik sensörlere sahiptirler (Craig J.J, 1989).

Ayrıca kaynak uygulamalarında yüksek iş güvenliği açısından çok önemli olan şok sensörü gibi gömülü sensör sistemleri kaynak robotlarının üzerine yerleştirilmiştir. Robotlu kaynak yöntemini uygulayan operatörlere robotla ilgili beceri ve bilgi olarak farkındalığının artırılması açısından robot üzerinde bulunan bu sensörlerin öğretilmesi çok önemlidir.

Ürün çevrim zamanı, robotlu kaynak yönteminde verimliliğinin yükselmesi açısından çok önemli bir parametredir. Bu parametre için kaynak edilecek parça üzerinde belirtilen noktalar arasındaki kaynak yörüngesinin torç hareketleriyle senkron olacak şekilde ürün için tasarlanan en az çevrim zamanı içerisinde tamamlaması gerekir.

Optimum çevrim zamanı kaynak operatörü tarafında tespit edildikten sonra tespit edilen kaynak yörüngesi ilgili programa aktarılır. Koordinat sistemi içerisinde yönelim ve konum yörünge optimizasyonunu belirler. Üç boyutlu uzayda manipülatör ve uç elemanın (torcun) yönelimi ve konumu belirlenmesinde meyil, yalpa ve sapma (roll-pitch-yaw, RPY) ve Euler açısı gibi farklı koordinat yönelim metotlarının genel olarak bilinmesi gerekmektedir. (C. Zwickera, G. Reinharta, 2014).

Robotlu kaynak uygulamalarında kaynağın doğruluğu ve kaynak kalitesi çok önemlidir. Bunun için kaynak robotunun torcun parçaya göre konumunu ve hızını belirtmektir. Bu nedenle kaynaklı robotun uç kısmı olan torcun merkez noktası (Tool Center Point, TCP) düzenli olarak kalibre edilmeli ve sık sık kontrolü sağlanmalıdır. Bu sayede robotik kaynak uygulamalarında ilgili torcun darbe vb dış etkilere maruz kalmasından dolayı kaçıklığı engellenmiş olmalıdır. Kaynak robotunun torç merkez noktasının kalibrasyonu ilgili operatör tarafında tanımlanmış bir referans noktası veya oryantasyon yöntemleri vasıtasıyla ilgili torç rahat bir şekilde kalibre edilebilmelidir. Robotik kaynak eğitim uygulaması aşamasında operatörlere verilen el terminali yardımıyla kaynak yolunun gösterilmesine örnek olarak Şekil 3.8’de görülmektedir.



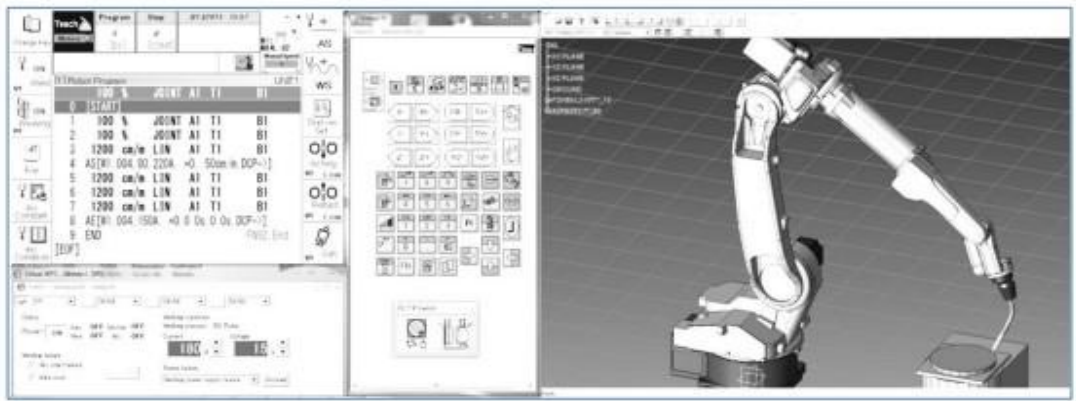
Şekil 3. 8: Robotik Kaynak Eğitimi (URL-9, 2021)

Robotik kaynak uygulamalarında operatörlere verilmesi gereken uygulamalı ve teorik eğitimde yer alması gereken bazı konular aşağıdaki gibidir.

- Robotik sisteminin yapısını ve çalışma prensibini bilmek,
- Robotik kontrol ünitesi ve manipülatörün temel fonksiyonlarını bilgi edinmek,

- Robotik kaynak uygulamalarında yörünge hareket programlarını öğrenmek ve otomatik moda çalıştırabilmek,
- Sensör ve sinyal sistemleri hakkında temel seviye bilgi sahibi olmak,
- Robotik kaynak uygulamalarında çevrimdışı kaynak yörüngesi programlamak,
- Robotik arızaları konusunda bilgi sahibi olmak,
- Robotlu kaynak işlemlerinde kullanılacak kaynak makinelerinin standart fonksiyonlarını bilmek,
- Belirlenen standart iş parçasının kaynağını yapabilmek,

Operatörlere verilen robotik kaynak uygulama eğitiminde sadece teorik eğitim değil aynı zamanda teorik eğitimin yanında kesinlikle pratik eğitim de verilmelidir. Çoğu robot firması tarafından çevrimdışı (offline) robotik kaynak eğitim programı geliştirilmiştir. Bu program vasıtasıyla ilgili operatörlere kaynak eğitimi anında ya da sonrasında pratik eğitim yapma olanağı mevcuttur (Pedro Neto, J. Norberto Pires, A. Paulo Moreira, 2008). Bunlardan biri olan bilgisayar destekli tasarım (CAD) programını çevrimdışı olarak kullanması operatörün kaynağa başlamadan önce daha detaylı bilgi sahibi olmasını gerektirmektedir. Ayrıca bu programda kaynak uygulamasına girmeden önce programda ilgili torcun ve manipülatörün program üzerinde ulaşılacak yerleri gösterebilmektedir. Şekil 3.9'da çevrimdışı robotlu kaynak eğitim yazılımı ara yüzünde yörünge programlama ve robot eksen hareketleri görülmektedir (Savaş D, Didem T, Mustafa K, 2015).

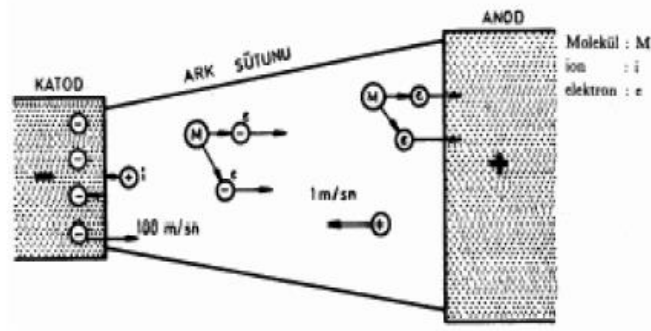


Şekil 3. 9: Çevrimdışı Robotlu Kaynak Eğitimi Yazılımının Ara Yüzü
(Savaş D, Didem T, Mustafa K, 2015)

4. KAYNAK YÖNTEMLERİ

4.1 Ark Kaynağı

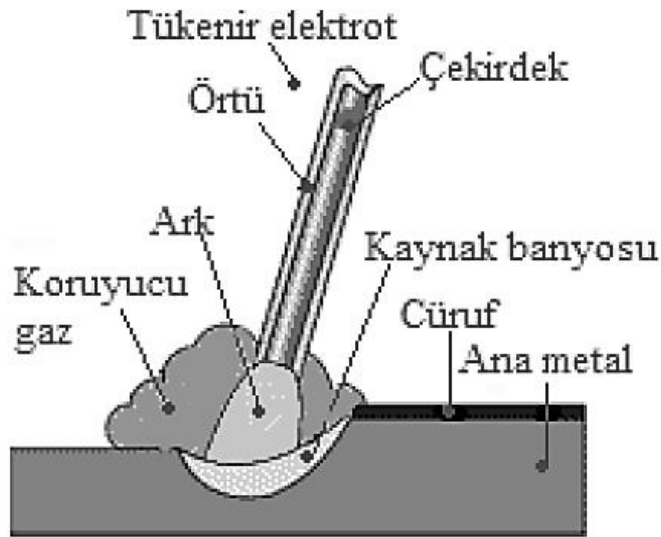
Ark kaynağı 1800'li yılların ortalarında geliştirilmiştir. Ark kaynağı yönteminde kaynak için gereksinim duyulan ısı elektrik enerjisinden temin edilmiştir. Kaynak işlemi, doğru veya alternatif akım kullanılarak elektrot ucu ile kaynak yapılacak parçalar arasında oluşturulan ark ile oluşturulmuştur. Kızgın bir katottan açığa çıkan elektronların yüksek bir hızla anoda çarpması sonucu ark oluşmaktadır. Bu hızlı çarpma nötr molekülleri iyonize etmekte ve bu sayede aşırı bir sıcaklık artışı meydana gelmektedir. Yüksek ısı ile iyonize olmuş gaz sütunu olan plazma, arkın kararlılığını sağlamaktadır. Arkı başlatmak için elektrot önce iş parçasına değdirilir ve hemen aralarında ufak bir mesafe olacak şekilde iş parçasından kaldırılır. Arkın oluşturduğu elektrik enerjisi yardımıyla bütün metalleri eritmek için gerekli olan 5500 °C veya üstünde sıcaklıklara ulaşabilmektedir. Elde edilen bu toplam enerjinin yaklaşık ortalama olarak %20'si radyasyon şeklinde yayılmaktadır. Ark kaynağı uygulamalarında genellikle, iş parçasının elektrik devresinin pozitif (devrenin anodu) ve elektrodun negatif ucuna (devrenin katodu) bağlandığı düz kutuplama kullanılmaktadır. Bunun tersi yapılırsa ters kutuplama olarak adlandırılmaktadır. Şekil 4.1'de arkta oluşan akım gösterilmektedir (Gürel Ç, 2020).



Şekil 4. 1: Ark İçinde Oluşan Akım (URL-10, 2021)

Oksi-asetilen gaz kaynağında olduğu gibi, ark kaynağında da kaynaklı bağlantının hacmi ve mukavemetini artırmak için genellikle dolgu malzemesi kullanılmaktadır. Ark kaynağının ilk uygulamalarında kullanılan ilk elektrotlar karbon elektrotlardır. Daha sonra ise, karbon elektrot yerine, kaynak esnasında açığa çıkan ısı ile ergiyerek otomatik olarak dolgu malzemesi görevi gören kaynak edilecek malzemeye uyumlu bir malzemedan yapılmış çıplak tel, elektrot olarak kullanılmıştır. Çıplak tel elektrot kaynak esnasında sürekli kısaldığı için arkın kararlılığını sağlamak güç olmaktadır. Ayrıca, çıplak tel kullanıldığında kaynak dikişindeki sıvı kaynak metal atmosferin olumsuz etkilerinden etkilenmekte ve elde edilen kaynak kalitesi düşük olmaktadır. Örtülü elektrotların 1920’li yıllarda geliştirilmesi ile bu sorunlar ortadan kaldırılmıştır. Örtülü elektrot kullanılan ark kaynağı uygulamalarında örtünün, kaynak dikişindeki sıvı metali atmosferden koruma ve kaynak yapılan parça yüzeyindeki yağ, kir ve oksit tabakasını içine alarak cüruf olarak uzaklaştırma fonksiyonları mevcuttur. Örtünün bir fonksiyonu da ark kararlılığını sağlamaktadır. Bu gelişmelerin neticesinde ark kaynağı kullanımı hızla bir şekilde artmıştır.

Şekil 4.2’de elektrotla yapılan bir ark kaynağı görülmektedir.



Şekil 4. 2: Ark Kaynağı (URL-11, 2021)

Ark kaynağında kaliteli bir birleştirme sağlayabilmek için ark kaynağı kaynak boyunca kararlılığını korumalıdır. Ark boyu (elektrot ile iş parçası arasındaki mesafe) kaynak esnasında değişirse ark gerilimi de değişmektedir. Ark boyunun artması gerilimin artmasına neden olmaktadır. Kaynak boyunca gerilimin, dolayısıyla akım

şiddetinin sabit tutulması gerekmektedir. Dolayısıyla, elle yapılan kaynaklarda ark boyunu sabit tutmak beceri gerektirir. Otomatik tel besleme ünitelerinin geliştirilmesi sonucu ark boyunun sabit tutulması ve dolayısıyla arkın kararlılığını korumak daha da kolaylaşmıştır. Ark kaynağında dikkat edilmesi gereken diğer bir konuda ark üflemesidir. Ark üfleme manyetik malzemelerde karşımıza çıkmaktadır. Ark üfleme genellikle iki şekilde gerçekleşmektedir. Bunlar akım yönünün değişmesi ve ark etrafındaki manyetik malzemenin asimetrik olması sonucu oluşmaktadır (Gürel Ç, 2020).

4.1.1 Gazaltı kaynak yöntemleri

Gazaltı ark kaynağı; arkı korumakta olan gazın karışımı, türü ve kaynak makinesinin donanımına göre farklılıklar göstermektedir. Gazaltı ark kaynağında yanmakta olan arkı, oksijen ve diğer atomların negatif etkilerinden korumak için koruyucu bir gaz kullanılmaktadır. Koruyucu gazın özelliklerine göre yapılan kaynak teknikleri farklılık göstermektedir.

Gazaltı ark kaynak tekniğinde hem asal hem de aktif gazlar kullanılmaktadır. Bu gazlar hem ayrı hem de karışım olarak kullanılabilir. Bundan dolayı gazaltı ark kaynağı, Metal Inert Gaz (MIG) kaynağı ve Metal Aktif Gaz (MAG) kaynağı olarak sınıflandırılır. Nüfuziyet şekli, kaynak dikişinin görünüşü ve sıçrıntı hatası oluşumu, kullanılan aktif gaz türünden kaynaklı ergitme kuvvetine bağlı olan aktif gaz korumalı metal ark kaynağı, koruyucu gazın türüne göre isimlendirilir. Eğer aktif gaz (CO_2 ve O_2) bileşenleri ihtiva eden argon içeren koruyucu gaz kullanılıyorsa MAG-M kaynağı ve kaynak karbondioksiti olarak adlandırılan CO_2 kullanılıyorsa MAG-C kaynağı ifadeleri ile iki farklı gruba ayrılır (Anık ve Ark., 1993).

Gazaltı ark kaynak yöntemlerini, koruyucu gaz, elektrot ve ark türüne göre sınıflandırmak mümkündür. İlk sınıflandırma türüne baktığımızda, elektrot türü karşımıza çıkıyor. Bu sınıflandırmada eriyen ve erimeyen elektrot olarak gruplandırmak mümkündür. Bunlara baktığımızda erimeyen elektrot Tungsten'den elde edilmiştir ve bu kaynak yöntemin adı ise Gazaltı Tungsten Ark Kaynağı (GTAK) olarak isimlendirilir. Günümüzde daha çok kullanılan diğer bir ismi olan TIG'dir. Eriyen elektrotlara baktığımızda ise; bu elektrotlar hem ark taşırlar hem de ilave metal

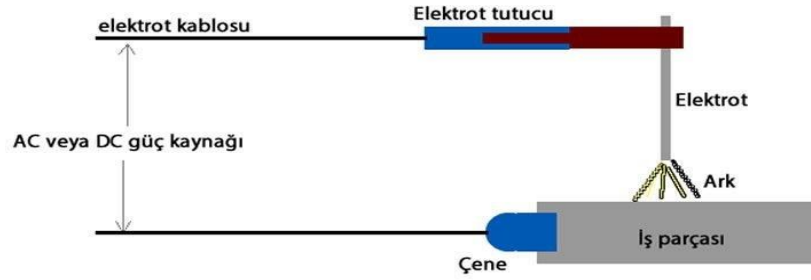
görevi taşıdığından dolayı genellikle kaynağı yapılan ana malzeme ile aynı kimyasal özelliklere sahip olmalarından dolayı, bu yöntem Gaz Metal Ark (GMAK) isimlendirilir. Günümüzde daha çok kullanılan diğer bir ismi olan MIG/MAG'dır. Sınıflandırma sadece elektrot türüne göre değil aynı zamanda koruma gazı türüne göre de yapılmaktadır. Gerekli durumlarda Argon-Hidrojen gaz karışımları, daha çok tercih edilen gazlar olan soy (inert) gazlar Gazaltı Tungsten Ark Kaynağında kullanılmaktadır. Eski bir Grekçe kelime olan inert kelimesinin anlamı “*reaksiyona isteksiz*” anlamına gelmektedir. Bütün soy gazlar bu gruba dâhildir. Kaynak esnasında nötr özelliklerini korudukları gibi çok yüksek sıcaklıklarda dahi herhangi bir maddeyle reaksiyona girmezler. Plazma kaynağında, bahsi geçen bu soy gazların tümü kullanılırken, soy gaz olan Argon, Helyum ya da ikisinin karışımı olan gazlar sadece Tungsten Inert Gaz (TIG) kaynağında kullanılmaktadır. Tungsten Hidrojen Kaynağında Hidrojen gazı kullanılmaktadır bu gaz, kaynak esnasında çevrenin olumsuz atmosferini uzaklaştırmaktadır (Selâhaddin A, Murat V, GEV).

MIG/MAG ve TIG (Tungsten Inert Gas – Argon Kaynağı) kaynakları, kaynak donanımları ve kaynak teknikleri olarak koruyucu gaz türü dışında kullanılan elektroda ve kaynak makinasına bağlı olarak farklılık göstermektedir. Düşük alaşımli çeliklerde ve/veya düşük karbonlu çeliklerde gaz olarak maliyetin düşmesinden dolayı MIG/MAG tercih edilirken yüksek alaşımli çeliklerde ve ısı girdisinin önem arz ettiği çalışmalarda TIG kaynağı kullanılmaktadır. Günümüzde akım üreteçlerinde gözlemlenen teknolojik gelişmeler ile gazaltı kaynak makinalarında kontrol edilebilen kaynak parametreleri artmıştır. Bu durum yapılacak kaynak işinin uygun, daha kaliteli ve verimli olmasını sağlamıştır (Y. Selim C, 2019).

4.1.2 Elektrik ark kaynak yöntemi

Bir karbon elektrot ile bir iş parçası arasında ark oluşturulmuş ve böylelikle ilk elektrik ark kaynağı oluşturulmuştur (Şekil 4.3). Bu yöntem Bernardos yöntemi olarak bilinir. Ayrıca bu usülde ek ilave metal kullanılmıştır (1885). Daha sonra Zerener kaynak arkını, 1889 yılında iki karbon elektrot arasında meydana getirmeyi başarmıştır. Arkın parçaya gelmesini sağlamak için manyetik bir bobin kullanarak sağlamıştır. Günümüzdeki ark kaynağının temelini yine aynı yıl olan 1889 yılında Slavianoff

tarafında iş parçası ile çıplak metalik bir elektrot arasında arkı teşekkül ettirmesini başarmıştır (Selâhaddin A, 1991).



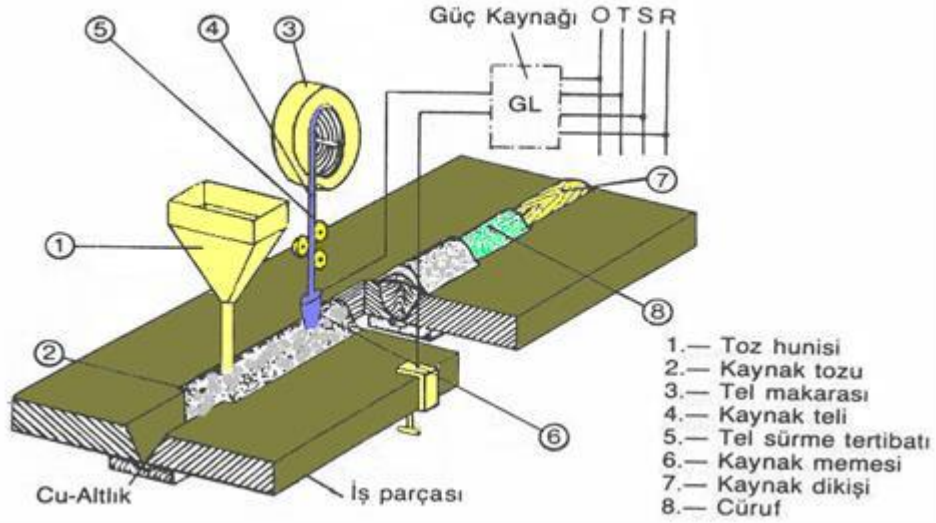
Şekil 4. 3: Elektrik Ark Kaynağı (URL-12, 2021)

Günümüzde en geniş ve yaygın olarak kullanılan kaynak yöntemi elektrik ark kaynağıdır. Kaynak uygulamasında şebekeden doğrudan çekilen akımla kaynak yapmak mümkün değildir. Bu nedenle elektrik ark kaynağında kaynağı yapabilmek için kullanılan akım belirli koşullara sahip olması gerekmektedir ve bu nedenle özel üretilmiş kaynak akım üreteçlerine ihtiyaç vardır.

Ayrıca kaynakçıların bu makinaları ayarlarını yapmaları ve çalıştırmaları için elektrik bilgisine sahip olmaları gerekiyor. Fizikçiler elektriği; atomların içerisinde yer alan elektronların yer değiştirmeleri sonucunda oluşan hareketin doğurduğu eylem olarak tanımlanmaktadır. Elektrik akımının tanımını çok basit bir şekilde yapmak zordur. Elektrik akımı sadece etkileri ile kendilerini belli ederler sadece doğrudan fark edilemez ve görülmezler (GEV, IIW No: 1.9, 2012).

4.1.3 Tozaltı kaynak yöntemi

Elektrik ark kaynağının aynısıdır. Kaynak arkı, ana malzemeye kaynak yapmak için otomatik olarak çıplak bir tel elektrot ile oluşturulur. Ayrıca kaynak bölgesine sürekli olarak kaynak teliyle birlikte bir de toz dökülür ve ark bu tozun altında tutuşur. Bundan dolayı arkın tozun altında tutuşmasından dolayı bu yönteme tozaltı kaynak yöntemi denilmektedir. Şekil 4.4'de şematik olarak verilen bu tozaltı kaynak yöntemi, 1933 yılından itibaren yayılmaya başlamış ve İkinci Dünya Savaşından sonra gelişerek endüstride önem kazanmıştır.



Şekil 4. 4: Tozaltı Kaynak Prensi (URL-13, 2021)

Tozaltı kaynak yöntemi hem otomatik hem de çok güçlüdür. Çok güçlü olmasından dolayı tek paso ile 85 mm, 2 paso ile 180mm ve çok paso yöntemiyle birlikte 300mm kalınlıktaki parçaların kaynağını mümkün kılmaktadır. Kalınlık açısından kaynağı yapılabilecek en ince kalınlık sac 1.2 mm'dir. Bu tozaltı kaynak yönteminde normal elle yapılan ark kaynak yöntemlerine göre tel elektroda çok yüksek akımlar yüklenmektedir. Bu yüksek akımlı oluşlarından dolayı çok geniş yüzeyler ve derin nüfuziyetli dikişler elde etmek mümkündür. Buna bir örnek vermek gerekir ise 4 mm çapındaki bir elektrot ile el ark kaynağında 150 ilâ 190 amper arasında akımla kaynak yapılırken, tozaltı ark kaynağında 400 ilâ 650 amper arasında bir akım ile kaynak yapılabilir (Selâhaddin A, 1991).

4.2 Diğer Kaynak Yöntemleri

Direnç Kaynağı: 1900'lerin başında geliştirilen elektrik direnç kaynağı ya da diğer adıyla direnç kaynağı (DK, resistance welding-RW) kaynak edilecek iki parça arasındaki elektrik direncinden açığa çıkan ısı ile yapılan bir takım ergitme kaynak uygulamasını kapsar. Bu yöntemlerde ısı, kaynak edilecek parçaların ara yüzeyinde elektrik akımına dirençten dolayı ortaya çıkar. Bu uygulamada, ısıya ek olarak basınç uygulaması da söz konusudur. Basınç kaynak boyunca değişir. Başlangıçta iş parçalarını bir arada tutmak ve ara yüzeydeki direnci kontrol etmek amacıyla uygulanır. Uygun sıcaklığa erişildiğinde basınç arttırılarak birleşme gerçekleştirilir.

Basınç kullanıldığı için kaynak işlemi düşük sıcaklıklarda yapılabilir ve ara yüzeydeki hava dışarı atıldığında koruyucu gaza ihtiyaç olmaz. Yöntemin en yaygın kullanılan nokta kaynağı dahil elektrik direnç kaynaklarının çoğunda, kaynak edilen parçaların temas yüzeylerinin ergimesi söz konusu olduğundan, yöntem ergime kaynağı olarak adlandırılır. Fakat bazı istisnalar bulunmaktadır. Elektrik direnç kaynağı uygulamalarında kaynak edilen parçaların ergime dereceleri altındaki sıcaklıklar kullanıldığından parçalarda ergime olmamaktadır.

Termit Kaynağı: Döküme benzerliği ile bilinen termit kaynağı (TK, thermit welding-TW) sınırlı uygulama alanı olan bir kaynak yöntemidir. Bunun ilk uygulaması 1900'li yılların başlarına kadar gider. Termit teriminin anlamı; tutuşturulduğunda ekzotermik bir reaksiyon oluşturan bir birim ince alüminyum toz ile üç birim demir oksit tozu karışımının ticari adıdır. Yöntemde, patlayıcı olmayan termit tozu kaynak yapılacak parçalar üzerinde bir potada yakılır. Termit kimyasal sonucu aşırı ışınmış sıvı metal ile elde edilen ısıyı birleştirmenin yapıldığı bir ergitme kaynağı yöntemidir. Kaynak metali sıvı metalden sağlanır. Bu yöntem yapısı gereği döküm işlemine benzemektedir (Gürel Ç, 2020). Şekil 4.5'te demir yolu raylarının termit yöntemiyle kaynağı görülmektedir.



Şekil 4. 5: Demir Yolu Raylarının Termit Yöntemiyle Birleştirilmesi (URL-14, 2021)

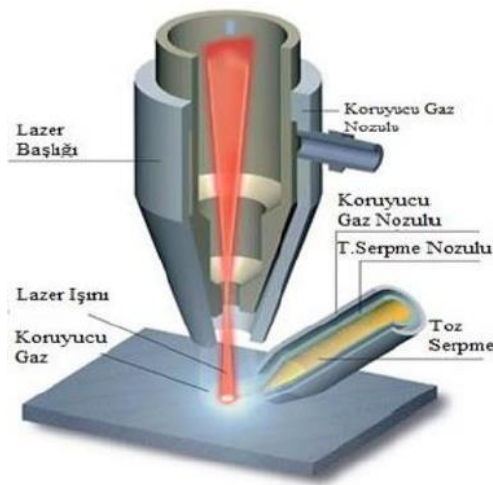
Lazer Işınıyla Kaynak: Lazerin sıra dışı özelliğine sahip olmasından dolayı endüstriyel öneminden önce gelmektedir. Lazer yönteminde farklı birçok teknik alanda kullanılmaktadır. Bunlar; malzeme kaldırma, delme, kesme, kaynak, alaşımlama,

sertleştirme, kaplama ve ergitme gibi alanlarda başarıyla uygulanmaktadır. Bu nedenden dolayı gerçekleştirilen işlemler geleneksel yöntemlere göre çok büyük üstünlüklere sahiptir. Ayrıca söz konusu işlemlerin çok geniş bir malzeme yelpazesinde gerçekleştirilebilir olması da, lazerin endüstrideki önemini daha da artırmaktadır.

Yüksek işlem hızı, yüksek süneklik, yüksek işlem kalitesi, tam otomasyon ve diğer yöntemler ile lazer ışını ile malzemelerin işlenmesinde ortaya çıkan üstünlükler, lazeri her geçen gün daha da tercih edilen bir yöntem haline getirmektedir. Bu üstün özelliklerinin yanında, lazerin kullanımı özellikle aşağıdaki durumlar için büyük avantajlar sağlamaktadır:

- Parçanın üretim şeması tamamen değişecekse,
- Kalitede yüksek performans sağlanacaksa
- Küçük parçalarda büyük şekillendirme olacaksa
- Yüksek derecede otomasyon gerekli ise
- Maliyet düşecekse,
- Kuvvet değişmeden veya düşük ısıl etki ile çalışma gerekecekse,
- Diğer yöntemler ile üretim mümkün değilse, (GEV, IIW No. 1.12, 2012).

Kaynaklı imalat alanında kullanılan lazer ışının torç yapısının şematik gösterimi Şekil 4.6 'da görülmektedir



Şekil 4. 6: Lazer Işınının Kaynak Torcunun Şematik Gösterimi (URL-15, 2021)

5. GAZ ALTI KAYNAK YÖNTEMLERİ (MIG/MAG/TIG)

5.1 MIG/MAG Kaynak Yöntemi

MAG Kaynak Yöntemi: Koruyucu gaz olan karbondioksit (CO_2) gazı altında ergiyen bir elektrotla yapılan yöntemdir. MIG kaynağından ayrılan özellik ise koruyucu gazın sadece karbondioksit (CO_2) olmasıdır. Bundan ötürü MIG kaynak yöntemi aynı zamanda MAG kaynak yönteminde de uygulanabilmektedir. "Metal Aktif Gaz" kaynak yönteminin baş harflerinde oluşan kısaltılmış hali MAG'tır. Alüminyum ve alaşımlarının kaynağında MAG kaynak yöntemi uygulanmamaktadır. Çünkü bu tarz metaller kolayca oksitlenebilmektedirler. MAG kaynak yöntemi daha çok çelik malzemelerin kaynağında uygulanmaktadır. MAG kaynak yönteminde kullanılan aktif karbondioksit (CO_2) gazının önemli bir özelliği renksiz, kokusuz ve havadan ağır olmasıdır. Bu gazın kaynak esnasında kullanılması durumunda gazın saf ve kuru olması gerekmektedir. Aksi takdirde gaz içerisinde bulunabilecek rutubetin, dikişte kaynak hatasına neden olacak gözenek ve gevrekleşmesine sebebiyet vermektedir. Kaynak esnasında yüksek sıcaklıklarda karbondioksit gazı karbonmonoksit ve oksijene ayrışmaktadır. Ayrıca yine kaynak esnasında yüksek sıcaklıklarda karbondioksit (CO_2), sıvı haldeki demir ile birleşerek demir oksit (Fe_2O_3) meydana getirmektedir. Bu sebeple demir oksit, silisyum ve manganez gibi elementlerle birleşerek bu elementlerin azalmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle bu elementlerin azalmasından dolayı kullanılan kaynak telinin bu elementlerle zengin olması gerekmektedir.

MIG ve MAG kaynak yöntemlerinde kaynakta kullanılan kaynak üfleçlerinin şematik ve prensip yapısı birbirine benzemektedir. Bu üfleçlerde kaynak yapılacak yere sürekli bir tel elektrot beslenmektedir. Bu yöntemde kullanılan üfleçlerin soğutma sistemleri üreticilerin kendilerine göre savundukları üstünlüklere göre ikiye ayrılmaktadır. Bunlar hava soğutmalı ve su soğutmalı olarak ikiye ayrılmaktadır.

Kaynak esnasında MAG kaynak yönteminde kullanılan kaynak tellerin, meydana çıkacak element kayıplarını önleyecek biçimde uygun alaşım yapıda olmalıdır. En fazla kullanılan tel çapları 1.6 – 2.4 ve 3.2 mm çaplarındadır. Kaynak dikişinin özellikleri ise; kaynak telinin kalitesine, karbondioksit gazının safiyet derecesine ve kaynak esnasındaki miktarına bağlıdır.

Ters kutuplama ve doğru kutuplama MAG kaynak yönteminde uygulanmaktadır. Kaynak yapabilmek için sabit gerilimde çalışmak gerekir. Akım şiddeti erime üzerinde etkilidir. Ayrıca kısa ark boyuyla çalışılır MAG kaynak yönteminde, ark boyu, 1 ~ 2 mm arasındadır. Parçaya dik bir şekilde kaynak torcu mümkün olduğu kadar dik tutulmalıdır. Kaynak dikişinin içerisinde gaz kabarcıklarının oluşması ark boyunun büyük tutulmasından kaynaklanır. MAG kaynağında hem el ile hem de otomatik yöntemle kaynak yapmak mümkündür. Bütün pozisyonlarda kaynak yapabilmek için elle kaynak yapmak gerekir. Otomatik MAG kaynaklarında, derin nüfuziyetli ve mükemmel görünümlü kaynak dikişleri elde edilir. Şekil 5.1’de MIG/MAG kaynak makinası görülmektedir.



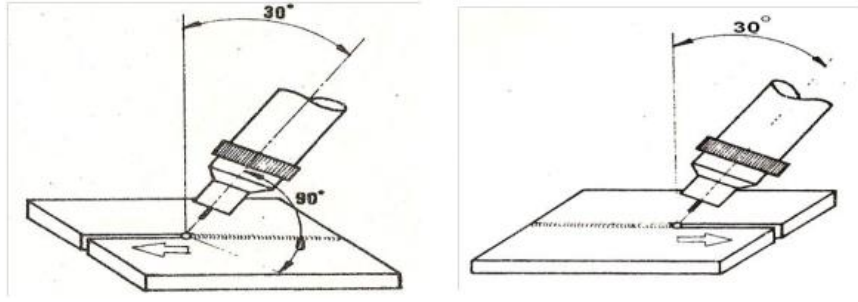
Şekil 5. 1: MIG/MAG Kaynak Makinası (URL-16, 2021)

MIG Kaynak Yöntemi: Diğer bir ismi SİGMA kaynağıdır. Reaksiyona girmeyen inert gaz atmosferi altında ergiyen bir elektrotla yapılan bir yöntemdir. Reaksiyona girmeyen bu gazlardan genellikle daha çok argon gazı kullanılmaktadır. MIG sembolü,

Metal Inert Gaz ifadesinin baş harflerinin kullanılması sonucu oluşturulan kısaltılmış halidir. Bu yöntemde koruma gazı olarak Argon, Helyum ya da her ikisinin karışımı kullanılır. Daha çok argonun %99.99 saf olması durumunda hafif metallerin kaynağında kullanılması daha uygundur. Argon gazının içerisine karbondioksit ve oksijenin katılması sonucu oluşturulmuş bu karışım gazı çeliklerin kaynağında kullanılmasında daha uygundur. Bu bahsedilen karışım gazı karbondioksit %5 ilâ 13, oksijen %3 ilâ 6, arasındadır. Dikiş formları bu gaz türlerine ve karışımlarına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu gaz karışımında oksijen gazının bulunması halinde arkın kararlılığını ve erimiş damlaların yüzeyde kolayca tutunmalarını sağlamaktadır. Ayrıca gözenek oluşumunu da önlemektedir.

MIG kaynak yönteminde doğru kutuplama yapıldığı için elektrot pozitif kutba bağlanır. Bu kutuplama yöntemiyle hem derin nüfuziyet hem de oksit tabakası ortadan kaldırılmış olur. Fakat bazen elektrot negatif kutba bağlanır çünkü paslanmaz çeliklerin iç köşe kaynağında ya da doldurma kaynaklarını başarıyla yapmak için sabit tip statik karakteristikli kaynak makineleri MIG kaynak usulünde kullanılmaktadır. Bu tarz makinelerde ark gerilimi ve akım şiddeti ayarlanabilir. Kaynak telinin sabit hızda sevk edilmesi, ark boyunun otomatik olarak sabit tutulmasını temin eder.

Çalışma tekniğine baktığımızda; kaynak dikiş şekillerinin hepsine MIG kaynağı uygundur. Hem otomatik olarak hem de el ile yatay pozisyonlarda kaynak yapmak mümkündür. Kaynak akımını, kaynak gerilimini ve hızını ayarlayarak kaynak dikişinin yüksekliği, nüfuziyeti ve genişliği istenilen şekilde yapılabilir. Bu faktörlerin etkileri, tozaltı kaynağında olduğu gibidir. Kaynak esnasında kaynak hamlacı kaynak yönünün zıt yönünde en fazla 30° lik bir eğimle tutulur. Bu yapıldığı takdirde kaynak ustası elektrodun erime işlemine ve kaynak banyosunu kolaylıkla izleyebilir. Fakat eğim arttığı takdirde kaynak dikişlerinde incelme ve az nüfuziyet meydana gelir. Ayrıca eğimin fazla olmasının bir diğer olumsuz yanı koruma gazının kabiliyetini düşürerek dikişte kalıntı ve gözenek meydana getirmesine sebep olur. Genellikle bu tarz çalışma tekniği daha çok kök pasoların ve ince saçların kaynağında kullanılır. Bu nedenle kaynağa kalın paso ve derin nüfuziyet vermek için hamlaca kaynak istikametinde en fazla 30°lik eğim verilmelidir (Selâhaddin A, 1991). Şekil 5.2'de kaynak torcuna verilen eğim görülmektedir.

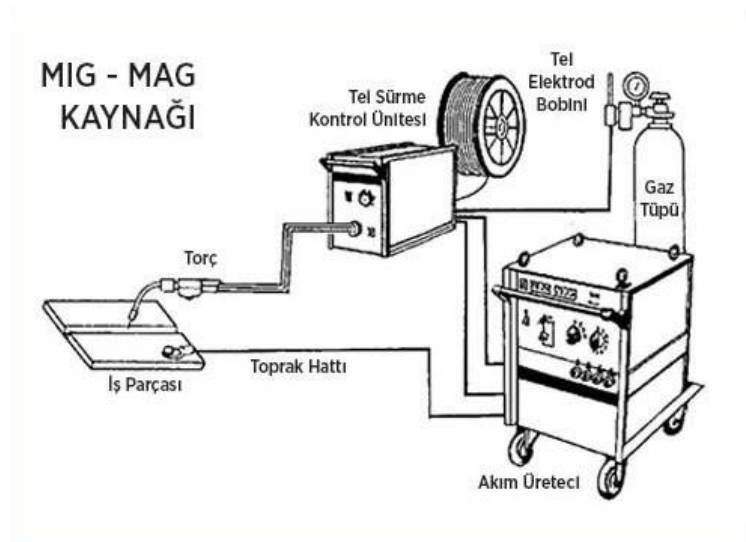


Şekil 5. 2: MIG Kaynağında Torca Verilen Eğim Açılı (URL-17, 2021)

5.1.1 MIG/MAG kaynağında kullanılan donanım türleri

Bu gazaltı kaynak usullerinde otomatik veya yarı otomatik olarak kullanmak mümkündür. Her iki yöntemin temel donanımları aşağıdaki gibidir.

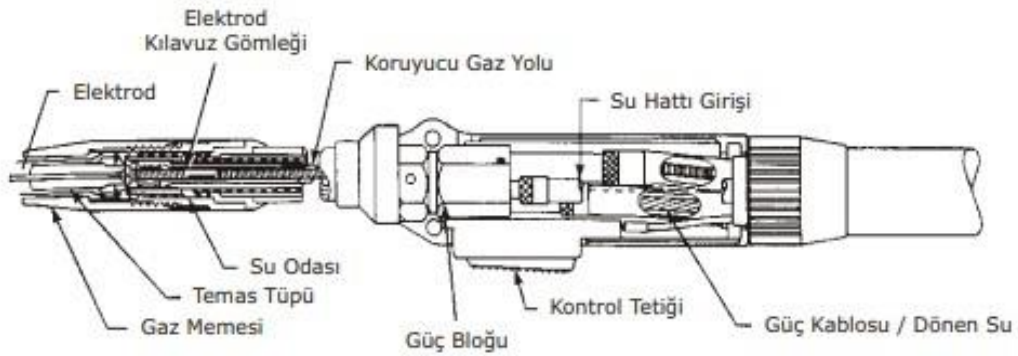
- Kaynak torcu (hava veya su soğutmalı),
 - Elektrot (tel) besleme ünitesi,
 - Kaynak kontrolü,
 - Kaynak güç ünitesi,
 - Kontrollü koruyucu gaz iletimi,
 - Elektrot ünitesi,
 - Bağlantı kabloları ve hortumları,
 - Su sirkülasyon sistemi (su soğutmalı torçlarda),
- ve Şekil 5.3'te MIG/MAG kaynak donanımı gösterilmektedir.



Şekil 5. 3: MIG/MAG Kaynak Donanımı (URL-18, 2021)

5.1.1.1 Kaynak torçları

Elektrik akımını elektrot yardımıyla, elektrot ve koruma gazını kaynak gölgesine iletme görevini kaynak torcu üstlenir. Çok değişik ve farklı türlerde torçlar kullanılmaktadır. Bunlar yüksek akımla çalışan ya da düşük akımla çalışan çeşitli torçlar kullanılmaktadır. Yüksek ve düşük akım zor pozisyon kaynaklarında ve çok ağır işlerde kullanılma alanlarına göre bu akımlar değişmektedirler. Fakat kaynak esnasında kaynak torcu sürekli ısınmaktadır bu ısıyı gidermek için torcu sürekli soğutmak gerekir. Koruma gazı çok düşük akımlarda torcu soğutma işlemini tek başına yapabilmektedir. Fakat, çapı büyük olan elektrotlar yüksek akım gerektirdiği için koruma gazının soğutma işlevi yetersiz kalmaktadır. Bu sebepten ötürü 250 A'in üzerindeki akımlarla kaynak yapıldığı taktirde su yöntemiyle soğutmak gerekir. Bir kaynak torcuna ait bileşenler Şekil 5.4'de görsel olarak gösterilmiştir.



Şekil 5. 4: MIG/MAG Kaynak Makinasının Torç Yapısı (Barlas E, 2007)

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

Elektrik akımını elektrot vasıtasıyla iletme ve elektrodu kaynak bölgesine iletmek için bakır kaplamalı ya da tamamen bakırdan yapılmış olan temas tüpü kullanılır. Bu bahsi

geçen temas tüpü elektrik akımını aktarmak için güç ünitesiyle çeşitli elektrik kablolarla bağlantılı haldedir. Elektrodun tüp içerisinde tüple arasında çok iyi derecede elektrik akımını transfer etmeli ve ayrıca bu tüp içerisinde elektrot çok rahat bir şekilde hareketini gerçekleştirmelidir. Bu nedenden dolayı bu temas tüpünün iç kısmı son derece önemlidir. Torçlarla birlikte kullanma kılavuzu verilir. Ve bu kılavuz da her elektrodun çapı için en uygun boyutta temas tüpünün boyutları belirtilir.

Elektrodun çapı genellikle temas tüpünün iç çapından yaklaşık olarak 0.13 mm ile 0.25 mm arasında daha da küçüktür. Fakat alüminyum kullanıldığı takdirde bu temas tüpünün çapı büyük seçilir. Kaynak esnasında temas tüpü sürekli aşınmaya maruz kalıyor ve periyodik şekilde kontrol edilmelidir. Aşınmaya maruz kalan temas tüpleri yenisiyle değiştirmelidir. Eğer değiştirmeyip aşınmış bir şekilde kullanılmaya devam edilirse kötü bir elektrik iletimi ve akabinde kararsız arkın oluşmasına sebep olmaktadır. Temas tüpü torç içerisine dikkatli bir şekilde takılmalı ve koruma gazı memesiyle eş aksenal olmasına dikkat edilmelidir. Temas tüpü kullanılan metal iletimi cinsine göre gaz memesine göre aldığı pozisyon değişmektedir. Temas tüpü kısa devre iletiminde gaz memesinden dışarı çıkıntı yapmıştır. Fakat sprej tarz iletimlerde temas tüpü gaz memesinin ucundan 3mm olarak içeriye doğru girmiştir.

Kaynak bölgesine düzgün bir şekilde gazı iletmek için gaz memesi kullanılır. Kaynak bölgesine düzgün bir şekilde gönderilen koruma gazı kaynak banyosunu olumsuz hava şartlarının etkisinden korumak adına çok önemli görevidir. Meme boyutları uygulamalara göre farklılık gösterir. Bir örnek vermek gerekirse büyük akımlarla geniş kaynak banyosu oluşturulduğu takdirde yani korunması gereken yüzey arttığından dolayı daha büyük gaz memesi kullanılır. Düşük akımlarda ise küçük yüzeyler elde edildiği için küçük gaz memeleri tercih edilir.

Torcun diğer bileşenlerine bakıldığında ise bunlar, elektrik kablosu, su hortumu ve gaz hortumudur. Bunların görevi elektriği iletmek, torcu soğutmak ve gazı iletmek için kullanılır.

5.1.1.2 Elektrot besleme ünitesi

Basıncı ayarlayan aygıtlar, elektrot makaraları ve bir de elektrik motorunda oluşan sisteme elektrot besleme ünitesi adı verilmektedir. Doğru akımla çalışan bu elektrot motoru kaynak telini kaynak bölgesine itmekle görevlidir. Ayrıca kontrol devresinin bulunması gerekir çünkü elektrik motorunun hızını büyük bir aralıkta değiştirilmesi gerekiyor.

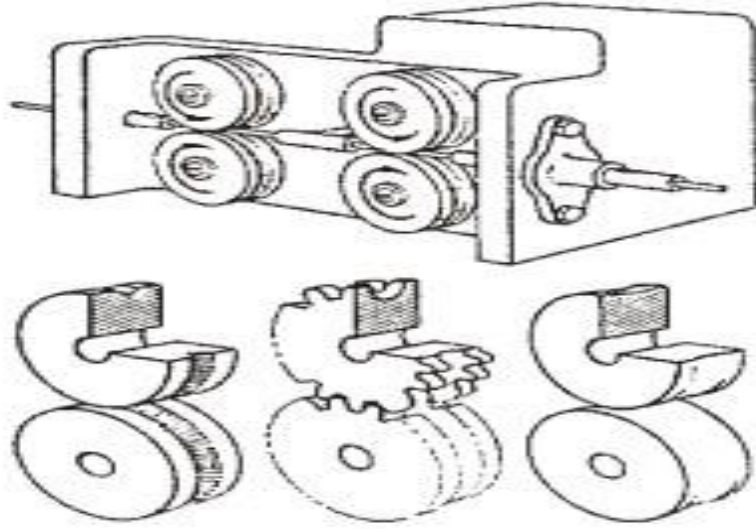
Sabit gerilimli güç ünitelerinde genellikle hızı sabit olan elektrot besleyicileri kullanılmaktadırlar. Bu sistemlere gerekli sistemler eklendiği takdirde sabit akımlı güç ünitelerinde de kullanmak mümkün olur.

Sabit akımlı güç ünitesi kullanıldığı takdirde, otomatik bir gerilim algılama sistemi gerekmektedir. Bunun olmasının sebebi kaynak esnasında oluşan arkta meydana gelen ark gerilimlerini algılar ve ark boyunu düzenlemek için elektrot iletmeye hızını değiştirmektedir. Büyük çaplı elektrotlarda (1.6 mm'den büyük) kullanılması gereken sistem değişken hızlı elektrot iletmeye tertibatı ve sabit akımlı güç ünitesinden oluşan bu sistemler kullanılabilir. Arkı kararlılığı sağlayabilmek için ilgili motor sisteminin hız ayarını yüksek elektrot iletmeye hızlarında hızlı bir şekilde yapamaz.

Elektrot iletmeye makaraları iletmeye motoru tarafından tahrik edilmektedir. Elektrodu bulunduğu yerden çekmek ve onu ana metal kaynağına torcun içerisinde iletmek için gerekli kuvveti oluştururlar.

Elektrot iletmeye ünitelerinde 2 makaralı veya 4 makaralı sistemler kullanılabilir. Tipik bir 4 makaralı elektrot iletmeye ünitesi Şekil 5.5'te gösterilmiştir.

Elektrot tellerine makaralar tarafından uygulanan basınç değerleri, elektrot tiplerine göre değişmektedir. Örnek vermek gerekirse özlü tel veya dolu tel ya da sert ve yumuşak tel gibi elektrotlarda basınç değiştirilebilmektedir. Elektrodun bozulmasını ve kıvrılmasını engellemek için iletmeye makaralarına doğru bir şekilde girmesi ve çıkmasını sağlamak için giriş ve çıkış kılavuzları kullanılmaktadır.



Şekil 5. 5: 4 Makaralı Tel Sürme Tertibatı (Barlas E, 2007)

5.1.1.3 Kaynak kontrolü

Tek bir entegre sisteminde elektrot iletim motoru ve kaynak motoru birlikte bulunur ve yarı otomatik uygulamalarında mevcuttur. Elektrot iletim motorunun hızını ayarlamak için bir elektronik sistem vasıtasıyla yapılmaktadır. Bu görevi kaynak kontrolü tarafından yapılmaktadır. Kaynakçı akımı artırmak için elektrot hızını arttırması gerekmektedir. Tam tersi için ise elektrot iletim hızının azaltılması akımın düşmesine sebep olmaktadır. Elektrot iletim hızının başlaması ve durması torça bulunan tetiğinin basması ile elektrodun akması ve tetikten elin çekilmesi sonucunda ise elektrot hızının durmasına neden olmaktadır. Bunun yanı sıra elektrodun iş parçasına temas ettiği an elektrodun akması veya yavaşça devreye girmesi, arkın iyice tutuştuktan sonra elektrodun hızlı bir şekilde iletilmesi gibi elektrodun iletim hızını kontrolü özellikleri de vardır. Özellikle sabit akımlı güç ünitelerinde bu 2 özellik kullanılmaktadır. Özellikle alüminyumun eriyen elektrotla gazaltı kaynağında faydalıdır.

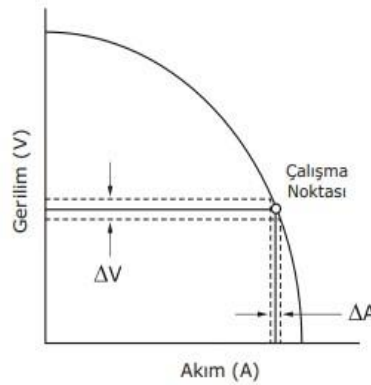
Genellikle kontrol yoluyla torca koruyucu gaz, elektrik gücü ve soğutma suyu gönderilmektedir. Selenoid valfler yardımıyla gaz ve su akışı kaynağın başlaması ve bitirilmesine denk getirilecek şekilde kontrol edilmektedir. Ayrıca bu kontrol sistemi

gaz akışını ve durdurmasını da kontrol etmektedir ve aynı zamanda güç ünitesinin kontaktörüne de enerji vermektedir. Kontrol sistemi, kaynak başlamadan önce gaz akışını başlatmakta ve kaynak bittikten sonra da gaz akışının bir süre devam ettirmesini sağlamaktadır. 115 V'luk bağımsız bir güç sistemiyle bu kontrol sistemi çalışmaktadır.

5.1.1.4 Güç üniteleri

Arkın oluşturulması için elektrik gücünün elektroda ve iş parçasına iletmesini gerekmektedir. Bunu da kaynak güç üniteleri gerçekleştirmektedirler. Gazaltı kaynak yönteminde çoğunlukla doğru akım kullanılmaktadır. Bu nedenle elektrot pozitif kutba bağlanır. Böylelikle kaynak güç ünitesinin negatif ucu kaynak parçasına, pozitif ucu ise torca bağlanmaktadır. Motor tahrikli jeneratörler ve redresör-transformatör başlıca doğru akım güç üniteleridir.

İnvertörler ise statik tiptedirler. 380 V'luk ya da 220 V'luk bir şebekenin mevcut bulunduğu bir atölye içerisinde transformatör-redresörler tercih edilmektedir. Bu tarz tipteki güç üniteleri ark şartlarındaki değişikliklere, motor tahrikli jeneratör tipli güç ünitelerine göre çok hızlı bir şekilde cevap vermektedirler. Elektrik şartlarının bulunmadığı yer ve lokasyonlarda motor tahrikli jeneratörler kullanılmaktadır. Bu tarzdaki tip güç üniteleri hem sabit gerilimli hem de akım çıkış karakteristiği verecek tarzda tasarlanıp üretilebilir. Gazaltı kaynağının eski uygulamalarında sabit akımlı güç üniteleri kullanılmıştır. Bu üniteler, kaynak sırasındaki ark uzunluğundaki değişimlere bağlı olmaksızın akım şiddetini sabit tutmaktadır. Şekil 5.6'da sabit gerilim ünitesinin akım gerilim ilişkisi gösterilmektedir.



Şekil 5. 6: Sabit Akımlı Güç Ünitesinde Akım-Gerilim İlişkisi (Barlas E, 2007)

Kısa devre akım şiddetleri ve yüksek açık devre gerilimi bu tarz ünitelerde bulunmaktadır. Ark boyu bu tarz ünitelerde sabit kalır. Çünkü bu tarz ünitelerin sabit gerilim uyguladıklarından dolayı sabit elektrot iletme hızı ve temas tüpü ile iş parçası arasındaki boyun değişmemesi sonucu ark boyu da değişmez. Fakat, kaynak uygulamasında bu ark boyu değiştiğinden dolayı ark ya temas tüpüne doğru ya da kaynak edilecek parçaya doğru giderek sönmeye eğilim gösterir. Bu yaşanan problemden kaçınmanın yolu gerilim kontrollü bir elektrot besleme sistemi kullanmaktır. Böylelikle gerilim azalıp yükselmesinden dolayı ilgili elektrot itme motoru da yavaşlayarak ya da hızlanarak bu elektrodun hızını yavaşlatarak ya da hızlandırarak bu ark boyunun sabit kalmasını sağlar. Bu hız ayarı kontrol sistemi tarafında otomatik olarak kontrol edilir. Sprey iletimli kaynak uygulamalarında bu tarzdaki güç üniteleri kullanılır. Kısa devre iletimlerinde kontrolün gerilim yoluyla yapılması uygun değildir. Çünkü kısa devre iletimde ark süresinin sınırlı olmasından kaynaklanmaktadır.

5.1.1.5 Koruyucu gaz regülatörleri

Kaynak uygulamasında gazın sabit ve kararlı bir şekilde akmasını sağlamak için bir sisteme ihtiyaç duyulur. Gaz basıncını sabit bir basınç değerinde tutmasını sağlayan sistem gaz regülatörlerdir. Tek veya iki kademeli olabildikleri gaz regülatörleri aynı zamanda da bir debimetreye de sahip olabilirler. İki kademeli regülatörler tek kademeli regülatörlere göre gaz kaynağında meydana gelecek değişimlere karşın gazı daha kararlı bir şekilde iletirler. Korumu gazının bulunduğu ünite yüksek basınçla doldurulmuş bir silindir veya dökme sıvı sistemi olabilir. Eğer ki; silindir tüplere farklı türlerde gaz doldurulup karışım gazı elde edilmek isteniyorsa uygun oranlar elde etmek için karıştırıcılar kullanılmalıdır. Ticari olarak tek bir silindirde önceden hazırlanmış gaz karışımları da elde etmek mümkündür. Tüketiciler aylık gaz harcamalarına göre gaz depolama ünitelerinin tipini ve boyutlarını belirlerler.

5.1.1.6 Elektrot ünitesi

Gazaltı kaynak uygulamalarında elektrot çok yüksek bir hızda tüketilmektedir ve bu elektrot sürekli tahrikli bir motor tarafında sürekli beslenmektedir. Bundan dolayı elektrot ünitesinin elektrodu torca kolaylıkla yüksek hacimde iletmesini sağlayarak maksimum verim elde edilmiş olur. Elektrot besleme ünitesine takılan makara ağırlıkları 0.45kg'dan 27kg'a kadar değişmektedir. Ayrıca büyük makaralar ve silindirlerde mevcuttur bunların ağırlıkları 114kg'a kadar büyüyen makaralardır. Elektrotlar ise 340kg'dan 450kg'a kadar değişen ağırlıktaki silindirlerde mevcuttur. Makaranın torç içinde bulunduğu sistemlerde ise küçük makaralar (0.45 kg ile 0.9 kg arası) kullanılır (Barlas E, 2007).

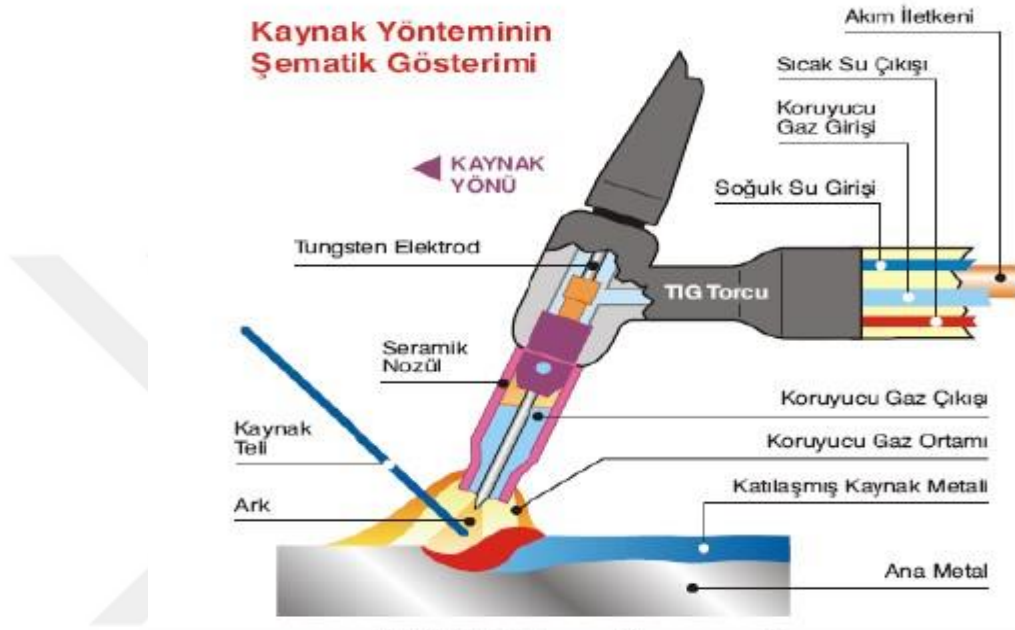
5.2 TIG Kaynak Yöntemi

TIG kaynak yöntemi, bir ark kaynağıdır. Daha çok alüminyum, titanyum ve magnezyum gibi hafif metallerin kaynağında kullanılmaktadır. Günümüzde önemli olan bu kaynak yöntemi 1940 – 1960 yılları arasında geliştirilmiştir. Bu yöntemde kullanılan donanım ark kaynağında kullanılan donanıma göre daha pahalı ve daha karmaşıktır. Çünkü bu yöntemde elektrik, gaz ve su anında sağlanması gerekmektedir.

Bu yöntemin kısaltılmış adı TIG olarak adlandırılır. Bu yöntem elektrik ark kaynak uygulamasının üst versiyonudur. Bu uygulamanın adında Tungsten kelimesi erimeyen elektrodu, Inert ise diğer element ve bileşiklerle kimyasal reaksiyona girmeyen soy gazları temsil etmektedir. Gaz kelimesi ise kaynak banyosunun üzerini örterek kaynak banyosunun, havanın olumsuz şartlarında korumasını sağlar. Bu kaynak yönteminin diğer isimleri ise, *Heliarc* veya *Argonarc* olarak da isimlendirilmektedir. Bu kaynak uygulamasıyla, genellikle diğer kaynak yöntemleriyle oluşturulan kaynaklara göre daha üstün özellikte kaynak dikişleri elde edilmektedir.

Bu yöntemde tungsten ile kaynak parçası arasında ark serbestçe yanmaktadır. Argon, Helyum veya bunların karışımından oluşan bir koruma gazı kullanılır bu yöntemde. Şekil 5.7'de, TIG kaynağının şematik gösterimi gösterilmektedir. Enerji üreticinin bir

kutbu tungsten elektroda diğeri parçaya bağlıdır. Ark, sadece tungsten elektrot ile kaynak edilecek parça arasında yanar. Dışarıdan kaynak bölgesine ilave malzeme, akım yüklenmeden kaynak bölgesine verilir. Yani kaynak bölgesine yandan veya önden, ya elle sevk edilen çubuk veya ayrı bir sevk aparatından sevk edilen tel formundadır.



Şekil 5. 7: TIG Kaynak Torcunun Şematik Gösterimi (URL-19, 2021)

TIG kaynak uygulamasında elektrot ile ergimiş kaynak banyosu ve dışarıdan ilave malzemenin ergimiş ucunun havanın olumsuz şartlarından korunması, ergimeyen tungsten elektrotla eş eksenli olarak bir koruyucu gazın akmasıyla korunmaktadır.

En çok TIG kaynak uygulamasında kullanılan koruma gazı Argon'dur. Tungsten elektrodun iyi bir şekilde korunması için koruma gazının saflık derecesi en az %99.95 olmalıdır. Kural gereği bu gazların saklandığı çelik tüplerdeki basınç 200 bardır. Hafif metallerde geniş ve derin nüfuziyet nedeniyle son yıllarda Argon/Helyum karışımı daha çok kullanılmaktadır (GEV, IIW No: 1.7, 2010).

6. MIG/MAG KAYNAĞINDA TÜKETİLEN SARF MALZEMELER

6.1 Masif Tel Elektrotlar ve Üretim Şekilleri

MIG/MAG ark kaynağında akım ileten teller kullanılmaktadır. MIG/MAG kaynağında kullanılan bu masif tel elektrotlar, kural gereği kaynak yapılan metal ile aynı tür kimyasal bileşim ve özelliklere sahip olup soğuk çekme yöntemi ile üretilmektedirler. İşlem için başlangıç şartı 5,5mm ile 6,0mm çapında sıcak haddelenmiş filmaşinlerdir. Çekme işlemine geçmeden önce, sıcak haddelemeden kalan oksitlerin temizlenmesi için dağlama ve mekanik temizleme yapılmaktadır. Üretim işleminin akışı sonunda bakır kaplamanın yapılması gerekmektedir. İlk seferde büyük bir kesit daralması sağlanmadığından dolayı çekme işlemi kademeli olarak yapılmaktadır. Bu sırada telin iç yapısında deformasyon sertleşmesi meydana gelmektedir. Böylelikle dayanım artar ve böylelikle tele ara tavlama uygulanmaktadır. Ara tavlama sıcaklıkları ise; 600 ila 650°C arasında yeniden kristalleşme tavında oluşmaktadır. Bu işlem esnasında tellerin üzerinde oksit tabakasını tekrar önlemek amacıyla tavlama işlemi fırında vakum ortamda ve koruyucu gaz altında yapılmaktadır. Son olarak teller son ölçülerine getirmek için bir bitirme çekmesi işleminden geçirilmektedir. Son çekmeden önce teller bakırla kaplanması gerekmektedir. Bu işlem elektrolitik yöntemle ya da galvanik bakır kaplama yöntemiyle yapılır. Her iki durumda da teller, bakır içeren bir banyoya daldırılır.

Elektrolitik bakır kaplamada, yüzey tabakasının kalınlığı uygulanan gerilimden etkilenmektedir. Fakat galvanik kaplamada bu kalınlığı tutma süresi belirlenir. Her iki durumda da pürüzlü ve gözenekli yüzeyler oluşmaktadır. Bundan ötürü son kez olarak bir yüzey düzeltme çekme işleminden geçirilmektedir. Bakır kaplamasının amacı; tel kontak borusunda geçerken, geçiş direncini ve mekanizmadaki sürtünmeyi azaltır. Ayrıca bakır kaplama, çelik teli atmosferik korozyona karşı korur. Tel çekme işlemi bittikten sonra teller makaralara sarılır. Makaralı kaynak teli Şekil 6.1'de görülmektedir.



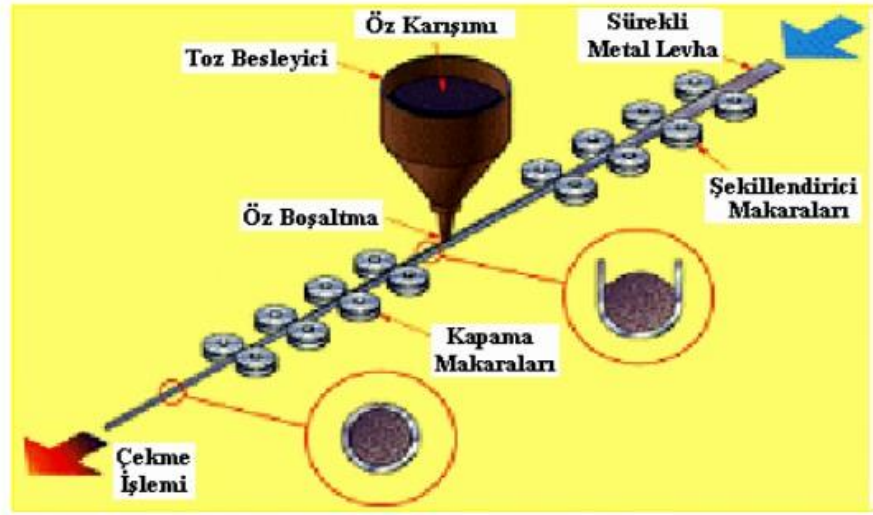
Şekil 6. 1: MIG/MAG Kaynağında Kullanılan Kaynak Teli (URL-20, 2021)

6.2 Özlü Tel Elektrotlar ve Üretim Şekilleri

Özlü tellerin verimliliği sebebinden dolayı son yıllarda kullanımı giderek artmıştır. Günümüz endüstrisinde başta otomotiv olmak üzere makine ve gemi imalatı endüstrilerinde yaygın olarak kaynaklı imalat yöntemlerinin diğer imalat yöntemleri içerisindeki payı %70-80 arasındadır.

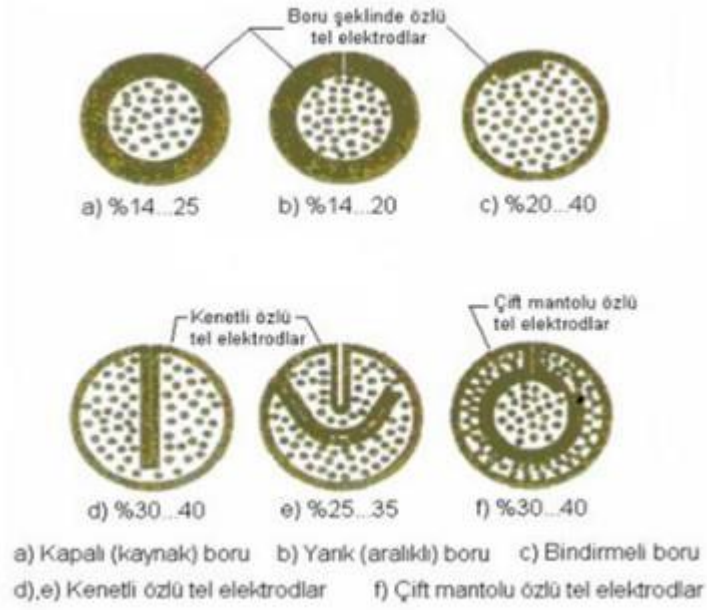
Kaynakta bilindiği gibi her kaynaklı sarf malzemenin kullanılan kaynak yöntemine göre kendine has avantajları ve dezavantajları vardır. Fakat kullanılan bu ürün birleştirme metodundaki teknolojik ilerleme ile üretim hızında bir artış, maliyet ve kalitede iyileştirmeler elde edilebilmektedir. Yani günümüzde yeni bir teknoloji olan özlü tellerin kullanıldığı gazaltı ark kaynağı yöntemiyle gerçekleştirilen kaynak işlemlerinde üretim artışı sağlanmaktadır. Özlü tel elektrotlar kaynak tekniğinde yeni avantajlar getirmektedir. Özlü telle yapılan kaynaklar yüksek ergime, sürekli kaynak işlemi, otomasyona uygunluğu, her pozisyonda kullanılması ve yüksek mekanik özelliklere sahip kaynak dikişlerin elde edilmesi açısından daha ekonomiktir. Özlü kaynak teli, içerisinde farklı element ve mineral toz bulunduran boru şeklindeki bir kaynak sarf malzemesidir. İçindeki özün amacı; belli bir kimyasal bileşimi sağlaması ile kaynakta hedeflenen belli özelliklere ulaşabilmektir. Genellikle alaşimsız ince çelik şerit sacların boru haline getirilmesi ve içerisinde de öz diye adlandırılan bu toz halindeki çeşitli bileşenlerin (cüruf ve gaz oluşturucu, alaşım elementleri ve deoksidasyon elementler vb.) karıştırılarak doldurulmasıyla imal edilen elektrotlara özlü tel olarak isimlendirilmektedir (GEV, IIW No: 1.8.2, 2012).

Öz lü teller ikiye ayrılmaktadır. Bunlar kenetli ve dikişsizdir. Dikişli boru yapımında olduğu gibi kenetli öz lü tel elektrotlar bir çelik şerit sacın rulolar arasında ilerleyerek ilk önce “U” tarzında şekillendirildikten sonra içerisine öz olarak adlandırılan (alaşım ve dekapan) tozların eklenmesi sonrasında yine aynı imalat makinasında geçirilerek “O” şeklinde boru haline getirilmesi sonucu elde edilir. Sonra “O” şeklindeki bu boru özel çekme tezgahlarında boru içerisinde boşluğun kalmaması, özün iyice sıkıştırılarak homojen bir şekilde yayılmasını ve en son çapa indirgenerek tel gibi çekimi yapılır. Şekil 6.2’de öz lü telin üretim aşamaları gösterilmektedir. Bu tarz öz lü tellerin daldırma yöntemiyle bakırla kaplanması yapılmaz.



Şekil 6. 2: Öz lü Telin Üretim Detayı (GEV, IIW No:1.8.2, 2012)

Kalın bir boru içerisinde öz denilen alaşım maddeleri (alaşım elementleri, deoksidasyon elementleri) doldurulur ve daha sonra bu boru ilgili makinadan çekilerek istenilen çapa inceltilerek dikişsiz öz lü tel elektrot üretimi yapılmış olur. Bu öz lü tel elektrotlarda çıplak elektrotlarda olduğu gibi bakırla kaplanması yapılabilmektedir. (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004). Şekil 6.3’te öz lü tellerin enine şekilleri görülmektedir.



Şekil 6. 3: Birbirinden Farklı Özlü Elektrotların Enine Kesiti (Osman Ç, 2013)

Özden beklenen başlıca görevler şunlardır;

- Kaynağın kimyasal bileşimini ayarlayarak kaynağın mekanik ve korozyon özelliklerini korur.
- Kaynak banyosunun üstünü cüruf oluşturarak atmosferin olumsuz etkilerinde korur.
- Kaynak dikiş formunun oluşmasını sağlar.
- Kendinden korumalı özlü tellerde gaz korumasını sağlayarak sağlıklı bir kaynak oluşmasını sağlar.
- Kaynağı alaşımlandırma yapar ve özellik kazandırır (GEV, IIW No:1.8.2, 2012).

6.2.1 Rutil özlü teller

Rutil özlü teller kaynaklı imalatla üreticiler arasında en çok tercih edilenidir. Çünkü kaynaklı konstrüksiyonda kaynak mukavemet ve özellikleri olması ayrıca kaynak dikişinin kaliteli görünüşü rutil özlü teli öne çıkarmaktadır. Rutil özlü tel, rutil elektrotlar gibi kararlı ve sakin bir ark tutuşuna sahiptir. Ayrıca rutil özlü tel kaynak esnasında daha yumuşak bir kaynak banyosu oluşturur ve kaynak banyosuna damla

geçiş sprej arka benzer şekilde ufak damlacıklar halinde geçmektedir. Sıvı kaynak metalinin ıslatma özelliği yüksek olduğundan dolayı kök pasolarında tek pasoda kaynağın çekilmesi zorlaşıyor. Bunu önlemek için seramik ya da metal altlık kullanmak gerekmektedir.

Günümüzde cürufu hemen katılaşılan rutil özlü tel elektrotların geliştirilmesi sonucu bilinen rutil özlü tel elektrotlarının kullanım alanları oldukça daralmaktadır (Tülbentçi, 1998).

6.2.2 Bazik özlü teller

Bazik özlü elektrotlarının tercih sebebi, düşük sıcaklıklarda kaynak edilebilmeleri ayrıca yapılan ıslık işlem sonrası yapılan kaynağın çok üstün tokluk özelliklerinden dolayı tercih edilmektedir. Pozisyon kaynağı uygulamasından bilinen bazik özlü elektrotlar uygun değildir. Çünkü kısa ark boyu ile çalıştılarından dolayı kaynak banyosunda cüruf bırakma riski vardır. Ayrıca bu elektrotlarda nüfuziyet iyi değildir. Fakat kök pasolarda köprü kurmada başarılı sonuçlar verdiklerinden dolayı altlık kullanmaya gerek yoktur.

Fakat son zamanlarda geliştirilen bazik özlü tel elektrotlar pozisyon kaynağına uygun olması ve yüksek akım ve gerilimde çalışabilmektedir. Ayrıca kaynak banyosuna metal geçiş sprej arka benzemektedir. Böylelikle yüksek akımın ve gerilimin olması sonucu kaynak banyosunda cüruf kalıntıları kalkmış, ergime hataları kalkmış ve nüfuziyet artmıştır. Ve böylelikle düşük sıcaklıklarda kalitesi yüksek kaynak dikişleri ve yüksek tokluk sağlanmaktadır (Tülbentçi, 1998).

6.2.3 Metal özlü teller

İçerisinde öz denilen metal tozlardan oluşan (alaşım elementleri, deoksidasyon elementleri) özlü tele metal özlü tel denir. Kaynak esnasında cüruf meydana gelmemektedir. Bu sayede sağlıklı bir şekilde üst üste pasolar atılabilmektedir. Metal özlü tellerin ortaya çıkması özlü tel üretim tekniği ile masif tel birikimiyle oluşturulması sonucu meydana gelmiştir. Kaynak sarf malzemesinin miktarının

kaynak metaline dönüşen kısım olarak adlandırılmasına “verim” denir. Toplam kaynak sarf miktarının kaynak metali olarak oluşan kısmı olarak tanımlanmaktadır. Diğer bir tanımla kaynak uygulamasında toplamda kaybedilen kaynak sarf malzemesi miktarı demektir. Bu oranlara baktığımızda masif tel için %90-98 arasındadır. Özlü teller için bu oran %80-87 arasındadır. Metal özlü tellerde ise cüruf kaybı olmadığından dolayı bu oran %91-96’dır. Metal özlü teller diğer özlü tellerden cüruf oluşturmama özellikleri ile ayrılırlar. Kaynak sonrası yüzeyde sadece silis oksit kümeleri kalır. Bu kalıntıların miktarı kullanılan koruma gazı miktarına bağlı olarak değişmektedir. Pasolar arası temizlik yapmadan üst üste çoklu pasolarla kaynak yapabileme imkânı bulunmaktadır (Lyttle, K.A, 1996).

6.3 MIG/MAG Kaynağında Kullanılan Koruyucu Gazlar

MIG kaynağı ile yapılan kaynaklı bağlantılarının özellikleri, oksit veya nitrür oluşumunda kötü yönde etkilendiğinden dolayı kaynak banyosunun hava ile teması istenmemektedir. Argon ve Helyum koruma gazlarının demir dışı metallerin ve yüksek alaşımlı çeliklerin MIG kaynağında kullanılmaktadır. Düşük alaşımlı ve alaşımsız çeliklerin MAG kaynağında ise; Oksijen, Karbondioksit veya bunların Argon karıştırılmış karışım gazları kullanılmaktadır.

6.3.1 Soy gazlar (Inert Gazlar)

Soy gazların son yörüngeleri elektronlarla tam dolu olduğundan dolayı diğer elementlerin atomlarıyla kimyasal reaksiyona girmezler. Bu nedenle uygulamanın ilk dönemlerinde aktif olmayan Helyum ve Argon gibi soy gaz olan gazlar kullanılmıştır.

6.3.1.1 Argon

Argon gazı sıvı metaller içerisinde çözünmemektedir. Gazın yoğunluğu havanın yoğunluğundan büyük olduğundan dolayı kaynak banyosunun üstünü örterek kaynak banyosunun havanın olumsuz etkilerinde koruma görevi yapar. Tesislerde Oksijen ve Azotun ayrıştırıldığı bu yerlerde yan ürün olarak Argon gazı elde edilmektedir. Kaynakta bu gazlar hem koruyucu hem de kök pasolarından çok iyi özellikler

gösterirler. Çünkü, bu argon ve argon karışımı gazları düşük iyonizasyon potansiyeline sahip olmalarıdır. Bu gaz altında arkı tutuşturmak kolaydır ve Magnezyum ve Alüminyum kaynağında alternatif akım kullanıldığı için çok iyi derecede oksit kaldırma özelliğine sahiptirler.

Diğer koruyucu gazlara (Helyum, CO₂) göre argon altında yapılan kaynaktaki arkın gerilimi düşüktür. Ayrıca argonunun ısı iletimi düşük olduğundan dolayı ark sütunu daha geniş alan kapsar. Sütunun merkezinde sıcaklık yüksektir çünkü burada gerek metal buharı gerekse damla geçişi olmasıdır. Bu durumda argon gazının kullanıldığı kaynaklarda nüfuziyet merkezde daha derin kenarlarda ise daha azdır. Argon gazının iyonizasyon potansiyel enerjisinin helyuma göre daha düşük olması ve çalışma akımında ark geriliminin daha düşük olmasının sağladığı özelliklerden dolayı ince kesitli malzemelerin kaynağında argon tercih edilme sebebidir.

Alüminyum ve bakır kaynağında argon tek başına iyi sonuç verdiği halde çeliklerin kaynağında ancak başka gazlarla karıştırılarak kullanıldığı zaman iyi sonuçlar vermektedir. Kaynakta meydana gelmesini istemediğimiz kaynak kusurları için Argon gazının saf olması çok önemlidir (GEV, IIW No:1.8.1, 2012).

6.3.1.2 Helyum

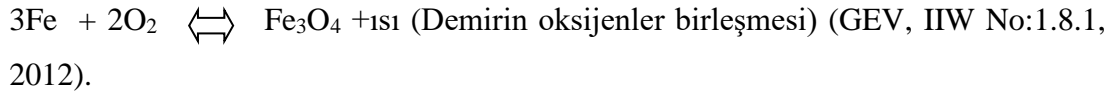
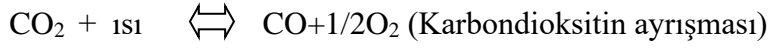
Soy gaz olan Helyum gazı, günümüzde doğalgazdan ayrıştırma yöntemiyle elde edilmektedir. Helyum atmosferde çok az bulunduğundan dolayı henüz ayrıştırmak mümkün olmamaktadır. Helyum'un iyi ısı iletkenliğinden dolayı kaynakta koruma gazı olarak kullanıldığında çok iyi derin nüfuziyetli dikişler vermektedir. Helyumun iyonizasyon potansiyeli argona göre daha yüksek olmasından dolayı Helyum atmosferinde meydana gelen kaynak arkı daha yüksek enerjiye sahiptir. Bu sebepten dolayı ısıyı iyi ileten kalın kesitli bakır, alüminyum ve magnezyum gibi metallerin kaynak uygulamasında parçaya ön ısıtma yapılması gerekmez. Helyum argona göre on kat daha hafif olduğu için korumanın yapılması için daha fazla helyum kullanılması gerekir. Örnek vermek gerekir ise; yatay pozisyonda aynı koşullarda argonun yapmış olduğu korumayı yapmak için 3 kat daha fazla helyum harcamaya ihtiyaç duyulur. Uygulamalarda gerek ekonomik yönde gerekse de teknolojik nedenlerden dolayı daha çok karışım gazları kullanılmaktadır (GEV, IIW No:1.8.1, 2012).

6.3.2 Aktif gazlar

6.3.2.1 Karbondioksit

Karbondioksit renksiz ve kokusuz olup, aktif bir gazdır. Yoğunluğu 1.977kg/m^3 tür ve havadan yaklaşık 1.5 kat daha yoğundur. Karbondioksitin elde edilmesi; akaryakıtlardan, yanıcı gazlardan, kok kömürün yanmasından, amonyak üretiminde, alkolün fermantasyonunda yan ürün olarak elde edilir. Genel olarak kaynak banyosunu korumak için basınçlı tüplerde bulunan karbondioksit çekilerek koruma sağlanır. Karbondioksit tüpleri 15°C de yaklaşık olarak 65 bar basınçta doldurulur. Diğer aktif gazların kaynaktan koruyucu gaz olarak kullanıma uygun olmamalarından dolayı Karbondioksitin sağladığı birçok üstünlükten dolayı daha çok tercih edilmektedir. Bu nedenle CO_2 kendisine geniş anlamda büyük bir uygulama alanı bulmuştur. Bunun temel sebebi az alaşımlı ve yalın karbonlu çeliklerin gazaltı kaynağında yeni imkanların ortaya çıkmasına neden olmasındandır. Karbondioksitin üstünlüklerine bakıldığında, çeliklerin kaynağında yüksek kaynak hızları, derin nüfuziyet ve daha düşük kaynak maliyeti olarak sıralamak mümkündür. Karbondioksit gazı altında kısa ark düşük akım şiddetinde kaynak yapmak mümkün. Ve damlasal metal geçişi ve uzun ark için yüksek akım değerlerinde kaynak yapmak mümkündür. Karbondioksit atmosferi altında yapılan kaynak yöntemine MAG adı verilmektedir.

Karbondioksit gazı Argon'a göre aktif bir gaz olduğundan dolayı arkın yüksek sıcaklığında kendisini oluşturan Karbonmonoksit ve Oksijen'e dönüşmektedir. Ayrışan bu gazlar direk kaynak banyosuna geçer ve bir miktarı tekrar karbondioksite dönüşmektedir böylelikle ayrışma esnasında aldığı ısı tekrar geri verir. Böylelikle kaynak dikişinde nüfuziyetin artmasına neden olur. Serbest kalan Oksijen ise Demirle birleşir. Banyo içerisindeki demiroksit, mangan ve silisyum tarafında redüklenir. Bu kaybolan mangan ve silisyum miktarı kaynak teli tarafından karşılanmaktadır. Bu nedenlerden dolayı MIG için üretilmiş kaynak telleri MAG kaynağında kullanılmaz. Karbondioksitin kimyasal ayrışması ve diğer elementlerin kimyasal denklemleri aşağıdaki gibidir;



6.3.3 Karışım gazlar

Kaynak uygulamalarında birleştirilecek kaynaklı parçalarının özelliklerinin dışında koruyucu gazın ekonomikliği ve kaynak esnasında gazın özellikleri de göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Gazların birbirine göre sahip oldukları iyonizasyon potansiyelleri, ayrışma enerjisi, öz kütleleri, elektrik ve ısı iletim ve maliyetleri farklılıklar ortaya çıkmaktadır. Böylelikle arkın oluşumu, kaynak işlemi sırasındaki aktivitesi, ark atmosferinin karakteri ve ark içindeki malzemenin taşınımı vb. özellikleri farklılık göstermektedir. Tek bir gazın kullanılması sırasında sadece bazı özellik ve üstünlüklerinden faydalandığından dolayı farklı gazların üstünlüklerinden de yararlanmak için günümüzde MIG/MAG kaynak yönteminde bu gazların karışımları kullanılmaktadır (GEV, IIW No:1.8.1, 2012).

6.3.3.1 Helyum-argon karışımları

Argon ve helyumun karışımı hem Argon hem de helyum'un en iyi özelliklerini bir arada elde edebilmek için geliştirilmiş olup ve böylelikle nüfuziyet ve ark kararlılığı optimize edilmektedir. Uygulamada bu iki gazın %80 He - %20 Ar'dan %25 He - %75 Ar'a kadar çok farklı gaz karışımları mevcuttur. Üstün ark kararlılığını ve derin bir nüfuziyeti birlikte elde edebilmek için helyuma %25 Argon gazının ilavesi ile sağlanabilmektedir. Magnezyum, alüminyum, bakır ve nikel alaşımlarının kaynağında Ar-He gaz karışımı gazlar yaygın bir şekilde uygulanmaktadır. Bu gaz karışımları saf Argona göre üstünlükleri, daha kararlı bir ark oluşturmakta ve daha düşük miktarda gözenek oluşumuna neden olmaktadır (GEV, IIW No:1.8.1, 2012).

6.3.3.2 Argon-karbondioksit karışımları

Koruyucu gazlar kendine has fiziksel ve kimyasal özelliklere sahiptirler. Kararlı bir arka kaynak yapabilmek için her bir gaza belirli bir ark şiddeti ve gerilimi vermek

gerekir. Örnek vermek gerekirse; Karbondioksit moleküllerin birbirinden ayrışması için yüksek akım yoğunluğuna ihtiyaç duyulmaktadır. Bundan dolayı kaynak banyosuna büyük taneli, sıçrantılı bir damla akışı oluşmaktadır. Ve böylelikle kaynakta derin nüfuziyetli kaynak dikişleri meydana gelmektedir. Sade karbonlu çeliklerin CO₂ gazının altında yapılan kaynak işleminde bazen büyük problemler meydana gelmektedir. Bu gaz ekonomik olmasına rağmen kaynak dikişinde düzgün olmayan yüzeyler, bazen de derin nüfuziyetin oluşturduğu uygunsuzluklar ve bazen de aşırı sıçrantı gibi olumsuzluklar meydana gelmektedir. Yüksek miktarda sıçrantının oluşması kaynak kalitesini düşürdüğü gibi temizleme açısında da maliyeti de artırmaktadır. Halbuki Argon Oksijen veya karbondioksit gazların karıştırılması ile oluşan ekzoterm oksitlenme taşınım türünün reaksiyonu sonucunda kaynak banyosunun sıcaklığı yükselir ve yüzey gerilimi zayıflar ve böylelikle kaynak banyosunun akıcılığı artmış ve aşırı sıçrantı ise giderilmiş olur. Ar-CO₂ oranını değiştirerek arkta metal taşınım türünü ve kaynak nüfuziyet profilini kontrol altında tutma olanağı vardır. Oksijenin oksitleyici etkisi oksijene karşı büyük bir ilgisi olan mangan, silisyum, alüminyum, titanyum gibi alaşım elementlerinin kaynak telindeki miktarının artırılması ile dengelenir. Argon gazına az miktarda oksijen eklenmesi (%1-%5) arkın stabilizasyonunun iyileştirilmesini sıçrantının azalmasını sağlar. Ayrıca diğer bir özellik ise daha derin nüfuziyet dikişleri ve daha düzgün bir dikiş profilinin oluşmasının yanı sıra saf argon kaynağında karşılaşılan yanma oluklarını da ortadan kaldırır (GEV, IHW No:1.8.1, 2012).

6.3.3.3 Argon-helyum-karbondioksit veya oksijen karışımları

Argon-helyum-karbondioksit karışımı gazlar kısa ark boyu ile kaynakta kaynak banyosunun ıslatma özelliğini geliştirmek için kullanılmaktadır. %90 He, %7.5 Ar ve %2.5 CO₂ karışımı koruyucu gaz paslanmaz çeliklerin kaynağında kısa ark boyu ile çalışma ve daha az aktif bir atmosfer oluşturarak paslanmazlık özelliğini korumak için kullanılmaktadır. Ayrıca bu karışım gazı az alaşımlı çeliklerin kaynağında da kaynak metalinin tokluğunu geliştirme açısında da iyi sonuçlar vermektedir. %69 Ar, %30 He ve %1 O₂ den oluşan yeni bir koruyucu gaz paslanmaz çeliklerin kaynağında özellikle kaynak banyosunun vizkozitesi, esas metali ısıtma özelliği, arkın kararlılığı ve sıçrantının azalması bakımından çok uygun sonuçlar vermektedir. Bu karışım gazın

bir diğer özellikleri de; kısa ark, sprej ark ve darbeli arkta da çok iyi sonuçlar vermektedir (GEV, IIV No:1.8.1, 2012).



7. KAYNAKTA MUAYENE YÖNTEMLERİ

7.1 Tahribatsız Muayeneler

Tahribatsız kaynak muayeneleri genellikle ürün kalitesini belirlemek amacıyla kullanılmakla birlikte yeni geliştirilen bir malzemenin herhangi bir konvansiyonel kaynak yöntemi ile kaynak edilebilirliğinin veya yeni geliştirilen bir kaynak yönteminin herhangi bir malzemeye uygulanabilirliğinin araştırılması çerçevesinde de kullanılır.

Kaynak kalitesinin kontrolüne yönelik kullanılan tahribatsız yöntemler şu şekilde sıralanabilir.

- Görsel Muayene,
- Manyetik Parçacık Muayene
- Radyografik Muayene,
- Sıvı Penetrant Muayene
- Ultrasonik Muayene,
- Elektromanyetik Muayene,
- Optik Emisyon Test,

Kaynak kalitesinin kontrolü için kullanılan en önemli yöntemler aşağıda sıralanmıştır.

7.1.1 Görsel muayene

Görsel muayene herhangi bir özel araç gerektirmeyen maliyeti düşük ve en yaygın olarak kullanılan muayene şeklidir. Genellikle bir inspektör tarafından kaynak dikişi profili gibi kaynağın standartlara uygun olarak hazırlanıp hazırlanmadığının tespiti

amacıyla yapılır. Görsel kaynak hatalarının hızlı bir şekilde tespiti yapılarak toplam üretim maliyetinden tasarruf yapılmasına imkân verir. İlgili görsel muayene ISO 17637 standardına, değerlendirme ise ISO 5817 standardına göre yapılmaktadır.

7.1.2 Manyetik parçacık muayene

Sadece ferromanyetik malzemelerde yüzey ve yüzey altındaki hataların tespitinde kullanılan bir tahribatsız muayene yöntemidir. Ferromanyetik bir malzemede mevcut hatalar manyetik kuvvet çizgilerinin yönünü değiştirmektedir. Muayene edilecek test parçasına elektrik akımı verilerek ya da manyetik bir alana yerleştirilerek manyetik hale getirildikten sonra üzerine manyetik demir oksit tozu serpiştirilir. Şayet, yüzeyin altında çatlaklar ve kalıntılar gibi hatalar mevcut ise metal tozlar bu alanda birikmektedir. Uygulaması çok basit ve herhangi bir özel uygulama gerektirmeyen bu yöntem özellikle kaynak kalitesi kontrolünde yaygın olarak kullanılmaktadır. İlgili test EN ISO 17638 standardına göre yapılmaktadır.

7.1.3 Radyografik muayene

X-ışınları veya Gama ışınları kullanılarak kaynaklı parçada hata tespiti yapılan bir muayene şeklidir. Bir malzeme üzerine bu ışınlar gönderildiğinde bir kısmı yansıtılır, bir kısmı da absorbe edilir ve bir kısmı da malzeme tarafından geçirilir. Malzemede geçen bu ışınlar bir film üzerinde görüntü oluştururlar. Malzemedeki geçen ışın miktarı malzemenin yoğunluğuna, malzeme bünyesinde bulunan inklüzyon gibi hataların miktarına, kalınlık farklılıklarına ve kullanılan ışının karakteristik özelliklerine bağlıdır. Malzeme bünyesindeki hatalar malzemedeki geçen ışın miktarını etkileyerek film üzerinde farklı kontrastların oluşmasına neden olurlar. Böylelikle malzeme bünyesinde herhangi bir hata olup olmadığı tespit edilir. İlgili test EN ISO 17636-1 standardına göre yapılmaktadır.

7.1.4 Sıvı penetrant testi

Yüzeydeki veya yüzeye açık hataların testinde kullanılan bir yöntemdir. Herhangi bir özel ekipman gerektirmeyen bir test yöntemidir. Bu yöntemde, renkli bir penetrant

sıvısı hata tespiti yapılacak malzemenin yüzeyine fırça ya da sprey şeklinde uygulanmaktadır. Daha sonra belirli bir süre beklenir. Sıvı penetrant yüzeyde veya yüzeye açık bir hata mevcut ise içerisine sızarak hatayı doldurur. Çözücü şeklinde veya kuru toz şeklindeki geliştirici eklenerek belirli bir süre daha beklenir ve sıvı penetrantı absorbe etmiş bölgede farklı tonda bir görüntü elde edilir. İlgili test EN ISO 23277 standardına göre yapılır.

7.1.5 Ultrasonik muayene

Yüksek frekanslı (>20kHz) ses dalgaları kullanılarak yapılan bir tahribatsız malzeme muayene yöntemidir. Ses dalgası sonotrot vasıtasıyla yüzeyine jel tatbik edilmiş malzemeye verilir ve ses yansımalarına neden olan yüzeyler veya malzeme içerisinde mevcut herhangi bir hata tespit edilir. Bu teste parça içerisindeki kalıntılar, çatlaklar ve porozite gibi süreksizlikler ses iletimindeki kayıplar sayesinde belirlenir. Yansıyan sesin şiddeti hatanın büyüklüğü ile doğru orantılıdır. Ses dalgasının malzeme içerisindeki hızı sabit olduğundan dolayı malzeme kalınlığı da tespit edilebilir. İlgili test EN ISO 11666 standardına göre yapılır.

7.2 Tahribatlı Muayeneler

Bu yöntemde yapılan tahribatlı testler kaynak muayeneleri içyapı incelemeleri ve muhtelif mekanik testlerdir. Bu deney sonuçlarının yorumlamasında dikkatli olmak gereklidir. Çünkü laboratuvar deneylerinde kaynaklı parçadan numune alınarak teste tabi tutulur ve lokal davranışı belirlenir. Test edilen numunenin tüm kaynaklı parçanın global davranışını temsil etmesi gerekmektedir.

Tahribatlı muayene yöntemleri şunlardır;

- Sertlik Testi,
- Metalografik İnceleme,
- Çekme Testi,
- Kırılma Tokluğu ve Çentik Darbe Testi Deneyleri
- Kesme Testi,

- Bükme Testi,
- Yorulma Testi,
- Sürünme Deneyi,
- Korozyon Deneyi,

Bu yüksek lisans tez çalışmamızda en çok kullandığımız tahribatlı testler aşağıda detaylı bir şekilde açıklanmıştır (Gürel. Ç, 2020).

7.2.1 Sertlik deneyi

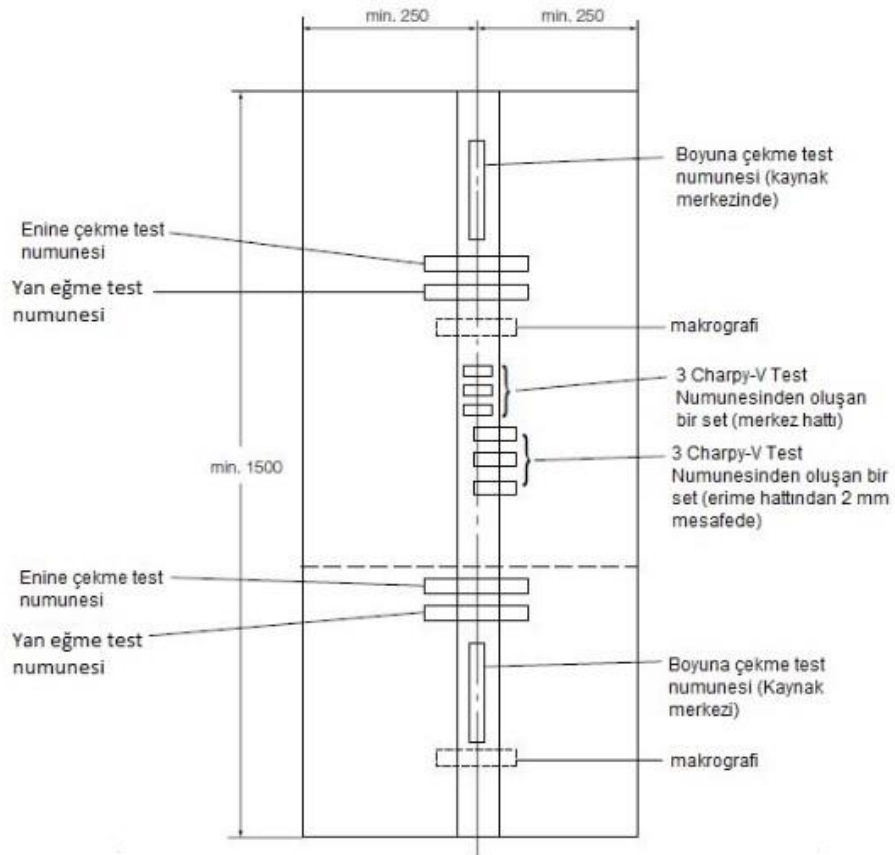
Kaynak kalitesini kontrole yönelik tahribatlı sertlik deneyleri genellikle mikrosertlik deneyleri olup, kaynaklı parçadan alınan numune üzerinde gerçekleştirilir. Bu yöntemde, çok ufak iz bıraktığı ve dolayısıyla lokal sertlik ölçümüne müsaade ettiği için genellikle daha yaygın olarak Vickers mikrosertlik deneyi uygulanır. Bu test ile kaynak bölgesinde oluşan ve çok dar olan değişik iç yapıdaki bölgelerin sertliğinin ölçümü mümkündür. Mikrosertlik ölçümleri numune ebatları küçük ise bakalite veya soğuk kalıplama malzemelerine gömme, numune yeteri kadar büyük ise kalıplamadan zımparalama ve parlatma gibi işlemleri takiben yapılır. Bu ölçümler ile malzemenin sertlik değerleri ile mukavemet değerleri arasında lineer bir ilişki olduğundan sağlıklı bir şekilde kaynak bölgesinin mukavemet değerlerini tahmin etmek mümkündür (Gürel. Ç, 2020). İlgili test TS EN ISO 9015 standardına göre yapılır (Gürel. Ç, 2020).

7.2.2 Metalografik (Makro-Mikro Yapı) inceleme

Kaynak bölgesinde oluşan içyapı ve içyapıların esas malzeme davranışına olan etkisi hakkında bilgi sahibi olmak gerektiğinde bu yöntem uygulanmaktadır. Değişik metalografik metotlar mevcut olup, bu muayene işlemlerinin yapılabilmesi için kaynaklı parçadan numune alınarak yüzey hazırlanır. Numune genel olarak kaynak kesiti incelenecek şekilde alınır. Yüzeye yapılacak incelemeye bağlı olarak yalnızca zımparalanır veya zımparalama sonrası parlatılır. Daha sonra istenirse yüzey dağlanır ya da dağlama yapılmadan incelenebilir. Fakat optik mikroskop kullanılarak kaynak bölgesindeki iç yapılar incelenmek istendiği takdirde dağlama yapmak gerekir (Gürel. Ç, 2020). İlgili test ISO 17639 standardına göre yapılır (Gürel. Ç, 2020).

7.2.3 Çekme deneyi

Neredeyse tüm parçaların tasarımı minimum mukavemet esasına göre tasarlanmaktadır. Birçok uygulamada malzemenin akma mukavemeti o malzemeden yapılacak parçanın çalışma şartlarında dayanabileceği maksimum yükü belirlemektedir. Kaynak işlemi genellikle kaynağı yapılan malzemede metalurjik değişimlere ve dolayısıyla mekanik davranışının deney yapılarak tespiti edilmesi gerekmektedir. Statik yükler altında kaynaklı parçanın davranışını belirlemek için çekme testi uygulanmaktadır. Kaynaklı parçanın yanında ana malzemede de yeterli sayıda numune çıkarılarak çekme testi uygulanır. Ana malzeme ve kaynaklı parça çekme testi sonuçları karşılaştırılarak kaynak işleminin mukavemet ve süneklik üzerindeki etkisi tespit edilmektedir. Kaynaklı parçaların geometrik şekline bağlı olarak silindirik veya yassı numuneler test edilmektedir. Kaynaklı parçaların değişik bölgelerinden ve değişik konfigürasyonlarda çekme parçaları çıkarılmaktadır. Şekil 7.1’de farklı şekilde çıkarılmış test numuneleri görülmektedir. İlgili test TS EN ISO 6892-1 standardına göre yapılmaktadır (Gürel. Ç, 2020).



Şekil 7. 1: Farklı Şekilde Çıkarılmış Kaynak Test Parçaları (Türk Loydu, 2015)

7.2.4 Çentik darbe testi

Kırılma tokluğu, çatlak ilerlemesine malzemenin gösterdiği direnç olarak adlandırılmaktadır. Çatlak ilerlemesi enerji gerektiren bir durumdur. Parçanın kullanımını esnasında çatlak ilerlemesi için gerekli güç malzeme bünyesinde depolanmış elastik deformasyon enerjisidir. Kırılma tokluğu deneylerinde ise çatlak ilerlemesi için gerekli enerji cihazı tarafından sağlanır. Akma noktalarının altında aynı gerilme/akma mukavemeti oranlarında yüklenen yüksek mukavemetli malzemelerden daha yüksek miktarda elastik deformasyon enerjisi depolanır. Dolayısıyla aynı çatlak boyunda iki malzemeden yüksek mukavemetli olanın çatlak ilerlemesinin gerçekleşmemesi için düşük mukavemetli olan malzemeye oranla daha yüksek tokluğa sahip olması gerekmektedir.

Çentikli darbe deneyi; numuneleri çatlak içermezler, bu numunelerde yalnızca çentik açılmaktadır. Dolayısıyla daha kolay ve ekonomik olup, ürün kalite kontrol amaçlı daha yaygın olarak kullanılmaktadır. 1905 yılında, çeliklerin sünek-gevrek kırılma geçiş sıcaklığı aralığında kırılma davranışları üzerinde çentiklerin etkisini test etmek için geliştirilmiş olan bu test, günümüzde çeliklerin kalite kontrolünde yaygın olarak uygulanmaktadır. Bu testte numuneyi kırmak için sarkaç şeklinde bir çekiç kullanılır. Numune istenilen sıcaklığa getirilip test cihazına yerleştirilir ve birkaç saniyede kırılmaktadır. Cihazın kadrından numuneyi kırmak için harcanan enerji okunur. Bu enerji tokluğun bir ölçüsü olarak kabul edilmektedir. Test sonuçları arasında farklılıklar olabileceği için en az üç numune teste sokulur ve ortalama değer ile en düşük değer rapor edilmektedir (Gürel. Ç, 2020). İlgili çentik darbe testi TS EN ISO EN 148-1 standardına göre yapılmaktadır.

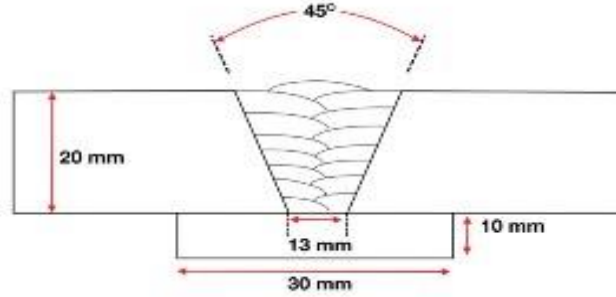
8. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

8.1 Rutil ve Metal Özlü Telin Kaynağında Kullanılan Sarf Malzemelerin Özellikleri

8.1.1 Ana malzeme (S355J2+N)

Deneyleerde rutil ve metal özlü telin hem mekanik özelliklerini hem de makro-mikro yapılarının kıyaslamasını yapmak için EN 10025-2 standardına göre S355J2+N kalite çelik seçildi. İlgili çelikteki harf ve rakamların anlamı ise; S, yapı çeliği; J2, -20°C de 27J çentik darbe enerjisini, 355, sayısı ise 355N/mm² akma mukavemetini ve N ise normalizasyon işlemini temsil etmektedir (GEV, IIW No: 2.1, 2012). Bu çelik parçadan 20x150x400mm ebatlarında ve 45°C V-kaynak ağzı açılmış ve ana malzemeyle aynı kalitede olan çelik altlık kullanıldı. Ayrıca rutil ve metal özlü telin akma ve çekme mukavemetini kıyaslayabilmek için çekme test numunelerini sadece kaynaklı bölgeden çıkartmak için birleşme aralığı 13mm olarak seçildi. Böylelikle iki telin mekanik özelliklerinin birbiriyle kıyaslanması yapılabilir. Çeliklerde en önemli element karbon elementidir, çünkü karbon miktarı çeliğin sertlik, mukavemet ve şekil değiştirme gibi mekanik özelliklerine etki eder (Bean, 1993). Karbon oranı %0.22 kadar olan çelikler çok kolay kaynak edilebilirler. Kaynaktaki bu karbon oranı iyi kaynak için maksimum değerdir. Bazı literatürlerde bu oranın %0.30'lara kadar çıkılabileceği fakat ön tavlamanın yapılması gerektiği vurgulanır (Selahaddin, A. 1991). Kaynak esnasında ısı tesiri altındaki bölge sertleşme eğilimi gösterir. Buralarda soğuma hızı eşik değere ulaştığında malzeme kırılğan martenzite dönüşür. Bu nedenden dolayı karbon miktarı yüksek olan malzemelerde martenzit yüzdesi fazla ve malzeme sert ve gevrek olmaktadır (Bargel, Schulze, 1993).

S355J2+N malzemesine ait mekanik-kimyasal bileşimler sırası ile Çizelge 8.1 ve Çizelge 8.2’de gösterilmektedir. Ayrıca test parçasının geometrik V kaynak ağzı Şekil 8.1’de detaylandırılmıştır.



Şekil 8. 1: Test Parçasının V-Kaynak Ağzı

Çizelge 8. 1: S355J2+N Kimyasal Bileşimi (% Ağırlık) (EN10025-2)

Malzeme	C	Si	Mn	P	S	Cu
S355J2+N	max0.22	0.55	1.60	0.03	0.03	0.55

Çizelge 8. 2: S355J2+N Mekanik Özellikleri (EN10025-2)

Kalınlık (mm)	Akma Mukavemeti Rm0.2 (N / mm ²)	Çekme Mukavemeti Rm (N / mm ²)	Uzama (%)	Charpy-V Çentik Boyuna
3 <t <100	315-355	490-630	22	-20 °C / 27 Joule

Şekil 8.2’de test parçasının altlıklı bağlantısı görülmektedir.



Şekil 8. 2: Kaynak Test Parçasının V-Kaynak Ağız Görünümü

8.1.2 Kaynak esnasında kullanılan özlü tel elektrotlar

8.1.2.1 S355 J2+N kaynağında kullanılan rutil özlü telin özellikleri

İlk ana malzememizin kaynağında TS EN ISO 17632-A standardına göre Ø1.2mm çapında ELCOR R 71 rutil özlü kaynak teli seçildi. Burada R, rutil olduğunu ve 71’de ki rakamlar ise; ilk rakam olan 7 mukavemeti ve 1 olan rakam ise, her pozisyonda kaynak yapılabileceğini göstermektedir. Bu tele ait kimyasal bileşim yapısı ve mekanik özellikleri sırası ile Çizelge 8.3 ve Çizelge 8.4’te belirtilmiştir.

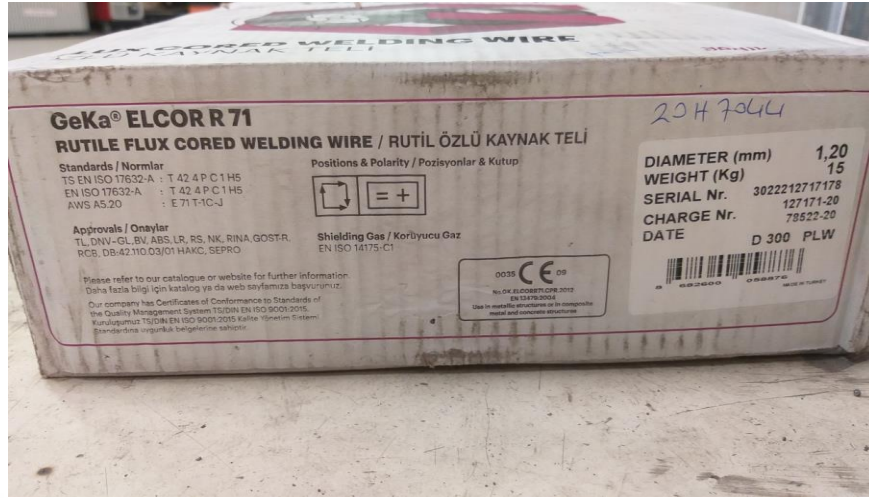
Çizelge 8. 3: Rutil Özlü Telin Kimyasal Bileşimi (%Ağırlık) (TS EN ISO 17632-A)

Element	C	Si	Mn	P	S
%Ağırlık	0.06	0.5	1.3	0.015	0.015

Çizelge 8. 4: Rutil Özlü Telin Mekanik Özellikleri (TS EN ISO 17632-A)

Isıl İşlem	Akma Dayanımı (N/mm ²)	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Çentik Dayanımı (ISO-V/-40°C)	Uzama (Lo=5do) (%)
Isıl İşlemsiz	min. 420	500-640	min. 50 J	min. 22

Şekil 8.3'te kullanılan kaynak telin etiket bilgisi görülmektedir.



Şekil 8. 3: Kaynakta Kullanılan Rutil Özlü Telin Etiket Bilgileri

8.1.2.2 S355 J2+N kaynağında kullanılan metal özlü telin özellikleri

İkinci ana malzememizin kaynağında TS EN ISO 17632-A standardına göre Ø1.2mm çapında ELCOR M 70 kodlu metal özlü kaynak teli seçildi. Burada M harfi, metal olduğunu ve 70'de ki rakamlar ise; ilk rakam olan 7 mukavemeti ve 0 olan rakam ise, düz pozisyonda (PA) kaynak yapılabileceğini göstermektedir. Bu tele ait kimyasal bileşim yapısı ve mekanik özellikleri sırası ile Çizelge 8.5 ve Çizelge 8.6'da belirtilmiştir.

Çizelge 8. 5: Metal Özlü Telin Kimyasal Bileşimi (%Ağırlık) (TS EN ISO 17632-A)

Element	C	Si	Mn
%Ağırlık	0.05	0.65	1.6

Çizelge 8. 6: Metal Özlü Telin Mekanik Özellikleri (TS EN ISO 17632-A)

Isıl İşlem	Akma Dayanımı (N/mm2)	Çekme Dayanımı (N/mm2)	Çentik Dayanımı (ISO-V/-40°C)	Uzama (Lo=5do) (%)
Isıl İşlemsiz	min. 460	530- 650	min. 47 J	min. 22

Şekil 8.4’de metal özlü tele ait etiket bilgileri görülmektedir.



Şekil 8. 4: Kaynakta Kullanılan Metal Özlü Telin Etiket Bilgileri

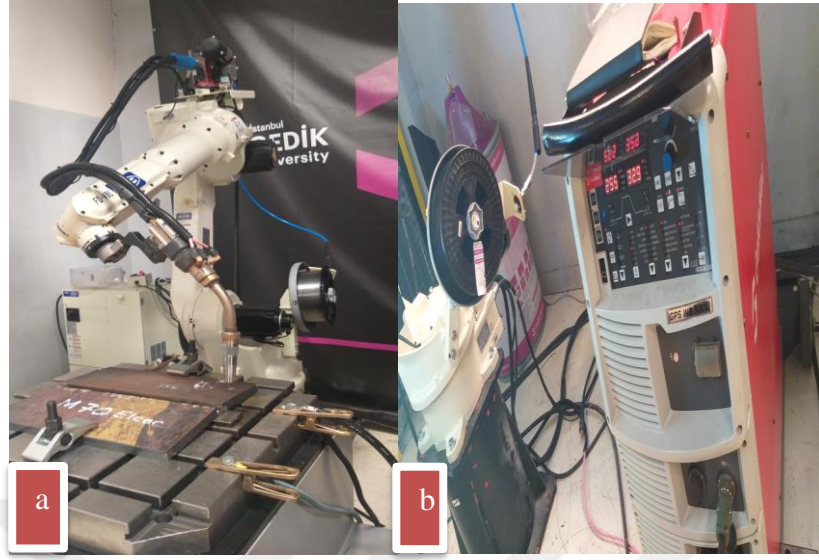
8.1.2 S355J2+N kaynağında kullanılan koruma gazları

Rutil özlü telin kaynağında; ergitme kaynağı ve benzeri işlemler için gazlar ve gaz karışımları standardı EN ISO 14175’e göre koruyucu gaz olarak %100 CO₂ gazı seçildi. Metal özlü telin kaynağında ise max %82 Ar - max %18 CO₂ karışım gazı olan M21 gazı kullanıldı. Her iki telin kaynağında da gaz debisi 15L/dk olarak seçildi.

8.2 Kullanılan Kaynak Makinası

Hem rutil özlü telle hem de metal özlü telle yapılan kaynak işleminde voltaj sabitli Gedik marka PS WB 500L model MAG kaynak makinası kullanılmış ve manipülatör olarak da Daihen Corporation NV81 –NEFC model seçildi.

Şekil 8.5'te MAG kaynak makinası ve kaynak manipülatörü görülmektedir.



Şekil 8. 5: a) Manipülatör ve b) MAG Kaynak Makinasının Görünümü

8.3 Kaynak İşlemlerinin Yapılması

8.3.1 Kaynak test parçasının kaynak öncesi hazırlığı

Hem rutil hem de metal özlü telle yapılan kaynakta alaşımsız ve düşük karbonlu S355J2+N kalitesine sahip çelik parça seçildi. Bu parçadan kaynak ağzı 45° açıyla V-Kaynak ağız geometrisine sahip ve 20x150x400mm ebatlarında parçalar kesilmiştir. Düzgün kaynak dikişi elde etmek için altlık olarak ana malzemeyle aynı kalitede olan S355J2+N çelik altlık seçilmiştir. Kaynak öncesi kaynak edilecek yüzey taş motoruyla düzgün bir şekilde yağ, kir, çapak ve pas kalmayacak şekilde temizlenmiştir. Ayrıca kaynağın, düzlemselliği ve doğrusallığı kalibreli çok amaçlı kaynak kumpası ve cihazlarla kontrolü sağlanmıştır. Rutil ve metal özlü telle yapılan kaynakta ilgili test parçasında meydana gelebilecek çarpılmaları (distorsiyon) önlemek amacıyla Şekil 8.6'da görüldüğü gibi aparatlar yardımıyla sabitleştirilmiştir. Her iki parçanın yığma oranlarını hesaplamak için kaynak öncesi ilgili parçaların ağırlığı kalibreli dijital terazide tartıldı.



Şekil 8. 6: Test Parçasının Aparatlarla Sabit Tuturulması

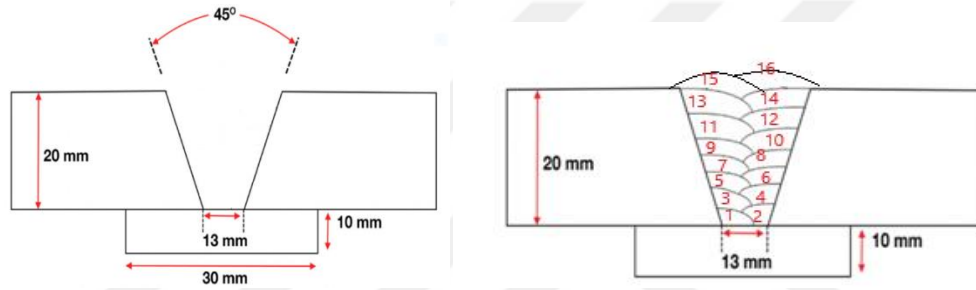
8.3.2 Rutil özlü tel kaynağında kullanılan parametreler

Kaynağa başlamadan önce Çizelge 8.7’de rutil özlü tel için kaynak öncesi standartlara uygun olarak yapılan hazırlıklar gösterilmiştir.

Çizelge 8. 7: Rutil Özlü Tel İçin Kaynak Öncesi Standartlara Uygun Olarak Yapılan Hazırlıklar

Tarih	05.03.2021	Test Numarası	93
Firma Adı	GEDİK KAYNAK	Kaynakçı Adı	ROBOT
Ürün Adı	ELCOR R 71	Kaynak Pozisyonu	PA (ISO 6947)
Ürün Seri No	3022212717178	Birleştirme Tipi	ALLWELD
Dolgu Malz. Sınıfı ve Markası	T 42 4 P C1 H5 (TS EN ISO 17632-A)	Kaynak Yöntemi	136 (ISO 4063)
Dolgu Malzemesi Boyutu (Ømm)	1,2	Koruyucu Gaz / Toz	100% CO2 (EN ISO 14175-C1)
Ana Malzeme Spesifikasyonu	S355J2+N (ISO 15608 1.2)	Gaz Akış Debisi (l/dak)	15
Malzeme Kalınlığı (mm)	20	Kaynak Akım Tipi&Kutuplama	DC(+)
Kökte Oluk Açma/Altlık Detayları	mb	Kontak Meme-İş Malz. Mesafesi (mm)	20
Ön Isıtma Sıcaklığı (°C)	N/A	Torç Açısı (°)	10
Pasolararası Sıcaklık (°C)	Max 160	Tel Sürme Hızı (cm/dk)	N/A

Rutil özlü telin kaynağında 16 paso kaynak dikişi atılmıştır. Çizelge 8.7’de görüldüğü gibi ISO 15608 standardına uygun olarak 1.2 malzeme grubu içerisinde yer alan S355J2+N kalitede çelik, TS EN ISO 17632-A standardına uygun olarak Ø1.2mm çapında rutil özlü tel seçilmiş, pasolar arası sıcaklığın 140-160°C, kaynak pozisyonun ISO 6947 standardına göre PA, ISO 4063 standardına göre kaynak yönteminin 136, koruyucu gazın EN ISO 14175-C1 standardına göre maksimum 100% CO₂ gazı, gaz debisinin 15L/dk, akım türünün DC(+) (Doğru Akım Pozitif) ve torç açısı 30° olarak seçilmiştir. Rutil özlü telle yapılan kaynakta kullanılan test numunesinin V-kaynak ağız geometrisine sahip kaynaklı birleştirmenin şematik gösterimi Şekil 8.7’de gösterilmektedir.



Şekil 8. 7: V-Kaynak Ağız Geometrisine Sahip Test Numunesinin Şematik Gösterimi

Rutil özlü telin kaynağı esnasında her paso kaynak için makinada okunan akım ve gerilim değerleri kayıt altına alınmış olup ve ısı girdileri hesaplanarak Çizelge 8.8’de kaynak detaylarında belirtilmiştir. Her iki telin ısı girdisinde verim katsayısı 0.85 olarak seçilmiştir.

$$H = \frac{V \cdot I \cdot \eta \cdot 60}{S}$$

H=Isı girdisi (Joule/mm)

V=Kaynak Gerilimi (Volt)

I= Kaynak Akımı (Amper)

η=Ark Verimi (sabit sayıdır). Gazaltı kaynağı (MIG/MAG) için bu verim 0.85’dir.

S=Kaynak Hızı (mm/dk) (GEV, IIW No: 2.5, 2012).

Çizelge 8. 8: Rutil Özlü Tel İçin Kaynak Detay ve Parametreleri

Kaynak Detayları							
Paso Nr..	Yöntem	Ark Boyu	Gaz Debisi (l/dak)	Akım (A)	Gerilim (V)	Kaynak Hızı (cm/dak)	Isı Girdisi (kJ/mm)
1	136	-10	15	253-257	32.5-33.1	32	1.31-1.36
2	136	-10	15	248-253	32.6-33.3	32	1.29-1.34
3	136	-10	15	248-254	33.0-33.3	40	1.04-1.09
4	136	-10	15	250-257	32.4-33.4	40	1.03-1.09
5	136	-10	15	247-253	32.6-33.4	40	1.03-1.08
6	136	-10	15	251-256	32.6-33.1	40	1.04-1.08
7	136	-10	15	252-256	33.1-33.8	40	1.06-1.10
8	136	-10	15	248-255	33.0-33.6	40	1.04-1.09
9	136	-10	15	249-254	32.4-33.2	40	1.03-1.08
10	136	-10	15	249-254	32.5-33.5	40	1.03-1.08
11	136	-10	15	248-253	32.9-33.7	40	1.04-1.09
12	136	-10	15	248-254	32.9-33.2	40	1.04-1.08
13	136	-10	15	250-257	32.5-33.3	40	1.04-1.09
14	136	-10	15	251-254	32.6-33.7	40	1.04-1.08
15	136	-10	15	250-256	32.8-33.5	37	1.13-1.18
16	136	-10	15	248-256	32.2-33.5	37	1.10-1.18

Kaynak esnasında MAG kaynak makinasının kaynak hız kontrolünün doğrulama tespiti için 2 adet paso için hız verileri aşağıdaki şekilde elde edilerek kontrolü yapıldı.

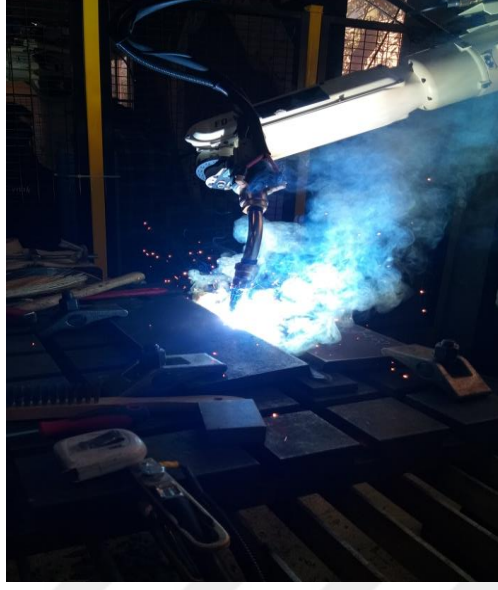
Girilen hız 40cm/dk (7. paso), kaynağa başlama ve bitiş uzunluğu: 440mm, kaynak süresi: 65sn olarak tespit edilmiş olup ilgili işlemler yapıldığında aşağıdaki verilere ulaşıldı;

Kaynak hızı %1.5 hata payıyla 40.60cm/dk olarak bulundu.

Aynı şekilde girilen hız 37cm/dk (15.paso) kaynak başlama ve bitiş uzunluğu 440mm, kaynak süresi 72sn olarak tespit edilmiş olup ilgili işlemler yapıldığında aşağıdaki veriler elde edildi;

Kaynak hızı %0.9 hata payıyla 36,67cm/dk olarak tespit edildi. İhmal edilecek kadar küçük hata paylarıyla ilgili MAG kaynak makinasının kaynak esnasında kaynak hızında problem tespit edilmedi.

Şekil 8.8’da rutil özlü telin kaynak esnasında görüntüsü görülmektedir.



Şekil 8. 8: Rutil Özlü Telin Kaynağı Esnasında Bir Görüntü

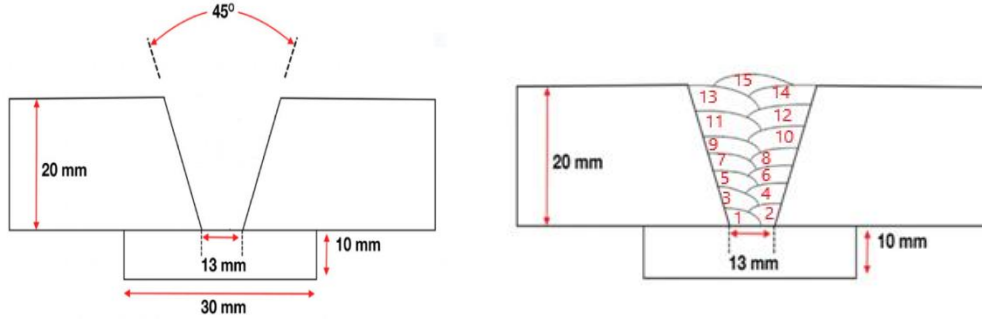
Şekil 8.9’da rutil özlü telin kaynak pasoları ve son kaynak dikişinin görüntüsü gösterilmiştir.



Şekil 8. 9: Pasolar Arası ve Son Kaynak Dikişinin Görünümü

8.3.3 Metal özlü tel kaynağında kullanılan parametreler

Metal özlü telin kaynağında kullanılan V-kaynak ağız geometrisine sahip test numunesinin şematik gösterimi Şekil 8.10’de gösterilmiştir. Metal özlü telin cüruf tabaka oluşturmadığı ve böylelikle metal yığıma oranının yüksek olmasından dolayı metal özlü telin kaynağında toplamda 15 paso kaynak dikişi atılmıştır.



Şekil 8.10: V-Kaynak Ağız Geometrisine Sahip Test Numunesinin Şematik Gösterimi

Metal özlü telle yapılan kaynak öncesi hazırlıklar Çizelge 8.9’da detaylı bir şekilde gösterilmiştir.

Çizelge 8.9: Metal Özlü Tel İçin Kaynak Öncesi Yapılan Hazırlıklar

Tarih	29.04.2021	Test Numarası	WPS-163
Firma Adı	GEDİK KAYNAK	Kaynakçı Adı	ROBOT
Ürün Adı	ELCOR M 70	Kaynak Pozisyonu	PA (ISO 6947)
Ürün Seri No	50222019220 52	Birleştirme Tipi	ALLWELD
Dolgu Malz. Sınıfı ve Markası	T 46 3 M M 3 (TS EN ISO 17632-A)	Kaynak Yöntemi	136 (ISO 4063)
Dolgu Malzemesi Boyutu (Ø mm)	1,2	Koruyucu Gaz / Toz	Max 82% Ar Max 18% CO2 (EN ISO 14175- M21)
Ana Malzeme Spesifikasyonu	S355J2+N (ISO 15608 1.2)	Gaz Akış Debisi (l/dak)	15
Malzeme Kalınlığı (mm)	20	Kaynak Akım Tipi&Kutuplama:	DC(+)
Kökte Oluk Açma/Altık Detayları	mb	Kontak Meme-İş Malz. Mesafesi (mm)	20
Ön Isıtma Sıcaklığı (°C)	N/A	Torç Açısı (°)	10
Pasolararası Sıcaklık (°C)	Max 160	Tel Sürme Hızı (cm/dk)	N/A

Çizelge 8.9’da görüldüğü gibi ISO 15608 standardına uygun olarak 1.2 malzeme grubu içerisinde yer alan S355J2+N parçası, TS EN ISO 17632-A standardına uygun olarak Ø1.2mm çapında metal özlü tel, pasolar arası sıcaklığın 100-120°C, kaynak pozisyonun ISO 6947 göre PA, ISO 4063 standardına göre kaynak yönteminin 136, koruyucu gazın EN ISO 14175 standardına göre 82% Ar ve 18% CO₂ M21 karışım gazı, gaz debisinin 15L/dk, akım türünün DC(+) ve torç açısının 30° olarak seçilmiştir.

Metal özlü telin kaynağı esnasında MAG kaynak makinasında okunan akım ve gerilim değerleri kayıt altına alınmış olup ve ısı girdileri hesaplanarak Çizelge 8.10’da kaynak detaylarında gösterilmiştir. Metal özlü telin metal yığıma oranının yüksek olmasından dolayı son pasonun kep yüksekliği standart dışına çıkacağından dolayı 13. ve 14. pasolarda kaynak hızı 50cm/dk olarak ayarlanmıştır.

Çizelge 8. 10: Metal Özlü Tel İçin Kaynak Detay ve Parametreleri

Kaynak Detayları								
Sıra	Paso Nr.	Yöntem	Ark Boyu	Gaz Debisi (l/dak)	Akım t (A)	Gerilim (V)	Kaynak Hızı (cm/dak)	Isı Girdisi (kJ/mm)
1.	1	136	-10	15	274-281	34.6-35.6	32	1.51-1.59
2.	2	136	-10	15	275-281	34.8-35.4	32	1.52-1.59
3.	3	136	-10	15	277-283	34.7-35.6	40	1.23-1.28
4.	4	136	-10	15	276-284	34.5-35.2	40	1.21-1.27
5.	5	136	-10	15	285-296	34.5-35.1	40	1.25-1.32
6.	6	136	-10	15	285-294	34.8-35.3	40	1.26-1.32
7.	7	136	-10	15	284-290	32.5-33.4	40	1.18-1.23
8.	8	136	-10	15	285-289	32.2-33.5	40	1.17-1.23
9.	9	136	-10	15	283-286	32.4-33.0	40	1.19-1.20
10.	10	136	-10	15	282-288	32.3-32.9	40	1.16-1.21
11.	11	136	-10	15	283-291	32.5-33.3	40	1.17-1.24
12.	12	136	-10	15	285-290	32.5-32.9	40	1.18-1.22
13.	13	136	-10	15	281-289	32.7-33.3	50	0.93-0.98
14.	14	136	-10	15	287-297	32.6-33.2	50	0.94-1.01
15.	15	136	-10	15	286-290	32.6-33.2	40	1.19-1.23

Metal özlü tel kaynağı esnasında MAG kaynak makinasının ve son kaynak dikişinin görünümü Şekil 8.11’de gösterilmiştir.



Şekil 8. 11: Metal Özlü Telin Kaynağı Esnasında Bir Görünümü

Rutil özlü tel için yapılan MAG kaynak makinasının doğrulamaları aynı şekilde metal özlü tel için de yapılmış olup benzer değerler elde edilmiştir.

9. NUMUNELERİN HAZIRLANMASI VE SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Rutil ve metal özlü telle yapılan kaynakta ilgili test numuneleri aşağıda belirtilen standartlara uygun olarak yapılmıştır. Hem rutil hem de metal özlü telin akma ve kopma mukavemetlerini kıyaslayabilmemiz için numuneler kaynak bölgesinden çıkartılmıştır. Test numunelerini test parçasından çıkarmadan önce kaynak başlangıç ve bitiş yerlerinin hatalı kabul ettiğimizden dolayı bu kısımları sac kalınlığı kadar (20mm) kaynak başlangıcında ve sonunda kesip çıkarılmıştır. Bu yüksek lisans tez çalışmamızda aşağıdaki test yöntemleri kullanılmıştır.

- Görsel Muayene (TS EN ISO 17637)
- Çekme Deneyi (TS EN ISO 6892-1)
- Çentik Testi (TS EN ISO 148-1)
- Sertlik Testi (TS EN ISO 9015)
- Makro ve Mikro Yapı (Metalografi) Testi (TS EN ISO 17639)
- İki Tel Arasında Yığıma Oranlarının Hesaplanması
- Kaynak Hızının ve Akım Değerinin Isı Girdisi Üzerindeki Etkisi

9.1 Görsel Muayenenin Hazırlığı ve Sonuçların Değerlendirilmesi

Ergitme kaynaklı birleştirmelerin görsel muayenesi standardı TS EN ISO 17637'ye göre yapılmıştır. Genel kabul kriterleri ise; ISO 5817 seviye B'ye göre yapılmıştır. İlgili parçanın 30° açıyla ve 600 lüks ışık şiddeti aydınlığında 300mm mesafede görsel kontrolü yapılmıştır. Kaynak sonrası bu görsel muayene testimizde aşırı kaynak yüksekliği, yanma olukları, enine ve boyuna çatlaklar, gözenekler ve krater çatlağı vb.. gibi kaynak kusurları dikkate alınarak kontrolü yapılmıştır.

Şekil 9.1’de rutil ve metal özlü telle yapılan kaynak dikişleri görülmektedir.



Şekil 9. 1: Rutil ve Metal Özlü Tel Kaynak Numunelerinin Fotoğrafları

Şekil 9.1’de ki hem rutil hem de metal özlü telin görsel muayene sonucunda iki parçada da yanma oluğu, krater çatlağı, gözenek, fazla kep yüksekliği, nüfuziyet eksikliği, enine ve boyuna çatlak gibi kaynak kusurları tespit edilmedi. Hem rutil özlü telin hem de metal özlü telin saf kaynak metalinin kimyasal bileşimleri sırası ile Çizelge 9.1 ve Çizelge 9.2’de gösterilmektedir.

Çizelge 9. 1: Rutil Özlü Telin Kaynak Bileşiminin Spektrometre Yöntemiyle Yapılan Kimyasal Analizi (%)

	C	Si	Mn	P	S
EN17632-A	0.056	0.483	1.353	0.015	0.007
Kaynak	0,063	0,412	1,214	0,008	0,007

Çizelge 9. 2: Metal Ölü Telin Kaynak Bileşiminin Spektrometre Yöntemiyle Yapılan Kimyasal Analizi (%)

	C	Si	Mn	P	S
EN 17632-A	0.031	0.732	1.562	0.015	0.007
Kaynak	0,051	0,547	1,187	0,022	0,008

9.2 Çekme Deneyi Hazırlığı ve Sonuçların Değerlendirilmesi

Metalik malzemelerin çekme deneyi yöntemini ve oda sıcaklığında tayin edilebilecek mekanik özelliklerini kapsayan ilgili standart TS EN ISO 6892-1 standardına uygun olarak test numune parçaları hazırlanmıştır. Rutil ve metal özlü telle yapılan kaynakta çekme test numuneleri standarda uygun olarak Şekil 9.2’de gösterildiği ölçülerde 1’er adet çekme test numunesi hazırlanmıştır. Tamamen kaynaklı kısımda oluşan parçalar silindirik olacak şekilde önce testereyle, sonra CNC’de işlenerek standartlarda belirtilen boyutlara getirilerek uygun bir şekilde hazırlanmıştır.

d_0 : Numune çapı

d_1 : Baş kısmın çapı = $1,2 d_0$

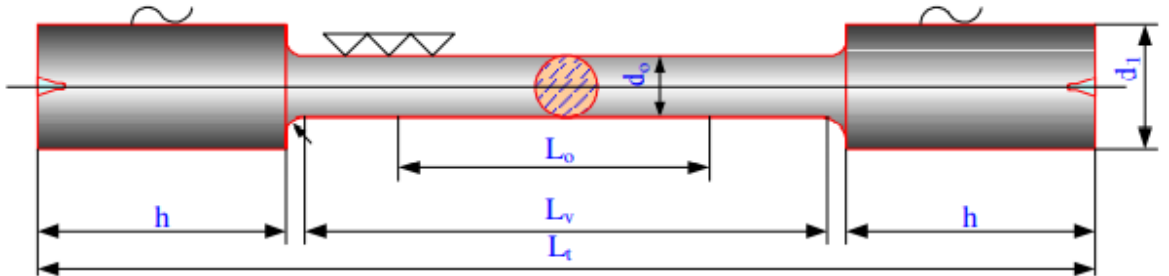
L_v : İnceltilmiş kısmın uzunluğu = $L_0 + d_0$

L_0 : Ölçü uzunluğu = $5 d_0$

L_t : Toplam uzunluk

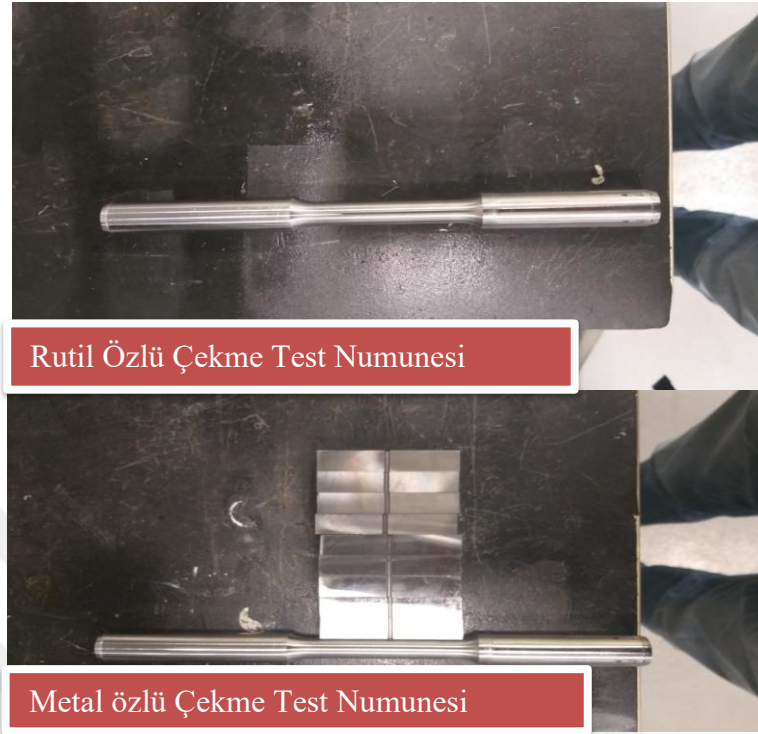
h : Baş kısmın uzunluğu

A_0 : İlk kesim alanı = $(\pi d_0^2) / 4$



Şekil 9. 2: Çekme Deneyi Numunesi (Günnur, D., 2013)

Hem rutil hem de metal özlü tele ait çekme test numuneleri Şekil 9.3’de gösterilmiştir.



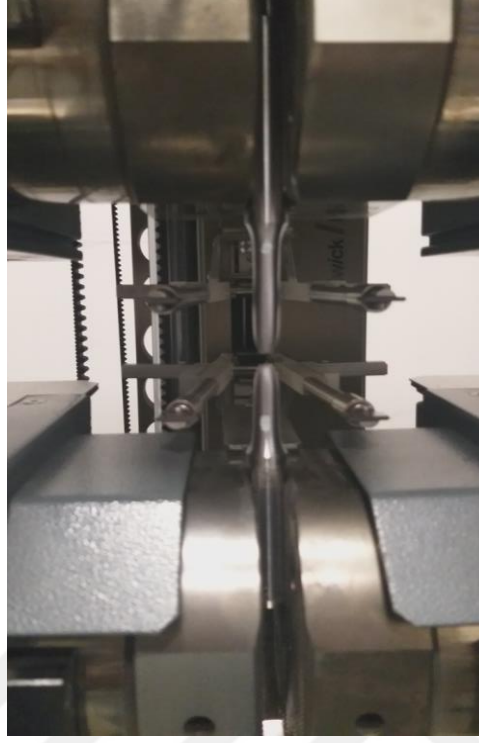
Şekil 9. 3: Çekme Test Numuneleri

İlgili çekme testlerimizi Gedik Kaynak firmasının Ar-Ge Merkezinde bulunan kalibrasyonu yapılmış Şekil 9.4’te gözüken “Zwick Roell Z600” marka test cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz $F_{max}=600kN$ çekme kuvveti kapasitelidir.



Şekil 9. 4: Çekme Test Cihazı

Şekil 9.5'te çekme testi esnasında alınan görüntü görülmektedir.



Şekil 9. 5: Çekme Testi Esnasında Bir Görüntü

Rutil ve metal özlü telin akma ve kopma mukavemet değerlerinin kıyaslanmasının yapılabilmesi için çekme test numuneleri tamamen kaynaklı bölgeden boyuna çıkartılarak çekme testi gerçekleştirilmiştir. Yapılan detaylı literatür araştırmalarında enine yapılan çekme testlerinde kopmanın ısı tesiri altında ya da ana malzemedan koptuğu rapor edilmektedir. Sönmez'in (U. Sönmez, 2009) gemi saclarının özlü tel ile yapmış olduğu kaynak çalışmalarında kopmanın ana malzemedan olduğu rapor etmiştir. Ayrıca Uluocak'ın (M. E. Uluocak, 2008) Hardox 450 çeliği kaynağında yapmış olduğu çekme testinde kopmanın ısı tesiri altında gerçekleştiğini rapor etmiştir. Uzun'un (Y. Uzun, 2014) özlü ve masif telle yapmış olduğu S235 kalite sacının bütün çekme test kopmaları ana malzemedan olduğunu rapor etmiştir.

Rutil özlü telin çekme test sonuçları ve mühendislik gerilim-gerinim grafiği Şekil 9.6'de görülmektedir.

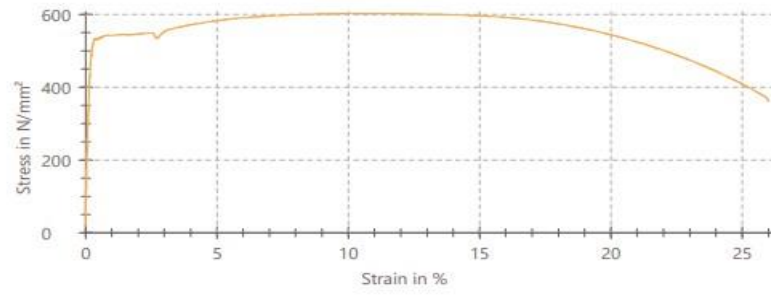
Test report

Customer : GEDİK KAYNAK (KALİTE)
Job no. :
Test standard : DIN EN ISO 6892-1
Type and designation :
Material : N/A
Specimen removal :
Specimen type :
Pre-treatment :
Tester :
Notes :
Machine data :
Test speeds : Method A(1) Speed, yield point : 0,00025 1/s
Pre-load : 20 MPa Test speed : 0,0067 1/s
Speed, Young's modulus : 0,00025 1/s

Test results:

Legend	No.	WPS NO	F _m kN	d ₀ mm	S ₀ mm ²	L ₀ mm	R _{p0.2} N/mm ²	R _m N/mm ²	A _{50mm} %
●	2	93	46,35	9,9	76,98	50,00	514,17	602,16	25,95

Series graph:



Şekil 9. 6: Rutil Özlü Tele Ait Çekme Test Sonuçları

Metal özlü telin çekme test sonuçları ve mühendislik gerilim-gerinim grafiği Şekil 9.7'de görülmektedir.

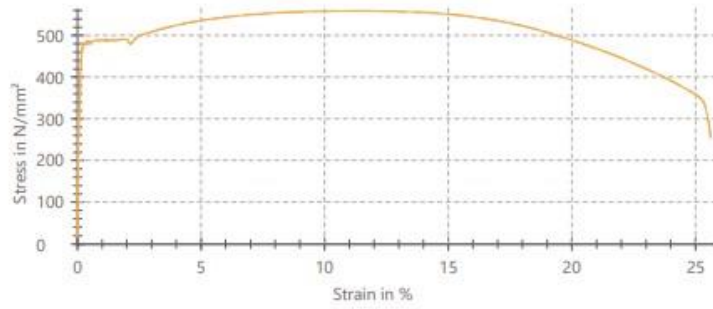
Test report

Customer : GEDİK KAYNAK (KALİTE)
Job no. :
Test standard : DIN EN ISO 6892-1
Type and designation :
Material : N/A
Specimen removal :
Specimen type :
Pre-treatment :
Tester :
Notes :
Machine data :
Test speeds : Method A(1) Speed, yield point : 0,00025 1/s
Pre-load : 20 MPa Test speed : 0,0067 1/s
Speed, Young's modulus : 0,00025 1/s

Test results:

Legend	No.	WPS NO	F _m kN	d ₀ mm	S ₀ mm ²	L ₀ mm	R _{p0.2} N/mm ²	R _m N/mm ²	A _{50mm} %
●	2	163	44,78	10,1	80,12	50,00	479,05	558,91	25,59

Series graph:



Şekil 9. 7: Metal Özlü Tele Ait Çekme Test Sonuçları

Rutil ve metal özlü telin çekme test sonuçları, ana malzeme (S355J+N) ve EN ISO 17632-A normuna göre iki telin akma ve kopma mukavemet değerleri Çizelge 9.3’de gösterilmiştir.

Çizelge 9. 3: Sarf Malzemelere Ait Akma ve Kopma Mukavemet Değerleri

Sarf Malzeme	Standart	Akma Dayanımı $R_{P0.2}$ (N/mm ²)	Çekme Dayanımı R_m (N/mm ²)	Uzama A_{50mm} (Lo=5do) (%)
Rutil Özlü Tel	Test Sonuçları	514.14 N/mm ²	602.16	25.95%
	EN ISO 17632-A	min. 420	500-640	min 22%
Metal Özlü Tel	Test Sonuçları	479.05 N/mm ²	558.91	25.59%
	EN ISO 17632-A	min. 460	530-650	min 22%
S355J2+N	EN 10025-2	Ort:335 N/mm ²	490-630	Max 22%

Rutil ve metal özlü telin çekme test sonucunda elde edilen görüntüleri sırası ile Şekil 9.8 ve Şekil 9.9’da gösterilmiştir.



Şekil 9. 8: Rutil Özlü Telin Çekme Testi Sonucunda Test Numunesinin Görüntüsü



Şekil 9. 9: Metal Özlü Telin Çekme Testi Sonucunda Test Numunesinin Görüntüsü

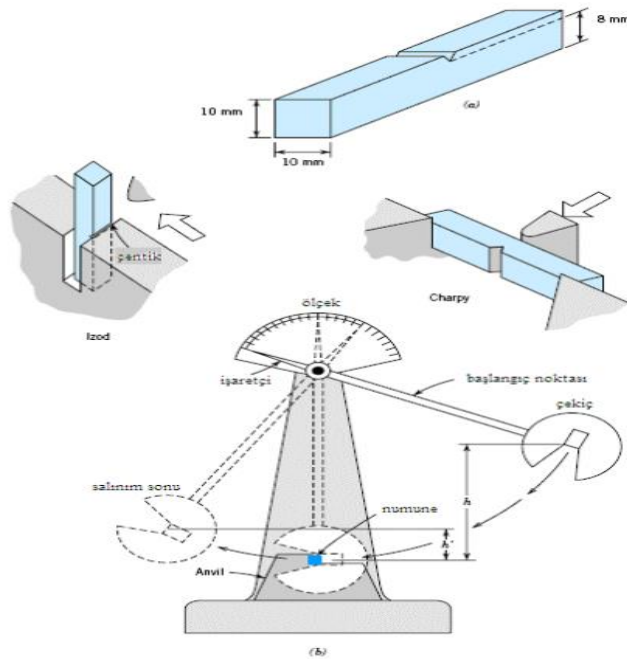
Boyuna çekme deneyi her iki malzeme içinde metalik malzemelere uygulanan TS EN ISO 6892-1 standardına uygun olarak gerçekleştirildi. Çizelge 9.3'te rutil özlü telin %0.2'lik uzamaya karşı gelen akma mukavemet ($R_{P0.2}$) 514.14N/mm^2 , kopma mukavemeti (R_m) 602.16N/mm^2 ve uzama boyu (%) ise %25.95 olarak gerçekleştiği tespit edildi. Çizelge 9.3'te metal özlü telin %0.2 lik uzamaya karşı gelen akma mukavemeti ($R_{P0.2}$) 479.05N/mm^2 , kopma mukavemeti (R_m) 558.91N/mm^2 ve uzama boyu (%) ise %25.59 olarak tespit edildi. İki tel arasında kıyaslama yapıldığında rutil özlü telin akma mukavemeti metal özlü telin akma mukavemetinde %7, kopma mukavemetinden %8 büyük olduğu tespit edildi. Her iki telin yüzde uzamaları hemen hemen eşit oldukları tespit edildi. Literatürde yüzde uzamaların %5'ten büyük olmaları metallerin sünek davranış gösterdiklerini göstermektedir. Bu nedenle hem rutil hem de metal özlü telin yüzde uzamaları %5'ten büyük olduklarından dolayı sünek oldukları tespit edildi. Malzemenin sünekliğinin bilinmesi iki nedenden dolayı önemlidir. Birincisi tasarımcıya yapının hasara uğramadan önce ne ölçüde deformasyona uğrayacağı hakkında genel bilgi vermektedir. İkincisi, imalat esnasında metale verilebilecek deformasyon miktarını belirtmektedir. Bazen, tasarımda emniyetli gerilme hesabında hata yapılması ihtimaline karşı, kırılmayı önleyecek şekilde yerel deformasyona uğramaya yatkın olmaları nedeniyle, nispeten sünek malzemeler tercih edilmektedir (William D. C, David G. R, 2015). Şekil 9.8'de rutil özlü telin ve Şekil 9.9'de metal özlü telin çekme testi sonucu kopma noktalarının tamamen tipik “konik-çanak” tipi sünek kırılma yüzeyi tespit edilmiştir (James F, 2015). S355J2+N sac parçasının Çizelge 9.3'te EN 10025-2 standardına göre akma mukavemeti $315\text{-}355\text{N/mm}^2$ (ortalama akma mukavemeti: 335MPa) olarak görülmektedir. Burada hem rutil hem de metal özlü telin akma mukavemet değerlerinin ana malzemenin akma mukavemetinden sırasıyla %53 ve %43 daha

büyük olduğu tespit edildi. Bu da bize her iki telin S355J2+N kalite çeliğinin rahat ve güvenli bir şekilde mühendislik açısında kaynağı yapılacağını göstermektedir. Ayrıca enine çekme testi (hem ana malzeme ve kaynaklı kısmı birlikte) uygulansaydı kopma ya ısı tesiri altında ya da ana malzemeden kopmasını bekleyecektik. Enine çekme (ana malzeme ve kaynak metali) testlerde kopmanın daima ana malzemeden kopmasını istediğimiz için ilgili iki sonuç son derece iyi bir mukavemete sahip olduğunu ve kaynak için uygun tel seçildiğini göstermektedir. Enine çekme testiyle ilgili olarak; Kaya'nın (Kaya Y, 2018) MAG kaynak yöntemiyle yapmış olduğu bir çalışmada S355JR kalite sacının rutil özlü telle yapmış olduğu kaynakta çekme testinde kopma ana malzemede koptuğunu rapor etmiştir. Çetinkaya, Ada ve Sezgin (Cemil Ç, Hakan A, Murat S,) arkadaşlarının yapmış oldukları bir çalışmada API 5L X70M kalite sacının özlü tel kaynağındaki çekme testleri sonucunda kopmaların tamamının kaynak bölgesine yaklaşık 40 mm uzaklıktaki ana malzemeden koptuğunu rapor etmişlerdir. Ayrıca rutil özlü telin çekme testinde tespit edilen akma mukavemeti Çizelge 9.3'te EN 17632-A standardına göre rutil özlü telin minimum akma mukavemetinden %22 daha büyük olduğu tespit edildi. Aynı şekilde metal özlü telin çekme testinde tespit edilen akma mukavemeti Çizelge 9.3'te gösterilen EN 17632-A normuna göre beklenen minimum akma mukavemetinden %4 büyük olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca her iki telin kimyasal bileşimleri EN 17632-A'a göre Çizelge 8.3'te ve Çizelge 8.5'te gösterildiği gibi düşük karbonlu oldukları gözükmemektedir. Rutil ve metal özlü telle yapılan kaynağın kimyasal analiz sonucu Çizelge 9.1 ve Çizelge 9.2'de gösterildiği gibi rutil özlü telin karbon oranı %0.063, metal özlü telin karbon oranı ise %0.051 olarak tespit edildi. Bu oranlar EN 17632-A normuna göre Çizelge 8.3 ve Çizelge 8.5'te belirtilen iki telin karbon oranlarına hemen hemen yakın değerlerde olduğu tespit edilmiştir.

Düşük karbonlu çeliklerin çekme testinde elde edilen grafik tamamen mühendislik gerilim-gerinim grafiğine benzer (James F. Shackelford, 2018). Her iki telin kimyasal analiz sonucu düşük karbonlu oldukları için çekme testinde elde edilen grafik tamamen mühendislik gerilim-gerinim grafiğine benzediği tespit edildi.

9.3 Çentik Darbe Testi Hazırlığı ve Sonuçların Değerlendirilmesi

Bu testimizde hem rutil hem de metal özlü tellin testinde metalik malzemelerin çentik darbe testinde kullanılan TS EN ISO 148-1 standardına uygun olarak numuneler kaynaklı kısımda enine olarak 10x10x55mm ebatlarında çıkartılan numunelere kaynağın ortasında 2mm derinliğinde 45°'lik ve R 0,25 radyuslu çentikler açılmıştır. Çentik darbe testi olarak "charpy" yöntemi uygulandı. 9'ar adet çentik test numunesi çıkartılmıştır. 9 adet olmasının sebebi belirlemiş olduğumuz 3 farklı sıcaklıkta; 3 adet test numunesi -30°C'de, 3 adet test numunesi -40°C'de ve 3 adet test numunesi -50°C'de ki sıcaklıklarda çentik darbe enerjilerinin testini gerçekleştirmektir. Ayrıca her bir sıcaklık için daha hassas ve doğru bir veri elde etmek için 3'er adet numunenin testini gerçekleştirerek ortalama değerler alındı. İlgili parçalar 3 ayrı sıcaklıkta test etmek için test numuneleri su içerisinde koyulup üstüne Şekil 9.13'te gösterildiği gibi kuru buz (CO₂) eklendi ve istenilen sıcaklıklara gelmeleri için 10dk bekletilmiş ve civalı termometreyle sıcaklık kontrolü yapılmıştır. İlgili testler Gedik Kaynak firmasında Ar-Ge Merkezinde gerçekleştirildi. Şekil 9.10'da çentik darbe deneyinin şematik gösterimi görülmektedir. Çentik darbe testinde kullanılan numuneler Şekil 9.11'de görülmektedir.

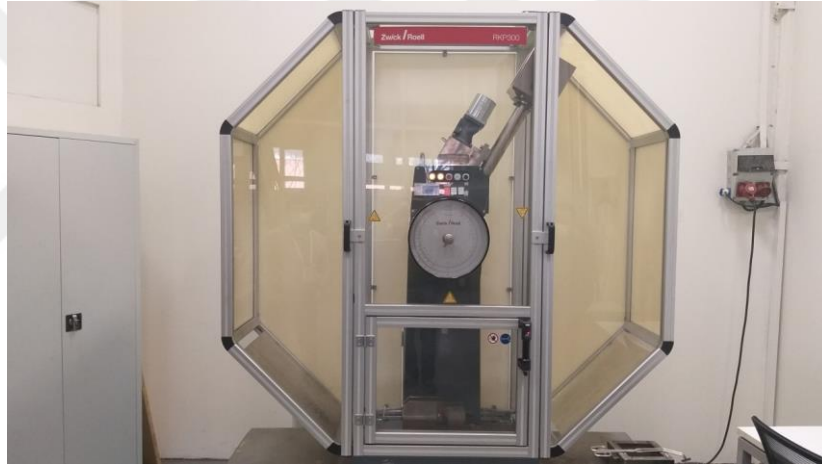


Şekil 9. 10: Çentik Deneyi Şekli (URL-21, 2021)



Şekil 9. 11: Çentik Test Numuneleri

Çentik darbe testinde kullanılan test cihazı ‘Zwick Roell RKP’ marka Şekil 9.12’de görülmektedir.



Şekil 9. 12: Çentik Deneyinde Kullanılan Test Cihazı

Test numuneleri istenilen sıcaklığa soğutulması esnasında bir görüntü Şekil 9.13'te gösterilmiştir.



Şekil 9. 13: Test Numunelerini -30°C, -40°C ve -50°C'ye Soğutulması

Rutil ve metal özlü telin farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilen ortalama çentik darbe test sonuçları Çizelge 9.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 9. 4: Rutil ve Metal Özlü Tele Ait Ortalama Çentik Darbe Test Sonuçları (joule)

T _{sıcaklık} Sarf Malzeme	Standart	-20 °C	-30 °C	-40 °C	-50 °C
	Rutil Özlü Tel	Test Sonuçları EN ISO 17632-A	-	120.33± 6 J	99.67 ± 15 J
Metal Özlü Tel	Test Sonuçları EN ISO 17632-A	-	122.33± 10 J	116.33±21 J	47.67±36 J
	EN ISO 17632-A	-	-	min50 J	-
S355J2+N	EN 10025-2	27.00 J	-	-	-

Rutil özlü telin Çizelge 9.4'te görüldüğü gibi -30°C 'deki ortalama çentik darbe enerjisi 120.33J, -40°C 'deki ortalama çentik darbe enerjisi 96.67J ve -50°C 'deki ortalama çentik darbe enerjisi 65.00J olarak tespit edildi.

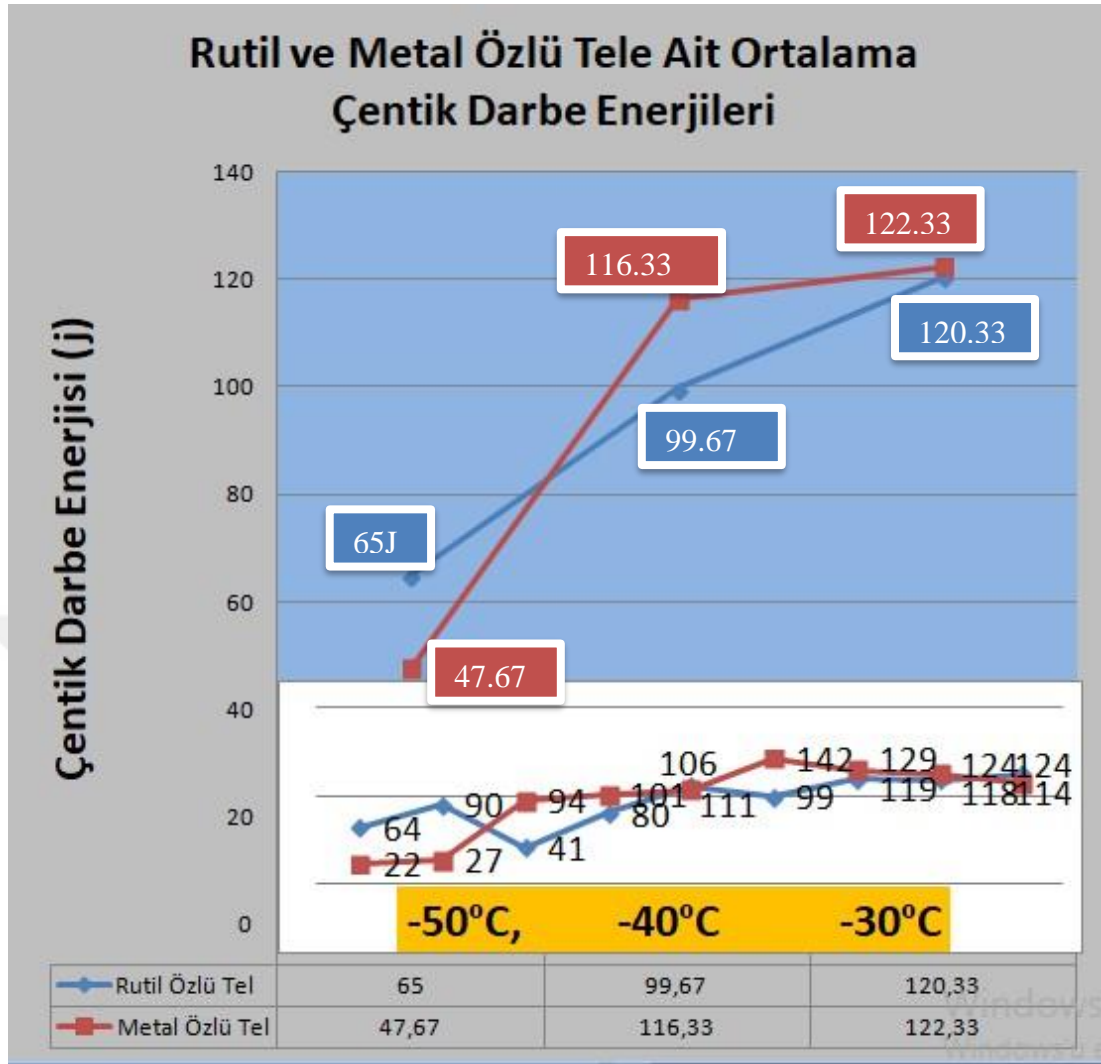
Çizelge 9.4'te görüldüğü gibi metal özlü telin -30°C 'deki ortalama çentik darbe enerjisi 122.33J, -40°C 'deki ortalama çentik darbe enerjisi 116.33J ve -50°C 'deki ortalama çentik darbe enerjisi 47.67J olarak tespit edildi.

Şekil 9.14'da her iki tele ait çentik darbe test sonrası numunelerin görüntüsü görülmektedir.



Şekil 9. 14: Rutil ve Metal Özlü Tel Kaynağının Çentik Darbe Testi Sonrası Numune Görüntüleri

İlgili testler metalik malzemelerde TS EN ISO 148-1'e uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Rutil ve metal özlü tele ait farklı sıcaklıklardaki çentik darbe ortalama enerji değeri Şekil 9.15'de gösterilmiştir.



Şekil 9. 15: Rutil ve Metal Özlü Telin Çentik Darbe Enerji Grafiği

Çizelge 9.4’de metal özlü telin -30°C ’de ki ortalama çentik darbe enerjisi, rutil özlü telinden çok büyük fark olmamak kaydıyla yakın değerde oldukları tespit edildi. Fakat -40°C ’deki metal özlü telin çentik darbe enerjisinin rutil özlü telden % 17 büyük olduğu tespit edildi. Rutil özlü telin -50°C ’deki çentik darbe enerjisi metal özlü telin çentik darbe enerjisinden %36 daha büyük olduğu tespit edildi. Her iki telin çentik darbe enerji değerlerinin birbirinden farklı olmasının temel sebebi kaynak metalinin kimyasal yapıları (Çizelge 9.1 ve Çizelge 9.2), ısı girdisi, kullanılan koruyucu gazların ve soğuma hızlarının birbirinden farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Her iki kaynak teli için en büyük çentik darbe enerji değerleri -30°C ’de maksimum seviyede ve -50°C ’de ise minimum seviyede olduğu tespit edildi. Hem rutil hem de metal özlü telin kaynağı sıcaklık düştükçe çentik darbe enerjileri de düştüğü tespit edildi. Harun K. (Harun K, 2007) östenitik ve paslanmaz saçların robotik kaynağında yapmış olduğu

bir çalışmada çentik darbe enerjilerinin sıcaklığın düşmesiyle birlikte çentik darbe enerji değerlerinin düştüğünü rapor etmiştir. Bunun temel sebebi sıcaklık düştükçe malzemenin darbe direncinin düşmesidir (William D. C, David G. R, 2015). Deneyin yapıldığı sıcaklık, ısı girdileri ve kullanılan dolgu metali kimyasal bileşimi de kaynak metalinin tokluğunu etkilediği bilinmektedir (¹Liao ve Chen, 1998; ²Liao ve Chen, 1998; ¹Taban, 2008; ²Taban, 2008). Ayrıca rutil özlü telin -40°C’de tespit edilen çentik darbe enerjisi Çizelge 9.4’’de görülen EN ISO 17632-A normuna göre -40°C’deki rutil özlü telin minimum çentik darbe enerjisinden 2 kat daha büyük olduğu tespit edildi. Aynı şekilde metal özlü telin -40°C’deki çentik darbe enerji değeri Çizelge 9.4’de gösterilen EN ISO 17632-A normuna göre -40°C’deki metal özlü telin minimum çentik darbe enerjisinden yaklaşık 2.5 kat büyük olduğu tespit edildi. Hem rutil özlü telin hem de metal özlü telin düşük sıcaklıklarda ortalama çentik darbe enerji değerleri Çizelge 9.4’de görülen EN 10025-2 normuna göre ana malzemenin -20C°’deki çentik darbe enerjisinden büyük olduğu tespit edildi. İki telin en düşük sıcaklıktaki değerlerine bakıldığında hem rutil hem de metal özlü tele ait -50°C’deki çentik darbe enerjileri ana malzemenin -20C°’deki çentik darbe enerjisinden sırası ile 2.5 kat ve %76 daha büyük olduğu tespit edildi. Buda her iki telle yapılan kaynağın güvenilir olduğu anlamına gelmektedir.

9.4 Makro ve Mikro Yapının Hazırlığı ve Sonuçların Değerlendirilmesi

Hem rutil hem de metal özlü telin kaynak test numuneleri, kaynakların metalografi incelenmesi için makro ve mikro yapıların hazırlığı TS EN ISO 17639 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. İlgili parçaların makro ve mikro yapı analizleri ana metal (BM), ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve kaynak (WM) bölgesi kısımları detaylı bir şekilde incelenmiştir.

Şekil 9.16’de test numunesinin parçası görülmektedir.



Şekil 9. 16: Makro ve Mikro Yapı Hazırlığı Öncesi Numune Parçası

Makro ve mikro yapı için hazırlanan test parçaları Şekil 9.17’de görülen manuel zımparalama ve parlatma cihazı olan “Metkon Forcipol 2v” marka cihaz kullanılmıştır.



Şekil 9. 17: Zımparalama ve Parlatmada Kullanılan Cihaz

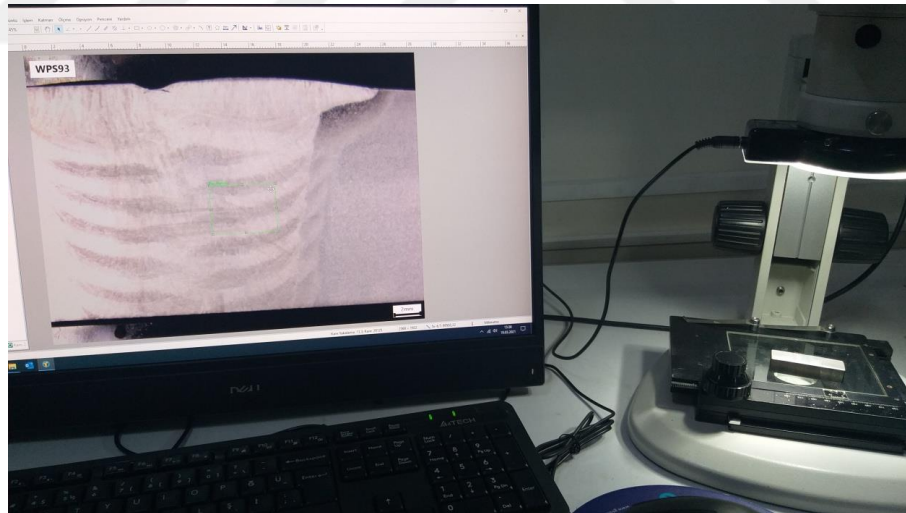
Makro ve mikro yapı için sırası ile 240, 320, 600, 800, 1200, 2000 ve 2500 zımpara kâğıtlar kullanılarak zımparalama işlemi gerçekleştirildi. Zımparalama işleminden sonra parlatma işlemi için test parçaları ayna görüntüsüne gelene kadar $3\mu\text{m}$ 'luk elmas pasta kullanıldı. Parlatma işleminden sonra dağlama işlemi için kimyasal formülü $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ olan Etanol ile kimyasal formülü $\text{C}_6\text{H}_3\text{N}_3\text{O}_7$ Pikrik Asit karışımından oluşan 10% Pikral çözeltisi içerisinde test numuneleri 10-15dk arası beklemeyle dağlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra test parçaları temizlenerek kurutma işlemi

gerçekleştirilmiştir. Dağlama sonrası makro ve mikro yapı test numunelerin görüntüsü Şekil 9.18’de verilmiştir.



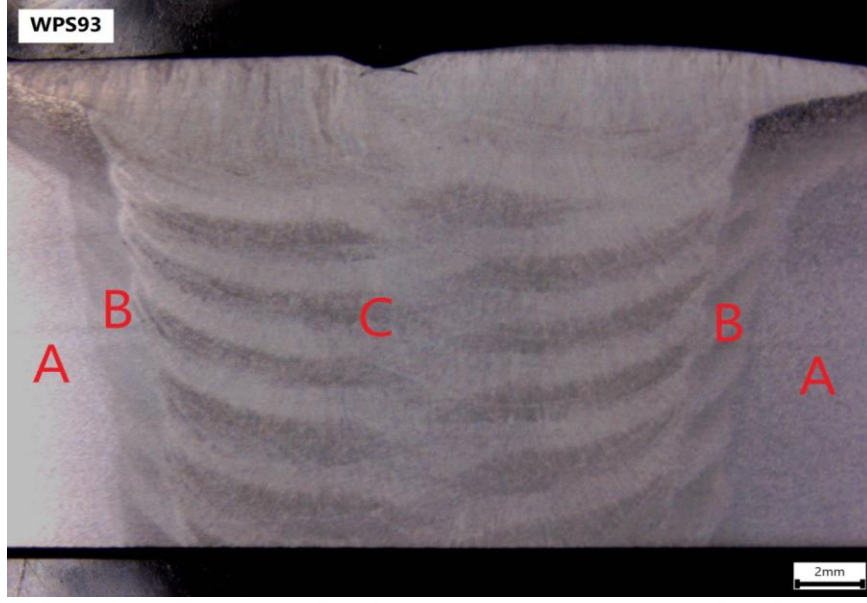
Şekil 9. 18: Dağlama Sonrası Rutil ve Metal Özlü Telin Test Parçalarının Görünümü

Şekil 9.19’de görüldüğü gibi makro yapı görüntüleri Stereo Mikroskop olan ‘Nikon SMZ7 Makro’ markalı cihazdan alınmıştır.

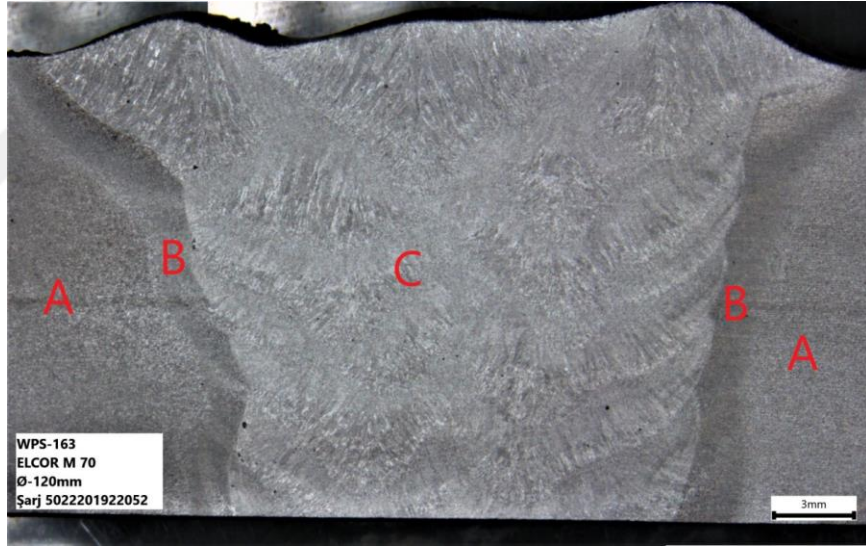


Şekil 9. 19: Stereo Mikroskoptan Makro Yapı Görüntülerin Alınması

Şekil 9.20’da rutil özlü tele ait makro yapı görüntüsü ve Şekil 9.21’de metal özlü tele ait makro yapı görüntüsü görülmektedir. Şekil 9.20 ve Şekil 9.21’de görülen makro yapı resimlerin üzerinde harflerin anlamı şu şekildedir; A ana metal (BM), B ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve C (WM) kaynak bölgesini göstermektedir.



Şekil 9. 20: Rutil Özlü Tel Kaynağının Makro Yapı Görüntüsü a) Ana Metal, b) ITAB, c) Kaynak



Şekil 9. 21: Metal Özlü Tel Kaynağının Makro Yapı Görüntüsü, a) Ana Metal, b) ITAB, c) Kaynak

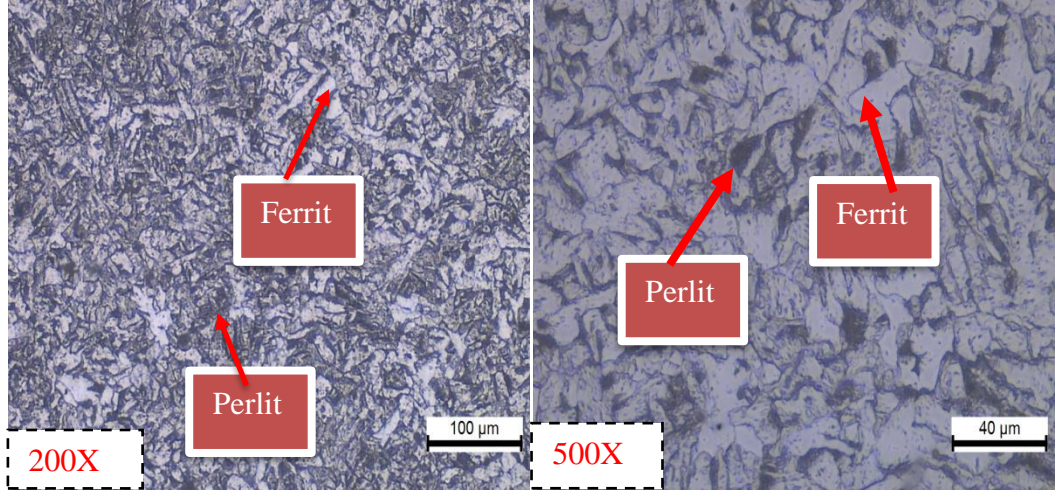
Şekil 9.20’de ki rutil özlü telle yapılan test numunesinin makro yapı görüntüsünde; yanma oluklarına, cüruf kalıntılarına, ergime azlığına, çatlaklara, boşluklara ve nüfuziyet azlığına rastlanmadığı tespit edildi. Aynı şekilde Şekil 9.21’de ki metal özlü telle yapılan kaynaklı parçanın makro görüntüsünde de; yanma oluklarına, cüruf kalıntılarına, ergime azlığına, çatlaklara, boşluklara ve nüfuziyet yetersizliğine rastlanmadığı tespit edildi. Ayrıca her iki test parçasının makro yapısına bakıldığında

2 pasonun ayırt edilebildiği ve kaynak bölgesi- ısı tesiri altındaki bölge-ana metal bölgelerinin birbirinden kolaylıkla ayrılabilirdiği rahat bir şekilde görülmektedir. Fakat metal özlü tel ile yapılan kaynakta ısı tesiri altındaki bölgenin (ITAB) genişliği rutil özlü telle yapılan parçanın ısı tesiri altındaki (ITAB) bölgenin alanında daha geniş olduğu tespit edilmiştir. Bunun temel sebebi ısı girdisinin (Cemil Ç, Hakan A, Murat S) fazla olmasıdır. Çizelge 8.10’da metal özlü tel kaynağına ait ısı girdi verilerinin, Çizelge 8.8’de ki rutil özlü tel kaynağına ait ısı girdi verilerinden daha büyük olduğu tespit edilmiştir. Isı girdisinin büyük olması ITAB’ın kaynak bölgesinin geniş olmasına sebep olur (Gürel, Ç. 2020).

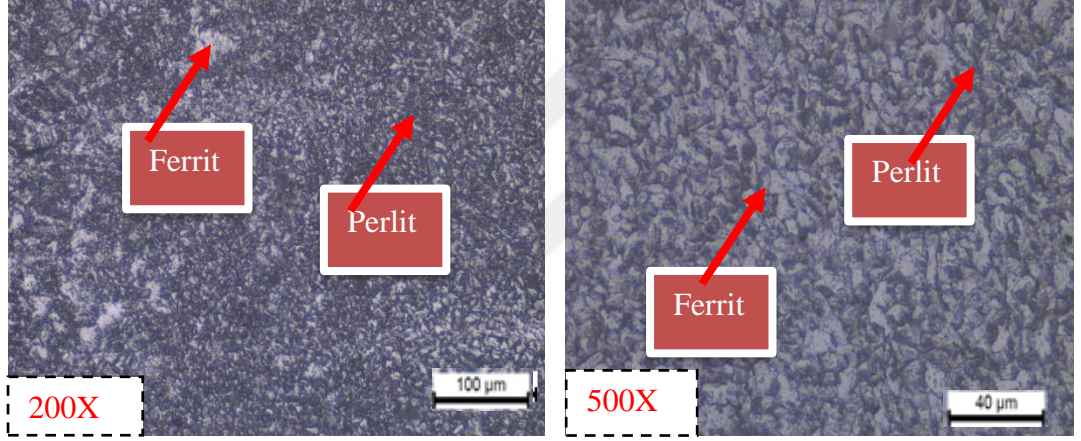


Şekil 9. 22: Işık Metal Mikroskobunda Mikro Yapı Görüntülerin Alınması

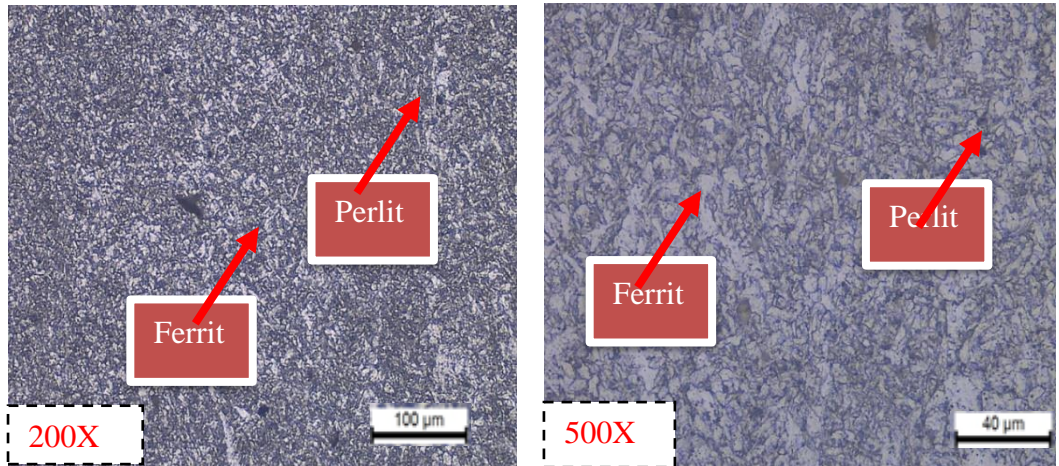
Mikro yapı görüntüler ana metal (BM), ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve kaynak (WM) bölgesi olmak üzere her birinden 200X ve 500X büyütme ebatlarında 2’şer adet mikro yapı görüntüleri Şekil 9.22’de görülen ışık metal mikroskobu olan “Leica Dmi 8” markalı cihazdan alınmıştır. Rutil özlü telle yapılan mikro yapı görüntüleri Şekil 9.23’te ana malzemenin mikro yapı görüntüsü, Şekil 9.24’te ısı tesiri altındaki bölgenin (ITAB) mikro yapı görüntüsü ve Şekil 9.25’te kaynak metalinin mikro yapı görüntüsü görülmektedir.



Şekil 9. 23: Rutil Özlü Telin Kaynağında Kullanılan Test Parçasının (BM) Mikro Yapı Görüntüleri

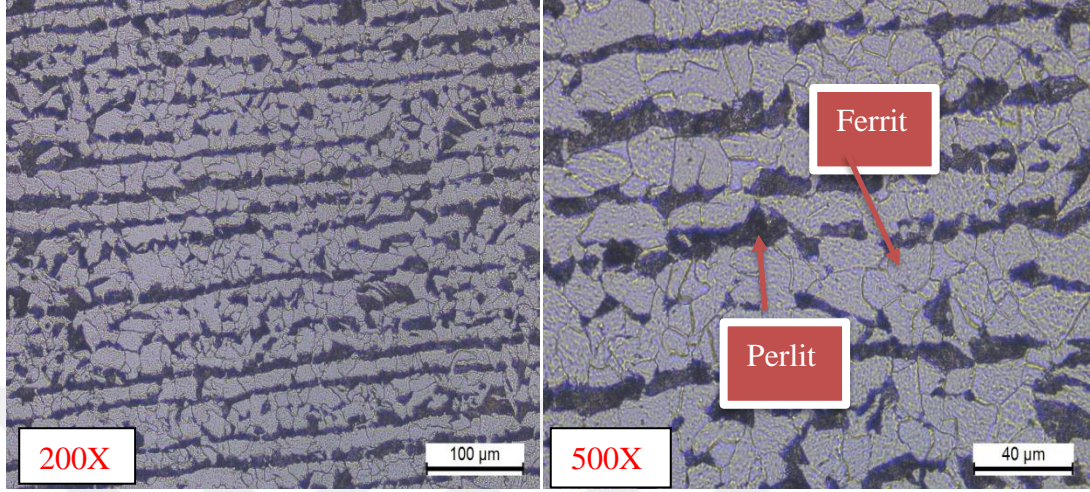


Şekil 9. 24: Rutil Özlü Tel Kullanılarak Elde Edilen Isı Tesiri Altında Kalan Bölgenin (ITAB) Mikro Yapı Görüntüleri

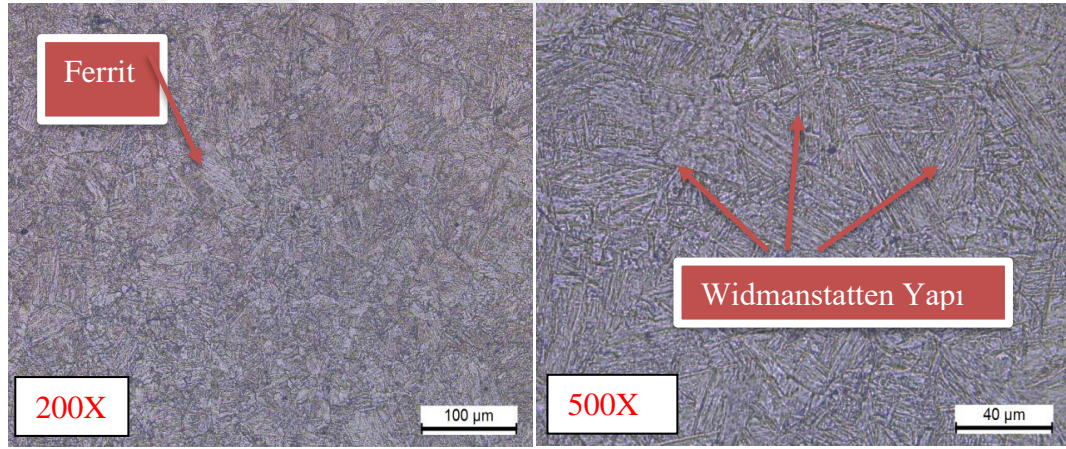


Şekil 9. 25: Rutil Özlü Tel Kullanılarak Elde Edilen Kaynak Metalinin (WM) Mikro Yapı Görüntüleri

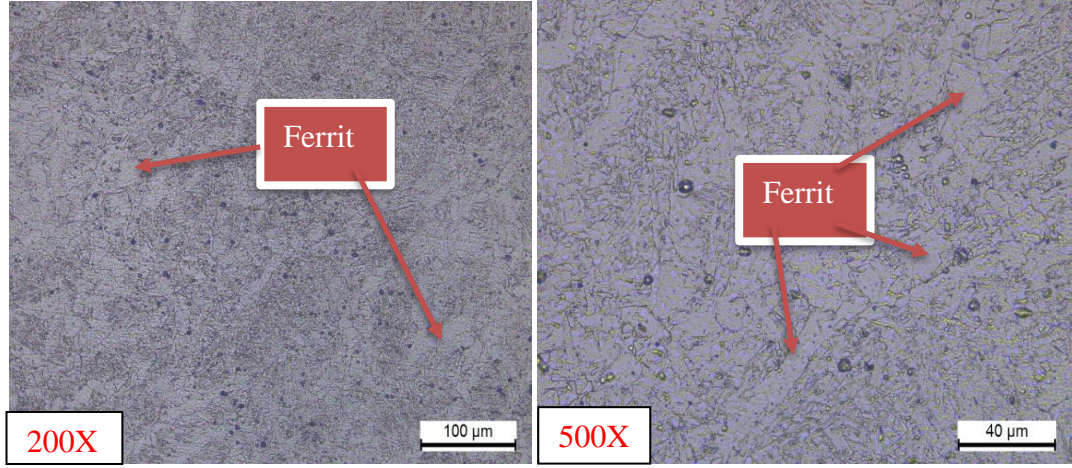
Metal özlü telle yapılan mikro yapı görüntüleri Şekil 9.26’da ana malzemenin mikro yapı görüntüsü, Şekil 9.27’de ısı tesiri altındaki bölgenin (ITAB) mikro yapı görüntüsü ve Şekil 9.28’de kaynak metalinin mikro yapı görüntüsü görülmektedir.



Şekil 9. 26: Metal Özlü Telin Kaynağında Kullanılan Test Parçasının (BM) Mikro Yapı Görüntüleri



Şekil 9. 27: Metal Özlü Tel Kullanılarak Elde Edilen Isı Tesiri Altında Kalan Bölgenin (ITAB) Mikro Yapı Görüntüleri



Şekil 9. 28: Metal Özlü Tel Kullanılarak Elde Edilen Kaynak Metalinin (WM) Mikro Yapı Görüntüleri

Kaynağı yapılan S355J2+N kalite parçası normalizasyonu yapılmış bir çelik olduğu için ısı tesiri altındaki bölge 600°C 'nin üstündeki bölgeleri kapsar ve buralarda mekanik ve metalurjik değişimler söz konusudur ve malzemede 600°C'in altındaki sıcaklıklarda kalan bölgelerde ise mekanik ve metalurjik değişim söz konusu değildir. Her ne kadar buralarda bu değişim söz konusu olmasa da, bu bölge A1 sıcaklığı altındaki sıcaklık derecesine kadar ısınmış ve böylelikle hafif bir temperleme meydana gelmiştir (GEV, IIWNo: 2.5, 2012). Her iki telle kaynak edilen S355J2+N parçasının ısı tesiri altında olmayan ana metalde (Şekil 9.23, Şekil 9.26) mikro görüntüler incelendiğinde herhangi bir değişimin söz konusu olmadığı yapının kaba taneli olduğu gözükmemektedir. Fakat bu bölgelerde herhangi bir değişim söz konusu olmasa da hafif bir temperleme etkisi olmuştur. Metal özlü tel kaynağında kullanılan Şekil 9.26'de ki ana metaldeki mikro yapı ferrit ve perlit fazların üretim yöntemlerinden dolayı haddeleme yönünde uzandığı görülmektedir. Ayrıca her iki telin kaynağında kullanılan ana malzemenin mikro yapısında ferrit (açık olan kısımlar) ve perlit (koyu olan kısımlar) olan fazlar görülmektedir. Celasun'un (Engin C, 2012) yapmış olduğu bir çalışmada S355JR'in ana malzeme fazlarını ferrit ve perlit olarak rapor etmiştir. Rutil özlü telin kaynağındaki ana malzemedeki mikro yapıları ferrit ve perlit olmasına rağmen herhangi bir yönlendirilmenin olmadığını tespit edildi.

Isıdan etkilenmiş bölge (ITAB); temperlenmiş bölge, aşırı temperlenmiş bölge, kısmen dönüşmüş bölge, ince taneli bölge ve kaba taneli bölgeden oluşmaktadır (Gürel Ç, 2020). Isı tesiri altındaki bölgeler (ITAB) incelendiğinde ise Şekil 9.24 ve Şekil 9.27'de ki resimlerde bariz bir şekilde iki kaynağın ısı tesiri altındaki bölgelerin ince

taneli olduğu tespit edildi. Bu bölgede sıcaklık 700°C'nin üstüne çıktığından dolayı burada hem mekanik hem de metalurjik değişimler meydana gelmiştir (Güler, Ç, 2020), ve bu yüksek sıcaklıklardan dolayı meydana gelen mekanik ve metalurjik değişiklikler malzemenin sertlik değerini etkiler, bir sonraki konuda anlatacağımız her iki tele ait sertlik testindeki ısı tesiri altındaki bölgelerin sertlik değerlerinin ana malzemedan büyük olmasının temel sebebinin bu bölgelerin 700°C'nin üstüne çıkıp hızlı soğumasında kaynaklanmaktadır. Her iki kaynağın ısı tesiri altındaki bölgelerinde (ITAB) ferritik fazlara rastlanmıştır. Fakat metal özlü telle yapılan kaynakta ki ısı tesiri altındaki bölgenin ferrit yoğunluğu rutil özlü telle yapılan kaynağın ısı tesiri altındaki bölgenin ferritik fazından yüksek olduğu tespit edilmiştir. Birleştirilen malzemelerinin yüksek sıcaklıktaki ITAB mikro yapısı; malzemenin ısı geçmesine, ısı girdisine, malzeme kalınlığına, ön ısıtma sıcaklığına ve pasolar arası sıcaklığa (ortalama 140 °C) bağlı olarak değişmektedir (Gunn, 1997; Sieurin ve Sandstrom, 2006). Ayrıca metal özlü tel kaynağındaki ITAB bölgesinde widmanstatten yapı tespit edilirken, rutil özlü telin kaynağında ki ITAB bölgesinde widmanstatten yapı tespit edilmemiştir.

Her iki ana kaynak metali incelendiğinde ise, ikisinin birbirinden farklı olduğu Şekil 9.25 (Rutil Özlü Tel) ve Şekil 9.28' da (Metal Özlü Telin) görülmektedir. Rutil özlü telin kaynağındaki ana kaynak metali ince taneli ferrit ve perlit yapıdan oluştuğu ve metal özlü telin kaynağındaki kaynak metali tamamen iri taneli ferrit ve dendritlerin yönlemiş hali görüldüğü tespit edildi. Çeşitli literatür taramalarında (Durgutlu A., Kahraman N. 2002; Akay A. A, Kaya Y, 2013), düşük karbonlu ve düşük alaşımli kaynak metalllerinde soğuma hızına bağlı olarak oluşan yapılar, tane sınırı ferrit, widmanstatten ferrit, asiküler ferrit, beynit ve perlit olabileceği belirtilmektedir.

9.5 Sertlik Testinin Hazırlığı ve Sonuçların Değerlendirilmesi

İlgili iki kaynağın makro ve mikro görüntüler alındıktan sonra metalik malzemelerdeki kaynaklar üzerinde tahribatlı testlerimizden biri olan sertlik testi gerçekleştirilmiştir. Sertlik testimiz TS EN ISO 9015 standardına göre kaynaklı numunedan enine çıkartılan test numunesi malzemenin yüzeyi parlatılmış olup sağ ve sol olmak üzere ana metalden (BM) x-ekseni doğrultusunda 4'er sertlik, ısı tesiri altındaki bölgede (ITAB) ise yine aynı şekilde sağ ve sol olmak üzere yukardan aşağıya (y-ekseni

doğrultusunda) 4'er adet sertlik ve kaynak metalinde ise en üstten aşağıya (y-ekseni doğrultusunda) doğru 5 adet sertlik değeri olmak üzere aralarında 2 mm olacak şekilde toplamda 21 adet sertlik değeri alınmıştır. Şekil 9.30 ve Şekil 9.31'de her iki telin kaynağında alınan sertlik noktaları gözükmemektedir.

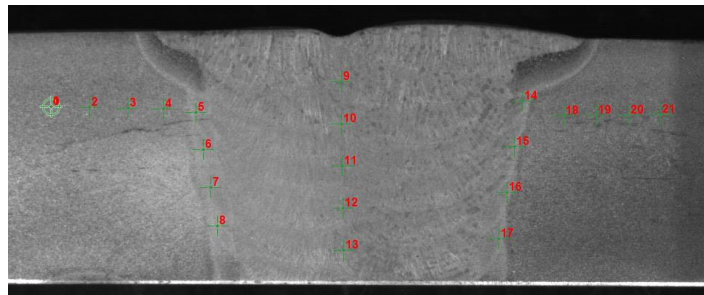
İlgili sertlik deneyimizde Vickers Sertlik testi kullanılmıştır. Vickers sertlik testinde tabanı kare olan elmas bir piramidin kullanıldığı testtir. Sertliği ölçülecek malzeme parçasının yüzeyine, 136 derece tepe açılı elmas, kare piramit şeklindeki bir ucun belirli bir yük altında, belirli bir süre bastırılması ve yük kaldırıldıktan sonra meydana gelen iz alanının, köşegenlerin ölçülmesi vasıtası ile belirlenmektedir.

Testimizde HV10 yöntem kullanılmıştır. Yani testimiz 100N (10kgf) kuvvet altında gerçekleştirilmiştir. İlgili sertlik değerleri otomatik sertlik cihazı Şekil 9.29'da görüldüğü gibi "Emco Test DuraScan" modeli ile sertlik testleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 9. 29: Sertlik Testinde Kullanılan Test Cihazı

Şekil 9.30'da rutil özlü tele ait sertlik değerlerinin alındığı bölgenin görüntüsü görülmektedir.



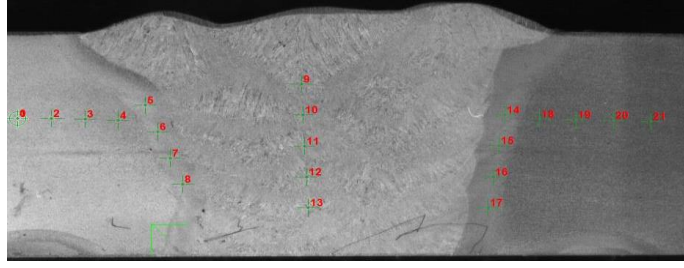
Şekil 9. 30: Rutil Özlü Tel İçin Sertlik Değerlerinin Alındığı Noktalar

Çizelge 9.5'te rutil özlü tele ait farklı bölgelerden alınmış sertlik değerleri görülmektedir.

Çizelge 9. 5: Rutil Özlü Telin Sertlik Değerleri

Test Noktaları	Sertlik Değeri	Yöntem	Sertliğin Alındığı Bölüm
1	153	HV 10	Ana Malzeme
2	156	HV 10	Ana Malzeme
3	158	HV 10	Ana Malzeme
4	169	HV 10	Ana Malzeme
5	163	HV 10	ITAB
6	158	HV 10	ITAB
7	165	HV 10	ITAB
8	163	HV 10	ITAB
9	215	HV 10	Kaynak Metali
10	201	HV 10	Kaynak Metali
11	207	HV 10	Kaynak Metali
12	199	HV 10	Kaynak Metali
13	187	HV 10	Kaynak Metali
14	154	HV 10	ITAB
15	158	HV 10	ITAB
16	160	HV 10	ITAB
17	163	HV 10	ITAB
18	155	HV 10	Ana Malzeme
19	154	HV 10	Ana Malzeme
20	146	HV 10	Ana Malzeme
21	145	HV 10	Ana Malzeme

Şekil 9.31’de metal özlü tele ait sertlik değerlerinin alındığı görüntüsü görülmektedir.



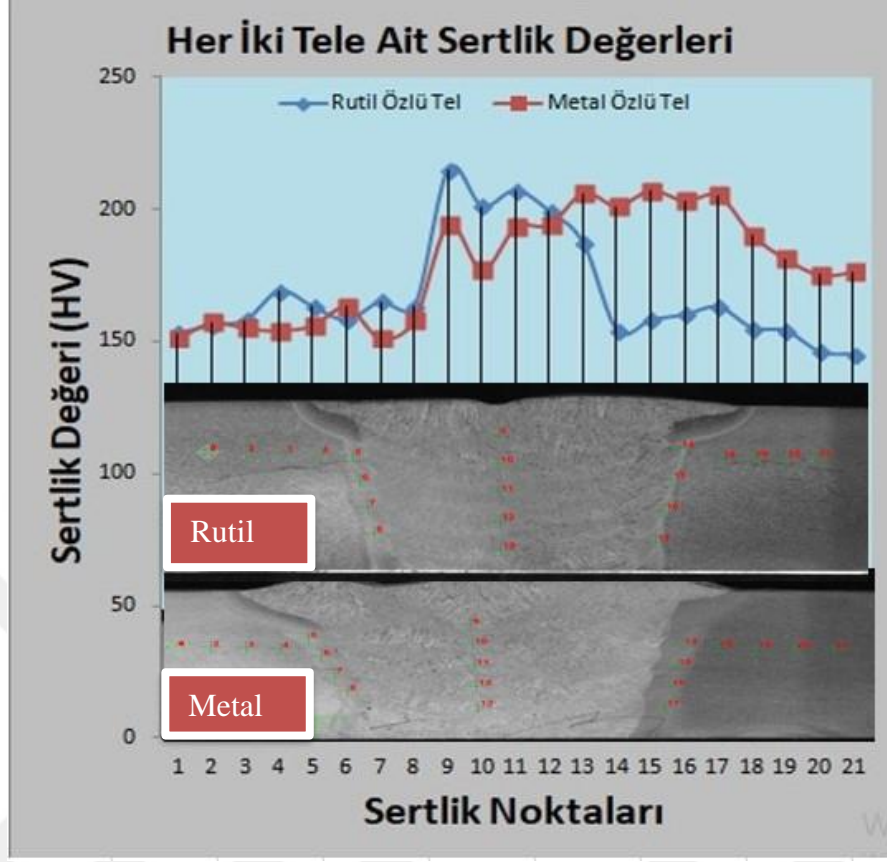
Şekil 9. 31: Metal Özlü Telin Sertlik Değerlerinin Alındığı Noktalar

Çizelge 9.6’de metal özlü tele ait farklı bölgelerden alınmış sertlik değerleri görülmektedir.

Çizelge 9. 6: Metal Özlü Telin Sertlik Değerleri

Test Noktaları	Sertlik Değeri	Yöntem	Sertliğin Alındığı Bölüm
1	151	HV 10	Ana Malzeme
2	157	HV 10	Ana Malzeme
3	155	HV 10	Ana Malzeme
4	154	HV 10	Ana Malzeme
5	156	HV 10	ITAB
6	163	HV 10	ITAB
7	151	HV 10	ITAB
8	158	HV 10	ITAB
9	194	HV 10	Kaynak Metali
10	177	HV 10	Kaynak Metali
11	193	HV 10	Kaynak Metali
12	194	HV 10	Kaynak Metali
13	206	HV 10	Kaynak Metali
14	201	HV 10	ITAB
15	207	HV 10	ITAB
16	203	HV 10	ITAB
17	205	HV 10	ITAB
18	190	HV 10	Ana Malzeme
19	181	HV 10	Ana Malzeme
20	175	HV 10	Ana Malzeme
21	176	HV 10	Ana Malzeme

Her iki tele ait sertlik değerlerinin grafiği Şekil 9.32’de görülmektedir.



Şekil 9. 32: Rutil ve Metal özlü Tele Ait Sertlik Grafiği

Şekil 9.32’deki grafik incelendiğinde metal özlü telin kaynağında kullanılan test parçasından birinin sertlik değerleri (kırmızı renk sağda) çok yüksek çıktığı görülmektedir. Fakat yapmış olduğumuz kıyaslama tamamen kaynak metalleri arasında olduğundan dolayı herhangi bir problem yaratmamaktadır. İlgili test metalik malzemelerdeki kaynaklar üzerinde alınan sertlik değerleri TS EN ISO 9015-1 standartına uygun bir şekilde yapılmıştır. Hem rutil hem de metal özlü tel için ana metal (BM), ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve kaynak metalini (WM) olmak üzere 3 ayrı bölgeden sertlik değerleri alınmıştır. Sonuçlara bakıldığında rutil özlü tel için; Çizelge 9.5’de ki ana malzemenin ortalama sertlik (iki parça) değerleri sırasıyla 159 HV ve 150 HV olduğu, ısı tesiri altındaki bölgenin ortalama sertlik değerleri (İki Adet Itab) sırasıyla 162.25 HV ve 158.75 HV olduğu ve kaynak metalinin ortalama sertlik değeri 201 HV olarak tespit edildi. Metal özlü tel için; Çizelge 9.6’deki ana malzemenin ortalama sertlik değerleri sırasıyla 154.25 HV ve 180 HV olduğu, ısı tesiri altındaki bölgenin ortalama sertlik değerleri sırasıyla 157 HV ve 204 HV olduğu ve

kaynak metalinin ortalama sertlik değeri 192 HV olarak tespit edildi. Rutil özlü telin kaynak metalinin sertlik değeri ana malzemelerin sertlik değerinden sırasıyla 26% ve 34% büyük olduğu tespit edildi. Metal özlü telin kaynak metalinin sertlik değeri ana malzemelerin sertlik değerinden sırasıyla 26% ve 6% büyük olduğu tespit edildi. Kaynak metali ve ITAB'ların sertlik değerlerinin ana malzemeye göre büyük olması kaynak esnasındaki ısı girdisine bağlı olarak kaynak sonrası farklı soğuma hızlarından kaynaklandığı belirtilmektedir (Kaya Y, 2018). İki tel içinde ısı tesiri altındaki bölgelerin sertlik değerleri 350 HV sertlik değerinin geçmediği tespit edildi. Ayrıca literatürde (A. A. Akay, Y Kaya, N. Kahraman, 2013) düşük karbonlu ve az alaşımli çeliklerin kaynağında ısı tesiri altındaki bölgenin çatlamaya karşı önlem olarak sertlik değerinin 350 HV'i geçmemesi tavsiye edilmektedir. Ayrıca rutil özlü telin kaynak metalin sertliği büyük bir fark olmamakla birlikte metal özlü telin kaynak metalinin sertlik değerinden %4 büyük olduğu tespit edildi. İki telin ısı tesiri altındaki bölgelerinden birisinin sertlik değerleri hemen hemen birbirine eşit olduğu fakat metal özlü telin ısı tesiri altındaki bölgenin sertlik değerlerinden biri rutil özlü telin ısı tesiri altındaki bölgenin sertlik değerinden birinden 29% daha büyük olduğu tespit edildi. Bunun temel sebebi metal özlü telde kullanılan ana malzemenin sertlik değerinin rutil özlü telde kullanılan ana metalin sertlik değerinden 20% daha büyük olmasından kaynaklanıyor. Yapılan bir çok literatür araştırılmasında (B. Çelik, 2016) Hızlı soğumanın etkisiyle ITAB'ın ve kaynak metalin sertlik değerlerinin ana malzemedan yüksek olduğu ve ana malzemedan kaynak metaline doğru gidildikçe sertliğin arttığını rapor etmişlerdir. Çünkü ısı tesiri altındaki bölge ya da ana kaynak metal bölgesi çok yüksek sıcaklıklara çıktığı için buralarda mekanik ve metalurjik özellikleri ısının etkisi ile değişmektedir. Bundan dolayı ısı tesiri altındaki bölgelerin ve kaynaklı kısmın hızlı soğumaya bağlı olarak sertlik değeri ana malzemenin sertliğinden büyük olur. Her iki telin ortalama sertlik değerleri ana malzemedan büyük olduğundan dolayı seçilen iki telin S355J2+N kalite sacının güvenli bir şekilde kaynağı yapılacağını göstermektedir. Ayrıca Çizelge 9.5 ve Çizelge 9.6'te ki sertlik değerleri her iki tel için incelendiğinde sertliğin, ana malzemedan kaynak metaline doğru gidildikçe sertliğin arttığı tespit edildi.

9.6 Malzeme Yığıma Miktarının Hesaplanma Hazırlığı ve Sonuçların Değerlendirilmesi

İki test parçasının metal yığıma oranlarını hesaplamak için test öncesi ve test sonrası parçaların ağırlığı tartılmıştır. Kaynaktan önce hem rutil özlü tel ve hem de metal özlü tel için parçaların ağırlığı tartılmış olup Çizelge 9.7’de görüldüğü gibi sırası ile rutil özlü telin kaynak öncesi 19883.8g ve metal özlü telin 23744.8g geldiği tespit edilmiştir.

Kaynaktan sonra iki malzemenin de ağırlığı tartılmış olup sırası Çizelge 9.7’de görüldüğü gibi rutil özlü telin test parçasının ağırlığı 21124.0g ve metal özlü telin test parçasının ağırlığı 25102.0g geldiği tespit edildi.

Çizelge 9. 7: Rutil ve Metal Özlü tele ait Kaynak Öncesi ve Sonrası Test Parçalarının Ağırlıkları

Tel	Kaynaktan Önce	Kaynaktan Sonra	Paso Sayısı	Yığıma Değişimi
Rutil Özlü Tel	19883.8g	21124.0g	16 Paso	1240.2g
Metal Özlü Tel	23744.8g	25102.0g	15 Paso	1358.0g

Rutil özlü tel için toplamda 16 paso kaynak dikişi ve metal özlü tel için ise toplam da 15 paso kaynak dikişi atılmıştır. Her iki tel için gaz hariç diğer parametreler sabit tutulmuştur.

Metal özlü tel için 15 pasoda toplamda 1358g kaynak metali yığıması olduğu tespit edildi. Metal özlü tel için ise birim uzunluktaki paso başına metal yığıma miktarı 90.5g olduğu tespit edildi.

Metal özlü telin 1 paso kaynak dikişi eksik atılmasına rağmen metal yığıma miktarı rutil özlü telden birim zamandan %17 daha yüksek olduğu tespit edildi.

Ayrıca metal özlü tel için toplam kaynak süresi 280A’de 16dk sürmüştür. Metal yığıma miktarını saat bazında toplamda 5092.5g/h metal yığıma hesabı tespit edildi. Buna benzer bir çalışmada Köknel (Ö. Köknel, 2007) metal özlü kaynak tellerinin boru alın

kaynaklarında metal yığıma kapasitelerinin belirlenmesi çalışmasında yüksek akım değerlerinde (300A) metal özlü tellin yığıma miktarını 5080g/h olarak rapor etmiştir.

9.7 Kaynak Hızının ve Akımın Isı Girdisi Üzerindeki Etkisi

Literatürlerde kaynak esnasında düşük hızlarda ve yüksek akımlarda ısı girdisini yüksek olduğunu vurgularlar (GEV). Isı girdisi formülü aşağıdaki gibidir.

$$H = \frac{V \cdot I \cdot \eta \cdot 60}{S}$$

H=Isı girdisi (Joule/mm)

V=Kaynak Gerilimi (Volt)

I= Kaynak Akımı (Amper)

η =Ark Verimi (sabit sayıdır). Gazaltı kaynağı için bu verim 0.85'dir.

S=Kaynak Hızı (mm/dk) (GEV, IIW No: 2.5, 2012).

Her iki kaynakta da kaynak esnasında kaynak makinasında okunan değerler ve kaynak hızları not edilerek ısı girdileri yukardaki formüle göre hesaplanmış olup, rutil özlü tel için Çizelge 8.8'de, metal özlü tel için ise Çizelge 8.10'da hepsi kayıt altına alınmıştır.

Rutil özlü telle ortalama 1. Paso için 253-257A ile 32cm/dk, 15. Paso için 250-256A ile 37cm/dk ve 8. Paso için 248-255A ile 40cm/dk hızlarda kaynak yapılmış olup sırası ile ısı girdileri, 1.31-1.36kJ/mm, 1.13-1.18kJ/mm ve 1.04-1.09kJ/mm arası olduğu tespit edildi.

Metal özlü telle ortalama 1. paso için 274-281A ile 32cm/dk, 8. Paso için 285-289A ile 40cm/dk ve 14. Paso için 287-297A ile 50cm/dk hızlarda kaynak yapılmış olup sırası ile ısı girdisi, 1.51-1.59kJ/mm, 1.17-1.23kJ/mm ve 0.94-1.01kJ/mm olarak tespit edildi.

Her iki kaynak içinde hızları kendi içerisinde baz aldığımızda hızın yükselmesi durumunda ısı girdisinin düştüğü görüldüğü tespit edildi. C. Çetinkaya, H. Ada, M. Sezgin (C. Çetinkaya, H. Ada, M. Sezgin, 2020) arkadaşlarının yapmış olduğu bir

çalışmada sabit akım değerlerinde hızların farklı olması durumunda yüksek hızlarda ısı girdisinin düşük olduğunu rapor etmişlerdir.

Rutil özlü tel ve metal özlü tel için aynı hız değerlerine sahip olan 32cm/dk ve 40cm/dk için akım değerlerini baz aldığımızda metal özlü telin rutil özlü tele göre akım değerinin yüksek olduğu gözüküyor ve akım değerinin yüksek olduğu metal özlü telde ısı girdisinin rutil özlü tele göre büyük olduğu tespit edildi. Böylece hızların aynı olması fakat akımın yükselmesi durumunda ısı girdisinin büyüdüğü tespit edildi.



10. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

MAG kaynak yöntemiyle yapılan rutil özlü tel ve metal özlü telin kullanıldığı S355J2+N kalite sacının kaynağında yukardaki mekanik ve metalografik değerlendirmeler ve analizlerden sonra genel sonuçlar ve öneriler aşağıdaki gibidir.

10.1 Genel Sonuçlar

- 1) Hem rutil özlü tel için hem de metal özlü tel için yapılan görsel muayene sonucunda herhangi bir kusur tespit edilmemiştir.
- 2) Çekme testinde her iki tele ait verilerin akma ve çekme mukavemetlerinin ana malzemeden büyük olduğu tespit edilmiştir. İki tel arasında kıyaslama yapılırsa rutil özlü telin akma mukavemetinin metal özlü telin akma mukavemetinden büyük olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca yapılan çekme testinde tespit edilen rutil özlü telin akma mukavemeti EN ISO 17632-A normuna göre minimum akma mukavemetinden %22, metal özlü telin ise çekme testinde tespit edilen akma mukavemeti minimum akma mukavemetinden %4 daha büyük olduğu tespit edilmiştir. Yüzde uzamaların her iki tel için belirtilen EN ISO 17632-A normuna göre beklenen yüzde ortalamalarından %16 oranında daha büyük çıktığı tespit edilmiştir.
- 3) Rutil özlü telin -40°C'de çentik darbe enerjisinin, EN ISO 17632-A normunda belirtilen minimum -40°C'de çentik darbe enerjisinden yaklaşık 2 kat daha büyük olduğu tespit edilmiştir. Metal özlü telin testinde tespit edilen -40°C'deki çentik darbe enerjisinin EN ISO 17632-A normunda belirtilen minimum çentik darbe enerjisinden yaklaşık 2.5 kat daha büyük olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca her iki telin en düşük sıcaklıklardaki çentik darbe enerjileri ana metalin -20°C'deki çentik darbe enerjisinden büyük olduğu tespit

edilmiştir. İki tel arasında kıyaslama yapılırsa; -30°C 'de hem rutil özlü tel için hem de metal özlü tel için ortalama değerler hemen hemen aynı olduğu tespit edilmiştir. -40°C 'deki metal özlü telin çentik darbe enerjisinin rutil özlü telinkinden büyük olduğu tespit edilmiştir. -50°C 'deki rutil özlü telin çentik darbe enerjisinin metal özlü telinkinden büyük olduğu tespit edilmiştir. Her iki telde sıcaklık değerleri düştükçe çentik darbe enerjilerinin düştüğü tespit edilmiştir.

- 4) Sertlik testinde her iki tele ait sertlik değerlerinin ana malzemedan büyük olduğu, ana malzemedan kaynak metaline gidildikçe her iki tel için sertliğin arttığı tespit edilmiştir. Rutil özlü telin kaynak metalinin sertlik değerinin metal özlü telin kaynak metalin sertlik değerinden büyük olduğu tespit edilmiştir.
- 5) Her iki telin makro görüntülerinde herhangi bir kaynak uygunsuzluğu tespit edilmemiştir. Her iki test parçasının makro yapısına bakıldığında 2 pasonun ayırt edilebildiği ve kaynak bölgesi, ısı tesiri altındaki bölge ve ana metal bölgelerinin birbirinden kolaylıkla ayrılabilirdiği tespit edilmiştir.
- 6) Hem metal özlü telle hem de rutil özlü telle yapılan kaynakta mikro yapıların ağırlıklı olarak ferrit ve perlit yapıdan oluştuğu tespit edilmiştir. Fakat ısı tesiri altındaki bölgelerde tane boyutlarının ince taneli olduğu ve kaynaklı bölgelerde ise, rutil özlü telin metal özlü tele göre ince taneli olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca metal özlü telin ısı tesiri altındaki bölgenin tamamen Widmanstatten yapıda oluştuğu tespit edilmiştir.
- 7) Metal özlü telin kaynağında 1 paso eksik olmasına rağmen rutil özlü tele göre metal özlü telde birim zamanda daha fazla metal yığılması tespit edilmiştir.
- 8) Hem rutil özlü telde hem de metal özlü telde kaynak hızının artmasının ısı girdisini düşürdüğü, her iki telin kaynağında akımın artmasının ısı girdisini arttırdığı tespit edilmiştir.
- 9) Rutil özlü telin akma, çekme mukavemeti ve yüzde uzaması metal özlü telin akma, çekme mukavemeti ve yüzde uzamasından daha yüksek olduğu tespit

edildi. Fakat metal özlü telin kaynağı esnasında az duman oluşturması, apak ve cüruf oluşturmaması, işçiliğın az olması ve kaynak sonrası herhangi bir temizliğın olmaması gibi özelliklerinden dolayı rutil özlü telden daha ekonomik ve iş sağılığı açısından daha güvenlidir.

10.2 Öneriler

- a) Rutil ve metal özlü telin farklı torç açılarında yapılan kaynaklarının mekanik özellikleri birbiriyle kıyaslanabilir.
- b) Her iki telin kaynağında farklı gaz kombinasyonları kullanılarak kaynağın mekanik özellikleri, mikro ve makro yapının etkisi araştırılabilir.
- c) Her iki telin kaynağında farklı akım ve gerilim değerleri kullanılarak kaynağın mekanik özellikleri, mikro ve makro yapının etkileri araştırılabilir.
- d) Her iki telin masif telle kıyaslanması yapılabilir.

KAYNAKÇA

- Anık. S., Anık. E., Vural. M.** (1993). 1000 soruda kaynak teknolojisi el kitabı, Cilt II, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Akay. A. A., Kaya Y. ve Kahraman N.** (2013). Farklı özellikteki malzemelerin tozaltı ark kaynak yöntemi ile birleştirilmesi ve birleştirmelerin tahribatlı ve tahribatsız muayenesi, SAÜ. Fen Bil. Der., 17(1): 85-96.
- Akay, A. A., Kaya, Y., N. Kahraman.** (2013). Tozaltı ark kaynak yöntemi ile birleştirilen x60, x65 ve x70 çeliklerin kaynak bölgesinin etüdü Karaelmas Science and Engineering Journal 3 (2), 34-42.
- Anonim.** (2016). LRB iiwa. Kuka Robotics.
http://www.kukarobotics.com/turkey/tr/products/industrial_robots/sensitiv/lbr_iiwa_14_r820/start.htm - (et 16.04.2021).
- Anonim.** (2012b). History of Industrial Robots: From the first installation until today. International Federation of Robotics.
- Bloss, R.** (2013). Innovations like two arms, cheaper prices, easier programming, autonomous and collaborative operation are driving automation deployment in manufacturing and elsewhere. Assembly Automation. 33(4): 312-316.
- Barlas, E.** (2007). Gazaltı ark kaynağı İ.T.Ü. Makina Fakültesi Makina Malzemesi ve İmalat Teknolojisi Anabilim Dalı Başkanı Eczacıbaşı - Lincoln Electric/ Kaynak Teknolojisi.
- Bergel, H. J., &Schulze, G.** (1993). Malzeme bilgisi (Güleç, Ş.,&Aran, A.). İstanbul. İTÜ Yayınları.
- Bean, H.S** (1993). General Properties of Materials. United States Carnegie Mellon University.
- B. Çelik, 2017** Farklı özlü tel kullanılarak birleştirilen s275 yapı çeliğinin mekanik ve mikroyapı özelliklerinin incelenmesi, Politeknik Dergisi, 2017; 20 (3) : 675-680.
- Cemil. Ç, Hakan A, Murat S.** Investigation of metallurgical and mechanical properties of apı 5l x70m steels welded by flux cored arc welding method as orbital.
- C. Zwickera, G. Reinharta.** (2014). An early stage planning method for robot system, Procedia CIRP 23, 184 -187.
- Craig J.J.** (1989). "Introduction to robotics: Mechanicsand Control, USA,"
- C. Çetinkaya, H. Ada, M. Sezgin.** (2020). API 5L X70M Çeliklerinin özlü telle ark kaynak yöntemiyle orbital birleştirilmesinde metalurjik ve mekanik özelliklerinin incelenmesi Gazi Üniversitesi, Dergipak, GU J Sci, Part C, 8(4): 981-995.
- Dilek, K., Ümit, B.** (2019). Robot ekonomisinin yükselişi, Sosyal Bilimler Metinleri Sayı: 01.

- Durgutlu, A., Kahraman, N. ve Gülenç, B.** (2002). Tozaltı ark kaynağında kaynak tozunun mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi, Gazi Üniversitesi Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi Dergisi, 11: 1-8.
- Erkan, K.** (2014). Askaynak Teknik El Kitabı.
- Engin, C.** (2012). S355J2 Çeliğinin ısıtılma işlem ve farklı tozaltı kaynak tellerinin kaynak kabiliyetine etkisinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi.
- GEV MIG/MAG Kaynak, Modül 1.1 IIW NO:1.8.1 Revizyon No:003 Tarih:** 12.12.2011.
- GEV Elektrik ark kaynağı, Modül .1.1 IIW No 1.9 Revizyon No: 002 Tarih:** 06.07.2019.
- GEV Özlü tel kaynak yöntemi, NO:1.8.2 Revizyon No:00 Tarih:** 04.12.2012.
- GEV TIG kaynağı, IIW No:1.7 Revizyon No:001 Tarih:** 09.03.2009.
- GEV Diğer kaynak prosesleri – lazer; elektron ışını, plazma, IIW No:1.12 Revizyon No:001 Tarih:** 09.03.2009.
- GEV Kaynak teknolojisine genel giriş, Modül: 1.1, IIW No. 1.1, Revizyon No: 001, Tarih:** 09.03.2009.
- GEV Çelik üretimi ve çeliklerin sınıflandırılması, Modül: 2.1, IIW No: 2.4, Revizyon No: 003, Tarih:** 03.012.2012.
- GEV Ergitme kaynaklarında yapı çeliklerinin davranışı, Modül:2.1, IIW No:2.5, Revizyon No:001, Tarih:** 22.12.2012.
- Gunn, N.R.** (1997). Duplex stainless steels, abington publishing, 14, England.
- Gürel, Ç.** (2020). Kaynak bilimi ve teknolojisi, Kitap, Yayın evi: Nobel, Yayın no: 2963.
- Günnur, D.** (2013). Malzeme bilgisi ve imal usulleri, Yayın evi: Gedik Üniversitesi, ISBN no: 978-605-85572-0-8.
- Groover, M.** (1986). Industrial robotics, mcgraw-hill company international editions, Singapore, 24-30.
- Harun, K.** (2007). Ostenitik paslanmaz çeliklerin robot kaynağı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi.
- Haddadin, S., Parusel, S., Belder, R., Albu-Schaeffer, A.** (2013). It is (almost) all about human safety: A novel paradigm for robot design control and planning. Lecture Notes in Computer Science. 8153: 202–215.
- James, F. Shackelford.** (2015). Çeviri; **Murat B., Burak Ö., Nuri S., Kürşat K.** Mühendisler için malzeme bilimene giriş, 8. Basım, 2015, Literatür Yayınları
- Kaluç, E.** (2004) Kaynak teknolojisi el kitabı cilt 1,, Mmo Yayını, Kocaeli.
- Kaya, Y.** (2018). S235JR ile S355JR Yapı çeliklerinin özlü tel elektrotla mag kaynak yöntemiyle birleştirilebilirliğinin araştırılması, Politeknik Dergisi, 21(3): 597-602.
- Köknel, Ö.** (2007). Metal özlü kaynak tellerinin boru alın kaynaklarında metal yığılma kapasitelerinin ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Kock, S., Vitor, T., Björn, M., Jerregard, H., Källmann, M., Lundberg, I.** (2011). Robot concept for scalable, flexible assembly automation: A technology study on a harmless dual-armed robot. IEEE International Symposium on Assembly and Manufacturing, 5/25/2011, Tampere, Finlandiya.

- Lyttle, K.A.**, (1996). Metal cored wires: where do they fit in your future, AWS welding journal, October 1996, 35-38.
- ¹**Liao, M. T., Chen, P. Y.**, (1998). The effect of shielding-gas compositions on the microstructure and mechanical properties of stainless steel weldments, materials chemistry and physics, 55, 145-151.
- ²**Liao, M. T., Chen, P. Y.**, (1998). The influence of shielding gas on notch toughness of stainless steel weld metals”, materials and manufacturing processes, Vol 13, No.4, 565-573.
- M. E. Uluocak.** (2008). Hardox 450 çeliklerinin mag kaynak bölgesi mikroyapı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi.
- Osman, Ç.** (2013). Gazaltı (MAG) kaynağında kullanılan rutil, bazik ve metal özlü tellerin kaynak metali özelliklerine etkisinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi.
- Pedro Neto, J. Norberto Pires, A. Paulo Moreira,** (2008). *CAD-Based* off-line robot programming, IEEE.
- Selâhaddin, A.** (1991). Kaynak tekniği el kitabı yöntemler ve donanımlar.
- Selâhaddin, A, Murat V, GEV** Gaz altı ark kaynağı, Gedik Eğitim Vakfı Kaynak Teknolojisi Eğitim Araştırma ve Muayene Enstitüsü Yayın No: 3.
- Selâhaddin, A,** (1991) Kaynak tekniği el kitabı, Gedik Eğitim Vakfı Yayınları.
- Selahaddin, Anık., E.Sabri. Anık., Murat Vural.** (1993). 1000 soruda kaynak teknolojisi el kitabı, İstanbul.
- Selahattin, Y., Tolga, M.** (2003). Kaynak Teknolojisi IV. Ulusal Kongresi 24-25 Ekim, Kocaeli Robotik Kaynak Sistemleri ve Gelişme İstikametleri.
- Selahattin Y, Tolga M,** (2003). Robotik kaynak sistemleri ve gelişme istikametleri. Makale, Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Siciliano, B., Khatib, O.** (2016). Handbooks of robotics. springer-verlag gmbh, Berlin, 2227 s.
- Scheinman, V.D.,** (1969). Design of a computer controlled manipulator. Doktora Tezi Stanford University, Stanford.
- Sieurn. H, Sandstrom. R,** (2006). Austenite reformation in the heat-affected zone of duplex stainless steel 2205, Materials Science and Engineering A 418, 250-256.
- Savaş, D., Didem, T., Mustafa, K.** (2015). Kaynak Kongresi IX. Ulusal Kongre ve sergisi bildiriler kitabı robotlu, mekanize ve orbital kaynak uygulamalarında operatör eğitimi.
- Sönmez, U.** (2009) Gemi saclarının özlü tel elektrot ile kaynağında kaynaklı birleştirmenin dayanım ve mikroyapı özelliklerinin araştırılması Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi.
- ¹**Taban, E.** (2008). Joining of duplex stainless steel by plasma arc, TIG and plasma arc+TIG welding processes, Materials and Manufacturing Processes, 23: 871–878.
- ²**Taban, E.** (2008). Toughness and microstructural analysis of superduplex stainless steel joined by plasma arc welding, Journal of Materials Science 43:4309–4315.
- Tülbentçi, K.** (1998). MIG-MAG kaynak yöntemi, Arctech Yayın, İstanbul,2.
- Türk Loydu.** (2015) Kısım 3-Kaynak Kuralları.
- TS EN 10025-2** (2019). Sıcak haddelenmiş yapı çelikleri- Bölüm-2 Alaşimsız yapı çeliklerinin teknik teslim şartları.

- TS EN ISO 17632-A** (2016). Kaynak sarf malzemeleri-alaşimsız ve ince taneli çeliklerin gaz korumalı veya korumasız metal ark kaynağı için boru şeklindeki özlü elektrotlar-sınıflandırma.
- TS EN ISO 17637 Görsel Muayene** (2017). Ergitme kaynaklarının tahribatsız muayenesi -Ergitme kaynaklı birleştirmelerin gözle muayenesi.
- TS EN ISO 6892-1 Çekme Deneyi** (2020). Metalik malzemeler -Çekme deneyi Bölüm 1: Ortam sıcaklığında deney yöntemi.
- TS EN ISO 148-1 Charpy Vurma Deneyi** (2020). Metalik malzemeler- Charpy vurma deneyi Bölüm 1: Deney yöntemi.
- TS EN ISO 9015-2 Sertlik Testi** (2016). Metalik malzeme kaynaklarında tahribatlı deneyler -Sertlik deneyi- Kısım 2: Kaynaklı birleştirmelerde mikro sertlik deneyi.
- TS EN ISO 17639 Mikro-Makro Yapı Deneyi** (2014). Metalik malzemelerdeki kaynaklarda tahribatlı muayene-Kaynakların makroskopik ve mikroskopik muayenesi.
- Uzun, Y.** (2014). Konvansiyonel ve sinerjik kaynak makinaları ile masif ve özlü tel ile kaynak edilmiş st37 çeliğin kaynak dikişlerinin incelenmesi, Yüksek Lisan Tezi, Atatürk Üniversitesi.
- Y. Selim. C,** (2019). Sinerjik darbeli akım üreteçli gazaltı kaynak makinalarında farklı kaynak parametreleri ile elde edilen kaynaklı bağlantıların mikroyapı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisan Tezi, Konya Teknik Üniversitesi.
- Westerlund, L.** (2000). The extended arm of man: a history of the industrial robot. Informationsförlaget, Stockholm, 170 s.
- William D. C, David G. R,** (2015). Malzeme bilimi ve mühendisliği 8. Basım Kasım, 2015 Çeviri; **Cuma B., Kenan G., Mehmet D., Mustafa B., Recep A., S.Ahmet P.**

İnternet Kaynakları

Url_1<<https://argevetasarim.com/dalga-enerjisi-nedir/tidal-energy-generator-in-the-ocean/>> alındığı tarih: 04.04.2021

Url_2<<https://muhendisgelisim.com/tozalti-ve-gazalti-kaynak-yontemlerinin-kullanimi/>>, alındığı tarih: 04.04.2021

Url_3<<https://www.enkocaeli.com/haber/3431688/turkiyenin-yeni-denizaltisi-kocaelide-suyla-bulusuyor#>>, alındığı tarih: 04.04.2021

Url_4<<https://denizcilikmyo.bandirma.edu.tr/tr/sualti/Sayfa/Goster/Program-Profil-13855>>, alındığı tarih: 08.04.2021

Url_5<<https://www.elektromania.net/default.asp?tid=22>> alındığı tarih: 18.04.21

Url_6<<https://www.dijitalx.com/2018/08/03/endustriyel-robot-kullanimi-artiyor-japonya-ihracatta-lider/>> alındığı tarih: 18.04.2021

Url_7<<https://uwaterloo.ca/robohub/people-profiles/lbr-iiwa-14-r820> > ,

alındığı tarih: 18.04.2021

Url_8<<http://www.izmakpar.com/kaynaklibirlestirme.php>>, alındığı tarih: 8.04.2021

Url_9<<http://www.izmitmetal.com/robotik-mig-mag-kaynagi-kursu-basladi/>>

alındığı tarih: 23.04.21

Url_10<<https://www.metaluzmani.com/arkark-olusumu-isin-turleri/>> alındığı tarih: 25.04.2021

Url_11<<http://www.mesanark.com/elektrotlu-ark-kaynagi-hakkinda-teknik-bilgi.asp>
[et 25.04.2021](http://www.mesanark.com/elektrotlu-ark-kaynagi-hakkinda-teknik-bilgi.asp)> alındığı tarih: 25.04.2021

Url_12<<https://www.makinaegitimi.com/elektrik-ark-kaynagin-tarihcesi/>>

alındığı tarih: 04.05.21

Url_13<<https://muyendis.com/tozalti-kaynagi-nedir/>> alındığı tarih: 04.05.21

Url_14<<http://www.muhandisalemi.com/termit-kaynagi-nedir-nasil-yapilir/>> alındığı tarih: 05.05.21

Url_15<<https://insapedia.com/lazer-kaynagi-ozellikleri-avantaj-ve-dezavantajlari/>>

alındığı tarih: 05.05.2021

Url_16<https://www.caddeas.com/ProductDetails.aspx?Geka_Power_M%C4%B1g_Gp_s_300_Ac/Dc_M%C4%B1g/Mag_Kaynak_Makinesi&ProductID=12466> alındığı tarih:

05.05.2021

Url-17<<http://www.mesanark.com/mig-mag-kayna-makinalari-hakkinda-teknik-bilgi.asp>> alındığı tarih: 05.05.2021

Url_18<<https://borsenboru.com/dogru-kaynak-yontemi>> alındığı tarih: 06.05.21

Url_19<<https://www.metaluzmani.com/tig-kaynagi-sematik-gosterim-ve-ozet-bilgi/>>

alındığı tarih: 08.05.2021

Url_20<<https://www.kaynakekipmanlari.com/urun/geka-elcor-r-71-ozlu-kaynak-teli>>
[alındığı tarih: 9.05.21](https://www.kaynakekipmanlari.com/urun/geka-elcor-r-71-ozlu-kaynak-teli)

Url_21><https://www.sezercoban.com/malzemelerde-centik-darbe-deneyi-raporu/>>

alındığı tarih: 12.05.2021