

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

S700 MC ÇELİĞİNİN ROBOTİK KAYNAK SİSTEMLERİYLE UYGUN ISI
GİRDİLERİNİN HESAPLANARAK MEKANİK ÖZELLİKLER ÜZERİNE
ETKİSİNİN İNCELENMESİ VE OTOMASYONA UYARLANMASI

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÖRSEV FULYA ÜNLÜTÜRK

OCAK 2023

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

S700 MC ÇELİĞİNİN ROBOTİK KAYNAK SİSTEMLERİYLE UYGUN ISI
GİRDİLERİNİN HESAPLANARAK MEKANİK ÖZELLİKLER ÜZERİNE
ETKİSİNİN İNCELENMESİ VE OTOMASYONA UYARLANMASI

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Görsev Fulya ÜNLÜTÜRK

DANIŞMAN : Dr. Öğr. Üyesi Nazım KUNDURACI

İKİNCİ DANIŞMAN : Prof. Dr. Süleyman Can KURNAZ

ZONGULDAK

Ocak 2023

KABUL:

Görsev Fulya ÜNLÜTÜRK tarafından hazırlanan “S700 MC Çeliğinin Robotik Kaynak Sistemleriyle Uygun Isı Girdilerinin Hesaplanarak Mekanik Özellikler Üzerine Etkisinin İncelenmesi ve Otomasyona Uyarlanması” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 18/01/2023

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Nazım KUNDURACI
Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü

İkinci Danışman: Prof. Dr. Süleyman Can KURNAZ
Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Selçuk ŞİRİN
Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Hendek Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Engin KOCAMAN
Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümü

Üye: Doç. Dr. Tuna AYDIN
Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü

ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım./....../20....

Prof. Dr. Fikret GÖLGELEYEN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Görsev Fulya ÜNLÜTÜRK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

S700 MC ÇELİĞİNİN ROBOTİK KAYNAK SİSTEMLERİYLE UYGUN ISI GİRDİLERİNİN HESAPLANARAK MEKANİK ÖZELLİKLER ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ VE OTOMASYONA UYARLANMASI

Görsev Fulya ÜNLÜTÜRK

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Nazım KUNDURACI

İkinci Danışman: Prof. Dr. Süleyman Can KURNAZ

Ocak 2023, 147 sayfa

Bu çalışmada ince taneli yüksek mukavemetli S700 MC yapı çeliğinde kullanılan ısı girdisi parametrelerinin, malzemenin mekanik özelliklerini ne şekilde değiştirdiği incelenmiştir. Bu parametrelerden kaynağa ait akım, kaynak voltajı, kaynak hızı ve kaynak paso sayısı değerleri değiştirilerek, endüstri 4.0 ve kalite 4.0'a uygun çeşitli köşe kaynağı yapılan numuneler elde edilmiştir. Daha sonra bu bağlantıların kaynak dikiş profilleri ve nüfuziyetleri incelenmiş; tahribatlı muayene yöntemlerinden sertlik deneyi, tahribatsız muayene yöntemlerinden ise sıvı penetrasyon testi yöntemleri kullanılarak mekanik özellikleri araştırılmıştır. S700 MC çeliklerde akma dayanımı 1200 N/mm²'ye kadar yükselmekte tokluk değerleri -40°C'de 60 J düzeyine ulaşabilmektedir. Bu nedenle bu çelikler iş makinesi endüstrisinde, tarımsal makinalarda, ağır yük taşımacılığında vb. yerlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Karbon oranları düşük olduğu için şekillendirilebilmeleri yeterli düzeydedir. Soğuk şekil değiştirmiş

ÖZET (devam ediyor)

bölgede veya yakınında yapılan kaynak işlemi yeniden kristelleşmeye ve iri taneli iç yapı oluşumuna neden olmaktadır. Mikro yapısal değişimlerin olduğu yeniden kristalleşmiş bölgede tokluğun, sertleşmenin ve mukavemetin azalmasına sebep olmaktadır. Bu çalışmada kaynak ısı girdisinin S700 MC yapı çeliğinin ısıdan etkilenen bölgesindeki mekanik özelliklere etkisi araştırılmıştır. Yüksek mukavemetli, bükülebilir özelliğe sahip olması, düşük karbon eş değeri, tüm imalat yöntemlerine uygunluğu S700 MC çeliğinin seçilmesindeki en önemli nedenlerdir. Bu araştırmada aynı şarj numarasından kesilmiş, aynı plakalar test parçası olarak kullanılmıştır. Yapılan bu çalışmaların sonucunda; iş makinesi ve otomotiv sanayinde bir üründe kullanılacak olan kaynak metodlarının doğruluğu, uluslararası standartların belirlediği test kurallarıyla test edilmiş ve MAG yönteminden elde edilen sonuçlar mekanik ve metalurjik açıdan değerlendirilmiştir. Robotik kaynak sistemlerinin seçilmesi ve endüstri 4.0. ile kalite 4.0.'ın desteklenmesi bu çalışmanın en güçlü yanıdır. Bu insansız üretim ve otomasyonlu uygulama sayesinde özellikle iş makinesi sektöründe bir ürünün kaynaklı imalatında, insana ve tecrübeye bağlı olarak her defasında farklı uygulanan kaynak parametreleri nedeniyle ortaya çıkan hataların, konstrüksiyona, malzemeye, makine veya imalat parçasına vereceği mekanik ve metalurjik hasarların önüne geçilmiş ve sanayilerdeki kaynaklı imalatla sürdürülebilir kalite sağlanmıştır.

Yapılan makro testlerde ve yüzey süreksizlik kontrollerinde sonuçlar ideal görünmesine rağmen, kaynak bölgesinin mekanik değerlerinin kabul dışı olabileceği görülmüştür. Standartların ne kadar önemli olduğu, hiçbir işin tecrübe ve operatör inisiyatifinde olmaması gerektiği vurgulanmıştır. Standartlarda bizden istenen değerlerin dışına çıkıldığı takdirde ortaya çıkabilecek tüm riskler test sonuçlarında gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelime: Kaynaklı imalat, S700 MC yapı çeliği, ısı girdisi, yüksek mukavemetli çelik

Bilim Kodu: 604.02.00

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

CALCULATING THE SUITABLE HEAT INPUT OF S700 MC STEEL WITH ROBOTIC WELDING SYSTEMS AND INVESTIGATION OF ITS EFFECT ON MECHANICAL PROPERTIES AND APPLICATION TO AUTOMATION

Görsev Fulya ÜNLÜTÜRK

Zonguldak Bülent Ecevit University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Metallurgy And Materials Engineering

Thesis Advisor: Assist. Prof. Dr. Nazım KUNDURACI

Co-Advisor: Prof. Dr. Süleyman Can KURNAZ

January 2023, 147 pages

In this study, it has been investigated how the heat input parameters used in fine grained high strength S700 MC structural steel change the mechanical properties of the material. Various corner welded samples were obtained by changing the welding current, welding voltage, welding speed and number of welding passes from these parameters. Then, the weld seam profiles and penetrations of these connections were examined; The mechanical properties were investigated by using the hardness test, which is one of the destructive testing methods, and the liquid penetration test, which is one of the non-destructive testing methods. The yield strength of S700 MC steels rises up to 1200N/mm², and the toughness values can reach 60 J at -40°C. For this reason, these steels are used in the construction equipment industry, agricultural machinery, heavy cargo transportation, etc. should be used widely. Since their carbon ratios are low, they can be formed at a sufficient level. Welding in or near the cold-deformed region

ABSTRACT (continued)

causes recrystallization and formation of coarse-grained internal structure. It causes a decrease in toughness, hardening and strength in the recrystallized region where microstructural changes occur. In this study, the effect of welding heat input on the mechanical properties in the heat affected zone of S700 MC structural steel was investigated. High strength, bendable property, low carbon equivalence, compatibility with all manufacturing methods are the most important reasons for choosing S700 MC steel. In this study, the same plates cut from the same charge number were used as test pieces. As a result of these studies; The accuracy of the welding methods to be used in a product in the construction machinery and automotive industry was tested with the test rules determined by international standards and the results obtained from the MAG method were evaluated in terms of mechanical and metallurgical. In the welded manufacture of a product in the sector, the mechanical and metallurgical damage to the construction, material, machine or manufacturing part caused by the errors that occur due to the welding parameters applied differently each time depending on the person and experience have been prevented, and sustainable quality has been achieved in the welded manufacturing in the defense industry. It was emphasized how important the standards are, and that no job should be at the initiative of experience and operators. All risks that may arise if the values requested from us in the standards are exceeded have been seen in the test results.

Keywords: Welded fabrication, S700 MC structural steel, heat input, high strength steel

Science Code: 604.02.00

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde değerli bilgilerini benimle paylaşan ve her aşamada desteğini aldığım saygıdeğer danışman hocam; Dr. Öğr. Üyesi Nazım KUNDURACI'ya, ikinci tez danışmanım olan ve desteğini esirgemeyen Prof. Dr. Süleyman Can KURNAZ'a, yüksek lisans ders ve tez süreçlerimde desteğini ve bilgi birikimini aldığım saygıdeğer yöneticim ve meslektaşım Faruk ER'e, çalışmam boyunca her alanda benden bir an olsun desteğini ve yardımını esirgemeyen değerli meslektaşım ve yol arkadaşım Mustafa Fatih MUSLU'ya, çalışmamda bana gösterdiği yardımlarından dolayı meslektaşım ve yüksek lisans arkadaşım olan Beste BULTAN TUNA'ya, hayatımın her anında benden desteklerini esirgemeyen ailem'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Deney numunelerimin temininde ve teknik olarak ne zaman ihtiyacım olsa yardımlarını esirgemeyen eski şirketim Önder Metal A.Ş.'ye ve Innometal A.Ş.'ye teşekkürlerimi sunarım.

Deney aşamasında test cihazlarını kullandığım UMT kalite kontrol ve mühendislik ekibine teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xv
ÇİZELGELER DİZİNİ	xix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİ.....	xxi
BÖLÜM 1 GİRİŞ.....	1
1.1 ÇALIŞMANIN KAPSAMI	1
1.2 ÇALIŞMANIN AMACI.....	2
BÖLÜM 2 ÇELİK MALZEMELER	5
2.1 ÇELİK NEDİR?	5
2.2 ÇELİKLER'İN SINIFLANDIRILMASI	6
2.2.1 Genel Yapı Çelikleri	6
2.2.2 Sementasyon Çelikleri	8
2.2.3 Islah Çelikleri.....	8
2.2.4 Yay Çelikleri	8
2.2.5 Otomat Çelikleri.....	8
2.2.6 Paslanmaz Çelikler.....	9
2.2.7 İndüksiyon İle Yüzeyi Sertleştirilebilen Çelikler	9
2.2.8 Takım Çelikleri	9

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
2.3 STREX YÜKSEK DAYANIMLI YAPI ÇELİKLERİ	10
2.3.1 Strenx Özellikler	11
2.3.2 Strenx Çeliğin Kullanım Alanları	12
2.3.3 Strenx Çeliğin Avantajları	13
BÖLÜM 3 KAYNAKLI İMALAT YÖNTEMİ	15
3.1 KAYNAK NEDİR?	15
3.2 KAYNAĞIN SINIFLANDIRILMASI VE KAYNAK YÖNTEMLERİ	16
3.2.1 Kaynağın Uygulandığı Malzeme Cinsine Göre Ayarlanması	17
3.2.2 Kaynağın Yapılış Amacına Göre Ayarlanması.....	17
3.2.3 Kaynağın Uygulanış Şekline Göre Ayarlanması	17
3.2.4 Kaynağın İşlem Cinsine Göre Ayarlanması	18
3.3 GAZ ALTI KAYNAK YÖNTEMİ	20
3.4 KAYNAK POZİSYONLARI.....	23
3.5 KAYNAK PARAMETRELERİ.....	27
3.5.1 Kaynak İşlemi Sırasında Değiştirilemeyen Parametreler	28
3.5.2 Birinci Derecede Ayarlanabilir Parametreler.....	36
3.5.3 İkinci Derecede Ayarlanabilir Parametreler	38
3.6 KAYNAKTA ISI GİRDİSİ	40
3.7 KAYNAKTA KARBON EŞDEĞERİ	43
3.8 ÖN ISITMA SICAKLIĞI.....	44
3.8.1 Kaynaklama Ve Termal Kesim Esnasında Önerilen Max. Ön Isıtma Ve Pasolar Arası Geçiş Sıcaklığı Değerleri	45
3.9 t _{8/5} DEĞERİ	46
3.10 ÇELİK MALZEMELERDE KAYNAK KABİLİYETİ.....	47
3.11 KAYNAK METALİ BÖLGELERİNİN İNCELENMESİ.....	49
3.11.1 Ergime Bölgesi.....	50

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
3.11.2 Isı Tesiri Altında Kalan Bölge (ITAB)	51
3.11.3 İri Taneli Bölge	51
3.11.4 İnce Taneli Bölge	52
3.11.5 Kısmen Dönüşmeye Uğramış Bölge	52
3.11.6 İç Yapı Değişikliğine Uğramış Bölge (Esas Metal)	53
3.12 STRENX ÇELİĞİNİN KAYNAKLANMASI	53
3.13 BAĞLANTI HAZIRLIĞI İÇİN YÖNTEMLER	53
3.13.1 Hidrojen Çatlaklarını Önleme	54
3.13.2 Minimum Ön Isıtma Ve Pasolar Arası Geçiş Sıcaklıkları	54
3.13.3 Strenx 700 İçin Ön Isıtma Ve Pasolar Arası Geçiş	55
3.13.4 Ön Isıtma Ve Pasolar Arası Geçiş Sıcaklığını Elde Etme Ve Ölçme	56
3.13.5 Isı Girdisi Ve HAZ'daki Yumuşama	58
3.13.6 Strenx'in Kaynaklanması İle İlgili Diğer Öneriler	59
3.14 ROBOTİK KAYNAK SİSTEMLERİ	60
3.14.1 Endüstriyel Robotlar	60
3.14.2 Robotik Kaynak Sistemleri	61
3.14.3 Robotik MIG/MAG Kaynak Teknolojileri	62
BÖLÜM 4 MALZEME VE YÖNTEM	63
4.1 S700 MC YÜKSEK MUKAVEMETLİ YAPI ÇELİĞİ VE ÖZELLİKLERİ	63
4.1.1 S700 MC Çeliğinin Mekanik Özellikleri	63
4.1.2 S700 MC Çeliğinin Darbe Özellikleri	64
4.1.3 S700 MC Çeliğinin Kimyasal Bileşimi	64
4.2 KAYNAK MUAYENE YÖNTEMLERİ	65
4.2.1 Tahribatsız Muayene Yöntemleri	65
4.2.1.1 Radyografi Muayene Yöntemi	65
4.2.1.2 Ultrasonik Muayene Yöntemi	65
4.2.1.3 Manyetik Muayene Yöntemi	66
4.2.1.4 Penetrant Sıvı Muayene Yöntemi	66

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
4.2.1.5 Gözle Muayene Yöntemi	67
4.2.1.6 Girdap Akımları Yöntemi (Eddy Current).....	67
4.2.2 Tahribatlı Muayene Yöntemleri.....	67
4.2.2.1 Çekme Testi	68
4.2.2.2 Eğilme Testi	68
4.2.2.3 Basma Deneyi	68
4.2.2.4 Kırılma Deneyi.....	68
4.3 KAYNAK YÖNTEMİ	69
4.4 KAYNAK PLAKALARININ SEÇİMİ VE HAZIRLANMASI.....	69
4.5 ROBOTİK KAYNAK MAKİNESİ.....	70
4.6 KAYNAK POZİSYONU	71
4.7 KAYNAK TELİ	72
4.8 KAYNAK PARAMETRELERİNİN SEÇİMİ	72
4.9 DENEY NUMUNELERİNİN KAYNATILMASI	73
 BÖLÜM 5 DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	 77
5.1 ISI GİRDİLERİNİN HESAPLANMASI	77
5.2 PENETRANT TESTİNİN UYGULANMASI	78
5.2.1 Ön Temizlik	78
5.2.2 Penetrant Uygulama.....	79
5.2.3 Penetrant'ın Kaldırılması	80
5.2.4 Developer Uygulama	80
5.3 DENEY NUMUNELERİNİN HAZIRLANMASI.....	82
5.4 METALOGRAFİK NUMUNE HAZIRLANMA	84
5.5 VICKERS SERTLİK TESTİ.....	85
5.6 MAKRO YAPI İNCELEME.....	87
5.7 MİKRO YAPI GÖRÜNTÜLERİ	91

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
5.7.1 A Numunesine Ait Mikro Yapı Görüntüleri	91
5.7.2 B Numunesine Ait Mikro Yapı Görüntüleri	92
5.7.3 D Numunesine Ait Mikro Yapı Görüntüleri	93
5.7.4 E Numunesine Ait Mikro Yapı Görüntüleri	95
5.7.5 F Numunesine Ait Mikro Yapı Görüntüleri.....	96
5.7.6 G Numunesine Ait Mikro Yapı Görüntüleri.....	97
5.7.7 H Numunesine Ait Mikro Yapı Görüntüleri.....	98
5.7.8 I Numunesine Ait Mikro Yapı Görüntüleri	99
BÖLÜM 6 SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME.....	101
6.1 PENETRANTSYON TEST SONUÇLARININ İNCELENMESİ.....	101
6.2 SERTLİK DENEYİ SONUÇLARININ İNCELENMESİ	101
6.2.1 A Numunesinin Sertlik Değerinin İncelenmesi	101
6.2.2 B Numunesinin Sertlik Değerinin İncelenmesi	102
6.2.3 D Numunesinin Sertlik Değerinin İncelenmesi	103
6.2.4 E Numunesinin Sertlik Değerinin İncelenmesi.....	104
6.2.5 F Numunesinin Sertlik Değerinin İncelenmesi.....	104
6.2.6 G Numunesinin Sertlik Değerinin İncelenmesi	105
6.2.7 H Numunesinin Sertlik Değerinin İncelenmesi	105
6.2.8 I Numunesinin Sertlik Değerinin İncelenmesi.....	106
6.3 MAKRO VE MİKRO TEST SONUÇLARININ İNCELENMESİ	106
6.3.1 A Numunesinin Makro Ve Mikro Test Sonuçlarının Değerlendirmesi.....	106
6.3.2 B Numunesinin Makro Ve Mikro Test Sonuçlarının Değerlendirmesi	107
6.3.3 D Numunesinin Makro Ve Mikro Test Sonuçlarının Değerlendirmesi.....	107
6.3.4 E Numunesinin Makro Ve Mikro Test Sonuçlarının Değerlendirmesi	108
6.3.5 F Numunesinin Makro Ve Mikro Test Sonuçlarının Değerlendirmesi	108
6.3.6 G Numunesinin Makro Ve Mikro Test Sonuçlarının Değerlendirmesi.....	109
6.3.7 H Numunesinin Makro Ve Mikro Test Sonuçlarının Değerlendirmesi.....	109
6.3.8 I Numunesinin Makro Ve Mikro Test Sonuçlarının Değerlendirmesi	110

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 7 SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	111
KAYNAKÇA.....	115
ÖZGEÇMİŞ	119



ŞEKİLLER DİZİNİ

No	Sayfa
Şekil 3.1 Kaynağın sınıflandırılması.....	16
Şekil 3.2 Eritme ve basınç kaynağının şematik gösterimi.....	19
Şekil 3.3 Gaz altı kaynağının çalışma prensibi.....	22
Şekil 3.4 Gaz altı kaynak donanımı.....	23
Şekil 3.5 Kaynak pozisyonları.....	23
Şekil 3.6 10 mm uzunluğuna sahip çeşitli pozisyonlardaki iç köşe kaynağının yığılması.....	24
Şekil 3.7 Esas konumlar.....	25
Şekil 3.8 Alın ve iç köşe kaynakları için esas konum örnekleri.....	26
Şekil 3.9 Kaynak parametreleri şematik gösterimi.....	27
Şekil. 3.10 Kaynak teli çapı ile akım şiddeti arasındaki ilişki.....	28
Şekil 3.11 Gaz altı kaynak teli.....	29
Şekil 3.12 Kaynak dikiş görüntüsüne ve nüfuziyetine koruyucu gaz etkisi	33
Şekil 3.13 Çeşitli koruyucu gaz karışımlarının etkileri	33
Şekil 3.14 Koruyucu gaz karışımlarına ait örnekler	34
Şekil 3.15 Akım şiddeti ile nüfuziyet arasındaki ilişki	36
Şekil 3.16 Kaynak gerilimi (V) ile nüfuziyet ilişkisi	37
Şekil 3.17 Kaynak hızı (cm/dk) ile nüfuziyet ilişkisi.....	38
Şekil 3.18 Kaynak yönü ve torç açısının nüfuziyete etkisi.....	39
Şekil 3.19 Serbest tel uzunluğu ile nüfuziyet arasındaki ilişki	40
Şekil 3.20 Isı girdisi faktörünün kaynaklı bir bağlantıya olan genel etkisi.....	42
Şekil 3.21 t8/5 tanımlaması.....	46
Şekil 3.22 t8/5 değerleri, min. 27J, -40°C'de.....	47
Şekil 3.23 Kaynak bölgesi.....	50
Şekil 3.24 Kaynak dikişi çevresindeki sıcaklık dağılımı ve taneseli yapıdaki değişiklikler.....	52
Şekil 3.25 Minimum ön ısıtma ve pasolar arası geçiş sıcaklıkları.....	55
Şekil 3.26 Plaka ve saç kalınlığı.....	57
Şekil 3.27 Önerilen maksimum ısı girdisinde, kullanılan en düşük ön ısıtma sıcaklığı temel alınır	57
Şekil 3.28 Bağlantıdaki sertlik dağılımı.....	58
Şekil 3.29 Isı girdisi ve HAZ'daki yumuşama.....	58
Şekil 3.30 Katmanlı yırtılma. Yüksek cüruf kalıntılarına sahip bir çelik ile Strenx çelikleri arasındaki fark.....	59
Şekil 3.31 Kesim kenarına yakın kaynaklı T bağlantılarda termal kesim kenarlarının kullanılması önerilir.....	59
Şekil 3.32 Robotik kaynak sistemi şematiği.....	62
Şekil 4.1 Ultrasonik muayene yönteminin mantığı.....	66
Şekil 4.2 Penetrasyon uygulama örneği.....	67
Şekil 4.3 Kestirilen plaka ölçüleri.....	69
Şekil 4.4 Plaka yüzeylerinin flabla temizlenmesi.....	69

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

No	Sayfa
Şekil 4.5 Kaynak öncesi ön ısıtma işleminin yapılması.....	70
Şekil 4.6 Seçilen robotik kaynak makinesinin görüntüsü.....	71
Şekil 4.7 Köşe kaynağı yapılacak numune düzeneği.....	71
Şekil 4.8 ER110 SG robotik kaynak teli.....	72
Şekil 4.9 Robotik kaynak makinesine belirlenen parametrelerin girilmesi.....	73
Şekil 4.10 Test plakalarına destek plakaların çatım kaynağının yapılması.....	74
Şekil 4.11 Torç açısının ayarlanması.....	74
Şekil 4.12 Test plakalarının kodlanması.....	75
Şekil 4.13 Pasolar arası geçiş sıcaklığı uygun olmayan plaka.....	75
Şekil 4.14 Pasolar arası geçiş sıcaklığı uygun olan plaka.....	76
Şekil 4.15 Kaynak anı.....	76
Şekil 5.1 BT 69 cleaner sprej.....	78
Şekil 5.2 BT-69 cleaner sprej ile malzeme yüzeyinin temizlenmesi.....	79
Şekil 5.3 BT 68 penetrant spreji.....	79
Şekil 5.4 Penetrant sprejinin uygulanması.....	80
Şekil 5.5 BT 70 developer sprej uygulaması.....	81
Şekil 5.6 Penetrant uygulaması (A,B,D,E numuneleri).....	81
Şekil 5.7 Penetrant uygulaması (F,G,H,I numuneleri).....	82
Şekil 5.8 Standartta yer alan numune hazırlama düzeneği.....	82
Şekil 5.9 Deney numunelerinin ana plakadan çıkarılması.....	83
Şekil 5.10 Test numunelerinin ayarlanması.....	83
Şekil 5.11 Nital çözeltisi.....	84
Şekil 5.12 Zımparalama görseli.....	84
Şekil 5.13 Dağlama sonrası kurutma işlemi.....	85
Şekil 5.14 Sertlik alınan nokta yüzeylerin adlandırılması.....	85
Şekil 5.15 Numunelerden alınacak sertlik değeri bölgelerinin tanımlanması.....	86
Şekil 5.16 MITECH HV 10 sertlik cihazı görseli.....	86
Şekil 5.17 Makro görüntülerin alınması.....	88
Şekil 5.18 - 5.21 A,B,D,E numunelerinin makro görüntüsü.....	89
Şekil 5.22 - 5.25 F,G,H,I numunelerinin makro görüntüsü.....	90
Şekil 5.26 -5.27 A-1./A-5. Bölgeye ait mikro yapı.....	91
Şekil 5.28 -5.29 A-7./A-11. Bölgeye ait mikro yapı.....	92
Şekil 5.30 - 5.31 B-1./B-5. Bölgeye ait mikro yapı.....	92
Şekil 5.32 - 5.33 B-7./B11. Bölgeye ait mikro yapı.....	93
Şekil 5.34 D-1. Bölgeye ait mikro yapı.....	93
Şekil 5.35 - 5.36 D-5./D-7. Bölgeye ait mikro yapı.....	94
Şekil 5.37 D-11. Bölgeye ait mikro yapı.....	94
Şekil 5.38 - 5.41 E-1./E-5./E-7./E-11. Bölgeye ait mikro yapı.....	95
Şekil 5.42 - 5.45 F-1./F-5./F-7./F-11. Bölgeye ait mikro yapı.....	96
Şekil 5.46 - 5.49 G-1./G-5./G-7./G-11. Bölgeye ait mikro yapı.....	97
Şekil 5.50 - 5.52 H-1.-H-5./H-7. Bölgeye ait mikro yapı.....	98
Şekil 5.53 H-11. Bölgeye ait mikro yapı.....	99
Şekil 5.54 - 5.55 I-1./I-5. Bölgeye ait mikro yapı.....	99
Şekil 5.56 - 5.57 I-7./I-11. Bölgeye ait mikro yapı.....	100
Şekil 6.1 A numunesine ait Vickers sertlik değerleri.....	101

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 6.2 B numunesine ait Vickers sertlik değerleri.....	102
Şekil 6.3 D numunesine ait Vickers sertlik değerleri.....	103
Şekil 6.4 E numunesine ait Vickers sertlik değerleri.....	104
Şekil 6.5 F numunesine ait Vickers sertlik değerleri.....	104
Şekil 6.6 G numunesine ait Vickers sertlik değerleri.....	105
Şekil 6.7 H numunesine ait Vickers sertlik değerleri.....	105
Şekil 6.8 I numunesine ait Vickers sertlik değerleri.....	106
Şekil 6.9 A numunesinin kaynak yüksekliği.....	106
Şekil 6.10 B numunesinin kaynak yüksekliği.....	107
Şekil 6.11 D numunesinin kaynak yüksekliği.....	107
Şekil 6.12 E numunesinin kaynak yüksekliği.....	108
Şekil 6.13 F numunesinin kaynak yüksekliği.....	108
Şekil 6.14 G numunesinin kaynak yüksekliği.....	109
Şekil 6.15 H numunesinin kaynak yüksekliği.....	109
Şekil 6.16 I numunesinin kaynak yüksekliği.....	110



ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 Uygulama yerlerine ve mekanik veya fiziksel özelliklerine göre yapı çeliklerinin kısa gösteriliş.....	7
Çizelge 3.1 TS EN ISO 4063 standardına göre kaynak yöntemlerinin numaralandırılması	20
Çizelge 3.2 Esas konumlar için terimler ve semboller	25
Çizelge 3.3 Özsüz Gaz altı kaynak tellerinin kimyasal bileşimleri.....	29
Çizelge 3.4 Kaynak sarf malzemeleri, EN sınıfı	30
Çizelge 3.5 Kaynak yöntemlerine göre enerji verimlilik faktörü	42
Çizelge 3.6 Karbon eşdeğerlerine karşılık gelen kaynaklanabilirlik yetkinlikleri.....	43
Çizelge 3.7 Karbon eşdeğerine göre ön tav sıcaklığının belirlenmesi.....	45
Çizelge 3.8 Maksimum ön ısıtma/pasolar arası geçiş sıcaklıkları.....	46
Çizelge 4.1 S700 MC çeliğinin mekanik özellikleri.....	63
Çizelge 4.2 Strenx sıcak haddelenmiş şerit ürünleri için performans portföyü.....	64
Çizelge 4.3 S700 MC çeliğinin darbe dayanımı.....	64
Çizelge 4.4 S700 MC çeliğinin kimyasal bileşimi.....	64
Çizelge 4.5 Kaynak parametrelerinin değerleri.....	72
Çizelge 4.5 Kaynak parametrelerinin değerleri (devam ediyor).....	73
Çizelge 5.1 Plaka/Hesplanan ısı girdisi değeri.....	77
Çizelge 5.1 Plaka/Hesplanan ısı girdisi değeri (devam ediyor).....	78
Çizelge 5.2 Önemli Vickers sertlik testi sonuçları.....	87



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİ

KISALTMALAR

Al	: Alimünyum
Ar	: Argon
C	: Karbon
CE (CEV)	: Karbon Eşdeğeri
E	: Ark Voltajı
GMAW	: Gas Metal Arc Welding
H	: Isı Girdisi
He	: Helyum
I	: Amper
IIW	: Uluslararası Kaynak Enstitüsü
ITAB	: Isı Tesiri Altında Kalan Bölge
k	: Enerji Verimlilik Faktörü
MAG	: Metal Active Gas
MIG	: Metal Inert Gas
NDT	: Non Destructive Testing
P	: Fosfor
PQR	: Procedure Qualification Record
S	: Kükürt
Si	: Silisyum
TIG	: Tungsten Inert Gas
U	: Voltaj
V	: Kaynak Hızı
YMDA	: Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımlı Çelik
Q	: Isı Girdisi



BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 ÇALIŞMANIN KAPSAMI

Artan teknolojik ihtiyaçlar, yeni teknolojik gelişmelere sebep olmaktadır. Günümüzde teknolojik beklentilerine yanıt verebilen ekonomik üretimlerin gerçekleşmesi büyük önem arz etmekte, firmaların rekabet durumunda ayakta kalabilmelerinin yapıtaşını oluşturmaktadır. Bazen, ufak bir ilerleme yüksek miktarlardaki üretimler ana konu olduğunda çok ciddi kazanımlar sağlamaktadır. Büyük bir ivmeyle devam eden teknolojik gelişmelerin beraberinde, teknolojinin daha ekonomik olarak kullanılması en önemli faktörlerdendir. Daha ekonomik, daha iyi ürünlerin beklentisi gün geçtikçe artış göstermektedir [1].

Çevre bilincinin de artmasıyla, ulaşım sektörü başta olmak üzere ağırlıkları düşürme çalışmaları her geçen gün daha önemli hale gelmiş ve en göz ardı edilemeyen konulardan birisi durumuna gelmiştir. Araçların ağırlıklarının azaltılması, karbon salınımının düşürülmesi gibi faktörlerin yanı sıra, daha fazla insan ya da daha fazla yük taşınmasını sağlayarak, taşımacılık ve ulaşım sektöründe bulunan firmaların ve diğer işlerin karlılığını da ciddi oranda arttırmaktadır. Bu sebepten özellikle çelik üreticileri sürekli olarak araçları daha hafifletici çalışmalar yapmaktadırlar [2]. Geniş kullanım alanına sahip çeliklerden beklenen bu özelliklerin tümünün karşılanması için yeni nesil çeliklerin kalitelerinin geliştirilmesi alanında araştırmalar yapılmaktadır. Yeni nesil çeliklerin kalitelerinin iyileştirilmesinde çelik tüketiminde önemli bir paydaya sahip olan otomotiv ve iş makinesi sektörü itici bir güç konumunda durmaktadır. İş makinesi firmaları ek ağırlık eklemekten kazalara karşı güvenliği arttırmak için, mukavemetten ödün vermeden ağırlık azaltma hedefi ile yüksek dayanımlara sahip çeliklere yönelmektedir. Bu nitelikleri bünyesinde barındıran yeni nesil çelikler sayesinde, bu parçaların üretimleri giderek daha da mühim bir hale gelmektedir [3]. Yürütülen tüm bu çalışma sistemleri esnasında Advanced High Strength Steel olarak isimlendirilen ve standart çeliklere göre çok daha fazla

dayanım sağlayan yeni nesil yüksek mukavemetli çeliklerin yardımcı olduğu görülmüştür [2]. Bu doğrultuda Strenx diye adlandırılan ve dünyada sadece SSAB firması tarafından üretilen; asıl özelliği esnemeye karşı mkemmek mukavemet gücü, mkemmek dayanma kapasitesi olan özel alaşımlı, ince taneli, yüksek mukavemetli çelikler ne çıkmaya başlamıştır. Çalışma performanslarının geliştirilmesi için sürekli olarak devam eden çalışmalarda hafiflik her daim ne geçmiştir. Daha da hafif malzemeler imal edebilmek için, tane boyutları daha ince boyutlarda uygulama imkanı veren güçlü çelikler lazımdır. Bu ihtiyaç Strenx yüksek dayanımlı yapısal çelikler sayesinde karşılanmaya başlanmıştır [4].

Bir eliğin imalat aşamalarında, sektör içinde bulunabilmesi için mekanik özelliklerinin, işlenebilirliğinin ve kaynak kabiliyetinin de iyi olması gerekmektedir [5].

Kaynaklı imalat günlük yaşantımızın neredeyse her bir alanında kullanılan, imalat sektöründe başka bir seçeneği ve muadili olmayan bir yöntem olarak yerini korumaktadır. Bazı imalat alanlarında ise neredeyse rakibi olmayan tek imalat yöntemidir. Sürekli iyileşmekte ve gelişmekte olan kalite anlayışının beraberinde, beklentilerin ne oranda gerçekleştirilebildiği, kaynaklı bağlantılarda her daim yanıtlanması gereken bir durumdur. Kaynaklı imalatın avantajı çok fazla olmasına rağmen, malzemelerdeki iç yapı dönüşümlerinin gerçekleştiği sıcaklıktan daha yüksek ısı etkileşimi dolayısıyla önem gerektiren bir yöntemdir. Kaynak sırasında, malzemelerin etkilendiği ısıl çevrimler, malzeme özelliklerini farklılaştırmaktadır. Tane büyümesi ve yeniden kristalleşme gibi özellikler soğuk şekil değiştiren alaşımsız çelikler kaynaklanırken ortaya çıkar. Bu yüzden kaynaklanmalarına izin verilmez. Meydana gelen bu tehlikeli oluşum, sadece alaşımlı ve düşük alaşımlı çeliklerde mevcut olmakla beraber, yüksek alaşımlı çelikler ve demir dışı alaşımlarda oluşmaktadır. Mikro alaşımlı ve ince taneli yapı çelikleri yüksek tokluk ve mukavemet özelliklerinden dolayı alaşımlı çeliklerin yerine geçmeye başlamıştır [1].

1.2 ÇALIşMANIN AMACI

Günümüzde hala çoğunlukla el ile veya yarı mekanize şekilde uygulanan kaynak işlemi, manuel kullanımlar sebebiyle kalitesini insana ve sürdürülebilir performans açısından insanın yetkinliklerine bağlamaktadır. Bu yetkinliklerin sürekli olarak yapılan işlerin kalitesine aktarılabilmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda, Uluslararası Kaynak Cemiyeti (IIW) tarafından belirlenmiş olan kurallar, günümüzde 55'i geçen ülkede uygulanmaktadır. Ağır sanayi kollarında kaynakıların yeterlilik ve yetkinliklerinin ölçülmesinin yanı sıra, bu donanımın aynı

kalitede ve sürdürülebilir, standart sonuçlar doğuracak şekilde yapılan işe yansıtılması gerekmektedir. Bu sebepten, insan faktörü etkisinin en düşük seviyeye indirilmesi gerekmektedir. Isı girdisi dediğimiz faktörün, malzemeyi tane irileşmesi ve çarpılma sonucu mukavemet kaybına uğrattığı vaziyetlerde birim zamanda, birim mesafeye daha düşük ısı girdisi uygulayan kaynak yöntemlerini seçmek mühimdir. Ana malzemeye ait mekanik özellikleri ve kalite değerlerini düşürmeden minimum çarpılma ve iç gerilme uygunluğunu oluşturan en uygun kaynaklı imalat yöntemi seçilmelidir. Optimum kaynak metodunun belirlenmesinin ardından, sıra kaynak parametrelerini (gerilim, akım, elektrod çapı, koruyucu gaz, kaynak ağız geometrisi, paso vb.) yapılacak deneylerle kesinleştirmektir. Yapılacak olan kaynaklı birleştirmenin kaynaklanabilirliği kaynak metot testleri ile test edilmeli ve bu testlerden alınan olumlu sonuçlara göre hazırlanan kaynak prosedür şartnamelerinin kullanılmasıyla uygulanmalıdır [6].

Bu çalışmada ince taneli yüksek mukavemetli S700 MC yapı çeliğinde kullanılan ısı girdisi parametrelerinin, malzemenin mekanik özellikleri ne şekilde değiştirdiği incelenecektir. Bu parametrelerden kaynağa ait akım, kaynak voltajı, kaynak hızı ve kaynak paso sayısı değerleri değiştirilerek endüstri 4.0 ve kalite 4.0'a uygun olarak, insan faktörünün kaldırıldığı ve yerini otomasyon sistemlerinin aldığı robotik kaynak sistemlerinde çalışılarak çeşitli köşe kaynağı yapılan numuneler elde edilmiştir. Daha sonra bu bağlantıların kaynak dikiş profilleri ve nüfuziyetleri incelenmiş; tahribatlı muayene yöntemlerinden sertlik deneyi, tahribatsız muayene yöntemlerinden ise sıvı penetrasyon testi yöntemleri kullanılarak mekanik özellikleri araştırılmıştır. S700 MC çeliklerde akma dayanımı 1200 N/mm^2 'ye kadar yükselmekte tokluk değerleri -40°C 'de 60 Joule düzeyine ulaşabilmektedir. Bu nedenle bu çelikler otomotiv endüstrisinde, tarımsal makinalarda, ağır yük taşımacılığında vb. yerlerde yaygın olarak kullanılmalıdır. Karbon oranları düşük olduğu için şekillendirilebilmeleri yeterli düzeydedir. Soğuk şekil değiştirmiş bölgede veya yakınında yapılan kaynak işlemi yeniden kristalleşmeye ve iri taneli iç yapı oluşumuna neden olmaktadır. Mikro yapısal değişimlerin olduğu yeniden kristalleşmiş bölgede tokluğun, sertleşmenin ve mukavemetin azalmasına sebep olmaktadır. Bu araştırmada kaynak ısı girdisinin soğuk şekil değiştirmiş ince taneli S700 MC yapı çeliğinin ısıdan etkilenen bölgesindeki mekanik özelliklere etkisi incelenecektir. Yüksek mukavemetli, bükülebilir özelliğe sahip olması, düşük karbon eş değeri, tüm imalat yöntemlerine uygunluğu S700 MC çeliğinin seçilmesindeki en önemli nedenlerdir. Bu araştırmada aynı şarj numarasından kesilmiş, aynı plakalar test parçası olarak kullanılacaktır. Farklı ısı girdileri ile gaz altı kaynak yöntemiyle birleştirilecek ve mekanik özelliklere etkisi incelenecektir. Yapılan

bu deneysel çalışmanın sonucunda; savunma sanayinde bir üründe kullanılacak olan kaynak metotlarının doğruluğu, uluslararası standartların belirlediği test kurallarıyla test edilmiş ve MAG yönteminden elde edilen sonuçlar mekanik ve metalurjik açıdan değerlendirilmiştir. Robotik kaynak sistemlerinin seçilmesi ve endüstri 4.0 ile kalite 4.0'ın desteklenmesi bu çalışmanın en güçlü yanıdır. Bu insasız üretim ve otomasyonlu uygulama sayesinde özellikle iş makinesi sektöründe bir ürünün kaynaklı imalatında, insana ve tecrübeye bağlı olarak her defasında farklı uygulanan kaynak parametreleri nedeniyle ortaya çıkan hataların, konstrüksiyona, malzemeye, makine veya imalat parçasına vereceği mekanik ve metalurjik hasarların önüne geçilmiş ve sanayilerdeki kaynaklı imalatta sürdürülebilir kalite sağlanmıştır.



BÖLÜM 2

ÇELİK MALZEMELER

2.1 ÇELİK NEDİR?

Tüm diğer elementlerden kütlece daha fazla demir içeren, %2'den daha düşük karbon oranına sahip olan ve başka elementleri de bünyesinde bulunduran malzemedir. Az sayıda krom çeliği %2'den fazla karbon içerebilir fakat %2 değeri çelik malzeme ile dökme demir malzemeyi birbirinden ayıran net sınırdır [7].

Çelik, diğer demir türlerine kıyasla kırılma direncini ve gücünü artırmak için bu %2'lik değere sahiptir. Bir demir-karbon alaşımıdır. İçeriğinde başka elementler mevcut olabilir veya eklenebilir. Oksidasyona ve korozyona dayanıklı paslanmaz çelikler genel olarak %11 ek krom gerektirir. Malzeme içindeki az oranlı karbon, ek olan elementler ve Fe elementi içinde bulunan inklüzyonlar, hareketin önüne geçen sertlik verici ürünler olarak bilinir [8].

Çelik malzeme tüm yollarda, demiryollarında, diğer birçok altyapıda, bina ve alet yapımında ciddi oranda tercih edilir. Tercih edilmesinin sebebi, maliyetinin düşük ve çekme mukavemetinin yüksek olmasıdır. Statlar ve plazalar, köprüler ve hava limanları gibi büyük gelişmiş yapıların çoğu çelik yapılar üzerine inşa edilir. Betonarme yapılarda bile destekleyici eleman olarak çelikler kullanılır. Ayrıca, büyük ev aletleri ve arabalarda yaygın olarak kullanılır. Otomobil gövdelerinde hafif olan alüminyum kullanımındaki artışa rağmen halen üstün mukavemet özelliklerinden dolayı çelikler kullanılmaktadır. Cıvata, çivi ve vida gibi hırdavat ve inşaat malzemelerinde, ev ürünleri ve mutfak aletlerinde kullanılır [9]. Çeliklerin yapısındaki karbon ve farklı alaşım elementlerinin oranlarını değiştirmek ve ayrıca nihai çelikteki kimyasal ve fiziksel yapılarını kontrol etmek (çözünen elementler veya çökelmiş fazlar olarak) çeliğin niteliklerini kontrol eder ve daha dayanımlı hale getirir. Bu işlem saf demiri sünek yapan dislokasyonların hareketini engeller ve meydana gelen çeliğin sertliğini, su verme davranışını, tavlama ihtiyacını, tavlama davranışını, akma mukavemetini ve çekme mukavemetini değiştirir

[10]. Metal alaşımlarında karbon miktarının az olması demirin oldukça yumuşak, sünek ve zayıf olmasına sebep olur. Çeliklerde yüksek karbon oranı, kırılğan bir alaşım oluşturur. Bu alaşım yaygın olarak pik demir olarak adlandırılır. Çeliğin kimyasal özelliklerini değiştirmek için bilinçli olarak diğer alaşım elementlerinin eklenmesiyle alaşımlı çelik elde edilir. Sıklıkla kullanılan alaşım elementleri şu şekildedir:

- Manganez, Nikel, Krom, Molibden,
- Bor, Titanyum, Vanadyum,
- Tungsten, Kobalt, Niyobyum [11].

2.2 ÇELİKLER'İN SINIFLANDIRILMASI

- Genel Yapı Çelikleri
- Sementasyon Çelikleri
- Islah Çelikleri
- Yay Çelikleri
- Otomat Çelikleri
- Paslanmaz Çelikler
- İndüksiyonla Yüzeyi Sertleştirilebilen Çelikler
- Takım Çelikleri [12]

2.2.1 Genel Yapı Çelikleri

Yapı çeliklerinin ifade edilmesi çekme dayanımına göre yapılır. Köprü yapımı, çelik konstrüksiyon sistemleri, basınçlı kap donanımları, araç imalatı, makine çelik konstrüksiyonlarında yapılarında akma sınırları ve çekme gerilmesi değerleri göz önüne alındığından en çok tercih edilen gruptur. Çoğu zaman tek tercih sebebidir. Yapı çelikleri genelde alaşımsız çelik olarak bilinir, tanımlanır. Bir malzemedeki mekanik özellikler, genellikle içeriğinde barındırdığı karbonun miktarı ile alakalıdır. Fakat, diğer elementlerden önce fosfor ve azot, imalat şeklinden ve imal edilme hammaddeleri dolayısıyla kükürt, mangan, bakır ve silisyum maddeleri de çok mühimdir.

Genel yapı çelikleri kalite gruplamalarına göre sınıflandırılmaktadırlar. Standartlarda yapılan yeni düzenlemeler sonucunda;

1. kalite diye adlandırılan grup yalnızca St33 çeliğini içermektedir. Bu çelikte malzemenin kimyasal analizlerinin sonuçları bildirilmez. İmalat şekli ve döküm şekli serbest bir halde yapılır. Bunun sonucunda şöyle bir yorum yapılabilir; 1. kalite grubundaki çelikler özenli bir şekilde ergitilmezler [12].

2. kalite diye adlandırılan gruptaki çelikler, maksimum %0,050 P ile %0,050 S içermektedirler. Kullanım alanı daha çok kaynak konstrüksiyonlardır.

3. kalite çeliklerse, diğerlerine göre yaşlanma direnci fazla ve taneleri ince yapılı çelik olarak sakinleştirilerek (%0,15 Al ve Si) üretilir. S ve P oranları %0,040 ile sınırlandırılmıştır [12].

Kısa gösterimi uygulama yerlerine ve mekanik veya fiziksel özelliklerine göre yapılan çelikler Çizelge 2.1.'de verilmiştir.

Çizelge 2.1 Uygulama yerlerine ve mekanik veya fiziksel özelliklerine göre yapı çeliklerinin kısa gösterilişi [13]

Başlıca semboller			Çelik için ilave semboller		Çelik mamüllerin ilave semboller		
Başlıca semboller			İlave semboller				
Harf	Mekanik özellikler	Çelik için				Çelik mamul için	
		Grup 1 ^b		Grup 2 ^{c,d}			
G = çelik döküm (gerektiğinde)	nnn = En küçük kalınlık aralığı için MPa ^e cinsinden en düşük akma dayanımı ^e	Vurma özelliği enerji jule		Deney sıcaklığı °C		C = Özel soğuk şekillendirme D = Sıcak daldırma kaplama E = Emayeleme F = Dövmeler H = İç boş profil L = Düşük sıcaklık M = Termomekanik haddelenmiş N = Normalize edilmiş veya normalize edilerek haddelenmiş P = Levha istifi Q = Su verilmiş temperlenmiş S = Gemi inşaatı T = Borular W = Havaya dirençli an = Belirtilen ilave elementlerin kimyasal sembolü, örneğin Cu, (element muhtevasının belirtilen aralığının ortalamasının on katını gösteren - %0,1'e yuvarlatılmış tek haneli olarak)	
		27 J	40J	60J			
		JR	KR	LR	20		
		J0	K0	L0	0		
		J2	K2	L2	-20		
		J3	K3	L3	-30		
		J4	K4	L4	-40		
		J5	K5	L5	-50		
		J6	K6	L6	-60		
S = Yapı çeliği		A = Çökeltme sertleşmesi M = Termomekanik olarak haddelenmiş N = Normalize edilmiş veya normalize edilerek haddelenmiş Q = Su verilmiş ve temperlenmiş G = Diğer özellikler (gerektiğinde arkasından 1 veya 2 rakam gelen)					

a n = Numerik karakterler, a = alfa karakterleri, an = alfanumerik karakterler.

b Grup 1'deki A, M, N ve Q sembollerini ince taneli çeliklere atılır.

c Kimyasal semboller dışındaki Grup 2 sembollerinin ilgili mamul standardına uygun olarak kaliteler arasındaki farklılığı ayırmak için son ek olarak bir veya iki rakam ilave edilir.

d Bu gruptan iki sembol gerektiğinde kimyasal sembol sonucu olmalıdır.

e "Akma dayanımı" terimi, ilgili mamul standardında belirtilen özelliğe bağlı olarak, en üst veya en alt akma dayanımı (R_{yk}) veya (R_{yk}) veya kalıcı gerilme R_p veya kalıcı gerilme toplam uzama (R_k)'ya tekabül eder.

f 1 MPa = 1 N/mm².

2.2.2 Sementasyon Çelikleri

Sementasyon çelikleri, yumuşak ve tok yapıda çekirdek özellikleri, sert ve aşınmaya dayanıklı yüzey özellikleri istenen, değişmeye açık ve darbeli yaklaşımlara karşı darbe dayanımı yüksek malzemelerin üretiminde kullanılır. Bu çelik türünde çoğunlukla %0,10-0,20 karbon bulunmaktadır. Bu oran %0,25'i bulabilir.

2.2.3 Islah Çelikleri

Islah çeliklerinde süneklilik ve yüksek dayanım istenir. Bu çeliklerde sertleşebilirlik niteliği üst düzeydir. Uygun oranda sertlik eldesi için, ıslah çeliklerinin içeriği diğer çelik türlerine nazaran daha fazla karbonu bünyesinde barındırır. Parçadaki kesit kalın ise sertlik derinliği çok önemli bir hale gelir. Bundan dolayı bu parçaların imalatı alaşımlı ıslah çelikleri seçilene uygulanır. Kimyasal bileşimlerine göre 4 ana grupta toplanmaktadırlar.

- Alaşımsız ıslah çelikleri
- Mangan alaşımlı ıslah çelikleri
- Krom alaşımlı ıslah çelikleri
- Krom-molibden alaşımlı ıslah çelikleri [12]

2.2.4 Yay Çelikleri

Yay kullanılacak yerlerdeki çelik malzeme seçiminde, beklenti yüksek esneyebilirlik, kırılmalara karşı sınırsız emniyet, yeterli yük dayanımı şeklinde belirtilir. Yük dayanımı arttırıldıktan sonra malzemenin sünekliliğini kaybetmemesi önemlidir. Kullanım alanı olarak raylı taşıtlar ve genel makineler örnek verilebilir. Yay çeliği çeşitleri yaprak şeklinde yay, büyük çekme ve basma yayları, plaka yayları ve tabak yaylar olarak gruplanabilir.

2.2.5 Otomat Çelikleri

İmalat sürecinde, yüksek kesim hızı ve bununla birlikte takım ömrü, iyi yüzey kalitesi, daha düşük kesme kuvvetleri, kısa işlem zamanı kullanarak elde edilecek enerji tasarrufu gibi

ölçütler, diğer faktörlerle beraber malzemenin kalitesiyle direkt ilişkilidir. Bu kalitenin sağlanması için otomat çelik geliştirilmiştir. %0,07 C, %0,15-%0,40 arası S, %0,07-0,10 arası oranlarda ise P elementi içerir [12].

2.2.6 Paslanmaz Çelikler

Alaşımsız ve az alaşımlı çelikler ortam faktörüyle çabuk paslanır ya da kimyasal aşınmaya uğrar. Paslanmaz ve diğer türde tahribatlardan korunmak için boya kullanılması beklenen koruma düzeyini sağlamayabilir. Buna benzer olaylar için paslanmaz çeliklerin doğru seçilmesi elzemdir. Paslanmaz çeliklerdeki sınıflandırılması aşağıda sıralandığı gibidir:

- Krom çelikler,
- Krom-nikel çelikler
- Krom-mangan çelikler
- Çok fazlı çelikler

2.2.7 İndüksiyon İle Yüzeyi Sertleştirilebilen Çelikler

İndüksiyon ile sertleştirme yöntemi, sementasyon ile sağlanamayan makul çekirdek hususları, sertlikte yüksek derinlik gibi hususların eldesi amacı ile kullanılır. Örnek olarak, bazı mil malzemelerin yüksek tork çalışması elzemdir bu sebepten bu tür malzemelere fazla sertlik verilemez, bu mil parçalarındaki aşınma direnci ihtiyacı duyulan bölümlerine indüksiyonla sertleştirme işlemi gerçekleştirilir. İndüksiyonla sertleştirilebilen ıslah çeliklerine göre %0,30-0,70 aralığında karbon elementi içeren indüksiyon ile sertleştirilebilen çeliklerin yapısal özellikler daha üstündür [12].

2.2.8 Takım Çelikleri

İmalat alanlarında kullanılan takımaların, işlem yapmakta olan malzemelerden daha sert, daha mukavemetli ve aşınmaya karşı yüksek dirence sahip olması gerekir. Bu gerekliliklerden dolayı, takım çeliklerinin birkaç farklılık dışında ve kullanım şartlarına uygun olarak, olabildiğince yüksek sertlikte ve yüksek mukavemette, fakat yeterli süneklikte olması gerekir. Alışılmış olarak, çelikler aşağıdaki tarzda sınıflandırılabilir:

- Alaşımsız takım çelikleri
- Alaşımlı soğuk iş çelikleri
- Sıcak iş çelikleri
- Yüksek hız çelikleri [14].

2.3 STRENX YÜKSEK DAYANIMLI YAPI ÇELİKLERİ

Strenx çeliği, dünyada yalnızca SSAB firması tarafından üretilmekte olan, ana özelliği esnemeye karşı harika bir mukavemet gücünün olmasıdır. Esneme faktörüne karşı mükemmel bir dayanma kapasitesi mevcuttur. Strenx çeliği daha önce Domex adı ile bilinmekteydi. Türkiye’ de bulunan kullanıcıları ise, esnemez çelik olarak tanır ve kullanım sağlar. Hardox çeliklerden bariz farkı esnemeye karşı mukavemet edebilme ve dayanma gücüdür. Dolayısı ile de kullanım alanı da Hardox çelikten çok daha farklıdır [15].

Hafiflik faktörü, çelik ürünlerdeki işleyiş performansının geliştirilmesi konusunda yapılan sürekli iyileştirme çalışmalarında en önemli faktördür. Hafifliği daha yüksek çeliklerin imalatı için, yapısı daha ince ölçülerde olan güçlü özellikler gerektirir. Bu bağlamdaki çözüm Strenx yüksek dayanımlı yapısal çelik üretimiyle sağlanmıştır. Çok geniş bir uygulama yelpazesinde, olduğundan daha hafif ve daha mukavemetli yapı çeliklerinin temelinde “ince düşün, daha güçlü ol” bakış açısı vardır. Üretim yöntemleriyle ilgili detaylı bilgileri marka saklı tutmaktadır. Minimum 600 MPa ve üzeri akma mukavemeti değerine sahip çeliklerin uygulama alanları kaldırma ataçmanları ve taşıma makineleridir.

Mevcutta orta mukavemetli çelikte iyi çalışan bir tasarımdan, Strenx çeliğin kullanıldığı tasarımlara geçiş yapılırsa, çok daha yüksek performanslara erişildiği görülecektir. 600-1300 MPa bölgesinden bir çelikte proje gerçekleştirmek, çelik tasarımlarında ortaya çıkan birçok olumsuz faktörü ortadan kaldıracaktır.

Strenx çelikler, yüzey özelliklerinden parça yapısına uzanan bir alanda güvenilirlik gösteren bir çeliktir. Strenx çelik kullanılırken ilk fark edilen özellik yüzey kalitesi olur. Düzlük ve kalınlık ölçülerine ait toleransları da aynı şekilde üstündür ve Strenx garantileri doğrultusunda onaylanmıştır. Strenx çeliğin çekme ve akma mukavemeti, darbe tokluğu ve büküm performansı gibi etkenleri de her teslimatta tutarlılığı ve güvenilirliği güvenceye almak için hassasiyet ile test edilir [4].

2.3.1 Strenx Özellikler

SSAB firması ürettiği Strenx çeliğin özelliklerini fazlasıyla detaylı olarak kendi dokümanlarında paylaşmaktadır. Özelliklerinin ilk sırasına yüksek kaliteyi yerleştiren SSAB, yeni tasarım ve proje çözümleri, yorulma koşulları, gerilme dağılımı ve diğer tüm tasarımlama kriterleri için oluşturulan özelliklerini bilgisayar yazılım/simülasyonlarının desteğiyle sanal olarak test etmektedir.

Bu çeliklerin kalınlık tolerans aralıkları Strenx üreticisinin kendi kalınlık garantisi baz alınarak belirlenmiştir. Bu ise, EN 10051'e göre daha dar kalınlık tolerans aralıkları içerir. Uzunluk ve genişlik toleransları SSAB standardına göredir, EN 10051'e göre daha dar kalınlık toleransları sunar [15].

Uzunluğa ait bu toleranslar, sadece boy uzunluğa göre ayrılan rulo ürünleri içerir. Şekil toleransları EN 10051'e göredir. Talep olduğu takdirde, SSAB standardına nazaran daha dar aralıkta toleranslar kabul edilebilir. Düzlük toleransları, Strenx düzlük garantilerinin A sınıfına göre kabul edilmektedir. Strenx çeliğinin temel özellikleri aşağıda sıralanmıştır:

- Esnemeye karşı bilinen en yüksek dayanıma sahiptir.
- Kullanım esnasında mükemmel işlev gösterir.
- Performans çeliği diye de bilinir.
- İnce özellikli bir yapısı mevcuttur.
- İnce özelliği dolayısıyla hafiftir.
- Strenx tutarlı bir yapıya sahiptir.
- Tutarlılık özelliği doğrultusunda kalite özelliği oluşur.
- Atölye çalışmalarında Strenx kusursuz işlenebilir.
- Atölye ortamında kaynatılması kolaydır.
- Kesme, bükme gibi işlemler istenildiği şekilde yapılabilir.
- Strenx çeliğinin darbe tokluğu testlerinde ortaya çıkardığı performans göz ardı edilemeyecek olan özelliklerinden biridir.

Üretici firma olan SSAB, kimyasal özelliklerin detaylarına özel bilgilerinin çoğunu gizli tutmaktadır. Strenx'in patent hakkı, tek üreticisi olan SSAB firmasıdır [15].

SSAB firması, güncel uygulama tasarımları, doğru seçilen malzeme, verimli maliyet hesabı (kullanım süresine göre), lojistik uygulamalarına kalıcı çözümleri ve imalat fikirleri vb. müşterideki ürün ve yöntem iyileştirme süreçlerinin her adımında olup, müşteri desteğini esirgemeyen bir firma vizyonuna sahiptir [4].

2.3.2 Strenx Çeliğın Kullanım Alanları

Strenx çeliğı, kullanım alanlarında belirtilen özelliklerinden de anlaşılacağı gibi çekme, itme, yük kaldırma, yer değıştirme, oynatma, sallandırma, taşıma gibi işlemlerin yapıldığı bütün alanlarda tercih sebebi olarak kullanılmaktadır.

- Başta hafiflik ve İnceliğı ve bununla beraber artı yüksek dayanma özellikleri Strenx çeliğinin kullanım alanını inanılmaz bir şekilde artırmaktadır.
- Araçların üstünde esnemeye dayanıklı yapılar oluşturulmak istendiğinde,
- Vinçlerdeki kaldırma gücünün artırılması tercih edilirse,
- İnşaat makinelerinin dayanım kapasitesi günlendirilmek istendiğinde,
- Gemicilik sanayisinde esnemeye dayanıklı kapasitede ve hafif özellikli malzeme gerektiğinde,
- Demir yolu çalışmalarında,
- Çiftçilikte kullanılmakta olan makinelerin kapasitesini arttırmada ve ömrünü uzatmada Strenx çelikler kullanılır [15].

Aşağıda Strenx çeliğinin potansiyel uygulama alanları detaylandırılmıştır:

- Konteyner, kapalı kasa dorse, ahşap kapaklı treyler
- Taşıyıcı treyler, tren kargo vagonları
- Yolcu trenleri, hafif raylı trenler, otobüsler ve hafif kamyonlar
- Teleskopik vinç kolları, makaslı kaldırıcılar, kamyon üstü vinçler
- Teleskopik taşıyıcılar, beton pompaları, mobil vinçler, kargo taşıyıcılar
- Ormancılık hasat makineleri
- Ormancılık taşıma araçları, tarımsal damperler ve römorklar
- Önden yükleyiciler, püskürtücü şasisi
- Kaldırma ayakları, pilonlar
- Deniz vinçleri, güvenlik botu vinçleri
- Vinçler ve güverte ekipmanı, rampalar
- Güverteler ve kargo ambar kapakları, dişliler [4].

2.3.3 Strenx Çeliğın Avantajları

- Strenx çelikler, atölyede kaynaklı imalat, bükme ve buna benzer işlerde avantajlar sağlar.
- Kullanıldığı alana göre ekonomik avantaj sağlar.
- Makine ömrünün uzamasını sağlar.
- Hafif olmasından dolayı yakıttan tasarruf sağlar.
- Az yakıt kullanımı daha az emisyonun doğada salınmasıdır, bu da doğal hayata katkıdır [15]. Bu çelik, SSAB üreticisi tarafından sağlanan bilgiler ve kaynaklarla harmanlandığında, ürünler harika performans seviyelerine ulaşır [4].



BÖLÜM 3

KAYNAKLI İMALAT YÖNTEMİ

3.1 KAYNAK NEDİR?

İki ya da birkaç malzeme çeşidine basınç ve/veya ısı uygulayarak aynı ya da farklı özellikler içermekte olan metalleri ek bir metal kullanarak uygulanan (kullanmayarak da olabilir), sökülmesi mümkün olmayan birleştirme ve dolgu işlemi olarak tanımlanır. Basınç uygulanmaksızın sadece ısı yardımıyla gerçekleştirilebilen bazı kaynak işlemleri de mevcuttur. Bazı işlemlerde kaynak, ısı ile basınç birlikte kullanılarak yapılır. Bazılarında ise, herhangi bir dış etken olarak ısı kullanmaksızın yalnızca basınç altında gerçekleştirilir. Kaynak prosesi, parça birleştirme şeklinde ya da ilave edilen kaynak teli ile beslenerek dolgulama yapılmasıyla gerçekleştirilir. Kaynakta birleştirme işlemi ilave kaynak telini uygulayarak ya da ilave kaynak telini uygulamayarak yapılır. Farklı kaynak yöntemleriyle özelliği benzer malzemeler (çelik-çelik) veya özellikleri farklı malzemeler (alüminyum-paslanmaz çelik) birleştirilebilir. İnsanlık, yaklaşık 3400-3500 yıl önce, iki metal malzemeyi soğuk sıcak ya da soğuk olarak çekiçleyerek kaynaklayıp birleştirme işlemini gerçekleştirmiştir ve bunu “Demirci Kaynağı” olarak adlandırmıştır. 19.yy.’ın ikinci diliminde kaynaklı imalatın sanayi uyarlamaları başlamıştır. Sanayide oksijeni yüksek miktarda elde edebilmek, hususi tamir işlemlerinde oksiasetilen kaynağının yayılmasına etken olmuştur. 18.yy.’ın sonlarına doğru Elektrik arkı, Volta adlı bilim insanınca keşif edilmiş ancak bu enerji ancak 19.yy.’ın son çeyreğinde kaynakta kullanılmaya başlanmıştır. Elektrik ark kaynak yönteminin popülerliği 1920-1940’lı yıllarda örtülü elektrotlardaki gelişme etkisiyle artmış ve neredeyse tüm metallerin kaynağı için bilinen yöntemlerin daha da iyileştirilmesine ve yeni yöntem arayışlarına sebep olmuştur. Kaynağı yapılacak olan metal yapıda malzemenin kaynak yapılacak bölgesinin, metaldeki erime sıcaklığına yaklaşık bir sıcaklık derecesine kadar ısıtılması, çelik yapı alanında yapılan çalışmalarda kullanılan bütün kaynak yöntemlerinde gerekir. Bu şekilde bir ısıtma işlemini

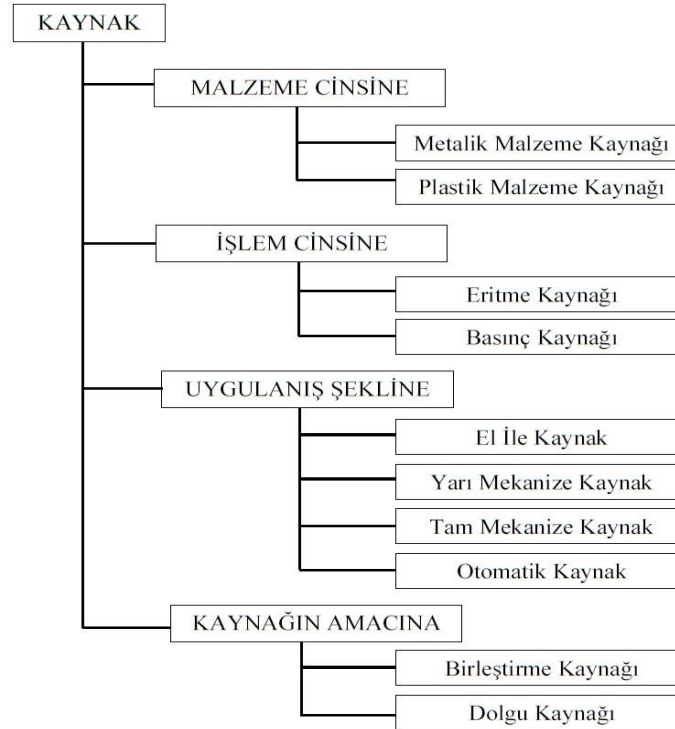
takip eden soğuma, metal içerisindeki iç yapıda değişikliğe sebep olduğu gibi, “cüruf, yüksek sıcaklık, kaynak metali ortam atmosferi ve esas metal” arasında bazı kimyasal reaksiyonların gerçekleşmesini de daha basit hale getirir.

Kaynaklanacak metal, gaz alevi veya elektrik arkının yüksek derecedeki sıcaklığına karşı erimeye başlar ve öncesinden hazırlanmış kaynak ağzının içerisine doğru dökülür. Gerçekleşen işlem esnasında, kaynak yapılan malzemeye ait kaynak dikişinin olduğu yere bitişik bölgelerde, metalin sahip olduğu erime sıcaklık derecesinden ortamın sıcaklığına kadar, farklı sıcaklıklarda ısınmış yüzeyler ve bölgeler meydana gelir.

Kaynak yapılan bölgede, iç yapı ve mekanik özellikler, ana metalden ve kaynak metalinden daha farklı olan kısımlar oluşturur bunun sebebi uygulanan ısı işlemin değişikliğidir [17].

3.2 KAYNAĞIN SINIFLANDIRILMASI VE KAYNAK YÖNTEMLERİ

Kaynak yöntemin sınıflandırılması temelde, kaynaklı imalatı gerçekleştirilecek malzemenin türüne göre, kaynağın yapılışındaki amaca göre, kaynağın uygulanma türüne göre, kaynak işleminin türüne göre yapılır.



Şekil 3.1 Kaynağın sınıflandırılması [18]

3.2.1 Kaynağın Uygulandığı Malzeme Cinsine Göre Ayarlanması

3.2.1.1 Metal Malzeme Kaynağı

Metal malzemeyi, basınç, ısı veya hepsini kullanıp, aynı tip ve erime sıcaklık aralığını taşıyan, veyahut benzer bir malzeme ekleyerek ya da eklemeyerek uygulanan sökülmesi mümkün olmayan bir birleştirme yöntemidir.

3.2.1.2 Plastik Malzeme Kaynağı

Isı, basınç altında, aynı tür plastik malzeme eklenerek ya da eklenmeyerek yapılan, aynı ya da farklı türden termoplastik iki malzemeyi (sertleşmeyen plastik) sökülmesi mümkün olmayan şekildeki birleştirme işlemidir.

3.2.2 Kaynağın Yapılış Amacına Göre Ayarlanması

3.2.2.1 Birleştirme Kaynağı

İki ya da ikiden çok malzemenin sökülemez bir parça durumuna getirilmesi için yapılan kaynaktır.

3.2.2.2 Dolgu Kaynağı

Bir işe ait parçanın hacim eksikliğinin doldurma ya da hacminin büyütülmesi, buna ek olarak aşındırıcı tesirlere ya da korozyon ihtimaline karşı korunması amacıyla parça üzerine belirli alan çerçevesinde malzeme kaynaklanmasıdır [18].

3.2.3 Kaynağın Uygulanış Şekline Göre Ayarlanması

3.2.3.1 El Kaynağı

Kaynak işlemi sadece el ile ilerletilen kaynak ekipmanı yardımıyla yapılır.

3.2.3.2 Yarı Mekanize Kaynak

Kaynak işleminde, kaynak ekipmanı el ile manuel olmak yerine, kısmen mekanikleştirilmiş bir araç ile sürülür.

3.2.3.3 Tam Mekanize Kaynak

Kaynak ekipmanı mekanikleştirilmiş bir makine ile sürülür, el ile işlem yoktur.

3.2.3.4 Yarı Mekanize Kaynak

Kaynak işlemi için de, iş parçası değiştirme işlemi için de yapılan tüm işlemler tam bir mekanik sisteme entegre edilmiştir [18].

3.2.4 Kaynağın İşlem Cinsine Göre Ayarlanması

3.2.4.1 Eritme Kaynağı

Eritme kaynağı adı verilen bu yöntemde, malzeme sadece sıcaklık etkisi ile sınırlandırılmış bir kısım olarak eritilip bir başka ek metal ekleyerek veya eklemeyerek birleştirilir [19]. Eritme kaynağı aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir:

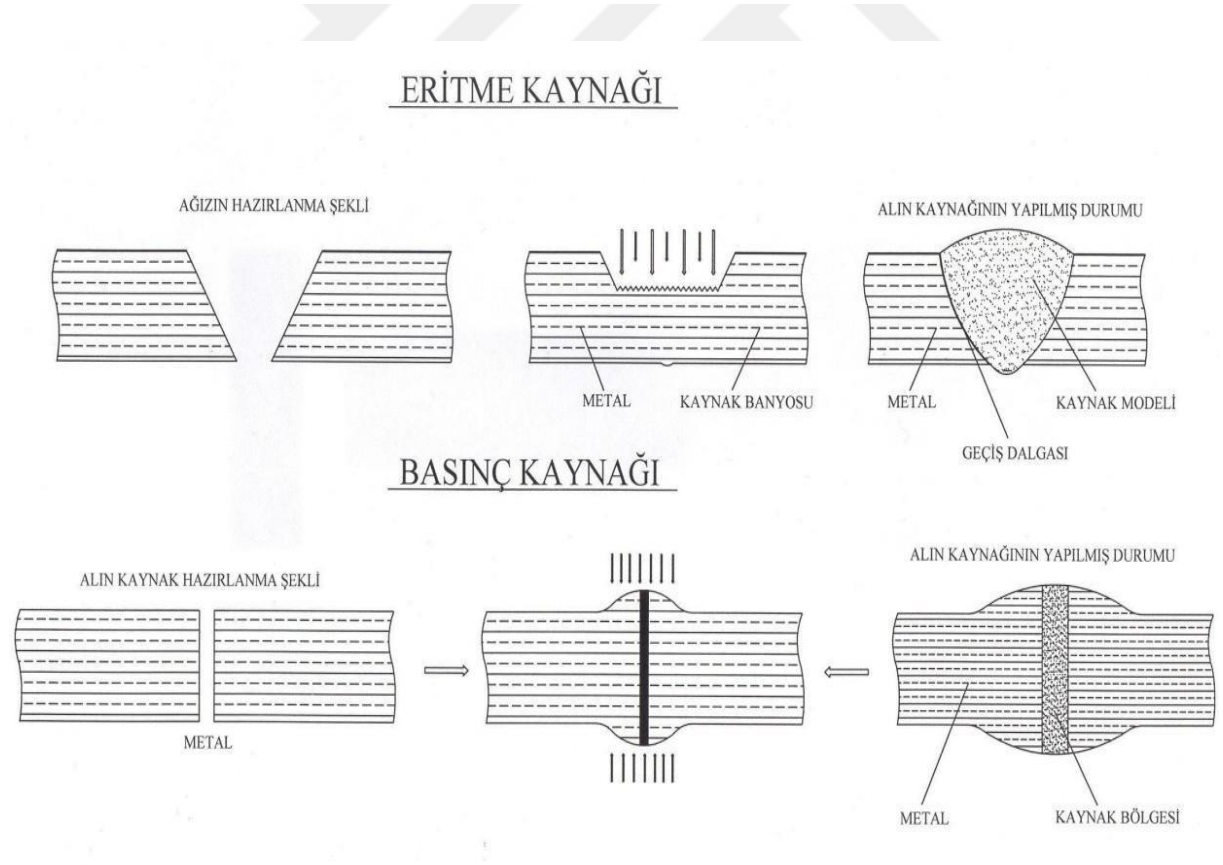
- Döküm Eritme Kaynağı
- Elektrik Direnç Eritme Kaynağı
- Gaz Eritme Kaynağı
- Elektrik ark kaynakları
- Karbon Arkı İle Kaynak
- Metal Arkı İle Kaynak
- Koruyucu Gaz Altında Kaynak (Gaz altı Kaynağı) (TIG, MIG, MAG)
- Metal Koruyucu Altında (Yayılmış Elektrod İle) Kaynak
- Toz Altı Kaynağı
- Elektron Bombardımanı İle Kaynak
- Lazer Işını İle Kaynak [20].

3.2.4.2 Basınç Kaynağı

Bu yöntemde malzemeye ek metal eklenmeden basınç tesirinde bölgesel kısımlardan ısıtılıp birleştirme yapılır. Bu yöntem literatürde basınç kaynağı olarak geçer [19].

Basınç kaynağı aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

- Soğuk Basınç Kaynağı
- Ultrasonik Kaynak
- Sürtünme Kaynağı
- Ocak Kaynağı
- Döküm Basınç Kaynağı
- Gaz Basınç Kaynağı
- Elektrik Direnç Kaynağı
- Elektrik Ark Basınç Kaynağı
- Difüzyon Kaynağı [20]



Şekil 3.2 Eritme ve basınç kaynağının şematik gösterimi [21]

“TS EN ISO 4063 Kaynak Ve Kaynakla İlgili İşlemler-İşlemlerin Adlandırılması Ve Referans Numaralar” standardına göre kaynak yöntemlerinin numaralandırması çizelge 3.1.’de verilmiştir.

Çizelge 3.1 TS EN ISO 4063 standardına göre kaynak yöntemlerinin numaralandırılması [22]

ISO 4063 NO	KAYNAK YÖNTEMİ
111	Elle metal ark kaynağı (örtülü elektrotla metal ark kaynağı)
114	Kendinden korumalı boru şeklinde özlü elektrot ark kaynağı
121	Toz Altı ark kaynağı
131	Metal asal gaz kaynağı, MIG kaynağı
135	Metal aktif gaz kaynağı, MAG kaynağı
136	Aktif gaz korumalı boru şeklinde özlü elektrot ark kaynağı
137	Asal gaz korumalı boru şeklinde özlü elektrot ark kaynağı
141	Tungsten Asal Gaz ark kaynağı, TIG kaynağı
15	Plâzma ark kaynağı
311	Oksi-asetilen kaynağı

3.3 GAZ ALTI KAYNAK YÖNTEMİ

Gaz altı kaynak yönteminde, kaynağın gerçekleşebilmesi için ihtiyaç duyulan ısı, sürekli beslenen ve diğer bir taraftan da ergimekte olan bir tel elektrod yardımıyla kaynak banyosunda meydana gelen ark desteği ve bununla beraber elektrotun içinden ilerleyen kaynak akımının o elektrod içinde oluşturduğu direnç ısıtma desteğiyle oluşur. Elektrot çıplak bir teldir. Bu tel, elektrod besleme mekanizmasıyla kaynaklı bölgeye sabitlenmiş hızda yürütülür. Atmosferdeki kirlenme ihtimaline karşı dış ortamdan sağlanan ve kaynak bölgesine gaz memesinden uzanan doğru gaz veya gaz karışımı sayesinde çıplak elektrot, kaynak banyosu, kaynak esnasında meydana gelen ark ve kaynak ana metalinin kaynak bölgesine yakın bölgeleri izole edilir yani korunur. Eriyen elektrod ile gaz altı kaynak yapma düşüncesi 1920’li yıllarda meydana çıkmış fakat ticari olarak anca 1948 yılları sonrası devreye alınmıştır. Bu sistem daha önceden soy gazların korumasının altında akım yoğunluğu yüksek, ince elektrotlarla uygulanan bir kaynaklı

imalat yöntemi şeklinde bilinmekte ve genelde alüminyum kaynaklarında uygulanmıştır. Eriyen metal yapılı elektrod ve soy gaz dahil edilmesi sebebiyle, bu metotta MIG (Metal Inert Gas) kaynağı ismi kullanılmıştır. MIG yönteminin ardından akım yoğunlukları düşük ve darbeli bir akım ile, daha farklı metallere uygulanması ve aktif gazların (CO₂) koruyucu gaz olması, bu gaz karışımlarının uygulanması gibi ilerlemeler olmuştur [23].

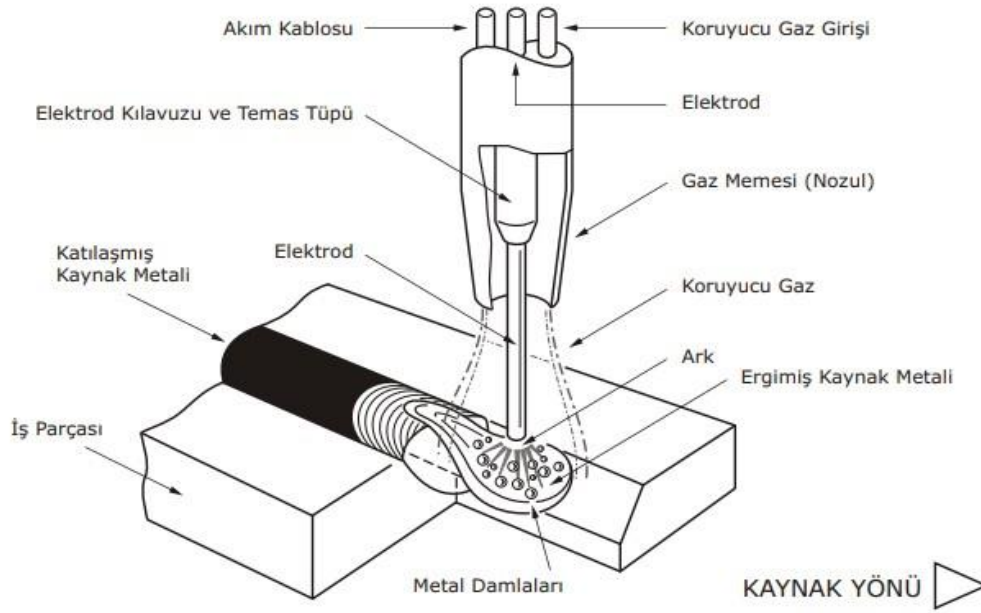
Aktif olan koruyucu gaz uygulanan metot tüm bu gelişmeler sonucu MAG (Metal Active Gas) kaynağı adını almıştır. Bu isim ayrıştırması yalnızca yöntem ismini kullanmak isteyenler için sorun teşkil etmiş ve bu sebepten farklı ülkeler metodu belirtmek için farklı isimlendirmeler kullanmıştır. Bu yöntem, Amerika'da "GMAW-Gaz Metal Ark Kaynağı" olarak, İngiltere ile Almanya'da "MIG/MAG Kaynağı" olarak bilinir. "MIG/MAG Kaynağı" ya da "Ergiyen Elektrotla Gaz Altı" nitelendirmeleri ise ülkemizde kullanılmaktadır. Bu metotla ilgili bir diğer ilerleme de elektrodta olmuştur. İçleri metal tozları ile dolu tüp türündeki özlü elektrotlar dolu tellerin yerine geçmiştir. Bu yöntemde, kaynak makineleri arkın boyunu kontrol altına alır. Gaz memesinin kaynak banyosu üstünde belli yükseklikte tutarak, uygun iletilmesi kaynakçıdan beklenendir. Metot "Yarı Otomatik Kaynak Yöntemi" olarak nitelendirilir çünkü arkın boyu kaynak makinelerince yönetilmektedir. Otomatik kaynak metodu adı verilen yöntemde bu düzeneğe ek olarak gaz memesi malzeme üstünde otomatik yürür. Yüksek mukavemetli titanyum, alaşımı düşük çelikler, paslanmayan çelikler, alüminyum, bakır, nikel alaşımları, alaşımsız çelikler vb. ticari açıdan önemlidir. Koruyucu gazın türü, elektrot çeşidi, kaynağa ait diğer değişkenler uygun seçilirse tüm bu malzemeler bu yöntemle kaynaklanabilirler. Bu metodun yaygın bir şekilde kullanılmasının sebebi, diğer yöntemlere göre sunduğu birçok üstünlüğünün bulunmasıdır. Bu üstünlükler aşağıda listelenmiştir:

- Elektrodu durmadan beslemesi ve metal yığma hızının yüksekliği ve ek olarak da hızı elektrik ark kaynağına kıyasla yüksektir.
- Uzunluğu sınırlı kullanılan elektrod problemini çözmüştür.
- Yoğun cüruf atığının olmaması sebebi ile pasolar arasında temizlik amaçlı geçirilen vakit azdır.
- Ticari olarak kullanılan metallerde ve bu metallerin alaşımlarında kaynak yapılırken kullanılabilen ergiyen elektrot mevcuttur.
- Her pozisyonda kaynak yapılabilmesi mümkündür. Toz altı kaynağında bu yoktur.
- Elektrik ark kaynağına göre, metal yığma hızı yüksektir.

- Elektrik ark kaynağına nispeten, sprej şeklinde iletim uygulandığında nüfuziyet daha derin olur. Bu sayede iç köşe kaynağı yapıldığında, ufak kaynak dikişleri çekerek aynı mukavemet değerleri elde edilebilir. Gaz altı kaynağının tüm bu üstün yönleri, otomatik kaynak sistemlerine ve yüksek üretim hızlarıyla uygulanabilirliğini sağlamıştır [23].

Gaz altı kaynağının da sınırlamaları mevcuttur. Bunlar aşağıda sıralanmıştır:

- Kaynaktaki ark, koruyucu gazları ait olduğu yerden uzaklaştıran hava sirkülasyonlarından izole edilmelidir. Bu sebepten yöntemin açık alanda uygulanması, kaynaktaki torç elektrik ark kaynağının pensesinden büyüktür ve kaynaklanacak metalin koruyucu gaz yardımıyla korunması hedefiyle torçlu bağlantıya 10 ila 20 mm aralığında farklılaşan yakınlıkta bir mesafeden tutulur. Bu yüzden erişmesi zor bölgelerde uygulanması mümkün olmayabilir.
- Çalışma esnasında yüksek ark yoğunluğu ve ısı yayılması sebebi ile istenmeyebilir.
- Elektrik ark kaynağına nispeten daha pahalı, karmaşık, daha pahalı ve taşınması daha zor olan bir donanımı mevcuttur [23].

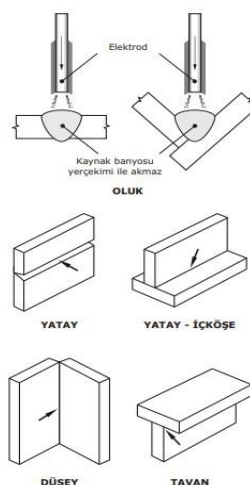


Şekil 3.3 Gaz altı kaynağının çalışma prensibi [23]

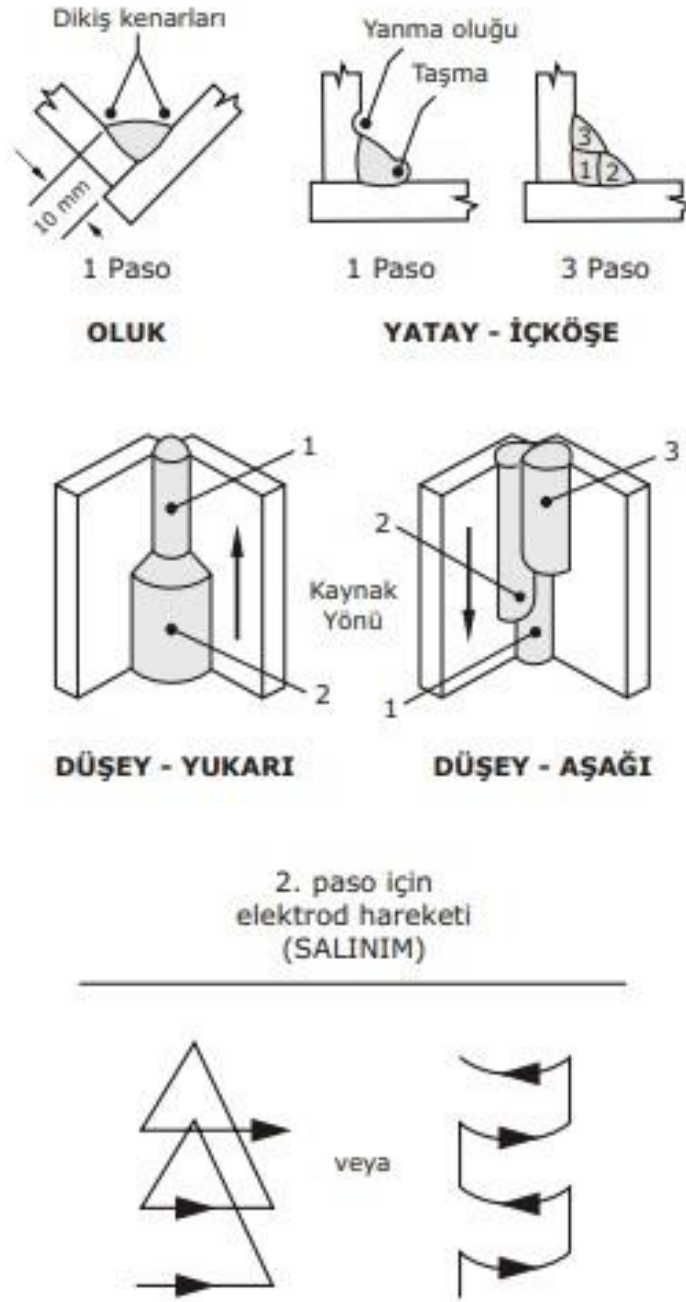
İlk ayarların kaynakçı tarafından uygulanmasının ardından, arktaki elektriksel karakteristiğinin kendiliğinden ayarını otomatik makineler sağlar. Bu sebep ile yarı otomatik kaynak yönteminde el ile gerçekleştirilen işlemler; kaynak doğrultusu, torç pozisyonu ve kaynak hızından ibarettir.

1 - İş parçası kablo
2 - Torça soğutma suyu girişi
3 - Torçtan su gelişi
4 - Torç tetiği devresi
5 - Torça koruyucu gaz girişi
6 - Kablo grubu
7 - Silindirden gelen koruyucu gaz
8 - Kaynak kontaktörünün kontrolü
9 - Güç kablo
10 - Primer güç girişi

Şekil 1, TIG kaynağına ait elektrik ve gaz bağlantı şemasını göstermektedir. Şema, İş Parçası, Su Sirkülatörü, Kaynak Torcu, Güç Ünitesi, Elektrod Besleme Ünitesi, Elektrod Makarası, Koruyucu Gaz Regülatörü ve Koruyucu Gaz Tüpü gibi bileşenleri göstermektedir. Numaralı bağlantı noktaları (1-10) aşağıdaki listede tanımlanmıştır:

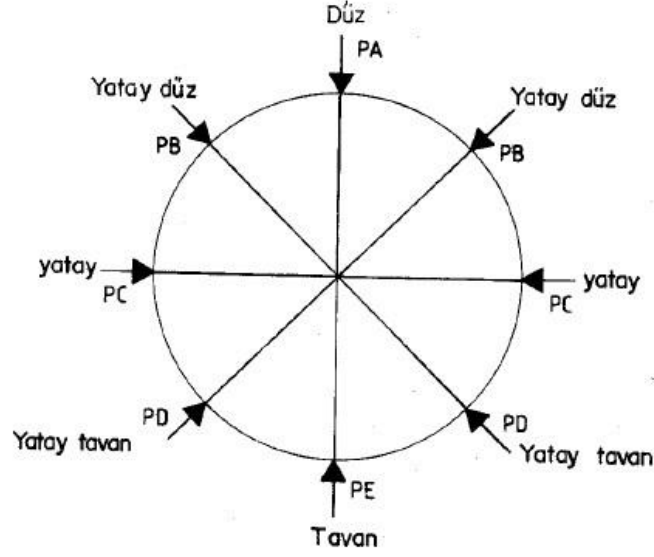


Üretim alanında genellikle parçalar oluk pozisyonuna uygun değildir. Bu sebeple kaynakların birçoğu oluk durumuna ilave olarak, farklı üç ana pozisyonda yapılır. Bunlar; yatay, düşey ve tavan pozisyonları olarak adlandırılır. Yatay türdeki pozisyonların alt kırılımına "yatay iç köşe" denir. Oluk pozisyonu haricindeki pozisyonlarda erimiş kaynak banyosu yer çekimiyle bağlantıdan akar ve bu yönelimi kaldırmak için doğru kaynak tekniği seçilmelidir. Bunu sağlamadaki en önemli etki elektrot örtüsündeki katkı elementleridir [24].



Şekil 3.6 10 mm uzunluğuna sahip çeşitli pozisyonlardaki iç köşe kaynağının yapılması [24]

Eğim ve dönme dolayısıyla tariflenen esas konumlar, Çizelge 3.2 de ve Şekil 3.7 de anlatıldığı şekilde olmalıdır. Açıklık amacıyla esas çalışma konumları için kullanılan semboller, çalışma yönü dışı olmak üzere koordinat merkezinden itibaren verilir [25].



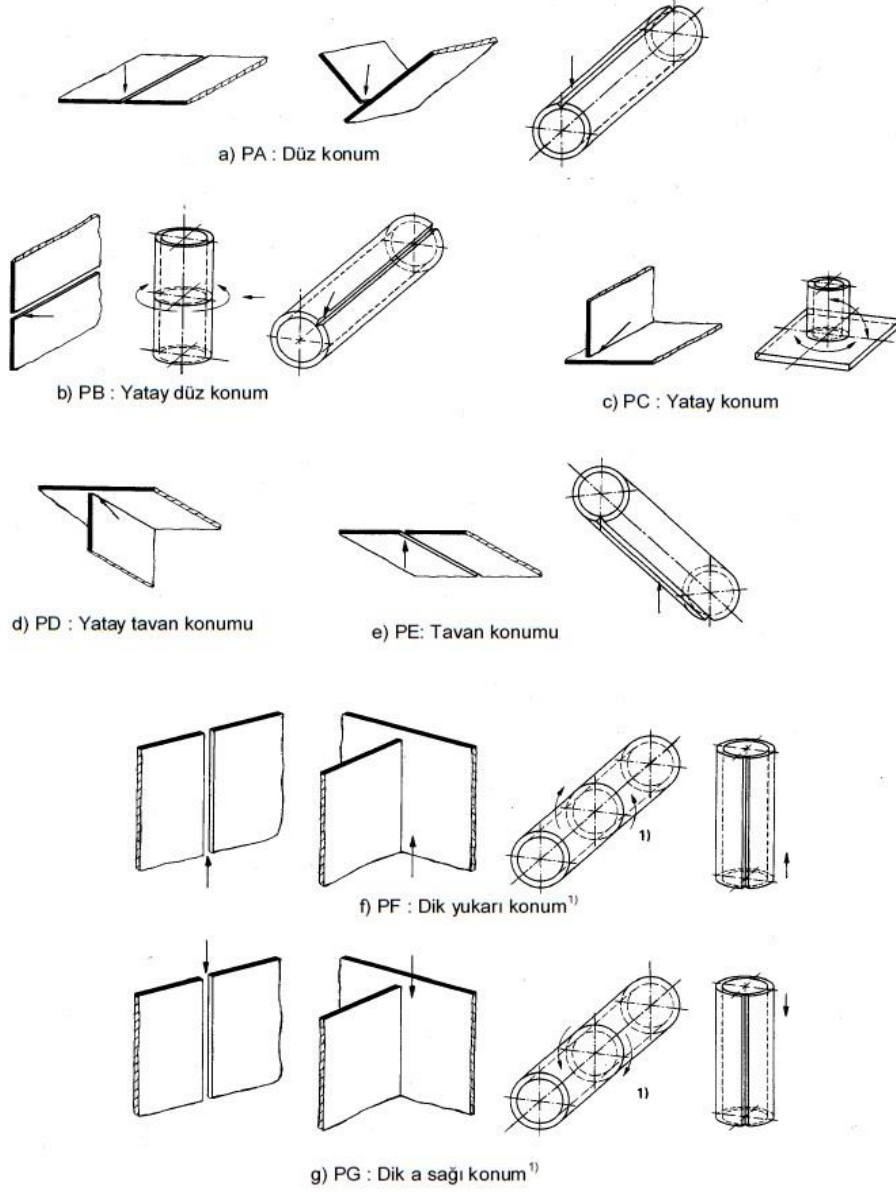
Şekil 3.7 Esas konumlar [25]

Esas konumlar için terimler ve semboller çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2 Esas konumlar için terimler ve semboller [25]

Terimler	Açıklama	Sembol	Eğim S	Dönme R
Düz konum	Yatay çalışma, kaynak eksenini düşey, üst paso üstte.	PA	0° 180°	90° 90°
Yatay düz konum	Yatay çalışma, üst paso üstte doğru.	PB	0° 0° 180° 180°	45° 135° 0° 135°
Yatay konum	Yatay çalışma, kaynak eksenini yatay	PC	0° 0° 180° 180°	0° 180° 0° 180°
Yatay tavan konumu	Yatay çalışma, tavan, üst paso alta doğru	PD	0° 0° 180° 180°	225° 315° 225° 315°
Tavan konumu	Yatay çalışma, tavan, kaynak eksenini düşey, üst paso altta .	PE	0° 180°	270° 270°
Dik yukarı konum	Yukarı doğru çalışma	PF	90°	-
Dik aşağı konum	Aşağı doğru çalışma	PG	270°	-

Düz için F gibi, mevcut kısaltmalarla karışıklıktan kaçınmak için kural olarak P harfi (konum için) esas konum gösterme sembolünün önüne yerleştirilmiştir. Esas konumlar için toleranslar, bunların kullanılan farklı kaynak prosedürlerine bağlı olmasından dolayı standartlarda belirtilmemiştir [25]. Alın ve iç köşe kaynakları için esas konum örnekleri Şekil 3.8’de verilmiştir.



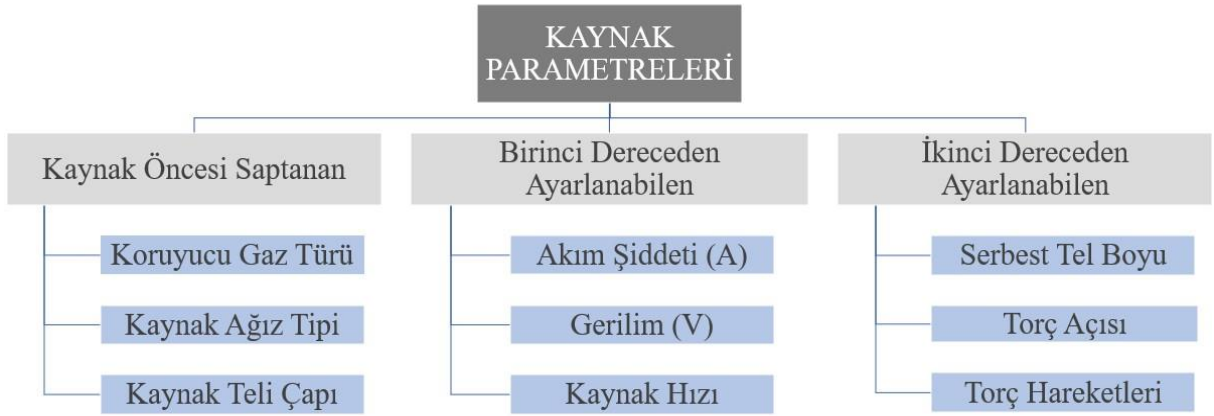
Şekil 3.8 Alın ve iç köşe kaynakları için esas konum örnekleri

Özellikle kaynakçılar için yapılan sınavlar gibi özel durumlar için Şekil 3.8. asıl konum olarak kabul görür [25].

3.5 KAYNAK PARAMETRELERİ

Kaynak parametrelerindeki doğru tercihler hatasız bir kaynak dikişi için çok önemlidir. Kaynak parametreleri, kaynak ağzı geometrisi, kaynatılacak metalin cinsi, kalınlığı, kaynak hızı gibi birçok etken dikkate alınarak belirlenir. Kaynaklı imalatları birleştirmelerde gerilim, akım şiddeti, tel besleme hızı, koruyucu gaz ve kaynak hızı gibi işlem parametreleri, kaynaklı birleşmenin mekanik özelliklerini ve iç yapısını belirler. Parametrelerin seçilmesi noktasında faydalanılabilecek birçok kaynak mevcuttur, hepsinin başında da uluslararası standartlar referans olarak kullanılabilir [26].

Kaynak yapılmadan belirlenen, birinci derece seviyede ayarlanan ve ikinci derece seviyesinde ayarlanan parametreler olarak kaynağın parametreleri üç sınıftır. Şekil 3.9’da parametrelerin gruplandırılmasının genel şeması gösterilmiştir.



Şekil 3.9 Kaynak parametreleri şematik gösterimi [27]

Kaynakta önce belirlenen ve ardından değiştirilmesi mümkün olmayan parametreler, kaynağı yapılacak malzemenin türü ve kalınlığı, elektrotun bağlandığı kutup, kaynaktan beklenen dayanım ve kaynak pozisyonuna göre tespit edilen tel cinsi, tel çapı ve koruyucu gazın türü gibi parametrelerden oluşmaktadır.

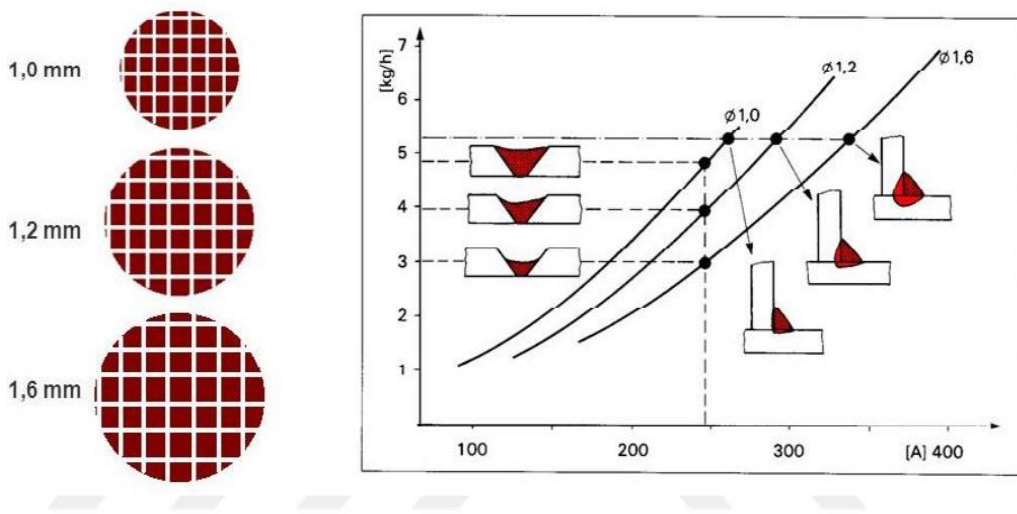
Birinci derecede ayarlanabilir parametrelerden kaynak akım şiddeti, ark gerilimi ve kaynağın hızı, MIG-MAG kaynağında kaynak dikişinin biçim, boyutlarını ve arkın stabilitesini etkiler. İkinci seviyede ayarlanabilen parametreler, birinci seviyede ayarlanabilen parametrelerden bir şekilde etkilenmektedir. Kaynağın dikiş şeklini tespit eden parametrelerden oluşmaktadır. Torçların açısı ve serbest tellerin uzunluğu MIG-MAG kaynak yönteminde bu gruplamalara örnektir [26].

3.5.1 Kaynak İşlemi Sırasında Değiştirilemeyen Parametreler

3.5.1.1 Kaynak Teli

AWS (American Welding Society) 5.28 Gaz Korumalı Ark Kaynağı için Düşük Alaşımlı Çelik Elektrotlar ve Çubuklar standardı ve ISO karşılığı TS EN ISO 16834 Kaynak sarf malzemeleri- Yüksek mukavemetli çeliklerin ark kaynağı için tel elektrodlar, teller, çubuklar ve yığılan metaller standardı en uygun kaynak sarf malzemesini bulmamızı sağlar.

Hangi kaynak elektrot çapının kullanılacağı çeşitli parametrelere bağlıdır. Ana metale ait kalınlık, nüfuziyetteki seviye, erimedeki güç, istenen kaynak dikişine ait profil, kaynaktaki pozisyon ve elektrot maliyeti bunlardandır. MIG-MAG kaynak yöntemi uygulanırken, kaynak teli hem arkı oluşturur hem de ilave metal görevi görür. Çeşidi ne olursa olsun, kaynak tellerinde çapa bağlı olarak değişen akım şiddeti aralık skalası mevcuttur. Çapı büyük elektrotlar, daha küçük çaptaki elektrotlara nazaran yüksekliği fazla akım şiddetiyle kullanılabildiklerinden, daha fazla ergime potansiyeli gösterirler. Bu da demektir ki, derinliği yüksek nüfuziyetli kaynak dikişleri meydana getirirler. Akım yoğunluğunun bir fonksiyonuna ergime gücü denir. Artan akım şiddeti, yüksek erime gücü sağlar. Kaynak teli çapı, kaynak akım şiddeti ve ergime gücü parametrelerinin ilişkisi şekil 3.10.'da resmedilmiştir. Dikiş nüfuziyeti, akım şiddetiyle alakalıdır. Şiddetleri aynı olan akımlı kaynaklarda, küçük çaplı elektrot etkisi derin nüfuz eden kaynak dikişi oluşturur. Büyük çaplı elektrot kullanımındaysa, kaynak dikişi küçük çaplı elektroda göre daha geniş olacaktır.



Şekil. 3.10 Kaynak teli çapı ile akım şiddeti arasındaki ilişki [26]

Gaz altı kaynak metodundaki elektrotların çapları Ø0.6; Ø0.8; Ø1.0; Ø1.2, Ø1.6 mm'dir. Dışı bakır kaplanarak Şekil 3.11'deki şekilde bobin olarak makaraya sarılır. Bobin makineye takılır, tel sürme şeklinde kullanılır.

Masif olan elektrotların haricinde, özlü elektrot olarak nitelendirilen elektrotlar, kaynak yapısının özelliklerini iyileştirmek ve üst seviyeye taşımak için geliştirilmiştir. Özsüz telden imal edilen elektrotlar kimyasal yapılarına göre, SG1, SG2, SG3 olarak sınıflandırılır.

Şekil 3.11'de gaz altı kaynak teli örneği ve Çizelge 3.3'de az alaşımlı ve alaşımsız çelik kaynaklarında kullanılan elektrotların kimyasal bileşimleri gösterilmiştir (TS EN ISO 14341/D1, 2017) [26].



Şekil 3.11 Gaz altı kaynak teli.

Çizelge 3.3 Özsüz Gaz altı kaynak tellerinin kimyasal bileşimleri (TS EN ISO 14341/D1, 2017) [26]

Simge	Kod	Kimyasal Bileşim						Standartlar İçinde Safsızlık
		C	Si	Mn	P	S	Cu	
SG 1	1.5112	0,07-0,12	0,5-0,7	1,0-1,3	0,002 5	0,002 5	0,3	Cr 0,15 V 0,05 Al 0,02 Mo 0,15
SG 2	1.5125	0,07-0,14	0,7-1,0	1,3-1,6	0,002 5	0,002 5	0,3	
SG 3	1.5130	0,07-0,14	0,8-1,2	1,6-1,9	0,002 5	0,030	0,3	

Bir elektrot tercih edilirken, kaynak işleminden sonra oluşan kaynağın dolgu metalinin bileşimi mekanik değerleri karşılamalıdır. Tel tercih edilirken ana metalin kimyasal bileşimi, ana metalin kalınlığı, koruyucu gazın türü, çalışılan ortam ve ana metalin mekanik özellikleri dikkat edilmesi gereken konulardır [22].

Strenx çeliklerde kaynaklı imalat uygulamaları alaşımsız, düşük alaşımlı ve paslanmaz çelik malzemeleri gruplarına yapılır. Alaşımsız ve düşük alaşımlı kaynak sarf malzemelerinin dayanımı çizelge 3.4'e göre seçilmelidir. Düşük dayanımlı sarf malzemelerinin kullanılması birçok avantaj sunabilir. Örneğin;

- Kaynak metalinde daha yüksek tokluk.
- Hidrojen çatlamasına karşı daha yüksek direnç.
- Bağlantıda daha düşük kalıntı gerilimleri.

Dayanım direnci farklı sarf malzemeler ile kaynak yapmak Strenx çeliklerde ön ısıtma yapılmasına ihtiyaç duyulan çok pasolu düzenekler için avantajdır. Punta atılarak yapılan kaynak ve ilk paso dayanımı düşük olan sarf malzemeler ile kaynaklanır. Ardından pasoların geri kalanı için yüksek dayanımlı sarf malzemeleri kullanılır. Bu yöntem sayesinde toklukta yükseklik ve hidrojen çatlağı oluşumuna karşı direnç elde edilir [28].

Alaşımsız ve düşük alaşımlı kaynak sarf malzemelerinde hidrojen içeriği 100 g kaynak metali başına 5 ml hidrojeninden düşük veya buna eşit olmalıdır. MAG ve TIG kaynak yöntemlerinde kullanılan teller, kaynak malzemesinde düşük hidrojen oranına sebep olabilir.

Çizelge 3.4 Kaynak sarf malzemeleri, EN sınıfı [28]

Recommended strength of consumables for highly stressed joints	R _{p0.2} [MPa]	MMA		SAW (solid wire/- flux combinations)		MAG (solid wire)		MAG (all types of tubular cored wires)		TIG	
		EN ISO 18275 (-A)	E 89X	EN ISO 26304 (-A)	S 89X	EN ISO 16834 (-A)	G 89X	EN ISO 18276 (-A)	T 89X	EN ISO 16834 (-A)	W 89X
Recommended strength of consumables for other joints	900	EN ISO 18275 (-A)	E 79X	EN ISO 26304 (-A)	S 79X	EN ISO 16834 (-A)	G 79X	EN ISO 18276 (-A)	T 79X	EN ISO 16834 (-A)	W 79X
	800	EN ISO 18275 (-A)	E 69X	EN ISO 26304 (-A)	S 69X	EN ISO 16834 (-A)	G 69X	EN ISO 18276 (-A)	T 69X	EN ISO 16834 (-A)	W 69X
	700	EN ISO 18275 (-A)	E 62X	EN ISO 26304 (-A)	S 62X	EN ISO 16834 (-A)	G 62X	EN ISO 18276 (-A)	T 62X	EN ISO 16834 (-A)	W 62X
	600	EN ISO 18275 (-A)	E 55X	EN ISO 26304 (-A)	S 55X	EN ISO 16834 (-A)	G 55X	EN ISO 18276 (-A)	T 55X	EN ISO 16834 (-A)	W 55X
	500	EN ISO 2560	E 50X	EN ISO 14171 (-A)	S 50X	EN ISO 14341 (-A)	G 50X	EN ISO 17632 (-A)	T 50X	EN ISO 636 (-A)	W 50X
	400	EN ISO 2560	E 46X	EN ISO 14171 (-A)	S 46X	EN ISO 14341 (-A)	G 46X	EN ISO 17632 (-A)	T 46X	EN ISO 636 (-A)	W 46X
		EN ISO 2560	E 42X	EN ISO 14171 (-A)	S 42X	EN ISO 14341 (-A)	G 42X	EN ISO 17632 (-A)	T 42X	EN ISO 636 (-A)	W 42X

* Including MC, PLUS, CR grades

3.5.1.2 Koruyucu Gaz Türü

Gaz altı kaynağında kullanılan gazların kaynak dikiş kalitesine etkisi oldukça fazladır. Her gazın türüne göre meydana getirdiği erime gücü, dikiş şekli ve nüfuziyeti birbirlerinden farklı sonuçlara sebebiyet verir. MIG kaynağında soygaz kullanılır (helyum, argon, veya karışım gazları). MAG kaynağında ise aktif gaz (CO₂ veya karışım gazları) kullanılır. Koruyucu gaz çeşidinin kaynak esnasındaki sıçrayış oranına, hızına, kaynaklanacak malzemenin arktaki aktarma türüne, ortaya çıkan yapının mekanik özelliklerine etkileri mevcuttur. Koruyucu gaza ait kimyasal bileşim, akımı yürütmekte olan ark düzeneğindeki kesit alanını ve dolayısıyla elektrottan ergime etkisiyle damlacık meydana getiren kuvvete ait doğrultuya ve şiddete etkir. Bu da kaynak işleminin yapılabilirliğine, verimine ve kalitesine etki eder. Koruyucu gazlardan olan argon ve helyum gibi asal gazların tedarikinin zor ve pahalı olması sebebiyle bu gazlara göre daha kolay temin edilen ve nispeten daha ucuz olan CO₂ gazının koruyucu gaz olarak kullanımı daha ekonomik bir çözüm olduğu için kullanımı artmıştır. CO₂ gazı özellikle alaşımsız ve düşük alaşımlı çelik malzemelerin kaynağında ekonomi, iyi nüfuziyet, yüksek kaynak hızı ve iyi mekanik özellikler vermesi nedeniyle ülkemizde yaygın olarak kullanılmaktadır. Koruyucu gaz faktörünün etkilediği kaynak parametreleri aşağıdaki gibi listelenebilir:

- Kaynak banyosunu atmosfer etkilerinden koruma
- Arkın kararlılığı
- Metal transfer formu
- Nüfuziyet ve kaynak dikiş geometrisi
- Isı girdisi
- Kaynak hızı
- Kaynak metalinin kimyasal bileşimi
- Duman oluşumu reaksiyonların önüne geçer.

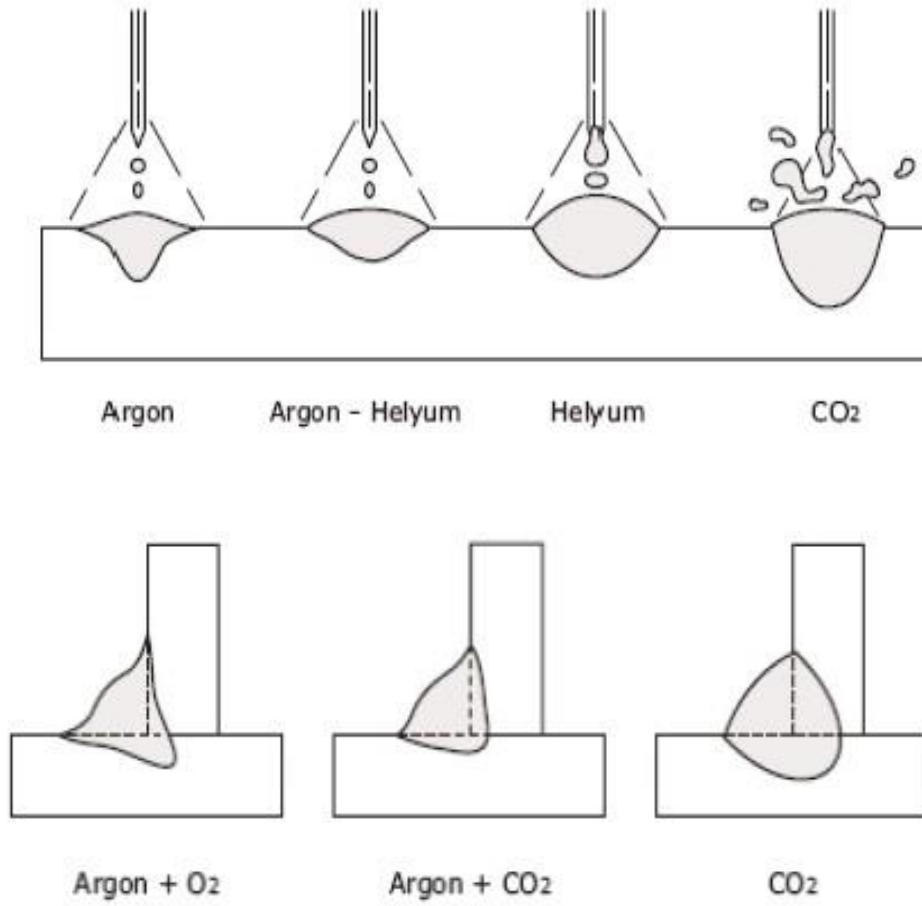
Arkın kararlılığı; MIG-MAG kaynağında arkın kararlılığı büyük ölçüde metal aktarımının geçiş şekli ile kontrol edilir. Bu durum da koruyucu gazın kimyasal bileşimine bağlıdır. Koruyucu gaz bileşimi, aktarımdaki ark davranışını ve yüzey gerilimlerini etkiler [22].

Östenitik çelik malzemelerin kaynağında Ar + O₂ ve Ar + CO₂ karışımları ile düzgün bir püskürtme aktarımı elde edilmiş olur. Koruyucu gaz olarak CO₂ kullanıldığında ise sadece damla aktarımı oluşumu gözlenir. Metal transfer formu; kaynak esnasında kaynak telinden

kaynak banyosuna transfer edilen metalin davranışı olarak tanımlanabilir. Metal transferinin şekli büyük ölçüde koruyucu gaz içeriğine ve diğer kaynak parametrelerine bağlıdır. Nüfuziyet ve kaynak dikiş geometrisi; bir kaynak dikişinin kalitesini belirlemek için nüfuziyetine, ısılatma oranına ve kaynak dikişinin görüntüsüne bakılabilir. Kaynak dikişi üzerinde koruyucu gazın etkisi oldukça fazla olup mekanik özelliklerin yanında kaynak geometrisini de direkt olarak etkiler. Farklı gaz ve karışımları neticesinde oluşan kaynak profilleri Şekil 3.12’de verilmiştir [22].

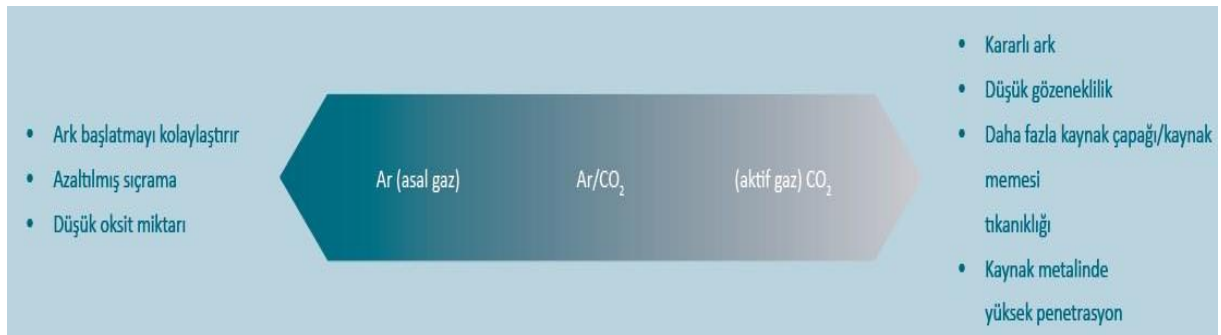
Isı girdisi; belirli bir uzunluktaki kaynağı yapabilmek için gereken ısıya denir. Isı girdisinin düşük olması, kaynağı yapabilmek için gereken enerjinin az olduğu anlamına gelmektedir. Koruyucu gaz, ısı girdisi ile doğrudan ilişkilidir; her gazın termal iletkenliği farklı olduğundan kullanılan koruyucu gaza göre aktarılan ısı da değişmektedir. Kaynak ilerleme hızı; birim zamanda yapılan kaynak mesafesidir. Kaynak işlemlerinde tüm parametreler sabit tutulduğunda, en yüksek nüfuziyet orta ilerleme hızında elde edilir. Koruyucu gazın ısı iletkenliği de kaynak hızını etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Kaynak metalinin kimyasal bileşimi; alaşım elemanlarının telden kaynak banyosuna maksimum kapasite ile aktarılması, koruyucu gazın oksitleme gücüne bağlıdır. Oksitleme potansiyeli düzenlenmiş gazlar ile yapılan kaynak işlemlerinde oksit kalıntılarının iç yapıya aktarım miktarının en düşük oranlarda olduğu gözlenmiştir. Mekanik özellikler; gazaltı kaynağında gazın oksitleme durumuna göre bir miktar alaşım elementi kaybı olur. Koruyucu gazın kaynak metalinin mekanik özelliklerine etkisinin, gözeneklilik ve oksitlenme gibi problemler olarak ortaya çıktığı gözlemlenmektedir. Duman oluşumu; kaynak işlemi esnasında, çalışma alanında arktan dolayı oluşan duman ve gazlar meydana gelir. Arktan çıkan bu gazlar ozon gazının oluşmasına sebep olur. Ozon gazı ise göz ve burun gibi organlarda yanma tipinde sağlık problemleri oluşturur.

Bilinen tüm koruyucu gaz kaynaklı imalat metotlarında olduğu gibi, MIG kaynak metodunda da koruyucu gaz parametresinin ark oluşan bölgeyi tamamı ile kapatması ve buna ek olarak atmosferin oluşturabileceği olumsuz etkilerden izole edilmesi gerekir. Ark atmosferinin içerdiği bileşimin, kullanılmakta olan türlü gaz ve gaz karışımlarına entegre olarak değişiklik gösterdiği bilinmektedir [22].



Şekil 3.12 Kaynak dikiş görüntüsüne ve nüfuziyetine koruyucu gaz etkisi [22]

Koruyucu gazların seçimi ve karışımı kaynak durumuna bağlıdır. En yaygın olarak Ar ve CO₂ karışımları kullanılır [28].



Şekil 3.13 Çeşitli koruyucu gaz karışımlarının etkileri [28]

Kaynak yöntemi	Ark tipi	Pozisyon	Koruyucu gaz
MAG, dolu tel	Kısa Ark	Tüm konumlar	%18-25 CO ₂ rest. Ar
MAG, özlü tel	Kısa Ark	Tüm konumlar	%18-25 CO ₂ rest. Ar
MAG, dolu tel	Püskürtmeli Ark	Yatay (PA, PB, PC)	%15-20 CO ₂ rest. Ar
MAG, FCAW	Püskürtmeli Ark	Tüm konumlar	%15-20 CO ₂ rest. Ar
MAG, MCAW	Püskürtmeli Ark	Yatay (PA, PB, PC)	%15-20 CO ₂ rest. Ar
Robotik ve otomatik MAG	Püskürtmeli Ark	Yatay (PA, PB, PC)	%8-18 CO ₂ rest. Ar
TIG	Püskürtmeli Ark	Tüm konumlar	%100 saf Ar

Şekil 3.14 Koruyucu gaz karışımlarına ait örnekler [28]

Koruyucu gaza dayanan bütün kaynak yöntemlerinde, koruyucu gazın akışı kaynak durumuna bağlıdır.

3.5.1.3 Kaynak Ağzı

Gaz altı kaynağında kullanılan kaynak ağız tasarımında, kaynak yapılacak ürünün geometrisi ve malzeme cinsi ile ilgili kimyasal özellikler ve standartlar dikkate alınmalıdır. Kaynak dikişindeki dolgu malzemesi ve oluk geometrisi, kaynak direncini belirleyen kaynak parametreleridir. Kaynak ağızı hazırlanırken dikkat edilmesi gereken en önemli konu, istenilen özellikteki en iyi kaynak dikişini minimum maliyetle gerçekleştirmektir. Kaynak ağızı şekli, kaynaklı yapının kalitesine ve maliyetine yüksek oranda etki ettiği için çok önemli bir yere sahiptir. Gaz altı kaynağında kaynak ağız tasarımında en önemli konulardan biriside kaynak yaparken kaynakçının en uygun pozisyona erişebilmesi ve torcunu rahat bir şekilde hareket ettirebilmesidir. Gaz altı kaynağında önemli konulardan bir tanesi de kesme lülesi ile kaynak kökü arasındaki boşluktur. Kök kısmına lülenin yeterince yaklaşamaması, nüfuziyetin kalitesini düşürebilir ve kaynak banyosunun gaz tarafından yeterince korunamamasına neden olabilir. Kaynak ağızı şeklini etkileyen en önemli madde, malzeme ile kaynak birleşiminden beklenen dayanımdır. Bu değer kaynak ağzında nüfuziyetin miktarını belirler. Ağır çalışma şartlarında ve hareketli çalışmaya maruz kalınan hallerde malzeme tüm kesit boyunca kaynatılmalı ve kaynak ağızı ile dikiş arasında boşluk olmamalıdır. Buna karşın hareketsiz parçalarda kaynak dikişinden beklenen kuvvete yeterli olacak kadar bir kesit kaynatılır ve kaynak ağızı ile dikiş arasındaki boşluk çok önemli değildir [29].

Kaynaklı yapılarda, kaynağı belirli bir kesite yapmak veya kesitin tamamına yapmak, ağız şeklini, kök aralığını ve kök yüksekliğini etkiler.

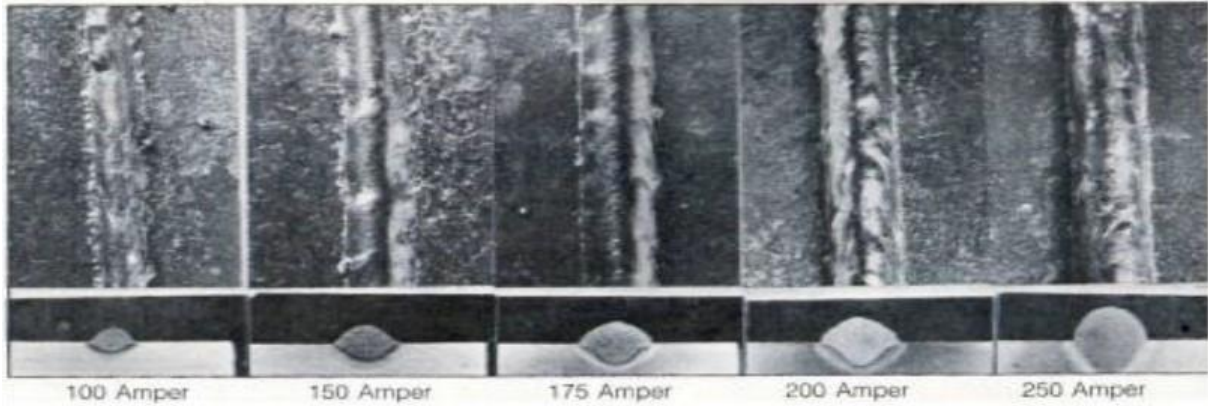
Kaynağın kesitin yalnızca bir bölümüne yapılması istenildiği durumlarda kaynak kökünde boşluğa gerek yoktur, kök alını yüksek bırakılabilir. Gaz altı kaynağında çapı küçük bir elektrot kullanılır, diğer açık ark metodlarında (örtülü elektrot, TIG) ise çapı daha büyük bir elektrot kullanılır bunun nedeni; arkın daha yoğun olmasıdır. Aynı akım şiddeti için nüfuziyet daha fazladır. Bu yüzden gaz altı kaynağında kök alını diğer kaynak yöntemlerine göre daha yüksektir ve daha küçük bir kök aralığı kullanılır. Bu durumun sonucu olarak düşük akım şiddetlerinin uygulandığı kısa devre ark yöntemi için bu yöntemin kullanımı doğru değildir. Kullanılan elektrotun çapı farklı kaynak yöntemlerindeki göre daha ince tutularak kaynak ağız açısının daha dar kullanılabilmesini mümkün kılar.

Kaynak ağız geometrisinin seçimini etkileyen en önemli noktalardan bir tanesi kaynak yapılacak pozisyonudur. Örnek olarak dik pozisyonda ağız açısı geniş olabilirken oluk (taban) pozisyonunda daha dar ağız açısı yeterli olmaktadır. Akım şiddeti tavan ve dik kaynak pozisyonlarında düşük seviyede olduğu için kökte oluşan alını yüksekliği daha azdır ve kök aralığı daha büyük olmaktadır. Aynı zamanda korniş pozisyonundaki kaynaklarda, asimetrik V kaynak ağızı tasarımı, kaynak banyosunun akmasına engellediği için bu pozisyonda simetrik V ağızı tasarımı kullanılması tercih edilir. Kaynak ağızı tasarlarken göz önünde bulundurulması gereken önemli noktalardan bir tanesi de kaynatılacak malzemenin kalınlığıdır. MIG-MAG metodunda çift yönden kaynak yapılmasının mümkün olduğu durumlarda, akım şiddetini maksimum seviyeye getirmek ve yeterli kök aralığı bırakmak şartı ile 10 mm kalınlığındaki parçalar dahi küt alını ağız (özel bir kaynak ağızı açmadan) ile kaynatılabilirler. Kaynak ağızı tasarımında dikkat edilmesi gereken bir başka önemli konu ise kaynatılan malzemenin türüdür. Örnek olarak; paslanmaz çeliklerin ısı iletkenliği düşüktür buna rağmen alüminyumun erime sıcaklığı düşüktür ve ısı iletkenliği çok yüksektir, Bu açıdan düşünüldüğünde küt alını ağızı ile kaynak yapılabilecek maksimum malzeme kalınlığı alüminyum malzeme için paslanmaz çeliğe göre daha küçük olmalıdır. Çünkü kaynak bölgesi çok hızlı soğumakta ve kaynak banyosunun derinleşmesine imkan vermektedir [29].

3.5.2 Birinci Derecede Ayarlanabilir Parametreler

3.5.2.1 Kaynak Akım Şiddeti

Kaynakta kullanılan akım şiddeti diğer parametrelere göre birçok faktöre etki etmektedir, bunlar şu şekildedir; erime hızı, kaynak dikiş şekli, kaynak dikişinin boyutları ve nüfuziyet. Yatay özellikli olan MIG-MAG kaynak makinelerinde kaynak akım şiddeti tel sürme hızı ile orantılı olarak ayarlanır ve kaynak akım şiddeti tel sürme hızı arttıkça artar. Erime gücünde kaynak akım şiddeti ile doğru oranda artar, bu olay açık bir biçimde Şekil 3.15'te gösterilmiştir. Şekildeki eğrilerin alt taraflarında eğimler azdır bunun nedeni erime gücü akımın karesi ile doğru orantılıdır. Eğimler yukarı doğru ise dikleşmektedirler ve bu durum akım şiddetinin artması ile erimenin daha şiddetli bir şekilde arttığının göstergesidir. Bu durumda, serbest tel uzunluğunda, tel yüksek akım şiddetlerinde etkili bir elektrik direnci ortaya çıkarır. Meydana gelen bu elektrik direnci çıkan ısıya da bağlanmaktadır. Tüm kaynak değerleri sabitken akım şiddeti yükseltildiği zaman kaynak dikişinin eninin, yüksekliğinin, nüfuziyetinin ve boyutlarının arttığı görülür. Akım şiddeti gereğinden fazla artırılırsa çok büyük bir kaynak banyosu ve derin nüfuziyete sebep olur. Bu durumda parça üzerinde delinmeler meydana gelebilir; akım şiddeti çok düşük olursa da istenilmeyen bir kaynak ve elektrot metalinin parçanın üzerinde birikmesine sebep olacaktır. [29]



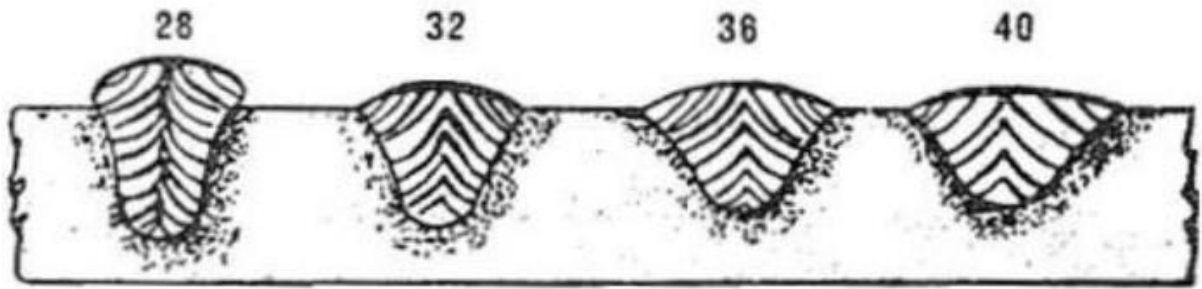
Şekil 3.15 Akım şiddeti ile nüfuziyet arasındaki ilişki [29]

3.5.2.2 Kaynak Gerilimi (Ark Boyu)

Sabit gerilim özellikli bir kaynak akım üreticinde; ark gerilimi diğer bir tabir ile kaynak gerilimi değeri, elektrodun ucuyla kaynağı gerçekleştirilecek malzemenin mesafesi ile doğrudan orantılıdır. Sabit gerilim özelliğine sabit kaynak akım üreteçlerindeki kaynak gerilimi, akıma

ait üreticinin kaba ve ince olan ayar butonlarından aşamalı olarak ya da potansiyometre yardımı ile aşamasız olarak ayarlanır. Bunun sebebi, bu şekilde olan akım üreteçlerinde makine tarafından stabil olarak seçilen bir ark boyunun her bir ark gerilim değeri için ayrı ayrı olmasıdır. Sabit akım özelliğine sahip kaynak makinelerinde (örtülü elektrot ile ark kaynağı, TIG) ise ark boyu kaynağı gerçekleştirecek operatör tarafından ayarlanmalıdır. Kaynaktaki ark gerilimi, işlemde seçilen koruyucu gaz, kaynak pozisyonu, ana malzemenin kalınlığı, elektrot çapı, ağız şekli gibi parametreler değerlendirilerek belirlenir. Her koşulda birbiriyle aynı kaynak dikişiyle sonuçlanan sabit bir ark boyu yoktur. Örneğin; bir kaynaktaki arkın boyu, sabit gerilimde He ve CO₂ kullanılması, Ar elementinin koruyucu gaz niteliğiyle kullanılmasına kıyasla daha uzundur.

Bütün diğer parametrelerin sabitlenmesi durumunda ark geriliminin artması halinde kaynak dikişi yayık ve geniş bir şekil alır. Nüfuziyet ise artan ark gerilimi ile bir optimum değere kadar yükselir ve bu değerden sonra azalan bir yönelim gösterir (Şekil 3.16). Nüfuziyetin az olduğu ve bazı geniş aralıklarda kök pasoda nüfuziyet kurabilmek için yüksek ark gerilimi uygulanır. Düşük bir ark gerilimi ile gerçekleştirilen kaynak işlemi şişkin, konveks ve çok dar kaynak dikişlerinin; çok yavaş derecede gerçekleştirilen ark gerilimi ise porozitenin meydana gelmesine sebep olur. Olması gereken parametrelere uygun olarak seçilen bir kaynak işlemi, arkın yavaş ve daha sabit bir halde yanışı ile kendini belli eder. Bir MIG-MAG kaynaklı imalat yönteminde, kaynak akım üreticinde sabit gerilime ait karakteristik ayar izni ne kadar çok olursa optimum çalışma koşullarının saptanması da o seviyede kolay olmaktadır.



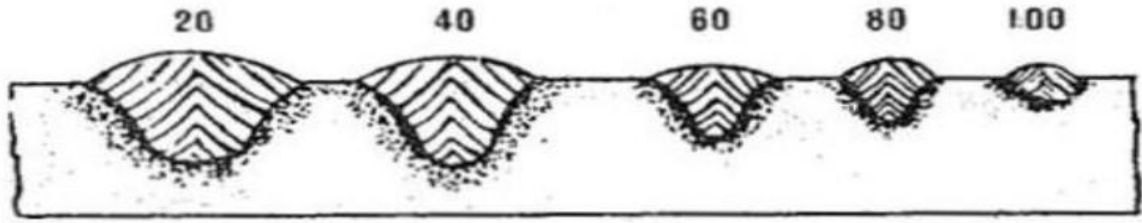
Şekil 3.16 Kaynak gerilimi (V) ile nüfuziyet ilişkisi [29]

3.5.2.3 Kaynak Hızı

Yarı otomatik olarak adlandırılan sistemlerde kaynak hızı parametresi, kaynağı gerçekleştirecek kaynak operatörü tarafından ayarlanır. Otomatik veya mekanize sistemlerdeyse kaynak hızı parametresi makine tarafından ayarlanır yani otomatiktir. Kaynak

hızı literatürde birim zamanda yapılan kaynak dikişi boyu olarak aktarılır. En derin kaynak, kaynak hızının optimum değere ulaştığı noktada elde edilir (Şekil 3.17). Kaynak hızının bu oranı aşması halinde, yani bu hızın yavaşlaması ya da artması durumlarındaysa orantılı olarak nüfuziyet azalır.

Kaynaklı imalat işlemi düşük hızla gerçekleştirildiğinde, birim zamanda dolan kaynak metali miktarı belli bölgelerde artış gösterecektir. Bu durumda da kaynak banyosu büyüyecektir. Aşırı akışkan hale gelen sıvı haldeki metal, kaynak ağzı içerisinde arkın kaynak yönünde önüne doğru akar ve bu durumda nüfuziyet azalır. Sonuç olarak geniş bir kaynak dikişi elde edilir. Olması gerekenden daha yavaş yapılan kaynak işlemi, kaynak metalinin yüksek oranda yığılmasına ve bunun sonucunda da kaynak nüfuziyetinin yetersiz kalmasına sebep olacaktır. Kaynak ağzı bu bölgelerde istenen verimde olmayacaktır.



Şekil 3.17 Kaynak hızı (cm/dk) ile nüfuziyet ilişkisi [29]

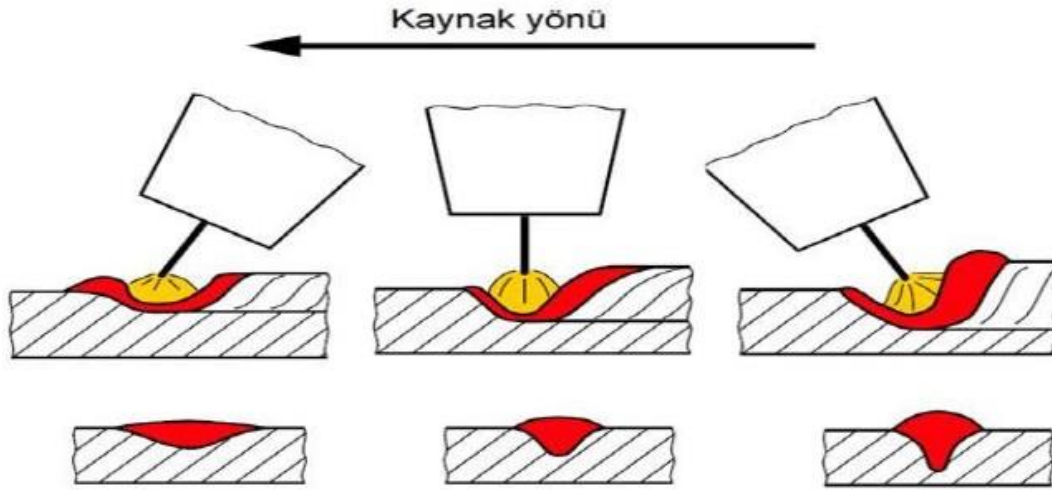
Kaynak hızının artması nüfuziyeti azaltır bunun sebebi belirli bir alana verilen ısıнын azalması ve bunun sonucunda da esas metaldeki erimenin azalmasıdır. Bu da nüfuziyeti azaltır. Kaynak işlemindeki hız olması gerekenden fazla arttırılırsa, kaynak metalinin kaynak ağzını tam doldurmaması sebebiyle dikiş kenarlarında yanma oluklarına benzeyen izlerin ve görselin oluşmasına etken olur. Kaynak işlemlerinde tüm parametreler sabitlendiğinde, maksimum nüfuziyet orta ilerleme hızıyla yapılan kaynaklı birleşimlerde sağlanır [29].

3.5.3 İkinci Derecede Ayarlanabilir Parametreler

3.5.3.1 Torc Açıcı

MIG / MAG kaynağında tel elektroda akımın iletilmesi, elektrotun kaynak yapılacak alana iletilmesi ve koruyucu gazın kaynak alanına yönlendirilmesi torcun vasıtasıyla yapılır. Kaynak elektrotu ve torcun kaynak yapılacak parçaya göre konumu ve hareketi, kaynak dikişinin geometrisini değiştiren önemli faktörlerdendir. MIG / MAG kaynağında sola ve sağa kaynak

yöntemi tercih edilebilir. Eğer torç kaynak yapılacak parçaya dik (90°) olarak konumlandırılırsa sağ ve sol kaynak yöntemleri arasında fark görülmez. Fakat kaynak torcu 30° kadar bir hareket açısı ile tutulduğunda, sağ ve sola kaynak nüfuziyetlerinde ciddi farklar görülür (Şekil 3.18). Torç açısı 30° 'nin üzerinde olmadığı durumlarda bu açı, kaynak arkının kaynak operatörü açısından daha kolay kontrol edilmesini sağlar. Bu açıda kaynakçı kaynak bölgesini rahatlıkla görebildiği için, daha kaliteli kaynak dikişi oluşunda etkisi büyüktür. Buna rağmen bu açı ve daha fazla olan açılarda kaynak teması azalır ve dikiş inceler. Sola kaynak genellikle alüminyum parçaların kaynağında kullanılırken sağa kaynak daha çok çeliklerin kaynağında uygulanır. Çeliklerin kaynağında sağ tarafa 25° eğim verilerek yüksek nüfuziyet elde edilebilir. Torç açısının artması durumunda koruyucu gaz akımının şekli değişiklik göstermektedir ve bu durumda koruyucu gazın koruma etkisi azalır. Torca kaynak yapılacak yönde en fazla 30° bir açı verilerek yüksek nüfuziyetli kalın kaynak dikişleri elde edilir. Bu durum özellikle tam otomatik MIG-MAG kaynak yönteminde uygulanır.

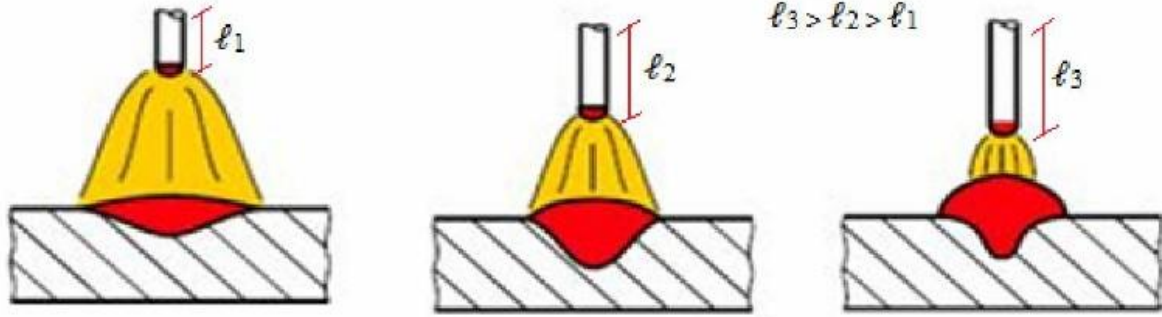


Şekil 3.18 Kaynak yönü ve torç açısının nüfuziyete etkisi [26]

3.5.3.2 Serbest Tel Uzunluğu

Torç içerisindeki akım memesinin uç kısmı ile tel elektrotun uç kısmı arasında kalan mesafe serbest tel uzunluğu olarak tanımlanır. Bu mesafenin artması durumunda elektrotun elektrik direnci artar ve ön ısınması olarak ifade edilen sıcaklığı artar. Bu durumda elektrotun uç kısmını eritebilmek için gerekli olan akımın derecesi azalacaktır. Serbest tel uzunluğu arttığı zaman erime derecesi çoğalır ve kaynak teması azalır. Bu ilişki Şekil 3.19'te açıkça görülmektedir. Kaynak bölgesinden uzak bir mesafeden eriyen kaynak metali, aşağıya soğuyarak düşer ve bu

bölgede yığılmaya neden olur. Bu durumda nüfuziyet azalır. Serbest tel uzunluğu (ℓ_i) azaldıkça akım şiddeti yükselir, ark gerilimi ve nüfuziyet artar. Sıçrama bu durumda az olur, fakat kontak borusunda aşırı ısınmaya neden olur [29].



Şekil 3.19 Serbest tel uzunluğu ile nüfuziyet arasındaki ilişki [26]

3.6 KAYNAKTA ISI GİRDİSİ

Kaynaktaki ark, enerjinin verildiği elektrottan kaynaklı imalatı gerçekleştirilecek ürüne doğru elektrik akımı yardımıyla iletilir. Kaynağı yapan personel, kaynak işlemine başladığında malzeme ve onu dolduracak kaynak metali, kaynak dolgusunu oluşturmak amacıyla ergimeye başlar. Bu ergime, elektroda enerji ve güç gönderildiği için meydana gelir. Isı girdisi birim uzunluğa aktarılan enerjinin bağıl ölçümüdür. Isı girdisi faktörü, malzemeye ait mekanik özellikleri, kimyasal özellikleri, geçiş sıcaklıkları, ön ısıtma sıcaklıkları ve soğutma hızı gibi parametrelere etkidiği için mühim bir özelliktir. Isı girdisi gücün arkın hızına oranı ile hesaplanır.

H: ısı girdisi (kJ/cm).

E: ark voltajı (volt).

I: akım (amper).

S: hız (inç/dakika veya mm/dakika).

Isı girdisi formülü birbirinden iki farklı kaynak prosedürünün kıyaslanması için en önemli faktörlerden biridir. Isı girdisi direkt hesaplanamaz. Isı girdisi hesabı için voltaj, akım ve hız değerleri bilinmelidir [30].

Ark voltajı: Voltaj değeri hesaplanırken olabileceği en yüksek derece kadar arka yakın alanlardan ölçülmelidir. Bu değer kaynak makinesi gösterge ekranından gözlemlenebilir. Voltaj hesaplama voltajın gerçek değerini düşürür. Kaynak cihazlarında gösterge ekranında gördüğümüz voltaj değeri gerçek değerinden hep daha yüksektir. Bunun sebebi kaynak

makinelerinde kullanılan kablolardaki direnç faktörüdür. Ortalama ısı girdisi hesabı yapılırken kaynak cihazında gördüğümüz voltaj değerini kullanırız. Gerçek ısı girdisi hesaplarında ise bu değer kullanımı risklidir.

Akım: Kaynaktaki akım değeri iletken olan bir metre yardımıyla ya da sönt ile ölçülür. Akım asla zamana göre ayarlanmaz. Elektrot kaynağında, akım ark dalgasının bir fonksiyonudur. Isı girdisi hesabında ortalama akım değeri alınır.

Hız: Arkın birim dakikada kaç mm veya inç ilerlediğidir. Sadece arkın ilerlemesindeki hız kullanılır hesaplamalarda. Dokuma yönteminde yalnızca ilerleme hesaplanır, titreşimin hızı hesaplanmaz. Hız dakika olarak hesaplanmalıdır.

Üretimde kullanılan çeşitli metaller ısıyı farklı hızlarda iletirler. Örneğin; bir kaynaklı imalat işlemi esnasında bakır malzemelerdeki ısı, çelik malzemelere kıyasla çok daha hızlı bir şekilde aktarılabilir [30].

Bu olay, ergime işleminin gerçekleşmesi için ısı faktörünün benzer kalınlığa sahip olan bakır bağlantılarda, çelik bağlantılara kıyasla daha yüksek hızda verilmesi anlamına gelmektedir. Metalin ergime sıcaklığı da önemlidir. Kaynak yaparken ergime sıcaklığına daha hızlı ulaşabilmek için kaynak ve levha arasındaki sıcaklık farkını düşürmek gerekmektedir, bunun içinde kaynatılacak parçaya ön ısıtma (tavlama) yapılmaktadır. Bunlara ek olarak, iletken malzemenin enine doğru kesit alanı da oldukça önemli parametrelerdendir ve göz ardı edilemez. Yani, ana metalin kaynaklı işlem esnasında ergimesini etkileyen maddeler şunlardır:

- a) Metal kalınlığı ve bağlantı tipi
- b) Isı iletkenlik
- c) Esas metalin kaynak öncesi sıcaklığı
- d) Ergime sıcaklığı
- e) Elektrodun açısı ve hareketi
- f) Isı girdisi [31]

Isı girdisi aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$Q = k \frac{U \times I}{v} \times 10^{-3}$$

Q= Isı Girdisi (kJ/cm)

k= Enerji Verimlilik Faktörü

U= Voltaj (V)

I=Amper (A)

V=Kaynak Hızı (mm/s) [22]

Çizelge 3.5 Kaynak yöntemlerine göre enerji verimlilik faktörü [32]

Kaynak Yöntemi	Enerji Verimlilik Faktörü (η)
Elektrik Ark Kaynağı	0,8
Tozaltı Kaynağı	1,0
MAG Gazaltı Kaynağı	0,8
MIG Gazaltı Kaynağı	0,7
Gazaltı Özlü Tel Kaynağı	0,9
TIG Kaynağı	0,7

Isı girdisinin en düşük olduğu kaynak pozisyonu yukardan aşağı doğru kaynaktır. Isı girdisinin en yüksek olduğu kaynak pozisyonu aşağıdan yukarı doğru kaynaktır. Isı girdisinin göreceli olarak en yüksek olduğu yöntem toz altı kaynak yöntemidir [22].

Kaynak işlemi, önerilen ısı girdisi ile gerçekleştirildiği takdirde en iyi mekanik özellikleri meydana getirir. Kaynak işlemi sonucu gelen ısı girdisi (Q) akım değeri, voltaj değeri ve ilerleme hızı ile direkt alakalıdır. Q, sevk edilen enerji/bağlantı uzunluğunu belirtir. Değeri, kaynaklanan bağlantının mekanik özelliklerini etkiler. Kaynaklama sırasında arkta bir enerji kaybı oluşur. Enerji verimlilik faktörü (k), kaynaklı bağlantıya yönlendirilen ısı girdisinin oranıdır [28].



Şekil 3.20 Isı girdisi faktörünün kaynaklı bir bağlantıya olan genel etkisi [28]

3.7 KAYNAKTA KARBON EŞDEĞERİ

Çelik malzemelerin yapılarındaki bileşimlerin içerdiği alaşım elementleri etkisi sonucu oluşan sertlik değerine eşit sertliği oluşturan karbon oranı karbon eşdeğeri olarak adlandırılır. Alaşım ve alaşımı az olan çeliklerdeki kaynak problemi, kaynağın dikiş bölgesinde oluşma ihtimali olan martenzit ve beraberinde gelen mikro seviyede çatlaklardır. Sıcaklık-zaman dönüşme diyagramları, çeliğin 800 °C den 500 °C' ye soğuma sürecinde geçen ve karbon eş değeri oranları bir çeliğin kaynak yöntemine uygunluğunu belirlemede ki önemli faktörlerdendir. Uygulanabilirliği anlamak için, karbon eş değeri oranına önem verilmesi, malzemenin kimyasal yapısının bilinmesi oldukça önemlidir. Karbon eşdeğeri kavramı tamamı ile çeliğin kimyasal bileşimi ile ilgili olup, kaynağa verilen enerji, parça geometrisi, kalınlığı, kaynak ağzının formuyla alakalı parametrelerden etkilenmemektedir. Bu faktörler, birinci derecede soğuma hızını etkileyen, yani ITAB'da meydana gelen mikro yapıya etkiyen faktörlerdir. Literatürde karbon eşdeğerinin hesaplanması ile ilgili farklı formüller mevcuttur.

Bu formüller bilimsel pencereden bakıldığında çelikleri sınıflandırmak ve kaynak kabiliyetinin bir ölçütü olarak kullanılabilir. Karbon eşdeğeri, kaynak işlemi sırasında dikkat edilmesi gereken önlemleri ve bu durumla ilgili kaynak prosedürleri hakkında kısa bilgiler verir. İyi derecede kaynak yetkinliğine sahip çeliklerin karbon eşdeğeri oranı %0,45 den düşük olması gerekir. Bu özelliğe sahip çeliklerde kaynaklı imalat öncesi ön tavlama işlemine, sonrasında ise normalizasyon işlemine ihtiyaç duyulmaz. Orta seviye kaynak yetkinliğine sahip çeliklerin karbon eşdeğeri oranı %0,45 ve %0,60 aralığındadır. Bu özellikteki çeliklerin kaynaklanabilmesi için kaynak işleminin yöntemi ile kaynak metali özenle belirlenmelidir, ön ısıtma (tavlama) işlemi uygulanmalıdır ve gerek duyulması durumunda kaynak sonrası gerilim giderme tavlama yapılmalıdır. Kötü kaynaklanabilir özelliğe sahip olan çeliklerin karbon eşdeğeri oranı %1'den yüksektir. Bu çeliklerin kaynaklanması oldukça zordur. Bu sınıftaki çelikler yalnızca tamir işlemlerinde, canlı hayatını riskle atmadığı durumlarda kaynak yapırlar [33].

Çizelge 3.6 Karbon eşdeğerlerine karşılık gelen kaynaklanabilirlik yetkinlikleri [33]

Karbon eşdeğeri (CE)	Kaynaklanabilirlik
≤0,35	Mükemmel
0.36–0.40	Çok iyi
0.41–0.45	İyi
0.46–0.50	Ortalama
≥ 0,50	Kötü

Çelik malzemelerin yapısında barındırdığı karbon oranı malzemeye ait mukavemet değerini, kırılgenliğini, işlenme ve kaynaklanma türünü etkileyebilir. Çelik malzemelerin karbon eşdeğeri, sertleşme, soğuk çatlama ve yağlama üzerinde etkisi olan karbon dahil olmak üzere çelikteki alaşım elementlerinin içeriğinin dönüştürülmesidir. Öncelikle karbon eşdeğeri ve karbon içeriği arasındaki fark konusunda net olmalıyız. Karbon içeriği, karbon çeliklerinde mukavemeti ve kaynaklanabilirliği belirleyen ana faktördür. Karbon içeriğinin artmasıyla, söndürme eğilimi artar ve kaynak çatlakları üretme eğiliminde olan plastisite azalır. Başka bir deyişle, karbon içeriği ne kadar yüksekse, kaynaklanabilirlik o kadar kötüdür. Alaşımli çelikler (özellikle düşük alaşımli çelikler) için, karbon dışındaki çeşitli alaşım elementleri çeliğin mukavemetini ve kaynaklanabilirliğini etkileyecektir ve karbon içeriği sadece bir ölçü indeksi olarak kullanılamaz. Bu malzemelerin mukavemet özelliklerinin ve kaynaklanabilirliğinin ifadesini kolaylaştırmak için, karbon eşdeğeri kavramı çok sayıda test verisi aracılığıyla kullanılır [33].

Karbon eşdeğeri ile karbon içeriği arasındaki temel fark, çelikteki tüm alaşım elemanlarının çeliğin kaynaklanabilirliği üzerindeki etkisini değerlendirmek için karbon eşdeğerinin kullanılabilmesidir. Karbon eşdeğeri genellikle CEV, bazen CE olarak kısaltılır ve pratikte CET, CEQ vb. Yukarıdaki tablodan, CE değeri ne kadar büyükse, kaynaklanabilirliğin o kadar kötü olduğu görülebilir. Bu değeri hesaplama formülü aşağıdaki gibidir:

$$Ce (IIW)=C+Mn/6+(Cr+Mo+V)/5+(Ni+Cu)/15$$

Orta ve yüksek mukavemetli söndürülmemiş ve temperlenmiş düşük alaşımli çelikler ($\phi_b=500 \sim 900$ MPa) için uygundur. Çelik plakanın kalınlığı 20 mm'den az ve $Ce (IIW) \%0,40$ 'tan az olduğunda, çeliğin sertleşme eğilimi çok azdır, iyi kaynaklanabilirlik ve ön ısıtmaya ihtiyaç duymaz. $CE(IIW)=\%0,40 \sim \%0,60$, özellikle $\%0,5$ 'ten büyükse, çeliğin sertleşmesi kolaydır ve kaynaktan önce ön ısıtmaya ihtiyaç duyar.

3.8 ÖN ISITMA SICAKLIĞI

Ön ısıtma işlemi gerçekleştirildiğinde, ani soğumanın önüne geçilir ve ısı tesiri altında kalan bölgelerde sünek bir malzeme yapısı oluşumuna sebep olur. Bu tane yapısı perlitiktir. Ek olarak, malzeme yüzeyindeki büzülme gerilimi oluşumunu minimize eder ve martenzitik bir tane yapısı oluşumunun önüne geçer. Bununla alakalı olarak, belirlenmiş bir kaynak prosedürü kaynak sonrası ısıtma işlemi için direkt uygulanmalıdır. Kaynaktan sonra yapılan ısıtma işlemi uygulaması

gerilimi azaltır ve çözünen hidrojeni kaynak alanından uzaklaştırarak soğuk çatlama sebebi ile oluşabilecek kaynak hatalarının önüne geçer [34].

Karbon eşdeğeri büyüdükçe kaynaktan sonra soğumanın yavaşlatılması gerekmektedir. Bunun gerçekleşmesi için tek çare kaynak malzemesine kaynak öncesi tavlama işlemi yapılarak soğuma hızını düşürmektir. Çizelge 3.7’te karbon eşdeğeri ile alakalı olarak yapılmasını istenilen tavlama sıcaklıkları verilmiştir.

Çizelge 3.7 Karbon eşdeğerine göre ön tav sıcaklığının belirlenmesi [45]

Karbon Eşdeğeri %	Ön tavlama Sıcaklığı °C
0.45 ten küçük	Normal atmosfer şartlarında
0.45 ile 0.60	100 ile 200 °C arasında
0.60 tan büyük	200 ile 350 °C arasında

Milletlerarası Kaynak Enstitüsü’nün Kaynak Kabiliyeti Komisyonu, çatlama olayına karşı bir emniyet önlemi olarak ısı tesiri altında kalan bölgelerde sertlik değerinin 350 Vickers'i (kg/mm²) geçmemesi önemle belirtilir. Isı tesiri altında kalan bölgeye ait sertliği azaltmak için uygulanan en net adım kaynaklanacak malzemeyi kaynak işlemi öncesi tavlama işleminden geçirmek ve o sıcaklık derecesinde kaynağı gerçekleştirmektir [29]. Çeliklerde alaşım elementleri malzemenin çeşitli özelliklerine etki ederler. C, Mn, Mo, Cr, V, Nb ve Si gibi elementler malzemenin sertleşme ihtimalini yükselten en mühim elementlerdir. Bunlar, ısı tesiri altında kalan bölgede martenzit yapı meydana getirir ve yapıda çatlak oluşma olasılığını yükseltirler. Alaşım elementlerinin malzeme yapısında martenzit meydana getirmesi ve çatlama olasılığını yükseltmesi karbon eşdeğeri ile takip edilir ve bu değer oranının olabildiğince düşük olması istenir. Karbon eşdeğeri düşük malzemelerin kaynak kabiliyeti yüksektir [35].

3.8.1 Kaynaklama Ve Termal Kesim Esnasında Önerilen Max. Ön Isıtma Ve Pasolar Arası Geçiş Sıcaklığı Değerleri

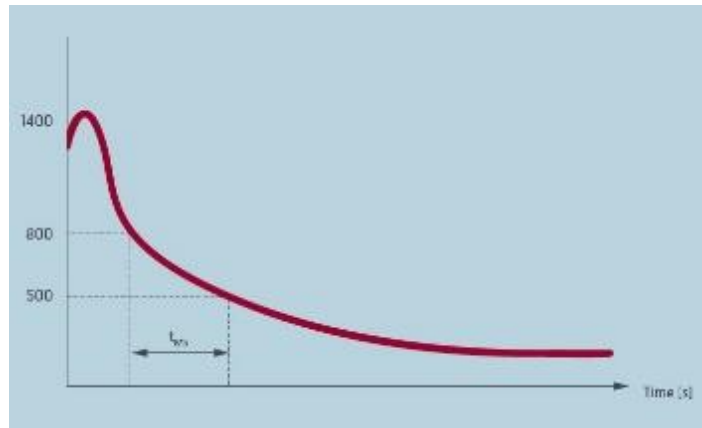
En yüksek ön ısıtma ve pasolar arası geçiş sıcaklık değerleri, kaynak işlemi sonlanmış bir kaynak yapısındaki mekanik özellik değerlerinin bozulmasını önüne geçmek için belirlenmelidir. Belirlenen bu maksimum ön ısıtma sıcaklık değeri, ön ısıtma işlemi yapılan kaynaklar için geçerlidir.

Çizelge 3.8 Maksimum ön ısıtma/pasolar arası geçiş sıcaklıkları [°C] [28]

Çelik adı	Maksimum ön ısıtma/pasolar arası geçiş sıcaklığı [°C]
Strenx 100**	300
Strenx 100 XF	100
Strenx 110 XF	100
Strenx 600 MC	100
Strenx 650 MC	100
Strenx 650 Profil	100
Strenx 700**	300
Strenx 700 MC	300
Strenx 700 MC Plus	100
Strenx 700 Açık profil	100
Strenx Boru 700 MH	100
Strenx Boru 700 MLH	100

3.9 t_{8/5} DEĞERİ

Kaynak işlemine ait termal döngü 800°C ve 500°C aralığında HAZ bölgesindeki soğuma süresi ile aktarılabilir. Bu parametre t_{8/5} değeri olarak bilinir. t_{8/5} değerinin tanımlanması şekil 3.21’de görülmektedir. T_{8/5} değerinin hesaplanması gerekmez fakat bu değer kaynak sürecinin iyi anlaşılmasını sağlar. Her Strenx sınıfının önerilen spesifik bir t_{8/5} aralığı vardır. T_{8/5} hesaplamaları her çelik sınıfı için izin verilen uygun aralıkların belirtildiği WeldCald ile yapılabilir [28].



Şekil 3.21 t_{8/5} tanımlaması [28]

Strenx 960-1300	5-15 sn
Strenx 1100 MC	1-10 sn
Strenx 900 MC, Strenx 900 Plus, Strenx 900 Profil, Strenx 900 Boru MH, Strenx 960 MC, Strenx Boru 960 MH Strenx 960 Plus	1-15 sn
Strenx 900	5-20 sn
Strenx 700, Strenx Boru 700 QLH	5-25 sn
Strenx 700 MC, Strenx 700 MC Plus, Strenx 700 Profil, Strenx Boru 700 MH, Strenx Boru 700 MLH, Strenx Boru 700 QLH, Strenx 100 XF, Strenx 110 XF, Strenx 650 MC, Strenx 650 Profil, Strenx 600 MC	1-20 sn

Şekil 3.22 t8/5 değerleri, min. 27J, -40°C'de [28]

3.10 ÇELİK MALZEMELERDE KAYNAK KABİLİYETİ

Kaynak yapılırken çelik kaynak malzemesinin etkisinde kaldığı ısıнын etkilerinin sonucunda kaynak malzemesinde sürekli olarak değişimler gerçekleşir. Bir çelik malzeme, büyük önleme aksiyonları almayı gerektirmeden ve bahsedilen değişmelere sebebiyet vermeden kaynaklı imalatla problem oluşturmada kaynaklanabiliyorsa, bu çelik malzemeler çok iyi kaynak kabiliyetine sahiptir. Bu durumun aksine, normal bir kaynaklı imalat işlemi yapılırken malzemede gelen değişiklikler, kaynak yapısından beklenen özellikleri göz ardı edilemeyecek şekilde tehlikeye sokabilir. Bu durumda kaynaklı imalat gerçekleştirilirken ya da kaynak işleminin hemen sonrasında, çatlak vb. malzemede meydana gelen kusurları engellemek için birtakım özel önlemlerin alınması zorunlu hale gelir. Böyle çeliklere de sınırlı kaynak kabiliyetli çelikler denir.

Aslında "kaynaklanamaz" çelik diye bir malzeme yoktur. Doğru metalurjik şartlar yerine getirilmesi koşulu ile her çelik kaynaklanabilir. Fakat bu koşullar bazen o kadar karışık olur ki bu değerlerin pratikte uygulanması gerçekçi olmaz. Çelik malzemelerin ısıl işleme yanıt

verebilmesi için “dönüşüm gösteren çelik” grubunda olması gerekir. Dönüşüm gösteren çelik, ısı işlem yapılarak faz yapısı (mikro yapısı) değişebilen olarak tanımlanabilir.

Dönüşüm gösteren çeliklere alaşımsız ve düşük alaşımlı çelikler örnek verilebilir. Yüksek alaşımlı çeliklerin bazıları ise dönüşüm göstermezler. Paslanmaz çeliklerden olan östenitik ferritik çelik grupları, ısı işlem ile sertleştirmeye uğramazlar çünkü bunlar dönüşüm göstermeyen yüksek alaşımlı çeliklerdir. Ergitme kaynağında “kaynak bölgesi” olarak tanımladığımız bölge mevcuttur. Bu kaynak bölgesi kaynak metali ya da kaynak dikişi olarak adlandırılan bir bölge ile kaynak dikişinin bitişiğinde bulunan ısı tesiri altında kalan bölge (ITAB)’den oluşmaktadır. Çelik malzemelerde ısı tesiri altında kalan bölgede sıcaklık değeri yaklaşık 600°C ve 1500°C’ler arasında farklılık göstermektedir. Dönüşüm gösteren çeliklerde ITAB; küreleşen bir bölge, kısmen dönüşüme uğramış bir bölge, tanesi incelmış bölge ya da tanesi irileşmiş bölgelerden meydana gelir. Kaynaklı imalat işleminde kaynak metali ve ısı tesiri altında kalan bölgede meydana gelen mikroyapı oluşumları kaynak bölgesine ait mekanik özelliklerini yüksek oranda etkilemektedir. Kaynak metaline ait mikroyapı kontrolü soğuma etkisiyle edilirken, ısı tesiri altında kalan bölgede meydana gelecek mikroyapılara ait kontrol ısınma ve soğuma tarafından yapılır. ITAB tarafından kaynağa ait mekanik özellikleri bozan yer, tanesi irileşen bölgelerdir. Dönüşüm gösteren çeliklere yapılan ark kaynak işleminde sarf edilen elektrotlar düşük karbon içerir. Ve ciddi oranda bir alaşım elementini bünyelerinde barındırmadıkları için, kaynak metalinde sert yapıların oluşumuna sebebiyet vermez. Bununla beraber ITAB’ da tanesi irileşen bölgelerde gevrek ve sert olarak bilinen malzemede oluşan martenzit yapıların meydana gelme olasılığı oldukça yüksektir [30].

Kaynak kabiliyeti terimi kaynaklı imalat bilimsel çalışmalarında çok önemlidir. Bu kavram, kaynaklı imalat işlemi gerçekleştirilirken, kaynak öncesi ve kaynak esnasında alınması gereken tedbirlerin ne derecede alındığını gösterir. Dönüşüm gösteren çelikleri göz önünde bulundurduğumuzda, kaynak kabiliyeti teriminden bahsederken kaynaktaki arkın oluşması ya da kaynak yapılamaması vb. konulardan ziyade, kaynak işlemi gerçekleştirildikten sonra kaynak bölgesinde çatlakların oluşup oluşmayacağı akla gelmelidir. İyi bir kaynakçı, en uygun elektrotu seçebilir ve kaynak için gereken arkı mükemmel şekilde oluşturabilir. Bunun beraberinde elektroda vermesi gereken salınım hareketini de en uygun şekilde yaparak kaynak banyosuna hakimiyetini gösterir fakat aynı kaynakçı, o kaynağa ait çeliğin ısı tesiri altında kalan bölgesindeki tane irileşmesi yapısında ne tür fazların meydana gelebileceğini ve meydana gelen fazların bir problem teşkil edip etmeyeceğini ayırt etmekte zorlanır. Dönüşüm gösteren çelik malzemelerin ısı tesiri altında kalan bölgesindeki en büyük problem tanesi irileşen yapıda

meydana gelen sert ve gevrek yapıdaki martenzit fazı ve onun oluşturduğu çatlaklardır. Bu sebepten tane irileşmesi gösteren bölgelerde meydana gelen martenzit fazının oluşumuna sebep olan parametreler bulunabilirse, o alandaki problemin çözümü için doneler elde edilmiş olur. Tane irileşmesi olan bölgede meydana gelen fazları etkileyen parametreler üç madde olarak toplanabilir. Bunlar:

- Kaynaklı imalat esnasında uygulanan ısı girdisi,
- Kaynaklanan çelik malzemenin kalınlığı,
- Kaynaklanan çelik malzemenin kimyasal bileşimidir [30].

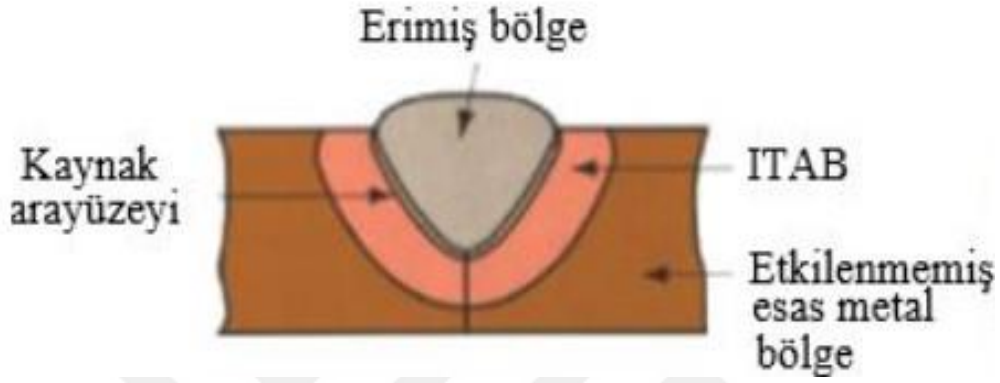
Isı girdisi terimi, kaynaktaki arkı meydana getirip ergitme işlemi için kullanılması gereken ısı tanımı olarak kullanılır. Isı girdisi, seçilen kaynak yöntemi, seçilen kaynak akımı, seçilen volt ve kaynağın hızıyla alakalıdır. Kaynak esnasında kullanılan akım değeri, elektrodun çap ölçüsünden etkilenir ve pratikte seçilen elektrot çapının ortalama kırk katı değerinde alınmalıdır. Güç veren kaynak sabit bir gerilim ile çalışır ve ısı girdisine fazla müdahale yapılmadan kaynak işlemi yürütülür. Fakat ısı tesiri altında kalan bölgede oluşacak soğuma hızı da düşünülmeli ve ısı girdisi bu pencereden değerlendirilmelidir. Isı girdisi düştükçe soğuma hızı artmaktadır. Bu bilgiden yola çıkarak, çapı küçük bir elektrot ile gerçekleştirilen kaynak işlemlerinde ITAB’da tane irileşme bölgelerinde martenzit faz meydana gelme olasılığı yüksektir ve kaynaklanan çelik malzemenin kalınlığının kaynak kabiliyetine etkisi incelendiğinde, kaynaklanan malzeme kalınlığı arttıkça ITAB’da gerçekleşen soğuma hızı da artacaktır yorumu yapılabilir. Örneğin, aynı kimyasal bileşimde olan 10 mm ve 40 mm kalınlığında iki çelik malzemenin yüzeyinde, kaynak ağzı açılmadan 3.25 mm çapa sahip bir elektrot ile aynı ısı girdisine sahip birer paso kaynak yapıldığı takdirde; 40 mm kalınlıktaki çelik malzemenin ITAB’ında soğuma hızı fazlasıyla yüksek olur. 40 mm kalınlığa sahip bir parçada ısı tesiri altında kalan bölgesinin tanesi irileşen yerlerinde martenzit fazı oluşumu ve bununla ilgili olarak da çatlamların meydana gelme olasılığı yüksektir. Özet olarak; bir çelik kaynatılmadan önce sorulacak ilk soru kimyasal bileşim olmalıdır. İkinci olarak malzeme kalınlığı belirlenmeli ve seçilecek elektrot çapına göre işlem öncesi bir ön tav işlemi ihtiyacı anlaşılıp kaynağa başlanmalıdır [30].

3.11 KAYNAK METALİ BÖLGELERİNİN İNCELENMESİ

Metalik malzemeler kaynak işlemine tabi tutulduğunda, kaynak dikişine birleşik yerdeki bölgeler kaynak malzemesine uygulanan ısı çevriminin etkisinde kalır. Yüksek mukavemet

gösteren yapı çeliklerinin ısı çevrimi, çeliğin elde edilmesi sırasında görmüş olduğu ısı çevriminden daha başka olduğundan, ortaya iç yapısı ve buna bağlı olarak da mekanik özellikleri farklı bir bölge meydana gelir.

Kaynaklanan bir parçaya ait kaynak bölgesi, erime bölgesi (dikiş) ve ısının tesiri altında kalan bölge (ITAB) olarak iki bölümdür. Şekil 3.23'de kaynak bölgesi görülmektedir.



Şekil 3.23 Kaynak bölgesi [36]

3.11.1 Ergime Bölgesi

Ergime bölgesi, kaynak esnasında meydana gelen ısının etkisiyle eriyen ve kaynak işlemi sonrası katılaştıran bölgedir. ITAB' dan, ergime çizgisi olarak tanımlanan ergimiş ve ergimemiş bölgeler arasında kalan sınırla ayrışır. Bu sınır bölgesi kaynak bağlantısından kesilip, dağlama ve parlatma işleminden geçen enine bir kesit üzerinden çıplak gözle görülebilir. Kaynak metali ve esas metalin karışımı bize ergime bölgesini verir. Kaynak dikişi tek pasolu olan işlerde, ergime bölgesindeki esas metal ve kaynak metali, kaynak banyosu bölgesindeki yüksek türbülans dolayısıyla karışır ve beraberinde homojen yapı gösterir. Çok pasolu kaynaklarda ise her pasonun esas metale karışma yüzdesi başkadır. Bu sebepten ötürü kalın malzemeler üzerinde gerçekleştirilen çok pasolu kaynakların dikiş bölgelerinde, orta bölgede esas metal gözlemlenmeyebilir. Ergime bölgelerinde bulunan ana metal ve kaynak metali yüzdesi her ne kadar bilinirse bilinsin, hesaplama yaparak ergime bölgesinin bileşimini bilinemez. Çünkü alaşım elementlerinin çoğu kaynak esnasında yanarak kaybolur.

Bu kayıpları azaltmak için kaynak bölgesi atmosferin etkisinden korunmalıdır. Kaynak esnasında ısının büyük bir kısmı ergime bölgesinden esas metale aktarılır. Bunun sonucunda soğuma hızına paralel yönde, iri sütunsal taneler meydana gelir. Hususi tek paso ile kaynatılmış kalın parçaların kaynak dikişlerinde, bu iri sütunsal tanelerin birleştiği bölgelerde artık element

segregasyonu gözlemlenir. Bu yapı, kaynak dikişlerin zayıflamasına sebebiyet verir. Bu şekildeki hataların oluşmaması için çok pasolu kaynak tercih edilir ve kaynak hızı azaltılır [29].

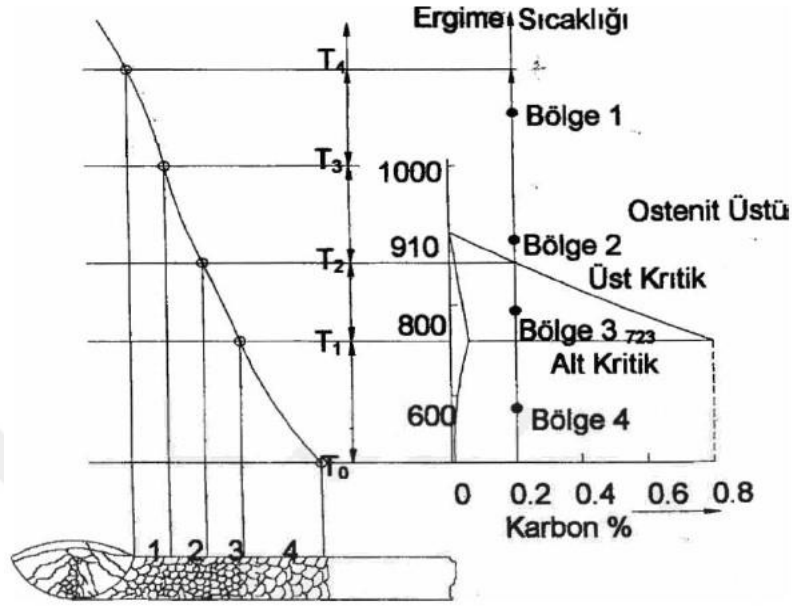
3.11.2 Isı Tesiri Altında Kalan Bölge (ITAB)

Bu bölgede erişilen maksimum sıcaklık derecesi, kaynak dikişi eksenine olan mesafenin, sıcaklık değişiminde zamanın fonksiyonu olarak bilinsede; kaynak işlemi sonunda oluşabilecek iç yapı esas metalin özellikleri ve bileşimi göz önünde tutularak bir dereceye kadar önceden tahmin edilebilir. Kaynak esnasında ısıdan etkilenen bölge hızlı bir şekilde ısınmakta ve sonra da parça kalınlığı, kaynağa uygulanan enerji ve ön tav sıcaklığının fonksiyonu olarak gene hızlı bir şekilde soğumaktadır. Çeliğin bileşimine göre bu soğuma hızı kritik soğuma hızını aştığında genellikle 900°C'nin üstündeki bir sıcaklığa kadar ısınmış bölgelerde sert dolayısıyla kırılgan bir yapı meydana gelir. Genellikle ısıdan etkilenen bölge olarak adlandırılan bu bölge kaynaklı birleştirmenin en kritik bölgesidir. Kırılmalar daha çok bu bölgede oluşur. Çeliklerin kaynağında ısıdan etkilenmiş bölge iç yapıdaki tane büyüklüğü bakımından bölgeleri iri taneli bölge, ince taneli bölge, kısmen dönüşmeye uğramış bölge ve iç yapı değişimine uğramamış bölge olarak ayrılır [37].

3.11.3 İri Taneli Bölge

Ergime bölgesine bitişik olan ve kaynak anında 1450-1150 °C sıcaklıklardaki bölgedir. Metaller yeniden kristalleşme sıcaklığının üstündeki bir sıcaklığa kadar ısıtıldıklarında tane büyümesi meydana gelir. Bu bölge tamamen iri tanelidir ve tane büyümesi hızı sıcaklık arttıkça artar ve metalin katılma sınırına yaklaşıldığında büyüme çok hızlanır. İri taneli yapılar, ince taneli yapılara oranla daha gevrek ve kırılgan olduklarından oluşmaları istenmez. Çeliklerde kaynak anında ergime çizgisine bitişik olan esas metal, katılasmaya yakın bir sıcaklığa eriştiğinden östenit içinde fazla miktarda tane büyümesine rastlanır. Bir çeliğin kaynak edilebilirliği açısından tane büyümesi çok önemlidir, çünkü soğuma olayı sürecinde oluşan dönüşümlere östenit tane büyüklüğünün etkisi oldukça şiddetlidir. Östenit tane büyümesi için gerekli olan tane sınırı ilerlemesi tane sınırlarına çökelmiş bulunan Alüminyum, Vanadyum, Titanyum ve Niobyum nitrür ve Karbonitrürleri tarafından engellenir. Bu durum özellikle modern çelik yapımında, üretim sırasında tane büyümesine engel olmak için geniş çapta kullanılır; nitrür ve Karbonitrürler 900 °C nin üzerinde tane içinde çözelti haline gelmeye

başlarlar; 1150 °C civarında tümü çözeltili haline geçtiğinden, artık bunların da tane büyüme olayına engel olma ihtimalleri ortadan kalkar [29].



Sekil 3.24 Kaynak dikişi çevresindeki sıcaklık dağılımı ve tanelel yapıdaki değişiklikler [33]

3.11.4 İnce Taneli Bölge

Kaynak esnasında, 900 °C ve 1150 °C değerleri arasında bir sıcaklık etkisi altında kalan kısımdır. (Şekil 3.24 T₃-T₂). Bu alanda östenit fazı oluşur. Bu yüzden soğuma esnasında, soğuma hızı ve çelik bileşimi ile alakalı olarak iri taneli bölgede gözlemlenen iç yapının neredeyse aynısı görüntüsünde bir iç yapı gözlemlenir. Sıcaklığın daha düşük kalması, bu sıcaklıkta kalma süresinin az olması sebepleri sonucu ince taneli bir yapıyı gözlemlenir. Bu bölgedeki tanelerde malzemenin ilk haldeki tanelerinden daha küçüktür ve martenzit faz meydana gelme ihtimali azdır. Yani sertleşme oranı yüksek değildir [29].

3.11.5 Kısmen Dönüşmeye Uğramış Bölge

İnce taneli bölgenin devamı olarak tanımlanır. Kaynak işlemi esnasında A₃ ve A₁ arasında (Şekil 3.24 T₁-T₂) olup, bölgesel olarak östenitleşme meydana gelmiştir. Östenit dönüşüm

meydana geldiğinden, yapısındaki östenit miktarıyla orantılı olarak, ilk iki bölgeye benzeyen bir iç yapı oluşturur.

3.11.6 İç Yapı Değişikliğine Uğramış Bölge (Esas Metal)

Bu bölge sıcaklık bakımından A1'in altında kalmış olan kısımdır (Şekil 3.24 T0-T1). Bu bölge temperleme bölgesi olarak da adlandırılır. Isınma etkisiyle soğuma esnasında malzemede bir dönüşüm olmaz. Yalnızca bazı iç yapılarda hafif bir temperleme etkisi gözlemlenir.

3.12 STRENX ÇELİĞİNİN KAYNAKLANMASI

Strenx yüksek dayanımlı çeliğinin yüksek performansı, yüksek kaynak kabiliyeti özelliği ile tamamlanır. Strenx'in kaynaklanabilen diğer çelik tipleri ile kaynağının yapılması için bilinen herhangi bir kaynaklı imalat yöntemi kullanılabilir. Kaynak işlemi öncesi nem ve yağ artıkları gibi olmaması gereken maddelerin giderilmesi gerekmektedir. Bu iyi bir temizlik ihtiyacı doğurur. İyi bir kaynak bölgesi ihtiyacında temizliğe ek olarak, aşağıda belirtilen noktalar oldukça önemlidir:

- Hidrojen çatlamlarını önlemek için ön ısıtma ve pasolar arası geçiş sıcaklıkları,
- Isı girdisi,
- Kaynak sarf malzemeleri,
- Koruyucu gaz,
- Kaynak sırası ve birleşim yerindeki boşluk miktarı.

3.13 BAĞLANTI HAZIRLIĞI İÇİN YÖNTEMLER

Bağlantı hazırlığı için tüm geleneksel yöntemler bu çeliklerle kullanılabilir. En yaygın yöntemler işleme ve termal kesimdir. Yaklaşık 10 mm'ye kadar olan plaka kalınlıklarının hazırlığı makasta kesme ve delme ile de yapılabilir. Yaklaşık 4 mm kalınlığa kadar olan plakalarda, klasik ark kaynağı için kenarlarla ilgili şartlar çok sıkı değildir. Tüm plaka kalınlıklarında bindirmeli bağlantılar ve köşe kaynağı için, kenarlarla ilgili şartlar genellikle makul düzeydedir. Frezeleme ve termal kesim (gaz, plazma veya lazer kesim), bağlantı hazırlığı için en yaygın yöntemlerdir. Strenx'te bağlantı hazırlığı, standart kalitedeki çelikler kadar kolaydır. Termal kesim sırasında, bağlantı yüzeyinde ince bir oksit tabakası oluşabilir.

Kaynaklamadan önce bu tabakanın kaldırılması önerilir. Bağlantı hazırlığı için plazma kesim yöntemi kullanılacaksa, plazma gazı olarak oksijenin kullanılması tavsiye edilir. Azot, kaynak metalinde gözenekliliğe yol açabilir. Eğer azot kullanılırsa, kesilmiş yüzeylerin kaynaktan önce yaklaşık olarak en az 0,2 mm taşlanması önerilir. İnce plakalarda, birleşme yerinin hazırlanmasında normal makasla kesim işlemi kullanılabilir [40].

3.13.1 Hidrojen Çatlaklarını Önleme

Karbon eşdeğerleri nedeniyle, Strenx'in hidrojen çatlamasına karşı direnci çok yüksek düzeydedir. Tavsiyelerimize uyulduğu takdirde hidrojen çatlağı oluşma riski en aza inecektir.

Hidrojen çatlamasını önlemenin kuralı şudur:

- Hazırlanan birleşme noktasının içindeki ve etrafındaki hidrojen içeriğini en aza indirin.
- Doğru ön ısıtma ve pasolar arası geçiş sıcaklıklarını kullanın.
- Düşük hidrojen içerikli kaynak sarf malzemeleri kullanın.
- Yabancı maddeleri kaynak bölgesinden uzaklaştırın.
- Kaynak birleşme yerinde stresi en aza indirin.
- Gerekenden yüksek dayanıma sahip kaynak sarf malzemeleri kullanmayın.
- Kaynak sırasını, kalıntı stresini en aza indirecek şekilde düzenleyin.
- Birleşme yeri içindeki boşluğu en fazla 3 mm olacak şekilde ayarlayın.

3.13.2 Minimum Ön Isıtma Ve Pasolar Arası Geçiş Sıcaklıkları

Ön ısıtma önerilmeyen durumlar, ortam havasının ve bağlantı sıcaklığının en az +5°C olduğu durumlardır. Eğer hava sıcaklığı +5°C'den düşükse bağlantının en az +60°C'ye ön ısıtılması gerekir. Çok pasolu bağlantılar, ilk kaynak pasosu ile aynı ön ısıtma şartlarına tabidir. Minimum ön ısıtma/pasolar arası geçiş sıcaklıkları, tüm plaka kalınlıklarında gerekmez. Bu sınıflar MC, Plus ve CR sınıflarından daha geniş plaka kalınlıklarıyla sunulmaktadır [37].

Daha büyük plaka kalınlıkları ve dayanım düzeyleri nedeniyle, bazı plaka kalınlıklarında ve çelik sınıflarında ön ısıtma gereklidir. Alaşım elementlerinin ön ısıtma ve pasolar arası geçiş sıcaklıklarını etkileme şekli Alaşım elementlerinin benzersiz birleşimi, Strenx'in mekanik özelliklerini en uygun hale getirir. Bu kombinasyon kaynak esnasında çeliğin minimum ön ısıtma sıcaklığını etkiler ve karbon eşdeğerini hesaplamak için kullanılabilir. Karbon eşdeğeri, aşağıdaki denklemler doğrultusunda, sıklıkla CEV veya CET olarak ifade edilir.

$$CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{(Mo+Cr+V)}{5} + \frac{(Ni+Cu)}{15} [\%]$$

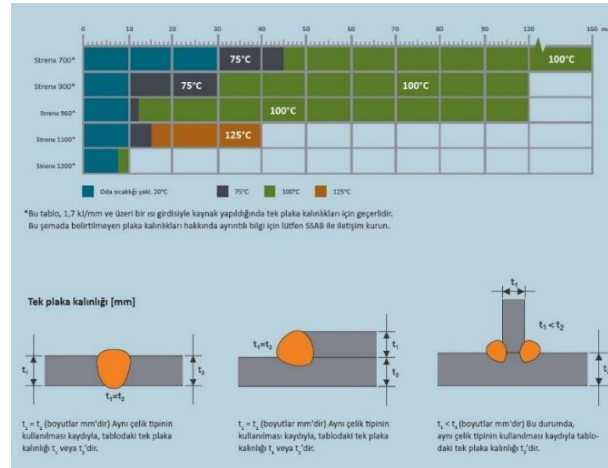
$$CET = C + \frac{(Mn+Mo)}{10} + \frac{(Cr+Cu)}{20} + \frac{Ni}{40} [\%]$$

3.13.3 Strenx 700 İçin Ön Isıtma Ve Pasolar Arası Geçiş

Kaynaklama sırasındaki en düşük ön ısıtma sıcaklığı tabloda gösterilmektedir. Aksi belirtilmedikçe, bu değerler alaşımsız ve düşük alaşımlı kaynak sarf malzemeleri ile kaynak yapmak için geçerlidir. Farklı kalınlıklarda ama aynı çelik sınıfındaki plakalar kaynakla birleştirilirken, gereken minimum ön ısıtma sıcaklığını en kalın plaka belirler.

Farklı çelik türleri kaynakla birleştirilirken, olabilecek en düşük ön ısıtma sıcaklığı, en yüksek minimum ön ısıtma sıcaklığı gerektiren plakaya göre belirlenir [40].

S700 MC çeliği için SSAB dokümanlarında karbon eş değeri 0.25 - (0.39) dir. Karbon eş değer 0.45'ten düşük olan çeliklerde normal atmosfer şartlarında ön ısıtma sıcaklığı yeterlidir. Standartlar S700 MC için t8/5 süresini 5-25 saniyeyi kabul eder. Sanayide ise bu 10-15 saniye kabul edilir.



Şekil 3.25 Minimum ön ısıtma ve pasolar arası geçiş sıcaklıkları [°C] [40]

Aşağıdaki durumların her biri için, minimum ön ısıtma sıcaklığını yukarıdaki ön ısıtma tablosuna bağlı olarak 25°C artırın:

1. Ortam nemi yüksek veya ortam hava sıcaklığı +5°C'nin altında ise
2. Sıkıca mengene ile sabitlenmiş bağlantılar

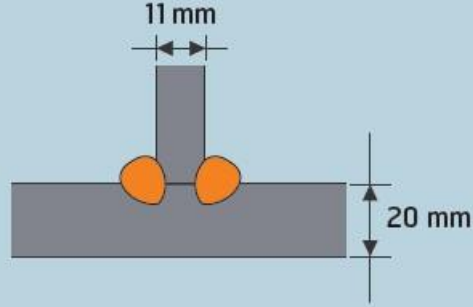
3. 1,0-1,6 kJ/mm aralığındaki ısı girdileri için şekil 3.25'te önerilen en düşük ön ısıtma sıcaklıkları ve pasolar arası sıcaklıklar 1,7 kJ/mm'den yüksek ısı girişlerinden etkilenmez. Şekil 3.25'te belirtilen 1,0 kJ/mm'nin altındaki ısı girdileri için, minimum ön ısıtma sıcaklığı WeldCalcTM ile hesaplanabilir. Bilgiler, kaynaklanan bağlantının havada soğumaya bırakıldığı varsayımına dayanmaktadır. Bu öneriler 1,0 kJ/mm'nin altındaki kök kaynakları ve punta kaynaklar için de geçerlidir. Punta kaynakların her biri tercihen en az 50 mm uzunlukta olmalıdır. Yorum: 8 mm'ye kadar olan plaka kalınlıklarında daha kısa puntalar kullanılabilir. Kaynaklanan yapının bütününde olumlu özellikler elde edebilmek için, maksimum ön ısıtma sıcaklıklarına izin verilmelidir. Punta / Metod kaynakları arasındaki mesafe gerektiği gibi değiştirilebilir.

Akma dayanımları (Rp0,2) 700 MPa'ya kadar olan sarf malzemeleriyle kaynak yaparken, sarf malzemesinin özellikleri normalde bağlantının minimum ön ısıtma sıcaklığını etkilemez. Bunun nedeni, ana metalin karbon eşdeğeri CET'in tipik olarak kaynak metalin CET'ini en az 0,03 yüzdelik birim düzeyinde aşmasıdır. Akma dayanımı 700 MPa ve üzeri olan sarf malzemelerinde, sarf malzemesinin CET değerinin Strenx CET değerine oranı normalde o kadar yüksektir ki, hem çeliğin hem sarf malzemesinin minimum ön ısıtma sıcaklıklarının dikkate alınması gerekir. Bu durumda, ya bağlantı plakalarının ya da sarf malzemesinin en yüksek minimum ön ısıtma sıcaklığı kullanılmalıdır. WeldCalcTM yazılımı bu hesaplamaları basitleştirebilir. Tüm düşük alaşımlı sarf malzemelerinde olduğu gibi, maksimum hidrojen içeriği 5 ml/100 g kaynak metal olarak ayarlanmıştır.

3.13.4 Ön Isıtma Ve Pasolar Arası Geçiş Sıcaklığını Elde Etme Ve Ölçme

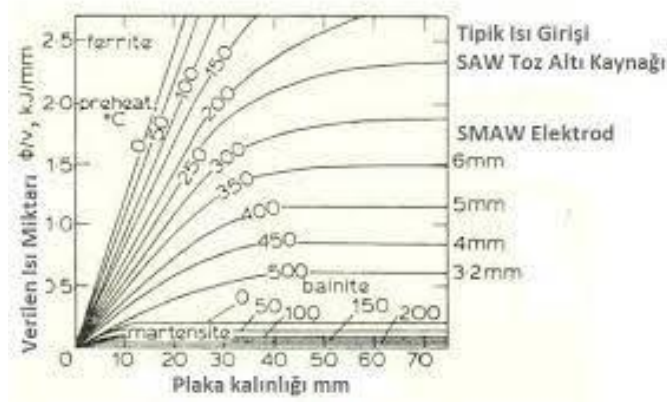
Gereken ön ısıtma ve ara geçiş sıcaklığı birden fazla yolla elde edilebilir. Bölgenin eşit şekilde ısıtmasını sağladıkları için, hazırlanan birleşme noktası etrafındaki elektrikli ön ısıtma elemanları çoğu zaman en iyisidir. Sıcaklık, örneğin bir kontak termometresiyle izlenmelidir. Strenx yüksek dayanımlı çeliğe ilişkin önerilerimiz HAZ'daki tipik tokluk değerlerinin - 40°C'de en az 27J olmasına dayanır. Ek olarak, düşük ısı girdisi bağlantıdaki yüksek statik kuvvetleri destekler.

Farklı plaka kalınlıklarından meydana gelen bir bağlantı yeri kaynaklandığında, tavsiye edilen ısı girdisi kaynaklanan bağlantıdaki en ince plakaya göre belirlenir.



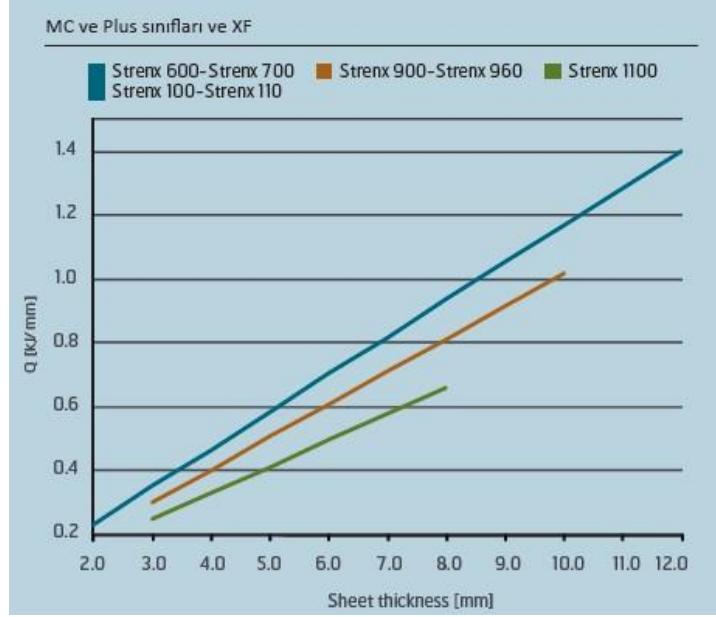
Bu durumda izin verilen ısı girdisi 11 mm plaka kalınlığına dayanmaktadır.

Şekil 3.26 Plaka ve saç kalınlığı [28]



Şekil 3.27 Önerilen maksimum ısı girdisinde, kullanılan en düşük ön ısıtma sıcaklığı temel alınır [28]

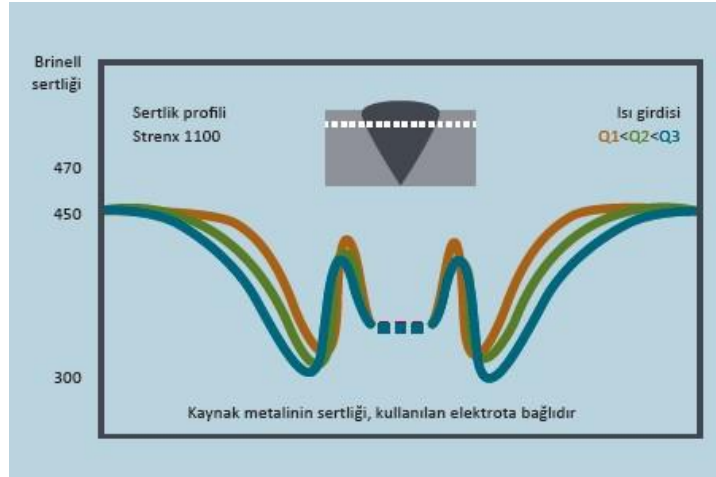
Örneğin çok pasolu kaynak bağlantılarında oluşabilecek daha yüksek sıcaklıklar, önerilen ısı girdisini etkiler. Aşağıdaki rakamlarda, 100°C ve 175°C bağlantı sıcaklıkları için önerilen ısı girdileri gösterilmiştir.



Şekil 3.28 Bağlantıdaki sertlik dağılımı [28]

3.13.5 Isı Girdisi Ve HAZ'daki Yumuşama

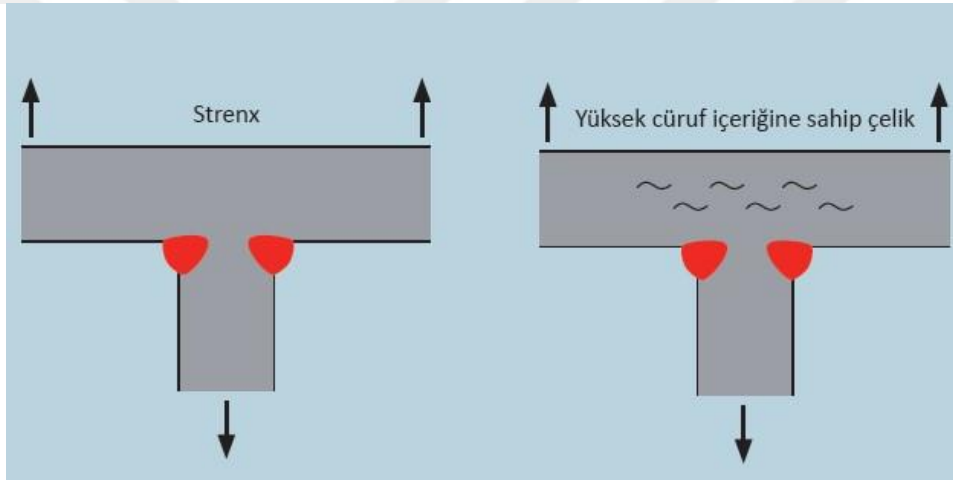
HAZ'daki sertlik dağılımı çelik sınıfına, plakaların kalınlığına ve kaynaklama sırasında uygulanan ısı girdisine bağlıdır. Kaynağın sertliği, dayanımı tarafından belirlenir. Bağlantıdaki dayanım ne kadar yüksek olursa, sertlik değerleri o kadar yüksek olur.



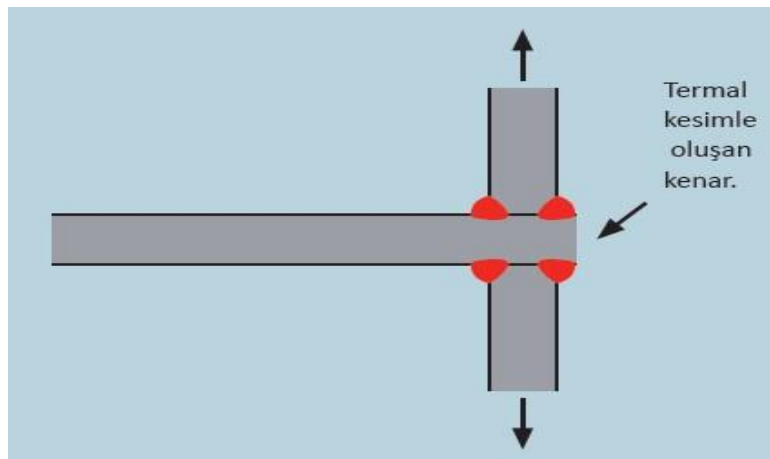
Şekil 3.29 Isı girdisi ve HAZ'daki yumuşama [28]

3.13.6 Strenx'in Kaynaklanması İle İlgili Diğer Öneriler

Strenx sınıfları, sülfür ve fosfor gibi kontaminantlar çok düşük düzeyde tutularak üretilir. Bu durum HAZ'da ve etkilenmeyen ana metalde faydalı mekanik özelliklere katkıda bulunur. Ayrıca sıcak çatlaması ve katmanlı yırtılma açısından da kaynak kusurlarına karşı direnci artırır. Katmanlı yırtılma, plaka yüzeyinin dikine bir iş çekme dayanımının olduğu, plaka yüzeyine paralel yerleştirilmiş ilavelerin bir sonucudur. Plaka yüzeyi yönüne göre dikine yüklenen bağlantılarda, keskin kusurları önlemek için bağlantıları plaka kenarından uzağa yerleştirin. Daha ince plaka ölçülerindeki bağlantılar için, termal kesimde, preste kesme ve delmeye oranla daha yüksek yüzey kalitesine sahip bir kenar elde edilir. Sıcak çatlaması kaynaklamadan önce, bağlantıyı yağ ve gres gibi kirlerden uzak tutun. Bu maddeleri uygun bir yöntemle giderin [28].



Şekil 3.30 Katmanlı yırtılma. Yüksek cüruf kalıntılarına sahip bir çelik ile Strenx çelikleri arasındaki fark [28]



Şekil 3.31 Kesim kenarına yakın kaynaklı T bağlantılarda termal kesim kenarlarının kullanılması önerilir [28]

3.14 ROBOTİK KAYNAK SİSTEMLERİ

3.14.1 Endüstriyel Robotlar

Teknolojinin hızlı bir şekilde ilerleme kaydettiği zamanımızda, gelişen teknolojinin gerektirdiği yenilikler insan yaşamının önemli bir parçası haline gelmiştir. Bu gelişimlerden insanların haberdar edilmesi bir gereklilik haline dönüşmüştür. Globalleşen dünya düzeninde iletişimin ciddi manada artması, insanları farklı dünya pazarı arayışlarına yönlendirmiştir. Kaliteli ürünleri daha ucuz fiyata üretmek rekabet piyasasında gereklilik olmuştur. Bu da yalnızca otomasyon teknolojilerine ayak uydurarak üretimi gerçekleştirmek ile mümkün olmaktadır. İnsanlar bedeni yapısı gereği bütün işleri yapma yetkinliğine sahip olmadığı için, gücünün yeterli olmadığı yerlerde kullanılması için farklı makineler geliştirmiştir.

ISO 8373 standardı tarafından açıklanan sanayi robotu tanımı. ‘‘Minimum üç ve daha çok programlama eksenine sahip, programı yapılabilen, kontrolörü otomatik, sabit ya da tekerlekli, sanayi uygulamalarında geniş bir kullanım yelpazesine sahip manipülatördür’’ şeklindedir. Bir robot, türlü işleri yerine getirmek amacıyla, parçayı, malzeme veya özel aletleri değişken ve programı yapılabilen hareketlerle taşınması üzere tasarlanmış, yeniden ve tekrar programlanabilir, çok fonksiyonlu bir makine aygıtıdır. Endüstride yaygın kullanımının başlıca nedenleri aşağıda görülebilir:

- Yüksek kar eldesi, hızla kendini amorti etme, işçilik maliyetini düşürmek,
- Tehlikeli ve riskli yerlerde çalışanların yerini almak,
- Daha esnek üretim sistemi sağlamak,
- Daha tutarlı bir kalite kontrol sağlamak,
- Çıktı miktarını artırmak,
- Vasıflı işçilik sıkıntısını karşılayabilmek,
- Üç vardiya boyunca aralıksız çalışma kabiliyeti,
- İnsana göre daha fazla yük kaldırma kabiliyeti,
- İnsana göre daha hızlı sonuca ulaşabilme yetkinliği,
- Seri ve tekrarlayan işlerde yeterlilik,
- Tehlikeli ortamlarda çalışabilme yetkinliği,
- İnsan hatalarını ve kalite kontrol hatalarını minimize etme [38].

3.14.2 Robotik Kaynak Sistemleri

Ölçeği farketmeksizin tüm üretici kuruluşlar, günümüz pazarında rekabet payının içinde olduğu bir çizgiyi tutturmak için robot kullanımına elverişli kaynak sistemlerini tercih etmektedirler. Bu tercihi gerçekleştiren üreticiler, kaynağın verimliliğini, esnekliğini ve kalitesini arttırmakla beraber müşterilerin sürekli değişen ihtiyaçlarını karşılama hedefiyle yatırımlarını robotik sistemlere döndürmektedir [43]. Robotik kaynak sistemleri hem kaynak işlemini yaparak hem de parçayı hareket ettirerek kaynaklı imalatı tamamen otomatik hale getiren mekanik programlanabilir makinelerin (robotlar) kullanılması anlamına gelir. Gaz metal ark kaynağı gibi kaynak işlemleri, çoğu zaman otomatik olsa da, kaynak yapılacak malzemeleri operatör/insan hazırlar. Bu sebepten robot kaynağıyla eşit görülemez [39].

Robotlar, ABD endüstrisine ilk defa 1960'lı yıllarda tanıtılmıştır ama robot kaynağı robotiğin bir uygulama koludur. Kaynaklı imalatı robot kullanımı, otomotiv sanayisinin robotları punta kaynak için kullanmaya başladığı 1980 yılına kadar kullanılmadı. O tarihten beri hem endüstride kullanılan robotların sayısı hem de uygulama yelpazesi büyük oranda artış göstermiştir. 2005 yılında Kuzey Amerika sanayisinde 120.000'e yakın robot kullanılmaktaydı ve bunların neredeyse yarısı kaynak robotuydu [41].

Robotik kaynak sistemleri otomotiv ve iş makinesi sektörü gibi geniş üretim uygulamalarında ark kaynağı ve direnç nokta kaynağı için geniş bir yelpazede kullanılır [42]. Büyük ve zor kaynaklı yapılar için doğru sonucu, yüksek hızı ve en iyi sonucu sağlar. Manuel ve elle olan yöntemler, işlemleri çok olan robotik kaynaklı proseslerde verimlilik ve üretim doğruluğu ile kıyaslanamaz. Manuel süreçleri otomatikleştirilse de, eski robot sistemleri geliştirilse de; rekabet içinde kalınabilmesi için pazar taleplerinin karşılanabilmesi lazımdır. Robotik sistemde bir kaynak aparatını takmak, doğru planlama, zaman, ciddi yatırımlar ve yüksek maliyetler gerektirmektedir. Bunun devamında, işleyiş ve imalat aşamalarına robotik sistemleri entegre eden şirketler ciddi anlamda uzun vadeli kazanımlar elde etmiştir. Üretim sektöründeki şirketler için maliyetleri minimum seviyeye indirmek her ne kadar en önemli husus gibi görünse de, sürekli olarak kalitelerini ve üretken gücünü arttırmak için çabalamaktadır. Bu yetkinliklere sahip olabilmek için, üretim şirketleri çoğu zaman teknolojik gelişmelerin yolunda, teknolojiye yönelmektedir ve bu sebepten robotik kaynak sistemleri uygulamalarına geçmek çok önemli bir noktadır. Robotik kaynak sistemi; kaynak metodu, robotik düzenek, sensörlü teknoloji, sistemsel kontrol ve yapay zekanın birlikte çalışma sistemidir. Kontrol sisteminin girişlerine kaynak olarak çalışmasını sürdüren sistem parametrelerinin ölçülmesi için sensörler

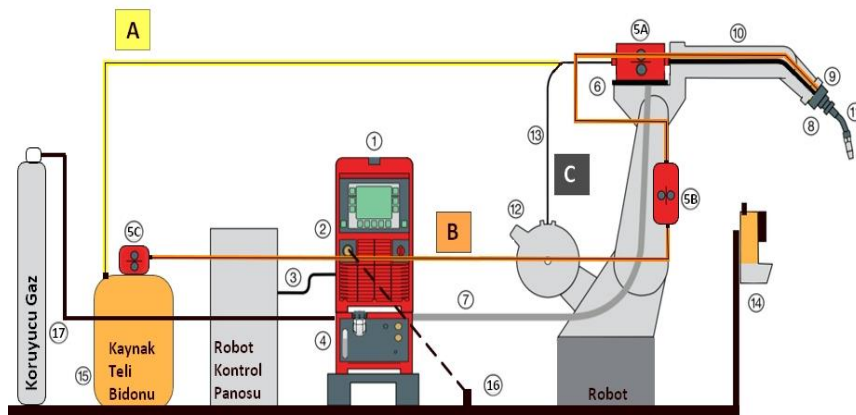
kullanılır. Buradan gelen giriş bilgileri kontrol sistemine aktarılır. Belirlenen kaynaklı imalat prosedürü niteliklerine göre robotik kaynak işleminin çıkışı uyarlanır. Kaynağın kalitesini, sürekli iyileşen imalatların ihtiyaçlarının giderilmesini robotik kaynak sistemleri karşılar. Robot sistemleri 7/24 çalışmak için kullanılabilir. Çevrimiçi programlamanın yaklaşık 10 katı hızda programlanması mümkündür. Çevrimdışı bir yazılımla entegre edildiğinde, robot makinesi öndekini kaynaklarken sonraki malzemenin programlanması planlayabilir [42].

Robotlu sistem çalışmalarında diğer husus, kaynağın prosesini ve uygulama teçhizatlarını uygun tercih etmektir. Kaynaktaki genişliği, kaynak görselini, yöntemdeki ilerleme hızını, parçanın kalitesini ve üretim kapasitesini, kaynak prosesinin seçimi etkiler. El ile kaynak uygulaması yapılan prosesler bazı durumlarda robotik sistemlere entegre edilemeyebilir.

Bazen, robot seçilen parçalar arasında gerekli ayarlamaları yapamazken, kaynak sorumlusu yapabilir. Parça listesi çok olan bir proje ile çalışılıyorsa, bu durum çok yüksek maliyetli bir robotik sistem kullanılması demektir. Bu sebepten, tanımlı parça listesinin içinden anahtar ve kritik parçalar üzerine odaklanmak gerekir [43].

3.14.3 Robotik MIG/MAG Kaynak Teknolojileri

MIG/MAG veya gaz altı ark kaynak yöntemi, dönemimizde en çok kullanılan kaynak yöntemlerinden olup, özellikle yüksek kaynak hızı ve yığma sağlamaktadır. Manuel olarak, mekanize olarak ve robot destekli olarak kullanılır. Robot teknolojilerinin ilerlemesi sonucu gaz altı ark, MIG/MAG imalat yöntemleri ismiyle tanınan kaynaklı imalat prosesi ivedi olarak robotik çalışmalarda sektöründe alan bulmuştur. Gün geçtikçe daha özel olarak geliştirilen yöntemler, donanım ve yazılım teknolojileriyle birleşince mükemmel yakın verimli bir teknoloji olma özelliğine sahiptir [44].



Şekil 3.32 Robotik kaynak sistemi şematığı [45]

BÖLÜM 4

MALZEME VE YÖNTEM

4.1 S700 MC YÜKSEK MUKAVEMETLİ YAPI ÇELİĞİ VE ÖZELLİKLERİ

Bu çalışmada, bir Strenx çeliği olan S700 MC yüksek mukavemetli yapı çeliği seçilmiştir. Bu çeliğin seçilme amacı, özellikle iş makinesi sektöründe yoğun bir kullanım alanına sahip olması ve kaynaklı imalatın vazgeçilmez malzemesi olmasıdır. Gücü ve hafifliğiyle daha yüksek yapısal oluşumlar için en düşük 700 MPa akma dayanımında ve soğuk şekillendirmeye uygun imal edilen sıcak haddeli bir yapı çeliğidir. İnce taneli yapısı, malzeme mukavemetini en yüksek seviyeye çıkarır. Bu ince taneli yapıyı elde etmek için kullanılan üretim yöntemlerini SSAB firması kendi markası adı altında saklı tutmaktadır.

Bu malzeme, ISO 10149-2:2014 Yassı çelik mamuller- Soğuk şekillendirme için- Sıcak haddelenmiş-Yüksek akma dayanımlı çelikler bölüm 2: Termomekanik olarak haddelenmiş mamullerin teknik teslim şartları standardı çerçevesinde S700 MC' nin gerektirdiği şartları sağlar ya da geçer. Standart yapılan çalışmalar, zor olan yük taşıma yapılarıdaki türlü faktörler ve parçaları bünyesinde barındırır. TS EN 10020 standart içeriği, çelik malzemelerin sınıflandırılmaları ve türlerinin tariflenmesinden oluşur. Madde 4.3.'te S700 MC'nin, özel alaşımlı çelik ismiyle tanımlaması yapılmıştır [40].

4.1.1 S700 MC Çeliğinin Mekanik Özellikleri

Çizelge 4.1 S700 MC çeliğinin mekanik özellikleri [40]

Kalınlık (mm)	Akma dayanımı R_{eH} ^{1) 2)} (min MPa)	Çekme dayanımı R_m (MPa)	Germe $A_{80}^{4)}$ (min %)	Germe A_5 (min %)	90°'lik bir büküm için min. iç bükme yarıçapı ³⁾
2 - 3	700	750 - 950	10	12 ⁵⁾	0.8 x t
3.01 - 6	700	750 - 950		12	1.2 x t
6.01 - 10	700	750 - 950		12	1.6 x t

Çizelge 4.2 Strenx sıcak haddelenmiş şerit ürünleri için performans portföyü [4]

Strenx sıcak haddelenmiş şerit ürünleri							
İsim	Kalınlık aralığı [mm]	Akma dayanımı $R_{p0.2}$ min [MPa]	Çekme dayanımı R_m min [MPa]	Uzama A_5 min %	Bükülebilirlik $3 < t \leq 6$ mm	CET/CEV _{TTık}	Darbe tokluğu [J] -40°C'de
Strenx 600 MC	2-10	600	650-820	16	1.1	0.21/0.33	27
Strenx 650 MC	2-10	650	700-880	14	1.2	0.22/0.34	27
Strenx 700 MC	2-10	700	750-950	12	1.2	0.25/0.39	27

Mekanik özellikler boylamasına yönde test edilmiştir.

- ¹⁾ Eğer ReH uygulanamıyorsa $R_p 0.2$ kullanılır.
- ²⁾ >8 mm kalınlık ölçüsünde min. akma dayanım değeri 20MPa düşüktür.
- ³⁾ Hem boylamasına hem çapraz yönler için.
- ⁴⁾ A_{80} değeri < 3,00 mm sac kalınlıkları için geçerlidir
- ⁵⁾ A_5 değeri $t \geq 3$ mm sac kalınlıkları için geçerlidir.

4.1.2 S700 MC Çeliğinin Darbe Özellikleri

Çizelge 4.3 S700 MC çeliğinin darbe dayanımı [40]

Ürün sınıfı	Min. boyuna test. darbe enerjisi, Charpy V 10x10 mm test örnekleri
Strenx® 700MC D	40 J/ -20°C
Strenx® 700MC E	27 J/ -40°C

EN ISO 148-1 uluslararası standardınca ≥ 6 mm kalınlıkta darbe testi uygulanır. Belirlenen minimum değer, tam boyutlu örneğe karşılık gelir.

4.1.3 S700 MC Çeliğinin Kimyasal Bileşimi

Çizelge 4.4 S700 MC çeliğinin kimyasal bileşimi [40]

C (max %)	Si ¹⁾ (max %)	Mn (max %)	P (max %)	S (max %)	Al _{tot} (min %)	Nb ²⁾ (max %)	V ²⁾ (max %)	Ti ²⁾ (max %)
0.12	0.21	2.10	0.020	0.010	0.015	0.09	0.20	0.15

¹⁾ Nb, V ve Ti toplamı = maks. %0,22 Çelikte, tane küçültme yapılmıştır.

TS EN 10149-2 Soğuk şekillendirme için yüksek akma dayanımlı çeliklerden yapılan sıcak haddelenmiş yassı ürünler Bölüm 2: Termomekanik olarak haddelenmiş çelikler için teknik teslim koşulları standardında S700 MC çelik için kimyasal ve mekanik özellikler verilmiştir.

4.2 KAYNAK MUAYENE YÖNTEMLERİ

4.2.1 Tahribatsız Muayene Yöntemleri

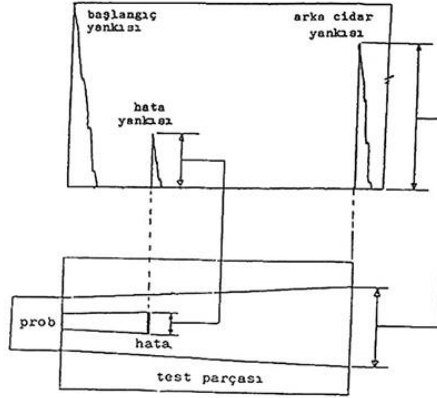
Tahribatsız muayene yöntemi genel olarak; test edilecek yapının veya bileşenin cinsine, şekline ve aranan hataların tiplerine göre seçilmektedir. Her yöntemin bir diğerine göre avantajları ve dezavantajları vardır. Ancak hiçbir yöntem için tek başına en iyisi, demek doğru değildir. Bir bileşenin testinde % 100' lük bir kontrol elde edebilmek için çoğu kez birden fazla yöntemin kullanılması gerekmektedir.

4.2.1.1 Radyografi Muayene Yöntemi

Bu tahribatsız muayene (NDT) yönteminde nüfuz edici (kısa dalga boylu) radyasyon kullanılmaktadır. Örnek içinden geçen radyasyon, malzemedeki yoğunluk veya kalınlık farklılıklarından dolayı farklı miktarlarda soğurulmaktadır.

4.2.1.2 Ultrasonik Muayene Yöntemi

Bu tahribatsız muayene yöntemi, test edilecek parçadaki süreksizlikleri tespit etmek için 0.2 - 25 MHz aralıkta yüksek frekanslı ses dalgalarını kullanmaktadır. Ultrasonik Test, malzeme içinde yayılan ses demetinin, akustik empedansta (bir malzemenin ses yayılmasına karşı gösterdiği direnç) meydana gelen değişim sonucu kısmen veya tamamen yansıması (yankı) prensibine dayanmaktadır [46].



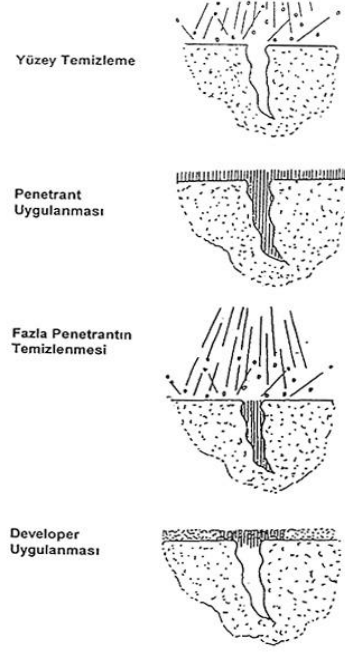
Şekil 4.1 Ultrasonik muayene yönteminin mantığı [46]

4.2.1.3 Manyetik Muayene Yöntemi

Bu tahribatsız muayene yöntemi; ferromanyetik malzemelerdeki yüzey ve yüzeye yakın süreksizliklerin tespit edilmesinde kullanılmaktadır. Bunun için malzemeye bir manyetik alan ve süreksizlik üzerinde oluşan kaçak alana karşı duyarlı, manyetik toz uygulamak gerekir. Toz, parça yüzeyinde kaçak alan tarafından tutularak görünür belirtiler haline getirilir. Süreksizlik belirtilerinin yorumlanması kalifiye operatörler tarafından yapılmalıdır.

4.2.1.4 Penetrant Sıvı Muayene Yöntemi

Bu tahribatsız muayene yöntemi; gözeneksiz malzemelerdeki yüzey süreksizliklerini tespit etmek için kullanılmaktadır. Girici boya (penetrant) temiz bir yüzeye uygulandığında, yüzey süreksizliğinin içine kılcal etki ile nüfuz eder. Yeterli bir nüfuziyet süresinden sonra boyanın fazlası yüzeyden temizlenir. Yüzey süreksizliğine girmiş olan boya, bir emici geliştirici (developer) yardımı ile yüzeye geri çekilir ve parça yüzeyinde görünür bir belirti oluşturur [46].



Şekil 4.2 Penetrasyon uygulama örneği [46]

4.2.1.5 Gözle Muayene Yöntemi

Çıplak gözle yapılan, her testten önce yapılması gereken bir yüzey kalitesini ayırtırma yöntemidir.

4.2.1.6 Girdap Akımları Yöntemi (Eddy Current)

Bu tahribatsız muayene yöntemi genel olarak bir üreteç (jeneratör), bir test bobini ve bir gösterge (endikatör) ile çalışmaktadır. Test parçasının özelliklerindeki bir değişim veya bir süreksizlik elektrik direncinde bir değişikliğe neden olur ve akım miktarını bu da manyetik alanı değiştirir. Gösterge (ibre veya katot ışını tüpü), malzemenin, girdap akımlarını ne şekilde etkilediğini kaydeder.

4.2.2 Tahribatlı Muayene Yöntemleri

Tahribatlı muayene; malzemelerin çekme, basma, eğilme vb. kalıcı şekil değişiklikleri karşısında meydana gelecek direnci ve dayanımı belirlemek için uygulanan deney metotlarıdır.

4.2.2.1 Çekme Testi

Çekme deneyi tahribatlı malzeme muayene yöntemlerinde uygulamada en sık kullanılanıdır. Çekme deneyi sayesinde malzemelerin mekanik özellikleri hakkında bilgi elde edilir. Cihaz tarafından uygulanan kuvvet karşısında malzemenin göstermiş olduğu dayanıma çekme dayanımı denir. Bu deney sistemi ile standartlara göre hazırlanmış olan numuneye sürekli bir kuvvet uygulanır. Numuneye uygulanan kuvvet sonucunda belirli bir noktadan sonra kalıcı şekil değişimi meydana gelir. Bu noktanın altındaki uzama kalıcı değildir. Kalıcı uzamanın olduğu şekil değişimine plastik şekil değişimi denir. Eğer kuvvet kalktıktan sonra malzeme eski haline dönebiliyorsa buna elastik şekil değişimi denir [31].

4.2.2.2 Eğilme Testi

Malzemelerin eğilmeye karşı gösterdiği dirençtir. Eşit aralıklı iki mesnet üzerine yerleştirilmiş dikdörtgen veya yuvarlak kesitli test parçasının orta noktasına bir kuvvet uygulandığında oluşan şekil değişimini gösteren test yöntemidir.

4.2.2.3 Basma Deneyi

Malzemelerin dışından merkezine doğru etkiyen dış kuvvetlere basma kuvvetleri denir. Bu deney yöntemi çekme deneyinin tam tersi gibi düşünülebilir. Basma deneyi ile genellikle kırılğan malzemelerin dayanımı ölçülür. Özellikle tuğla, beton gibi basmaya maruz kalan malzemelerin mekanik özelliklerini belirlemede kullanılır. Basma deneyinde silindirik veya küp şeklindeki numuneler iki yönden de simetrik sıkın tablaya yerleştirilir. Ölçüm verileri bilgisayar ortamına da grafik ve tablo olarak elde edilir ve malzeme hakkındaki mekanik özelliklerin yorumlanır.

4.2.2.4 Kırılma Deneyi

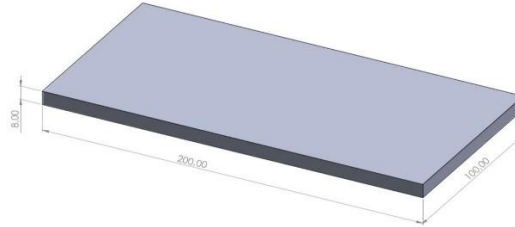
Diğer bir adı çentik darbe deneyi olan bu yöntemde, numunenin orta kısmına bir çentik açılır ve sarkaç ucundaki çekiç aracılığıyla numune kırılır. Kırma deneyinin amacı malzemenin darbe direncini ve kırılma sırasında ortaya çıkardığı enerjiyi ölçmektir. Kullanımda iki çeşit darbe deneyi vardır. Bunlar Charpy ve Izod deneyleridir [31].

4.3 KAYNAK YÖNTEMİ

MAG135 gazaltı kaynak yöntemi seçilmiştir. Bu yöntem az alaşımlı ve alaşımsız çeliklerin kaynatılmasında idealdir. ISO 857-1 standardınca Almanya, tel elektrotların koruyucu gaz ile birlikte eritildiği tüm ark kaynak yöntemleri için gaz korumalı metal ark kaynağı adında (proses no.13) yeni bir üst başlık belirlenmiştir. Kullanılan koruyucu gazın türüne göre bir aktif gaz kullanıldığında proses no. 135 ile metal aktif gaz kaynağı (MAG) olarak yine alt başlıklara ayrılmıştır. Gaz olarak %82 Argon, %18CO₂ M21 gazı kullanılmıştır.

4.4 KAYNAK PLAKALARININ SEÇİMİ VE HAZIRLANMASI

Aynı şarj numarasından kesilmiş toplam 16 adet 200x100x8 mm ölçülerinde plaka temin edilmiştir. Ertürk, E., Durukan, T., Şentürk, B., ‘‘Kaynak sarf malzemelerini satın alırken, EN10204-2,2’ye göre kaynak metali mekanik özelliklerini, EN10204-3.1’e göre kimyasal birleşimini belirten sertifikalarını isteyiniz.’’ diye belirtir. [37] Malzeme sertifikaları, tedarik edilen malzemenin mekanik ve kimyasal özelliklerinin teyit edildiği deneysel testlerin yapıldığını ispat eden rapordur.



Şekil 4.3 Kestirilen plaka ölçüleri



Şekil 4.4 Plaka yüzeylerinin flabla temizlenmesi

En önemli hususlardan biri kaynak öncesi malzemelerin ön ısıtmaları yapılmıştır. Bir kaynaklı imalat yöntemi gerçekleştirilirken, kaynak kalitesini etkileyen en önemli noktalardan biri ön ısıtmanın es geçilmemesidir. Çünkü doğru ön ısıtması yapılmayan malzemede sıcaklık dağılımı homojen olmaz ve malzemede iç gerilmeler oluşma riski artar. S700 MC çeliği için SSAB dokümanlarında karbon eş değeri 0.25 - (0.39) dir. Karbon eş değeri 0.45'ten düşük olan çeliklerde normal atmosfer şartlarında ön ısıtma sıcaklığı yeterlidir.



Şekil 4.5 Kaynak öncesi ön ısıtma işleminin yapılması

4.5 ROBOTİK KAYNAK MAKİNESİ

Kaynak makinesi olarak Fronius markasının TPS400i markalı, 32656100 seri no'lu cihazı kullanılmıştır. Cihaz kalibrasyonlarının uygunluğu teyit edilmiştir.



Şekil 4.6 Seçilen robotik kaynak makinesinin görüntüsü

4.6 KAYNAK POZİSYONU

Bu çalışmada PA oluk köşe kaynağı seçilmiştir. İlk olarak köşe kaynağı robotik kaynak sistemlerine daha uygun bir kaynak pozisyonudur. Çünkü özel elektronik devrelerle gerilim oranı tel ile malzeme arasındaki mesafeyi ayarlar. Mesafe kısılırsa gerilim düşer. Örneğin gerilimi 28 Volt ayarladık, robotik sistem kaynak mesafesini 2mm’de tutmaya çalışır. Köşe kaynağında ark sensör çok iyi çalışır. Alın kaynağında ise bu mevcut değildir. Alın kaynaklarında sağa sola kaymalarda robot hemen algılayamaz. Köşe kaynağı seçilmesinin en büyük sebeplerinden biri de nüfuziyetsizlik riskinin daha düşük olmasıdır. Köşe kaynağı yerine alın kaynağı seçilseydi nüfuziyetsizlik çok fazla olurdu. Çünkü bir alın kaynağında ark üflemesi, kimyasal bozukluk, parçanın 0,1mm bile yer değiştirmesi gibi sebepler çok çabuk nüfuziyetsizlik riskini oluşturabilmektedir. Eksik nüfuziyetli kaynaktan doğru test sonucu almak oldukça zordur. Nüfuziyetsiz kaynakta çekme testi, darbe testi gibi uygulama sonuçlarının alınması sağlıklı sonuçlar doğurmayabilir.



Şekil 4.7 köşe kaynağı yapılacak numune düzeneği

4.7 KAYNAK TELİ

Bu çalışmada TS EN ISO 16834 standardına göre Ø1.2 ölçülerinde, 12397/2021 heat numaralı, sertifikası bulunan, ER 110 SG masif tel seçilmiştir. S700 MC malzemesi bu tel ile kaynatılır. Masif telin seçilmesinin sebebi; özlü telde kaynak pasoları arasında hata oluşma riskinin yüksek olmasıdır. Özlü tellerde nem alma ihtimali yüksektir, Hidrojen duyarlılığı fazladır. Bu da Hidrojen çatlaklarına yol açabilir. Kaynak telinin çapı malzeme kalınlığına göre seçilmiştir. Ø1 telin imalatı zordur ve maliyeti yüksektir. Ayrıca daha ince malzemelerde kullanılması daha uygundur.



Şekil 4.8 ER110 SG robotik kaynak teli

4.8 KAYNAK PARAMETRELERİNİN SEÇİMİ

Kaynak parametreleri, ısı girdisinin birbirinden farklı çıkmasına sebebiyet verecek şekilde birbirinden farklı seçilmiştir. En üst ve minimum sınırlar zorlanarak kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir. Aşağıdaki çizelgede her numune için belirlenen kaynak parametreleri detaylandırılmıştır.

Çizelge 4.5 Kaynak parametrelerinin değerleri

TEST PLAKASI	AKIM (I)	GERİLİM (V)	KAYNAK HIZI (MM/SN)	SABİT (MAG: 0,8)	PASO SAYISI
A	400	31,1	3,8	0,8	1
B	360	30	4	0,8	1
D	260	25,9	5	0,8	2

Çizelge 4.5 Kaynak parametrelerinin değerleri (devam ediyor)

E	222	24,6	5	0,8	3
F	182	22,4	5	0,8	3
G	265	26,1	6	0,8	3
H	153	21,3	5	0,8	4
I	179	22,3	5	0,8	4



Şekil 4.9 Robotik kaynak makinesine belirlenen parametrelerin girilmesi

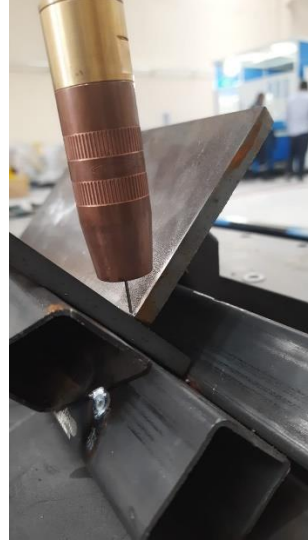
4.9 DENEY NUMUNELERİNİN KAYNATILMASI

Plakaların kaynatılması için PA pozisyonunda köşe kaynağı tercih edilmiştir. Köşe kaynağı seçilmesinin sebepleri malzeme ve yöntem kısmında anlatılmıştır. Görselde olduğu gibi, kaynağın ısı girdisi aldığı bölgeye doğru çekme yapmasını engellemek adına arka bölgelere destek plakalar atılmış ve numuneler sabitlenmiştir. İşkence ile sıkılarak 90 ° ayarlanmıştır.



Şekil 4.10 Test plakalarına destek plakaların çatım kaynağının yapılması

Robotik kaynak makinesinin standarda uygun halde kaynak yapabilmesi adına destek plakalarla deney numuneleri masaya PA pozisyonuna göre yerleştirilmiştir. Torç açısı standartlara göre ayarlanmıştır.



Şekil 4.11 Torç açısının ayarlanması

Daha sonra sırasıyla tüm numunelere tabloda gösterilen parametreler robotlu kaynak makinesine işlenerek kök kaynaklar atılmaya başlanmıştır. Kök kaynaklar yapılır parçalar birleştirildikten sonra deney numunelerinin karışmaması adına, her birine birer harf ile işaretleme yapılmıştır.



Şekil 4.12 Test plakalarının kodlanması

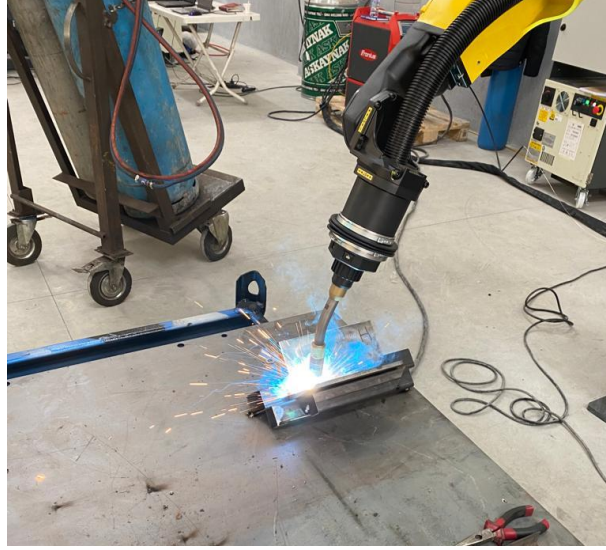
Pasolar arası geçiş sıcaklıkları ve $t_8/5$ süreleri dikkate alınarak plakalar kaynatılmıştır. Standartlar S700 MC için $t_8/5$ süresini 5-25 saniyeyi kabul eder. Sanayide ise bu 10-15 saniye kabul edilir. A ve B plakalarında 1 paso, D plakasında 2 paso, E,F,G plakalarında 3 paso, H ve I plakalarında 4 paso kullanıldığı için yeterli beklemler yapılarak sıcak ara ve kapama pasoları uygulanmıştır.



Şekil 4.13 Pasolar arası geçiş sıcaklığı uygun olmayan plaka



Şekil 4.14 Pasolar arası geçiş sıcaklığı uygun olan plaka



Şekil 4.15 Kaynak anı

BÖLÜM 5

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

TS EN ISO 15614-1 Metalik Malzemeler İçin Kaynak Prosedürlerinin Şartnamesi ve Vasıflandırılması standardında, seçtiğiniz malzeme ve kaynak pozisyonuna göre yapılacak PQR test deney numuneleri detaylıca anlatılmıştır. Ayrıca, hangi malzemeye hangi pozisyonda ne tür testler yapılabileceği de standart tarafından belirlenmiştir. Köşe kaynağı yapılan S700 MC çelikleri için penetrant testi, sertlik testi ve makro, mikro yapı incelemeleri yeterli ve uygun görülmüştür. Çalışmada bu doğrultuda deneysel çalışmalar sürdürülmüştür.

5.1 ISI GİRDİLERİNİN HESAPLANMASI

Malzeme şartnamelerinde o malzemeye uygun ısı girdisi yazmaktadır. S700 MC çeliği için ISO 10149-2 Yassı çelik mamuller- Soğuk şekillendirme için- Sıcak haddelenmiş- Yüksek akma dayanımlı çelikler bölüm 2: Termomekanik olarak haddelenmiş mamullerin teknik teslim şartları standardı sayfa 11’de Q değerini 1,1 kJ/mm olarak belirlemiştir. SSAB’nin kendi ürettiği bu çeliğe ait Strenx’in kaynaklanması dokümanlarında da bu ısı girdisi doğrulanır. Çizelge 4.5’de belirtilen parametreler bölüm 3.6’da anlatılan ısı girdisi hesaplama formülü baz alınarak hesaplandığında, test sonuçlarına ait ısı girdileri hesaplanmıştır. Hesaplanan ısı girdisi sonuçları çizelge 5.1 de verilmiştir.

Çizelge 5.1 Plaka/Hesaplanan ısı girdisi değeri

TEST PLAKASI	HESAPLANAN ISI GİRDİSİ DEĞERİ (kJ/cm)
A	25,96
B	21,60
D	10,77
E	8,74
F	6,52

Çizelge 5.1 Plaka/Hesaplanan ısı girdisi değeri (devam ediyor)

G	9,22
H	5,21
I	6,39

5.2 PENETRANT TESTİNİN UYGULANMASI

5.2.1 Ön Temizlik

Penetrant muayenesi yüzeyi boya, oksit, yağ, gres, tufal gibi penetrantın yüzeye girişimini engelleyen örtücülerden arındırılmak amacıyla BT-69 cleaner sprej ile temizlenmiştir.



Şekil 5.1 BT 69 cleaner sprej



Şekil 5.2 BT-69 cleaner sprej ile malzeme yüzeyinin temizlenmesi

5.2.2 Penetrant Uygulama

Muayene yapılacak yüzeyin tamamını örtecek şekilde BT-68 penetrant ile spreylenecektir. Muayene parçasına göre 5 ile 60 dakika bekletilmesi gereken sprej, deney plakalarında yaklaşık 10 dakika bekletilmiştir.



Şekil 5.3 BT 68 penetrant spreji



Şekil 5.4 Penetrant spreynin uygulanması

5.2.3 Penetrant'ın Kaldırılması

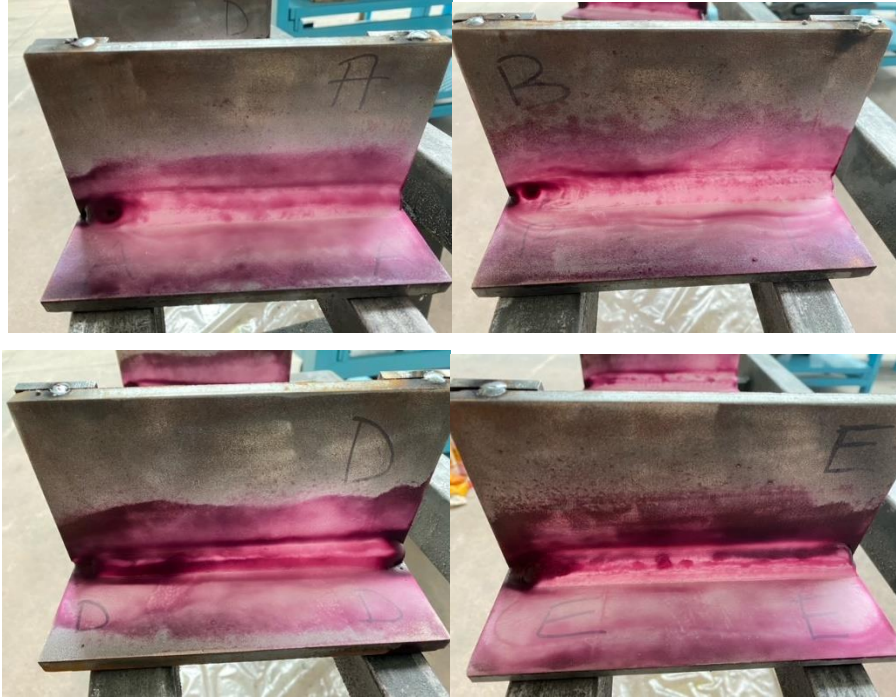
BT-69 cleaner ile ıslatılmış temiz bir bez ile silerek penetrant yüzeyden tamamen kaldırılmıştır. BT-69 cleaner yüzeye doğrudan temas etmemelidir.

5.2.4 Developer Uygulama

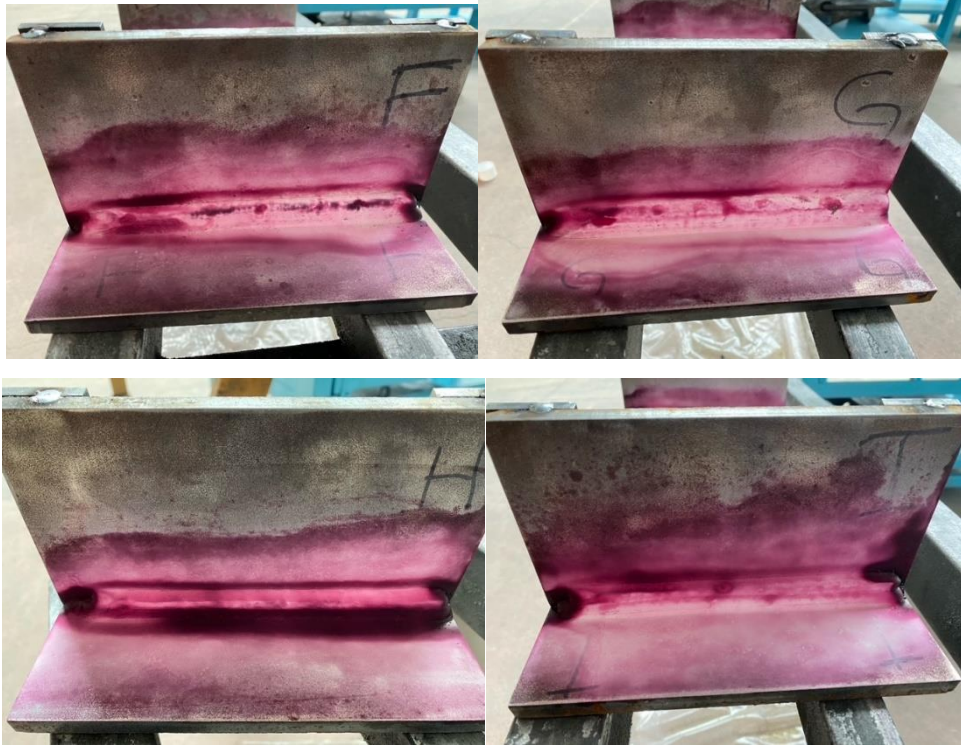
BT-70 developer her kullanımda iyice çalkalanmıştır ve 25-30 cm mesafeden ince bir tabaka oluşturacak şekilde yüzeye spreyleneştir.



Şekil 5.5 BT 70 developer sprey uygulaması



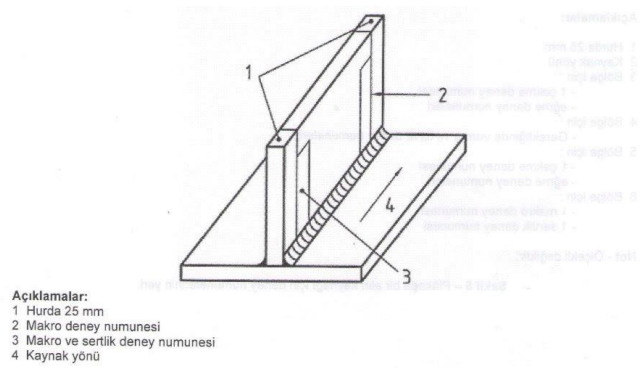
Şekil 5.6 Penetrant Uygulaması (A,B,D,E numuneleri)



Şekil 5.7 Penetrant Uygulaması (F,G,H,I numuneleri)

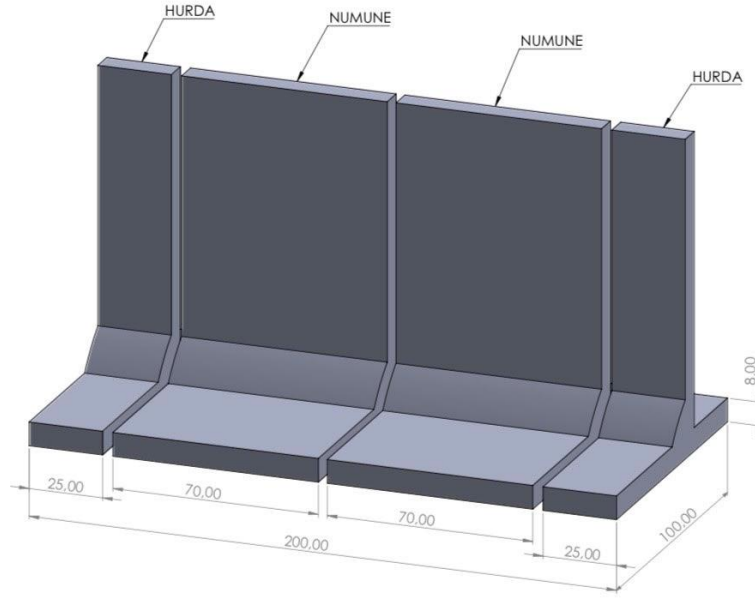
5.3 DENEY NUMUNELERİNİN HAZIRLANMASI

TS EN ISO 15614-1 standardı göz önünde bulundurularak mevcut plakadan gerekli numuneler ayrılmıştır.

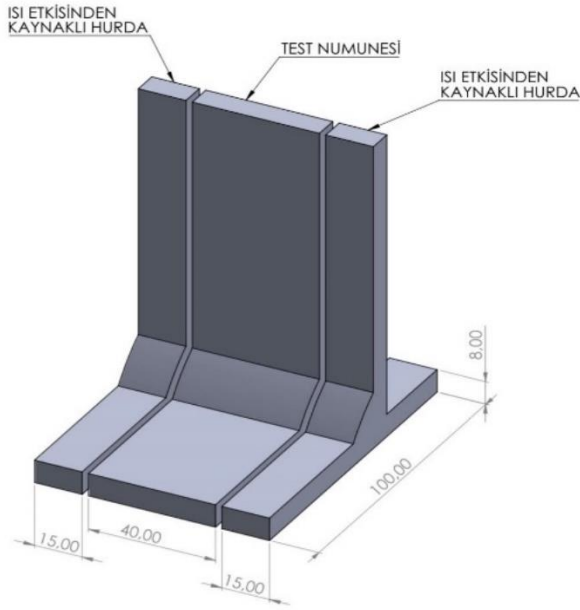


Şekil 5.8 Standartta yer alan numune hazırlama düzeneği

Bu doğrultuda, başla ve bitir bölgelerinde 2,5 mm hurdaya ayrılmıştır. Kalan numune şekil 5.9 daki gibi deney numuneleri için ayrılmıştır.



Şekil 5.9 Deney numunelerinin ana plakadan çıkarılması



Şekil 5.10 Test numunelerinin ayarlanması

5.4 METALOGRAFİK NUMUNE HAZIRLANMA

Makro inceleme için metalografik numune hazırlama adımları uygulanmıştır. Zımparalama, parlatma ve nital çözeltisi ile dağlama yapılarak yüzeyler hazırlanmıştır.



Şekil 5.11 Nital çözeltisi

Makro inceleme için yapılan zımparalama işleminde 60-600 kum zımpara kullanılmıştır.



Şekil 5.12 Zımparalama görseli



Şekil 5.13 Dağlama sonrası kurutma işlemi

5.5 VICKERS SERTLİK TESTİ

Test Yeri: NORTH KALİTE TAHRİBATLI TEST LABORATUVARI

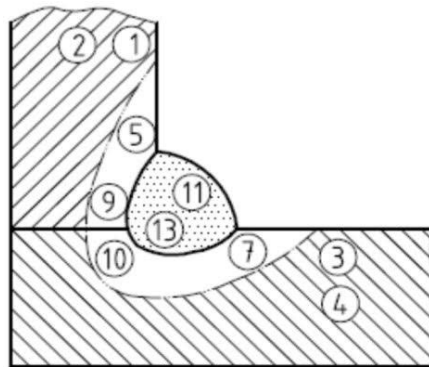
Test Num. Şekli ve Ölçüleri: 8 x 30 x 40 mm

Test Metodu: HV 10

Test Sıcaklığı: 24°C

Test Cihazının Kimliği: MITECH HV 10

Standart: TS EN 9015-1



Şekil 5.14 Sertlik alınan nokta yüzeylerin adlandırılması

Bölge 1: ESAS METAL 1, ÜST YÜZEY

Bölge 2: ESAS METAL 1, MERKEZ

Bölge 3: ESAS METAL 2, ÜST YÜZEY

Bölge 4: ESAS METAL 2 MERKEZ

Bölge 5: ESAS METAL 1, ITAB, ÜST

Bölge 7: ESAS METAL 2, ITAB, ÜST

Bölge 9: ESAS METAL 1, ITAB, KÖK, İÇ

Bölge 10: ESAS METAL 2, ITAB, KÖK, İÇ

Bölge 11: KAYNAK BÖLGESİ, SON PASO, ÜST

Bölge 13: KAYNAK BÖLGESİ, KÖK PASO

Bu tez için aşağıdaki görselde belirtilen noktalardan alınan sertlik değerlerinin karşılaştırılması yeterli görülmüştür.



Şekil 5.15 Numunelerden alınacak sertlik değeri bölgelerinin tanımlanması



Şekil 5.16 MITECH HV 10 sertlik cihazı görseli

Sertlik testlerine ait sonuçlar çizelge 5.2’de verilmiştir

Çizelge 5.2 Önemli Vickers sertlik testi sonuçları

TEST PLAKASI	ISIDAN ETKİLENMEMİŞ BÖLGE (1)	ISIDAN ETKİLENMEMİŞ BÖLGE (3)	ITAB (HAZ) (5)	ITAB (HAZ) (7)	KAYNAK METALİ (11)
A	254, 253, 252	268, 272, 269	280, 279, 296	274, 276, 269	260, 256, 262
B	269, 267, 272	277,279,281	320, 323, 318	302,298,305	249, 252, 253
D	285, 286, 284	279,281,278	398, 396, 399	354,358,353	270, 274, 271
E	274, 273, 270	276, 275, 274	375, 361, 373	283,280,279	300, 298, 302
F	297, 296, 301	288, 289, 285	496, 499, 495	431,428,434	447, 451, 448
G	272, 271, 274	297, 298, 296	350, 355, 341	340,345,336	330, 326, 328
H	291, 294, 293	279, 278, 276	464, 463, 462	446,447,443	376, 375, 378
I	281, 282, 284	249, 252, 248	400, 396, 398	395, 390, 397	298, 299, 301

5.6 MAKRO YAPI İNCELEME

Test Yeri: NORTH KALİTE TAHRİBATLI TEST LABORATUVARI

Test Num. Şekli ve Ölçüleri: 8 x 30 x 40 mm

Yüzey Hazırlığı: Zımparalama

Dağlayıcı Türü/Sıcaklığı: NİTAL

Dağ. Uygulama Metodu: Daldırma

Dağlama Süresi: 30 sn

Standart: TS EN ISO 17639

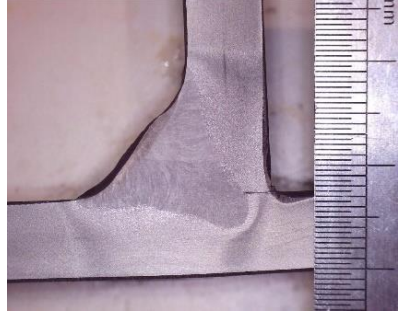
Makro inceleme süreksizlikleri gözlemlemek, kaynak yüksekliği hakkında ve nüfuziyet hakkında yorum yapılabilmesi sebebiyle yapılmıştır.



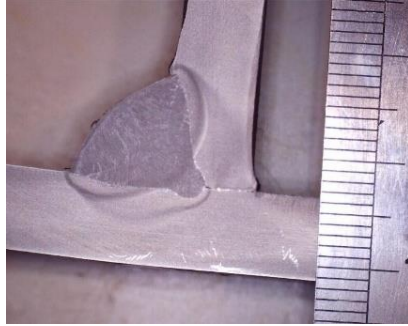
Şekil 5.17 Makro görüntülerin alınması



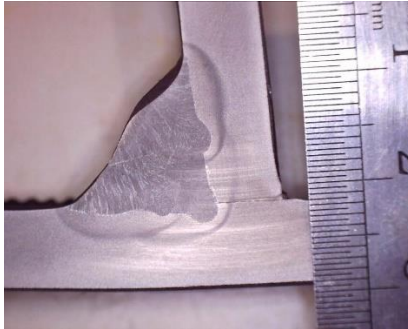
Şekil 5.18 A numunesinin makro görüntüsü



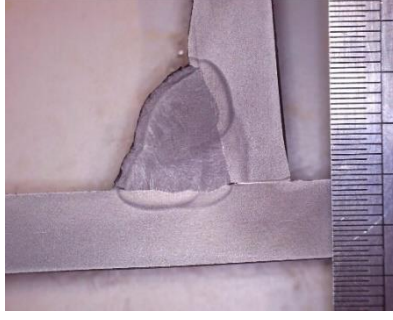
Şekil 5.19 B numunesinin makro görüntüsü



Şekil 5.20 D numunesinin makro görüntüsü



Şekil 5.21 E numunesinin makro görüntüsü



Şekil 5.22 F numunesinin makro görüntüsü



Şekil 5.23 G numunesinin makro görüntüsü



Şekil 5.24 H numunesinin makro görüntüsü

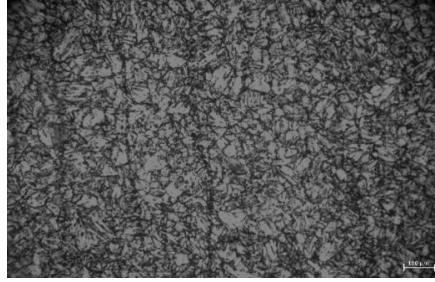


Şekil 5.25 I numunesinin makro görüntüsü

5.7 MİKRO YAPI GÖRÜNTÜLERİ

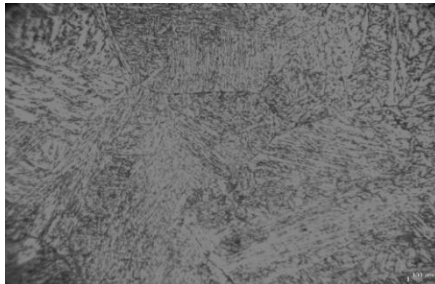
ITAB bölgesi, esas metal ve kaynak metalinin birleşim noktasındaki sınırdan başlayarak, kaynaklı imalat işlemi direkt sıcaklığın iç yapıya, yani metaldeki mekanik özellikleri etkilediği alandır. Bu alan ana malzemenin içerisine doğru genişleme gösterir. Çeliklerin kaynağı yapılırken bu alandaki sıcaklık ortalama 1450 ile 700 °C civarlarında değişmektedir. Mevcut sıcaklıkla entegre olarak farklı iç yapı ve özellik gösteren alanlar oluşur. Bu bölgelerin kaynak numunelerinin üzerinde gösterilmesi ve bölgelerin iç yapılarına ait mikro yapı görselleri aşağıda gösterilmiştir.

5.7.1 A Numunesine Ait Mikro Yapı Görüntüleri

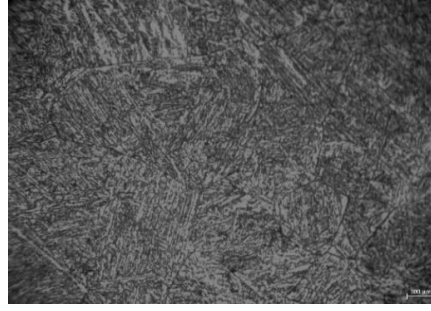


Şekil 5.26 A-1. Bölgeye ait mikro yapı

Ana malzemeye ait mikro yapılar incelendiğinde S700 MC çeliğine ait mikro yapı görüntülerinde, düşük karbonlu çeliğe ait yapılardan yoğun ferrit ve az miktarda perlit görüntüleri gözlemlenmektedir. Alınan bu görüntüler, malzemenin ince taneli yapıda olduğunu tekrar göstermiştir.



Şekil 5.27 A-5. Bölgeye ait mikro yapı



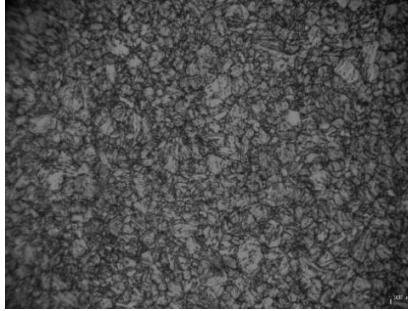
Şekil 5.28 A-7. Bölgeye ait mikro yapı

Deneylerde kullanılan malzeme ince taneli bir çelik olduğundan, başlangıçtaki tane boyutları ölçülmemiştir.

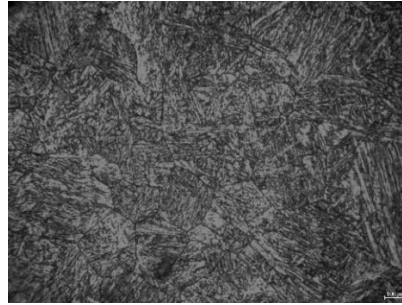


Şekil 5.29 A-11. Bölgeye ait mikro yapı

5.7.2 B Numunesine Ait Mikro Yapı Görüntüleri



Şekil 5.30 B-1. Bölgeye ait mikro yapı



Şekil 5.31 B-5. Bölgeye ait mikro yapı

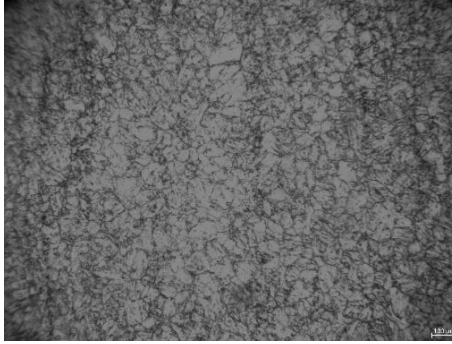


Şekil 5.32 B-7. Bölgeye ait mikro yapı

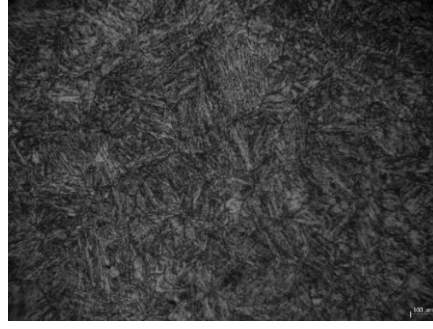


Şekil 5.33 B-11. Bölgeye ait mikro yapı

5.7.3 D Numunesine Ait Mikro Yapı Görüntüleri



Şekil 5.34 D-1. Bölgeye ait mikro yapı



Şekil 5.35 D-5. Bölgeye ait mikro yapı



Şekil 5.36 D-7. Bölgeye ait mikro yapı

Çok pasolu kaynaklarda yapılan uygun pasolar kaynağa ait nüfuziyet bölgelerindeki mikro yapıları ve kendinden önceki pasolara ait ITAB bölgesini tekrar ısıtır ve değiştirir. Yeniden ısıtma işlemlerinin sonucunda östenit taneciklerinin boyut ölçüleri artar. Kaynağa ait tokluk azalır. Kaba taneli bölgelerde yüksek C'lu martenzit bölgeleri değişmeyebilir ya da yeniden ısıtma işleminde erişilen sıcaklıklar sebebiyle sertleşebilirler. Kaba taneli olan ve yeniden ısıtılmış alanların mikro yapılarına ait özelliklerin tek pasolu olan kaba taneli bölgelerdekine çok benzediği gözlemlenmiştir.

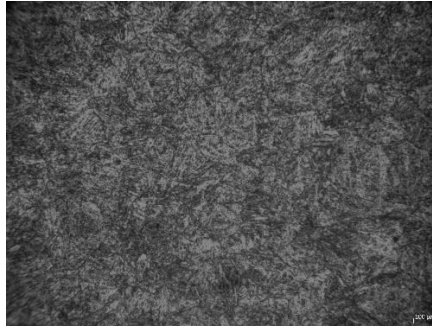


Şekil 5.37 D-11. Bölgeye ait mikro yapı

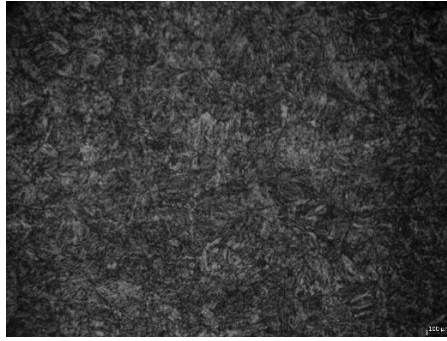
5.7.4 E Numunesine Ait Mikro Yapı Görüntüleri



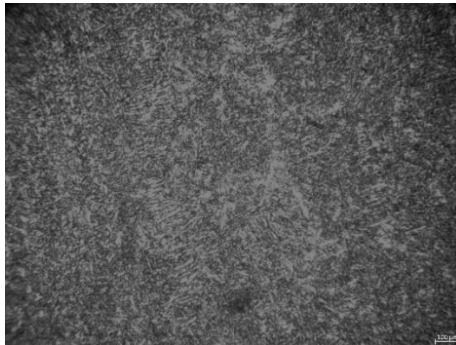
Şekil 5.38 E-1. Bölgeye ait mikro yapı



Şekil 5.39 E-5. Bölgeye ait mikro yapı

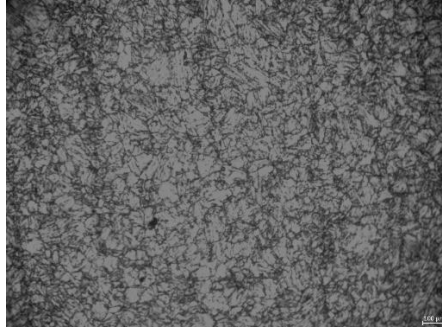


Şekil 5.40 E-7. Bölgeye ait mikro yapı

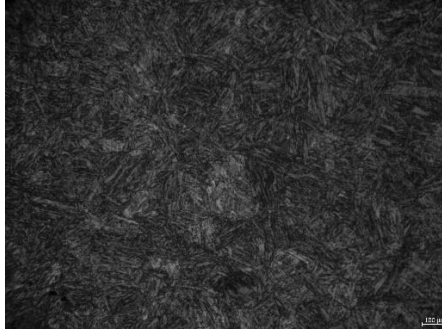


Şekil 5.41 E-11. Bölgeye ait mikro yapı

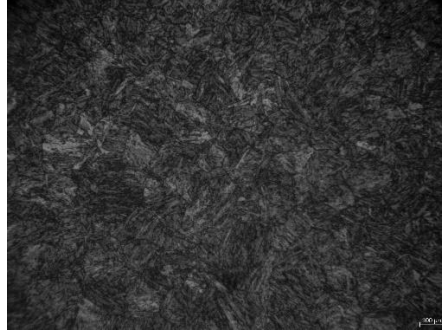
5.7.5 F Numunesine Ait Mikro Yapı Görüntüleri



Şekil 5.42 F-1. Bölgeye ait mikro yapı



Şekil 5.43 F-5. Bölgeye ait mikro yapı

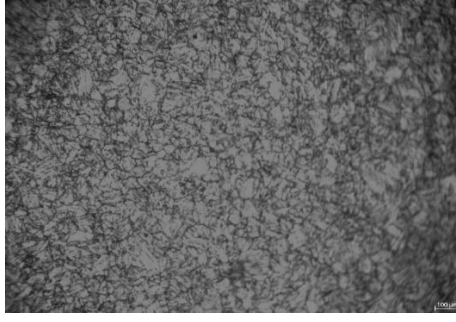


Şekil 5.44 F-7. Bölgeye ait mikro yapı



Şekil 5.45 F-11. Bölgeye ait mikro yapı

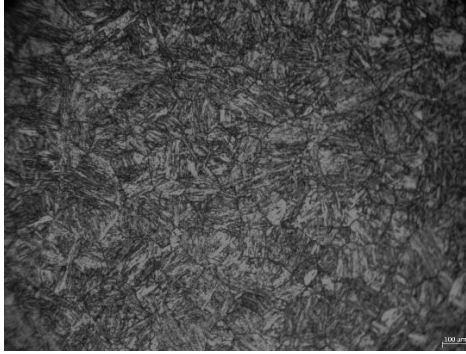
5.7.6 G Numunesine Ait Mikro Yapı Görüntüleri



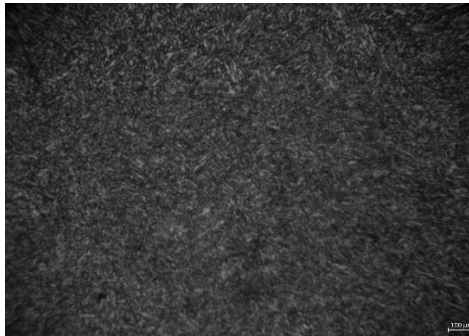
Şekil 5.46 G-1. Bölgeye ait mikro yapı



Şekil 5.47 G-5. Bölgeye ait mikro yapı

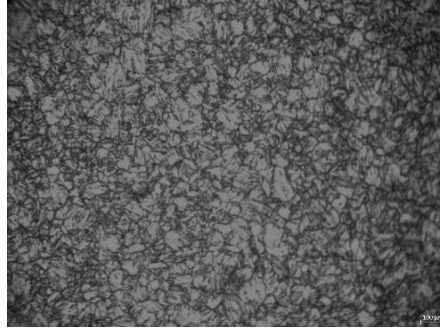


Şekil 5.48 G-7. Bölgeye ait mikro yapı



Şekil 5.49 G-11. Bölgeye ait mikro yapı

5.7.7 H Numunesine Ait Mikro Yapı Görüntüleri

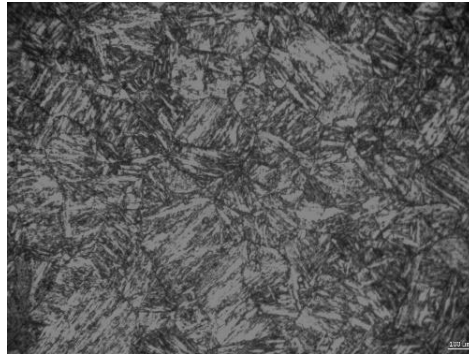


Şekil 5.50 H-1. Bölgeye ait mikro yapı



Şekil 5.51 H-5. Bölgeye ait mikro yapı

ITAB bölgesinde martenzit yapılar gözlemlenmiştir. Martenzit yapı, demirin östenit geometrisinin çok yüksek hızlarda soğutulması ile meydana gelir. Düşük ısı girdisi malzemenin hızlı soğumasına sebep olur. Bu martenzit oluşumuna zemin hazırlamıştır. Östenit fazının oranı yükseldikçe martenzitin gücü düşer.

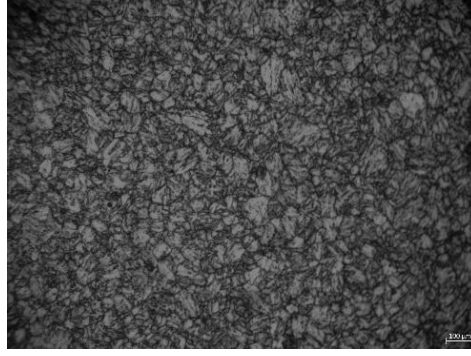


Şekil 5.52 H-7. Bölgeye ait mikro yapı

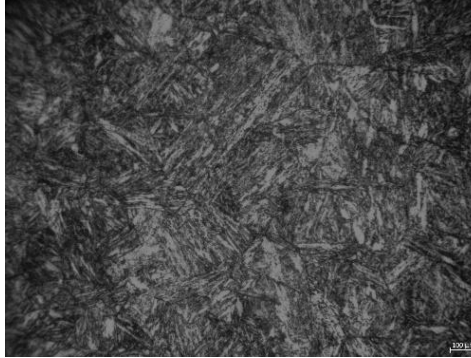


Şekil 5.53 H-11. Bölgeye ait mikro yapı

5.7.8 I Numunesine Ait Mikro Yapı Görüntüleri



Şekil 5.54 I-1. Bölgeye ait mikro yapı



Şekil 5.55 I-5. Bölgeye ait mikro yapı



Şekil 5.56 I-7. Bölgeye ait mikro yapı



Şekil 5.57 I-11. Bölgeye ait mikro yapı

BÖLÜM 6

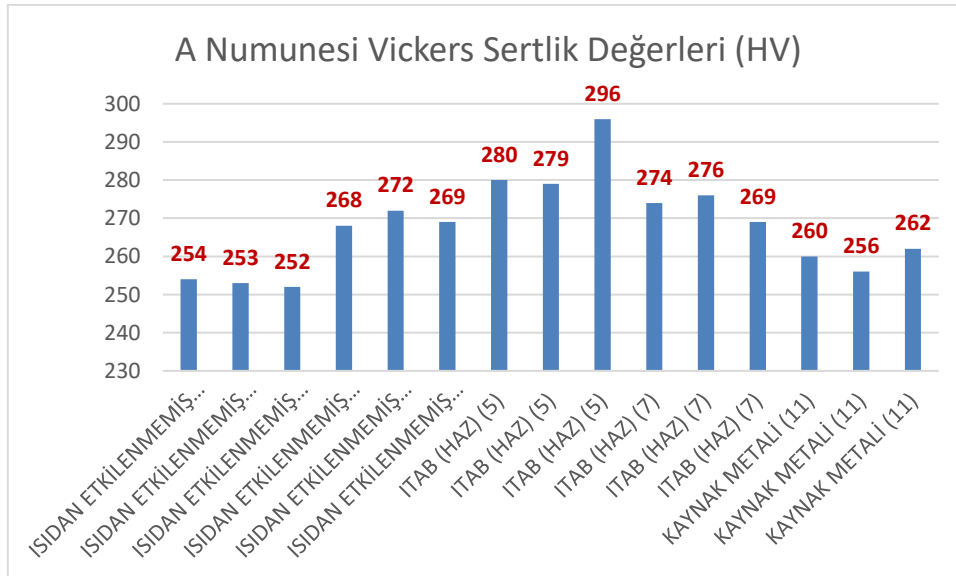
SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

6.1 PENETRANTSYON TEST SONUÇLARININ İNCELENMESİ

Yüzeyler gün ışığında incelenmiştir. Hiçbir numunede çatlğa rastlanamamıştır. Buradan çıkarılacak sonuç; bu testin kaynağın uygun olup olmadığına dair kesin bilgi vermede belirleyici bir faktör olmadığıdır.

6.2 SERTLİK DENEYİ SONUÇLARININ İNCELENMESİ

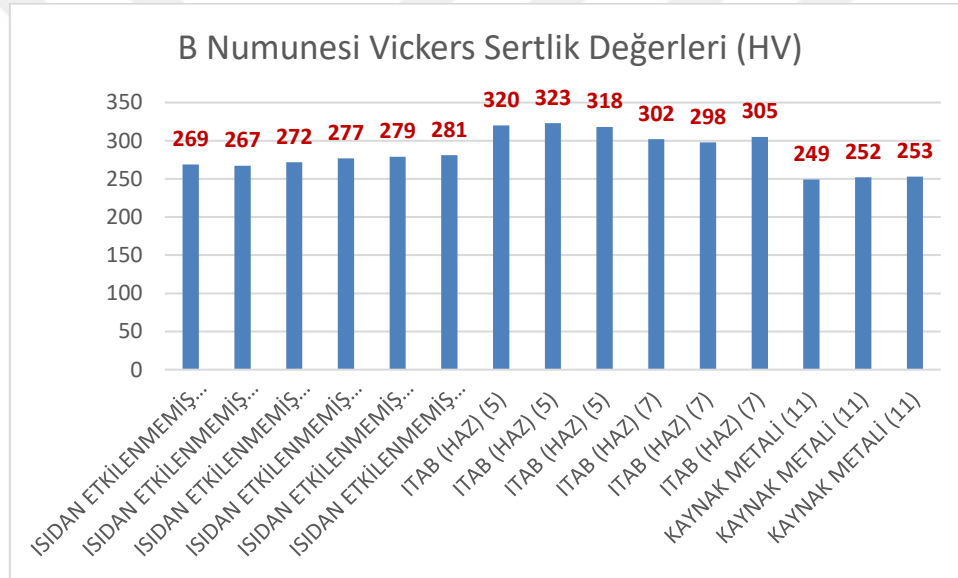
6.2.1 A Numunesinin Sertlik Değerinin İncelenmesi



Şekil 6.1 A numunesine ait Vickers sertlik değerleri

Bu testlerin sonucunda en yüksek ısı girdisine sahip A numunesinden (25,96 kJ/cm) elde edilen bulgularda şu sonuçlar gözlemlenmiştir; HAZ bölgesindeki yumuşamanın en yüksek olduğu malzemedir. Sertlik oldukça düşmüştür. Ancak ana malzemeye göre sertliğin daha düşük olması gerekir. Çünkü A numunesi için seçilen parametrelerde akım 400'e çıkarılmıştır. Bu uygulanabilecek en yüksek değerdir. Ve ısı tesiri altında kalan bölgenin sertliğinin minimum haline düşmesi gerekir. Sonucun beklenenden farklı çıkması pulse etkisine bağlanabilir. Pulse etkisi, tecrübeye bağlı bir yöntem olarak yorumlanabilir. Robotik kaynak makinesi algoritmasından kaynaklı olarak, anormal değerlerle karşılaştığında kendini pulse moduna alabilir ve kendince malzemeyi koruyabilir.

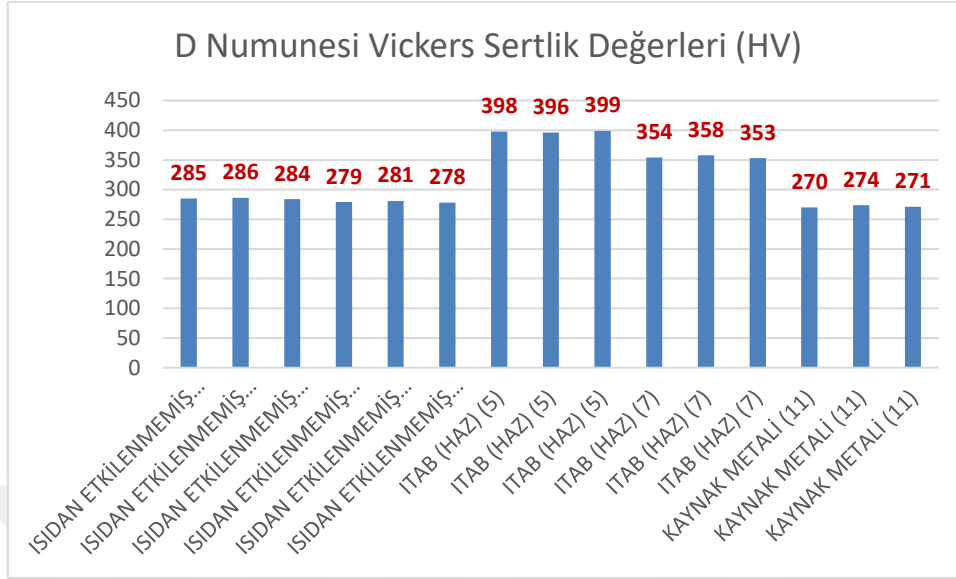
6.2.2 B Numunesinin Sertlik Değerinin İncelenmesi



Şekil 6.2 B numunesine ait Vickers sertlik değerleri

A numunesi için yapılan tüm yorumlar B için de geçerlidir. Ayrıca hem A hem de B de kaynak metalı sertliği istenen sertlik değerine (235 HV) çok yakın çıkmıştır. Normalde HAZ bölgesinde bu sertlik değerine yakın çıkması beklenir. Fakat bu testte kaynak metalinin düşük çıkması yorumlandırılamamıştır.

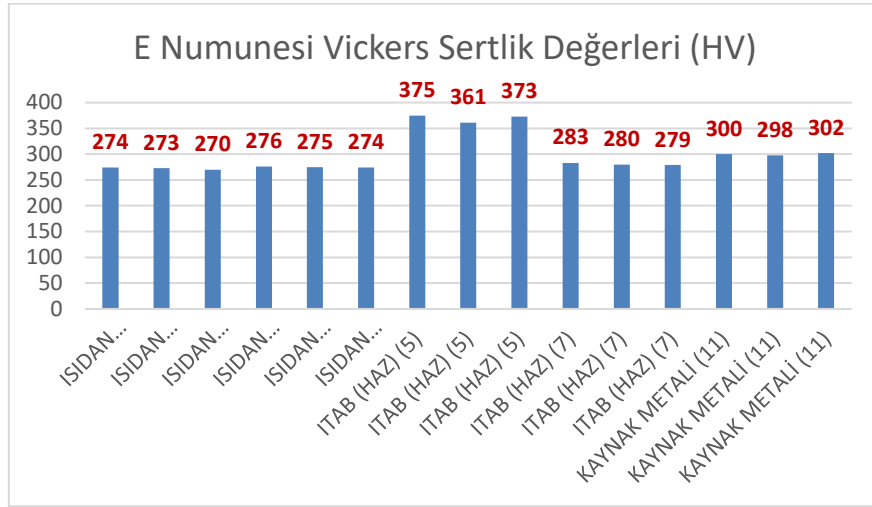
6.2.3 D Numunesinin Sertlik Değerinin İncelenmesi



Şekil 6.3 D numunesine ait Vickers sertlik değerleri

Deney bulgularına bakıldığında ideal ısı girdisine en yakın değer D numunesinde görülmüştür. Beklediğimiz tüm sonuçların bu ısı girdisinde ideal olduğunu görmemiz gerekir. Fakat D numunesinde uygun ısı girdisi elde edilmesine rağmen HAZ bölgesindeki sertlikler yüksek çıkmıştır. Bunun sebebi test plakasının 2 pasolu kaynatılması olabilir. İlk pasoda değerler düşmüş olabilir ve ikinci paso bu değerleri normalize edebilir. Sonuç olarak çekme değerinin 1100 - 1200 MPA değerlerine kadar yükseldiği söylenebilir. (sertlik dönüşüm tablosuna göre). Bu numunede istemediğimiz şey, ısı girdileri normal olduğu halde kaynak paso sıralamasıdır. 2 paso değil de 3 paso olduğu takdirde kaynak birleştirmeleri standardı karşılar.

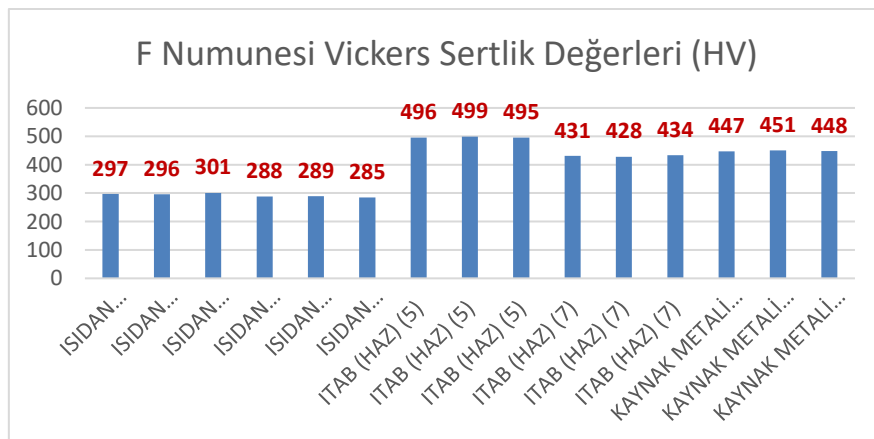
6.2.4 E Numunesinin Sertlik Değerinin İncelenmesi



Şekil 6.4 E numunesine ait Vickers sertlik değerleri

E numunesine bakıldığında görsel olarak en uygun bu numunedir. Isı girdisi ideale yakındır (istenenden %25 sapma gösterebilir, standarda göre ideal bir değerdir.). Sertlik üst limit değeri de standardın istediğine uygundur. ISO 15614 PQR standardı bu malzeme için maksimum 380 HV sertlik ister.

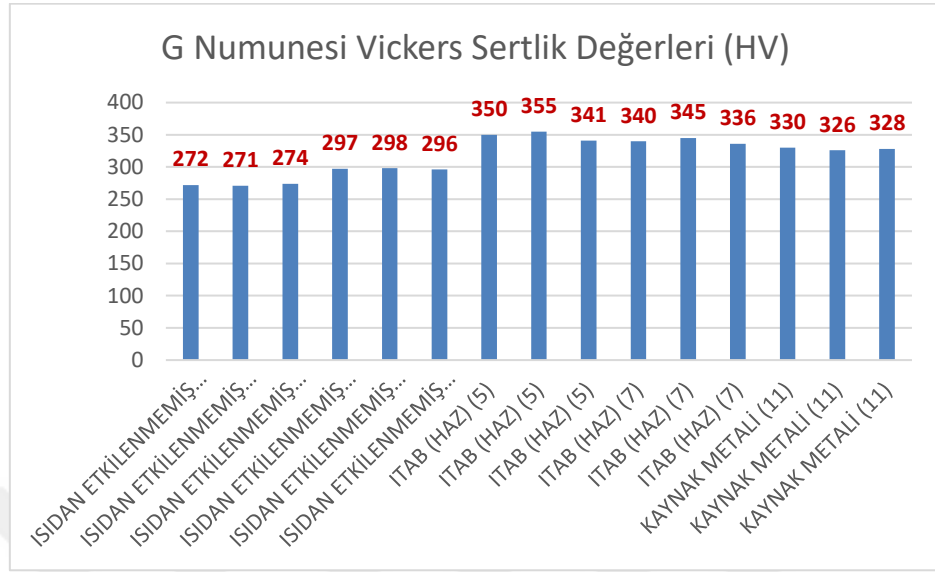
6.2.5 F Numunesinin Sertlik Değerinin İncelenmesi



Şekil 6.5 F numunesine ait Vickers sertlik değerleri

Sertlikler çok yüksektir. Malzeme oldukça gevrekleşmiştir. H. Isı girdisinin düşük olması hızlı soğuma olduğunu dolayısıyla sertliğin yükseldiğini gösterir.

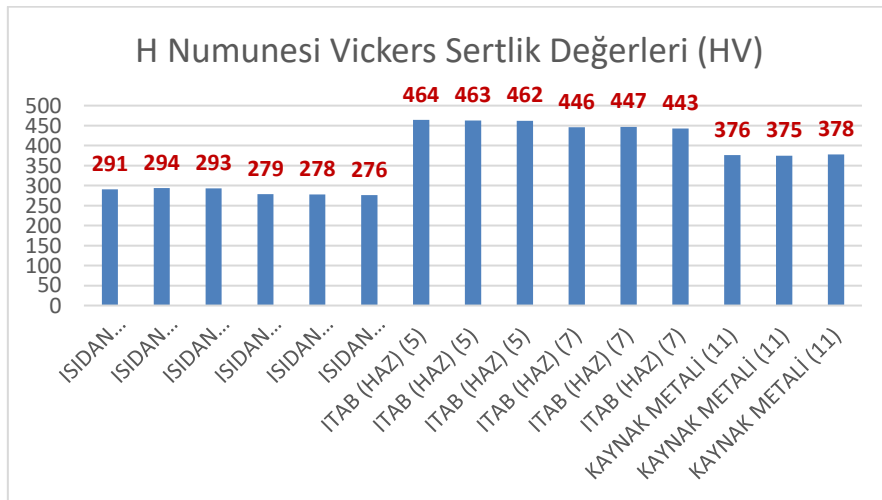
6.2.6 G Numunesinin Sertlik Değerinin İncelenmesi



Şekil 6.6 G numunesine ait Vickers sertlik değerleri

E numunesine benzemektedir. Parametreler de E numunesine yakındır.

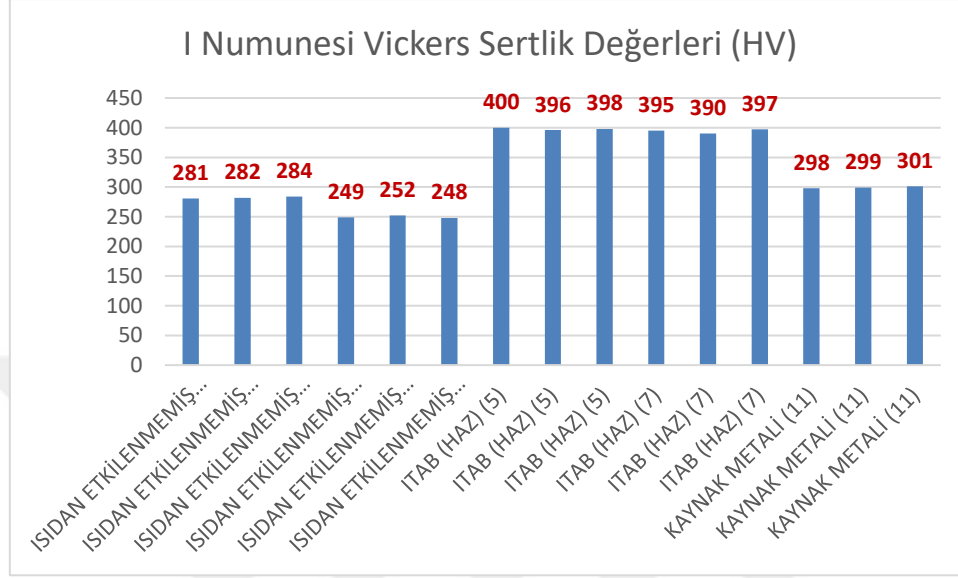
6.2.7 H Numunesinin Sertlik Değerinin İncelenmesi



Şekil 6.7 H numunesine ait Vickers sertlik değerleri

Sertlikler çok yüksektir. Düşük ısı girdisi sebebiyle hızlı soğuma meydana gelerek malzemeyi sertleştirip, gevreklemiştir.

6.2.8 I Numunesinin Sertlik Değerinin İncelenmesi

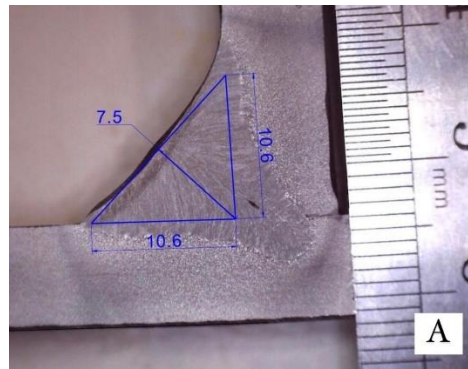


Şekil 6.8 I numunesine ait Vickers sertlik değerleri

Sertlikler çok yüksektir. H numunesi ile benzer yorum yapılabilir.

6.3 MAKRO VE MİKRO TEST SONUÇLARININ İNCELENMESİ

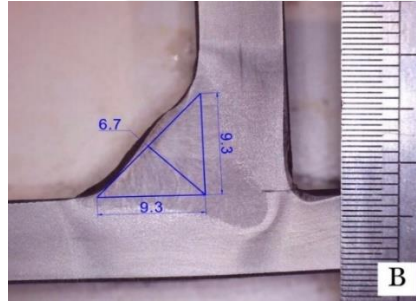
6.3.1 A Numunesinin Makro Ve Mikro Test Sonuçlarının Değerlendirmesi



Şekil 6.9 A numunesinin kaynak yüksekliği

Bu testlerin sonucunda en yüksek ısı girdisine sahip A numunesinden (25,96 kJ/cm) elde edilen bulgulara makro görüntüler incelendiğinde nüfuziyetin ve kaynak formunun iyi olduğu gözlemlenmiştir. Ancak yüksek ısı girdisi sebebiyle %uzama değerinin düştüğü mikroyapı incelemelerinde ortaya çıkmıştır. Mikro yapı incelendiğinde tane irileşmeleri görülmüştür. Bu da tane sınırlarının azalmasına ve dolayısıyla %uzamanın küçülmesine sebebiyet vermektedir. %12 olan değer %5'lere kadar gerilediği tahmin edilmektedir. Ayrıca makro incelemede HAZ bölgesi belirgin şekilde görülmektedir. Haz bölgesi kaynak için zayıflamış bölgedir. Malzeme her zaman yük altında HAZ bölgesinden kırılır. Ana malzeme zaten kendini korumaktadır. Kaynak metali de alaşım elementleri sayesinde kendini korur.

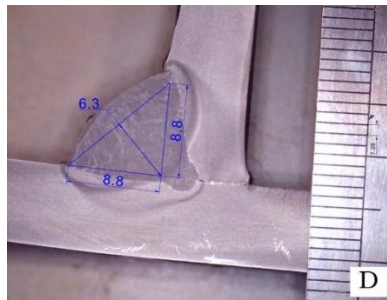
6.3.2 B Numunesinin Makro Ve Mikro Test Sonuçlarının Değerlendirmesi



Şekil 6.10 B numunesinin kaynak yüksekliği

Nüfuziyetin ve kaynak formunun iyi olduğu gözlemlenmiştir. Ancak yüksek ısı girdisi sebebiyle %uzama değerinin düştüğü mikroyapı incelemelerinde ortaya çıkmıştır. Mikro yapı incelendiğinde tane irileşmeleri görülmüştür. Yani A numunesi için yapılan tüm yorumlar B için de yapılabilir.

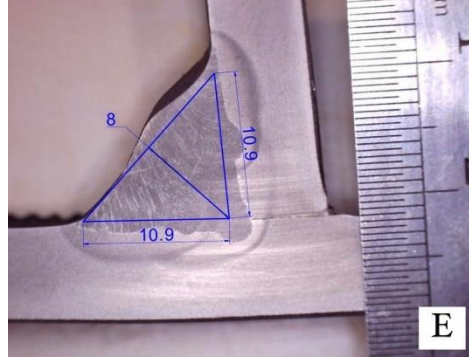
6.3.3 D Numunesinin Makro Ve Mikro Test Sonuçlarının Değerlendirmesi



Şekil 6.11 D numunesinin kaynak yüksekliği

HAZ bölgesinin A ve B ye göre daha az belirgin olması riskli alanın daha küçük olduğunu gösterir. Görselde balık sırtı kep yüksekliği vardır. Bu ayrı değerlendirilebilir. Çünkü ISO 5817:2010 Kaynak - Çelik, nikel, titanyum ve alaşımlarında ergitme kaynaklı (demet kaynağı hariç) birleştirmeler - Kusurlar için kalite seviyeleri standardında balık sırtı kaynak kepinin bir toleransı vardır. Bu makro görüntüde sırt fazla görünmektedir. Kaynak bitiminde çentik etkisi yaratacak şekilde keskin bitiş mevcuttur. Fakat genel olarak sertlik ve nüfuziyet değerleri yeterlidir.

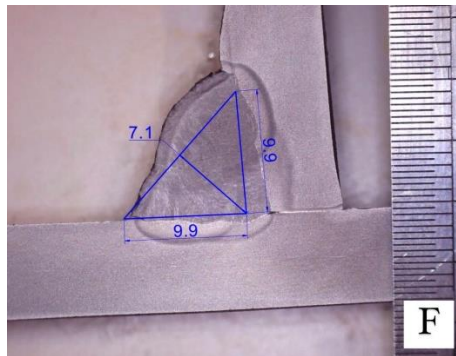
6.3.4 E Numunesinin Makro Ve Mikro Test Sonuçlarının Değerlendirmesi



Şekil 6.12 E numunesinin kaynak yüksekliği

HAZ bölgesi çok geniş değildir ve nüfuziyet uygundur. Optimum kaynak yüksekliği yakalanmıştır. En ideal numune kaynak görseli olarak bu numunedir. Sertlik değeri ve ısı girdisi değeri de önceki testlerde en uygun görülen numune olmuştur.

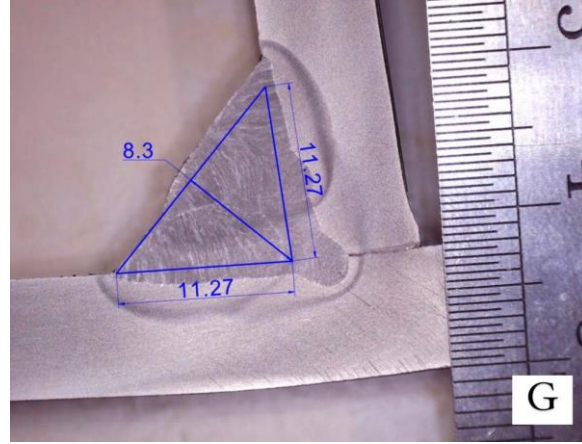
6.3.5 F Numunesinin Makro Ve Mikro Test Sonuçlarının Değerlendirmesi



Şekil 6.13 F numunesinin kaynak yüksekliği

HAZ bölgesi çok küçüktür ama kaynak görseli balık sırtı görüntüsüne sahiptir. Kaynak yüksekliği istenenden düşüktür. Isı girdisi ISO 15614'e göre istenen değerin oldukça üzerindedir. Bu plaka bir PQR testinde olsaydı ret olurdu.

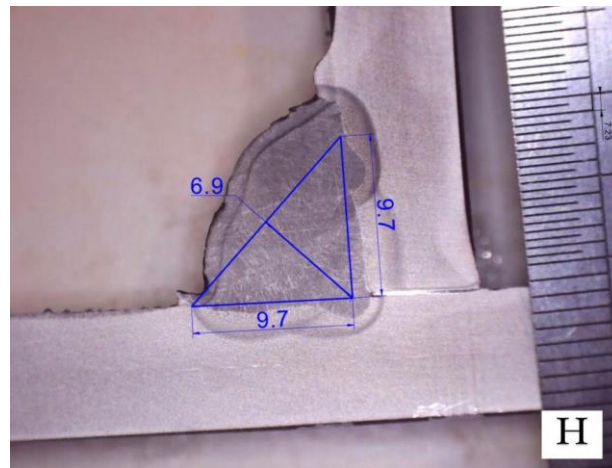
6.3.6 G Numunesinin Makro Ve Mikro Test Sonuçlarının Değerlendirmesi



Şekil 6.14 G numunesinin kaynak yüksekliği

E numunesine benzemektedir. Parametreler de E numunesine yakındır.

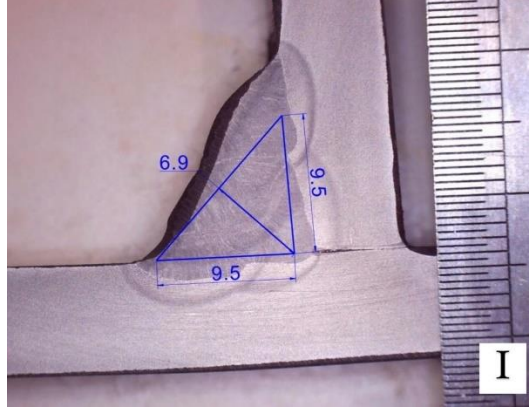
6.3.7 H Numunesinin Makro Ve Mikro Test Sonuçlarının Değerlendirmesi



Şekil 6.15 H numunesinin kaynak yüksekliği

Kaynak görseli oldukça kötüdür ve kaynak yüksekliği istenenin çok altındadır. Malzeme gevrekleşmiştir ve dolayısıyla % uzama değeri çok düşüktür. Ayrıca kırılmalık da artmıştır.

6.3.8 I Numunesinin Makro Ve Mikro Test Sonuçlarının Değerlendirmesi



Şekil 6.16 I numunesinin kaynak yüksekliği

Görsel standart numunelerle karşılaştığında gayet düzgün görülmektedir fakat kaynak yüksekliği istenenden düşüktür. H numunesine benzerdir.

BÖLÜM 7

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada ince taneli yüksek mukavemetli S700 MC yapı çeliğinin robotik sistemlerde kaynaklı imalatı yapılırken kullanılan ısı girdisi parametrelerinin, malzemenin mekanik özelliklerini ne şekilde etkilediği incelenmiştir. Kaynağa ait akım, kaynak voltajı, kaynak hızı ve kaynak paso sayısı değerleri değiştirilerek, endüstri 4.0 ve kalite 4.0'a uygun çeşitli köşe kaynağı yapılan 8 test plakasıyla çalışılmıştır. S700 MC çeliği için ISO 10149-2 Yassı çelik mamuller- Soğuk şekillendirme için- Sıcak haddelenmiş- Yüksek akma dayanımlı çelikler bölüm 2: Termomekanik olarak haddelenmiş mamullerin teknik teslim şartları standardı sayfa 11'de Q değerini 1,1 kJ/mm olarak belirlemiştir. Çalışmada bu ısı girdisi maksimum ve minimum değerlerine ulaştırılarak mekanik ve metalurjik açıdan incelenmiştir. S700 MC için standartlardaki çekme değeri: 750-950 MPA, çekme değerlerinin karşılık geldiği sertlik değerleri: 235-295 HV, % uzama değeri: %12, önerilen ısı girdisi: 11 kJ/cm'dir. ISO 15614'e göre istenen maksimum sertlik 380 HV, minimum 235HV'dir.

TS EN ISO 15614-1 Metalik Malzemeler İçin Kaynak Prosedürlerinin Şartnamesi ve Vasıflandırılması standardına göre test plakalarından PQR (kaynak yönteminin uygulanabilirliğini kanıtlamak adına yapılmış yöntem deney ve testlerinin kayıtlarını içeren dokümanlar) numuneleri çıkarılarak, makro ve mikro analizlerle kaynak dikiş profilleri ve nüfuziyetleri incelenmiş; tahribatlı muayene yöntemlerinden sertlik deneyi, tahribatsız muayene yöntemlerinden ise sıvı penetrasyon testi yöntemleri kullanılarak şu sonuçlara varılmıştır:

Penetrasyon testi sonucuna göre çatlak gözlemlenmemiştir. Bu bize, kaynak görsel olarak uygun olsa bile mekanik özelliklerin bozuk olabileceğini göstermiştir. Aynı şekilde makro testlerde de malzeme içinde ve nüfuziyetinde hata görülmesi bile mekanik değerlerin uygun olmadığı durumlar olabilmektedir.

En yüksek ısı girdisiyle kaynaklı imalatı yapılan A numunesinde makro incelemelere göre, HAZ bölgesinin genişlediği gözlemlenmiştir. Bu bize riskli bölgenin arttığını gösterir. Yük altında kırılma ihtimali, diğer tüm numunelere göre en yüksektir. Çünkü ısı girdisi arttıkça, malzemede tane irileşir, tane sınırı azalır ve mekanik dayanım düşer. Isı girdisinin artması, sertliği de düşürmüştür. Tane irileşmesine bağlı olarak akma ve çekme mukavemeti düşer, %uzama artar. Bu bize ısı girdisini yüksek tutmanın ne gibi sonuçlar doğurduğunu ispat etmiştir.

Isı girdisinin en düşük olduğu H numunesini incelediğimizde sertliklerin çok yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Düşük ısı girdisi sebebiyle hızlı soğuma meydana gelerek malzemeyi sertleştirip, gevrekletmiştir. Hızlı soğuma sebebiyle martenzit yapı oluşumunun artarak kırılma yapı oluşturduğu söylenebilir. Kaynak görseli oldukça kötüdür ve kaynak yüksekliği istenenin çok altındadır.

Isı girdisi en ideal olan D numunesi incelendiğinde, tüm sonuçların optimum olması beklenirken sertliklerin yüksek çıktığı görülmüştür. Bunun sebebi kaynağın 2 pasolu olması olabilir. 2 pasoda, kaynak osilasyon (salınım) özelliği gösterir. Isı girdisi aynı, kaynak hızı, voltaj ve amperi aynı 2 plakada eğer 2 paso kullanılacaksa torç daha fazla salınım yaparak kaynağı doldurmaya çalışır. Tel hızı azaltılır. Her paso kendinden bir öncekini normalize eder. Paso sayısını ne kadar arttırırsak, o kadar ısıdan etkilenmiş bölge kalır. Örneğin, 2 paso 10 mm'ye denk diye düşünersek, 5mm ve 5 mm olarak 2'ye bölünür ve ITAB bölgen 5mm olur. Fakat 3 pasolu kaynakta, ortalama ITAB bölgesi 3,3 mm civarı olur ve riskli bölgenin hacmi azalmış olur. Isı girdisi değeri standartlara göre uygun olan D numunesi, yalnızca bu değerin de yeterli olmadığını göstermiştir. Isı girdisi kadar paso sayısının da önemli bir parametre olduğu vurgulanmıştır.

Isı girdisinin ideale yakın olduğu E numunesi (ısı girdisi istenenden %25 sapma gösterebilir) incelendiğinde, görsel olarak en uygun bu numunedir. ISO 15614 PQR standardı bu malzeme için maksimum 380 HV sertlik ister, test sonucundaki sertlik üst limit değeri de standardın istediğine uygundur. HAZ bölgesi çok geniş değildir ve nüfuziyet uygundur. Optimum kaynak yüksekliği yakalanmıştır. Tüm bu sonuçlar değerlendirildiğinde en uygun malzeme ve kaynak özelliklerinin E numunesinde olduğu gözlemlenmiştir.

Çalışmanın sonucunda, standartlara uymanın önemi bir kez daha vurgulanmış, endüstri 4.0. ve kalite 4.0. sistemleri desteklenerek uygulanan insansız üretim ve otomasyonlu yöntem sayesinde bir ürünün kaynaklı imalatında, insana ve tecrübeye bağlı olarak her defasında farklı

uygulanan kaynak parametreleri nedeniyle ortaya çıkan hataların, konstrüksiyona, malzemeye, makine veya imalat parçasına vereceği mekanik ve metalurjik hasarların önüne geçilmiş ve sanayilerdeki kaynaklı imalatla sürdürülebilir kalite sağlanmıştır. Yapılan makro testlerde ve yüzey süreksizlik kontrollerinde sonuçlar ideal görünmesine rağmen, kaynak bölgesinin mekanik değerlerinin kabul dışı olabileceği görülmüştür. Kaynak uygunluğu ısı girdisi parametreleri, kaynak teli, kaynak gazı, ön ısıtma sıcaklığı t8/5 süreleri, kaynak paso sayısı vb. etkenler birbiriyle entegre olarak değerlendirilmediği sürece doğru sonuç vermemektedir. Standartların ne kadar önemli olduğu, hiçbir işin tecrübe ve operatör inisiyatifinde olmaması gerektiği vurgulanmıştır. Standartlarda bizden istenen değerlerin dışına çıkıldığı takdirde ortaya çıkabilecek tüm riskler test sonuçlarında gözlemlenmiştir.

Önerileri sıralayacak olursak; kaynak işlemine başlarken kullandığınız makinenin kalibrasyonlarının tam olmasına, gaz debisine, gaz oranına dikkat ediniz. Kaynaklı imalatını gerçekleştirdiğiniz malzemelerde t 8/5 değeri 800°C’ den 500°C’ye kadar geçen zaman aralığında yavaş soğumasına özen gösteriniz. Çelik üreten firmalar, özellikle ince taneli yapı çelikleri için t 8/5 değerini malzeme sertifikalarında belirtmektedir. Çelik malzemelerde alaşım elementlerinin sertleşme durumuna karşı etkisini belirleyen ve kaynakların kabiliyetinin bir değeri olarak bilinen karbon eş değerlerinde kullanılan formüllerden elde edilen Ceş oranlarını tespit edin ve muhakkak tavlama sıcaklığına önem verin. Ceş değerine göre ön ısıtma sıcaklıklarını belirleyin. Kaynak telini kaynak dikiş bölgesinin ve esas metalin alaşım yapısına uygun olacak şekilde TS EN ISO 16834 Kaynak sarf malzemeleri- Yüksek mukavemetli çeliklerin ark kaynağı için tel elektrodlar, teller, çubuklar ve yığılan metaller standardına göre seçin ve üreticilerden EN10204-2,2’ye göre kaynak teli sertifikalarını talep edin. Bu sertifikadan tel alaşımlarına ulaşabilirsiniz. Kullandığınız malzemenin EN 10204-3.1’e göre malzeme sertifikalarını talep ederseniz, mevcut sertifikada malzemeye ait kimyasal ve mekanik özelliklere kolayca ulaşabilirsiniz. Kaynaklı imalatını gerçekleştireceğiniz yöntemde, teknik detayları ve özellikle uygun ısı girdisi parametrelerini öğrenmek için ISO 10149-2:2014 Yassı çelik mamuller- Soğuk şekillendirme için- Sıcak haddelenmiş-Yüksek akma dayanımlı çelikler bölüm 2: Termomekanik olarak haddelenmiş mamullerin teknik teslim şartları standardına bakınız. Ardından TS EN ISO 15614-1 Metalik Malzemeler İçin Kaynak Prosedürlerinin Şartnamesi ve Vasıflandırılması standardına bakarak, uygun PQR testlerini yaptırın. Kaynaklı imalata alacağınız parçaların WPS ve PQR raporlarının kaynaktan önce hazırlanmasını ve onaylanmasını sağlayınız.



KAYNAKLAR

- [1] **Eski Ö** (2001) Kaynak Isı Girdisinin Soğuk Şekillendirilmiş S700 MC Çeliğinin Mekanik Özelliklerine Etkisi, *Doktora Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- [2] **Çetin V** (2019) Treyler Şaselerinde Kullanılan S700 MC Çelik Saclarının Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, T.C. Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
- [3] **Ulaştı E** (2018) Termomekanik Haddelme İle S700 MC Kalite Çeliklerin Üretimi Ve Üretim Parametrelerinin Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı Üretim Metalurjisi ve Teknolojileri Mühendisliği Programı
- [4] **The Beauty Of Strenx: Steel With Support Included** (t.y.)
<https://www.ssab.com/tr-tr/download-center>
- [5] **Akın A** (2015) Gazaltı Kaynak Parametrelerinin Kaynak Mukavemetine Etkilerinin Araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı
- [6] **Harman M** (2019) Yüksek Mukavemetli Çeliklerin Farklı Kaynak Yöntemleri Kullanılarak Kaynak Edilebilirliğinin İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalı Fen Bilimleri Enstitüsü
- [7] **Türk Standardı TS EN 10020** (2003) *Çelik Tipleri Tarif ve Sınıflama Standardı*, Türk Standardları Enstitüsü / ANKARA
- [8] **Michael F. Ashby and David R. H. Jones** (2006) *Engineering Materials 2 An Introduction to Microstructures, Processing and Design* Third Edition Department of Engineering, Cambridge University, UK
- [9] **Ochshorn J** (2002-06-11). "Steel İn 20th Century Architecture". *Encyclopedia Of Twentieth Century Architecture*. Retrieved 2010-04-26.

- [10] **Allen R** (1979). *International Competition In Iron and Steel, 1850-1913*". Jstor. Cambridge University. Jstor 2120336. Retrieved November 13, 2020.
- [11] **Ashby Michael F. and Jones David R.H.** (1992) *Engineering Materials 2* (With Corrections Ed.). Oxford: Pergamon Press. Isbn 0-08-032532-7.
- [12] **URL-1** < <https://hascelik.com/urun-katalogu> >, 25.04.2022
- [13] **TS En 10027-1 : 2017** Çeliklerin Kısa Gösteriliş Sistemleri – Bölüm 1 : Çelik Adları Standardı
- [14] **URL-2** < <https://uslularhadde.Com/Takim-Celikleri> >, 28.04.2022
- [15] **URL-3** < <https://www.asinmazcelik.com/Strenx.html> >, 28.04.2022
- [16] **İbrahim Çeçen Üniversitesi Meslek Yüksekokulu** Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü
- [17] **Tama Selim Y** (2017), *Çelik Yapı Uygulamalarında Kullanılan Kaynak Yöntemleri, Üstünlükleri ve Sakıncalı Yönleri*, Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ders notları, Denizli
- [18] **URL-4** < <https://wwwwww.metaluzmani.com/Kaynak-Yontemlerinin-Siniflandirilmesi> >, 29.05.2022
- [19] **Koçak M** (2010) *Structural Integrity of Welded Structures: Process - Property – Performance (3P) Relationship* * Gedik Holding, Pendik, Istanbul, Turkey
- [20] **Mansuroğlu Y** (2001) Gazaltı Kaynak Yöntemi ve Bu Yöntemde Kullanılan Koruyucu Gazlar Eğitim Notu
- [21] **Çınar K** (2016) *Kaynak Tekniği Föy Notu*, Bilecik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü
- [22] **Gönül E** (2020) Kaynaklı İmalat ve Kaynaklı İmalat Yöntemleri, Makina Mühendisi (Ph.D., M.Sc.) Kaynak Mühendisi Kemm Kaynaklı İmalat ve Yöntemleri Webinarı
- [23] **Eryürek B** (2007) Askaynak İ.T.Ü. Makina Fakültesi Makina Malz. ve İmalat Teknolojisi Anabilim Dalı Başkanı, S. 1-4
- [24] **Askaynak** (2007) Kaynak Teknolojisi Gazaltı Ark Kaynağı Yöntemi Ve Karşılaşılan Sorunların Giderilmesi Örtülü Elektrod Kaynağı Yöntemi Ve Çelikler İçin Örtülü

Elektrod Seçimi Paslanmaz Çeliklerin ve Alüminyum Alaşımlarının Kaynağı Tıg Kaynağında Güvenlik 2. Baskı, S. 3-5

- [25] **TS EN ISO 6947** (2002) Kaynaklar - Çalışma Konumları - Eğitim ve Dönme Açılarının Tarifleri Standardı
- [26] **Can M** (2018) Farklı Kalınlıklı Yapı Çeliklerinde Ağız Geometrisinin Kaynak Özelliklerine Etkisi, *Yüksek Lisans tezi*, Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Bilecik
- [27] **Yılmaz R** (2017) MIG-MAG Gazaltı Kaynağında Kaynak Parametreleri ve Seçimi Ders Notu Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
- [28] **Strenxin Kaynaklanması SSAB Dokümanları** (t.y.)
<https://www.ssab.com/tr-tr/download-center>
- [29] **Tülbentçi K** (1990) Eriyen Elektrod İle Gaz Altı Kaynağı, Gedik Yayınları, İstanbul
- [30] **Eroğlu M** (2015) Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti ve Çatlaksız Bir Kaynak Yapmanın Kuralı, *Eğitici Makale*, Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
- [31] **Yıldırım M** (2011) *Metalik Malzemelerde Mekanik ve Tahribatsız Muayene Yöntemleri*, Metal Teknolojisi Tahribatlı Muayene, Ankara
- [32] **Uzun H** (2013) *Kaynak Bölgesi Hesaplamaları*, Sakarya Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
- [33] **Shaanxi Dünya Demir Çelik A.Ş., Ltd** | Updated: Mar,08,2021
<http://tr.worldironsteel.com/news/how-to-calculate-the-carbon-equivalent-43475284.html>
- [34] **Kırmacı T** (2019) Kaynak Hatalarının Önlenmesi İçin 6 Yöntem, Askaynak
- [35] **URL-5** < <https://www.Bmlazer.Com/Teknik-Bilgi/Kaynakta-On-Isitma-Ne-Zaman-Yapilmali> >, 12.05.2022
- [36] **Kalkan İ** (2018) Yüksek Mukavemetli Çeliklerde Çok Pasolu Kaynağının Mekanik Ve Mikroyapı Özelliklerine Etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

- [37] **Ertürk İ, Durukan T ve Şentürk B** (2019) Çeliklerin Kaynağında Isıdan Etkilenen Bölgenin Mikro Yapı Ve Özelliklerinin Tahmini, X. Kaynak Teknolojisi Ulusal Kongre Ve Sergisi Bildiriler Kitabı
- [38] **Çengelci B ve Çimen H** (2005) Endüstriyel Robotlar, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 69-78.
- [39] **Turek Fred D** (2011) "Machine Vision Fundamentals, How To Make Robots See". *Nasa Tech Briefs Magazine*. 35 (6). Pages 60-62
- [40] **Ssab Data Sheet 2008 Tr Strenx 700 MC D E** (20.04.2017)
<https://www.ssab.com/tr-tr/download-center>
- [41] **Cary Howard B and Scott C Helzer** (2005). *Modern Welding Technology*. Upper Saddle River, New Jersey: Pearson Education. Page 316. Isbn 0-13-113029-3.
- [42] **URL-6** < <https://srdrobotik.com/uygulamalar/Robotik-Kaynak> > 25.07.2022
- [43] **Gök V G and Afyon Ç** (1999). Kaynak Uygulamalarında Robot Teknolojisi. *Kaynak Teknolojisi Ulusal Kongresi* (S. 221-230). Ankara, Makine Mühendisleri Odası
- [44] **URL-7** < <https://intecro.com.tr/tr/migmag> > 25.09.2022
- [45] **URL-8** < <https://www.bilginvarmi.com/karbon-esdegeri-nedir.html> > 27.09.2022
- [46] **URL-9** < <http://www.ndtteknik.com/ndt-kutuphane/tahribatsiz-muayene-de-en-cok-kullanilan-yontemler-nelerdir-53.html> > 27.09.2022

ÖZGEÇMİŞ

Görsev Fulya ÜNLÜTÜRK, ilk ve ortaöğretim eğitimini Zonguldak'ta tamamladı. Çaycuma Oktay ve Olcak Yurtbay Anadolu Lisesi'nden 2013 yılında mezun oldu. 2014 yılında Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği lisans eğitimine başladı ve 2018 yılında mezun oldu. Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimini devam ettirmektedir.